



Quantitative assessment of spatio-temporal dynamics of land use/land cover and land surface temperature using different algorithms and landsat imagery

Zahra Parvar¹ | Marjan Mohammadzadeh^{2✉} | Sepideh Saeidi³

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: zahra.parvar_s98@gau.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: mohammadzadeh@gau.ac.ir
3. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. E-mail: s.saeidi@gau.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Human-induced land use land cover changes have resulted in adverse impacts on the environment at various spatial and temporal scales. Land surface temperature (LST) is an important indicator associated with strong spatio-temporal variability in complex Earth Patterns. Remote sensing is the primary source for various types of thematic data critical to land analysis, including land use data and land surface temperature changes. In this study, first, to analyze the spatial-temporal land surface temperature changes, LST maps were prepared using Radiative Transfer Equation, Single Channel Algorithm, Split Window Algorithm and Two Mono Window Algorithm. Then the performance of Land Surface Temperature (LST) retrieval methods was evaluated. Land use and land cover maps were prepared to investigate the contribution and role of each land use class on the changes of the LST. Also, the effects Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Built-up Index and elevation on LST variability were investigated. There was a positive correlation of LST with Normalized Difference Built-up Index and a negative correlation with Normalized Difference Vegetation Index and elevation for all years. Spatio-temporal analysis shows a 6.64°C increase in LST from 1989 to 2021. The results clearly showed the moderating role of vegetation, regardless of its type, on LST. The findings of the present study serve as basic information for future studies to investigate the impact of different policies on LULC change in the region. Also, the obtained results reveal the importance of studying and examining the mentioned changes in order to achieve sustainable development.
Article history: Received 18 October 2022 Received in revised form 19 January 2023 Accepted 20 January 2023 Published online 22 June 2023	
Keywords: <i>Remote sensing, Normalized Difference Vegetation Index, Normalized Difference Built-up Index, Decision Tree Classifier.</i>	
Cite this article: Parvar, Z., Marjan Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2023). Quantitative assessment of spatio-temporal dynamics of land use/land cover and land surface temperature using different algorithms and landsat imagery. <i>Journal of Natural Environment</i> , 76 (2), 229-243. DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2022.351529.2492	
© The Author(s). DOI: http://doi.org/10.22059/jne.2023.350109.2484	

ارزیابی کمی پویایی مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین و دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و داده‌های لندست

زهرا پرور^۱ | مرجان محمدزاده^۲ | سپیده سعیدی^۳

۱. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: zahra.parvar_s98@gu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: mohammadzadeh@gu.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: s.saeidi@gu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تغییرات کاربری/پوشش زمین ناشی از فعالیت‌های انسانی منجر به اثرات نامطلوب بر محیط‌زیست در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف شده است. دمای سطح زمین یک شاخص مهم مرتبط با تنوع مکانی-زمانی الگوهای پیچیده زمین است. فناوری سنجش از دور نیز به‌عنوان منبع اولیه برای انواع مختلف داده‌های موضوعی مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل داده‌های کاربری زمین و تغییرات دمای سطح زمین کاربرد فراوانی دارد. در این مطالعه به‌منظور تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی تغییرات دمای سطح زمین، نقشه‌های آن با استفاده از روش معادله انتقال تابشی، الگوریتم تک کانال، الگوریتم پنجره مجزا و دو الگوریتم تک پنجره تهیه شد. همچنین عملکرد روش‌های مختلف ارزیابی دمای سطح زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌های کاربری و پوشش زمین جهت بررسی سهم و نقش هر طبقه کاربری در تغییرات دمای سطح زمین به‌دست آمد. همچنین، اثرات شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، شاخص ساخت و ساز تفاضلی نرمال شده و ارتفاع بر تنوع دمای سطح زمین بررسی شدند. در تمام سال‌های مورد مطالعه دمای سطح زمین با شاخص ساخت و ساز تفاضلی نرمال شده همبستگی مثبت و با شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و ارتفاع همبستگی منفی دارد. علاوه بر آن، تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی دمای سطح زمین افزایش ۶/۶۴ درجه سانتی‌گراد را در دمای سطح زمین منطقه مطالعاتی از ابتدای ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ نشان داد. نتایج نقش تعدیل‌کننده پوشش گیاهی، صرف‌نظر از نوع آن را بر دمای سطح زمین به‌وضوح نشان داد. یافته‌های مطالعه حاضر می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه برای مطالعات و برنامه‌ریزی آینده جهت بررسی تأثیر سیاست‌های مختلف تغییر کاربری و پوشش زمین در منطقه استفاده شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱	
کلیدواژه‌ها: سنجش‌ازدور، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، شاخص ساخت و ساز تفاضلی نرمال شده، طبقه‌بندی درخت تصمیم.	

استاد: پرور، زهرا؛ محمدزاده، مرجان؛ و سعیدی، سپیده (۱۴۰۲). ارزیابی کمی پویایی مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین و دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و داده‌های لندست. محیط زیست طبیعی، ۷۶ (۲)، ۲۴۳-۲۲۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2023.350109.2484>



مقدمه

یکی از ضروریات کلیدی برای پرداختن به چالش‌های مرتبط با مدیریت زمین، آگاهی از روندهای تغییرات در کاربری/پوشش زمین (LULC)^۱ موجود است. پیشرفت در سنجش از دور، از نظر در دسترس بودن تصاویر با وضوح بالا از لحاظ مکانی-زمانی سازگار همراه با فن‌های نوآورانه پردازش تصویر، منابع ارزشمندی را برای نظارت و بررسی مؤثر تغییرات پویا در LULC فراهم کرده است. نقشه‌های LULC اطلاعات مفیدی برای درک تعاملات سیستم‌های ژئوفیزیکی، اجتماعی و اقتصادی فراهم می‌آورند (Chaudhuri and Mishra, 2016; Rwanga and Ndambuki, 2017). شهرنشینی یکی از مهم‌ترین عوامل آغازکننده تغییر و تحول در LULC است (Imen et al., 2022) و تغییراتی که در مواد سطحی به دلیل تغییر پوشش گیاهی، خاک، آلودگی سطح زمین ایجاد می‌کند، بر تعادل انرژی محلی تأثیر می‌گذارد و ویژگی‌های تابشی، حرارتی، رطوبت، زبری و انتشار سطح زمین و جو را تغییر می‌دهد (Almeida et al., 2021; Mathew et al., 2017). علاوه بر LULC، دمای سطح زمین (LST)^۲ یکی دیگر از متغیرهای مهم سلامت محیط است که به راحتی می‌توان از داده‌های سنجش از دور استخراج کرد و به شدت در درک تأثیر تغییر LULC در مناطق مختلف آسیب‌پذیر محیطی اهمیت دارد (Chaudhuri and Mishra, 2016). LST که به عنوان دمای رادیومتریکی نیز شناخته می‌شود، به اندازه‌گیری مستقیم دمای سطح زمین اشاره دارد. برخلاف اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌های هواشناسی که دمای نزدیک سطح را ثبت می‌کنند، LST مقیاس دقیق‌تری از تجزیه و تحلیل را امکان‌پذیر می‌کند، به طوری که می‌تواند در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم، دمای برگ‌های تاج پوشش، در مناطق برای پوشش گیاهی کم، دمای مجموعه تاج پوشش، طبقه زیرین (اندام، شاخه‌ها و غیره) و سطح خاک و در زمین‌های بدون پوشش گیاهی (بایر) دمای چند میکرومتر بالای سطح خاک را نشان دهد (Almeida et al., 2021). تطبیق‌پذیری داده‌های LST در طیف گسترده‌ای از مطالعات تحقیقاتی علوم زمین مانند نظارت بر اثرات گرمایش جهانی بر دریاچه‌ها، کمی کردن اثر جزیره گرمایی شهری، درک بهتر پویایی فضایی امواج گرما نشان داده شده است. همچنین در بخش کشاورزی، سری‌های زمانی داده‌های LST به‌طور معمول برای تولید شاخص‌هایی برای نقشه‌برداری نیاز حرارتی محصولات کشاورزی به‌منظور مشخص کردن مناطق بالقوه رشد محصولات استفاده می‌شود (Hulley et al., 2019).

مطالعات قبلی اثرات کاربری‌ها و پوشش زمین بر دمای سطح زمین از جنبه‌های مختلفی بررسی نموده‌اند (Guha et al., 2022; Yeneneh et al., 2018; Feng و همکاران (۲۰۱۹)، روابط بین LST و شاخص‌های مختلف پوشش زمین در یک منطقه شهری بررسی کردند و عوامل غالب شاخص ساخت و ساز تفاضلی نرمال شده (NDBI)^۳ و به دنبال آن شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)^۴ و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)^۵ بود. در حالی که شاخص‌های پوشش زمین عوامل غالب تأثیرگذار بر LST بودند، عوامل مجاورت و نزدیکی فضایی مانند فواصل تا مرکز شهر و جاده‌های اصلی نیز به‌طور قابل توجهی بر LST تأثیرگذار بود (Feng et al., 2019). Imen و همکاران (۲۰۲۲)، رابطه بین LULC و LST را در یک بازه زمانی ۳۳ ساله در شهر گوئاما در الجزایر که دارای آب و هوای نیمه‌خشک با زمستان‌های خنک است بررسی نمودند. مطالعات موجود نشان می‌دهد که شاخص‌های LULC مانند NDVI، NDBI، NDWI با LST همبستگی معنی‌داری دارند و تغییرات در این شاخص‌ها تأثیر قابل توجهی بر LST دارد (Chaudhuri and Mishra, 2016).

درک روابط فضایی بین LST و پوشش زمین، می‌تواند به فرمول‌بندی کاهش دما کمک کند. از این رو، تجزیه و تحلیل الگوهای فضایی LST و شناسایی عوامل تأثیرگذار آن‌ها مهم است. (Feng et al., 2019). اقلیم محلی شهرها عمدتاً به عوامل توپوگرافی و فیزیکی در مقیاس کلان و میان مقیاس (موقعیت جغرافیایی، پستی و بلندی‌ها، چرخه آب و غیره) بستگی دارد و به تغییرات زمانی و مکانی عوامل مربوطه حساس است (Martinelli and Matzarakis, 2017). اثر تغییرات در LST به دلیل تغییر در ارتفاع نیز باید در مناطق وسیعی که زمین مسطح نیست در نظر گرفته شود. Tenenbaum و Njoku

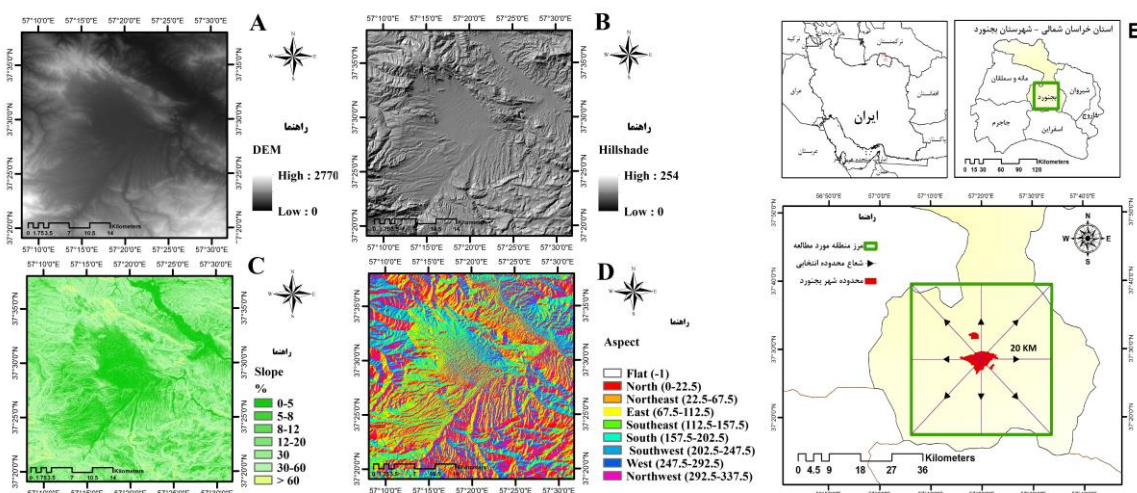
^۱Land Use Land Cover (LULC)

^۲Land Surface Temperature

^۳Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

^۴The Normalized Difference Water Index (NDWI)

^۵Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



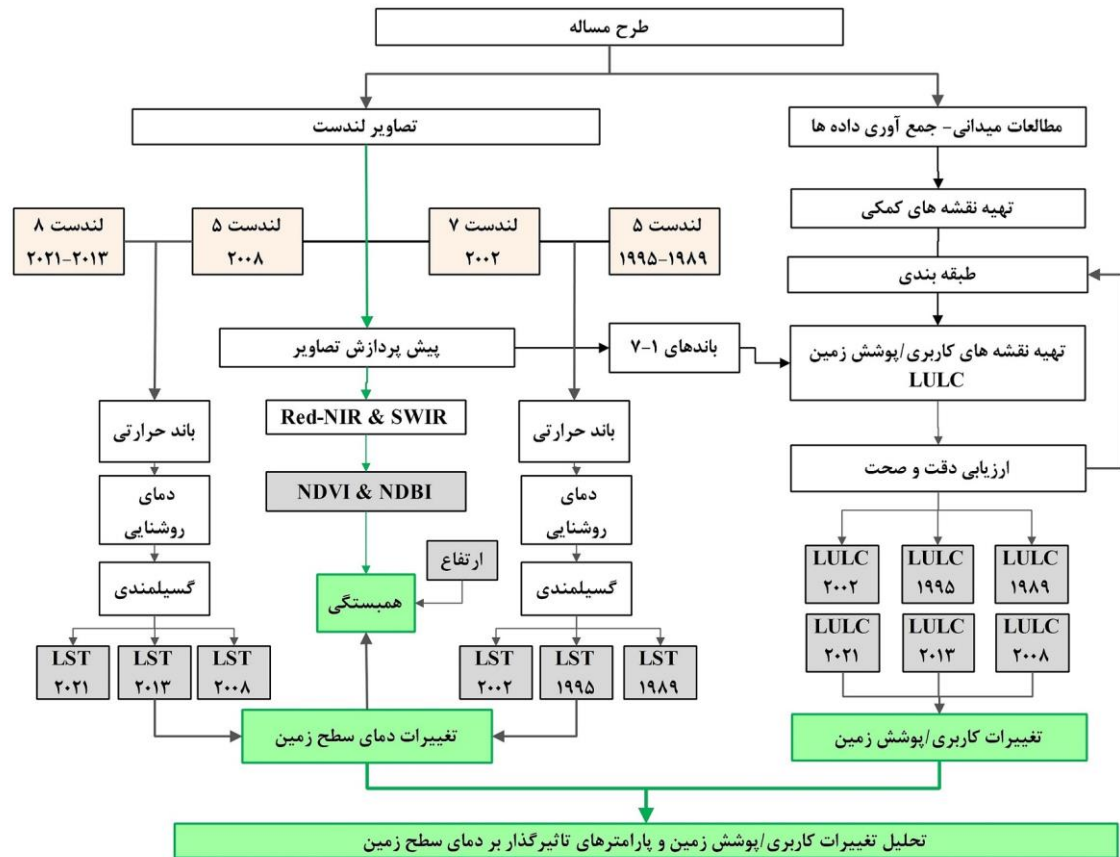
شکل ۱. نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع (A)، سایه‌روشن (B)، شیب (C) و جهت (D) و موقعیت منطقه مورد مطالعه (E)

از روش آستانه NDVI برای طبقه‌بندی دسته‌های مختلف LULC شهری استفاده کردند و میزان ارتباط بین LULC، ارتفاع، LST و محرک‌های تغییرات مکانی و زمانی را بررسی نمودند. به نظر می‌رسد عدم برنامه‌ریزی LULC مشکلی در مقیاس محلی و منطقه‌ای است که به یک مسئله جدی در مطالعه تغییرات اکولوژیک در سراسر جهان تبدیل شده است. چنین تغییراتی پیامدهای زیادی برای جامعه بشری، تاب‌آوری محیطی و مسائل مربوط به آب، مانند تغییر رواناب، نفوذ و تخلیه آب‌های زیرزمینی دارد (Aboelnour and Engel, 2018). با توجه به مرور منابع فوق، انجام مطالعات برآورد دمای سطح زمین و شناسایی عوامل و معیارهای مؤثر بر آن به‌عنوان یک نیاز پژوهشی در سطح جهانی ضروری به نظر می‌رسد، بنابراین هدف از انجام مطالعه حاضر مقایسه الگوریتم‌های مختلف برآورد دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده‌های مختلف تصاویر ماهواره‌ای لندست و بررسی پویایی زمانی و مکانی عوامل تأثیرگذار بر دمای سطح زمین است. برای درک فرآیند شهرنشینی و تجزیه و تحلیل تأثیر آن بر پایداری محیطی منطقه ضروری است که یک منطقه به‌عنوان یک کل در نظر گرفته شود. اگرچه تا به امروز، مطالعات متعددی ویژگی‌های فضایی دمای سطح زمین در محدوده شهری را بررسی نموده‌اند (Arab et al., 2022; Parvar et al., 2022)، با این حال مطالعات کمتری بر روی الگوها و فرآیندهای تغییر LULC و LST در یک گستره فضایی بزرگ‌تر (فراتر از محدوده شهر) متمرکز شده است. در پژوهش حاضر شهر بجنورد به‌عنوان منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه: از آنجا که منطقه مورد مطالعه دارای ناهمگونی‌های بسیاری است، در این پژوهش، محدوده‌ای به مساحت ۱۶۴۰ کیلومترمربع شامل شهر بجنورد و زمین‌های اطراف آن به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردید. ارتفاع متوسط شهر بجنورد ۱۰۱۰ متر از سطح دریا است. این شهر به‌عنوان مرکز استان خراسان شمالی، تقریباً در مرکز جغرافیایی استان خراسان شمالی واقع شده است. منطقه از شمال به ارتفاعات قره‌باغ و کوه آخور، از شرق به خانه سرو شمیلی، از جنوب به بینالود و از غرب به بلندی‌های بدرانلو محدود می‌شود. آب و هوا از نوع نیمه‌خشک تا خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و طولانی است. بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهر ۲۲۸۹۳۱ نفر (در ۶۷۳۳۵ خانوار) بوده است. شکل ۱ شرایط کلی منطقه از نظر شیب، جهت، ارتفاع، سایه‌روشن و موقعیت آن را نشان می‌دهد.

فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌ها در محیط نرم‌افزارهای ENVI 5.3، ArcGIS 10.8 (ESRI) و Google Earth Pro صورت گرفت و محاسبات مربوط به تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین در محیط نرم‌افزار مبتنی بر پایتون و متن‌باز LST تهیه شده توسط Parvar و SalmanMahini (۲۰۲۳) انجام شد. نمودار جریانی این فرآیند در شکل ۲ خلاصه شده است.



شکل ۲. نمودار جریان روش کار

داده‌ها و روش کار

محصولات سری لندست: در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل وضوح بالا، امکان تصحیح جوی و به‌روزرسانی سریع و پیوسته، به‌عنوان منبع داده استفاده شده است. ماهواره‌های سری لندست از سال ۱۹۷۲ تقریباً به‌طور پیوسته و با یک چرخه تکرار ۱۶ روزه از زمین تصویربرداری می‌کنند. اطلاعات دقیق در مورد لندست در سایت USGS^۶ در دسترس است. در این پژوهش از چهار تصویر بدون ابر (>۱۰٪) لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ برای تولید نقشه‌های LULC و LST استفاده شد. لازم به ذکر است تقریباً تمام تصاویر لندست در یک ماه مشخص (اگوست) با وضوح فضایی ۳۰ متر تهیه شده‌اند (جدول ۱). پیش از پردازش تصاویر، تصحیحات هندسی و رادیومتریک اعمال شد. از آنجا که تصاویر در بازه‌های زمانی مختلف و در نتیجه شرایط جوی متفاوتی ثبت شده‌اند، اصلاحات جوی با استفاده از ماژول FLAASH در نرم‌افزار ENVI پیاده‌سازی شد. تجزیه و تحلیل شامل پیش‌پردازش تصاویر، طبقه‌بندی، استخراج شاخص‌های پوشش زمین NDVI و NDBI و ارزیابی دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی در مجموعه داده لندست است. برای به‌دست آوردن تجسم بهتر محیط‌های شهری از تصاویر ترکیبی با ترکیب باند رنگی کاذب از باندهای RGB= 543 برای Landsat 8، RGB= 432 برای Landsat 5 TM و Landsat 7 ETM+ استفاده شد. لازم به ذکر است داده‌های حقیقت زمین برای اعتبارسنجی LULC از عکس‌های هوایی و Google Earth به‌دست آمد.

^۶<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat>

جدول ۱. اطلاعات مربوط به داده‌های لندست و پارامترهای جوی (از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱)

ارتفاع (km)	P (mb)	RH (%)	T0 (°C)	مسیر/ردیف	توان تفکیک (متر)	تاریخ و زمان دریافت تصویر (UTC)	سنجنده
۱/۰۷۴	----	----	----	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۱۹۸۹/۰۸/۰۸-۰۶:۱۶:۰۲	لندست ۵
۱/۰۷۴	----	----	----	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۱۹۹۵/۰۸/۲۵-۰۵:۵۲:۰۷	TM
۱/۰۷۴	۸۸۵/۳	۳۸	۲۶	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۲۰۰۸/۰۷/۲۷-۰۶:۳۵:۳۸	لندست ۷
۱/۰۷۴	۸۸۷/۶	۲۹/۸	۲۶	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۲۰۰۲/۰۸/۰۴-۰۶:۳۷:۲۱	لندست ۸
۱/۰۷۴	۸۹۲/۲	۲۶/۲	۲۵/۷	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۲۰۱۳/۰۸/۲۶-۰۶:۵۱:۱۲	
۱/۰۷۴	۸۹۳/۲	۲۳/۱	۲۴/۳	۱۶۱-۰۳۴	۳۰	۲۰۲۱/۰۸/۱۶-۰۶:۴۹:۱۹	

رطوبت نسبی (RH) - دمای نزدیک به سطح (T0) - فشار (p)

داده‌های دما: از داده‌های لندست مربوط به ۴ تاریخ مختلف برای ارزیابی مقایسه‌ای عملکرد LST به دست آمده از روش معادله انتقال تابشی^۷ (RTE)، الگوریتم‌های تک کانال^۸ (SCA)، پنجره مجزا^۹ (SWA) و دو الگوریتم تک پنجره^{۱۰} (MWA) استفاده شد. داده‌های هواشناسی از داده‌های ایستگاه هواشناسی بجنورد (سامانه درخواست و فروش داده‌های سازمان هواشناسی <https://data.irimo.ir/withoutlogin/index.aspx>) و همچنین وبسایت هواشناسی ogimet (<https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>) به صورت ساعتی به دست آمد. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به داده‌های لندست و پارامترهای جوی ذکر شده است.

تهیه نقشه کاربری/پوشش زمین به روش درخت تصمیم: برای موفقیت‌آمیز بودن فرآیند طبقه‌بندی تصاویر، عوامل متعددی از جمله در دسترس بودن تصاویر با کیفیت لندست و داده‌های ثانویه، فرآیند طبقه‌بندی دقیق و تجربیات و تخصص کاربر از رویه‌ها در نظر گرفته می‌شود (Rwanga and Ndambuki, 2017). با توجه به این که تهیه نقشه‌های کاربری فرآیندی مهم و حساس بوده و خروجی کار در محاسبات بعدی و تحلیل‌ها اهمیت بالایی دارد، در این مطالعه نقشه‌های کاربری و پوشش زمین با کمک مجموعه‌ای از روش‌های نظارت نشده، نظارت شده و در نهایت استفاده از طبقه‌بندی درخت تصمیم^{۱۱} با نرم‌افزار ENVI 5.3 طبقه‌بندی شدند. ساختار طبقه‌بندی تعریف شده توسط یک درخت تصمیم از داده‌های آموزشی با استفاده از یک روش آماری تخمین زده می‌شود. درخت‌های تصمیم، الگوریتم‌های طبقه‌بندی هستند که یک مجموعه داده را به زیر مجموعه‌های همگن تقسیم می‌کنند (Punia et al., 2011).

NDVI رایج‌ترین و پرکاربردترین شاخص برای استخراج پوشش گیاهی است. NDBI نیز برای شناسایی منطقه انسان ساخت و یا زمین بایر استفاده می‌شود. این دو شاخص را می‌توان برای دسته‌بندی انواع مختلف LULC با مقادیر آستانه مناسب بکار برد. برای دستیابی به طبقه‌بندی دقیق‌تر، ممکن است از عملگرهای بولی روی باندهای طیفی شاخص‌ها استفاده شود؛ اما این مقادیر آستانه ممکن است به دلیل شرایط جوی متفاوت باشند. همچنین این مقادیر ممکن است برای طبقه‌بندی LULC ادغام شوند (Guha et al., 2018).

شش نوع کاربری با در نظر گرفتن انواع کاربری از نظر تغییرات دمای سطح زمین، شامل مناطق انسان ساخت (مناطق مسکونی شهری، روستایی و برخی از مناطق انسان ساخت)، کشاورزی (زمین‌های دیم و با پوشش گیاهی ضعیف یا زمین‌های رها شده و بایر)، باغ (باغ، جنگل و مناطق درخت کاری شده و پوشش گیاهی انبوه) و فضای سبز شهری (فضای سبز در محدوده شهر)، جاده (راه‌های اصلی و خیابان‌ها)، مرتع (شامل مراتع و سایر) شناسایی شدند. یکی از مهم‌ترین مراحل نهایی در فرآیند طبقه‌بندی، ارزیابی دقت است. هدف از ارزیابی دقت، ارزیابی کمی این است که چگونه پیکسل‌ها به طور مؤثر در طبقه‌های پوشش زمین به طور صحیح

⁷Radiative Transfer Equation

⁸Single-Channel Algorithm

⁹Split-Window Algorithm

¹⁰Mono-Window Algorithm

¹¹Decision Tree classifier

نمونه‌برداری شده‌اند از تصاویر با وضوح بالای لندست، Google Earth برای شناسایی طبقه‌ها و با برداشت ۱۸۰ نمونه از تمام منطقه جهت ارزیابی صحت استفاده شد.

بازیابی دمای سطح زمین: با استفاده از مدل تصحیح اتمسفری تجزیه و تحلیل سریع خط دید-اتمفسفر^{۱۲} (FLAASH)، داده‌های سری زمانی Landsat برای بازیابی رادیانس طیفی بالای اتمفسفر (TOA) تصحیح شدند. اعداد دیجیتالی تصویر ابتدا به رادیانس طیفی و سپس به دمای روشنایی تبدیل شدند. در این مطالعه باندهای مادون قرمز حرارتی انواع مختلف تصویر لندست شامل باند ۶ برای لندست ۵ سنجنده TM و لندست ۷ سنجنده ETM و باند ۱۰ و ۱۱ سنجنده OLI/TIRS برای برآورد LST استفاده شد. باند ۱۱ تنها در الگوریتم SWA استفاده شد. سپس برای بازیابی دمای سطح زمین الگوریتم‌های تک پنجره (Qin et al., 2001; Wang et al., 2015; Rongali et al., 2017) و تک کانال (Cristóbal et al., 2018)، پنجره مجزا (Sobrinho et al., 2018; Rongali et al., 2018) و معادله انتقال تابشی (Diaz et al., 2021) مورد بررسی قرار گرفتند.

شاخص‌های طیفی: با توجه به اینکه شاخص‌های طیفی و LST با هم در ارتباط هستند (Guo et al., 2020)، در تحقیق حاضر برای تعیین رابطه بین دمای سطح زمین با پوشش گیاهی و پویایی منطقه انسان‌ساخت، NDVI و NDBI محاسبه شد. NDVI بازتاب سطحی را اندازه‌گیری می‌کند، در برآورد رشد پوشش گیاهی و زیست‌توده مفید است و از نسبت بین بازتاب بالای اتمفسفر^{۱۳} (TOA) باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک (NIR) براساس رابطه ۱ حاصل می‌شود (Rongali et al., 2018):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad \text{رابطه ۱}$$

محاسبه NDBI با استفاده از باندهای مادون قرمز میانی (MIR) و مادون قرمز نزدیک (NIR) برای داده‌های لندست با استفاده از رابطه ۲ انجام شد (Zha et al., 2003):

$$\text{NDBI} = \frac{\text{MIR} - \text{NIR}}{\text{MIR} + \text{NIR}} \quad \text{رابطه ۲}$$

یافته‌های پژوهش

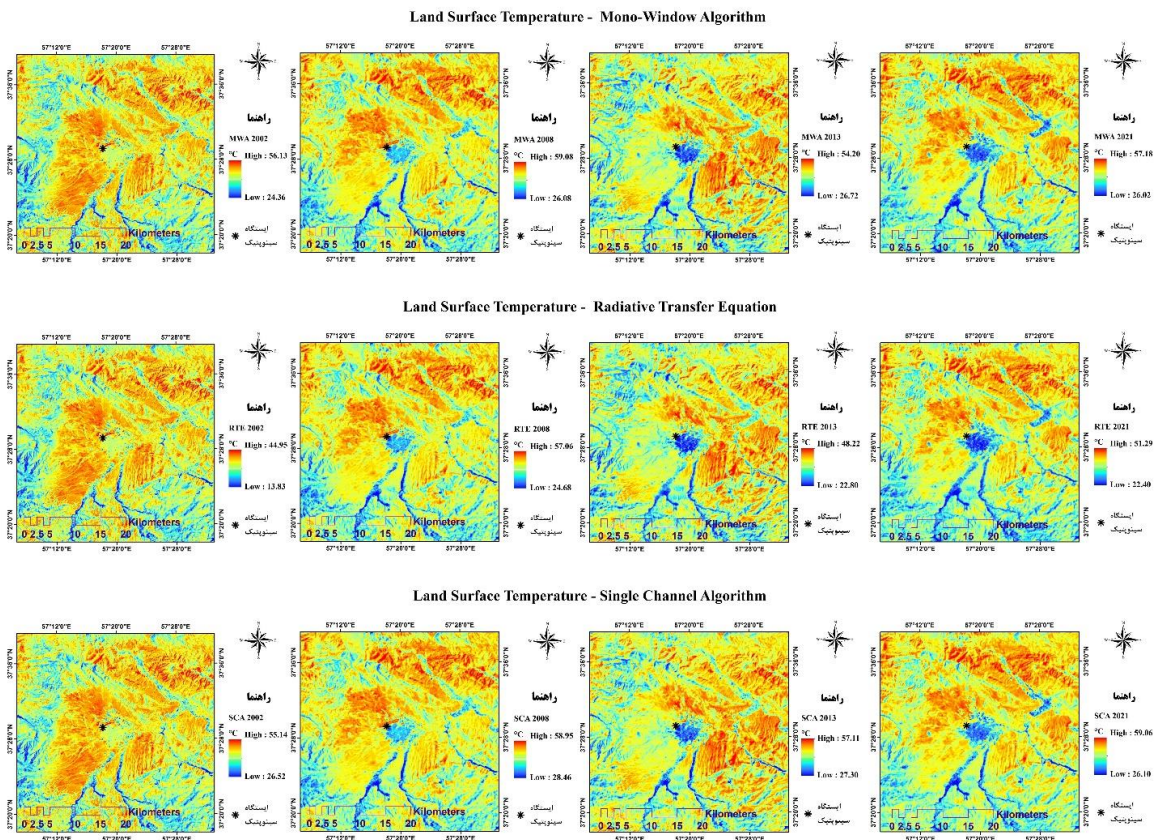
نقشه‌های دمای سطح زمین: در شکل ۳ نقشه‌های LST به‌دست آمده از سنجنده‌های Landsat 5 TM و Landsat 7 ETM+ و Landsat 8 OLI/TIRS با استفاده از رابطه انتقال تابشی (Diaz et al., 2021)، الگوریتم تک کانال SCA (Cristóbal et al., 2018; Jiménez-Muñoz and Sobrinho, 2003; Isaya Ndossi and Avdan, 2016) و الگوریتم تک پنجره MWA (Qin et al., 2001) برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ و یک الگوریتم ساده تک پنجره MWA (Rongali et al., 2017) برای سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۵ ارائه شده‌اند. از آنجا که اطلاعات جوی برای سال‌ها ۱۹۸۹ و ۱۹۹۵ در دسترس نبود تنها از یک الگوریتم تک پنجره ساده (Simple MWA) که نیازی به پارامترهای جوی در برآورد دما ندارد در این سال‌ها استفاده شد (Rongali et al., 2017). نقشه‌های LST به‌دست آمده از الگوریتم تک پنجره ساده برای تمام سال‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.

الگوریتم پنجره مجزا SWA (Jimenez-Munoz and Sobrinho, 2008) به دو باند حرارتی نیاز دارد، بنابراین تنها داده‌های تصاویر لندست ۸ که دو باند حرارتی دارند (۲۰۱۳ و ۲۰۲۱) برای برآورد دمای سطح زمین در این سال‌ها استفاده شد (شکل ۵). باند ۱۱ لندست ۸ بیشتر تحت تأثیر جذب بخار آب قرار می‌گیرد و نسبت به خطاهای پروفایل جوی حساس‌تر است. با این وجود برخی مطالعات نتایج خوبی از این الگوریتم به‌دست آورده‌اند. الگوریتم SW در بین همه الگوریتم‌های عملیاتی مورد استفاده برای بازیابی LST مبتنی بر فضا محبوب‌ترین است (Rongali et al., 2018).

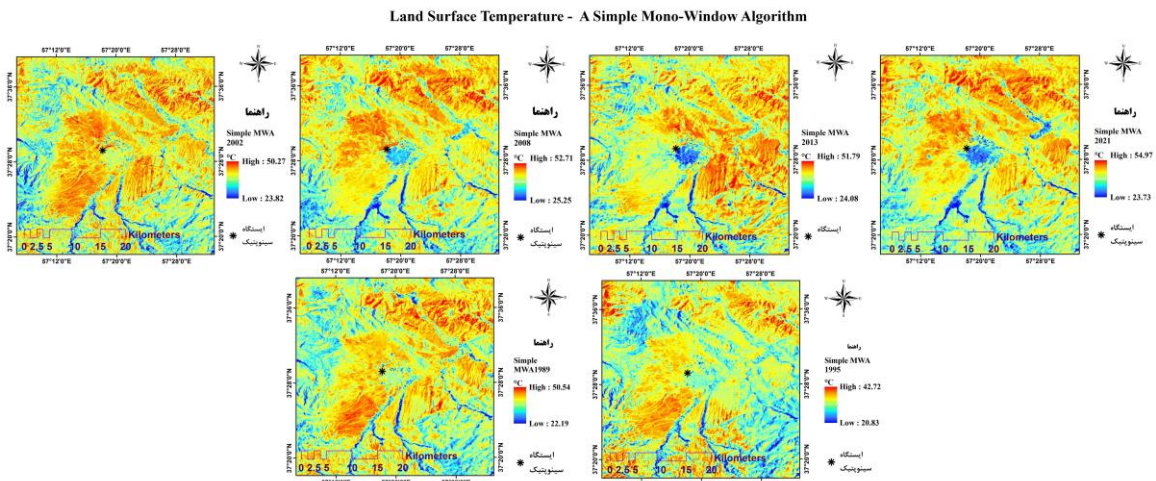
داده‌های هواشناسی فرودگاه بجنورد برای ارزیابی دقت مقادیر LST به دست آمده از سنجنده‌ها استفاده شد. بررسی و مقایسه نتایج به‌دست آمده با داده‌های ایستگاه هواشناسی نشان داد در لندست ۷ و ۸، RTE نتایج نزدیک‌تری به داده‌های ایستگاه هواشناسی دارد. همچنین MWA ساده برای لندست ۵ نتایج قابل قبولی داشت (جدول ۲). از طرفی MWA و SCA در لندست

¹²Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH) model

¹³Top of the Atmosphere (TOA)



شکل ۳. حاصل از الگوریتم‌های تک کاناله، تک پنجره و رابۀ انتقال تابشی سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ لندست ۷ و ۸



شکل ۴. نقشه LST به دست آمده از یک الگوریتم تک پنجره ساده سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱

۷ مقادیر بالایی داشتند و مقدار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) این اختلاف را نشان می‌دهد. Rongali و همکاران (۲۰۱۸) تا ۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف در مقایسه دمای سطح زمین در MWA و SWA با داده‌های ایستگاه هواشناسی مشاهده نمودند. گاهی اوقات، بسته به شرایط آب و هوایی و سایر عوامل، تفاوت‌ها می‌تواند بزرگ باشد (Rongali et al., 2018).

الگوی مکانی و زمانی کاربری/پوشش زمین: نتایج نقشه‌های انواع کاربری و تغییرات LULC در منطقه مورد مطالعه از سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ در بازه زمانی ۳۲ ساله در شکل ۶ ارائه شده است که شامل: کاربری باغ، جاده، مرتع، مناطق انسان‌ساخت،

جدول ۳. مساحت و درصد کاربری‌ها

۲۰۲۱	۲۰۱۳	۲۰۰۸	۲۰۰۲	۱۹۹۵	۱۹۸۹	واحد	LULC
۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	درصد	جاده
۱۶/۸۵	۱۶/۰۹	۱۲/۳۱	۱۲/۳۱	۱۲/۲۲	۱۲/۲۲	مساحت (Km2)	
۶۳/۷۲	۶۵/۲۸	۶۶/۹۰	۶۷/۱۰	۶۸/۷۷	۶۸/۱۳	درصد (%)	مرتع
۱۰۴۵/۲۴	۱۰۷۰/۶۹	۱۰۹۷/۳۵	۱۱۰۰/۶۷	۱۱۲۷/۹۶	۱۱۱۷/۴۷	مساحت (Km2)	
۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۳۲	درصد (%)	فضای سبز شهری
۳/۲۳	۳/۰۴	۳/۹۵	۴/۴۹	۴/۳۴	۵/۳۰	مساحت (Km2)	
۱/۸۳	۱/۵۸	۱/۳۴	۱/۲۷	۰/۷۹	۰/۶۶	درصد (%)	مناطق انسان ساخت
۳۰/۰۰	۲۵/۹۰	۲۲/۰۳	۲۰/۹۰	۱۲/۹۳	۱۰/۷۵	مساحت (Km2)	
۹/۱۵	۸/۹۹	۹/۳۱	۹/۷۳	۱۰/۱۶	۹/۷۹	درصد (%)	باغ
۱۵۰/۰۲	۱۴۷/۴۵	۱۵۲/۷۳	۱۵۹/۵۴	۱۶۶/۶۴	۱۶۰/۱۴	مساحت (Km2)	
۲۴/۰۸	۲۲/۹۹	۲۱/۴۵	۲۰/۸۷	۱۹/۲۷	۲۰/۳۸	درصد (%)	کشاورزی
۳۹۴/۹۱	۳۷۷/۰۸	۳۵۱/۸۹	۳۴۲/۳۴	۳۱۶/۱۵	۳۳۴/۳۶	مساحت (Km2)	

جدول ۴. مقادیر حداقل و حداکثر دمای ثبت شده توسط هر الگوریتم

سال	SWA (°C)		SCA (°C)		RTE (°C)		MWA		MWA_SIM (°C)	
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل
۱۹۸۹	---	---	---	---	---	---	---	---	۵۰/۵۴	۲۲/۱۹
۱۹۹۵	---	---	---	---	---	---	---	---	۴۲/۷۳	۲۰/۸۳
۲۰۰۲	---	---	۵۵/۱۳	۲۶/۵۱	۴۵/۹۵	۱۳/۸۳	۵۶/۱۳	۲۴/۳۶	۵۰/۲۷	۲۳/۸۲
۲۰۰۸	---	---	۵۸/۹۶	۲۸/۴۷	۵۷/۰۶	۲۴/۶۸	۵۹/۰۸	۲۶/۰۸	۵۲/۷۱	۲۵/۲۵
۲۰۱۳	۵۹/۲۴	۲۴/۲۹	۵۷/۱۱	۲۷/۳۲	۴۸/۲۲	۲۲/۸۰	۵۴/۲۰	۲۶/۷۲	۵۱/۷۸	۲۴/۰۸
۲۰۲۱	۵۹/۴۹	۲۳/۸۶	۵۹/۰۶	۲۶/۱۰	۵۱/۲۹	۲۲/۴۰	۵۷/۱۸	۲۶/۰۲	۵۴/۹۷	۲۳/۷۳

نسبت به سال ۱۹۸۹ فضای سبز شهری (پارک‌ها، خانه باغ‌ها و سایر اشکال فضای سبز درون شهری) از ۵/۳۰ کیلومترمربع به ۳/۰۴ کیلومترمربع کاهش یافته و کاربری باغ نیز حدود ۱۰ کیلومترمربع کاهش را نشان می‌دهد. همچنین اگرچه نتایج مساحت کاربری کشاورزی طی این سال‌ها افزایش داشته (حدود ۶۰ کیلومترمربع) اما مساحت مراتع طی این مدت ۷۲ کیلومترمربع کاهش یافته است. افزایش مساحت مناطق انسان‌ساخت و کاهش مساحت کاربری‌هایی مانند فضای سبز، باغ‌ها و مراتع بیانگر اثرات توسعه شهری در منطقه مورد مطالعه است (جدول ۳).

توزیع مکانی و زمانی الگوی LST: مقدار حداقل و حداکثر LST حاصل برای سال‌های مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده

است. نتایج حاصل از تمامی الگوریتم‌ها افزایش قابل توجه دما در طول دوره مطالعه را نشان می‌دهد. مشارکت و سهم هر نوع کاربری در LST حاصل در دوره ۳۱ ساله در جدول ۵ و شکل ۷ نمایش داده شده است. براساس نمودارهای ارائه شده در شکل ۷ روند کلی به گونه‌ای است که LST برای تمام کاربری‌ها به جز کاربری فضای سبز شهری در طول دوره مطالعه افزایش را نشان می‌دهد. طبق نتایج، کاربری مرتع بیش‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است. در همین روند، سهم مناطق انسان‌ساخت و کشاورزی نیز به‌طور کلی از همین روند افزایشی پیروی می‌کنند. Ouma و همکاران (۲۰۲۱)، بالا بودن LST در کاربری‌هایی از جمله مناطق انسان‌ساخت و زمین‌های بایر را به خاک‌های شنی خشک نسبت می‌دهند که دارای خواص تا حدی مشابه بتن ساخته شده یا سطوح قیر شده هستند. بررسی مقادیر بیشینه دمای ثبت شده در هر کاربری برای تمام الگوریتم‌های پیشنهادی به جز SCA تقریباً روند یکسانی را برای تمام سال‌ها نمایش می‌دهد، با این حال اختلافات جزئی در نتایج وجود دارد.

همبستگی دما با NDVI و NDBI: بررسی توزیع مکانی و زمانی LST با NDVI و NDBI به‌منظور درک چگونگی همبستگی بین متغیرها از نظر عملکردی و تحلیل تأثیرات آن‌ها بر دمای سطح زمین در منطقه ضروری است. براساس مطالعه Mathew و همکاران (۲۰۱۷)، LST با NDVI و NDBI همبستگی قوی‌تری در سیمای سرزمین طبیعی بزرگ ایجاد می‌کند، در حالی که در

جدول ۵. تأثیر و سهم کاربری/پوشش زمین بر LST

سال	کشاورزی	باغ	مناطق انسان ساخت	فضای سبز شهری	مرتع	جاده
A simple MWA						
۱۹۸۹	۳۸/۸۵	۳۴/۲۸	۳۸/۲۴	۳۵/۰۷	۳۸/۳۵	۳۷/۶۷
۱۹۹۵	۳۳/۳۲	۳۰/۰۵	۳۱/۸۳	۳۰/۲۴	۳۲/۶۷	۳۲/۳۷
۲۰۰۲	۴۰/۹۱	۳۶/۵۸	۴۰/۴۶	۳۸/۴۳	۴۰/۳۷	۳۹/۹۶
۲۰۰۸	۴۲/۱۹	۳۷/۶۸	۳۷/۲۰	۳۷/۳۲	۴۱/۱۹	۴۰/۲۳
۲۰۱۳	۴۱/۷۸	۳۶/۸۳	۳۶/۲۷	۳۶/۷۸	۴۱/۰۸	۳۹/۵۸
۲۰۲۱	۴۳/۴۱	۳۸/۲۰	۳۷/۱۳	۳۶/۶۸	۴۲/۴۱	۴۰/۸۶
MWA						
۲۰۰۲	۴۴/۸۴	۳۹/۶۵	۴۴/۲۹	۴۱/۸۸	۴۴/۶۲	۴۳/۶۹
۲۰۰۸	۴۸/۳۳	۴۲/۶۴	۴۱/۸۳	۴۲/۱۷	۴۷/۰۲	۴۵/۸۰
۲۰۱۳	۴۳/۴۴	۳۸/۰۱	۳۷/۶۲	۳۷/۸۶	۴۲/۶۹	۴۱/۰۵
۲۰۲۱	۴۴/۸۵	۳۹/۱۴	۳۸/۲۰	۳۷/۴۰	۴۳/۳۸	۴۲/۰۷
RTE						
۲۰۰۲	۳۴/۱۷	۲۹/۲۷	۳۳/۶۳	۳۱/۵۰	۳۳/۹۵	۳۳/۰۷
۲۰۰۸	۴۳/۱۳	۴۰/۹۰	۳۸/۴۲	۳۷/۲۱	۴۳/۱۳	۴۰/۹۰
۲۰۱۳	۳۹/۵۸	۳۸/۵۶	۳۳/۰۰	۳۳/۳۶	۳۹/۵۸	۳۸/۵۶
۲۰۲۱	۳۸/۲۶	۴۰/۶۸	۳۳/۱۱	۳۲/۴۶	۳۸/۲۶	۴۰/۴۸
SCA						
۲۰۰۲	۴۷/۲۷	۴۲/۳۵	۴۱/۷۱	۴۱/۹۴	۴۶/۱۶	۴۵/۱۰
۲۰۰۸	۴۷/۲۷	۴۲/۳۵	۴۱/۷۱	۴۱/۹۴	۴۶/۱۶	۴۵/۱۰
۲۰۱۳	۴۶/۱۵	۴۰/۷۹	۴۰/۱۲	۴۰/۷۲	۴۵/۳۸	۴۳/۷۵
۲۰۲۱	۴۶/۷۷	۴۱/۲۶	۴۰/۰۸	۳۹/۶۲	۴۵/۷۰	۴۴/۰۶
SWA						
۲۰۱۳	۴۵/۷۷	۳۹/۱۲	۴۱/۱۳	۳۹/۸۶	۴۴/۴۷	۴۳/۴۳
۲۰۲۱	۴۵/۸۳	۳۹/۱۱	۴۰/۸۰	۳۸/۳۲	۴۴/۵۲	۴۳/۲۲

مناطق کوچک انسان ساخت میزان همبستگی ضعیف تر است. به طور کلی، LST رابطه منفی با NDVI و رابطه مثبت با NDBI دارد، اما این رابطه ممکن است به دلیل تفکیک مکانی، گسترش عرضی یا تغییرات فصلی متفاوت باشد. به طور معمول، مقادیر بالای NDVI نشان دهنده وجود پوشش گیاهی سبز و مقادیر بالای NDBI نشان دهنده وجود منطقه انسان ساخت و یا زمین بایر است. نتایج نشان می دهد مناطقی که در آن زمین بایر غالب است و به ویژه در فصل تابستان، NDBI نمی تواند شاخصی مناسب برای مطالعات شهری باشد. از این رو شاخص ISA می تواند به عنوان پارامتر بهتری نسبت به NDBI باشد.

همبستگی دما و ارتفاع: زمین در منطقه مورد مطالعه دارای پستی و بلندی ها و تغییراتی در ارتفاع قسمت های مختلف است. ارتفاع نقش مهمی در پویایی دمای سطح زمین دارد و در مطالعات بررسی توزیع فضایی LST در مناطق با وسعت بالا، اثر تغییر ارتفاع نیز باید در نظر گرفته شود؛ بنابراین در مطالعه حاضر، میزان همبستگی ارتفاع و LST برای سال های مختلف بررسی و مشخص گردید یک روند خطی منفی ثابت برای تمام سال های مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۶). به طور معمول با افزایش ارتفاع، LST روند نزولی دارد. در برخی مطالعات عکس آن نیز ثبت شده است، Mathew و همکاران (۲۰۱۷) دلیل این رابطه عکس را به سایر پارامترهای تأثیرگذار بر LST در منطقه مورد مطالعه از جمله زاویه تابش خورشید، ویژگی های سطح مانند زبری سطح، میزان رطوبت، میزان پوشش گیاهی و سایر عوامل نسبت داده اند. زمانی که تغییر در ارتفاع با فاصله افقی بین نقاط مورد نظر مرتبط باشد، افت LST بین ۳/۵ تا ۴/۶ درجه کلوین در هر ۱۰۰۰ متر تغییر ارتفاع مشاهده می شود.



شکل ۷. نقشه تأثیر و سهم کاربری/پوشش زمین بر LST برای الگوریتم‌های RTE و SCA، MWA و SW

بحث و نتیجه‌گیری

ماهوره‌های سنجش‌ازدور با سنجنده‌های با وضوح فضایی بالا راه را برای برآورد آسان LST هموار کرده‌اند (Rongali *et al.*, 2018). ترکیب داده‌های سنجش‌از دور، ایستگاه‌های هواشناسی ثابت و GIS ابزار مفیدی برای بررسی و ردیابی میزان تغییرات انواع کاربری و در نتیجه پوشش زمین را ارائه می‌دهند. در مطالعه حاضر، تحلیل مکانی-زمانی LST و LULC به‌ترتیب برای سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۵، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ با استفاده از الگوریتم‌های MWA (Rongali *et al.*, 2017) MWA (Qin *et al.*, 2001)، RTE (Diaz *et al.*, 2021) SCA (Jiménez-Muñoz and Sobrino, 2003) و SW (Jimenez-Munoz and Sobrino, 2008) برای سنجنده‌های مختلف لندست ۵، ۷ و ۸ انجام شد. این الگوریتم‌ها برای منطقه وسیعی از زمین‌های اطراف شهر بجنورد اعمال شده است که با دارای ناهمگونی‌های بسیاری در سطح زمین شامل انواع سطوح مختلف مانند ساختمان‌ها، جاده‌های آسفالت، مناطق کشاورزی، زمین‌های شیب‌دار، باغ‌های میوه، مراتع و برخی مناطق پوشش گیاهی طبیعی است. نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی برای ارزیابی عملکرد هر الگوریتم، با اندازه‌گیری‌های دمای هوا در تنها ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه واقع در فرودگاه شهر بجنورد مقایسه شده‌اند. بررسی‌ها نشان دادند اگرچه LST به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های SW و SC دارای مقادیر بالاتری هستند، الگوریتم RTE مقادیر نزدیک‌تری به دمای ثبت شده در ایستگاه را نشان می‌دهد. تفاوت در نتایج به‌دست‌آمده ممکن است به دلیل خطاهایی ناشی از شبیه‌سازی پارامترهای جوی، برآورد مدل گسیلمندی سطح زمین^{۱۴} LSE و برآورد بخار آب اتمسفر باشد. Isaya Ndossi و Avdan (۲۰۱۶) الگوریتم‌های مختلفی را برای سنجنده‌های لندست با هم مقایسه نمودند و همه الگوریتم‌ها برای بازیابی LST مناسب ارزیابی شد. با این حال لندست ۵ و ۷ بهترین نتایج را از RTE و برای لندست ۸ از تابع پلانک و SCA به‌دست آوردند. مقادیر دمایی مورد استفاده در

¹⁴Land Surface Emissivity

ارزیابی دقت، دمای نزدیک به سطح اندازه‌گیری شده از ایستگاه‌های هواشناسی بوده و دمای واقعی زمین نیست. این دماها در ارتفاع دو متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شوند. Garcia-Santos و همکاران (۲۰۱۸) سه الگوریتم مختلف را برای تصاویر لندست ۸ با هم مقایسه نمودند و براساس یافته‌های آن‌ها، SWA در مقایسه با RTE نتایج بهتری برای سنجنده TIR داشت؛ بنابراین با مقایسه الگوریتم‌های مختلف می‌توان روش ارجح در منطقه مورد مطالعه خود را انتخاب نمود (Garcia-Santos et al., 2018).

بررسی نقشه‌های کاربری و پوشش زمین به منظور تعیین سهم و نقش هر طبقه کاربری بر تغییرات دمای سطح زمین نشان داد بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه مربوط به کاربری مرتع است و بیشترین دما را نیز در آن مناطق می‌توان یافت. بعد از آن بالاترین دما در کاربری کشاورزی (شامل زمین‌های کشاورزی دیم یا زمین‌های رها شده و بایر، بدون پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی ضعیف) و جاده‌ها ثبت شده است. به عبارتی دمای سطح زمین با تغییرات کاربری در منطقه مانند کاهش مراتع، افزایش کاربری کشاورزی (زمین‌های دیم و با پوشش گیاهی ضعیف یا زمین‌های رها شده یا بایر)، ساخت و ساز و جاده در ارتباط است.

این مطالعه با تعیین تغییرات LULC و ادغام با NDVI و NDBI و ارتفاع، تجزیه و تحلیل LST را برای شهر بجنورد از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ ارائه کرد. دمای سطح زمین به طور قابل توجهی به دلایل مختلفی از جمله تغییر جهانی اقلیم و فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است. در تحقیق حاضر نیز تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی LST، افزایش ۶/۶۴ درجه سانتی‌گراد در دمای سطح زمین از ابتدای ۱۹۸۹ تا ۲۰۲۱ را نمایان ساخته است. نتایج این پژوهش همچنین، نقش پوشش گیاهی، صرف‌نظر از نوع آن را در دمای سطح زمین به وضوح نشان داده و اهمیت افزایش پوشش گیاهی به خصوص انواع فضاهای سبز شهری و نیز نظارت بیشتر بر تغییر کاربری‌هایی که بیشترین اثر را بر افزایش دمای سطح زمین دارند را آشکار می‌سازد. تغییرات LST منطقه مورد مطالعه در تمام الگوریتم‌ها در بازه زمانی ۳۱ ساله روند افزایشی داشت و در تمام سال‌ها همبستگی مثبت LST با NDBI و منفی با NDVI و ارتفاع وجود داشت. Ouma و همکاران (۲۰۲۱)، استفاده از نقشه‌های LULC و شاخص‌های NDVI، NDBI را در پیش‌بینی LST در محیط شهری خشک مؤثر دانستند. Aboelnour و Engel (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای مشابه لزوم ارزیابی توزیع فضایی LST و LULC در برنامه‌های مدیریت سرزمین در شهرهای واقع در مناطق نیمه‌خشک و خشک بررسی نمودند.

مطالعه حاضر با دو گام اصلی انجام شد. در گام اول هدف بررسی و تعیین الگوریتم‌های مختلف ارزیابی LST و انتخاب الگوریتم ارجح با توجه به داده‌های موجود، وضعیت منطقه و هدف کار بود. در گام دوم یک تجزیه و تحلیل عمیق از رابطه مکانی-زمانی بین LULC و LST با توجه به برخی پارامترهای دخیل و تأثیرگذار بر این رابطه صورت گرفت. ترکیب این داده‌ها و ابزار GIS برای بررسی و ردیابی میزان تغییرات پوشش زمین ارائه می‌دهد. مطالعه دانش جدیدی را ارائه می‌دهد که به مدیران و برنامه‌ریزان سرزمین کمک می‌کند تا تغییرات فضایی و زمانی کاربری و پوشش زمین و تأثیرات آن بر LST را بهتر درک نموده و در طراحی و اجرای راهبردهای مناسبی که بتواند مشکلات حیاتی اجتماعی و محیط زیستی را برطرف کند، مفید است. به علاوه، دانش به‌دست‌آمده از خروجی‌های شناسایی این تغییر با توضیح پیچیدگی‌های LULC به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی تغییرات آتی به منظور دستیابی به توسعه پایدار گام‌های مؤثری بردارند.

References

- Aboelnour, M., Engel, B., 2018. Application of remote sensing techniques and geographic information systems to analyze land surface temperature in response to land use/land cover change in Greater Cairo Region, Egypt. *Journal of Geographic Information System* 10: 57-88.
- Almeida, C.R., Teodoro, A.C., Gonçalves, A., 2021. Study of the Urban Heat Island (UHI) using remote sensing data/techniques: A Systematic Review. *Environments* 8(10), 105.
- Arab, N., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A.R., Houet, T., 2022. Investigation and analysis of land use dynamics and its impact on urban Heat islands (Case study: Mashhad). *Journal of Natural Environment* 75(3), 384-398.
- Chaudhuri, G., Mishra, N., 2016. Spatio-temporal dynamics of land cover and land surface temperature in Ganges-Brahmaputra delta: A comparative analysis between India and Bangladesh. *Applied Geography* 68, 68-83.

- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J.C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D., Sobrino, J.A., 2018. An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band. *Remote Sensing* 10(3), 431.
- Diaz, L.R., Santos, D.C., Käfer, P.S., Rocha, N.S., Costa, S.T., Kaiser, E.A., Rolim, S.B., 2021. Land surface temperature retrieval using high-resolution vertical profiles simulated by WRF model. *Atmosphere* 12(11), 1436.
- Feng, Y., Gao, C., Tong, X., Chen, S., Lei, Z., Wang, J., 2019. Spatial patterns of land surface temperature and their influencing factors: a case study in Suzhou, China. *Remote Sensing* 11(2), 182.
- García-Santos, V., Cuxart, J., Villagrasa, D., Jiménez, M., Simó, G., 2018. Comparison of three methods for estimating Land Surface Temperature from Landsat 8-TIRS sensor data. *Remote Sensing* 10, 1450.
- Guha, S., Govil, H., Dey, A., Gill, N., 2018. Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing* 51, 667-678.
- Guo, A., Yang, J., Sun, W., Xiao, X., Xia Cecilia, J., Jin, C., Li, X., 2020. Impact of urban morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. *Sustainable Cities and Society* 63, 102443.
- Hulley, G.C., Ghent, D., Göttsche, F.M., Guillevic, P.C., Mildrexler, D.J., Coll, C., 2019. 3 - Land Surface Temperature. In G. C. Hulley & D. Ghent (Eds.), *Taking the Temperature of the Earth*. 57-127.
- Imen, G., Halima, G., Djamel, A., 2022. relationship between the LULC characteristic and LST, based on remote sensing and GIS, Case study Guelma (Algeria). *Romanian Journal of Geography* 65(2), 203-222.
- Isaya Ndossi, M., Avdan, U., 2016. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. *Remote Sensing* 8(5), 413.
- Jimenez-Munoz, J., Sobrino, J.A., 2008. Split-Window Coefficients for Land Surface Temperature Retrieval From Low-Resolution Thermal Infrared Sensors. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 5(4), 806-809.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108(D22), 4688.
- Martinelli, L., Matzarakis, A., 2017. Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society* 29, 97-106.
- Mathew, A., Khandelwal, S., Kaul, N., 2017. Investigating spatial and seasonal variations of urban heat island effect over Jaipur city and its relationship with vegetation, urbanization and elevation parameters. *Sustainable Cities and Society* 35, 157-177.
- Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., Saeidi, S., 2022. Effects of land use and land morphology on land surface temperature: a case study for Bojnourd City, North Khorasan. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* In Press.
- Parvar, Z., SalmanMahini, A.R., 2023. A python-based application for retrieving Land Surface Temperature (LST) from landsat imagery. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, in Press.
- Punia, M., Joshi, P.K., Porwal, M.C. 2011. Decision tree classification of land use land cover for Delhi, India using IRS-P6 AWiFS data. *Expert Systems with Applications* 38(5), 5577-5583.
- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing* 22(18), 3719-3746.
- Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A., Khosa, R., 2017. A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from landsat 8 thermal infrared sensor data. Conference: 4th International Conference on Recent Developments in Science, Engineering & Technology (REDSET 2017), October 13–14, 2017, Goenka University, Gurgaon, New Delhi, India.
- Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K., Khosa, R., 2018. Split-Window algorithm for retrieval of Land Surface Temperature using landsat 8 thermal infrared data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis* 2(2), 14.

- Rwanga, S. and Ndambuki, J. 2017. Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences* 08, 611-622.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A., Martinez, P., 2008. Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46(2), 316-327.
- Torres, P., Augusto, M., Neves, C., 2022. Value dimensions of gamification and their influence on brand loyalty and word-of-mouth: Relationships and combinations with satisfaction and brand love. *Psychology & Marketing* 39(1), 59-75.
- Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., Zhao, S., 2015. An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data. *Remote Sensing* 7(4), 4268-4289.
- Yeneneh, N., Elias, E., Feyisa, G.L., 2022. Detection of land use/land cover and land surface temperature change in the Suha watershed, North-Western highlands of Ethiopia. *Environmental Challenges* 7, 100523.

