

## محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه

حسن محمودزاده<sup>۱</sup>

آذر پویان جم<sup>۲</sup>

فاطمه امان زاده<sup>۳</sup>

### چکیده

وضعیت پراکندگی تابش‌های حرارتی و ارتباط آن با نوع کاربری‌های موجود در شناخت میکروکلیمای نواحی شهری دارای اهمیت زیادی می‌باشد. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم و برآورد بیلان تابش در مطالعات توازن انرژی می‌باشد. آگاهی از درجه حرارت سطح زمین جهت انجام فعالیت‌ها و مطالعات علوم زمین، از قبیل تغییرات محیط زیست جهانی و مخصوصاً آب و هوای شهری، ضروری است. در این پژوهش برای تحلیل جزایر حرارتی از تصاویر ۲۰۱۸/۷/۱۵، ۲۰۱۹/۲/۲۴ لندست ۸ با سنجنده (OLI و TIRS) و نقشه کاربری اراضی استفاده شده است. پس از اعمال پردازش روی تصاویر، برای محاسبه دمای سطح زمین از روش الگوریتم پنجره مجزا و برای طبقه‌بندی تصاویر از روش حداکثر احتمال استفاده شده است. الگوریتم پنجره مجزا یک ابزاری ریاضی است که با استفاده از اطلاعات زمینی، دمای

۱- دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

Email: hassan.mahmoudzadeh@gmail.com- Tel: 041133392256

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گرایش مطالعات شهری و روستایی، دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گرایش مطالعات شهری و روستایی، دانشگاه تبریز

روشنایی سنجنده حرارتی (TIRS)، قابلیت گسیلندگی زمین (LSE) و عامل پوشش گیاهی سبز جزء به جزء (FVC) به دست آمده از باند چند طیفی سنجنده OLI و دمای سطح زمین را برآورد می‌کند. تجزیه و تحلیل تصاویر در محیط نرم‌افزارهای ENVI 5.3 و ArcGIS 10.5 انجام گرفته است. نتایج در این پژوهش نشان داد که در فصل تابستان، پوشش گیاهی کم‌تراکم، مناطق مسکونی، گارگاهی و صنعتی با سطوح نفوذناپذیر مانند اسکلت فلزی، آسفالت-بتن و آجر-آهن دارای بیشترین درجه حرارت و در زمستان بالعکس به غیر از پوشش گیاهی کم‌تراکم، می‌باشند و در فصل تابستان و زمستان، پوشش گیاهی (فضای سبز، باغات و کشاورزی و باغ مسکونی) و مناطقی با سطوح آجر-چوب و خشت-چوب دارای کمترین درجه حرارت می‌باشند.

**واژگان کلیدی:** جزایر حرارتی، دمای سطح زمین، الگوریتم پنجره مجزا، لندست ۸، شهر ارومیه

## مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی نوظهور که ناشی از گسترش شهرنشینی است پدیده «جزیره حرارتی» است، که در آن نواحی شهری در مقایسه با حوزه‌های روستایی دارای آب‌وهوای ویژه‌ای هستند و مرکز یک شهر نسبت به مناطق اطراف خود دارای درجه حرارت‌های بالاتری می‌باشند. این پدیده هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی سطحی از بین رفته و جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها و سایر تاسیسات می‌دهند (Mousavi Baygi, 2010). پدیده جزیره حرارتی بیش از ۱۵۰ سال است که در شهرهای مختلف جهان مطالعه و ثبت شده است (Streutker, 2003)، و عموماً به همراه تغییر سطح زمین از پوشش‌های طبیعی به پوشش‌های غیر قابل رخنه به دست بشر ظاهر می‌شود. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای مهم در شناسایی آب‌وهوای شهری در نظر گرفته می‌شود که به طور مستقیم اثر جزیره گرمایی شهر را کنترل می‌کند. اخیراً در بسیاری از مطالعات منطقه‌ای، از قبیل تغییر جهانی آب‌وهوا، فرآیندهای هیدرولوژیکی و کشاورزی، و کاربری و پوشش زمین شهری و بررسی رطوبت خاک به عنوان یک عامل مهم مطرح شده است (Rozenstein, 2014).

نگرانی‌های موجود در مورد اثرات منفی شهرنشینی بر محیط زیست، ویژگی‌های مناطق شهری را به طور فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی و عمران شهری بویژه در شهرهای پرتراکم با اهمیت کرده است (Yang et al, 2013). دمای بالای حرارتی شهر، افزایش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، افزایش غلظت آلاینده‌ها، کاهش کیفیت محیط زیست در شهرها، کاهش سطح آسایش محیط داخلی و خارجی و کاهش سلامت انسان را به بار می‌آورد (Santamouris & Kolokotsa, 2016).

در گذشته مطالعه جزایر حرارتی شهری بطور سنتی با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، یا پیمایش‌های انجام شده به کمک وسایل نقلیه صورت می‌گرفت، اما امروزه برای کاهش ضعف این روش‌ها و به منظور مطالعه دقیق‌تر، از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش از دور به دلیل داشتن وضوح مکانی بیشتر نسبت به داده‌های زمینی ایستگاه‌های هواشناسی بیشتر استفاده می‌شود (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱ و علوی‌پناه، ۱۳۹۲). تصاویر سنجش از دور به دلیل پوشش وسیع، بهنگام بودن و توانایی کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس، منبع اطلاعاتی مناسبی در تهیه نقشه‌های حرارتی و تخمین انرژی تشعشی سطح زمین به شمار می‌آیند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸).

مطالعات فراوانی در رابطه با جزایر حرارتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. از پژوهش‌های داخل کشور مطالعه ولیزاده کامران و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد که دمای سطح زمین را با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در شهر ارومیه برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اراضی بایر و مراکز کارگاهی و صنعتی بیشترین میزان دما را دارند. در مقابل مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند به دلیل عمل تبخیر و تعرق، خنک‌ترین مناطق را شامل می‌شوند. عزیزمندی و همکاران (۱۳۹۵) به برآورد دمای سطح زمین شهر ارومیه با استفاده از تصاویر لندست ۸ پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق نشان داد که درجه حرارت سطح زمین در بازه ۲۰ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد است و ارزیابی آن بیانگر این است که محیط‌های آبی، پوشش گیاهی، سطح خاکی و سنگی دارای کمترین درجه حرارت و کاربری‌های صنعتی و کارگاهی دارای بیشترین درجه حرارت می‌باشند. احمدی و فرهمند (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان واکاوی تغییرات مکانی

هسته‌های جزایر حرارتی شهر ارومیه به این نتیجه دست یافتند که کمینه و بیشینه دمای شهر ارومیه طی سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند صعودی داشته و این افزایش دمایی در زمین‌های بایر شهر به مراتب چشمگیرتر می‌باشد و همچنین در مناطق شمال شهر، غرب شهر و قسمت مرکزی شهر تغییرات مکانی هسته‌ی جزیره حرارتی صورت می‌گیرد. قربان‌نیا خبیری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی رابطه‌ی بین دمای سطح زمین و پوشش زمین مرتبط با الگوهای کاربری اراضی و پوشش زمین شهرستان دنا پرداخته‌اند. در این راستا از روش الگوریتم پنجره مجزا و داده‌های ماهواره لندست ۸ استفاده نمودند. براساس یافته‌های تحقیق، کاربری مرتع و مناطق مسکونی دارای بیشترین و کمترین مساحت در شهرستان دنا بودند. همچنین بین NDVI و LST در کل شهرستان دنا و کاربری مرتع رابطه مثبت و معنی‌دار وجود داشت و در سایر کاربری‌های جنگل، زراعت و باغ و مناطق مسکونی رابطه معنی‌داری یافت نشد. ولیزاده کامران و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره شهر زنجان پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان داد که موثرترین عامل در ایجاد جزایر حرارتی به ترتیب لایه شیب دارای بیشترین اهمیت و لایه‌های جهت، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع در الویت‌های بعدی قرار دارند. (محمودزاده و همکاران ۱۳۹۷) در مطالعه‌ای تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهر مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که منطقه ۶ بیشترین دما و کمترین فضای سبز و منطقه ۱۲ کمترین دما و بیشترین فضای سبز را دارا می‌باشد.

از جمله تحقیقات انجام شده در خارج از کشور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر لندست TM به بررسی ارتباط بین NDVI (شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده) و دمای تابشی سطح زمین (SRT) در شهر ووهان (Wuhan) چین پرداخته و ارتباط منفی آشکار بین NDVI و دمای سطحی را نشان داده‌اند. بر اساس این پژوهش شدت زیاد جزیره گرمایی منطبق با مناطق صنعتی و

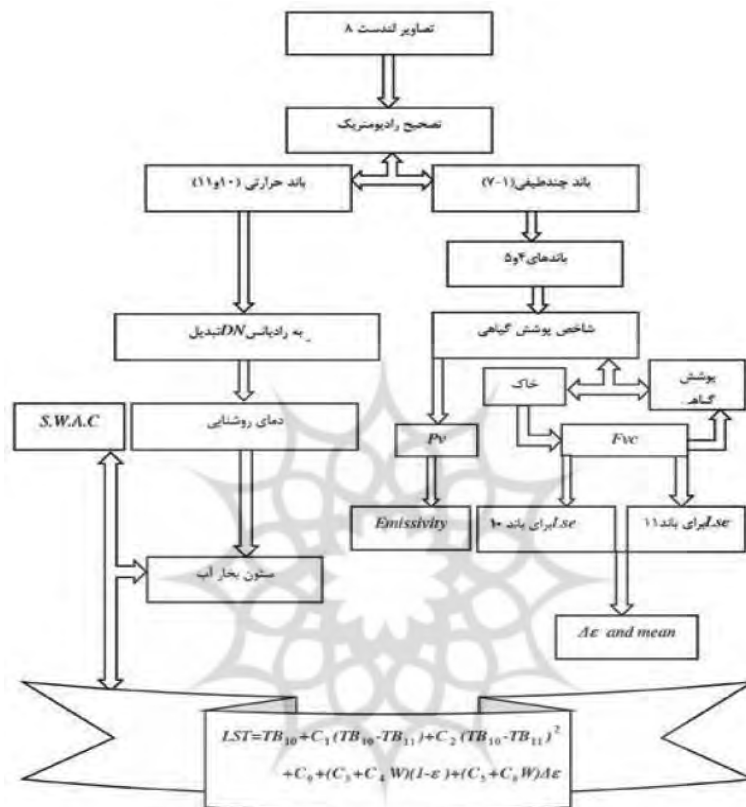
بازرگانی بوده و فضاهای سبز و آبی نقش مجزایی در تقسیم و کاهش اثر جزیره گرمایی داشته‌اند. فیضی زاده و بلاسچک ۱ (۲۰۱۳) در مقاله خود به محاسبه‌ی دمای سطح زمین برای شهر مراغه به روش سبال پرداخته‌اند. که نتایج نشان داد بین دمای سطح محاسبه شده و اندازه‌گیری شده زمین ۱/۶ درصد اختلاف وجود دارد، و همچنین رابطه‌ی بسیار قوی بین دمای سطح زمین و کاربری اراضی و پوشش گیاهی وجود دارد و مناطق با پوشش گیاهی انبوه دمای سطح کمتری نشان می‌دهد. جیمenez ۲ (۲۰۱۴) دو الگوریتم اسپلیت ویندو و روش تک باند را برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین با استفاده از تصویر حرارتی لندست 8 بکار برد. نتایج تحقیق بیانگر این مطلب است که خطای متوسط برای هر دو الگوریتم پایین‌تر از ۱/۵ درجه کلون می‌باشد و در شرایط افزایش ظرفیت بخار آب جو روش اسپلیت ویندو نتیجه بهتری را در مقایسه با تک باند ارائه داده است.

بسیاری از روش‌های بازایی دمای سطح زمین از اطلاعات سنجش از دوری ارائه شده توسط چند کانال مادون قرمز داده‌های حرارتی استفاده می‌کنند و این روش را می‌توان تقریباً به سه گروه تقسیم کرد: الگوریتم تک کانال، الگوریتم چندکانال به عنوان مثال، الگوریتم پنجره مجزا و روش چند زمانه. در میان این روش‌ها، رایج‌ترین روش، الگوریتم پنجره مجزا است که با استفاده از اطلاعات زمینی، اطلاعات دمای روشنایی سنسور حرارتی (TIRS)، قابلیت انتشار سطح زمین (LSE) و عامل پوشش گیاهی جزء به جزء (FVC) به دست آمده از باند چند طیفی OLI محاسبه دمای سطح زمین را فراهم می‌آورد (Latif, 2014).

---

1 Feizizadeh & Blaschke

2 Jiménez



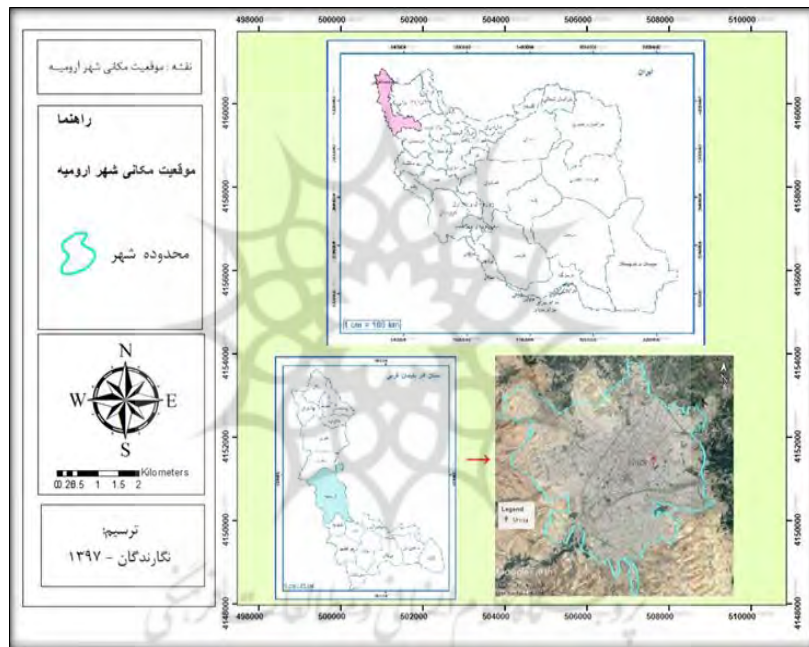
شکل ۱- نمودار روش کار (ماخذ: نگارندگان)

## داده‌ها و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

ارومیه یکی از بزرگ‌ترین شهرهای شمال غرب کشور و در تقسیمات سیاسی کشور یکی از کلان شهرهای ایران است. این شهر در موقعیت ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۰۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهر طبق سرشماری سال ۹۵ با ۷۳۶،۲۲۴ نفر جمعیت، دهمین شهر

پرجمعیت ایران و دومین شهر پرجمعیت منطقه شمال غرب ایران به شمار می‌آید. شهر ارومیه در جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و به عرض ۳۰ کیلومتر در کنار دریاچه ارومیه گسترده شده است. این شهر از شمال به شهر سلماس، از جنوب به اشنویه و نقده، از غرب به دریاچه ارومیه و از شرق به کشور ترکیه متصل است. مساحت این شهر بالغ بر ۸۴ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع شهر ارومیه از سطح دریا ۱۳۳۲ متر است.



شکل ۲- تصویر موقعیت جغرافیایی شهر ارومیه (ماخذ: نگارندگان)

### داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش تصاویر

داده‌های این پژوهش به وسیله ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱۸/۷/۱۵ و ۲۰۱۹/۲/۲۴ اخذ، و نیز از نقشه کاربری اراضی برای استخراج پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده شد.

به منظور کنترل کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای هندسی و رادیومتریکی، داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. با توجه به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج آشکارسازی تغییرات، تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. قبل از شروع پردازش‌ها، با توجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، تصحیح هندسی به روش ثبت تصویر به نقشه انجام شد. سپس با توجه به اهمیت تاثیر اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی بررسی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح، تمام تصاویر با استفاده از الگوریتم تصحیح اتمسفری FLAASH تصحیح شدند. این الگوریتم از مدل عبور اتمسفری MODTRA برای تصحیح اتمسفری استفاده می‌کند که اطلاعاتی جانبی مانند زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی منطقه، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری منطقه را به کار می‌برد. همچنین فلش اولین ابزار تصحیح اتمسفری می‌باشد که طول موج قابل رؤیت و طول موج‌های مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک تا ۳ میکرومتر را تصحیح می‌کند. در روش فلش از Meta Deta برای تصحیح باندهای مورد نظر که شامل باندهای چند طیفی و باندهای حرارتی است، استفاده شده که برای باندهای چند طیفی عملیات رادیانس و ریفلیکت انجام گرفته ولی برای باندهای حرارتی فقط عملیات رادیانس انجام شد.

این روش تنها برای باندهای چند طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد و سپس برای نرمالیزه کردن باندهای مورد نظر بین ۰-۱ از رابطه (۱) استفاده شد ( فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

رابطه (۱)

$$b^1 = \frac{Le - 0}{10000} + \frac{Ge - 10000}{10000} \text{ and } b^1 = \frac{Lt - 10000}{10000}$$

بعد از اینکه تصاویر از لحاظ انجام عملیات پیش پردازش آماده شدند. در ادامه به منظور اجرای عملیات برآورد دمای سطح زمین با استفاده از روش پنجره مجزا مراحل زیر به صورت گام به گام انجام گرفت.

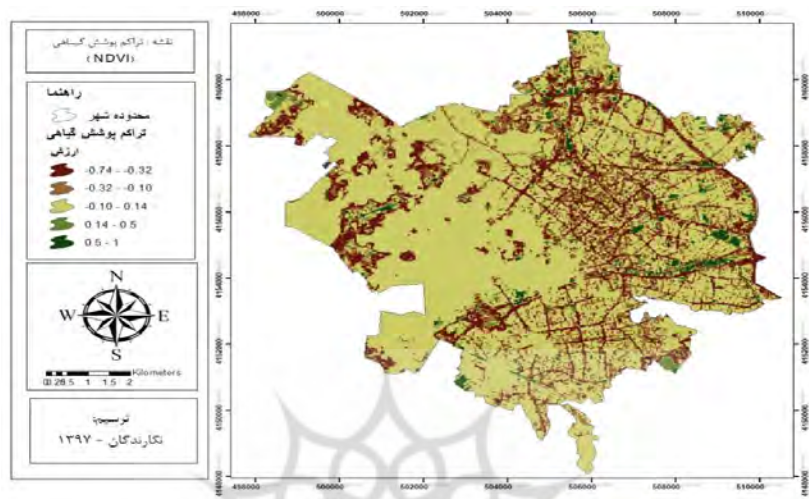


### برآورد شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

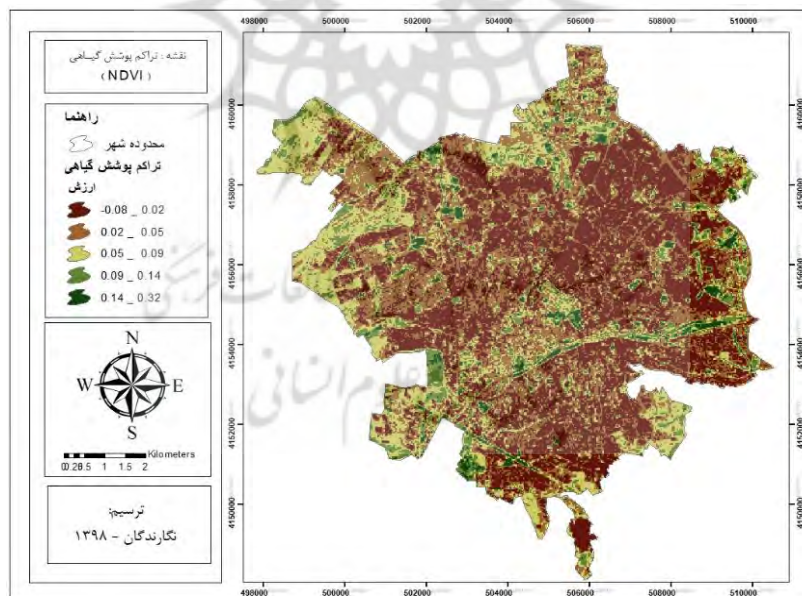
با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می‌گذرد، در نتیجه می‌توان آن را بعنوان یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین (LST) به حساب آورد. این شاخص از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (فیضی زاده و همکاران، ۱۳۹۵). این شاخص فرآیند محاسباتی ساده‌ای دارد و در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک است، به گونه‌ای که بیشترین حساسیت را به تغییر پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه‌ای خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد (Kogan, 1993). فرض این روش این است که NDVI در طول روز برای هر پیکسل ثابت است. اما رطوبت و اثر باران توان تشعشعی را تغییر می‌دهد. بنابراین بیشترین مقدار NDVI در طول روز برای تمام مدت روز در محاسبه توان تشعشعی برای هر پیکسل به کار می‌رود. برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باندهای قرمز (۴) و مادون قرمز (۵) تصاویر لندست ۸ استفاده می‌شود. فرمول محاسبه شاخص پوشش گیاهی مطابق رابطه (۲) است.

$$NDVI \equiv \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{رابطه (۲)}$$

حد بالایی و پایینی ارزش عددی شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ است. که مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده‌ی تراکم پوشش گیاهی می‌باشد و مقادیر پایین آن مربوط به خاک آب و ابر است.



شکل ۳- نقشه شاخص پوشش گیاهی شهر ارومیه تابستان ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)



شکل ۴- نقشه شاخص پوشش گیاهی شهر ارومیه زمستان ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)

### برآورد کسر پوشش گیاهی (FVC)

پوشش گیاهی سبز جزء به جزء (FVC) یکی از پارامترهایی است که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی محیط زیست و تغییرات آب و هوای کاربرد دارد. یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC شامل ترکیبی غیر خطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجش از دور شامل: خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. خواص طیفی از این دو عنصر معمولاً به صورت‌های مختلف برآورد می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی، برآورد منابع داده‌های اضافی (به عنوان مثال، پایگاه داده خاک و یا نقشه‌های پوشش اراضی)، و یا به طور مستقیم از تصاویر استخراج شده است (Johnson, 2012). الگوریتم وابسته به یک تجزیه و تحلیل روش بهینه سازی مخلوط طیفی (SMA) بر اساس قضیه پوشش گیاهی، همراه با استفاده از استاندارد SMA، برای بهبود درک از تاثیرپذیری دو عنصر در اشتقاق از بخش پوشش گیاهی زیر پیکسل‌ها در مقیاس جهانی است (Garcia et al, 2005).

برآورد کسری پوشش گیاهی از طریق رابطه (۳) محاسبه شد.

$$FVC \cong \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

NDVI = ارزش پیکسل‌ها در شاخص

NDVI<sub>max</sub> و NDVI<sub>min</sub> = حداقل و حداکثر ارزش پیکسل‌ها در شاخص

### برآورد قابلیت انتشار (Emissivity)

اجسام با درجه حرارت بالاتر از صفر مطلق، تشعشعات الکترومغناطیسی از خود ساطع می‌کنند و به این تشعشعات، شار تابشی گفته می‌شود. در یک جسم تیره تمام درجه حرارت جذب شده منتشر شده و قدرت انتشار انرژی یک ماده واقعی نسبت به یک جسم سیاه را گسیلندگی می‌گویند. شار تابشی توسط فاکتورهایی همچون مقدار آب، ترکیب شیمیایی و ناهمواری‌های سطحی کنترل می‌شود. همچنین شار تابشی برای پوشش گیاهی به نوع گیاه و چگالی منطقه بستگی دارد و مقدار کمیت آن بین صفر تا یک متغیر است. قابلیت انتشار

اجسام وابسته طول موج است. یعنی هنگامی که قابلیت انتشار انرژی از اجسام واقعی در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری شود، مقادیر متفاوتی حاصل خواهد شد (فیضی‌زاده و هکاران، ۱۳۹۵).

قابلیت انتشار برخی از مواد طبیعی در محدوده طول موج ۸-۱۲ میکرومتر که در سنجش از دور کاربرد زیادی دارند دیده می‌شود (Buettner & Ken, 1965). وند گریند و اوو در سال ۱۹۹۳ رابطه بین شار تابشی و شاخص پوشش گیاهی را بدست آوردند. مقدار قابلیت انتشار اجسام با استفاده از شاخص پوشش گیاهی از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$E = 0.004 FVC + 0.986 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$E$  = قابلیت انتشار اجسام

برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE)

یکی دیگر از معیارهایی که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری می‌باشد برآورد قابلیت انتشار در سطح زمین است. که این معیار بصورت جداگانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ برای گیاه و خاک محاسبه شد.

LSE با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد (فیضی‌زاده و هکاران، ۱۳۹۵).

$$LSE \cong E^S (10 FVC) \cdot E^V - FVC \quad \text{رابطه (۵)}$$

$LSE$  = قابلیت انتشار سطح زمین

$E^{S0V}$  = انتشار گیاه و خاک برای باندهای حرارتی طبق جدول شماره ۱

$FVC$  = نسبت پوشش گیاهی

جدول ۱ Emissivity خاک و گیاه

Emissivity	B10	B11
$E^S$	0/971	<b>0/977</b>
$E^V$	0/987	<b>0/989</b>

بعد از محاسبه کردن LSE برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین این دو باند با استفاده از رابطه (۶) و (۷) محاسبه شد.

$$E \cong (E^{10} \text{ و } E^{11}) / 2 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\Gamma E \cong (E^{10} \text{ و } E^{11}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$E$  = میانگین قابلیت انتشار سطح زمین

$\Gamma E$  = اختلاف قابلیت انتشار سطح زمین برای باندهای ۱۰ و ۱۱

اما کاربرد باندهای حرارتی بیشتر در این مراحل نمود پیدا می‌کند که ابتدا نیاز به انجام رادیانس باندهای حرارتی تصویر لندست ۸ می‌باشد که برای این امر می‌توان از رابطه (۸) استفاده کرد.

$$L_Y \cong M_L Q_{cal} \cdot A_L \quad \text{رابطه (۸)}$$

$L_Y$  = رادیانس طیفی بالای اتمسفر

$M_L$  = ضریب تبدیل که از متادیتا خارج می‌شود

$A_L$  = ضریب تبدیل که از متادیتا خارج می‌شود

$Q_{cal}$  = ارزش رقومی باند خام (DN)

### برآورد دمای روشنایی ماهواره (Brightness Temperature)

داده‌های باند حرارتی را می‌توان با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد. که این امر با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$TB \cong \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_o} + 1\right)} - 0.273.15 \quad \text{رابطه (۹)}$$

TB = دمای روشنایی ماهواره برحسب کلوین

K2-K1 = ثابت حرارتی برای هر دو باند حرارتی موجود در میتادیتا که در جدول ۱ نشان داده شده است.

$$L_o = \text{رادینانس طیفی لایه‌ی بالای اتمسفر بر حسب } \pi m^{01} Sr^{01} WM^{02}$$

جدول ۲- ضرایب K2-K1

	باند ۱۰	باند ۱۱
<b>K1</b>	۷۷۴/۸۸	۴۸۰/۸۸
<b>K2</b>	۱۳۲۱/۰۷	۱۲۰۱/۱۴

### برآورد ستون بخار آب (CWV)

ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند، که با رابطه (۱۰) قابل محاسبه می‌باشد.  $C^0$   $0C^2$  ضرایب ثابت به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده هستند (ولی‌زاده و همکاران و هکاران، ۱۳۹۶).

$$CWV \cong C^0 \cdot C^1 - (T^j / T^i) \cdot C^2 (T^j / T^i)^2 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$T^j / T^i = \text{میانگین دمای روشنایی}$$

$$0.183 = C^2, \quad 1.378 = C^1, \quad -0.268 = C^0$$

### الگوریتم Split-Window

این الگوریتم از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین به حساب می‌آید که نسبت به سایر روش‌ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار است. از ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوی است. با توجه به اینکه این الگوریتم به اطلاعات دقیق در مورد پروفیل جوی در طول کسب ماهواره‌ای نیاز ندارد، بنابراین به طور گسترده در بازیابی قابلیت انتشار سطح زمین از چند سنسور استفاده می‌کند. سنجنده‌های مورد استفاده در این الگوریتم شامل سنجنده چند طیفی Multi Spectral و سنجنده حرارتی TIRS می‌باشد. با توجه به در دسترس نبودن یک پایگاه داده برای اندازه‌گیری قابلیت انتشار سطح زمین با تصاویر ماهواره لندست ۸، ضرایب C از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین مطابق جدول (۳) به دست آمد (فیضی‌زاده و هکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۳- ضرایب الگوریتم Split-Window

ضرایب ثابت	ارزش‌ها
$C_0$	-0.268
$C_1$	1.378
$C_2$	0.183
$C_3$	54.300
$C_4$	-2.238
$C_5$	-129.200
$C_6$	16.400

با به دست آمدن ضرایب بالا تمام مجهولات موجود در فرمول محاسبه دمای سطح زمین به دست آمد و با جایگزین کردن مقادیر، دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۱۱) فراهم آمد (فیضی‌زاده و هکاران، ۱۳۹۴).

رابطه (۱۱)

$$LST \cong TB^{10} \cdot C^1 (TB^{10} 0TB^{11}) \cdot C^2 (TB^{10} 0TB^{11})^2 \cdot C^0 \cdot (C^3 \cdot C^4 W)(10E) \cdot (C^5 \cdot C^6 W) \Gamma E$$

$$TB^{10} = TB^{10} \text{ دمای روشنایی}$$

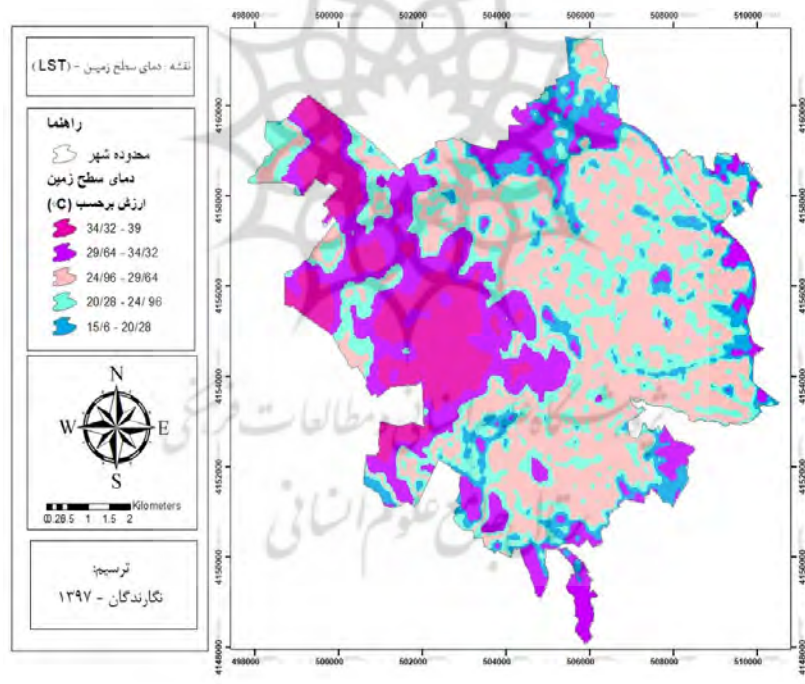
$$C^6 = C^6 \text{ ضرایب الگوریتم}$$

$$W = \text{ستون بخار آب}$$

$$\Gamma E = \text{اختلاف قابلیت انتشار سطح زمین}$$

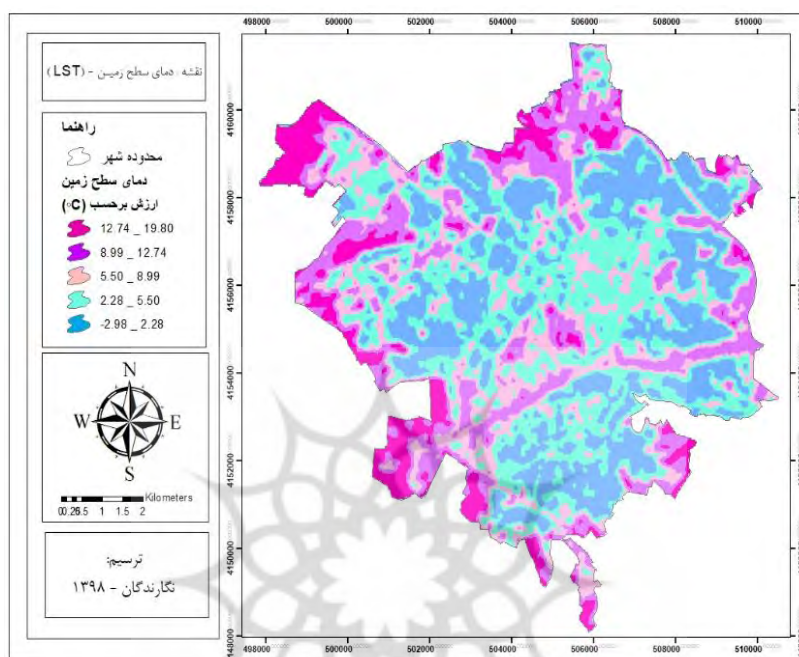
### نتایج و بحث

تصویر حرارتی منطقه مربوط به سال‌های ۱۳۹۷/۴/۲۴، ۱۳۹۷/۱۲/۵ استخراج و پس از طبقه‌بندی تصاویر به ۵ کلاس، نقشه حرارتی سطح زمین به دست آمد.



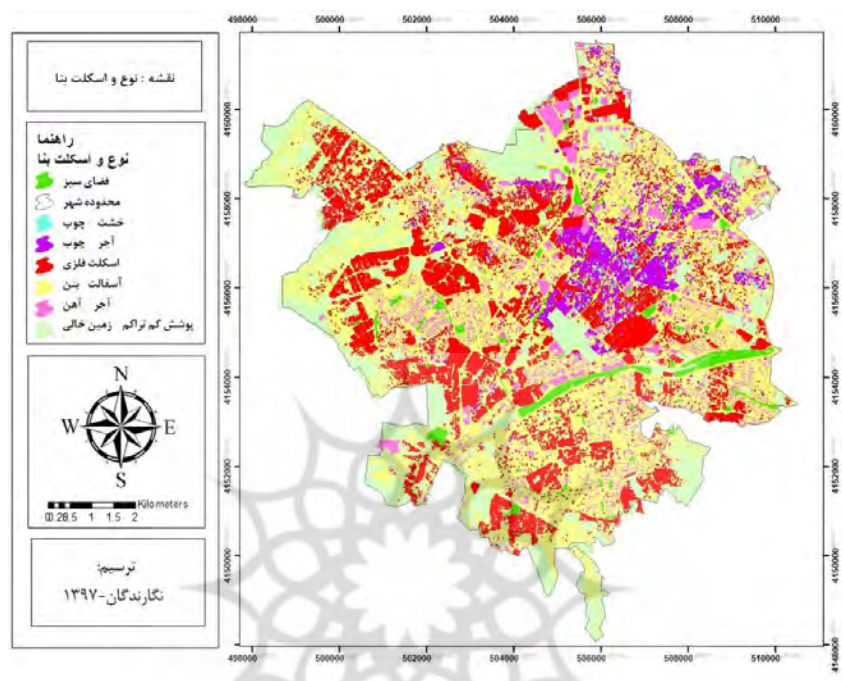
شکل ۵- نقشه دمای سطح زمین شهر ارومیه تابستان ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)





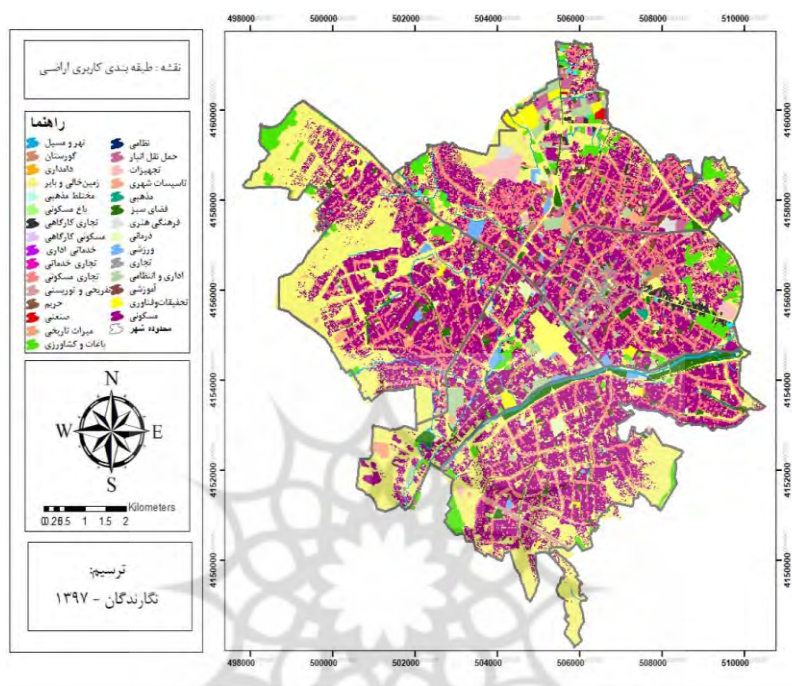
شکل ۶- نقشه دمای سطح زمین شهر ارومیه زمستان ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)

با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال نقشه طبقه‌بندی نوع و اسکلت بنا و نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۷ به دست آمد. در این روش طبقه‌بندی، هر پیکسل به کلاسی انتصاب داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق به آن را دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). در واقع در این روش از واریانس و کواریانس کلاس‌ها استفاده می‌شود و هر پیکسل تصویر به کلاسی که بیشترین شباهت را با آن دارد اختصاص داده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۹۲).



شکل ۷- نقشه نوع و اسکلت بنا شهر ارومیه سال ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)

با توجه به شکل (۷) مشخص گردید که در فصل تابستان بین نوع و اسکلت بنا به ترتیب اسکلت فلزی، آسفالت - بتن و آجر-آهن بیشترین دما را دارند و در نتیجه در روند افزایش دمای سطح زمین و ایجاد جزایر حرارتی بیشترین تاثیر را دارند در حالی که دمای سطح زمین در فصل زمستان نشان داد که از روند این افزایش کاسته شده است. آجر-چوب و خشت-چوب کمترین دما را در دو فصل تابستان و زمستان دارند که تاثیر زیادی در کاهش دمای سطح زمین دارند.



شکل ۸- نقشه طبقه بندی کاربری اراضی شهر ارومیه سال ۱۳۹۷ (ماخذ: نگارندگان)

با توجه به شکل (۸) که نقشه طبقه بندی کاربری شهر ارومیه را نشان می دهد می توان مشاهده کرد که زمین خالی و بایر حاشیه شهر در هر دو فصل تابستان و زمستان به علت عدم وجود پوشش گیاهی و جذب و نگهداری انرژی خورشیدی نقش موثری در افزایش دمای این مناطق داشته اند. همچنین در فصل تابستان کاربری های مسکونی، کارگاهی، صنعتی مستقر در شهر باعث به وجود آمدن مناطقی با گرمایش بیشتر از محیط اطراف شده اند و مناطق دارای حداکثر دما را به وجود آورده اند در حالی که در فصل زمستان با توجه به نتایج به دست آمده دمای این کاربری ها رو به کاهش است. در مقابل مناطق دارای پوشش گیاهی (فضای سبز، باغات و کشاورزی و باغ مسکونی) به علت تبخیر و تعرق، نقش تعدیل کننده دما را داشته اند و مناطق دارای حداقل دما را در هر دو فصل، به وجود آورده اند.

با توجه به اشکال (۷) و (۸) مشاهده می‌کنیم که اراضی فاقد پوشش گیاهی و بایر نسبت به سایر کاربری‌ها دارای دمای بیشتری است. به دلیل اینکه در طول روز سطح خاک خشک بیشتر از سطح خاک مرطوب گرم‌تر می‌شود و چون گرمای ویژه آب بیشتر از خاک است در نتیجه دمای اراضی فاقد پوشش گیاهی و بایر بیشتر می‌شود. همچنین وجود کاربری‌ها و سطوح نفوذناپذیر مانند اسکلت فلزی، آسفالت-بتن، آجر-آهن، پوشش گیاهی کم در مناطق مسکونی، گارگاهی و صنعتی شهر باعث ایجاد جزیره حرارتی شده است، از طرفی تاثیر پوشش گیاهی در کاهش دمای سطح زمین مشهود است. اراضی باغ و فضای سبز به دلیل وجود آب و فعالیت بیولوژیکی در مقایسه با خاک لخت دمای کمتری دارند در نتیجه اثر این اراضی بر جزیره حرارتی کمتر و یا قابل چشم‌پوشی می‌باشد. بنابراین با توجه به نقشه‌های (۵ و ۶) بطور کلی می‌توان گفت که با افزایش سطوح بایر و خاک، دما در هردو فصل تابستان و زمستان افزایش یافته و با افزایش پوشش گیاهی دما در این دو فصل تابستان و زمستان رو به کاهش است. از طرف دیگر کاربری‌ها و سطوح نفوذناپذیر در فصل تابستان دمای بالایی را به خود اختصاص می‌دهند در حالی که در فصل زمستان با توجه به نتایج به دست آمده دمای این کاربری‌ها کاهش یافته است.

### نتیجه‌گیری

دمای سطح زمین از جمله فاکتورهای اصلی در مطالعه شهرهاست. چرا که تنها دو یا سه درجه با دمای هوای لایه‌های پایینی اتمسفر شهری که مرکز موازنه انرژی سطح است و تعیین کننده اقلیم میان ساختمان‌ها و موثر بر آسایش ساکنین شهری است اختلاف دارد. در این پژوهش ابتدا پردازش‌های مقدماتی از جمله تصحیحات رادیومتریکی، اتمسفری و هندسی انجام شد و سپس رادیانس بالای اتمسفر به تابش سطح زمین تبدیل شد و در مرحله بعد با محاسبه شاخص پوشش گیاهی، شاخص کسر پوشش گیاهی، توان تشعشعی و ستون بخار آب، دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به دست آمد. نتایج حاصل از تصاویر حرارتی استخراج شده نشان داد که حداکثر دما در فصل تابستان مربوط به پوشش گیاهی کم‌تراکم، مناطق مسکونی، گارگاهی، صنعتی، اسکلت فلزی آسفالت - بتن و آجر- آهن می‌باشد در حالی که در فصل زمستان به غیر از

پوشش گیاهی سایر کاربری‌ها با افت دما مواجه بوده‌اند. حداقل دما نیز در فضای سبز، آجر-چوب و خشت-چوب در هر دو فصل تابستان و زمستان قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به پیشینه تحقیق درمی‌یابیم که در داخل و خارج از ایران تحقیقات بسیاری در رابطه با بررسی پدیده جزیره حرارتی به شیوه‌های متفاوتی صورت گرفته که محور اصلی آن‌ها استفاده از داده‌های سنجش از دور جهت برآورد دمای سطح زمین بوده است. نتایج مطالعات محققانی از جمله عزیزمندی و همکاران (۱۳۹۵)، ولیزاده کامران و همکاران (۱۳۹۶)، فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۳) و جیمنز (۲۰۱۴) نشان داد که ارتباط تنگاتنگی بین دمای سطح زمین و حرارت وجود دارد و به تبع آن تأثیرات کاربری اراضی شهری و پوشش گیاهی متفاوت می‌باشند. نتایج این تحقیق برای برنامه‌ریزان و کارشناسان در سطح منطقه برای کسب اطلاعات از وضعیت دمای سطح زمین و ارتباط آنها با کاربری اراضی می‌تواند راهگشای تصمیمات مدیریتی برای حفاظت از منابع طبیعی و کشاورزی باشد پیشنهاد می‌گردد با توجه به نقش تعدیل‌کننده پوشش گیاهی، زمین خالی و بایر به کاربری‌هایی نظیر پارکها و فضای سبز تغییر داده شود و در مکانیابی سایر کاربری‌ها علل خصوص مناطق مسکونی و صنعتی و کارگاهی به این مهم توجه گردد، و دمای سطح ساختمان‌ها که بیشترین سطح شهر را به خود اختصاص داده‌اند و دارای بیشترین میزان بازتاب تابشی می‌باشند را می‌توان با استفاده از کاشت پوشش گیاهی در بام ساختمان‌ها که به بام سبز معروفند، کاهش داد. همچنین جهت تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با رزولوشن بالا پیشنهاد می‌گردد.

## منابع

- احمدی، محمود؛ فرهمند، قاسم. (۱۳۹۶). واکوی تغییرات مکانی هسته‌های جزایر حرارتی شهر ارومیه از سال (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵). *مطالعات عمران شهری*، شماره ۱، ۶۰-۳۷.
- شکبیا، علیرضا؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود؛ نامداری، سودابه. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM و TM. *مجله سنجش از دور و GIS*، تهران، سال ۱، شماره ۱، ۵۶-۳۹.
- صادقی‌نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائیان، پرویز. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی- زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، سال ۱، شماره ۴، ۱۷-۱.
- عزیزمندی، کیوان؛ قراباغی، فرهاد؛ گلیکانلومیلان، محمد. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین شهر ارومیه با استفاده از تصاویر لندست ۸. *دومین کنگره بین‌المللی علوم زمینی و توسعه شهری*، تبریز، شرکت کیان طرح دانش، پژوهشکده جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی، شماره ۱۸۶.
- علوی‌پناه، کاظم. (۱۳۹۲). *کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)*. چاپ ۴. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵-۵۴.
- فاطمی، سیدباقر؛ رضایی، یوسف. (۱۳۸۹). *مبانی سنجش از دور*، انتشارات آزاد، چاپ دوم.
- فیضی زاده، بختیار؛ دیده بان، خلیل؛ غلام نیا، خلیل. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد). *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، سال ۲۵، شماره ۹۸، ۱۸۱-۱۷۱.
- قربان نیا خیبری، وجیهه؛ میرسنجری، میرمهرداد؛ لیاقتی، هومان؛ آرمین، محسن. (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین کاربری اراضی و پوشش زمین شهرستان دنا با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و داده‌های ماهواره لندست ۸. *فصلنامه علوم محیطی*، سال ۱۵، شماره ۲، ۷۴-۵۵.
- محمودزاده، حسن؛ نقدبیشتی، افسانه؛ مومنی، سحر. (۱۳۹۷). تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، سال ۷، شماره ۲۷.

- ولیزاده کامران، خلیل؛ رحیم پور، توحید؛ نخسین روحی، مهسا. (۱۳۹۴). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی: شهر ارومیه)، اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، شماره ۴۳۹.
- ولیزاده کامران، خلیل؛ غلام‌نیا، خلیل؛ عینالی، گلزار؛ موسوی، سید محمد. (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ۸، شماره ۳۰، ۵۰-۳۶.
- Buettner, K. J., & Kern, C. D. (1965). The determination of infrared emissivities of terrestrial surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 70(6), 1329-1337.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2012, July). Thermal remote sensing for land surface temperature monitoring: Maraqeh County, Iran. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International* (pp. 2217-2220). IEEE.
- García-Haro, F. J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J., & Martínez, B. (2005, September). Operational derivation of vegetation products in the framework of the LSA SAF project. In *Proceedings of 2005 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, Croatia* (pp. 19-23).
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843.
- Johnson, B., Tateishi, R., & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634. García-Haro, F.J., F. Camacho-de Coca, J. Meliá, B.
- Kogan, F. (1993, August). United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. Better Understanding of Earth Environment., International* (pp. 197-199). IEEE.

- Latif, M. S. (2014). Land Surface Temperature Retrieval of Landsat-8 Data Using Split Window Algorithm-A Case Study of Ranchi District. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(4), 2840-3849.
- Mousavi Baygi, M., Ashraf, B., & Mianabady, A. (2010). The investigation of Tehran's heat island by using the surface ozone and temperature data. *Intenational journal of applied environmental sciences*, 5.
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768-5780.
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (Eds.). (2016). *Urban climate mitigation techniques*. Routledge.
- Streutker, D. R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 282-289.
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, 60, 93-104.
- Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D., & Jiang, P. (2012). Study on urban heat island effect based on Normalized Difference Vegetated Index: a case study of Wuhan City. *Procedia environmental sciences*, 13, 574-581.