

## تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

علیرضا صادقی نیا<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

بهلول علیجانی - استاد اقلیم شناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

پرویز ضیائیان - دانشیار سنجش از دور، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۱۵

### چکیده

در این پژوهش ساختار فضایی - زمانی جزیره حرارتی شهر تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ مطالعه شد. بدین منظور به کمک تصاویر چند زمانه TM (۱۳ تصویر)، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک بانندی کین و همکارانش (۲۰۰۱) استخراج شد. سپس با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، تغییرات فضایی و زمانی دمای سطحی تهران بررسی شد. بررسی تغییرات زمانی دمای سطحی نشان داد که در طول دوره مطالعه، الگوی توزیع دمای سطحی دچار تغییر شده، مقدار مساحت دماهای متوسط و بسیار خنک شهر کاسته شده است و برعکس مقدار مساحت دماهای بسیار بالا (نواحی بسیار گرم) افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است. بررسی تغییرات زمانی شدت جزیره حرارتی تهران نیز نشان داد که مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی روند افزایشی دارد و از ۰/۱۱ برای سال ۱۹۸۶ به ۰/۱۵ برای سال ۲۰۱۰ رسیده است. با توجه به پراکنش فضایی دمای سطحی، جزیره حرارتی، کانون اصلی خود (فرودگاه مهرآباد) را حفظ کرده است و در پیرامون این کانون اصلی خوشه‌های داغ جدیدی در سمت غرب (منطقه ۲۱ و غرب منطقه ۲۲) و جنوب غرب فرودگاه مهرآباد (بخش‌هایی از مناطق ۱۸ و ۱۹) ظهور یافته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است (غرب و جنوب غرب تهران) که با کاهش شدید پوشش گیاهی و بیشترین گسترش کاربری‌های صنعتی - کارگاهی و انبارداری مواجه شده‌اند.

**کلید واژه‌ها:** تهران، جزیره حرارتی، تحلیل فضایی - زمانی، دمای سطح زمین، گرمایش سیاره‌ای.

## مقدمه

شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن «اقلیم شهری» گفته می‌شود. اقلیم شهری به واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم‌تراکم‌تر اطرافش وجود دارد مشخص می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که مکان‌های شهری گرم‌تر از نواحی روستایی اطرافشان هستند و به طور کلی به این پدیده «جزیره حرارتی شهری» گفته می‌شود (روزه و دیواداس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹: ۲). پس از مطرح شدن مفهوم جزیره حرارتی توسط لوک هاوارد<sup>۲</sup> در سال ۱۸۳۳، این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت. اخیراً، با توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی، پدیده جزیره حرارتی اهمیت بیشتری یافته است (چن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۱). ساختمان، بتون، آسفالت و فعالیت‌های صنعتی منجر به پیدایش جزیره حرارتی شهری می‌شود. جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگفرش، ساختمان، بتون، آسفالت و سایر ساخت و سازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برند. همچنین ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم می‌کنند. علاوه بر آن حرارت و وسایل نقلیه، کارخانه‌ها و وسایل تهویه کننده هوا، گرمای محیط را افزایش داده و اثرات جزیره حرارتی را تشدید می‌کند. جزیره حرارتی با تغییر الگوی بادهای محلی، تقویت رشد ابرها و مه، افزایش تعداد رعد و برق و تأثیر بر میزان بارش، شرایط هوا و اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین افزایش مصرف انرژی برای خنک‌کنندگی، کیفیت هوای شهری را پایین آورده و سبب ناراحتی و عدم آسایش شهرنشینان می‌شود و با تأثیر بر سلامتی انسان‌ها، احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی دیگر را افزایش می‌دهد (لیو و هانگ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱: ۱۵۸).

نخستین مطالعاتی که کوشیدند با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی چشم‌انداز حرارتی شهری را مطالعه کنند از داده‌های سنجنده NOAA AVHRR استفاده کردند (بالینگ و برازل<sup>۵</sup>، ۱۹۸۸: ۱۲۹۳-۱۲۸۸؛ گالو<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۳: ۸۹۹-۹۰۸؛ گالو و اون<sup>۷</sup>، ۱۹۸۸: ۱۷۲-۱۵۹؛ استروتکر<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲: ۲۸۹-۲۸۲). قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی برای تمام این مطالعات ۱/۱ کیلومتر بود که فقط برای تهیه نقشه کوچک مقیاس دمای شهر مناسب است. بعدها داده‌های مادون قرمز حرارتی لندست ETM+، TM و ASTER به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی ۱۲۰، ۶۰ و ۹۰ متر امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و مطالعه دقیق‌تر جزایر حرارتی شهری را فراهم نمود

- 
- 1 Rose and Devadas
  - 2 Luk Howard
  - 3 Chen
  - 4 Liu and Zhang
  - 5 Balling and Brazell
  - 6 Gallo
  - 7 Owen
  - 8 Streutker

(وَنگ<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ وَنگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ امیری و همکاران، ۲۰۰۹؛ فلاحتکار و همکاران، ۲۰۱۱؛ موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). در میان مطالعات انجام پذیرفته در سال‌های اخیر، آن دسته از مطالعاتی که با استفاده از تصاویر چندزمانه حرارتی صورت گرفته اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا در این قبیل مطالعات، امکان اکتشاف تغییرات فضایی و زمانی جزایر حرارتی فراهم شده است. بخش مهمی از مطالعات برای شناسایی تغییرات فضایی- زمانی جزایر حرارتی از روش‌های آمار کلاسیک استفاده کرده‌اند (مو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به این که تصاویر حرارتی دارای تغییرات فصلی و ماهانه هستند، لذا مقایسه مستقیم داده‌های مطلق دمای استخراج شده از تصاویر هیچ کمکی به پژوهشگران نمی‌کند. برای حل این مشکل ابتدا باید داده‌های تصاویر حرارتی نرمال (استاندارد) شوند. برخی از پژوهشگران برای نرمال‌سازی تصاویر چندزمانه از دو پارامتر میانگین و انحراف معیار تصاویر استفاده کرده‌اند و برخی دیگر از پارامترهای حداقل دما و حداکثر دمای هر تصویر بهره گرفته‌اند (ژو و چن<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴؛ مو و همکاران، ۲۰۱۱؛ سون<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۱).

بررسی تحقیقات انجام گرفته در رابطه با جزیره حرارتی شهر تهران نشان می‌دهد که تا به حال پژوهش‌های متعددی این موضوع را مورد بررسی قرار داده‌اند (نامداری، ۱۳۸۸؛ شکبیا و همکاران، ۱۳۸۸؛ جنگی، ۱۳۸۳؛ اکبری، ۱۳۷۹؛ ملک پور و طالعی، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰). برخی از این مطالعات به دنبال معرفی الگوریتم‌های مناسب جهت استخراج دمای سطحی تهران بوده‌اند و برخی دیگر با استفاده از یک تصویر حرارتی، نقش کاربری اراضی را در الگوی حرارتی تهران مطالعه کرده‌اند. از آنجا که تا کنون هیچ پژوهشی تغییرات فضایی و زمانی محیط حرارتی شهر تهران را به طور کاملاً سیستماتیک و جامع مورد مطالعه قرار نداده، در این پژوهش با تکیه بر روش‌های آماری مناسب، تغییرات فضایی- زمانی ساختار جزیره حرارتی شهر تهران مطالعه شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزان محیطی، ناحیه‌ای و شهری، سازمان‌های حفاظت محیط زیست و دانشمندان علوم شهری، کشاورزی و اقتصاد سودمند باشد و به مدیران و برنامه‌ریزان شهری کمک کند تا در جهت کاهش اثرات جزیره حرارتی شهر تهران اقداماتی مفید و زیربنایی انجام دهند.

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل شهر تهران، پایتخت جمهوری اسلامی ایران است که از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این شهر در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران در دشتی نسبتاً هموار واقع شده است.

1 Weng  
2 Mo  
3 Xu and Chen  
4 Sun

پهنه استقرار آن از جنوب و جنوب غربی به دشت‌های شهریار و ورامین منتهی می‌شود و در سمت شمال و شرق با حد طبیعی فضای جغرافیایی شهر تهران در کوه و دشت به وسیله دو رود کرج در غرب و جاجرود در شرق مشخص می‌شود که در نزدیکی کویر نمک در جنوب شرقی ایران به هم می‌پیوندند (نامداری، ۱۳۸۸: ۱۰). تهران یک مرکز کلیدی برای تولید، سکونت، تجارت، توزیع و حمل و نقل در کشور ایران است. توسعه شهری شتاب یافته و فقدان برنامه‌ریزی مناسب تأثیرات مهمی روی محیط حرارتی آن بر جای گذاشته است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که دماهای کمینه تهران نسبت به ایستگاه ورامین افزایش یافته که نمایانگر آزاد شدن انرژی گرمایی بیشتر در تهران نسبت به حومه آن است. نتایج تحقیقات علیجانی (۱۳۸۷) در مورد دمای تهران در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ نشانگر تغییر شرایط اقلیمی تهران است. اقلیم شهر تهران در طول این دوره زمانی مرتب در حال گرم شدن بوده است.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از تعداد ۱۳ تصویر چند زمانه لندست TM استفاده شد. این تصاویر محدوده زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ را پوشش می‌دهند و از نظر زمانی مربوط به دوره گرم سال (ژوئن تا آگوست) هستند.

#### جدول ۱ مشخصات باندهای TM

| باند        | ۱            | ۲           | ۳            | ۴           | ۵            | ۶            | ۷            |
|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| محدوده طیفی | ۰/۴۵ تا ۰/۵۲ | ۰/۶ تا ۰/۵۲ | ۰/۶۳ تا ۰/۶۹ | ۰/۷۶ تا ۰/۹ | ۱/۵۵ تا ۱/۷۵ | ۱۰/۴ تا ۱۲/۵ | ۲/۰۸ تا ۲/۳۵ |

#### جدول ۲ تصاویر TM استفاده شده جهت بررسی تغییرات فضایی - زمانی جزیره حرارتی تهران

|           |          |          |           |           |          |          |
|-----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| ۱۹۸۶/۶۲   | ۱۹۸۶/۶۱۸ | ۱۹۸۷/۶۲۱ | ۱۹۸۷/۷/۲۳ | ۱۹۸۷/۱    | ۱۹۹۸/۷/۵ | ۲۰۰۹/۶/۱ |
| ۲۰۰۹/۶/۱۷ | ۲۰۰۹/۷/۳ | ۲۰۰۹/۸/۴ | ۲۰۱۰/۶/۴  | ۲۰۱۰/۷/۲۲ | ۲۰۱۰/۸/۷ |          |

علاوه بر تصاویر TM، جهت انجام تصحیحات هندسی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تهران استفاده شد. در تصحیح تمام تصاویر، خطای RMS کمتر از ۰/۵ حاصل شد. همچنین جهت محاسبه پارامترهای مربوط به استخراج دما از داده‌های هواشناسی ساعتی ایستگاه‌های سینوپتیک مستقر در شهر تهران یعنی مهرآباد، ژئوفیزیک، دوشان تپه، چیتگر و اقدسیه استفاده شد.

جهت استخراج دمای سطح زمین، داده‌های باند حرارتی سنجنده TM (باند ۶)، از الگوریتم تک بانندی پیشنهاد شده توسط کین<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۱) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس معادله انتقال رادیانس حرارتی، الگوریتم تک بانندی نامبرده نیازمند سه پارامتر شامل: قابلیت عبوردهندگی جو، میانگین دمای مؤثر جو،

گسیلمندی سطحی است. برای محاسبه پارامترهای اول و دوم به دو پارامتر هواشناسی نیاز است که می‌بایست همزمان با عبور ماهواره از روی منطقه مطالعاتی اندازه‌گیری شده باشند. پارامترهای مورد نظر دمای هوای نزدیک سطح زمین و مقدار بخار آب جو هستند. این داده‌ها از سازمان هواشناسی ایران دریافت و با استفاده از آن‌ها میانگین دمای مؤثر و قابلیت عبوردهندگی جو به دست آمد. سومین پارامتر مورد نیاز گسیلمندی است که برای محاسبه آن از شاخص NDVI و روش پیشنهادی سوبرینو<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۴) استفاده شد. سایر پارامترهای مورد نیاز از هدر فایل موجود در داده‌های تصاویر TM تهیه شد. در پایان با داشتن پارامترهای ذکر شده معادله تک باندی کین و همکارانش (۲۰۰۱) از رابطه زیر به دست آمد:

$$T_g = \{a(1 - C - D)[b(1 - C - D) + C + D]T_i - DT_a\} / C \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه:  $a = -67.355351$ ؛  $b = 0.458606$ ؛  $C = a_1 \times \tau_1$ ؛  $D = (1 - \tau_1)[1 + (e_1) \times \tau_1]$ ؛  $T_g$ : دمای سطح زمین،  $T_i$ : دمای مؤثر در اتمسفر (دمای درخشندگی)،  $T_a$ : میانگین دمای مؤثر جو،  $T_i$ : قابلیت عبور دهندگی جو و  $E_1$  میزان گسیلمندی است. جزئیات دقیق در مورد نحوه محاسبه پارامترهای ذکر شده در مقاله کین و همکاران (۲۰۰۱) و لو و هانگ (۲۰۱۱) موجود است.

جهت بررسی تغییرات فضایی و زمانی جزیره حرارتی، داده‌های دمای سطحی تهران با استفاده از روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. با توجه به این که تصاویر مورد استفاده در این مقاله دارای تغییرات فصلی و ماهانه هستند، لذا مقایسه مستقیم داده‌های مطلق دمای استخراج شده از تصاویر به هیچ عنوان منطقی و علمی نیست. در نتیجه ابتدا باید با استفاده از یک روش آماری قدرتمند داده‌های دمای هر ۱۳ تصویر استاندارد شده و در گام بعدی تغییرات زمانی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از دو پارامتر حداقل دما و حداکثر دمای هر تصویر، داده‌های هر تصویر نرمال شد. با استفاده از این روش داده‌های تمام تصاویر (۱۳ تصویر) توزیع یک‌شکل پیدا کرد و توزیع آن بین ۰ و ۱ قرار گرفت. برای نرمال‌سازی تصاویر از رابطه زیر استفاده شد (مو و همکاران، ۲۰۱۱: ۳):

$$N_i = \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه:  $N_i$ : مقدار نرمال شده سلول  $i$ ،  $T_i$ : مقدار دمای مطلق سلول  $i$ ،  $T_{min}$ : حداقل دمای هر تصویر و  $T_{max}$ : حداکثر دمای هر تصویر است. سپس تصاویر نرمال شده با استفاده از مقدار میانگین و انحراف معیار خود به ۵ طبقه دمایی تقسیم شدند (ژو و همکاران، ۲۰۱۱). در جدول ۳،  $T_{min}$  بیانگر میانگین دمای هر یک از تصاویر نرمال شده و  $std$  نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار هر یک از تصاویر نرمال شده است.

جدول ۳ نحوه طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی تصاویر مطالعه شده به ۵ طبقه دمایی

| دامنه مربوط به هر طبقه‌بندی                                 | طبقه‌بندی دما             |
|---|---------------------------|
| $T \leq T_{mean} - 1.5 \text{ std}$                         | دمای بسیار پایین (طبقه ۱) |
| $T_{mean} - 1.5 \text{ std} < T < T_{mean} - \text{std}$    | دمای پایین (طبقه ۲)       |
| $T_{mean} - \text{std} < T \leq T_{mean} + \text{std}$      | دمای متوسط (طبقه ۳)       |
| $T_{mean} + \text{std} < T \leq T_{mean} + 1.5 \text{ std}$ | دمای بالا (طبقه ۴)        |
| $T > T_{mean} + 1.5 \text{ std}$                            | دمای بسیار بالا (طبقه ۵)  |

پس از طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی هر یک از تصاویر، مقدار مساحت هر طبقه دمایی در محیط ARC GIS 9.3 محاسبه شد. در ادامه روند تغییرات زمانی مساحت هر طبقه مورد بررسی قرار گرفت تا از این طریق روندهای افزایشی یا کاهش‌ی هر طبقه دمایی شناسایی شود. هدف اصلی از فرآیند نرمال‌سازی و سپس طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی آن است که بتوانیم با استفاده از این روش تشخیص دهیم که آیا مساحت نواحی گرم و بسیار گرم (به خصوص طبقه ۵ که مربوط به دماهای بسیار بالا است) دچار تغییر شده است؟ به عبارت دیگر با استفاده از این روش آماری می‌توان تغییرات به وقوع پیوسته در توزیع آماری داده‌های دما را شناسایی کرد و به واسطه آن نحوه تغییرات جزایر حرارتی را کمی نمود.

جهت بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ از شاخص نسبت جزیره حرارتی<sup>۱</sup> استفاده شد (ژو و چن، ۲۰۰۴). در این روش نیز لازم است تا ابتدا با استفاده از رابطه ۲، داده‌ها نرمال شوند و پس از طبقه‌بندی داده‌های نرمال شده با استفاده از روش ارائه شده در جدول ۳، مساحت هر طبقه دمایی محاسبه شود. شاخص نسبت جزیره حرارتی از طریق رابطه زیر محاسبه شد (ژو و چن، ۲۰۰۴: ۲۷۸):

$$URI = \frac{1}{100m} \sum_{i=1}^n w_i p_i \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه: URI شاخص نسبت جزیره حرارتی است.  $m$  تعداد طبقات دمای نرمال شده است که در پژوهش ما تعداد طبقات ۵ است (زیرا دمای هر تصویر به ۵ طبقه تقسیم شده است).  $N$  تعداد طبقات دمایی است که بالاتر از طبقه دمای متوسط (نرمال) هستند. در این پژوهش طبقه ۴ و ۵ نسبت به طبقه ۳ که دمای متوسط دارد دمای بالاتری دارند. در نتیجه مقدار  $m$  ۲ است.  $w_i$  مقدار وزن طبقات دمایی را که بالاتر از نرمال هستند نشان می‌دهد. منظور مقدار وزن طبقه ۴ و ۵ است که با توجه به شماره هر طبقه برای طبقه ۴ (دماهای بالا) عدد ۴ و برای طبقه ۵ (دماهای بسیار بالا) عدد ۵ است.  $p_i$  نسبت مساحت طبقات دمایی بالاتر از نرمال به مساحت کل شهر است. برای به دست آوردن این پارامتر مساحت هر یک از طبقات ۴ و ۵ تقسیم بر مساحت کل شهر می‌شود و سپس عدد به دست آمده

1 Urban heat island Ratio Index (URL)

ضرب در عدد ۱۰۰ می‌شود. برای نمونه مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی تصویر ۱۹۸۶/۶/۲ به صورت زیر خواهد بود:

$$URI_{1986} = \frac{1}{100 \times 5} \times \left[ \left( 5 \times \left( \frac{28}{612} \times 100 \right) \right) + \left( 4 \times \left( \frac{97}{612} \times 100 \right) \right) \right] = 0.11$$

### بحث و نتایج

ابتدا باید دقت مدل در استخراج دما ارزیابی شود. متأسفانه هیچ‌گونه داده قابل اعتمادی از دمای سطحی تهران که همزمان با عبور ماهواره (تقریباً ۹:۴۵ صبح) اندازه‌گیری شده باشد در دسترس پژوهشگر نیست تا دقت مدل را برای ناحیه مطالعه ارزیابی کند. علی‌رغم این موضوع با توجه به رابطه دمای سطح زمین و دمای هوا که قبلاً توسط برخی از پژوهشگران انجام شده است، می‌توان دقت مدل را به طور تقریبی ارزیابی کرد. یکی از ساده‌ترین و مناسب‌ترین مدل‌های خطی به صورت زیر پیشنهاد شده است (گارسیا- کوتو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶).

$$Ta = 14.6 + 0.44 \times LST \quad (\text{رابطه ۴})$$

Ta دمای هوا و LST دمای سطح زمین است. با توجه به در دسترس بودن داده‌های دمای هوای ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی تهران در هنگام عبور ماهواره، ابتدا داده‌های دمای سطحی به دست آمده از سنجنده با کمک رابطه بالا به دمای هوا تبدیل شدند و سپس با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شهر تهران مقایسه شدند. از آنجا که زمان عبور ماهواره به وقت محلی ۹:۴۵ صبح است و اختلاف ساعت تهران و گرینویچ ۳ ساعت و ۳۰ دقیقه است، برای مقایسه از داده‌های ساعت ۶ صبح به وقت گرینویچ استفاده شد. برای نمونه جداول ۴ و ۵ تفاوت دمای هوای تخمین زده شده (Ts) و دمای ایستگاه‌های هواشناسی تهران (Ta) را برای دو تصویر ۲۰۰۹/۸/۷ و ۲۰۱۰/۷/۲۲ نشان می‌دهند. میانگین خطا تقریباً ۱/۵ درجه سانتیگراد است. لازم به ذکر است که برای دست یافتن به نتایج دقیق‌تر حتماً باید در هنگام عبور ماهواره یک گروه کارشناسی دمای سطحی تهران را در چندین نقطه با دقت بالا اندازه‌گیری کند و نتایج حاصل با داده‌های استخراج شده از ماهواره مقایسه شود.

جدول ۴ مقایسه دماهای LST، Ta و Ts برای تصویر ۲۰۰۹/۸/۷

| نام ایستگاه  | مهرآباد | دوشان تپه | شمال تهران | ژئوفیزیک | چیتگر |
|--|---------|-----------|------------|----------|-------|
| دمای سطحی محاسبه شده از تصویر (LST)                | ۳۸      | ۳۷        | ۳۲         | ۳۲       | ۳۶    |
| دمای هوای محاسبه شده از تصویر (Ts)                 | ۳۱/۳    | ۳۰/۸      | ۲۹         | ۲۸/۳     | ۳۰/۵  |
| دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی (Ta) | ۳۰      | ۳۱        | ۳۰/۶       | ۲۹/۸     | ۳۱/۶  |
| تفاوت Ts و Ta                                      | ۱/۳     | ۰/۲       | ۱/۶        | ۱/۵      | ۱/۱   |

جدول ۵ مقایسه دماهای LST, Ta و Ts برای تصویر ۲۲/۷/۲۰۱۰

| نام ایستگاه  | مهرآباد | دوشان تپه | اقدسیه | ژئوفیزیک | چیتگر |
|--|---------|-----------|--------|----------|-------|
| دمای سطحی محاسبه شده از تصویر (LST)                | ۴۴      | ۴۴        | ۳۷     | ۳۷       | ۴۲    |
| دمای هوای محاسبه شده از تصویر (Ts)                 | ۳۳/۹    | ۳۳/۹      | ۳۰/۹   | ۳۰/۹     | ۳۳    |
| دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی (Ta) | ۳۱/۲    | ۳۱        | ۳۱     | ۲۹/۶     | ۳۱/۲  |
| تفاوت Ta و Ts                                      | ۲/۷     | ۲/۹       | ۰/۱    | ۱/۳      | ۱/۸   |

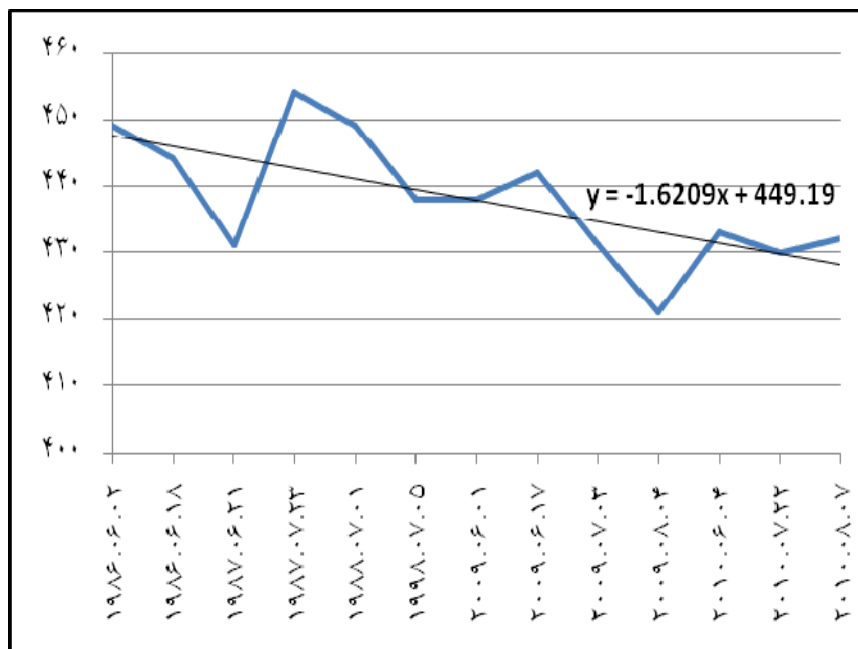
جدول ۶ مقدار مساحت هر یک از طبقات دمای سطحی شهر تهران را به کیلومتر مربع نشان می‌دهد. گروه ۱ شامل دماهای بسیار پایین می‌شود. این دسته از داده‌ها مقادیری هستند که بیش از ۱/۵- انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و نواحی بسیار خنک تهران را شامل می‌شوند. گروه ۲ شامل دماهای پایین هستند. داده‌های این طبقه بین ۱- و ۱/۵- انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و نواحی خنک را نشان می‌دهد. گروه ۳ داده‌هایی هستند که بین ۱- و ۱ انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و دماهای متوسط شهر تهران را تشکیل می‌دهند. گروه ۴ بین ۱ تا ۱/۵ انحراف معیار از میانگین فاصله دارند و دماهای بالای شهر تهران را شامل می‌شوند. در نهایت داده‌هایی که بیش از ۱/۵ انحراف معیار از میانگین فاصله دارند، مناطق بسیار گرم تهران را به خود اختصاص داده‌اند که طبقه ۵ را تشکیل می‌دهند. با توجه به طبقات دمایی، مناطقی که تحت تسلط گروه ۴ و ۵ هستند جزو محدوده جزیره حرارتی شهر تهران محسوب می‌شوند؛ زیرا این داده‌ها شامل نواحی گرم و بسیار گرم تهران هستند و نقاط داغ شهر منطبق بر آنها است.

جدول ۶ مقدار مساحت طبقات دمایی تصاویر حرارتی طبقه‌بندی شده تهران به کیلومتر مربع

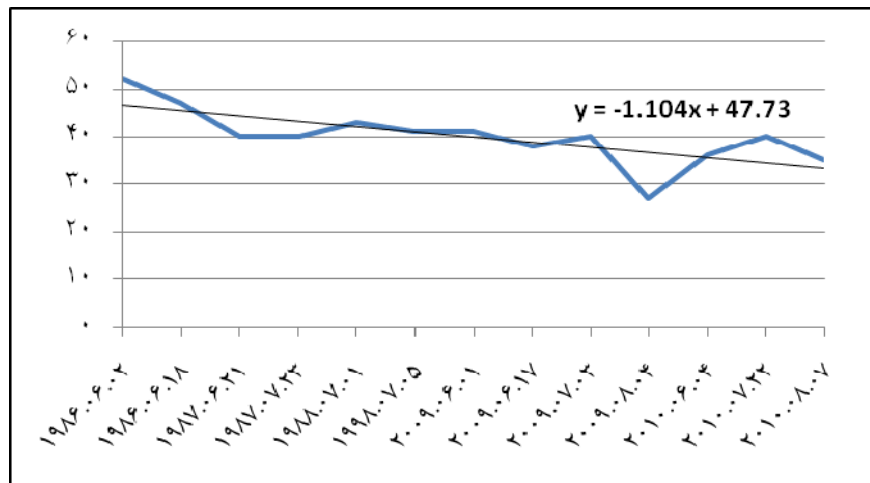
| شماره طبقه دمایی | ۱                | ۲          | ۳          | ۴         | ۵               |
|------------------|------------------|------------|------------|-----------|-----------------|
| تاریخ تصویر      | دمای بسیار پایین | دمای پایین | دمای متوسط | دمای بالا | دمای بسیار بالا |
| ۱۹۸۶/۶/۲         | ۵۲               | ۳۰         | ۴۴۹        | ۵۷        | ۲۶              |
| ۱۹۸۶/۶/۱۸        | ۴۷               | ۴۱         | ۴۴۴        | ۴۷        | ۳۴              |
| ۱۹۸۷/۶/۲۱        | ۴۰               | ۳۷         | ۴۳۱        | ۶۳        | ۴۱              |
| ۱۹۸۷/۷/۲۳        | ۴۰               | ۳۶         | ۴۵۴        | ۴۶        | ۳۸              |
| ۱۹۸۸/۷/۱         | ۴۳               | ۳۵         | ۴۴۹        | ۵۸        | ۲۹              |
| ۱۹۹۸/۷/۵         | ۴۱               | ۳۴         | ۴۳۸        | ۵۷        | ۴۳              |
| ۲۰۰۹/۶/۱         | ۴۱               | ۳۵         | ۴۳۸        | ۵۸        | ۴۰              |
| ۲۰۰۹/۶/۱۷        | ۳۸               | ۴۲         | ۴۴۲        | ۴۴        | ۴۸              |
| ۲۰۰۹/۷/۳         | ۴۰               | ۳۸         | ۴۳۱        | ۵۶        | ۴۸              |
| ۲۰۰۹/۸/۴         | ۲۷               | ۵۲         | ۴۲۱        | ۶۴        | ۴۹              |
| ۲۰۱۰/۶/۴         | ۳۶               | ۳۹         | ۴۳۳        | ۶۴        | ۴۱              |
| ۲۰۱۰/۷/۲۲        | ۴۰               | ۴۵         | ۴۳۰        | ۵۷        | ۴۱              |
| ۲۰۱۰/۸/۷         | ۳۵               | ۴۸         | ۴۳۲        | ۴۴        | ۵۵              |



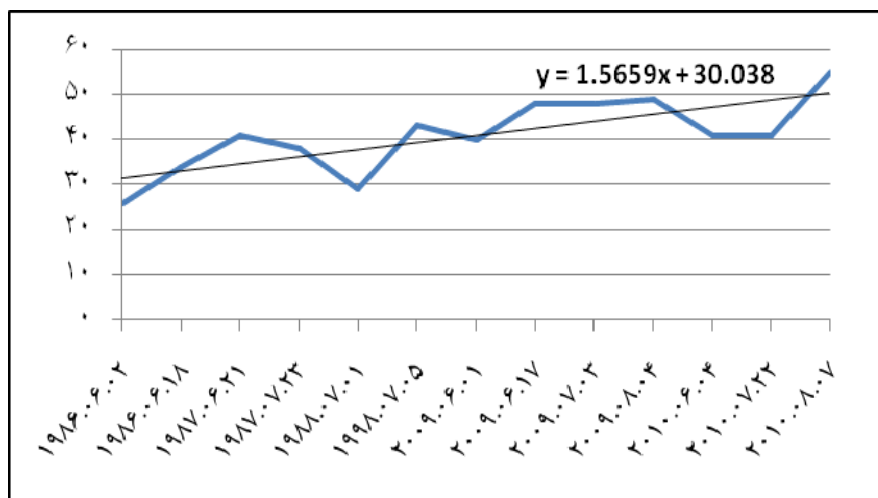
به منظور بررسی تغییرات زمانی داده‌های دمای سطحی تهران، روند تغییرات زمانی هر یک از طبقات دمایی به طور جداگانه بررسی شد. اشکال ۱ تا ۳ روند تغییرات زمانی طبقات دمایی را نشان می‌دهند. بر اساس شکل ۱ از مقدار مساحت نواحی دارای دماهای متوسط (طبقه ۳) کاسته شده است. در تاریخ ۱۹۸۶/۶/۲، در حدود ۴۴۹ کیلومتر مربع (۷۳ درصد) از مساحت تهران را دماهای متوسط تشکیل می‌دهد، اما در تاریخ ۲۰۱۰/۸/۷ مقدار مساحت این مناطق به ۴۳۲ کیلومتر مربع (۷۰ درصد) رسیده و تقریباً ۱۷ کیلومتر مربع از وسعت دماهای متوسط کاسته شده است. علاوه بر دماهای متوسط، دماهای خیلی پایین (طبقه ۱) نیز روند کاهشی نسبتاً شدیدی را نمایش می‌دهد (شکل ۲). وسعت نواحی بسیار خنک تهران در تاریخ ۱۹۸۶/۶/۲ در حدود ۵۲ کیلومتر مربع (۸ درصد) بوده است، اما وسعت این نواحی در تاریخ ۲۰۱۰/۸/۷ به ۳۵ کیلومتر مربع (۵ درصد) رسیده و ۱۷ کیلومتر مربع از وسعت این نواحی کاسته شده است. بر خلاف نواحی بسیار خنک و دارای دمای متوسط که روند کاهشی دارند، وسعت نواحی بسیار گرم و نواحی خنک (طبقات دمایی ۲ و ۵) افزایش یافته است (شکل ۳ و جدول ۶ را ببینید). بین تاریخ ۱۹۸۶/۶/۲ تا ۲۰۱۰/۸/۷ مقدار وسعت نواحی بسیار گرم شهر تهران از ۲۶ کیلومتر مربع به ۵۵ کیلومتر مربع رسیده است. بر خلاف نواحی بسیار گرم که روند افزایشی آشکاری را به نمایش می‌گذارد، وسعت نواحی گرم (دماهای بالا) هیچ‌گونه تغییر محسوسی نداشته است.



شکل ۱ تغییرات زمانی مساحت دماهای متوسط تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰



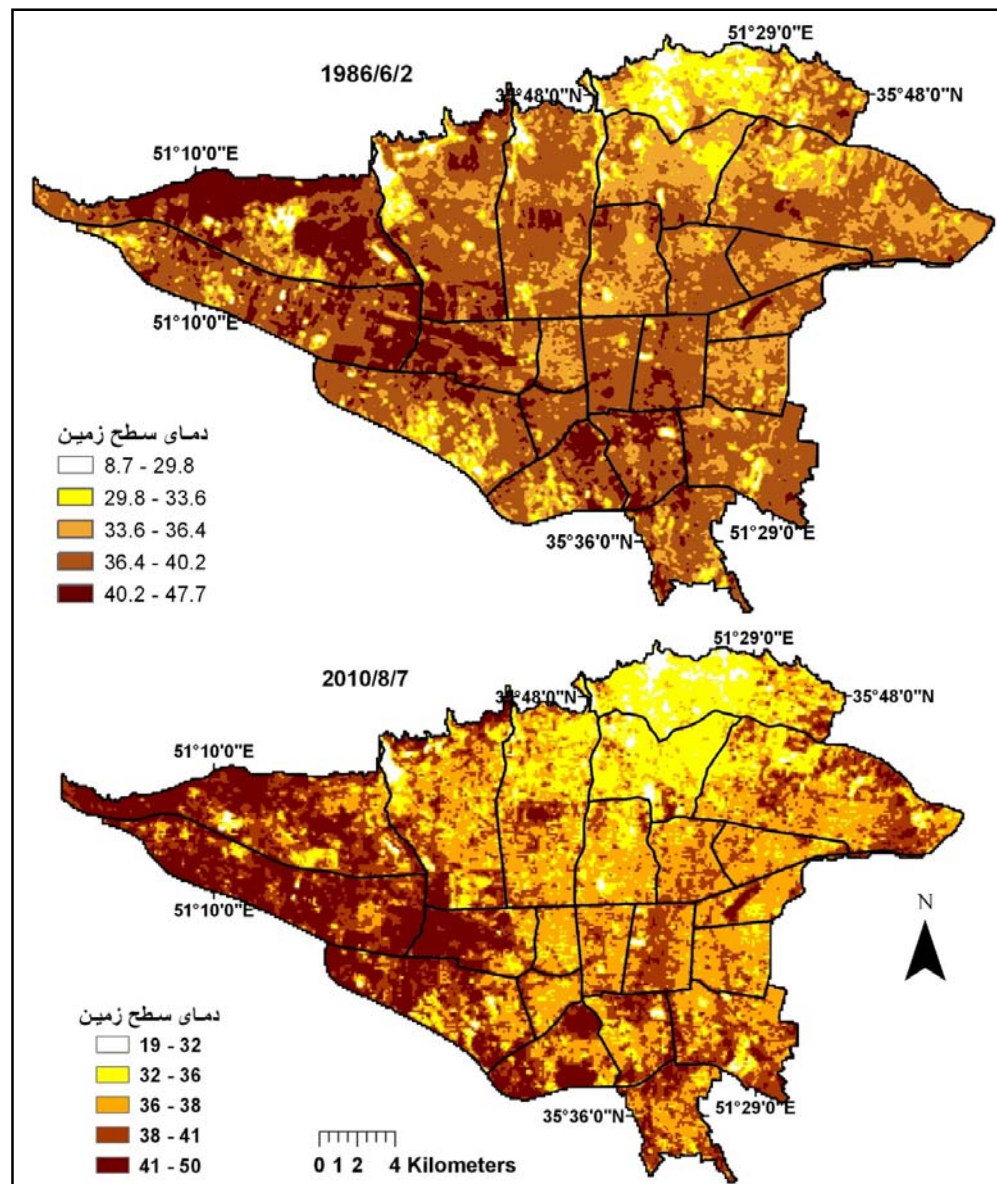
شکل ۲ تغییرات زمانی مساحت نواحی بسیار خنک تهران (دماهای بسیار پایین) بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰



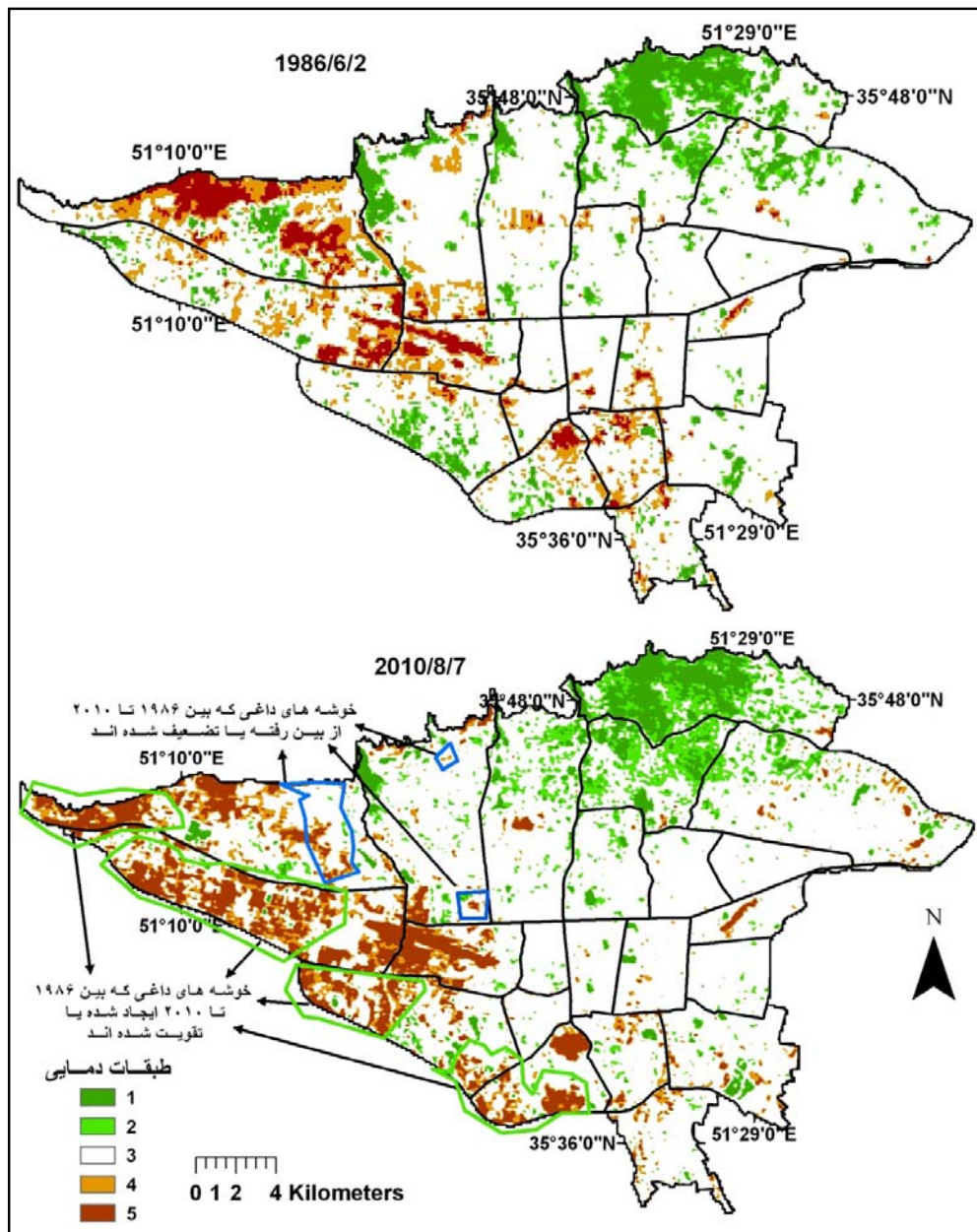
شکل ۳ تغییرات زمانی مساحت نواحی بسیار گرم تهران (دماهای بسیار بالا) بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰

با توجه به روند افزایشی مساحت نواحی بسیار گرم تهران و کاهش مساحت نواحی بسیار خنک و دارای دمای متوسط می‌توان نتیجه گرفت که در طول دوره مطالعه ما (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰) الگوی توزیع دمای سطحی شهر تهران دچار تغییر و دگرگونی شده است. این تغییر و دگرگونی به نفع افزایش دماهای بسیار گرم و کاهش دماهای بسیار خنک پیش رفته است. کاملاً واضح و آشکار است که محدوده فضایی جزیره حرارتی تهران همگام با توسعه کاربری‌های شهری در طول این دوره ۲۵ ساله افزایش یافته و وسعت محدوده تحت تأثیر آن از ۸۳ کیلومتر مربع (۱۳ درصد) به ۹۹ کیلومتر مربع (۱۶ درصد) رسیده است.

به منظور درک تغییرات فضایی دمای سطحی تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰، به نقشه‌های پراکندگی دمای سطح زمین مربوط به تصاویر ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۸/۷ توجه کنید (شکل ۴). مقایسه پراکندگی دمای سطحی دو تصویر نشان می‌دهد که جزیره حرارتی تهران از کانون اصلی خود (فرودگاه مهرآباد) به سمت غرب و جنوب غرب گسترش یافته است.



شکل ۴ پراکندگی دمای سطح زمین (C)، ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۸/۷



شکل ۵ پراکنندگی فضایی مناطق دمایی تهران برای تاریخ ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۸/۷. شماره‌های ۱ تا ۵ به ترتیب دماهای بسیار پایین، پایین، متوسط، بالا و بسیار بالای تهران را نمایش می‌دهند.

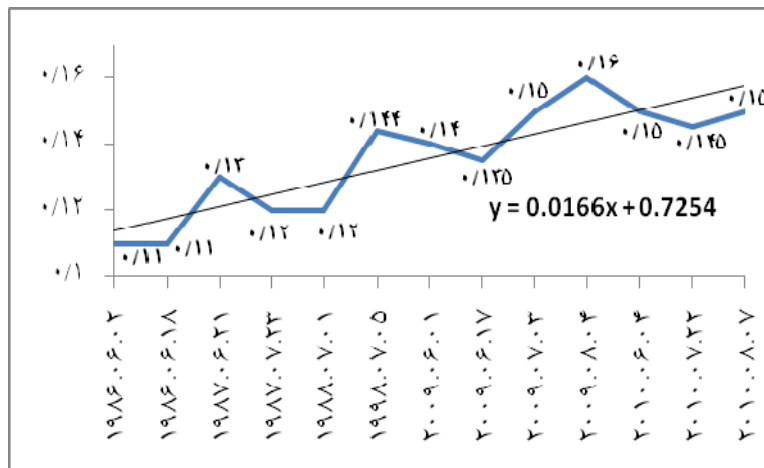
علاوه بر نقشه‌های دمای سطح زمین، پراکنش فضایی مناطق دمایی (۵ منطقه دمایی) برای هر دو تصویر به نمایش درآمده است. شکل ۵ به ترتیب پراکنندگی فضایی مناطق دمایی تهران را برای تصاویر ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۸/۷

نشان می‌دهد. همان طور که قبلاً گفتیم، دماهای بالا و بسیار بالا که با اعداد ۴ و ۵ مشخص شده‌اند محدوده مکانی جزایر حرارتی را بر روی نقشه‌ها مشخص می‌کنند. برای مشاهده بهتر تغییرات فضایی جزیره حرارتی، خوشه‌های داغی که بین ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ در منطقه مطالعه ظهور یافته یا از بین رفته‌اند بر روی شکل ۵ مشخص شده‌اند. مناطقی که با رنگ سبز مشخص شده‌اند، خوشه‌های داغی را تشکیل می‌دهند که بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ در محدوده غرب و جنوب غرب تهران شکل گرفته یا تقویت شده‌اند و برعکس مناطق مشخص شده با رنگ آبی نشان دهنده نواحی است که خوشه‌های داغ مستقر در این نواحی از بین رفته یا تضعیف شده‌اند.

بر اساس نقشه‌های بالا، مرکز جزیره حرارتی همچنان بر روی فرودگاه مهرآباد باقی مانده و کانون اصلی خود را حفظ کرده است. در پیرامون این کانون اصلی خوشه‌های داغ جدیدی در سمت غرب و جنوب غرب فرودگاه مهرآباد ظهور یافته‌اند. این مناطق حرارتی فاصله کمی از یکدیگر دارند و تقریباً در حال ترکیب کامل با هم هستند. بر خلاف مناطق ۲۱، ۱۸ و ۱۹ که نسبت به گذشته خیلی گرمتر شده‌اند، خوشه‌های داغی که در محدوده شرقی منطقه ۲۲ استقرار داشته‌اند تضعیف شده‌اند (شکل ۵). مطالعه ما نشان داد که تغییرات فضایی- زمانی پوشش گیاهی بخش مهمی از تغییرات فضایی- زمانی دمای سطحی تهران را تبیین می‌کند. مقایسه مقدار پوشش گیاهی شهر تهران در دو تاریخ ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۶/۴ نشان داد که تقویت و گسترش جزیره حرارتی و کاهش مساحت نواحی بسیار خنک در شهر تهران هماهنگی انکارناپذیری با تضعیف و از بین رفتن پوشش گیاهی دارد (جدول ۷). در حقیقت جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است که در طول دوره مطالعه بیش از نیمی از پوشش گیاهی خود را از دست داده‌اند. مناطق ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ که در غرب و جنوب غرب تهران واقع هستند با کاهش شدید پوشش گیاهی و بیشترین گسترش کاربری‌های صنعتی- کارگاهی و گمرکات و انبارداری مواجه شده‌اند و اتفاقاً جزیره حرارتی تهران نیز به سمت همین نواحی توسعه یافته است.

جدول ۷ مقدار پوشش گیاهی مناطق ۲۲ گانه تهران برای تصاویر ۱۹۸۶/۶/۲ و ۲۰۱۰/۶/۴ (کیلومتر مربع)

| مناطق تهران | ۱    | ۲   | ۳   | ۴   | ۵   | ۶    | ۷   | ۸    | ۹   | ۱۰   | ۱۱  |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| ۱۹۸۶/۶/۲    | ۱۵/۶ | ۵/۲ | ۵   | ۷/۳ | ۶/۵ | ۱/۱  | ۰/۷ | ۰/۲۵ | ۱/۵ | ۰/۱۸ | ۰/۳ |
| ۲۰۱۰/۶/۴    | ۸/۸  | ۳/۸ | ۳/۸ | ۵/۱ | ۶/۴ | ۱/۴  | ۰/۵ | ۰/۲  | ۱   | ۰/۱۴ | ۰/۳ |
| مناطق تهران | ۱۲   | ۱۳  | ۱۴  | ۱۵  | ۱۶  | ۱۷   | ۱۸  | ۱۹   | ۲۰  | ۲۱   | ۲۲  |
| ۱۹۸۶/۶/۲    | ۰/۵۳ | ۰/۶ | ۱   | ۲   | ۱/۱ | ۰/۲۶ | ۸/۱ | ۲/۷  | ۳/۱ | ۴    | ۸/۸ |
| ۲۰۱۰/۶/۴    | ۱    | ۰/۶ | ۰/۷ | ۳/۲ | ۱/۳ | ۰/۲۵ | ۳/۶ | ۱/۴  | ۱/۳ | ۱/۲  | ۴/۵ |



شکل ۶ تغییرات زمانی شدت جزیره حرارتی تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌کنید، مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی تهران روند افزایشی دارد. مقدار شاخص برای تصاویر حرارتی سال ۱۹۸۶ (۱۹۸۶/۶/۲ و ۱۹۸۶/۶/۱۸) ۰/۱۱ و برای تصاویر سال ۲۰۱۰ (۲۰۱۰/۶/۴)، ۲۰۱۰/۷/۲۲ و ۲۰۱۰/۸/۷) در حدود ۰/۱۵ است. در نتیجه تغییرات رخ داده در الگوی کاربری اراضی و پوشش زمین، مقدار شاخص در حدود ۰/۴ افزایش یافته و شدت جزیره حرارتی تهران بیشتر شده است.

#### نتیجه‌گیری

به منظور شناخت تغییرات فضایی و زمانی جزیره حرارتی تهران از تصاویر چندزمانه لندست TM استفاده شد. تصاویر مطالعه شده مربوط به دوره زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ هستند. ابتدا از الگوریتم تک بانندی کین و همکارانش (۲۰۰۱) برای استخراج دما از باند حرارتی استفاده شد. سپس با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، تغییرات فضایی و زمانی دمای سطحی تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. بررسی روند تغییرات زمانی دمای سطحی تهران نشان داد که در طول دوره مطالعه این مقاله (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰) الگوی توزیع دمای سطحی شهر تهران دچار تغییر و دگرگونی شده است. این تغییر و دگرگونی به نفع افزایش مساحت دماهای بسیار گرم و کاهش وسعت دماهای بسیار خنک پیش رفته است. در حالی که از وسعت دماهای متوسط و بسیار خنک به طور قابل توجهی کاسته شده، نواحی بسیار گرم گسترش چشمگیری داشته‌اند. بررسی تغییرات زمانی شدت جزیره حرارتی تهران نیز نشان داد که مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی تهران روند افزایشی دارد. مقدار شاخص برای تصاویر حرارتی سال ۱۹۸۶ (۱۹۸۶/۶/۲ و ۱۹۸۶/۶/۱۸) ۰/۱۱ و برای تصاویر سال ۲۰۱۰ (۲۰۱۰/۶/۴، ۲۰۱۰/۷/۲۲ و ۲۰۱۰/۸/۷) در حدود ۰/۱۵ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر این که جزیره حرارتی تهران از نظر فضایی گسترش یافته، بر شدت آن نیز افزوده شده است. کاملاً واضح است که علت اصلی توسعه، گسترش و تشدید اثر جزیره حرارتی تهران و

کاهش وسعت نواحی بسیار خنک در این دوره ۲۵ ساله تغییر الگوی کاربری و پوشش زمین در شهر تهران بوده است. در اثر این تغییرات محدوده فضایی جزیره حرارتی تهران گسترده شده و شدت آن نیز افزایش یافته است. با توجه به پراکندگی فضایی دمای سطحی تهران، بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ مرکز جزیره حرارتی همچنان بر روی فرودگاه مهرآباد باقی مانده و کانون اصلی خود را حفظ کرده است. در پیرامون این کانون اصلی خوشه‌های داغ جدیدی در سمت غرب (منطقه ۲۱ و غرب منطقه ۲۲) و جنوب غرب فرودگاه مهرآباد (بخش‌هایی از مناطق ۱۸ و ۱۹) ظهور یافته‌اند. این مناطق حرارتی فاصله کمی با یکدیگر دارند و تقریباً در حال ترکیب کامل با جزیره حرارتی مستقر بر روی فرودگاه مهرآباد هستند. این پژوهش نشان داد که تغییرات فضایی- زمانی جزیره حرارتی تهران ارتباط نزدیکی با تغییرات فضایی- زمانی کاربری‌های پوشش گیاهی، حمل و نقل و صنعتی- کارگاهی داشته است. در حقیقت جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است (غرب و جنوب غرب تهران) که با کاهش شدید پوشش گیاهی و بیشترین گسترش کاربری‌های صنعتی- کارگاهی، گمرکات و انبارداری مواجه شده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری بوده و با حمایت مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهرداری تهران انجام شده است. تعدادی از تصاویر مورد نیاز از طریق وب سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) تهیه شدند. همچنین نویسندگان از آقای دکتر پرویز ضیائی‌ان فیروزآبادی به خاطر تهیه تصاویر مورد نیاز قدردانی می‌کنند.

### References

- Akbari H. (2000). Consideration of Temperature distribution pattern of Tehran using Landsat TM thermal data. A dissertation submitted to tarbiatmodarres University for degree of MA of Remote sensing and GIS, department of human science. (In Persian with English Abstract).
- Amiri K., Q. Weng., A. alimohamadi., K. alavipanah. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area Iran. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 113, pp. 2606-2617.
- Balling R. C., S. W. Brazell. (1988). High resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, Vol. 54, No. 9, pp. 1289-1293.
- Chen Q., J. Ren., Z. Li., C. Ni. (2009). Urban Heat Island Effect Research in Chengdu City Based on MODIS Data. In *Proceedings of 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2009, Beijing, China, 11-13 June*, 1-5.
- Dai X., Z. Guo., L. Zhang., D. Li. (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*, Vol. 24, pp. 247-257.
- Falahatkar S., S. M. Hosseini., A. R. Soffianian. (2011). The relationship between land cover changes and spatial-temporal dynamics of land surface temperature. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 4, No. 2, pp. 76-81.
- Gallo K.P., A. L. McNab., T. R. Karl., J. F. Brown., J. J. Hood., J. D. Tarpley. (1993). The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, No. 5, pp. 899-908.
- Gallo K.P., T. W. Owen. (1998). Assessment of urban heat island: A multi-sensor perspective for the Dallas-Ft. Worth, USA region. *Geocarto International*, Vol. 13, No. 4, pp. 35-41.

- Jangi A. A. (2004). The role of location and morphology of city in the air quality of city by GIS and RS (the case study: Tehran). A dissertation submitted to tarbiatmoalem University for degree of MA of Urban geography, department of geographical sciences. (In Persian with English Abstract).
- Li J. (2006). Estimating land surface temperature from Landsat-5 TM. *Remote Sens. Technol. Appl.*, Vol. 21, pp. 322-326.
- Liu L., Y. Zhang. (2011). Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER data. *Remote sens*, Vol. 3, pp. 1535- 1552.
- Malekpour P., M. Taleai., Y. Rezaei. (2010). Remote sensing-based spatial-temporal analysis of urban land surface temperature related to urban development: a case study of Tehran, MRSS2010, 6th International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition, April 28-29, 2010, Putra World Trade Centre, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Malekpour P., M. taleai. (2010). Consideration of land surface temperature and land use/ land cover changes by using landsat ETM (case study: Tehran). *Remote sensing and GIS Iran(Tehran)*, Vol. 2, No. 3, pp. 89-102. (In Persian with English Abstract).
- Malekpour P., M. taleai. (2011). Modeling relationship land use/land cover to land surface temperature by using ASTER data. *Ecology (Tehran)*, Vol. 58, pp. 29-42. (In Persian with English Abstract).
- Mo X., C. Cheng., F. Zhai., H. Li. (2011). Study on temporal and spatial variation of the urban heat island based on Landsat TM/ETM+ in central city and Binhai New Area of Tianjin, *Multimedia Technology (ICMT), 2011 International Conference on.* 26-28 July 2011, pp. 4616-4622.
- Musavibaighi M., B. Ashraf., A. Farid Hoseini., A. Mianabadi. (2012). consideration Urban Heat Island of Mashhad by applying satellite image and Fractal method. *Geography and invironmental hazard*, Vol. 1, pp. 35-49. (In Persian with English Abstract).
- Namdari S. (2009). Extraction of urban heat island in urban regions by satellite images (the case study: Tehran). A dissertation submitted to shahidbeheshti University for degree of MA of remote sensing and GIS, department of geology sciences. (In Persian with English Abstract).
- Qin Z., A. Karnieli., P. Berliner. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 22, No. 18, pp. 3719–3746.
- Rose A.L., M. D. Devadas. (2009). Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery a case in chennai city, india. *The seventh International Conference on Urban Climate*, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.
- Shakiba A., P. ziaeian., D. Ashourlu., S. Namdari. (2009). Analysis of relationship land use/land over to urban heat island of Tehran. *Remote sensing and GIS Iran(Tehran)*, Vol. 1, pp. 39-56. (In Persian with English Abstract).
- Sobrino J. A., J. C. Jimenez-Munoz., J. El-Kharraz., M. Gomez., M. Romaguera., G. Soria. (2004). Single-channel and two-channel methods for land surface temperature retrieval from DAIS data and its application to the Barrax site. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 25, No. 1, pp. 215–230.
- Streutker D. R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 85, pp. 282–289.
- Sun Q., J. Tan., Y. Xu. (2010). An ERDAS image processing method for retieving LST and describing urban heat evolution: A case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environ Earth Sci*, Vol. 59, pp. 1047-1055.
- Weng Q. (2001). A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta. *China.International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 10, pp. 1999-2014.
- Weng Q., D. Lu., B. Liang. (2006). Urban Surface Biophysical Descriptors and Land Surface Temperature Variations. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 11. pp. 1275–1286.



- Xu H., B. Chen. (2004). Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China. *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 16, pp. 276-281.
- Xu H., F. Ding., X. Wen. (2009). Urban expansion and Heat Island Dynamics in the Quanzhou Region. China. *IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, Vol. 2, No. 2, pp. 74- 79.
- Xu H., Y. Chen., S. Dan., W. Qiu. (2011). Spatial and temporal analysis of urban heat island effect in Chengdu city by remote sensing. *Geoinformatics, 2011 19th international conference on, shanghai, 24-26 June 2011*, pp. 1-5.
- Zhang J., Y. Wang., Y. Li. (2006) . A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, Vol. 32, pp. 1796-1805.