



Modelling the Effective Factors on Temporal and Thermal Island Distribution of Qom applying Tasseled Cap Transformation (TCP)

Hossein Ghiasvand Nanji¹, Behnam Tashayo^{2*}, Mehdi Momeni², Homayoun Yazdanpanah³

¹ Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Smart City Qom Municipality, Iran

² Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

³ Advisor to the Mayor of Qom in Information and Communication Technology and Smart City Chief Officer at Qom Municipal, Qom, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 07 December 2020

Accepted 25 May 2021

Available online 25 May 2021

Keywords:

Land Surface Temperature, Split Window Algorithm, Tasseled Cap Transformation, Urban Heat Island, Urban Thermal Field Variance Index.

Citation: Ghiasvand Nanji, H., Tashayo, B., Momeni, M., Yazdanpanah, H. (2021). Modelling the Effective Factors on Temporal and Thermal Island Distribution of Qom applying Tasseled Cap Transformation (TCP). *Geography and Sustainability of Environment*, 11 (1), 73-91. doi: [10.22126/GES.2021.5922.2322](https://doi.org/10.22126/GES.2021.5922.2322)

ABSTRACT

Urban heat islands in hot and dry climates have adverse effects on the environment and human health. In this study, a method has been proposed to investigate the factors affecting the heat islands of Iran's central plateau climate. In the first step, after applying geometric, radiometric, atmospheric corrections and preparing Landsat 8 satellite images, including OLI-TIRS sensors, Tasseled Cap transformation is created. In the second step, the surface temperature of the earth is extracted using Split window algorithm. In the third step, in order to evaluate the heat islands, the Urban Thermal Field Variance Index is classified into six levels. Finally, using the correlation coefficient between TCT and Urban Thermal Field Variance Index indicators, the relationship of heat islands with the desert, urban areas, vegetation, and humidity is evaluated. In order to evaluate the proposed method, the city of Qom has been studied. The results of the proposed method show that heat islands are inversely related to the amount of vegetation (-0.613), water and humidity (-0.535) and directly related to the amount of soil and desert areas (0.709). Examining the Urban Thermal Field Variance Index, it was shown that the rate of this index in the core of the studied city is less than the outskirts of the city which can be due to the expansion and dispersion of the city, insulation of the roofs of residential houses, increasing the density of vegetation in the suburbs, river crossing through the city center, the presence of barren areas, ring roads, factories and industrial towns in the suburbs cited. The results reveal that the proposed method is an efficient method to analyze the factors affecting the phenomenon of heat islands.



مدل‌سازی عوامل مؤثر بر توزیع مکانی و شدت جزایر گرمایی شهر قم با استفاده از تبدیل تسلدکپ

حسین غیاثوند ننجی^۱، بهنام تشیع^{۲*}، مهدی مؤمنی^۲، همایون یزدان‌پناه^۳

^۱ گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، ستاد شهر هوشمند شهرداری قم، ایران

^۲ گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ مشاور شهردار و رئیس ستاد شهر هوشمند شهرداری قم، قم، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

جزایر حرارتی شهری در اقلیم‌های گرم و خشک تأثیرات نامطلوبی بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارند. در نوشتار پیش رو، روشی برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر جزایر حرارتی اقلیم فلات مرکزی ایران پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی، در گام اول پس از اعمال تصحیحات هندسی، رادیومتریک، اتمسفری و آماده‌سازی تصاویر ماهواره لندست ۸ شامل سنجنده‌های OLI-TIRS، شاخص‌های تبدیل تسلدکپ ایجاد شد. در گام دوم با استفاده از الگوریتم پنجره‌مجازا دمای سطح زمین استخراج شد. در گام سوم به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی جزایر حرارتی، شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری در شش سطح طبقه‌بندی شد. در نهایت با استفاده از ضریب همبستگی بین شاخص‌های واریانس پهنه حرارتی شهری و تبدیل تسلدکپ ارتباط جزایر حرارتی با مناطق بایر، شهری، پوشش گیاهی و رطوبت ارزیابی شد. به‌منظور ارزیابی روش پیشنهادی شهر قم مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد جزایر حرارتی ارتباط معکوس با میزان پوشش گیاهی (۰/۶۱۳-)، آب و رطوبت (۰/۵۳۵-) و با میزان خاک و مناطق مسکونی (۰/۷۰۹) ارتباط مستقیم دارند. با بررسی شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری، مشخص شد که میزان این شاخص در هسته شهر مورد مطالعه نسبت به حاشیه شهر کمتر است؛ از جمله دلایل آن می‌توان به گستردگی شهر، عایق‌بندی سقف منازل مسکونی، افزایش تراکم پوشش گیاهی نسبت به حومه شهر، عبور رودخانه از هسته مرکزی شهر و وجود مناطق بایر، جاده‌های کمربندی، کارخانجات و شهرک‌های صنعتی در حومه شهر اشاره کرد. نتایج نشان می‌دهد، روش پیشنهادی روشی کارآمد برای تحلیل عوامل تأثیرگذار بر پدیده جزایر حرارتی است.

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۷ آذر ۱۳۹۹

پذیرش ۴ خرداد ۱۴۰۰

دسترسی آنلاین ۴ خرداد ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

الگوریتم پنجره‌مجازا، تبدیل تسلدکپ، جزایر حرارتی، شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری، دمای سطح زمین.

استناد: غیاثوند ننجی، حسین؛ تشیع، بهنام؛ مؤمنی، مهدی؛ یزدان‌پناه، همایون (۱۳۹۹). مدل‌سازی عوامل مؤثر بر توزیع مکانی و شدت جزایر گرمایی شهر قم با استفاده از تبدیل تسلدکپ. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱ (۱)، ۷۳-۹۱.

doi: 10.22126/GES.2021.5922.2322

مقدمه

جهان با چالش اثرات نامطلوب مصرف بی‌رویه انرژی‌های فسیلی روبه‌رو است. این روند باعث به‌وجود آمدن تغییرات اقلیمی و افزایش غلظت آلاینده‌ها و در نتیجه باعث افزایش درجه حرارت شهرها می‌شود (رفیعیان و رادب^۱، ۲۰۱۶؛ شیخی و همکاران، ۱۳۹۹). شهرهایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند، به‌طور معمول نسبت به محیط اطراف خود به دلیل احاطه‌شدن به وسیله مناطق بایر کویری، دمای کمتری دارند. تغییرات بین پوشش مناطق شهری و غیر شهری، باعث اختلاف دمایی در این مناطق می‌شود (کومارازامی^۲ و همکاران، ۲۰۱۰). این افزایش دما موجب پیدایش جزیره حرارتی شهری^۳ می‌شود؛ از طرف دیگر افزایش جمعیت شهری، رشد مهاجرت روستاییان به شهر و در نتیجه رشد زیرساخت‌های شهری باعث تغییر سریع در الگوی کاربری اراضی شده است. در نتیجه این تغییرات، پوشش گیاهی با ساختمان‌ها و سازه‌ها جایگزین شده است؛ که افزون بر فروپاشی چرخه زیستی، منجر به افزایش تغییرات دمایی در مناطق شهری (ونگ^۴، ۲۰۰۱)، تسریع در تولید گازهای سمی ناشی از ترکیبات بین اکسیدهای مختلف (از جمله NO و NO₂)، تغییر در الگوهای آب‌وهوایی مانند باران و برف (تان^۵ و همکاران، ۲۰۱۰) و افزایش فشار روانی بر مردم می‌شود (دواناتان و دواناتان^۶، ۲۰۱۱).

افزون بر آن کاهش دمای شهر با مصرف انرژی همراه است که از کیفیت هوای شهر کاسته و احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی دیگر را افزایش می‌دهد (لیو و ژانگ^۷، ۲۰۱۱)؛ بنابراین یک تغییر قابل پیش‌بینی در محیط شهری، تغییرات در آب‌وهوای شهری و تشکیل جزایر گرمایی شهری است (شجاعی و همکاران، ۱۳۹۸). این تغییرات از راه تأثیرات خود بر سلامتی انسان، بر کیفیت زندگی شهری اثر می‌گذارد (اولسون^۸ و همکاران، ۲۰۱۵)؛ به همین دلیل، لازم است تا عوامل مؤثر بر ایجاد جزایر حرارتی شهری تشخیص داده شود و سپس راهکارهای کاهش اثرات آن مورد توجه قرار گیرد.

در دو دهه اخیر نیاز به بررسی دمای سطح زمین و عوامل مؤثر بر این پدیده به‌منظور مطالعات محیطی و برنامه‌ریزی شهری با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور، به دلیل پوشش وسیع و به‌هنگام، عدم دسترسی به داده‌های مکانی، تنوع زیاد پوشش اراضی در محیط شهری و دقت بالا به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل شده است (سوبرینو^۹ و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعه جزایر حرارتی به وسیله داده‌های هواشناسی و به‌صورت سنتی توسط مانلی^{۱۰} (۱۹۵۸) صورت گرفته است. پس از آن با استفاده از سنجش‌ازدور، افق‌های جدیدی برای مشاهده و تحلیل عوامل مؤثر بر جزایر حرارتی در مقیاس جهانی ایجاد شده است (وجت و اوک^{۱۱}، ۲۰۰۳). در مطالعات پیشین پوشش گیاهی، خاک، مناطق مسکونی و آب یا رطوبت به‌مثابه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر جزایر حرارتی شهری شناخته شده‌اند (یان^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۰؛ اودیندی^{۱۳}، ۲۰۲۰؛ جامعی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۰).

- 1- Rafieiana & Radb
- 2- Comarazamy
- 3- Urban Heat Island
- 4- Weng
- 5- Tan
- 6- Devanathan
- 7- Liu & Zhang
- 8- Oleson
- 9- Sobrino
- 10- Manley
- 11- Voogt & Oke
- 12- Yan
- 13- Odindi
- 14- Jamei

در بسیاری از مطالعات از دمای سطح زمین برای آشکارسازی جزایر حرارتی شهری استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا دمای سطح زمین^۱ تعیین و سپس با استفاده از شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری^۲ به طبقه‌بندی اکولوژیکی جزایر حرارتی شهری پرداخته می‌شود (الفراحت^۳ و همکاران، ۲۰۱۶؛ خالف^۴ و همکاران، ۲۰۲۰). در نهایت به دلیل همبستگی بین عوامل تأثیرگذار بر جزایر حرارتی شهری با تغییرات دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری به تعیین عوامل مؤثر بر جزایر حرارتی شهری پرداخته می‌شود (کائور و پندی^۵، ۲۰۲۰؛ مودد^۶ و همکاران، ۲۰۲۰). به طور معمول از شاخص‌های تفاضلی یکنواخت‌شده گیاهی^۷ و تفاضلی یکنواخت‌شده شهری^۸ که تراکم آن‌ها به ترتیب نقش کاهشی و افزایشی بر UHI دارد، در کنار دیگر شاخص‌های طیفی برای آشکارسازی عوامل پیش‌گفته استفاده می‌شود (گوها^۹ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ایزبو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰؛ دیسانایاک^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰). از جمله مشکلات استفاده از این شاخص‌ها می‌توان به مشکل سه بانده بودن، داده‌های مبهم و بازه عددی بین اعداد منفی تا مثبت اشاره کرد (کریمی زارچی و شاه حسینی، ۲۰۱۹). به همین دلیل ایجاد آستانه مرزی برای شناخت یک پدیده در مناطق مختلف متفاوت است؛ از دیگرسو، به دلیل آنکه هر شاخص چند پدیده در بازه‌های مختلف را بیان می‌کند، برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر جزایر حرارتی شهری نمی‌توان با قطعیت از این شاخص‌ها استفاده کرد.

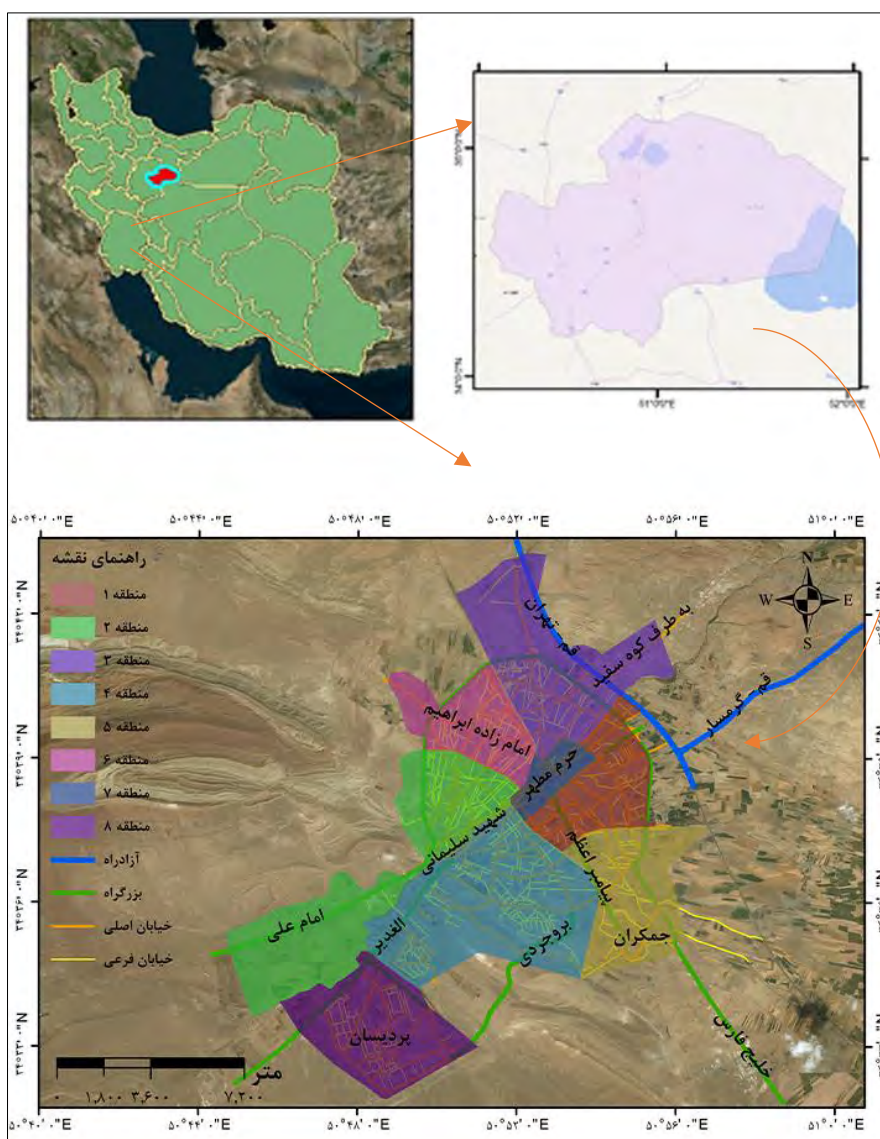
هدف از پژوهش حاضر، شناسایی مناطق بحرانی زیست‌محیطی جزایر حرارتی شهری در منطقه اقلیمی گرم و خشک و رابطه بین شاخص‌های پوشش گیاهی، آب‌وخاک به‌دست‌آمده از تبدیل تسلدکپ^{۱۲} با شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری است. با توجه به اطلاعات هواشناسی مردادماه معادل ماه آگوست^{۱۳}، گرم‌ترین ماه شهر قم است؛ به همین دلیل مدیریت جزایر حرارتی در این ماه مهم است. در نوشتار پیش رو به منظور ارزیابی عوامل مهم مؤثر بر جزایر حرارتی از تصویر ماهواره لندست ۸ به شناسه LC8165036202022LGN00، در تاریخ ۱۹ مرداد ۱۳۹۹ یا ۹ آگوست ۲۰۲۰، با مسیر^{۱۴} و ردیف^{۱۵} به ترتیب ۱۶۵ و ۳۶، از وب‌سایت^{۱۶} انجمن زمین‌شناسی ایالات متحده^{۱۷} با آزیموت و ارتفاع خورشید به ترتیب ۱۲۷، ۳۹، ۶۲ و ۲۸ در سیستم مختصات^{۱۸} WGS 84 در زون UTM^{۱۹} ۳۹ نیم‌کره شمالی، با استفاده از هردو سنسور OLI-TIRS^{۲۰} با کیفیت ۹ و پوشش ابر^{۲۱} ۰/۰۴ استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، نقش مؤثر در پژوهش‌های برنامه‌ریزی شهری به‌منظور اقدامات

- 1- Land Surface Temperature (LST)
- 2- Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI)
- 3- Alfraitat
- 4- Khallef
- 5- Kaur & Pandey
- 6- Mudede
- 7- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 8- Normalized Difference Build-up Index (NDBI)
- 9- Guha
- 10- Isioye
- 11- Dissanayake
- 12- Tasseled Cap Transformation (TCT)
- 13- August
- 14- Path
- 15- Row
- 16- <https://glovis.usgs.gov>
- 17- United States Geology Society (USGS)
- 18- Datum
- 19- Universal Transverse Mercator (UTM) Zone
- 20- Operational Land Imager-Thermal Infrared Sensor
- 21- Land Cloud Cover

زیرساختی و همچنین به حداقل رساندن آثار نامطلوب جزایر حرارتی شهری دارد.

معرفی منطقه مورد بررسی

شهر قم، به دلیل واقع شدن در اقلیم گرم و خشک بین مناطق کویری و مناطق معتدل در فلات مرکزی ایران، عبور رودخانه از مرکز شهر و وجود مناطق بایر در اطراف شهر، تغییرات دمایی بالایی داشته و منطقه مطالعاتی مناسبی برای بررسی جزایر حرارتی و عوامل مهم تأثیرگذار بر آن است. این شهر از $32^{\circ} 34'$ تا $34^{\circ} 34'$ عرض شمالی و $44^{\circ} 44'$ تا $50^{\circ} 56'$ طول شرقی در زون ۳۹ و در ۱۲۵ کیلومتری جنوب تهران واقع شده است (شکل ۱). شهر قم به مرکزیت استان قم در کنار رودخانه قمرود و در دشت قم قرار دارد. قدمت آن از سال ۶۰ هجری بوده و براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، شهر قم تعداد ۱۲۰۱۱۵۸ نفر جمعیت دارد و با این جمعیت در رتبه هفتمین شهر پرجمعیت ایران قرار دارد. رشد جمعیت این شهر ۱/۲٪ است که جزء بالاترین نرخ‌های رشد جمعیت در ایران است و تراکم جمعیت آن ۷۲۵۷ نفر بر کیلومتر مربع است. از نقطه نظر جغرافیایی مساحت این شهر ۱۲۳۰۷۳ کیلومتر مربع است. ارتفاع متوسط شهر قم ۹۳۰ از سطح دریا است (رنجبر، ۱۳۹۶: ۱۷۹).



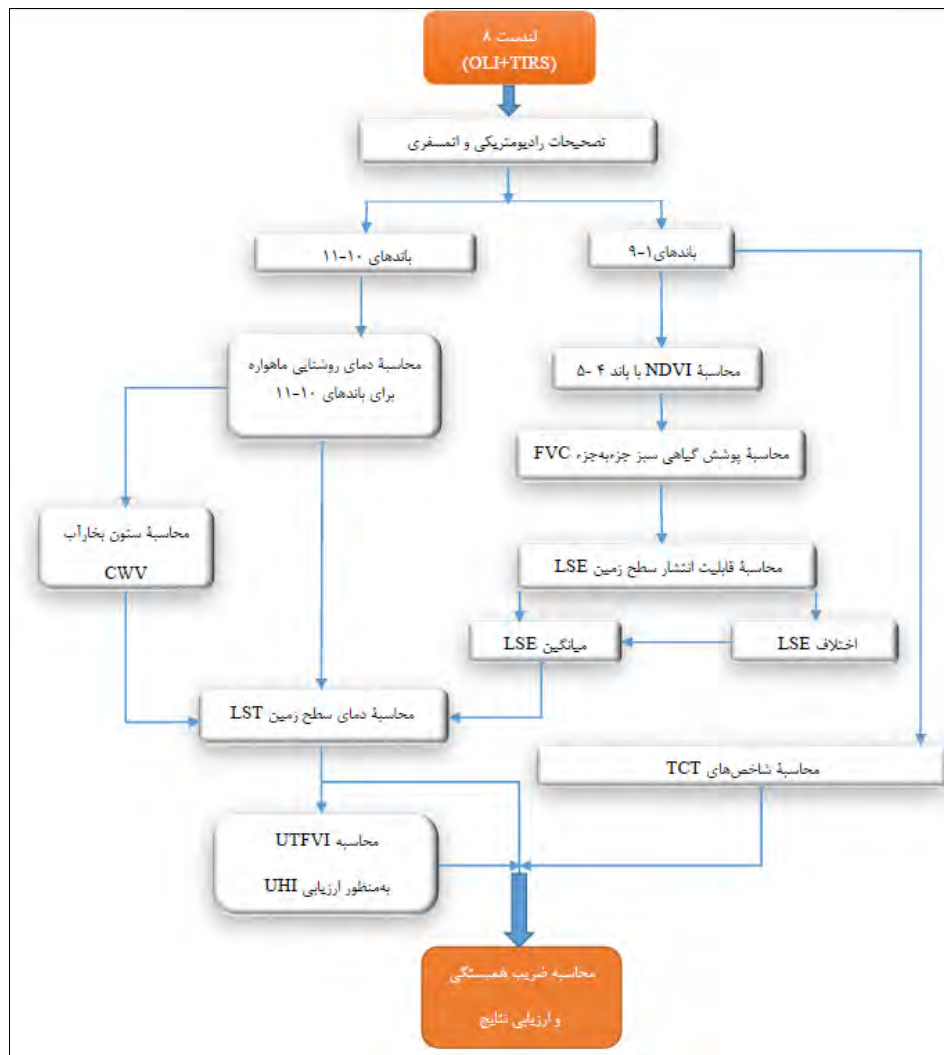
شکل ۱. موقعیت شهر قم

مواد و روش‌ها

در این بخش ابزارها و روش‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی عوامل مؤثر بر جزایر گرمایی شهری با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدور بحث و بررسی شده است (شکل ۲).

تصحیحات رادیومتری و اتمسفری

تصحیحات رادیومتریکی برای حذف اثر هر عاملی که باعث شود انرژی رسیده به سنجنده با انرژی منتشرشده از سطح یکسان نباشد، همچون زمین، اتمسفر و سنجنده، استفاده شدند (هال^۱ و همکاران، ۱۹۹۱). به‌منظور حذف اثر اتمسفر در پخش و جذب امواج الکترومغناطیسی از روی باندهای بازتابی، تصحیحات اتمسفری مورد استفاده شدند (پرکینز^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). در نوشتار پیش رو از تصحیح اتمسفری مبتنی بر مدل‌های انتقال تابشی FLAASH^۳ بر روی باندهای تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. در ادامه شاخص‌های مورد نیاز با استفاده از تصاویر تصحیح‌شده تولید شدند.



شکل ۲. مراحل انجام روش پیشنهادی به‌منظور آشکارسازی و بررسی جزایر حرارتی شهری با تبدیل تسلدکپ

- 1- Hall
- 2- Perkins
- 3- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hyper cubes

تبدیل تسلدکپ

تبدیل تسلدکپ یک ابزاری کارآمد برای فشرده‌سازی داده‌های چندطیفی است. به‌طوری که امروزه در سنجش‌ازدور کاربرد بیشتری نسبت به تحلیل مؤلفه اصلی^۱ دارد؛ زیرا می‌تواند داده‌های چندطیفی را در چند باند متناسب با ویژگی‌های فیزیکی مرتبط فشرده کرده و در نتیجه قابلیت درک بهتر و قابل فهم‌تری را از کاربری اراضی به‌منظور طبقه‌بندی پوشش زمین ایجاد می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۱۴). روش TCT برای ایجاد شاخص‌های خاص بر روی سنجنده OLI تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به‌منظور بررسی کاربری اراضی مانند پوشش گیاهی، رطوبت، خاک و غیره استفاده می‌شود (بیگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۴)؛ و مهم‌ترین این شاخص‌ها عبارت‌اند از:

- روشنایی^۳ برای شناسایی پدیده‌هایی مانند خاک بایر و مناطق مسکونی؛

- سبزیگی^۴ برای شناسایی پوشش گیاهی؛

- رطوبت^۵ برای شناسایی آب و رطوبت؛

هریک از شاخص‌های پیش‌گفته با استفاده از روابط ۱ تا ۳ از مجموع حاصل ضرب ارزش هر پیکسل باند مورد نظر در ضریب خاص خود (جدول ۱) حاصل می‌شود (بالچیک و ارژن، ۲۰۱۶).

رابطه ۱

رابطه ۲ () () ()

رابطه ۳

الگوریتم پنجره‌مجزا

پس از تصحیح تصاویر ماهواره لندست ۸ به‌منظور بررسی جزایر حرارتی، دمای سطح زمین با استفاده از این تصاویر تعیین می‌شود. در واقع تصاویر سنجش‌ازدور مادون قرمز و حرارتی به‌دلیل پوشش وسیع، منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه نقشه‌های حرارتی سطح آب و خشکی هستند. حرارت سطح زمین شاخص مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است. از آنجاکه ایستگاه‌های هواشناسی فقط اطلاعات دما را برای نقاطی خاص اندازه می‌گیرند، روش الگوریتم پنجره‌مجزا یکی از روش‌های مناسب برای تعیین دمای سطح زمین است.

جدول ۱. ضرایب تبدیل تسلدکپ لندست ۸ (بالچیک و ارژن، ۲۰۱۶)

شاخص	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
روشنایی	۰/۳۰۲۹	۰/۲۷۸۶	۰/۴۷۳۳	۰/۵۵۹۹	۰/۵۰۸	۰/۱۸۷۲
سبزیگی	-۰/۲۹۴۱	-۰/۲۴۳	-۰/۵۴۲۴	۰/۷۲۷۶	۰/۰۷۱۳	-۰/۱۶۰۸
رطوبت	۰/۱۵۱۱	۰/۱۹۷۳	۰/۳۲۸۳	۰/۳۴۰۷	-۰/۷۱۱۷	-۰/۴۵۵۹

1- Principal Component Analysis (PCA)

2- Baig

3- Brightness

4- Greenness

5- Wetness

6- Balcik & Ergene

در ابتدا پردازش مقدماتی برای تبدیل رادیانس بالای اتمسفر به تابش سطح زمین صورت می‌گیرد؛ سپس با محاسبه قابلیت انتشار، دمای روشنایی ماهواره و ستون بخار آب، مراحل تعیین دمای سطح زمین انجام شده و در پایان نقشه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه استخراج می‌شود. این الگوریتم از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین به‌شمار می‌رود که نسبت به سایر روش‌ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار است. ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوّی است؛ بدین‌منظور برای تعیین دمای سطح زمین مراحل زیر انجام می‌پذیرد.

شاخص پوشش گیاهی

شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد؛ بنابراین به‌عنوان یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین^۱ به‌شمار می‌رود. برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باندهای قرمز (باند ۴) و مادون قرمز نزدیک (باند ۵) تصاویر لندست استفاده شده است. شاخص پوشش گیاهی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (الکساندر^۲، ۲۰۲۰).

رابطه ۴

پوشش گیاهی سبز جزء به جزء

پوشش گیاهی سبز جزء به جزء در بسیاری از مطالعات کاربردی محیط‌زیست و تغییرات آب‌وهوایی کاربرد دارد (جانسون^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). رابطه آن برگرفته از الگوریتمی وابسته به یک تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی مخلوط طیفی^۴ براساس شاخص پوشش گیاهی، در مقیاس جهانی است و از رابطه ۵ محاسبه می‌شود (وو^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

رابطه ۵

در این رابطه FVC^6 پوشش گیاهی سبز جزء به جزء، $NDVI$ شاخص پوشش گیاهی، $NDVI_s$ مناطق بدون پوشش گیاهی و $NDVI_v$ مناطق پوشیده از پوشش گیاهی است.

برآورد قابلیت انتشار

برای محاسبه قابلیت انتشار اجسام مختلف ابتدا شاخص پوشش گیاهی و نیز مقادیر کمینه و بیشینه این شاخص را محاسبه کرده، سپس نسبت پوشش گیاهی را به‌دست آورده و در انتها با استفاده از رابطه بین شار تابشی و شاخص پوشش گیاهی، قابلیت انتشار اجسام را به‌دست می‌آورند. از رابطه ۶ نسبت پوشش گیاهی و از رابطه ۷ قابلیت انتشار اجسام محاسبه می‌شود (صدیق و غفار^۷، ۲۰۱۹).

رابطه ۶

- 1- Land Surface Temperature
- 2- Alexander
- 3- Johnson
- 4- Spectral Mixture Analysis
- 5- Wu
- 6- Fraction of Vegetation Cover
- 7- Siddique & Ghaffar

رابطه ۷

در این شاخص PV^1 : نسبت پوشش گیاهی، $NDVI_{Max-Min}$: حداقل و حداکثر ارزش پوشش گیاهی و E^2 : قابلیت انتشار اجسام مختلف است.

برآورد قابلیت انتشار سطح زمین

برآورد قابلیت انتشار برای محاسبه دمای سطح زمین لازم است. مقدار این معیار به صورت جداگانه در هر دو باند حرارتی ماهواره نلدست ۸ برای گیاه و خاک مطابق جدول ۲ است که از رابطه ۸ محاسبه می شود (نوارما و آجیرا^۳، ۲۰۲۰).

رابطه ۸

در این شاخص LSE^4 : قابلیت انتشار سطح زمین، $ES-v$: قابلیت انتشار خاک و گیاه برای باندهای حرارتی (جدول ۲) و FVC نسبت پوشش گیاهی است.

پس از محاسبه برآورد قابلیت انتشار سطح زمین برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین برآورد قابلیت انتشار سطح زمین از رابطه ۹ و ۱۰ محاسبه می شود.

رابطه ۹

رابطه ۱۰

پس از آن درخشندگی بالای جواز رابطه ۱۱ محاسبه می شود (زارع^۵ و همکاران، ۲۰۲۰).

رابطه ۱۱

در این شاخص: رادیانس چندگانه باند ۱۰ و ۱۱ موجود در فایل متادیتا^۶، عامل مقیاس سازی باند ۱۰ و ۱۱ موجود در فایل متادیتا^۷، مقادیر رقومی پیکسل استاندارد باندها^۸ موجود در فایل متادیتا و تابش طیفی^۹ است.

جدول ۲. برآورد قابلیت انتشار برای خاک و گیاه (یو^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۴)

گیاه	خاک	قابلیت انتشار
۰/۹۸۶۳	۰/۹۶۶۸	باند ۱۰
۰/۹۸۹۶	۰/۹۷۴۷	باند ۱۱

1- Proportion Vegetation

2- Emissivity

3- Nwaerema & Ajiere

4- Land Surface Emissivity

5- Zare

6- Radiance multiplicative scaling factor for the band (RADIANCE_MULT_BAND_n from the metadata)

7- Meta Data

8- Radiance additive scaling factor for the band (RADIANCE_ADD_BAND_n from the metadata)

9- Level 1 pixel value in DN

10- p m μm

11- Yu

برآورد دمای روشنایی ماهواره

داده‌های باند حرارتی را می‌توان با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد که این شاخص از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود (اکتاویانینگرام^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).

رابطه ۱۲

در این شاخص BT^2 دمای روشنایی ماهواره به درجه سانتی‌گراد، تابش طیفی باند مورد نظر، K_1 و K_2 ثابت کالیبراسیون سنجنده موجود در فایل متادیتا به ترتیب برای باند ۱۰ معادل $774/89$ و $1321/08$ و برای باند ۱۱ معادل $480/89$ و $1201/14$ است.

برآورد ستون بخار آب

پس از محاسبه دمای روشنایی ماهواره برای هر دو باند ۱۰ و ۱۱، ستون بخار آب محاسبه می‌شود. در واقع برآورد ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند. ضرایب ثابت C_0 تا C_6 به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند که از راه شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین حاصل می‌شوند (جدول ۳) (جیمز موز^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). برآورد ستون بخار آب از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود (دو^۴ و همکاران، ۲۰۱۵).

رابطه ۱۳

$$\ast(-) \quad \ast(-)$$

در این شاخص CWV^5 برآورد ستون بخار آب، $\left(\frac{T_j}{T_i}\right)$ بیانگر نسبت دمای روشنایی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ است.

محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین یکی از محصولات مهم قابل اندازه‌گیری با سنجنده‌های سنجش از دور است. به‌طور کلی یکی از خروجی‌های سنجش از دور حرارتی تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین از خشکی‌ها و یکی از روش‌های محاسبه آن استفاده از الگوریتم پنجره مجزا است.

جدول ۳. ضرایب ثابت برآورد بخار آب (جیمز موز و همکاران، ۲۰۱۴)

ارزش‌ها	ضرایب ثابت
-۰/۲۶۸	C_0
۱/۳۷۸	C_1
۰/۱۸۳	C_2
۵۴/۳	C_3
-۲/۲۳۸	C_4
-۱۲۹/۲	C_5
۱۶/۴	C_6

1- Oktavianingrum

2- Brightness Temperature

3- Jiménez-Muñoz

4- Du

5- Column Water Vapor (CWV)

این الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار است. ویژگی مهم این الگوریتم، حذف اثرات جوی است. دمای سطح زمین از رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود (لطیف^۱، ۲۰۱۴).

$$\text{رابطه ۱۴} \quad (*) \quad () \quad () \quad (*) \quad ()$$

در این شاخص LST: دمای سطح زمین؛ BT₁₁ BT₁₀: دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱؛ C₀...: ضرایب ثابت برآورد بخار آب؛ Δε: اختلاف LSE؛ ε: میانگین LSE و CWV برآورد ستون بخار آب است.

دمای محاسبه شده

مقادیر دمای سطح زمین بیان‌کننده حرارت سطحی جسم است و با دمای هوای دربرگیرنده جسم متفاوت است که از رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود (ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\text{رابطه ۱۵} \quad ()$$

در این شاخص T (air): دمای محاسبه - درجه سانتی‌گراد؛ LST: دمای سطح برحسب درجه سانتی‌گراد است.

ارزیابی جزایر حرارتی و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری

به منظور ارزیابی تأثیر جزایر حرارتی بر کیفیت زندگی شهری می‌توان از شاخص‌های رطوبت - دما^۲، دمای معادل فیزیولوژیکی^۳، دمای مرطوب کره زمین^۴ و واریانس پهنه حرارتی شهری استفاده کرد. شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری، درجه مطلوب حرارتی در سطح شهر را با در نظر گرفتن پدیده جزایر حرارتی شهری بررسی می‌کند (الفراحت و همکاران، ۲۰۱۶).

از دیگر شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری به دلیل ارتباط مستقیم آن با دمای سطح زمین و دسته‌بندی گسترده آن برای ارزیابی اکولوژیک محیط شهری، نسبت به شاخص‌های دیگر کاربرد بیشتری دارد (گوها و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش برای ارزیابی اکولوژیکی جزایر حرارتی شهری با دمای سطح زمین، از شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری استفاده شده است. با استفاده از طبقه‌بندی این شاخص در سطوح مختلف زیست‌محیطی به تجزیه و تحلیل اثر کمی جزایر حرارتی شهری بر روی محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است. شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری از رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود (رنارد^۵ و همکاران، ۲۰۱۹).

$$\text{رابطه ۱۶} \quad \frac{m}{m}$$

در این شاخص UTFVI: شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری؛ T_s: ارزش پیکسل دمای سطح زمین برحسب درجه سانتی‌گراد و T_{mean}: میانگین ارزش پیکسل LST کل منطقه برحسب درجه سانتی‌گراد است.

محاسبه ضریب همبستگی

پس از تعیین شاخص‌های تبدیل تسلدکپ به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه بین این شاخص‌ها بر روی شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری، ضریب همبستگی بین این شاخص‌ها محاسبه می‌شود؛ بنابراین در ابتدا

- 1- Latif
- 2- Temperature Humidity Index (THI)
- 3- Physiological Equivalent Temperature (PET)
- 4- Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT)
- 5- Renard

کوواریانس بین لایه‌های i و j با استفاده از رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه ۱۷} \quad \rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2 \sum_{k=1}^N (Z_j - \bar{Z})^2}}$$

در این شاخص Z : وزن یک سلول؛ i, j : نشان‌دهنده لایه مورد نظر؛ \bar{Z} : میانگین لایه مورد نظر؛ N : تعداد سلول و K : نشان‌دهنده یک سلول خاص است. با استفاده از رابطه ۱۸ ضریب همبستگی بین لایه‌های i و j بیان می‌شود.

$$\text{رابطه ۱۸} \quad \rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2 \sum_{k=1}^N (Z_j - \bar{Z})^2}}$$

در این شاخص σ_i : انحراف معیار لایه مورد نظر است. انحراف معیار نشان‌دهنده فاصله واریانس از مقدار متوسط داده‌ها است؛ و با استفاده از رابطه ۱۹ محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه ۱۹} \quad \sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2}{N}}$$

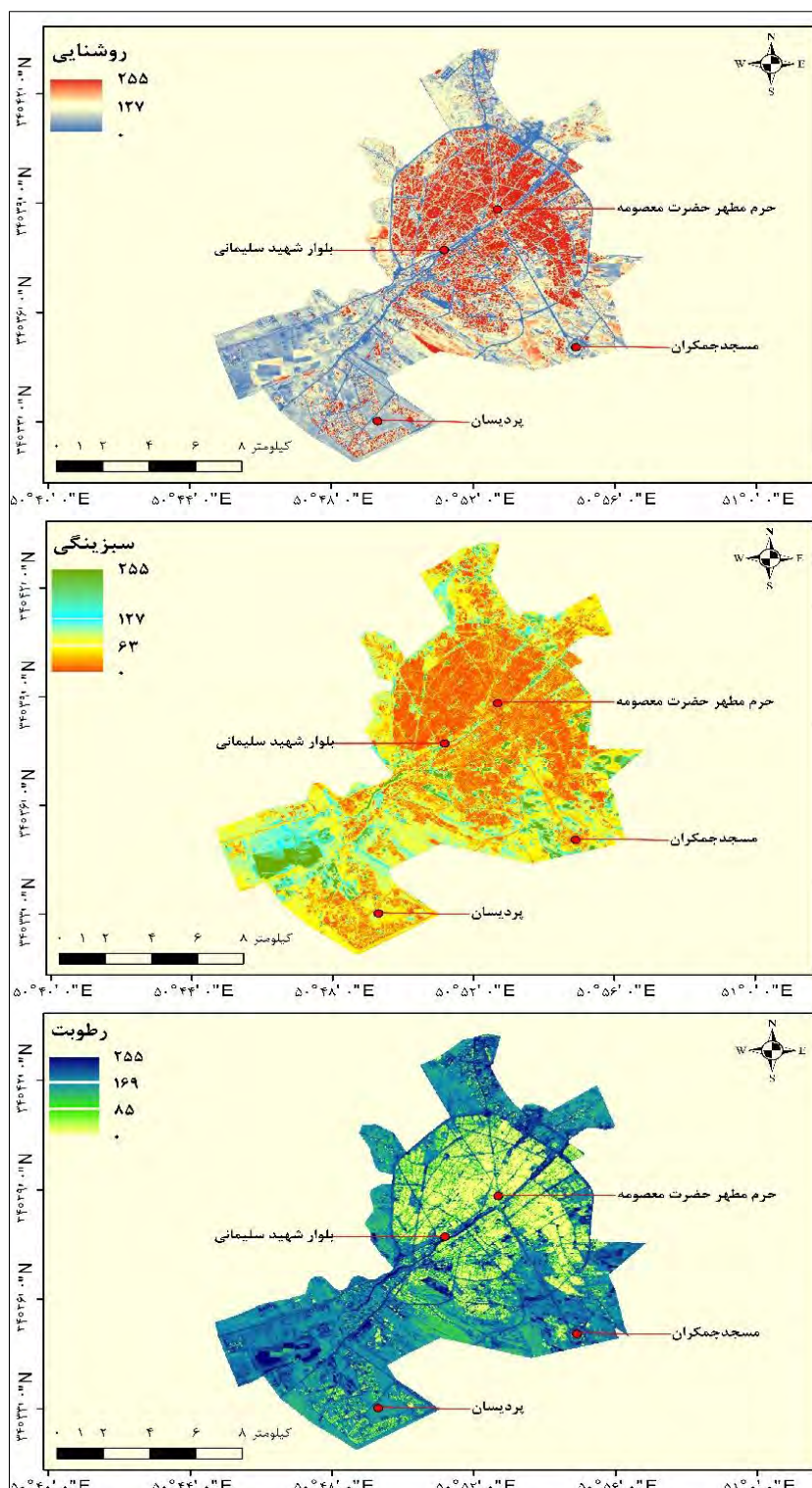
ضریب همبستگی برخلاف کوواریانس بدون واحد است و رابطه بین دو مجموعه از داده‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر این ضریب بین $+1$ و -1 است.

نتایج

در نوشتار پیش رو برای تعیین و ارزیابی عوامل مهم مؤثر بر جزایر حرارتی از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. ابتدا تصحیحات لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود؛ سپس در گام اول برای تعیین رطوبت، پوشش گیاهی و خاک محدوده مورد مطالعه، از شاخص‌های تبدیل تسلدکپ استفاده می‌شود. شاخص‌های بیان‌شده، شاخص‌های تک‌باندی با ارزشی بین -255 تا 0 است؛ به طوری که برای مثال هر اندازه رطوبت یک عارضه بیشتر باشد، میزان ارزش پیکسل آن در شاخص رطوبت به 255 نزدیک‌تر و هر اندازه رطوبت آن کمتر باشد، میزان ارزش پیکسل آن به صفر نزدیک‌تر خواهد بود. در نتیجه خروجی، یک تصویر تک‌باند است (شکل ۳). ضرایب هر یک از باندهای تصاویر ماهواره لندست ۸ برای به‌دست‌آوردن سه شاخص روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت در جدول ۲ نمایش داده شده است (بیگ و همکاران، ۲۰۱۴).

در گام دوم به تعیین دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره‌مجزا به‌عنوان روشی که کمتر تحت تأثیر اثرات اتمسفری قرار می‌گیرد، پرداخته می‌شود. برای محاسبه دمای سطح زمین در گام نخست به تعیین شاخص پوشش گیاهی سبز جزء به جزء و در گام دوم به برآورد قابلیت انتشار و نسبت پوشش گیاهی پرداخته می‌شود. در ادامه پس از برآورد قابلیت انتشار سطح زمین، میانگین و تفاضل قابلیت انتشار برای هر دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ تصاویر ماهواره لندست ۸، در گام سوم به بیان درخشندگی بالای جو و دمای روشنایی ماهواره پرداخته شده است. لازم به ذکر است که به‌منظور تبدیل دمای روشنایی ماهواره برحسب درجه سانتی‌گراد، مقدار آن از $273/15$ کسر شده است. در گام آخر به‌منظور بهبود دقت، ستون بخار آب و درنهایت دمای سطح زمین محاسبه شده است. به‌منظور ارزیابی دمای سطح زمین ابتدا این دما به دمای محاسبه‌شده تبدیل شده و سپس با دمای ایستگاه‌های هواشناسی در سه ایستگاه سینوپتیکی قم، جمکران و کوهسفید با استفاده از روابط ۱۴ و ۱۵ مقایسه شده است

(جدول ۴). بیشترین و کمترین اختلاف دمایی بین دمای محاسبه‌شده شهر قم و دمای ایستگاه سینوپتیک به ترتیب مربوط به ایستگاه قم با مقدار ۱/۶۷۳ درجه سانتی‌گراد و ایستگاه جمکران با ۰/۹۸ درجه سانتی‌گراد است. میزان دمای سطح زمین بین ۲۹ تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد است و دمای سطح زمین در محدوده مرکزی شهر به دلیل مناطق بایر کمتر، پوشش گیاهی متراکم‌تر و عبور رودخانه از مرکز شهر، نسبت به حاشیه کویری شهر کمتر است (شکل ۴).



شکل ۳. نقشه‌های حاصل از شاخص‌های روشنایی، سبزی‌نگی و رطوبت

جدول ۴. مقایسه دمای محاسبه‌شده شهر قم و دمای سطح زمین برگرفته از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های هواشناسی در سه ایستگاه

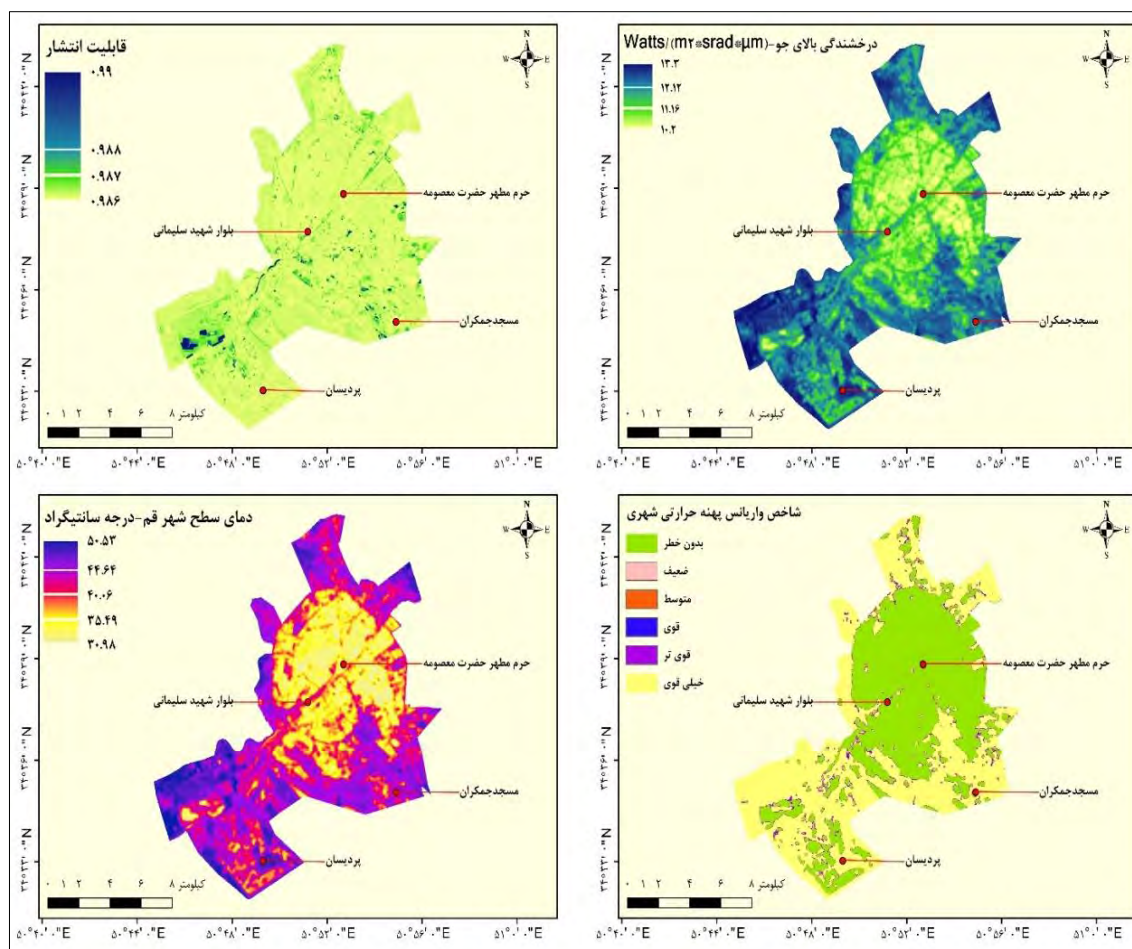
سینوپتیک

نام ایستگاه	دمای سطح زمین	دمای هواشناسی - سانتی‌گراد	دمای محاسبه‌شده - سانتی‌گراد	اختلاف
کوه سفید	۰۸/۳۵	۶/۲۸	۶۷/۲۹	-۱/۰۷
قم	۲۸/۳۴	۳/۲۶	۹۷/۲۷	-۱/۶۷
جمکران	۰۹/۳۸	۹/۲۹	۸۸/۳۰	-۰/۹۸

در گام سوم برای ارزیابی جزایر حرارتی شهر قم، شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری با استفاده از حد آستانه در سطوح زیست‌محیطی مختلف طبقه‌بندی شده است (جدول ۵).

جدول ۵. مقادیر آستانه شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری (لیو و ژانگ، ۲۰۱۱)

ارزیابی زیست‌محیطی	جزیره حرارتی شهری	بازه تغییرات شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری
عالی	بدون خطر	> ۰
خوب	ضعیف	۰ - ۰/۰۰۵
عادی	متوسط	۰/۰۰۵ - ۰/۰۱
بد	قوی	۰/۰۱ - ۰/۰۱۵
بدتر	قوی‌تر	۰/۰۱۵ - ۰/۰۲
خیلی بدتر	خیلی قوی	< ۰/۰۲



شکل ۴. نقشه حاصل از قابلیت انتشار، درخشندگی بالای جو، دمای سطح شهر قم و جزیره حرارتی شهر قم

محاسبه ماتریس همبستگی میان شاخص‌ها

در ادامه به منظور تحلیل و مقایسه بین شاخص‌های تبدیل تسلدکپ که بیانگر رطوبت، پوشش گیاهی، خاک و مناطق مسکونی هستند، با جزایر حرارتی و دمای سطح زمین، کوواریانس (جدول ۶) و ماتریس همبستگی (جدول ۷) میان شاخص‌ها محاسبه شد. مقادیر منفی نشان‌دهنده اثر تضعیفی یا تأثیر منفی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده اثر تقویتی و تأثیر مثبت هر کدام بر دیگری است.

بحث

در نوشتار پیش رو به منظور ارزیابی عوامل تأثیرگذار بر جزایر حرارتی، شاخص‌های تبدیل تسلدکپ به‌عنوان روشی برای آشکارسازی پوشش گیاهی، رطوبت و مناطق مسکونی (خاک) و دمای سطح زمین، از راه پنجره‌مجزا و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری به‌عنوان معیاری برای ارزیابی جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ استفاده شده‌اند. با محاسبه و ارزیابی ضریب همبستگی بین شاخص‌های دمای سطح زمین، واریانس پهنه حرارتی شهری، روشنایی، رطوبت و سبزی‌نگی مشخص شد که بیشترین ضریب همبستگی مثبت مربوط به دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری با مقدار ۰/۹۹۴ است و بیانگر همبستگی مثبت و قوی بین دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری است (جدول ۷). به‌طوری که با افزایش دمای سطح زمین، وسعت جزایر حرارتی در سطح منطقه افزایش می‌یابد (استمن و کومی بواتنگ^۱، ۲۰۲۰). میزان ضریب همبستگی شاخص‌های سبزی‌نگی و رطوبت که به ترتیب بیانگر منطقه مورد مطالعه با کاربری پوشش گیاهی و رطوبت است، با دمای سطح زمین به ترتیب ۰/۵۷۶- و ۰/۵۱۲- و با شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری به ترتیب ۰/۶۱۳- و ۰/۵۳۵- است که نشان‌دهنده ارتباط قوی اما در راستای عکس این شاخص‌ها با دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری است؛ به عبارت دیگر با افزایش کاربری از نوع پوشش گیاهی یا رطوبت، دمای سطح زمین و وسعت جزایر حرارتی کاهش می‌یابد (سویدان^۲، ۲۰۲۰)؛ و میزان تأثیر معکوس شاخص سبزی‌نگی از شاخص رطوبت بر روی دمای سطح زمین و در نتیجه جزایر حرارتی بیشتر است.

جدول ۶. کوواریانس بین دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری با شاخص‌های تبدیل تسلدکپ

کوواریانس	دمای سطح زمین	شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری		رطوبت	روشنایی	سبزی‌نگی
		شهری	شهری			
دمای سطح زمین	۱۴/۶۷۲	۰/۳۸۵	۰/۳۸۵	-۱۱۲/۶۹۲	۱۴۴/۷۲۹	-۱۱۹/۱۵۱
شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری	۰/۳۸۵	۰/۰۱	۰/۰۱	-۳/۱۱۱	۳/۵۸۶	-۳/۳۴۵
روشنایی	۱۴۴/۷۲۹	۳/۵۸۶	۳/۵۸۶	-۱۰۸۷/۳۸۴	۱۶۹۴/۷۷۴	-۱۳۵۱/۶۴۴
رطوبت	-۱۱۲/۶۹۲	-۳/۱۱۱	-۳/۱۱۱	۳۳۰۶/۳۵۴	-۱۰۸۷/۳۸۴	۲۵۶۱/۵۱۸
سبزی‌نگی	-۱۱۹/۱۵۱	-۳/۳۴۵	-۳/۳۴۵	۲۵۶۱/۵۱۸	-۱۳۵۱/۶۴۴	۲۹۱۱/۹۴

جدول ۷. ضریب همبستگی بین دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری با شاخص‌های تبدیل تسلدکپ

ضریب همبستگی	دمای سطح زمین	شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری		رطوبت	روشنایی	سبزی‌نگی
		شهری	شهری			
دمای سطح زمین	۱	۰/۹۹۴	۰/۹۹۴	-۰/۵۱۲	۰/۶۴۸	-۰/۵۷۶
شاخص واریانس پهنه حرارتی شهری	۰/۹۹۴	۱	۱	-۰/۵۳۵	۰/۷۰۹	-۰/۶۱۳
روشنایی	۰/۶۴۸	۰/۷۰۹	۰/۷۰۹	-۰/۴۵۹	۱	-۰/۶۰۸
رطوبت	-۰/۵۱۲	-۰/۵۳۵	-۰/۵۳۵	۱	-۰/۴۵۹	۰/۸۲۶
سبزی‌نگی	-۰/۵۷۶	-۰/۶۱۳	-۰/۶۱۳	۰/۸۲۶	-۰/۶۰۸	۱

1- Stemm & Kumi-Boateng

2- Soydan

در واقع درختان و به‌طور کلی پوشش گیاهی، افزون بر ایجاد سایه، به‌دلیل رطوبتی که در سطح اطراف خود در نتیجه تبخیر و تعرق ایجاد می‌کنند، تأثیر مضاعف بر خنک‌کنندگی و پایین‌آوردن دما دارند؛ افزون بر آن، به‌دلیل جذب دی‌اکسید کربن که یکی از عامل‌های افزایش دما است، باعث کاهش دمای سطح اطراف خود می‌شوند. با توجه به ضریب همبستگی مثبت و کمابیش قوی بین شاخص روشنایی که بیانگر مناطق مسکونی و خاک است، به‌ترتیب با شاخص‌های دمای سطح زمین و واریانس پهنه‌ی حرارتی شهری به‌میزان ۰/۶۴۸ و ۰/۷۰۹ است، شاخص یادشده مؤثرترین عامل در افزایش دمای سطح منطقه مورد مطالعه و در نتیجه در افزایش جزایر حرارتی در محدوده مورد مطالعه بین شاخص‌های دیگر تبدیل تسلدکپ است.

با بررسی شکل ۴ به‌روشنی مشاهده می‌شود که شاخص واریانس پهنه‌ی حرارتی شهری به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی اکولوژیکی جزایر حرارتی شهری با دمای سطح زمین، به‌طور عمده در دو سطح خیلی مطلوب و نامطلوب طبقه‌بندی می‌شود. مناطق سبزرنگ نشان‌دهنده نبود جزایر حرارتی با ارزیابی زیست‌محیطی مطلوب و مناطق زردرنگ نشان‌دهنده جزایر حرارتی با ارزیابی زیست‌محیطی نامطلوب هستند. در محدوده مورد مطالعه نوشتار پیش رو، جزایر حرارتی به‌دلیل نبود تبخیر، تعرق و سایه به‌خاطر عدم پوشش گیاهی مناسب (رحمان^۱ و همکاران، ۲۰۲۰)، وجود کمربندی‌های طویل با پوشش آسفالت (مهاجرانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ جاتو-اسپینو و سوسایتی^۳، ۲۰۱۹) و کارخانجات صنعتی (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۲) عدم عبور رودخانه از حاشیه شهر و مناطق تپه‌ماهور بایر فراوان، به‌طور عمده در حاشیه هسته مرکزی شهر است.

انتظار می‌رفت مناطق مسکونی در هسته شهر با جذب امواج مادون‌سرخ به‌دلیل وجود مواد بتنی در سازه‌ها دمای بالاتری از حاشیه مرکزی شهر داشته باشند؛ با این وجود، به‌دلیل پراکندگی و گسترش شهر (مورابیتو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱) نسبت به تراکم مناطق مسکونی، ارتفاع کمابیش یکسان و پایین مناطق مسکونی و عایق سفیدرنگ یکپارچه سقف این مناطق، این سطوح به‌صورت سطح تقریباً یکپارچه منعکس‌کننده امواج مادون‌سرخ عمل کرده و باعث افزایش میزان آلبدو^۵ می‌شوند و نسبت به انعکاس این امواج جذب بسیار کمتری دارند (زینزی و آگنولی^۶، ۲۰۱۲؛ سانتاموریس^۷، ۲۰۱۴). در نتیجه برخلاف انتظار، در مجموع میانگین دمای سطح و وسعت جزایر حرارتی در سطح مرکزی شهر از حاشیه شهر کمتر است؛ بنابراین انتظار می‌رود در صورت عدم انجام اقدامات لازم در راستای کاهش جزایر حرارتی در حاشیه نسبتاً کویری شهر، وسعت این جزایر افزایش یافته و مناطق بیشتری از هسته مرکزی شهر را دربر گیرد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی جزایر حرارتی شهر قم، تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از شاخص واریانس پهنه‌ی حرارتی شهری بررسی شد. در ادامه با تعیین شاخص‌های تبدیل تسلدکپ، ضریب همبستگی بین این شاخص‌ها و جزایر حرارتی محاسبه شد. با ارزیابی نتایج مشاهده شد که شاخص‌های سبزی‌نگی و رطوبت با دمای سطح زمین و شاخص واریانس پهنه‌ی حرارتی شهری ارتباط قوی، اما در راستای عکس هم داشتند؛ به همین دلیل، در مناطقی با کاربری پوشش گیاهی یا رطوبت، دمای سطح زمین و وسعت جزایر حرارتی کاهش یافته بود. میزان

- 1- Rahman
- 2- Mohajerani
- 3- Jato-Espino & Society
- 4- Morabito
- 5- albedo
- 6- Zinzi & Agnoli
- 7- Santamouris

تأثیر شاخص سبزی‌نگی بر جزایر حرارتی به دلیل ایجاد هم‌زمان سایه و رطوبت بیشتر از شاخص رطوبت بود. بیشتر مناطق مسکونی با توجه به شاخص روشنائی در هسته اصلی شهر واقع هستند. به دلیل سطوح نفوذناپذیری که این سازه‌ها ایجاد می‌کنند، انتظار می‌رود که میزان جزایر حرارتی در مرکز شهر نسبت به حومه آن بیشتر باشد؛ اما جز در مناطق محدود، در مرکز شهر میزان دمای سطح و در نتیجه جزایر حرارتی نسبت به حومه شهر کمتر است؛ به عبارت دیگر از منظر زیست‌محیطی، در پیرامون شهر شرایط زیان‌بار و سخت‌تری برای سکونت مردم نسبت به هسته شهر فراهم شده است. می‌توان به موارد زیر به‌عنوان برخی از دلایل آن اشاره کرد:

عایق درخشنده سقف منازل مسکونی به دلیل تراکم هسته مرکزی و چگونگی چیدمان هسته‌ای شهر باعث ایجاد یک سطح تقریباً صاف و یکپارچه شده که افزون بر عدم جذب گرمای خورشید، باعث انعکاس درصد بسیار بالایی از نور خورشید شده در نتیجه باعث کاهش دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری می‌شود.

تراکم ساختمان‌ها در هسته مرکزی شهر و نیز ارتفاع نسبتاً یکپارچه آن‌ها منجر به تشکیل کوچه‌هایی شده که با ایجاد سایه می‌توانند باعث کاهش دمای سطح شهر و در نتیجه کاهش جزایر حرارتی شهری در هسته مرکزی نسبت به حومه شهر شوند. عبور رودخانه از مرکز شهر افزون بر کاهش دما، باعث افزایش رطوبت شده که عامل بسیار مطلوبی در کاهش دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری است. وجود بلوارهایی با درختان متراکم در مرکز شهر مانند بلوار امین و بوستان‌ها با پوشش گیاهی متنوع و متراکم مانند بوستان علوی، عامل بسیار مطلوبی در کاهش دمای سطح زمین و جزایر حرارتی شهری است.

در منطقه مورد مطالعه، اطراف شهر پوشیده از مناطق بایر و نیمه‌بایر بوده و برخلاف هسته مرکزی شهر، فاقد پوشش گیاهی یا رطوبت به‌منظور خنثی کردن اثر دمای سطح زمین است. با توجه به اینکه که خاک به‌علت جذب و نگه‌داشتن انرژی خورشیدی اثر گرم‌کننده دارد، منجر به شکل‌گیری جزایر حرارتی در حومه شهر شده است. در نتیجه اگر بتوان میزان پوشش گیاهی در اطراف شهر را افزایش داد و مسیر رودخانه شهری را به گونه‌ای در حومه شهر به گردش درآورد، می‌توان اثر جزایر حرارتی در اطراف شهر قم را کاهش داد و به‌طبع آن میزان دمای سطح شهر نیز کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

از آقایان دکتر مرتضی سقائیان‌نژاد شهردار، دکتر محسن رنجبر معاونت برنامه‌ریزی و سرمایه‌انسانی، مهندس کوروش محمدحسینی رئیس سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات و مهندس روح‌اله حسینی‌المدنی رئیس اداره سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) کلان‌شهر قم به سبب حمایت‌های مدیریتی لازم، کمال تشکر را داریم.

منابع

- رنجبر، محسن (۱۳۹۶). *آمارنامه شهر قم ۱۳۹۶*. قم: ملینا.
- ساسان‌پور، فرزانه؛ ضیائی‌ان، پرویز؛ بهادری، مریم (۱۳۹۲). بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران. *جغرافیا*، ۱۱ (۳۹)، ۲۵۶-۲۷۰.
- شجاعی، مرضیه؛ شایسته، کامران؛ عطایان، بهناز (۱۳۹۸). تأثیر الگوهای سیمای سرزمین بر تغییرات دمای شهری در همدان. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۹ (۳)، ۹۹-۱۱۴.
- شیخی، ولی‌اله؛ ملکوتی، حسین؛ قادر، سرمد (۱۳۹۹). شبیه‌سازی عددی اثرات ثانویه اقدامات طراحی شده کنترلی جزیره حرارتی شهری در تابستان بر کیفیت هوا در کلان‌شهر تهران. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰ (۱)، ۶۹-۹۲.
- کریمی زارچی، آرش؛ شاه‌حسینی، رضا (۱۳۹۸). اندازه‌گیری شدت جزایر حرارتی شهری با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی و شهری؛ مطالعه موردی: شهرهای رشت و لنگرود. *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۸ (۱۱۰)، ۹۱-۱۰۶.

References

- Alexander, C. (2020). Normalised difference spectral indices and urban land cover as indicators of land surface temperature (LST). *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation* 86, 102013.
- Alfrahhat, R., Mulugeta, G. & Gala, T. (2016). Ecological evaluation of urban heat island in Chicago City, USA. *Atmos. Pollut* 4 (1), 23-29.
- Baig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T. & Tong, Q. (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5 (5), 423-431.
- Balcik, F. B. & Ergene, E. (2016). Determining the impacts of land cover/use categories on land surface temperature using Landsat8-OLI. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, 41, 251-256.
- Comarazamy, D. E., González, J. E., Luvall, J. C., Rickman, D. L. & Mulero, P. (2010). A land atmospheric interaction study in the coastal tropical city of San Juan, Puerto Rico. *Earth Interactions*, 14 (16), 1-24.
- Devanathan, P. & Devanathan, K. (2011). Heat island effects. *Green Building with Concrete: Sustainable Design Construction*, 175-226.
- Dissanayake, K., Kurugama, K. & Ruwanthi, C. (2020). Ecological Evaluation of Urban Heat Island Effect in Colombo City, Sri Lanka Based on Landsat 8 Satellite Data. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, 2020, 531-536.
- Du, C., Ren, H., Qin, Q., Meng, J. & Zhao, S. (2015). A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 data. *Remote Sensing*, 7 (1), 647-665.
- Guha, S., Govil, H., Dey, A. & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing* 51 (1), 667-678.
- Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E. & Goetz, S. J. (1991). Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote sensing of environment*, 35 (1), 11-27.
- Isioye, O., Ikwueze, H. & Akomolafe, E. (2020). Urban Heat Island Effects and Thermal Comfort in Abuja Municipal Area Council of Nigeria. *FUTY Journal of the Environment*, 14 (2), 19-34.
- Jamei, E., Ossen, D., Seyedmahmoudian, M., Sandanayake, M., Stojcevski, A. & Horan, B. (2020). Urban design parameters for heat mitigation in tropics. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 134, 110362.
- Jato-Espino, D. & Society. (2019). Spatiotemporal statistical analysis of the Urban Heat Island effect in a Mediterranean region. *Sustainable Cities*, 46, 101427.
- Jiménez- uñ z , J , , J , , ć , , & ó , J surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience remote sensing letters*, 11 (10), 1840-1843.
- Johnson, B., Tateishi, R. & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote sensing*, 4 (9), 2619-2634.
- Karimi Zarchi, A. & Shah Hosseini, R. (2019). Measuring the intensity of urban heat islands using vegetation and urban indices; Case study: Rasht and Langrud cities. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, 28 (110), 91-106 (In Persian).
- Kaur, R. & Pandey, P. (2020). Monitoring and spatio-temporal analysis of UHI effect for Mansa district of Punjab, India. *Advances in environmental research*, 9 (1), 19-39.
- Khallef, B., Biskri, Y., Mouchara, N. & Brahama, K. (2020). Analysis of Urban Heat Islands Using Landsat 8 OLI/TIR Data: Case of the City of Guelma (Algeria). *Asian Journal of Environment Ecology*, 12 (4), 42-51.
- Latif, M. S. (2014). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Ranchi District. *International Journal of Engineering Development Research*, 2 (4), 2840-3849.

- 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 (7), 1535-1552.
- Liu, Q., Guo, Y., Liu, G. & Zhao, J. (2014). Classification of Landsat 8 OLI image using support vector machine with Tasseled Cap Transformation. Paper presented at the 2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC), 10, 665-669.
- Manley, G. (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84 (359), 70-72.
- Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538.
- Morabito, M., Crisci, A., Guerri, G., Messeri, A., Congedo, L. & Munafò, M. J. S. o. T. T. E. (2021). Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. *Science of The Total Environment*, 751, 142334.
- Mudede, M. F., Newete, S. W., Abutaleb, K. & Nkongolo, N. (2020). Monitoring the urban environment quality in the city of Johannesburg using remote sensing data. *Journal of African Earth Sciences*, 171, 103969.
- Nwaerema, P. & Ajiere, S. (2020). Regional Mapping of Land Surface Temperature (LST), Land Surface Emissivity (LSE) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of South-South Coastal Settlements of Rivers State in Nigeria. *World News of Natural Sciences*, 28, 76-86.
- Odindi, J. (2020). The influence of seasonal land-use-land-cover transformation on thermal characteristics within the city of Pietermaritzburg. *South African Journal of Geomatics*, 9 (2), 348-364.
- Oktavianingrum, S., Pin, T. G. & Shidiq, I. P. A. (2020). The Effect of Land Cover Changes on Land Surface Temperature in Tangerang Selatan on 2005, 2008, 2013, and 2018. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 412 (1), 12029.
- Oleson, K. W., Monaghan, A., Wilhelmi, O., Barlage, M., Brunsell, N., Feddema, J., ... Steinhoff, D. (2015). Interactions between urbanization, heat stress, and climate change. *Climatic Change*, 129 (3), 525-541.
- Perkins, T., Adler-Golden, S., Matthew, M., Berk, A., Anderson, G., Gardner, J. & Felde, G. (2005). Retrieval of atmospheric properties from hyper and multispectral imagery with the FLAASH atmospheric correction algorithm. *Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere X*, 597, 59790.
- Rafieiana, M. & Radb, H. R. (2016). Evaluating The Effects of High rise building On Urban Heat Island by Sky View Factor: A case study of Narmak neighborhood, Tehran. *Naqshejahan* 5 (4), 13-22.
- Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T. & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Building Environment* 170, 106606.
- Ranjbar, M (2017). Statistics of Qom city 2017. Qom: Melina.
- Renard, F., Alonso, L., Fitts, Y., Hadjiosif, A. & Comby, J. (2019). Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote sensing*, 11 (3), 299.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703.
- Sasanpour, F; Ziaian, P. & Bahadori, M. (2013). Investigation of land use and land cover and thermal islands in Tehran. *Geography*, 11 (39), 256-270 (In Persian).
- Sheikh, W; Malakouti, H. & Qader, S. (2020). Numerical simulation of the secondary effects of designed urban heat island control measures in summer on air quality in the metropolis of Tehran. *Geography and Environmental Stability*, 10 (1), 69-92 (In Persian).
- Shojaei, M; Shayesteh, K. & Ataeian, B. (2019). The effect of land landscape patterns on urban temperature changes in Hamedan. *Geography and Environmental Stability*, 9 (3), 99-114 (In Persian).

- Siddique, N. P. & Ghaffar, A. (2019). Spatial and Temporal relationship between NDVI and Land Surface Temperature of Faisalabad city from 2000-2015. *European Online Journal of Natural Social Sciences*, 8 (1), 55-64.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment* 90 (4), 434-440.
- Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate* 34, 100688.
- Stemn, E. & Kumi-Boateng, B. (2020). Modelling of land surface temperature changes as determinant of urban heat island and risk of heat-related conditions in the Wassa West Mining Area of Ghana. *Modeling Earth Systems Environment*, 6 (3), 1727-1740.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Li, F. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of Biometeorology*, 54 (1), 75-84.
- Voogt, J. A. & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86 (3), 370-384.
- Weng, Q. (2001). A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International journal of remote sensing*, 22 (10), 1999-2014.
- Wu, J., Zhong, B., Tian, S., Yang, A. & Wu, J. (2019). Downscaling of Urban Land Surface Temperature Based on Multi-Factor Geographically Weighted Regression. *IEEE. Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations Remote Sensing*, 12 (8), 2897-2911.
- Yan, C., Guo, Q., Li, H., Li, L. & Qiu, G. Y. (2020). Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. *Building Environment*, 169, 106541.
- Yu, X., Guo, X. & Wu, Z. (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS— Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote sensing*, 6 (10), 9829-9852.
- Zare, M., Drastig, K. & Zude-Sasse, M. (2020). Tree Water Status in Apple Orchards Measured by Means of Land Surface Temperature and Vegetation Index (LST NDVI) Trapezoidal Space Derived from Landsat 8 Satellite Images. *Sustainability*, 12 (1), 70.
- Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D. & Jiang, P. (2012). Study on urban heat island effect based on normalized difference vegetated index: a case study of Wuhan City. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 574-581.
- Zinzi, M. & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *Energy Buildings*, 55, 66-76.

