

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

دریافت: 25 فروردین ۱۳۹۹  
پذیرش: 28 تیر ۱۳۹۹  
(صفحة ۵۹-۷۷)

پوریا عامری<sup>۲</sup>

شهرام پوردیهیمی<sup>۳</sup>

استاد دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

سعید مشایخ فریدنی<sup>۴</sup>

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری  
معماری نگارنده اول است، با عنوان  
هندسه محیط و پدیده جزیره حرارتی،  
که به راهنمایی نگارنده‌ان 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

۳. S-dehimi@sbu.ac.ir  
(استاد ارجمند چنان آقای دکتر شهرام  
پوردیهیمی به افتخار سال‌ها خدمت در  
دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه  
شهید بهشتی در یک شهریور

۱۳۹۶  
بازنشسته شده‌اند. فصلنامهٔ صفحه از  
ایشان قدردانی می‌کند)

۴. Sm-faridani@sbu.ac.ir  
(استاد ارجمند چنان آقای دکتر سعید  
مشایخ فریدنی به افتخار سال‌ها خدمت  
در دانشکده معماری و شهرسازی  
دانشگاه شهید بهشتی در یک مهر  
۱۳۹۳ بازنشسته شده‌اند. فصلنامهٔ صفحه  
از ایشان قدردانی می‌کند)

کلیدوازگان: پدیده جزیره حرارتی، دمای سطح زمین، ریختشناسی شهری، هندسه محیط ساخته شده، عرصهٔ اقلیم محلی.

جغرافیایی نظری، ArcGIS، Google Earth، SAGA GIS و با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8 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 میان مرتبه فشرده کمترین میانگین دمایی را در طول سال در کل شهر داشته‌اند.

## مقدمه

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 باشد 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

## چکیده

در دهه‌های اخیر چیدمان هندسی و عناصر ریختشناسی شهرها به مثابة عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و شدت پخشیدن به پدیده جزیره حرارتی بیش از پیش 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 انسان ساخت طابق 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 درمجموع به هفده طبقه مربوط به هندسه احجام ساختمانی و پوشش اراضی، با وضوح (زیولوژن) ۱۰۰ متر و توسط ابزارهای پایش شهری و سامانه‌های اطلاعات

## 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 2050 رشد چشمگیری خواهد داشت.<sup>۶</sup> از سوی دیگر، با توجه به اینکه ساختمان‌ها به تهایی منبع انتشار بیش از ۴۰٪ دی‌اکسید کربن در جهان هستند، و همچنین «در ایران بیش از ۴۰ درصد از انرژی تولید شده در بخش ساختمان مصرف می‌شود»،<sup>۷</sup> لزوم به کارگیری راهبردهای طراحی پاسخ‌گو به مسائل اقلیمی مرتبط با رشد شهرها بیش از بیش 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 درهای شهری با بلوک‌های ساختمانی متراکم در اطرافشان ایجاد می‌شوند و درنتیجه 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 شب‌هنجام، 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 روبرو 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 درنتیجه کاهش میانگین سرعت جریان‌ها، پراکنش هموفتی گرما کاهش می‌یابد. علاوه بر موارد یادشده، کاهش میزان پوشش گیاهی در شهرها سبب پایین آمدن نرخ سرمایش تبخیری می‌گردد و درهای مرتفع شهری باعث به دام افتادن گرمای ذخیره شده در سطوح و کاهش انتشار گرما با طول موج بلند به سوی آسمان در شب‌انگاه می‌شوند. با توجه به گرمای تولید شده توسط انسان در شهرها — به صورت‌های مختلف نظیر حمل و نقل و گرمایش یا سرمایش ساختمان‌ها — و درنتیجه همه موارد ذکر شده 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*.

7. نک: دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، تراز نامه انرژی سال ۱۳۹۳.

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

9. UHI: Urban Heat Island

10. نک: T.R. Oke, *Boundary Layer Climates*.

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.

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.

نک:

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

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

17. SVF: Sky View Factor

ت. 1. الگوی معمول روزانه: (الف) دمای هوای شهر و روستا، ب) نرخ سرمایش و گرمایش، و) شدت جزیره حرارتی ایجادشده، مأخذ:

Oke, *Boundary Layer Climates*.

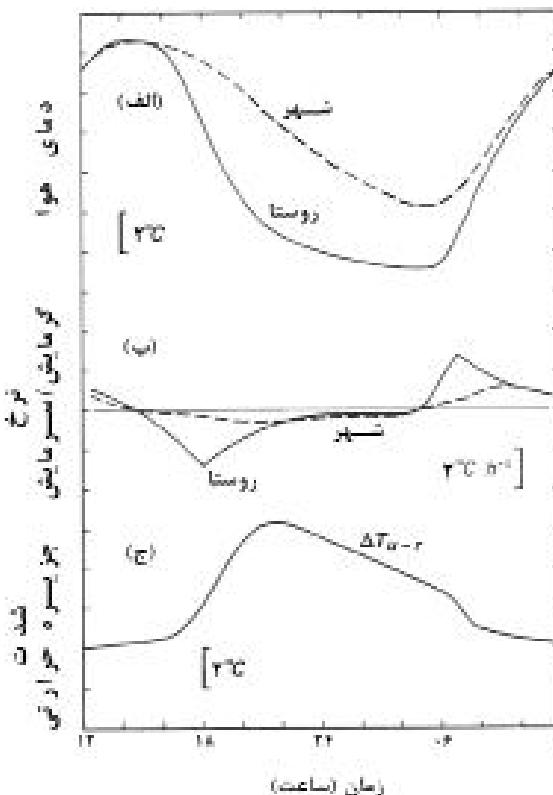
آزمایش شده‌اند.<sup>13</sup> این در حالی است که نقش عوامل سازنده هندسه احجام ساختمانی و ریختشناسی شهری، نظریه ارتفاع ساختمان‌ها، حجم و جرم ساختمان‌ها، و... تا دهه گذشته کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است.<sup>14</sup> در سال‌های اخیر محققان بیشتر بر روی بسط و توسعه نوعی جدید از دسته‌بندی عناصر ریختشناسی در شهرها، با عنوان «عرصه‌های اقلیم محلی»، متوجه 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 نقش آفرینی مؤثرتر طراحان شهر و عماران 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 2 درجه سانتی‌گراد اختلاف دمایی را نشان می‌دهند.<sup>15</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 کردند.<sup>16</sup> محققان دیگری تأثیر کمیتی شاخص‌هایی نظریه ارتفاع ساختمان‌ها و «شاخص آسمان قابل رؤیت»<sup>17</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>11</sup> اما از آنجاکه 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 بهصورت ساختوساز همراه است؛ بررسی شاخص‌های ساختوساز نیز از دیرباز مرکز توجه پژوهشگران بوده است.<sup>12</sup> در این خصوص تأثیر شاخص‌های نظریه نسبت ساختوساز، الگوی کاربری زمین، نوع و ساختار پوشش گیاهی، تراکم ساختمانی، و... بر پدیده جزیره حرارتی شهری بارها مطالعه و



در مورد مطالعاتی کلان شهر 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 شهرهای است 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 بهشت 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>22</sup> در این خصوص و در سالیان اخیر پژوهشگران راهکارهای نوین متفاوتی را به منظور استخراج عناصر مورفو‌لوزی شهری و اغلب با استفاده از داده‌های با دسترسی آزاد عرضه کرده‌اند.<sup>23</sup> در پژوهش حاضر به سبب نیاز به توصیف شکل و عملکرد مناطق شهری در مقیاس واحدی همسایگی و بر اساس چارچوب عرصه‌های اقلیم محلی بیان شده از سوی اوک و استوارت<sup>24</sup> که منظر طبیعی و مصنوع شهر را به طبقات اقلیمی مختلف و بر اساس ویژگی‌های مورفو‌لوزی سطح زمین تقسیم می‌کنند، از روش پیشنهادی «پورتال پایگاه اطلاعات شهری جهان و ابزارهای دسترسی»<sup>25</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 عرصه‌های با اقلیم حرارتی مشابه ایجاد می‌کند».<sup>27</sup> باید توجه داشت که این رویه متفاوت از اصطلاح کلیماتوپ<sup>28</sup> شامل محدوده‌های

شهری دارد.<sup>18</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 انباست تابش خورشیدی در سطوح و درنتیجه آن افزایش دمای سطوح خیابان‌ها می‌شود.<sup>19</sup> با این حال، ارتباط میان دمای محیط و عناصر ریخت‌شناسی شهری به‌طور کامل شناخته نشده و در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف به صورت 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 متراffد دمای هوا در لایه هوای شهر نیست، در پژوهش‌های بسیاری وجود ارتباط نزدیک دمای هوا 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>20</sup>

### ۲.۱. اهداف پژوهش

هدف 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 ساخته شده در مقیاس شهری و تعیین داده‌ها و اطلاعات از راه دور<sup>۲۱</sup> به مثابة 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 درنهایت ت. به کارگیری این چارچوب و روش

نک: ۱۸.

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

نک: ۱۹.

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

نک: ۲۰.

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.

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 Anthropecene".

نک:

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

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.

نک:

Steward & Oke, ibid.

### ۳. روش انجام پژوهش

به منظور برآورده کردن اهداف پژوهش پس از معرفی اجمالی ویژگی‌های جغرافیایی کلان شهر تهران، در خصوص به کارگیری 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 کلان شهر تهران، ب. محاسبه دمای سطح زمین بر اساس داده‌های زمانی ماهواره‌ای در طول یک سال، پ. محاسبه شدت جزایر حرارتی برای هریک از عرصه‌های اقلیم محلی، و ت. بررسی و تحلیل ارتباط میان طبقات عرضه شده و تغییرات فضایی- زمانی جزایر حرارتی در طول سال.

مدیریت، نمایش، و تحلیل داده‌های اوایله 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.

### ۱.۳. نمونه مطالعه و ویژگی آب و هوایی

کلان شهر 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 آب و هوایی این شهر است. تیرماه با میانگین حداقل دمای هوای ۳۸,۷ درجه سانتی‌گراد و دی‌ماه با حداقل 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 میلی‌متر گزارش شده

جغرافیایی با ویژگی‌های خود 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. کلیماتوبهایی نظریه آب، زمین آزاد، جنگل، کمرنده سبز، باغ شهر، حاشیه شهر، مرکز شهر، صنعتی، تجاری، و ... مثال‌هایی از این نوع از طبقه‌بندی‌های جغرافیایی هستند.<sup>29</sup> نکته مهم در خصوص عرصه‌های اقلیم محلی هم‌شمولی در به کارگیری و ارتباط اثبات شده 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 به طور گسترده استفاده شده است.<sup>30</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 به‌فردی 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>31</sup> در «ت ۲» طبقات هفدهگانه 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 - ۱۰۴ تا ۱۰۶ متر - شرایط منحصر به‌فردی از ترکیب ساختار فضایی نظری ارتفاع و فاصله ساختمان‌ها و درختان و پوشش سطوح نظیر سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر، مصالح، ضریب آبدو و انتشار حرارتی، و متابولیسم به معنای گرمای ناشی از فعالیت انسانی را دارد.

گونه‌های ساختمندی	تعریف	گونه‌های پوشش زمین	تعریف
۱. بلندمرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمندانهای بلندمرتبه مترکم ناچارهای طبقه ارتفاع نسبات کم درختان پوشش اراضی و مصالح معدن‌آسکافرش بتن، سنگ، لوله‌الات آلات و شنیده	الف. درختان مترکم	منظور اینه درختان خوب نیم با هستی‌پرس با پوشش زمین اثبات قابل تقدیر و گیاهان کوکان، گلزاری (گل) نظیر جملک طبیعی، برگ‌های شیروی و برخشت‌گذاری صنعتی
۲. میان مرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمندانهای مترکم میان مرتبه ۱۳ تا ۱۶ طبقه ارتفاع کم درختان پوشش اراضی و مصالح معدن‌آسکافرش سیک، آجر، آبیج، تابه، سن و لاست	ب. درختان برآکتدنه	منظور اینکه درختان خوب پوشش زمین با هستی‌پرس با پوشش زمین اثبات قابل تقدیر و گیاهان کوکان، گلزاری (گل) نظیر جملک طبیعی، برگ‌های شیروی و برخشت‌گذاری صنعتی
۳. کوتاه‌مرتبه، فشرده	ترکیبی از ساختمندانهای مترکم کوتاه‌مرتبه ۱۳ تا ۱۶ طبقه ارتفاع کم درختان پوشش اراضی و مصالح معدن‌آسکافرش سیک، آجر، آبیج، تابه، سن و لاست	ج. بوته‌زار	چشمیل یا کاسمه پوشش زمین‌ها و تراخچه‌های گردشی‌باپوشش زمین اثبات قابل تقدیر نظر علاوه‌با مامد، کرزی‌یاری کنیلوژی با پوشش زمین
۴. بلندمرتبه، برآکتدنه	چندیل برآکتدنه ساختمندانهای بلندمرتبه تاچیده طبله ارتفاع فربایش پوشش زمین‌های اندیمه‌های گیاهان کوتاه و درختان برآکتدنه مصالح ساخت‌نظربر بتن، لاست، سیک و سنته	د. گیاهان کوکانه	منظور اینه ظاهری ساختمندانهای بلندمرتبه درختان با کاربرد، (گل) غلبه، گلزاری، برگ‌تندی
۵. میان مرتبه، برآکتدنه	چندیل از ساختمندانهای برآکتدنه میان مرتبه ۱۳ تا ۱۶ طبقه ارتفاع کم درختان پوشش اراضی و مصالح ساخت‌نظربر بتن، لاست، سیک و سنته	ه. سیکلاخ با سنتک‌فرش	تصاده ایم درختان و گیاهان ساختمندانهای کاربری اراضی سیکلاخ، بیان طبیعی و حمل و نقل شیروی
۶. کوتاه‌مرتبه، برآکتدنه	چندیل از ساختمندانهای برآکتدنه کوتاه‌مرتبه ۱۳ تا ۱۶ طبقه ارتفاع کم درختان پوشش اراضی و مصالح ساخت‌نظربر جوب، آجر، سیک، آجر، آبیج، تابه، سن و لاست	و. خاک با ماسه	منظور اینه خاکهای شنی با ماسه‌ها متصاده ایم در خصل و گیاهی ساختمندانهای کاربری اراضی بیان طبیعی، شترک و گلزاری
۷. کوتاه‌مرتبه، سازه‌های سیک	ترکیبی مترکم ساختمندانهای تکچیله با تعداد کم درختان با پوشش (ازس) اثبات مصالح و غیرقابل تقدیر ساختمندانهای کوتاه‌مرتبه مصالح سیک، آجر، آبیج، تابه، سن و لاست جوب، گلزاری و غیره موجود از	ز. آب	پیش‌روی ای شکل می‌باشد ای اینه و می‌تواند مستردانی کوچکتر نظیر رودخانه، مروارید، نیاب و ایگر
۸. کوتاه‌مرتبه، درشت‌داده	چندیل برآکتدنه ساختمندانهای کوتاه‌مرتبه ۱۳ تا ۱۶ طبقه ای با تعدد کم درختان با پوشش اراضی و مصالح معدن‌آسکافرش بتن، سیک، گل و قولاد		
۹. ساخت‌بوار برآکتدنه	چندیل برآکتدنه ساختمندانهای ساخته کوچک و متوسطه در پیش‌ظریه‌ی، فربایش پوشش زمین‌های اندیمه‌های گیاهان کوتاه و درختان درختان برآکتدنه		
۱۰. ساختمندانهای صنعتی	چندیل ساختمندانهای صنعتی کوتاه‌مرتبه میان مرتبه کوتاه‌مرتبه ناکره‌ها ساخته‌ها و با تراکم کم درختان ساخته‌ها ای اراضی و مصالح معدن‌آسکافرش، خاک کوینده‌های، قولاد و پل		

## ت 2. معرفی خلاصه شده عرصه های

إقليم محلی مطابق پژوهش، مأخذ:

Steward & Oke, "Local Climate Zones for Urban Temperature Studies".

در نظر گرفته شده برای انجام مطالعات در کلان شهر 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 شهرستان های رباط کریم و پیشوای نظر گرفته شده است (ت ۳). به منظور استخراج طبقات الگوریتم معروف به جنگل های تصمیم گیری تصادفی<sup>۳۷</sup> انتخاب شد و به کمک نرم افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی «ساجا»<sup>۳۸</sup> و با بهره گیری از ۶ تصویر زمانی ماهواره لندست ۸ 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.

.۲۹. سالنامه آماری شهر تهران، ۱۳۹۷، ص ۳۲

۳۳. WUDAPT: World Urban Database and Access Portal Tools

۳۴. Training Area

۳۵. Supervised Classification  
۳۶. Machine Learning

۳۷. Random Forest

۳۸. SAGA GIS: System for Automated Geoscientific Analysis: O. Conard, et al, "System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4".

۳۹. USGS Earth Explorer, 2019

۴۰. Remote Sensing

۴۱. تک

J. Zhang, et al, "A C++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM+ Band6", p. 1799.

۴۲. Landsat 8 Satellite

۴۳. <http://earthexplorer.usgs.gov/>

جدول ۱. معرفی داده های ماهواره ای،  
توضیح: نگارندگان.

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 کیلومتر مربع، از شمال به رشته کوه 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 می شود.<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 – ۱۶۵۶۲ هزار متر مربع – می توان از شهر تهران با تراکم جمعیتی ۱۴۵ نفر در هکتار را یکی از فشرده ترین مناطق شهری در جهان دانست.

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

در این پژوهش طبقه بندی عرصه های اقلیم محلی با توجه به روش عرضه شده از سوی پایگاه اطلاعات شهری جهان انجام شده است. در مجموع ۲۵۶ محدوده آموزشی<sup>۳۴</sup> شامل طبقات هفده گانه معرفی شده و به منظور استفاده در یکی از الگوریتم های طبقه بندی نظارت شده<sup>۳۵</sup> یادگیری ماشین<sup>۳۶</sup>، در قالب استاندارد انتخاب و بر جسب گذاری گردید. محدوده فضایی

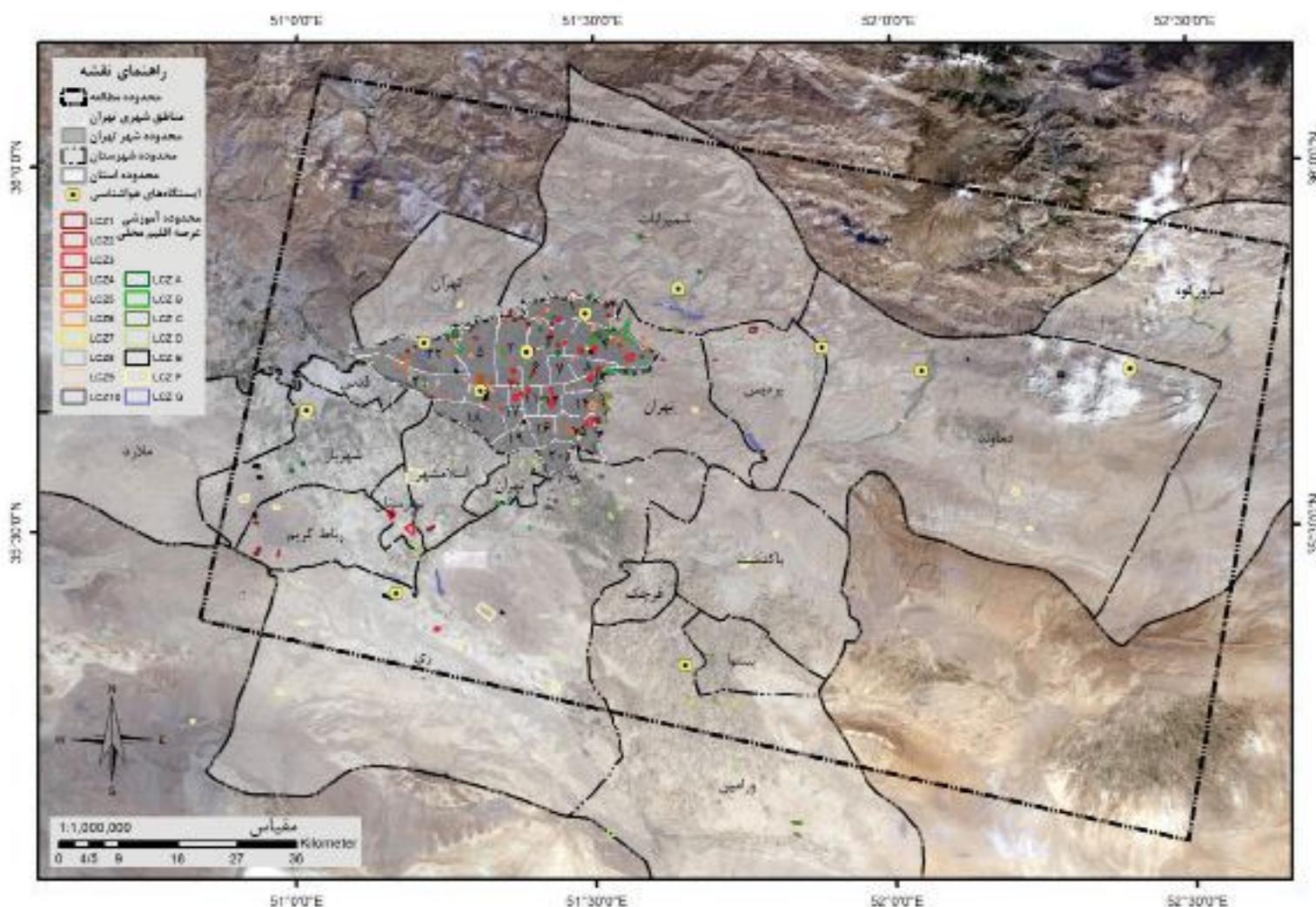
#### ۳.۰.۳. تخمین دمای سطح زمین از طریق سنجش از راه دور<sup>۳۰</sup>

دمای سطح زمین یکی از مهم ترین شاخص های تعیین کننده تعادل گرمایی زمین است. دمای هوا بیشترین تأثیر را از دمای سطح گرفته و بدین ترتیب تمامی فعالیت های بشری، به صورت مستقیم یا غیر مستقیم 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 ماهواره ای لندست ۸<sup>۴۲</sup>، تهیه شده از

ردیف	داده ماهواره ای	شناسه داده	وضوح (رزولوشن) تصویر	تاریخ برداشت شمسی - میلادی	تحلیل هدف
۱	LC0816403520190917	<i>Landsat 8</i>	100 متر و 30 متر	2019 Sep 17 – 1398 ۲۶ شهریور	طبقه بندی اراضی با وضوح ۱۰۰ متر و استخراج دمای سطح زمین با وضوح ۳۰ متر
۲	LC0816403520190731			2019 Jul 31 – 1398 ۰۹ امرداد	
۳	LC0816403520190613			2019 Jun 13 – 1398 ۲۳ خرداد	
۴	LC0816403520190221			2019 Feb 21 – 1397 ۰۲ اسفند	
۵	LC0816403520190104			2019 Jan 04 – 1397 ۱۴ دی	
۶	LC0816403520181117			2018 Nov 17 – 1397 ۲۶ آبان	
۷	Google Earth	-	نمونه گیری دوباره با ابعاد پیکسلی ۱۰۰ متر	2019 - 1397	طبقه بندی اراضی

ت ۳. محدوده مورد مطالعه شامل کلان شهر تهران و شهرستان های هم جوار، مأخذ عاری، ص ۱۳۸ (مأخذ لایه های پایه: پایگاه داده های نرم افزار Google Earth).

پایگاه داده مشترک ناسا و سازمان زمین شناسی ایالات متحده<sup>۴۳</sup>، که در فصل های مختلف سال و با در نظر گرفتن حداقل میزان ابرناکی تصویر انتخاب شده اند، 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 آن ها اعمال گردید. همه تصاویر با سیستم مختصات UTM ناحیه ۳۹ درجه شمالی زمین مرتع گردیده



و به منظور اعتبار سنجی میزان خطا در محاسبه دمای سطح زمین از داده های هواشناسی ساعتی ایستگاه های سینوپتیک مستقر در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در «ت ۳» منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه ها را نمایش می دهد. به منظور تخمین دمای سطح زمین و صرف نظر از روش انتخابی برای تبدیل دمای درخشندگی<sup>۴۴</sup> سنجنده ماهواره به دمای واقعی سطح زمین، ابتدا باید تابش طیفی در سطح

توسط سوبرینو 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 بهنجارشده 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>52</sup>

$$T_s = \frac{TB}{1 + (\lambda * \frac{TB}{\rho}) \ln \epsilon} \quad \text{رابطه ۳.}$$

در این معادله

$T_s$  دمای تصحیح شده سطح زمین بر حسب کلوین،

$T_B$

دمای جسم سیاه بر حسب کلوین،

$\lambda$

طول موج رادیانس گسیل شده و

$$\rho = hcK^{-1} (1,438 * 10^{-2} \text{mk})(\mu / 5,11 \text{m}) \quad \text{معادل} (1,438 * 10^{-2} \text{mk}) (5,11 \text{m})$$

$$h = 6,626 * 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{ثابت پلانک معادل}$$

$$c = 2,998 * 10^8 \text{ms}^{-1} \quad \text{سرعت نور}$$

$$K = 1,38 * 10^{-23} \text{JK}^{-1} \quad \text{ثابت استفان بولتزمن}$$

و گسیلمندی سطح زمین هست. در انتهای بهمنظور محاسبه دمای سطح زمین بر حسب 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

به منظور طبقه‌بندی «عرصه‌های اقلیم محلی» معمولاً به داده‌های تفصیلی در خصوص عناصر ریخت‌شناسی شهری نظری 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 فناورانه و سیاست‌گذاری دولتی برای بسیاری از شهرها، حتی در کشورهای توسعه‌یافته،

سنجدنده 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 بر حسب واحد  $\text{Wm}^{-2} \text{Sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ .

$M_L$  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 دریافت شده استخراج

می‌شود.<sup>45</sup> برای تبدیل تابش طیفی به دمای جسم سیاه از

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

$$T_B = \frac{k^2}{\ln(\frac{K_1}{L\lambda}) + 1} \quad \text{رابطه ۲.}$$

در این رابطه

$T_B$  دمای روشنایی سنجدنده بر حسب کلوین،

$$K_1 \text{ ثابت کالیبراسیون اول بر حسب } \text{Wm}^{-2} \text{Sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$$

$K_2$  ثابت کالیبراسیون دوم بر حسب کلوین، و

$L\lambda$  تابش طیفی بر حسب  $\text{Wm}^{-2} \text{Sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  است. لازم به ذکر

است که ثابت کالیبراسیون اول و دوم برای هر کدام از باندهای

۱۰ و ۱۱ به تفکیک در فایل فرآداده تصویر لندست ۸ قرار

داده شده است. پژوهشگران بسیاری به اعتبارسنجی روشن‌ها

و الگوریتم‌های مختلف استخراج دمای سطح زمین از نتایج

دمای روشنایی سنجدنده پرداخته‌اند و بهمنظور کار با تصاویر

ماهواره‌های لندست روشن‌های نظیر پنجره‌تکی<sup>46</sup>، تک‌کانالی<sup>47</sup>،

سبال<sup>48</sup>، و پنجره‌مجزا<sup>49</sup> مکرراً توصیه شده‌اند. در یکی از

پژوهش‌ها در خصوص استخراج دمای سطح زمین با استفاده از

داده‌های ماهواره‌لندست ۸، پژوهشگران از این روشن‌ها 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>51</sup> در این پژوهش به سبب

قابل قبول بودن مکرر نتایج اعتبارسنجی از روشن‌پیشنهادی

- 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
- : نک: 50.

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".

51. بهروز براهیمی هروی، و همکاران، «تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌لندست ۸ در کلان‌شهر کرج»، ص ۷۲. نک: 52.

Sobrino, et al, "Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5".

ساختمان‌ها به عرض معابر، ضریب آسمان قابل رؤیت، میانگین ارتفاع ساختمان‌ها، و... و شاخص‌های مربوط به پوشش سطوح نظیر ضریب آبدوی 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 معيار تعداد طبقات بهمنظور طبقه‌بندی ساختمان‌ها از لحاظ ارتفاعی با عنوان بلندمرتبه، میانمرتبه، و کوتاهمرتبه به ترتیب بیش از ۱۰ طبقه، ۴ تا ۹ طبقه، و تا ۳ طبقه توافق دارند.

در پژوهش حاضر از ۶ سری تصویر ماهواره لندست ۸ و همچنین تصاویر پایگاه داده‌ای نرمافزار گوگل ارث با سطح پوشش کل محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. این تصاویر شامل باندهای مختلفی هستند که می‌توان به‌واسطه ارزش رقومی هر پیکسل از آن‌ها معيارهای 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 رویه واحد جهانی برای استخراج اطلاعات شکلی و عملکردی شهرها و همچنین بنا به نیاز به تشکیل پایگاه اطلاعاتی مشترک و وسیع به منظور مقایسه 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 هزینه محاسبات رایانه‌ای، سرعت عمل بالا، و سهولت اجرای رویه‌ها خواهد بود. از این‌رو برای مورد پژوهش در کلان‌شهر تهران تعریف عملیاتی هر عرصه شامل بازه‌ای از شاخص‌های مختلف مربوط به شکل نظیر، نسبت سطوح ساخته شده 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".

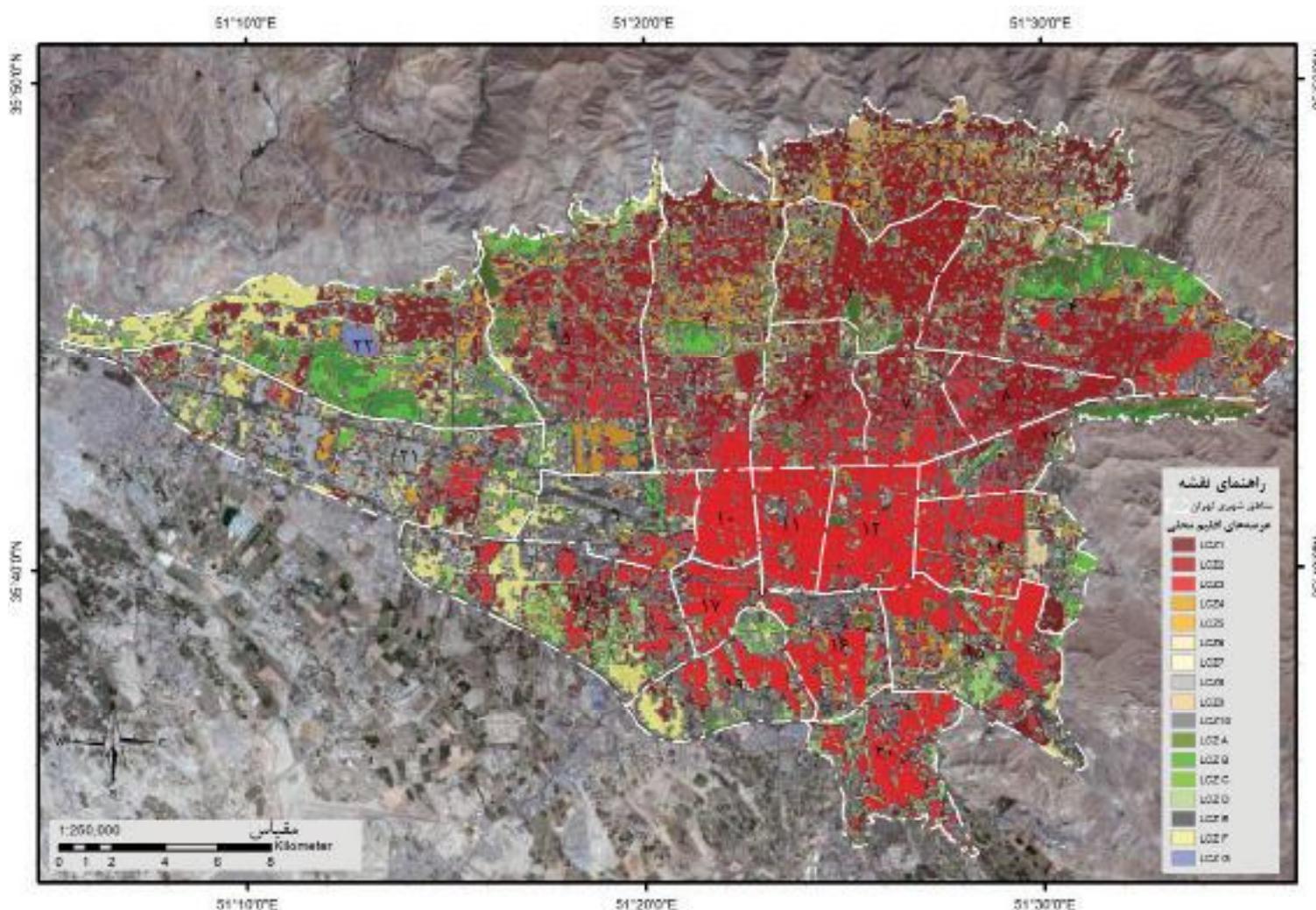
ردیف	کد عرصه	ویژگی ریخت‌شناختی	نسبت سطوح ساخته شده	نسبت سطوح غیرقابل قابل ریخت	میانگین نسبت ارتفاع شاخص آسمان به عرض معابر (m)	ضریب انتشار سطوح گرمای ناشی از فعالیت (W.m <sup>-2</sup> .J <sup>-0.5</sup> .K <sup>-1</sup> )	(متر)
۱	LCZ 1	بلندمرتبه فشرده	<۴۰	>۴۰	>۲	۰.۷۰-۰.۷۲	>۲۵
۲	LCZ 2	میان‌مرتبه فشرده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۶۵-۰.۶۷	۲۵-۳۰
۳	LCZ 3	کوتاه‌مرتبه فشرده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۶۰-۰.۶۲	۱۰-۱۵
۴	LCZ 4	بلندمرتبه پراکنده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۵۵-۰.۵۷	>۲۵
۵	LCZ 5	میان‌مرتبه پراکنده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۵۰-۰.۵۲	۲۰-۲۵
۶	LCZ 6	کوتاه‌مرتبه پراکنده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۴۵-۰.۴۷	۱۵-۲۰
۷	LCZ 7	کوتاه‌مرتبه - ماز سیک	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۴۰-۰.۴۲	۱۰-۱۵
۸	LCZ 8	کوتاه‌مرتبه - درختک	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۳۵-۰.۳۷	۱۰-۱۵
۹	LCZ 9	ساخت‌وساز پراکنده	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۳۰-۰.۳۲	۱۰-۱۵
۱۰	LCZ 10	ساخت‌وساز مستقیم	<۴۰	>۴۰	<۲	۰.۲۵-۰.۲۷	۱۵-۲۰
۱۱	LCZ A	درختان هنرآم	<۱۰	<۱۰	>۱	۰.۱۰-۰.۱۲	۳۰-۴۰
۱۲	LCZ B	درختان پراکنده	<۱۰	<۱۰	>۱	۰.۰۵-۰.۰۷	۱۵-۲۰
۱۳	LCZ C	بوتهزار	<۱۰	<۱۰	<۱	۰.۰۵-۰.۰۷	۱۵-۲۰
۱۴	LCZ D	گیاهان کوتاه	<۱۰	<۱۰	<۱	۰.۰۳-۰.۰۵	۱۵-۲۰
۱۵	LCZ E	ستگالاخ یا استگفرش	<۱۰	<۱۰	<۱	۰.۰۱-۰.۰۳	<۱۵
۱۶	LCZ F	غایل یا ملته	<۱۰	<۱۰	<۱	۰.۰۰-۰.۰۲	<۱۵
۱۷	LCZ G	لب	<۱۰	<۱۰	<۱	۰	۱۵-۲۰

گونه‌های ساختهای و پیشتون زمین					
مردمهای اقلیم محلی ۵ کوتوتریت پراکند	مردمهای اقلیم محلی ۶ بلان مرید پراکند	مردمهای اقلیم محلی ۷ پلکوتبه پراکند	مردمهای اقلیم محلی ۸ کوتوتریت تشرد	مردمهای اقلیم محلی ۹ بلان مرید تشرد	مردمهای اقلیم محلی ۱۰ پلکوتبه تشرد
مردمهای اقلیم محلی ۱۰۲ درخان پراکند	مردمهای اقلیم محلی ۱۰۱ درخان خراکم	مردمهای اقلیم محلی ۱۰ ساخته سنتی ساکن	مردمهای اقلیم محلی ۹ ساختمان پراکند	مردمهای اقلیم محلی ۸ کوتوتریت درسته	مردمهای اقلیم محلی ۷ کوتوتریت ملزه میک
مردمهای اقلیم محلی ۱۰۷ لب	مردمهای اقلیم محلی ۱۰۶ خاک یا ماسه	مردمهای اقلیم محلی ۱۰۵ ستگاخ یا استگاخش	مردمهای اقلیم محلی ۱۰۴ گلدن گوته	مردمهای اقلیم محلی ۱۰۳ بوتزار	

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

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

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 اقلیمی 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



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

در «ت ۴» نتیجهٔ 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

مربوط به ساختمان‌ها با شیوه آرایش متراکم حدود ۴۰٪ از کل مساحت شهر تهران را شامل می‌شود که نشان‌دهندهٔ تراکم بالای شهر است. سهم به نسبت نزدیک هر کدام 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.

#### ۴.۲. تغییرات زمانی – مکانی دمای سطح زمین و محدوده‌های جزایر حرارتی

پس از طبقه‌بندی سطوح شهر و بیش از امکان تحلیل نوع ارتباط میان عرصه‌ها و نقش هریک در ایجاد پدیدهٔ جزیرهٔ 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

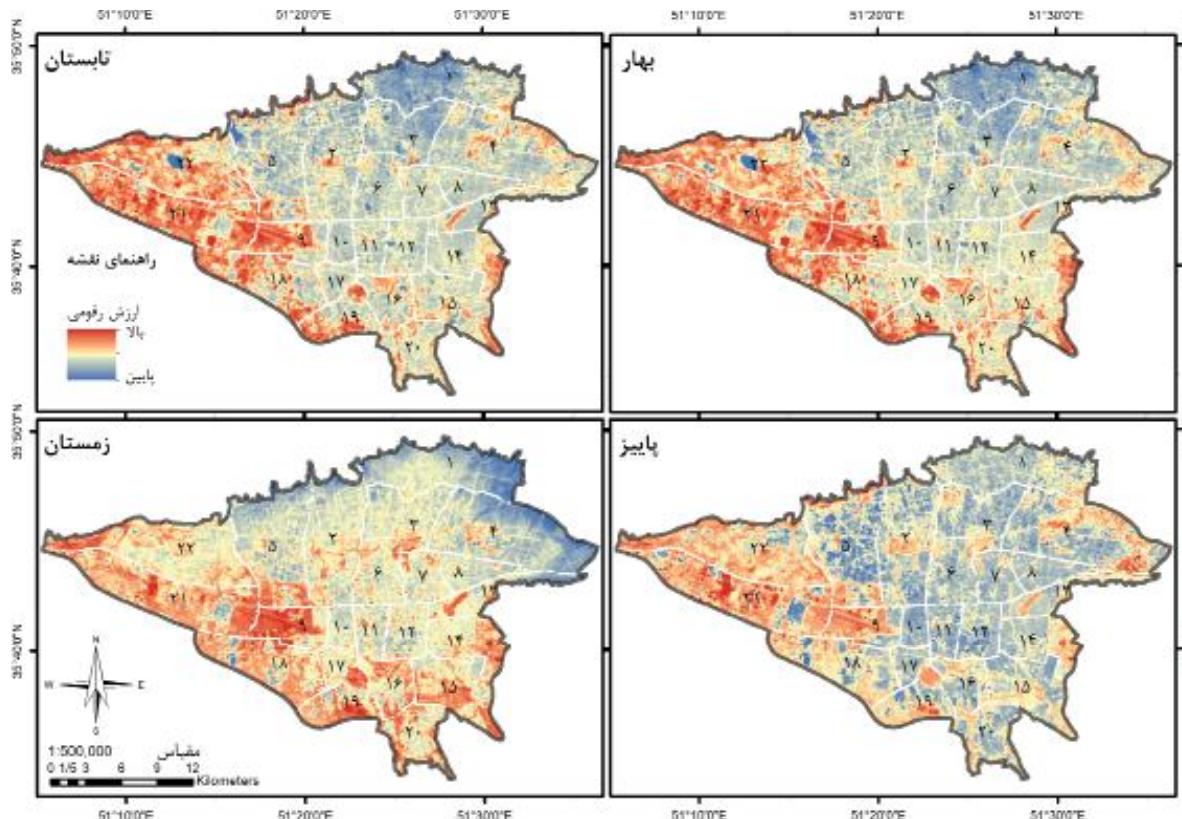
با پوشش غالب سنگلاخ، سنگفرش، خاک و ماسه در جنوب غرب و غرب شهر تهران، و عرصه‌های مربوط به پوشش گیاهی (عرصه‌های ۱۰۱ تا ۱۰۴) عمداً به صورت لکه‌های پراکنده در کل شهر و برخی محدوده‌های موضعی متراکم در نواحی چون پارک جنگلی لویزان در شمال شرق منطقه ۴ شهرداری، اراضی عباس‌آباد واقع در جنوب منطقه ۳، اراضی مربوط به برج مخابراتی میلاد و پارک پرديسان 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، ۱۳ 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. محدودهٔ فضایی عرصه شماره ۲ نیز نشان می‌دهد که ساختمان‌های میان‌مرتبه فشرده عمدها در عده 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 درصد سطح اشغال	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)	عنوان عرصهٔ اقلیم محلی	کد عرصه	٪	ردیف درصد سطح اشغال	مجموع مساحت (کیلومتر مربع)	عنوان عرصهٔ اقلیم محلی	کد عرصه	٪
47,3	06,22	ساختمان صنعتی سنگین	LCZ 10	10	15,47	98,33	بلندمرتبهٔ فشرده	LCZ 1	1
78,1	32,11	درختان متراکم	LCZ A	11	15,24	96,84	میان‌مرتبهٔ فشرده	LCZ 2	2
31,3	04,21	درختان پراکنده	LCZ B	12	52,18	117,70	کوتاه‌مرتبهٔ فشرده	LCZ 3	3
89,3	74,24	بوتهزار	LCZ C	13	75,4	30,21	بلندمرتبهٔ پراکنده	LCZ 4	4
70,1	83,10	گیاهان کوتاه	LCZ D	14	60,6	41,95	میان‌مرتبهٔ پراکنده	LCZ 5	5
03,6	31,38	سنگلاخ یا سنگفرش	LCZ E	15	21,7	45,85	کوتاه‌مرتبهٔ پراکنده	LCZ 6	6
50,6	31,41	خاک یا ماسه	LCZ F	16	19,0	1,23	کوتاه‌مرتبهٔ سازه سبک	LCZ 7	7
25,0	58,1	آب	LCZ G	17	99,3	25,34	کوتاه‌مرتبهٔ درشت‌دانه	LCZ 8	8
100	57,635	مجموع			09,1	94,6	ساخت‌وساز پراکنده	LCZ 9	9

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

لکه‌های داغ» است. در این روش کل ارزش‌های اطلاعاتی مربوط به محدوده مورد مطالعه در 7 طبقه دسته‌بندی شده که هر طبقه نشان‌دهنده میزان و وجهت 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 گرفته شده 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 ۱۵,۵۹ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. زمان پرداشت



حرارتی در سطح شهر می‌توان به تحلیل‌های آماری و توصیفی دقیق‌تر و بررسی عوامل احتمالی مؤثر بر شکل‌گیری این پدیده دست یافت. بطور کلی هنگامی که از عنوان «جزیره» برای توصیف پدیده تفاوت دمای میان محیط شهری با محیط اطراف سخن به میان 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>53</sup>

راهکار استفاده شده در این مطالعه روش تحلیلی موسوم به

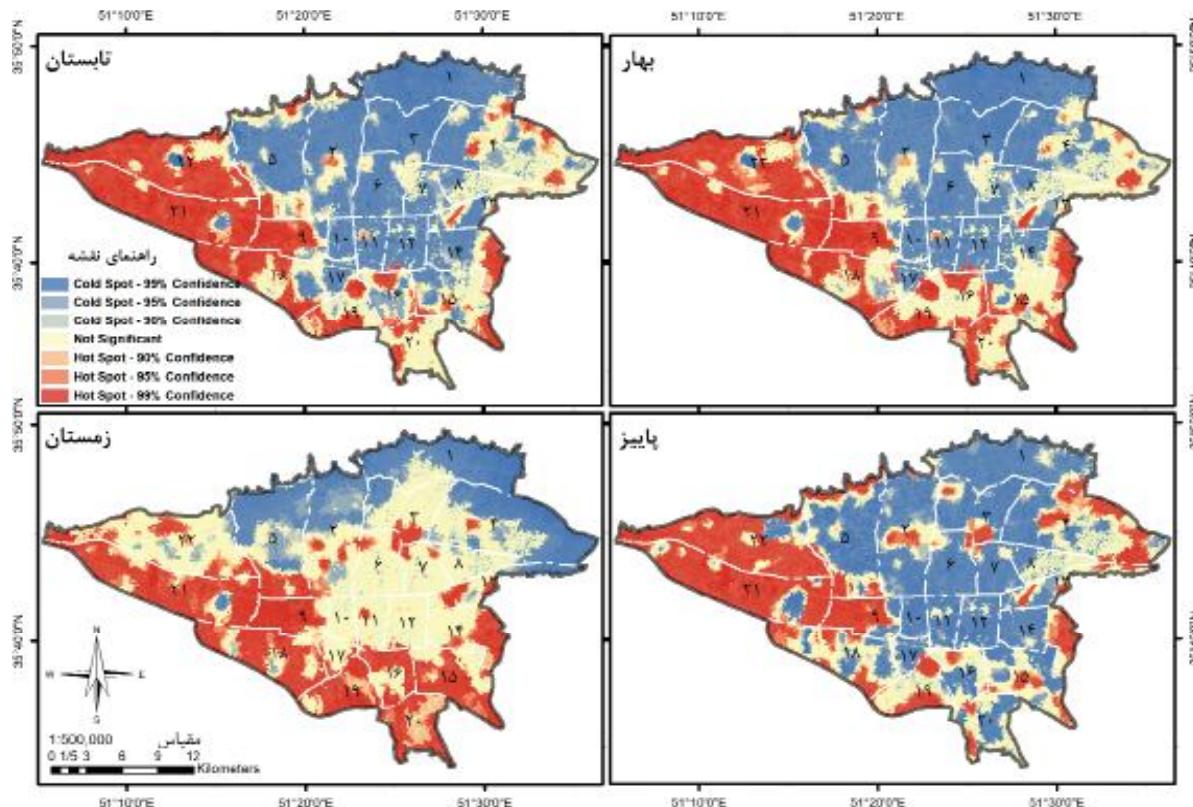
53. L. Liu & Y. Zhang, "Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong", p. 1541; L. Chen, et al, "Surface Heat Island in Shanghai and Its Relationship with Urban Development from 1989 to 2013", p. 7.

ت 5- پراکندگی عرصه‌های اقلیم محلی در محدوده مناطق شهرداری تهران، مأخذ: عامری، ص 116 (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 باир است، ۳. حوزه شرقی در محدوده فرودگاه قدیمی دوشان‌تپه 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 نظری تپه‌های عباس‌آباد، پارک جنگلی لویزان، و پارک پردیسان می‌شود که شدت این جزایر حرارتی در طول سال کمتر از سایر حوزه‌های یادشده است.

تصاویر ماهواره‌لنست ۸ در محدوده مطالعاتی حدود ۱۰ تا ۱۱ صبح به وقت محلی است و باید توجه داشت که بازه‌های دمایی استخراج شده مربوط به میانه صبح و قبل از به حداقل 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 حداقل 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 شناخته شده جزایر حرارتی در غرب



ت ۶. پراکندگی 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 هریک 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  $40^{\circ}/32^{\circ}$  در دی ماه  $5^{\circ}/64^{\circ}$  و در دو ماه از فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب  $37^{\circ}/80^{\circ}$  و  $10^{\circ}/83^{\circ}$  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 درون‌شهری بهره گرفته شد؛ البته باید توجه داشت که معمولاً در شهرها همه عرصه‌های اقلیم محلی هفده‌گانه معرفی شده وجود نخواهند داشت و لزوماً عرصه‌های موجود هم کاملاً منطبق

با بازه‌های طرح شده 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، ساخت و سازهای پراکنده، و عرصه‌های مربوط به پوشش اراضی شامل درختان متراکم، گیاهان کوتاه، و آب است.

در طی سال در مورد مطالعاتی بیشترین تفاوت دمای محاسبه شده با میانگین دمای سطح مختص به عرصه مربوط به پوشش خاک و در مردادماه و کمترین آن مربوط به عرصه ساختمانی میان مرتبه فشرده و در ماه خرداد است. بازه عددی شدت جزایر حرارتی میان عرصه‌های درون‌شهری در طول سال  $7^{\circ}/37^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد محاسبه شده که مربوط به فصل‌های گرم سال است، این تفاوت در فصل‌های سرد  $4^{\circ}/43^{\circ}$  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



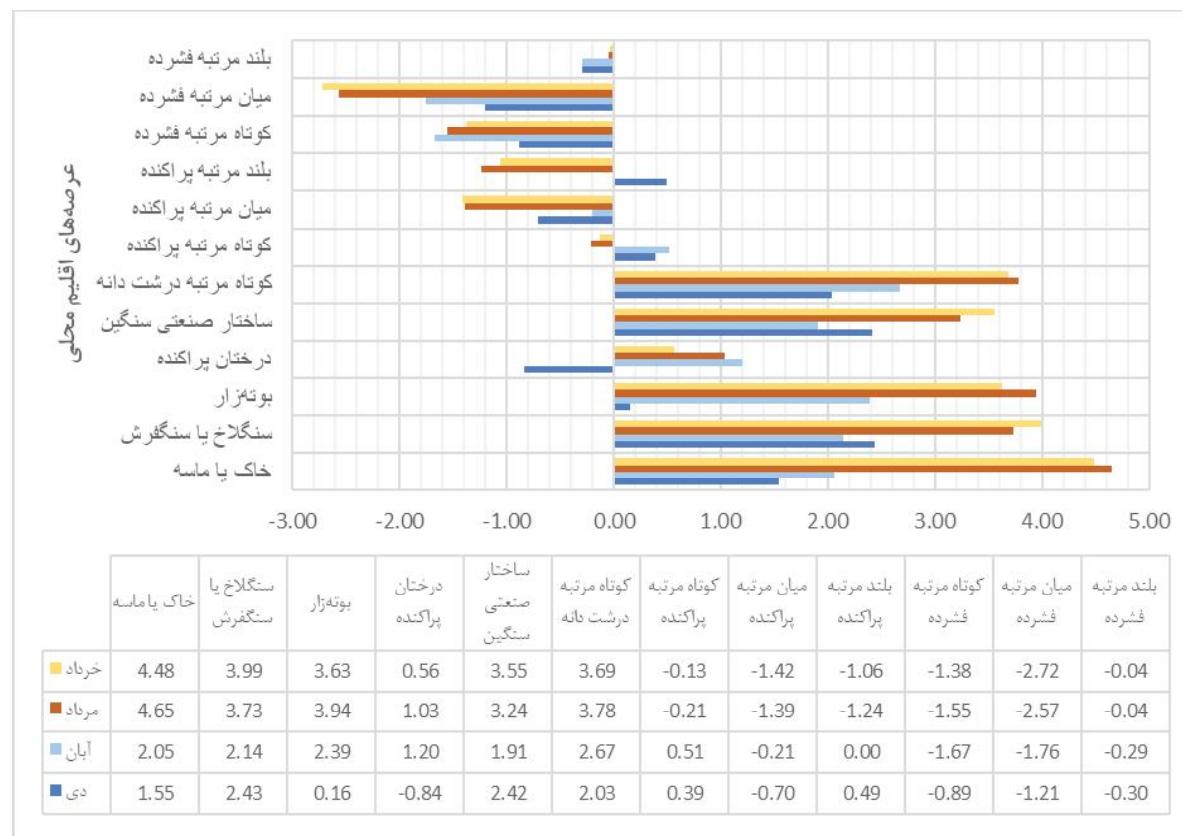
ت ۷. نمودار میانگین دمای سطح زمین در شهر تهران در هریک از ماههای برداشت اطلاعات.

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.

و عرصه‌های مربوط به ساختارهای میان‌مرتبه فشرده، کوتاهمرتبه فشرده، میان‌مرتبه پراکنده، و بلندمرتبه پراکنده بهترتبی نشان‌دهنده بیشترین شدت جزایر سرماشی در موضع پژوهش هستند. اما در فصل‌های سرد سال دسته اول مربوط به عرصه‌های سنگ یا آسفالت، ساختارهای صنعتی سنگین، ساختارهای کوتاهمرتبه درشت‌دانه، و درنهایت پوشش خاک و دسته دوم بهترتبی 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

## ۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش عرصه‌های اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و روش سنجش از راه دور طبقبندی و ارزیابی شد. تعداد 10 طبقه مربوط به محیط مصنوع ساختمانی و 7 طبقه مربوط به پوشش اراضی



ت ۸.۸. 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 عرضه شده، 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 سطح شهر دارند که در میان آن‌ها شدت جزایر حرارتی در طبقات با پوشش خاک لخت در طول فصل‌های گرم تا بش از ۴۵ 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 بلند مرتبه فشرده و کوتاه‌مرتبه پراکنده کمترین فاصله را با میانگین دمای سطح در شهر تهران دارند و شدت جزایر سرمایشی در طول سال مربوط به

ساخترهای 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 30 متر و در بازه زمانی 10 الی 11 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. درنتیجه 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 ثانیاً با افزایش سطح جزئیات داده‌ها، امكان 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 مأخذ

- ابراهیمی هروی، بهروز و کاظم رنگن و حمیدرضا ریاحی بختیاری و ایوب تقی‌زاده. «تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست 8 در کلان شهر کرج»، در سنجش از دور و GIS ایران، ش 31 (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
- 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 پوردهیمی 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.

- Arnfield, A.J. "Two Decades of Urban Climate Research: a Review of Turbulence, 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/>.

