



## بررسی تأثیر تغییرات کاربری‌های اراضی بر جزایر حرارتی شهر میناب با استفاده از رویکردهای طبقه‌بندی جنگل تصادفی و واکاوی خودهمبستگی فضایی

محمد کاظمی<sup>۱\*</sup>، علیرضا نفرزادگان<sup>۲</sup>، فریبرز محمدی<sup>۳</sup>

۱. استادیار مرکز مطالعات و تحقیقات (پژوهشکده) هرمز، دانشگاه هرمزگان، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، ایران

### مشخصات مقاله

### چکیده

پیشینه مقاله:  
دریافت: ۱۲ خرداد ۱۳۹۸  
پذیرش: ۲۵ آذر ۱۳۹۸  
دسترسی اینترنتی: ۲۵ دی ۱۳۹۸

### واژه‌های کلیدی:

تغییرات کاربری اراضی  
جزایر حرارتی شهری  
جنگل تصادفی  
خودهمبستگی فضایی

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در شهر میناب بر تغییرات جزایر حرارتی شهری (UHI) با استفاده از روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی و آمار فضایی بر روی تصاویر TM و OLI لندست طی سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ بود. ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا و تک‌کاناله دمای سطح زمین محاسبه شد. نقشه کاربری‌های اراضی با استفاده از روش نظارت‌شده جنگل تصادفی تهیه و میزان کارایی آن با دو معیار صحت کلی و ضریب کاپا ارزیابی گردید. به‌منظور بررسی خودهمبستگی فضایی و الگوی پراکنش لکه‌های داغ از دو آماره موران محلی و آنسِلین و گتیس-آرد جی استفاده شد. در سال ۱۹۸۸ کاربری‌های پوشش گیاهی، اراضی بایر و ساخت و سازهای شهری به ترتیب ۳۰/۱، ۳۲/۵۳ و ۳۷/۳۷ درصد از مساحت شهر را به‌خود اختصاص داده‌اند. در سال ۲۰۱۸ مساحت این نواحی به ترتیب ۱۶/۳۶، ۹/۵۶ و ۷۴/۰۸ درصد شده‌اند. برای اراضی بایر و پوشش گیاهی به ترتیب کاهش سطح به میزان سه برابر و دو برابر مشاهده شد، درحالی‌که اراضی شهری بیشتر از دو برابر افزایش سطح داشته‌اند. مقادیر محاسباتی برای شاخص نسبت جزایر حرارتی شهری (URI) در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۳۴، ۰/۱۱ و ۰/۲۲ بود. نتایج دو آماره فضایی مورد استفاده نشان‌دهنده الگوی خوشه‌ای برای جزایر حرارتی شهر میناب بود. در ضمن تطابق بسیار خوبی بین نتایج آماره گتیس-آرد جی (تحلیل فضایی لکه‌های داغ) و آماره موران محلی (خودهمبستگی فضایی) در مورد الگوی فضایی خوشه‌های گرم و سرد مشاهده شد.

\*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: mohamad.kazemi86@gmail.com

## مقدمه

فعالیت‌های انسانی موجب تغییرات زیادی در کاربری اراضی و پوشش زمین در قرون گذشته شده است (۱۸). این تغییرات تأثیر زیادی بر روی تنوع زیستی و اقلیم داشته است و عامل مهمی در گرم شدن زمین در سطوح محلی و منطقه‌ای است؛ در این راستا، شهرسازی و توسعه شهرها یکی از مهم‌ترین و ملموس‌ترین نیروهای انسانی ایجادکننده این تغییرات است (۲۲). مناطقی از جمله زمین‌های بایر، آسفالت، مصالح ساختمانی و بتنی (مناطقى که توسعه فیزیکی پیدا کرده‌اند و شاخص ساخت‌وسازهای انسانی در آنها بیشتر دیده می‌شود) به دلیل ظرفیت گرمایی کمتر و هدایت حرارتی بیشتر، باعث افزایش دمای محیطی نسبت به مناطق اطراف می‌شوند. پدیده افزایش دمای هوا در این‌گونه نقاط را جزایر حرارتی می‌نامند (۴).

ایستگاه‌های هواشناسی اعم از سینوپتیک و کلیماتولوژی به شکل کاملاً محدود و نقطه‌ای دمای سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کنند. لذا نمی‌توانند آمار و اطلاعات سایر نقاط در یک گستره وسیع را در اختیار کاربران قرار دهند. از طرفی تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده برای بررسی دمای سطح زمین (LST; Land surface temperature) و استخراج جزایر حرارتی شهری (UHI; Urban heat islands) مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲). زیرا با استفاده از فناوری سنجنش‌ازدور این قابلیت وجود دارد که به تناسب قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای، برای نقاط متعدد و دلخواه دمای سطح زمین محاسبه شود. در این راستا تحلیل فضایی می‌تواند تغییرات مکانی و زمانی داده‌های مکانی را در یک محدوده مورد پایش قرار دهد. بدین منظور می‌توان از آمار فضایی به‌عنوان گزینه‌ای مناسب جهت تحلیل داده‌ها استفاده کرد (۵).

پس از مطرح شدن مفهوم جزیره حرارتی توسط لوک هاوارد در سال ۱۸۳۳، این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت. اخیراً، با توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی، پدیده جزایر حرارتی اهمیت بیشتری یافته است (۱۵). میناب یکی از شهرهای شرقی استان هرمزگان

و شروع منطقه مکران در این استان است. این شهر طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ شاهد تغییرات سریع جمعیتی و مهاجرتی بوده است. امروزه با افزایش اهمیت توسعه شهر از یک‌طرف و همچنین راه‌های توسعه شهر از طرف دیگر، لزوم بررسی الگوی توسعه کالبدی-فضایی کاربری‌های اراضی شهر میناب ضرورت پیدا کرده است. توسعه و تغییرات سریع و ناهماهنگ کاربری‌های اراضی شهر میناب در سال‌های اخیر، نتایج نامناسب اقتصادی، اجتماعی و کالبدی را به دنبال داشته است. یکی از مهم‌ترین معضلات مغفول (با توجه به موقعیت گرمسیری و حاره منطقه)، عدم توجه به پراکنش جزایر حرارتی در سطح شهر و انجام ساخت‌وسازها در این نواحی است. با توجه به مصرف بالای انرژی الکتریسیته جهت خنک کردن محیط زندگی در شهر میناب، لزوم بررسی تغییرات جزایر حرارتی و الگوی آن جهت ممانعت از هدر رفت بیشتر انرژی بیش‌ازپیش احساس می‌شود و یا تعیین جهت توسعه آبی شهر با در نظرگیری جزایر حرارتی و روند تغییرات مکانی آن، ضرورت بررسی موضوع را نشان می‌دهد. در راستای موضوع به سوابق مطالعاتی زیر می‌توان اشاره کرد؛ خسروی و همکاران (۴) با استفاده از تصاویر لندست TM و OLI به بررسی و پایش جزایر حرارتی، واکاوی و شناسایی تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها با استفاده از آمار فضایی در شهر زنجان پرداختند. نامبردگان برای محاسبه دمای سطح زمین از الگوریتم پنجره مجزا و آماره خودهمبستگی فضایی استفاده کردند. بیشترین مقادیر دمایی شهر زنجان مربوط به کاربری اراضی بایر و کمترین مقادیر دمایی در مناطق حاوی پوشش گیاهی، کاربری‌های مرکزی شهر و بافت فرسوده بوده است. پیرنظر و همکاران (۲) با استفاده از روش سبال و داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ به برآورد دمای سطح شهر تهران پرداختند و سپس با روی هم‌اندازی این لایه و نقشه کاربری‌های اراضی شهری به بررسی گرم‌ترین کاربری و خنک‌ترین کاربری‌ها توجه نمودند. نامبردگان بیان کردند، دمای سطح زمین بسته به نوع کاربری آن تغییر می‌کند و شهرها نیازمند پایش تغییرات دمایی بر اساس نوع کاربری اراضی هستند که هر یک از کاربری‌ها دارای روش

اصلاحی خاص خود هستند.

کیانی سلمی و ابراهیمی (۹) با بررسی توسعه شهری و جزایر گرمایی شهرکرد از طریق تصاویر لندست ۷ و ۸ دریافتند که طی دوره ۱۳ ساله ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ مقدار دمای سطح زمین به اندازه ۲/۲۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. همچنین معلوم شد که شاخص‌های پوشش گیاهی (RVI و NDVI) در فضای سبز با دمای سطح زمین رابطه معنی‌دارتری در مقایسه با فضاها ساخت‌وساز و اراضی لخت داشته‌اند.

اسحاقی و شتایی جویباری (۱) عملکرد الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی (Random forest) در تهیه نقشه خطر آتش‌سوزی را نسبت به دو روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (Support vector machine) بهتر ارزیابی کردند. جهانبخشی و اختصاصی (۳) در ارزیابی عملکرد سه روش طبقه‌بندی تصاویر جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و بیشترین شباهت (Maximum likelihood) برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه سد ستارخان آذربایجان شرقی اعلام کردند، صحت کل برای دو روش بیشترین شباهت و جنگل تصادفی یکسان اما ضریب کاپای این روش کمتر از دو روش یادشده است. رینولدز و همکاران (۲۰) برای تهیه نقشه پوشش اراضی باهدف تفکیک زیستگاه‌های جانوری از روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی استفاده کردند. ایشان دقت این روش را با ضریب کاپای ۶۶ درصد، شاخص صحت کل ۸۸ درصد و صحت کاربر ۷۲ درصد خوب ارزیابی کردند. باسوکلا و همکاران (۱۳) باهدف ارائه بهترین الگوریتم برای تهیه نقشه زمین‌های کشاورزی آبی، عملکرد روش جنگل تصادفی شیء‌گرا را نسبت به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و بیشترین شباهت بهتر دانستند و این روش را برای استخراج نقشه کشت آبی پیشنهاد دادند.

داده‌های فضایی در مطالعات محیطی به مشاهداتی اطلاق می‌گردند که ناشی از موقعیت و مکان قرار گرفتن این مشاهدات در فضای مورد مطالعه می‌باشند. همبستگی فضایی بین این داده‌ها مانعی بر سر راه روش‌های معمول آماری جهت مطالعه آن‌ها است. بدین دلیل، از آمار فضایی به‌عنوان روشی

مناسب جهت تحلیل این داده‌ها استفاده می‌گردد. تحلیل فضایی می‌تواند تغییرات مکانی و زمانی داده‌های مکانی را به خوبی در یک منطقه پایش کند (۴). تحلیل فضایی داده‌های محیطی با مدل‌های مختلفی انجام می‌شود که از آن جمله می‌توان به مدل‌های تحلیل اکتشافی داده‌های محیطی نظیر آماره‌های خودهمبستگی فضایی موران عمومی (Moran statistic)، موران محلی (Moran anselin local)، لکه‌های داغ و سرد (Hot Spot & Cold Spot) (۲۸) و تابع خودهمبستگی فضایی چند فاصله‌ای (Repley K functions) اشاره کرد (۵).

نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات پایه را برای مدیریت و پایش سیستم‌های محیطی فراهم می‌کنند. صحت نقشه‌های کاربری اراضی به صحت داده‌های اولیه و روش طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای برمی‌گردد. طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آن‌ها از لحاظ رفتار طیفی یکسان است (۱۹). بنابراین استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی معتبر و خصوصاً روش‌های جدید بر صحت نقشه‌های تولیدی جایگاه ویژه‌ای دارد. یکی از جدیدترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تکنیک جنگل‌های تصادفی است که بر یادگیری ماشین ناپارامتری مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است. درختان تصمیم‌گیری به‌صورت منفرد از مجموعه نمونه‌های آموزشی (نمونه‌های تعلیمی) رشد می‌کنند (۳).

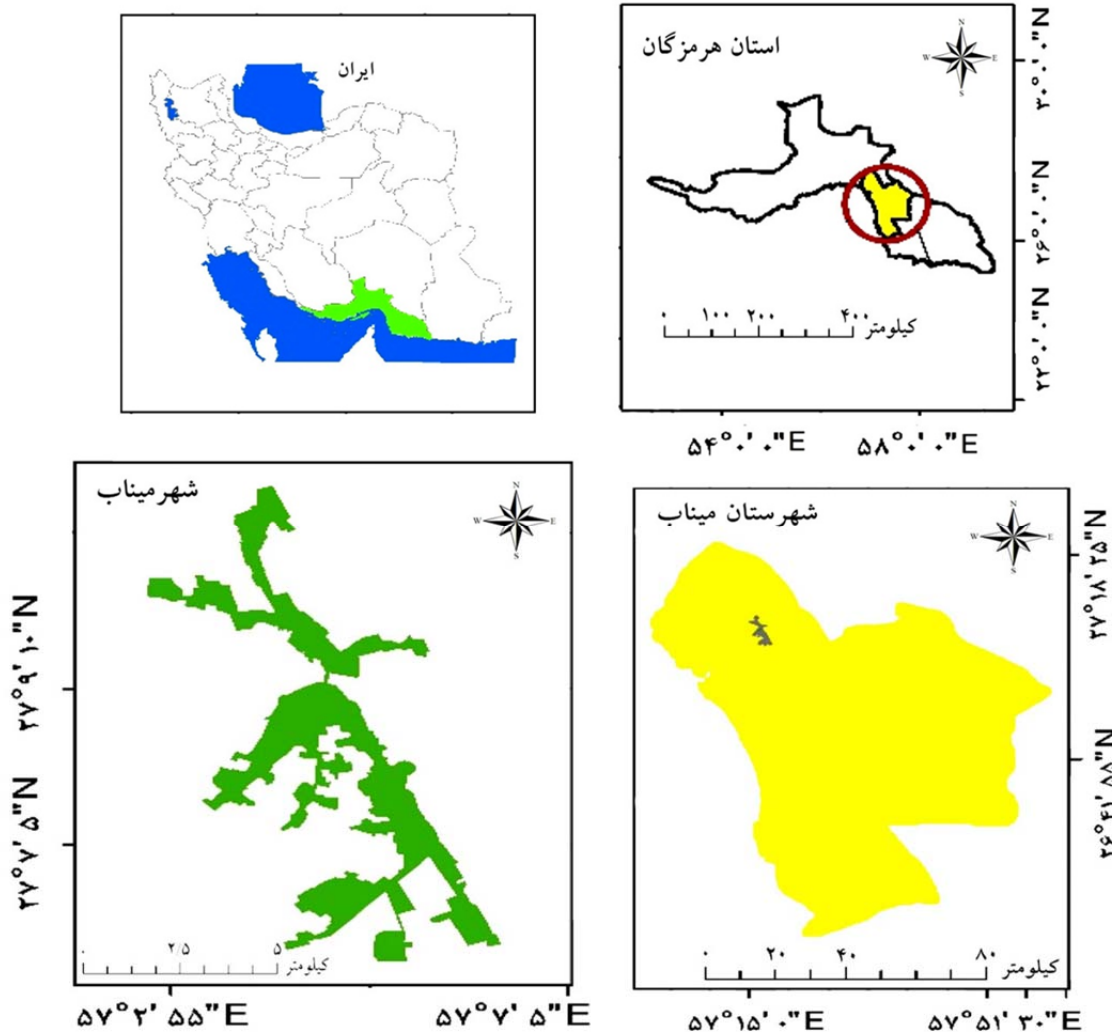
آنچه از مرور منابع برمی‌آید پتانسیل خوب و جدید بودن روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی نسبت روش‌های پرکاربرد و توانمند بیشترین شباهت و ماشین بردار پشتیبان و کمتر توسعه یافتن این روش ناپارامتری در کشور است. هدف در تحقیق حاضر برآورد میزان تغییرات کاربری اراضی شهر میناب و تأثیر آن بر تغییرات جزایر حرارتی این شهر با استفاده از الگوی طبقه‌بندی جنگل تصادفی و آمار فضایی بر روی تصاویر TM و OLI لندست بود.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

فایل تصاویر با مشخصات زیر از پایگاه داده ناسا (<https://earthdata.nasa.gov>) تهیه شدند. موقعیت و محل قرارگیری شهر میناب در ایران و استان هرمزگان در شکل ۱

ارائه شده است. این شهر در موقعیت جغرافیایی  $57^{\circ} 05'$  تا  $57^{\circ} 10'$  طول شرقی و  $27^{\circ} 08'$  تا  $27^{\circ} 21'$  عرض شمالی واقع شده است. میناب، بزرگترین شهر غیر بندری استان هرمزگان است.



شکل ۱. موقعیت شهر میناب در ایران و استان هرمزگان

### تهیه نقشه کاربری اراضی

جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهر میناب از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. قبل از اجرای این الگوریتم، تصحیحات رادیومتریک با روش QUAC و هندسی از طریق تطبیق نقاط کنترل زمینی در نرم افزار ENVI روی تصاویر انجام

شد. سپس تصاویر برش خورده به اندازه فریم محدوده مطالعاتی مورد پردازش قرار گرفت. جنگل های تصادفی شامل انبوهی از درخت های کلاس بندی و رگرسیونی می باشند (۱۴). مهم ترین ویژگی جنگل تصادفی عملکرد بالای آن در اندازه گیری اهمیت متغیرهای ورودی است که مشخص می کند

هر متغیر چه نقشی در پیش‌بینی پاسخ دارد.

الگوریتم جنگل تصادفی یک الگوریتم دسته‌جمعی (Ensemble) است که از درخت‌های تصمیم، برای الگوریتم‌های خود استفاده می‌کند. تعداد بسیاری درخت تصمیم در طبقه‌بندی الگوریتم جنگل تصادفی رشد می‌یابند. یک الگوریتم درخت تصمیم (Decision tree)، می‌تواند به‌راحتی عملیات طبقه‌بندی را بر روی داده‌ها انجام دهد. حال در الگوریتم جنگل تصادفی از چندین درخت تصمیم استفاده می‌شود. در واقع مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم، باهم یک جنگل را تولید می‌کنند و این جنگل می‌تواند تصمیم‌های بهتری (نسبت به یک درخت) اتخاذ نماید. پیکسل یا پدیده طبقه‌بندی نشده با توجه به ویژگی‌های همراه خود در یک کلاس گنجانده می‌شود. این امر با عبور دادن پیکسل از میان  $X$  درخت تصمیم‌گیری انجام می‌شود. به گونه‌ای که تعلق پیکسل به یکی از کلاس‌ها ( $Y$  تعداد کلاس‌ها) میان درختان تصمیم به رأی گذاشته می‌شود و هر درخت تصمیم رأی خود را در مورد گنجاندن پیکسل در یک کلاس اعلام می‌کند. جنگل تصادفی، پیکسل به رأی گذاشته‌شده را به کلاسی که دارای بیشترین رأی درختان جنگل باشد اختصاص می‌دهد (۳). در الگوریتم جنگل تصادفی به هر کدام از درخت‌ها، یک زیرمجموعه‌ای از داده‌ها اختصاص می‌یابد. درختان تصمیم‌گیری به‌صورت منفرد از مجموعه نمونه آموزشی رشد می‌کند. با  $N$  بار نمونه‌گیری با جایگزینی، دوسوم از مجموعه داده‌های اصلی برای آموزش یک درخت استفاده می‌شود. بدین طریق با نمونه‌گیری با جایگزینی، یک‌سوم باقیمانده داده‌ها در آموزش درخت دخالت نخواهند داشت و برای صحت‌سنجی درونی الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوطه استوار است و برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، طبقه‌بندی با صحت بالایی انجام می‌دهد (۷). درختان تصادفی بردار ورودی را گرفته، آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی کرده و خروجی‌ها، برچسب‌های کلاسی هستند که از اکثریت آراء دریافت شده‌اند. جنگل تصادفی تعداد درخت‌های زیادی تولید

می‌کند. برای طبقه‌بندی یک شیء جدید بردار ورودی در انتهای هر یک درختان تصادفی جنگل قرار می‌گیرد که هر درخت به یک طبقه‌بندی منجر می‌شود و گفته می‌شود این درخت به آن کلاس رأی می‌دهد. جنگل حاصل از طبقه‌بندی که بیشترین رأی را داشته باشد (بین همه درخت‌های جنگل) انتخاب می‌شود. برای این روش هر درخت به‌صورت زیر تشکیل می‌شود (۷). اگر  $N$  تعداد حالت‌ها در مجموعه داده‌های مجموعه کار باشد،  $N$  حالت به‌صورت تصادفی با جایگذاری از داده‌های اصلی نمونه‌گیری می‌شود، مه این نمونه مجموعه کار برای این درخت است. اگر  $M$  متغیر وجود داشته باشد و  $m$  کوچک‌تر از  $M$  در نظر گرفته شود. به طوری که در هر گره،  $m$  متغیر به‌صورت تصادفی از  $M$  انتخاب می‌شوند و بهترین جداسازی روی این  $m$  متغیر برای جداسازی گره استفاده می‌شود. مقدار  $m$  در طول ساخت جنگل ثابت در نظر گرفته می‌شود. هر درخت به‌اندازه ممکن بزرگ می‌شود، هیچ هرسی وجود ندارد. نرخ خطای جنگل به دو مورد زیر بستگی دارد؛ همبستگی بین هر دو درخت در جنگل، افزایش همبستگی نرخ خطای جنگل را افزایش می‌دهد. قدرت هر یک از درختان در جنگل، که هر درخت با نرخ خطای کم یک طبقه‌بندی قوی است و افزایش قدرت هر یک از درختان نرخ خطای جنگل را کاهش می‌دهد.

یک جنگل تصادفی آن قدر بزرگ است که تفسیر آن کار بسیار دشواری است، لذا نیاز است که اطلاعات آن با استفاده از شاخص‌های کمی خلاصه شود. یکی از این شاخص‌ها، شاخص اهمیت جایگشتی است که برای محاسبه آن الگوریتم جنگل تصادفی از تمام مشاهدات نمونه برای ساخت درخت استفاده نمی‌کند. بلکه یک نمونه تصادفی با جایگذاری به حجم  $n1$  (معمولاً دوسوم داده‌ها) برابر از مشاهدات انتخاب می‌شود که به مشاهدات انتخاب‌شده نمونه آموزشی (LS; Learning sample) و به بقیه آن‌ها نمونه خارج از کیسه (Out of bag) می‌گویند. درخت‌ها با مشاهدات نمونه آموزشی ساخته می‌شوند و از نمونه خارج از کیسه برای اندازه‌گیری ناخالصی درخت استفاده می‌شود. هر درخت، ابتدا اندازه ناخالصی روی

بنابراین رابطه اصلی به شکل زیر اصلاح گردید.

$$T = \frac{C_2}{\lambda \ln \left[ \frac{C_1}{\lambda^5 B_\lambda(T)} + 1 \right]} \quad [5]$$

در این رابطه می توان بجای  $\frac{C_1}{\lambda^5}$  مقدار  $K_1$  و بجای  $\frac{C_2}{\lambda^5}$  مقدار  $K_2$  را قرارداد و رابطه را به صورت زیر نوشت.

$$K = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad [6]$$

در این رابطه؛  $T$  درجه حرارت سطح زمین بر اساس کلویین است که باید به درجه سانتیگراد تبدیل شود،  $L$  درخشندگی طیفی و  $\lambda$  ثابت عددی (۱۰-۶ × ۲۹۱/۸)،  $K_1$  ثابت تابش اول (موجود در فراداده تصویر) و  $K_2$  ثابت تابش دوم (موجود در فراداده تصویر) است.

برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده های سنجنده OLI لندست ۸ از روش پنجره مجزا استفاده شد. روش پنجره مجزا بر مبنای تلفیق دو باند حرارتی استوار هست در واقع این روش با استفاده از تلفیق باندهای حرارتی مجاور سعی در کاهش تأثیرات اتمسفری دارد. با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می گذارد، می توان آنرا به عنوان یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به حساب آورد (۲۱). بنابراین شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI; Normalized difference vegetation index) استفاده شد (۱۷). برای برآورد این شاخص از باندهای ۴ (قرمز) و ۵ (مادون قرمز) رابطه ۷ استفاده شد.

$$NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4) \quad [7]$$

همچنین پارامتر کسر پوشش گیاهی (FVC; Fraction of vegetation cover) در بسیاری از مطالعات کاربردی محیط زیست و تغییرات آب و هوایی استفاده می شود. این پارامتریک رویکرد مشترک شامل ترکیب غیرخطی از دو عنصر طیفی شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است (۱۶). برآورد کسر پوشش گیاهی از طریق رابطه ۸ محاسبه شد.

مشاهدات خارج از کیسه محاسبه می شوند و سپس مقادیر متغیر  $X_i$  در هر درخت، اختلاف بین این دو اندازه ناخالصی است و میانگین این مقادیر شاخص اهمیت جایگشتی است. انگیزه این روش این است که اگر  $X_i$  متغیر مهمی باشد جابجا شدن مقادیر آن به طور تصادفی منجر به افزایش ناخالصی درخت می شود. اگر متغیر تأثیرگذاری نباشد، آنگاه تغییری در ناخالصی ایجاد نمی شود (۱۴). جهت انجام روش جنگل تصادفی از افزونه EnMap-Box 2.2 بر روی نرم افزار Envi استفاده شد.

### برآورد دمای سطحی و شاخص نسبت جزایر حرارتی

تهیه تصویر حرارتی با استفاده از داده های حرارتی باندهای ۶ سنجنده TM و باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده OLI صورت گرفت. الگوریتمی که برای استخراج دمای سطح زمین از تصاویر سنجنش از دور استفاده شد، بر اساس دمای روشنایی سنجنده ماهواره ای بود. محاسبه دمای روشنایی در دو مرحله انجام گردید؛ تبدیل ارزش رقومی باند ۶ به رادیانس طیفی با استفاده از رابطه زیر و تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی سنجنده برحسب کلویین صورت می گیرد.

$$L_{sat} = (DN - 1) \times UCC \quad [1]$$

در این رابطه؛  $L_{sat}$  انرژی تشعشعی سنجنده،  $DN$  ارزش عددی هر پیکسل در تصویر اصلی،  $UCC$  ضریب تبدیل واحد است که به ضریب کالیبراسیون (Gain) سنجنده بستگی دارد و برای تعیین میزان آن از فراداده هر تصویر استفاده شد. بعد از محاسبه انرژی تشعشعی، دمای سطح زمین با استفاده از معکوس سازی رابطه ۲ بدست آمد.

$$B_\lambda T = \frac{C_1}{\lambda^5 \times (e^{\frac{C_2}{T}} - 1)} \quad [2]$$

که در این رابطه،  $C_1$  و  $C_2$  از رابطه های ۳ و ۴ محاسبه گردید.

$$C_1 = 1.19104 \times 10^{-6} \text{ (Wm}^{-2}\text{)} \quad [3]$$

$$C_2 = 1.43879 \times 10^{-2} \text{ (mk)} \quad [4]$$

$$E = 0.004FVC + 0.986 \quad [9]$$

معیار دیگری که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری است، برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE, Land surface emissivity) است که این معیار به صورت جداگانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ محاسبه می‌گردد (رابطه ۱۰).

$$LSE = E^s(1 - FVC) + E^v \times FVC \quad [10]$$

در این رابطه؛  $E^s$  و  $E^v$  به ترتیب انتشار خاک و گیاه برای باندهای حرارتی (مطابق با جدول ۱) است (۱۰).

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_{Min})}{(NDVI_{Max} - NDVI_{Min})} \quad [8]$$

در این رابطه؛  $NDVI_{Max}$  و  $NDVI_{Min}$  به ترتیب حداکثر و حداقل ارزش پیکسل براساس مقادیر محاسباتی NDVI است. قابلیت انتشار (Emissivity) بر روی مقدار دمای سطح به شدت تأثیرگذار است. قابلیت انتشار در مقایسه با جسم سیاه، بسته به نوع ماده تشکیل دهنده پدیده‌های مختلف، متفاوت و در طول موج‌های مختلف ناحیه مادون قرمز حرارتی با یکدیگر تفاوت می‌کند. به همین دلیل می‌توان پدیده‌های مختلف را با وجود دمای یکسان با استفاده از این روش تشخیص داد (۱۰) و (۱۱). برای محاسبه قابلیت انتشار اجسام (E) از رابطه ۹ استفاده شد.

جدول ۱. میزان انتشار خاک و گیاه برای باندهای حرارتی لندست

باند حرارتی	باند ۱۰	باند ۱۱
انتشار خاک ( $E^s$ )	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
انتشار گیاه ( $E^v$ )	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

در این رابطه؛  $\left(\frac{T_j}{T_i}\right)$  میانگین دمای روشنایی (BT; Brightness temperature)،  $C_0$  برابر با  $-9/674$ ،  $C_1$  برابر با  $0/653$  و  $C_2$  برابر با  $9/087$  است.

در نهایت دمای سطح زمین (LST; Land surface temperature) با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا (Split window) محاسبه شد (رابطه ۱۳) که به علت در نظر گرفتن حذف اثرات جوی دقت بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد.

$$LST = BT_{10} + C_1(BT_{10} - BT_{11}) + C_2(BT_{10} - BT_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - \epsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\epsilon \quad [13]$$

در این رابطه؛  $BT_{10} - BT_{11}$  دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱،  $C_0$  تا  $C_6$  ضرایب الگوریتم (طبق جدول ۲)،  $W$  ستون بخارآب،  $\Delta\epsilon$  اختلاف قابلیت انتشار سطح زمین و  $\epsilon$  میانگین قابلیت انتشار سطح زمین است (۱۰). همچنین شاخص نسبت

بعد از محاسبه قابلیت انتشار سطح زمین برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین آن‌ها نیز محاسبه شد. سپس برای به دست آوردن رادیانس باندهای حرارتی تصویر لندست ۸ از رابطه ۱۱ استفاده شد.

$$Radiance = M^l \times Q^{cal} + A^{L\lambda} \quad [11]$$

در این رابطه؛  $Q^{cal}$  باند ۱۰ و ۱۱ و  $M^l$  جمع باندهای ۱۰ و ۱۱ و  $A^{L\lambda}$  اختلاف باندهای ۱۰ و ۱۱ و  $L\lambda$  درخشندگی جو بالا است. در مرحله بعد لازم بود تا ستون بخارآب (CWV) محاسبه شود. ستون بخارآب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند که با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه گردید.

$$CWV = C_0 + C_1 \times \left(\frac{T_j}{T_i}\right) + C_2 \times \left(\frac{T_j}{T_i}\right) \quad [12]$$

جزایر حرارتی (URI, urban-heat-island ratio index) از رابطه ۱۴ محاسبه گردید.

جدول ۲. ضرایب الگوریتم پنجره مجزا

ضرایب ثابت	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
ارزشها	-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۰۴/۳	-۲/۲۳۸	-۱۲/۲	۱۶/۴

ابتدا داده‌های دمایی هر تصویر استاندارد شد و در گام بعدی این داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفتند. در این روند ابتدا تصاویر دمایی هر سال با استفاده از دمای حداقل و حداکثر نرمال شدند (۲۶) و توزیعی بین ۰ تا ۱ گرفتند (به عبارتی توزیع یک‌شکل پیدا کردند). این تصاویر بر اساس رابطه ۲۰ نرمال شدند. سپس، این تصاویر با توجه به میانگین و انحراف از معیار خود بر اساس رابطه‌های ۱۵ تا ۱۹ به پنج طبقه دمایی تقسیم‌بندی شدند.

#### تحلیل آمار فضایی دمای سطحی

شناخت الگوهای حاکم بر داده‌های فضایی از اهمیت بسیاری برخوردار است (۲۳). لذا به منظور بررسی الگوی حاکم بر دمای سطحی شهر میناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ از تحلیل خودهمبستگی فضایی (الگوی موران محلی) و لکه‌های داغ (آماره گتیس-آرد جی، Getis-Ord Gi\* statistic) استفاده شد. قبل از هرگونه تحلیل و تهیه نقشه در آمار فضایی باید این تحلیل انجام شود که، توزیع داده‌ها در فضا از چه الگو و قاعده‌ای تبعیت می‌کند (۱۵). تحلیل خوشه و ناخوشه که به آماره موران محلی آنسِلین (Anselin Local Moran's statistic) مشهور است، الگویی بهینه برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است (۲۴).

برای تحلیل خوشه و ناخوشه برای هر عارضه موجود در لایه اطلاعاتی، نمره Z و P-Value که بیانگر معناداری شاخص محاسبه شده است، بر اساس رابطه ۲۱ محاسبه گردید.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_x^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad [21]$$

$$URI = \frac{1}{100m} \sum_{i=1}^n W_i P_i \quad [14]$$

در این رابطه؛ m تعداد طبقات دمایی نرمال شده، n تعداد طبقاتی که بالاتر از طبقه دمای متوسط (نرمال) هستند، W<sub>i</sub> وزن طبقاتی که بالاتر از دمای نرمال هستند و P<sub>i</sub> نسبت مساحت طبقات دمایی بالاتر از نرمال به مساحت کل شهر است (۲۵). همچنین از رابطه‌های ۱۵ تا ۱۹ جهت استخراج پنج طبقه دمایی (به ترتیب از بسیار پایین تا بسیار بالا) استفاده شد (۶).

$$T \leq T_{mean} - 1.5 \text{ std} \quad [15]$$

$$T_{mean} - 1.5 \text{ std} < T < T_{mean} - \text{std} \quad [16]$$

$$T_{mean} - \text{std} < T \leq T_{mean} + \text{std} \quad [17]$$

$$T_{mean} + \text{std} < T \leq T_{mean} + 1.5 \text{ std} \quad [18]$$

$$T > T_{mean} + 1.5 \text{ std} \quad [19]$$

در این رابطه‌ها؛ T<sub>mean</sub> بیانگر میانگین دمای تصویر نرمال شده و std بیانگر انحراف از معیار هر کدام از تصاویر نرمال شده است.

$$N_i = \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \quad [20]$$

در این رابطه؛ N<sub>i</sub> مقدار نرمال شده سلول i، T<sub>i</sub> مقدار دمای مطلق سلول i، T<sub>min</sub> و T<sub>max</sub> به ترتیب دمای حداقل و دمای حداکثر هر تصویر است.

در این پژوهش جهت تغییرات زمانی و فضایی جزایر حرارتی شهر میناب از روش‌های آماری استفاده شد. اگرچه داده‌های تصاویر مربوط به فصل تابستان سال‌های مختلف است، اما ممکن است از لحاظ ماهانه باهم متفاوت باشند، لذا جهت مقایسه، از داده‌های مطلق دمایی استفاده نشد. بنابراین



$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} - \bar{x} \sum_{j=1}^n W_{1j}}{S \times \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{ij})^2}{n-1}}} \quad [25]$$

همچنین برای محاسبه S از رابطه ۲۶ استفاده شد.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad [26]$$

با توجه به اینکه  $G_i^*$  خود نوعی نمره Z محسوب می‌شود، لذا شاخص Z محاسبه نمی‌گردد. مقادیر مثبت این شاخص که معنادار از نظر آماری باشند هر چه بزرگ‌تر باشند نشان‌دهنده خوشه‌بندی مناسب و ایجاد لکه‌های گرم (جزایر حرارتی) هستند. امتیاز منفی این شاخص و معنادار از نظر آماری هرچه کوچک‌تر باشد به معنای خوشه‌بندی مقادیر پایین خواهد بود و این‌ها لکه‌های خنک را تشکیل می‌دهند (۸).

## نتایج

### تغییرات کاربری اراضی و تغییرات جزایر حرارتی

در سال ۱۹۸۸ وسعت پوشش گیاهی ۴۰۰ هکتار، وسعت اراضی بایر ۴۹۶/۵۴ هکتار، وسعت اراضی شهری (ساخت‌وسازهای شهری) ۴۳۲/۲۲ هکتار بوده است. این نواحی در سال ۱۹۹۸ به ترتیب ۳۷۶/۹۸ هکتار، ۳۷۴/۵۸ و ۵۷۷/۳۶ هکتار شده‌اند. در سال ۲۰۰۸ وسعت پوشش گیاهی در شهر میناب ۲۵۴/۸۴ هکتار، وسعت اراضی بایر ۲۱۷/۳۴ هکتار و وسعت مناطق شهری ۸۶۵/۲۲ هکتار بوده است. همچنین مساحت نواحی یادشده برای سال ۲۰۱۸ در شهر میناب به ترتیب ۲۱۷/۷۴، ۱۲۷/۰۸ و ۹۸۴/۰۷ هکتار است. شکل ۲ این تغییرات را نشان می‌دهد.

در این رابطه؛  $X_i$  خصیصه عارضه  $i$ ،  $\bar{X}$  میانگین خصیصه مربوطه،  $W_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  است. مقدار  $S_i$  از رابطه ۲۲ محاسبه گردید.

$$S_i = \left[ \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 + 3(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij})^2 - n \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n W_{ij})^2}{(n^2-1) \times (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij})^2} \right]^{0.5} \quad [22]$$

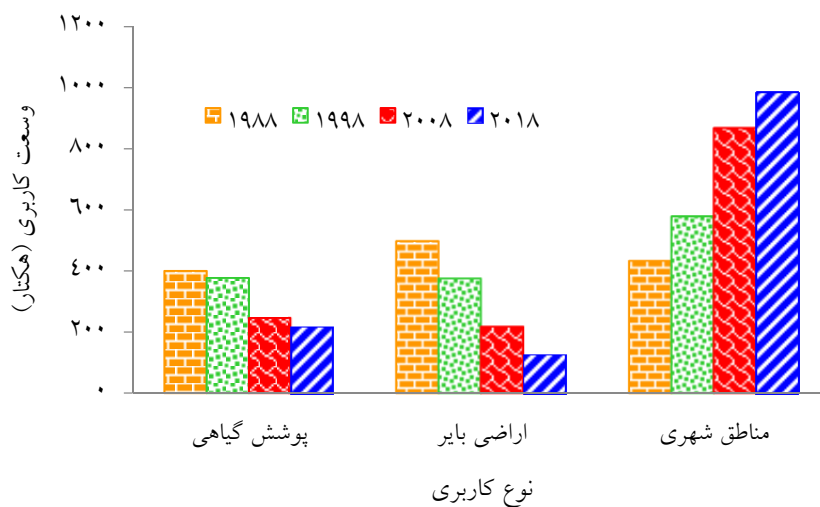
در این رابطه؛ N تعداد کل عوارض موجود در لایه،  $W_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  که عکس فاصله بین دو عارضه است. همچنین نمره استاندارد Z از رابطه‌های ۲۳ و ۲۴ محاسبه گردید.

$$Z_{ii} = \frac{I_i}{\sqrt{V[I_i]}} \quad [23]$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad [24]$$

در این رابطه‌ها؛ اگر مقدار I مثبت باشد، بدین معناست که عارضه موردنظر توسط عوارض مشابه خود احاطه شده‌اند. بنابراین عارضه موردنظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار I منفی باشد، به معنای آن است که عارضه مورد نظر توسط عوارضی نامشابه احاطه شده است (۵).

در تحلیل لکه‌های داغ از آماره گنیس-آرد جی برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها استفاده می‌شود (۲۰). نمره Z محاسبه شده نشان می‌دهد که در کدام مناطق داده‌ها با مقادیر کم یا زیاد خوشه‌بندی شده‌اند. چهارچوب مفهومی این مدل این‌گونه عمل می‌کند که عارضه‌ای لکه داغ محسوب می‌شود که خود عارضه و عوارض اطراف آن از نظر آماری معنادار باشند. امتیاز Z زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی عارضه و همسایه آن به‌طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه گردد (۲۷). آماره گنیس-آرد جی از رابطه ۲۵ محاسبه گردید.



شکل ۲. نمودار تغییرات کاربری اراضی شهر میناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸

جزایر حرارتی در همه سطح شهر به شکل یکنواخت پراکنده شده است و حتی نواحی غربی شهر که طی سال‌های گذشته عاری از جزایر حرارتی بوده، دچار این معضل شده و از وسعت باغ‌های متراکم در این نواحی کاسته شده است. در این سال، گسترهٔ پخش جزایر حرارتی در سطح شهر میناب شامل ۱۲۵/۲۵ هکتار در مناطق شهری، ۱۵/۷۶ هکتار در اراضی بایر و ۴۶/۳۷ هکتار در پوشش‌های گیاهی است. نکته قابل تأمل آنجاست که از سال ۱۹۸۸ که تشکیل جزایر حرارتی روی نواحی دارای پوشش گیاهی را نداشته‌ایم، به تدریج به وسعت این جزایر روی پوشش گیاهی طی سال‌های آتی اضافه شده و از صفر هکتار در سال ۱۹۸۸ به ۴۶/۳۷ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده است. همچنین رشد جزایر حرارتی در مناطق شهری از ۵/۵۶ هکتار در سال ۱۹۸۸ به ۱۲۵/۲۵ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده است. نواحی که قبلاً جزایر حرارتی در آن‌ها دیده نمی‌شده اکنون (سال ۲۰۱۸) به معضل جزایر حرارتی گرفتار شده‌اند (نواحی غربی و مرکزی شهر). این موضوع از اثرات افزایش تراکم شهری و کاسته شدن از پوشش گیاهی و فضای سبز در این نواحی است.

همچنین شاخص نسبت جزیره حرارتی در شهر میناب برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۳۴، ۰/۱۱ و ۰/۲۲ است. پهناهای دمای بالا و بسیار بالا در

نتایج نشان داد که وسعت اراضی بایر و پوشش گیاهی در هر دوره ده‌ساله کاسته شده و به وسعت مناطق شهری اضافه شده است (شکل ۲). همچنین تغییرات جزایر حرارتی روی این تغییرات کاربری اراضی به شرح ذیل است؛ جزایر حرارتی در سال ۱۹۸۸ مساحتی معادل ۲۴/۲۳ هکتار از سطح شهر را به خود اختصاص می‌داده است که این وسعت به ترتیب ۵/۵۶ هکتار در مناطق شهری و ۱۸/۶۷ هکتار در اراضی بایر بوده است.

پراکنش جزایر حرارتی در قسمت‌های شمالی و جنوبی شهر (اراضی بایر جنوب شهر میناب) بوده است. در سال ۱۹۹۸ مساحت جزایر حرارتی در سطح میناب ۱۱۲/۹۶ هکتار بوده است که از این وسعت ۵۱/۵۲ هکتار در اراضی بایر، ۵۷/۱۱ هکتار در مناطق شهری و ۲/۲۹ هکتار در نواحی دارای پوشش گیاهی قرار داشته است. این نواحی علاوه بر گسترش بیشتر در نواحی جنوبی و شمالی، در قسمت‌های شرقی شهر نیز گسترش داشته‌اند.

در سال ۲۰۰۸ مساحت جزایر حرارتی ۱۱۳/۵۴ هکتار از سطح شهر بوده است که ۹۱/۸۲ هکتار در مناطق شهری، ۹/۵۸ هکتار در اراضی بایر و ۱۲/۱۲ هکتار در پوشش‌های گیاهی را شامل می‌شده‌اند. پراکنش این جزایر در نواحی جنوب، شرق و شمال (خصوصاً نواحی شمالی) بوده است. در سال ۲۰۱۸

که شکل ۵ نشان می‌دهد در هر دهه خوشه‌های گرمایی در مناطق خاصی از شهر پراکنش داشته‌اند.

این جزایر در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸ بیشتر در مناطق خاصی متراکم بوده‌اند و در سال ۲۰۱۸ از حالت متراکم به پراکنش یکنواخت در سطح شهر تغییر حالت داده‌اند. اگرچه در کل شاخص جزیره حرارتی در شهر میناب روند کاهشی را نشان می‌دهد و تراکم جزایر دیده نمی‌شود، اما پراکندگی این جزایر در سطح شهر مشهود است. وسعت پهنه‌های دارای دمای خنک تا متوسط از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ روند افزایشی را نشان می‌دهد.

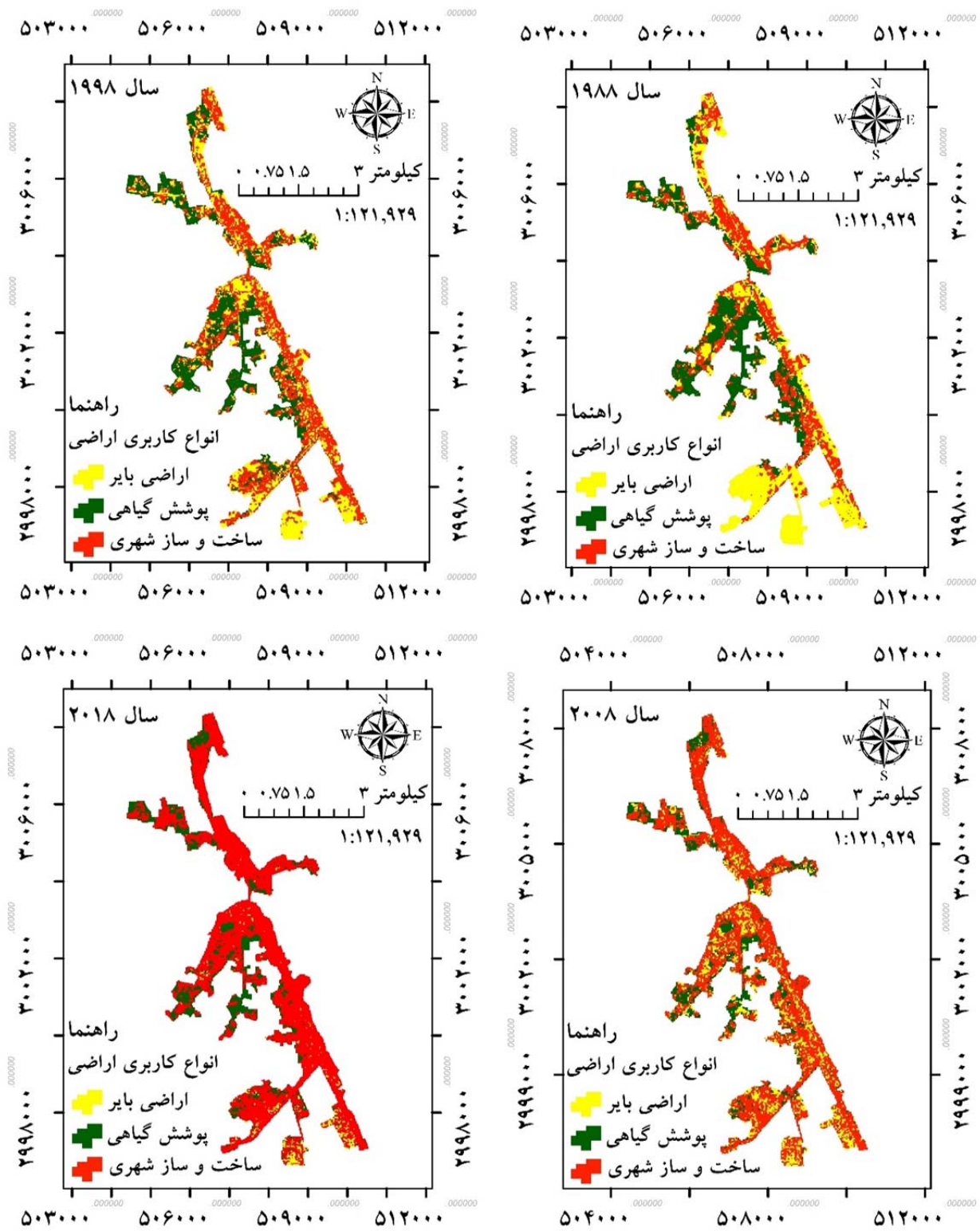
قابل ذکر است که ساخت‌وسازهای انسانی صرفاً باعث ایجاد و توسعه جزایر حرارتی در سطح یک شهر نیست. به عبارت دیگر نتایج پژوهش حاضر نشان داد، ساخت‌وسازهای انسانی در شهر میناب با کاستن از وسعت اراضی شور و بایر (شکل ۳) باعث محو شدن جزایر حرارتی در این نواحی شده است. از طرف دیگر، کاهش وسعت پوشش‌های گیاهی در سال‌های اخیر و تغییر کاربری آن‌ها به ساخت‌وساز شهری (شکل ۳) باعث توسعه و پراکنش جزایر حرارتی شده است.

سال ۱۹۸۸ به ترتیب مساحتی معادل ۳۵۶/۹۳ و ۳۱۴/۵۲ هکتار معادل ۲۶/۸۷ و ۲۳/۶۸ درصد از سطح شهر را به خود اختصاص داده‌اند که ناشی از پراکنش ساخت‌وسازها در اراضی بایر و شوره‌زارهای جنوبی و شمالی این شهر است. پهنه‌های دمایی بالا و بسیار بالا در سال ۱۹۹۸ به ترتیب مساحتی معادل ۳۷۶/۰۱ و ۱۶۱/۴۵ هکتار معادل ۲۸/۳۱ و ۱۲/۱۵ درصد از سطح شهر را به خود اختصاص داده‌اند که این روند کاهشی ناشی از کم شدن وسعت اراضی بایر و شوره‌زارهای شمالی و جنوبی شهر به دلیل ساخت‌وسازهای انسانی است. پهنه‌های دمایی بالا و بسیار بالا در سال ۲۰۰۸ به ترتیب مساحتی معادل ۱۲۷/۲۴ و ۴۶/۶۶ هکتار معادل ۹/۵۸ و ۳/۵۱ درصد از سطح شهر را به خود اختصاص داده‌اند که ناشی از تکمیل ساخت‌وسازها در نواحی جنوبی و از بین رفتن داغ‌های گرمایشی در این مناطق است.

پهنه‌های دمایی بالا و بسیار بالا در سال ۲۰۱۸ به ترتیب مساحتی معادل ۲۵۹/۵۴ و ۹۱/۱۹ هکتار معادل ۱۹/۵۴ و ۶/۸۶ درصد از سطح شهر را به خود اختصاص داده‌اند که ناشی از تراکم ساخت‌وسازها در نواحی مختلف شهر است. همان‌گونه

جدول ۳. نتایج ارزیابی کارایی تصاویر طبقه‌بندی شده خروجی براساس دو معیار صحت کلی و ضریب کاپا

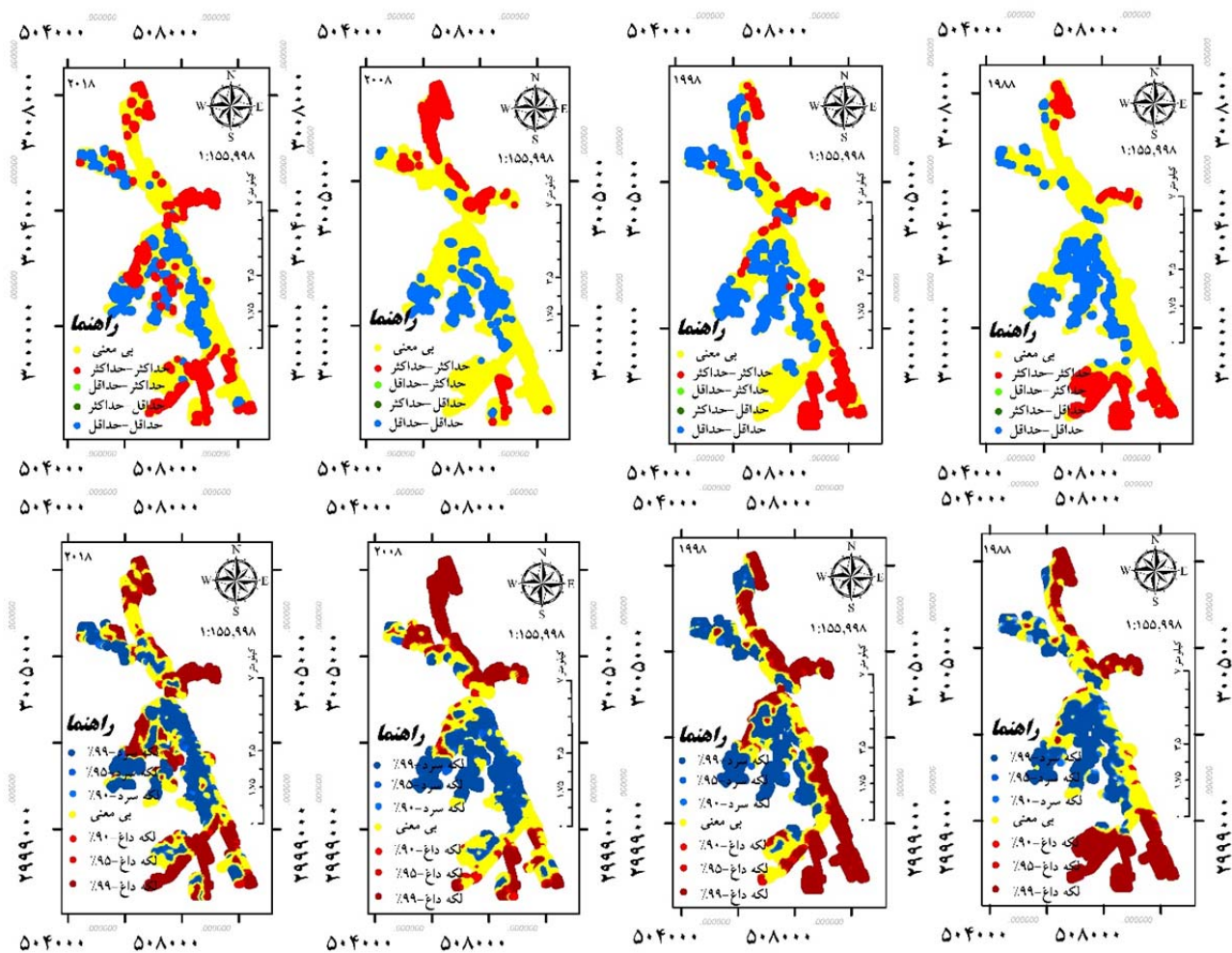
سال	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا (درصد)
۱۹۸۸	۸۰	۷۰
۱۹۹۸	۸۰	۷۰
۲۰۰۸	۸۳/۳۳	۷۳/۱۲
۲۰۱۸	۸۵	۷۵



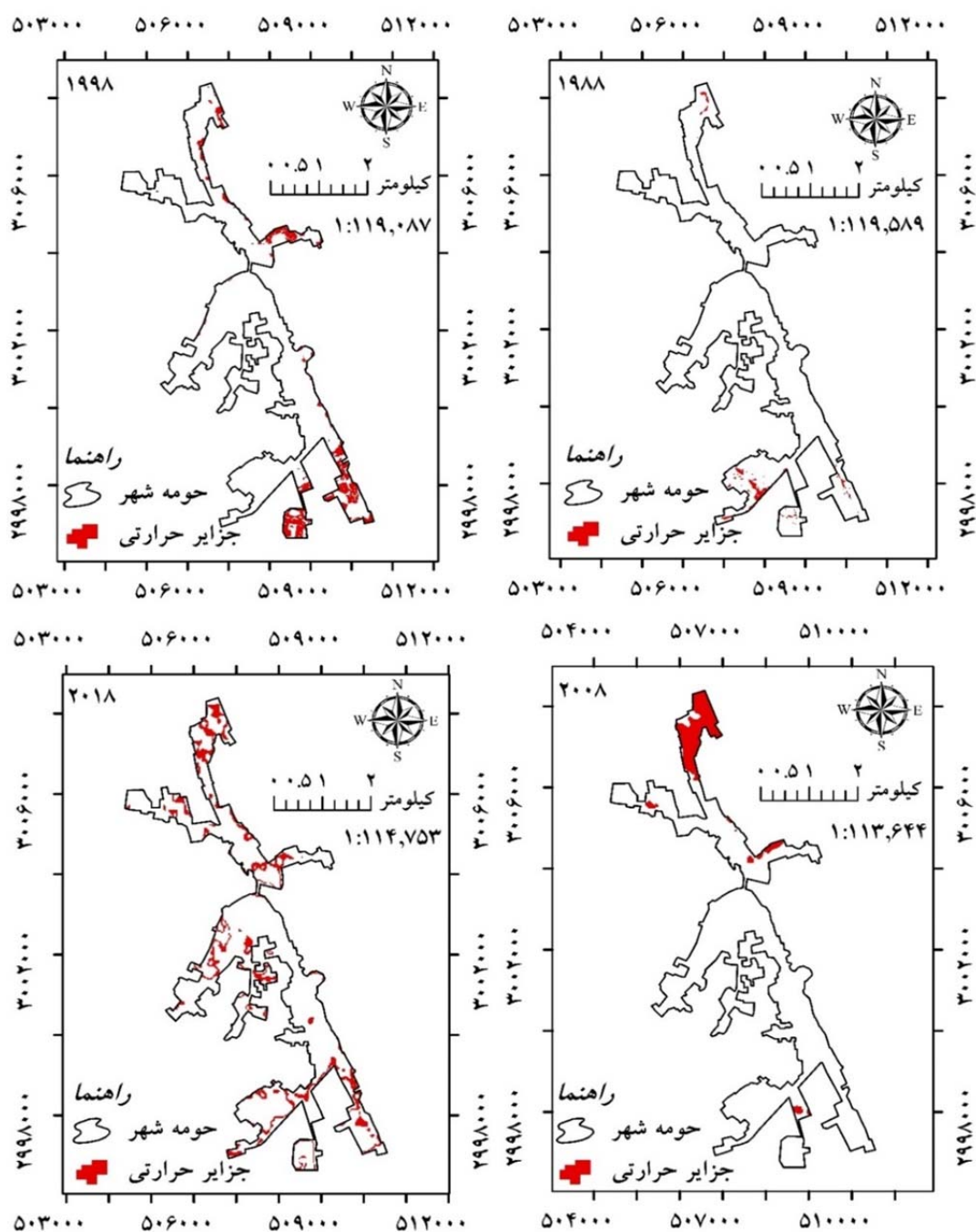
شکل ۳. تغییرات کاربری اراضی شهر میناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸

(تحلیل فضایی لکه داغ) استفاده شد. این آماره، نوعی امتیاز  $Z$  است که هر چه بزرگتر باشد مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی می‌شوند و هر چه مقدار آن کوچکتر باشد مقادیر پایین خوشه‌بندی شدیدتری دارند. نواحی که در بالا بدان اشاره شد به علاوه شمال شرقی شهر میناب در سال ۲۰۱۸ هسته‌های مشخص داغ و سرد را تشکیل می‌دهند. ردیف دوم شکل ۴ در سطوح احتمال مختلف گویای این مهم است. به طوری که با حرکت به سمت مرکز و غرب شهر دمای سطحی زمین کاهش می‌یابد و جزایر حرارتی در این نواحی یا وجود ندارند و یا محدودند. بیشتر سطح شهر میناب دارای الگوی خوشه‌ای بالا (گرم) است. بزرگترین خوشه داغ در سال ۱۹۸۸ در مناطق جنوبی شهر میناب موجود بوده است، این خوشه بزرگ در سال ۱۹۹۸ برای مناطق شرقی فعال شده و سپس برای سال ۲۰۰۸ به مناطق شمالی شهر کشیده شده و بزرگترین خوشه (لکه داغ) در این مناطق از شهر شکل گرفته است. از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ از بزرگی خوشه‌ها در مناطق شمالی کاسته شده و خوشه‌هایی در مناطق غربی شهر و در میان لکه‌های سرد شکل گرفته و همچنین در مناطق جنوبی شهر دوباره خوشه‌ها تقویت شده و رشد داشته‌اند. آنچه شکل ۴ نشان می‌دهد، بر اساس دو آماره محلی موران و گتیس-آرد جی، چرخش جزایر حرارتی در شهر میناب از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ به ترتیب از مناطق جنوبی شروع شده و بعد از گذر از مناطق شرقی و شمالی شهر به سمت مناطق غربی و جنوبی برگشت داشته است و دارای خودهمبستگی فضایی مثبت (خوشه‌های دمایی باارزش بالا) بوده است. همچنین در بخش‌های عمده‌ای از نواحی مرکزی، غربی و شمال غرب شهر دارای خودهمبستگی فضایی منفی (خوشه‌های دمایی باارزش پایین) بوده است. در کل، نواحی غربی و مرکزی شهر تحت سیطره الگوی دمایی پایین قرار دارند. لکه‌های کم‌دمای حداکثر و حداقل منطبق بر الگوهای خوشه‌ای منفی و مثبت هستند. همچنین در شکل ۵ جزایر حرارتی و تغییرات آن‌ها از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ ارائه شده است.

برای نشان دادن توزیع فضایی الگوی حاکم بر دمای سطحی شهر میناب طی چهار دهه گذشته از شاخص موران محلی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحلیل، توزیع عوارض به شکل‌های پراکنده، تصادفی و خوشه‌ای را نشان می‌دهد. اگر مقدار  $I$  مثبت باشد، بدین معناست که عارضه موردنظر توسط عوارض مشابه خود احاطه شده است. بنابراین عارضه موردنظر بخشی از آن خوشه است. اگر مقدار  $I$  منفی باشد، به معنای آن است که عارضه موردنظر توسط عوارض نامشابه احاطه شده است. مقدار آماره توسط امتیاز استاندارد محاسبه شده و  $P$ -value قابل تفسیر است. در این آماره مقادیر حداکثر-حداکثر بیانگر خوشه‌های مقادیر زیاد (گرم) یا خودهمبستگی مثبت است (سطح اطمینان ۹۹٪). مقادیر حداکثر-حداقل بیانگر ناخوشه بودن است که در آن یک مقدار زیاد توسط مقادیر کم محاصره شده است. در مقادیر حداقل-حداکثر، عارضه دارای مقدار کم است و توسط عوارض با مقدار زیاد محاصره شده‌اند و به عبارتی ناخوشه هستند. مقادیر حداقل-حداقل بیانگر خوشه‌های مقادیر کم (خنک) یا خودهمبستگی فضایی منفی هستند. در ردیف اول شکل ۴ خوشه‌های دارای مقادیر بالا و پایین (گرم و خنک) به ترتیب بارنگ‌های قرمز و آبی نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل مشخص است در سال ۱۹۸۸ خودهمبستگی مثبت در مناطق جنوبی و شمالی (اراضی بایر و شوره‌زار) و الگوهای خوشه‌ای خنک در مناطق غربی شهر دیده می‌شود. الگوی خوشه‌ای گرم در سال ۱۹۹۸ به سمت مناطق شرقی شهر پراکنش داشته و تا سال ۲۰۰۸ در مناطق شرقی کلاً محو شده و در مناطق جنوبی از وسعت این خوشه کاسته شده است. در سال ۲۰۱۸ توزیع الگوی خوشه‌ای گرم به سمت مناطق غربی پراکنش یافته و مجدداً وسعت این نوع خوشه در مناطق جنوب غرب شهر افزایش یافته است و وسعت خوشه خنک در مناطق غربی شهر کاهش یافته است. آنچه تاکنون بیان شد خوشه‌های پردمای حداکثر و خوشه‌های کم‌دمای حداکثر بودند و برای اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های باارزش بالا و پایین از آماره گتیس-آرد جی



شکل ۴. نتایج حاصل از پراکنش الگوی موران محلی (خودهمبستگی فضایی) (ردیف اول) و آماره گتیس-آرد جی (شناسایی لکه داغ) (ردیف دوم)



شکل ۵. جزایر حرارتی (دمای بسیار بالا و چارک انتهایی) و پراکنش مکانی آن از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ شهر میناب

### بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر جهت استخراج کاربری‌های اراضی شهری از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. در سال‌های اخیر محققان قابلیت این روش را در حد و اندازه الگوریتم بیشترین شباهت در طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی تصاویر

ماهواره‌ای اعلام نموده‌اند. جهان‌بخشی و اختصاصی (۳) اعلام کردند اختلاف معناداری بین عملکرد دو الگوریتم جنگل تصادفی و بیشترین شباهت در استخراج نقشه کاربری اراضی حوزه سد ستارخان وجود ندارد. طالبی و همکاران (۷) به‌دقت عالی الگوریتم جنگل تصادفی در فرآیند مدل‌سازی اشاره

شدند. ساخت وسازهای انسانی با کاهش اراضی بایر شهر کمک شایانی به کاستن و محو کردن خوشه های حرارتی در مناطق خاصی از شهر نموده اند. به عبارتی خوشه های حرارتی متراکم در جنوب شهر به علت ساخت وسازها و از بین رفتن کانون های حرارتی (زمین های بایر و شورزار) محو شدند. علیرغم اینکه در دیگر نقاط شهر طی سالیان جدید و با تخریب پوشش گیاهی و باغات خوشه های جدید حرارتی پدیدار و پراکنده شده است. در این چهار دهه (۱۹۸۸ تا ۲۰۰۸) از وسعت اراضی بایر و پوشش گیاهی کاسته شده و وسعت مناطق شهری از ۴۳۲/۲۲ هکتار اولیه تبدیل به ۹۸۴/۰۷ هکتار کنونی شده است.

### منابع مورد استفاده

- اسحاقی، م. ا.، ش. شتایی جویباری. ۱۳۹۵. تهیه نقشه خطر وقوع آتش سوزی با استفاده از الگوریتم های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان، شمال شرقی ایران). پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۳(۴): ۱۳۳-۱۵۴.
- پیرنظر، م.، ش. روستایی، ب. فیضی زاده و ف. رسی نافچی. ۱۳۹۷. بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده های سنجنده لندست-۸ (مطالعه موردی شهر تهران). مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸(۲۹): ۲۲۷-۲۴۱.
- جهانبخشی، ف. و م. ر. اختصاصی. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد سه روش طبقه بندی تصویر (جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و بیشترین شباهت) در تهیه نقشه کاربری اراضی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۴): ۲۳۵-۲۴۷.
- خسروی، ی.، م. ع. حیدری، آ. توکلی و ع. ع. زمانی. ۱۳۹۶. تحلیل رابطه زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی شهر زنجان). مجله برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲۱(۳): ۱۱۹-۱۴۴.
- داداشی رودباری، ع. ع. و غ. ع. فلاح قالمهری. ۱۳۹۴. واکاوی خودهمبستگی بارش فصلی ایران با استفاده از برون داد پایگاه داده بارش APHRODITE. دو فصلنامه آب و هواشناسی

کردند. از آنجاکه بیشتر تحقیقات، کارایی و صحت روش بیشترین شباهت را تأیید کرده اند، لذا به شکل ضمنی نیز کارایی روش جنگل تصادفی در تهیه نقشه های کاربری اراضی تأیید می گردد. قابل ذکر است تحلیل های سنتی و رایج در سامانه اطلاعات جغرافیایی بیشتر شامل جستجوی فضایی، روی هم قرار دادن لایه های اطلاعاتی و تحلیل حریم، مجاورت و ترکیب لایه ها است؛ در حالی که آمار فضایی به عنوان یکی از شاخه های آمار به سرعت در حال پیشرفت در این سامانه است. به کارگیری شاخص خودهمبستگی فضایی برای تشخیص الگوهای مکانی متغیر مورد بررسی، بر در نظر گرفتن هم زمان مقدار متغیر و موقعیت مقادیر مشاهداتی مبتنی است، به عبارت دیگر علاوه بر توزیع فضایی متغیر مورد بررسی در بین موقعیت های مشاهداتی، به موقعیت و آرایش فضایی خود موقعیت های مشاهداتی نیز از راه ساختار ماتریس کوواریانس توجه می کند. در پژوهش حاضر، مقدار عددی شاخص محلی موران نشان داد داده های دمای سطحی شهر میناب مقادیری بالاتر از یک داشتند و مشاهدات دارای توزیع خوشه ای بود. به عبارت دیگر توزیع پراکنده و تصادفی معنا پیدا نکرد. تغییرات الگوی دمای سطحی بالا و پایین از تغییرات کاربری اراضی نشأت می گرفت و با کاسته شدن از مساحت کاربری های اراضی بایر و پوشش گیاهی، پراکنش الگوهای خوشه ای نیز دچار تقلیل و یا تغییر شدند و با توسعه ساخت وسازهای انسانی این خوشه ها تغییرات مکانی دادند. وسعت مناطق فاقد الگو در سال ۲۰۱۸ به کمترین سطح خود رسید. الگوی کم دما منطبق بر کاربری های دارای پوشش گیاهی نواحی مرکزی و غربی شهر و الگوی پُر دما منطبق بر کاربری اراضی بایر شمالی، جنوبی و ساخت وسازهای انسانی متراکم نواحی شرقی و جنوب غربی بود. خروجی پژوهش حاضر نیز مطابق با نتایج خسروی و همکاران (۴) است که کمترین مقادیر دمای سطحی شهر زنجان را در کاربری های حاوی پوشش گیاهی و مناطق فرسوده برآورد نمودند. جزایر حرارتی در دهه های اول مطالعه در مناطق خاصی از شهر همچون مناطق جنوبی تراکم داشته اند و با گذر زمان به شکل مناطقی پراکنده در سطح شهر دیده



- کاربردی، ۲(۱): ۴۷-۵۳.
14. Breiman L, Cutler A. 2017. Random Forests. In [https://www.stat.berkeley.edu/~breiman.RandomForests/cc\\_home.htm](https://www.stat.berkeley.edu/~breiman.RandomForests/cc_home.htm).
  15. Chen Q, Changjian N, Zhan L, Jingxuan R. 2009. Urban heat island effect research in Chengdu city based on MODIS data. In: 2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. IEEE, pp 1-5.
  16. Illian J, Penttinen A, Stoyan H, Stoyan D. 2008. Statistical analysis and modelling of spatial point patterns, vol 70 of Statistics in Practice. John Wiley & Sons, 560 p.
  17. Johnson B, Tateishi R, Kobayashi T. 2012. Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9): 2619-2634.
  18. Kong TM, Marsh SE, van Rooyen AF, Kellner K, Orr BJ. 2015. Assessing rangeland condition in the Kalahari Duneveld through local ecological knowledge of livestock farmers and remotely sensed data. *Journal of Arid Environments*, 113: 77-86.
  19. Liu M, Tian H. 2010. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: Estimations from high-resolution satellite data and historical archives. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(3): 21-34.
  20. Reynolds J, Wesson K, Desbiez A, Ochoa-Quintero J, Leimgruber P. 2016. Using remote sensing and Random Forest to assess the conservation status of critical Cerrado Habitats in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Land*, 5(2): 12-24.
  21. Rogerson PA. 2019. Statistical methods for geography: a student's guide. Sage Publications Limited, 432 p.
  22. Sankey JB, Wallace CS, Ravi S. 2013. Phenology-based, remote sensing of post-burn disturbance windows in rangelands. *Ecological Indicators*, 30: 35-44.
  23. Singh P, Kikon N, Verma P. 2017. Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable Cities and Society*, 32: 100-114.
  24. Waagepetersen R, Schweder T. 2006. Likelihood-based inference for clustered line transect data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 11(3): 264.
  25. Wheeler MM, Getis A. 2009. Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications. Springer Science & Business Media, 461-486.
  26. Xu H, Ding F, Wen X. 2009. Urban expansion and heat island dynamics in the Quanzhou region, China. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 2(2): 74-79.
  27. Xunqiang M, Chen C, Fuqun Z, Hongyuan L. کاربرد، ۲(۱): ۴۷-۵۳.
  ۶. صادقی‌نیا، ع. ر.، ب. علیجانی و پ. ضیائیان. ۱۳۹۱. تحلیل فضایی-زمانی جزایر حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴: ۱-۱۷.
  ۷. طالبی، ع.، س. گودرزی و ح. ر. پورقاسمی. ۱۳۹۷. بررسی امکان تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (محدوده مورد مطالعه: حوزه آبخیز سد سردارآباد، استان لرستان). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۶): ۴۵-۶۴.
  ۸. عسکری، ع. ۱۳۹۰. تحلیل‌های آمار فضایی با استفاده از ArcGIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران. ۱۲۸ صفحه.
  ۹. کیانی‌سلمی، ا. و ع. ابراهیمی. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر توسعه شهری و تغییرات پوشش اراضی بر دمای سطح زمین در شهر شهرکرد. *نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در منابع طبیعی)*، ۹(۴): ۱۰۲-۱۱۸.
  ۱۰. ولیزاده‌کامران، خ.، خ. غلام‌نیا، گ. عینالی و س. م. موسوی. ۱۳۹۶. برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۸(۳۰): ۳۵-۵۰.
  ۱۱. ویسی، ش.، ع. ناصر، س. حمزه و پ. مرادی. ۱۳۹۵. برآورد دمای مزارع نیشکر با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تصاویرسنجنده OLI ماهواره لندست-۸. *نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در منابع طبیعی)*، ۷(۱): ۲۰-۴۷.
  ۱۲. هاشمی‌دربادامی، س.، ا. نورایی‌صفت، س. کریمی و س. نظری. ۱۳۹۴. تحلیل روند توسعه جزایر حرارتی با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از تصاویر سری زمانی لندست. *نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در منابع طبیعی)*، ۶(۳): ۱۵-۲۸.
  13. Basukala AK, Oldenburg C, Schellberg J, Sultanov M, Dubovyk O. 2017. Towards improved land use mapping of irrigated croplands: Performance assessment of different image classification algorithms and approaches. *European Journal of*

2011. Study on temporal and spatial variation of the urban heat island based on Landsat TM/ETM+ in central city and Binhai New Area of Tianjin. In: 2011 International Conference on Multimedia Technology. IEEE, pp 4616-4622.

28. Zhang C, Luo L, Xu W, Ledwith V. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. Science of the Total Environment, 398(1-3): 212-221.



## Studying changes in heat islands and land uses of the Minab city using the random forest classification approach and spatial autocorrelation analysis

M. Kazemi<sup>1\*</sup>, A. R. Nafarzadegan<sup>1,2</sup>, F. Mohammadi<sup>1,3</sup>

1. Assist. Prof. Hormoz Research Center, University of Hormozgan, Iran

2. Assist. Prof. Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran

3. Assist. Prof. Department of Water Sciences & Engineering, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 2 June 2019

Accepted 16 December 2019

Available online 15 January 2020

#### Keywords:

Land use changes

Urban heat island

Random forest

Spatial autocorrelation

### ABSTRACT

The purpose of this study was to assess the impact of the land use changes in the Minab city on the variations in the urban heat islands (UHI), using the random forest classification method and spatial statistics on TM and OLI Landsat images in 1988, 1998, 2008 and 2018. First, land surface temperature (LST) was calculated using the split-window and the single-channel algorithms. Land use map was generated using supervised classification random forest method and its performance was assessed by two criteria of overall accuracy and kappa coefficient. In order to survey spatial autocorrelation and clustering, pattern of hot spots, the two statistics of Anselin Local Moran's I and Getis-Ord GI were applied. In 1988, land uses of vegetated, barren, and urban built-up lands were occupied 30.1, 32.53 and 37.37 percent of the city area, respectively; in 2018, the areas of these land uses were 16.36, 9.56 and 74.08 percents, respectively. A threefold and twice-fold decrease in the area was observed for barren and vegetated lands, respectively; while the area of urban built-up lands had more than doubled. The calculated values for urban-heat-island ratio index (URI) in 1988, 1998, 2008, and 2018 were 0.45, 0.34, 0.11, and 0.22, respectively. The outcomes of two considered spatial statistics indicated the clustering, pattern for UHI of the Minab city. In addition, there was a good agreement between the results of Getis-Ord GI statistic (hotspots spatial analysis) and the Local Moran's I statistic (spatial autocorrelation) on the spatial pattern of heat and cool clusters.

\* Corresponding author e-mail address: [mohamad.kazemi86@gmail.com](mailto:mohamad.kazemi86@gmail.com)