

## ■ **The Effects of Urban Geometrical Properties on Land Surface Temperature; the Case of the Tehran Metropolitan Area**

**Pouria Ameri, PhD (corresponding author)**

Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

**Shahram Pourdeihimi, PhD**

Professor Emeritus, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

**Saeed Mashayekh Faridani, MSc**

Professor Emeritus, Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University

In the recent decades, the geometric layouts and morphological elements of cities have increasingly been recognised as influencing the formation and intensification of the urban heat island phenomenon, with many researches conducted on finding the indicators representing these issues in various scales. Although the spatio-temporal effects of these indicators, as well as models for their interpretation and classification has been the subject of some recent studies worldwide, these studies are almost entirely missing for Iranian cases. The present paper studies and assesses the relationship between the land surface temperature and the morphological parameters of the built environment according to the concept of local climate zones, which is a standard framework for describing the form and function of cities in urban climate studies. The local microclimate zones of the Tehran metropolitan area have been studied and assessed based on the method proposed by the World Urban Database and Access Portal Tools. They are classified under seventeen groups in terms of their building geometries and land cover, with a resolution of 100 meters, using Landsat 8 satellite imagery data over the course of a year, integrated by geographic information systems and earth monitoring tools such as Google Earth, ArcGIS and SAGA GIS. The results of spatial and statistical analyses showed that over a year, the highest intensity of surface urban heat islands was related to areas without structures, as well as large-scale, low-rise industrial zones, with high-density, high-rise, and low-density low-rise classes having the least differences with the average land surface temperature. Also, the high-density, low-rise and mid-rise structures have had the lowest average temperature in the whole city during the year.

**Keywords:** Heat Island phenomenon, Land surface temperature, Urban morphologies, Built environment geometries, Local microclimate.

# تأثیر ویژگی‌های هندسی عرصه‌های شهری بر دمای سطح زمین نمونه موردی: کلان‌شهر تهران<sup>۱</sup>

سعید مشایخ فریدنی<sup>۴</sup>

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

پوریا عامری<sup>۲</sup>

شهرام پوردیهیمی<sup>۳</sup>

استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۲۵ فروردین ۱۳۹۹  
پذیرش: ۲۸ تیر ۱۳۹۹  
(صفحه ۷۷-۵۹)

کلیدواژگان: پدیده جزیره حرارتی، دمای سطح زمین، ریخت‌شناسی شهری، هندسه محیط ساخته‌شده، عرصه اقلیم محلی.

## چکیده

در دهه‌های اخیر چیدمان هندسی و عناصر ریخت‌شناسی شهرها به مثابه عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و شدت بخشیدن به پدیده جزیره حرارتی بیش‌ازپیش شناخته و پژوهش‌هایی در خصوص یافتن تأثیرات شاخص‌های معرف این موضوعات در مقیاس‌های فضایی مختلف بر این پدیده انجام شده است، هرچند تأثیر مکانی-زمانی این شاخص‌ها و نیز مدلی برای تفسیر و طبقه‌بندی آن‌ها تنها در سالیان اخیر موضوع برخی از مطالعات بوده است. متأسفانه مطالعات در زمینه شاخص‌های طرح‌شده در شهرهای بزرگ و مهم کشور کماکان مغفول مانده و پژوهش‌هایی با این زمینه کمتر صورت گرفته است. در این مقاله نحوه ارتباط میان دمای سطح زمین با طبقات ریخت‌شناسانه محیط انسان‌ساخت مطابق با الگوی عرصه‌های اقلیم محلی، که یک چارچوب استاندارد برای توصیف شکل و عملکرد شهرها در مطالعات اقلیم شهری است، مطالعه و ارزیابی شده است. عرصه‌های اقلیم محلی برای مناطق شهری کلان‌شهر تهران بر اساس روش پیشنهادی پورتال پایگاه اطلاعات شهری جهان مطالعه و ارزیابی شده و مناطق شهری تهران در مجموع به هفده طبقه مربوط به هندسه احجام ساختمانی و پوشش اراضی، با وضوح (رزولوشن) ۱۰۰ متر و توسط ابزارهای پایش شهری و سامانه‌های اطلاعات

## مقدمه

جغرافیایی نظیر Google Earth، ArcGIS و SAGA GIS و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در طول یک سال طبقه‌بندی گردیده است. نتایج تحلیل‌های فضایی و آماری نشان داد که در طول سال بیشترین شدت جزایر حرارتی مربوط به عرصه‌های فاقد ساختار ساختمانی و همچنین ساختارهای درشت‌دانه و صنعتی بوده و کمترین تفاوت با میانگین دمای کلیه سطوح شهری تهران مربوط به طبقات با ساختارهای بلندمرتبه فشرده و کوتاه‌مرتبه پراکنده است. همچنین ساختارهای کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه فشرده کمترین میانگین دمایی را در طول سال در کل شهر داشته‌اند.

در شروع دهه اخیر بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها اسکان داشته‌اند و طبق پیش‌بینی‌ها روند افزایش تراکم جمعیت در شهرها کماکان در دهه‌های آتی نیز با شدت بیشتر ادامه‌دار خواهد بود. در زمان مشابه در کشور ایران جمعیت شهرنشین بیش از ۷۰٪ جمعیت کل کشور برآورد شده است<sup>۵</sup>. همچنین تراکم جمعیتی در همه نقاط



۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری نگارنده اول است، با عنوان هندسه محیط و پدیده جزیره حرارتی، که به راهنمایی نگارندگان دوم و سوم در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی در شهریورماه ۱۳۹۹ دفاع شده است.

۲. نویسنده مسئول، دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی

P\_ameri@sbu.ac.ir

3. S-deihimi@sbu.ac.ir

(استاد ارجمند جناب آقای دکتر شهرام پوردیهیمی به افتخار سال‌ها خدمت در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی در یک شهریور ۱۳۹۶ بازنشسته شده‌اند. فصلنامه صفا از ایشان قدردانی می‌کند.)

4. Sm-faridani@sbu.ac.ir

(استاد ارجمند جناب آقای دکتر سعید مشایخ فریدنی به افتخار سال‌ها خدمت در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی در یک مهر ۱۳۹۳ بازنشسته شده‌اند. فصلنامه صفا از ایشان قدردانی می‌کند.)

### پرسش‌های تحقیق

۱. آیا شدت جزایر حرارتی شهری تحت تأثیر هندسه محیط ساخته شده قرار دارد؟
۲. آیا عرصه‌های اقلیم شهری قابلیت ارزیابی و پیش‌بینی شدت جزایر حرارتی شهری را دارند؟

مهم جهان غیر از قاره اروپا تا سال ۲۰۵۰ رشد چشمگیری خواهد داشت.<sup>۶</sup> از سوی دیگر، با توجه به اینکه ساختمان‌ها به‌تنهایی منبع انتشار بیش از ۴۰٪ دی‌اکسید کربن در جهان هستند، و همچنین «در ایران بیش از ۴۰ درصد از انرژی تولیدشده در بخش ساختمان مصرف می‌شود»<sup>۷</sup> لزوم به‌کارگیری راهبردهای طراحی پاسخ‌گو به مسائل اقلیمی مرتبط با رشد شهرها بیش‌ازپیش احساس می‌شود.

امروزه اگرچه تنها به میزان ۳٪ از کاربری اراضی سطح کره زمین — ساختمان‌های نزدیک به یکدیگر، پوشش نفوذناپذیر اغلب سطوح، و فضاهای خارجی طراحی و مدیریت شده — برای انسان کاربری شهری دارند، اکثریت جمعیت انسانی زمین و بیشترین تمرکز فعالیت‌های وی در شهرها یعنی در همین میزان جای دارند.<sup>۸</sup> با افزایش تراکم جمعیتی و توسعه شهرها، فضاهای باز را ساختمان‌های بلندمرتبه می‌گیرند و دره‌های شهری با بلوک‌های ساختمانی متراکم در اطرافشان ایجاد می‌شوند و در نتیجه بستر طبیعی جای خود را به مصالح ساختمانی مصنوع می‌دهد. این تغییرات در عناصر ریخت‌شناسی شهرها و جنس سطوح به بالا رفتن دمای شهرها نسبت به نواحی روستایی اطراف، مخصوصاً در شب‌هنگام، می‌انجامد که از آن به اثر «جزیره حرارتی شهری»<sup>۹</sup> یاد می‌شود. روند تشکیل این جزیره در مراکز شهرها از شدت بیشتری برخوردار است و برخی پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که این پدیده می‌تواند تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد اختلاف دما را در خلال شب رقم زند.<sup>۱۰</sup> (ت ۱).

چرخه روزانه دمای هوا در شهرها، به دلیل ظرفیت حرارتی حجمی بالاتر سطوح شهری نسبت به نواحی روستایی اطراف، با تأخیر روبه‌رو می‌شود؛ زیرا مصالح تشکیل‌دهنده سطوح شهری تابش با طول موج کوتاه را بیش از سطوح طبیعی جذب می‌کند و نیز به دلیل افزایش میزان ناهمواری سطوح و در نتیجه کاهش میانگین سرعت جریان هوا، پراکنش همرفتی گرما کاهش می‌یابد. علاوه بر موارد یادشده، کاهش میزان پوشش گیاهی در شهرها سبب پایین آمدن نرخ سرمایش تبخیری می‌گردد و دره‌های مرتفع شهری باعث به دام افتادن گرمای ذخیره‌شده در سطوح و کاهش انتشار گرما با طول موج بلند به سوی آسمان در شبانگاه می‌شوند. با توجه به گرمای تولیدشده توسط انسان در شهرها — به‌صورت‌های مختلف نظیر حمل‌ونقل و گرمایش یا سرمایش ساختمان‌ها — و در نتیجه همه موارد ذکرشده در بستر مصنوع شهر گرمای بیشتری تولید، جذب، و نگهداری می‌شود.

۵. نک: مرکز آمار ایران، *سالنامه آماری کشور ۱۳۹۳*.

6. United Nations, *World Population to 2300*.

۷. نک: دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، *ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳*.

۸. نک:

G. Mills, "Cities as Agents of Global Change".

9. UHI: Urban Heat Island

۱۰. نک:

T.R. Oke, *Boundary Layer Climates*.

۱۱. نک:

Ibid.

12. A.J. Arnfield, "Two Decades of Urban Climate Research: a Review of Turbulance, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island", p. 15.

۱۳. نک:

G.B. Bonan, "The Microclimates of Suburban Colorado (USA) Landscape and Implications for Planning and Design", p. 103; B. Stone & J.M. Norman, "Land Use Planning and Surface Heat Island Formation: A Parcel-based Radiation Flux Approach".

14. Z. Bottyan, et al, "The Relationship between Built-up Areas and the Spatial Development of the Mean Maximum Urban Heat Island in Debrecen, Hungary", p. 414.

۱۵. نک:

I.D. Steward & T.R. Oke, "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies".

16. A. Kantzioura, et al, "Urban Surface Temperature and Microclimate Measurements in Thessaloniki", p. 66.

17. SVF: Sky View Factor

ت ۱. الگوی معمول روزانه: الف) دمای هوای شهر و روستا، ب) نرخ سرمایش و گرمایش، و ج) شدت جزیره حرارتی ایجادشده، مأخذ:

Oke, *Boundary Layer Climates*.

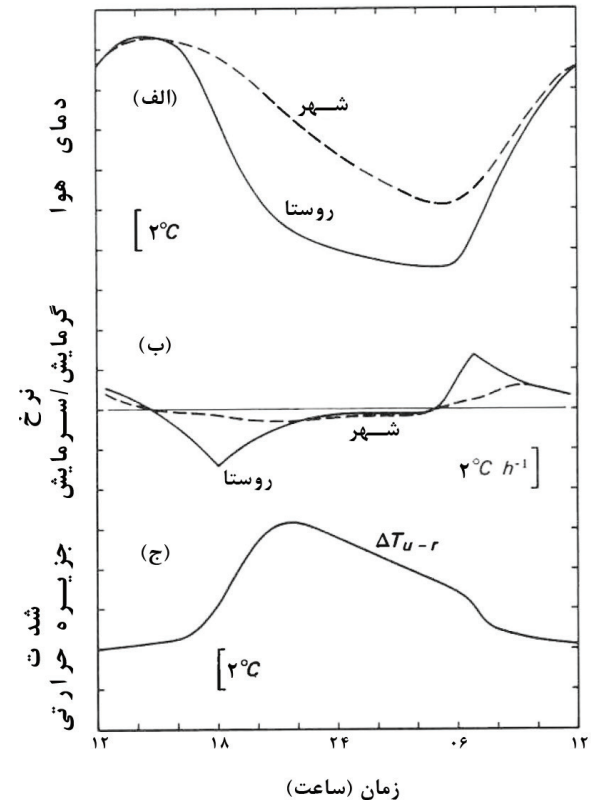
آزمایش شده‌اند.<sup>۱۳</sup> این در حالی است که نقش عوامل سازنده هندسه احجام ساختمانی و ریخت‌شناسی شهری، نظیر ارتفاع ساختمان‌ها، حجم و جرم ساختمان‌ها، و... تا دهه گذشته کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است.<sup>۱۴</sup> در سال‌های اخیر محققان بیشتر بر روی بسط و توسعه نوعی جدید از دسته‌بندی عناصر ریخت‌شناسی در شهرها، با عنوان «عرصه‌های اقلیم محلی»، متمرکز شده‌اند که آن را به واسطه نوع و نحوه توزیع تراکم‌های مختلف ساختمانی و نیز پوشش گیاهی بیان کرده‌اند. این امر باعث فهم بهتر از امکان نقش‌آفرینی مؤثرتر طراحان شهر و معماران در کاهش شدت و آثار پدیده جزیره حرارتی شده است. جالب آنکه اندازه‌گیری‌های میان طبقات مختلف دسته‌بندی نشان می‌دهد که دسته‌هایی با تفاوت در ویژگی‌های هندسی و پوشش سطوح در دو همسایگی شهری مجاور می‌توانند دارای بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف دما باشند و دسته‌هایی با مشابهت در ویژگی‌های فیزیکی کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد اختلاف دمایی را نشان می‌دهند.<sup>۱۵</sup> این موضوع همچنین باعث ایجاد تحول در تعریف پدیده جزیره حرارتی بدین صورت می‌شده که علاوه بر تفاوت‌های دمایی میان محیط شهری و محیط‌های پیرامونی، تفاوت‌ها میان عرصه‌های مختلف درون شهرها در مقیاس‌های محلی نیز موضوعیت یافته‌اند.

در یکی از پژوهش‌هایی که در آن به تحلیل عناصر ریخت‌شناسی شهرها و ارتباط آن با پدیده جزیره حرارتی پرداخته شده است، پژوهشگران از طریق انجام برداشت‌های میدانی متعدد در بازه زمانی مختلف در داخل یک چهارراه و در یکی از شهرهای یونان ارتباط میان ویژگی‌های حرارتی و هندسه بلوک‌های اطراف را طی شرایط گرم تابستانی بررسی کرده‌اند.<sup>۱۶</sup> محققان دیگری تأثیر کمیته شاخص‌هایی نظیر ارتفاع ساختمان‌ها و «شاخص آسمان قابل‌رؤیت»<sup>۱۷</sup> را بر دمای سطح زمین از طریق مشاهده و در محل آزمایش اندازه‌گیری کردند و نتایج نشان داد که این دو شاخص تأثیر زیادی بر تعادل انرژی در سطوح

## ۱. پیشینه موضوع و اهداف پژوهش حاضر

### ۱.۱. پیشینه پژوهش

در پژوهش‌های اولیه در خصوص پدیده جزیره حرارتی شهری نشان داده شده که «شدت این پدیده با لگاریتم تعداد جمعیت افراد شهر نسبت مستقیم دارد».<sup>۱۱</sup> اما از آنجا که گرمای حاصل از فعالیت‌های انسانی تنها عامل مؤثر بر ایجاد این پدیده نیست و نیز افزایش حضور انسان در محیط با افزایش تغییر در آن به صورت ساخت‌وساز همراه است؛ بررسی شاخص‌های ساخت‌وساز نیز از دیرباز مرکز توجه پژوهشگران بوده است.<sup>۱۲</sup> در این خصوص تأثیر شاخص‌هایی نظیر نسبت ساخت‌وساز، الگوی کاربری زمین، نوع و ساختار پوشش گیاهی، تراکم ساختمانی، و... بر پدیده جزیره حرارتی شهری بارها مطالعه و



در مورد مطالعاتی کلان‌شهر تهران. لازم به ذکر است که فهم تأثیرات عناصر ریخت‌شناسی شهری بر دمای سطح زمین در مقیاس‌های مختلف اولین قدم در افزایش توانایی مدیران، برنامه‌ریزان، معماران، و طراحان شهرها در بهبود شرایط حرارتی شهرهاست و طراحی محیط‌هایی با آسایش حرارتی بالاتر در قالب ساخت‌وسازهای جدید و یا بهسازی بافت‌های موجود را ممکن می‌کند.

## ۲. عرصه‌های اقلیم محلی<sup>۲۱</sup>

پیشرفت دانش در علوم مربوط به اقلیم شهری به شدت از کمبودهای اطلاعاتی برای توصیف جنبه‌های شکلی و عملکردی شهرها تأثیر می‌پذیرد، بخصوص هنگامی که مطالعات در مقیاس‌های کوچک‌تر و با سطح وسیع‌تری از جزئیات همراه باشد.<sup>۲۲</sup> در این خصوص و در سالین اخیر پژوهشگران راهکارهای نوین متفاوتی را به منظور استخراج عناصر مورفولوژی شهری و اغلب با استفاده از داده‌های با دسترسی آزاد عرضه کرده‌اند.<sup>۲۳</sup> در پژوهش حاضر به سبب نیاز به توصیف شکل و عملکرد مناطق شهری در مقیاس واحدهای همسایگی و بر اساس چارچوب عرصه‌های اقلیم محلی بیان شده از سوی اوک و استوارت<sup>۲۴</sup> که منظر طبیعی و مصنوع شهر را به طبقات اقلیمی مختلف و بر اساس ویژگی‌های مورفولوژی سطح زمین تقسیم می‌کنند، از روش پیشنهادی «پورتال پایگاه اطلاعات شهری جهان و ابزارهای دسترسی<sup>۲۵</sup>»<sup>۲۶</sup> استفاده شده است. «عرصه اقلیم محلی» یک رویه جهانی برای دسته‌بندی محیط‌های شهری و روستایی در مقیاس واحد همسایگی و بر اساس پایش شاخص‌هایی نظیر نسبت پوشش سطوح، ساختار شهری، مصالح ساخت، و فعالیت‌های انسانی است. «این رویه قابلیت طبقه‌بندی محدوده فضایی شهرها را به عرصه‌هایی با اقلیم حرارتی مشابه ایجاد می‌کند»<sup>۲۷</sup>. باید توجه داشت که این رویه متفاوت از اصطلاح کلیماتوپ<sup>۲۸</sup> شامل محدوده‌های

شهری دارند.<sup>۱۸</sup> یانگ و لی نیز در تحقیق خود از راه مدل‌سازی عددی شاخص‌های سه‌بعدی به این نتیجه رسیدند که تغییرات در ارتفاع ساختمان‌ها باعث افزایش انباشت تابش خورشیدی در سطوح و در نتیجه آن افزایش دمای سطوح خیابان‌ها می‌شود.<sup>۱۹</sup> با این حال، ارتباط میان دمای محیط و عناصر ریخت‌شناسی شهری به‌طور کامل شناخته نشده و در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف به‌صورت کمی تحلیل نگردیده است. در حال حاضر دمای سطح زمین، که از طریق سنجش از راه دور و در زمان‌های مختلف در دسترس پژوهشگران قرار گرفته، نقش مهمی در انجام پژوهش‌ها دارد. اگرچه دمای سطوح مترادف دمای هوا در لایه هوای شهر نیست، در پژوهش‌های بسیاری وجود ارتباط نزدیک دمای هوای نزدیک زمین با دمای سطح زمین تأیید شده است و از دمای سطح زمین به‌منظور سنجش میزان ارتباط پدیده جزیره حرارتی با شاخص‌های مربوط به سطوح شهری بارها استفاده شده است.<sup>۲۰</sup>

### ۲.۱. اهداف پژوهش

اهداف اصلی این پژوهش چنین تعریف می‌شوند: ۱. ارزیابی هم‌زمان تأثیر هندسه محیط‌ساخته و همچنین پوشش سطوح بر الگوی دمای سطح در شهر تهران و ۲. یافتن الگوی تغییرات زمانی- مکانی جزایر حرارتی در طول سال و ارتباط آن با عرصه‌های اقلیم محلی. همچنین در خلال انجام مطالعات اهداف فرعی ذیل نیز دنبال شده است: الف. یافتن یک چارچوب به‌منظور استانداردسازی ویژگی‌های محیط ساخته‌شده در مقیاس شهری و تعیین داده‌ها و اطلاعات لازم برای عملیاتی شدن آن، ب. ارزیابی روش «سنجش از راه دور» به مثابه ابزاری برای گردآوری داده‌هایی با دقت و وسعت بالا، پ. ارزیابی روش طبقه‌بندی خودکار عناصر هندسی محیط در مقیاس مطلوب و در بستر «سامانه اطلاعات جغرافیایی»، و در نهایت ت. به‌کارگیری این چارچوب و روش

۱۸. نک:

Z. Bottyan & J. Unger, "A Multiple Linear Statistical Model for Estimating the Mean Maximum Urban Heat Island".

۱۹. نک:

X. Yang & Y. Li, "The Impact of Building Density and Building Height Heterogeneity on Average Urban Albedo and Street Surface Temperature", p. 150.

۲۰. نک:

J.A. Voogt & T.R. Oke, "Thermal Remote Sensing of Urban Climates", p. 382; Q. Weng, "Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: Methods, Applications, and Trends", p. 338; X. Yang, *Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*, p. 308.

21. LCZ: Local Climate Zones  
22. B. Bechtel, et al, "Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities", p. 201.

### ۳. روش انجام پژوهش

به منظور برآورده کردن اهداف پژوهش پس از معرفی اجمالی ویژگی‌های جغرافیایی کلان‌شهر تهران، در خصوص به‌کارگیری روش‌ها، سرفصل‌های معرفی شده در این بخش انجام و گزارش آن در بخش نتایج این مقاله بیان شده است: الف. معرفی و استخراج شاخص‌های مربوط به هندسه محیط و پوشش سطح زمین و پس از آن طبقه‌بندی عرصه‌های اقلیم محلی در محدوده کلان‌شهر تهران، ب. محاسبه دمای سطح زمین بر اساس داده‌های زمانی ماهواره‌ای در طول یک سال، پ. محاسبه شدت جزایر حرارتی برای هر یک از عرصه‌های اقلیم محلی، و ت. بررسی و تحلیل ارتباط میان طبقات عرضه‌شده و تغییرات فضایی-زمانی جزایر حرارتی در طول سال.

مدیریت، نمایش، و تحلیل داده‌های اولیه و ثانویه مستخرج از مراحل ذکر شده در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی و با نرم‌افزارهای SAGA GIS و ArcGIS 10.4 تولید و تحلیل شده است.

### ۳.۱. نمونه مطالعه و ویژگی آب‌وهوایی

کلان‌شهر تهران یکی از بزرگ‌ترین شهرهای شمال ایران و در شمال غربی کویر مرکزی ایران است و بیشترین جمعیت شهرنشینی را در مقایسه با دیگر شهرهای کشور دارد. تابستان‌های گرم، بهار و پاییز معتدل، و زمستان‌های معتدل تا سرد از ویژگی‌های آب‌وهوایی این شهر است. تیرماه با میانگین حداکثر دمای هوای ۳۸٫۷ درجه سانتی‌گراد و دی‌ماه با حداکثر متوسط ۱۰ و حداقل متوسط ۱٫۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب گرم‌ترین و سردترین شرایط دمایی ماهانه هوا در طول سال هستند. میانگین جمع بارندگی سالانه طی ۶۰ سال اخیر در ایستگاه فرودگاهی مهرآباد ۲۲۹٫۱ میلی‌متر گزارش شده

جغرافیایی با ویژگی‌های خرد اقلیمی مشابه است. اصطلاح اخیر عموماً طبقه‌بندی اراضی را، بر اساس تغییرات روزانه حرارتی، میزان ناهمواری ارتفاعی، شرایط توپوگرافی از لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی، و مهم‌تر از همه بر اساس کاربری اراضی، شامل می‌شود. کلیماتوپ‌هایی نظیر آب، زمین آزاد، جنگل، کمربند سبز، باغ شهر، حاشیه شهر، مرکز شهر، صنعتی، تجاری، و... مثال‌هایی از این نوع از طبقه‌بندی‌های جغرافیایی هستند<sup>۲۹</sup>. نکته مهم در خصوص عرصه‌های اقلیم محلی همه‌شمولی در به‌کارگیری و ارتباط اثبات‌شده این رویه با شاخص‌های قابل اندازه‌گیری درباره شکل و عملکرد شهری است. در چند سال گذشته از مقوله طبقه‌بندی سطوح شهری بر اساس عرصه‌های اقلیمی و مخصوصاً با تمرکز بر ویژگی‌های شکلی سطوح در مطالعات مختلف درباره پدیده جزیره حرارتی شهری به‌طور گسترده استفاده شده است<sup>۳۰</sup>.

عرصه‌های اقلیم محلی به منزله نواحی با پوشش یکسان سطح و همچنین مشابهت ساختار هندسی، مصالح، و فعالیت‌های انسانی شناخته می‌شوند که در مقیاس افقی می‌توانند از صدها متر تا چندین کیلومتر از محیط‌های شهرها به آن‌ها اختصاص یابد. هر عرصه دارای رژیم دمایی منحصر به فردی در محدوده ارتفاعی است که فعالیت‌های انسانی در آن انجام می‌گیرند، و این شرایط دمایی، بخصوص در سطوح خشک، در شب‌ها با آسمان صاف و در غیاب تلاطم شدید هوا قابل تشخیص است.<sup>۳۱</sup> در «ت ۲» طبقات هدفه‌گانه استاندارد شامل ۱۰ طبقه مربوط به محیط‌های مصنوع و ۷ طبقه مربوط به پوشش طبیعی اراضی نشان داده شده است. هر کدام از این طبقات استاندارد در مقیاس محلی — ۱۰۲ تا ۱۰۴ متر — شرایط منحصر به فردی از ترکیب ساختار فضایی نظیر ارتفاع و فاصله ساختمان‌ها و درختان و پوشش سطوح نظیر سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، مصالح، ضریب آلبدو و انتشار حرارتی، و متابولیسم به معنای گرمای ناشی از فعالیت انسانی را دارد.

۳۳. نک:

Ch. Wu & Sh. Lung, "Application of 3-D Urbanization Index to Assess Impact of Urbanization on Air Temperature"; Y. Xu, et al, "Urban Morphology Detection and Computation for Urban Climate Research"; J.M. Sobstyl, et al, "Role of City Texture in Urban Heat Island at Nighttime"; J. Ching, et al, "WUDAPT- An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene".

۳۴. نک:

Steward & Oke, *ibid.*  
25. WUDAPT: World Urban Database and Access Portal Tools

۳۶. نک:

J. Ching, et al, "Pathway Using WUDAPT's Digital Synthetic City Tool towards Generating Urban Canopy Parameters for Multi-scale Urban Atmospheric Modeling".  
27. T.R. Oke, et al, *Urban Climates*, p. 475.  
28. Climatope  
29. E. Ng & C. Ren, *The Urban Climatic Map for Sustainable Urban Planning*, p. 38.  
30. B. Bechtel, et al, "SUHI Analysis Using Local Climate Zones- A Comparison of 50 Cities", p. 3.

۳۱. نک:

Steward & Oke, *ibid.*

گونه‌های ساختمانی	تعریف	گونه‌های پوشش زمین	تعریف
۱. بلندمرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمان‌های بلندمرتبه متراکم تا چند ده طبقه ارتفاع، تعداد کم درختان، پوشش اراضی و مصالح عمدتاً سنگفرش، بتن، سنگ، فلزات، آسفالت و شیشه	الف. درختان متراکم	منظر انبوه درختان خزان‌پذیر یا همیشه‌سبز با پوشش زمین اغلب قابل‌نفوذ و گیاهان کوتاه، کاربری اراضی نظیر جنگل طبیعی، پارک‌های شهری و درخت‌کاری مصنوعی
۲. میان مرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمان‌های متراکم میان‌مرتبه (۳ تا ۹ طبقه) تعداد کم درختان، پوشش اراضی و مصالح عمدتاً سنگفرش، سنگ، آجر، انواع تایل، بتن و آسفالت	ب. درختان پراکنده	منظر پراکنده درختان خزان‌پذیر یا همیشه‌سبز با پوشش زمین اغلب قابل‌نفوذ و گیاهان کوتاه، کاربری اراضی نظیر جنگل طبیعی، پارک‌های شهری و درخت‌کاری مصنوعی
۳. کوتاه‌مرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمان‌های متراکم کوتاه‌مرتبه (۱ تا ۳ طبقه)، تعداد کم درختان، پوشش اراضی و مصالح عمدتاً سنگفرش، سنگ آجر، انواع تایل، بتن و آسفالت	ج. بوته‌زار	چیدمان پراکنده بوته‌ها، گلین‌ها و درختچه‌های کوتاه با پوشش زمین اغلب نفوذپذیر نظیر خاک یا ماسه، کاربری اراضی کشاورزی یا بوته‌زار
۴. بلندمرتبه، پراکنده	چیدمان پراکنده ساختمان‌های بلندمرتبه تا چند ده طبقه ارتفاع، فراوانی پوشش زمین قابل‌نفوذ، گیاهان کوتاه و درختان پراکنده، مصالح ساخت نظیر بتن، فلزات، سنگ و شیشه	د. گیاهان کوتاه	منظر تهی علف‌زار یا مزرعه با تعداد اندک درختان یا کاربری اراضی علف‌زار، کشاورزی، پارک شهری
۵. میان مرتبه، پراکنده	چیدمان از ساختمان‌های پراکنده میان‌مرتبه (۳ تا ۹ طبقه)، تعداد کم درختان، پوشش اراضی و مصالح ساخت نظیر بتن، فلزات، سنگ و شیشه	ه. سنگلاخ یا سنگ‌فرش	منظر تهی یا بستر سنگ یا سنگ‌فرش با تعداد کم درختان و گیاهان با کاربری اراضی سنگلاخ، بیابان طبیعی و حمل‌ونقل شهری
۶. کوتاه‌مرتبه، پراکنده	چیدمان از ساختمان‌های پراکنده کوتاه‌مرتبه (۱ تا ۳ طبقه)، تعداد کم درختان، پوشش اراضی و مصالح ساخت نظیر چوب، آجر، سنگ، انواع تایل و بتن	و. خاک یا ماسه	منظر تهی خاک، شن یا ماسه با تعداد کم درختان و گیاهان با کاربری اراضی بیابان طبیعی، شنزار و کشاورزی
۷. کوتاه‌مرتبه، سازه‌های سبک	ترکیبی متراکم از ساختمان‌های تک‌طبقه با تعداد کم درختان با پوشش اراضی اغلب سخت و غیرقابل‌نفوذ با خاک کوبیده، مصالح سبک ساخت‌وساز نظیر چوب، کلهگل، ورق فلزی موج‌دار و ...	ز. آب	بستر وسیع آب شامل دریا یا دریاچه و بسترهای کوچک‌تر نظیر رودخانه، مرداب، تالاب و آبگیر
۸. کوتاه‌مرتبه، درشت‌دانه	چیدمان پراکنده ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه (۱ تا ۳ طبقه)، با تعداد کم درختان یا پوشش اراضی و مصالح عمدتاً سنگفرش بتن، سنگ، فلز و فولاد		
۹. ساخت‌وساز پراکنده	چیدمان پراکنده ساختمان‌ها با ابعاد کوچک و متوسط در بستر طبیعی، فراوانی پوشش زمین قابل‌نفوذ، گیاهان کوتاه و درختان پراکنده		
۱۰. ساختار صنعتی سنگین	سازه‌های کوتاه‌مرتبه و میان‌مرتبه صنعتی نظیر برج‌ها، تانکرها، سوله‌ها و ... با تراکم کم درختان یا پوشش اراضی و مصالح عمدتاً سنگفرش، خاک کوبیده، فلز، فولاد و بتن		

ت ۲. معرفی خلاصه‌شده عرصه‌های اقلیم محلی مطابق پژوهش، مأخذ: Steward & Oke, "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies".



در نظر گرفته شده برای انجام مطالعات در کلان‌شهر تهران با ابعاد حدودی ۱۵۰ در ۹۰ کیلومتر و از غرب تا شهرستان ملارد، از شرق تا شهرستان فیروزکوه، از شمال محدوده به شهرستان شمیرانات، و از جهت جنوب محدود به شهرستان‌های رباط کریم و پیشوا در نظر گرفته شده است (ت ۳). به منظور استخراج طبقات الگوریتم معروف به جنگل‌های تصمیم‌گیری تصادفی<sup>۳۷</sup> انتخاب شد و به کمک نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی «ساگا»<sup>۳۸</sup> و با بهره‌گیری از ۶ تصویر زمانی ماهواره لندست ۸<sup>۳۹</sup> مطابق «جدول ۱» و بدون دخیل کردن باندهای اتمسفری ۱ و ۹ و همچنین باند پانکروماتیک ۸ و در شبکه ۱۰۰ متر محاسبات صورت پذیرفت.

### ۳.۳. تخمین دمای سطح زمین از طریق سنجش از راه دور<sup>۴۰</sup>

دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده تعادل گرمایی زمین است. دمای هوا بیشترین تأثیر را از دمای سطح گرفته و بدین ترتیب تمامی فعالیت‌های بشری، به صورت مستقیم یا غیرمستقیم به دمای سطح زمین وابسته است.<sup>۴۱</sup> در این پژوهش برای محاسبه دمای سطح زمین در طول یک سال از ۶ مجموعه تصویر ماهواره‌ای لندست ۸<sup>۴۲</sup>، تهیه شده از

است و بیشترین بارش در ماه‌های آبان و دی و کمترین بارش مختص ماه‌های تیر و مرداد بوده است.

این شهر با وسعتی در حدود ۷۰۰ کیلومترمربع، از شمال به رشته‌کوه البرز، از شرق به لواسانات، از غرب به کرج، و از جنوب به دشت ورامین محدود است. شهر تهران از نظر تقسیمات اداری به ۲۲ منطقه، ۱۲۳ ناحیه، و ۳۵۴ محله تقسیم می‌شود.<sup>۳۲</sup> با توجه به جمعیت بیش از ۸/۹ میلیون نفر در مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران در سال ۱۳۹۷، و همچنین جمع مساحت مناطق بدون احتساب حریم - ۶۱/۵۶۲ هزار متر مربع - می‌توان از شهر تهران با تراکم جمعیتی ۱۴۵ نفر در هکتار را یکی از فشرده‌ترین مناطق شهری در جهان دانست.

### ۲.۳. استخراج عرصه‌های اقلیم محلی با روش پورتال پایگاه اطلاعات شهری جهان و ابزارهای دسترسی<sup>۳۳</sup>

در این پژوهش طبقه‌بندی عرصه‌های اقلیم محلی با توجه به روش عرضه‌شده از سوی پایگاه اطلاعات شهری جهان انجام شده است. در مجموع ۲۵۶ محدوده آموزشی<sup>۳۴</sup> شامل طبقات هدفه‌گانه معرفی شده و به منظور استفاده در یکی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۳۵</sup> می‌یادگیری ماشین<sup>۳۶</sup>، در قالب استاندارد انتخاب و برچسب‌گذاری گردید. محدوده فضایی

۳۳. سالنامه آماری شهر تهران، ۱۳۹۷، ص ۲۹.

33. WUDAPT: World Urban Database and Access Portal Tools

34. Training Area

35. Supervised Classification

36. Machine Learning

37. Random Forest

38. SAGA GIS: System for

Automated Geoscientific

Analysis: O. Conard, et al,

"System for Automated

Geoscientific Analyses (SAGA)

v. 2.1.4"

39. USGS Earth Explorer, 2019

40. Remote Sensing

41. نک:

J. Zhang, et al, "A C++

Program for Retrieving Land

Surface Temperature from

the Data of Landsat TM/ETM+

Band6", p. 1799.

42. Landsat 8 Satellite

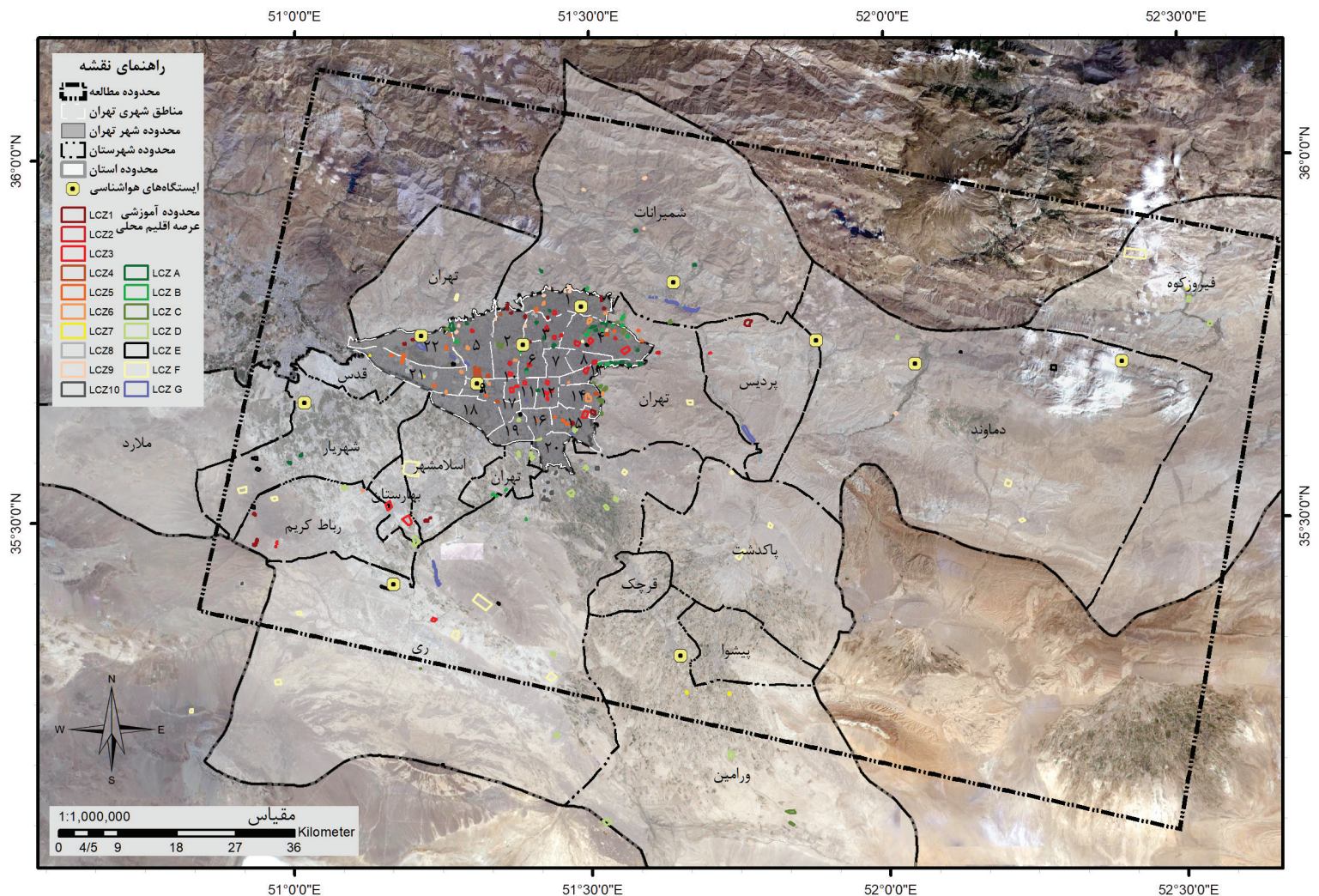
43. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

جدول ۱. معرفی داده‌های ماهواره‌ای، تدوین: نگارندگان.

ردیف	داده ماهواره‌ای	شناسه داده	وضوح (رزولوشن) تصویر	تاریخ برداشت شمسی - میلادی	تحلیل هدف
۱	Landsat 8	LC0816403520190917	۱۰۰ متر و ۳۰ متر	۲۶ شهریور ۱۳۹۸ - ۱۷ Sep ۲۰۱۹	طبقه‌بندی اراضی با وضوح ۱۰۰ متر و استخراج دمای سطح زمین با وضوح ۳۰ متر
۲		LC0816403520190731		۰۹ مرداد ۱۳۹۸ - ۳۱ Jul ۲۰۱۹	
۳		LC0816403520190613		۲۳ خرداد ۱۳۹۸ - ۱۳ Jun ۲۰۱۹	
۴		LC0816403520190221		۰۲ اسفند ۱۳۹۷ - ۲۱ Feb ۲۰۱۹	
۵		LC0816403520190104		۱۴ دی ۱۳۹۷ - ۰۴ Jan ۲۰۱۹	
۶		LC0816403520181117		۲۶ آبان ۱۳۹۷ - ۱۷ Nov ۲۰۱۸	
۷	Google Earth	-	نمونه‌گیری دوباره با ابعاد پیکسلی ۱۰۰ متر	۲۰۱۹ - ۱۳۹۷	طبقه‌بندی اراضی

ت ۳. محدوده مورد مطالعه شامل کلان‌شهر تهران و شهرستان‌های هم‌جوار، مأخذ: عامری، ص ۱۳۸ (مأخذ لایه‌های پایه: پایگاه داده‌ای نرم‌افزار (Google Earth).

پایگاه داده مشترک ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده<sup>۴۳</sup>، که در فصل‌های مختلف سال و با در نظر گرفتن حداقل میزان ابرناکی تصویر انتخاب شده‌اند، مطابق «جدول ۱» استفاده شده است. در ابتدا تصاویر منتخب با در نظر گرفتن محدوده مورد مطالعه برش داده شده و سپس تصحیحات طیفی و هندسی بر روی آن‌ها اعمال گردید. همه تصاویر با سیستم مختصات UTM ناحیه ۳۹ درجه شمالی زمین مرجع گردیده



توسط سوپربینو و خیمینس-مونوس برای داده‌های ماهواره لندست استفاده شد که ابتدا با توجه به گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی از طریق شاخص اختلاف پوشش گیاهی بهنجار شده از باندهای مربوطه ماهواره و ضریب‌های مورد نیاز، میزان گسیلمندی سطح زمین محاسبه شده و سپس با «رابطه ۳» دمای واقعی سطح زمین استخراج می‌شود<sup>۵۲</sup>.

$$T_s = \frac{TB}{1 + (\lambda + \frac{TB}{\rho}) LNE} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این معادله

$T_s$  دمای تصحیح‌شده سطح زمین برحسب کلونین،

$T_B$  دمای جسم سیاه برحسب کلونین،

$\lambda$  طول موج رادیانس گسیل شده و

$\rho$  معادل  $(\mu_{5,11m}) (1,438 \times 10^{-2} mk)$

h ثابت پلانک معادل  $6,626 \times 10^{-34} Js^{-1}$

c سرعت نور  $2,998 \times 10^8 ms^{-1}$

K ثابت استفان بولتزمن  $1,38 \times 10^{-23} JK^{-1}$

و  $\epsilon$  گسیلمندی سطح زمین هست. در انتها و به‌منظور محاسبه دمای سطح زمین برحسب درجه سانتی‌گراد لازم است از «رابطه ۴» استفاده گردد.

$$T(c) = T(K) - 273,15 \quad \text{رابطه ۴}$$

## ۴. یافته‌ها و تحلیل آن‌ها

### ۱.۴. طبقه‌بندی عناصر ریخت‌شناسی در شهر

#### تهران

به‌منظور طبقه‌بندی «عرصه‌های اقلیم محلی» معمولاً به داده‌های تفصیلی در خصوص عناصر ریخت‌شناسی شهری نظیر محدوده سطح اشغال ساختمان‌ها، تراکم ساختمانی، کاربری اراضی، تعداد طبقات، مصالح، و... نیاز است تا بتوان دسته‌بندی را بر اساس ویژگی‌های سطوح انجام داد، هرچند این داده‌ها به سبب محدودیت‌های فناوریانه و سیاست‌گذاری دولتی برای بسیاری از شهرها، حتی در کشورهای توسعه‌یافته،

سنجنده و دمای درخشندگی باندهای حرارتی تصاویر محاسبه شوند. بر این اساس، می‌توان با استفاده از «رابطه ۱» ارزش عددی رقومی باندهای مورد نظر را به تابش طیفی تبدیل کرد:

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه

$L_\lambda$  تابش طیفی در بالای اتمسفر برحسب واحد  $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$ ،  $M_L$  ضریب افزایش باند خاص و  $A_L$  میزان انحراف آن و  $Q_{cal}$  ارزش رقومی باند مورد نظر است که مقادیر ضریب افزایش و میزان انحراف از فایل مرجع تصاویر دریافت‌شده استخراج می‌شود.<sup>۴۵</sup> برای تبدیل تابش طیفی به دمای جسم سیاه از

معکوس رابطه پلانک، «رابطه ۲»، استفاده خواهد شد:

$$T_B = \frac{k2}{Ln(\frac{K1}{L_\lambda}) + 1} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه

$T_B$  دمای روشنایی سنجنده برحسب کلونین،

$K_1$  ثابت کالیبراسیون اول برحسب  $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$ ،

$K_2$  ثابت کالیبراسیون دوم برحسب کلونین، و

$L_\lambda$  تابش طیفی برحسب  $Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1}$  است. لازم به ذکر است که ثابت کالیبراسیون اول و دوم برای هر کدام از باندهای ۱۰ و ۱۱ به تفکیک در فایل فراداده تصویر لندست ۸ قرار داده شده است. پژوهشگران بسیاری به اعتبارسنجی روش‌ها و الگوریتم‌های مختلف استخراج دمای سطح زمین از نتایج دمای روشنایی سنجنده پرداخته‌اند و به‌منظور کار با تصاویر ماهواره‌های لندست روش‌هایی نظیر پنجره تکی<sup>۴۶</sup>، تک‌کانالی<sup>۴۷</sup>، سیال<sup>۴۸</sup>، و پنجره مجزا<sup>۴۹</sup> مکرراً توصیه شده‌اند.<sup>۵۰</sup> در یکی از پژوهش‌ها در خصوص استخراج دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸، پژوهشگران از این روش‌ها برای تخمین دمای سطح و مقایسه آن با داده‌های زمینی (داده‌های دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری ایستگاه‌های هواشناسی) در کلان‌شهر کرج استفاده کرده‌اند.<sup>۵۱</sup> در این پژوهش به سبب قابل قبول بودن مکرر نتایج اعتبارسنجی از روش پیشنهادی

44. Brightness Temperature

45. Department of the

Interior, U.S. Geological

Survey, *LANDSAT 8 (L8) Data*

*User's Handbook*, p. 60.

46. Mono Window Algorithm

47. Single-Channel Algorithm

48. SEBAL: Surface Energy

Balance Algorithm for Land

49. Split-Window Algorithm

۵۰. نک:

A. Sekertekin & S. Bonafoni,

"Land Surface Temperature

Retrieval from Landsat 5,

7, and 8 over Rural Areas:

Assessment of Different

Retrieval Algorithms and

Emissivity Models and

Toolbox Implementation".

۵۱. بهروز ابراهیمی هروی، و همکاران،

«تعیین مناسب‌ترین روش استخراج

دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر

ماهواره لندست ۸ در کلان‌شهر کرج»،

ص ۷۲.

۵۲. نک:

Sobrino, et al, "Land Surface

Temperature Retrieval from

LANDSAT TM 5".

ساختمان‌ها به عرض معابر، ضریب آسمان قابل‌رؤیت، میانگین ارتفاع ساختمان‌ها، و... و شاخص‌های مربوط به پوشش سطوح نظیر ضریب آلودگی سطوح، ضریب انتشار مصالح، و درنهایت شاخص‌های مربوط به عملکرد نظیر گرمای ناشی از فعالیت انسانی مطابق «جدول ۲» تعیین و تأیید شده است. لازم به ذکر است که پژوهشگران در مورد معیار تعداد طبقات به‌منظور طبقه‌بندی ساختمان‌ها از لحاظ ارتفاعی با عنوان بلندمرتبه، میان‌مرتبه، و کوتاه‌مرتبه به‌ترتیب بیش از ۱۰ طبقه، ۴ تا ۹ طبقه، و تا ۳ طبقه توافق دارند.












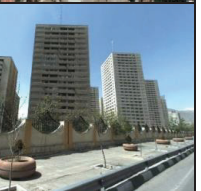
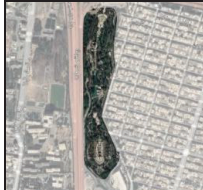
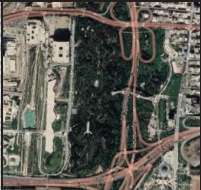

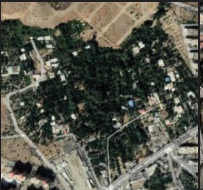














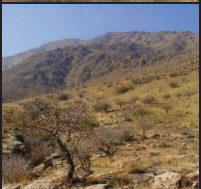
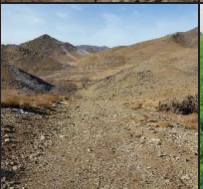


در پژوهش حاضر از ۶ سری تصویر ماهواره‌ی لندست ۸ و همچنین تصاویر پایگاه داده‌ای نرم‌افزار گوگل ارث با سطح پوشش کل محدوده‌ی مورد مطالعه استفاده شده است. این تصاویر شامل باندهای مختلفی هستند که می‌توان به‌واسطه ارزش رقومی هر پیکسل از آن‌ها معیارهای طبقه‌بندی را

در دسترس نیست. روشی که در بخش روش‌شناسی معرفی شد در سالیان اخیر توسط بخش عمده‌ای از اقلیم‌شناسان شهری و به سبب دستیابی به یک رویه‌ی واحد جهانی برای استخراج اطلاعات شکلی و عملکردی شهرها و همچنین بنا به نیاز به تشکیل پایگاه اطلاعاتی مشترک و وسیع به‌منظور مقایسه‌ی ویژگی‌های عرصه‌های اقلیمی در شهرهای مختلف جهان توسعه یافته و به کار گرفته شده است. واضح است که پیش‌نیاز جهانی بودن یک روش مواردی نظیر سهولت دسترسی به داده‌ها و نرم‌افزارها، عینی بودن، ارزان بودن هزینه‌ی محاسبات رایانه‌ای، سرعت عمل بالا، و سهولت اجرای رویه‌ها خواهد بود. از این رو برای مورد پژوهش در کلان‌شهر تهران تعریف عملیاتی هر عرصه شامل بازه‌ای از شاخص‌های مختلف مربوط به شکل نظیر، نسبت سطوح ساخته‌شده به کل سطح، نسبت سطوح قابل نفوذ و نفوذناپذیر به کل سطح، میانگین نسبت ارتفاع

جدول ۲. معرفی شاخص‌های شکلی و عملکردی «عرصه‌های اقلیم محلی»، مأخذ:

Bechtel, et al, "Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities".

ردیف	کد عرصه	ویژگی ریخت‌شناسی	نسبت سطوح ساختمانی (λ <sub>b</sub> )	نسبت سطوح غیرقابل نفوذ (λ <sub>i</sub> )	میانگین نسبت ارتفاع به عرض معابر (λ <sub>s</sub> )	شاخص آسمان قابل‌رؤیت (Ψ <sub>sky</sub> )	میانگین ارتفاع (متر)	ضریب انتشار سطوح گرمای ناشی از فعالیت انسانی (J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1/2</sup> .K <sup>-1</sup> )	انسانی (W.m <sup>-2</sup> )
۱	LCZ 1	بلندمرتبه فشرده	۶۰-۴۰	۶۰-۴۰	>۲	۰/۴-۰/۲	>۲۵	۱۸۰۰-۱۵۰۰	۳۰۰-۵۰
۲	LCZ 2	میان‌مرتبه فشرده	۷۰-۴۰	۵۰-۳۰	۲-۰/۷۵	۰/۶-۰/۳	۲۵-۱۰	۲۲۰۰-۱۵۰۰	<۷۵
۳	LCZ 3	کوتاه‌مرتبه فشرده	۷۰-۴۰	۵۰-۲۰	۱/۵-۰/۷۵	۰/۶-۰/۲	۱۰-۳	۱۸۰۰-۱۲۰۰	<۷۵
۴	LCZ 4	بلندمرتبه پراکنده	۴۰-۲۰	۴۰-۳۰	۱/۲۵-۰/۷۵	۰/۷-۰/۵	>۲۵	۱۸۰۰-۱۴۰۰	<۵۰
۵	LCZ 5	میان‌مرتبه پراکنده	۴۰-۲۰	۵۰-۳۰	۰/۷۵-۰/۳	۰/۸-۰/۵	۲۵-۱۰	۲۰۰۰-۱۴۰۰	<۲۵
۶	LCZ 6	کوتاه‌مرتبه پراکنده	۴۰-۲۰	۵۰-۲۰	۰/۷۵-۰/۳	۰/۹-۰/۶	۱۰-۳	۱۸۰۰-۱۲۰۰	<۲۵
۷	LCZ 7	کوتاه‌مرتبه - ساز سبک	۹۰-۶۰	<۲۰	۲-۱	۰/۵-۰/۲	۴-۲	۱۵۰۰-۸۰۰	<۳۵
۸	LCZ 8	کوتاه‌مرتبه - درشت‌دانه	۵۰-۳۰	۵۰-۴۰	۰/۳-۰/۱	>۰/۷	۱۰-۳	۱۸۰۰-۱۲۰۰	<۵۰
۹	LCZ 9	ساخت‌وساز پراکنده	۲۰-۱۰	<۲۰	۰/۲۵-۰/۱	>۰/۸	۱۰-۳	۱۸۰۰-۱۰۰۰	<۱۰
۱۰	LCZ 10	ساختار صنعتی سنگین	۳۰-۲۰	۴۰-۲۰	۰/۵-۰/۲	۰/۹-۰/۶	۱۵-۵	۲۵۰۰-۱۰۰۰	>۳۰۰
۱۰۱	LCZ A	درختان متراکم	<۱۰	<۱۰	>۱	<۰/۴	۳۰-۳	-	.
۱۰۲	LCZ B	درختان پراکنده	<۱۰	<۱۰	۰/۷۵-۰/۲۵	۰/۸-۰/۵	۱۵-۳	۱۸۰۰-۱۰۰۰	.
۱۰۳	LCZ C	بوته‌زار	<۱۰	<۱۰	۱-۰/۲۵	۰/۹-۰/۷	<۲	۱۵۰۰-۷۰۰	.
۱۰۴	LCZ D	گیاهان کوتاه	<۱۰	<۱۰	<۰/۱	>۰/۹	<۱	۱۶۰۰-۱۲۰۰	.
۱۰۵	LCZ E	سنگلاخ یا سنگ‌فرش	<۱۰	>۹۰	<۰/۱	>۰/۹	<۰/۲۵	۲۵۰۰-۱۲۰۰	.
۱۰۶	LCZ F	خاک یا ماسه	<۱۰	<۱۰	<۰/۱	>۰/۹	<۰/۲۵	۱۴۰۰-۶۰۰	.
۱۰۷	LCZ G	آب	<۱۰	<۱۰	<۰/۱	>۰/۹	-	۱۵۰۰	.

گونه‌های ساختمانی و پوشش زمین					
عرصه اقلیم محلی ۶ کوتاه مرتبه - پراکنده	عرصه اقلیم محلی ۵ میان مرتبه - پراکنده	عرصه اقلیم محلی ۴ بلندمرتبه - پراکنده	عرصه اقلیم محلی ۳ کوتاه مرتبه - فشرده	عرصه اقلیم محلی ۲ میان مرتبه - فشرده	عرصه اقلیم محلی ۱ بلندمرتبه - فشرده
					
					
عرصه اقلیم محلی ۱۰۲ درختان پراکنده	عرصه اقلیم محلی ۱۰۱ درختان متراکم	عرصه اقلیم محلی ۱۰ ساختار صنعتی سنگین	عرصه اقلیم محلی ۹ ساخت و ساز پراکنده	عرصه اقلیم محلی ۸ کوتاه مرتبه - درشت دانه	عرصه اقلیم محلی ۷ کوتاه مرتبه - سازه سبک
					
					
	عرصه اقلیم محلی ۱۰۷ آب	عرصه اقلیم محلی ۱۰۶ خاک یا ماسه	عرصه اقلیم محلی ۱۰۵ سنگلاخ یا سنگ فرش	عرصه اقلیم محلی ۱۰۴ گیاهان کوتاه	عرصه اقلیم محلی ۱۰۳ بوته زار
					
					

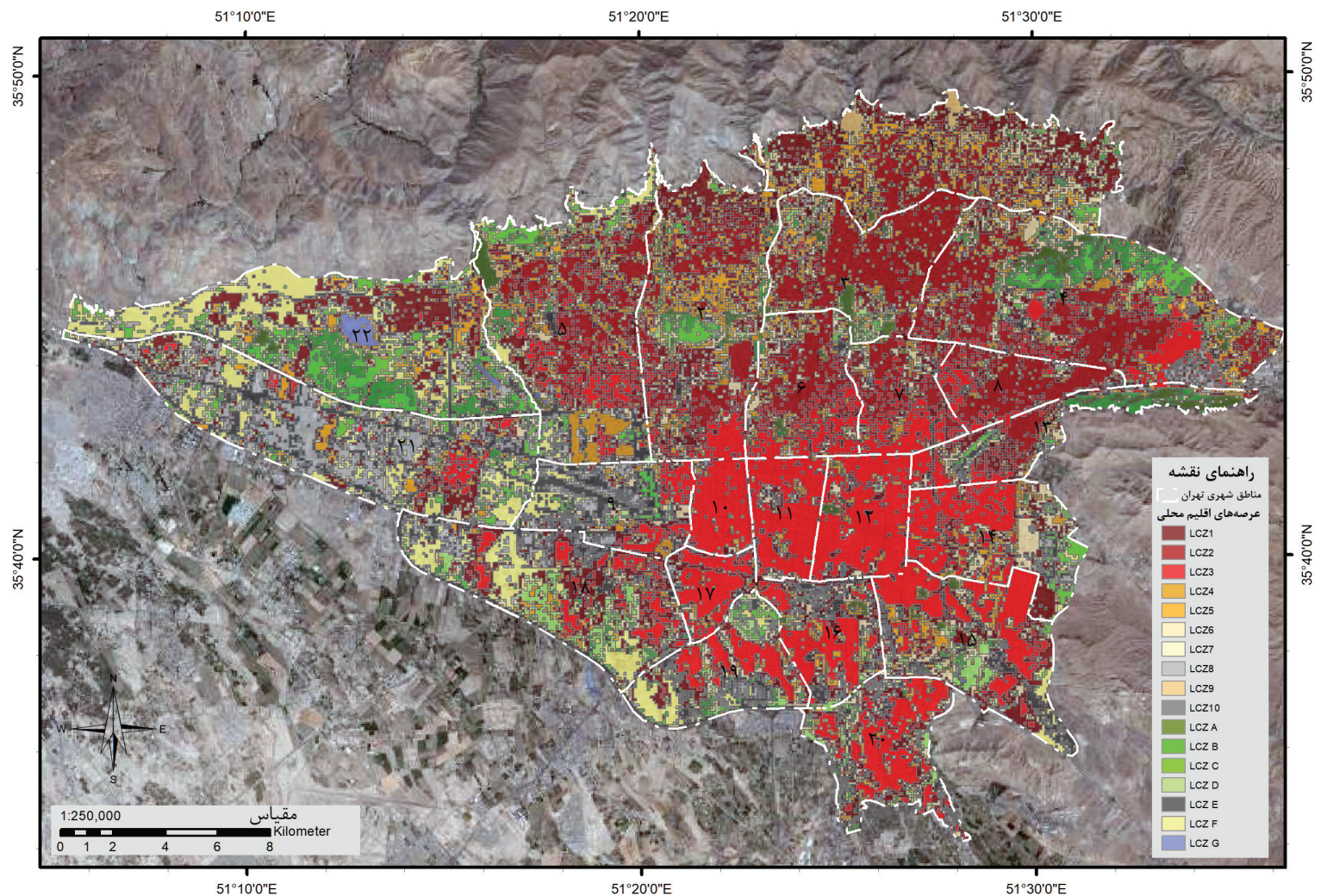
جدول ۳. مثال‌هایی از عرصه‌های هفده‌گانه اقلیم‌های محلی در کلان‌شهر تهران، مأخذ: عامری، ص ۱۱۱ (عکس‌ها: پایگاه داده‌ای نرم‌افزار Google Earth).

ت ۴. پراکندگی عرصه‌های اقلیم محلی در محدوده مناطق شهرداری تهران، مأخذ مأخذ: عامری، ص ۱۱۳ (مأخذ لایه‌های پایه: پایگاه داده‌ای نرم‌افزار Google Earth).

همچنین پرسپکتیو دید انسان برای هر عرصه در کلان‌شهر تهران نمایش داده شده است.

در «ت ۴» نتیجه نهایی طبقه‌بندی کل محدوده شهری تهران دیده می‌شود. محدوده‌های مربوط به پوشش اراضی، که اغلب مؤید هندسه نرم در بافت شهری است، مساحت کمی از شهر را اشغال کرده است، به طوری که تنها عرصه مربوط به آب دریاچه چیتگر در منطقه ۲۲ شهر تهران، عرصه‌های بزرگ

مشخص، تدقیق، و تصحیح کرد. به این منظور نیاز به وارد کردن محدوده‌های آموزشی با مشخصات شکلی و عملکردی مشترک هر طبقه است. با توجه به طبقات استاندارد عرصه‌های اقلیم محلی مطابق «ت ۲» و «جدول ۲» که شاخص‌های کنترلی برای هر دسته را مشخص می‌کند، تعدادی محدوده آموزشی برای هر عرصه در نرم‌افزار گوگل ارث مشخص شد. در «جدول ۴» یک مثال از هر محدوده آموزشی شامل تصویر هوایی و



مربوط به ساختمان‌ها با شیوه آرایش متراکم حدود ۴۰٪ از کل مساحت شهر تهران را شامل می‌شود که نشان‌دهنده تراکم بالای شهر است. سهم به نسبت نزدیک هرکدام از گونه‌های ساختمانی بلندمرتبه، میان‌مرتبه و کوتاه‌مرتبه از کل مساحت عرصه‌های غالب در شهر میزان قابل توجهی است و همچنین در شهر تهران عرصه‌های تحت تأثیر عناصر ساختمانی بیش از ۷۵٪ سطح اشغال کل را می‌گیرند و کمتر از ۲۵٪ از مساحت عرصه‌ها مربوط به محدوده‌ها با عناصر ساختمانی است.

#### ۲.۴. تغییرات زمانی - مکانی دمای سطح زمین و محدوده‌های جزایر حرارتی

پس از طبقه‌بندی سطوح شهر و پیش از امکان تحلیل نوع ارتباط میان عرصه‌ها و نقش هریک در ایجاد پدیده جزیره حرارتی، نیاز به مشخص کردن محدوده‌هایی خواهد بود که دارای میانگین دمای سطح بالاتر نسبت به سایر سطوح شهری هستند. هرچند نقشه‌های مربوط به دمای سطح زمین (ت ۵) اطلاعات فضایی ارزشمندی در راستای روشن شدن مکان و شدت جزایر حرارتی ارائه می‌دهند، تنها با مشخص شدن الگوی مکانی حاصل از دسته‌بندی محدوده‌های مشابه

با پوشش غالب سنگلاخ، سنگفرش، خاک و ماسه در جنوب غرب و غرب شهر تهران، و عرصه‌های مربوط به پوشش گیاهی (عرصه‌های ۱۰۱ تا ۱۰۴) عمدتاً به صورت لکه‌های پراکنده در کل شهر و برخی محدوده‌های موضعی متراکم در نواحی چون پارک جنگلی لویزان در شمال شرق منطقه ۴ شهرداری، اراضی عباس‌آباد واقع در جنوب منطقه ۳، اراضی مربوط به برج مخابراتی میلاد و پارک پردیسان در مرکز منطقه ۲، و پارک جنگلی چیتگر در غرب شهر تهران و در مرز بین مناطق ۲۱ و ۲۲ هستند.

مطابق انتظار، عرصه‌های شامل ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه فشرده (عرصه شماره ۴) بخش قابل توجهی از مناطق مرکزی و تاریخی شهر تهران شامل مناطق ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۷ شهرداری را اشغال کرده‌اند. عرصه شماره ۱ شامل ساختمان‌های بلندمرتبه فشرده بیشتر در طول نوار شمالی شهر و با تمرکز بیشتر در شمال مناطق ۱، ۲، و ۲۲ شهر مشخص است. محدوده فضایی عرصه شماره ۲ نیز نشان می‌دهد که ساختمان‌های میان‌مرتبه فشرده عمدتاً در عمده اراضی شهری مناطق ۱ تا ۸ دیده می‌شوند که در سالیان اخیر نوع غالب ساخت‌وسازها در شهر تهران بوده است. در «جدول ۴» خلاصه اطلاعات مربوط به مساحت و درصد کل هر عرصه در کلان‌شهر تهران ارائه شده است. عرصه‌های

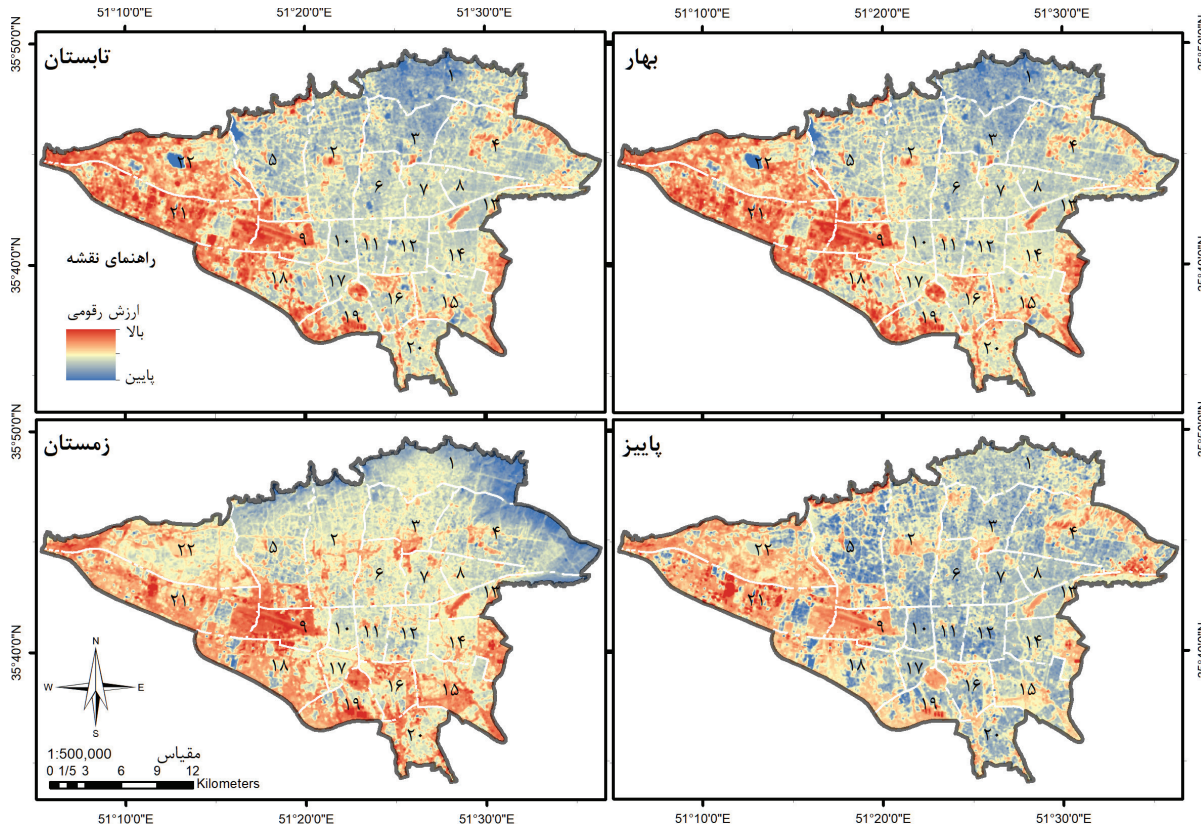
ردیف	کد عرصه	عنوان عرصه اقلیم محلی	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)	درصد سطح اشغال	ردیف	کد عرصه	عنوان عرصه اقلیم محلی	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)	درصد سطح اشغال
۱	LCZ 1	بلندمرتبه فشرده	۹۸,۳۳	۱۵,۴۷	۱۰	LCZ 10	ساختار صنعتی سنگین	۰,۶۲۲	۴۷,۳
۲	LCZ 2	میان‌مرتبه فشرده	۹۶,۸۴	۱۵,۲۴	۱۱	LCZ A	درختان متراکم	۳۲,۱۱	۷۸,۱
۳	LCZ 3	کوتاه‌مرتبه فشرده	۱۱۷,۷۰	۵۲,۱۸	۱۲	LCZ B	درختان پراکنده	۰,۴۲۱	۳۱,۳
۴	LCZ 4	بلندمرتبه پراکنده	۳۰,۲۱	۷۵,۴	۱۳	LCZ C	بوته‌زار	۷۴,۲۴	۸۹,۳
۵	LCZ 5	میان‌مرتبه پراکنده	۴۱,۹۵	۶۰,۶	۱۴	LCZ D	گیاهان کوتاه	۸۳,۱۰	۷۰,۱
۶	LCZ 6	کوتاه‌مرتبه پراکنده	۴۵,۸۵	۲۱,۷	۱۵	LCZ E	سنگلاخ یا سنگفرش	۳۱,۳۸	۰,۳۶
۷	LCZ 7	کوتاه‌مرتبه - سازه سبک	۱,۲۳	۱۹,۰	۱۶	LCZ F	خاک یا ماسه	۳۱,۴۱	۵۰,۶
۸	LCZ 8	کوتاه‌مرتبه - درشت‌دانه	۲۵,۳۴	۹۹,۳	۱۷	LCZ G	آب	۵۸,۱	۲۵,۰
۹	LCZ 9	ساخت‌وساز پراکنده	۹۴,۶	۰,۹		مجموع	۵۷,۶۳۵	۱۰۰	

جدول ۴. خلاصه اطلاعات مربوط به مساحت و درصد سطح اشغال عرصه‌های اقلیم محلی در شهر تهران، تدوین: نگارندگان.

53. L. Liu & Y. Zhang, "Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong", p. 1541; L. Chen, et al, "Surface Heat Island in Shanghai and Its Relationship with Urban Development from 1989 to 2013", p. 7.

«لکه‌های داغ» است. در این روش کل ارزش‌های اطلاعاتی مربوط به محدوده مورد مطالعه در ۷ طبقه دسته‌بندی شده که هر طبقه نشان‌دهنده میزان و جهت اختلاف ارزش هر همسایگی و معناداری این تفاوت از ارزش میانگین کل آن محدوده است. نتیجه حاصل از این روش به میزان رضایت‌بخشی مطابق با روش‌های به کار گرفته‌شده در سایر مطالعات است و الگوی پراکندگی جزایر حرارتی شهر تهران در چهار تاریخ مربوط به فصل‌های مختلف مطابق با این روش در «ت ۶» نمایش داده شده است. بر اساس نقشه‌های نهایی، بازه مربوط به کمینه و بیشینه دمای سطوح در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز، و زمستان به ترتیب بین ۲۶٫۰۵ تا ۴۸٫۷۵، ۲۹٫۱۸ تا ۵۲٫۳۲، ۲۱٫۱۵ تا ۲۴٫۴۰ و ۳٫۷۶- تا ۱۵٫۵۹ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. زمان برداشت

حرارتی در سطح شهر می‌توان به تحلیل‌های آماری و توصیفی دقیق‌تر و بررسی عوامل احتمالی مؤثر بر شکل‌گیری این پدیده دست یافت. به‌طور کلی هنگامی که از عنوان «جزیره» برای توصیف پدیده تفاوت دمای میان محیط شهری با محیط اطراف سخن می‌آید، لزوم تعیین الگوی فضایی مرتبط در ذات آن وجود خواهد داشت. پژوهشگران مختلف از روش‌های متفاوتی به تحقق این موضوع استفاده کرده‌اند. طبقه‌بندی دما از طریق دسته‌های انحراف معیار از میانگین ارزش‌های رقومی پیکسل‌های نقشه و یا استفاده از «شاخص واریانس میدان حرارتی شهری» مثالی از این نوع طبقه‌بندی‌ها برای مشخص کردن محدوده و شدت جزایر حرارتی است.<sup>۵۳</sup> راهکار استفاده‌شده در این مطالعه روش تحلیلی موسوم به



ت ۵: پراکندگی عرصه‌های اقلیم محلی در محدوده مناطق شهرداری تهران، مأخذ: عامری، ص ۱۱۶ (مأخذ لایه‌های پایه: پایگاه داده‌ای نرم‌افزار Google Earth).



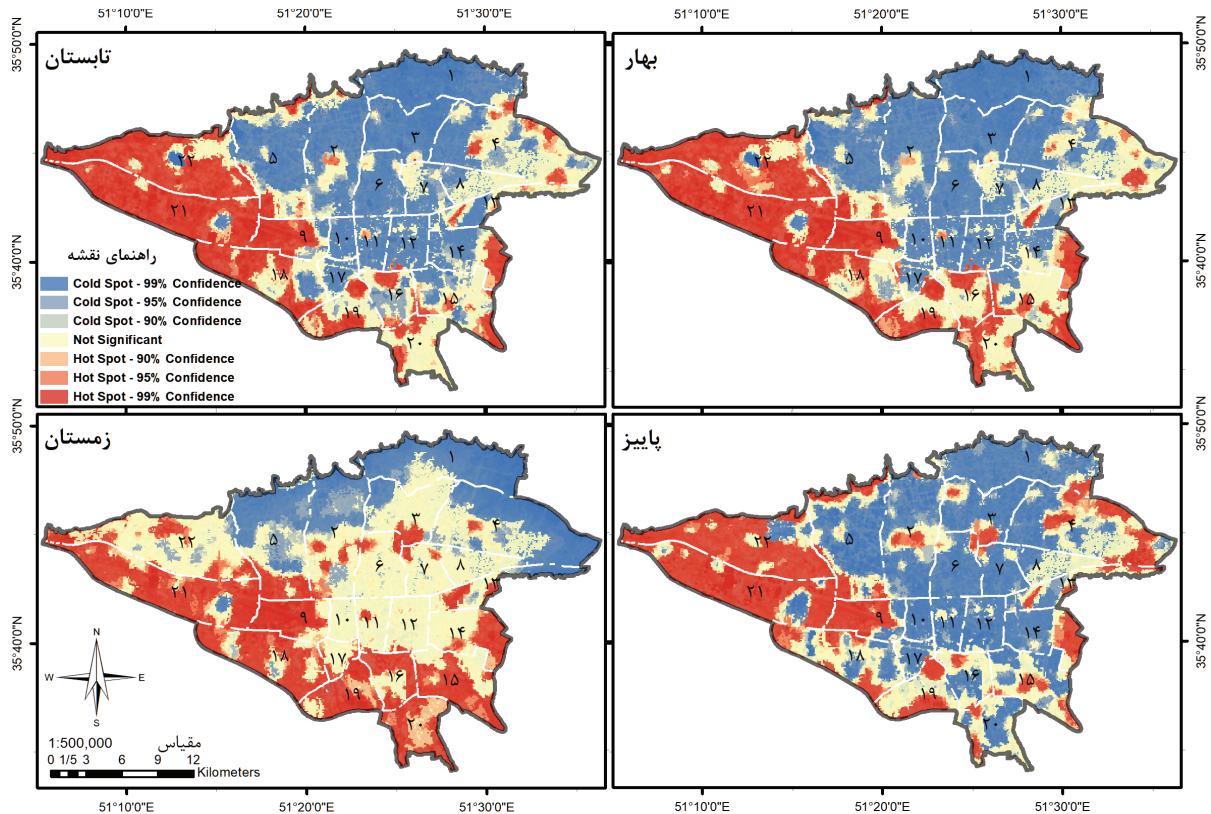
منطقه ۹ شهرداری است، مساحت قابل توجهی از منطقه ۲۱ و غرب منطقه ۱۸ به دلیل وسعت حضور کاربری‌های صنعتی و نوع پوشش اراضی، و بخش شمالی و شمال غربی منطقه ۲۲ به سبب پوشش لخت خاک می‌شود.

۲. حوزه جنوبی جزایر حرارتی دربرگیرنده محدوده‌های جنوبی مناطق ۱۸ و ۱۹ شهرداری تهران با وسعت زمین‌های بایر است، ۳. حوزه شرقی در محدوده فرودگاه قدیمی دوشان تپه در منطقه ۱۲ و بخش‌های شرقی منطقه ۱۴ قابل تشخیص است، و

۴. جزایر حرارتی غالب در حوزه مرکزی شهر نیز بیشتر مربوط به اراضی با پوشش‌های طبیعی نظیر تپه‌های عباس‌آباد، پارک جنگلی لویزان، و پارک پردیسان می‌شود که شدت این جزایر حرارتی در طول سال کمتر از سایر حوزه‌های یادشده است.

تصاویر ماهواره لندست ۸ در محدوده مطالعاتی حدود ۱۰ تا ۱۱ صبح به وقت محلی است و باید توجه داشت که بازه‌های دمایی استخراج‌شده مربوط به میانه صبح و قبل از به حداکثر رسیدن فرایند جذب تابش خورشید توسط سطوح مختلف است. در فصل‌های بهار و تابستان، همان‌گونه که انتظار می‌رود، کمترین میانگین دما مربوط به دمای سطح آب و حداکثر دما مربوط به سطوح فاقد پوشش یا سطوح با پوشش آسفالت است. در مقیاس کلان بیشترین تأثیر جزایر حرارتی در فصل‌های مختلف سال و در شهر تهران در چهار حوزه جغرافیایی قابل‌ردیابی است:

۱. حوزه غربی که بیشترین وسعت و شدت جزایر حرارتی در این حوزه واقع شده و شامل فرودگاه مهرآباد یکی از قدیمی‌ترین محدوده‌های شناخته‌شده جزایر حرارتی در تهران در غرب



ت ع پراکنندگی عرصه‌های اقلیم محلی در محدوده مناطق شهرداری تهران، مأخذ: عامری، ص ۱۱۷ (مأخذ لایه‌های پایه: پایگاه داده‌ای نرم‌افزار Google Earth).

### ۳.۴. تحلیل ارتباط زمانی- مکانی میان عرصه‌های اقلیم محلی و دمای سطح زمین

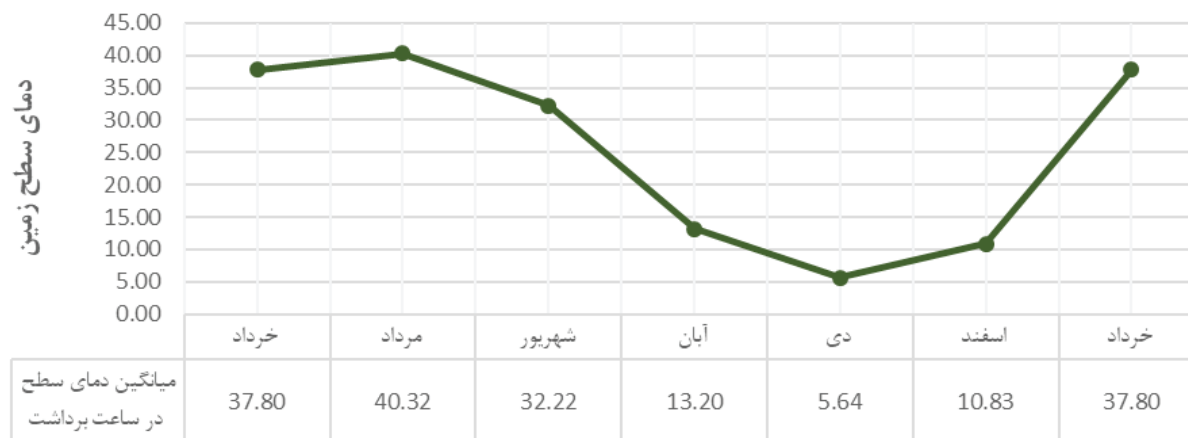
از داده‌های ماهواره‌ای در ۶ زمان مختلف در طول سال به منظور بررسی تغییرات دمای سطح زمین در ۱۷ طبقه مربوط به عرصه‌های اقلیم محلی استفاده شد. میانگین ارزش‌های مربوط به همه سطوح شهری و همچنین هر عرصه در هر یک از زمان‌های برداشت استخراج شده است، نتیجه در «ت ۷ و ۸» مشاهده می‌شود. میانگین دمای سطح زمین در یک روز از مردادماه نماینده تابستان و برابر ۴۰/۳۲، در دی‌ماه ۵/۶۴ و در دو ماه از فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب ۳۷/۸۰ و ۱۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمده است.

در گام بعدی تعریف جزایر حرارتی هر عرصه به صورت تفاوت میانگین دمای سطح در هر عرصه با میانگین دمای سطح کل شهر در تاریخ ثبت داده‌های ماهواره در نظر گرفته شده است، یعنی به جای استفاده از تعریف کلاسیک پدیده جزیره حرارتی، شامل تفاوت دمایی بین شهر و روستا، از این تعریف جدید به منظور یافتن جزایر حرارتی میان عرصه‌های درون شهری بهره گرفته شد؛ البته باید توجه داشت که معمولاً در شهرها همه عرصه‌های اقلیم محلی هدفه‌گانه معرفی شده وجود نخواهند داشت و لزوماً عرصه‌های موجود هم کاملاً منطبق

با بازه‌های طرح‌شده در جدول شاخص‌ها نیستند؛ در نتیجه در مورد جهت‌گیری پژوهش عرصه‌های با درصد سطح اشغال زیر ۳٪ از کل مساحت شهر از ادامه تحلیل‌ها حذف شدند که این طبقات شامل عرصه‌های کوتاه‌مرتبه با سازه‌های سبک و موقت نظیر ساختار حاشیه‌نشینی‌ها، ساخت‌وسازهای پراکنده، و عرصه‌های مربوط به پوشش اراضی شامل درختان متراکم، گیاهان کوتاه، و آب است.

در طی سال در مورد مطالعاتی بیشترین تفاوت دمای محاسبه‌شده با میانگین دمای سطح مختص به عرصه مربوط به پوشش خاک و در مردادماه و کمترین آن مربوط به عرصه ساختمانی میان‌مرتبه فشرده و در ماه خرداد است. بازه عددی شدت جزایر حرارتی میان عرصه‌های درون‌شهری در طول سال ۷/۳۷ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده که مربوط به فصل‌های گرم سال است، این تفاوت در فصل‌های سرد ۴/۴۳ درجه استخراج شد. این یافته نشان می‌دهد که جزایر حرارتی در زمان قبل از ظهر و مخصوصاً در فصل‌های گرم در کلان‌شهر تهران قابل ملاحظه هستند.

در فصل‌های بهار و تابستان به ترتیب عرصه‌های مربوط به خاک، سنگ یا آسفالت، بوته‌زار، ساختارهای کوتاه‌مرتبه درشت‌دانه، و ساختارهای صنعتی سنگین مؤید جزایر گرمایشی



ت ۷. نمودار میانگین دمای سطح زمین در شهر تهران در هر یک از ماه‌های برداشت اطلاعات.

پراکنده به صورت ویژه‌ای شایان توجه هستند؛ چراکه در طول فصل‌های گرم میانگین دمایی پایین‌تر و در طول فصل‌های سرد میانگین دمایی بالاتری نسبت به میانگین کل شهر دارند که برای کاهش مصرف انرژی در هر دو دوره رویداد مثبتی خواهد بود.

### ۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش عرصه‌های اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و روش سنجش از راه دور طبقه‌بندی و ارزیابی شد. تعداد ۱۰ طبقه مربوط به محیط مصنوع ساختمانی و ۷ طبقه مربوط به پوشش اراضی

و عرصه‌های مربوط به ساختارهای میان‌مرتبه فشرده، کوتاه‌مرتبه فشرده، میان‌مرتبه پراکنده، و بلندمرتبه پراکنده به ترتیب نشان‌دهنده بیشترین شدت جزایر سرمایشی در موضع پژوهش هستند. اما در فصل‌های سرد سال دسته اول مربوط به عرصه‌های سنگ یا آسفالت، ساختارهای صنعتی سنگین، ساختارهای کوتاه‌مرتبه درشت‌دانه، و در نهایت پوشش خاک و دسته دوم به ترتیب شامل ساختارهای میان‌مرتبه فشرده، کوتاه‌مرتبه فشرده، و میان‌مرتبه پراکنده است. جالب آنکه طبقات با ساختار ساختمانی بلندمرتبه فشرده در کل طول سال نزدیک‌ترین ارقام به میانگین دمای کل شهر را نشان دادند. همچنین دو عرصه بلندمرتبه پراکنده و کوتاه‌مرتبه



ت ۸. گزارش شدت جزایر حرارتی عرصه‌های اقلیم محلی در فصول مختلف سال.

با بررسی شاخص‌های هندسی و پوشش زمین در کل سطح شهر استخراج و تحلیل شد و با توجه به روش‌های عرضه‌شده، میانگین دمای سطح زمین در این عرصه‌ها در ۶ زمان در فصل‌های مختلف سال تعیین گردید. نتایج نشان دادند که ارتباط معناداری میان عرصه‌های اقلیم محلی و الگوی دمایی و بخصوص شدت و محدوده جزایر حرارتی داخل عرصه‌های مشابه شهری وجود دارد. عرصه‌ها با تراکم کم ساخت‌وساز یا فاقد عناصر ساختمانی در کل سال بیشترین فاصله را با میانگین دمای سطوح شهر دارند که در میان آن‌ها شدت جزایر حرارتی در طبقات با پوشش خاک لخت در طول فصل‌های گرم تا بیش از ۴.۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین سایر عرصه‌های درون شهری تعیین شد. همچنین دسته‌هایی با پوشش غالب سنگلاخ، آسفالت یا سنگفرش، بوته‌زارها، ساختارهای سنگین صنعتی، و نیز ساختارهای کوتاه‌مرتبه درشت‌دانه، چه در فصل‌های سرد و چه در فصل‌های گرم، مؤید ایجاد جزایر حرارتی هستند و به‌طور کامل مشاهدات در خصوص الگوهای حرارتی سطوح شهری را تفسیر می‌کنند.

عرصه‌ها با ساختارهای بلندمرتبه فشرده و کوتاه‌مرتبه پراکنده کمترین فاصله را با میانگین دمای سطح در شهر تهران دارند و شدت جزایر سرمایشی در طول سال مربوط به

ساختارهای میان‌مرتبه و کوتاه‌مرتبه فشرده است. در آخر باید توجه داشت که در این مطالعه، با هدف تولید نقشه‌های دمای سطح شهر، از داده‌هایی با وضوح مکانی ۳۰ متر و در بازه زمانی ۱۰ الی ۱۱ صبح به وقت محلی، بنا به مشخصات سنجنده ماهواره، استفاده شده است. با توجه به اقلیم گرم و خشک شهر تهران و نیز شدت سایه‌اندازی عناصر کالبدی در ساعات ابتدایی روز، مطابق با سایر مطالعات در اقلیم‌های مشابه در این بازه زمانی در طول روز و مخصوصاً در فصل‌های گرم سال، بر عرصه‌های ساختمانی بیشتر مؤید جزایر سرمایشی در سطح شهر هستند. در نتیجه برای بیان جامع‌تر در خصوص تأثیرات عناصر مورفولوژی بر دمای سطح و تدقیق نقش شاخص‌های مربوطه در ایجاد جزایر حرارتی شهری اولاً نیاز به برداشت‌هایی در سایر زمان‌های روز نظیر بعدازظهر و شب‌هنگام — یعنی زمانی که جذب انرژی حرارتی به بیشینه میزان خود در سطوح و بیشینه انتشار معکوس حرارتی رسیده — خواهد بود و ثانياً با افزایش سطح جزئیات داده‌ها، امکان مدل‌سازی نقش هر شاخص هندسی در هر عرصه و یا میان عرصه‌های اقلیم محلی ایجاد خواهد شد که مطالعه در خصوص این محدودیت‌ها می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی قرار گیرد.

## منابع و مآخذ

تهران، تهران: انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران، ۱۳۹۷.

عامری، پوریا. هندسه محیط و پدیده جزیره حرارتی، رساله دکتری رشته معماری به راهنمایی شهرام پوردیهیمی و سعید مشایخ فریدنی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، شهریورماه ۱۳۹۹.

مرکز آمار ایران. سالنامه آماری کشور ۱۳۹۳، تهران: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴.

ابراهیمی هروی، بهروز و کاظم رنگزن و حمیدرضا ریاحی بختیاری و ایوب تقی‌زاده. «تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در کلان‌شهر کرج»، در *سنجش از دور و GIS ایران*، ش ۳۱ (پاییز ۱۳۹۵)، ص ۵۹-۷۶.

دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. *ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳*، تهران: وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۵.

سالنامه آماری شهر تهران، آمارنامه شهر تهران ۱۳۹۷: سالنامه آماری شهر

- Arnfield, A.J. "Two Decades of Urban Climate Research: a Review of Turbulance, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island", in *International Journal of Climatology*, 23(1) (2003), pp. 1-26.
- Bechtel, Benjamin & Paul J. Alexander & Jurgen Bohner & Jason Ching & Olaf Conrad & Johannes Feddema & Gerald Mills & Linda See & Iain Stewart. "Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities", in *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4 (2015), pp. 199-219.
- Bechtel, Benjamin & Matthias Demuzere & Gerald Mills & Wenfeng Zhan & Panagiotis Sismanidis & Christopher Small & James Voogt. "SUHI Analysis Using Local Climate Zones- A Comparison of 50 Cities", in *Urban Climate*, (28) (2019), pp. 1-18.
- Bonan, G.B. "The Microclimates of Suburban Colorado (USA) Landscape and Implications for Planning and Design", in *Landscape and Urban Planning*, 49(3) (2000), pp. 97-114.
- Bottyan, Z. & A. Kircsi & S. Szegedi & J. Unger. "The Relationship between Built-up Areas and the Spatial Development of the Mean Maximum Urban Heat Island in Debrecen, Hungary", in *International Journal of Climatology*, 25 (2005), pp. 405-418.
- Bottyan, Z. & J. Unger. "A Multiple Linear Statistical Model for Estimating the Mean Maximum Urban Heat Island", in *Theoretical and Applied Climatology*, 75 (2003), pp. 233-243.
- Chen, L. & R. Jiang & W.N. Xiang. "Surface Heat Island in Shanghai and Its Relationship with Urban Development from 1989 to 2013", in *Advances in Meteorology*, 2016, pp. 1-15.
- Ching, J. & G. Mills & B. Bechtel & L. See & J. Feddema & J. Wang & C. Ren, et al. "WUDAPT- An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene", in *Bulletin of American Meteorological Society*, 2018, pp. 1907-1924.
- Ching, Jason & Dan Aliaga & Gerald Mills & Valery Masson & Linda See & Marina Neophytou & Ariane Middel, et al. "Pathway Using WUDAPT's Digital Synthetic City Tool towards Generating Urban Canopy Parameters for Multi-scale Urban Atmospheric Modeling", in *Urban Climate*, 28 (2019), pp. 1-23.
- Conard, O. & B. Bechtel & M. Bock & H. Dietrich & E. Fischer & L. Gerlitz & J. Wehberg & V. Wichmann & J. Bohner. "System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4", in *Geoscientific Model Development*, 8 (2015), pp. 1991-2007.
- Department of the Interior, U.S. Geological Survey. *LANDSAT 8 (L8) Data User's Handbook*, 2016.
- Kantzioura, A. & P. Kosmopoulos & S. Zoras. "Urban Surface Temperature and Microclimate Measurements in Thessaloniki", in *Energy & Buildings*, 44 (2012), pp. 63-72.
- Liu, Lin & Yuanzhi Zhang. "Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong", in *Remote Sensing*, 3 (2011), pp. 1535-1552.
- Mills, Gerald. "Cities as Agents of Global Change", in *International Journal of Climatology*, 27 (2007), pp. 1849-1857.
- Ng, Edward & Chao Ren. *The Urban Climatic Map for Sustainable Urban Planning*, New York: Routledge, 2015.
- Oke, T.R. *Boundary Layer Climates*, London, England: Routledge, 1987.
- Oke, Timothy R. & Gerald Mills & Andreas Christen & James A. Voogt. *Urban Climates*, Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- Sekertekin, Alihsan & Stefania Bonafoni. "Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation", in *Remote Sensing*, 12(2) (2020), p. 294.
- Sobrino, Jose A. & Juan C. Jimenez-Munoz & Leonardo Paolini. "Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5", in *Remote Sensing of Environment*, 90 (2004), pp. 434-440.
- Sobstyl, J.M. & T. Emig & M.J. Abdolhoseini Qomi & F.J. Ulm & R.J.M. Pelleng. "Role of City Texture in Urban Heat Island at Nighttime", in *Physical Review Letters*, 120 (2018), pp. 1-6.
- Steward, I.D. & T.R. Oke. "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies", in *Bulletin of American Meteorological Society*, 2012, pp. 1880-1900.
- Stone, B. & J.M. Norman. "Land Use Planning and Surface Heat Island Formation: A Parcel-based Radiation Flux Approach", in *Atmospheric Environment*, 40 (2006), pp. 3561-3573.
- United Nations, Department of Economics and Social Affairs. *World Population to 2300*, New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2004.
- Voogt, J.A. & T.R. Oke. "Thermal Remote Sensing of Urban Climates", in *Remote Sensing of Environment*, 86(3) (2003), pp. 370-384.
- Weng, Q. "Thermal Infrared Remote Sensing for Urban Climate and Environmental Studies: Methods, Applications, and Trends", in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4) (2009), pp. 335-344.
- Wu, Chih-Da & Shi-Chun Candice Lung. "Application of 3-D Urbanization Index to Assess Impact of Urbanization on Air Temperature", in *Nature Scientific Reports*, 6 (2016), pp. 1-9.
- Xu, Yong & Chao Ren & Peifeng Ma & Justin Ho & Weiwen Wang & Kevin Ka-Lun Lau & Hui Lin & Edward Ng. "Urban Morphology Detection and Computation for Urban Climate Research", in *Landscape and Urban Planning*, 167 (2017), pp. 212-234.
- Yang, X. & Y. Li. "The Impact of Building Density and Building Height Heterogeneity on Average Urban Albedo and Street Surface Temperature", in *Building and Environment*, (90) (2015), pp. 146-156.
- Yang, Xiaojun. *Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*, John Wiley & Sons, 2011.
- Zhang, J. & Y. Wang & Y. Li. "A C++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM+ Band6", in *Computers & Geosciences*, 32 (2006), pp. 1796-1805.
- USGS Earth Explorer. Accessed, 2019.  
<https://earthexplorer.usgs.gov/>.