



بررسی اثرات کاربری اراضی و شکل زمین بر دمای سطح زمین (مطالعه موردی: شهر بجنورد، استان خراسان شمالی)

زهرا پرور، مرجان محمدزاده، سپیده سعیدی

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶ / پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۸ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

چکیده

بر اساس نتایج، مراکز اصلی انتشار گرمای بالا در مناطق شهری مانند تأسیسات عمومی، پارکینگ خودروها و مناطق صنعتی، دمای سطح زمین بالاتری (بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد) نسبت به فضاهای سبز شهری (کمتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد) دارند. در این مطالعه تفاوت دمای سطح زمین در روز و شب با استفاده از دمای شبانه سطح زمین مادیس آشکار شد. همچنین نتایج خودهمبستگی فضایی تضاد در رفتارهای دمای سطح زمین بافت شهری و حومه شهر در مناطق نیمه‌خشک را نشان می‌دهد. وجود نقاط گرم در سطوح نفوذپذیر مانند زمین‌های کشاورزی و نقاط سرد در مناطق غیرقابل نفوذ نشان دهنده اثر معکوس جزایر حرارتی شهری در این مناطق است. درک تعاملات پیچیده کاربری‌های شهری و دمای سطح زمین با در نظر گرفتن الگوهای آب و هوای منطقه‌ای می‌تواند به مدیران و برنامه ریزان شهری در بهبود کیفیت زندگی در مناطق شهری کمک کند.

شهرنشینی با تغییر شکل طبیعی زمین می‌تواند دمای سطح زمین (LST) را در مقیاس جهانی تحت تأثیر قرار دهد. کاهش پیامدهای تغییرات اقلیمی، مستلزم تدوین یک برنامه منسجم مدیریت کاربری برای محدود نمودن گسترش بی‌برنامه و افزایش فضای سبز شهری است. هدف این مطالعه بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌ها و الگوی فضایی مناطق شهری و محیط اطراف آن بر دمای سطح زمین در شهر بجنورد است. برای این منظور، از الگوریتم پنجره مجزا (SWA) برای بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های لندست ۸ سال ۲۰۲۱ استفاده شد.

طرح مسئله: شهرنشینی با تغییر شکل طبیعی زمین می‌تواند دمای سطح زمین (LST) را در مقیاس جهانی تحت تأثیر قرار دهد. با افزایش شهرنشینی در دهه‌های اخیر، دمای سطح زمین نیز به طور پیوسته افزایش یافته و گرمایش جهانی به عنوان یکی از بزرگ‌ترین

- زهرا پرور^۱، مرجان محمدزاده^۲ (✉)، سپیده سعیدی^۳
۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 ۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
 ۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.1973023.2021

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: marjan.mohammadzadeh@gmail.com

زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در تاریخ ۲۵ مرداد ۱۴۰۰ ساعت ۱۱:۱۹ به وقت ایران (۱۶ August 2021-06:49:19 UTC) با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا (الگوریتم پنجره مجزا) در ۴ مرحله تهیه شد: ۱- دمای روشنایی (BT) برای باندهای ۱۰ و ۱۱ تخمین زده شد، ۲- شاخص تفاوت گیاهی نرمال شده (NDVI) با استفاده از باندهای (۴ و ۵) سنجنده OLI برآورد شد، ۳- تصویر شاخص کسری از مساحت تحت پوشش گیاهی (FVC) با استفاده از تصویر NDVI به دست آمد و ۴- تصاویر توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) از باندهای ۱۰ و ۱۱ از تصویر شاخص کسری از مساحت تحت پوشش گیاهی تولید شود. تمامی این مراحل در نرم‌افزار پایتون محاسبه شد. الگوریتم پنجره مجزا اثر اتمسفر را با استفاده از تفاضل جذب اتمسفری در دو باند مادون قرمز حرارتی مجاور با مرکز ۱۱ و ۱۲ میکرومتر حذف می‌کند و در نهایت ترکیب خطی یا غیرخطی دمای روشنایی را برای محاسبه دمای سطح زمین اعمال می‌کند. برای پردازش‌های بیشتر تصویر و مقایسه نقشه تهیه شده با ویژگی‌ها و ساختار شهری از نرم‌افزارهای Google Earth و Arc Map 10.8 استفاده شد. تفاوت بین دمای سطح زمین های روز و شب با استفاده از دمای سطح زمین شبانه مادیس (MODIS) آشکار شد. در این پژوهش از شاخص جهانی موران (Moran's I) که ابزاری مؤثر برای بررسی الگوهای فضایی یک اکوسیستم شهری است استفاده شد. فن‌های مبتنی بر GIS به تشخیص چشمی الگوهای فضایی کمک می‌کنند اما آن‌ها را از نظر آماری تأیید نمی‌کنند. شاخص‌های خودهمبستگی فضایی مانند شاخص جهانی موران (Moran's I) به اعتبار آماری این الگوهای بصری شناسایی شده کمک می‌کند.

نتایج و بحث: در این مطالعه از الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دمای سطح زمین استفاده شد. الگوریتم پنجره مجزا از دو باند حرارتی برای تعیین دمای روشنایی و توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) استفاده می‌کند. این مقادیر همراه با محتوای بخار آب اتمسفر برای بازیابی دمای سطح زمین استفاده می‌شود، بنابراین می‌تواند دقیق‌تر از الگوریتم‌های تک کاناله باشد. دمای سطح زمین بازیابی شده با دمای ایستگاه سینوپتیک شهر بجنورد مقایسه شد. بر اساس نتایج، در شهر بجنورد، فضاهایی مانند تأسیسات عمومی، پارکینگ‌ها و مناطق صنعتی دمای سطح زمین بالاتری (بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با فضاهای سبز شهری (کمتر از ۳۶ درجه

چالش‌های محیط زیستی پیش روی جهان مطرح شده است. شهرنشینی به طور مداوم بر تغییر سیستم‌های بیولوژیکی، افزایش گازهای گلخانه‌ای (GHG) و تغییرات سریع کاربری و پوشش زمین (LULC) تأثیر می‌گذارد. شهرها سیستم‌های پیچیده و پویایی هستند که از طریق تعامل بین عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی ایجاد می‌شوند. اگرچه توسعه آن‌ها فواید زیادی به همراه داشته است، اما ویژگی‌های هندسی و فیزیکی سطح زمین را نیز تغییر داده است. شهرنشینی سریع همراه با رشد جمعیت باعث افزایش کل سطح غیرقابل نفوذ و در نتیجه کاهش فضاهای سبز شده است. دمای سطح زمین به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، تأثیر بسزایی بر ترکیب، ساختار، شکل‌گیری و تکامل خاک دارد. سنجش از دور ماهواره‌ای که مشاهدات فضایی مداوم و تکرارپذیر زمین را با کمترین هزینه فراهم می‌کند، روشی منحصر به فرد برای به دست آوردن دمای سطح زمین و نظارت بر تغییرات زمانی و مکانی در مقیاس بزرگ آن است. با تکامل تکنیک‌های سنجش از دور، امکان برآورد دمای سطح زمین با وضوح زمانی بین ۱۵ دقیقه تا ۲۶ روز و وضوح مکانی از ۱۰ کیلومتر تا ۶۰ متر فراهم شده است. برآورد دمای سطح زمین در بسیاری از مطالعات مانند نظارت و کنترل آتش‌سوزی جنگل، چرخه‌های هیدرولوژیکی، تغییرات آب و هوایی، مطالعات شهری (مانند نظارت بر جزایر حرارتی شهری) و کشاورزی (مانند مدیریت آب کشاورزی و پایش خشک‌سالی) کاربرد دارد.

هدف: شهرها در حال گرم‌تر شدن هستند و درک اینکه چه چیزی باعث تغییرات دما در مناطق شهری می‌شود ممکن است سرنخ‌هایی برای یافتن راهکارهایی جهت کاهش برخی از اثرات منفی تغییرات اقلیمی ارائه دهد. هدف از این مطالعه بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌ها و الگوهای فضایی مناطق شهری و اطراف آن بر دمای سطح زمین شهر بجنورد است. با بررسی رفتارهای دمای سطح زمین در اجزای مختلف بافت شهری و حومه شهر و با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی غالب در منطقه می‌توان راهکارهایی در جهت پیشگیری از بروز پدیده جزایر حرارتی شهری (UHI) در آینده و توسعه پایدار شهری ارائه داد.

روش تحقیق: در این مطالعه از داده‌های لندست ۸ سنجنده‌های اپتیکی/مادون قرمز حرارتی (OLI/TIRS) برای شناسایی طبقات LULC و تخمین دمای سطح زمین استفاده شد. نقشه دمای سطح

اقلیم نیمه خشک شهر بجنورد نشان داد که مناطق حاشیه شهر نسبت به مناطق شهری دارای دمای سطح زمین بالاتری هستند. دمای سطح زمین بالاتر در خاک‌های بایر اطراف شهر به تولید یک جزیره سطحی سرد شهری در طول روز کمک می‌کند. وجود نقاط گرم در نواحی سطحی نفوذپذیر مانند زمین‌های کشاورزی و نقاط سرد در مناطق غیرقابل نفوذ، نشان دهنده اثر معکوس جزیره حرارتی شهری در این گونه مناطق است. درک تعاملات پیچیده کاربری‌های شهری و دمای سطح زمین با در نظر گرفتن الگوهای اقلیمی منطقه‌ای می‌تواند به مدیران و برنامه ریزان شهری در بهبود کیفیت زندگی در مناطق شهری کمک کند. همچنین رویکرد مورد استفاده در این پژوهش می‌تواند به عنوان یک چارچوب کاربردی برای توسعه پایدار مکانی و زمانی محیط شهری مفید باشد.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، الگوریتم پنجره مجزا، لندست ۸، شهر بجنورد

سانتی‌گراد) دارند. مقایسه نتایج با دمای سطح زمین شبانه مادیس (MODIS) رفتار متفاوت دمای سطح زمین را در روز و شب در مناطق شهری و غیر شهری نشان می‌دهد. مقادیر شاخص Global Moran's I به دست آمده در تحقیق حاضر بزرگ‌تر از صفر است که نشان دهنده وجود خود همبستگی مثبت یا الگوی خوشه‌ای است. همین امر با مشاهده مقادیر p تأیید می‌شود. مقدار p به دست آمده کمتر از 0.05 است که فرض اصلی تصادفی بودن و استقلال در مقادیر داده را رد می‌کند. امتیاز Z به دست آمده بیشتر از 2.58 ($z\text{-score} > 2.58$) است، بنابراین کمتر از 1% احتمال دارد که الگوی مشاهده شده نتیجه یک فرآیند تصادفی باشد. برای شناسایی نقاط داغ و سرد، تحلیل نقاط داغ (Hotspot) برای منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج با دمای سطح زمین شبانه مادیس (MODIS)، رفتار متفاوت دمای سطح زمین را در روز و شب در مناطق شهری و غیر شهری نشان می‌دهد. بررسی رفتار حرارتی در

ارزیابی کردند و رابطه زمانی و مکانی بین تغییر دمای سطح زمین و شاخص‌های طیفی مختلف را جهت دستیابی به برنامه‌ریزی شهری پایدار مورد توجه قرار دادند. نعیم و کافی (۲۶)، ضمن ارزیابی مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهر به لحاظ کمی و کیفی، روابط بین کلاس‌های مختلف کاربری زمین و دمای سطح زمین را با داده‌های سری زمانی لندست در شهر چاتوگرام تعیین نمودند. در مطالعه سویدان (۳۴)، میزان تغییرات دمای سطح زمین با تغییر سطوح سبز و غیر قابل نفوذ در شهر Nigd ترکیه طی سه دهه مورد بررسی قرار گرفت. لوگان و همکاران (۲۲)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای حرارتی با وضوح متوسط شبانه در چهار شهر در سراسر ایالات متحده نشان دادند که پوشش گیاهی و سطوح غیر قابل نفوذ مهم‌ترین ویژگی‌های شهری مرتبط با دمای سطح زمین هستند. ایسن و همکاران (۱۵)، به بررسی اهمیت در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی غالب منطقه در ارزیابی دمای سطح زمین و تعیین استراتژی‌های مدیریت و برنامه‌ریزی شهری پرداختند. در شهرهای مختلف ایران نیز با توجه به تنوع آب و هوایی و شرایط اقلیمی متفاوت، مطالعات متمایز و متعددی در مقیاس‌های مختلف در این زمینه انجام شده است، به عنوان مثال در شهرهای واقع در منطقه بیابانی گرم و خشک مانند کلان شهر اصفهان (۴) و یزد (۲۴)، تهران خشک و نیمه‌خشک (۲۷)، شیراز با آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک (۱۷)، تبریز واقع در منطقه کوهستانی و با آب‌وهوای سرد و خشک (۳) و همچنین آمل با اقلیم معتدل و مرطوب (۱۱) و بوشهر با اقلیم گرم و مرطوب (۲) به جنبه‌های مختلف رابطه دما با ویژگی‌های خاص شهر پرداخته شده است.

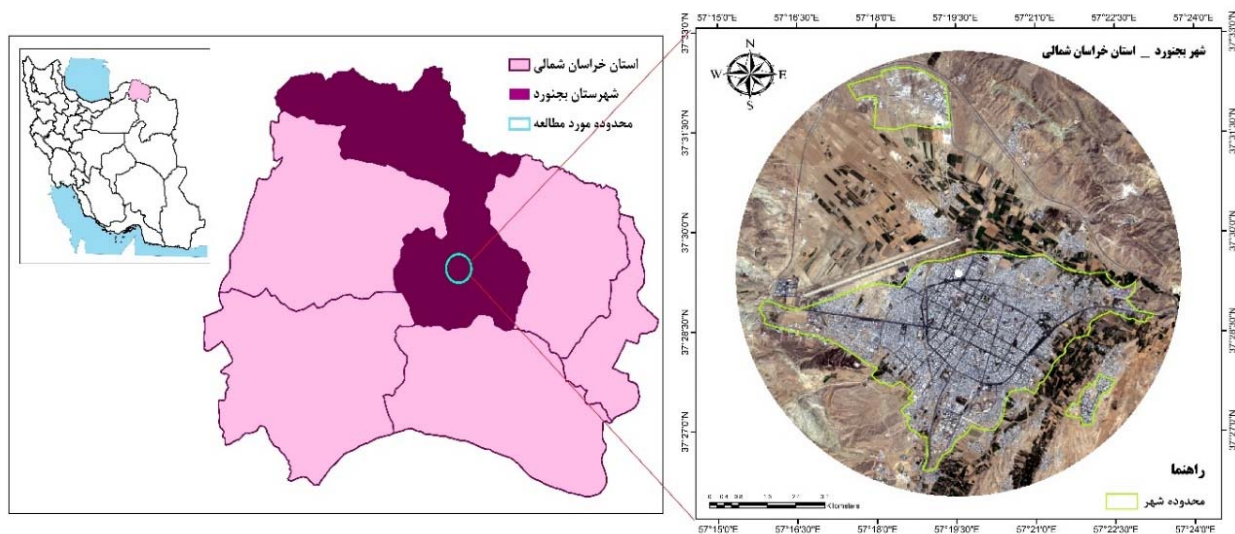
شهر بجنورد اصلی‌ترین مرکز اقتصادی استان است و این مسئله همراه با مهاجرت و افزایش جمعیت شهر، افزایش

زمین‌های کشاورزی دیم و تغییر الگوی طبیعی زمین، زمینه‌ساز مشکلات جدی برای شهر شده و می‌تواند توسعه و گسترش آبی شهر را نیز تحت تأثیر قرار دهد. دانستن ویژگی‌های شکل شهری و تغییرات کاربری، به برنامه‌ریزی و مدیریت شهرهای با پتانسیل رشدی مانند شهر بجنورد، با الگوهای جدید شهرهای سازگار و تاب آور کمک می‌کند؛ بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌های شهری و الگوی فضایی محیط شهری و اطراف آن بر درجه حرارت سطح زمین شهر بجنورد صورت گرفته است. با بررسی رفتارهای دمای سطح زمین در اجزای مختلف بافت شهری و حومه شهر با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی غالب در منطقه می‌توان راهکارهایی در جهت پیشگیری از بروز پدیده جزایر حرارتی شهری در آینده و توسعه پایدار شهری ارائه داد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهر بجنورد مرکز استان خراسان شمالی در موقعیت ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع متوسط ۱۰۱۰ متری از سطح دریا و تقریباً در مرکز جغرافیایی استان واقع شده است (۳۰). آب و هوای بجنورد به طور کلی معتدل و نیمه‌خشک کوهستانی است. با توجه به اینکه محدوده مصوب شهر سه تکه است، منطقه مورد مطالعه محدوده‌ای از شهر بجنورد با بافری از مرکز شهر تا شعاع ۶/۲ کیلومتر و مساحتی حدود ۱۲۰/۷۷ کیلومتر مربع انتخاب شد تا تمام شهر را پوشش دهد (شکل ۱). حداقل ارتفاع در منطقه انتخابی مورد مطالعه ۱۰۳۰ و حداکثر ۱۴۶۴ متر است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

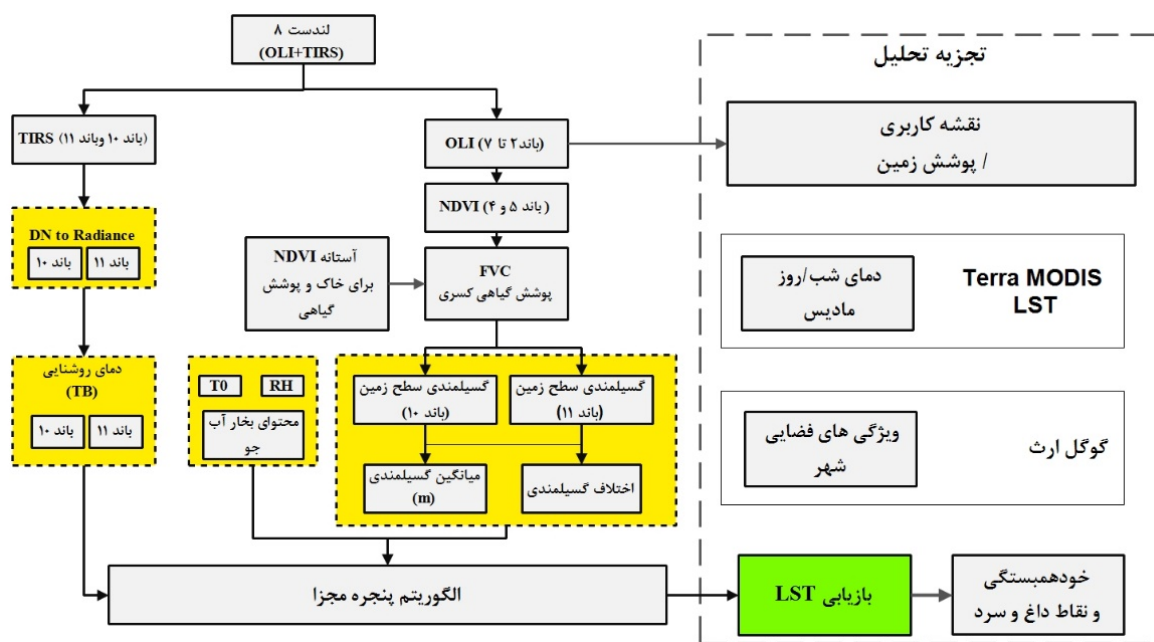
Fig. 1. Geographical location of the study area

مراحل انجام تحقیق:

برای برآورد دمای سطح زمین و بررسی اثرات کاربری‌ها و ویژگی‌های فضایی شهر بر دمای سطح زمین، تحقیق حاضر در ۵ مرحله به شرح ذیل صورت گرفت: (۱) تهیه نقشه کاربری/پوشش زمین، (۲) تهیه نقشه دمای سطح زمین مادیس جهت مقایسه دمای روز و شب، (۳) برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا در ۴ مرحله کلی، شامل تهیه نقشه دمای روشنایی، شاخص کسری از مساحت تحت پوشش گیاهی ((fractional vegetation cover (FVC)) برآورد توان گسیلمندی سطح زمین و در نهایت برآورد دمای سطح زمین با الگوریتم پنجره مجزا، (۴) بررسی مراکز اصلی انتشار حرارت یا تعدیل دما در بافت شهری بر اساس تصاویر گوگل ارث و (۵) تحلیل خودهمبستگی فضایی و نقاط داغ و سرد. در شکل ۲ نمودار جریان‌ی روش کار مشاهده می‌شود:

داده‌های مورد نیاز:

نقشه دمای سطح زمین در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در تاریخ ۲۵ مرداد ۱۴۰۰ ساعت ۱۱:۱۹ به وقت ایران (16 August 2021-06:49:19 UTC) تهیه شد. در این رابطه، از تصاویر لندست بدون پوشش ابر مربوط به تابستان استفاده شد تا نتایج تحت تأثیر ابرناکی قرار نگیرند. نقشه دمای سطح زمین آماده مادیس (MODIS) از وب سایت (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>) برای همان تاریخ تهیه و پردازش‌های لازم برای تبدیل به درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. به منظور نوشتن الگوریتم‌ها و تهیه نقشه دمای سطح زمین از نرم‌افزار پایتون استفاده شد. برای پردازش‌های بعدی بر روی تصاویر و مقایسه نقشه تهیه شده با ویژگی‌ها و ساختار شهری، از تصاویر گوگل ارث مربوط به تاریخ مورد نظر و همچنین نرم‌افزار Arc Map 10.8 بهره گرفته شد.



شکل ۲. نمودار جریان روش کار

Fig. 2. Flowchart of the methodology

بالای استوا در این ماهواره حدود ساعت ۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ می باشد (۱۹).

برآورد دمای سطح زمین

روش های بسیاری برای بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای وجود دارد که در آن داده های دمای سطح زمین تحت تأثیر چهار عامل اصلی قرار می گیرد (۶: ۱) نوع سطح زمین، (۲) رطوبت سطح، (۳) روشنایی و (۴) شرایط جوی. در این مطالعه، از یک الگوریتم پنجره مجزا (Split Window Algorithm (SWA) برای بازیابی دمای سطح زمین از داده های لندست ۸ سنجنده مادون قرمز حرارتی (Thermal Infrared Sensor (TIRS) استفاده شده است. الگوریتم پنجره مجزا پرکاربردترین الگوریتم در بین همه الگوریتم های عملیاتی مورد استفاده برای بازیابی دمای سطح زمین مبتنی بر فضا است. از آنجا که در الگوریتم پنجره مجزا از دو باند طیفی برای تعیین دمای روشنایی و گسیلمندی استفاده می شود و این مقادیر به همراه محتوای بخار آب جوی در بازیابی استفاده

نقشه کاربری/پوشش زمین

نقشه کاربری/پوشش زمین (LULC) برای سال ۲۰۲۱ کمک تصاویر لندست و با استفاده از مجموعه ای از روش های نظارت نشده، نظارت شده و در نهایت استفاده از طبقه بندی درخت تصمیم (Decision Tree classifier) در نرم افزار ENVI 5.3 تهیه شدند. برای شناسایی کلاس ها و برداشت نمونه ها و مقایسه با واقعیت زمینی جهت ارزیابی صحت نقشه طبقه بندی شده از تصویر گوگل ارث همان تاریخ استفاده شد برای تعیین درستی تصویر طبقه بندی شده با ضریب کاپا ارزیابی شد.

دمای سطح زمین روزانه/شبانه مادیس

تجزیه و تحلیل دما در شهرهای نیمه خشک و یا مناطقی که زمین های بایر غالب هستند، حداقل به دو تصویر روز و شب نیاز دارد؛ بنابراین علاوه بر تصاویر لندست برای تهیه دمای سطح زمین روزانه، نقشه آماده دمای سطح زمین روزانه و شبانه مادیس نیز استفاده شد. مادیس (تابش سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط) ابزاری بر روی ماهواره ترا (EOS Terra (AM (آغاز مأموریت در دسامبر ۱۹۹۹) است و زمان گذر از

$$LSE = \varepsilon_s \times (1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC \quad [3]$$

ε_s گسیلمندی خاک، ε_v گسیلمندی پوشش گیاهی و FVC شاخص پوشش گیاهی سبز کسری است. تخمین تصویر توان گسیلمندی سطح زمین نیاز به گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی باندهای ۱۰ و ۱۱ دارد.

الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دمای سطح زمین

الگوریتم پنجره مجزا از دو باند حرارتی استفاده می‌کند که معمولاً در پنجره اتمسفر بین ۱۰ تا ۱۲ میکرومتر قرار دارند (۱۶). الگوریتم پنجره مجزا اثر اتمسفر را با استفاده از تفاضل جذب اتمسفری در دو باند مادون قرمز حرارتی مجاور با مرکز ۱۱ و ۱۲ میکرومتر حذف می‌کند و در نهایت ترکیب خطی یا غیرخطی دمای روشنایی را برای محاسبه دمای سطح زمین اعمال می‌کند (۳۲). ساختار الگوریتم تخمین دمای سطح زمین در معادله ۴ ارائه شده است (۱۶):

$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4w) \quad [4]$$

$$(1 - \varepsilon) + (c_5 + c_6w)\Delta\varepsilon$$

T_s دمای سطح زمین است؛ T_i و T_j دمای روشنایی در سنجنده در باندهای پنجره مجزا i و j بر حسب کلون است؛ ε متوسط گسیلمندی؛ $\Delta\varepsilon$ اختلاف گسیلمندی؛ w مقدار کل بخار آب اتمسفر (g/cm^2)؛ C_0-C_6 ضرایب پنجره مجزا که از داده‌های شبیه‌سازی شده تعیین می‌شوند. میانگین گسیلمندی و اختلاف گسیلمندی به صورت معادله ۵ محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i - \varepsilon_j) \quad \text{and} \quad \Delta\varepsilon = (\varepsilon_i - \varepsilon_j) \quad [5]$$

مقادیر ضرایب الگوریتم پنجره مجزا در جدول ۱ آورده شده است (۳۲).

می‌شوند، قادر است تغییرات فضایی را با دقت بیشتری نسبت به الگوریتم‌های تک کاناله ثبت کند (۳۲).

دمای روشنایی (BT) (Brightness temperature)

دمای روشنایی تابش الکترومغناطیسی است که از بالای جو زمین به سمت بالا حرکت می‌کند (۵). دمای روشنایی برای باندهای ۱۰ و ۱۱ با معادله ۱ تخمین زده می‌شود.

$$TB = K2 / (\ln(K1 / L_\lambda + 1)) - 273.15 \quad [1]$$

TB دمای روشنایی مؤثر در سنجنده بر حسب درجه سانتی‌گراد؛ $K2$ ثابت کالیبراسیون ۲، $K1$ ثابت کالیبراسیون ۱؛ $K1$ و $K2$ مقادیر ثابت حرارتی باندهای ۱۰ و ۱۱ از فایل فراداده داده‌های لندست به دست می‌آیند؛ L_λ رادیانس طیفی بالای اتمسفر ($W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$)

شاخص کسری از مساحت تحت پوشش گیاهی

(Fractional Vegetation Cover (FVC))

الگوریتم پنجره مجزا از شاخص کسری از مساحت تحت پوشش گیاهی (FVC) برای تخمین تصویر توان گسیلمندی سطح زمین (LSE) استفاده می‌کند. تصویر (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) به خاک و پوشش گیاهی طبقه‌بندی می‌شود و مقادیر NDVI به طور جداگانه برای خاک و پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. تصویر FVC با استفاده از معادله ۲ دست می‌آید:

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDVI(soil)}{NDVI(vegetation) - NDVI(soil)} \right]; \quad FVC = \left[\frac{NDVI - 0.2}{0.5 - 0.2} \right] \quad [2]$$

توان گسیلمندی سطح زمین (Land Surface

(Emissivity (LSE))

تصویر توان گسیلمندی سطح زمین با استفاده از تصویر FVC به دست آمده در مرحله قبل با استفاده از معادله ۳ تولید می‌شود:

جدول ۱. ضرایب الگوریتم پنجره مجزا (SWA)

Table 1. Split-window coefficient values

C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	ضریب
-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۰۴/۳۰۰	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰۰	۱۶/۴۰۰	مقدار

جهانی موران (I) به اعتبار آماری این الگوهای شناسایی شده چشمی کمک می‌کند؛ بنابراین در این مطالعه از این شاخص برای تحلیل آماری نتایج حاصله استفاده خواهد شد. شاخص جهانی موران (I) که توسط موران در سال ۱۹۴۸ ارائه شد، یکی از پرکاربردترین معیارهای خودهمبستگی فضایی است. ابزار شاخص موران، الگوی یک مجموعه داده را به صورت مکانی ارزیابی می‌کند و بر اساس مکان‌ها و مقادیر ویژگی، پراکندگی، خوشه‌ای یا تصادفی بودن آن را تعیین می‌کند. محدوده شاخص موران بین +۱ و -۱ قرار دارد. وقتی برابر با +۱ است، نشان می‌دهد که الگوی مشاهده شده به صورت مکانی خوشه‌بندی شده است و داده‌ها دارای خودهمبستگی مکانی هستند. از طرف دیگر، وقتی برابر با -۱ است، نشان دهنده پراکندگی داده‌ها است. برای عدم وجود خودهمبستگی نیز، با مقدار نزدیک یا برابر با صفر مشخص می‌شود (۱۸).

فرض اساسی برای آمار جهانی موران این است که مقادیر داده‌ها مستقل و به طور تصادفی در فضای جغرافیایی مرتب شده‌اند. هنگامی که مقدار p به دست آمده بیشتر از ۰/۰۵ باشد، فرض اساسی پذیرفته می‌شود که به این معنی است که مقادیر داده‌ها به طور تصادفی پخش می‌شوند. هنگامی که مقدار p کمتر از ۰/۰۵ باشد و امتیاز z منفی باشد، فرض اصلی تصادفی بودن رد می‌شود و این نتیجه را می‌دهد که مقادیر زیاد و پایین در مجموعه داده به صورت مکانی پراکنده شده‌اند. به طور مشابه، زمانی که مقدار p کمتر از ۰/۰۵ با امتیاز z مثبت باشد، فرض تصادفی بودن مجدداً رد می‌شود و استنتاج این است که مقادیر داده‌های بالا و یا پایین به صورت مکانی در فضای جغرافیایی خوشه‌بندی می‌شوند (۱۸).

روش‌های مختلف برای تخمین محتوای بخار آب (w) شرح داده شده است که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی یا از رطوبت نسبی و دمای نزدیک به سطح (T₀) با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود (۲۱،۳۳):

$$w_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{273.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1697 \quad [7]$$

w_i (g/cm²) مقدار بخار آب است، T₀ دمای نزدیک سطح بر حسب کلون است و RH (%) به رطوبت نسبی اشاره دارد (۳۳). اطلاعات مقادیر دمای هوای نزدیک به سطح و رطوبت نسبی از ایستگاه شهر بجنورد به دست آمد. بیان ریاضی دمای سطح زمین را می‌توان با معادله ۷ نمایش داد:

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W) \Delta m \quad [V]$$

LST دمای سطح زمین بر حسب کلون؛ TB₁₀ و TB₁₁ دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱، C₀-C₆ ضرایب پنجره مجزا؛ m متوسط توان گسیلمندی سطح زمین برای باندهای حرارتی؛ Δm اختلاف توان گسیلمندی سطح زمین، W محتوای بخار آب اتمسفر.

تحلیل خودهمبستگی فضایی و نقاط داغ و سرد

یکی از کاربردهای بالقوه تحلیل خودهمبستگی فضایی، مطالعه خوشه‌ها و پراکندگی برای یک مجموعه داده معین است. روش‌های نقشه‌برداری GIS به شناسایی چشمی الگوهای فضایی کمک می‌کنند، اما از نظر آماری آن‌ها را تأیید نمی‌کنند، شاخص‌های خودهمبستگی فضایی مانند شاخص

نتایج

نقشه کاربری/پوشش زمین

نقشه کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر لندست ۸ سال ۲۰۲۱ تهیه گردید. شش کاربری در منطقه مورد مطالعه شامل شهر (توسعه و ساخت‌وسازهای شهری)، جاده (راه‌های ارتباطی اصلی شهری و برون شهری)، پارک (باغات و فضاهای سبز شهری در محدوده شهر)، باغ (باغ و پوشش گیاهی انبوه خارج محدوده شهر)، کشاورزی (زمین‌های دیم با پوشش گیاهی ضعیف یا بدون پوشش) و

مرتع (شامل زمین‌های مرتعی، بدون کاربری و سایر کاربری‌ها) شناسایی شد. صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا ارزیابی شد. مقدار ضریب کاپا بین ۰ تا یک گزارش می‌شود. هر چه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد، نتایج دقیق‌تر و هر چه به صفر نزدیک باشد تصادفی بودن نتایج را نشان می‌دهد (۸). ضریب کاپا ۸۸/۴۵ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد نقشه طبقه‌بندی‌شده از دقت مناسبی برخوردار است. مساحت و درصد هر کاربری در جدول ۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. مساحت و درصد طبقات کاربری سرزمین

Table 2. Area and percentage of land use classes

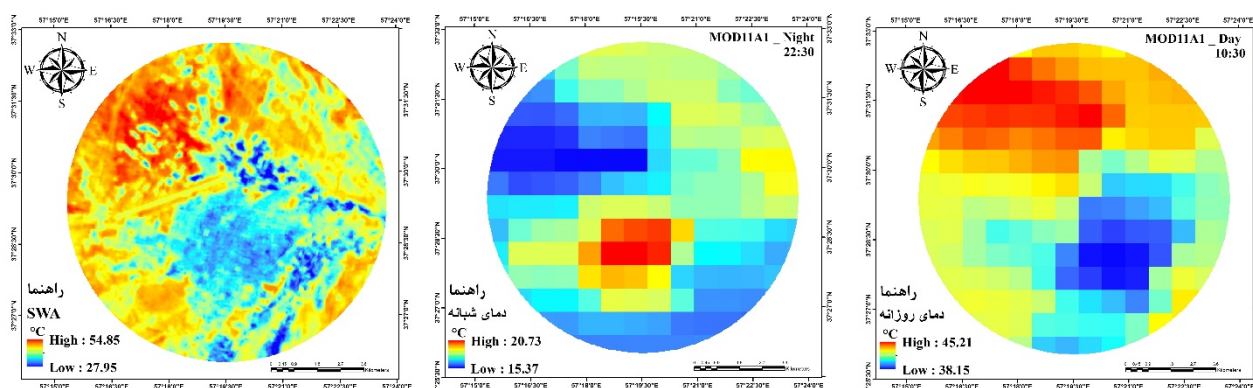
طبقه کاربری	شهر	جاده	پارک	باغ	کشاورزی	مرتع
مساحت (هکتار)	۲۱۸۷	۵۶۶/۶۴	۳۲۵/۱۷	۱۳۲۲/۱	۳۵۰۷/۸۴	۴۱۶۷/۱۸
درصد	۱۸/۱۰	۴/۶۹	۲/۶۹	۱۰/۹۴	۲۹/۰۴	۳۴/۵۰

بازیابی دمای سطح زمین

در این مطالعه از یک الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دمای سطح زمین در محدوده انتخابی شهر بجنورد استفاده شد. نتایج این الگوریتم با داده‌های تنها ایستگاه هواشناسی بجنورد که موقعیت آن در فرودگاه بجنورد است مقایسه شد و اختلاف ۱۰ درجه‌ای با دمای ثبت شده در ایستگاه وجود داشت. باید در نظر داشت که بین دمای سطح زمین بازیابی شده و دمای ثبت شده در ایستگاه تا ۲ متر اختلاف ارتفاع وجود دارد. به علاوه ساعت اخذ داده‌های هواشناسی با ساعت برداشت تصاویر لندست کاملاً منطبق نیست. از این رو تفاوت دماها تا حدی قابل انتظار است (۳۲).

نقشه خروجی دمای سطح زمین تهیه شده به روش الگوریتم پنجره مجزا با محصول آماده دمای سطح زمین روزانه و شبانه مادیس (با توان تفکیک ۱ کیلومتر) مقایسه شد (شکل ۳). همان طور که در تصاویر مشخص است دمای روزانه در مناطق شهری پایین‌تر از کاربری کشاورزی (که شامل زمین‌های دیم-آماده کشت) و مرتع است. این مسئله به ویژه در

شهرهایی که سطح وسیعی از زمین‌های پیرامون آن بایر و خشک باشد، به دلیل ویژگی‌های خاک بدون پوشش اتفاق می‌افتد (۱۴). خاک در ساعات اولیه روز به سرعت گرم می‌شود و با نزدیک شدن به ساعات پایانی روز نیز به سرعت این حرارت را از دست می‌دهد، در حالی که پوشش‌های مصنوعی شهری همچنان گرم هستند. نقشه دمای سطح زمین شبانه مادیس به نشان می‌دهد در ساعات پایانی روز شرایط کاملاً برعکس است. به طوری که بالاترین دما در محدوده شهر و پایین‌ترین دما در خارج شهر و به ویژه کاربری کشاورزی مشاهده می‌شود. ویژگی‌های شهری از جمله نور شب، خاصیت سطوح نفوذناپذیر از جمله بتن و آسفالت و تردد خودروها می‌تواند عامل این تضاد در شب باشد. در طول روز، سطوح شهری انرژی گرمایی را جذب می‌کنند و گرما را در شب به صورت شار حرارتی محسوس بازتاب می‌دهند. ساختمان‌ها و سطوح غیرقابل نفوذ به دلیل ظرفیت گرمایی بالای، دمای شبانه را بیش از روز افزایش می‌دهند (۱۵).

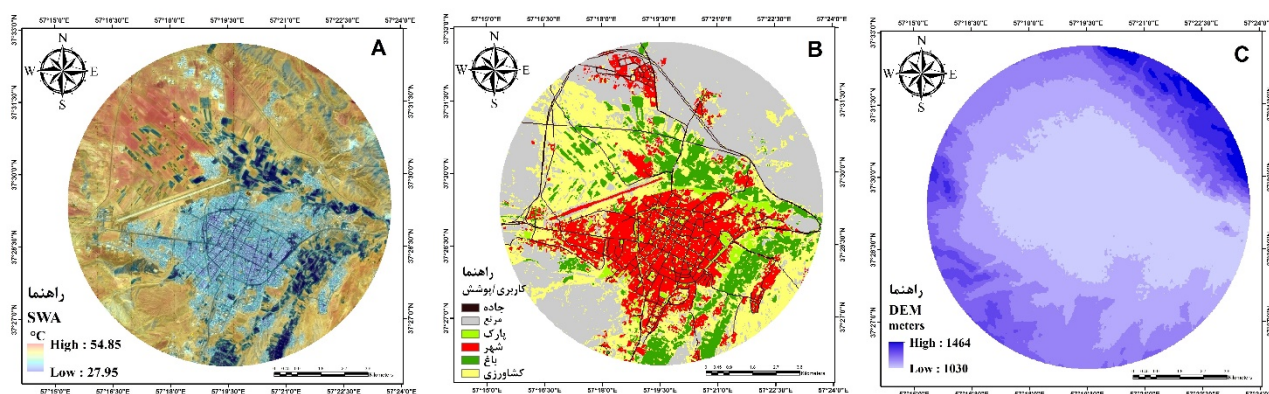


شکل ۳. مقایسه دمای سطح زمین (LST) روزانه و شبانه به دست آمده از تصاویر لندست و مادیس

Fig. 3. Comparison of daytime and nighttime land surface temperature obtained from Landsat and MADIS images

شده برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ نمایش داده شده است.

دمای سطح زمین شهر بجنورد از داده‌های لندست ۸ و با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و همچنین نقشه کاربری تهیه



شکل ۴. نقشه دمای سطح زمین به روش الگوریتم پنجره مجزا (A) و نقشه کاربری‌های سرزمین (B) و مدل رقومی ارتفاع (C) (DEM)

Fig. 4. LST map using split-window algorithm (SWA) (A) LULC map (B) and elevation model (DEM) (C)

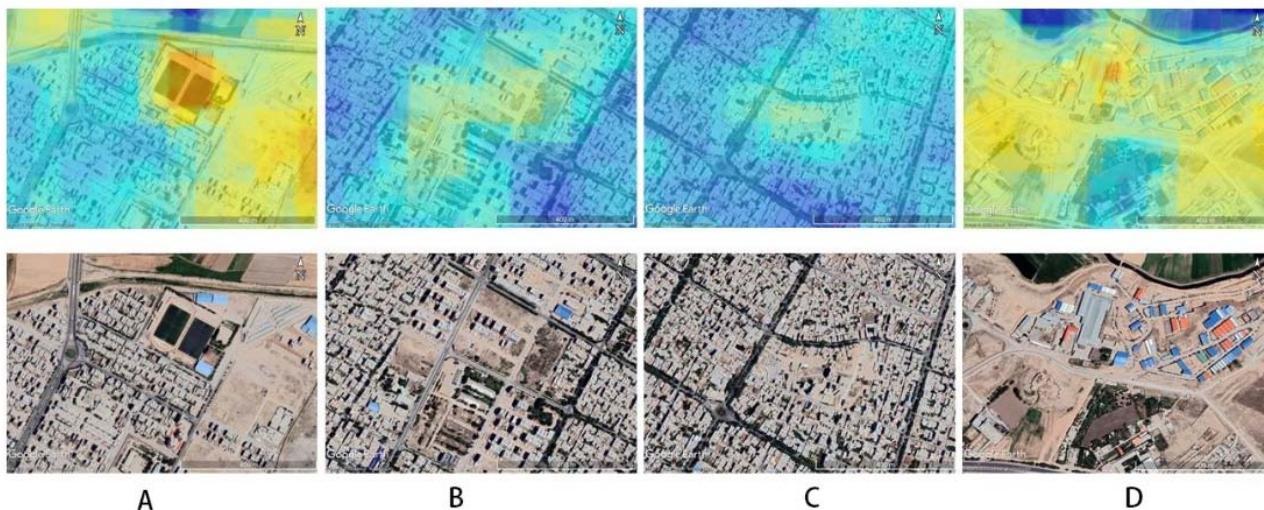
محدوده فرودگاه و مناطق خاکی و بایر اطراف شهر که عمدتاً خالی از سکنه هستند و جایی که زمین‌های کشاورزی دیم و مرتع بیشتر وجود دارد، ردیابی شده است. دلیل دمای پایین در بخش‌های شمال غرب و شرق منطقه که دارای پوشش گیاهی قابل توجهی نیست، را می‌توان به مرتفع بودن این مناطق نسبت داد که در شکل ۴ (C) نیز مشاهده می‌شود. کمترین دما را می‌توان در مکان‌هایی که باغ‌ها و پوشش گیاهی انبوه و دره‌ها قرار دارند مشاهده نمود. در داخل محدوده‌ی شهر (بر اساس مرز مصوب محدوده شهر)، بخش میانی (۵۰ درصد) دمای متوسط

با توجه به شکل ۴ (A)، دمای سطح زمین مربوط به تابستان ۲۰۲۱ (۱۴۰۰) در منطقه مورد مطالعه از ۲۷/۹۵ تا ۵۴/۸۵ درجه سانتی‌گراد با میانگین ۴۱/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بود. از نظر آماری، در منطقه مورد مطالعه (۱۲۰۷۷ هکتار)، ۴۸/۳۵ درصد دارای دمای بسیار بالا (۵۴/۸۵-۴۵)، ۲۹/۳۴ درصد دمای بالا (۴۰ تا ۴۵)، ۱۹/۷۸ درصد دمای متوسط (۳۵ تا ۴۰) و ۲/۵ درصد نیز دمای پایینی دارد.

علاوه بر این، با توجه به نقشه کاربری‌ها شکل ۴ (B)، بالاترین دما در غرب و شمال غرب منطقه مورد مطالعه،

مناطق مسکونی تازه‌ساخت (۳۸ درجه سانتی‌گراد)، پارکینگ خودرو (۴۱ درجه سانتی‌گراد) و مراکز صنعتی (۴۱ درجه سانتی‌گراد) را شامل می‌شود (شکل ۵).

یعنی ۳۵ تا ۴۰ درجه را نشان می‌دهد. مراکز اصلی انتشار دمای بسیار بالا در داخل شهر مناطقی از جمله زمین‌های خالی، امکانات عمومی مانند استادیوم تختی (۴۹ درجه سانتی‌گراد)،



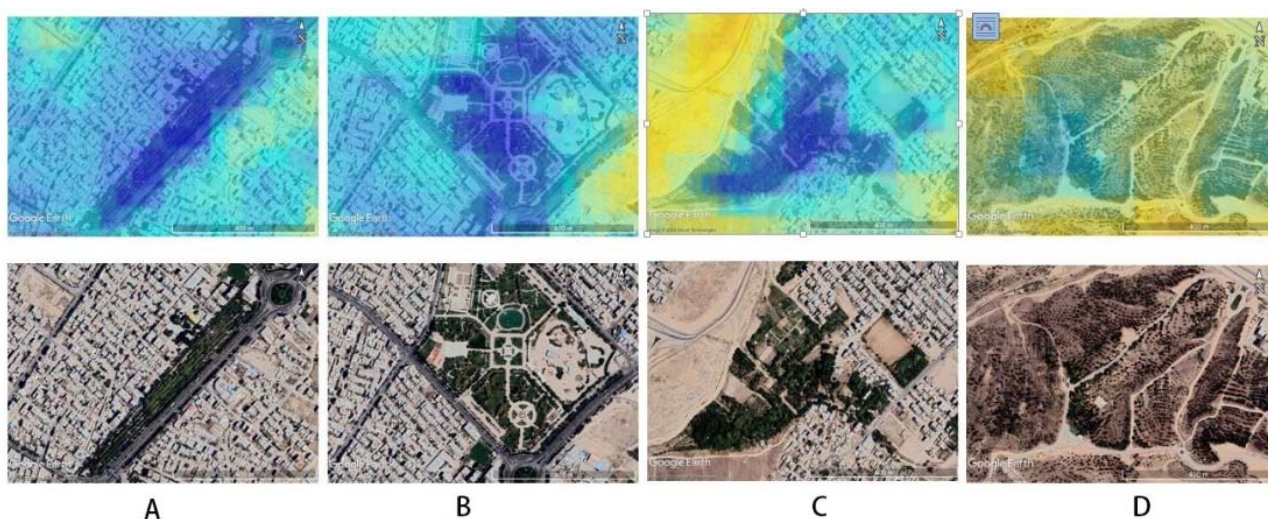
شکل ۵. مراکز مهم انتشار دمای بالا شهر: استادیوم تختی (A)، مناطق مسکونی تازه‌ساخت (B)، پارکینگ خودرو (C) و منطقه صنعتی (D).

Fig. 5. Main centres of very high heat emission in the city: Takhti Stadium (A) Newly built residential areas (B), car parking (C) and industrial area (D)

بین شهر و این مناطق به طور قابل توجهی قابل مشاهده باشد (۷).

سردترین نقاط (۲۷ تا ۳۵ درجه) را باغ‌ها و پوشش‌های درختی داخل و اطراف شهر با مساحت ۳۰۲ هکتار شامل می‌شود. باغ‌ها و پوشش گیاهی از شمال شرق و جنوب شرق، شهر را مانند حریمی سبز شهر را در برگرفته و کمترین دما را در این مناطق می‌توان مشاهده نمود. کاهش دما در داخل شهر به واسطه سایه درختان و تبخیر و تعرق در یک روز گرم تابستان اتفاق می‌افتد. مناطق نمایش داده شده در شکل ۶ از جمله فضاهای سبز شهری (A-B)، باغ (C) و پارک جنگلی (D) دارای دمای کمتر از ۳۶ درجه سانتی‌گراد هستند.

دمای بالای این مناطق ناشی از ظرفیت حرارتی بسیار بالای سطوح مصنوعی غالب (مانند آسفالت و ورق سقف) است. از ویژگی‌های دیگر توزیع دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی می‌توان به زمین‌های بایر حاشیه شهر (که دارای خاک رسی و ماسه‌سنگ هستند) اشاره نمود که دمای سطح زمین بسیار بالایی را نشان می‌دهد (بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد). دمای بالای سطح زمین در این مناطق به دلیل ویژگی‌های حرارتی خاص خاک، مانند هدایت حرارتی، ظرفیت گرمایی و اینرسی حرارتی است. علاوه بر این، سطح خاک لخت در معرض تابش خورشید بسیار سریع گرم و باعث می‌شود تضاد دمایی

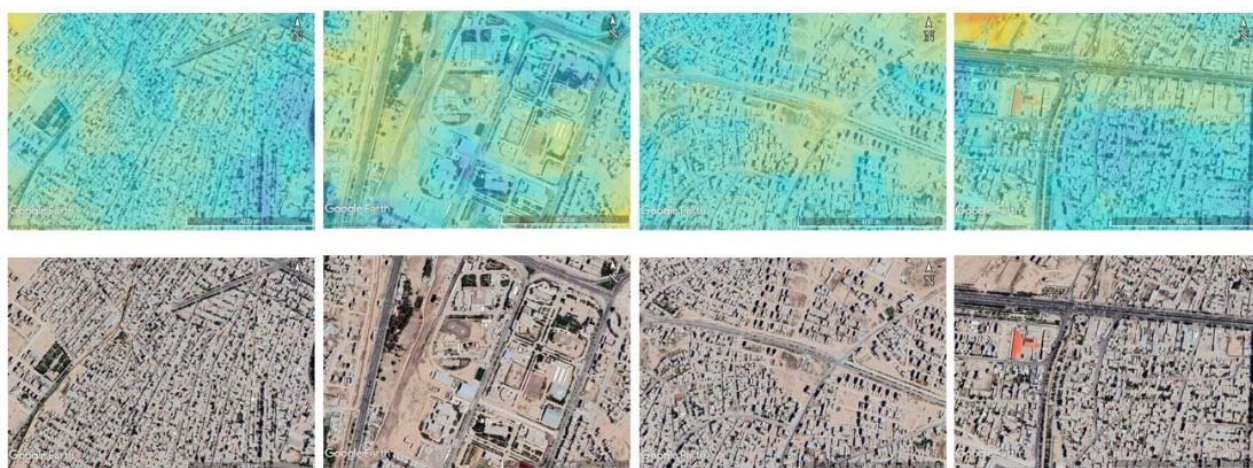


شکل ۶. مناطق خنک داخل شهر شامل فضاهای سبز شهری (A)، پارکها (B)، باغ (C) و پارک جنگلی (D)

Fig. 6. Cool areas inside the city include urban green spaces (A), parks (B), gardens (C) and forest park (D)

پارکها، چمن و درختکاری خیابانها را نیز شامل می‌شود. همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، مکان‌هایی از شهر به خصوص در حاشیه شهر که از پیوستگی پوشش گیاهی کاسته می‌شود یا به دلیل عدم درختکاری یا وجود درختان جوان‌تر تاج پوشش کمتر است، دما نیز بالاتر است.

پارکها می‌تواند ۲-۳ درجه سانتی‌گراد کمتر از مناطق مسکونی اطراف خود باشد است (۷). همچنین تا شعاعی از محیط اطراف خود را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که انواع فضاهای سبز با درصد پوشش درختی بالا، مؤثرترین عنصر برای کاهش گرمای بیش از حد در مناطق شهری هستند و این موضوع علاوه بر انواع



شکل ۷- دمای حاشیه شهر

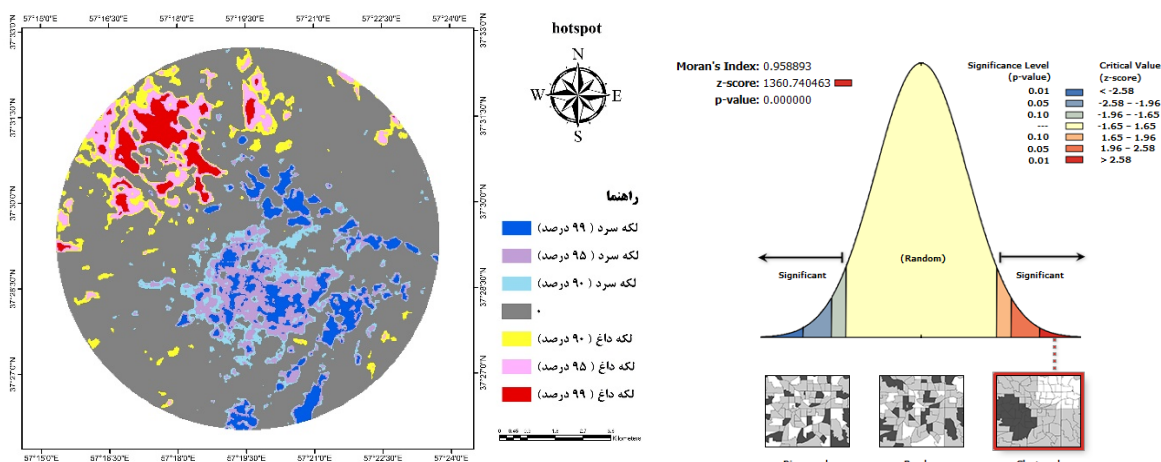
Fig. 7- Suburban temperature

مثبت یا الگوی خوشه‌ای وجود دارد. مقادیر p به دست آمده نیز الگوی خوشه‌ای را تأیید می‌کند. مقدار p به دست آمده کمتر از 0.05 ($p \leq 0.05$) که فرض اصلی تصادفی بودن و

تحلیل خودهمبستگی فضایی و نقاط داغ و سرد مقادیر شاخص موران جهانی به دست آمده در تحقیق حاضر بزرگتر از صفر است که نشان می‌دهد خودهمبستگی

منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸ نیز مشخص است نقاط سرد با باغ‌ها و فضاهای سبز شهری، در حالی که نقاط داغ به ویژه در شمال غرب منطقه با زمین‌های کشاورزی دیم که سطح وسیع و یکپارچه‌ای از خاک بدون پوشش را تشکیل می‌دهند، منطبق است. بدین ترتیب این تمایز مانع آشکار شدن نقاط داغ شهری می‌شود.

استقلال در مقادیر داده را رد می‌کند. امتیاز Z به دست آمده بیشتر از $2/58$ ($Z\text{-score} > 2.58$) است، بنابراین کمتر از ۱٪ احتمال دارد که الگوی مشاهده شده نتیجه یک فرآیند تصادفی باشد. بررسی توزیع فضایی دمای سطح زمین در شهر بجنورد توزیع خوشه‌ای را نشان می‌داد. همچنین تحلیل نقاط داغ (Hotspot) برای منطقه مورد مطالعه نیز صورت گرفت که نتایج در سه سطح اطمینان ۰/۹۰، ۰/۹۵ و ۰/۹۹ نقاط داغ و سرد را در



شکل ۸. نتیجه تحلیل خودهمبستگی و نقاط داغ و سرد

Fig. 8. The result of autocorrelation analysis and hot and cold spots

خودرو (بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و فضای سبز شهری (کمتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد) دمای متفاوتی داشته است. یافته‌های تحقیق حاضر با تحقیقات مشابه انجام شده در کرمانشاه (۲۳)، زنجان (۳۵) و همدان (۲۵) نتایج تقریباً مشابهی را در مورد رفتار حرارتی زمین در منطقه‌ای با آب و هوای تقریباً مشابه نشان داد. نتایج تحقیقات مورد بحث بیانگر این است که نواحی حومه شهری نسبت به مناطق شهری دارای دمای بالاتری هستند و این مسئله حتی می‌تواند باعث ایجاد جزیره حرارتی خنک شهری در این شهرها شود (۲۵).

دمای شهر به طور کل بالاتر از روستاها و مناطق با پوشش گیاهی اطراف است اما به دلیل آن که سطح وسیعی از زمین‌های اطراف شهر به خصوص در شمال غرب را مرتع یا کشاورزی فراگرفته نقاط داغ را در این مناطق می‌توان مشاهده نمود. بیشترین میانگین دما (۶۶ درجه) در مرتع و زمین‌های

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، از الگوریتم پنجره مجزا برای بازیابی دمای سطح زمین از داده‌های لندست ۸ سنجنده مادون قرمز حرارتی (TIRS) در شهر بجنورد استفاده شد. برای مقایسه تفاوت دما در مناطق شهری و غیر شهری، از تصویر دمای سطح زمین شبانه مادیس نیز استفاده شد. در این بررسی دمای شهر در طول شب بالاتر از مناطق حومه برآورد شد.

نتایج به دست آمده از الگوریتم پنجره مجزا نشان داد زمین‌های کشاورزی دیم و مرتع بالاترین دما (بیش از ۴۵ درجه سانتی‌گراد) و برعکس مناطق دارای انواع پوشش گیاهی و باغ‌های اطراف شهر پایین‌ترین دما (کمتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد) را دارند. کاربری شهر (ساخت‌وسازها و مناطق مسکونی) دارای مقادیر متوسطی از دما یعنی ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است که در برخی نقاط مانند استادیوم و پارکینگ

کشاورزی خارج شهر و کمترین مقدار میانگین دما (۳۸ درجه) در پارک و باغ‌ها ثبت شده است. بر اساس یافته‌های ملکی و همکاران (۲۳) که به بررسی دمای سطح زمین در کرمانشاه پرداختند نیز حاشیه شهر دمای بالاتری نسبت به مرکز شهر دارد که مشابه نتایج تحقیق حاضر است. آن‌ها وجود پشت‌بام‌های انعکاسی در شهر را به عنوان یک عامل مهم در کاهش دما در سطح شهر کرمانشاه معرفی نمودند. به دلیل بالا بودن ظرفیت جذب گرما توسط خاک بدون پوشش و پایین بودن ظرفیت هدایتی خاک، دمای سطحی زمین آستانه‌های دمایی بالایی را در حاشیه شهر نشان می‌داد. یافته‌های این مطالعه با نتایج مریانجی و همکاران (۲۵)، در شهر همدان که در دامنه کوهستان الوند قرار دارد همخوانی دارد و فضای سبز به عنوان عامل تعدیل‌کننده دما شناخته شد. ایسن و همکاران (۱۵)، تفاوت دمای روز و شب بر اساس کاربری‌های شهری را در شهر یالت کلرادو آمریکا به عنوان یک شهر با آب و هوای نیمه‌خشک بررسی نمودند. بر اساس یافته‌های آن‌ها سهم کاربری‌های شهری در تغییرات محلی دمای سطح زمین در طول روز و شب به ترتیب ۱۷٪ و ۲۵٪ بود. دمای هوای غالب در منطقه تغییرات محلی دمای هوای سطح زمین در روز و شب را تعیین می‌کند. آن‌ها همچنین نشان دادند تاج پوشش درخت به دلیل ترکیبی از سطوح سایه‌دار و تعرق، دمای هوای روز و پوشش چمن به دلیل افزایش شار گرمای نهان، دمای هوای شبانه را در یک منطقه شهری کاهش می‌دهد (۱۵). همچنین بررسی آماری ارتباط دما و جهت شیب در شهر بجنورد نشان می‌دهد مقادیر مربوط به پهنه‌های واقع در جهت شیب جنوب و جنوب شرق، دارای بالاترین دمای سطح زمین است. ارتفاع با دما نسب عکس دارد به طوری که در منطقه مورد مطالعه با افزایش ارتفاع دما نیز کاهش داشت.

ولی زاده کامران و همکاران (۳۵) تأثیر مستقیم جهت شیب بر ایجاد جزایر حرارتی شهری در مطالعه خود بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد ساخت‌وسازهای شهری در شیب جنوبی که در معرض تابش بلندمدت و مستقیم خوشید قرار دارد منجر به ایجاد گرمای بیشتر در تابستان و زمستان می‌شود.

در پژوهش حاضر شاخص موران I که ابزاری مؤثر برای بررسی الگوهای فضایی پارامترهای محیطی و اکولوژیکی در یک اکوسیستم شهری است نیز استفاده شد. الگوی توزیع دمای سطح زمین در منطقه خوشه‌ای است. خودهمبستگی فضایی رفتار دمای سطح زمین را در بافت شهری و حومه شهر نشان داد. ظهور نقاط داغ در نواحی با سطوح نفوذپذیر و نقاط سرد در نواحی نفوذ ناپذیر نشان دهنده اثر معکوس جزایر گرمایی شهری در مناطق نیمه‌خشک است. افزایش کشاورزی دیم که به صورت نقاط داغ در شمال غرب منطقه دیده می‌شود، می‌تواند تهدیدی جدی در منطقه باشد. وجود لکه‌های سبز با کاشت گونه‌های گیاهی مناسب منطقه در این بخش‌ها جهت تعدیل دما ضروری به نظر می‌رسد. نتایج این شاخص در تکمیل توضیحات و گزارش ارائه شده از منطقه مؤثر است. عظمی و همکاران (۶). از تحلیل خودهمبستگی فضایی برای بررسی رفتار دمای سطح زمین در شهر بجنریر مراکش در بافت شهری و حومه شهری استفاده نمودند. پیدایش نقاط داغ در نواحی نفوذپذیر و نقاط سرد در نواحی غیرقابل نفوذ شهر بجنریر مراکش نشان دهنده اثر معکوس جزایر حرارتی در مناطق مورد مطالعه آن‌ها بود که به یافته‌های مطالعه حاضر نزدیک است. همچنین آن‌ها بیان کردند که دمای بالاتر در زمین‌های بایر/خاک‌های اطراف شهر عامل ایجاد جزیره خنک شهری، به ویژه در طول روز بوده است. کوماری و همکاران (۱۸)، همبستگی مثبت و معناداری برای کاربری اراضی منطقه بایر با دمای سطح زمین در مادیا پرادش هند مشاهده کردند و با بررسی خوشه‌ها در سری زمانی تغییرات عوامل ایجاد لکه‌های داغ از جمله راه‌اندازی نیروگاه در منطقه را شناسایی نمودند.

عدم توجه به توسعه مناسب شهر و فضاهای سبز مناسب و کافی با دور شدن از مرکز شهر لایه به لایه مشاهده می‌شود و این همان مشکل برنامه‌ریزی سنتی و پراکندگی غیر سازمان یافته شهری است که در ابتدا مشکل کاهش آسایش حرارتی برای ساکنان حومه شهر و در دراز مدت مشکلات جدی برای کل شهر به وجود خواهد آورد. همان‌طور که هم اکنون در

- dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12): 2606-2617, doi <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.021>.
- Asgarian, A., Amiri, B.J. and Sakieh, Y. (2015). Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystems*, 18(1): 209-222, doi 10.1007/s11252-014-0387-7.
 - Avdan, U. and Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016: 1480307, doi 10.1155/2016/1480307.
 - Azmi, R., Tekouabou Koumetio, C.S., Diop, E.B. and 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, doi <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100229>.
 - Bendib, A., Dridi, H. and Kalla, M.I. (2017). Contribution of Landsat 8 data for the estimation of land surface temperature in Batna city, Eastern Algeria. *Geocarto International*, 32(5): 503-513, doi 10.1080/10106049.2016.1156167.
 - Bogoliubova, A. and Tymków, P. (2014). Accuracy assessment of automatic image processing for land cover classification of St. Petersburg protected area. *Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum*, 13(1-2): 5-22.
 - Faisal, A.-A., Kafy, A.-A., Al Rakib, A., Akter, K.S., Jahir, D.M.A., Sikdar, M.S., Ashrafi, T.J., Mallik, S. and Rahman, M.M. (2021). Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. *Environmental Challenges*, 4: 100192, doi <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192>.
 - Fattah, M.A., Morshed, S.R. and Morshed, S.Y. (2021). Impacts of land use-based carbon emission pattern on surface temperature dynamics: Experience from the urban and suburban areas of Khulna, Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22: 100508, doi <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100508>.
 - Firozjaei, M.K., Fatholouloumi, S., Kiavarz, M., Arsanjani, J.J. and Alavipanah, S.K. (2020). Modelling surface heat island intensity according to differences of biophysical characteristics: A case study of Amol city, Iran. *Ecological Indicators*, 109: 105816, doi <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105816>.
 - Guo, A., Yang, J., Sun, W., Xiao, X., Xia Cecilia, J., Jin, C. and Li, X. (2020). Impact of urban dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12): 2606-2617, doi <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.021>.
- سیاری از شهرهای بزرگ در کنار آلودگی هوا، این مسئله به یک دغدغه بزرگ برای مسئولان و شهروندان تبدیل شده است. افزایش مقدار تاج پوشش درختان، راهکاری شناخته شده برای تعدیل دما در مناطق شهری است که به دلیل برخی سیاست‌های توسعه شهری جدی گرفته نمی‌شود. سرمایش ناشی از تاج درخت هم به دلیل سایه و هم افزایش شار گرمای نهان است. افزایش پوشش چمن ممکن است نیاز به مصرف آب بیشتری داشته باشد، در حالی که افزایش پوشش درختان و فضاهای سبز شهری با مصرف آب کمتر راهکار مناسب‌تری است. در محیط شهری گیاهان نه تنها دارای ارزش‌های زیبایی‌شناختی هستند، بلکه با تعدیل دمای سطح زمین در روز و شب، عملکرد مؤثری در بهبود آب و هوای شهرها دارند. بررسی نحوه عملکرد انواع پوشش‌های سبز و چیدمان آن در فضای شهری در ساعات مختلف روز با در نظر گرفتن نوع اقلیم و شرایط آب و هوایی غالب در هر منطقه موضوعی است که ضرورت دارد در مطالعات آتی بیشتر به آن پرداخته شود.
- ### تقدیر و تشکر
- این مقاله حاصل بخشی از رساله با عنوان شبیه‌سازی فضایی-زمانی سناریوهای کاربری/پوشش زمین با در نظر گرفتن تأثیر ویژگی‌های دوبعدی/سه‌بعدی عوارض شهری و الگوهای انتشار کربن بر دمای سطح زمین در مقطع دکتری است که با حمایت دانشگاه علوم کشاورزی منابع طبیعی گرگان در حال انجام است.
- ### منابع مورد استفاده
- Almeida, C.R., Teodoro, A.C. and Gonçalves, A. (2021). Study of the Urban Heat Island (UHI) Using Remote Sensing Data/Techniques: A Systematic Review. *Environments*, 8(10), doi 10.3390/environments8100105.
 - Amiri, F. and Tabatabaie, T. (2022). The effect of land use change/land cover on land surface temperature in the coastal area of Bushehr. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(2): 130-147, doi 10.30495/girs.2022.692349. (In Persian).
 - Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A. and Alavipanah, S.K. (2009). Spatial-temporal

- Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), doi 10.3390/rs3071535.
22. Logan, T.M., Zaitchik, B., Guikema, S. and Nisbet, A. (2020). Night and day: The influence and relative importance of urban characteristics on remotely sensed land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 247: 111861, doi <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111861>.
 23. Maleki, M., Ahmadi, Z. and Dosti, R. (2019). Kermanshah Land surface temperature changes in during 1393-1397 periods. *Geography and Human Relationships*, 2(3): 309-319.
 24. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M.H., Karimi Firozjaei, M. and Alavipanah, S.K. (2021). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(4): 1-27. (In Persian).
 25. Maryanaji, Z., Darvishi, M. and Abbasi, H. (2018). Application of Statistical Models and Satellite Imagery in the Evolution of Heat Island in Hamedan City. []. *Geographical-Researches*, 33(3): 124-136, doi 10.29252/geores.33.3.124. (In Persian).
 26. Naim, M.N.H. and Kafy, A.-A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, 4: 100107, doi <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107>.
 27. Nasehi, S., Yavari, A. and Salehi, E. (2022). The Investigation of the Relationship between Urban Morphology Changes and Land Surface Temperature for Urban Heat Island Management (A Case Study: Tehran). *Geography and Environmental Sustainability*, 12(3): 107-130, doi 10.22126/ges.2022.7625.2517.
 28. Nimish, G., Bharath, H.A. and Lalitha, A. (2020). Exploring temperature indices by deriving relationship between land surface temperature and urban landscape. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18: 100299, doi <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100299>.
 29. Osborne, P.E. and Alvares-Sanches, T. (2019). Quantifying how landscape composition and configuration affect urban land surface temperatures using machine learning and neutral landscapes. *Computers, Environment and Urban Systems*, 76: 80-90, doi <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.04.003>.
 30. Parvar, Z. and Shayesteh, K. (2017). Monitoring and Prediction of Urban Growth Using Multitemporal Images and GIS Techniques (A Case Study of Bojnourd City). *Journal of morphology and landscape characteristics on spatiotemporal heterogeneity of land surface temperature. Sustainable Cities and Society*, 63: 102443, doi <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102443>.
 13. Guo, G., Wu, Z., Cao, Z., Chen, Y. and Yang, Z. (2020). A multilevel statistical technique to identify the dominant landscape metrics of greenspace for determining land surface temperature. *Sustainable Cities and Society*, 61: 102263, doi <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102263>.
 14. Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A. and Alavipanah, S.K. 2016. Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing*, 8(4). Retrieved from.
 15. Ibsen, P.C., Jenerette, G.D., Dell, T., Bagstad, K.J. and Diffendorfer, J.E. (2022). Urban landcover differentially drives day and nighttime air temperature across a semi-arid city. *Science of The Total Environment*, 829: 154589, doi <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154589>.
 16. Jimenez-Munoz, J. and 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, doi 10.1109/LGRS.2008.2001636.
 17. Kashki, A., Karami, M., Zandi, R. and Roki, Z. (2021). Evaluation of the effect of geographical parameters on the formation of the land surface temperature by applying OLS and GWR, A case study Shiraz City, Iran. *Urban Climate*, 37: 100832, doi <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100832>.
 18. Kumari, M., Sarma, K. and Sharma, R. (2019). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of land surface temperature in relation to land use/cover around a thermal power plant in Singrauli district, Madhya Pradesh, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15: 100239, doi <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100239>.
 19. Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H. (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, 130: 136-152, doi <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>.
 20. Li, J., Wu, H. and Li, Z.-L. (2020). An optimal sampling method for multi-temporal land surface temperature validation over heterogeneous surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169: 29-43, doi <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.024>.
 21. Liu, L. and Zhang, Y. (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER

- and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation. *Remote Sensing*, 12(2), doi 10.3390/rs12020294.
34. Soydan, O. (2020). Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. *Urban Climate*, 34: 100688, doi <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688>.
35. 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). *JUPM*, 8(30): 35-50. . (In Persian).
- Environmental Studies*, 43(3): 513-527, doi 10.22059/jes.2017.225385.1007382. . (In Persian).
31. Rezaei, M., Ghasemieh, H. and Abdollahi, K. (2020). Utility of METRIC model for estimating actual monthly evapotranspiration of Vanak Basin using MODIS sensor images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(3): 40-61. (In Persian).
32. Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K. and 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, doi 10.1007/s41651-018-0021-y.
33. Sekertekin, A. and Bonafoni, S. (2020). Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7,



Effects of Land Use and Land Morphology on Land Surface Temperature: A Case Study for Bojnourd City, North Khorasan

Zahra Pervar, Marjan Mohammadzadeh, Sepideh Saidi

Received: 2022-11-17 / Accepted: 2022-12-29 / Available online: 2024-06-26

Abstract

Urbanization can affect land surface temperature (LST) on a global scale by changing the natural land forms. Reducing the consequences of climate changes, requires to develop a coherent land use/cover management plan that restricts unplanned urban expansion and increases green cover. The purpose of this study is to investigate how features and spatial patterns of urban areas and its surroundings affect the LST of Bojnourd city. For this, a split-window algorithm (SWA) used for land surface temperature (LST) retrieval from Landsat 8 TIRS of 2021. Based on the results, the main centers of high heat emission in urban areas such as public facilities, car parks and industrial areas have higher LST (more than 38 °C) compared to urban green spaces (less than 36 °C), which are cooler parts of the city. Comparing the results with MODIS nighttime LST reveals the

different behavior of LST in day and night in urban and non-urban areas. In this study, the difference between day and night LST was revealed using MODIS nighttime LST. The spatial autocorrelation result show the contrast of LST behavior in urban and peri-urban fabric in semi-arid regions. The presence of hot spots in permeable surface areas such as agricultural land and cold spots in impermeable areas indicate the opposite effect of urban heat island in such areas. Understanding the complex interactions of urban land uses and LST by considering regional climate patterns can help managers and urban planners to improve the quality of life in urban areas.

Statement of the Problem: Urbanization can affect land surface temperature (LST) on a global scale by changing the natural land forms. With the increase of urbanization in recent decades, land surface temperature has also ascended continuously, and global warming has emerged as one of the biggest environmental challenges facing the world. Urbanization will affect biological systems, greenhouse gases (GHG) and land use/land cover (LULC) changes.

Cities are complex and dynamic systems that are created through the interaction between social, economic, and environmental factors. Although their development has brought many benefits, it has also changed the geometric and physical features of the earth's surface.

Zahra Pervar¹, Marjan Mohammadzadeh²(✉), Sepideh Saidi³

1. Doctoral student of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2. Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.1973023.2021

e-mail: marjan.mohammadzadeh@gmail.com

Rapid urbanization along with population growth has increased the total impervious surface and thus reduced green spaces. Land surface temperature, as a significant criteria for climate change assessment has a great impact on the composition, structure, formation and evolution of the soil. Satellite remote sensing which provides continuous and repeatable spatial observations of the Earth at the lowest cost, is a unique method to acquire the LST and monitor its large-scale temporal and spatial variations.

With the advancement of remote sensing techniques, it is possible to estimate land surface temperature with a time resolution between 15 minutes to 26 days and a spatial resolution from 10 km to 60 meters. LST estimation is used in many studies (e.g., control and monitoring of forest fire), hydrological cycles, climate change, urban studies (e.g., monitoring urban heat islands), and agriculture (e.g., agricultural water management and drought monitoring).

Purpose: Cities are getting warmer and understanding what causes temperature changes in urban areas may provide clues to finding ways to mitigate some negative impacts of climate change. The aim of this research is to investigate the effect of spatial characteristics and patterns of urban areas and its surroundings on the LST of Bojnord city. By examining the behavior of the land surface temperature in different components of the urban and suburban fabric and taking into account the prevailing weather conditions in the region, solutions can be provided to prevent the occurrence of urban heat islands (UHI) phenomenon in the future and sustainable urban development.

Methodology: In this research, Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) datasets were used to identify LULC classes and estimate the LST. The LST map was prepared from Landsat 8 TIRS satellite images (August 16, 2021-06:49:19 UTC) using the split window algorithm (SWA) in 4 steps: 1- Brightness Temperature (BT) was estimated for bands 10 and 11, 2-the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) was estimated using OLI sensor optical bands (4 and 5), 3- the fractional vegetation cover (FVC) image was obtained using the image of the NDVI, and 4- the land surface emissivity (LSE) images of bands 10 and 11 was generated from the FVC image.

All these steps were calculated in Python software. The SW algorithm removes the effect of the atmosphere by using the difference of atmospheric absorption in two thermal infrared bands adjacent to the center of 11 and 12 μm and finally applies the linear or non-linear combination of brightness temperature to calculate LST. Google Earth and Arc Map 10.8 software were used for further image processing and comparison of the prepared map with urban features and structures. The difference between day and night LSTs was revealed using MODIS nighttime LST.

In this study, Moran's I index which is an effective tool for investigating spatial patterns of an urban ecosystem was used. GIS-based techniques help visually detect the spatial patterns but do not confirm them statistically. Spatial autocorrelation indices such as the global Moran's I index contribute to the statistical validity of these visually identified patterns.

Results and discussion: In this study, a split window algorithm was used to retrieve the land surface temperature. SW algorithm uses two thermal bands to determine brightness temperature and LSE. These values are used along with atmospheric water vapor content to retrieve LST thus it can be more accurate than single-channel algorithms. The retrieved LST was compared with the synoptic station temperature of Bojnord City. Regarding the results, in Bojnord City, public facilities, parking lots and industrial areas have higher LST (more than 38°C) compared to urban green spaces (less than 36°C).

Comparing the results with MODIS nighttime LST reveals the different behavior of LST in day and night in urban and non-urban areas. The Global Moran's I value is greater than zero, which indicates a positive autocorrelation or a cluster pattern.

The p-value has also confirmed the results of Global Moran's I. The p-value is less than 0.05 ($p \leq 0.05$), which rejects the main assumption of randomness and independence in the data values. The obtained z-score is greater than 2.58 (z-score > 2.58), so there is less than a 1% chance that the observed pattern is the result of a random process. Hotspot analysis was also performed to identify the cool and hot spots in the study area. The spatial autocorrelation result showed the contrast of LST behavior in urban and peri-urban fabric in semi-arid regions.

Conclusion: Comparing the results with MODIS LST reveals the different behavior of land surface temperature in the day and night time in urban and non-urban areas. Investigating the thermal behavior in the semi-arid climate of Bojnord city showed that the suburbs have higher LST than the urban areas. The higher LST in barren soils around the city contributed to the generation of a surface urban cool island in the daytime. The presence of hot spots in permeable surface areas such as agricultural land and cold spots in impermeable areas indicate the opposite effect of urban heat island in such areas.

Understanding the complex interactions of urban land uses and LST by considering regional climate patterns can help managers and urban planners to improve the quality of life in urban areas. Also, the approach used in this study can be helpful to follow the urban environment's spatial and temporal development as an application framework of sustainable development.

Keywords: Land Surface Temperature, Split Window Algorithm, Landsat 8, Bojnord city



RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 15/ Issue 1) Spring 2024

Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar

journal homepage : www.girs.iaubushehr.ac.ir



Please cite this article as: Pervar Z, Mohammadzadeh M, Saidi S. 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, 15(1): 118-138.