

تحلیل فضایی و زمانی جزایر گرمایی مناطق شهری گرگان

علی محمدپورزیدی^۱، بهلول علیجانی^۲، مهری اکبری^۳، پرویز ضیائیان فیروزآبادی^۴

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری دانشگاه خوارزمی تهران
^۲ استاد دانشگاه تربیت معلم و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی
^۳ استادیار گروه آموزشی آب و هواشناسی دکتری آب و هواشناسی از دانشگاه تهران
^۴ دانشیار گروه آموزشی سنجش از راه دور و GIS، دانشگاه خوارزمی، تهران
تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۰

چکیده

شهرنشینی نمایانگرترین تغییر بشر در سطح زمین است که به طور معمول منجر به تشکیل جزایر گرمای شهری می‌شود. دمای سطح زمین یک پارامتر مهم برای تعادل انرژی سطح و مطالعات آب و هوای شهری است. آگاهی از پراکندگی مکانی دما، زمینه‌ساز برنامه‌ریزی و سیاستگذاری‌های درست محیطی است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ در دو دوره زمانی سال پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۰) و بازه دوم (۲۰۰۵-۲۰۰۰) به صورت میانگین در سه ماه گرم سال مورد استفاده قرار گرفته است. بعد بر روی این تصاویر، اول تصحیح هندسی انجام گرفت سپس از این تصاویر جهت محاسبه پارامترهای مربوط به استخراج دما به روش تک پنجره‌ای شهر گرگان استفاده گردید و در ادامه برای بالا بردن دقت کار با استفاده از داده‌های ساعتی دمای ایستگاه مورد نظر در تحلیل جزایر حرارتی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی در شهر گرگان، الگوی خوشه‌ای بالایی دارد. در حالی که شاخص موران محلی و لکه‌های داغ در قسمت‌های شمالی، شمال غربی و شرقی و مرکز شهر همبستگی فضایی مثبت (لکه‌های داغ) دارند و همچنین لکه‌های سرد در مناطق جنوبی شهر وجود دارد. این در حالی است که قسمت‌های زیادی از شهر گرگان هیچ‌گونه الگوی معنی‌داری یا خود همبستگی فضایی در طی دوره مطالعه در آن دیده نمی‌شود. می‌توان گفت جزایر حرارتی شهر گرگان به دو عامل بستگی دارد: یک شرایط اقلیمی حاکم در دوره مورد مطالعه و دوم شرایط انسانی حاکم بر شهر.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فضایی، جزایر حرارتی، خودهمبستگی فضایی، گرگان، موران

مقدمه و طرح مسئله

شهرنشینی یکی از ویژگی‌های مهم توسعه اقتصادی و اجتماعی است (لو و همکاران، ۲۰۱۷: ۱). طی دهه‌های گذشته سطح زمین دستخوش تغییرات فراوان ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهرها شده است (فیروزجایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۴). این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون آفت کیفی محیط‌زیستی را به همراه آورده که

منجر به کاهش کیفیت زندگی شده است (فن و همکاران، ۲۰۰۸؛ وو و همکاران، ۲۰۱۴) و به خوبی شناخته شده و مستند شده است. شهرنشینی می‌تواند اثرات قابل توجهی بر آب و هوا شهری و آب و هوای محلی داشته باشد (لو و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۵۳۵). تفاوت دمای هوا در داخل شهر در مقایسه با مناطق حومه و روستاهای اطراف شهر، به عنوان جزایره حرارتی شهری (UHI) شناخته می‌شود (گریگوراس و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۴). از علل اصلی ایجاد جزیره حرارتی، جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با عوارض شهری همچون سنگفرش،

فعالیت‌های صنعتی همراه با عناصر اقلیمی از جمله دمای کمینه، بیشینه و باد بین شهر تهران و اطراف آن اثرات جزایر حرارتی را با این عوامل بررسی کردند. نتایج نشان داد دمای کمینه نسبت به بیشینه تهران نسبت به اطراف بیشترین تغییرات را ایجاد می‌کند و فعالیت‌های شهری در کاهش باد شمالی نقش مؤثری در افزایش جزایر حرارتی پایتخت دارد. ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از الگوریتم تک پنجره‌ای به جزایر حرارتی و انواع شاخص‌های پوشش گیاهی در شهر تهران پرداختند. نتایج بررسی نشان داد که ارتباط مستقیم میان جزایر حرارتی شهری، ساختار شهری در مناطق شهری تهران وجود دارد. این در حالی است که یک رابطه معکوس بین شاخص NDVI و دمای جزایر حرارتی شهری تهران وجود دارد. محرمی (۱۳۹۳) به بررسی نقش کاربری اراضی در تولید جزیره حرارتی شهری تبریز پرداخت. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش شهرنشینی و کاهش پوشش گیاهی باعث گرمای سطح شهر تبریز به خصوص مناطق صنعتی و کارگاهی این شهر شده است. متکان و همکاران (۱۳۹۳) به نقش کاربردی اراضی در شکل‌گیری جزیره حرارتی شهر بندرعباس پرداختند. آنها دمای سطح زمین را با آمار کلاسیک مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که مناطق صنعتی زمین شهری با درجه حرارت بالا با مناطق دیگر به خصوص مناطق ساحلی که به دلیل مجاورت با آب و پوشش گیاهی و فضای سبز به دلیل تبخیر و تعرق دمای کمتری نسبت به کاربری‌های دیگر دارد، اما صادقیان و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهری تهران نشان دادند با توجه به شاخص خودهمبستگی عمومی فضایی ساختار جزیره حرارتی دارای صورت فضایی و به شکل خوشه‌ای است. آنها دریافتند که عامل اصلی در ایجاد گسترش این پدیده در شهر رشد سریع وی‌برنامه‌ریزی و از بین بردن پوشش گیاهی بوده است که می‌تواند این ساختارها را مورد دستخوش خودش قرار بدهد. از افرادی دیگری همچون: بابایی‌فینی (۱۳۹۴)، نارنگی فرد و همکاران

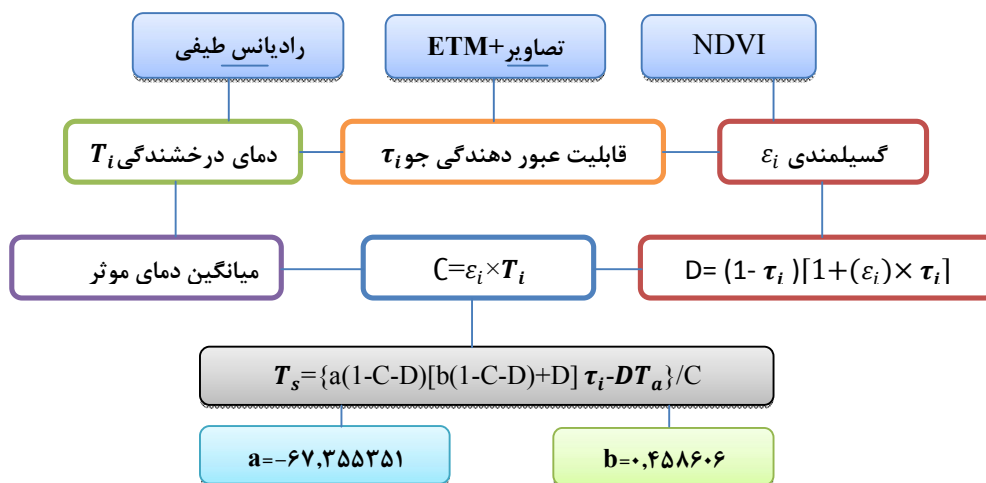
ساختمان و سایر ساخت و سازهای شهری است که اثرات خنک‌کنندگی سطح را از بین می‌برند؛ همچنین، ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم‌تر می‌کند. این عوامل منجر به شکل‌گیری پدیده جزیره حرارتی شهری می‌شود (چن دلد^۱، ۱۹۷۰؛ شوارتز^۲، ۲۰۱۲؛ وگوت^۳، ۲۰۰۳؛ زو^۴، ۲۰۱۰). مناطق شهری آب و هوا را تغییر می‌دهد؛ بازخوردهای آن بر سلامت انسان و مصرف انرژی اثرگذار است، این دو جنبه به تهای برای ایجاد انگیزه و علاقه به مطالعات جزایر حرارتی شهری کافی است. جزایر حرارتی شهری بر آب و هوای شهرهای تأثیر می‌گذارد، فنولوژی گیاه را تغییر می‌دهد و با افزایش گرمایش جهانی، شدت جزایر حرارتی شهری نیز افزایش می‌یابد و اثرات آنها در آینده بیشتر خواهد شد (ویکتوریا و همکاران، ۲۰۱۷: ۱). باید در مورد پیشینه این موضوع یک برگشتی به اواخر قرن ۱۸ و اوایل قرن ۱۹ داشته باشیم که در آن لوک هاوارد برای اولین بار به پژوهش و بررسی آب و هوای شهری لندن پرداخت و این پدیده را اندازه‌گیری و بعد مورد بررسی قرار داد. سپس مانلی در سال (۱۹۵۸) در مجله سلطنتی هواشناسی انگلستان این پدیده را وارد علم آب - هواشناسی شهری کرد. تا به امروز محققان زیادی در سراسر دنیا به طور جدی به تحقیق و بررسی ویژگی‌های این پدیده پرداختند. از جمله می‌توان از: (یو و همکاران^۵، ۲۰۱۴)، هاردی^۶ (۲۰۱۵)، ونگ همکاران^۷ (۲۰۱۵)، ابوال ماگد و همکاران^۸ (۲۰۱۶)، جات^۹ (۲۰۱۷) را می‌شود نام برد و مطالعاتی که در ایران صورت گرفته را می‌توان از افرادی همچون: رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) در مقاله‌ای براساس چند عامل از جمله توسعه شهرنشینی و

1. Chandler
2. Schwarz
3. Voogt
4. Zhu
5. Yu et al.
6. Hardy
7. Wang et al.
8. Abou El-Magd et al.
9. Jat

روش تحقیق: در این پژوهش از تصاویر لندست ۷ جهت بررسی جزایر حرارتی شهر گرگان استفاده گردید. این تصاویر به صورت میانگین در دو دوره زمانی سال پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۰) و بازه دوم (۲۰۰۰-۲۰۰۵) در دوره سه ماه گرم سال هستند. ابتدا بر روی این تصاویر تصحیح هندسی اجرا شد، بعد این تصاویر جهت محاسبه پارامترهای مربوط به استخراج دما به روش تک پنجره‌ای شهر گرگان مورد استفاده قرار گرفت، سپس با استفاده از داده‌های ساعتی ایستگاه مورد نظر در تحلیل پارامترها مورد استفاده قرار گرفت و در ادامه به تحلیل فضایی جزایر شهری گرگان پرداخته شد. در الگوریتم (۱) روند جزئیات مربوط به این روش آورده شده است.

(۱۳۹۵)، قبادی و همکاران (۱۳۹۵) می‌توان نام برد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست به بررسی تغییرات فضایی و زمانی جزایر حرارتی شهر گرگان پرداخته خواهد شد. با توجه به قدرت و اهمیت تصاویر ماهواره‌ای و با تلفیق این قدرت با توان روش‌های تحلیل فضایی در مطالعات اقلیم شهری به مطالعه و بررسی ارتباط دمای سطحی با سایر پارامترهای شهری از جمله کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اثرات باد و اقلیم آسایش شهری در جهت تدوین برنامه‌ریزی محیطی و طراحی فضایی شهری در جهت کاهش اثرات این پدیده در زندگی شهری و ایجاد شهر پایدار پرداخته خواهد شد.

مفاهیم دیدگاه‌ها و مبانی نظری



الگوریتم (۱): روند جزئیات استخراج دمای سطح زمین

(۲۰۰۱) ارائه شده، آنها برای ارزیابی دقت از خطای کمتر از ۱/۱ درجه سانتی‌گراد استفاده نمودند. این در حالی بود که لو و هانگ (۲۰۱۱) این میزان خطا ارزیابی رو حدود ۰/۷ رسانند. الگوریتم تک‌باندی براساس سه پارامتر محاسبه می‌شود که شامل: قابلیت عبور دهندگی جویو، میانگین دمای مؤثر جویو و گسیلمندی سطحی است که با داده‌های هواشناسی ایستگاه زمینی برای ساعت مورد نظر ترکیب می‌شود. قبل از محاسبه میزان انتشار در مناطق شهری، بسیار

ماهواره لندست از نسل‌های مختلفی تشکیل شده است. برای مدت طولانی است که به پایش سطح زمین می‌پردازد. داده‌های این ماهواره برای مطالعه تغییرات جهانی و مطالعات مربوط به کشاورزی، زمین‌شناسی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و محیط‌های شهری استفاده شده است (صادق‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۰). روش‌های مختلفی برای سنجش جزایر حرارتی شهری وجود دارد که از آن جمله؛ روش الگوریتم تک باندی است که توسط کین و همکاران

به دست آمده را به تقریب ارزیابی کرد. رابطه (۵) ساده ترین و مناسب ترین مدل خطی است (لو، ۲۰۱۱):

$$T_a = 16.011 + 0.92621 \times LST \quad \text{رابطه (۵)}$$

جایی که T_a درجه حرارت هوا نزدیک به سطح است. در این مقاله، ما با استفاده از داده های هواشناسی دقت و صحت T_a را بهبود دادیم. که برای ایستگاه گرگان این فرمول به این قرار است. $T_a = 12.01 + 0.28 \times LST$. در انتها با داشتن تمام این مراحل به استخراج نهایی دمای سطح زمین می پردازیم که از رابطه (۶) است:

رابطه (۶)

$$T_s = \{a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6]T_6 + D_6T_a\} / C_6$$

قابلیت عبوردهندگی جو و T_i ، میانگین دمای مؤثر جو T_a ، دمای مؤثر در اتمسفر دمای درخشندگی T_i ، دمای سطح زمین T_i میزبان گسیلمندی ست (ژانگ^۷، ۲۰۱۵؛ جین^۸، ۲۰۱۵). هدف تجزیه و تحلیل درجه حرارت در یک شهر، پیدا کردن جالب ترین مناطق که دارای همبستگی دمای است (مارتین، ۲۰۱۵). این هدف شبیه به تجزیه و تحلیل نقطه به نقطه در زمینه زمین آمار است. یکی از اساسی ترین رویکردها، موران است (موران، ۱۹۵۰)، که در تست این نقاط؛ آیا وابستگی فضایی وجود دارد و یا اطلاعات مربوط به وابستگی های جهانی در یک مجموعه داده را ارائه می دهد. چندین آزمون زمین آمار بر اساس این فرضیه تست شده است. شناخته شده ترین آماره Getis-Ord و LISA است. در هر دو مورد، در زمینه روندهای محلی کاربرد دارد (برونز^۹، ۲۰۱۷). در تجزیه و تحلیل نقاط با محاسبه G_i استاتیک برای دمای سطح همراه با دمای سلول ها به دست می آید. G_i استاتیک مقدار ارزش z-score است؛ نشان می دهد که آیا این ویژگی ها با مقادیر بالا یا

مناسب است که پوشش گیاهی ناحیه مورد نظر را به دست آوریم (سوبرینو^۱، ۲۰۰۰؛ والاوند^۲، ۲۰۰۹). یکی از شایع ترین شاخص های پوشش گیاهی روش NDVI است، که می تواند با استفاده از رابطه (۱) پیشنهادی شده از طرف لسنند و کی فار^۳ (۲۰۰۴) می باشد:

$$NDVI = \frac{b_4 - b_3}{b_4 + b_3} \quad \text{رابطه (۱)}$$

برای تبدیل اعداد رقومی (DN) را به تابش طیفی از رابطه (۲) زیر استفاده می شود (لیو، ۲۰۱۱).

رابطه (۲)

$$L\lambda = DN (L_{max} - L_{min}) / 255 + L_{min}$$

جایی که L_i تابش طیفی در سنسور $MW \cdot cm^{-2} \cdot sr$ $1 - \mu m$ است؛ L_{max} حداکثر تابش طیفی در حسگر سنسور است؛ L_{min} حداقل تابش طیفی در سنسور است؛ Q_{max} حداکثر مقدار DN پیکسل را نشان می دهد و Q_{dn} نشان دهنده مقدار DN پیکسل است. گام بعدی این است که تابش طیفی را به دمای روشنایی نسبت به تابش نور تبدیل کنیم (دش^۴، ۲۰۰۲). که از رابطه (۳) به دست می آید:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L\lambda) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در واقع، با استفاده از بخار آب، می توان میزان انتقال اتمسفری را تعیین کرد. محاسبه مقدار بخار آب از رابطه (۴) استفاده کرد:

رابطه (۴)

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

جایی که w_i مقدار بخار آب (g / cm^2) است؛ T_0 دمای هوا نزدیک به سطح در K است و RH نشان دهنده رطوبت نسبی است (کین، ۲۰۰۱)، سان^۵، ۲۰۱۰). دقت دمای سطح به دست آمده از تصاویر ماهواره ای با استفاده از مدل های موجود باید ارزیابی گردد. با توجه به ارتباط بین دمای سطح زمین و دمای هوا که قبلاً توسط برخی از پژوهشگران انجام شده است (کین، ۲۰۰۱)، می توان دقت دمای سطح

6. Liu
7. Zhang
8. Jin
9. Bruns

1. Sobrino
2. Walawender
3. Lillesand and Kiefer
4. Dash
5. Sun

اهمیت آماری خوشه‌بندی برای یک فاصله مشخص است (ESRI, 2018).

یافته‌های تحقیق

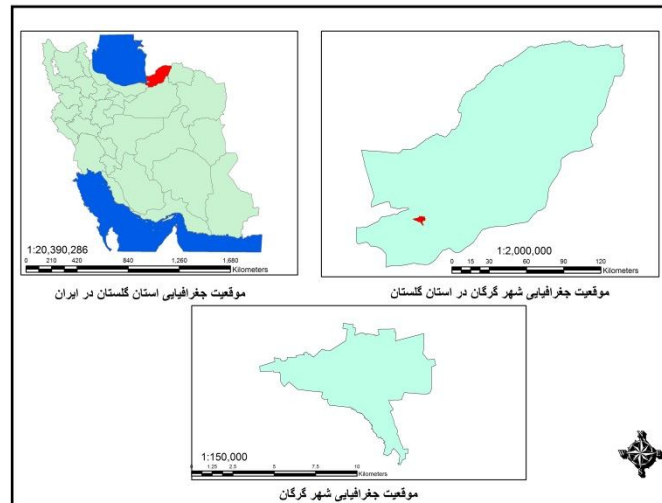
شهر گرگان از یک سو باتوجه به موقعیت جغرافیایی خود در شمال ایران واقع شده که دارای آب و هوای ناحیه خزر و جزء اقلیم مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد از سوی دیگر به علت این‌که این شهر به عنوان مرکز استان گلستان شناخته می‌شود یکی از شهرهای در حال توسعه و یکی از بزرگترین شهرهای شمالی ایران است که بعد از شهر رشت عنوان دومین مرکز مهاجرت اقوام مختلف است. این شرایط باعث گسترش شهری و ایجاد آثار منفی اقلیمی شهری از جمله آلودگی هوا، کاهش سطح آسایش و جزایر حرارتی در گرگان شده است. موقعیت جغرافیایی شهر گرگان در مرکز استان گلستان در محدوده قرار دارد، ۴۵ درجه ۱۰ دقیقه تا ۴۵ درجه ۴۵ دقیقه طول شرقی ۳۶ درجه ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه ۵۸ دقیقه طول شمالی قرار گرفته است (حاجی‌زاده، ۱۳۹۹: ۳۲). شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

پایین خوشه می‌شوند. و به عنوان نقطه عطفی قابل توجه است، که یک ویژگی با ارزش بالا و در عین حال توسط ویژگی‌های دیگر با ارزش‌های بالا را احاطه کرده است. با فرض به این‌که منطقه مورد مطالعه با n اندازه‌گیری داریم، $X=[x_1, \dots, x_n]$ تمام مقادیر اندازه‌گیری شده در این منطقه است. $w_{i,j}$ یک فاصله فضایی بین دو نقطه i و j برای همه $i, j \in \{1, \dots, n\}$ می‌باشد. آماره G_i استاتیک بر اساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

رابطه (۷)

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2}{n-1}}}$$

\bar{X} تمام معیارهای اندازه‌گیری شده، S انحراف معیار تمام اندازه‌گیری‌هاست. این آمار یک امتیاز z را ایجاد می‌کند که نشان‌دهنده اهمیت یک منطقه در ارتباط با مناطق اطراف آن است (گریگوراس، ۲۰۱۸). خروجی G_i استاتیک (z-score) که نشان‌دهنده



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منظوری با استفاده از داده‌های ساعت ۰۶ ایستگاه داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است که در جدول (۱) تفاوت دمای تخمین زده شده و دمای ایستگاه در دوره مورد مطالعه آورده شده است. که میانگین خطای آن ۰٫۹۰ می‌باشد. شایان ذکر است که این نتایج زمانی دقیق‌تر و علمی‌تر است که حتماً چند ایستگاه

با توجه به شرایط موجود جزایر حرارتی شهر گرگان یکی از چالش‌ها و مسائل جدید شهر، پیش روی مسئولان امر است. نتایج به‌دست آمده از جزایر حرارتی گرگان را اینگونه می‌شود ارائه کرد: با توجه به ساعت تهیه تصاویر ماهواره و با ارائه گزارش هواشناسی به وقت گرینویچ هم‌خوانی ندارد، به این

در داخل شهر گرگان ایجاد شود. داده‌های دمای هوای
مورد استفاده شده از ایستگاه فرودگاه شهر گرگان
استخراج گردیده که حدود ۵ کیلومتر خارج از شمال
گرگان استقرار یافته است.

جدول ۱: تفاوت دمای تخمین زده شده و دمای ایستگاه در دوره مورد مطالعه

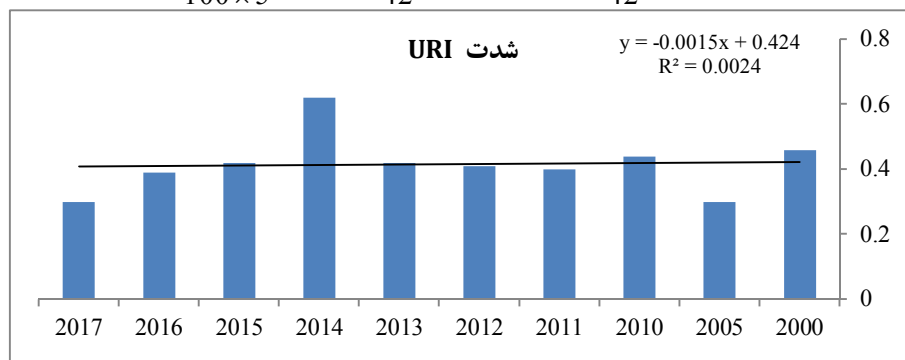
ایستگاه گرگان	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷
دمای سطحی محاسبه شده از تصویر (LST)	۵۶٫۵۸	۶۳٫۹۶	۷۲٫۸۶	۴۲٫۴۴	۴۴٫۸۸	۵۶٫۸۴	۶۸٫۳۷	۷۲٫۸۶	۶۲٫۶۶	۴۹٫۱
دمای سطحی محاسبه شده از تصویر (Ts)	۳۲٫۰۹	۳۰٫۱۶	۳۲٫۴	۳۱٫۲۷	۳۱٫۲۴	۳۰٫۶۱	۳۱٫۱۵	۳۲٫۴۱	۳۰٫۱۵	۲۹٫۳۸
دمای هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی Ta	۳۲٫۲	۳۰٫۶	۳۱٫۴	۳۰٫۲	۳۰٫۶	۳۱	۳۲٫۶	۳۰٫۳	۳۰	۳۰٫۴
تفاوت Ta و Ts	۰٫۱۱	۰٫۴۴	۱	۱٫۲۵	۱٫۱۸	۰٫۳۶	۱٫۴۵	۲٫۱۱	۰٫۱۵	۱٫۰۲

منبع: محاسبه نویسنندگان

سال ۲۰۱۴ برمی‌گردد که حدود ۰٫۶۲ درصد سطح شهر گرگان را در بر می‌گیرد و به شدت تحت تأثیر این دو موضوع قرار دارد. این در حالی است که کمترین شدت جزایر حرارتی به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۷ حدود ۰٫۳۰ درصد از مساحت شهر بر می‌گردد. آنچه مسلم است. میانگین شدت جزایر حرارتی در دوره مورد مطالعه حدود ۰٫۴۱ درصد است. برای نمونه مقدار شاخص نسبت جزیره حرارتی را برای سال ۲۰۱۴ آورده شده است.

پس از به‌دست آوردن تفاوت دمایی سطحی و دمای هوا به استخراج شدت جزایر حرارتی در دوره مورد مطالعه پرداخته شده است. نتایج این امر نشان می‌دهد که بسته به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه از یک‌سو و همچنین موقعیت جغرافیایی شهر، گسترش شهرنشینی، تغییر کاربری عدم برنامه‌ریزی درست شهری از سوی دیگر شدت جزایر حرارتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نمودار (۱) شدت جزایر حرارتی شهر گرگان را نشان می‌دهد و بیانگر این دو موضوع است. اوج شدت جزایر حرارتی در این دوره به

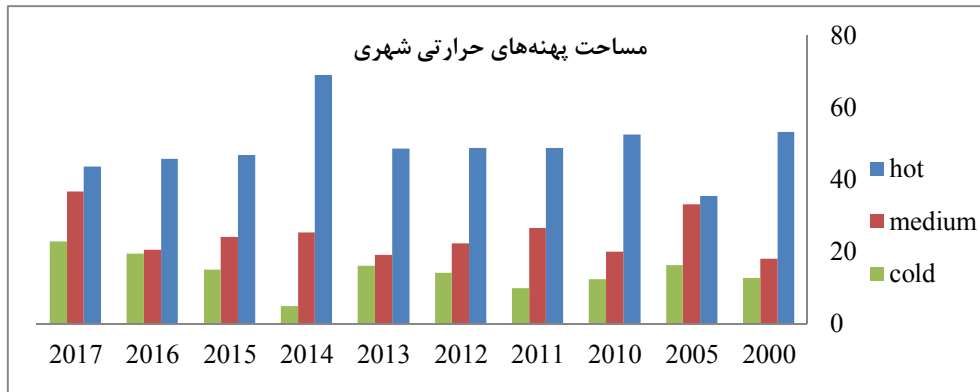
$$URI = \frac{1}{100 \times 5} \times \left(5 \times \frac{14.85}{42} \times 100 \right) + \left(4 \times \frac{14.2}{42} \times 100 \right)^{-} = 0.62$$



نمودار ۱: شدت جزایر حرارتی در دوره مورد مطالعه

روند تغییرات زمانی هر یک از طبقات دمایی به طور جداگانه بررسی شد. در نمودار (۲) روند تغییرات زمانی طبقات دمایی نشان داده می‌شود.

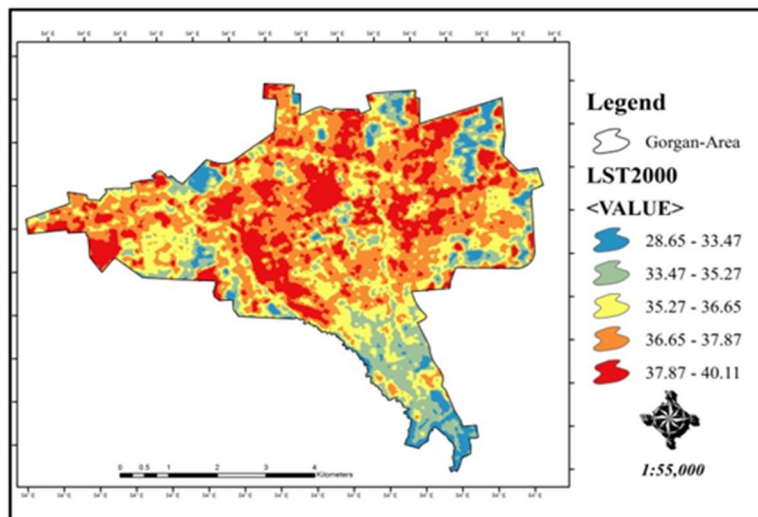
شدت جزایر حرارتی شهر به‌شدت روی نقاط دماهای بالا و پایین شهر اثر می‌گذارد. به منظور بررسی تغییرات زمانی داده‌های دمای سطحی گرگان،



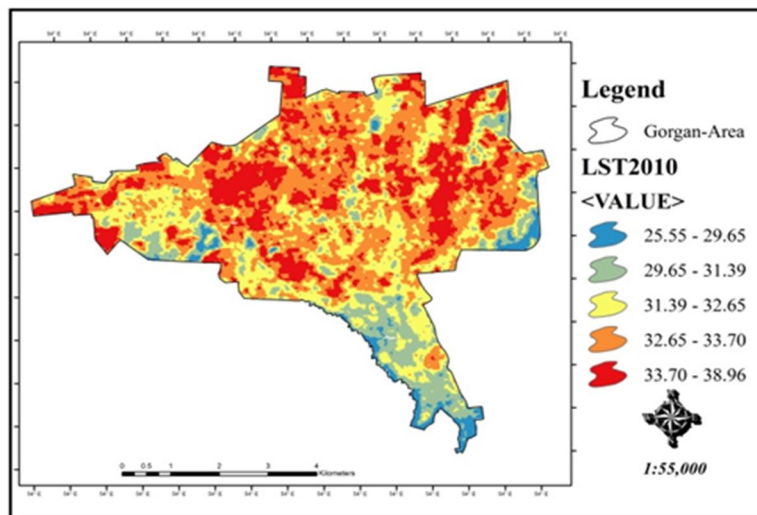
نمودار ۲: تغییرات زمانی طبقات دمایی در دوره مورد مطالعه

حاکم بر منطقه ارتباط نزدیکی دارد و کاربری شهری به‌عنوان عامل دوم در این وضعیت دخیل می‌باشد، این درحالی است که در همین سال پهنه‌ها با دمایی متوسط و سرد به کمترین حد خود نسبت به سال‌های دیگر می‌رسد. در سال ۲۰۱۷ هم شرایط موجود به صورت یکنواخت مانند سال ۲۰۱۳ است. برای درک مناسب از این روند برای نمونه نقشه‌های پراکندگی دمایی سطح شهری گرگان برای سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ برای این منظور در شکل‌های (۴،۳،۲) آورده شده است.

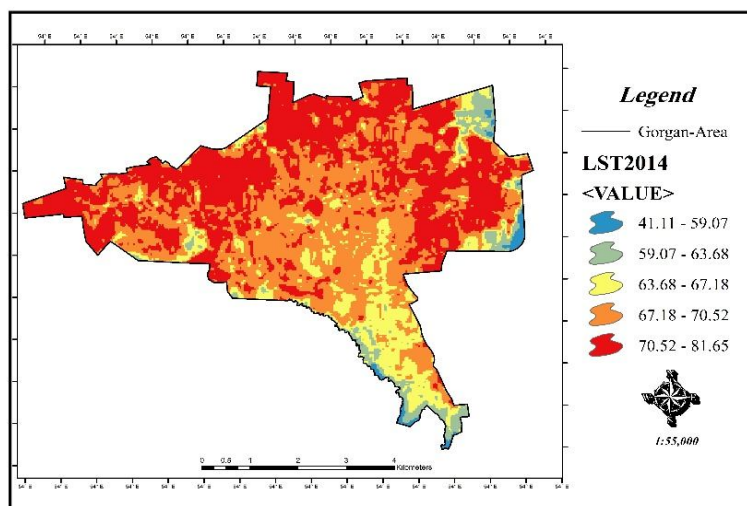
بر این اساس تغییرات در شهر گرگان در سال‌های ۲۰۰۰ و تا ۲۰۱۳ دارای روندی یکنواخت است. میانگین در این سال‌های مورد مطالعه ۵۰،۳۱ درصد از مساحت منطقه شهری را در بر می‌گیرد، در حالی که در سال ۲۰۰۵ این رقم به حدود ۳۵،۴۷ درصد می‌توان گفت در این دوره‌ها درصد پهنه دماهای متوسط و سرد به‌طور میانگین به ترتیب ۲۴،۰۹ و ۱۴،۴۳ است. اوج پهنه گرم در سال ۲۰۱۴ اتفاق افتاده است که حدود ۶۸،۹۷ درصد از مساحت شهر را در بر گرفته است و به شدت به شرایط اقلیمی



شکل ۲: پراکندگی دمایی سطح شهری گرگان سال ۲۰۰۰



شکل ۳: پراکندگی دمایی سطح شهری گرگان سال ۲۰۱۰



شکل ۴: پراکندگی دمایی سطح شهری گرگان سال ۲۰۱۴

نخواهد بود. سرعت باد آستانه را می توان از رابطه (۸) تخمین زد (اوک^۲، ۱۹۷۰).

$$Uc = 3.4 \log p - 11.6 \quad \text{رابطه (۸)}$$

Uc بر حسب متر بر ثانیه (ms^{-1}) و p جمعیت شهر است. براساس این رابطه در شهر گرگان با جمعیت ۵۰۰ هزار نفر میانگین سرعت باد باید حدود ۸ متر بر ثانیه باشد تا شدت جزایر حرارتی را تعدیل یا از بین ببرد، اما آنچه می توان از شرایط باد در شهر گرگان گفت این است که حدود ۹۸٪ از بادهای در منطقه جهت شمال غربی و با میانگین ۴٫۵ متر بر ثانیه

آنچه که می تواند این پهنه های گرمایی را در شهر گرگان تحت تأثیر قرار دهد باد است، در حالی که گرمای شهری به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است؛ اما دانش در مورد بادهای شهری و تغییرات آن هنوز به اندازه شرایط گرمایی نرسیده است. باد، نقش تعیین کننده ای در حذف جزیره گرمایی و یا تضعیف و کاهش شدت آن دارد (دراست^۱، ۲۰۱۸). ب طوری که اگر سرعت باد در شهرها از یک سرعت باد آستانه (Uc) بیشتر شود امکان توسعه و تکامل جزیره گرمایی میسر

است. یکی از اساسی‌ترین رویکردهای موران این است که نشان دهد: آیا وابستگی فضایی وجود دارد؟ یا اطلاعات مربوط به وابستگی‌های موران جهانی در یک مجموعه قرار می‌گیرد؟ این چنین مدل‌های فضایی بر اساس آزمون فرض است. شاخص موران در زمینه‌های محلی هم کاربرد دارد. هدف این شاخص نه تنها ارزش‌ها در سطح جهانی را شناسایی می‌کند، حتی بر نقاط محلی هم تمرکز می‌کند (برونز، ۲۰۱۷). شاخص موران دو نوع خروجی را ارائه می‌دهد. خروجی عددی و گرافیکی. به‌طور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به +۱ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد -۱ باشد، آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده خواهند بود. خروجی گرافیکی، پراکنده یا خوشه‌ای بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. در مورد این ابزار، فرضیه صفر این است که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد. زمانی که مقدار سطح معنی‌داری بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه‌شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر مقدار شاخص موران بزرگتر از صفر باشد، داده‌ها خوشه‌بندی فضایی را نشان می‌دهند و اگر مقدار شاخص کمتر از صفر باشد عوارض مطالعه شده دارای الگوی پراکنده هستند. در جدول (۲) شاخص موران در تمام دورها مورد مطالعه آورده شده است.

هستند و این در حالی است که ۲٪ مابقی بادهای منطقه در جهات غرب، شمال شرقی و شرقی با سرعت ۴ متر بر ثانیه است. این موضوع ثابت می‌کند میانگین سرعت باد در منطقه این توان را ندارد که بتواند این شرایط جزایر حرارتی را در سطح شهر کاهش بدهد برای نمونه سرعت و جهت باد در سال ۲۰۱۴ به ترتیب جهات شمال غربی و شرقی و به‌طور میانگین ۳ متر بر ثانیه است. از یکسو شرایط اقلیمی در منطقه و از سوی دیگر ساختار شهری به شدت این عامل را تضعیف می‌کند که باعث ایجاد تنش‌های حرارتی برای ساکنان شهر به‌خصوص در مناطق شمالی شهر به همراه می‌آورد، اما از یکسو می‌توان گفت شرایط توپوگرافی شهر می‌تواند بخشی از شهر گرگان را از اثرات جزایر حفظ کند و تنش‌های حرارتی را تعدیل کند. در نقشه‌های بالا به وضوح دیده می‌شود که مناطق جنوبی شهر به طرف ارتفاعات و جنگل‌های منطقه کشیده شده است. در طول روز این اختلاف فشاری بین ارتفاعات و دشت ایجاد می‌شود و بادهای محلی را ایجاد می‌کند و بر اساس ساختار شهر خیابان‌های شمالی، جنوبی باد ایجاد شده را به‌صورت کانالیزه شده تا عمق شهر نفوذ داده و باعث تعدیل این شرایط می‌گردد که نقشه‌های شماره (۲ تا ۴) این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. هدف تجزیه و تحلیل درجه حرارت در یک شهر، یافتن جالب‌ترین مناطق مهم آن است (بدوین، ۲۰۱۵). هدف از همه این شبیه‌سازی‌ها، تجزیه و تحلیل نقاط گرم در زمین آمار

جدول ۲: شاخص موران در دوره مورد مطالعه

	۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷
Moran's Index	0.927593	0.928911	0.933293	0.939184	0.954657	0.946329	0.958677	0.949411	0.963973	0.940473
Expected Index	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025	-0.000025
Variance	0.000007	0.000007	0.000007	0.000013	0.000013	0.000007	0.000013	0.000013	0.000013	0.000007
z-score	361.192492	360.494554	362.233832	262.453840	266.707669	367.285567	267.901541	265.309161	269.372829	365.019685
p-value	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ماخذ: نگارندگان

محلی برای خوشه‌ای یا تصادفی بودن استفاده گردید به‌خاطر این است که موران جهانی تنها رفتار خوشه‌ای جزایر حرارتی را نشان می‌دهد. این آماره نمی‌تواند بیانگر نوع رفتار فضایی پدیده باشد؛ ضمن شناخت از رفتار خوشه‌ای بر روی جزایر حرارتی روی نقشه به نمایش در آورد؛ لذا برای آشکارسازی نحوه - جزایر حرارتی از نظر الگوی توزیع پراکنده‌گی‌های فضایی از آماره محلی موران استفاده شده است. در جدول ۳ شاخص G_i استاتیک در تمام دوره مورد مطالعه آورده شده است.

طبق جدول شاخص موران در تمام دوره‌ها جزایر حرارتی شهرگران دارای الگوی خوشه‌ای بالای در سطح اطمینان ۹۹ درصدی می‌باشد. این در حالی است در دوره‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴ و مقدار Z به ترتیب ۳۶۱، ۱۹، ۳۶۲، ۲۳ و ۲۶۷، ۹۰ می‌باشد؛ بنابراین با توجه به بالا بودن مقدار Z و پایین بودن مقدار ارزشی سطح معنی‌داری می‌توان فرضیه وجود نداشتن خودهمبستگی فضایی بین داده جزایر حرارتی شهرگران را رد نمود. نتایج موران محلی به پرسش آیا عوارض به صورت تصادفی، پراکنده یا خوشه‌ای در فضا توزیع شده‌اند؟ پاسخ می‌دهد. علت این که از موران

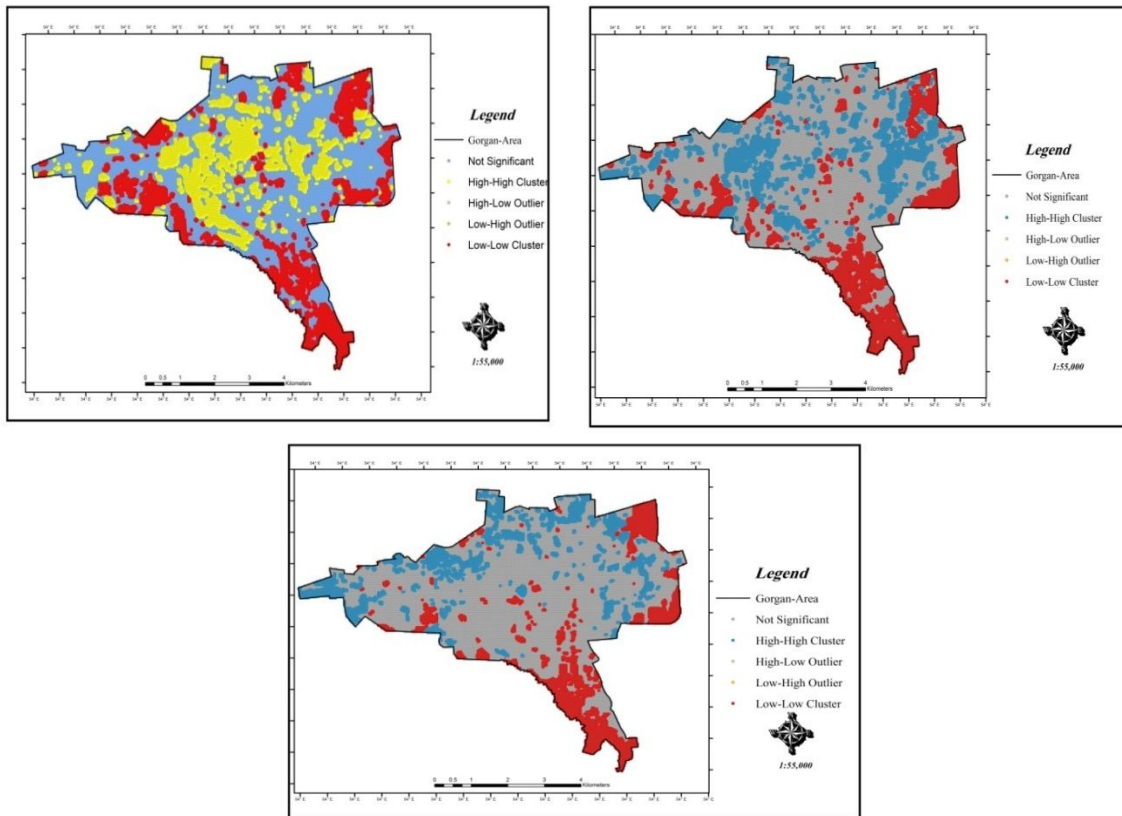
جدول ۳: شاخص G_i در دوره مورد مطالعه

	۲۰۰۰	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷
Observed General G	0.000006	0.000006	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025
Expected General G	0.000006	0.000006	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025	0.000025
Variance	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
z-score	89.707148	93.711261	191.957930	102.321446	136.250078	178.600164	128.192291	143.719405	167.702391	168.589163
p-value	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ماخذ: نگارندگان

است، LL بیانگر خوشه‌های مقادیر کم یا خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد اطمینان است، HL نشانگر ناخوشه‌ای بودن است که در آن مقادیر زیاد توسط مقادیر کم محاصره شده‌اند و LH تک سلول‌هایی است که در آن عارضه دارای مقدار کم، توسط عوارض دارای مقادیر زیاد محاصره شده‌اند و از نظر آماری معنادار (سطح ۵ درصد) هستند را از یکدیگر متمایز می‌کند.

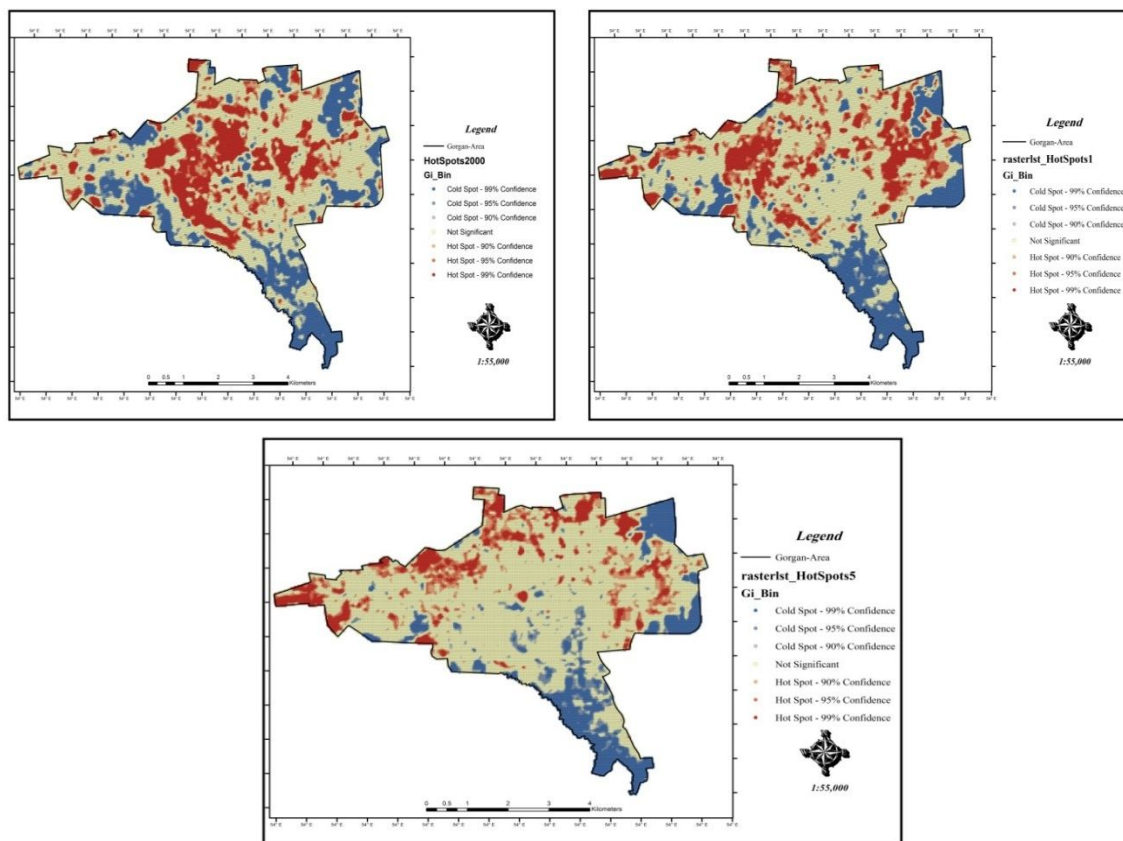
شاخص G_i بیان کننده این موضوع است که شاخص موران را در سطح ۹۹ درصد تایید می‌کند. براساس این شاخص ۵ سطح جزایر حرارتی شهر را مورد برازش قرار داده شده است که به ترتیب در اشکال (۵، ۶، ۷) و در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۰، ۲۰۰۰ این شاخص را نشان می‌دهد. خوشه‌های خروجی مدل باحروف اختصاری چون، HH که بیانگر خوشه‌های مقادیر زیاد یا خود همبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد اطمینان



شکل‌های (۵، ۶، ۷): به ترتیب شاخص G_i از سمت چپ ۲۰۰۰، راست ۲۰۱۰ و پایین ۲۰۱۴

هستند که به خوبی شرایط توپوگرافی (ارتفاع) پوشش گیاهی و بادهای محلی در طول روز را نشان می‌دهد و با نقاط کمترین درجه حرارت شهری منطبق می‌باشد. به دلیل این که توزیع فضایی خوشه‌ها دقیق در منطقه تعیین می‌شود از شاخص هات اسپات استفاده شده است. این روش نوعی Z امتیاز است. برای امتیاز Z مثبت و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z بزرگتر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ را تشکیل می‌دهند. برای امتیاز Z منفی و معنادار از نظر آماری، هر چه امتیاز Z کوچکتر باشد، به معنای خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و این‌ها در حقیقت لکه‌های سرد را نشان می‌دهند. در اشکال شماره (۸، ۹، ۱۰) نتایج تحلیل مناطق سرد و گرم جزایر حرارتی شهر نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در مناطق مرکزی، شمالی، شمال غربی و غرب شهر دارای پهنه گرم و شدید جزایر حرارتی با سلول‌های شاخص بالا-بالا شهر منطبق است. این شرایط در سال ۲۰۰۰ نشان از تمرکز در مرکز شهر و در سال ۲۰۱۰ به غیر مرکز قسمت‌های شمال و شمال غرب شهر را در بر می‌گیرد. در ۲۰۱۴ این پراکنش در شمال، شمال غربی و غرب شهر تمرکز دارد. حدود ۴۵ درصد شهر هیچ نوع الگویی حاکم نبوده و یا به عبارتی فاقد خودهمبستگی فضایی است. این وضعیت در تمام سطح شهر در دوره مورد مطالعه وجود دارد، اما بیشتر در مرکز شمال شهر به چشم می‌خورد. از لحاظ تک سلول‌ها LH و HL نشانگر ناخوشه‌ای بودن در سطح شهر دیده نمی‌شود. از نظر شرایط لکه‌های پایین-پایین باید گفت این شاخص درست در مناطق شرقی و جنوبی شهر حاکم



شکل‌های (۱۰،۹،۸): نتایج نقاط گرم و سرد در سال به ترتیب از چپ سال ۲۰۰۰، راست ۲۰۱۰ و پایین ۲۰۱۴

طبیعی و انسانی در به وجود آوردن نقاط سرد دخیل بوده است. شرایط طبیعی به علت شرایط توپوگرافی و پوشش گیاهی در این مناطق و ارتفاع در قسمت جنوبی که خود باعث ایجاد اختلاف فشار بین کوه و دشت می‌شود و رطوبت پوشش گیاهی و ساختاری شهری منظم‌تر و به‌قاعده باعث ایجاد شرایطی می‌شود که این مناطق دمای مناسب‌تری نسبت به دیگر مناطق شهری داشته باشد.

جمع بندی و نتیجه‌گیری

باتوجه به موقعیت جغرافیایی شهر گرگان در این پژوهش به بررسی تحلیل فضایی- زمانی جزایر حرارتی شهری پرداخته شده. اهمیت این پژوهش باتوجه به تغییرات اقلیمی و توسعه کاربری اراضی شهری در این منطقه که باعث ایجاد جزایر حرارتی در شهر گرگان شده است. براساس نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که در شهر گرگان جزایر حرارتی رخ داده است که

شاخص لکه‌های گرم و سرد (Hot Spot) دارای توانایی تجزیه و تحلیل نقاط مختلف و مناسب است. با توجه به این توانایی در تجزیه و تحلیل جزایر حرارتی به شناسایی نقاطی که دمای آن به‌طور معنی‌داری نسبت به میانگین دمای منطقه باشد می‌پردازد. این قدرت تجزیه تحلیل نقاط در این شاخص به شدت به نتایج به‌دست آمده از آماره G_i می‌باشد. با توجه از نتایج شاخص شاخص لکه‌های گرم و سرد جزایر حرارتی شهر گرگان نشان می‌دهد که لکه‌های گرم با نقاط در مرکز، شمال و شمال غرب شهر در سطح اطمینان ۹۹ درصد طبق دارد. که این مناطق به‌شدت تحت شرایط ساختار شهری، کاربری اراضی و تراکم جمیت در این مناطق است که به شدت درجه حرارت شهری را بالا می‌برد. این درحالی است نقاط سرد در سطح اطمینان ۹۹ درصد در مناطق شرقی و جنوبی شهر استقرار دارد که نشان‌دهنده این موضوع است که شرایط

شاخص خودهمبستگی فضایی به تحلیل جزایر حرارتی شهر پرداخته شد. نتایج این شاخص‌ها نشان می‌دهد که جزایر حرارتی شهر دارای الگوی خوشه‌ای در سطح اطمینان ۹۹٪ در تمام دوره‌هاست. این در حالی است که آزمون G_i نتایج موران را تایید می‌کند و در حالی است که لکه‌های داغ و سرد درست با مناطق گرم و سرد در شهر منطبق است. آنچه که مسلم است نتایج این پژوهش نشان داد که دو عامل اصلی در تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی شهر گرگان مؤثر هستند که به ترتیب شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و دوم شرایط تغییرات بی‌برنامه در کاربری اراضی شهری است که در شدت زمانی و مکانی این جزایر دخیل بوده است. نتیجه به دست آمده از این پژوهش با نتایج کارهای انجام گرفته توسط صادقی‌نیا (۱۳۹۳) که الگوی خوشه‌ای بالا از جزایر حرارتی شهر تهران به دست آمده و از نظر زمانی و مکانی این جزایر به تغییرات کاربری اراضی شهر تهران وابسته است. نتایج ترکاشوند (۱۳۹۵) نشان می‌دهد با استفاده از الگوی تک پنجره‌ای جزایر حرارتی شهر اراک، دارای رفتار خوشه‌ای بالاست و نتایج لکه‌های داغ (Hot Spot) این مسئله را تأیید می‌کند.

شدت آن در سال ۲۰۱۴ در حدود ۶۲ درصد از مساحت شهری را در بر گرفته است. این در حالی است که این جزایر بیشتر در مناطق شمالی، شمال‌غربی و شرقی و مرکز شهر رخ داده است. به‌طور میانگین شدت جزایر حرارتی شهری در دوره‌های مورد مطالعه حدود ۴۱ درصد از مساحت شهر را دربر گرفته است. با توجه به این موضوع یکی از عناصری که می‌تواند اثرات جزایر حرارتی شهری را کاهش دهد سرعت باد است، اما به علت شرایط اقلیمی و انسانی شهر، سرعت باد به صورت میانگین در دروه مورد مطالعه حدود ۴٫۵ متر بر ثانیه است که با توجه به فرمول باد اوک و جمعیت شهر گرگان میانگین سرعت بادی که بتواند اثر تعدیل‌کننده در این مورد بازی کند حدود ۸ متر بر ثانیه است، اما آنچه مورد توجه بیشتر است وجود بادهای محلی در شهر گرگان است که در قسمت جنوبی شهر که از ارتفاعات به طرف دشت در طول روز شکل می‌گیرد است. با توجه به ساختار شمالی جنوبی خیابان‌های شهر و جهت ساختمان‌ها این باد را تا مرکز شهر آورده و باعث تعدیل‌کنندگی این جزایر حرارتی در جنوب شهر گرگان می‌شود که در تمام دوره‌های مورد مطالعه حائز اهمیت است. در ادامه با

منابع

۱. بابایی فینی، ام‌السلمه، ۱۳۹۴. بررسی رابطه دمای سطح زمین و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط شهری (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)، جغرافیای طبیعی لارستان، دوره ۸، شماره ۲۹، پاییز، صفحه ۷۵-۹۰.
۲. ترکاشوند، محمدقاسم، ۱۳۹۵. آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خود همبستگی فضایی، مجله آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۵، زمستان، صفحه ۱۲۳-۱۴۸.
۳. حاجی زاده، فاطمه، سیدحامد میرکریمی، سلمان عبدالرسول ماهینی، مرجان محمدزاده، ۱۳۹۹. سنجش و زونبندی کیفی محیط سکونت شهری با تأکید بر تصویر ذهنی شهروندان مطالعه موردی: شهر گرگان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال دهم، شماره مسلسل سی و هفتم، پاییز صفحه ۳۲.
۴. رنجبرسعادت آبادی، عباس، علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی صادقی، سیدعلیرضا حسینی، ۱۳۸۴. آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران براساس داده‌های مهرآباد و ورامین، مجله محیط شناسی، شماره ۳۹، تابستان، صفحه ۵۹-۶۸.
۵. ساسان‌پور، فرزانه، پرویز ضیاییان، پرویز، مریم بهادری، ۱۳۹۲. بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، مجله جغرافیا: زمستان، دوره ۱۱، شماره ۳۹، صص ۲۵۶-۲۷۰.
۶. صادقی نیا، علیرضا، بهلول علیجانی، پرویز ضیاییان، ۱۳۹۲. کاربرد تکنیک‌های خود همبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره ۳۰، صفحات ۹۰-۶۷.
۷. قبادی، اسداله، ۱۳۹۵. تبیین و تحلیل زمانی- مکانی پدیده جزیره گرمایی شهر کرج با تأکید بر مدیریت

16. Droste, A.M., Steeneveld, G.J. and Holtslag, A.A.M. 2018, Introducing the urban wind island effect, *Environ. Res. Lett.* 13, 094007
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad8ef>.
17. ESRI, 2018. How Hot Spot Analysis: Getis-Ord Gi* (Spatial Statistics) works [WWW Document]. URL <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gispatial-stati.htm> (accessed 2.21.18).
18. Fan, F., Wang, Y. and Wang, Z. 2008, "Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images," *Environmental Monitoring and Assessment*, 137(1): 127-147.
19. Grigoraş, G., and Urişescu, B. 2018. Spatial hotspot analysis of bucharest's urban heat island (uhi) using modis data, *annals of Valahia University of targoviste. Geographical series*, 18(1): 14-22. DOI: 10.2478/avutgs-2018-0002.
20. Hardy, C.H., Nel et al. 2015. Data and techniques for studying the urban heat island effect in johannesburg, The international Archive of photogrammetry, Remote sensing and Spatiol information science. XL-7/W.11-15 May, Berlin, Germany.
21. Islam, Abou El-Magd, Ahmed, Ismail, Naglaa, Zanaty, 2016. Spatial Variability of Urban Heat Islands in Cairo City, Egypt using Time Series of Landsat Satellite Images, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5(3): 1618-1638.
22. Jat, Mahesh Kumar, Choudhary, Mahender, Saxena, Ankita. 2017. Urban growth assessment and prediction using RS, GIS and SLEUTH model for a heterogeneous urban fringe, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, DOI:10.1016/j.ejrs.2017.02.002.
23. Jin, M., Li, J., Wang, J., and Shang, R. 2015. A practical split-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat-8 data and a
- آبدو و مدل سازی خرد اقلیم محلی، رساله دکتری، استاد راهنما دکتر محمود خسروی، دانشکده علوم انسانی سیستان و بلوچستان، گروه جغرافیا.
۸. کریمی فیروزجایی، محمد، مجیدکیاورد، سیدکاظم علوی پناه، ۱۳۹۶. پایش و پیش بینی شدت جزیره حرارتی شهر بابل با توجه به گسترش شهری و تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۴، نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، سال پنجم، شماره سوم، پاییز، صفحات: ۱۵۱-۱۲۳.
۹. محرمی، جاوید، ۱۳۹۳. بررسی نقش کاربری اراضی در تولید جزیرگرمای شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)، رساله کارشناسی ارشد، اساتید راهنما دکتر سعید جهانبخش اصل و دکتر خلیل ولیزاده کامران، دانشکده علوم انسانی تبریز، گروه جغرافیا.
۱۰. متکان، علی اکبر، نوحه گر، احمد، میرباقری، بابک، ترک چین، ناهید. ۱۳۹۳. تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده های چند زمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال پنجم/ شماره چهارم) زمستان، صص ۱-۱۴.
۱۱. نارنگی فرد، مهدی، احمد مزیدی، اسماعیل عبدلی. ۱۳۹۵. واکاوی الگوهای دمایی در ارتباط با کاربری های شهری با به کارگیری داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)، مطالعات برنامه ریزی سکونتگاه های انسانی، سال یازدهم، شماره ۳۵، تابستان، صص ۳۱-۱۷.
12. Bruns, J., and Simko, V. 2017. Stable Hotspot Analysis for Intra-Urban Heat Islands, *GI_Forum 2017*, Issue 1. Page: 79-92.
13. Baudouin, P.Y. and Gachon, P. 2015. An alternative method to characterize the surface urban heat island. *Int. J. Biometeorol.* 59: 849–861. doi:10.1007/s00484-014-0902-9.
14. Chandler, T. 1970. "Selected bibliography on urban climate. Tech," note.
15. Dash, P., Gottsche, F.M., Olesen, F.S., and Fischer, H. 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends. *Int. J. Remote Sens.* 23(13): 2563-2594.

32. Victoria, M., and Igor. E. 2017. Seasonal and Spatial Characteristics of Urban HeatIslands (UHIs) in Northern West Siberian Cities, *Journal Remote Sens*, 9: 989; 1-15 DOI:10.3390/rs9100989.
33. Voogt, J.A. and Oke, T.R. 2003. "Thermal remote sensing of urban climates," *Remote sensing of environment*, 86(3): 370-384.
34. Walawender J. 2009, Wykorzystanie danych satelitarnych Landsat I technik GIS w badaniach warunków termicznych miasta (na przykładzie aglomeracji krakowskiej) (Application of LANDSAT satellite data and GIS techniques for estimation of thermal conditions in urban area (using an example of Kraków agglomeration)). *Prace Geograficzne* 122: 81–98.
35. Wanga Yupeng, Berardib, Umberto, Akbaria, Hashem. 2015. The Urban Heat Island effect in the city of Toronto, *Procedia Engineering* 118: 137–144, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.412.
36. Wu, J. 2014. "Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions," *Landscape and Urban Planning*, 125: 209-221.
37. Yu, Xiaolei, Guo, Xulin, Wu, Zhaocong, 2014. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method, *Remote Sens*, 6: 9829-9852; doi:10.3390/rs6109829.
38. Zhang, L., Zhou, D., Zhao, S., Sun, G., and Liu, Y. 2015. The footprint of urban heat island effect in China. *Sci. Rep.*, 5: 11160.
39. Zhu, X.L., Chen, J., Gao, F., Chen, X.H. and Masek, J.G. 2010. "An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions," (in English), *Remote Sensing of Environment*, 114 (11): 2610-262.
- case study of an urban area in China. *Remote Sens.*, 7: 4371-4390.
24. Liu, L., and Zhang, Y. 2011. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong, *Journal Remote Sens*. 3: 1535-1552. DOI: 10.3390/rs3071535.
25. Liu, C., and Li, Y. 2017. Spatio-temporal Features of Urban Heat Island and its Relationship with Land Use / Cover in Mountainous City: A Case Study in Chongqing, / *Journal sustainability, Sustainability*, 10, 1943; DOI: 10.3390/su10061943.
26. Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. 2004. *Remote sensing and image interpretation*. Wiley, Toronto.
27. Oke, T.R. and Hannell, F.G. 1970. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. In *Urban Climates*, WMO Tech. Note, 108:113-126.
28. Qin Z., Karnieli, and Berliner, A.P. 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *Int. J. Remote Sensing*, 22 (18): 3719-3746.
29. Sobrino, J.A., and Raissouni, N. 2000. Toward remote sensing methods for landcover dynamic monitoring: application to Morocco. *Int. J. Remote Sens.* 21: 353–366. DOI: 10.1080/014311600210876.
30. Sun, Q., Tan, J., and Xu, Y. 2010. An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: A case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environ. Earth Sci.*, 59: 1047-1055.
31. Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U. and Großmann, K. 2012. "Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators— An application for the city of Leipzig (Germany)," *Ecological Indicators*, 18: 693-704.

