



Land surface temperature (LST) variability in local climate zones (LCZs) in semi-arid regions (Case study: Bojnourd City)

Zahra Parvar¹ | Marjan Mohammadzadeh² | 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@yahoo.com

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

Article type:

Research Article

Article history:

Received 20 February 2024

Received in revised form 04 May 2024

Accepted 25 May 2024

Published online 31 August 2024

Keywords:

Land Surface Temperature (LST),

Land cover,

Local Climate Zones (LCZs),

Urban morphology.

ABSTRACT

Urbanization which has been considered the main contributor to climatic problems in cities, not only changed the physical environment in cities, but also has affect the characteristics of local climate zone. This study aims to investigate the relationship between surface properties of Local Climate Zones (LCZ) extracted from satellite resolution images and Land Surface Temperatures (LST) in a semi-arid region. By employing the LCZ approach, the study seeks to understand how LCZs influence LSTs in this specific environmental context. This study consisted of four main steps: Image preprocessing, LST retrieval, LCZ map preparation and spatial analysis. In this way, the LCZ scheme was used to classify the study area based on two sets of built-up types and land-cover types. Google Earth was used to specify training areas under study and to define different LCZ types. The Split Window Algorithm (SWA) was used to retrieve LST from Landsat-8 TIRS. The results showed that the built type and the land-cover type behave like two independent sets of patterns in the study area. The build type set fluctuated in a higher LST range than the cover land set (forest, farmlands and bushes). By shedding light on the relationship between the surface properties of LCZs and LSTs, the study provides valuable insights into the factors influencing thermal dynamics in semi-arid environments. Armed with this knowledge, urban planners can develop more informed strategies and interventions aimed at mitigating heat-related challenges and improving overall urban livability.

Cite this article: Parvar, Z., Mohammadzadeh, M., & Saeidi, S. (2024). Land surface temperature (LST) variability in local climate zones (LCZs) in semi-arid regions (Case study: Bojnourd City). *Journal of Natural Environment*, 77 (2), 371-384. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.372929.2653>



بررسی تغییرات دمای سطح زمین (LST) در منطقه بندی آب و هوای محلی (LCZs) مناطق نیمه خشک (مطالعه شهر بجنورد)

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

۱. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: zahra.parvar@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: mohammadzadeh@gau.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. رایانامه: s.saeidi@gau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	شهرنشینی که به عنوان عامل اصلی مشکلات اقلیمی در شهرها در نظر گرفته می شود، نه تنها محیط فیزیکی شهرها را تغییر داده است، بلکه ویژگی های آب و هوای محلی و منحصر به فرد مناطق شهری را تحت تأثیر قرار داده است. هدف از این مطالعه بررسی رابطه بین ویژگی های سطحی مناطق آب و هوای محلی استخراج شده از تصاویر ماهواره ای و دمای سطح زمین در یک منطقه نیمه خشک است. با استفاده از یک رویکرد طبقه بندی LCZ، این مطالعه به دنبال درک چگونگی تأثیر LCZ بر LST در این زمینه محیطی خاص است. این مطالعه شامل چهار مرحله اصلی بود: پیش پردازش تصاویر، بازیابی LST، تهیه نقشه LCZ و تجزیه تحلیل فضایی. طرح LCZ برای منطقه بندی منطقه مورد مطالعه بر اساس دو مجموعه انواع انسان ساخت و انواع پوشش زمین استفاده شد. Google Earth برای مشخص کردن مناطق آموزشی و تعریف انواع مختلف LCZ مورد استفاده قرار گرفت. از داده های سنجنده مادون قرمز حرارتی لندست و الگوریتم پنجره مجزا (SWA) برای بازیابی LST استفاده گردید. نتایج نشان داد مجموعه های انسان ساخت و پوشش طبیعی زمین به عنوان دو مجموعه الگوی مستقل در منطقه مورد مطالعه رفتار می کنند. LST مجموعه انسان ساخت نسبت به انواع پوشش گیاهی زمین (جنگل، مزارع و بوته ها) در محدوده گرم تری نوسان داشت. این مطالعه با روشن کردن رابطه بین خواص سطحی طبقات LCZ و LST، بینش های ارزشمندی را در مورد عوامل مؤثر بر پویایی حرارتی در محیط های نیمه خشک ارائه می دهد. با استفاده از این دانش، برنامه ریزان شهری می توانند استراتژی ها و مداخلات آگاهانه تری را با هدف کاهش چالش های مربوط به گرما و بهبود زندگی شهری توسعه دهند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰	
کلیدواژه ها: پوشش زمین، دمای سطح زمین (LST)، منطقه بندی آب و هوای محلی (LCZs)، مورفولوژی شهری.	

استاد: پرور، زهرا؛ محمدزاده، مرجان؛ و سعیدی، سپیده (۱۴۰۳). بررسی تغییرات دمای سطح زمین (LST) در منطقه بندی آب و هوای محلی (LCZs) مناطق

نیمه خشک (مطالعه شهر بجنورد). محیط زیست طبیعی، ۷۷ (۲)، ۳۸۴-۳۷۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.372929.2653>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

شهرنشینی در نیم‌قرن گذشته نه تنها محیط فیزیکی شهرها را تغییر داده، بلکه ویژگی‌های آب‌وهوای محلی و منحصر به فرد مناطق شهری را شکل داده است (Parvar and Shayesteh, 2017; Wang *et al.*, 2017). در نتیجه، داشتن اطلاعات در مورد شهرها و ساختار داخلی آنها اهمیت بالایی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری پیدا کرده است (Bechtel *et al.*, 2015). در حال حاضر مناطق شهری (که به‌عنوان ساختمان‌های نزدیک به هم با سطوح غیر قابل نفوذ و فضاهای بیرونی مدیریت‌شده تعریف می‌شوند) کمتر از ۳ درصد از سطح زمین را به‌خود اختصاص داده‌اند، با این‌وجود اکثر جمعیت جهان (بیش از ۵۳ درصد) را در خود جای داده و تا سال ۲۰۵۰، ۶۶ درصد از جمعیت جهان را در خود جای خواهند داد (Bechtel *et al.*, 2016). دمای سطح زمین (LST) که به‌عنوان دمای محسوس یا قابل لمس شناخته می‌شود می‌تواند از طریق هر سطح بر روی زمین (برف و یخ، خاک، سقف یک ساختمان یا جنگل) که در معرض سنجندۀ ماهواره‌ای است ثبت شود (Gholami Rostam and Beck, 2019). دمای سطح زمین به‌شدت تحت تأثیر مورفولوژی شهری قرار دارد. مطالعات موجود نشان می‌دهد LST به‌شدت تحت تأثیر پارامترهای مختلف مورفولوژی شهری قرار دارد (Yang and Li, 2015; Zheng *et al.*, 2019; Danniswari *et al.*, 2022). فقدان اطلاعات دقیق در مورد داده‌های مناطق شهری به‌عنوان یک مانع بزرگ برای پیشرفت در درک این رابطه شناخته شده است (Bechtel *et al.*, 2016).

مشاهدات از فضا می‌تواند اطلاعات منحصر به‌فردی ارائه دهد که درک بهتری از تکامل مناطق ساخته‌شده و مدیریت تغییرات آب‌وهوا را ممکن می‌سازد (Chini *et al.*, 2018). به این منظور با کمک طرح منطقه‌بندی آب‌وهوایی محلی^۱ (LCZ) استوارت و اوک (Stewart and Oke, 2012) که برای طبقه‌بندی استاندارد مناطق شهری و روستایی براساس شرایط آب‌وهوایی ارائه‌شده است (Estacio *et al.*, 2019)؛ می‌توان اطلاعات قابل اعتمادی از شکل و عملکرد شهری گردآوری نمود (Bechtel *et al.*, 2015). داده شهری جهانی و ابزارهای پورتال دسترسی (WUDAPT)^۲ پروتکلی برای جمع‌آوری، سازمان‌دهی، ذخیره و در دسترس قرار دادن چنین داده‌هایی ایجاد کرده است (Bechtel *et al.*, 2016). بیشتر مطالعات قبلی از داده‌های منبع باز مبتنی بر رستر و پایگاه WUDAPT برای نقشه‌برداری LCZ استفاده کرده‌اند (Estacio *et al.*, 2019; Ochola *et al.*, 2020; Bande *et al.*, 2020; Aboungendia, 2023).

تأثیر توسعه شهری بر اقلیم محلی به‌طور گسترده در ادبیات علمی به اثبات رسیده است (Bechtel *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; Azmi *et al.*, 2021). همکاران (Azmi, 2021)، رویکرد طبقه‌بندی منطقه‌بندی آب‌وهوایی محلی (LCZ) را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح متوسط فضایی را بررسی و رابطه دما و ویژگی‌های سطح زمین در یک منطقه نیمه‌خشک در مراکش آزمایش نمودند. آنها دریافتند طبقه‌بندی محیط‌های شهری به زون‌های اقلیم محلی به درک عمیق‌تری از پویایی شهری کمک می‌کند. Aboungendia (2023)، به‌منظور بررسی اهمیت توزیع LST در جزایر رودخانه نیل قاهره، مناطق همگن LCZ را به‌دست آوردند. تجزیه و تحلیل خروجی‌ها در این مطالعه نتایج قابل اعتمادی از روابط فضایی بین LST و LCZs را نشان داد. Bechtel و همکاران (2019)، از مجموعه داده‌های ۵۰ شهر در سراسر جهان استفاده و شهرها را با استفاده از تفاوت‌های حرارتی در دمای سطح تولیدشده با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد LCZ را می‌توان برای هر دو نوع طبقه طبیعی و شهری براساس دمای سطح زمین متمایز کرد، اما الگوهای دمای سطح زمین روز و شب می‌تواند متفاوت باشد.

برخی مطالعات جهت بهبود نتایج LCZ راهکارهایی پیشنهاد داده‌اند. Bechtel و همکاران (2016)، از داده‌های راداری سنتینل-۱ برای بهبود نتایج طبقه‌بندی LCZ استفاده کردند. نتایج آن‌ها در طبقه‌بندی شهر خارطوم به‌عنوان مطالعه موردی، نشان داد که ترکیب داده‌های چند طیفی و SAR عملکرد کلی طبقه‌بندی را بهبود می‌بخشد و روش جنگل تصادفی^۳ (RF) در طبقه‌بندی عملکرد بهتری داشت. Fonte و همکاران (2019) از داده‌های OpenStreetMap (OSM) برای افزایش توسعه LCZ، تکمیل

¹Local Climate Zone

²The World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT)

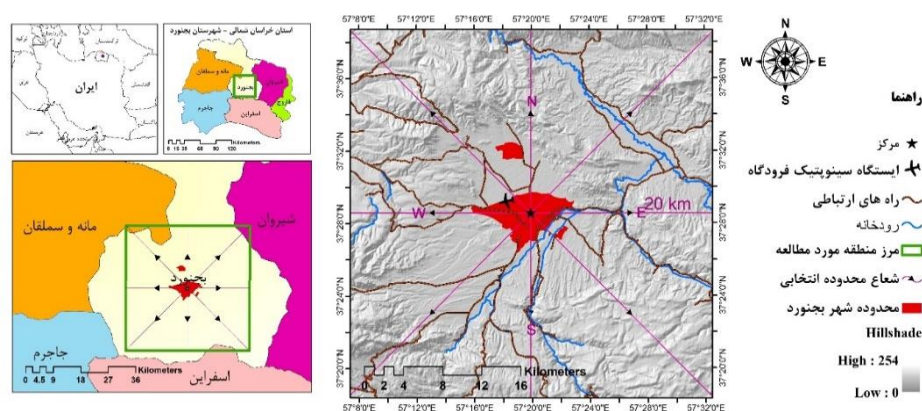
³Random Forest (RF)

منابع داده موجود و بهبود دقت نقشه‌ها استفاده کردند. مشاهدات آنها نشان داد با استفاده از این روش برای تفکیک طبقات خاصی از جمله مناطق کشاورزی و صنایع سنگین نتایج دقیق‌تری به دست می‌آید.

شهرها و مناطق مختلف در کشور، ویژگی‌های آب و هوایی متنوعی دارند. بنابراین، یکی از مسائلی که در مطالعات، به‌ویژه در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، حائز اهمیت است، شرایط آب و هوایی و اقلیم غالب منطقه مورد نظر است. هدف از این مطالعه بررسی رابطه بین ویژگی‌های سطحی LCZ و LST در یک منطقه نیمه‌خشک به منظور مدیریت نقاط گرم در مناطق شهری و حومه آن است. LCZ با در نظر گرفتن ویژگی‌های مختلف عناصر محیطی در طبقه‌بندی خود می‌تواند اطلاعات منحصر به فردی از سرزمین ارائه دهد و درک بهتر از تکامل مناطق ساخته شده و مدیریت تغییرات آب‌وهوا را ممکن می‌سازد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه: شهر بجنورد مرکز استان خراسان شمالی در ارتفاع متوسط ۱۰۱۰ متری از سطح دریا و در اقلیم سرد کوهستانی واقع شده و آب‌وهوا در محدوده محیطی آن از نوع نیمه‌خشک تا خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد و طولانی است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش منطقه‌ای به وسعت حدود ۱۶۴۰ کیلومتر مربع به مرکزیت شهر بجنورد و زمین‌های پیرامون آن است (شکل ۱). شهر بجنورد از سال ۱۳۸۳ با تبدیل شدن به مرکز استان خراسان شمالی شاهد تحولاتی از جمله رشد و توسعه شهر، افزایش جمعیت و تغییرات کاربری/پوشش زمین بوده است. افزایش جمعیت منجر به تغییراتی در کاربری و پوشش زمین از جمله کاهش فضای سبز شهری و افزایش زمین‌های کشاورزی دیم شده است. آسایش ساکنان تحت تأثیر توسعه سکونتگاه‌های جدید بدون در نظر گرفتن فضای سبز کافی قرار گرفته است. بنابراین با توجه به تغییرات سیاسی و اجتماعی، نیاز مبرمی به بررسی اثرات شهرنشینی بر تغییرات منظر وجود دارد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش کار: برای طبقه‌بندی LCZ با ۱۷ طبقه با ویژگی‌های پوششی و فیزیکی متفاوت، از تصاویر ماهواره‌ای و لایه‌های اطلاعات مکانی شهر استفاده شد. تصاویر سری زمانی لندست ۸ (باندهای چند طیفی و حرارتی) مربوط به فصل تابستان با وضوح فضایی ۳۰ متر، با پوشش ابر و مه کمتر از ۱۰٪ از سایت USGS Earth Explorer ناسا دریافت شدند. علاوه بر این از یک تصویر سنتینل-۱ برای بهبود دقت طبقه‌بندی استفاده و مجموعه‌ای از ویژگی‌های این داده‌ها انتخاب شدند تا امکان مقایسه مناسب بودن داده‌های چند طیفی و SAR برای طبقه‌بندی LCZ فراهم شود. برای شناسایی نمونه‌های تعلیمی مناسب نیز از تصاویر Google Earth استفاده شد. داده‌های مورد استفاده و منابع اخذ آن در جدول ۱ ذکر شده است.

نقشه LST از تصاویر لندست در تابستان تهیه شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای بازیابی دمای سطح زمین (شامل رطوبت نسبی، دمای نزدیک به سطح زمین و فشار) از داده‌های ایستگاه هواشناسی بجنورد به صورت ساعتی به دست آمد. اطلاعات مربوط

به داده‌های لندست و پارامترهای جوی مورد نیاز برای برآورد دمای سطح زمین در جدول ۲ ذکر شده است. لازم به ذکر است تمام تصاویر حرارتی در ساعات روز ثبت شده‌اند.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این مطالعه

منابع	توان تفکیک	تاریخ و زمان دریافت تصویر (UTC)	سنجنده
https://earthexplorer.usgs.gov	چند طیفی: ۳۰ متر حرارتی: ۱۰۰ متر	۱۹:۴۹:۰۶-۰۹/۰۹/۲۰۲۱	لندست ۸
		۱۲:۵۱:۰۶-۲۲/۰۶/۲۰۲۱	سنجنده TIRS/OLI
		۱۹:۴۹:۰۶-۱۶/۰۸/۲۰۲۱	
https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home	۱۳/۹ متر	۱۲/۰۸/۲۰۲۱	Sentinel-1 (S1A_IW_GRDH_1SDV)

جدول ۲- اطلاعات مربوط به داده‌های لندست و پارامترهای جوی

سنجنده	تاریخ و زمان دریافت تصویر (UTC)	دمای نزدیک به سطح T0 (°C)	RH رطوبت نسبی (%)
لندست ۸	۱۹:۴۹:۰۶-۱۶/۰۸/۲۰۲۱	۲۴/۳	۲۳/۱
	۵۹:۴۸:۰۶-۱۳/۰۶/۲۰۲۱	۲۵/۵	۴۴/۵
	۲۳:۴۹:۰۶-۰۱/۰۹/۲۰۲۱	۲۳/۸	۳۰
مسیر/ردیف ۱۶۱-۰۳۴ - ارتفاع ۱/۰۷۴ (km) - (lat/long 37 57)			
Altitude: 1.074 km - Path / row : 161/034			

با توجه به قابلیت بالای تصاویر رادار در بررسی رد پای شهری، از یک تصویر Sentinel-1 در کنار داده‌های لندست استفاده شد. مأموریت Sentinel-1 شامل ماهواره Sentinel-1A/B داده‌های رادار دیافراگم مصنوعی^۴ (SAR) را در باند C طیف الکترومغناطیسی ارائه می‌دهد. Sentinel-1 بسته به موقعیت جغرافیایی می‌تواند داده‌های راداری دو قطبی (VV+VH) یا (HH+HV) یا تک قطبی (VH یا VV) را در حالت تداخل سنجی گسترده^۵ (IW) ارائه دهد. در این مطالعه از محصول Sentinel-1 GRD (Level-1 Ground Range Detected) 1 پلاریزه VV و VH در تاریخ ۲۰۲۱ استفاده شد. پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر سنتینل ۱ در محیط نرم‌افزار SNAP صورت گرفت.

تحقیق حاضر در چهار مرحله اصلی انجام شد (شکل ۲):

گام اول آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای و انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصویر است.

در گام دوم LST با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر لندست ۸ و با کمک الگوریتم پنجره مجزا به دست آمد.

در گام سوم نقشه LCZ از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل ۱ بر اساس نمونه‌های تعلیمی به دست آمده در نرم‌افزار Google Earth تهیه شد.

در گام آخر تجزیه و تحلیل فضایی با تعیین محدوده حرارتی هر یک از طبقات LCZ انجام شد.

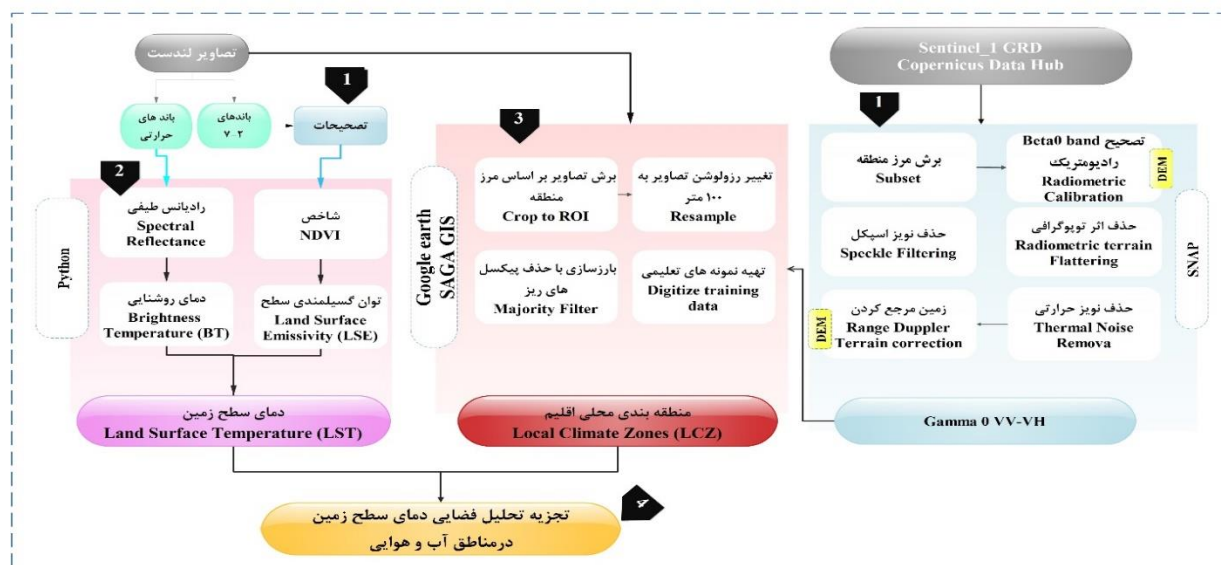
آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای: آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصویر Sentinel-1 در شکل ۲ مشاهده می‌شود. این کار شامل برش مرز منطقه، انجام تصحیحات، رفع نویز و در نهایت زمین مرجع کردن تصویر می‌شود. تصویر خروجی Gamma 0-VV/VH برای استفاده در طبقه‌بندی LCZ به دست آمد. پیش‌پردازش تصاویر لندست که در تهیه نقشه‌های LCZ استفاده شدند، نیز شامل تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری می‌شود.

بازیابی دمای سطح زمین: برای تخمین دمای سطح از تصاویر لندست ۸، از جعبه ابزار الگوریتم پنجره مجزا^۶ (SWA) در نرم‌افزار LST توسط Parvar و SalmanMahini (2024) (Parvar and SalmanMahini, 2024) توسعه داده شده، استفاده شد. الگوریتم پنجره مجزا در جعبه ابزار LST_Landsat 8 splitwindow اثرات جوی را حذف می‌کند و LST را از دو باند حرارتی به دست می‌آورد.

^۴Synthetic Aperture Radar (SAR)

^۵Interferometric Wide (IW)

^۶Split-Window Algorithm (SWA)



شکل ۲- روش کار و ابزارهای کاربردی در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

برای تهیه نقشه‌های LST با روش الگوریتم پنجره مجزا به نقشه‌های دمای روشنایی باندهای حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱)، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و پارامترهای محیطی (دمای هوا، رطوبت نسبی و فشار اتمسفر) نیاز است. میانگین دمای سطح زمین برای هر سه تصویر لندست استفاده شده در تهیه نقشه LCZ به دست آمد. رابطه ۱ روش محاسبه الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد (Sekertekin and Bonafoni, 2020):

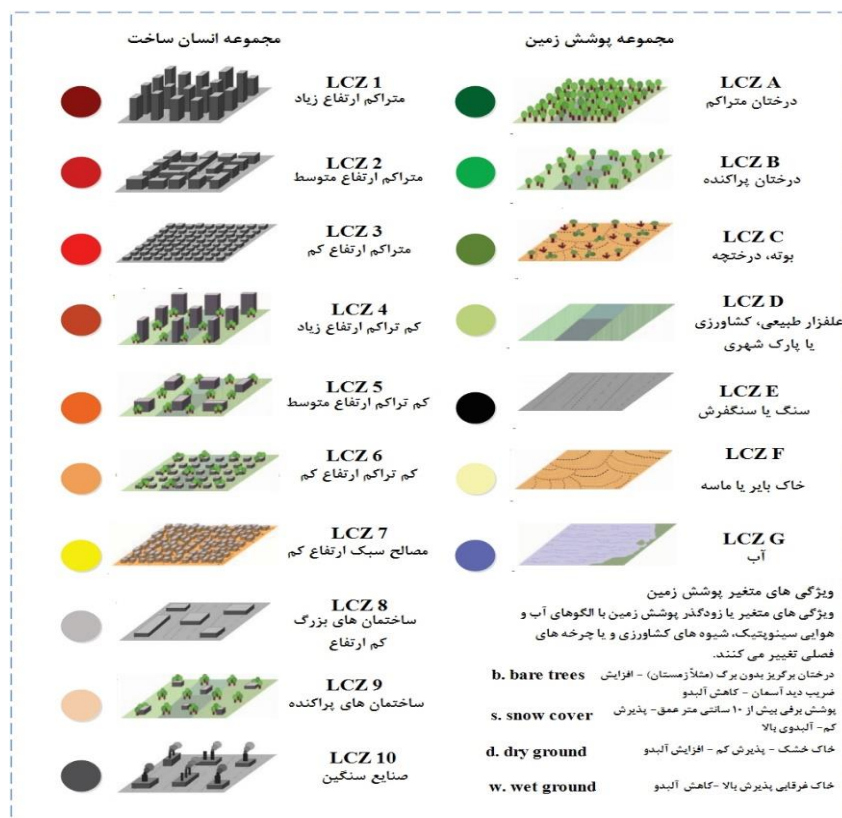
$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4W) / (1 - \epsilon) + (c_5 + c_6W)\Delta\epsilon \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن: T_s = دمای سطح زمین؛ T_i و T_j = دمای روشنایی در سنجنده در باندهای i و j برحسب کلین؛ $\Delta\epsilon$ = اختلاف گسیلمندی؛ ϵ = متوسط گسیلمندی؛ w مقدار کل بخار آب اتمسفر (g/cm^2) و C_0-C_6 = ضرایب الگوریتم پنجره مجزا. اختلاف و میانگین گسیلمندی از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$\epsilon = 0.5(\epsilon_i - \epsilon_j) \quad \text{and} \quad \Delta\epsilon = (\epsilon_i - \epsilon_j) \quad \text{رابطه ۲}$$

چارچوب منطقه‌بندی آب‌وهوای محلی (LCZ): در این مطالعه LCZ طبق دستورالعمل Bechtel و همکاران (۲۰۱۵) طبقه‌بندی شد. Stewart و Oke (۲۰۱۲)، LCZ را به ۱۷ نوع طبقه‌بندی کردند: ده نوع آن متعلق به مجموعه مناطق انسان‌ساخت (LCZ 1-10) و هفت نوع در مجموعه پوشش طبیعی زمین (A-G) است. برای طبقه‌بندی دقیق LCZ داده‌های جزئیات مورفولوژی شهری برای طبقه‌بندی شهر براساس ویژگی‌های سطح آن‌ها مورد نیاز است. اگرچه این نوع داده‌ها اغلب به دلیل محدودیت‌های تکنولوژیکی و سیاست‌های مناسب دولت در دسترس نیستند، روش‌های طبقه‌بندی LCZ مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای، پایگاه داده شهری جهانی و ابزارهای پورتال دسترسی (WUDAPT) باهدف توسعه یک طرح طبقه‌بندی LCZ که به راحتی قابل دستیابی باشد، از منابع داده رایگان، مانند تصاویر Landsat و نمونه‌های تعلیمی از Google Earth استفاده می‌کند؛ بنابراین، بسیاری از محققان در سراسر جهان روش WUDAPT را در مطالعات خود در بررسی دمای سطح زمین پذیرفته و بکار گرفته‌اند (Wang et al., 2017). دستورالعمل‌های عملیاتی و استفاده‌های توصیه شده برای LCZ توسط Stewart و Oke (۲۰۱۲) در شکل ۳ ارائه شده است.

طبقه‌بندی LCZ: در گام اول، نرم‌افزار Google Earth pro برای برداشت نمونه‌های تعلیمی از انواع LCZ استفاده شد. در مجموع حدود ۲۰۰ نمونه تعلیمی که در فرمت kmz ذخیره شده بودند، جمع‌آوری شد.



شکل ۳- تعاریف خلاصه شده برای منطقه‌بندی آب‌وهوای محلی (LCZ) و ۱۷ طبقه استاندارد آن (Stewart and Oke, 2012)

در گام بعد تمامی تصویر سری زمانی چند طیفی و حرارتی لندست ۸ و تصویر سنتینل ۱- در نرم‌افزار SAGA-GIS^۷ براساس مرز منطقه برش داده شدند و سپس برای ارائه صحیح سیگنال طیفی ساختار شهری محلی از ۳۰ متر به ۱۰۰ متر اصلی تبدیل شدند، زیرا چارچوب WUDAPT به‌جای رویکرد مبتنی بر شیء مبتنی بر یک پیکسل است. به‌طور خاص، پیکسل‌های یک طبقه باید از بخش‌های مشابهی از پوشش‌های سطح مشخص مانند سقف‌ها، خیابان‌ها، چمن‌ها و درختان تشکیل شوند. این به این معنی است که فاصله نمونه‌برداری باید بزرگ‌تر از طول مشخصه یک ساختمان اما کوچک‌تر از اندازه مشخصه یک محله باشد (Ochola *et al.*, 2020). در نهایت نمونه‌های تعلیمی تهیه‌شده در بخش اول به انواع LCZ طبقه‌بندی شدند. سپس ارزیابی دقت برای بررسی عملکرد طبقه‌بندی و دقت طبقه‌بندی LCZ و تخمین خطای طبقه‌بندی انجام شد. برای این منظور یک زیرمجموعه مستقل از حدود ۵۰٪ از نمونه‌های اعتبارسنجی برای هر طبقه LCZ به‌طور تصادفی از Google Earth pro^۸ جمع‌آوری شد. در مجموع، ۱۰۰ نمونه اعتبارسنجی جمع‌آوری شد که در قالب kmz ذخیره شده بودند. تصویر Google Earth pro به‌عنوان داده‌های مرجع در این مطالعه در نظر گرفته شد با اعتقاد بر این که به‌اندازه کافی دقیق است تا پوشش واقعی زمین را برای تأیید نتیجه طبقه‌بندی منعکس کند (شکل ۴). اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی واقعی و پیش‌بینی‌شده را می‌توان با کمک یک ماتریس سردرگمی^۸ مقایسه کرد. در مجموع ۱۰۶ نمونه (حدود ۱۰ نمونه برای هر LCZ) از نقشه LCZ نظارت‌شده شناسایی و با کمک نرم‌افزار Google Earth اعتبارسنجی شدند. سپس از چهار شاخص برای ارزیابی دقت در ماتریس خطا (ماتریس سردرگمی) به‌ترتیب شامل، درستی کل^۹، صحت کاربر^{۱۰}، صحت تولیدکننده^{۱۱} و ضریب کاپا^{۱۲} (Wang *et al.*, 2017) استفاده شد.

مقایسه دمای سطح زمین و طبقات LCZ: بررسی کاربرد نقشه‌برداری LCZ در توصیف و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های حرارتی،

⁷System for Automated Geoscientific Analysis (SAGA –GIS).

⁸confusion matrix

⁹Producer's Accuracy

¹⁰User's accuracy

¹¹Producer's Accuracy

¹²Kappa coefficient

بر این فرض استوار بود که تک تک LCZ ها ویژگی‌های متمایزی از یک رژیم LST خاص را نشان می‌دهند. فیلدهای LST با LCZ ها پوشانده شدند و LST برای هر منطقه محاسبه شد. توزیع آماری و بازه LST های بررسی شده برای هر یک از طبقات LCZ در قالب نمودار جعبه‌ای ارائه و بررسی شد.

یافته‌های پژوهش

شناسایی طبقات LCZ: شناسایی طبقات در منطقه با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی از منطقه؛ به‌ویژه اطلاعات ارتفاع ساختمان‌ها، می‌تواند فرآیندی چالشی باشد. باین‌وجود استفاده از استاندارد دستورالعمل WUDAPT در شناسایی طبقات کمک‌کننده بود. در مجموع یازده طبقه در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد شامل، پنج طبقه از مجموعه انسان‌ساخت و شش طبقه از انواع پوشش زمین (شکل ۴).



LCZ 2- Compact mid-rise
متراکم ارتفاع متوسط



LCZ 3- Compact low-rise
متراکم کم ارتفاع



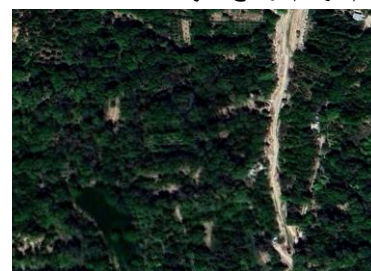
LCZ 5- Open mid-rise
کم تراکم ارتفاع متوسط



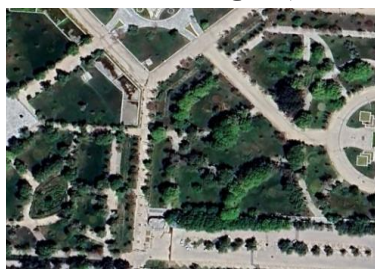
LCZ 7-Lightweight low-rise
سبک کم ارتفاع



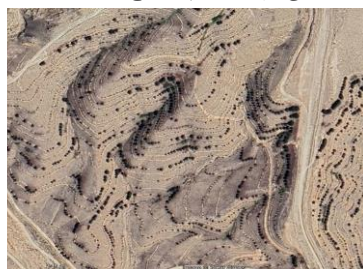
LCZ 8-Large low-rise
ساختمان بزرگ کم ارتفاع



LCZ A-Dense trees
درختان متراکم



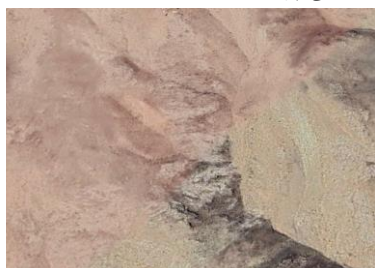
LCZ B-Scattered trees
درختان پراکنده



LCZ C-Bush, scrub
بوته درختچه



LCZ D-Low plants
علفزار - کشاورزی - پارک شهری



LCZ F-Bare soil or sand
خاک بایر یا ماسه



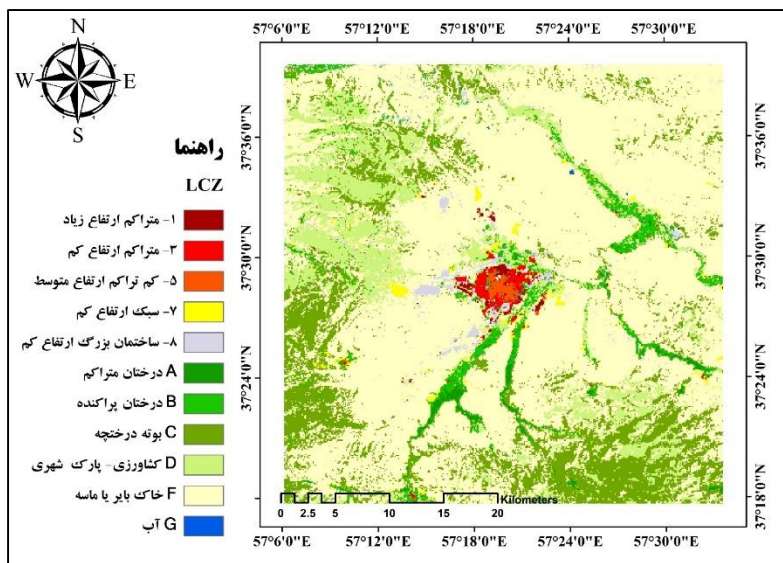
LCZ G-Water
آب

شکل ۴- نمونه‌های تعلیمی شناسایی شده برای طبقات مختلف LCZ شهر بجنورد

سپس تعریف هر یک از طبقات LCZ شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) ارائه شد (جدول ۳). براساس نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده، نقشه LCZ با ۱۱ طبقه مختلف (پنج طبقه مربوط به مجموعه انسان‌ساخت و شش طبقه از مجموعه پوشش زمین) به‌دست آمد (شکل ۵).

جدول ۲- تعاریف هر یک از طبقات LCZ شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه

طبقات	شرح
LCZ-2	ساختمان‌های متراکم با ارتفاع متوسط (۳ تا ۹ طبقه) با تعداد کمی درخت یا بدون درخت، پوشش زمین بیشتر سنگفرش و مصالح ساختمانی سنگ، آجر، کاشی و بتن.
LCZ-3	ساختمان‌های متراکم کم ارتفاع (۱ تا ۳ طبقه)، فراوانی پوشش اراضی مشابه قبلی.
LCZ-5	ساختمان‌های کم تراکم با ارتفاع متوسط (۳ تا ۹ طبقه) و فراوانی پوشش اراضی مشابه قبلی
LCZ-7	ترکیب متراکم ساختمان‌های یک طبقه-تعداد کمی درخت یا بدون درخت- مصالح ساختمانی سبک (مانند چوب، کاه‌گل و فلز سبک).
LCZ-8	چیدمان باز، ساختمان‌ها بزرگ و کم ارتفاع (۳-۱ طبقه)، تعداد کمی درخت یا بدون درخت، پوشش زمین بیشتر سنگفرش و مصالح ساختمانی فولاد، بتن، فلز و سنگ
LCZ-A	منظر پردرخت (برگریز یا همیشه‌سبز) (عملکرد منطقه طبیعی مانند جنگل، درختکاری یا پارک شهری)
LCZ-B	منظر کم درختان درختان برگریز و/یا همیشه سبز. پوشش اراضی عمدتاً نفوذی (گیاه کم). عملکرد زون جنگل طبیعی، کشت درخت یا پارک شهری است
LCZ-C	بوته‌ها و درختان کوتاه و چوبی و عملکرد منطقه شامل بوته‌زار یا کشاورزی
LCZ-D	چمن یا گیاهان علفی، تعداد کم یا بدون درخت. عملکرد منطقه علفزار طبیعی، کشاورزی یا پارک شهری
LCZ-F	پوشش خاک یا شن و ماسه و بدون گیاه، عملکرد کویر طبیعی یا کشاورزی
LCZ G	توده‌های آبی بزرگ و آزاد مانند دریاها و دریاچه‌ها یا توده‌های کوچک مانند رودخانه‌ها، مخازن و تالاب‌ها



شکل ۵- نقشه LCZ

LCZ که به‌عنوان "منطقه‌بندی آب و هوای محلی" برای ارزیابی‌های استاندارد پویایی مورفولوژی شهری تعریف شده است، فرصت‌هایی را برای مقایسه داخلی و بین‌المللی LCZ بین شهرها و برای اطمینان از برنامه‌ریزی جامع و تدوین برنامه‌های شهری امکان‌پذیر کرده است (Ochola et al., 2020).

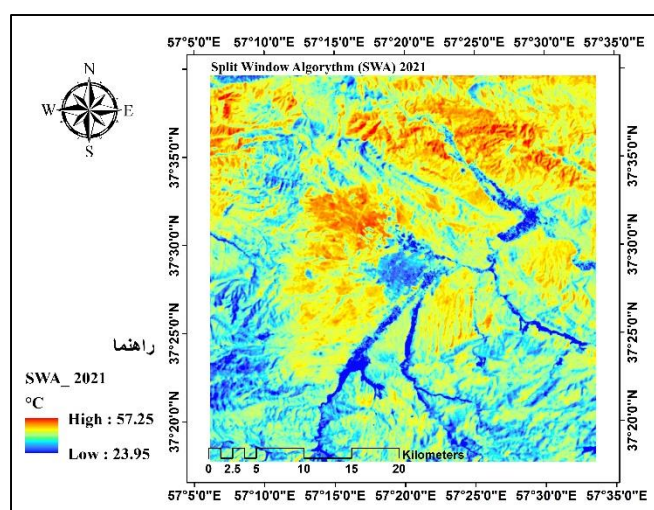
اگرچه به‌دلیل اطلاعات محدود در مورد ویژگی‌های ساختمان‌ها و پوشش گیاهی چالش‌هایی در طبقه‌بندی وجود داشت، طبقه‌بندی LCZ شهر بجنورد به‌دلیل استفاده از تصاویر لندست و سنتینل ۱- نتایج قابل اعتماد و دقیقی را نشان داده است. در این مطالعه با توجه به اینکه تصاویر گوگل ارث به‌اندازه کافی دقیق است تا پوشش واقعی زمین را برای تأیید نتیجه طبقه‌بندی منعکس کند، به‌عنوان داده‌های مرجع در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی درستی طبقه‌بندی، ماتریس خطای طبقه‌بندی شکل گرفت و ضریب کاپای ۸۹/۷۵ درصد درستی و دقت طبقه‌بندی را تأیید می‌کند. جدول ۴ جزئیات ماتریس خطای طبقه‌بندی LCZ سال ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس خطای طبقه‌بندی LCZ

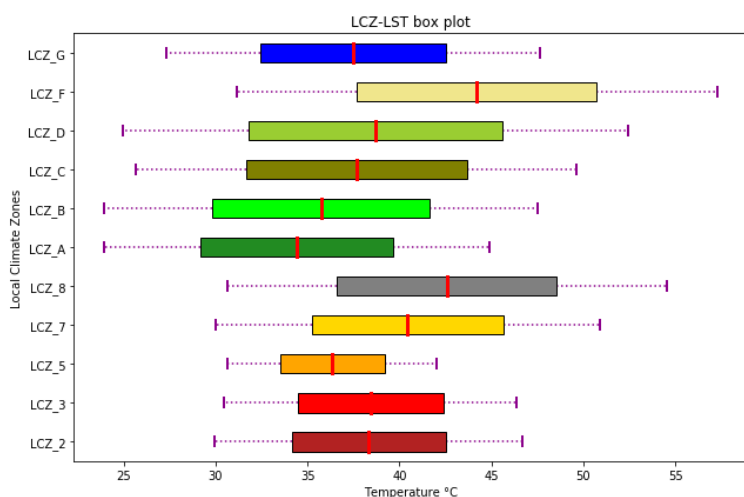
واقعیت زمینی														طبقات
صحت تولیدکننده (%)	کل	G	F	D	C	B	A	۸	۷	۵	۳	۲		
۱۰۰	۱۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱۱	۲
۱۰۰	۱۲	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۱۲	.	۳
۹۰	۱۰	.	.	.	.	.	.	.	.	۹	.	۱	۵
۱۰۰	۱۱	.	.	.	.	.	.	.	۱۱	.	.	.	۷
۹۰/۹	۱۱	.	.	.	.	.	.	۱۰	.	.	.	.	۸
۱۰۰	۸	.	.	.	.	.	۸	.	.	.	.	.	A
۶۹/۲۳	۱۳	.	.	۱	۱	۹	۲	.	.	.	.	.	B
۱۰۰	۸	.	.	.	۸	.	.	.	.	.	.	.	C
۹۰	۱۰	.	.	۹	.	۱	.	.	.	.	.	.	D
۷۰	۱۰	.	۷	.	۱	.	.	.	۱	.	.	.	F	
۱۰۰	۲	۲	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	G
نقاط درست	۱۰۶	۴	۷	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۲	۹	۱۲	۱۲	کل	
۹۶		۵۰	۱۰۰	۹۰	۸۰	۹۰	۸۰	۱۰۰	۹۱/۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۱/۶	صحت کاربر (%)	
													۹۰/۷۵	درستی کل (%)
													۸۹/۵۷	ضریب کاپا (%)
Overall accuracy (%) - User accuracy (%) - Producer accuracy (%) - Kappa coefficient														

دمای سطح زمین: همان طور که قبلاً ذکر شد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به دست آمد. براساس الگوریتم‌های پنجره مجزا حداقل و حداکثر دما در سال ۲۰۲۱ در کل منطقه به ترتیب ۲۳/۹۵ و ۵۷/۲۵ است (شکل ۶). مقایسه دمای سطح زمین در مناطق آب و هوایی محلی: برای بررسی قابلیت نقشه‌برداری LCZ برای توصیف الگوهای حرارتی در منطقه مورد مطالعه، زون‌های حرارتی هر یک از طبقات LCZ به طور جداگانه به دست آمد و براساس یک نمودار جعبه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۷). نمودار جعبه‌ای توزیع داده‌ها را براساس یک خلاصه پنج عددی نشان می‌دهد: حداقل (کمترین مقدار)، چارک اول، میانه (خط درون کادر)، چارک سوم و حداکثر (بالاترین مقدار).



شکل ۶- نقشه دمای سطح زمین - ۲۰۲۱

در مجموعه انسان ساخت، ساختمان های بزرگ کم ارتفاع (LCZ8) و ساختمان های کم تراکم با ارتفاع متوسط (LCZ5) به ترتیب بیشترین و کمترین محدوده دمایی و در مجموعه پوشش طبیعی زمین نیز خاک بایر یا ماسه (LCZA) و درختان متراکم (LCZF) به ترتیب بیشترین و کمترین محدوده دمایی را نشان دادند.



Class	MIN_LST	MAX_LST
LCZ 2	۲۹/۹۵	۴۶/۶۸
LCZ 3	۳۰/۴۸	۴۶/۳۶
LCZ 5	۳۰/۶۶	۴۲/۰۲
LCZ 7	۲۹/۹۸	۵۰/۹۱
LCZ 8	۳۰/۶۱	۵۴/۵۲
LCZ A	۲۳/۹۵	۴۴/۸۶
LCZ B	۲۳/۹۶	۴۷/۴۸
LCZ C	۲۵/۶۸	۴۹/۶۳
LCZ D	۲۴/۹۴	۵۲/۴۴
LCZ F	۳۱/۱۳	۵۷/۲۵
LCZ G	۲۷/۳۵	۴۷/۶۲

شکل ۷- نمودار جعبه ای LST در طبقات LCZ (خط قرمز داخل کادر نشان دهنده میانه است)

بحث و نتیجه گیری

هدف این مطالعه بررسی تغییرات LST در منطقه بندی آب و هوای محلی در مناطق شهری و محیط پیرامون آن است. در این راستا از طرح LCZ و تصاویر سری زمانی لندست و سنتینل-۱ استفاده شد. LCZ نقش مهمی در تحلیل الگوی شکل شهری در سطح منطقه ای و خرد ایفا می کند (Das and Das, 2020). دو ویژگی نفوذپذیری و ارتفاع را در طبقه بندی لحاظ می کند. نفوذپذیری با دمای سطح زمین ارتباطی معنی دار دارد.

به طور کلی نتایج نشان داد مجموعه های انسان ساخت و پوشش طبیعی زمین به عنوان دو مجموعه الگوی مستقل در منطقه مورد مطالعه رفتار می کنند. مجموعه انسان ساخت در محدوده دمایی بالاتری نسبت به سایر انواع پوشش گیاهی زمین (جنگل، درختکاری یا پارک شهری و بوته زارها) قرار می گیرد. در مجموعه انسان ساخت، ساختمان های بزرگ کم ارتفاع (LCZ8) و ساختمان های کم تراکم با ارتفاع متوسط (LCZ5) به ترتیب بیشترین و کمترین محدوده دمایی و در مجموعه پوشش طبیعی زمین نیز خاک بایر یا ماسه (LCZA) و درختان متراکم (LCZF) به ترتیب بیشترین و کمترین محدوده دمایی را نشان دادند.

نتایج مطالعات مشابه نشان می دهد پیکربندی فضایی محیط انسان ساخت بر رفتار حرارتی در سطح محلی تأثیر می گذارد. Abougendia (۲۰۲۳) در بررسی الگوهای حرارتی شهر قاهره در امتداد رودخانه نیل، مقادیر بالاتر LST را در مناطق شهری متراکم و نواحی صنعتی مشاهده کردند، در حالی که مناطق باز و پراکنده با رفتاری مشابه مناطق روستایی اطراف مشاهده شدند.

تفاوت دما در مناطق شناسایی شده شهر بجنورد نشان داد طبقات با پوشش گیاهی (LCZ A, LCZ B, LCZ C, LCZ D) در محدوده LST پایین تری قرار دارند که نشان دهنده اثرات خنک کنندگی آنها از طریق تعرق و سایه است. طبقات با درختان انبوه در محدوده LST پایین تری نسبت به درختان پراکنده قرار داشتند که بر اهمیت تراکم تاج پوشش در تنظیم دمای سطح تأکید می کند. برعکس، کلاس خاک بایر یا ماسه (LCZF) مقادیر LST بالاتری نسبت به انواع طبقات مجموعه انسان ساخت نشان داد که بر ویژگی های حفظ حرارت سطوح زمین در سطوح معرض عاری از پوشش گیاهی تأکید می کند. LCZ 8 (با چیدمان پراکنده ای از ساختمان بزرگ کم ارتفاع بدون پوشش گیاهی و پوشش زمین سنگفرش یا آسفالت) نیز بعد از طبقه خاک بایر بیشترین محدوده دمایی را نشان می دهد.

همچنین لکه‌های آبی کمی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. این طبقه نیز نسبت به طبقات بدون پوشش در محدوده دمایی کمتری قرار دارند. مناطق انسان‌ساخت دارای محدوده LST از ۲۹/۹۵ تا ۵۴/۵۲ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در این مجموعه گرم‌تر از سایر انواع پوشش گیاهی زمین (جنگل، درختکاری یا پارک شهری و بوته‌زارها) است.

مقایسه بین یافته‌های مطالعه حاضر و تحقیقات مشابه انجام شده در مناطقی با ویژگی‌های آب‌وهوایی نیمه‌خشک از جمله شهر تهران-ایران (Haashemi et al., 2016) و در شهر بن‌گیر-مراکش (Azmi et al., 2021) و احمدآباد - هند (Bala et al., 2020) آشکار ساخت نواحی حومه شهری نسبت به مناطق شهری دارای دمای سطح زمین بالاتری هستند. دمای بالاتر در طبقه خاک بایر و ماسه (LCZF) به ایجاد جزیره خنک شهری سطحی، در طول روز منجر می‌شود (Azmi et al., 2021; Haashemi et al., 2016).

Bala و همکاران (۲۰۲۰) به این استنباط رسیدند که به دلیل آب و هوای نیمه‌خشک منطقه مورد مطالعه آنها، بیشترین سطح زمین تحت پوشش زمین بایر و خاک لخت قرار دارد و پوشش به نسبت گیاهی کمتر است. به همین دلیل، مناطق شهری یا پوشش‌های غیرقابل نفوذ دمای کمتری نسبت به محیط اطراف خود دارند.

تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای با مطالعات مشابه، یافته‌های مربوط به رفتار حرارتی زمین در اقلیم‌های نیمه‌خشک را تأیید می‌کند، به‌ویژه مشاهده شد که مناطق حاشیه شهری تمایل به نمایش مقادیر LST بالاتر در مقایسه با بخش‌های میانی شهری دارد. این هم‌ترازی بر اهمیت الگوهای کاربری زمین در شکل‌دهی شرایط ریزاقليمی محلی تأکید می‌کند و پیامدهای برنامه‌ریزی شهری و استراتژی‌های سازگاری آب‌وهوا را برجسته می‌کند (Parvar et al., 2023).

در اقلیم نیمه‌خشک به دلیل ماهیت مناطق حاشیه شهری که دارای خاک با ویژگی‌های بیابانی هستند، LST به صورت معکوس مشاهده می‌شود و این ویژگی باعث می‌شود خاک بایر مقادیر LST بالاتری نسبت به سطوح شهری داشته باشد. این به دلیل پوشش گیاهی کم، رطوبت نسبی کم و خشکی سطحی خاک در لایه‌های بالایی خاک شنی است. در طول تابستان، خاک شنی دارای محتوای آب کمتر و سرعت تخلیه سریع‌تر است که منجر به LST بالاتر می‌شود. خاک بایر در منطقه مورد مطالعه با خاک شنی مشخص می‌شود که دارای قابلیت نگهداری آب کمتر و اینرسی حرارتی کمتری است. در مقابل، انواع دیگر خاک‌ها مانند خاک‌های رسی هستند که قابلیت نگهداری آب بالاتری دارند؛ بنابراین، هر چه خاک قابلیت نگهداری آب بیشتری داشته باشد، سرعت تخلیه کندتر و منجر به کاهش LST می‌شود (Azmi et al., 2021).

علاوه بر بررسی اختلاف دمای مجموعه پوشش زمین و مجموعه انسان‌ساخت، بررسی مجزای طبقات انسان‌ساخت LCZ نیز می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد. کلاس‌های متراکم کم ارتفاع (LCZ 3) و متراکم با ارتفاع متوسط (LCZ 2) هر دو در یک محدوده دمایی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده رفتارهای حرارتی یکسان با وجود ساختارهای متفاوت آنها است؛ بنابراین کشف رابطه ارتفاع ساختمان و LST دارای پیچیدگی‌هایی است که نیاز به مطالعات و استدلال‌های بیش‌تری دارد. اما از سوی دیگر نقش نوع پوشش و مواد بکار گرفته شده در محیط پیرامونی ساختمان‌ها در تعدیل دمای محیط در مقایسه طبقات متراکم و کم تراکم به خوبی قابل مشاهده است. به طوری که طبقه کم تراکم با ارتفاع متوسط (LCZ 5) که بیشتر در منطقه میانی شهر قرار گرفته‌اند محدوده دمایی پایین‌تری را نسبت به دو طبقات قبل (LCZ 2 - 3) نشان می‌دهد. صرف‌نظر از ارتفاع و مواد بکار گرفته شده در ساخت‌وسازها، موقعیت قرارگیری و نوع پوشش گیاهی پیرامون ساختمان‌ها نیز می‌تواند تعیین‌کننده باشد.

دمای سطح زمین در مجموعه انسان‌ساخت وابسته به تراکم و مواد موجود در محیط پیرامون ساختمان‌ها بود. نوع چیدمان ساختمان‌ها و پوشش گیاهی اطراف آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در تعیین دمای محیط شهری نشان می‌دهد. ساختمان‌های پراکنده و کم ارتفاع با پوشش گیاهی اطراف آن در محدوده دمایی کمتری نسبت به ساختمان‌های متراکم اما مرتفع بدون پوشش گیاهی پیرامون آن قرار گرفته‌اند.

همچنین مطالعات نشان داده‌اند که یک رابطه قوی بین انواع پوشش گیاهی و LST وجود دارد و LST با افزایش ارتفاع پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (Chen et al., 2021). طبقه‌بندی LCZ شناسایی شده در منطقه مطالعاتی به خوبی این مسئله را پوشش داده و تفاوت در انواع طبقات مختلف پوشش گیاهی قابل مقایسه است.

در مطالعه حاضر از تصاویر Sentinel-1- Gamma0 پلاریزه VV و VH در کنار داده‌های چند طیفی و حرارتی لندست برای بهبود طبقه بندی LCZ استفاده شد. مطالعات پیشین نشان دادند استفاده از تصاویر رادار می‌تواند تفکیک و جداسازی طبقات را در برخی طبقات بهبود دهد (Hu *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2022). داده‌های چند طیفی لندست بیشتر به بافت شهری و به‌طور غیرمستقیم به پوشش زمین مربوط است. داده‌های SAR از Sentinel-1 منبع جایگزینی از داده‌های ورودی را فراهم می‌کند و اطلاعات بیشتری در مورد ساختار شهری ارائه می‌دهد. ترکیب آن‌ها با داده‌های چند طیفی می‌تواند در تفکیک طبقات بهبود ایجاد کند، به‌ویژه زمانی که داده‌های نوری (به دلیل پوشش ابری) در دسترس نیستند (Benjamin Bechtel *et al.*, 2016).

یافته‌های این مطالعه درک عمیق‌تری از نقش الگوها و چیدمان سرزمین در جهت رسیدن به محیطی پایدار و سازگار با تغییرات آب و هوا ارائه می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر بر نقش فضاهای سبز بر کیفیت زندگی شهری با توجه به تأثیر قابل توجه این فضاها بر تعدیل الگوهای دمایی تأکید دوباره دارد. به‌همین دلیل حفظ و توسعه انواع فضاهای سبز در شهرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین گنجاندن فضاهای سبز و درختکاری در محیط‌های انسان‌ساخت باید بسیار مورد توجه قرار گیرد تا علاوه بر تعدیل دمای محیط از طریق ایجاد سایه و تبخیر و تعرق، میزان سطوح نفوذناپذیر در محیط‌های شهری نیز به حداقل برسد.

در این مطالعه از طرح LCZ برای شناسایی و بررسی ویژگی‌های مختلف محیط‌های حرارتی شهری و پیرامون شهری استفاده شد. با این وجود این روش پتانسیل بالایی دارد به طوری که می‌تواند در درک عمیق‌تر ویژگی‌های ۳/۲ بعدی محیط‌های شهری و ارتباط آن با LST کمک‌کننده باشد. بنابراین این ظرفیت موضوع مطالعات آتی خواهد بود. مطالعه حاضر رابطه انواع طبقه LCZ و LST را تنها در صبح مشاهده کرد و نتایج در توضیح این رابطه در ساعات مختلف روز نیاز به مطالعات بیش‌تری دارد. به‌علاوه، مطالعات بیشتر در جهت بررسی نوع پوشش گیاهی بهینه و تأثیر عملکرد انواع پوشش‌های گیاهی (سوزنی‌برگ/پهن‌برگ یا چمن‌کاری) بر تنظیم و تعدیل دمای محیطی در مناطقی با اقلیم‌های مختلف پیشنهاد می‌شود.

References

- Abougendia, S.M., 2023. Investigating surface UHI using local climate zones (LCZs), the case study of Cairo's River Islands. *Alexandria Engineering Journal* 77, 293-307.
- Azmi, R., Tekouabou Koumetio, C.S., Diop, E.B., Chenal, J., 2021. Exploring the relationship between urban form and land surface temperature (LST) in a semi-arid region case study of Ben Guerir city - Morocco. *Environmental Challenges* 5, 100229.
- Bala, R., Prasad, R., Pratap Yadav, V., 2020. A comparative analysis of day and night land surface temperature in two semi-arid cities using satellite images sampled in different seasons. *Advances in Space Research* 66(2), 412-425.
- Bande, L., Manandhar, P., Marpu, P., Battah, M.A., 2020. Local Climate Zones Definition in Relation to ENVI-met in the City of Dubai, UAE. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 829(1), 012013.
- Bechtel, B., Alexander, P.J., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., Stewart, I., 2015. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4(1), 199-219.
- Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., Voogt, J., 2019. SUHI analysis using Local Climate Zones—A comparison of 50 cities. *Urban Climate* 28, 100451.
- Bechtel, B., Pesaresi, M., See, L., Mills, G., Ching, J., Alexander, P., Feddema, J., Florczyk, A., Stewart, I., 2016. Towards consistent mapping of urban structure-global human settlement layer and local climate zones. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 41, 1371-1378.
- Bechtel, B., See, L., Mills, G., Foley, M., 2016. Classification of Local Climate Zones Using SAR and Multispectral Data in an Arid Environment. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 9(7), 3097-3105.
- Chen, J., Zhan, W., Jin, S., Han, W., Du, P., Xia, J., Lai, J., Li, J., Liu, Z., Li, L., Huang, F., Ding, H., 2021. Separate and combined impacts of building and tree on urban thermal environment from two- and three-dimensional perspectives. *Building and Environment* 194, 107650.
- Chini, M., Pelich, R., Hostache, R., Matgen, P., Lopez-Martinez, C., 2018. Towards a 20 m global building map from Sentinel-1 SAR data. *Remote Sensing* 10(11), 1833.

- Danniswari, D., Honjo, T., Furuya, K., 2022. Analysis of Building Height Impact on Land Surface Temperature by Digital Building Height Model Obtained from AW3D30 and SRTM. *Geographies* 2(4), 563-576.
- Das, M. and Das, A., 2020. Assessing the relationship between local climatic zones (LCZs) and land surface temperature (LST)—A case study of Sriniketan-Santiniketan Planning Area (SSPA), West Bengal, India. *Urban Climate* 32, 100591.
- Estacio, I., Babaan, J., Pecson, N.J., Blanco, A.C., Escoto, J.E., Alcantara, C.K., 2019. GIS-based mapping of local climate zones using fuzzy logic and cellular automata. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 42,199-206.
- Fonte, C.C., Lopes, P., See, L., Bechtel, B., 2019. Using OpenStreetMap (OSM) to enhance the classification of local climate zones in the framework of WUDAPT. *Urban Climate* 28, 100456.
- Gholami Rostam, M., Beck, C., 2019. Towards the determination of driving factors of varying LST-LCZ relationships—a case study over 25 cities. *Geographica Pannonica* 23(4).
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., Alavipanah, S.K., 2016. Seasonal variations of the surface urban heat island in a semi-arid city. *Remote Sensing* 8(4), 352.
- Honjo, T., Tsunematsu, N., Yokoyama, H., Yamasaki, Y., Umeki, K. 2017. Analysis of urban surface temperature change using structure-from-motion thermal mosaicing. *Urban Climate* 20, 135-147.
- Hu, J., Ghamisi, P., Zhu, X.X., 2018. Feature extraction and selection of sentinel-1 dual-pol data for global-scale local climate zone classification. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7(9), 379.
- Nichol, J.E., 1996. High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite-based study. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 35(1), 135-146.
- Ochola, E.M., Fakhrazadehshirazi, E., Adimo, A.O., Mukundi, J.B., Wesonga, J.M., Sodoudi, S., 2020. Inter-local climate zone differentiation of land surface temperatures for Management of Urban Heat in Nairobi City, Kenya. *Urban Climate* 31, 100540.
- Parvar, Z., 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. *Journal of Natural Environment* 76(2), 229-243. (In Persian)
- Parvar, Z., Salmanmahiny, A., 2024. PyLST: a remote sensing application for retrieving land surface temperature (LST) from Landsat data. *Environmental Earth Sciences* 83(12), 373.
- Parvar, Z., Shayesteh, K. 2017. Monitoring and Prediction of Urban Growth Using Multitemporal Images and GIS Techniques (A Case Study of Bojnourd City). *Journal of Environmental Studies* 43(3), 513-527. (In Persian)
- Sekertekin, A., Bonafoni, S., 2020. Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing* 12(2), 294.
- Stewart, I.D., Oke, T.R. 2012. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12), 1879-1900.
- Wang, M., Xu, H. 2021. The impact of building height on urban thermal environment in summer: A case study of Chinese megacities. *Plos One* 16(4), e0247786.
- Wang, R., Ren, C., Xu, Y., Lau, K.K.L., Shi, Y., 2018. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. *Urban Climate*, 24, 567-576.
- Wang, X., Yu, X., Ling, F., 2014, July. Building heights estimation using ZY3 data, A case study of Shanghai, China. In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium pp. 1749-1752.
- Yang, X. and Li, Y., 2015. The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. *Building and Environment* 90, 146-156.
- Zheng, Z., Zhou, W., Yan, J., Qian, Y., Wang, J., Li, W., 2019. The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 110, 149-156.
- Zhou, L., Shao, Z., Wang, S., Huang, X., 2022. Deep learning-based local climate zone classification using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 multispectral imagery. *Geo-Spatial Information Science* 25(3), 383-398.