



Assessing the impact of urban and rural development and land use changes on urban and rural surface temperatures (LST) using Landsat images from 2003 to 2023, case study area of Aslando Township

Lotfollah Maleki Masoomabad^{1*}, Maryam Mohammadzadeh shisheh Garan²

1. Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. PhD student in Geography and Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received Date: 12 July 2025 Accepted Date: 28 October 2025

Abstract

Background and Objective: Land surface temperature is a fundamental indicator in monitoring energy balance models at the land surface at regional and global scales. Given the limitations of meteorological stations, remote sensing can be a suitable alternative for estimating land surface temperature. The main objective of this research is to monitor land surface temperature and land use changes and urban development using satellite images from 2003 and 2023. The results of the 20-year land use map showed that very visible urban development was observed throughout the entire Aslando Township. If this development is done with minimizing damage to the environment and forests, it will be very positive.

Methodology: In this study, Landsat satellite images from 2003 and 2023 were used to investigate and assess the feasibility of using solar radiation energy. ENVI software was used to perform calculations using ArcGIS software to prepare maps. One of the applications of thermal images is to prepare thermal maps to determine isothermal zones.

Results and Findings: The results of the LST map showed that the land surface temperature in Aslando Township has increased significantly, so that in 2003 the land surface temperature was 42.49, and in 2023 this figure has increased to 49.92. The results of the integration of land use maps and land surface temperature showed that the lowest temperature in both years was attributed to water and forest use, which is due to high humidity, and the highest temperature was attributed to soil and residential use. Soil use in 2003 was 42.09 and in 2023 was 49.86, and residential use in 2003 was 42.57, and in 2023 the highest value for residential use was 42.57, which is a significant figure. The reason for this very high temperature and the difference in use is that if an area is devoid of vegetation or has sparse coverage, evaporation and transpiration are low and the temperature increases.

Keywords: Object-oriented classification, landsurface temperature, landuse, Landsatimages, Aslando.

* Corresponding Author Email: l.maleki@uma.ac.ir

Cite this article: Maleki Masoomabad, L. and Mohammadzadeh Shishehgaeen, M. (2026). Assessing the impact of urban and rural development and land use changes on urban and rural surface temperatures (LST) using Landsat images from 2003 to 2023, case study area of Aslando Township. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(1), 380-393.



ارزیابی تأثیر توسعه شهری و روستایی و تغییرات کاربری زمین بر دمای سطح (LST) شهر و روستا با استفاده از تصاویر لندست بازه سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ منطقه موردی شهرستان اصلاندوز

لطف اله ملکی معصوم آباد^{۱*}، مریم محمدزاده شیشه گران^۲

۱. استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران
۲. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۶

چکیده

زمینه و هدف: حرارت سطح زمین یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی تعادل انرژی زمین در مقیاس منطقه‌ای و جهانی به شمار می‌رود. با توجه به محدودیت داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، استفاده از داده‌های سنجش از دور به عنوان روشی کاملاً برای برآورد سطح زمین اهمیت فراوانی دارد. هدف اصلی از این تحقیق پایش دمای سطح زمین و تغییرات کاربری و توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ با استفاده از نرم‌افزار ENVI پردازش‌های لازم انجام شد. نقشه کاربری اراضی ۲۰ ساله نشان داد که توسعه شهری بسیار مشهود در کل شهرستان اصلاندوز مشاهده شد. اگر این توسعه از آسیب به محیط زیست و جنگل جلوگیری کند مثبت خواهد بود.

روش شناسی: در این مطالعه، از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ برای بررسی و امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید استفاده شد. برای انجام محاسبات با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS جهت تهیه نقشه‌ها، از نرم‌افزار ENVI استفاده شد. یکی از کاربردهای تصاویر حرارتی، تهیه نقشه‌های حرارتی برای تعیین مناطق هم‌دما است.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نقشه حرارت سطح زمین نشان داد که دمای سطح زمین در شهرستان اصلاندوز به طور چشمگیری افزایش داشته است به طوری که در سال ۲۰۰۳ دمای سطح زمین ۴۲/۴۹ این رقم در سال ۲۰۲۳ به ۴۹/۹۲ افزایش یافته است. نتایج ادغام نقشه کاربری اراضی و دمای سطح زمین نشان داد که کمترین دما را در هر دو سال کاربری آب و جنگل به خود اختصاص می‌دهد که علت آن رطوبت بالا می‌باشد و کاربری خاک و منطقه مسکونی دارای بالاترین دما می‌باشد. میانگین دمای کاربری خاک از ۴۲،۰۹ درجه سلسیوس در سال ۲۰۰۳ به ۴۹،۸۶ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۳ و میانگین دمای کاربری مسکونی از ۴۲،۵۷ درجه سلسیوس در سال ۲۰۰۳ به بیش از ۴۹،۵۷ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۳ افزایش یافته است. این افزایش قابل توجه دما عمدتاً ناشی از کاهش پوشش گیاهی و کاهش تبخیر و تعرق در این مناطق است که منجر به افزایش دمای سطحی شده است.

کلید واژه‌ها: طبقه‌بندی شی گرا، دمای سطح زمین، کاربری اراضی، تصاویر لندست، اصلاندوز.

* نویسنده مسئول: l.maleki@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: ملکی معصوم آباد، لطف اله و محمدزاده شیشه گران، مریم. (۱۴۰۵). ارزیابی تأثیر توسعه شهری و روستایی و تغییرات کاربری زمین بر دمای سطح (LST) شهر و روستا با استفاده از تصاویر لندست بازه سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ منطقه موردی شهرستان اصلاندوز. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۷(۱)، ۳۸۰-۳۹۳.

مقدمه و بیان مسأله

شهرها اغلب شرایط آب و هوایی خاصی دارند که به آن اقلیم شهری می‌گویند. آب و هوای شهری با تفاوت در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت، میزان بارندگی) در مقایسه با مناطق کم تراکم‌تر از اطراف آن مشخص می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که مناطق شهری گرم‌تر از مناطق روستایی اطراف هستند و این پدیده معمولاً به عنوان "جزیره گرمایی شهری" شناخته می‌شود. با تغییر فصل، علاوه بر فرآیند جذب اشعه ماوراء بنفش و انتشار اشعه مادون قرمز، در هر منطقه، سقف ساختمان‌ها، خیابان‌ها و سطوح تیره، گرما را جذب کرده و دوباره در هوا منتشر می‌کنند. با توجه به اینکه تمام سقف‌ها در تهران به رنگ تیره هستند. این سطوح نیمی از مساحت تهران را پوشانده‌اند و گرمای ساطع شده از خورشید را جذب و در خود نگه می‌دارند. این پدیده باعث افزایش دمای مناطق مسکونی به میزان ۲ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌شود و پدیده جزیره گرمایی نامیده می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۹، ۱).

گسترش بسیار سریع شهری به دلیل تغییرات قابل توجه در کاربری اراضی و پوشش زمین، تأثیرات منفی بر سیستم چرخش طبیعی که محیط زیست جهانی می‌توانسته داشته باشد (کاکه مامی و همکاران، ۲۰۱۷).

تغییرات در کاربری زمین، توسعه مناطق شهری و کشاورزی و جنگل‌زدایی منجر به تغییر در رژیم‌های دمایی منطقه‌ای و محلی می‌شود (اکبری و همکاران، ۲۰۱۵). دمای سطح زمین شاخص مهمی در مطالعه الگوهای تعادل انرژی سطح زمین و برهمکنش‌های زمین-اتمسفر در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵). به طور کلی، اندازه‌گیری دما در سطح زمین توسط ایستگاه‌های هواشناسی، به ویژه ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی انجام می‌شود. لازم به ذکر است که ایستگاه‌های هواشناسی فقط می‌توانند دما را در مکان‌های خاصی که قبلاً نصب شده‌اند، اندازه‌گیری کنند. آنچه که به عنوان یک خلأ اساسی در پایش دمای سطح زمین محسوب می‌شود، کمبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی برای اطلاع از مقادیر دما در مناطق فاقد ایستگاه است که امروزه فناوری سنجنش از دور تا حدودی این مشکل را برطرف کرده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶). دمای سطح زمین یکی از مهمترین عناصر مؤثر در مطالعات جهانی است که به عنوان یکی از عوامل اساسی در نظارت و کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمیایی و زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (علوی پناه، ۱۳۸۸).

پژوهش‌های متعددی در شهرهای مختلف بزرگ انجام شده است که بیانگر موضوع شهرنشینی موجب ایجاد متغیرهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و در نتیجه تغییرات گسترده در اقلیم جعان به ایجاد (اشرف و همکاران، ۱۳۹۱). جدید اسلامی و همکاران (۱۳۹۹) مطالعه‌ای با عنوان «تحلیل گسترش فیزیکی شهر کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست» افزایش قابل توجه ۳۳٫۵ کیلومتر مربعی در کاربری اراضی شهری و مسکونی را در یک دوره ۲۹ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. همچنین نشان‌دهنده گسترش تقریباً ۹ کیلومتر مربعی در کاربری اراضی شهری و مسکونی تا سال ۲۰۳۰ است. تغییرات جمعیت، جهت‌گیری‌های توسعه شهری و موانع توسعه فیزیکی آن نیز در این دوره بررسی شد. پرور و شایسته (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان پیش‌بینی روند تغییر و توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر بجنورد)، بررسی روند کلی تغییرات در یک دوره ۱۴ ساله، یعنی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، نشان می‌دهد که در تحلیل انجام‌شده در این دوره، تبدیل سایر کاربری‌ها به زمین مسکونی ۸ درصد (۱۲۰۳ هکتار)، تبدیل پوشش گیاهی به زمین بایر ۷۳۷ هکتار و تبدیل زمین بایر به پوشش گیاهی ۵۵۴ هکتار بوده است. بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵، گسترش و توسعه مناطق مسکونی با سرعت بیشتری ادامه یافته است.

شرقی و همکاران (۱۴۰۴) در طول سال مورد بررسی، مساحت بافت شهری به ۲۸۲ هکتار رسید که نسبت به سال ۱۳۷۳، افزایشی ۲۸ برابری را نشان می‌دهد. با این حال، طی دهه بعد، یعنی ۱۳۷۳، مساحت شهر با رشدی ۱۰۰ درصدی نسبت به دهه قبل به ۵۷۰ هکتار رسید و در نهایت طی دهه اخیر، مساحت شهر با نرخ رشدی ۵۰ درصدی به ۸۵۰ هکتار رسید.

منطقه ۶ شهر سهند که حدود ۳۵ درصد از بافت فیزیکی شهر را تشکیل می‌دهد، یکی از سریع‌ترین مناطق در حال رشد شهر در طول دهه ۱۳۷۳-۱۳۷۸ بود. از آنجایی که همبستگی معناداری در سطح اطمینان ۰.۹۵ ($P_value=0.05$) بین رشد جمعیت و توسعه فیزیکی شهر سهند طی دوره آماری ۱۳۸۰-۱۴۰۰ آشکار شد ($R=0.91$)، بنابراین، مدل رگرسیون برازش شده بین رشد جمعیت و رشد بافت شهری، با قرار دادن ظرفیت جمعیتی پیشنهادی این شهر پس از اجرای سیاست‌های مسکن مهر (۱۸۵۰۰ نفر)، نشان داد که مساحت بافت فیزیکی این شهر در دهه آینده با رشدی معادل ۳۸ درصد به ۱۱۸۱ هکتار خواهد رسید.

آنها از داده‌های مادون قرمز حرارتی IASI برای استخراج LST با استفاده از یک روش چند کاناله استفاده کردند. اعتبارسنجی با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی انجام شد. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) دمای محاسبه شده ۰.۹ کلوین بود. آنها دریافتند که مقادیر گسیلندگی محاسبه شده برای محاسبه LST مؤثر هستند.

صابری فر (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان واکاوی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر پوشش گیاهی و دمای سطحی شهر و واکنش مدیران شهری به این روند (نمونه موردی: شهر مشهد) مقایسه تغییرات دمای سطحی به کمک باندهای حرارتی نشان داد که تخریب پوشش گیاهی، باغات و مزارع واقع در محدوده شهر مشهد و تغییر کاربری آن در طی ۳۶ سال، منجر به افزایش نسبی دمای محیط شده و میزان حرارت از ۲۴/۷ به ۳۳/۸ درصد افزایش پیدا نموده است. با این وجود، به دلیل توسعه فضاهای سبز، روند تخریب در طی سال‌های اخیر کاهش یافته است.

قدوسی و همکاران (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای با عنوان تغییرات کاربری اراضی و شبیه سازی رشد و توسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل) نتایج این پژوهش نشان داد که تصاویر با دقت بالاتر و کیفیت بهتر استفاده شود و مدل‌های متعدد نیز به کار گرفته شود می‌توان شاهد بررسی دقیق‌تر موضوعاتی از این دست بود که قطعاً می‌تواند کمک شایانی به مدیران و مسئولان شهری و تصمیم گیران برای برنامه ریزی و تصمیم گیری بهتر، برساند. نتایج کلی نشان دهنده این بود که مناطق ساخته شده روند کاهشی داشته و این روند برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت، همچنین کاربری راه روند رو به رشدی از گذشته تا سال ۲۰۲۱ داشته که برای سال ۲۰۳۸ نیز روند رو به رشد خود را حفظ می‌کند، فضای سبز نیز روند رو به رشد مناسبی داشته و برای سال ۲۰۳۸ نیز ادامه خواهد داشت.

آرخی و همکاران (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای با عنوان ۱۰. پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر چند زمانه و مدل CA-MARKOV (مطالعه موردی: شهر گرگان) نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین افزایش کاربری‌ها مربوط به کاربری‌های شهری (کاربری‌های ساخته شده) است که از رقم ۶۰۰۵/۷۹ در سال ۱۴۰۰ به رقم ۷۱۴۱/۶۶ هکتار در سال ۲۰۵۰ رسیده است. بر اساس نتایج این پژوهش، رشد شهر گرگان طی سال‌های آینده به سمت زمین‌های زراعی در پیرامون شمال، شمال غربی و شمال شرقی خواهد رفت.

فرهانج و آخوندزاده (۲۰۱۷) ابتدا با ادغام باندهای مرئی و حرارتی ماهواره لندست ۸، باندهای حرارتی با وضوح مکانی ۳۰ متر تولید کردند و LST را برای استان ایلام، جنوب غربی ایران محاسبه کردند. این ادغام پس از ثبت متقابل باندهای حرارتی قرمز و مرئی شماره ۱۰ با استفاده از روش کانتور انجام شد. در نهایت، آنها با اعمال اصلاحات جوی و با استفاده از یک روش تک کاناله و با در نظر گرفتن رابطه خطی بین NDVI و LSE (روش آستانه شاخص پوشش گیاهی)، LST را با وضوح مکانی ۳۰ متر تولید کردند.

ولیزاده و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای که با هدف بررسی دمای سطح زمین در شهر زنجان با استفاده از الگوریتم پنجره گسسته انجام شد، نتایج نشان داد که بر اساس داده‌های آماری به دست آمده، همبستگی بسیار مناسبی بین کاربری زمین و دمای سطح زمین وجود دارد. بنابراین، در مناطق نظامی و صنعتی شهر، جزایر حرارتی به دلیل کاربری زمین و عواملی مانند سطوح غیرقابل نفوذ (آسفالت، بتن)، پوشش گیاهی کم به دلیل سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی تشکیل شده‌اند.

ناجی دومیرانی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش پنجره گسسته، نقشه دمای سطح زمین را از باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ به دست آوردند. منطقه مورد مطالعه شهر نهاوند، استان همدان بود. با استفاده از ضرایب انتشار خاک و پوشش گیاهی و

نسبت پوشش گیاهی، انحراف معیار دما (LSE) را محاسبه کردند. از روش پنجره گسسته برای کاهش اثرات جوی استفاده می‌شود. ضریب ثابت این الگوریتم با شبیه‌سازی با تعداد مختلف شرایط جوی به‌دست آمد. ظرفیت بخار آب جوی نیز با استفاده از رابطه تجربی آن با میانگین دمای روشنایی محاسبه شد. اختلاف بین دمای سطح زمین محاسبه‌شده و داده‌های ایستگاه هواشناسی کمتر از ۲ درجه بود.

احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با عنوان «بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با کاربری و پوشش زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در شهر اردبیل»، نتایج نشان داد که دمای سطح یک منطقه مشخص تحت تأثیر عوامل سطحی و ویژگی‌های آن قرار دارد و بالاترین دمای سطح در منطقه اردبیل با کمترین پوشش گیاهی مرتبط است.

کارانیا (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای نشان داد که مطالعات جزیره گرمایی شهری در کنترل رشد جمعیت و برنامه‌ریزی شهری مؤثر است. رونالد و همکارانش مطالعه‌ای را در شهرهای بزرگ بانکوک (تایلند)، جاکارتا (اندونزی) و مانیل (فیلیپین) انجام دادند تا رابطه بین دمای سطح و فراوانی فضاهاى سبز از یک سو و توزیع مکانی سطوح نفوذناپذیر و فضاهاى سبز از سوی دیگر را بررسی کنند. نتایج این مطالعه رابطه معنادار و قوی بین میانگین دمای سطح زمین و تراکم سطوح نفوذناپذیر (مثبت) و فضاهاى سبز (منفی) در امتداد شیب شهری-روستایی در سه شهر دارای جزیره گرمایی شهری (UHI) را نشان داد.

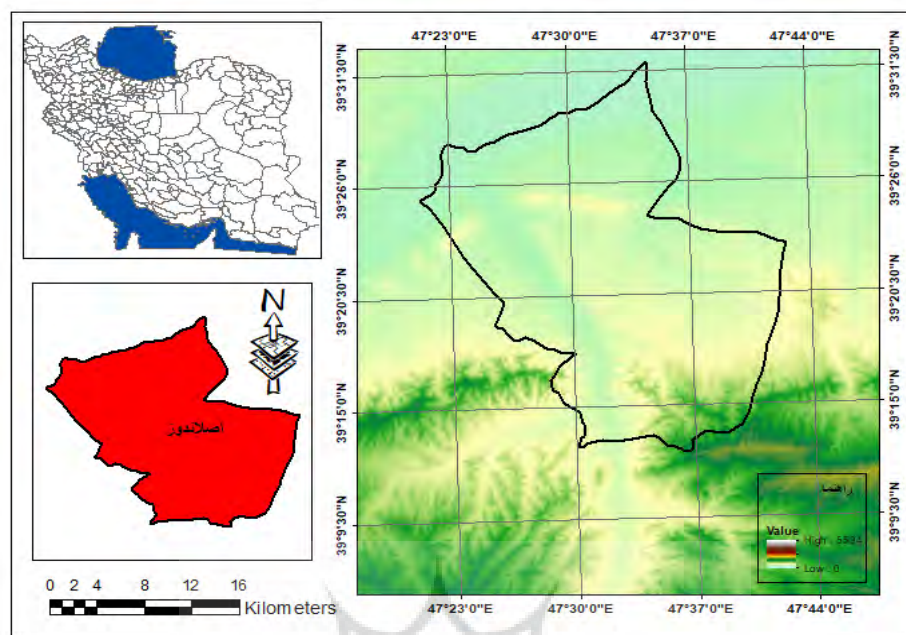
شای و همکاران اثرات مکانی-زمانی جزایر گرمایی شهری با استفاده از رویکرد رگرسیون کاربری زمین مدل‌سازی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که توزیع مکانی جزایر گرمایی شهری (UHI) تا حد زیادی توسط نقشه‌های LU/LC و ژئومورفومتری شهری در مناطق مسکونی با تراکم بالا، به ویژه در شب، تعیین می‌شود. مدل‌های حاصل برای بهبود برنامه‌های برنامه‌ریزی شهری فعلی و کمک به مبارزه با UHI ها استفاده می‌شوند.

هدف از این مطالعه بررسی دمای سطح زمین و ارتباط آن با مدل‌های متفاوت کاربری زمین، به ویژه توسعه شهری کاربری‌های موجود است. برای این مطالعه، از تصاویر لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ برای تعیین تأثیر کاربری زمین بر دمای سطح استفاده شد. بنابراین، نتایج این مطالعه از یک سو برای برنامه‌ریزان زیست‌محیطی، منطقه‌ای و شهری و از سوی دیگر برای تشخیص تغییرات، که عنصر مهمی در مدیریت منابع طبیعی و استراتژی‌های با تغییرات اقلیمی است، مفید است.

مواد و روش‌ها

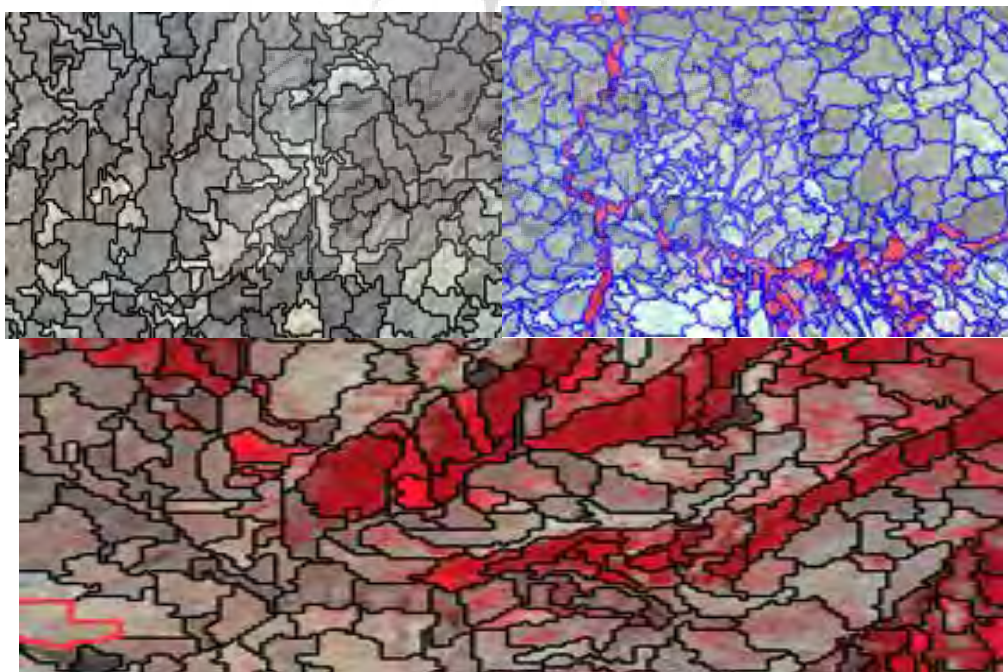
دشت مغان در شمال غربی ایران و در محدوده‌ی استان اردبیل واقع شده است و در قسمت شمال استان واقع شده است. و بخش‌های این استان را در می‌گیرد. شهرستان اصلاندوز مغان، یکی از شهرستان‌های در این دشت، بین عرض‌های ۳۹ درجه و ۲۵ دقیقه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۲ تا ۴۷ درجه ۴۷ دقیقه شرقی نسبت نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. اقلیم شهرستان اصلاندوز معتدل تا گرم است. تابستان‌ها بسیار گرم و زمستان‌های آن معتدل و مطبوع می‌باشند. الگوی بارش منطقه تحت تأثیر جریان‌های مرطوب خزر و نفوذتوده‌های هوایی سرد شمالی قرار دارد، که این عوامل در شکل‌گیری این در ویژگی‌های آب و هوایی منطقه نقش بسزایی ایفا می‌کنند.

شهر اصلاندوز به عنوان مرکز در انتهای شمال غربی استان اردبیل و در محل پیوستن رودخانه قره سو (دره رود) به رود ارس قرار دارد. این شهر در فاصله ۲ کیلومتری رودخانه ارس قرار گرفته است و در ارتفاع ۱۶۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است که شیب ۳ درصدی دارد و ۱۱ محله شهری دارد.



شکل ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه در شهرستان اصلاندوز، استان اردبیل، کشور ایران

داده در این مقاله از سری تصاویر لندست برای سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ اخذ شده است و با توجه به خامی تصویر و عدم وضوح استفاده از تصاویر خام ابتدا تصاویر تصحیح اتمسفری و رادیومتریکی انجام گردید. تصویر طبق استانداردهای نرم افزار اکاگنیشن سگمنت سازی انجام شد و طبق همان مدل سگمنت طبقه شی گرا انجام شد. نقشه حرارتی نیز برای سال ۲۰۰۳ و سال ۲۰۲۳ آماده گردید. از تصاویر باند ۱۲ و باند ۱۱ برای نقشه LST از سنجنده استفاده شد و با دمای سطح زمین در نرم افزار انوی مقایسه گردید و صحت نتایج تایید گردید. خروجی نقشه‌ها نیز نرم‌افزار ARC GIS 10 استخراج گردید..5



شکل ۲: تصاویر حاصل از سگمنت در نرم افزار اکاگنیشن با روش طبقه بندی شی گرا

در این پژوهش برای بررسی و امکان سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ استفاده گردید. از نرم‌افزار ENVI برای انجام محاسبات مربوط از نرم‌افزار ArcGIS جهت تهیه نقشه استفاده گردید. یکی از کاربردهای تصاویر حرارتی تهیه نقشه‌های حرارتی به منظور تعیین محدوده‌های هم‌دما می‌باشد. همچنین به منظور بررسی دمای ثبت شده توسط ایستگاه‌ها، از داده‌های هواشناسی شهرستان استفاده شد. تصاویر در فصل تابستان به منظور نبود پوشش‌های ابری و برفی بالا و همچنین بالا بودن شدت تابش نور خورشید اخذ شد و همچنین به منظور به دست آوردن دقت بهتر از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد. به منظور تصحیحات جوی و رادیومتریکی از نرم‌افزار ENVI 5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم‌افزار ARC GIS 10.5 استفاده شد. بعد از اخذ تصاویر و انجام تصحیحات مربوطه بر روی تصاویر مورد نظر، به منظور به دست یافتن به نتایج مدنظر، مراحل زیر طی شد. به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شی‌گرا در نرم‌افزار eCognition Developer64 استفاده شد. در روش طبقه‌بندی شی‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود (فیضی زاده، ۲۰۰۷). در قطعه‌بندی پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، در اندازه‌های مختلف و گوناگون با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی قطعه‌بندی و بر اساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیا گوناگون دسته‌بندی شده‌اند. طی این فرآیند شی‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن بر اساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد.

تشعشع

انتقال گرمای رسانشی و جا به جایی نیازمند شیب دما در ماده است. ولی، انتقال گرما توسط تشعشع به ماده نیاز ندارد. بسیاری از فرایندهای گرمایش، سرمایش، خشک کردن صنعتی و هم چنین روش‌های تبدیل انرژی نظیر احتراق سوخت فسیلی با فرایند تشعشع سر و کار دارند (سوبرینو^۱، ۲۰۱۴).

–قانون پلانک برای تشعشع جسم سیاه

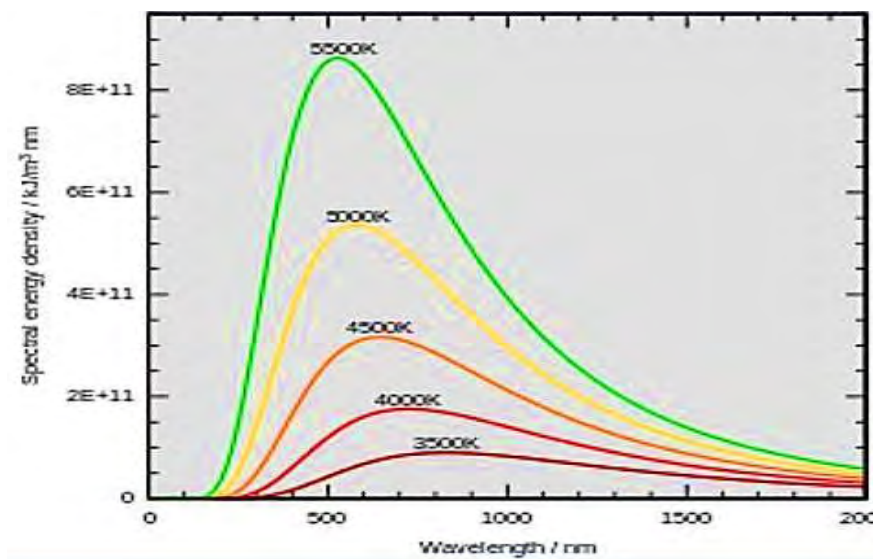
رابطه‌ی شدت تابش بر حسب بسامد (که رابطه‌ی عکس با طول موج دارد) از قانون پلانک برای جسم سیاه به دست می‌آید (سوبرینو، ۲۰۱۴).

$$I(v)dv = \frac{2hv^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1}$$

$I(v)dv$ مقدار انرژی بر واحد سطح بر واحد زمان است که در واحد زاویه‌ی فضایی در بازه‌ی بسامدی v و $v+dv$ می‌تابد؛ T دمای جسم سیاه است؛ h ثابت پلانک است؛ c سرعت نور است؛ k ثابت بولتزمن است.

قانون جابجایی وین برای تشعشع جسم سیاه

توزیع طیفی جسم سیاه یک ماکزیمم دارد و طول موج متناظر آن به دما بستگی دارد. ماهیت این وابستگی را با قانون جا به جایی وین می‌توان نشان داد.



شکل ۳: توزیع طیفی جسم سیاه در قانون وین

طبق این قانون، ماکزیمم توان گسیل طیفی با افزایش دما به طرف طول موج های کوتاه تر جا به جا می شود، این گسیل در وسط طیف مرئی خورشیدی قرار دارد، زیرا خورشید مانند جسم سیاه در دمای ۵۸۰۰ k تشعشع می کند (سوبرینو^۱، ۲۰۱۴).

گسیلمندی

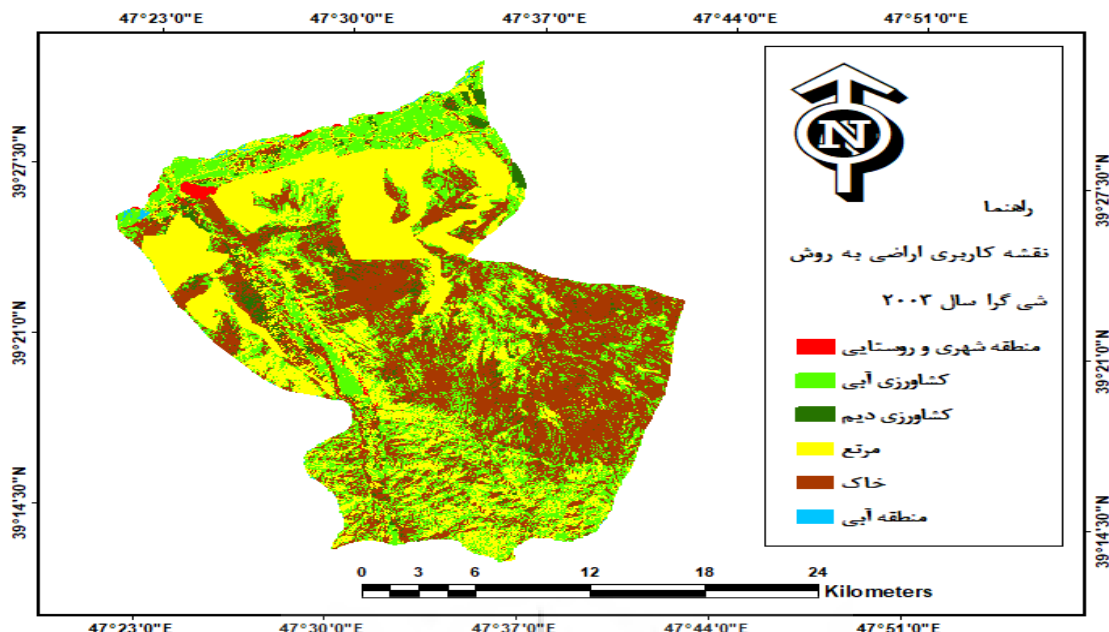
نسبت تابش گسیل شده یک جسم به تابشی که یک جسم سیاه کامل در همان دما گسیل می کند. گسیل مندی را معمولاً با نماد (ε) نشان می دهند و مقدار عددی آن برای اجسام حقیقی کمتر از یک است (اکی^۲، ۱۹۷۳).

یافته ها

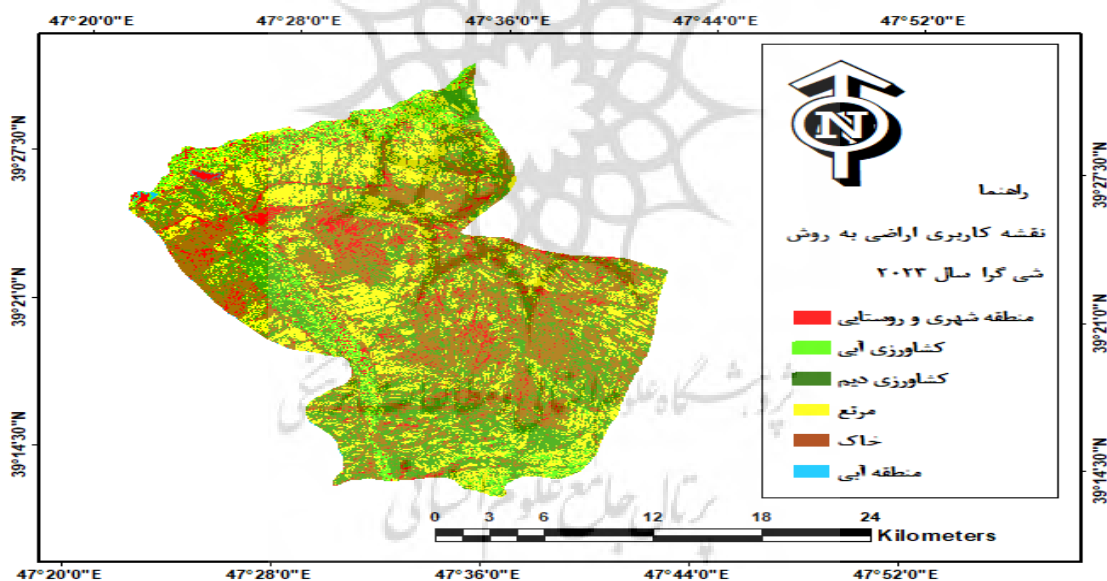
در این مطالعه به برای تحلیل عملکرد دما بر توسعه شهری و بررسی رابطه تغییراتی کاربری اراضی در طی ۲۰ سال با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM ماهواره لندست انجام شد. در ابتدا به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه کاربری اراضی شهرستان اصلاندوز برای سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ ترسیم گردید. لازم به ذکر می باشد که تهیه نقشه کاربری اراضی از روش نوین بارزسازی سگمنی شی گرا در نرم افزار eCognition Developer64 انجام شد و خروجی های مورد نظر نیز در نرم افزار ArcGIS 10.5 تبدیل به نقشه شد.

1 Sobrino

2 -Oke

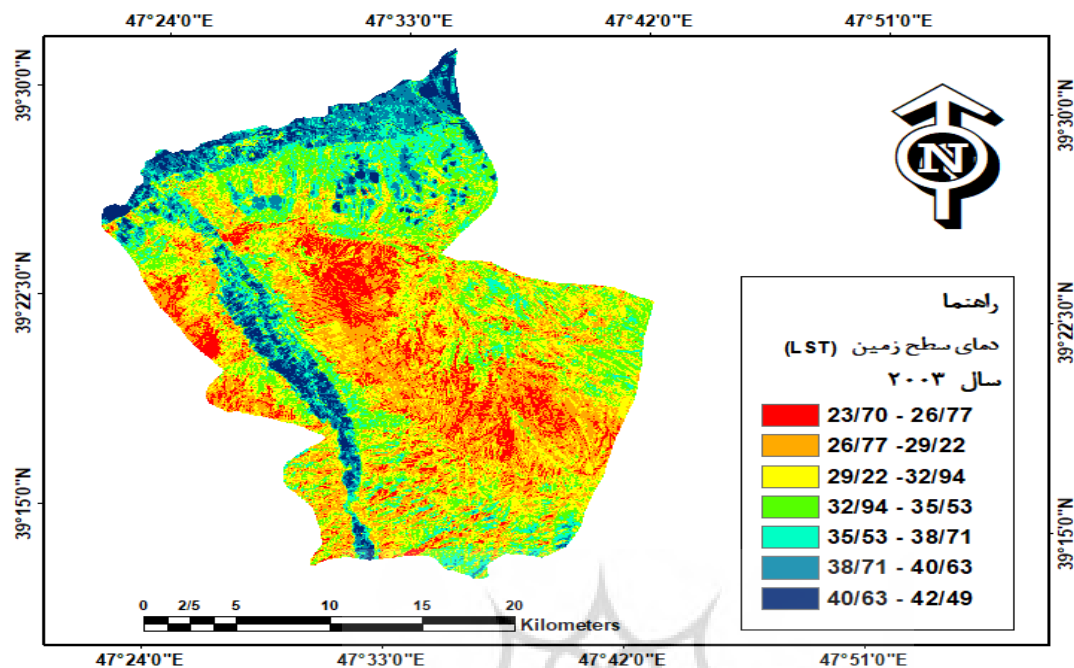


شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۰۳

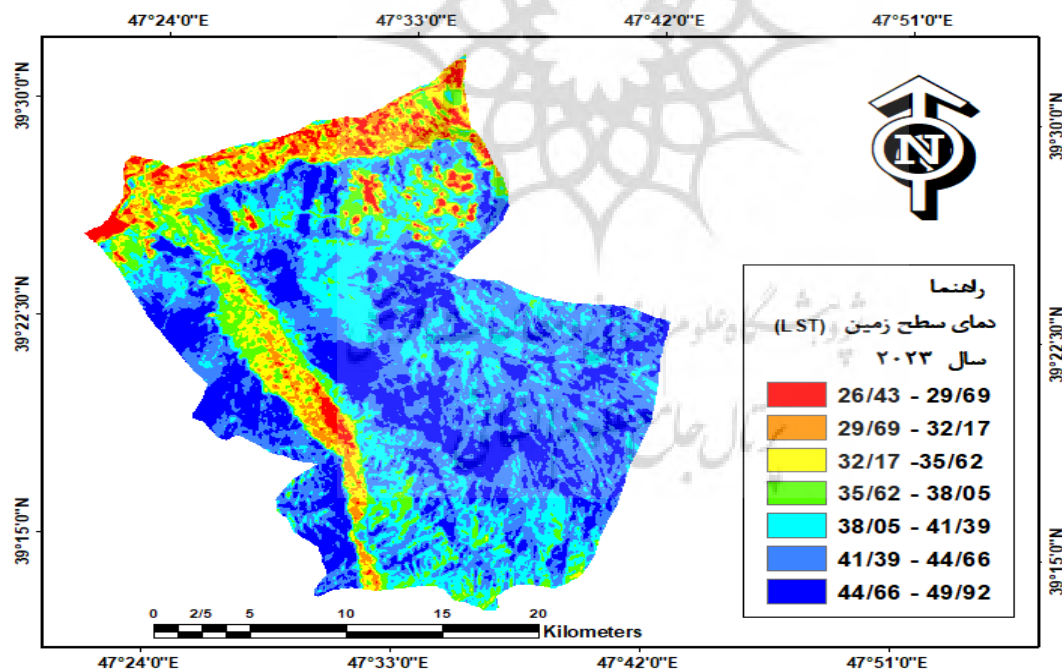


شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۳

همان‌گونه که در شکل ۳ و شکل ۴ مشاهده می‌شود توسعه شهری بسیار مشهود در کل شهرستان اصلاندوز مشاهده می‌شود. این توسعه شهری با توجه افزایش جمعیت فعلی بدون به خطر انداختن خواسته‌های آیندگان مثبت می باشد اما اگر مثل شهرستان اصلاندوز باعث تغییر در کاربری شود مثلاً تبدیل جنگل به منطقه شهری و یا تبدیل کشاورزی آبی و کشاورزی دیم به منطقه مسکونی باشد همانگونه که در شکل ۴ و ۵ قابل مشاهده است این تبدیل به شکل منفی خواهد بود. این تغییرات توسعه شهری اگر این موضوع و این پیشرفت با به حداقل رساندن آسیب به زیربنای محیط زیست و حفظ هر چه بیشتر منابع و انتقال به منابع باشد بسیار مهم، سازنده و مثبت خواهد بود.



شکل ۵: نقشه دمای سطح زمین در دو سال ۲۰۰۳



شکل ۶: نقشه دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۳

تحلیل رابطه کاربری اراضی و دمای سطحی

همان‌گونه که از شکل ۵ و شکل ۶ سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۳ هم مشخص است، دمای شهرستان اصلاندوز به ور چشمگیری افزایش داشته است. در سال ۲۰۰۳ دمای سطح زمین ۴۲/۴۹ این رقم در سال ۲۰۲۳ به ۴۹/۹۲ افزایش یافته است. این رقم که رقم قابل

توجهی می‌باشد نشاندهنده افزایش آرام و خطرناک حرارت سطح زمین و دستکاری انسان بر طبیعت و افزایش آلاینده‌های صنعتی، افزایش خودرو که عواقب آن آب شدن و ذوب یخچال‌های طبیعی به هم ریختن اقلیم منطقه و ده‌ها مخاطره دیگر را شامل می‌شود. با ادغام نقشه کاربری اراضی و دمای سطح زمین می‌توان به این نتیجه رسید که کمترین دما را در هر دو سال با آب به خود اختصاص می‌دهد با لحاظ کردن این موضوع که کاربری آب دارای ظرفیت گرمایی بسیار زیادی می‌باشد، آب دمای سطحی خیلی کمی را به خود اختصاص می‌دهد و کاربری خاک و منطقه مسکونی دارای بالاترین دما در هر دو سال می‌باشد. که کاربری خاک در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۴۲/۰۹ و در سال ۲۰۲۳ با مقدار ۴۹/۸۶ و کاربری مسکونی در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۴۲/۵۷ و در سال ۲۰۲۳ بالاترین مقدار برای کاربری مسکونی ۴۲/۵۷ می‌باشد که رقم قابل توجهی می‌باشد. علت این حرارت بسیار بالا و متفاوت بودن در کاربری متفاوت در وهله اول به فصل برداشت تصویر و دوم به دلیل این است که اگر منطقه‌ای عاری از پوشش گیاهی باشد یا پوشش گیاهی اندک و پراکنده باشد تبخیر و تعرق پایین است و دما افزایش می‌یابد. در مکان‌هایی که مرتع به سمت آفتاب است و پوشش گیاهی غیر مترکبم و پراکنده می‌باشد، دمای سطحی با افزایش چشمگیری را شاهد هستیم.

جدول ۱: مشخصات آماری دمای سطحی کاربری‌ها سال ۲۰۰۳

کاربری	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)
کشاورزی دیم	۲۴/۱۶	۴۰/۲۲
جنگل	۲۳/۳۱	۳۹/۹۱
کشاورزی آبی	۲۵/۵۱	۴۱/۶۰
مرتع	۲۸/۱۰	۴۱/۳۸
مسکونی	۳۲/۰۷	۴۲/۵۷
آب	۲۳/۱۳	۳۸/۲۱
خاک	۳۰/۷۱	۴۲/۰۹

جدول ۴: مشخصات آماری دمای سطحی کاربری‌ها سال ۲۰۰۳

کاربری	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)
کشاورزی دیم	۲۴/۱۶	۴۸/۱۲
جنگل	۲۳/۳۱	۴۶/۱۸
کشاورزی آبی	۲۵/۵۱	۴۸/۵۰
مرتع	۲۸/۱۰	۴۸/۸۸
مسکونی	۳۲/۰۷	۴۹/۸۱
آب	۲۳/۱۳	۴۶/۰۹
خاک	۳۰/۷۱	۴۹/۸۶

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

داشتن دانش تغییرات برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مدیران بسیار موثر و مفید می‌باشد. به همین دلیل در این مقاله در اولین گام تغییرات کاربری اراضی با دقتی ترین روش شی گرا در نرم افزار اکاگنیشن^۱ انجام گردید تغییرات رخ داده طی ۲۰ سال اخیر در شهرستان اصلاندوز انجام شد. با توجه به نقشه تغییرات نقشه ۳ و ۴ تغییرات قابل توجهی در توسعه شهری و به مراتب پراکندگی شهری به وضوح اثبات شد و همچنین تخریب کشاورزی و جنگل و برای احداث توسعه شهری اثبات گردید. نتایج دمای سطح زمین با توجه به نقشه‌ها نشان داد که در سال ۲۰۰۳ دمای سطح زمین ۴۲/۴۹ این رقم در سال ۲۰۲۳ به ۴۹/۹۲ افزایش یافته است. این رقم که رقم قابل توجهی می‌باشد نشان‌دهنده افزایش آرام و خطرناک حرارت سطح زمین و دستکاری انسان بر طبیعت و افزایش آلاینده‌های صنعتی، افزایش خودرو که عواقب آن آب شدن و ذوب یخچال‌های طبیعی به هم ریختن اقلیم منطقه و ده‌ها مخاطره دیگر را شامل می‌شود. با تطبیق کاربری اراضی با نقشه تغییرات دمای سطح زمین انجام شد نشان داد که تغییرات دما در کاربری‌های مختلف بر اساس جنس و ساختار متفاوت بوده است. این درحالی است که کمترین دما را در هر دو سال با آب به خود اختصاص می‌دهد با لحاظ کردن این موضوع که کاربری آب دارای ظرفیت گرمایی بسیار زیادی می‌باشد، آب دمای سطحی خیلی کمی را به خود اختصاص می‌دهد و کاربری خاک و منطقه مسکونی دارای بالاترین دما در هر دو سال می‌باشد. که کاربری خاک در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۴۲/۰۹ و در سال ۲۰۲۳ با مقدار ۴۹/۸۶ و کاربری مسکونی مسکونی در سال ۲۰۰۳ با مقدار ۴۲/۵۷ و در سال ۲۰۲۳ بالاترین مقدار برای کاربری مسکونی ۴۲/۵۷ می‌باشد که رقم قابل توجهی می‌باشد.

کاربری شهری یا مسکونی به دلیل وجود عناصر انسانی جاذب گرما مانند کارخانه‌ها، آسفالت و بتن، وجود خودروها و همچنین ساخت ساختمان‌های بزرگ که مانع از خروج گرما به بیرون و ورود باد به شهر می‌شوند، می‌باشد که به گرم شدن کاربری شهری کمک می‌کند. با توسعه شهر اصلاندوز، بخش مهمی از منابع طبیعی و کشاورزی جای خود را به مناطق صنعتی و مسکونی داده است. کمترین دمای ثبت شده در این دو سال مربوط به مناطق آبی است، زیرا آب ظرفیت گرمایی بسیار زیادی دارد و دمای سطح آن کاهش پیدا می‌کند. از سوی دیگر، با توسعه شهرنشینی در شهرستان اصلاندوز، بخش قابل توجهی از مناطق طبیعی و جنگلی جای خود را به مناطق صنعتی، ساختمان‌ها و سایر زیرساخت‌ها داده است. مناطق شهری تعادل انرژی متفاوتی نسبت به مناطق غیرشهری دارند. این اختلاف قابل توجه و تغییرات پی در پی و سزیه در مفهوم تعادل انرژی منجر به از بین رفتن تعادل انرژی در مناطق شهری می‌شود که مشکلات زیست‌محیطی جدی مانند آلودگی حرارتی را برای ساکنان این شهر ایجاد می‌کند. ویژگی‌های جوامع معاصر منجر به بروز ناپایداری در روابط میان انسان و محیط زیست شده است. درک سازوکارهای مؤثر در فرایند رشد و گسترش شهری، گامی اساسی در دستیابی به الگوی توسعه‌ی شهری پایدار به شمار می‌رود. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان ابزاری کارآمد، نقش مهمی در تحلیل و درک فرایند توسعه شهری، پشتیبانی از سیاست‌گذاری‌ها، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری ایفا می‌کنند. همچنین این داده‌ها امکان ارزیابی دقیق‌تر اثرات ناشی از گسترش شهری بر محیط زیست و اکوسیستم‌های طبیعی را فراهم می‌سازند.

با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از ترکیب داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مختلف به‌منظور افزایش دقت تحلیل‌ها و بهبود تفسیر تغییرات کاربری اراضی استفاده شود.

در تحقیقی مشابه فیضی زاده و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم پنجره مجزا پرداختند که نتایج نشان داد که بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه قوی وجود دارد چنان که منطقه دارای پوشش گیاهی دارای حداقل دما و مناطق عاری از پوشش گیاهی دارای حداکثر دما می‌باشند که نشان‌دهنده اهمیت پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد. همچنین امیری (۱۳۸۴) با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور به تحلیل توزیع مکانی و زمانی دمای سطح زمین و ارتباط آن با نوع کاربری و پوشش اراضی در محدوده‌ی شهری تبریز پرداخت. وی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۷ مربوط به سال‌های

۱۹۸۹، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ استفاده کرده و با به کارگیری روش‌های تحلیل همبستگی و رگرسیون چندگانه، ارتباط میان شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و ارتفاع با حرارت سطح زمین را مدل سازی نمود. نتایج نشان داد که تبدیل کاربری‌های کشاورزی و فضای سبز به مناطق مسکونی منجر به افزایش حرارت سطحی و مهاجرت پیکسل‌ها از شرایط مطلوب (دمای پایین و پوشش گیاهی بالا) به شرایط نامطلوب (دمای بالا و پوشش گیاهی پایین) شده است. این تغییرات یکی از عوامل کلیدی در بروز پدیده‌ی جزیره‌ی حرارتی شهری محسوب می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور مساوی در نگارش بخش‌های مختلف مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی بخاطر حمایت مالی و همکاری در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

منابع و مأخذ

- Ahmadi, M., Ashurlu, D., and Narangi Fard, M., 2012, Temporal-spatial changes of thermal and applied patterns of Shiraz city using TM and ETM measuring data. *Remote sensing and GIS of Iran*, 4(4): 55_68.
- Akbari, E., Ebrahimi, M., Fiezizadeh, B., and Nezhadsoleimani, H., 2016, Evaluating Land Surface Temperature related to the Land use Change Detection by Satellite Image (Case study: Taleghan Basin). *Geography and Environmental Planning*, 26(4): 151-170.
- Alavi Panah, K., 2009, Thermal Remote Sensing and its Application in Earth Sciences. Second Edition, Tehran, University of Tehran Press.
- Arekhi, S. (2025). Prediction of land use changes using multi-temporal images and CA-MARKOV model (Case study: Gorgan City). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(3), 121-138.
- Amini Bazyani, S., Zare Abyaneh, H., and Akbari, M., 2014, Estimation of Surface Temperature and Cropping Intensity in Hamedan Province Using Remote Sensing Data. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(3): 333-348.
- Asghari, S., and Emami, H., 2019, Monitoring the earth surface temperature and relationship land use with surface temperature using of OLI and TIRS Image. *Researches in Geographical Sciences*, 19(53): 195-215.
- Ashraf, B., Faridbhosseini, A., and Mianabadi, A., 2012, The Investigation of Mashhad's Heat Island Using Satellite Images and Applying Fractal Theory. *GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS*, 1(1): 35-48.

- 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 Bioinformatics and Beijing, China, 11-13 June, 1-5
- Darvishi, S., rashidpour, M., and soleimani, K., 2019, Analysis of Land Use Role in the Formation of Thermal Islets of Marivan County Using Landsat Satellite Images. *Geography and Development Iranian Journal*, 17(54): 143-162.
- Darvishi, S., Soleimani, K., and Rashidpour, M., 2019, Impact of vegetation indices and urban surface characteristics on land surface temperature changes (Case study: Sanandaj city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(1): 17-35.
- Faizizadeh, B., and Hilali, H., 2010. Comparison of base pixel, object-oriented and effective parameters in land use coverage classification in West Azarbaijan Province. *Geographical Research Journal*, 71: 73_84.
- Farhanj, F., and Akhoondzadeh, M., 2017, Fusion of 8 Thermal Infrared and Visible Bands with Multi-Resolution Analysis Contour let Methods. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 77-81.
- Ghodousi, V., Nazmfar, H. and Rahmati, M. (2025). Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(3), 168-185.
- Kakeh Mami, A., Ghorbani, A., Kayvan Behjoo, F., and Mirzaei Mosivand, A., 2017, Comparison of visual and digital interpretation methods of land use/cover mapping in Ardabil province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3): 121-134.
- Karenia, C.NS.G., 2016, spatial Geotechnologies and Gis tools for urban planners applied to the Analysis of urban heat island case caracas citevenezuela. 9 th International Conference on Urban Climate jointly with 12 th symposium on the urban Environment, 1-5.
- Kaviani, A., Sohrabi, T., and Daneshkar Araste, P., 2013, Estimation of land surface temperature using NDVI in MODIS and Landsat ETM+ imageries. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(1): 14-25.
- Lu, D., and Weng, Q., 2008, A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance.
- Moradi, M., Salahi, B., and Masoodian, S., 2016, Analysis of land surface temperature gradient of Iran using MODIS Terra and Aqua data. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(4): 517-532.
- Oke, T.R. 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7: pp.769-779
- Parvar, Z and Shayesteh, K. (2017). Predicting urban change and development trends using multi-temporal satellite images and geographic information system (case study: Bojnourd city). *Environment*, 43(3), 513-527.
doi: 10.22059/jes.2017.225385.1007382.
- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., and Manik, G.A., 2002, Using neural networks and GIS to forecast land use change; A Land Transformation Model. *Computers Environment and Urban Systems*, 26: 553-575.
- Ronald, C., Estoque, M., and Yuji, M., 2017, Effects of landscape Composition and pattern on land surface temperature An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *National Library of Medicine*, 15(577): 349-359.
- Rozensten, O., Qin, Z., Derimian, Y., and Karnieli, A., 2014, Derivation of land surface temperature for landsat – 8 TIRS using a split window algorithm. *Sensor*, 4(14): 5768-5780.

- Sobrino, A., Juan, C., Jimenez-Munoz. Leonardo Paolinib, (2014). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90:pp. 434-440.
- Sorapipatana, C. and Exell, R. H. B. 1989. Mesoscale mapping of daily insolation over Southeast Asia from satellite data. *Solar and wind technology*. 6 (1): 59-69.
- Sharghi Z, Basiri M, Faramarzi Asl M. (2025). Investigating the process of physical development of the new city of Sahand using Landsat satellite image. *jgs*. 25(79), URL: <http://jgs.khu.ac.ir/article-1-4199-fa.html>.
- shekh ahe eslami, A., noruzi, M. and Ahmadi, A. (2021). An analysis of the physical expansion of Kermanshah using Landsat satellite images. *Geography and Human Relationships*, 3(3), 149-167.
doi: 20.1001.1.26453851.1399.3.3.11.0
- Shi, Y., Katzschnner, L., Ng, E., 2017, Modelling the fine- scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Science of the Total Environment*, 618(15): 891-904.
- Shekh ahe eslami, A. , noruzi, M. and Ahmadi, A. (2021). An analysis of the physical expansion of Kermanshah using Landsat satellite images. *Geography and Human Relationships*, 3(3), 149-167
- Valizadeh Kamran, K., Gholamnia, K., Eynali, G., and Moosavi, M., 2017, Estimation land surface temperature and extract heat islands using split window algorithm and multivariate regression analysis (Case Study of Zanjan). *Research and urban planning*, 8(30), 35-50.
- Wang, Y., Ch, B., Hu, s.w., Myint, Ch., feng, Ch., Chow, W.T.L., and Passy, P.F., 2018, Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon Myanmar. *Science of the Total Environment*, 643: 738-750.
- Zhong, X., Huo, X., Ren, C., Labed, J., and Li, Z, L., 2016, Retrieving Land surface temperature from hyperspectral thermal infrared data using a multi-channel method. *Sensors*, 15(16): 671-687.