

بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی بر توزیع مکانی دمای سطح کلان‌شهر تهران با تلفیق مدل‌های آماری و مدل تک‌پنجره

سامان نادى‌زاده شورابه- دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
سعید حمزه* - دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۹

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی در کلان‌شهرها افزایش دمای سطح و در نتیجه افزایش شدت جزیره حرارتی شهری است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی در توزیع مکانی دمای سطح کلان‌شهر تهران است. بدین منظور، از ده تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ برای استخراج نقشه‌های پارامترهای محیطی، کاربری پوشش سطح زمین، و دمای سطح زمین استفاده شد. برای طبقه‌بندی کاربری پوشش سطح زمین از روش بیشترین شباهت و برای محاسبه دمای سطح از مدل تک‌پنجره استفاده شد. همچنین، برای مدل‌سازی پارامترهای محیطی از شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI استفاده شد. سرانجام، برای بررسی تأثیرگذاری پارامترهای جمعیتی و محیطی بر توزیع دمای سطح از تحلیل‌های آماری استفاده شد. نتایج پژوهش نشان‌دهنده آن است که ضریب همبستگی بین میانگین شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI با دمای سطح به ترتیب -0.89 ، -0.8 ، و 0.82 است. میانگین دمای سطح برای کاربری‌های ساخته‌شده، فضای سبز، بایر، و آب به ترتیب 31.16 ، 30.36 ، 31.73 ، و 30.38 است. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI دمای سطح به ترتیب کاهش، کاهش، و افزایش می‌یابد. همچنین، ارتباط مستقیم با ضریب همبستگی 0.65 بین تراکم جمعیت و میانگین دمای سطح هر منطقه وجود دارد.

واژگان کلیدی: پارامترهای محیطی و جمعیتی، تهران، دمای سطح، مدل تک‌پنجره.

مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی نوظهور، که ناشی از گسترش شهرنشینی است، پدیده جزیره حرارتی شهری است. جزیره حرارتی شهری پدیده‌ای است که به موجب آن برخی از مناطق شهری درجه حرارت گرم‌تر از مناطق حومه خود را تجربه می‌کنند (لیلی‌رز و دواذ، ۲۰۰۹). این پدیده بیش از ۱۵۰ سال است که در شهرهای جهان مطالعه و ثبت شده است (استروکر، ۲۰۰۳: ۲۵۹۶) و عموماً همراه تغییر پوشش گیاهی طبیعی به سطوح غیر قابل نفوذ مانند سنگ‌فرش خیابان‌ها، سیمان، آسفالت، و بتن ظاهر می‌شود (ماتر، ۱۹۸۶). اثرهایی که جزیره حرارتی شهری در زندگی انسان می‌گذارد شامل افزایش مصرف انرژی با توجه به افزایش تقاضا برای کاهش دمای ساختمان در ایام گرم سال (اکبری، ۲۰۰۵: ۳)، کاهش آسایش حرارتی و کاهش راندمان کارکنان (اموساد، ۲۰۱۱: ۱۴۲)، افزایش مصرف آب (گوتهاکرات و گوپر، ۲۰۰۷: ۳۱۹)، و افزایش آلودگی هوای شهری است. همچنین، UHI موجب تغییر در اقلیم شهری و جهانی شده است (فوندا، ۲۰۱۱: ۱۶)، و با توجه به افزایش جمعیت، اهمیت انرژی، و مسئله گرمایش جهانی، در دهه‌های آینده اهمیت آن افزایش می‌یابد. اطلاعات مربوط به کاربری

اراضی و پوشش زمین جزء اصلی و مهمی از داده‌های مورد استفاده در جنبه‌های مختلف برنامه‌ریزی جهانی، منطقه‌ای، و محلی و برنامه‌های کاربردی در حوزه نظارت بر محیط زیست شناخته شده است (نادی‌زاده شورابه و همکاران، ۱۳۹۶؛ کریمی فیروزجایی و کیاورز مقدم، ۱۳۹۵: ۸۰؛ هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶). تصاویر سنجنش از دور- به دلیل پوشش وسیع، به‌هنگام‌بودن، و توانایی کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیسی- منبع اطلاعاتی مناسبی در تهیه نقشه‌های حرارتی و تخمین انرژی تشعشعی سطح زمین به‌شمار می‌آیند. همچنین، این تصاویر دارای کاربردهای متفاوتی در آنالیز پوشش اراضی سطوح شهری‌اند. با استفاده از این تصاویر، با قدرت تفکیک مناسب، می‌توان جزیره حرارتی شهری را در مقیاس‌های مختلف به‌تصویر کشید و براساس آن از خصوصیات سطح زمین با توزیع ناهمگن اطلاعات کمی تولید کرد و موجبات درک بیشتری را از محیط‌های شهری و غیرشهری و رابطه دما با شهری‌شدن فراهم کرد. در نخستین مطالعات در زمینه جزیره حرارتی شهری با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی از داده‌های سنجنده AVHRR NOAA استفاده شد (بالینگ و برازل، ۱۹۸۸؛ گالو و همکاران، ۱۹۹۳؛ گالو و اوون، ۱۹۹۹؛ استروکر، ۲۰۰۲). قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی برای همه این مطالعات ۱/۱ کیلومتر بود که فقط برای تهیه نقشه کوچک‌مقیاس دمای مناطق شهری مناسب است. با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی ماهواره‌های لندست و استر، امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و مطالعه دقیق‌تر تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح مناطق شهری فراهم و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است (ونگ، ۲۰۰۱؛ چن و همکاران، ۲۰۰۶؛ یوان و بائر، ۲۰۰۷؛ راجازاکار و ونگ، ۲۰۰۹؛ لیو و ژانگ، ۲۰۱۱؛ لی و همکاران، ۲۰۱۲؛ گو و همکاران، ۲۰۱۵؛ هاشمی و همکاران، ۲۰۱۶).

اکسیان و کرین (۲۰۰۶)، با بررسی پوشش زمین و ویژگی‌های حرارتی آن، به کمک داده‌های لندست در منطقه شهر تمپابای و لاس وگاس، نشان دادند که می‌توان ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را از طریق کیفیت کاربری اراضی شناسایی کرد. چن و همکاران (۲۰۰۶)، با بررسی رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و دمای سطح در ایالت کوانگ دانگ چین، دریافتند که طی سال‌های اخیر مناطق با بیشینه دما در مناطق شهری افزایش یافته که ناشی از تغییر و تحولات کاربری‌های اراضی در این منطقه است. در مطالعات متعددی در گذشته ارتباط بین دما و شاخص‌های بیوفیزیکی سطح بررسی شده است. ونگ و همکاران (۲۰۰۷) روشی را برای تعیین رابطه میان دمای سطح و الگوی کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و روش‌های اکولوژیکی Landscape پیشنهاد کردند که نتایج رضایت‌بخشی داشته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده آن بودند که تصاویر استخراج‌شده بیان‌کننده مورفولوژی شهر بوده‌اند که رابطه منطقی را با خصوصیات بیوفیزیکی شهر نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که میزان دما رابطه مثبت با سطوح نفوذناپذیر و رابطه منفی با پوشش گیاهی سبز نشان می‌داد. بررسی ارتباط بین LST و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) از اولین مطالعات در این حوزه بوده است (گالو و همکاران، ۱۹۹۳؛ لو و همکاران، ۱۹۹۷؛ گالو و همکاران، ۱۹۹۹). نتایج نشان‌دهنده همبستگی بالا و منفی بین LST و NDVI بوده است. در ادامه مطالعاتی درباره ارتباط دیگر شاخص‌های بیوفیزیکی همچون کسر پوشش گیاهی (FVC) و درصد سطوح نفوذناپذیر با دمای سطح انجام شده است که نتایج نشان‌دهنده ارتباط قوی بین این شاخص‌ها و دمای سطح است (دنگ و وو، ۲۰۱۳؛ جیانگ و تیان، ۲۰۱۰؛ هنیل و همکاران، ۲۰۱۵).

شهر تهران، به دلیل اینکه پایتخت و مرکز فعالیت‌های اقتصادی کشور است، سالانه جمعیت زیادی از استان‌های مختلف برای کار به این استان مهاجرت می‌کنند. این اقدام باعث از بین رفتن فضای سبز و افزایش جمعیت در این شهر می‌شود، که مشکلات زیادی از جمله افزایش دمای سطح به‌وجود می‌آورد. به‌صورت خاص بر روی شدت جزیره حرارتی شهر تهران در طی سال‌های گذشته مطالعاتی انجام شده است. هاشمی و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات فصلی جزیره حرارتی شهری تهران را بررسی

کردند و نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار شدت جزیره حرارتی شهر تهران برابر ۳/۹ درجه سانتی‌گراد در طول شب در ماه می اتفاق می‌افتد. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران پرداختند و نتیجه گرفتند که جزیره حرارتی تهران به سمت بخش‌هایی گسترش یافته است که با کاهش شدید پوشش گیاهی و افزایش کاربری‌های صنعتی-کارگاهی و انبارداری مواجه شده‌اند. طیبی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی مکانی-زمانی الگوهای دمایی سطح زمین در ارتباط با گسترش شهرنشینی پرداختند و نتیجه گفتند که میانگین NDVI، میانگین ارتفاع، و میانگین آب و هوایی در کاهش میانگین LST در داخل تهران نسبت به خارج از تهران مؤثر بوده است.

بالین‌حال، در مطالعات گذشته تأثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی بر دمای سطح در شهر تهران بررسی نشده است. بنابراین، با توجه به موارد فوق، هدف از این مقاله، بررسی تأثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی در توزیع مکانی دمای سطح شهر تهران است. از نتایج پژوهش حاضر می‌توان در کاربردهای مختلف در سطح شهر تهران همچون مسائل زیست‌محیطی استفاده کرد.

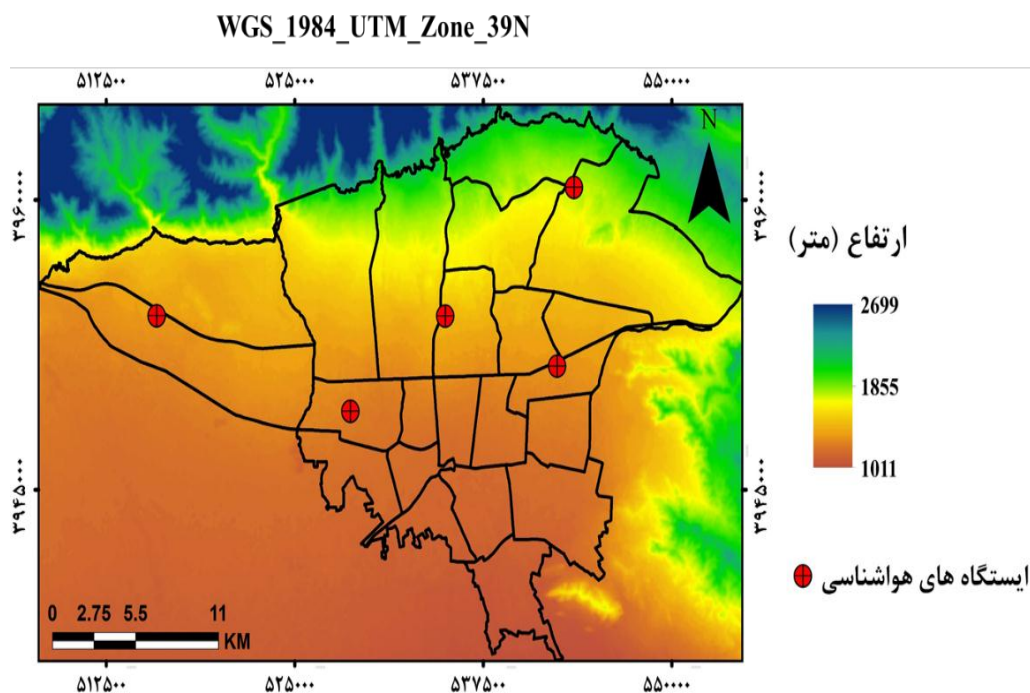
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهر تهران، پایتخت ایران و مرکز استان تهران، در شمال کشور و دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز قرار دارد. از لحاظ جغرافیایی در ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۰ توسط مرکز آمار در ایران، تهران دارای جمعیتی برابر ۸/۱۵۴/۰۵۱ نفر است. منطقه مورد مطالعه از سمت شمال به مناطق کوهستانی و از سمت جنوب به مناطق بیابانی محدود می‌شود؛ به طوری که در جنوب و شمال آن آب و هوای متفاوتی وجود دارد (بوکایی و همکاران، ۲۰۱۶). مناطق شمالی دارای آب و هوای سرد و خشک و بخش‌های جنوبی دارای شرایط آب و هوای گرم و خشک می‌باشند. ارتفاع این شهرستان از ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر متغیر است. در شهر تهران تغییرات متوسط سالانه درجه حرارت بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است و با توجه به اختلاف ارتفاع در منطقه مورد مطالعه بخش‌های مختلف به طور متوسط دارای تفاوت حرارتی ۳ درجه سانتی‌گراد است. میزان بارش سالانه در تهران عمدتاً تحت تأثیر اختلاف ارتفاع قرار می‌گیرد. در شمال ۴۲۲ میلی‌متر و در جنوب ۱۴۵ میلی‌متر است. تعداد روزهای بارانی از این الگو پیروی می‌کند که بین ۸۹ روز در شمال و ۳۳ روز در جنوب متفاوت است. همچنین، در منطقه مورد مطالعه هر ساله حدود ۲۰۵ تا ۲۱۳ روز آسمان صاف همراه با کمی ابر وجود دارد (حبیبی و آرساد، ۲۰۰۵).

داده‌ها

در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM برای منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. تصاویر مذکور در سایت زمین‌شناسی آمریکا به صورت رایگان در دسترس اند (www.usgs.gov). برای تکمیل پارامترهای ورودی جهت تهیه نقشه دمای سطح با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از داده‌های دمای هوای ۵ ایستگاه هواشناسی (چیتگر، مهرآباد، ژئوفیزیک، دوشان‌تپه، و شمال تهران) از سازمان هواشناسی کشور (www.irimo.ir) برای زمان‌های گذر ماهواره لندست ۵ و برای تهیه نقاط نمونه کنترل از بازدید میدانی تصاویر گوگل ارث و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری (www.ncc.org.ir) استفاده شده است. جدول ۱ داده‌های مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد.



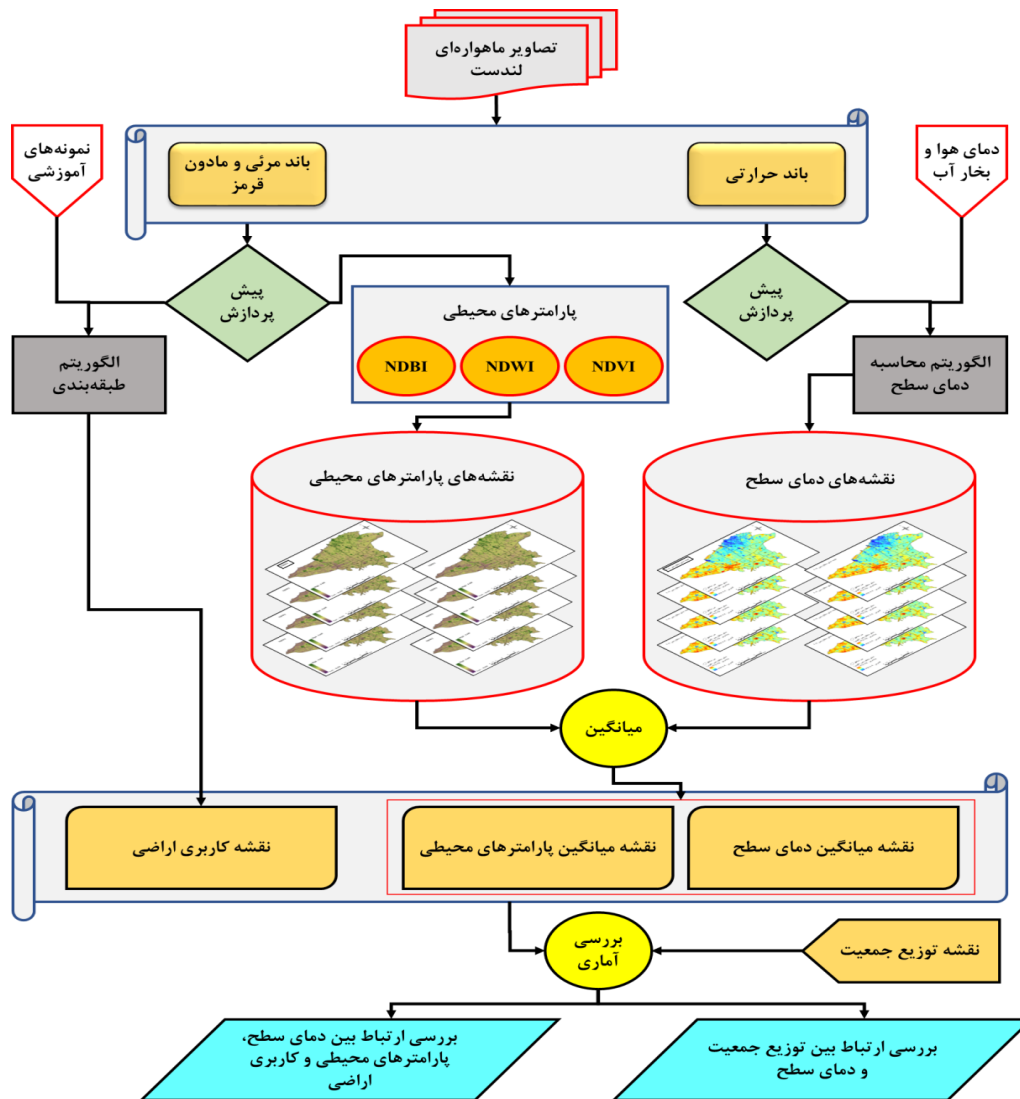
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه شهر تهران

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده

نوع داده	تاریخ اخذ	نوع سنجده	قدرت تفکیک مکانی باند های حرارتی	قدرت تفکیک مکانی باند های انعکاسی
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۱/۲۷	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۴/۰۱	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۵/۰۳	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۶/۰۴	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۷/۲۲	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۱۱/۱۱	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۰/۱۲/۲۹	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۱/۰۷/۰۹	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
تصویر ماهواره‌ای	۲۰۱۱/۰۳/۱۹	TM	۱۲۰ متر	۳۰ متر
MOD07	-	MODIS	-	۵۰۰۰ متر
هواشناسی	-	---	-	---
جمعیت	۱۳۹۰	---	-	---

روش تحقیق

شکل ۲ مراحل کلی پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۲. روندنمایی مراحل تحقیق

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پیش از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح نظیر دما، گسیلمندی، رادیانس انعکاسی- حرارتی سطح، و آلبیدوی سطح، اجرای 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. 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 حاضر از تصحیح هندسی این تصاویر صرف‌نظر شده است. پس از تکمیل فرایند پیش‌پردازش تصاویر مورد استفاده در پژوهش، پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها برای استخراج اطلاعات انجام گرفت.

طبقه‌بندی

انواع طبقه‌بندی کاربری پوشش سطح موجود در محدوده مورد مطالعه با توجه به بازدهی میدانی و تفسیر چشمی تصاویر

ماهواره‌ای مشخص شد. کلاس‌های پوشش سطح منطقه شامل اراضی ساخته‌شده، آب، فضای سبز، و زمین بایر است. اساساً طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور فرایندی پیچیده است، زیرا بیشتر روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده نیازمند داده‌های آموزشی به اندازه کافی بزرگ هستند (اوتوکی و بلاسکی، ۲۰۱۰: ۲۸). پیش از طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر، بایستی داده‌های آموزشی به دقت انتخاب شوند. تعریف اشتباه داده‌های آموزشی در کل روند طبقه‌بندی با نظارت تأثیر می‌گذارد و موجب طبقه‌بندی اشتباه تصویر می‌شود (چی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۹۵). در این مرحله، با استفاده از تفسیر چشمی و اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی به تهیه داده‌های آموزشی برای هر چهار طبقه جهت استفاده در عملیات طبقه‌بندی نظارت‌شده اقدام شد. برای هر یک از طبقات کاربری اراضی ساخته‌شده، فضای سبز، زمین بایر، و آب به ترتیب ۷۲۰، ۴۶۸، ۶۷۸ و ۹۵ تعداد نمونه آموزشی جهت استفاده در روش طبقه‌بندی استفاده شده است. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش بیشترین شباهت استفاده شده است. در این روش احتمال اینکه یک پیکسل بتواند به هر یک از m کلاس موجود تعلق یابد بررسی می‌شود و سپس پیکسل به کلاسی که بیشترین احتمال را دارد اختصاص می‌یابد (جنسن، ۱۹۸۶: ۱۵۰). در این روش از قاعده تصمیم بیز برای محاسبه احتمال استفاده می‌شود (اوومن و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۱۵). پس از پایان عملیات طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از نقاط کنترل جمع‌آوری شده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه سازمان نقشه‌برداری و تفسیر تصاویر ارزیابی شد. سرانجام، پس از ارزیابی دقت طبقه‌بندی و تأیید معنی‌دار بودن خطاها، مساحت مربوط به کاربری‌ها استخراج شد.

محاسبه دمای سطح

برای دستیابی به دمای تابشی، نخست باید مقدار رقومی هر پیکسل به کمک مقادیر کالیبراسیون داده‌شده به رادیانس تبدیل شود که محاسبه دمای تابشی با استفاده از اطلاعات استخراج‌شده از هدر فایل داده‌ها انجام می‌شود. برای تبدیل مقدار رقومی هر پیکسل به تابش طیفی در سنجنده (رادیانس) از رابطه ۱ استفاده می‌شود (چاندر و مارکام، ۲۰۰۳: ۲۶۷۵):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{cal\ mix} - Q_{cal\ min}} \right) Q_{cal} + L_{min} \quad (1)$$

در این رابطه، L_{λ} رادیانس طیفی در سنجنده [W/(m² sr μm)] است، Q_{cal} ارزش پیکسل، $Q_{cal\ min}$ حداقل ارزش پیکسل که برابر است با ۱، $Q_{cal\ max}$ حداکثر ارزش پیکسل که برابر است با ۲۵۵، L_{min} و L_{max} حداقل و حداکثر رادیانس طیفی در سنجنده [W/(m² sr μm)].

پس از اینکه DN به رادیانس تبدیل شد از رادیانس به دست‌آمده از باندهای حرارتی دمای تابشی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (چاندر و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۰۰؛ دینگ و شی، ۲۰۱۳: ۵۵۰۸):

$$BT = \frac{K_2}{L_n \left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1 \right)} \quad (2)$$

در این رابطه، T دمای تابشی در سطح سنسور بر حسب کلوین (K) است، L_{λ} رادیانس طیفی در سنجنده بر حسب Watts/(m² * sr * μm)، K_1 ضریب ثابت کالیبراسیون اول بر حسب (W/(m² sr μm)) $K_1_Constant_Band_n$ و K_2 ضریب ثابت کالیبراسیون دوم بر حسب کلوین (from the metadata) و $K_2_Constant_Band_n$ from the metadata). جدول ۲ مقدار ضرایب K_1 و K_2 برای سنجنده TM را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ضرایب کالیبراسیون باندهای حرارتی سنجنده TM (دونتر، ۲۰۱۰)

سنجنده		ضریب
K ₂	K ₁	
۱۲۶۰/۵۶	۶۰۷/۷۶	TM

توان تشعشی یکی از خواص مهم پدیده و مواد است. برای محاسبه دمای سطح، نخست باید توان تشعشی سطح محاسبه شود. در این روش از روش جیمنز مونوز و سوبرینو (۲۰۰۸) برای محاسبه توان تشعشی سطح زمین استفاده شد. در این روش توان تشعشی سطح زمین با استفاده از برآورد بازتاب و شاخص پوشش گیاهی NDVI در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و کسر پوشش گیاهی به دست می‌آید. شاخص NDVI نسبت به تغییر در مقدار بیومس، مقدار کلروفیل، و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد؛ این شاخص اساساً بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده شده به وسیله اختلاف در طول موج‌های الکترومغناطیس بازتاب شده و جذب شده در برگ گیاهان در طول موج‌های مادون قرمز نزدیک و قرمز است. این شاخص از رابطه ۳ به دست می‌آید (عفت و حسن، ۲۰۱۴: ۱۷۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۲):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (3)$$

شاخص بین ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک (باند ۴) و قرمز (باند ۳) است. مقادیر این شاخص بین -۱ و +۱ است. محدوده تغییرات معمول برای پوشش گیاهی ۰/۲ تا ۰/۸ است. برای به دست آوردن کسر پوشش گیاهی (FVC) از رابطه ۴ استفاده می‌شود (هو و جیا، ۲۰۱۰: ۱۳۸۵؛ زارعی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۵۵۳):

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right) \quad (4)$$

در این رابطه، $NDVI_v$ مربوط به پوشش گیاهی متراکم (بیشترین میزان NDVI) و $NDVI_s$ مربوط به خاک خشک (کمترین میزان NDVI) است. با به دست آوردن FVC، توان تشعشی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود (ولاسوا و همکاران، ۲۰۱۴: ۴۳۵۵):

$$\begin{aligned} \varepsilon &= a + b \rho_{red} \quad FVC = 0 \\ \varepsilon &= \varepsilon_s (1 - FVC) + \varepsilon_v FVC \quad (0 < FVC \leq 1) \\ \varepsilon &= \text{Emisivity Water} \quad NDVI < 0 \end{aligned} \quad (5)$$

در این رابطه، ρ_{red} بازتاب در باند قرمز (باند ۳)، a و b ضرایب همبستگی خطی بازتاب باند قرمز با توان تشعشی، ε_s توان تشعشی خاک، و ε_v توان تشعشی پوشش گیاهی است. با به دست آوردن مقادیر توان تشعشی، برای بازیابی دمای سطح از مدل تک‌پنجره (رابطه ۶) استفاده شده است (کوبین و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۷۲۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۲۷۲):

$$T_s = \{ a_\varepsilon (1 - C_\varepsilon - D_\varepsilon) + [b_\varepsilon [1 - C_\varepsilon - D_\varepsilon + C_\varepsilon + D_\varepsilon] \times T_{\text{sensor}} - D_\varepsilon T_a] \} / C_\varepsilon \quad (6)$$

در این رابطه، TS دمای سطح باند ۶، a6 و b6 ضرایبی هستند که برای باند ۶ به ترتیب برابر است با ۶۷.۳۵۵۳۵۱ و ۰.۴۵۸۶۰۶، C و D پارامترهای داخلی برای مدل هستند که از رابطه ۷ و ۸ محاسبه می‌شوند:

$$C_{\epsilon} = \epsilon_{\epsilon} \tau_{\epsilon} \quad (7)$$

$$D_{\epsilon} = (1 - \tau_{\epsilon}) (1 + (1 - \epsilon_{\epsilon})) \tau_{\epsilon} \quad (8)$$

T_{sensor} دمای تابشی در سطح سنسور بر حسب کلونین است، τ_{ϵ} قابلیت عبوردهندگی جو (جدول ۳)، و T_a میانگین دمای مؤثر جو (جدول ۴).

جدول ۳. روابط مربوط به برآورد قابلیت عبوردهندگی جو (τ_{ϵ}) برای باند ۶ (کوبین و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۷۳۳)

شرایط دمایی	مقدار بخار آب (w)(g cm ²)	معادله برآورد عبوردهندگی جو (τ_{ϵ})
دمای هوا بالا باشد	۰.۱-۴.۶	$0.8007_{\tau_{\epsilon}} - 97429.0_{\tau_{\epsilon}} = \tau_{\epsilon}$
	۱.۳-۶	$11536.0 - 31412.1_{\tau_{\epsilon}} = \tau_{\epsilon}$
دمای هوا پایین باشد	۰.۱-۴.۶	$0.9611_{\tau_{\epsilon}} - 98200.7_{\tau_{\epsilon}} = \tau_{\epsilon}$
	۱.۳-۶	$14142.0 - 53710.1_{\tau_{\epsilon}} = \tau_{\epsilon}$

جدول ۴. روابط خطی محاسبه میانگین دمای مؤثر جو (وانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۲۷۴)

شرایط اتمسفری	معادله روابط خطی
مناطق گرمسیری	$T_a = 17.0 + 9769.9172 T_0$
تابستان عرض جغرافیایی میانه	$T_a = 16.0 + 110.9262 T_0$
زمستان عرض جغرافیایی میانه	$T_a = 19.0 + 270.49112 T_0$

پارامترهای محیطی

شاخص اختلاف اراضی ساخته شده (NDBI)

شاخص NDBI نشان‌دهنده اطلاعات روشنایی، شامل درصد سطوح نفوذناپذیر از جمله اراضی بایر و ساخته شده است. رابطه NDBI به صورت رابطه ۹ نشان داده شده است (ژو و همکاران، ۲۰۰۳: ۵۸۷).

$$NDBI = \frac{\rho_{MIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{MIR} + \rho_{NIR}} \quad (9)$$

در این رابطه، ρ_{MIR} و ρ_{NIR} به ترتیب بازتاب زمینی باندهای مادون قرمز میانی و مادون قرمز نزدیک‌اند.

شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI)

شاخص NDWI نشان‌دهنده اطلاعات رطوبت شامل خصوصیات عوارض مرتبط با آب، رطوبت خاک، گیاه، و اراضی ساخته شده است. رابطه NDWI به صورت رابطه ۱۰ نشان داده شده است (کاو، ۱۹۹۶: ۲۵۸؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۸: ۴).

$$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}} \quad (10)$$

در این رابطه، ρ_{NIR} و ρ_{GREEN} به ترتیب بازتاب زمینی باندهای مادون قرمز نزدیک و سبز می‌باشند.

علاوه بر شاخص‌های NDBI و NDWI از شاخص NDVI نیز به عنوان پارامتر محیطی استفاده شده است.

نقشه‌های دمای سطح و مجموعه پارامترهای محیطی براساس تصاویر ماهواره‌ای برای شهر تهران به‌دست آمده است. از نقشه‌های موجود نمونه‌های آموزشی به‌صورت سیستماتیک تهیه شد. نمونه‌های آموزشی به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که شرایط مختلف پوشش سطح را شامل شوند. ارتباط بین دمای سطح و مجموعه پارامترهای محیطی مختلف بررسی شد. رابطه‌های به‌دست‌آمده از طریق ضریب همبستگی تحلیل شده است. سرانجام، جمعیت و میانگین دمای سطح مناطق مختلف شهر تهران محاسبه و ارتباط بین این دو پارامتر بررسی شده است.

یافته‌های پژوهش

ارزیابی دقت و طبقه‌بندی

دقت نتایج طبقه‌بندی بر دقت بررسی تغییرات کاربری پوشش سطح و دمای سطح تأثیرگذار است؛ زیرا تجزیه و تحلیل‌های قابل اطمینان‌تری از نقشه‌ها حاصل می‌شود. ماتریس خطا و ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی با استفاده از نقاط چک برای نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده به‌دست آمده است. جدول ۵ ماتریس خطا و دقت طبقه‌بندی مربوط به نقشه کاربری پوشش سطح را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، دقت کلی برابر ۹۵/۳۶ و ضریب کاپا برابر ۰/۹۴ است. در مجموع، اعداد به‌دست‌آمده دقت زیاد طبقه‌بندی را نشان می‌دهند که دلیل آن دقت در برداشت نمونه‌های تعلیمی است.

شکل ۳ نقشه کاربری پوشش سطح منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به کاربری‌های موجود، محدوده با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده بیشترین شباهت به چهار نوع کاربری پوشش سطح ساخته‌شده، فضای سبز، زمین بایر، و آب طبقه‌بندی شد.

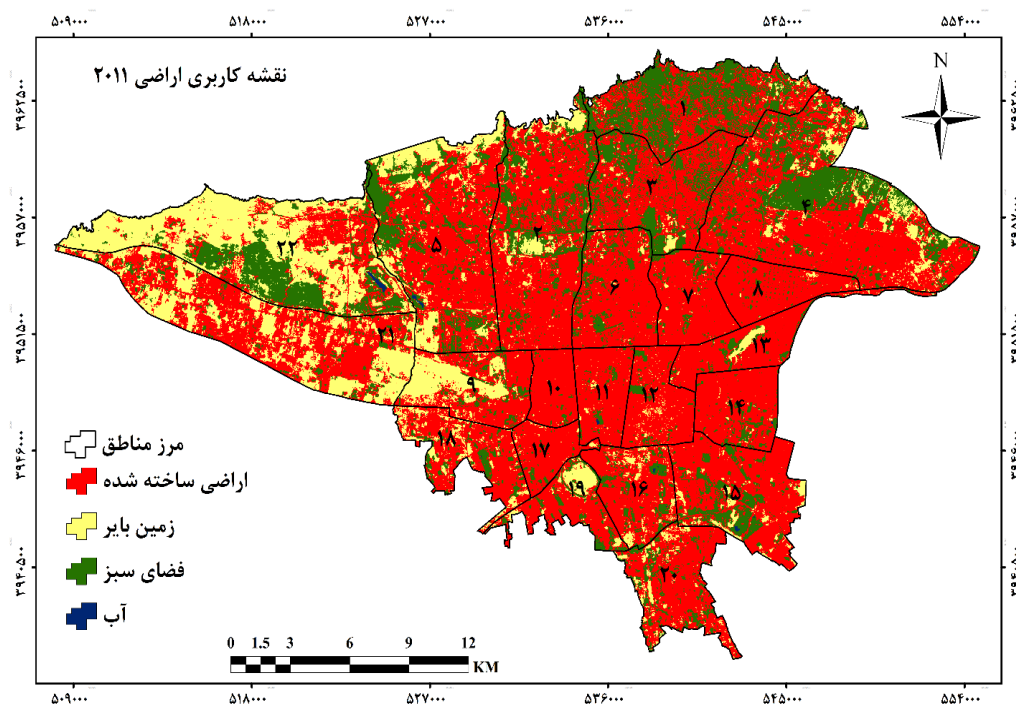
با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی‌شده، اطلاعات آماری مربوط به هر کلاس کاربری پوشش سطح استخراج شد. مساحت کاربری‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. مساحت کاربری پوشش سطح ساخته‌شده، فضای سبز، زمین بایر، و آب به‌ترتیب برابر ۳۷۰۶۱/۴۶، ۹۵۱۲/۹۱، ۱۱۴۷۰/۰۵، و ۴۴/۹۱ هکتار است. بیشترین مساحت مربوط به کاربری پوشش ساخته‌شده است.

رابطه بین کاربری پوشش سطح و دمای سطح

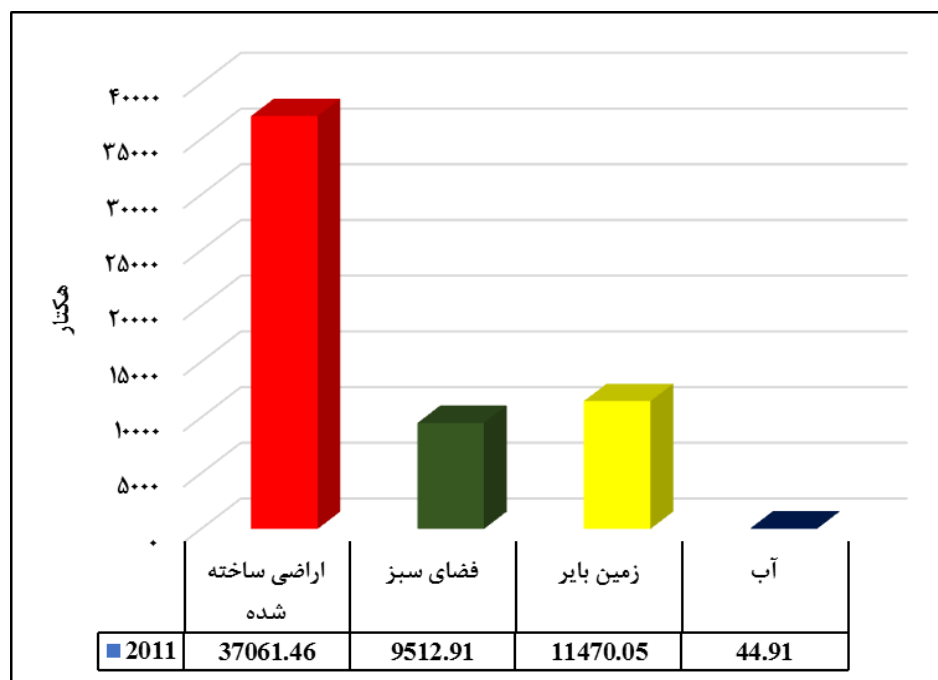
در مطالعه حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه هواشناسی نقشه‌های دمای سطح برای تاریخ‌های مختلف سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ با استفاده از مدل تک‌پنجره به‌دست‌آمده و براساس آن میانگین دمای سطح منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است. نقشه میانگین دمای سطح منطقه مورد مطالعه به‌صورت شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. ماتریس خطا و ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی کاربری پوشش سطح

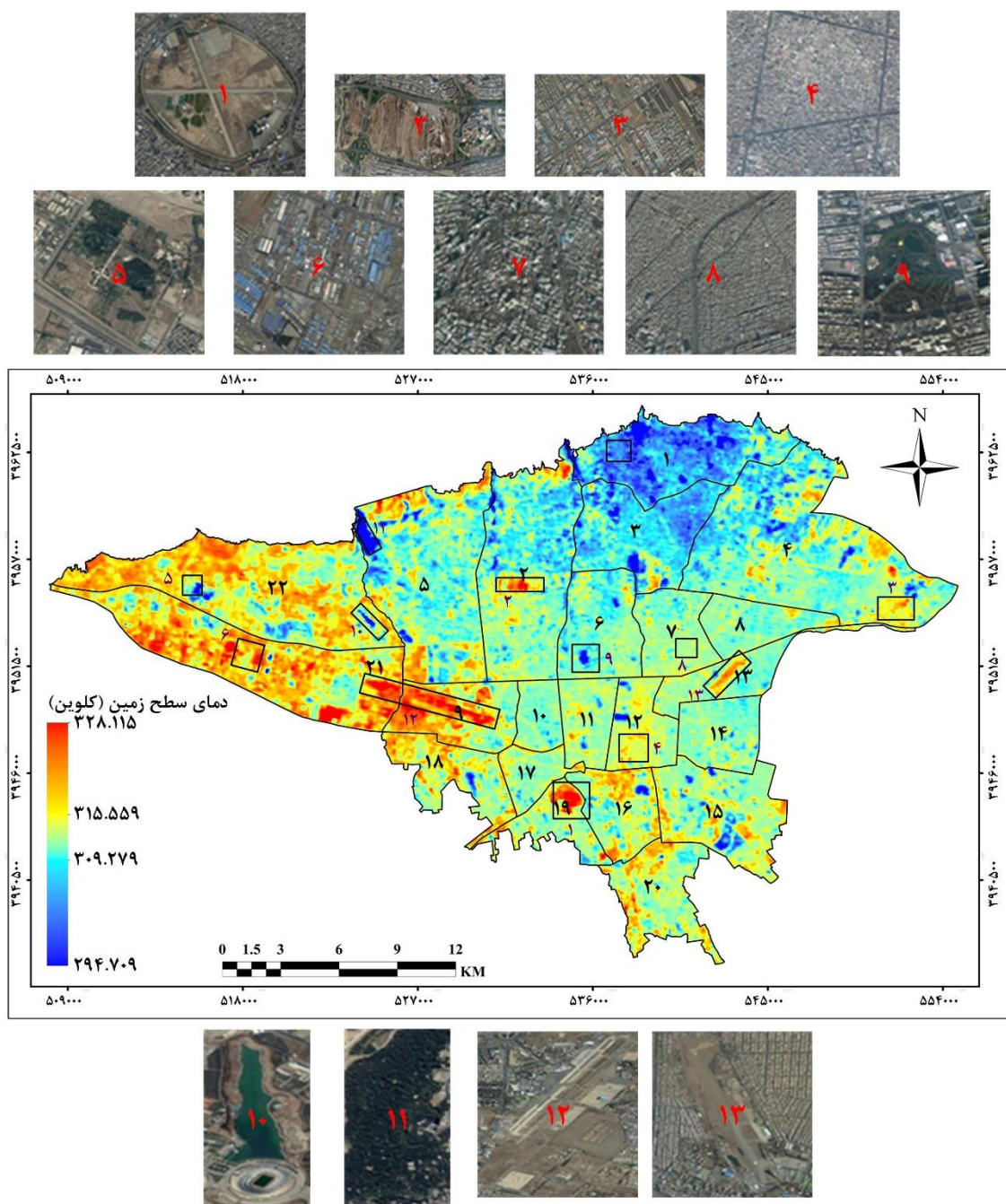
KC	OA (%)	UA (%)	PA (%)	کاربری پوشش سطح
۰/۸۷	۸۸/۳۶	۹۲/۰۵	۹۰/۶۰	اراضی ساخته‌شده
		۹۳/۶۶	۹۴	فضای سبز
		۹۱/۶	۹۲/۸	زمین بایر
		۸۹/۹۵	۹۰/۳۱	آب



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی پوشش سطح منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۱۱

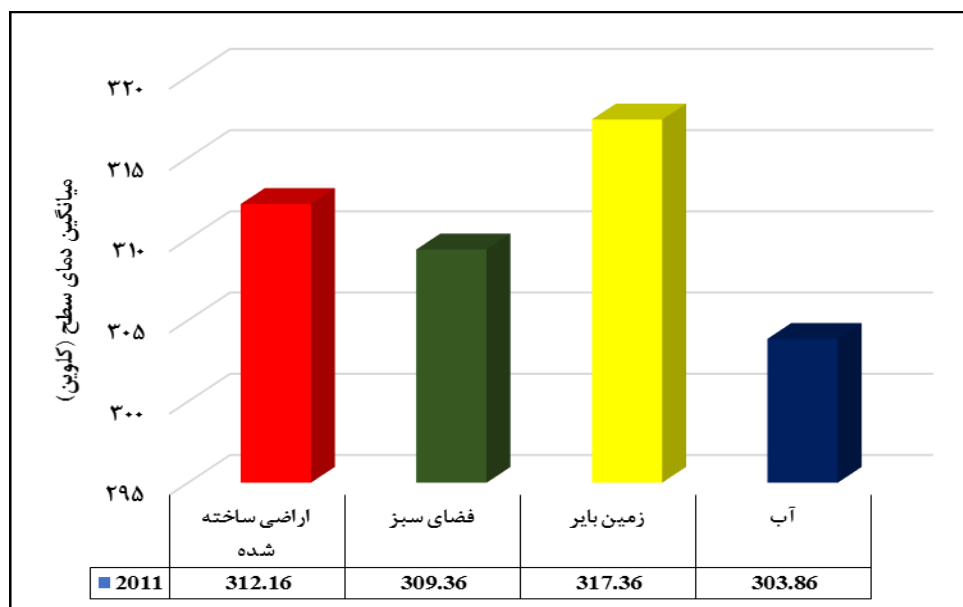


شکل ۴. مساحت طبقات مختلف کاربری پوشش سطح برای سال ۲۰۱۱ (هکتار)



شکل ۵. میانگین دمای سطح همراه نمایش ساختارهای مختلف شهری مربوط به دماهای بسیار بالا و بسیار پایین

با توجه به شکل ۵، کمترین و بیشترین مقدار میانگین دمای سطح منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲۹۴ تا ۳۲۸ درجه کلوین است. توزیع مکانی مقادیر دمای سطح برای منطقه مورد مطالعه ناهمگن است. برای بررسی تأثیر نوع پوشش سطح بر دمای سطح، میانگین دمای سطح هر یک از کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه محاسبه و نتایج به صورت شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. میانگین دمای سطح برای کاربری‌های مختلف (کلوین)

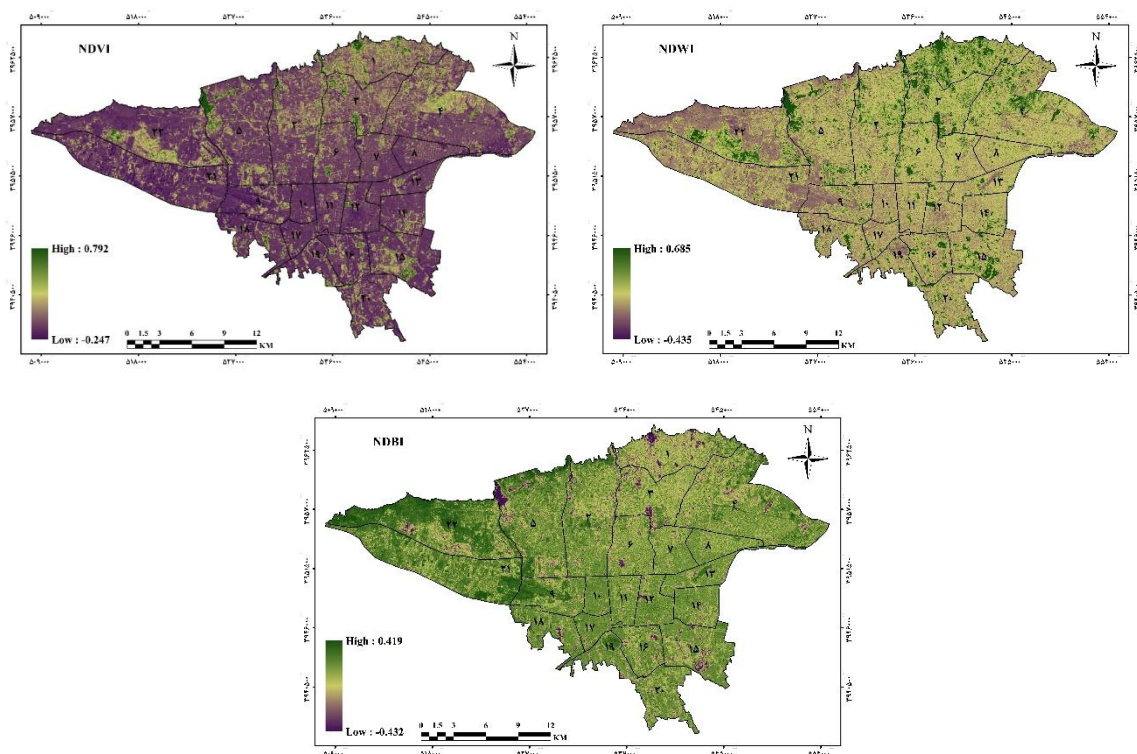
پایین‌ترین میانگین دما مربوط به کاربری آب و مناطق تحت پوشش طبیعی مانند فضای سبز و پارک‌های جنگلی و شهری است؛ در حالی که مناطق بایر و سطوح نفوذناپذیر اراضی ساخته‌شده مانند آسفالت، سنگ‌فرش‌های خیابان، و دیگر پوشش‌های ساخته‌دست بشر و همچنین کاربری‌های اراضی صنعتی و تجاری، مسکونی، و حمل و نقل دارای میانگین دمای سطح بالایی می‌باشند. براساس نتایج این تحقیق، عواملی مانند کارخانه‌های صنعتی، فرودگاه‌ها، زمین بایر، و مناطق مسکونی متراکم باعث توسعه جزیره حرارتی شهری در منطقه مورد مطالعه شده است. علاوه بر این، تراکم جمعیت در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی در مصرف انرژی و تشدید جزایر حرارتی شهری می‌شود. نزدیکی مناطق مسکونی متراکم به هسته‌های جزایر حرارتی شهری خطر بیماری‌های تنفسی و قلبی در میان ساکنان، به‌ویژه افراد مسن و کودکان، را افزایش می‌دهد.

رابطه بین دمای سطح و پارامترهای محیطی

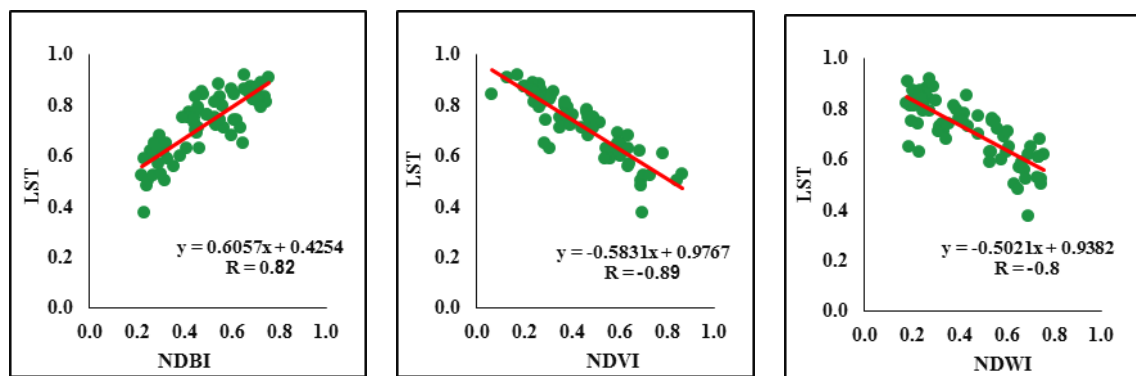
پارامترهای محیطی - از جمله شرایط پوشش گیاهی، نمناکی سطح، و تراکم اراضی ساخته‌شده - به‌عنوان مهم‌ترین مشخصه‌های مؤثر در تغییرات درجه حرارت سطح زمین، می‌تواند در تحلیل‌های مربوط به رشد و گسترش شهری نقش ایفا نماید. به همین دلیل، در بسیاری از مطالعات انجام‌شده، در جهت پیدا کردن راه‌حل برای مقابله با جزیره حرارتی شهری و کاهش اثر آن، بیان شده است که مدیریت این پارامترهای محیطی مهم‌ترین راه‌حل‌ها برای کاهش اثرهای جزیره حرارتی شهری است.

وضعیت پوشش گیاهی، تراکم اراضی ساخته‌شده، و نمناکی سطح به‌ترتیب با استفاده از شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI برای کلان‌شهر تهران مدل‌سازی و به‌صورت شکل ۷ نشان داده شده است.

برای بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای NDVI، NDWI، و NDBI بر دمای سطح، در این مطالعه ارتباط بین هر یک از این شاخص‌ها و دمای سطح نرمال شده در ۱۰۰ نقطه نمونه بررسی شده و نتایج به‌صورت شکل ۸ نشان داده شده است. نقاط نمونه به‌صورت تصادفی از سطح منطقه مورد مطالعه انتخاب شده‌اند.



شکل ۷. نقشه میانگین شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI برای منطقه مورد مطالعه



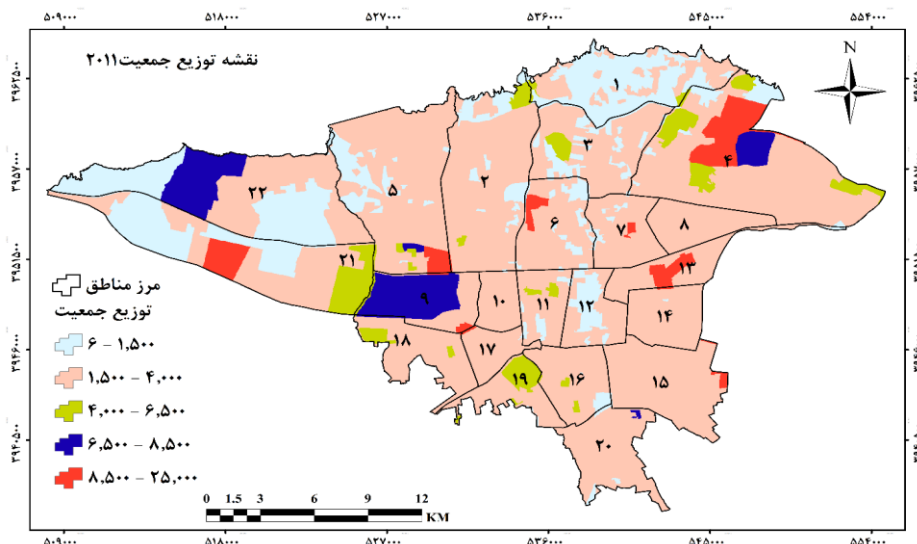
شکل ۸. ارتباط بین هر یک از شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI با مقادیر دمای سطح نرمال‌شده

با توجه به شکل ۸، ضریب همبستگی بین شاخص‌های NDVI، NDWI، و NDBI با دمای سطح به ترتیب ۰/۸۹، ۰/۸۸، و ۰/۸۲ است. نتایج نشان می‌دهد که دمای سطح با شاخص NDBI رابطه مستقیم و با شاخص‌های NDVI و NDWI رابطه معکوس دارد. به عبارت دیگر، با کاهش پوشش گیاهی و نمناکی سطح و افزایش تراکم اراضی ساخته‌شده، مقدار دمای سطح افزایش می‌یابد و برعکس.

رابطه بین دمای سطح با توزیع جمعیت

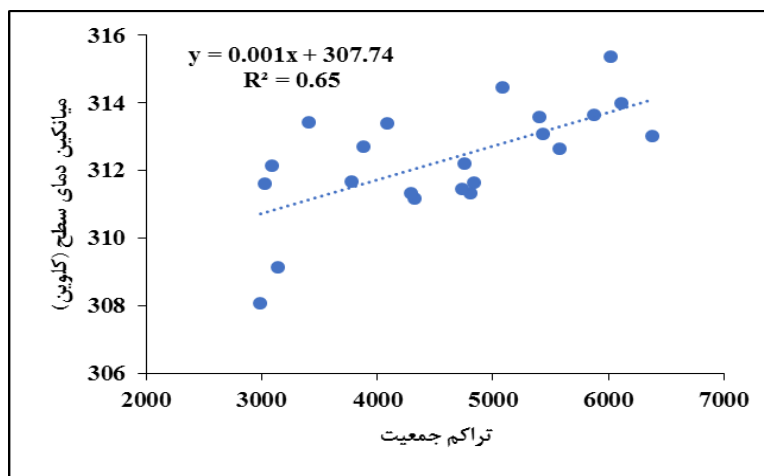
شکل ۹ نقشه توزیع جمعیت در سطح مناطق مختلف تهران را نشان می‌دهد. براساس جمعیت مختلف شهر تهران در سال ۲۰۱۱، مناطق ۲۱، ۲۲، ۱۲، و ۹ هسته اصلی جزیره حرارتی شهری در میان مناطق کم‌جمعیت شهر تهران است. با توجه به

کاربری‌های مختلف (صنعتی، تجاری، حمل و نقل)، تراکم پایین جمعیت در این مناطق طبیعی به نظر می‌رسد. در حالی که جزیره حرارتی شهری در این مناطق ناشی از فعالیت‌های صنعتی، فرودگاه، حمل و نقل، کاربری اراضی تجاری، و همچنین زمین‌های بایر است (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کریمی فیروزجایی و کیاورز مقدم، ۱۳۹۵).



شکل ۹. نقشه توزیع جمعیت در سطح مناطق مختلف تهران

نقشه دمای سطح و توزیع جمعیت در مناطق مختلف شهر تهران نشان می‌دهد که مناطق با درجه حرارت بالا در مناطق ۴، ۵، ۱۵ و ۱۴، که تراکم بالای جمعیت در آن‌ها وجود دارد، ایجاد شده است. اگرچه این مناطق در میان هسته اصلی جزیره حرارتی در تهران قرار ندارند، با توجه به تراکم بالای جمعیت، حجم بالای ترافیک، آلودگی ناشی از حمل و نقل این مناطق در معرض خطر ظهور و گسترش جزیره حرارتی شهری قرار دارند. برای تعیین میزان تأثیر جمعیت در دمای سطح ارتباط بین تراکم جمعیت و میانگین دمای سطح هر منطقه برای شهر تهران بررسی شده است. ارتباط بین تراکم جمعیت و میانگین دمای سطح هر منطقه به صورت شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. ارتباط بین تراکم جمعیت و میانگین دمای سطح هر منطقه

بررسی شکل ۱۰ نشان می‌دهد ارتباط مستقیم با ضریب همبستگی ۰/۶۵ بین تراکم جمعیت و میانگین دمای سطح هر منطقه وجود دارد؛ به‌صورتی که با افزایش جمعیت در یک منطقه میانگین دمای سطح افزایش می‌یابد.

بحث و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، هم‌زمان با افزایش جمعیت جهان و گسترش شهرنشینی در دنیا، بخش زیادی از زمین‌های شهری دست‌خوش تغییرات کاربری شده و موجب جای‌گزینی سطوح طبیعی نسبتاً نفوذپذیر با سطوح سخت نفوذناپذیر شامل فضاهای سنگ‌فرش، آسفالت، و نواحی متراکم و پُر از ساختمان شده است. این گونه تغییرات همراه فعالیت‌های گوناگون انسان در چشم‌اندازهای شهری زمینه‌تغییر در فرایندهای تبادل گرما و رطوبت در لایهٔ مرزی شهر را هر چه بیشتر فراهم می‌آورد. در مناطق شمالی منطقهٔ مورد مطالعه ساختار غیرمتراکم شهری همراه فضای سبز موجب شده است که این مناطق دمای سطح پایینی داشته باشند. همچنین، ساختارهای طبیعی مانند باغات متراکم و پهنه‌های آبی نیز دمای سطح بسیار پایینی دارند که ناشی از تبخیر و تعرق در این سطوح است که دمای سطح آنها را پایین نگه می‌دارد (فیروزجایی و همکاران، ۲۰۱۸؛ هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴). در مناطق بخش مرکزی شهری، که دارای تراکم ساختمانی بالا و فضای سبز ضعیف است، نیز دمای سطح بالا مشاهده می‌شود. مساحت بالای سطوح نفوذناپذیر، وجود خیابان دره‌ای (خیابان‌های دره‌ای با پراکنده‌کردن چندبارهٔ نور خورشید جذب و ذخیره‌سازی نور خورشید را افزایش می‌دهند)، حجم بالای ترافیک در این مناطق، و کاهش جریان هوا موجب شده است که این مناطق دمای سطح بالایی داشته باشند (ژائو و همکاران، ۲۰۱۶؛ طیبی و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طور کلی، چهار مکان در منطقهٔ مورد مطالعه به‌علت کاربری‌های متفاوت تا حد زیادی تحت تأثیر جزیرهٔ حرارتی شهری قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین مناطق آسیب‌دیده در منطقهٔ ۲۱ شهر تهران قرار دارد. در این منطقه ساختار شهری در مناطق صنعتی شامل سطوح وسیعی از مواد نفوذناپذیر همراه خاک بایر و عدم پوشش گیاهی است که این ساختار موجب شده است دمای سطح در این مناطق در طول روز بسیار بالا باشد (طیبی و همکاران، ۲۰۱۸؛ طیبی و ژنرته، ۲۰۱۶). همچنین فعالیت‌های گرماساز در این مناطق بسیار بالاست که یکی دیگر از دلایل گرم‌بودن دمای سطح در این مناطق است. به عبارت دیگر، این منطقه با کاربری‌های صنعتی و پوشش‌های انسان‌ساخت اشغال شده است. منطقهٔ دوم، که تا حد زیادی تحت تأثیر جزیرهٔ حرارتی شهری است، منطقهٔ ۹ است. این امر عمده‌اش ناشی از فرودگاه بین‌المللی مهرآباد، پایانه‌های حمل و نقل مسافر، ترافیک‌های سنگین جاده‌ای، و حجم زیادی از وسایل نقلیهٔ عمومی و خصوصی است. سومین منطقه تحت تأثیر جزیرهٔ حرارتی شهری در شمال و شمال غربی منطقهٔ ۲۲ و شمال منطقهٔ ۱۹ است؛ با توجه به مساحت زیاد زمین‌های بایر که در منطقه وجود دارد. عامل ایجاد جزیرهٔ حرارتی در این مناطق متفاوت از سایر مناطق است (طیبی و ژنرته، ۲۰۱۶). علاوه بر این مناطق، می‌توان به منطقهٔ ۱۲ (بازار مرکزی و هستهٔ قدیمی شهر تهران)، منطقهٔ ۱۳ (زمین بایر در اطراف فرودگاه سابق دوشان‌تپه و مناطق سنگ‌فرش‌شده و آسفالت)، و مناطق جنوبی که در آن گارگاه‌های آموزشی و فعالیت‌های صنعتی وجود دارد اشاره کرد. با این حال، توسعهٔ مکانی جزیرهٔ حرارتی در این مناطق شدت کمتری دارد.

بررسی رابطهٔ بین کاربری پوشش سطح و دمای سطح نشان می‌دهد که پایین‌ترین میانگین دما مربوط به تشکیلات آبی و مناطق تحت پوشش طبیعی مانند فضای سبز و پارک‌های جنگلی و شهری است؛ درحالی‌که حداکثر درجهٔ حرارت در زمین‌های بایر و سطوح غیر قابل نفوذ اراضی ساخته‌شده مانند آسفالت، سنگ‌فرش‌های خیابان، و دیگر پوشش‌های ساختهٔ دست بشر و همچنین کاربری‌های اراضی صنعتی و تجاری، مسکونی، و حمل و نقل است، که نشان‌دهندهٔ تأثیر

پوشش طبیعی فضای سبز و تشکیلات آبی در کاهش شدت و گسترش جزایر حرارتی شهری است (طیبه و همکاران، ۲۰۱۸؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶). اجرای عمل تعرق از سطح پوشش گیاهی سبب کاهش دمای پدیده جزیره حرارتی می‌شود (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۴). در این مطالعه بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای NDVI، NDWI و NDBI بر دمای سطح نشان داد که دمای سطح با شاخص NDBI رابطه مستقیم و با شاخص‌های NDVI و NDWI رابطه معکوس دارد. همچنین، افزایش جمعیت در یک منطقه سبب افزایش دمای سطح منطقه می‌شود (جیانگ و تیان، ۲۰۱۰؛ فیروزجایی و همکاران، ۲۰۱۸).

منابع

- صادقی‌نیا، ع.؛ علیجانی، ب. و ضیائی، پ. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴: ۱-۱۷.
- علوی‌پناه، س.ک.؛ هاشمی دره بادامی، س. و کاظم‌زاده، ع. (۱۳۹۴). تحلیل زمانی- مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری- پوشش زمین، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۳(۱): ۱-۱۷.
- کریمی فیروزجایی، م. و کیاورز مقدم، م. (۱۳۹۵). بررسی ارتباط بین دما، شار تابش خالص با خصوصیات بیوفیزیکی، و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۴): ۹۶-۷۹.
- نادی‌زاده شورابه، س.؛ حمزه، س. و افشاری، س.ک. (۱۳۹۶). پایش مکانی- زمانی تغییرات جزیره حرارتی شهری و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی و پوشش با ادغام داده‌های اپتیک و حرارتی سنجش از دور، همایش ملی ژئوماتیک.
- هاشمی دره بادامی، 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، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۲۸-۱۵.
- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation, Lawrence Berkeley National Laboratory, pp. 1-19.
- Alavipanah, S.; Hashemi Darrehbadami, S. and Kazemzadeh, A. (2015). Spatial- Temporal Analysis of Urban Heat- Island of Mashhad City due to Land Use/ Cover Change and Expansion. Geographical Urban Planning Research (*GUPR*), 3(1), 1-17.
- Almusaed, A. (2011). The urban heat island phenomenon upon urban components, In Biophilic and Bioclimatic Architecture, Springer London, pp. 139-150.
- Balling, R. and Brazel, S.W. (1988). High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain, Photogrammetric engineering and remote sensing, 54(9): 1289-1293.
- Behbahani, S.M.R.; Rahimikhoob, A. and Nazarifar, M.H. (2009). Comparison of Some Split-window Algorithms to Estimate Land Surface Temperature from AVHRR Data in Southeastern Tehran, Desert, 14(2): 157-161.
- Bokaie, M.; Zarkesh, M.K.; Arasteh, P.D. and Hosseini, A. (2016). Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran, Sustainable Cities and Society, 23: 94-104.
- Chander, G. and Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, 41(11): 2674-2677.
- 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.
- Chen, X.L.; Zhao, H.M.; Li, P.X. and Yin, Z.Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, Remote sensing of environment, 104(2): 133-146.
- Chi, M.; Feng, R. and Bruzzone, L. (2008). Classification of hyperspectral remote-sensing data with primal SVM for small-sized training dataset problem, Advances in space research, 41(11): 1793-1799.

- Deng, C. and Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach, *Remote Sensing of Environment*, 131: 262-274.
- Ding, H. and Shi, W. (2013). Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: a case study in Beijing City, *International Journal of Remote Sensing*, 34(15): 5503-5517.
- Dontree, S. (2010). Relation of land surface temperature (LST) and land use/land cover (LULC) from remotely sensed data in Chiang Mai—Lamphun basin, In SEAGA conference.
- Effat, H.A. and Hassan, O.A.K. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt, *Urban Climate*, 10: 171-188.
- Firozjaei, M.K.; Kiavarz, M.; Alavipanah, S.K.; Lakes, T. and Qureshi, S. (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran, *Ecological Indicators*, 91: 155-170.
- Founda, D. (2011). Evolution of the air temperature in Athens and evidence of climatic change: A review, *Advances in Building Energy Research*, 5(1): 7-41.
- Gallo, K.P. and Owen, T.W. (1999). Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias, *Journal of Applied Meteorology*, 38(6): 806-813.
- Gallo, K.P.; Mc Nab, A.L.; Karl, T.R.; Brown, J.F.; Hood, J.J. and Tarpley, J.D. (1993). The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect, *Journal of Applied Meteorology*, 32(5): 899-908.
- Gao, B.C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote sensing of environment*, 58(3): 257-266.
- Guhathakurta, S. and Gober, P. (2007). The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use, *Journal of the American Planning Association*, 73(3): 317-329.
- Guo, G.; Wu, Z.; Xiao, R.; Chen, Y.; Liu, X. and Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters, *Landscape and Urban Planning*, 135: 1-10.
- 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): 352.
- Habibi, S.M. and Hourcade, B. (2005). *Atlas of Tehran metropolis*, Tehran: Urban Processing and Planning Co, 1.
- Heinl, M.; Hammerle, A.; Tappeiner, U. and Leitinger, G. (2015). Determinants of urban–rural land surface temperature differences—A landscape scale perspective, *Landscape and Urban Planning*, 134: 33-42.
- Hu, Y. and Jia, G. (2010). Influence of land use change on urban heat island derived from multi-sensor data, *International Journal of Climatology*, 30(9): 1382-1395.
- Jensen, J.R. (1986). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, Univ. of South Carolina, Columbus.
- Jiang, J. and Tian, G. (2010). Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing, *Procedia environmental sciences*, 2: 571-575.
- Jimenez-Munoz, J.C. and Sobrino, J.A. (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors, *IEEE geoscience and remote sensing letters*, 5(4): 806-809.

- Kachar, H.; Vafsian, A.R.; Modiri, M.; Enayati, H. and Nezhad, A.S. (2015). Evaluation of Spatial and Temporal Distribution Changes of LST Using Landsat Images (Case Study: Tehran). The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(1): 351-356.
- Karimi Firozjaei, M. and Kiavrz Mogadam, M. (2017). Investigating the relationship between temperature, net radiation flux by biophysical properties and lanuse using LandSat 8 satellite imagery. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 7(4), 79-96.
- Lilly Rose, A. and Devadas, M.D. (2009). June. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery—a case in Chennai city, India, In the seventh international conference on urban climate, Yokohama, Japan (Vol. 29).
- Liu, L. and Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong, Remote Sensing, 3(7): 1535-1552.
- Liu, Y.; Wu, C.; Peng, D.; Xu, S.; Gonsamo, A.; Jassal, R.S.; ... and Chen, J.M. (2016). Improved modeling of land surface phenology using MODIS land surface reflectance and temperature at evergreen needleleaf forests of central North America, Remote Sensing of Environment, 176: 152-162.
- Li, X.; Li, W.; Middel, A.; Harlan, S.L.; Brazel, A.J. and Turner, B.L. (2016). Remote sensing of the surface urban heat island and land architecture in Phoenix, Arizona: Combined effects of land composition and configuration and cadastral–demographic–economic factors, Remote Sensing of Environment, 174: 233-243.
- Li, X.; Zhou, W.; Ouyang, Z.; Xu, W. and Zheng, H. (2012). Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China, Landscape ecology, 27(6): 887-898.
- Lo, C.P.; Quattrochi, D.A. and Luvall, J.C. (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect, International Journal of Remote Sensing, 18(2): 287-304.
- Karimi Firozjaei, M., Kiavrz Mogadam, M. (2017). Investigating the relationship between temperature, net radiation flux by biophysical properties and lanuse using LandSat 8 satellite imagery. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 7(4), 79-96.
- Mather, A.S. (1986). Land use, London; New York: Longman, p. 286.
- Nadizadeh Shorabeh, S.; Hamzeh, Saeid. and Afshary poor, K. (2017). Spatial-temporal monitoring of urban heat island variations and their relationship to land use and cover changes by integrating remote sensing optical and thermal data, National Geomatics Conference.
- Oommen, T.; Misra, D.; Twarakavi, N.K.; Prakash, A.; Sahoo, B. and Bandopadhyay, S. (2008). An objective analysis of support vector machine based classification for remote sensing, Mathematical geosciences, 40(4): 409-424.
- Otukei, J.R. and Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12, S27-S31.
- Qin, Z.; Karnieli, A. and Berliner, P. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, International Journal of Remote Sensing, 22(18): 3719-3746.
- Rajasekar, U. and Weng, Q. (2009). 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.

- Sadeghinia, A.; Alijani, B. and Zeaiean, P. (2013). Analysis of Spatial - Temporal Structure of the Urban Heat Island in Tehran through Remote Sensing and Geographical Information System. *Geography and Environmental Hazards*, 1(4), 1-17.
- Streutker, D.R. (2002). A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas, *International Journal of Remote Sensing*, 23(13): 2595-2608.
- Streutker, D.R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas, *Remote Sensing of Environment*, 85(3): 282-289.
- Tayyebi, A. and Jenerette, G.D. (2016). Increases in the climate change adaption effectiveness and availability of vegetation across a coastal to desert climate gradient in metropolitan Los Angeles, CA, USA, *Science of the Total Environment*, 548: 60-71.
- Tayyebi, A.; Shafizadeh-Moghadam, H. and Tayyebi, A.H. (2018). Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran, *Land Use Policy*, 71: 459-469.
- Vlassova, L.; Perez-Cabello, F.; Nieto, H.; Martín, P.; Riaño, D. and De la Riva, J. (2014). Assessment of methods for land surface temperature retrieval from Landsat-5 TM images applicable to multiscale tree-grass ecosystem modeling, *Remote Sensing*, 6(5): 4345-4368.
- Wang, F.; Qin, Z.; Song, C.; Tu, L.; Karnieli, A. and Zhao, S. (2015). An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data, *Remote Sensing*, 7(4): 4268-4289.
- 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*, 22(10): 1999-2014.
- Weng, Q.; Liu, H. and Lu, D. (2007). Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States, *Urban ecosystems*, 10(2): 203-219.
- Xian, G. and Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data, *Remote Sensing of environment*, 104(2): 147-156.
- Yuan, F. and Bauer, M.E. (2007). 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.
- Zareie, S.; Khosravi, H.; Nasiri, A. and Dastorani, M. (2016). Using Landsat Thematic Mapper (TM) sensor to detect change in land surface temperature in relation to land use change in Yazd, Iran, *Solid Earth*, 7(6): 1551-1564.
- Zha, Y.; Gao, J. and Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International journal of remote sensing*, 24(3): 583-594.
- Zhang, Z.; Tang, B.H. and Li, Z.L. (2018). Retrieval of leaf water content from remotely sensed data using a vegetation index model constructed with shortwave infrared reflectances, *International Journal of Remote Sensing*, 1-11.
- Zhou, D.; Zhang, L.; Hao, L.; Sun, G.; Liu, Y. and Zhu, C. (2016). Spatiotemporal trends of urban heat island effect along the urban development intensity gradient in China, *Science of the Total Environment*, 544: 617-626.
- Zhou, W.; Huang, G. and Cadenasso, M.L. (2011). 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.