The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

پایش خصوصیات بیوفیزیکی و رفتار دمایی سطح برای بررسی پدیده جزیره حرارتی شهری با ادغام داده‌های اپتیک و حرارتی سنجش از دور

محمد کریمی فیروزجایی [۱*]، مجید کیاورزمقدم [۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران
۲- استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

چکیده :

جزایر حرارتی شهری از معمول‌ترین پدیده‌های شهری‌اند که پیامدهای ناخوشایند متعددی همچون افت کیفی محیط زیستی را در محدوده شهری به همراه دارد. شدت این پدیده در مناطق مختلف تحت تأثیر برهمکنش رفتار فیزیکی و شیمیایی پدیده‌های مختلف محدوده شهر و حومه آن قرار دارد. هدف از مطالعه حاضر بررسی وضعیت و ارتباط خصوصیات بیوفیزیکی و دمای سطح جهت مقایسه شدت جزیره حرارتی مناطق مختلف با بهره‌گیری از قابلیت‌های سنجش از دور اپتیک و حرارتی می‌باشد. برای این منظور، از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، محصول بخار آب مودیس و مجموعه نقاط کنترل برای محدوده شهرهای واقع در شرق استان مازندران استفاده شده است. پس از تصحیح اتمسفری و هندسی، دمای سطح با استفاده از الگوریتم تک باندی و خصوصیات بیوفیزیکی سطح با به‌کارگیری ترکیب‌های باندی TCT استخراج شده است. وضعیت خصوصیات بیوفیزیکی و دمایی سطح در دو طبقه اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته شده برای محدوده‌های مختلف به‌صورت مجزا بررسی شده است. درنهایت با به‌کارگیری روش‌های آماری ارتباط بین وضعیت خصوصیات مختلف سطح و شدت جزیره حرارتی برای محدوده‌های جغرافیایی مختلف بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. اختلاف میانگین دمای اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده در محدوده‌های مکانی مختلف با توجه به خصوصیات بیوفیزیکی سطح متغیر می‌باشد. اندازه‌ی فیزیکی شهر و خصوصیات بیوفیزیکی سطح بر میزان مساحت طبقات دمایی تأثیر مستقیم دارد. بررسی ارتباط بین دمای سطح و خصوصیات بیوفیزیکی سطح همبستگی بالای این پارامترهای را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار شدت جزیره حرارتی به ترتیب مربوط به محدوده قائم‌شهر برابر با ۰/۵۷۶۸ و محدوده نکا برابر با ۰/۰۷ می‌باشد. نتایج بررسی اختلاف میانگین خصوصیات بیوفیزیکی سطح برای کاربری ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده نیز در محدوده قائم‌شهر بیشترین مقدار و در محدوده نکا کمترین اختلاف را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش بیانگر این است که جهت شناخت کامل و عمیق مکانیسم رفتار دمایی مناطق شهری و پدیده جزیره حرارتی شهری ارزیابی کیفی و کمی خصوصیات بیوفیزیکی سطح ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : خصوصیات بیوفیزیکی، دمای سطح، جزیره حرارتی، سنجش از دور

نویسنده مکاتبه کننده : محمد کریمی فیروزجایی
آدرس پستی : تهران- خیابان انقلاب- کوچه آذین- دانشکده جغرافیا- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی
تلفن : ۰۹۱۱۶۲۵۵۲۵۴
آدرس پست الکترونیک : mkarimif71@yahoo.com

۱- مقدمه

گرم‌تر شدن محیط شهری یکی از آثار ناآگاهانه توسعه شهری ناپایدار است که جزیره حرارتی نامیده می‌شود[۱]. جزایر حرارتی شهری از معمول‌ترین پدیده‌های شهری‌اند که در آن‌ها برخی از مناطق شهری و به‌خصوص مراکز شهرها، چند درجه از مناطق اطراف گرم‌تر می‌شوند[۲]. این پدیده پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون افت کیفی محیط زیستی را به همراه دارد که سرانجام به کاهش کیفیت زندگی منجر می‌شود. از علل اصلی ایجاد جزیره حرارتی، جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با عوارض شهری همچون سنگفرش، ساختمان و سایر ساخت‌وسازهای شهری می‌باشد که اثرات خنک‌کنندگی سطح را از بین می‌برند. همچنین، ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم‌تر می‌کنند [۳]. اثرات مهم پدیده جزیره حرارتی شهری افزایش مصرف انرژی، آب و الکتریسیته و درنتیجه افزایش سرانه بار مالی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال و افزایش مشکلات روانی می‌باشد. با توجه به روند افزایش جمعیت، نگرانی‌های مربوط به مصرف انرژی و دغدغه برای ایجاد محیط‌های شهری باکیفیت‌تر، بررسی جزیره حرارتی شهری را مهم کرده است. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و یک عامل مهم برای مطالعه‌ی آب‌وهوا در مناطق شهری محسوب می‌شود [۴]. تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع و پیوسته، به هنگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده‌های انعکاسی و حرارتی امواج الکترومغناطیسی، منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه‌ی نقشه‌های حرارتی به‌شمار آمده و کاربردهای بسیاری برای بررسی تغییرات اقلیم و کاربری اراضی مناطق شهری و غیرشهری دارند [۵].

در طول دو دهه‌ی اخیر نیاز فراوان به اطلاعات دمای سطح زمین برای مطالعات محیطی و فعالیت‌های مدیریتی منابع زمین، سنجش از دور دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است[۶]. با استفاده از داده‌های مادون‌قرمز حرارتی لندست و استر امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و مطالعه دقیق‌تر جزایر حرارتی شهری در مقیاس بزرگ فراهم‌شده و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است [۷،۸،۹ و ۱۰]. پژوهش‌ها در این زمینه بیشتر روی الگوهای دمای سطح زمین و ارتباط آن با انواع کاربری-پوشش زمین در محیط شهری متمرکز بوده‌اند [۱۱ و ۱۲]. بررسی ارتباط بین دمای سطح و پوشش گیاهی از اولین مطالعات در این حوزه بوده است [۱۳]. در ادامه، مطالعاتی درباره دیگر شاخص‌ها همچون کسر پوشش گیاهی و درصد سطوح نفوذناپذیر انجام شده است؛ که نتایج نشان از ارتباط قوی بین این شاخص‌ها و دمای سطح زمین دارد [۱۴ و ۱۵]. در برخی از مطالعات الگوی توزیع مکانی فضای سبز شهری و سطوح نفوذناپذیر با استفاده از معیارهای چشم‌انداز[1] بررسی و ارتباط آن‌ها با دمای سطح زمین تجزیه‌وتحلیل شده است[۱۶ و ۱۷].

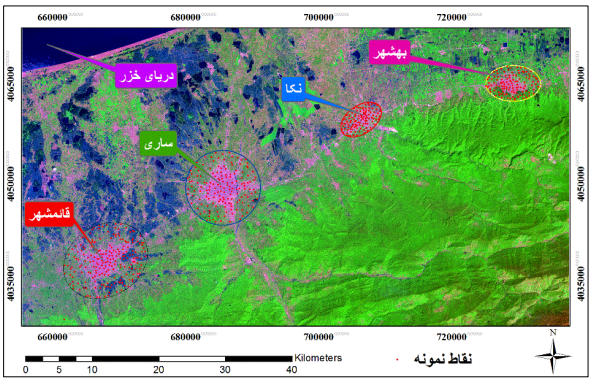
خصوصیات بیوفیزیکی دارای اهمیت زیادی در ایجاد شرایط محیطی خاص، در محدوده شهرهای شمالی ایران به‌دلیل قرارگیری کاربری کشاورزی و فضای سبز در اطراف شهرها می‌باشند. هدف از مطالعه حاضر، تلفیق خصوصیات بیوفیزیکی و رفتار دمایی سطح جهت بررسی و مقایسه شدت جزیره حرارتی مناطق مختلف با ادغام قابلیت‌های سنجش از دور اپتیک و حرارتی می‌باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل دو شهر ساری و نکا و محدوده اطراف آن‌ها واقع در قسمت شرق استان مازندران می‌باشد. شهرهای ذکر شده به سبب قرارگیری در موقعیت جغرافیایی نزدیک به یکدیگر دارای شرایط اقلیمی و آب و هوایی تقریباً یکسانی هستند. همچنین ارتفاع متوسط این شهرها از سطح آب‌های آزاد تقریباً برابر و حدود ۵۰ متر می‌باشد.

[1] Landscape

موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و نقاط نمونه مورد استفاده جهت بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف و کنترل دقت در قسمت‌های مختلف پژوهش به‌صورت شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳- داده و روش پژوهش

۳-۱- داده‌ها

در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در چهار ماه مختلف سال برای منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. این تصاویر زمین مرجع شده و در سیستم تصویر UTM[1] در ناحیه S۳۹ قرار دارند. تصاویر مذکور در سایت زمین‌شناسی امریکا به‌صورت رایگان در دسترس می‌باشند. برای تکمیل پارامترهای ورودی جهت تهیه نقشه دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از محصول بخار آب مودیس و برای تهیه نقاط نمونه کنترل از بازدید میدانی، تصاویر گوگل ارث و نقشه توپوگرافی تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول (۱) نشان داده شده است.

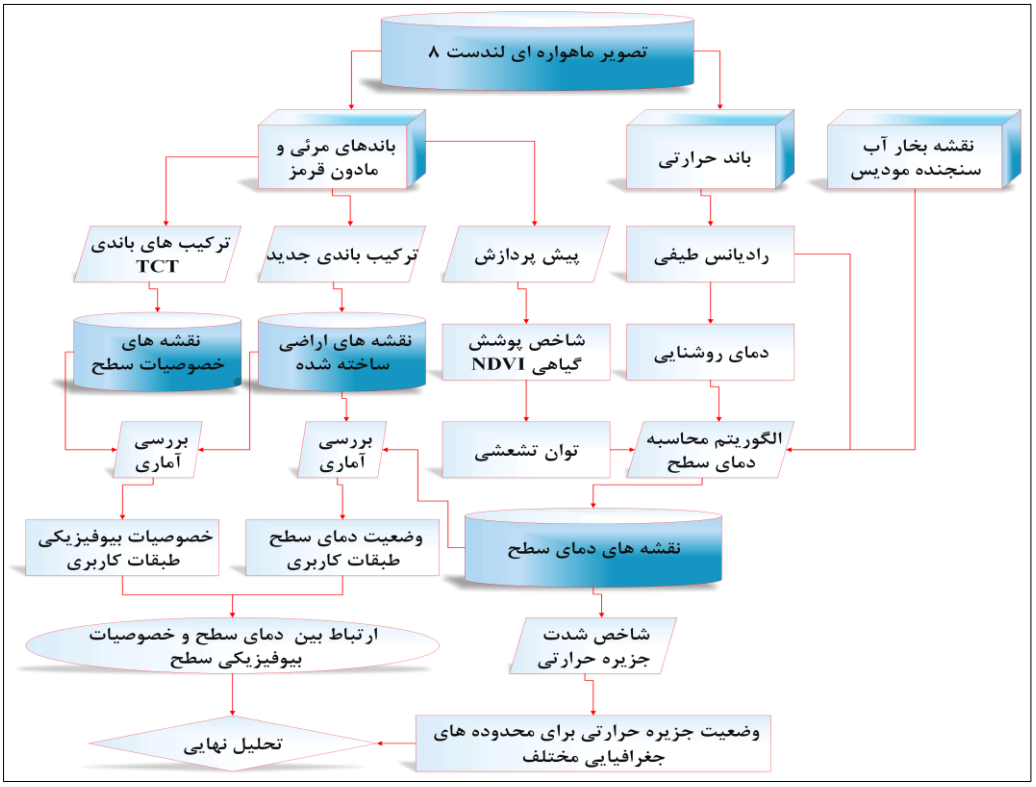
جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مورد استفاده.

نوع داده	ماهواره (سنجنده)	قدرت تفکیک/مقیاس	تاریخ
تصاویر ماهواره‌ای	لندست ۸	۳۰ متر	تیر ۱۳۹۵ 9
نقشه توپوگرافی	---	۱:۲۵۰۰۰	۱۳۹۴
بخار آب	مودیس	۵۰۰۰ متر	-

۳-۲- روش پژوهش

مراحل کلی انجام پژوهش به‌صورت شکل (۲) نشان داده شده است.

[1] Universal Transverse Mercator



شکل ۲: مراحل کلی انجام پژوهش

۳-۲-۱-پیش‌پردازش

قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح نظیر دما، گسیلمندی، رادیانس انعکاسی-حرارتی سطح، البیدو سطح و نظایر آن، انجام تصحیحات رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. برای رسیدن به این هدف، باید اثر اتمسفر، هندسه دید سنجنده، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی برای باندهای اپتیک در نظر گرفته شود. به سبب تغییرات توپوگرافی اندک در منطقه از تصحیح توپوگرافی صرف‌نظر شده است. برای این منظور از نرم‌افزار تصحیح اتمسفری ATCOR3 استفاده شده است. این نرم‌افزار از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابش MODTRAN 5 استفاده می‌کند. با توجه به زمین مرجع بودن تصاویر مورد استفاده در پژوهش، هر چهار تصویر به دلیل اختلاف کم در زمان تصویربرداری با استفاده از نقاط کنترل مشترک استخراج شده از نقشه توپوگرافی شهری به روش ثبت تصویر به نقشه به‌صورت دقیق تصحیح هندسی شده‌اند. پس از تکمیل فرایند پیش‌پردازش تصاویر مورد استفاده در پژوهش، پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها برای استخراج اطلاعات صورت گرفت.

۳-۲-۲-دمای سطح

برای محاسبه دمای سطح منطقه از الگوریتم تک باندی استفاده‌شده است. این الگوریتم توسط جیمنز و سوبرینو[۱۸] توسعه‌یافته و رابطه کلی ارائه شده برای محاسبه دمای سطح در این الگوریتم به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$LST=\gamma\left[\frac{1}{\varepsilon}\left(\psi_1 L_{sen}+\psi_2\right)+\psi_3\right]+\delta \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، LST دمای سطح، L_{sen} میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی، ε میزان توان تشعشی مربوط به طول موج باند حرارتی مورد استفاده، γ و δ دو پارامتر وابسته به تابع پلانک هستند که به ترتیب با استفاده از رابطه (۲ و ۳) محاسبه می‌شود. همچنین ψ_1، ψ_2 و ψ_3 توابع ثابت اتمسفری هستند که برای لندست ۸ از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود[۱۹].

رابطه (۲)
$$\gamma=\frac{T_{sen}^{2}}{b_{\lambda}L_{sen}}$$

رابطه (۳)
$$\delta=-\gamma\times L_{sen}+T_{sen}$$

رابطه (۴)
$$\begin{cases}\psi_1=0.04019w^2+0.02916w+1.01523\\ \psi_2=-0.38333w^2-1.50294w-0.20324\\ \psi_2=+0.00918w^2+1.36072w-0.27514\end{cases}$$

که در رابطه فوق، T_{sen} دمای درخشندگی ثبت شده در سنجنده، L_{sen} میزان انرژی ثبت شده در سنجنده برای باند حرارتی، b_{λ} ضریب ثابتی است که برای باند ۱۰ لندست ۸ برابر با ۱۳۲۴ درجه کلوین در نظر گرفته می‌شود. w میزان بخار آب موجود در اتمسفر که با استفاده از محصول بخار آب مودیس برای تاریخ موردنظر بدست می‌آید. برای محاسبه توان تشعشعی عوارض سطح از روش جیمز و سوبرینو[۲۰] استفاده شده است.

۳-۲-۳- استخراج خصوصیات بیوفیزیکی سطح

شاخص‌های طیفی بر اساس تفاوت در رفتار طیفی مربوط به میزان جذب، بازتاب و عبور امواج الکترومغناطیسی با طول موج‌های مختلف برای عوارض متفاوت برای اندازه‌گیری و برجسته کردن موقعیت و درصد مشخصه‌های خاص در تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شوند. ترکیب‌های باندی TCT[1] با ترکیب‌های خطی خاص از باندهای مختلف تصاویر و ماتریس ضرایب اختصاصی با توجه به ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین، اطلاعات طیفی موجود در تصاویر با باندهای متعدد را با کاهش تعداد باندها فشرده می‌کند[۲۱ و ۲۲]. اطلاعات مربوط به روشنایی، سبزینگی و رطوبت، سه جز اصلی اطلاعات استخراج شده توسط ترکیب‌های باندی TCT می‌باشند. ماتریس ضرایب اختصاصی برای سنجنده‌های تصویربرداری مختلف متفاوت هستند که با تجزیه و تحلیل‌های آماری و تجربی به‌صورت مجزا برای سنجنده‌های مختلف محاسبه می‌شوند. ضرایب مربوط به ترکیب‌های باندی TCT برای تصاویر لندست ۸ از طریق جدول (۲) به‌دست می‌آید[۲۱] .

جدول ۲: ضرایب مربوط به ترکیب باندی TCT برای تصاویر لندست ۸.

	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
سبزینگی	۰/۰	۰/۳۰۲۹	۰/۲۷۸۶	۰/۴۷۳۳	۰/۵۵۹۹	۰/۵۰۸۰	۰/۱۸۷۲
روشنایی	0/0	-۰/۲۹۴۱	-۰/۲۴۳۰	-۰/۵۲۲۴	۰/۷۲۷۶	۰/۰۷۱۳	۰/۱۶۰۸
رطوبت	0/0	۰/۱۵۱۱	۰/۱۹۷۳	۰/۳۲۸۳	۰/۳۴۰۲	۰/۷۱۱۷	-۰/۴۵۵۹

۳-۲-۴- استخراج اراضی ساخته‌شده

برای استخراج اراضی ساخته‌شده روش جدیدی در این تحقیق ارائه شده است. این روش بر اساس رفتار طیفی کاربری‌های مختلف در طول موج‌های مختلف تولید شده است. روش جدید ترکیب خطی از مقادیر باندهای مختلف تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ با وزن‌های متفاوت می‌باشد. علامت مثبت و منفی و مقادیر هر یک از وزن‌ها از طریق بررسی دقیق امضای طیفی عوارض مختلف نسبت به هم تولید شده و برگرفته از ترکیبات باندی TCT برای لندست ۸ می‌باشد. با توجه به امضای طیفی عوارض مختلف رابطه‌ی جدید برای استخراج اراضی ساخته‌شده، به‌صورت رابطه (۵) نشان داده شده است.

[1] TASSELED CAP TRANSFORMATION

رابطه (۵)

$$\text{Built up} = 0/8239\text{Band}_2 - 0/0849\text{Band}_3 - 0/4396\text{Band}_4 + 0/058\text{Band}_5 - 0/2013\text{Band}_6 - 0/2773\text{Band}_7$$

در رابطه‌ی (۱۲)، Band_2 باند آبی، Band_3 باند سبز، Band_4 باند قرمز، Band_5 باند مادون قرمز نزدیک، Band_6 و Band_7 باندهای مربوط به مادون قرمز میانی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ می‌باشد. با استفاده از رابطه (۵) و اعمال حدآستانه مناسب نقشه اراضی ساخته‌شده محدوده‌های مختلف بدست خواهد آمد. از مزایای این روش انتخاب راحت مقدار حد آستانه می‌باشد. حد آستانه برای این روش در حدود ۵۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۵-شدت جزیره حرارتی

جهت بررسی تغییرات مکانی-زمانی دمای سطح، نقشه‌های دمای سطح منطقه با روش‌های آماری تجزیه و تحلیل شدند. در این پژوهش جهت حذف اثر تغییرات دمای هوای ناشی از تغییرات فصل بر دمای سطح محاسبه شده، تمام تصاویر دمای سطح با استفاده از دو پارامتر حداقل و حداکثر دما نرمال شدند. برای نرمال‌سازی تصاویر از رابطه (۶) استفاده شده است[۲۳].

رابطه (۶)

$$N_i = \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{max}}$$

در این رابطه، N_i مقدار نرمال شده پیکسل i، T_i مقدار مطلق پیکسل i، T_{min} حداقل دمای هر تصویر، T_{max} حداکثر دمای هر تصویر می‌باشد.

سپس تصاویر نرمال شده مطابق با جدول (۳) با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار خود به پنج کلاس مختلف دمایی طبقه‌بندی می‌شوند[۲۴].

جدول ۳: نحوه طبقه‌بندی دمای سطحی به ۵ طبقه دمایی.

طبقه	دامنه مربوط به هر طبقه
بسیار پایین	$T \le T_{mean} - 1.5std$
پایین	$T_{mean} - 1.5std < T \le T_{mean} - std$
متوسط	$T_{mean} - std < T \le T_{mean} + std$
بالا	$T_{mean} + std < T \le T_{mean} + 1.5std$
بسیار بالا	$T > T_{mean} + 1.5std$

در جدول (۳)، T_{mean} بیانگر میانگین دمای هر یک از تصاویر نرمال شده و std نشان‌دهنده مقدار انحراف معیار هریک از تصاویر نرمال شده می‌باشد.

پس از طبقه‌بندی داده‌های هر یک از تصاویر، مقدار مساحت هر یک از طبقات دمایی محاسبه و روند تغییرات مساحت هر طبقه دمایی در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شده است. هدف اصلی از فرایند نرمال‌سازی و سپس طبقه‌بندی داده‌های دمای سطحی آن است که با استفاده از این روش آماری تغییرات به وقوع پیوسته در توزیع آماری داده‌های دما سطح را شناسایی کرده و ارتباط بین آن‌ها را بررسی کنیم.

جهت بررسی تغییرات شدت جزیره حرارتی منطقه بین ماه‌های مختلف از شاخص نسبت جزیره حرارتی استفاده شده است[۲۵]. در این روش لازم است تا ابتدا با استفاده از جدول (۳) داده‌ها نرمال شوند. سپس شدت جزیره حرارتی از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$URI=\frac{1}{100m}\sum_{i=1}^{n} W_i P_i$$ رابطه (۷)

در این رابطه URI شاخص شدت جزیره حرارتی، m تعداد طبقات دمای نرمال شده، n تعداد طبقات دمایی که بالاتر از طبقه دمای متوسط قرار دارند. W_i مقدار وزن طبقات دمایی بالاتر از نرمال هستند را نشان می‌دهد که با توجه به شماره طبقه وزن‌ها لحاظ می‌شود. P_i مقدار مساحت طبقات دمایی بالاتر از نرمال در فضای اراضی ساخته‌شده شهری به کل مساحت اراضی ساخته‌شده شهری را نشان می‌دهد.

با استفاده از ترکیب باندی جدید ارائه شده اراضی ساخته‌شده برای هر چهار محدوده مورد مطالعه شهرهای قائم‌شهر، ساری، نکا و بهشهر استخراج شد. با استفاده از نقاط کنترل بدست آمده از بازدید میدانی نگارنده، تصاویر گوگل ارث و نقشه توپوگرافی منطقه دقت نقشه‌های اراضی ساخته‌شده حاصل شده ارزیابی شد. با توجه به قابل قبول بودن دقت محاسبه شده، از نقشه‌های کاربری اراضی ساخته‌شده بدست آمده در مراحل تحلیل نتایج پژوهش استفاده شده است.

با استخراج دمای سطح و خصوصیات بیوفیزیکی سطح، ارتباط بین هر یک از خصوصیات بیوفیزیکی و دمای سطح با استفاده از نقاط نمونه نشان داده شده در شکل (۱) بررسی و تحلیل شده است. سپس رفتار دمایی و خصوصیات بیوفیزیکی محدوده‌های مختلف در ماه‌های مختلف مورد مطالعه، بررسی شد. مقدار اختلاف میانگین دمای سطح در دو طبقه اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده بررسی و با توجه به اختلاف میانگین مقادیر خصوصیات بیوفیزیکی سطح تحلیل شده است. درنهایت شدت جزیره حرارتی شهری برای محدوده‌های مختلف محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. تمامی تحلیل‌های فوق در هر دو بعد مکان و زمان انجام شده است.

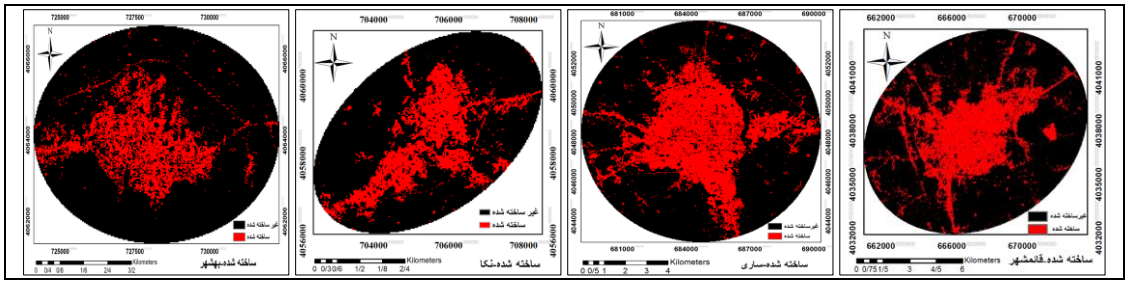
۴- بحث و نتایج

در مرحله‌ی پیش‌پردازش، تصحیح اتمسفری و هندسی تصاویر انجام شده است. نتایج ارزیابی دقت تصحیح هندسی تصاویر مورد استفاده در پژوهش خطای کمتر از نیم پیکسل را نشان می‌دهد. پس از آن، ترکیب باندی جدید ارائه شده به‌صورت رابطه (۵) برای استخراج اراضی ساخته‌شده بر روی تصاویر مورد استفاده در پژوهش اعمال شده است. با تعریف حد آستانه‌ی مناسب نقشه‌های حاصل شده ترکیب باندی موردنظر به نقشه‌های باینری شامل اراضی ساخته شده و غیر ساخته‌شده تبدیل شده است. سپس با استفاده از نقاط نمونه، واقعیت زمینی که در شکل (۱) نشان داده شده دقت ترکیب باندی برای استخراج اراضی ساخته شده محاسبه و به‌صورت جدول (۴) نشان داده شده است. درنهایت نقشه‌های اراضی ساخته‌شده برای چهار محدوده مورد مطالعه تهیه و به‌صورت شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۴ :دقت ترکیب باندی ارائه شده برای استخراج اراضی ساخته‌شده.

شهر	قائم‌شهر	ساری	نکا	بهشهر
تعداد نقاط نمونه اراضی ساخته‌شده	۶۴	۶۸	۴۲	۴۸
تعداد نقاط نمونه اراضی غیر ساخته‌شده	۱۸۱	۱۰۱	۷۵	۶۸
تعداد نقاط نمونه قرار گرفته شده در طبقه ساخته‌شده	۵۸	۶۰	۳۹	۴۳
دقت کلی (درصد)	۹۰	۸۸	۹۲	۸۹

از قابلیت‌های برتر این ترکیب باندی توانایی بسیار بالا در ایجاد تمایز بین اراضی ساخته‌شده و اراضی بایر می‌باشد.



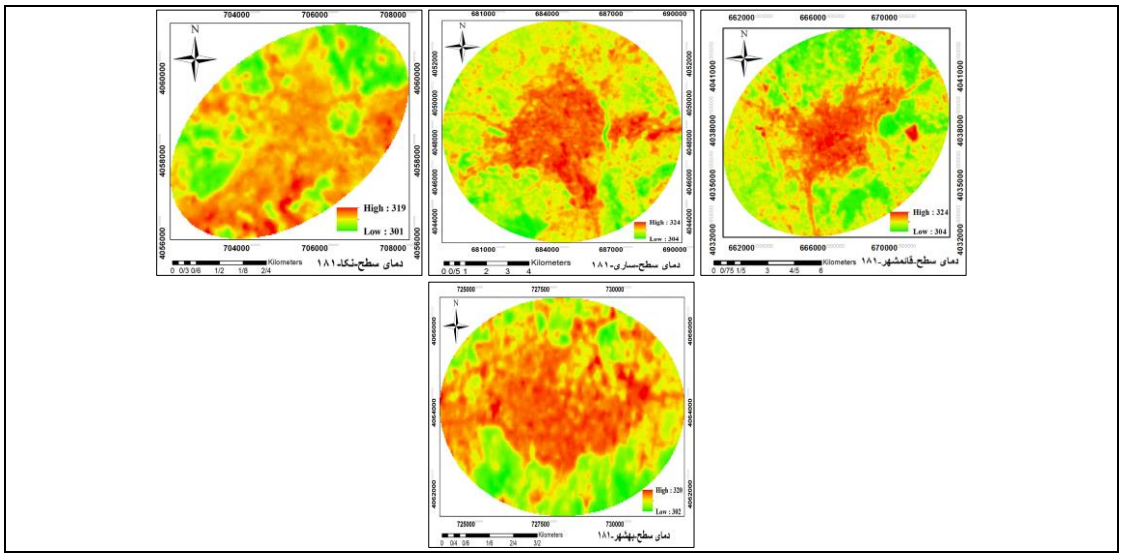
شکل ۳: نقشه‌های اراضی ساخته‌شده برای چهار محدوده مورد مطالعه.

مساحت اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های نشان داده شده در شکل (۳) استخراج و به تفکیک محدوده مورد مطالعه به‌صورت جدول (۵) بیان شده است.

جدول ۵: مساحت اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده محدوده‌های مورد مطالعه (هکتار).

شهر	قائم‌شهر	ساری	نکا	بهشهر
مساحت اراضی غیر ساخته‌شده	۸۱۲۹/۸۸	۶۹۵۹/۶۱	۱۷۱۷/۷۴	۲۸۴۵/۹۸
مساحت اراضی ساخته‌شده	۳۰۳۱/۷۴	۲۹۷۹	۵۳۶/۹۴	۶۲۱/۷۲

برای تعیین مرز چهار محدوده مورد مطالعه سعی شده است که تناسب بین مساحت اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده برای محدوده مختلف حفظ شود. نتایج محاسبه دمای سطح مناطق مورد مطالعه در پژوهش در ماه‌های مختلف به‌صورت شکل (۴) نشان داده شده است.



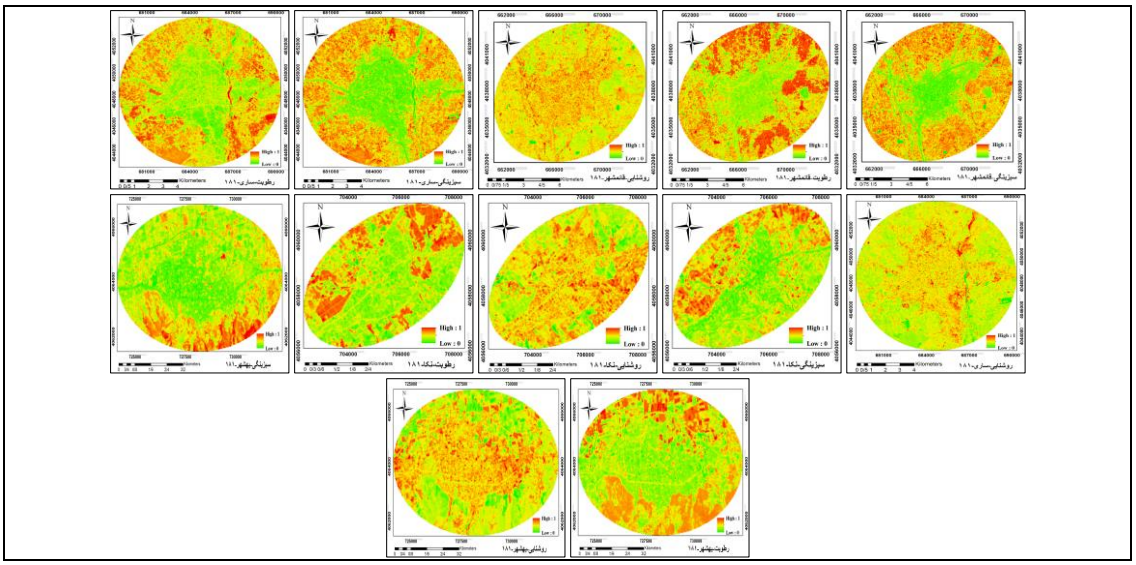
شکل ۴: نقشه‌های دمای سطح محدوده‌های مورد مطالعه در پژوهش (درجه کلوین).

بررسی دمای سطح برای محدوده‌های مختلف نشان می‌دهد که تغییرات در اندازه کمی و نحوه توزیع و پراکنش دما در محدوده‌های مختلف زیاد و متفاوت می‌باشد. میانگین دمای سطح اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده برای محدوده‌های مختلف بررسی و نتایج بررسی به‌صورت جدول (۶) نشان داده شده است.

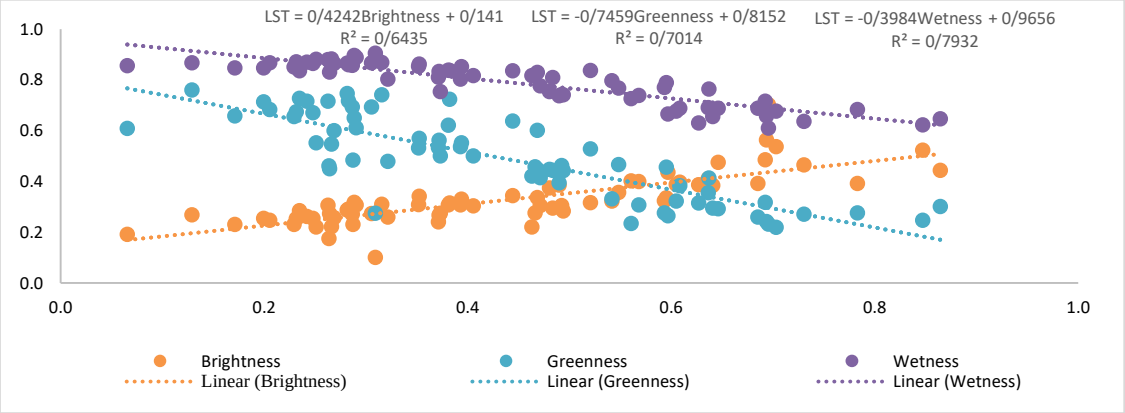
جدول ۶: میانگین دمای سطح اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده برای محدوده‌های مختلف (درجه کلوین).

شهر	قائم‌شهر	ساری	نکا	بهشهر
مساحت اراضی غیر ساخته‌شده	۳۱۷/۶	۳۱۹/۱	۳۱۲/۵	۳۱۶/۱
مساحت اراضی ساخته‌شده	۳۱۱/۳	۳۱۳/۱	۳۰۹/۶	۳۱۱/۴

در بین چهار محدوده مورد مطالعه، محدوده ساری و قائم‌شهر دارای دمای سطح بالاتری نسبت به محدوده‌های نکا و بهشهر می‌باشند. از علل آن می‌توان بیشتر بودن مساحت اراضی ساخته‌شده در این محدوده‌ها به نسبت دو محدوده نکا و بهشهر اشاره کرد. اراضی ساخته‌شده در همه محدوده‌های مورد بررسی دارای دمای سطح بالاتری نسبت به اراضی غیر ساخته‌شده دارند. این موضوع به خصوصیات فیزیکی و هندسی سطح و نوع فعالیت‌های انسانی در کاربری اراضی ساخته‌شده مرتبط می‌باشد. اختلاف میانگین دمای اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده در محدوده‌های مختلف متفاوت می‌باشد. جهت بررسی دقیق علت اختلاف میانگین دمای سطح اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده و همچنین تفاوت در میزان اختلاف میانگین دما در دو طبقه کاربری خصوصیت اصلی و تأثیرگذار سطح ازجمله روشنایی، سبزینگی و رطوبت بررسی شده است. نقشه‌های خصوصیات سطح بدست آمده از ترکیب‌های باندی TCT برای محدوده‌های مختلف به‌صورت شکل (۵) نشان داده شده است. ارتباط بین دمای سطح و هر یک از خصوصیات بیوفیزیکی سطح با استفاده از نقاط نمونه بررسی و به‌صورت شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۵: نقشه‌های خصوصیات سطح بدست آمده از ترکیب‌های باندی TCT برای محدوده‌های مختلف.



شکل ۶: ارتباط بین دما و خصوصیات بیوفیزیکی سطح. محور عمودی مربوط به دما و محور افقی نشان‌دهنده خصوصیات بیوفیزیکی سطح

نتایج بررسی ارتباط بین دمای سطح و خصوصیات روشنایی، سبزینگی و رطوبت با توجه به شکل (۶) نشان می‌دهد که.بین دما و روشنایی سطح ارتباط خطی مستقیم و دما با سبزینگی و رطوبت سطح ارتباط خطی معکوس وجود دارد. معنادار بودن ضرایب بدست آمده برای روابط نشان داده‌شده در شکل (۶) در سطح اطمینان ۹۹ درصد بررسی شده است و با توجه به مقادیر حاصل شده برای آماره t معنادار بودن روابط تأیید شده است. بررسی ارتباط بین دمای سطح و خصوصیات سبزینگی، رطوبت و روشنایی نشان می‌دهد که این سه پارامتر بر میزان دمای سطح تأثیرگذار بوده و می‌توان از تحلیل این خصوصیات برای بررسی تفاوت میانگین دمای سطح در محدوده‌های مختلف استفاده کرد؛ بنابراین برای محدوده‌های مختلف، میانگین سه ویژگی روشنایی، سبزینگی و رطوبت به تفکیک اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده محاسبه شده و نتایج به‌صورت جدول (۷) نشان داده شده است.

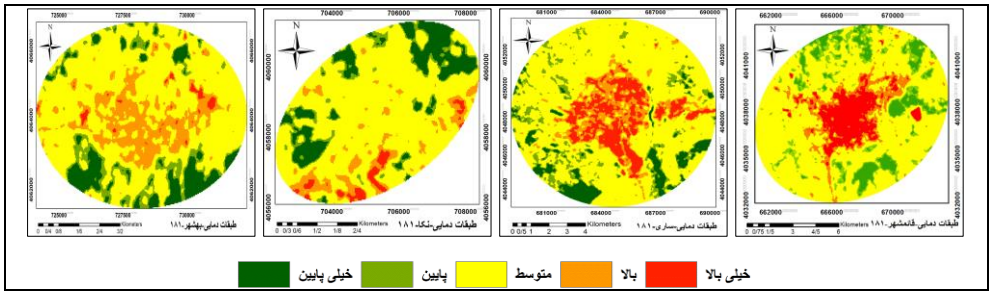
جدول ۷: نتایج میانگین خصوصیات سطح برای اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده.

ماه	خصوصیات سطح و طبقات کاربری		قائم‌شهر	ساری	نکا	بهشهر
تیر	رطوبت	اراضی غیر ساخته‌شده	-۱۳۳۲	-۲۰۳۰	-۲۵۵۸	-۲۵۳۵
		اراضی ساخته‌شده	-۴۲۲۳	-۴۷۱۶	-۴۸۷۶	-۵۰۵۳
	سبزینگی	اراضی غیر ساخته‌شده	۳۵۱۱	۲۶۲۶	۱۴۴۲	۱۵۰۶
		اراضی ساخته‌شده	-۱۱۱۹	-۱۸۷۱	-۱۶۶۸	-۲۱۵۵
	روشنایی	اراضی غیر ساخته‌شده	۴۸۵۸	۳۱۵۴	۳۲۷۳۵	۳۱۲۹۸
		اراضی ساخته‌شده	۵۲۷۱	۳۴۲۹	۳۵۰۸۵	۳۴۲۷۱

از تجزیه و تحلیل نتایج نشان داده شده در جدول (۷) و ارتباط آن با نتایج مربوط به شکل (۶) می‌توان نتیجه گرفت که اراضی ساخته‌شده در همه محدوده‌های مورد مطالعه برای همه ماه‌ها دارای میانگین سبزینگی و رطوبت پایین‌تر و میانگین روشنایی بالاتری نسبت به اراضی غیر ساخته‌شده می‌باشند. مطابق با نتایج نشان داده شده در شکل (۶) با توجه به ارتباط معکوس دمای سطح و خصوصیات سبزینگی و رطوبت و ارتباط مستقیم دمای سطح و خصوصیت روشنایی می‌توان این موضوع را از مهم‌ترین دلایل برای بیشتر بودن میانگین دمای اراضی ساخته‌شده از اراضی غیر ساخته‌شده عنوان کرد. بیشترین و کمترین مقدار اختلاف مقادیر میانگین شاخص‌های خصوصیات سطح به ترتیب برای محدوده قائم‌شهر و نکا می‌باشد با توجه به جدول (۷) بیشترین و کمترین اختلاف میانگین دمای سطح دو نوع کاربری نیز برای این دو محدوده می‌باشد.

۱-۴- شدت جزیره حرارتی

برای بررسی توزیع مکانی جزیره حرارتی در منطقه، تصاویر حرارتی مربوط به محدوده‌ها با استفاده از بیشترین و کمترین مقدار دمای سطح نرمال شد. سپس با استفاده از مقادیر میانگین و انحراف معیار و با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی ذکر شده در جدول (۳) تصاویر حرارتی نرمال شده به پنج طبقه دمایی تقسیم شدند. شکل (۷) نقشه‌های حرارتی طبقه‌بندی شده را برای چهار محدوده مختلف نشان می‌دهد.



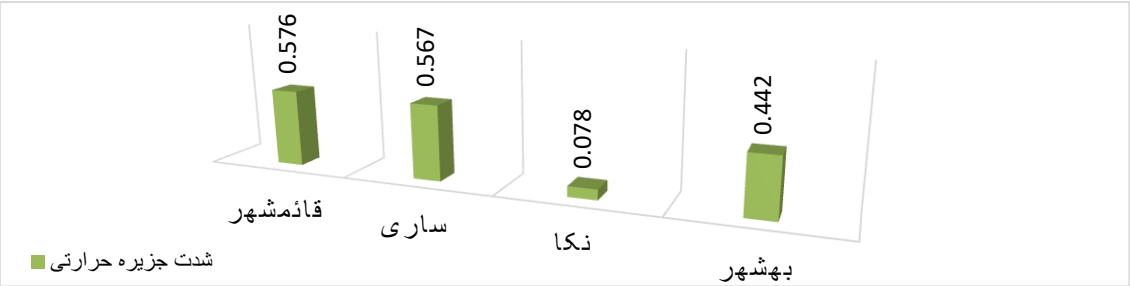
شکل ۷: نقشه‌های حرارتی طبقه‌بندی شده را برای چهار محدوده مختلف.

در سه محدوده قائم‌شهر، ساری و بهشهر طبقات دمایی بالا و بسیار بالا بیشتر در هسته مرکزی و نزدیکی راه‌های ارتباطی خروجی از شهر قرار دارند، اطراف شهر توسط طبقه دمایی متوسط پوشش داده می‌شود بعد از طبقه‌بندی نقشه‌های دمای سطح نرمال شده به طبقات دمایی، مساحت مربوط به هر کاربری محاسبه شده و تغییرات آن در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شد. اندازه فیزیکی شهر بر میزان مساحت طبقات دمایی مختلف تأثیر مستقیم دارد. در تمام ماه‌های مورد بررسی محدوده ساری دارای عدد بزرگتری برای طبقه‌های دمایی گرم و خیلی گرم به نسبت محدوده نکا می‌باشند. برای بررسی شدت جزیره حرارتی یک محدوده باید به نوعی میزان مساحت طبقات خیلی گرم و گرم از اندازه فیزیکی شهر مستقل گردد؛ بنابراین برای هر چهار محدوده جغرافیایی در چهار ماه متفاوت مساحت طبقات دمایی مختلف در فضای اراضی ساخته‌شده بررسی و نتایج به‌صورت جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول ۸: مساحت طبقات دمایی مختلف در فضای اراضی ساخته‌شده محدوده‌های مختلف (هکتار)

ماه	طبقات دمایی	ساری	ساری	نکا	بهشهر
تیر	خیلی پایین	۰/۹	۰/۹	۰/۱۸	۰
	پایین	۴/۶۸	۴/۶۸	۰/۹	۰/۱۸
	متوسط	۱۱۰۲/۵	۱۱۰۲/۵	۴۸۰/۳۳	۲۷۸/۲۸
	بالا	۸۷۲/۱۹	۸۷۲/۱۹	۵۱/۰۳	۳۳۰/۸۴
	خیلی بالا	۹۹۴/۰۵	۹۹۴/۰۵	۱/۴۴	۱۰/۳۵

با توجه به نتایج جدول (۸ و ۵)، شاخص شدت جزیره حرارتی برای محدوده‌های مختلف محاسبه و به‌صورت شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸: شاخص شدت جزیره حرارتی برای محدوده‌های مختلف

نتایج محاسبه شاخص شدت درجه حرارتی نشان می‌دهد که محدوده نکا دارای پایین‌ترین میزان شدت جزیره حرارتی و محدوده قائم‌شهر دارای بیشترین مقدار شدت جزیره حرارتی با مقدار ۰/۵۷۶۸ می‌باشد. محدوده جغرافیایی ساری نیز از شدت بالای پدیده جزیره حرارتی شهری رنج می‌برد. نتایج شکل (۸) با نتایج نشان داده شده در جدول (۷) مطابقت دارد.

۵- نتیجه‌گیری

جزایر حرارتی شهری از معمول‌ترین پدیده‌های شهری‌اند که در آن‌ها برخی از مناطق شهری و به‌خصوص مراکز شهرها، چند درجه از مناطق اطراف گرم‌تر می‌شوند. این پدیده در ارتباط مستقیم با پارامترهای بیوفیزیکی سطح قرار دارد. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و یک عامل مهم برای مطالعه آب‌وهوا در مناطق شهری محسوب می‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی و تحلیل مکانی چگونگی رفتار دمای سطح شهرهای واقع در قسمت شرق استان و ارتباط آن با خصوصیات بیوفیزیکی می‌باشد. ترکیب‌های باندی TCT با بهره‌گیری از یک ترکیب خطی از باندهای تصاویر و ماتریس ضرایب اختصاصی اطلاعات مفید و مؤثری را از تصاویر اولیه استخراج می‌کنند. اطلاعات مربوط به روشنایی، سبزی و رطوبت سه جز اصلی اطلاعات استخراج‌شده از شاخص‌های TCT را شامل می‌شوند. ترکیب خطی جدیدی از مقادیر باندهای مختلف تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای استخراج اراضی ساخته‌شده پیشنهادشده است. دمای سطح با استفاده از مدل محاسبه دمای سطح تک باندی به کمک محصول بخارآب مودیس بدست آمده است. نقشه اراضی ساخته‌شده با استفاده از ترکیب باندی جدید پیشنهادی در چهار محدوده با دقت بالای ۹۰ درصد تهیه شده است. در بین محدوده‌های مورد بررسی در این پژوهش شهر قائم‌شهر دارای بیشترین اراضی ساخته‌شده و شهر نکا دارای کمترین اراضی ساخته‌شده هست. بررسی دمای سطح چهار محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که محدوده ساری و قائم‌شهر دارای دمای سطح بالاتری نسبت به محدوده-های نکا و بهشهر می‌باشند از علل آن می‌توان بیشتر بودن مساحت اراضی ساخته‌شده در این محدوده‌ها به نسبت دو محدوده نکا و بهشهر اشاره کرد. بیشترین اختلاف میانگین دمای سطح دو نوع کاربری مربوط به محدوده قائم‌شهر به میزان ۶/۳ درجه و کمترین آن مربوط به محدوده نکا به میزان ۲/۹ درجه می‌باشد. نتایج بررسی ارتباط بین دمای سطح و خصوصیات روشنایی، سبزینگی و رطوبت نشان می‌دهد که بین دما و روشنایی سطح ارتباط خطی مستقیم و دما با سبزینگی و رطوبت سطح ارتباط خطی معکوس وجود دارد. در محدوده‌های جغرافیایی که اختلاف دمایی بین کاربری ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده و یا محدوده‌ها نسبت به یکدیگر زیاد است اختلاف در ویژگی بیوفیزیکی سطح نیز زیاد می‌باشد. به‌عنوان نمونه بیشترین اختلاف مقادیر میانگین سبزینگی، رطوبت و روشنایی بین اراضی ساخته‌شده و غیر ساخته‌شده مربوط به محدوده قائم‌شهر می‌باشد در نتیجه بیشترین اختلاف میانگین دمای سطح نیز به میزان ۶/۵ درجه مربوط به این محدوده می‌باشد. در سه محدوده قائمشهر، ساری و بهشهر طبقات دمایی بالا و بسیار بالا بیشتر در هسته مرکزی و نزدیکی راه‌های ارتباطی خروجی از شهر قرار دارند، اطراف شهر توسط طبقه دمایی متوسط پوشش داده می‌شود ولی مقدار و کیفیت پراکنش طبقات دمایی طی ماه‌های مختلف متفاوت است. محدوده نکا دارای پایین‌ترین میزان شدت جزیره حرارتی می‌باشد. بیشترین مقدار شاخص شدت جزیره حرارتی مربوط به محدوده قائم‌شهر ۰/۵۷۶۸ می‌باشد. نتایج پژوهش بیانگر این است که جهت شناخت کامل و عمیق مکانیسم رفتار دمایی مناطق شهری و پدیده جزیره حرارتی شهری ارزیابی کیفی و کمی خصوصیات بیوفیزیکی سطح ضروری است برای این منظور بهره‌گیری از داده‌های اپتیک و حرارتی فن‌آوری سنجش از دور به صورت تلفیقی بسیار کارا و مفید می‌باشد.

مراجع

[1] R. Amiri, Q. Weng, A.Alimohammadi and S. K. Alavipanah, “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, 113(12), 2606-2617, 2009.

[2] T. R. Oke, “The energetic basis of the urban heat island”, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1-24, 1982.

[3] N. Schwarz, U. Schlink, U. Franck and K. Großmann, “Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicatorsan application for the city of Leipzig (Germany) ”, Ecological Indicators,18, 693-704, 2012.

[4] C. W. Mackey, X. Lee and R. B. Smith, “Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island”, Building and Environment, 49, 348-358, 2012.

[5] Q. Weng, “Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(4), 335-344, 2009.

[6] J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, and L. Paolini, Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of environment,90(4), 434-440, 2004.

[7] Q. Weng, “A remote sensing - GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China”, International journal of remote sensing, 22(10), 1999-2014, 2001.

[8] U. Rajasekar, & Q. Weng, “Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(1), 86-96. 2009.

[9] L. Liu and Y. Zhang, “Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong”, Remote Sensing, 3(7), 1535-1552, 2011.

[10] S. Haashemi, Q. Weng, A. Darvishi and S. K. Alavipanah, “Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City”, Remote Sensing, 8(4), 352, 2016.

[11] J. Jiang and G. Tian, “Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing”, Procedia environmental sciences, 2, 571-575, 2010.

[12] H. Xiao and Q. Weng, “The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China”, Journal of environmental management, 85(1), 245-257, 2007.

[13] F. Yuan and M. E. Bauer, “Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery”, Remote Sensing of environment, 106(3), 375-386, 2007.

[14] H. Xiao and Q. Weng, “The impact of land use and land cover changes on land surface temperature in a karst area of China”, Journal of environmental management, 85(1), 245-257, 2007.

[15] O. Rotem-Mindali, Y. Michael, D. Helman and I. M. Lensky, “The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing”, Applied Geography, 56, 145-153, 2015.

[16] J. Li, C. Song, L. Cao, F. Zhu, X. Meng and J. Wu, “Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai”, China, Remote Sensing of Environment, 115(12), 3249-3263, 2011.

[17] W. Zhou, G. Huang and M. L. Cadenasso, “Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes”, Landscape and Urban Planning, 102(1), 54-63, 2011.

[18] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, “A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data”, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D22), 2003.

[19] J. C. Jiménez-Muñoz, J. A. Sobrino, D. Skoković, C. Mattar and J. Cristóbal, “Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data”. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11(10), 1840-1843, 2014.

[20] J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, M. Romaguera, L. Guanter, J. Moreno and P. Martínez, “Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,46(2), 316-327, 2008.

[21] Q. Liu, G. Liu, C. Huang, S. Liu and J. Zhao, “A tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI TOA reflectance images”. In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 541-544). IEEE. 2014.

[22] Q. Liu, G. Liu, C. Huang and C. Xie, Comparison of tasselled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images". International Journal of Remote Sensing, 36(2), 417-441, 2015.

[23] X. Mo, C. Cheng, F. Zhai, H. Li, "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, 2011.

[24] H. Xu, Y. Chen, S. Dan and W. Qiu, "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, 2011.

[25] H. Xu and B. Chen, 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, 2004.