

بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ - مطالعه موردی شهر تهران

مجتبی پیرنظر^{۱*}، شهرام روستایی^۲، بختیار فیضی‌زاده^۳، فاطمه رئیسی نافچی^۴

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

^۲ استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

^۳ استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز

^۴ کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۰

چکیده

با توسعه شهرنشینی و تبدیل اراضی کشاورزی و جنگلی به خانه‌ها، مناطق صنعتی، دمای مناطق شهری نسبت به دیگر مناطق افزایش یافته و در نتیجه پدیده جزیره گرمایی ایجاد می‌شود. جزایر گرمایی شهری نه تنها روی محیط شهرها و ساکنان آن‌ها اثر منفی گذاشته‌اند، بلکه حتی اکوسیستم‌هایی را که در فاصله‌ی زیادی از شهرها قرار دارند تحت تأثیر قرار می‌دهند. از آن جا که تصاویر سنجش از دور مادون قرمز حرارتی، به دلیل پوشش وسیع، منبع اطلاعاتی مناسب به منظور تهیه نقشه‌های حرارتی سطح آب و خشکی می‌باشند، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق برای برآورد دمای سطح زمین، از تصویر لندست ۸ سنجنده TIRS و OLI متعلق به ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳) و روش SEBAL استفاده شد. پس از پردازش‌های لازم، نقشه‌های حرارتی شهر تهران تولید شدند و همچنین به منظور برآورد دمای میانگین هر کلاس کاربری، تصویر محدوده تهران به پنج کلاس کاربری اراضی شامل بایر، مناطق مسکونی، شبکه راه، فضای سبز و مناطق آبی طبقه‌بندی شدند؛ سپس با استفاده از نقشه‌های حرارتی و کاربری تولیدشده، ارزیابی ترتیب دمایی کلاس‌های کاربری اراضی شهر تهران انجام گردید، نتایج نشان داد که فضای سبز پس از کلاس آب، خنک‌ترین کلاس بوده و می‌تواند نقش مهمی در تعدیل دمای سطح زمین و محیط اطراف خود ایفا نماید. در پایان، جزایر حرارتی و خنک شهر تهران شناسایی شدند و راهکارهایی برای مدیریت دمای سطح زمین در شهر تهران ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: درجه حرارت سطح زمین، کاربری زمین، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، شهر تهران.

مقدمه

می‌شود (روژه و دیواداس^۲، ۲۰۰۹: ۲). در طی فصل‌های سال، در کنار فرایند جذب پرتو فرابنفش و گسیل فروسرخ، در هر منطقه، سقف ساختمان‌ها، خیابان‌ها و سطوح تیره‌رنگ گرما را جذب کرده و دوباره به هوا گسیل می‌کنند. با توجه به این‌که نزدیک به تمامی سقف‌ها در تهران تیره رنگ هستند این سطوح تیره رنگ حدود نیمی از مساحت تهران را در برمی‌گیرد، که گرمای گسیل‌شده از سوی خورشید را جذب کرده و در خود نگاه می‌دارند. این پدیده باعث افزایش دمای مناطق مسکونی از ۲ تا ۱۵ درجه

شهرها در اغلب موارد، شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن «اقلیم شهری» گفته می‌شود. اقلیم شهری به واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم‌تراکم‌تر اطرافش وجود دارد مشخص می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که مکان‌های شهری گرم‌تر از نواحی روستایی اطرافشان هستند و به‌طور کلی به این پدیده «جزیره حرارتی شهری» گفته

مطالعات متعددی در زمینه تخمین گرمای نسبی شهرها با استفاده از اندازه‌گیری درجه حرارت هوا، بر پایه مشاهدات ایستگاه‌های زمینی، صورت گرفته است. برخی از مطالعات اندازه‌گیری‌های درجه حرارت به‌دست‌آمده با استفاده از سنجنده‌های مستقر بر روی وسایل نقلیه راه، در طول چند مسیر مختلف زمینی، مورد استفاده قرار داده‌اند (یاماشیتا^۶، ۱۹۹۶: ۴۳۱). این روش هم پرهزینه و هم زمان‌بر بوده و منجر به مشکلات در درون‌یابی مکانی تعیین درجه حرارت، می‌شود. فناوری سنجنش‌ازدور می‌تواند به‌عنوان راهکار جدید در بهبود روش‌های فوق‌الذکر مطرح شود. مزایای استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور، قدرت تفکیک مکانی بالا، داده‌های پایدار و دارای همپوشانی و همچنین توانایی اندازه‌گیری پارامترهای سطح زمین است (اون کارلسن و گیلیس^۷، ۱۹۹۸: ۱۶۷۳). در سنجنده‌های حرارتی سنجنش‌ازدور، اطلاعات کمی درجه حرارت سطح در ارتباط با کلاس‌های پوششی و کاربری زمین می‌تواند به دست آید. سنجنش‌ازدور دارای نقش حیاتی و ضروری در تخمین پارامترهای فیزیکی مرتبط با مطالعات حرارتی شهری است.

اهداف تحقیق

الف) تهیه نقشه‌ی دمای زمین شهر تهران
ب) شناسایی کاربری‌هایی با بیشترین دمای سطح
ج) ارائه راهکار برای تعدیل دما در کاربری‌هایی که بالاترین دما را دارند.

پیشینه تحقیق و مبانی نظری

دمای سطح زمین

دمای سطح زمین (LST^۸) در سنجنش‌ازدور به حرارت اندازه‌گیری شده توسط رادیومتر در یک میدان دید لحظه‌ای (IFOV) گفته می‌شود. پردازش‌های لازم در سنجنش از دور برای تعیین دمای سطح زمین، شامل مجموعه‌ای از نظریه‌های فیزیکی تبادل حرارتی

سانتی‌گراد شده و به نام پدیده جزیره گرمایی شناخته می‌شود. پس از مطرح شدن مفهوم جزیره حرارتی توسط لوک هاوارد^۱ در سال ۱۸۳۳، این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت. اخیراً، با توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی، پدیده جزیره حرارتی اهمیت بیشتری یافته است (چن^۲ و همکاران، ۲۰۰۹: ۱).

تصاویر سنجنش‌ازدور به دلیل پوشش وسیع، به‌نگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس، منبع اطلاعاتی مناسبی در تهیه نقشه حرارتی و تخمین انرژی تشعشعی سطح زمین می‌باشند. سنجنش از دور حرارتی شاخه‌ای از سنجنش از دور است که پیرامون پردازش و تفسیر داده‌ها و تصاویر به دست آمده در ناحیه مادون قرمز حرارتی بحث می‌کند (علوی پناه، ۱۳۸۷: ۲۶). در این مطالعه تصویر سنجنده‌های OLI^۳ و TIRS^۴ ماهواره لندست ۸^۵ برای استخراج شار گرمایی سطح برای شهر تهران انتخاب شد. تصاویر به علت دارا بودن باندهای حرارتی برای تحلیل و آنالیز دمای شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اهمیت و ضرورت تحقیق

با توجه به این‌که جهان هر روز شهری‌تر می‌شود، شناختن راه‌های بهبود محیط‌زیست شهری و این‌که شهرها به‌صورت محیط‌های جذاب‌تر و سالم‌تری برای زندگی درآیند و از آثار نامطلوب آن‌ها بر محیط‌زیست کاسته شود اهمیت پیدا می‌کند (شمسی خسروشاهی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱). از آنجایی‌که مقدار ذرات معلق هوای شهر به‌طور معمول ۱۰ بار بیشتر از مناطق همجوار است؛ بنابراین معمولاً شهر، کمتر از نواحی روستایی آفتاب دریافت می‌کند، اما هوای شهر، به‌رغم کاهش آفتاب، گرم‌تر از نواحی مجاور است؛ زیرا شهر یک جزیره حرارتی است.

1. Luk Howard
2. Chen
3. Operational Land Image
4. Thermal InfraRed Sensor
5. Landsat 8

6. Yamashita
7. Owen Carlson and Gillies
8. Land Surface Temperature

تابستان اشاره کردند و این که بیشتر بودن میزان جزیره حرارتی شهری را در ژوئیه ۲۰۰۲ نسبت به ژوئیه ۲۰۰۳ آشکار نمودند؛ همچنین متوجه شدند شاخص‌هایی که وجود جزیره حرارتی شهری را در روز هنگام نشان می‌دهند، متفاوت از شاخص‌هایی است که وجود آن را در شب هنگام نشان می‌دهند.

فیضی زاده و بلاسچک (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای آنالیز ترکیب طیفی و شاخص‌های سنجش از دور حرارتی را برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین توسط تصویر استر ادغام کرده، جزایر حرارتی شهری را به دست آورده و ارتباط آن را با کاربری اراضی و آلودگی هوای شهر تبریز ارائه دادند. نتایج نشان می‌دهد که دمای سطح زمین در مناطق با پوشش گیاهی و مناطق آبی کم و در مناطق صنعتی زیاد می‌باشد.

جیمنز^۳ (۲۰۱۴)، دو الگوریتم اسپلیت ویندو و تک باند را برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین با استفاده از تصویر حرارتی لندست ۸ بکار برد، نتایج تحقیق بیانگر این مطلب است که خطای متوسط برای هر دو الگوریتم پایین‌تر از ۱/۵ درجه کلونین می‌باشد و در شرایط افزایش ظرفیت بخار آب جو روش اسپلیت ویندو نتیجه بهتری را در مقایسه با تک باند ارائه داده است.

راجشواری^۴ و مانی^۵ (۲۰۱۴)، از الگوریتم اسپلیت ویندو برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین منطقه Din Digul واقع در کشور هند با استفاده از تصاویر اپتیکال و حرارتی ماهواره‌ی لندست ۸ استفاده کردند. آن‌ها در این روش برای محاسبه‌ی گسیلمندی از روش حد آستانه‌ی NDVI استخراج شده از باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ و برای به دست آوردن دمای سطح زمین از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ سنجنده مورد نظر استفاده کردند، نتایج نشان می‌دهد که دمای سطح زمین در مناطق بایر زیاد و در مناطق کوهستانی به خاطر پوشش گیاهی زیاد، کم می‌باشد.

و نظریه‌های مدل سازی اتمسفری و نیز عملیات پردازشی وسیعی برای تعیین مولفه‌های جانبی این مدل‌ها می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۷: ۳۳۴). دمای سطح زمین به هر دو مفهوم مشتق شده از تعریف دما (حرارت و برودت) شامل می‌شود.

• چگونه دمای سطح و دمای هوا به هم مربوط می‌شوند؟

دمای سطح اثر غیرمستقیم اما قابل توجهی بر روی دمای هوا دارد. به خصوص در لایه پوششی، که به سطح نزدیک می‌باشد. برای مثال پارک‌ها و مناطق رویشی گیاهان که به طور معمول سطح خنک‌تری را نسبت به سایر سطوح دارند موجب خنک شدن دمای هوای اطرافشان می‌شوند. از طرف دیگر، مناطق ساخته شده متراکم معمولاً منجر به دمای هوای گرم‌تر می‌شوند؛ چراکه رابطه دمای سطح و هوا ثابت نیست اما به طور کل دمای هوا به طور معمول در سرتاسر یک منطقه نسبت به دمای سطح تغییرات کمتری دارد. درجه حرارت سطح زمین در محیط‌های شهری ارتباط نزدیکی با خصوصیات مربوط به توزیع و پراکندگی کاربری اراضی، پوشش زمین دارد (وینگ^۱، ۲۰۰۱: ۵۶۴). دما را می‌توان همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله مواد که تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود، تعریف کرد. دمای سطح زمین، به عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، از عناصر اساسی شناخت آب‌وهواست (میریعیقوب زاده و قنبرپور، ۱۳۸۸: ۷۳۰-۷۲۵).

پیشینه تحقیق

• بررسی منابع خارجی

اسوارز^۲ و همکاران (۲۰۱۱)، به جهت بررسی جزیره حرارتی شهری در تعداد زیادی از شهرهای اروپایی به برآورد دمای سطح زمین به کمک تصاویر مودیس در ماه‌های ژوئیه ۲۰۰۲، ژانویه ۲۰۰۳ و ژوئیه ۲۰۰۳ پرداختند و از ترکیب چندین شاخص مختلف به بالا بودن تأثیر جزیره حرارتی شهری در روزهای فصل

3. Jiménez
4. Rajeshwari
5. Mani

1. Weng
2. Schwarz

• بررسی منابع داخلی

علوی پناه (۱۳۸۳) طی تحقیقی نشان داد که داده‌های حرارتی حاصل از سنجنده‌ها کاربرد فراوانی در مطالعات پدیده‌های زمینی دارند. وی درجه حرارت را عامل مهمی در درک خصوصیات ماده دانسته و برای شناخت خصوصیات مواد استفاده از داده‌های سنجنش‌از دور حرارتی را گام مهمی در مطالعات محیط‌زیست عنوان کرده است.

دانش کار آراسته و همکاران (۱۳۸۴)، به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در محاسبه تبخیر و تعرق، به محاسبه دمای سطح زمین به روش پنجره مجزا در محدوده دشت سیستان و هامون پرداختند. در این راستا آن‌ها از تصاویر AVHRR ماهواره NOAA در بازه زمانی ۱۹۹۲-۲۰۰۰ میلادی استفاده نمودند؛ همچنین نامبرندگان به سطوح معنی‌داری ۹۵ درصد با اعتبارسنجی با ۱۰ تصویر دیگر و داده‌های زمینی دست یافتند.

هاشمی (۱۳۸۷) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، افزایش دمای محیط‌زیست شهری را هم در اتمسفر و هم در سطح شهری (جزایر حرارتی شهری) از اثرات زیان‌آور محیط‌زیست شهری قلمداد کرده و در تحقیق خود توزیع فضایی دمای سطح زمین در شهر تهران را با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ETM+، Landsat به تاریخ ۲۱ خرداد ۱۳۸۱، تجزیه و تحلیل نموده و ارتباط بین LST با پوشش زمین و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با کاربرد رهیافت اکولوژی سیمای سرزمین بررسی نمود. به‌طوری‌که فضاهای باز (بدون پوشش گیاهی و عاری از ساخت‌وساز) بالاترین دمای سطح را به خود اختصاص دادند و آب و پوشش گیاهی حداقل دمای سطح را داشتند.

ملک پور و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی تغییرات درجه حرارت سطح نسبت به انواع پوشش کاربری زمین پرداختند. برای این کار از تصویر ETM+ و روش SEBAL استفاده شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان‌دهنده وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI برای انواع پوشش - کاربری زمین است. علاوه بر این ارتباط درجه حرارت سطح

زمین با مقادیر کسر پوشش گیاهی (FVC^۱) ارزیابی گردید.

ولیزاده کامران و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به محاسبه‌ی دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط GIS و RS در بخش مرکزی منطقه مراغه پرداختند؛ و عوامل تأثیرگذار بر دمای سطح زمین را ارتفاع، جهت شیب و پوشش گیاهی دانستند.

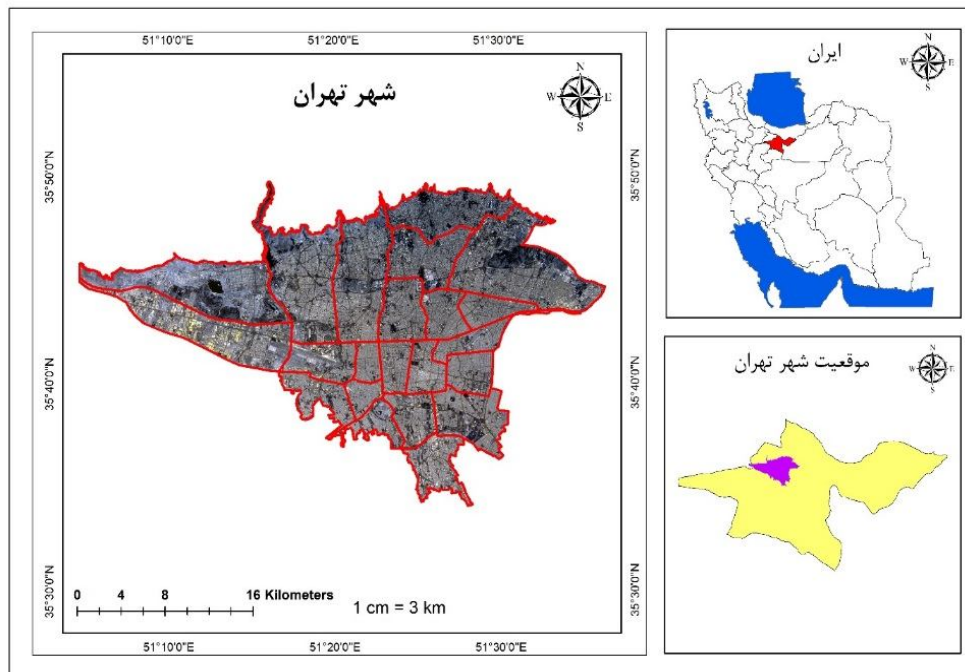
حیدری (۱۳۹۲)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، با موضوع بررسی تأثیر فضای سبز شهری بر تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای که بر روی شهر تبریز مطالعه شده بود به این نتیجه رسید که همه روش‌های تعیین دمای سطح، نشان داد که فضای سبز پس از کلاس آب، خنک‌ترین کلاس بوده و می‌تواند نقش مهمی در تعدیل دمای سطح زمین و محیط اطراف خود ایفا نماید؛ همچنین مقایسه نتایج الگوریتم سبال با روش‌های مورد استفاده دیگر نشان داد که این الگوریتم برای تعیین دمای سطح زمین در شهر تبریز از دقت خوبی برخوردار است.

یاوری (۱۳۹۳)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، که دمای سطح زمین شهرستان ارومیه را در دو فصل تابستان و زمستان بررسی کرده بود به این نتیجه رسید که جزیره گرمایی در فصل تابستان بیشتر از زمستان است و اراضی بدون پوشش گیاهی و بایر نقش مؤثری در ایجاد جزیره گرمایی دارند.

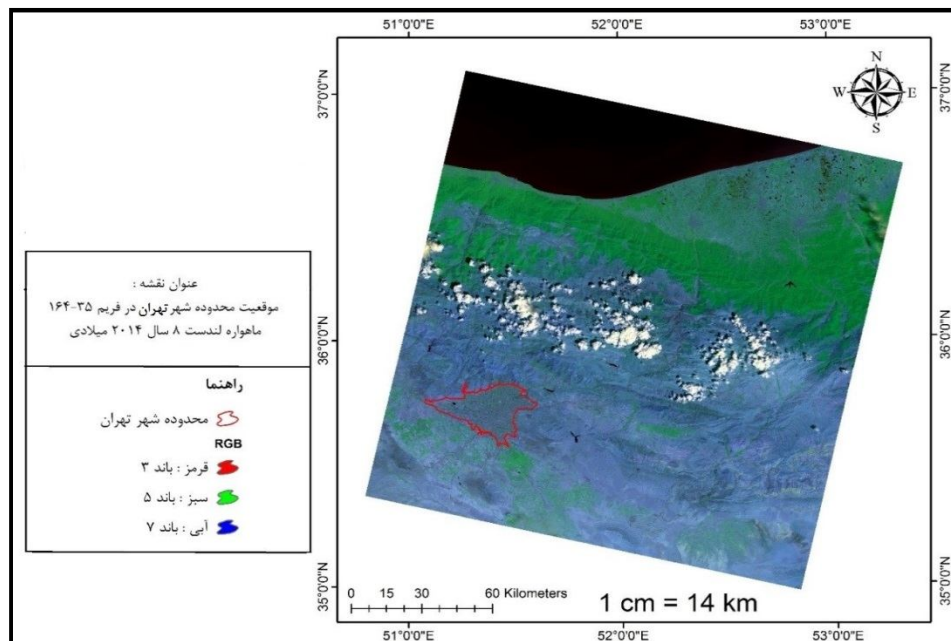
منطقه مورد مطالعه

شهر تهران بین ۲۰° ۵۱ تا ۳۶° ۵۱ طول شرقی و ۳۴° ۳۵ تا ۵۰° ۳۵ عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از ۲۰۰۰ متر در مرتفع‌ترین نقاط شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. شهر تهران بزرگ‌ترین شهر، پایتخت ایران و مرکز استان تهران است. مساحت این شهر حدود ۷۳۰ کیلومترمربع و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه را نشان می‌دهد.

1. Fractional vegetation cover



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: موقعیت شهر تهران در فریم ۳۵-۱۶۴ ماهواره لندست ۸

کردن باندها، منطقه مورد مطالعه جدا شده و ذخیره گردید. شکل شماره ۲ موقعیت محدود شهر تهران و همچنین ترکیب رنگی کاذب (۳، ۵، ۷) را در این فریم نشان می‌دهد.

سپس، مراحل پیش‌پردازش شامل تصحیح رادیومتریک و هندسی و اتمسفری می‌باشد که بر روی

روش تحقیق

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ برای ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳) استفاده گردیده است. پس از انتخاب تصویر مورد نظر، با توجه به این که منطقه مورد مطالعه بخشی از این فریم می‌باشد، لذا در این مرحله بعد از استک

تصحیح رادیومتریک یا محاسبه مقدار رادیانس طیفی است.

الگوریتم سبال

در این روش دمای سطح با استفاده از رادیانس حرارتی تصحیح شده به دست می‌آید (آن و همکاران، ۲۰۰۲: ۸). در جدول شماره ۱ اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه دمای سطح زمین به روش سبال آورده شده است که این اطلاعات از هدر فایل تصویر تهیه گردید.

تصویر اعمال گردید. ابتدا برای اطمینان از صحت هندسی تصویر، باند اول، با استفاده از نقشه کاربری اراضی شهر تهران مربوط به سال ۱۳۹۰ در مقیاس ۱:۲۰۰۰ در سیستم تصویر UTM با فرمت dwg زمین مرجع شد و همچنین برای سایر باندها در محیط نرم‌افزار ENVI5.1 به روش تصویر به تصویر تصحیح هندسی به عمل آمد. در ادامه، مدل تصحیح اتمسفری FLAASH جهت کاهش اثرات اتمسفری بر روی داده لندست بکار گرفته شد و مرحله پایانی پیش‌پردازش،

<p>۴- تفاضل شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI)</p> $NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$ <p>۵- شاخص گیاهی تعدیل کننده اثرات خاک (SAVI)</p> $SAVI = \frac{(1+L) \times (NIR - Red)}{(NIR + Red + L)}$ <p>L فاکتور تصحیح اثرات خاک است که دامنه آن از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا ۱ برای پوشش گیاهی با تراکم اندک می باشد.</p> <p>۶- شاخص سطح برگ (LAI)</p> $LAI = - \frac{\left(\frac{C_1 - SAVI}{C_2} \right)}{C_3}$ <p>ضرایب C1، C2 و C3 به ترتیب ۰،۶۹، ۰،۵۹ و ۰،۹۱ می باشد.</p> <p>۷- محاسبه دمای روشنایی (T_{bb})</p> $T_{bb} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{11}} + 1\right)}$ <p>مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب برابر ۴۸۰،۸۹ و ۱۲۰۱،۱۴ می باشند. و L_{11} رادیانس طیفی باند ۱۱ می باشد.</p> <p>۸- محاسبه دمای سطحی (T_S)</p> $T_S = \frac{T_{bb}}{\varepsilon NB^{0.25}}$	<p>۱- رادیانس طیفی (L_λ)</p> $L_\lambda = Gain \times DN + Bias$ $Gain = \frac{(L_{max} - L_{min})}{65535}$ <p>DN برابر با درجه خاکستری پیکسلها و Bias برابر با L_{min} می باشد.</p> <p>۲- بازتابندگی نیمکره‌ای (ρ_λ)</p> $\rho_\lambda = \frac{\pi \times L_\lambda}{ESUN_\lambda \times \cos \theta \times d_r}$ <p>(θ: زاویه فرود خورشیدی و β: ارتفاع خورشید)</p> $d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{DOY \times 2\pi}{365}\right)$ <p>$ESUN_\lambda$ عبارت است از میانگین تابش فرودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باند.</p> <p>۳- آلبیدوی سطحی (α)</p> $\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path_radiance}}{\tau^2 SW}$ $\tau SW = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times Z$ $\alpha_{toa} = \sum (\omega_\lambda \times \rho_\lambda)$ $\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda}$ <p>در رابطه فوق α_{toa} آلبیدوی بالای اتمسفر، path-radiance آلبیدوی ناشی از رادیانس مسیر و τSW قابلیت عبور اتمسفری است. مقادیر path-radiance در محدود ۰،۰۲۵ تا ۰،۰۴ می باشد که در مدل سبال مقدار آن ۰،۰۳ پیشنهاد شده است. Z ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر</p>
---	--

در جدول ۲ اطلاعات مربوط به ارتفاع خورشیدی و چندمین روز از سال را برای تصویر مورد نظر آورده شده است.

جدول ۱: اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه دمای سطح زمین به روش سیال-لندست ۸

Band	Radiance-max	Radiance-min	ESUN _λ
۱	۷۳۶/۷۳۸۵۳	-۶۰/۸۴۰۱۱	۲۰۲۷
۲	۷۵۴/۴۲۹۲۶	-۶۲/۳۰۱۰۱	۲۰۶۷
۳	۶۹۵/۲۰۰۱۳	-۵۷/۴۰۹۸۵	۱۸۹۳
۴	۵۸۶/۲۳۱۸۷	-۴۸/۴۱۱۲۲	۱۶۰۳
۵	۳۵۸/۷۴۴۶۹	-۲۹/۶۲۵۲۵	۹۷۲/۶
۶	۸۹/۲۱۶۵۴	-۷/۳۶۷۵۳	۲۴۵
۷	۳۰/۰۷۰۷۵	-۲/۴۸۳۲۵	۷۹/۷۲
۸	۶۶۳/۴۵۳۱۹	-۵۴/۷۸۸۱۸	-
۹	۱۴۰/۲۰۵۵۵	-۱۱/۵۷۸۲۲	۳۹۹/۷
۱۰	۲۲/۰۰۱۸۰	۰/۱۰۰۲۳	-
۱۱	۲۲/۰۰۱۸۰	۰/۱۰۰۲۳	-

جدول ۲: اطلاعات مربوط به ارتفاع خورشیدی و چندمین روز از سال که از هدر فایل تصویر استخراج گردیده است

DOY (چندمین روز از سال)	ارتفاع خورشیدی	تاریخ تصویربرداری
۱۶۶	۶۷,۸۵۶۴	۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

برای باندهای غیرحرارتی لندست ۸ مقادیر ω_{λ} در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: ضرایب وزن دار برای باندهای غیرحرارتی (Allen et al., 2002:8)

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۹
طول موج	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۸۶	۱/۶۱	۲/۲	۱/۳۷
ω_{λ}	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۰

این معیار، نسبت ادغام در کلاس‌ها را برای ما بیان می‌کند. نسبت تفکیک‌پذیری از صفر الی ۲ بیان می‌شود که صفر معادل عدم تفکیک‌پذیری در کلاس‌ها و ۲ نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری کامل کلاس‌ها است. برای اجرای طبقه‌بندی مناسب و با دقت، باید میزان تفکیک‌پذیری از ۱,۸ بالاتر باشد (مجتبی پیرنظر آرش زند کریمی، ۱۳۹۴: ۱۸۰).

نتایج دقت طبقه‌بندی تصویر و ارزیابی آن: بعد از انجام طبقه‌بندی، براساس مناطق آموزشی مرجع در نرم‌افزار ENVI 5.1 از لحاظ دقت طبقه‌بندی، محاسبه گردیدند که در جدول شماره ۵ دقت کلی و ضریب کاپا برای هر کدام از تصاویر منعکس شده است.

طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای:

طبقه‌بندی نظارت شده نیاز به اطلاعات قبلی و شناخت پدیده‌های مرتبط با داده‌ها دارد. در این روش تعدادی از پیکسل‌ها به‌عنوان معرف و نمونه انتخاب و مشخصات آن‌ها از طریق نرم‌افزار مورد استفاده به رایانه داده می‌شود. بدین طریق رایانه بقیه پیکسل‌ها را با توجه به دستورالعمل خاصی که وجود دارد، طبقه‌بندی می‌کند (علوی پناه، ۱۳۸۹: ۲۹۷).

البته باید پس از تعریف کردن مناطق تعلیمی در نرم‌افزار، از میزان تفکیک‌پذیری طبقات و مناسب بودن آن‌ها برای طبقه‌بندی اطمینان حاصل نمود. تفکیک‌پذیری، یکی از مهم‌ترین معیارها در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود، چرا که

نقشه‌ها (که به صورت دقت کلی گزارش می‌شود) و توافقی که ممکن است ناشی از همخوانی اتفاقی دو نقشه باشد، استفاده می‌شود. این شاخص سعی می‌کند تا معیار سنجش توافقی تصادفی فراهم کند (پیرنظر، زند کریمی، ۱۳۹۴: ۲۰۴).

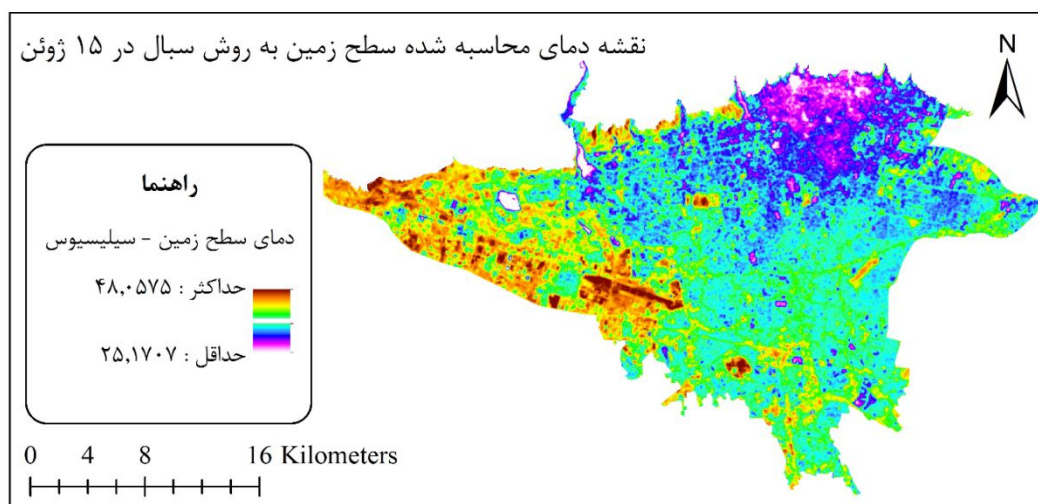
یافته‌ها و نتایج تحقیق

نتایج محاسبه دمای سطح زمین به روش سیال: در شکل ۳ نقشه دمای شهر تهران را برای تاریخ مورد نظر ارائه شده است.

جدول ۵: دقت کلی و ضریب کاپا به روش حداکثر احتمال

زمان تصویربرداری	Overall Accuracy	Kapa Coefficient
۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)	۸۹٫۸۵	۰٫۸۵

دقت کلی طبقه‌بندی بیانگر صحت کلی بین دو نقشه در تمامی منطقه، تحت یک طبقه‌بندی است. به‌طور معمول معیار معین برای حد اطمینان در سطح ۸۵ درصد طبقه تعریف می‌شود که در این پژوهش دقت کلی طبقه‌بندی که انجام شده است بالاتر از حد استاندارد است. ضریب کاپا نیز برای توافق بین ۲ نقشه، می‌باشد. کاپا که معیار مشخص تفاوت بین



شکل ۳: نقشه حرارتی شهر تهران به روش سیال در ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

زیر که توسط گارسیا کارثو و همکارانش در مقاله‌ای در سال ۲۰۰۶ ارائه شد و رابطه بین دمای سطح و دمای هوا، می‌توان به برآورد دقت کار اقدام نمود (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۷) با کمک این فرمول دمای سطح زمین به دمای هوا تبدیل شدند و سپس با دمای هوای به‌دست‌آمده از ۳ ایستگاه هواشناسی مقایسه گردیدند.

$$Ta = 14.6 + 0.44 * Ts \quad (9)$$

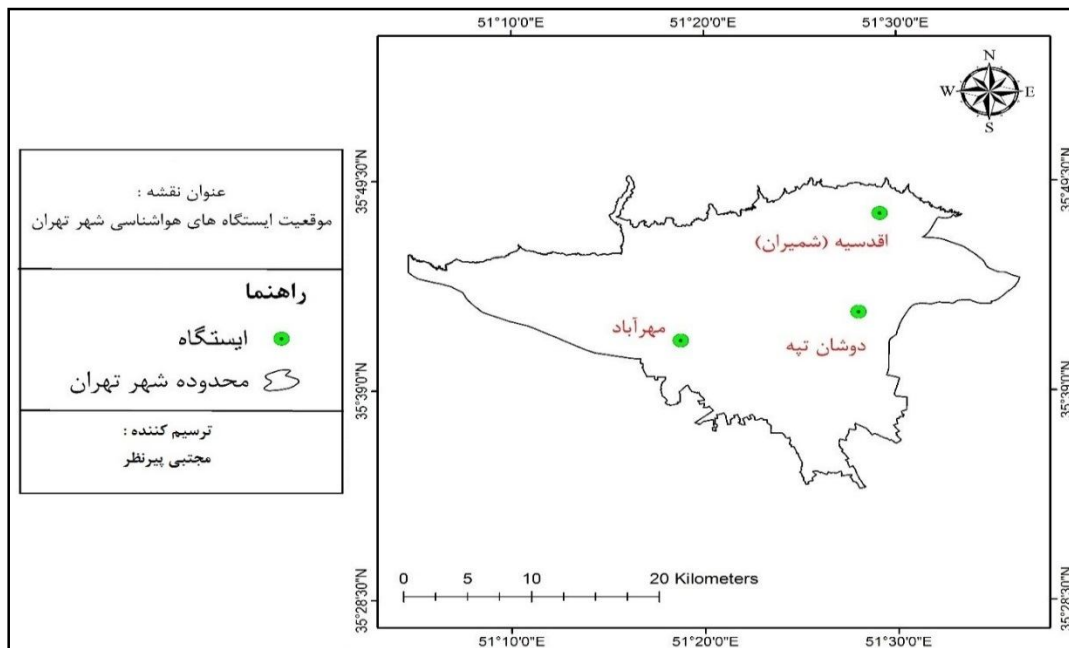
در رابطه ۹، Ta بیانگر دمای هوا و Ts بیانگر دمای تشعشعی سطح می‌باشد. در جدول ۴ نتیجه محاسبه دما آورده شده است.

اعتبار سنجی نتایج دمای سطح محاسبه شده

• داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی

برای مقایسه دمای به‌دست‌آمده از تصاویر، نیاز به داده‌های زمینی است که این داده‌ها را برای تاریخ مورد نظر از سازمان هواشناسی اخذ گردید. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.

برای ارزیابی دقت روش سیال، نتایج به‌دست‌آمده برای دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه برای ۳ نقطه که اطلاعات ایستگاهی آن موجود است، استفاده شد. با توجه به این‌که تاکنون مدل مناسبی برای استخراج دمای سطح از روی داده‌های عمق پیشنهاد نشده است؛ لذا علی‌رغم این موضوع با توجه به رابطه



شکل ۴: نقشه موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی شهر تهران

جدول ۴: دمای به دست آمده به روش سبال و ایستگاه‌های هواشناسی در تاریخ ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

ماه‌های سال	مقادیر دماهای به دست آمده	مهرآباد	اقدسیه (شمیران)	دوشان تپه	میانگین
۲۵ خرداد ۱۳۹۳ ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴	Ts-SEBAL	۴۳٫۹۹	۳۳٫۶۴	۳۵٫۸۵	
	Ta-SEBAL	۳۳٫۹۵	۲۹٫۴۰	۳۰٫۳۷	
	Ta-Station	۳۲٫۲	۳۰٫۴	۳۱٫۴	
	اختلاف Ta-SEBAL با Ta-Station	۱٫۷۵	۱	۱٫۰۳	۱٫۲۶

Ts-SEBAL: دمای سطح زمین که از روش سبال به دست آمده است.
 Ta-SEBAL: میانگین دمای هوایی می‌باشد که از روش سبال به دست آمده است.
 Ta-Station: دمایی که از ایستگاه‌های هواشناسی به دست آمده است.

است.

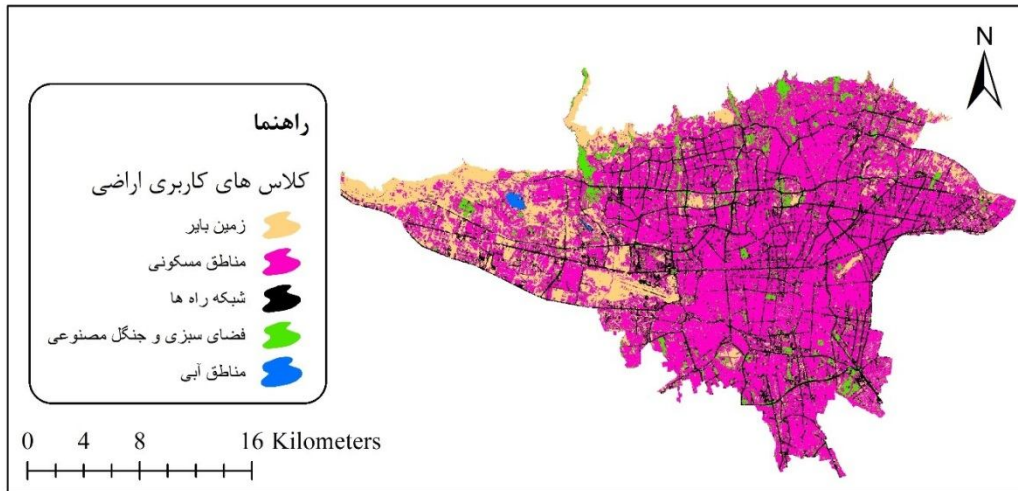
ارتباط کاربری اراضی با دمای محاسبه شده

• استخراج میانگین دمای سطح کاربری‌های

اراضی شهر تهران و ارزیابی نتایج آن

میانگین دمای سطح کاربری‌های اراضی با استفاده از توابع Zonal Statistics as table و Zonal Statistics as table محاسبه شدند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که کلاس آب دارای پایین‌ترین دمای سطح می‌باشد. سپس به ترتیب کلاس‌های فضای سبز، مناطق مسکونی، شبکه راه‌ها، زمین‌های بایر از دمای پایین به بالا مرتب می‌شوند (جدول ۶).

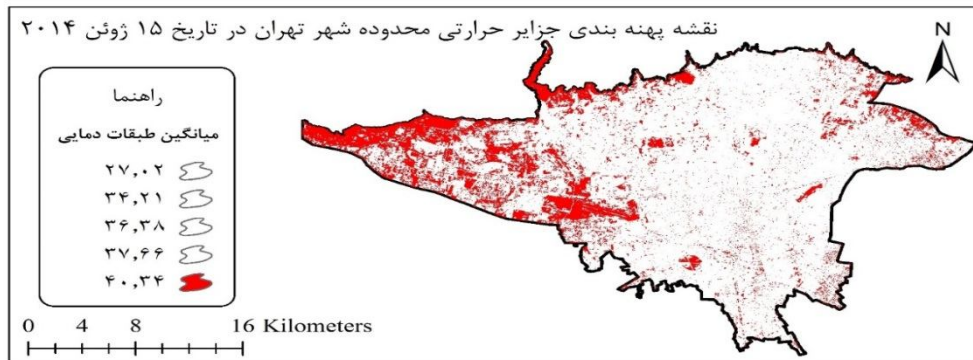
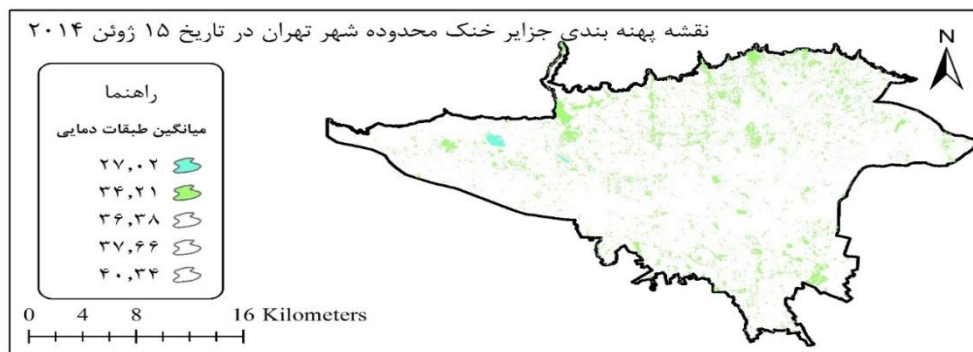
نتایج فوق نشان می‌دهد که میانگین اختلاف دمای محاسبه شده توسط روش سبال با دمای ثبت شده در ایستگاه‌ها در ۲۵ خرداد برابر با ۱/۲۶ درجه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف کمتری بین دمای محاسبه شده با دمای زمینی وجود دارد. نتایج طبقه‌بندی تصویر به منظور استخراج کلاس‌های کاربری اراضی شهر تهران: تصویر محدوده شهر تهران به کلاس‌های کاربری اراضی در پنج کلاس طبقه‌بندی شد. این کلاس‌ها عبارتند از: مناطق مسکونی، فضای سبز و جنگل مصنوعی، شبکه راه‌ها، زمین‌های بایر و مناطق آبی نتایج طبقه‌بندی تصویر محدوده شهر تهران با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایگی در شکل ۵ آورده شده



شکل ۵: تصویر طبقه‌بندی شده شهر تهران به روش نزدیک‌ترین همسایگی در ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

جدول ۶: میانگین دمای سطح کاربری اراضی

زمین‌های بایر	فضای سبز	مناطق مسکونی	شبکه راه‌ها	مناطق آبی	تاریخ تصویربرداری
۴۰,۳۴	۳۴,۲۱	۳۶,۳۸	۳۷,۶۶	۲۷,۰۲	۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)



شکل ۶: نقشه تلفیقی پهنه‌بندی جزایر خنک و حرارتی محدوده شهر تهران در تاریخ ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

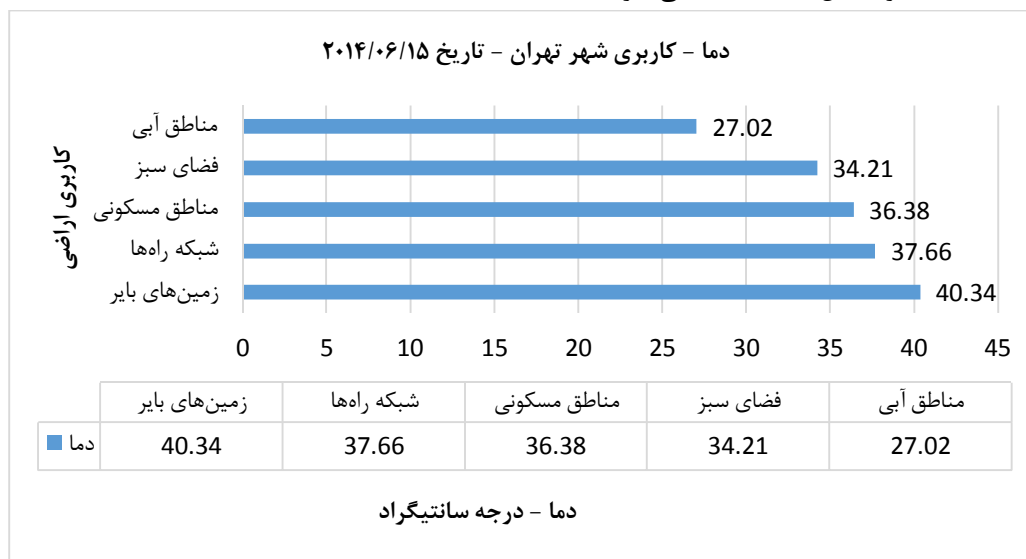
بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که دمای سطح زمین بسته به نوع کاربری آن تغییر می‌کند. در میان کاربری‌های شهری مورد بررسی، پس از کلاس آب، فضای سبز دومین کلاس خنک از لحاظ دمایی است و سپس کلاس‌های مناطق ساختمانی، شبکه راه‌ها، زمین‌های بایر به ترتیب در کلاس‌های گرم‌تر قرار می‌گیرند (شکل ۷). فضای سبز با جذب اشعه خورشیدی، آن را صرف تعرق می‌کند. مصرف گرمای خورشیدی برای تعرق گیاه به صورت گرمای نهان ظاهر می‌شود. افزایش گرمای نهان باعث کاهش گرمای محسوس شده و با توجه به این که گرمای محسوس با دمای محیط ارتباط مستقیمی دارد کاهش آن نیز موجب کاهش دمای محیط می‌گردد. بدین جهت استفاده از فضای سبز به‌عنوان یک کاربری تعدیل‌کننده اقلیم شهری ضرورت پیدا می‌کند. نتایج حاصل از این تحقیق ما را بر آن می‌دارد که با شناسایی عوامل تعدیل‌کننده دمای سطح که یکی از آن‌ها فضای سبز است در جهت مدیریت پایدار دمای سطح زمین و پایش مستمر تغییرات آن در محیط‌زیست شهری گام‌های مؤثری برداریم. به‌هرحال، این تحقیق نشان داد که شهرها نیازمند پایش دمایی بر اساس نوع کاربری هستند. هرکدام از کاربری‌ها، روش‌های اصلاحی ویژه خود را دارند.

نتایج شناسایی جزایر حرارتی شهر تهران: با توجه به نقشه‌ی حرارتی منتج شده از روش تعیین دمای سطح در این تحقیق، مناطقی که در بالاترین طبقه دمایی روش‌های مذکور قرار گرفتند جزو جزایر حرارتی شهر تهران می‌باشد که عبارتند از: زمین‌های بایر منطقه ۲۲ تهران، فرودگاه مهرآباد، ستاد نیروی هوایی جمهوری اسلامی ایران، فرودگاه قلعه مرغی قدیم (بوستان بزرگ ولایت)

نتایج شناسایی جزایر خنک شهر تهران: تولید نقشه جزایر خنک شهر تهران نشان داد که منطقه یک تهران به علت تعداد زیاد پارک، پارک جنگلی طالقانی، پارک جنگلی لویزان، پارک شقایق، پارک آبی آزادگان و دریاچه مصنوعی چیتگر دارای دمای تعدیل شده‌ای در فصل گرما هستند.

شکل ۶ جزایر حرارتی و جزایر خنک برای شهر تهران را نشان می‌دهد. این نقشه‌ها نشان داد که پراکندگی نقاط خنک و پرحرارت داخل محدوده شهر بیشتر متأثر از کاربری‌های فضای سبز و مناطق آبی و زمین‌های بایر است. از این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر کاربری زمین‌های بایر به فضای سبز می‌توان سهم کاربری تعدیل‌کننده دما را بالا برد. این کار موجب می‌شود مکان‌هایی از شهر که به خاطر وجود زمین‌های بایر تبدیل به جزیره حرارتی شده‌اند از صحنه حذف شده و تبدیل به محیط خنکی شوند.



شکل ۷: رابطه بین دما و کاربری شهر تهران در تاریخ ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴ (۲۵ خرداد ۱۳۹۳)

منابع

- ۱- پیرنظر، مجتبی. آرش زندکریمی. ۱۳۹۴. راهنمای کاربردی نرم‌افزار ENVI و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، چاپ اول، انتشارات ناقوس.
- ۲- حیدری، میرمجتبی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر فضای سبز شهری بر تغییرات دمای سطح زمین با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر تبریز). رساله کارشناسی ارشد GIS & RS. استاد راهنما: دکتر محمدحسین رضایی مقدم. خلیل ولی‌زاده کامران. دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه سنجش از دور و GIS.
- ۳- شمسی خسروشاهی، سیاوش. سلیمه عبداله‌آبادی و خلیل عمرانی. ۱۳۹۲. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش‌از‌دور حرارتی (مطالعه موردی: شهر تبریز)، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار، تهران، انجمن محیط‌زیست کومش، دانشگاه صنعت هوایی.
- ۴- دانش کار آراسته، پیمان، تجریشی، مسعود و ثقفیان، بهرام. ۱۳۸۴. تعیین دمای سطح زمین با استفاده از فناوری سنجش‌از‌دور در منطقه سیستان، آب و آبخیز.
- ۵- صادقی‌نیا، علیرضا. بهلول علیجانی و پرویز ضیائی‌ان. ۱۳۹۱. تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌از‌دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره چهارم، صص ۱-۱۷.
- ۶- علوی پناه، سیدکاظم. ۱۳۸۳. کاربرد سنجش‌از‌دور حرارتی در مطالعات محیط‌زیست، محیط‌شناسی، شماره ۳۴، ۲۹-۳۸.
- ۷- علوی پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۷. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. چاپ دوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- ۸- علوی پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۹. کاربرد سنجش‌از‌دور در علوم زمین (علوم خاک). چاپ سوم، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- ۹- ملک پور، پیمان، طالعی، محمد، رضائی، یوسف و خوش گفتار، مهدی، ۱۳۸۹. بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده سنجنده ETM، مطالعه موردی شهر تهران، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۹.
- ۱۰- میریعقوبزاده، میر حسن. محمدرضا قنبرپور. ۱۳۸۸. به‌کارگیری داده‌های سنجش‌از‌دور در برآورد دمای
- سطح اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز وردین، آذربایجان شرقی)، مجله مرتع، سال سوم، شماره ۴، ۷۲۳-۷۳۴.
- ۱۱- ولیزاده کامران، خلیل. سعید جهانبخش و مجید زاهدی. ۱۳۹۰. محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط RS, GIS در بخش مرکزی منطقه مراغه، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
- ۱۲- هاشمی، سید محمود. ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل توزیع فضایی دمای سطح (LST) و همبستگی آن با پوشش زمین و شاخص NDVI در پهنه شهری تهران. رساله کارشناسی ارشد محیط زیست. استاد راهنما: احمدرضا یاوری و دکتر سید کاظم علوی پناه. دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.
- ۱۳- یاوری، مریم. ۱۳۹۳. مطالعه جزیره حرارتی شهرستان ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای. رساله کارشناسی ارشد آب و هواشناسی استاد راهنما: علی محمدخورشیددوست. دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه آب و هواشناسی.
14. Allen, R.G., Tasumi, M. and Mors, A. 2002. Satellite-based Evapotranspiration by METRIC and Landsat for western estates water management, US Bureau Reclamation Evapotranspiration workshop.
15. Chen, Q.J., Ren, Z. and Li, C.Ni. 2009. Urban Heat Island Effect Research in Chengdu City Based on MODIS Data. In Proceedings of 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, ICBBE 2009, Beijing, China, 11-13 June, 1-5.
16. Feizizadeh, B. and Blaschke, T. 2013. Examining Urban Heat Island Relations to Land Use and Air Pollution: Multiple End member Spectral Mixture Analysis for Thermal Remote Sensing, IEEE Journal of selected topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 6 (3).
17. Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Skokovi, C.D., Mattar, C. and Cristóbal, J, 2014. Land Surface Temperature Retrieval Methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11 (10).

- Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan.
21. Schwarz, N., Lautenbach, S. and Seppelt, R. 2011. Exploring indicators for quantifying surface urban heat island of European cities with MODIS land surface temperatures, Elsevier.
22. Weng, Q. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(5): 555-566.
23. Yamashita, 1996. Detail Structure of Heat Island Phenomena from Moving Observations from Electric Trans Cars in Metropolitan Tokyo: *Atmospheric Environment*, 30, p. 429-435.
18. Owen, T.W., Carlson, T.N. and Gillies, R.R. 1998. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 1663-1681.
19. Rajeshwari, A. and Mani, N.D. 2014. Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 data, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*.
20. Rose, A.L. and Devadas, M.D. 2009. Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery a case internal city, India. *The seventh International*

Calculating the earth surface temperature and its relation to urban land cover classes by Landsat 8 data case study: Tehran city

Abstract

By development of urbanization and conversion of agricultural lands and forests to residential areas and industrial zones, the urban areas surface temperature has been increasing and thus the heat island phenomenon is created. Urban heat islands have a negative effect not only on the urban environment and its inhabitants, but also on the ecosystems that are far from it. Since, Thermal infrared remote sensing images, due to the wide coverage, are appropriate sources for mapping thermal water levels and land surface. In this study, to estimate the land surface temperature (LST), Landsat 8 satellite image TIRS and OLI bands belonging to 15 June 2014 and SEBAL algorithm was used. After the image processing, thermal maps of Tehran city were produced. The image of Tehran city was classified into five classes of land use includes: wasteland, residential areas, road network, vegetation area and water; to estimate the average temperature of each class. Then, using the thermal maps and generated land uses maps, the temperature arrangement of land use classes in Tehran were evaluated. The results showed that vegetation areas after water class, is the most cool class and can play an important role in modulating the land surface temperature and its surrounding. In the end, heat islands and cool islands in Tehran were identified and strategies for managing land surface temperature were presented.

Key words: LST, Land use, Landsat 8 images, Tehran city