DOI: 10.22059/jesphys.2018.247773.1006952

بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

فیروز مجرد[1*]، مهتاب ناصریه[2] و سیروس هاشمی[3]

۱. دانشیار ، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۶/۹/۲۸، پذیرش نهایی: ۹۷/۲/۲۵)

چکیده

جزایر گرمایی شهری (UHI) به‌عنوان یکی از عواملی که فعالیت انسان را در داخل شهرها تحت تأثیر قرار می‌دهد، هم‌زمان با توسعه فیزیکی شهرها در دهه‌های اخیر، اهمیت زیادی پیدا کرده است. با ظهور تصاویر ماهواره‌ای گرمایی در چند دهه اخیر و امکان بازیابی دمای سطح زمین (LST)، این داده‌ها برای ارزیابی جزیره گرمایی سطحی شهری (SUHI) که با UHI ارتباط مستقیم دارد، مورد استفاده بوده است. هدف از این تحقیق بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. بدین‌منظور از محصولات دمای سطح زمین سنجنده MODIS در دو دوره یک‌ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۰ و ۲۰۱۶-۲۰۱۵) برای بررسی تغییرات جزیره گرمایی سطحی شهری و همچنین تصاویر سنجنده‌های لندست (TM, ETM+, OLI/TIRS) در سه دوره (۲۰۱۵-۲۰۰۰-۱۹۸۷) برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و بازتاب سطح زمین استفاده شد. نتایج نشان داد مناطق شهری در طول روز به‌خصوص در دوره گرم سال، نسبت به مناطق غیرشهری دمای سطح کمتری دارند و در آنها جزیره سرمایی سطحی شهری (SUCI) تشکیل می‌شود. در شب، به‌ویژه در بهار وضعیت فوق معکوس و دمای مناطق شهری به‌دلیل انتقال گرمای محسوس در حدود ۱ تا ۲ درجه بیشتر از بیرون شهر می‌شود و از این‌رو جزیره گرمایی سطحی شهری تشکیل می‌شود. در حالت مقایسه نقطه‌ای، اختلافات دمای سطح داخل و بیرون شهر به حدود دو برابر، یعنی ۳ الی ۴ درجه افزایش می‌یابد. بررسی تغییرات دوره‌ای جزیره گرمایی نشان داد که مقدار SUCI در دوره (۲۰۱۵-۲۰۱۶) نسبت به دوره (۲۰۰۰-۲۰۰۱) در طول روز افزایش و مقدار SUHI در طول شب کاهش یافته است. دلیل این تغییرات، افزایش بازتاب مناطق شهری ناشی از استفاده از بام‌های با بازتاب بالا به‌جای آسفالت که موجب جذب کمتر انرژی خورشید و ذخیره‌سازی کمتر گرما می‌شود و کاهش پوشش گیاهی در مناطق غیرشهری به دلایل مختلف از جمله تسطیح اراضی به‌منظور گسترش شهر است.

واژه‌های کلیدی: جزیره گرمایی شهری، دمای سطح زمین، جزیره سرمایی شهری، تصاویر ماهواره‌ای، کرمانشاه.

۱. مقدمه

در طول نیم‌قرن گذشته، سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از فعالیت‌های انسانی از طریق جنگل‌زدایی و توسعه شهرها شده است. تغییرات سریع کاربری- پوشش زمین در مناطق شهری تبدیل به نگرانی عمده زیست‌محیطی و علت مشکلات زیست‌محیطی فراوان از جمله کاهش فضای سبز و توسعه جزیره گرمایی شده است (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴). پدیده جزیره گرمایی شهری (Urban Heat Island: UHI) نمونه‌ای از تغییر جو توسط شهرنشینی است. این اثر با گرم شدن مناطق شهری در مقایسه با محیط غیرشهری پیرامون آنها مشخص می‌شود (سوبرینو و همکاران، ۲۰۱۳). افزایش جمعیت، افزایش آلودگی ناشی از صنایع و افزایش تردد اتومبیل‌ها موجب افزایش دمای برخی مناطق شهری نسبت به دیگر مناطق می‌شود؛ بنابراین در مناطق شهری بسته به پوشش زمین، مناطقی با دمای بیشتر از سایر نواحی به وجود می‌آید (متکان و همکاران، ۱۳۹۳). تابش خورشیدی ورودی در طی روز در لابه‌لای ساختار شهری به دام می‌افتد و در هنگام شب بازتابش می‌شود. در نتیجه، فرآیند سرد شدن طبیعی سطح زمین در طی شب با سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. بنابراین دمای هوای شهرها به‌طور

*نگارنده رابط: f_mojarrad@yahoo.com

معمول از دمای هوا در مناطق حومه شهر بالاتر خواهد بود. این اختلاف دما گاهی به ۵ تا ۶ درجه سلسیوس می‌رسد و حتی در شب‌های آرام و صاف در شهرهای بزرگ در حدود ۶ تا ۸ درجه سلسیوس نیز گزارش شده است. بنابراین شدت جزیره گرمایی به سیستم‌های هواشناسی حاکم بستگی داشته و در شب‌های آرام (بدون باد) و صاف دارای بیشترین مقدار خود است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). هنگامی که جزیره گرمایی شهری با داده‌های سنجش از دور بررسی می‌شود، باید در مورد جزیره گرمایی سطحی شهری (Surface Urban Heat Island: SUHI) صحبت شود؛ زیرا پارامتر مورد مطالعه دیگر دمای هوا (Air Temperature: AT) نیست، بلکه دمای سطح زمین (Land Surface Temperature: LST) است (سوبرینو و همکاران، ۲۰۱۳). معمولاً توسعه شهری باعث افزایش دما در مناطق شهری اقلیم‌های معتدل و جنب‌حاره و ایجاد جزیره گرمایی شهری می‌شود؛ اما در مناطق نیمه‌خشک، قسمت‌های شهری در مقایسه با نواحی غیرشهری و لخت پیرامون، دماهای سطحی کمتری دارند که از آن به‌عنوان جزیره سرمایی شهری (Urban Cool Island: UCI) یاد می‌شود (رسول و همکاران، ۲۰۱۵).

سنجش از دور ماهواره‌ای یک راه ساده و سازگار برای تعیین تفاوت بین گرمای سطوح شهری و روستایی را فراهم می‌کند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). در این زمینه کواتروچی و همکاران (۲۰۰۰) توزیع مکانی دمای سطح زمین را در چهار شهر ایالات متحده با استفاده از سنجش از دور گرمایی بررسی کردند. نتایج نشان داد رشد شهر باعث شکل‌گیری جزیره گرمایی و افت کیفیت کلی هوای شهر شده و خود جزیره گرمایی اثر پس‌زمینه‌ای در شکل‌گیری ازن سطحی دارد و باعث تقویت آن می‌شود. گزلمن و همکاران (۲۰۰۳) در نیویورک و هارتز و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه خشک و نیمه‌گرمسیری آمریکا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER بیشترین شدت جزیره گرمایی را در شب دانسته‌اند. نونومورا و همکاران (۲۰۰۹) در منطقه تاکاماتسو نشان دادند در مناطقی که پوشش گیاهی کاهش و یا جمعیت انسانی افزایش داشته، روند گرما و ایجاد جزایر گرمایی تشدید شده است. ژو و همکاران (۲۰۱۲) در بالتیمور ایالات متحده آمریکا با سنجنده +ETM نشان دادند که پوشش گیاهی در کاهش اثر جزایر گرمایی شهری نقش مهمی دارد. لازارینی و همکاران (۲۰۱۳: ۱۳۶) در شهرهای بیابانی منطقه شهری ابوظبی، هو و برونسل (۲۰۱۳) در هوستون ایالات متحده و سوبرینو و همکاران (۲۰۱۳) در شهر مادرید اسپانیا نشان دادند که در طول روز مناطق مرکزی شهر سردتر از حومه (SUHI منفی) و در شب گرم‌تر از حومه (SUHI مثبت) است. همچنین شدت جزیره گرمایی در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان است. رسول و همکاران (۲۰۱۵) در اربیل کردستان عراق در طول فصل خشک با استفاده از تصاویر لندست ۸ نشان دادند که نواحی متراکمِ ساخته‌شده، مانند نواحی مرکزی شهر، نواحی سبز و توده‌های آب، در مقایسه با نواحی غیرشهری اطراف شهر کمترین دماهای سطحی را دارند و به‌عنوان جزایر سرمایی سطحی شهری (Surface Urban Cool Island: SUCI) عمل می‌کنند. در مقابل، فرودگاه، فضاهای باز و مناطق با تراکم خانه‌سازی کمتر در حاشیه شهر بالاترین مقادیر LST را دارند.

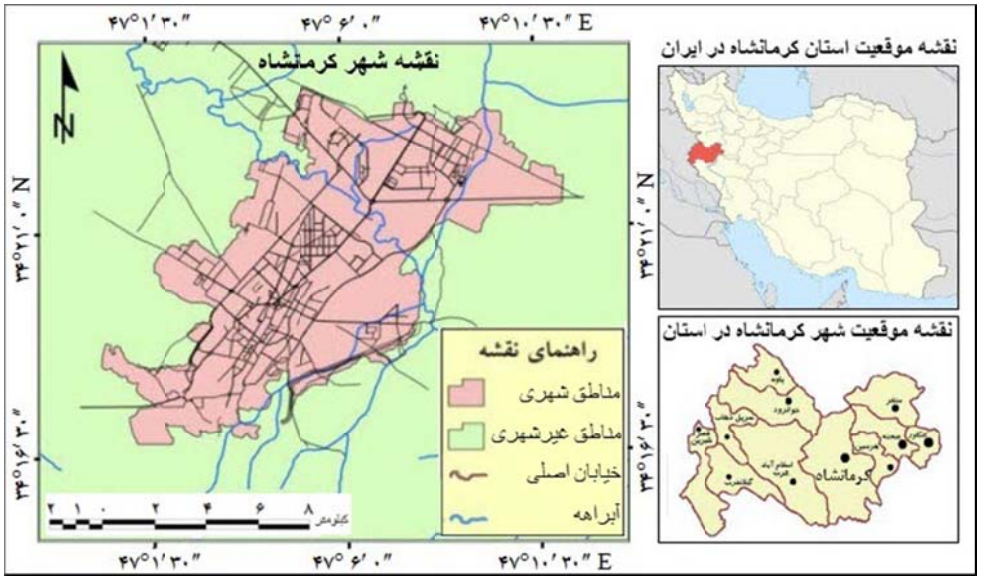
در ایران نیز کاربرد تصاویر گرمایی در زمینه‌های مختلف مطالعه جزیره گرمایی مورد توجه بوده است. از جمله می‌توان به تحقیقات امیری و همکاران (۱۳۸۶)، شکیبا و همکاران (۱۳۸۸)، ملک‌پور و طالعی (۱۳۹۰)، بهارلو و همکاران (۱۳۹۰)، صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱)، ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، هاشمی و همکاران (۱۳۹۲)، متکان و همکاران (۱۳۹۳)، علوی‌پناه و همکاران (۱۳۹۴) و همچنین هاشمی دره‌بادامی (۱۳۹۴) اشاره کرد که به بررسی تغییرات سالانه جزیره گرمایی سطحی شهری (SUHI) با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجنده‌های چندگانه پرداخته‌اند.

نتایج کلی حاکی از آن است که مهم‌ترین عامل تغییرات مکانی روزانه LST و SUHI، تعامل پوشش سطح زمین با نور خورشید رسیده به سطح زمین است. همچنین در ماه‌های گرم سال در طول روز شاهد جزیره گرمایی وارونه یا جزیره سرمایی سطحی شهری (SUCI) هستیم؛ اما در طی شب مناطق شهری به‌خصوص در مرکز شهر دارای دمای بالاتری نسبت به مناطق غیرشهری هستند؛ زیرا مناطق غیرشهری در طی شب گرمای خود را به‌سرعت از دست می‌دهند. در یک جمع‌بندی، اغلب مطالعات پیشین کمابیش به افزایش دمای سطح زمین ناشی از توسعه فضای شهری و همچنین رابطه مستقیم آن با ویژگی‌های سطح زمین (پوشش گیاهی، سطوح نفوذ-ناپذیر و ...) اذعان کرده‌اند. پژوهش حاضر قصد دارد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات زمانی– مکانی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه را با توجه به توسعه شهر، افزایش جمعیت شهر و نیز تغییرات کاربری پیرامونی آن مطالعه نماید.

۲. روش پژوهش

۲-۱. محدوده مورد مطالعه

شهر کرمانشاه مهم‌ترین شهر در منطقه مرکزی غرب ایران و مرکز استان کرمانشاه است. ارتفاع این شهر از سطح دریا در حدود ۱۳۲۲ متر و مساحت آن تقریباً ۹۶ کیلومتر مربع است. بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن، جمعیت این شهر در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۷۸۴۶۰۲، ۸۵۱۴۰۵ و ۹۴۶۶۵۱ نفر بوده است (https://www.amar.org.ir). طی دوره ۶۰ ساله ۱۳۳۵ تا ۱۳۹۵ جمعیت ساکن شهر حدود ۷ برابر شده است. شهر کرمانشاه نزدیک به نصف جمعیت استان را که بالغ بر ۱۹۵۲۴۳۴ نفر است، در خود جای داده است. دلیل انتخاب منطقه مورد مطالعه این است که این شهر یکی از شهرهای پرجمعیت کشور بوده و در سال‌های اخیر رشد قابل‌توجهی پیدا کرده است. لزوم پایش تغییرات مساحت شهر و کاربری‌های اطراف آن و نقشی که در تغییر ویژگی‌های جزیره گرمایی و در نتیجه، فعالیت‌های مختلف انسان و به‌خصوص آسایش انسانی دارد، ضرورت مطالعه را نشان می‌دهد. به‌خصوص در سال‌های اخیر که استفاده از بام‌های با بازتاب بالا نقش قابل‌توجهی در تغییر واکنش کاربری‌های شهری در برابر تابش آفتاب و ویژگی‌های جزیره گرمایی داشته است، این ضرورت بیشتر خود را نشان می‌دهد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر کرمانشاه.

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱. داده‌های سنجنده MODIS

مادیس یا «اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک مکانی متوسط» ابزاری است که بر روی ماهواره ترا در ماه دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا در ماه می سال ۲۰۰۲ راه‌اندازی و نصب شده است. مادیس، داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور زمانی بالاتر از خط استوا در حدود ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهواره ترا و ۱۳:۳۰ و ۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. محصولات سنجنده مادیس در سطوح مختلف برای جو، خشکی‌ها و اقیانوس‌ها در دسترس است (https://lpdaac.usgs.gov). محصول مورد استفاده در این تحقیق MOD11A2 است که شامل دمای سطح زمین (LST) در روز و شب (در ساعات ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰) با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی ۸ روزه در دو دوره زمانی یک‌ساله اول (آوریل ۲۰۰۰ تا مارس ۲۰۰۱) و یک‌ساله دوم (آوریل ۲۰۱۵ تا مارس ۲۰۱۶) است.

۲-۲-۲. داده‌های سنجنده‌های لندست

پرتاب اخیر ماهواره لندست ۸ که دو سنجنده: ۱- تصویربردار عملیاتی زمین (OLI) و ۲- مادون قرمز گرمایی (TIRS) را با خود حمل می‌کند، تداوم داده‌های سنجش از راه دور در تفکیک مکانی بالا توسط ابزار نصب‌شده روی ماهواره‌های قبلی لندست مانند سیستم اسکنر چند طیفی (MSS)، نقشه‌بردار موضوعی (TM) و نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (+ ETM) را تضمین می‌کند. در این تحقیق از تصاویر لندست در سه تاریخ مختلف (۹ می ۱۹۸۷- سنجنده TM، ۴ می ۲۰۰۰- سنجنده +ETM و ۱۵ می ۲۰۱۵- سنجنده OLI/TIRS) استفاده شده است.

۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

۳-۱. محاسبه شاخص SUHI با داده‌های MODIS

معمولاً برای بررسی جزیره گرمایی سطحی، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری با مناطق غیرشهری یا روستایی استفاده می‌شود. با این حال، تمایز میان مناطق شهری و غیرشهری هنوز متنوع است. علاوه بر شاخص SUHI که تفاوت دمای سطح مناطق شهری با غیرشهری را اندازه‌گیری می‌کند، بسته به کاربری غالب اطراف شهر، شاخص‌های دیگری از جمله تفاوت دمای سطح مناطق شهری-کشاورزی، شهری-آب نیز استفاده شده است. در این تحقیق، برای بررسی جزیره گرمایی از شاخص جزیره گرمایی پیشنهادی توسط ووگت و اوکه (۲۰۰۳) به شرح رابطه (۱) استفاده شد.

$$SUHI = LST_{urban} - LST_{rural} \qquad (۱)$$

که در آن SUHI شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری و LST_{urban}، LST_{rural} به‌ترتیب میانگین دمای سطح زمین مناطق شهری و غیرشهری هستند. میانگین دمای مناطق شهری از میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل شهر و میانگین دمای مناطق غیرشهری، از میانگین دمای تمام یاخته‌های محدوده بیرون شهر به دست آمد. برای مطالعه نقطه‌ای SUHI، از اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شد.

۳-۲. پیش‌پردازش تصاویر LANDSAT

پیش‌پردازش‌ها به‌منظور تبدیل تصاویر بازتابی اولیه به بازتاب سطح زمین و تصاویر گرمایی به دمای درخشندگی سطح سنجنده انجام می‌شود. جزئیات این تبدیلات در مقالات چاندر و همکاران (۲۰۰۹) و مارخام و همکاران (۲۰۱۴) موجود است. در نرم‌افزار ENVI ابزارهای مناسب برای این تبدیلات تعبیه شده است.

۳-۳. محاسبه شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)

این شاخص بر پایه ارتباط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش بازتاب در انرژی مادون قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است و از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (رسول و همکاران، ۲۰۱۵).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR}-\rho_{RED})}{(\rho_{NIR}+\rho_{RED})} \quad (۲)$$

که ρ_{NIR} بازتاب سطح زمین در باند مادون‌قرمز نزدیک و ρ_{RED} بازتاب سطح زمین در باند قرمز است.

۳-۴. محاسبه کسر پوشش گیاهی (FVC)

برای به دست آوردن کسر پوشش گیاهی (Fractional Vegetation Cover)، مقادیر $NDVI$ هر یاخته به‌صورت خطی بین مقادیر خاک لخت ($NDVI_0$) و پوشش گیاهی متراکم ($NDVI_s$) با استفاده از رابطه (۳) درجه‌بندی می‌شود (امیری و همکاران، ۲۰۰۹).

$$N^* = \frac{(NDVI - NDVI_0)}{(NDVI_S - NDVI_0)} \quad (۳)$$

در گام بعد، با استفاده از مقادیر $NDVI$ درجه‌بندی‌شده (N^*)، کسر پوشش گیاهی با رابطه (۴) محاسبه می‌شود (سوبرینو و همکاران، ۲۰۰۸).

$$FVC = N^{*2} \quad (۴)$$

۳-۵. محاسبه توان تابشی سطح زمین

با محاسبه کسر پوشش گیاهی (FVC) توان تابشی (ε) از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\begin{aligned} &\varepsilon = \varepsilon_S(1-FVC) + \varepsilon_V FVC && (0 < FVC < 1)\\ &\varepsilon = 0.99 && (FVC = 1)\\ &\varepsilon = a + b\,\rho_{red} && (FVC = 0) \end{aligned} \quad (۵)$$

که ρ_{red} بازتاب در باند قرمز، a و b ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تابشی، ε_S توان تابشی خاک و ε_V توان تابشی پوشش گیاهی است.

۳-۶. محاسبه LST به روش تک‌کانال (SC)

این روش مناسب‌ترین روش برای بازیابی LST از یک کانال منفرد (SC) منطقه گرمایی طیف الکترومغناطیس با سری ماهواره‌های لندست است. الگوریتم‌های SC را می‌توان به هر یک از دو باند گرمایی لندست ۸ (TIRS) اعمال کرد. بااین‌حال، ازآنجاکه TIRS-1 در منطقه جذب جو پایین‌تر قرارگرفته است، بهتر است از این باند استفاده شود. الگوریتم SC مورد استفاده برای بازیابی LST از تصاویر گرمایی ماهواره لندست در این تحقیق، توسط خیمنز- مونوز و همکاران (۲۰۰۹) توسعه یافته و بر روی تصاویر لندست‌های ۵ و ۷ اعمال شده است. همچنین این الگوریتم توسط خیمنز-مونوز و همکاران (۲۰۱۴) بر روی لندست ۸ اعمال شده است. این الگوریتم برای همه لندست‌ها به یک شکل و با رابطه (۶) اعمال می‌شود.

$$T_s = \gamma\left[\frac{1}{\varepsilon}(\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3\right] + \delta \quad (۶)$$

که T_s دمای سطح زمین، ε توان تابشی سطح زمین و L_{sen} تابش در سطح سنجنده است. پارامترهای γ و δ از رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$\gamma \approx \frac{{T_{sen}}^2}{b_\gamma L_{sen}}; \qquad \delta \approx T_{sen} - \frac{{T_{sen}}^2}{b_\gamma} \quad (۷)$$

که در آن T_{sen} دمای درخشندگی سطح سنجنده، b_γ (۱۳۲۴ برای لندست ۸، ۱۲۷۷ برای لندست ۷ و ۱۲۵۶ برای لندست ۵) و ψ_1، ψ_2 و ψ_3 توابع جوی هستند که با توجه به رابطه (۸) به دست می‌آیند.

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau}; \quad \psi_2 = -L_d - \frac{L_u}{\tau}; \quad \psi_3 = L_d. \quad (۸)$$

که در آن τ قابلیت انتقال جوی، L_d تابش رو به پایین جوی، و L_u تابش رو به بالای جوی است. در صورت در دسترس نبودن داده‌های جوی، خیمنز-مونوز و همکاران (۲۰۰۹) بر پایه یک روش عملی، با استفاده از یک برازش چندجمله‌ای (درجه دوم) برحسب مقدار بخار آب جو، تقریبی از توابع جوی تعریف شده در رابطه (۸) را به دست آوردند. این رابطه در نماد ماتریس به شرح رابطه (۹) بیان شده است.

$$\begin{bmatrix}\psi_1\\ \psi_2\\ \psi_3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0.04019 & 0.02916 & 1.01523\\ -0.38333 & -1.50294 & 0.20324\\ 0.00918 & 1.36072 & -0.27514\end{bmatrix}\begin{bmatrix}W^2\\ W\\ 1\end{bmatrix} \quad (۹)$$

که در آن W مقدار بخارآب جو است. ضرایب ماتریس توسط شبیه‌سازی به دست آمده است.

۳-۷. محاسبه سپیدایی سطح

سپیدایی سطح به‌عنوان یکی از راه‌های مقابله با جزایر گرمایی سطحی شهری (SUHI) شناخته شده است. چندین الگوریتم برای استخراج سپیدایی در سنجنده‌های پهن‌باند با استفاده از ترکیب باندهای مختلف ارائه شده است. برای سنجنده‌های TM و +ETM از رابطه (۱۰) (لیانگ، ۲۰۰۰) و برای بازیابی سپیدایی سنجنده OLI از رابطه (۱۱) (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۶) استفاده شد.

$$a_{short} = 0.365a_1 + 0.130a_3 + 0.373a_4 + 0.085a_5 + 0.072a_7 - 0.0018 \quad (۱۰)$$

که a_{short} مجموع سپیدایی موج کوتاه، و a_1، a_3، a_4، a_5 و a_7 به‌ترتیب بازتاب سطح زمین در باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده‌های TM و +ETM است.

$$a_{short} = 0.365a_2 + 0.130a_4 + 0.373a_5 + 0.085a_6 + 0.072a_7 - 0.0018 \quad (۱۱)$$

که a_2، a_4، a_5، a_6 و a_7 به‌ترتیب بازتاب سطح زمین در باندهای ۲، ۴، ۵، ۶ و ۷ سنجنده OLI است.

۴. بحث

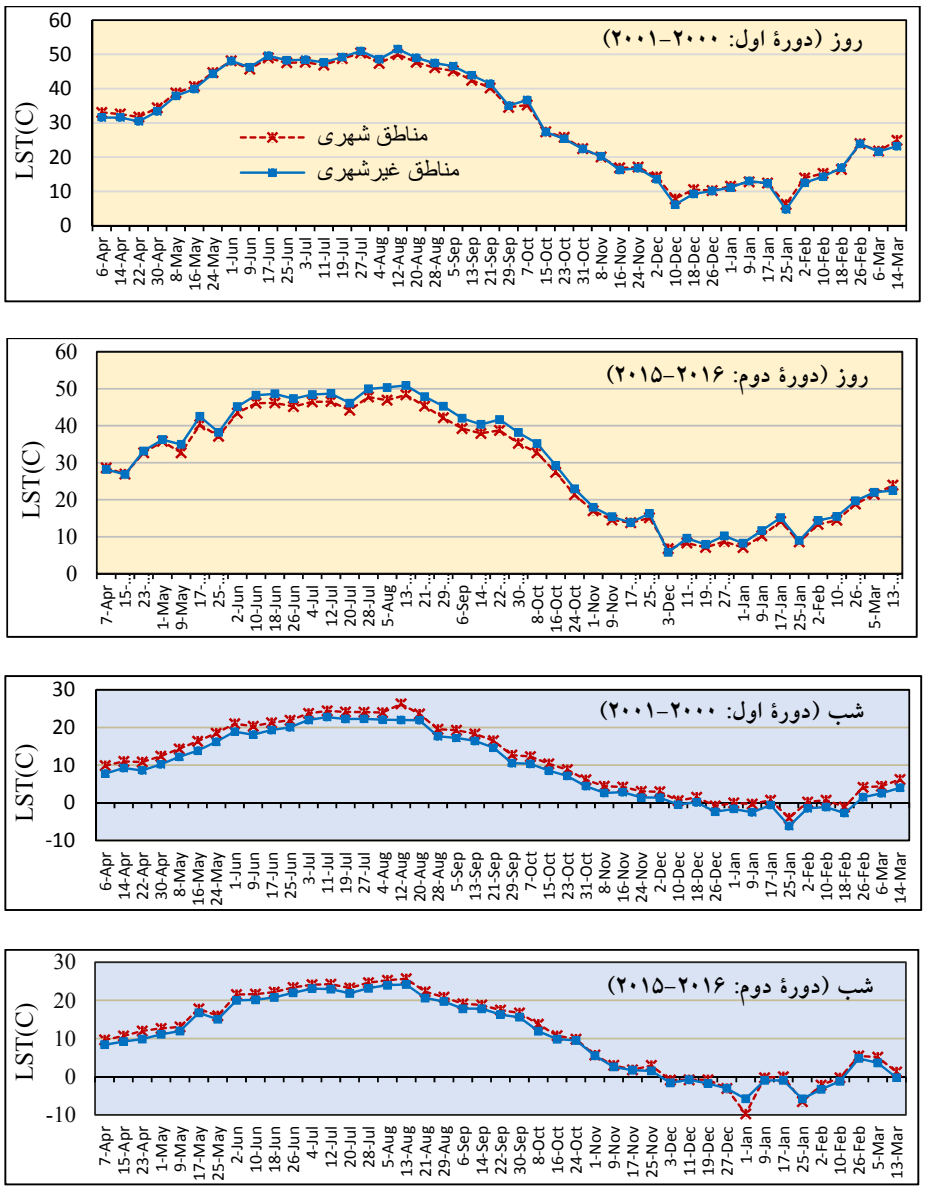
۴-۱. داده‌های مادیس در زمینه تغییرات LST

مقادیر میانگین LST مناطق شهری و غیرشهری در شکل ۲ نمایش داده شده است. در دوره یک‌ساله اول ۲۰۰۱-۲۰۰۰، دمای سطح در مناطق شهری و مناطق غیرشهری در روز تفاوت چندانی با هم ندارد؛ درحالی‌که در شب، به‌خصوص شب‌های تابستان، مناطق شهری گرم‌تر از مناطق غیرشهری هستند. در دوره یک‌ساله دوم ۲۰۱۶-۲۰۱۵ دمای سطح مناطق شهری در روز به‌ویژه در تابستان از دمای سطح مناطق غیرشهری کمتر است. درحالی‌که در دوره یک‌ساله اول ۲۰۰۱-۲۰۰۰، این دو تفاوت زیادی با هم ندارند. این امر می‌تواند ناشی از توسعه شهر و اثر گرمای ویژه کاربری‌های شهری در کاهش دمای شهر در صبح‌ها باشد. همچنین در شب، از تفاوت دمای سطح مناطق شهری و غیرشهری کاسته می‌شود. اختلاف دمای سطح زمین بین روز و شب، به چندین درجه می‌رسد که بیشترین آن در روزهای تابستان و شب‌های زمستان اتفاق می‌افتد. از طرفی از آنجا که دمای سطح در فصول سرد سال تحت تأثیر نزولات جوی و اقلیم شهری خاص حاکم بر شهر کرمانشاه است، از روند مشخصی برخوردار نیست و دارای نوسان است. بروز دماهای زیر صفر درجه در ماه‌های ژانویه و فوریه عادی است.

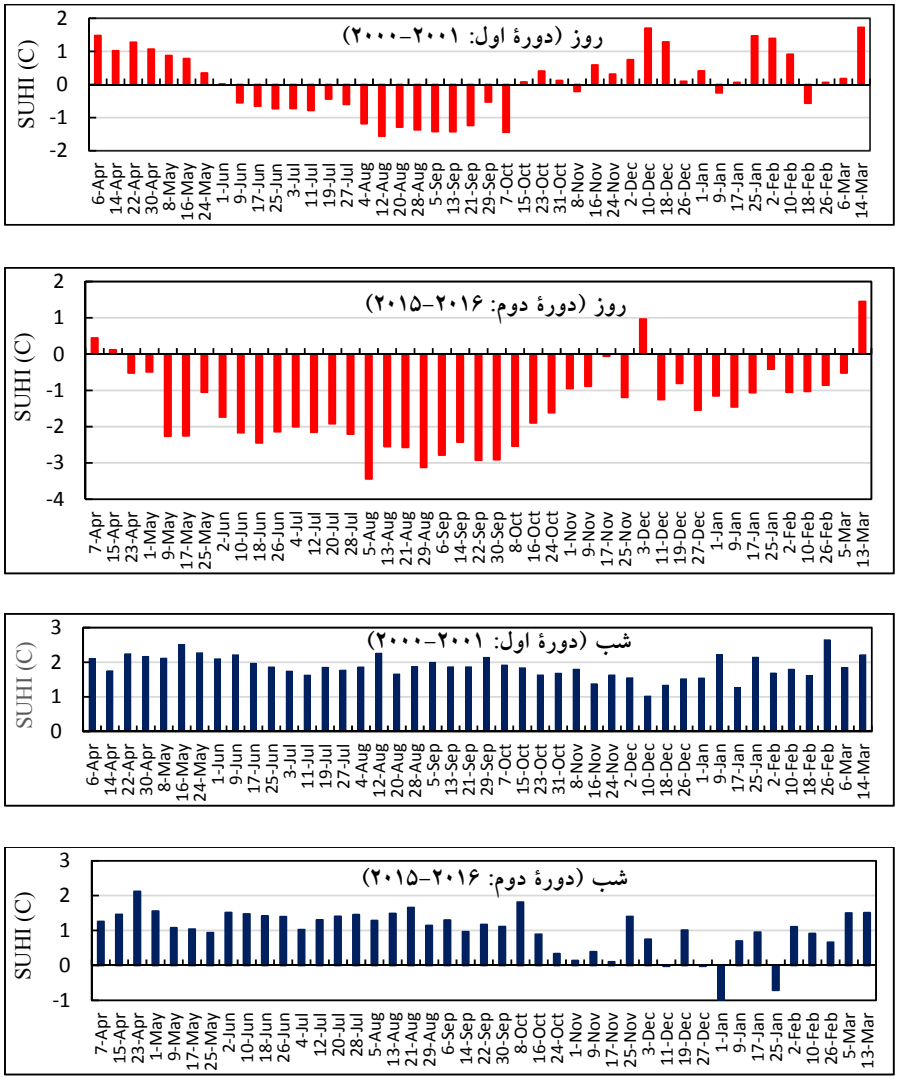
۴-۲. داده‌های مادیس در زمینه تغییرات SUHI

تغییرات SUHI بر مبنای میانگین دمای تمام یاخته‌های داخل و بیرون شهر در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل، شاخص جزیره گرمایی در دوره اول (۲۰۰۱-۲۰۰۰) طی روز از ژوئن تا اوایل اکتبر ارزش منفی را نشان می‌دهد که این پدیده به «جزیره سرمایی سطحی» مشهور است؛ به این معنی که دمای سطح مناطق شهری از دمای سطح مناطق غیرشهری کمتر است. این پدیده در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتد. در دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۱۵) این پدیده تقریباً در همه ماه‌های سال مشاهده می‌شود و همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد ناشی از توسعه شهر در این دوره نسبت به دوره اول و تأثیر کاربری‌های شهری با گرمای ویژه بالا و ظرفیت گرمایی بالا و در نتیجه، کاهش دمای صبحگاهی در دوره دوم است. این پدیده می‌تواند به علت وجود خاک بایر، پوشش گیاهی تُنُک و زمین‌های کشاورزی کشت‌نشده در مناطق غیرشهری باشد. در شب، شاخص جزیره گرمایی مثبت با بیشترین مقدار در بهار و کمترین مقدار در پاییز برای هر دو دوره زمانی است. با این حال مقدار شاخص جزیره گرمایی در دوره دوم (۲۰۱۶-۲۰۱۵) نسبت به دوره اول (۲۰۰۱-۲۰۰۰) کمتر شده است.

مقدار میانگین «سالانه» شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری (SUHI) که منعکس‌کننده اختلاف دمای داخل و بیرون شهر است، در طول روز از میانگین ۰/۰۳+ درجه سانتی‌گراد در دوره اول به ۱/۵- درجه سانتی‌گراد در دوره دوم رسیده است. همچنین در طول شب، از ۱/۹+ درجه سانتی‌گراد در دوره اول به ۱+ درجه سانتی‌گراد در دوره دوم کاهش یافته است. در حالت‌های افراطی، مقدار شاخص به ۲/۶۵+ و ۳/۴۴- نیز رسیده است.

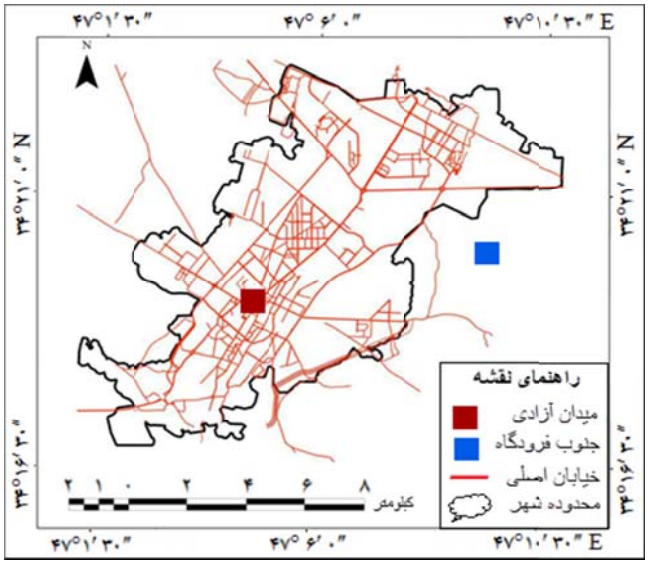


شکل۲. میانگین دمای شب و روز سطح زمین مناطق شهری و غیرشهری کرمانشاه با تصاویر مادیس (میانگین تمام یاخته‌ها) در دو دوره یک‌ساله اول (۲۰۰۱-۲۰۰۰) و دوم (۲۰۱۶-۲۰۱۵).

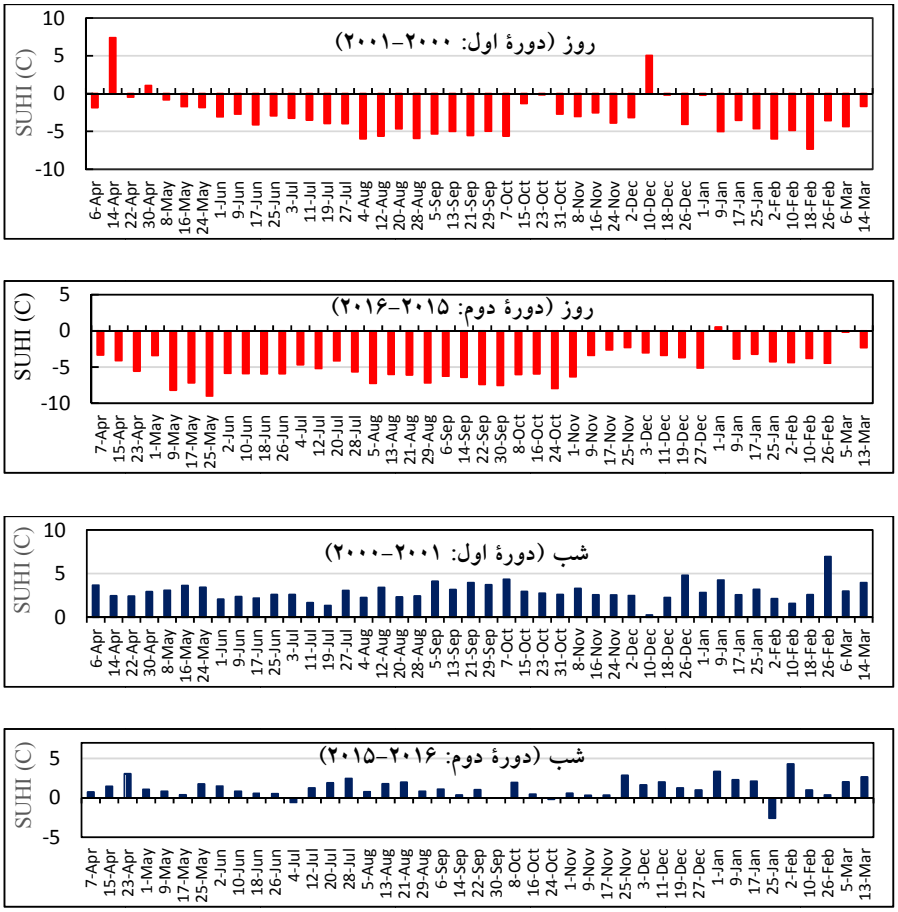


شکل۳. مقدار شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری (SUHI) کرمانشاه در شب و روز با تصاویر مادیس (میانگین تمام یاخته‌ها) در دو دوره یک‌ساله اول (۲۰۰۱–۲۰۰۰) و دوم (۲۰۱۶– ۲۰۱۵).

برای مطالعه نقطه‌ای SUHI از دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر استفاده شده است. یاخته معرف داخل شهر، حوالی میدان آزادی در مرکز شهر، و یاخته معرف بیرون شهر، جنوب باند فرودگاه شهید اشرفی انتخاب و دماهای آن دو با هم مقایسه شد (شکل ۴). نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است. توضیحاتی که برای مقادیر «میانگین» یاخته‌ها در شکل ۳ ارائه شد، عیناً در اینجا نیز صادق است. با این تفاوت که چون فقط مقایسه بین دو یاخته داخل و بیرون شهر انجام شده است، به‌طور طبیعی بر مقدار اختلافات دمایی و در نتیجه، مقدار شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری افزوده شده و اختلاف داخل و بیرون شهر به‌حدود دو برابر، یعنی حدود ۳ الی ۴ درجه افزایش یافته است. در حالت‌های افراطی، مقدار شاخص به ۷/۴+ و ۹– نیز رسیده است. در روزهای هر دو دوره، به‌خصوص روزهای دوره جدید، جزیره سرمایی شهر بارزتر است. درحالی‌که در شکل ۳ (میانگین کل یاخته‌ها) در دوره سرد، ارقام شاخص مثبت نیز وجود داشت. در کل، جزیره سرمایی در روز بارزتر از جزیره گرمایی در شب است.

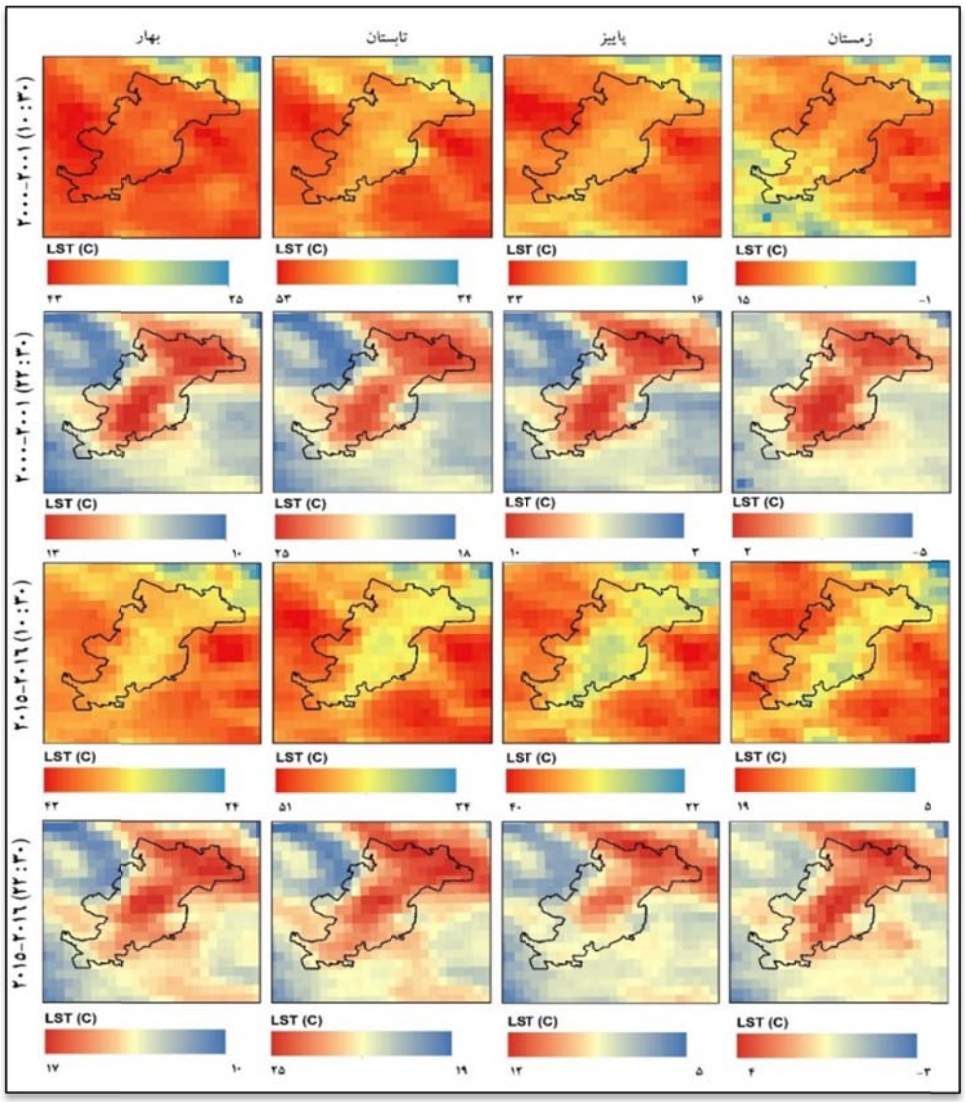


شکل۴. موقعیت یاخته‌های معرف داخل شهر (میدان آزادی) و بیرون شهر (جنوب فرودگاه) کرمانشاه.



شکل۵. مقدار شاخص جزیره گرمایی سطحی شهری (SUHI) کرمانشاه در شب و روز با تصاویر مادیس (برای یاخته‌های معرف) در دو دوره یک‌ساله اول (۲۰۰۰–۲۰۰۱) و دوم (۲۰۱۵– ۲۰۱۶).

توزیع دمای میانگین سطح زمین با تصاویر مادیس در فصل‌های مختلف سال طی شب و روز در شکل ۶ نشان داده شده است. برای به دست آوردن دمای سطحی فصلی، ارزش‌های دمایی تصاویر برای هر فصل در محیط ArcGIS با استفاده از ابزار Raster calculator میانگین‌گیری شد. با توجه به شکل، عموماً در طی روز مناطق شهری نسبت به مناطق غیرشهری دمای سطحی کمتری دارند. مناطق غیرشهری معمولاً دارای خاک بایر، مرتع ضعیف و یا زمین‌های کشاورزی کشت‌نشده هستند. خاک‌های بایر ظرفیت گرمایی بسیار پایینی دارند؛ در نتیجه در طی روز زودتر گرم شده و در تصاویر ماهواره‌ای روشن‌تر دیده می‌شوند (علوی‌پناه، ۱۳۸۷). درحالی‌که در همان زمان داخل شهر سردتر است. بدین‌ترتیب شاهد تشکیل جزیره سرمایی شهری هستیم. اما در شب، گرمای ذخیره شده در خیابان‌ها و ساختمان‌ها به‌آهستگی بازتابش یافته و هم‌زمان در بیرون شهر، خاک‌های بایر دمای خود را به‌سرعت از دست می‌دهند. در نتیجه، داخل شهر گرم‌تر است.



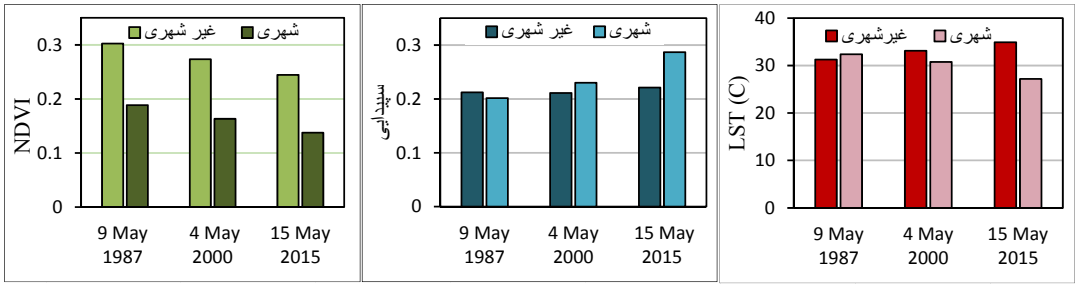
شکل۶. توزیع دمای سطح زمین در فصل‌های مختلف سال طی شب و روز در دو دوره یک‌ساله اول (۲۰۰۰-۲۰۰۱) و دوم (۲۰۱۵-۲۰۱۶) با تصاویر مادیس.

۴-۳. تغییرات زمانی- مکانی NDVI، LST و سپیدایی با تصاویر لندست

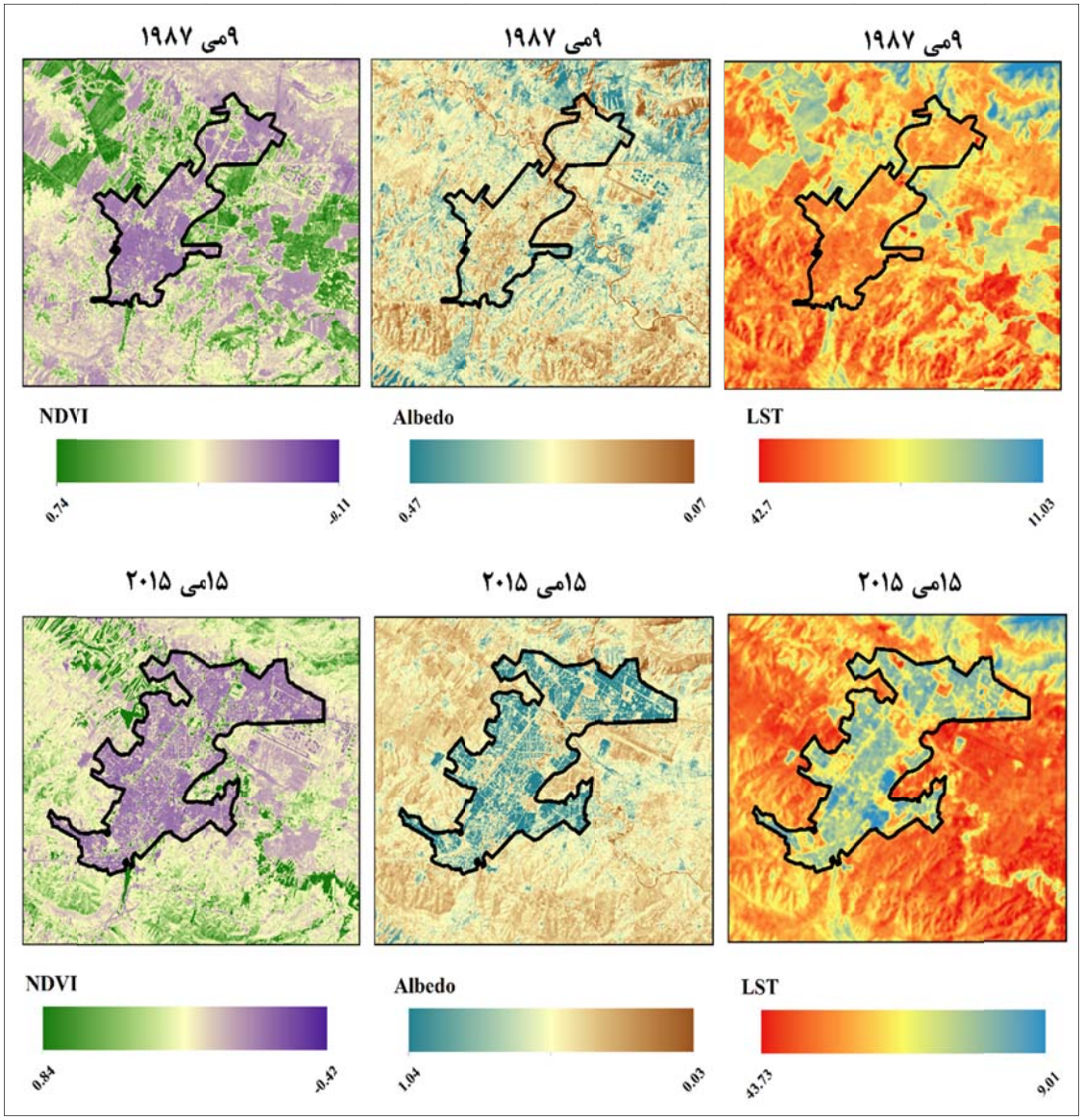
بر اساس محاسبات انجام یافته، مساحت شهر کرمانشاه از ۴۶۴۷ هکتار در سال ۱۹۸۷ به حدود ۸۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. این توسعه موجب کاهش مساحت پوشش گیاهی در اطراف شهر شده است. همچنین برخی از زمین‌های کشاورزی اطراف شهر، به وضعیت ساخته‌شده تغییر کاربری داده‌اند. این تغییرات موجب تغییر در توزیع دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و سپیدایی سطح زمین شده است. شکل ۷ نمودار تغییرات NDVI، LST و سپیدایی را در مناطق شهری و غیرشهری در دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، شاخص پوشش گیاهی در مناطق شهری و غیرشهری به مرور زمان کاهش یافته است. کاهش شاخص پوشش گیاهی در مناطق شهری می‌تواند به علت افزایش سطوح نفوذناپذیر و جایگزین شدن این سطوح با سطوح طبیعی از جمله پوشش گیاهی باشد؛ اما کاهش این شاخص در مناطق غیرشهری می‌تواند ناشی از تغییر کاربری، کاهش بارندگی، زوال پوشش گیاهی طبیعی در اثر دخالت‌های انسانی و یا تغییر در شیوه کشت محصولات کشاورزی باشد. به‌طورکلی میانگین شاخص پوشش گیاهی NDVI در مناطق غیرشهری از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۵ در حدود ۰/۰۵ کاهش یافته است که خود موجب افزایش دمای سطح مناطق غیرشهری در طی روز و کاهش آن در طی شب می‌شود. همچنین میانگین سپیدایی در مناطق شهری از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۵ افزایش چشمگیری تا حدود ۱۰ درصد داشته است. این افزایش سپیدایی می‌تواند ناشی از استفاده از بام‌های با بازتاب بالا به‌جای قیر و آسفالت باشد. در مناطق غیرشهری، سپیدایی تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد و مقدار نوسانات مشاهده شده، ناشی از تغییرات پوشش گیاهی، رطوبت خاک و غیره است. افزایش سپیدایی در مناطق شهری می‌تواند کاهش شاخص جزیره گرمایی (SUHI) را توجیه کند. طبق شکل ۷، میانگین LST در مناطق غیرشهری افزایش، اما در مناطق شهری کاهش یافته است. افزایش میانگین دمای سطح در مناطق غیرشهری ناشی از کاهش پوشش گیاهی است؛ اما علیرغم اینکه انتظار می‌رفت با گسترش شهر و جایگزینی سطوح نفوذناپذیر با سطوح طبیعی به‌ویژه پوشش گیاهی، دمای مناطق شهری افزایش یابد، برعکس دمای مناطق شهری کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند ناشی از افزایش سپیدایی مناطق شهری به‌دلیل استفاده از بام‌های بازتابی باشد.

در دهه گذشته عده‌ای از محققین نتایج استراتژی‌های کاهش اثر جزیره گرمایی شهری را مورد بررسی قرار داده‌اند. مک‌کی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی جزیره گرمایی شیکاگو با تصاویر ماهواره‌ای بیان نمودند که کاهش دما به‌دلیل افزایش بازتاب ناشی از استفاده از پشت‌بام‌های بازتابی بوده است. همچنین نوع، اندازه ذرات و رنگ مصالح به‌کار برده شده در ساختمان‌ها می‌تواند در میزان بازتاب و جذب انرژی خورشید نقش بسزایی داشته باشد.

شکل ۸ تغییرات مکانی NDVI، سپیدایی و دمای سطح زمین را در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۱۹۸۷ نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در دوره ۲۸ ساله پوشش گیاهی اطراف شهر به دلیل رشد فیزیکی شهر و کارکردهای وابسته به آن کاهش بسیاری داشته است. افزایش شدید سپیدایی داخل شهر در سال ۲۰۱۵ نسبت به سال ۱۹۸۷ کاملاً مشهود است. همانطورکه گفته شد، این افزایش سپیدایی ناشی از جایگزین‌کردن بام‌های با بازتاب بالا به‌جای آسفالت و قیر است که موجب کاهش دمای سطح زمین در مناطق ساخته‌شده گردیده است.



شکل۷. نمودار تغییرات NDVI، سپیدایی و دمای سطح زمین در دوره مورد مطالعه با استفاده از داده‌های لندست.



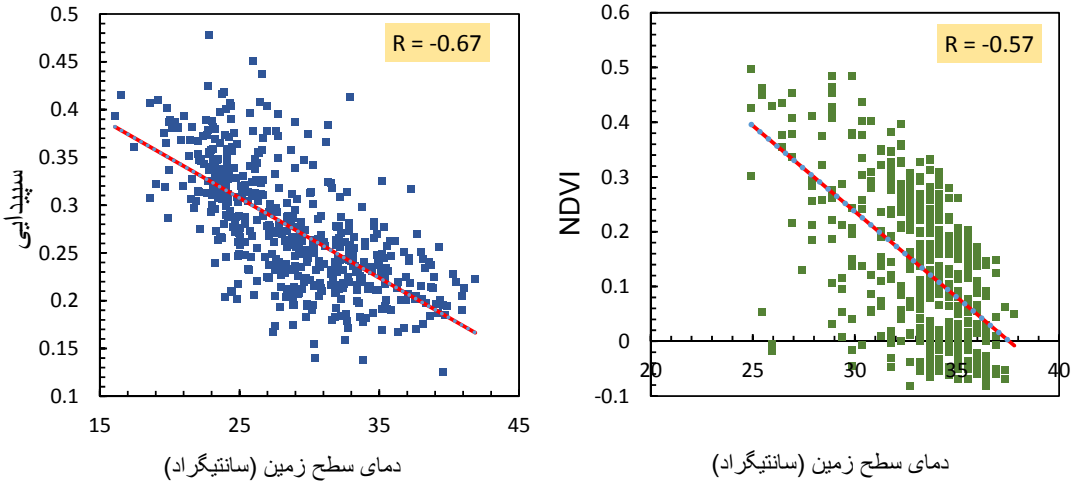
شکل۸. تغییرات مکانی NDVI، سپیدایی و دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵.

۴-۶. ارتباط دمای سطح زمین (LST) با سپیدایی و پوشش گیاهی

در بیشتر مطالعاتی که قبلاً انجام شده است، همبستگی منفی بین شاخص NDVI و LST مشاهده شده است؛ به این معنی که هرچه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، دمای سطح زمین کاهش می‌یابد. پوشش گیاهی، گرمای محسوس را از طریق تبخیر و تعرق به حالت نهان در می‌آورد و این امر موجب خنک‌شدن محیط اطراف پوشش گیاهی می‌شود. از این‌رو توسعه پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش اثر جزیره گرمایی شناخته شده است. این کار با ایجاد بام‌های سبز و یا ایجاد فضاهای سبز داخل و خارج شهرها صورت می‌پذیرد. افزایش سپیدایی مصالح شهری از طریق استفاده از بام‌های سفید، رنگ کردن آسفالت با رنگ‌های روشن و استفاده از مصالح سفید با بازتاب بالا در دیوارهای ساختمان از دیگر راه‌های کاهش اثر جزیره گرمایی است. شکل ۹ نمودار پراکندگی دمای سطح زمین با سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) را نشان می‌دهد. این داده‌ها به‌صورت تصادفی از منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری و ارزش‌های مربوطه از تصاویر برداشت شده است. با توجه به شکل، هر دو فاکتور سپیدایی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) همبستگی منفی با دمای سطح زمین دارند. در برخی نمونه‌ها وجود خاک خشک بدون پوشش، موجب افزایش سپیدایی می‌شود. با این حال به دلیل ظرفیت گرمایی پایین خاک خشک، دمای سطح آن نیز بالاتر است. در نمودار پراکندگی دمای سطح زمین با شاخص NDVI، ارزش‌های منفی NDVI مربوط به آب یا سایه است که دمای سطح پایینی دارند. هرچند که این عوامل موجب شده است که همبستگی منفی پیرسونی بین دمای سطح زمین با شاخص NDVI و سپیدایی سطح زمین بسیار قوی نباشد، اما به هر حال، مقدار همبستگی قابل توجه و البته معنی دار است.

۵. نتیجه‌گیری

رشد کالبدی شهر کرمانشاه موجب تغییراتی در کاربری اطراف شهر به‌ویژه تغییر کاربری کشاورزی به کاربری ساخته شده، و تغییر بسیار محسوس وضعیت گرمایی داخل شهر گردیده است. این تغییرات موجب تغییر در توزیع زمانی-مکانی دمای سطح زمین در دوره مورد مطالعه شده است. در این تحقیق برای ارزیابی تغییرات زمانی-مکانی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس و تصاویر لندست استفاده شده است.



شکل ۹. نمودار پراکندگی دمای سطح زمین با سپیدایی سطح زمین و پوشش گیاهی (شاخص NDVI).

بر اساس نتایج تحقیق، در طی روز، به‌خصوص در دوره گرم سال، مناطق شهری به علت نقش بام‌های بازتابی در افزایش سپیدایی، نسبت به مناطق غیرشهری، دمای سطح کمتری دارند؛ از این‌رو «جزیره سرمایی سطحی شهری» تشکیل و مقدار شاخص SUHI منفی می‌شود. در دوره دوم (دوره جدید)، به‌دلیل توسعه بیشتر شهر، اثر بام‌های بازتابی در کاهش دمای شهر در طی روز تشدید و با زوال پوشش گیاهی در بیرون شهر و افزایش دما، جزیره سرمایی تقویت می‌شود. در شب، وضعیت فوق معکوس و دمای داخل شهر به‌دلیل انتقال گرمای محسوس بیشتر می‌شود. لذا مقدار شاخص SUHI مثبت و جزیره گرمایی تشکیل می‌شود. گرچه انتظار می‌رفت در شب‌های دوره دوم به‌دلیل توسعه بیشتر شهر، جزیره گرمایی تشدید شود، اما باز به علت ضعف بودجه گرمایی شهر در شب به‌دلیل سپیدایی بالا در روز، جزیره گرمایی تضعیف می‌شود. بدین‌ترتیب مقدار میانگین «سالانه» شاخص جزیره گرمایی (SUHI) در روز، از میانگین ۰/۰۳+ درجه سانتی‌گراد در دوره اول به ۱/۵- درجه سانتی‌گراد در دوره دوم افزایش یافته است. در شب نیز، از ۱/۹+ درجه سانتی‌گراد در دوره اول به ۱+ درجه سانتی‌گراد در دوره دوم کاهش یافته است. در حالت مقایسه نقطه‌ای (اختلاف دمای دو یاخته معرف داخل و بیرون شهر)، اختلافات داخل و بیرون شهر به حدود دو برابر، یعنی ۳ الی ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. لذا مانند اغلب شهرهای مناطق نیمه‌خشک، نواحی مرکزی شهر در روز سردتر و در شب گرم‌تر از حومه شهر و همچنین شدت آن در تابستان بیشتر از زمستان است. استراتژی افزایش بازتاب بام ساختمان‌ها و حتی دیوارها به‌عنوان یکی از استراتژی‌های مناسب در شهرهای متراکم که فضا برای افزایش پوشش گیاهی وجود ندارد، شناخته شده است. نتایج این نوع مطالعات در شهرهای بزرگ کشور می‌تواند برای مقاصدی نظیر مکان‌گزینی محلات جدید و تعیین سمت توسعه فیزیکی شهرها مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

امیری، ر.، علی‌محمدی، ع، و علوی‌پناه، س. ک.، ۱۳۸۶، مطالعه تغییرپذیری فضایی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست، م. محیط‌شناسی، ۳۳ (۴۳)، ۱۰۷-۱۲۰.

بهارلو، ا.، نامداری، س. و شکیبا، ع.، ۱۳۹۰، تأثیر کاربری اراضی و آلاینده مونو اکسید کربن بر میزان جزایر حرارتی سطحی تولیدشده از داده‌های ETM+، همایش ملی ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

ساسان‌پور، ف.، ضیائیان، پ. و بهادری، م.، ۱۳۹۲، بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، م. جغرافیا (فصلنامه بین‌المللی جغرافیای ایران)، ۱۱ (۳۹)، ۲۵۶-۲۷۰.

شکیبا، ع.، ضیائیان فیروزآبادی، پ.، عاشورلو، د. و نامداری، س.، ۱۳۸۸، تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، م. سنجش از دور و GIS ایران، ۱ (۱)، ۳۹-۵۶.

صادقی‌نیا، ع.، علیجانی، ب. و ضیائیان، پ.، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، م. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱ (۴)، ۱-۱۷.

علوی‌پناه، س. ک.، ۱۳۸۷، سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ایران.

علوی‌پناه، س. ک.، هاشمی دره‌بادامی، س. و کاظم‌زاده، ع.، ۱۳۹۴، تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری- پوشش زمین، م. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۳ (۱)، ۱-۱۷.

ملک‌پور، پ. و طالعی، م.، ۱۳۹۰، مدل‌سازی ارتباط کاربری-پوشش اراضی و حرارت سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده ASTAR، م. محیط‌شناسی، ۳۷ (۵۸)، ۲۹-۴۲.

موسوی بایگی، س. م.، اشرف، ب.، فریدحسینی، ع. و میان‌آبادی، آ.، ۱۳۹۱، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، م. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱ (۱)، ۳۵-۴۹.

متکان، ع. ا.، نوحه‌گر، ا.، میرباقری، ب. و ترک‌چین، ن.، ۱۳۹۳، تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، م. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۴)، ۱-۱۴.

هاشمی، م.، علوی‌پناه، س. ک. و دیناروندی، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، م. محیط‌شناسی، ۳۹ (۱)، ۸۱-۹۲.

هاشمی دره‌بادامی، س.، نورایی‌صفت، ا.، کریمی، س. و نظری، س.، ۱۳۹۴، تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست، م. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶ (۳)، ۱۵-۲۸.

هاشمی دره‌بادامی، س.، ۱۳۹۴، مدل‌سازی تغییرات سالانه جزایر حرارتی شهری و بررسی اثر آن بر میزان تغییرات آلودگی هوا (کلان‌شهر تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اساتید راهنما: علی درویشی بلورانی و سیدکاظم علوی‌پناه، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., and Alavipanah, S. K., 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, 113 (12), 2606-2617.

Chander, G., Markham, B. L. and Helder, D. L., 2009, Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors, Remote Sensing of Environment, 113(5), 893-903.

Gedzelman, S. D., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., Partridge, S., Quesenberry, S. and Robinson, D. A., 2003, Mesoscale Aspects of the Urban Heat Island around New York City, Theor. Appl. Climatol., 75, 29-42.

Hartz, D. A., Prashad, L., Hedquist, B. C., Golden, J. and Brazel, A. J., 2006, Linking Satellite Images and Hand-Held Infrared Thermography to Observed Neighborhood Climate Conditions, Remote Sensing of Environment, 104 (2), 190-200.

Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A. and Alavipanah, S. K., 2016, Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City, Remote Sensing, 8(4), 1-17.

Hu, L. and Brunsell, N. A., 2013, The Impact of Temporal Aggregation of Land Surface Temperature Data for Surface Urban Heat Island (SUHI) Monitoring, Remote Sensing of Environment, 134, 162-174.

Jiménez-Muñoz, J. C., Cristóbal, J., Sobrino, J. A., Soria, G., Ninyerola, M. and Pons, X., 2009, Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47 (1), 339-349.

Jimenez-Munoz, J. C., Sobrino, J., Skokovic, D., Mattar, C. and Cristobal, J., 2014, Land Surface Temperature Retrieval Methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11 (10), 1840-1843.

Liang, S., 2000, Narrowband to Broadband Conversions of Land Surface Albedo: I. Algorithms, Remote Sensing of Environment, 76, 213-238.

Lazzarini, M., Marpu, P. R. and Ghedira, H., 2013, Temperature-Land Cover Interactions: the Inversion of Urban Heat Island Phenomenon in Desert City Areas. Remote Sensing of Environment, 130, 136-152.

Mackey, C. W., Lee, X. and Smith, R. B., 2012, Remotely Sensing the Cooling Effects of City Scale Efforts to Reduce Urban Heat Island, Building and Environment, 49, 348-358.

Markham, B., Barsi, J., Kvaran, G., Ong, L., Kaita, E., Biggar, S., Czapla-Myers, J., Mishra, N. and Helder, D., 2014. Landsat-8 Operational Land Imager Radiometric Calibration and Stability, Remote Sensing, 6 (12), 12275-12308.

Nonomura, A., Kitahara, M. and Masuda, T., 2009, Impact of Land Use and Land Cover

Changes on the Ambient Temperature in a Middle Scale City, Takamatsu, in Southwest Japan, Journal of environmental management, 90 (10), 3297-3304.

Quattrochi, D. A., Luvall, J. C., Rickman, D. L., Estes, M. G. J., Laymon, C. A. and Howell, B. F., 2000, A Decision Support Information System for Urban Landscape Management Using Thermal Infrared Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66, 1195-1207.

Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C., 2015, Spatial Variation of the Daytime Surface Urban Cool Island During the Dry Season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8, Urban Climate, 14, 176-186.

Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. and Martínez, P., 2008, Land Surface Emissivity Retrieval from Different VNIR and TIR Sensors. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46 (2), 316-327.

Sobrino, J. A, Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J. C., Franch, B., Hidalgo, V., Hidalgo, V., Mattar, C., Julien, Y., Cuenca, J., Romaguera, M., Gomez, J. A., De Miguel, E., Bianchi, R. and Paganini, M., 2013, Evaluation of the Surface Urban Heat Island Effect in the City of Madrid by Thermal Remote Sensing, International Journal of Remote Sensing, 34 (9-10), 3177-3192.

Voogt, J. A. and Oke, T. R., 2003, Thermal Remote Sensing of Urban Climates, Remote sensing of environment, 86 (3), 370-384.

Zhou, Y., Weng, Q., Gurney, K. R., Shuai, Y. and Hu, X., 2012, Estimation of the Relationship Between Remotely Sensed Anthropogenic Heat Discharge and Building Energy Use. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 67, 65-72.

Investigation of Periodic and Seasonal Variations of Urban Heat Island (UHI) at Night and Day Using Satellite Imagery in Kermanshah City

Mojarrad, F.[1*], Naseriyeh, M.[2] and Hashemi, S.[3]

1. Associate Professor, Department of Geography, Razi University, Kermanshah, Iran
2. M.Sc. Graduated, Department of Geography, Razi University, Kermanshah, Iran
3. Ph.D. Student, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

(Received: 19 Dec 2017, Accepted: 15 May 2018)

Summary

Urban Heat Island (UHI) as one of the factors influencing human activity within the cities that has become very important simultaneously with the physical development of cities in recent decades. With the advance of thermal satellite imagery in the last few decades and the possibility of retrieve of Land Surface Temperature (LST), these data have been used to assess the Surface Urban Heat Island (SUHI), which is directly linked to the UHI. The purpose of this study is to investigate periodic and seasonal variations of UHI in Kermanshah city using satellite imagery. Kermanshah is the most important city in the central region of western Iran and the capital of Kermanshah Province. The elevation of the city from the sea level is about 1322 meters and its area is approximately 96 square kilometers. Based on the results of the general census of population and housing, the population of this city in 2006, 2011 and 2016 were 784602, 851405 and 946651 respectively. The population of the city during the 60-year period from 1956 to 2016 has increased sevenfold. To study the SUHI in this city, the MODIS product images were used with a 1 km spatial resolution at 10:30 and 22:30 in the two 1-year periods: old period (2000-2001) and the new period (2015-2016), as well as Landsat images at three different times (May 9, 1987, May 4, 2000, and May 15, 2015) to retrieve land surface albedo and vegetation cover. In this way, the diurnal, seasonal and annual variations of the UHI were studied using the Surface Urban Heat Island (SUHI) index, which is difference between the surface temperature of urban and non-urban areas. This difference was studied in two ways: 1- Between the average temperature of all pixels inside and outside the city 2- Between the representative pixel temperature inside the city (near Azadi Square in the city center), and the representative pixel temperature outside the city (a point near the south of Shahid Ashrafi airport).

The results of the study showed that the urban areas during the day, especially in the warm period of the year, have a lower surface temperature than non-urban areas due to the role of the reflective roofs in increasing the surface albedo; hence, the Surface Urban Cool Island (SUCI) is formed and the value of the SUHI index is negative. In the new period (2015-2016), due to the further development of the city, the effect of reflective roofs on the city temperature reduction is intensified, and along with the deterioration of the vegetation cover outside the city and the rise of temperature, the SUCI is strengthened so that the average temperature in the city is 1.5 degrees lower than outside the city. In extreme cases, the value of the SUHI index reaches +2.65 and -3.44. At night, the situation is reversed and the temperature inside the city is about 1 to 2 degrees higher than the outside of the city mainly due to the anthropogenic heat. Therefore, the value of the SUHI index is positive and the UHI is formed. In the case of point comparison (the difference between the temperature of two representative pixels inside and outside the city), the differences inside and outside the city increase by about two-fold, i.e, 3 to 4 degrees. In extreme cases, the value of the night time SUHI index reaches +7.4 and -9.9.

Keywords: Urban Heat Island (UHI), Land Surface Temperature (LST), Urban Cool Island (UCI), Satellite Images, Kermanshah.

* Corresponding author: f_mojarrad@yahoo.com