

آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۵/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۲/۰۱

محمدقاسم ترکاشوند* (استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران)

چکیده

ارزیابی جزایر حرارتی شهری یک متغیر کلیدی در مطالعات علوم محیطی محسوب می‌شود، چراکه با مدل کردن تعاملات شار سطح زمین می‌توان به بسیاری از مشکلات شهرنشینی جامعه مدرن پاسخی بهینه داد. این مطالعه با هدف آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک و خوشه‌ای شدن آن به رشته تحریر درآمده است. بدین منظور ابتدا تصاویر حسگرهای *OLI* و *TIRS* ماهواره لندست ۸ برای ماه اوت سه سال متوالی ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ از پایگاه علوم زمین ایالات متحده آمریکا (*USGS*) اخذ گردید. برای استخراج مقادیر *UHI* از *LST* از تابع‌های خودهمبستگی موران جهانی و تحلیل لکه‌های داغ با استفاده از قابلیت‌های برنامه‌نویسی محیط‌های *Matlab* و *ArcGis* استفاده شد. بعد از محاسبه دمای سطح زمین (*LST*) با استفاده از شاخص تحلیل لکه‌های داغ (*HotSpot*) خوشه‌های گرم و سرد جزایر حرارتی اراک استخراج شدند. برای ارزیابی عوامل مؤثر در شکل‌گیری و خوشه‌ای شدن جزایر حرارتی شهر اراک از دو شاخص *NDVI* و *NDBI* بهره برده شد. نتایج نشان داد که دو پارامتر پوشش گیاهی و مناطق ساخته‌شده شهری با دمای سطح زمین همبستگی قوی دارند، به طوریکه شاخص پوشش گیاهی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری و مناطق ساخته‌شده شهری موجب تشدید جزایر حرارتی شهری اراک گردیده‌اند. ارزیابی تطبیقی جزایر حرارتی اراک منجر به آشکارسازی دو نوع جزیره حرارتی شهری گردید؛ جزایر حرارتی کانونی و جزایر حرارتی خطی. تحلیل خودهمبستگی فضایی با شاخص‌های موران جهانی نشان داد که دمای سطح زمین اراک دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی دمای سطح زمین اراک به شکل خوشه‌ای توزیع شده‌اند. درنهایت تحلیل لکه‌های داغ (*HotSpot*) تأییدی آشکار بر متمرکز شدن و خوشه‌ای شدن جزایر حرارتی شهر اراک در فضا با افزایش دوره زمانی بوده است.

واژه‌های کلیدی: جزایر حرارتی شهری (*UHI*)، دمای سطح زمین (*LST*)، خودهمبستگی فضایی، تحلیل لکه‌های داغ، شهر اراک

مقدمه

تا چندی پیش نواحی شهری فقط ۲ درصد از مساحت سطح زمین را اشغال می‌کردند (گرم و همکاران^۱، ۲۰۰۰)، اما امروزه مناطق شهری غالب‌ترین چشم اندازهای انسانی را تشکیل داده و تأثیرات قابل توجهی روی اکوسیستم‌های محلی و جهانی گذاشته‌اند (ماسک و همکاران^۲، ۲۰۰۰).

با توسعه شهرنشینی مقادیر زیادی از مساحت نواحی کشاورزی و جنگلی از بین رفته و جای آن را مناطق شهری پوشانده است. از سوی دیگر رشد جمعیت و توسعه‌ی اقتصاد سبب تغییر گسترده‌ی الگوی کاربری اراضی و پوشش زمینی شده است (لی و همکاران^۳، ۲۰۰۹). پدیده جزیره حرارتی شهری اشاره به اختلاف دما بین شهر و نواحی روستایی پیرامون آن دارد. به طوریکه نواحی ساخته‌شده‌ی شهری دارای دمای بالاتری نسبت نواحی روستایی پیرامونی هستند (لندزبرگ^۴، ۱۹۸۱).

مطالعه جزایر حرارتی شهری به‌طور سنتی با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، یا پیمایش انجام‌شده به کمک وسایل نقلیه انجام می‌شده است، اما به خاطر مشکلات این روش‌ها، امروزه از داده‌های ماهواره‌ای و دورسنجی استفاده می‌شود. مزایای استفاده از داده‌های سنجش از دور شامل؛ قدرت تفکیک مکانی بالا، پایداری داده‌ها و داشتن همپوشانی و همچنین توانایی اندازه‌گیری پارامترهای سطح زمین می‌باشد (دای و همکاران^۵، ۲۰۰۹). پدیده جزایر حرارتی شهری از یک‌سو در اثر افزایش دما آشکارتر می‌شود و از سوی دیگر پتانسیل شدت گرمایی را نیز افزایش می‌دهد.

نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که این پدیده به‌طور مستقیم و غیرمستقیم روی سلامت و آسایش ساکنان شهری اثر می‌گذارد. اثرات نامطلوب این گرمایش شامل زوال محیط‌زیست، افزایش مصرف انرژی، افزایش مقدار ازن سطح زمین و حتی افزایش نرخ مرگ‌ومیر می‌شود (بان و بائور^۶، ۲۰۰۶). همان‌طور که پیش‌تر نیز مورد بحث واقع شده است، جزایر حرارتی شهری جزو آن دسته از مناطق شهری هستند که به میزان قابل توجهی از محیط پیرامون گرم‌تر باشند؛ به‌طورکلی سه نوع جزیره حرارتی موردتوجه پژوهشگران قرار دارد

¹Grimm and el al.

²Masek and et al.

³Li and et al.

⁴Landsberg

⁵Dai and et al.

⁶Yaun and Bauer

(اوکی^۱، ۱۹۸۲): ۱- جزیره حرارتی لایه‌مرزی شهر^۲: منظور از این نوع جزیره حرارتی یعنی درجه حرارت اتمسفر بالای شهر که در مقایسه با نقاط اطراف آن افزایش می‌یابد. ۲- جزیره حرارتی لایه‌ی تاج شهر^۳: یعنی بالا رفتن دمای آن بخش از اتمسفر شهر که در فاصله زمین تا بام ساختمان‌ها (میانگین ارتفاع ساختمان‌ها) قرار دارد. ۳- جزیره حرارتی سطح شهر^۴: اشاره به اختلاف دمای سطح زمین در شهر و روستا دارد.

توسعه اخیر جوامع و شتاب شهرنشینی اهمیت پدیده جزیره حرارتی شهری را بیش از پیش آشکارتر نموده است. ساختمان، بتن، آسفالت و فعالیت‌های صنعتی منجر به پیدایش جزیره حرارتی شهری می‌شوند. جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگفرش، ساختمان، بتن، آسفالت و سایر ساخت‌وسازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برند و همچنین ساختمان‌های بلند و خیابان‌های باریک جریان هوا را کاهش داده و هوای پیرامون را گرم می‌کنند. با توجه به اهمیت جزایر حرارتی شهری تاکنون مطالعات بسیاری انجام شده است که به برخی از این مطالعات اشاره خواهد شد.

لو و همکاران^۵ (1997) برای ارزیابی جزایر حرارتی شهر هانتسویل در ایالت آلاباما ایالات متحده آمریکا از حس‌گر حرارتی (ATLAS) استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که غلبه جنگل‌ها و زمین کشاورزی در این شهر نقش بسزایی را در تعدیل جزایر حرارتی شهر هانتسویل ایفا می‌کنند. مطالعه جزایر حرارتی شهر هستون در ایالات تگزاس پژوهش دیگری است که توسط استراتکر^۶ (2002) انجام شده است. نتایج پژوهش آنان نشان داده است که جزیره‌حرارتی به‌صورت معکوس با دمای روستایی همبسته است.

ونگ و همکاران^۷ (2003) با استفاده از تئوری فرکتال به آشکارسازی جزایر حرارتی شهری در گوانگژو، چین پرداختند. نتایج پژوهش آنان دو جزیره حرارتی شهری را که یکی در جنوب غربی و دیگری در شرق گوانگژو بود آشکار ساخته است. سطوح حرارتی فضایی به‌دست‌آمده در پژوهش آنان بیش تر ناهموار و بافت بسیار پیچیده‌ای داشته است.

¹Oke

²Urban Boundary Layer Heat Island

³Canopy Boundary Layer Heat Island

⁴Surface Heat Island

⁵Lo and et al.

⁶Streutker

⁷Weng and et al.

جزیره گرمایی شهری و تأثیر آن بر امواج گرما و سلامت انسان در شانگ های چین پژوهشی است که توسط تان و همکاران^۱ (2010) انجام شده است. نتایج نشان داد که سایت‌های مختلف (مرکز شهر) درجات مختلفی از گرم شدن را تجربه کرده‌اند. بررسی میزان مرگ و میر در تابستان در داخل و اطراف شانگهای نشان داده است که UHI به طور مستقیم مسؤول بدتر شدن اثرات سوء بر سلامت انسانی است. بررسی تأثیر ترکیبی و فیزیکی شهری، پژوهشی است که توسط سونگ و وو^۲ (2016) در ایالت ویسکانسین آمریکا انجام شده است که نتیجه کلی پژوهش آنان نشان از نقش بی‌چون چرای سطوح غیرقابل نفوذ در تنوع جزایر حرارتی مناطق شهری دارد.

از بین مطالعات که در ایران انجام شده است می‌توان به پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۱) که تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی شهر شیراز را مطالعه کرده‌اند اشاره کرد. نتایج بررسی آنان که مبتنی بر پردازش تصویر سنجنده های TM و ETM⁺ استوار بوده است نشان داد که حلقه‌های دمایی شهر شیراز با مناطق آلوده و پرتراپیک شهری انطباق داشته و سردترین مناطق نیز منطبق بر پوشش گیاهی است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی دیگر به ارزیابی تحلیل فضایی دمای شهر شیراز در فصول گرم و سرد سال با استفاده از پردازش‌های آماری و ماهواره‌ای پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در فصل گرم پایین‌ترین آستانه‌های دمایی منطبق بر پوشش گیاهی بوده ولی در فصل سرد سال مناطق شمال و شمال غرب که تحت سیطره شهرک‌های نوساز و ارتفاعات شمالی شهر بودند منطبق بوده است. تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM⁺ پژوهشی است که توسط شکیبا و همکاران (۱۳۸۸) انجام شده است. نامبردگان با استفاده از روش جداسازی طیفی (LSU) به این نتیجه رسیدند که سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه اثر خنک‌کنندگی دارد. صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی به تحلیل جزایر حرارتی شهر تهران در یک دوره ۲۵ ساله با استفاده از سنجنده های TM، MSS و ETM⁺ پرداختند. نتایج کلی پژوهش آنان نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه خوشه‌های حرارتی جدیدی در شهر تهران شکل گرفته‌اند و همچنین وسعت فضایی خوشه‌های حرارتی قبلی رو به افزایش رفته است.

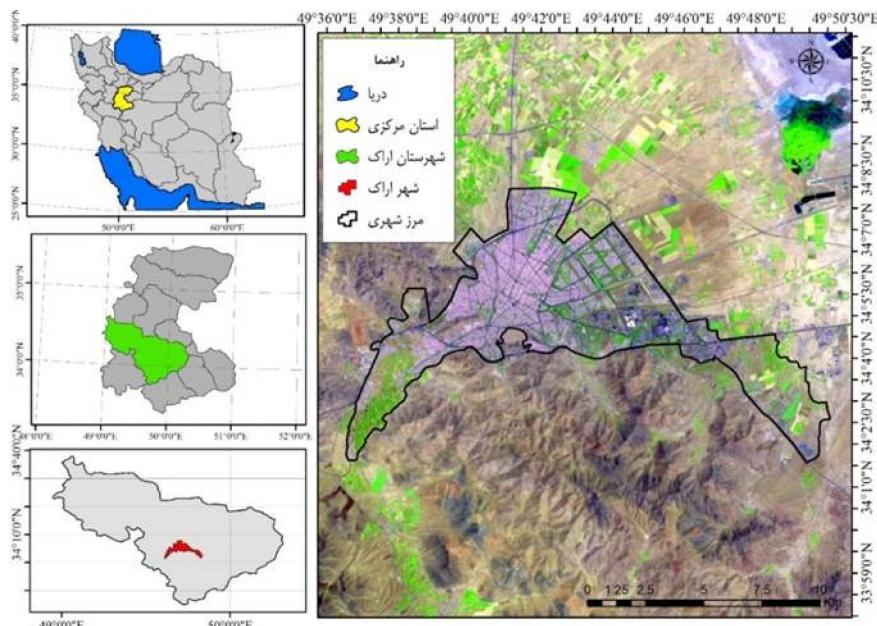
¹Tan and et al.

²Song & Wu

پژوهش حاضر باهدف شناخت الگوهای فضایی-زمانی جزایر حرارتی شهری، شهر اراک انجام شده است، لذا نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه ریزان محیطی، ناحیه‌ای و شهری سودمند باشد. از سوی دیگر آشکارسازی این تغییرات به‌عنوان یک مؤلفه مهم در استراتژی‌ها و راهبردهای مدیریت منابع طبیعی و تغییرات محیطی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

روش تحقیق

اراک یکی از کلان شهرهای ایران و مرکز استان مرکزی است. جمعیت این شهردرسال ۱۳۹۰ خورشیدی برابر با ۵۲۶۱۸۲ نفر بوده که از این نظر قطب جمعیتی استان مرکزی و چهاردهمین شهر پر جمعیت ایران به حساب می‌آید. شهر اراک روی مدار ۳۴ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه در نیم کره شمالی و نصف النهار ۴۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. اراک یکی از شهرهای صنعتی ایران است که از لحاظ گوناگونی محصولات صنعتی، نخستین، از لحاظ وجود صنایع مادر، دومین و به‌طور کلی چهارمین قطب صنعتی کشور محسوب می‌شود. موقعیت شهر اراک در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (بازسازی: نگارنده)

داده‌های پژوهش: به منظور استخراج دامنه‌های دمایی شهر اراک در فصل گرم، از تصاویر حسگرهای^۱ OLI و^۲ TIRS ماهواره لندست ۸ برای ماه اوت استفاده شده است. در جدول (۱) اطلاعات هر یک از تصاویر اخذ شده ارائه گردیده است.

جدول ۱- تصاویر ماهواره لندست ۸، حسگرهای OLI و TIRS استفاده شده در پژوهش برای استخراج دمای سطح زمین

نوع حسگر	ردیف و گذر	تاریخ برداشت خورشیدی	تاریخ برداشت میلادی	فصل	ردیف
OLI و TIRS	۱۶۵-۳۶	۱۳۹۲/۰۵/۱۵	۲۰۱۳/۰۸/۰۶	تابستان	۱
OLI و TIRS	۱۶۵-۳۶	۱۳۹۳/۰۵/۱۸	۲۰۱۴/۰۸/۰۹	تابستان	۲
OLI و TIRS	۱۶۵-۳۶	۱۳۹۴/۰۵/۲۱	۲۰۱۵/۰۸/۱۲	تابستان	۳

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)

برای استخراج دمای سطح زمین (LST) شهر اراک از باند ۱۰ حسگر TIRS استفاده شد. از مهم ترین موارد آنالیز در این مطالعه، تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به رادیانس طیفی با تابع تبدیل ذیل می‌باشد: (چندر و گورنولد^۳، ۲۰۰۹).

$$L_{\lambda} = \frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{(Q_{Cal\max} - Q_{Cal\min})} * (Q_{Cal} - Q_{Cal\min}) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

L_{λ} : بیان کننده میزان رادیانس طیفی؛ Q_{Cal} : نشان دهنده میزان رقومی سازی شده DN؛ $Q_{Cal\min}$: نشان دهنده مینیمم مقدار Q_{Cal} متناظر با $LMIN_{\lambda}$ ؛ و $Q_{Cal\max}$: بیان کننده ماکزیمم مقدار Q_{Cal} متناظر با $LMAX_{\lambda}$ می‌باشد.

LMIN و LMAX: نشان دهنده کم ترین و بیش ترین تابش طیفی می‌باشند که مقادیر آن‌ها به ترتیب ۰ و ۲۵۵ بر حسب $(wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ می‌باشد. در تصحیحات اتمسفری بر روی تصویر اصلی، معمولاً فضای اتمسفری به شکل یکنواخت در نظر گرفته می‌شود (سوبرینو و همکاران^۴، ۲۰۰۴)؛ بنابراین تصحیحات اتمسفری، تأثیر چندانی بر روی آنالیز این مطالعه

¹Operational Land Imager (OLI)

²Thermal Infrared Sensor (TIRS)

³Chander and Groeneveld

⁴Sobrino and et al.

نخواهد داشت. با پیاده سازی تکنیک FLAASH بر روی تصویر پایه، خطای اتمسفری تا حد ممکن کاهش خواهد یافت. مراحل برآورد دمای سطح زمین (LST) بدین شرح انجام شده است.

۱- تبدیل ارزش های رقومی تصویر به رادیانس طیفی؛ ۲- تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی؛ ۳- تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی (چندر و گورنولد، ۲۰۰۹).

مرحله اول با رابطه (۱) انجام می پذیرد. مرحله دوم با تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی، با فرض این که زمین جسم سیاه در نظر گرفته شود با رابطه پلانک قابل انجام خواهد بود (چندر و گورنولد، ۲۰۰۹):

$$T_B = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

در این رابطه، T_B ، دمای روشنایی بر حسب کلوین، L_λ رادیانس طیفی بر حسب $(\text{wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ ، k_1 و k_2 ضرایب کالیبراسیون بر حسب $(\text{wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1})$ می باشد.

مرحله سوم: دمای روشنایی محاسبه شده از رابطه (۲)، بر حسب جسم سیاه خواهد بود. نسبت بین گسیلمندی از یک جسم به گسیلمندی جسم سیاه در دمای ثابت را گسیلمندی یا تابندگی می نامند، که مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح ضروری است. این مسأله بدان جهت می باشد که دمای روشنایی به دست آمده از رابطه (۲) دمایی است که جسم سیاه برای تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم و مشخص تولید می کند. تصحیح گسیلمندی دمای سطح زمین، مطابق معادله زیر محاسبه می گردد: (بارسی و همکاران^۱، ۲۰۰۳)

$$T_s = \frac{T_B}{1 + (\lambda * \frac{T_B}{\alpha}) \ln(\varepsilon)} \quad (3)$$

λ : طول موج رادیانس ساطع شده (۵، ۱۱ میکرومتر)؛ C = معادل سرعت نور یعنی $2.998 * 10^8 (m/s)$ ؛ h : ثابت پلانک با مقدار $6.626 * 10^{-34} (j.sec)$ ؛ T_B = دمای روشنایی؛ b : ثابت بولتزمن با مقدار $1.38 * 10^{-23} (j/k)$ ؛ α : معادل است با $1.438 * 10^{-2} (mk)$ $\frac{hc}{b}$

با توجه به وجود اختلاط هر پیکسل در منطقه مطالعاتی، میزان گسیلمندی در هر پیکسل مطابق رابطه زیر محاسبه می گردد (سویرنو و همکاران، ۲۰۰۴):

¹Barsi et al

$$\varepsilon = \varepsilon_v p_v + \varepsilon_s (1 - p_v) + d\varepsilon \quad (۴)$$

که در رابطه فوق ε_v نشان دهنده میزان گسیلمندی پوشش گیاهی، ε_s نشان دهنده میزان گسیلمندی خاک و p_v نشان دهنده نسبت پوشش گیاهی می باشد. $d\varepsilon$ مطابق با معادله زیر محاسبه می گردد:

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - p_v)F\varepsilon_v \quad (۵)$$

که F ضریب شکل می باشد و مقدار آن برابر ۵۵٪ می باشد. با توجه به مطالعات انجام گرفته، میزان گسیلمندی پوشش گیاهی ۹۹ درصد، خاک ۹۷ درصد و ساختار شهری ۹۲ درصد می باشد که بر این مبنا میزان گسیلمندی برابر خواهد شد با (لی و همکاران^۱، ۲۰۱۱)

$$\varepsilon = 0.02644 p_v + 0.96356 \quad (۶)$$

برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی، یکسری شاخص ها ارائه گردیده است که متداول ترین و دقیق ترین آن ها می توان به شاخص NDVI اشاره نمود که مطابق معادله زیر محاسبه می گردد (اتزبجر^۲، ۲۰۱۳):

$$NDVI = \frac{B_{nir} - B_{red}}{B_{nir} + B_{red}} \quad (۷)$$

که B_{nir} بیان کننده میزان بازتاب در باند مادون قرمز و B_{red} بیان کننده میزان بازتاب در باند قرمز می باشد.

همچنین در این پژوهش به منظور ارزیابی سایر پارامترهای بیوفیزیکی شهری از دو شاخص تفاضل نرمال شده مناطق ساخته شده^۳ $NDBI$ استفاده گردید (رابطه ۸) (چن و همکاران^۴، ۲۰۰۶):

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR} \quad (۸)$$

در رابطه فوق $SWIR$ معرف باند طول موج کوتاه مادون قرمز و $TIRS$ معرف باند حرارتی می باشد.

^۱Li et al

^۲Atzberger

^۳Normalized Difference Build-up Index (NDBI)

^۴Chen and et al.

استخراج خوشه‌های جزایر حرارتی شهری (UHI)

برای بررسی الگوی فضایی داده‌ها به منظور تعیین کمیت و همچنین آزمون ساختار فضایی پارامترهای مشاهده شده از آماره موران جهانی استفاده شده است. خودهمبستگی فضایی موران به بررسی خودهمبستگی فضایی بر اساس مکان پراکنش دو مقدار می‌پردازد و خصیصه مورد نظر از عارضه جغرافیایی را در آن مکان تحلیل می‌کند (گیریت^۱، ۱۹۸۷). برای محاسبه آماره یا شاخص موران، ابتدا نمره استاندارد Z و P -Value محاسبه می‌شود و در مرحله بعد به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود (کرمی و داداشی رودباری، ۱۳۹۳؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۶). برای محاسبه خودهمبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران جهانی از رابطه (۹) استفاده می‌گردد.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_i - \bar{x}) \cdot (x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \right) \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} z_i z_j}{s_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه x_i با میانگین $(x_i - \bar{x})$ و z_j تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه x_j با میانگین $(x_j - \bar{x})$ می‌باشد. $W_{i,j}$ وزن موجود بین عارضه i و j می‌باشد که عکس فاصله بین دو عارضه i و j است (به عبارت دیگر، $W_{i,j} = \frac{1}{d_{i,j}}$). تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است و s_0 جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد که بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (فلاح قالهری و همکاران، ۱۳۹۴):

$$s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \quad (10)$$

نمره استاندارد z_i برای آماره موران از طریق رابطه (۱۱) به طور جداگانه محاسبه گردیده و در رابطه ۱۰ قرار داده می‌شود:

$$z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (11)$$

¹Griffith

به طور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک عدد +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 می‌باشند.

برای آشکارسازی جزایر حرارتی سرد و گرم از تحلیل لکه‌های داغ از آماره‌ی گتیس-ارد جی (Getis-Ord G_i^*) استفاده شد. نمره‌ی Z محاسبه شده در این آماره نشان می‌دهد که در کدام مناطق، داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده است. چهارچوب مفهومی این تحلیل این گونه عمل کند که اگر عارضه‌ای مقدار بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی این بدان معنی نیست که یک لکه داغ باشد. عارضه‌ای لکه داغ تلقی می‌شود که هم خود عارضه و هم عارضه‌های همسایه‌ی آن از نظر آماری معنادار باشند. امتیاز Z برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی (Localsum) عارضه و همسایه‌ی آن به طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه گردد. آماره‌ی گتیس-ارد جی (Getis-Ord G_i^*) به صورت رابطه‌ی (۱۲) محاسبه می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ علی‌آبادی و داداشی رودباری، ۱۳۹۴):

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - x \sum_{i=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (12)$$

در رابطه‌ی فوق، x_j مقدار خصیصه برای عارضه‌ی j ، $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j و n تعداد کل عارضه‌ها می‌باشد. برای محاسبه‌ی S از رابطه‌ی (۱۳) استفاده می‌شود:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (13) S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (14)$$

با توجه به این که G_i^* خود نوعی نمره‌ی Z محسوب می‌شود، از محاسبه‌ی دوباره Z پرهیز شده است.

نتایج و بحث

جدول ۲ برخی از مشخصات آماری دمای سطح زمین (LST) شهر اراک را طی سه دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد. مطابق این جدول بیشترین میانگین دمای سطح زمین شهر اراک با ۴۵/۷۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۵ رخ داده است. کمینه همین پارامتر با ۴۳/۹۹ درجه

سانتی گراد در سال ۲۰۱۳ اتفاق افتاده است. این در حالی است که بیش ترین تغییرات دمای سطح زمین نیز با مقدار ۱۲/۹۸ درصد به طور مشترک در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ میلادی اتفاق افتاده است. چولگی در هر سه دوره مورد مطالعه، منفی بوده است. چولگی منفی حاکی از آن است که فراوانی رخدادهای دمای بیش تر از میانگین، بیش تر از فراوانی رخدادهای با دما کم تر از میانگین می باشد. به عبارت دیگر فراوانی داده هایی که مقادیرشان بیش تر از میانگین بوده است، بیش تر از فراوانی مقادیری است که کم تر از میانگین بوده اند. در هر سه دوره مورد مطالعه، اختلاف میانه، میانگین و انحراف از میانگین بیانگر آن است که داده ها از توزیع نرمال تبعیت نمی نمایند. بیش ترین پراش یا به عبارتی بیش ترین تغییر دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۵ با مقدار ۳۴/۹۲ اتفاق افتاده است. بیشینه دمایی سطح زمین شهر اراک با ۵۸/۶۹ درجه سانتی گراد در سال ۲۰۱۵ و کمینه دمایی سطح زمین شهر اراک نیز با ۲۷/۵۴ درجه سانتی گراد در سال ۲۰۱۳ اتفاق افتاده است. به طور کلی هر چه به سمت دوره آخر مطالعه حاضر پیش روی نمایم بر مقدار فراسنج دامنه تغییرات دمایی افزوده می گردد که مبین از بین رفتن نظم فضایی دمای سطح زمین و به عبارت دیگر رشد جزایر حرارتی شهری بوده است. استیلای اقلیم قاره ای بر رژیم دمایی ایران (مسعودیان، ۱۳۹۰) نیز خود عاملی دیگر است تا نوسان دمایی سطح زمین برای ماه اوت شهر اراک برای هر سه دوره مورد مطالعه بالای ۲۰ درجه سانتی گراد باشد.

جدول (۲) شاخص های آماری دمای سطح زمین شهر اراک

نوع آماره	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
ضریب تغییرات	۱۲/۹۸	۱۲/۰۸	۱۲/۹۸
میانگین	۴۳/۹۹	۴۵/۵۳	۴۵/۷۵
میانه	۴۴/۲۴	۴۶/۳۲	۴۵/۹۵
انحراف معیار	۵/۷۱	۵/۵۳	۵/۹۱
پراش	۳۲/۶۱	۳۰/۵۴	۳۴/۹۲
مد	۴۹/۴۳	۵۰/۸۷	۳۹/۴۹
چولگی	-۰/۱۰	-۰/۲۳	-۰/۱۴
کشیدگی	-۱/۱۵	-۱/۰۸	-۱/۱۵
دامنه تغییرات	۳۰/۱۱	۲۶/۰۷	۲۶/۴۷
کمینه	۲۷/۴۵	۳۱/۶۲	۳۲/۲۲
بیشینه	۵۷/۶۴	۵۷/۶۹	۵۸/۶۹

(مأخذ: یافته های تحقیق)

ضرایب همبستگی پیرسون نشان داد که مناطق ساخته شده شهری اراک (NDBI) و پوشش گیاهی (NDVI) با دمای سطح زمین شهر اراک (LST) (جدول ۳) رابطه‌ی معنی داری دارند. ولی در مجموع NDVI ارتباط قوی تریبادهای سطح زمین (LST) نشان داده است. همان طور که در این جدول پیداست در مجموع شاخص NDVI اثر منفی و برعکس شاخص NDBI اثر مثبت بر روی LST داشته اند.

جدول (۳) ضریب همبستگی پیرسون بین دمای سطح زمین (LST) و NDVI، NDBI

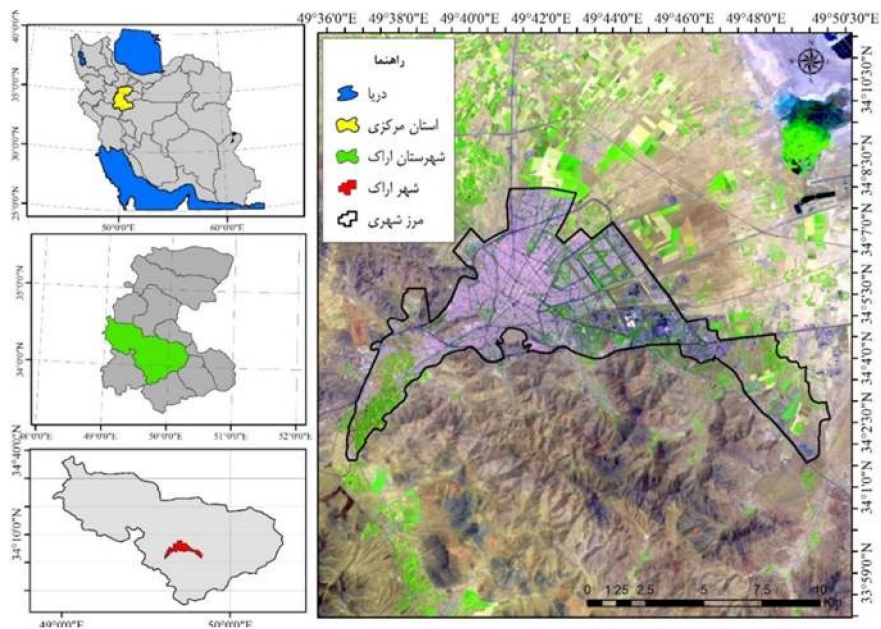
	LST	NDVI	NDBI
LST	۱/۰۰		
NDVI	-۰/۷۵**	۱/۰۰	
NDBI	۰/۶۴**	۰/۶۱*	۱/۰۰

* همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۵ درصد (مأخذ: یافته های تحقیق)

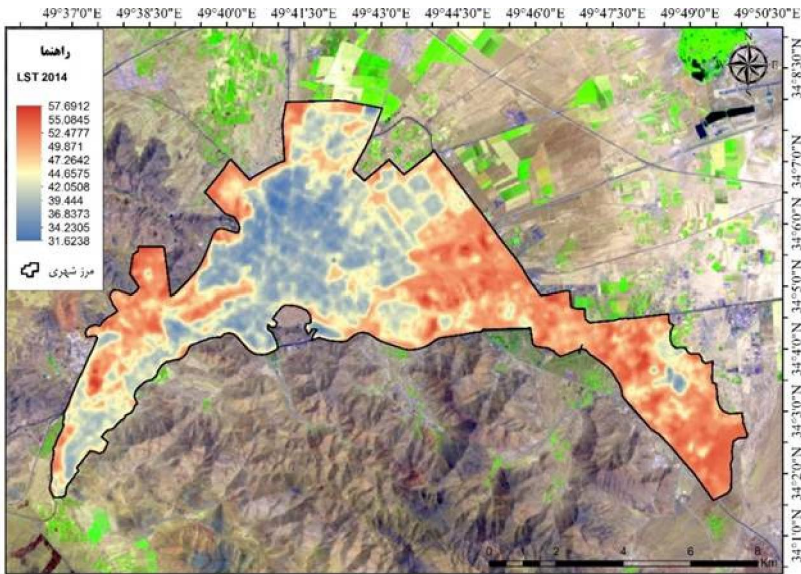
** همبستگی معنادار در سطح ۰/۰۱ درصد

مقایسه دماهای محاسبه شده برای ماه اوت سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ که در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده شده اند نشان از افزایش در دمای سطح زمین برای مقدار کمینه و بیشینه بوده است، به طوریکه کمینه دمایی برای سال آغازین و پایانی پژوهش حاضر یک تفاوت ۴/۶۸ درجه سانتی گراد را نشان داده است. مقایسه حاضر برای دمای بیشینه نشان از یک تفاوت کم تر نسبت به مقدار کمینه بوده، به طوری که اختلاف دمایی به دست آمده ۱/۰۳ درجه سلسیوس است. در هر سال مورد مطالعه کمینه های دمایی که در شکل (۲) به رنگ آبی مشخص شده اند عمدتاً در مناطق مرکزی شهر اراک یعنی درست درجایی که بیش ترین پارکها و فضای سبز شهری قرار گرفته اند متمرکز شده اند. مقایسه مناطق دمایی سرد (پایین) و گرم (بالا) عمدتاً بیش ترین همپوشانی را با پوشش گیاهی دارند. همان طور که در شکل (۲) نیز نشان داده شده است، مناطق قرمز رنگ محدوده های دمایی بسیار گرم شهر اراک را نشان می دهند. این مناطق اغلب دارای کاربری غیرمسکونی اند و همچنین در مناطق در مسکونی منطبق بر بافت فرسوده و متراکم شهری اند. بازتاب سطوح روکش شده آسفالت و خطوط حمل نقل شهری نیز بازتابی متفاوت از دیگر نقاط شهری دارند. این نوع از مناطق را می توانیم با عنوان جزایر حرارتی شهری خطی یاد کنیم. از سوی دیگر وجود پارکها، باغها و خانه های ویلایی که عمدتاً دارای پوشش گیاهی درختی و درختچه ای هستند باعث ایجاد جزایر حرارتی

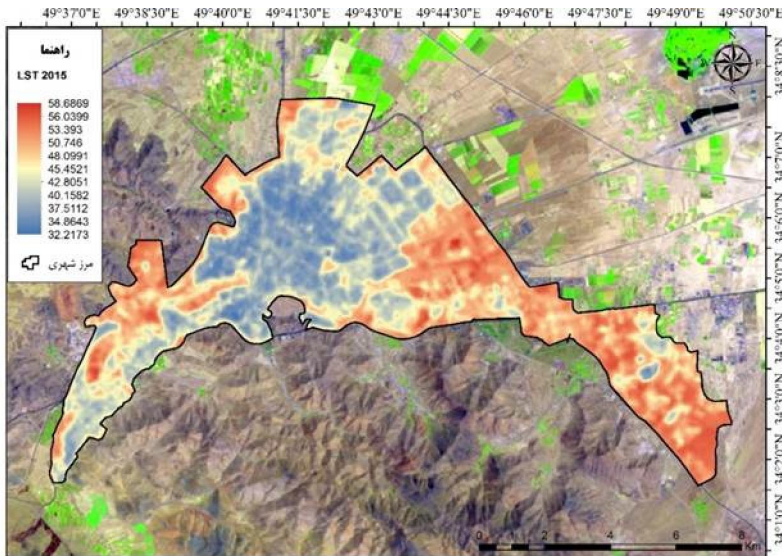
سرد در سطح شهر شده‌اند. این مناطق شرایط دوگانه‌ای (قرارگیری جزایر حرارتی سرد و گرم در کنار هم) را در جای‌جای شهر اراک به وجود آورده‌اند. سطوح شهری با دمای بالا، غالباً متوجه نواحی صنعتی و زمین‌های بایر دارای فضای باز، فرودگاه، پمپ‌های بنزین و گاز و بزرگراه‌های دارای ترافیک بالا می‌باشد.



شکل (۲) دمای سطح زمین طبقه‌بندی شده شهر اراک سال ۲۰۱۳ میلادی
(مأخذ: یافته‌های تحقیق)



شکل (۳) دمای سطح زمین طبقه‌بندی‌شده شهر اراک سال ۲۰۱۴ میلادی (مأخذ: یافته‌های تحقیق)



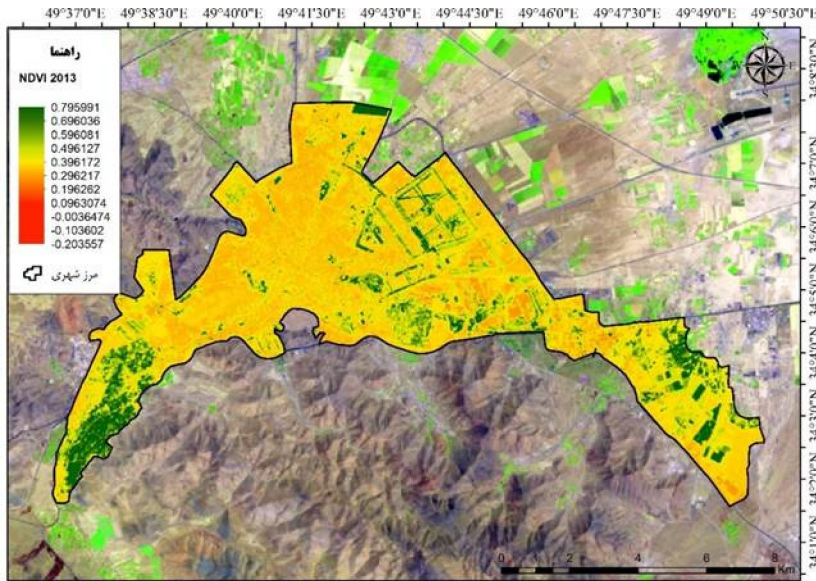
شکل (۴) دمای سطح زمین طبقه‌بندی‌شده شهر اراک سال ۲۰۱۵ میلادی (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

نتایج حاصل از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال (NDVI) برای شهر اراک در سه دوره مطالعه در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است. همان طور که در شکل‌های مربوطه نیز مشخص می‌باشد بر وسعت مناطق با پوشش گیاهی قوی در طول دوره مورد مطالعه کاسته شده است، به طوری که مناطق با مقدار عددی $0/5$ به بالا در سال 2013 میلادی $9/78$ درصد، در سال 2014 میلادی $8/88$ درصد و نهایتاً در سال 2015 میلادی به $6/97$ درصد رسیده است. مقایسه LST و NDVI نشان می‌دهد که وضعیت پوشش گیاهی در شهر اراک به گونه‌ای است که میزان NDVI از $0/79+$ تا $0/05-$ متغیر می‌باشد. اکثر مناطقی که میزان NDVI آن‌ها $0/79+$ یا نزدیک به $0/79+$ می‌باشد، مربوط به فضای سبز شهری متراکم و سالم می‌باشد که تأثیری بسزایی در میزان LST دارند. با کاهش میزان NDVI به سمت $0/05-$ پوشش گیاهی ضعیف‌تر می‌شود. با توجه به رابطه بین LST و NDVI، می‌توان پی برد که این رابطه از یک تابع نرمال که دارای چولگی شدید است پیروی می‌نماید. بر این اساس یک رابطه غیرخطی بین NDVI و LST در شهر اراک وجود دارد که با کاهش مقدار عددی شاخص NDVI، افزایش شدید دما یا LST را در پی دارد. لذا شکل‌های ۵ تا ۷ به روشنی نشان داده‌اند که بیشینه دما مربوط به مناطقی است که پوشش گیاهی ضعیف یا میزان NDVI، $0/05-$ یا در مجاورت $0/05-$ می‌باشد.

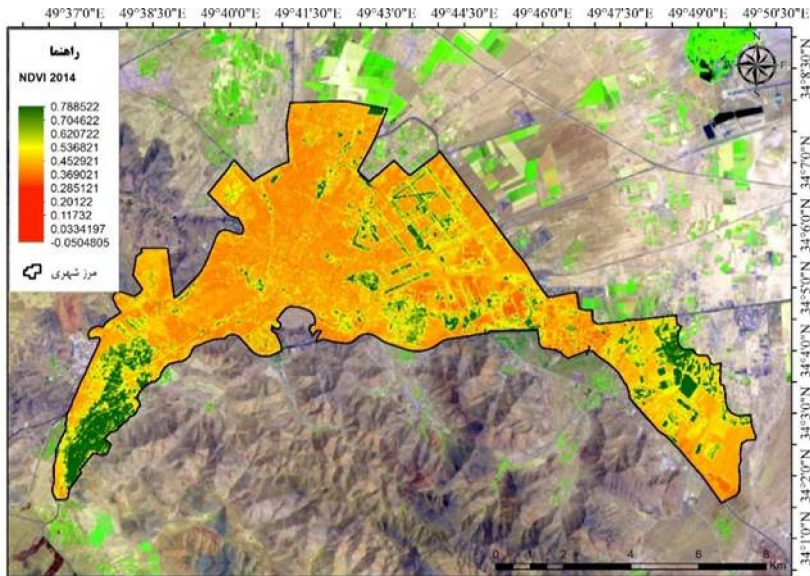
اگر شاخص NDVI ارائه شده در شکل‌های ۵ تا ۷ را به سه بازه $0/05-$ تا $0/05+$ و $0/5$ تا $0/79$ تقسیم‌بندی نمائیم در هر بازه، از لحاظ دمایی مناطق خاصی قرار دارند. در بازه $0/05-$ تا 0 وضعیت دمایی از 47 درجه تا 58 درجه متغیر می‌باشد که این بازه بیش تر دربرگیرنده معابر درون شهری، مناطق مسکونی فرسوده و سقف‌های سوله‌های می‌باشد.

در بازه 0 تا $0/5$ از محور NDVI، میانگین دما از بازه 38 تا 47 درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. با بررسی وضعیت دمایی و مقدار شاخص NDVI، مناطق دربرگیرنده این بازه مناطق مسکونی تازه ساخت همراه با پوشش گیاهی مناسب و همچنین فضاهای سبز مناطق مورد مطالعه هستند. از دلایل مهم این اتفاق، جابه جایی دمایی هوای سرد بیرون با هوای گرم داخل منطقه مطالعاتی می‌باشد. برخی از حواشی زمین‌های کشاورزی نیز جزوه این محدوده دمایی می‌باشند که علت آن دمای پایین زمین‌های کشاورزی می‌باشد. در بازه $0/5$ تا $0/79$ از محدوده مشخص شده شاخص NDVI، نواحی نزدیک به زمین‌های کشاورزی، باغات و نواحی سبز شهری متراکم قرار دارند، که بازه دمایی آنها کم تر از 38 درجه سانتی‌گراد است. همچنین نواحی

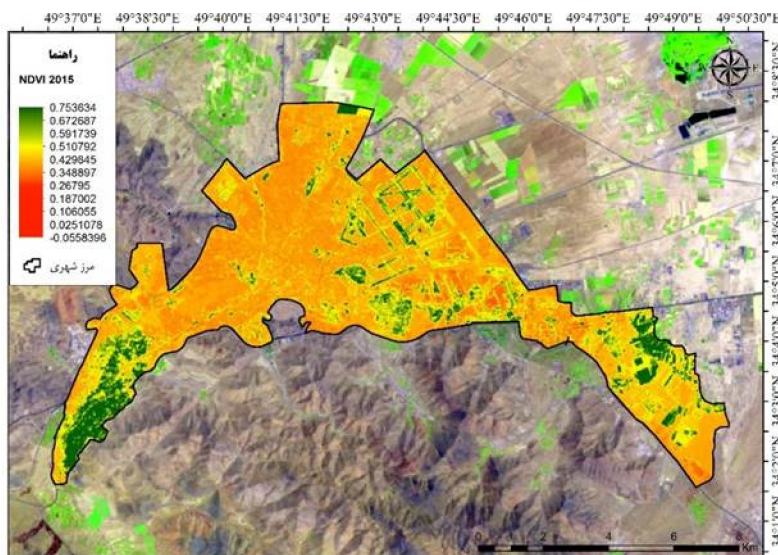
پایکوهی منطقه، برخی نواحی صنعتی و زمین‌های بایر شمال شرق منطقه در این محدوده قرار دارند.



شکل (۵) میزان NDVI محاسبه شده برای سال ۲۰۱۳ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)



شکل (۶) میزان NDVI محاسبه شده برای سال ۲۰۱۴ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)



شکل (۷) میزان NDVI محاسبه شده برای سال ۲۰۱۵ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)

خودهمبستگی فضایی دمای سطح زمین شهر اراک

جهت ارزیابی مقادیر خودهمبستگی فضایی داده‌های دمای سطح زمین اراک با مقیاس مکانی ۳۰ متر از روش موران جهانی استفاده شده است. خروجی‌های تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، بصورت دو نوع عددی و گرافیکی در شکل (۸) و جدول (۴) ارائه شده است. خروجی گرافیکی، پراکنده و یا خوشه‌ای بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. در موران جهانی فرضیه صفر این گونه بیان می‌گردد که هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر عنصر مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد. حال زمانی که مقدار p -value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده (قدر مطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد)، آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد.

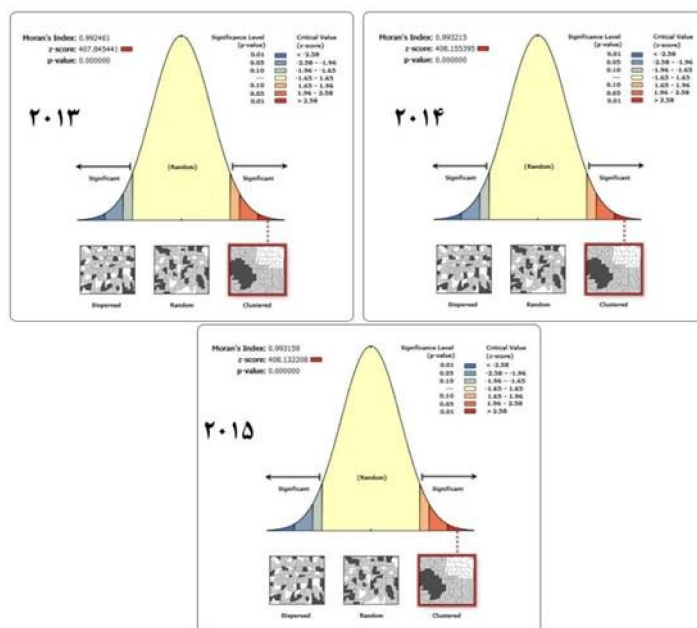
جدول (۴) مقادیر خودهمبستگی فضایی موران جهانی را برای دمای سطح زمین اراک نشان می‌دهد. مبتنی بر برون داده‌های جدول حاضر، مقدار شاخص جهانی موران برای هر سه دوره مورد مطالعه بالای ۰/۹۹ می‌باشد. بالاترین شاخص جهانی موران با مقدار ۰/۹۹۳۱۵۹ مربوط به سال ۲۰۱۵ میلادی بوده است. آماره Z برای سه دوره مورد مطالعه، بالا و بین ۴۰۷ تا ۴۰۸ می‌باشد. اگر قرار بود دمای سطح زمین برای دوره‌های مورد مطالعه در شهر اراک به طور نرمال در فضا توزیع شده باشد، شاخص جهانی موران مقدار ۰/۰۰۰۰۱۲- را اختیار می‌نمود.

دمای سطح زمین اراک در تمام سال‌های مورد مطالعه دارای خودهمبستگی فضایی معنی‌دار مثبت است. ارزیابی توأمان مقادیر به دست آمده با آستانه معنی‌دار نشان داد که تمامی مقادیر بدست آمده برای سال‌های مورد مطالعه در سطح $\alpha = 0.01$ معنی‌دار هستند. حال با مبنا قرار دادن شالوده حاضر که از نتایج موران جهانی به دست آمده است می‌توان فرضیه H_0 مبنی بر عدم ارتباط فضایی دمای سطح زمین اراک رد کرد، پس نتیجه می‌گیریم که داده‌های دمای سطح زمین اراک دارای ساختار فضایی بوده یا به عبارتی دمای سطح زمین اراک دارای الگوی ساخت یافته است و به شکل خوشه‌ای توزیع شده است، یعنی یاخته‌هایی دمایی بالا و پایین تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا دارند.

جدول (۴) خروجی آماره‌های موران برای دمای سطح زمین شهر اراک

موران جهانی ("Moran's I")					
p-value	Z-score	واریانس	شاخص موران مورد انتظار	شاخص موران	سال
.	۴۰۷/۸۴۵۴۴۱	۰/۰۰۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۹۹۲۴۶۱	۲۰۱۳
.	۴۰۸/۱۵۵۳۹۵	۰/۰۰۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۹۹۳۲۱۵	۲۰۱۴
.	۴۰۸/۱۳۲۲۰۸	۰/۰۰۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۹۹۳۱۵۹	۲۰۱۵

(مأخذ: یافته‌های تحقیق)



شکل (۸) خروجی گرافیکی آماره موران جهانی برای دمای سطح زمین شهر اراک ("Moran's I") (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

با توجه به آنچه تاکنون گفته شد، آن دسته از نواحی شهر اراک که دمای سطح زمین آنها دارای خودهمبستگی فضایی مثبت (جزایر حرارتی گرم) و منفی (جزایر حرارتی سرد) بودند مشخص گردید، اما به منظور حصول اطمینان از مناطق دارای خوشه‌های بارزش بالا و پایین از شاخص GI^* یا $HotSpot$ استفاده شده است که نتایج آن در شکل‌های ۹ و ۱۱ و جدول ۵ ارائه گردیده است. آماره GI^* که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی نمره Z است. برای آن دسته از نمرات Z که مثبت و از نظر آماری معنی‌دار هستند، هر چه امتیاز Z بزرگتر باشد، مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده را جزایر حرارتی گرم تشکیل می‌دهند. برای آن دسته از نمرات Z که منفی و از نظر آماری معنادار هستند، هر چه نمره Z کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین خواهد بود و اینها در حقیقت جزایر حرارتی سرد را نشان می‌دهند.

همان‌طور که در جدول ۵ نیز ارائه شده است، جزایر دمایی سرد با احتمال ۹۹ درصد به ترتیب از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ میلادی ۱۶/۲۵، ۱۵/۸۹ و ۱۶/۶۱ درصد از کل سطح شهر اراک را به خود اختصاص داده‌اند. برای جزایر دمایی گرم نیز در سطح احتمال ۹۹ درصد به ترتیب مقادیر

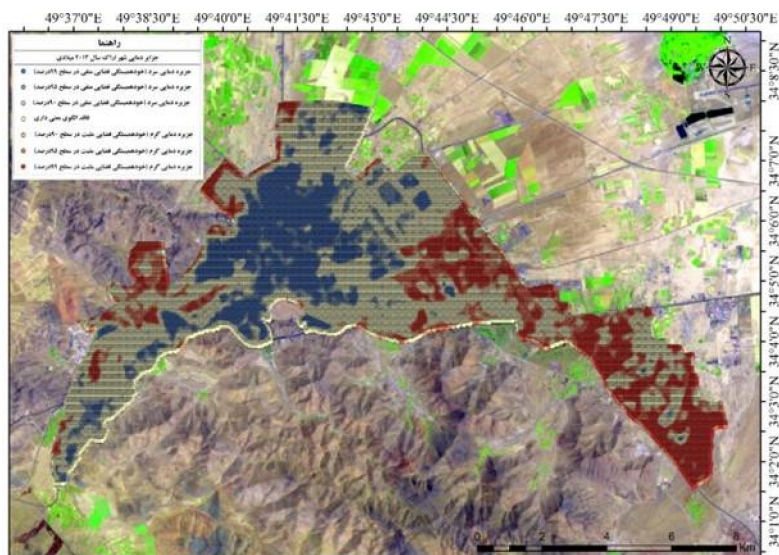
۱۳/۴۴، ۱۲/۴۸ و ۱۳/۰۵ درصد محاسبه گردید. در مجموع مناطقی با جزایر حرارتی سرد در هر سه سطح احتمال ۰/۹۰، ۰/۹۵ و ۰/۹۹ که به رنگ آبی در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان داده شده است برای سال ۲۰۱۳ میلادی ۲۸/۷۰، برای سال ۲۰۱۴ میلادی ۲۸/۰۱ و برای سال ۲۰۱۵ میلادی ۲۸/۲۳ درصد از کل فضای شهر اراک را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین جزایر حرارتی گرم نیز در هر سطح احتمال مورد بررسی به ترتیب؛ ۲۹/۹۶، ۳۰/۲۴ و ۳۰/۰۸ درصد از مساحت شهر را به خود اختصاص داده‌اند.

مناطقى که فاقد الگوی خودهمبستگی فضایی معنی‌دار بوده‌اند نیز برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه شده است. این مناطق قبل از آنکه دلیل آماری داشته باشند، تبیین‌گر ساختار شهری در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری هستند. چراکه نشان‌دهنده تغییرات بالای دمای سطح زمین دریا خته‌ها و تباین بالای آن در سطح شهر اراک می‌باشند. به عبارت دیگر تابع حاضر تنها آن دسته از جزایر حرارتی شهری را آشکار ساخته است که بیش‌ترین تمایل به متمرکز شدن و خوشه شدن در فضا را دارند.

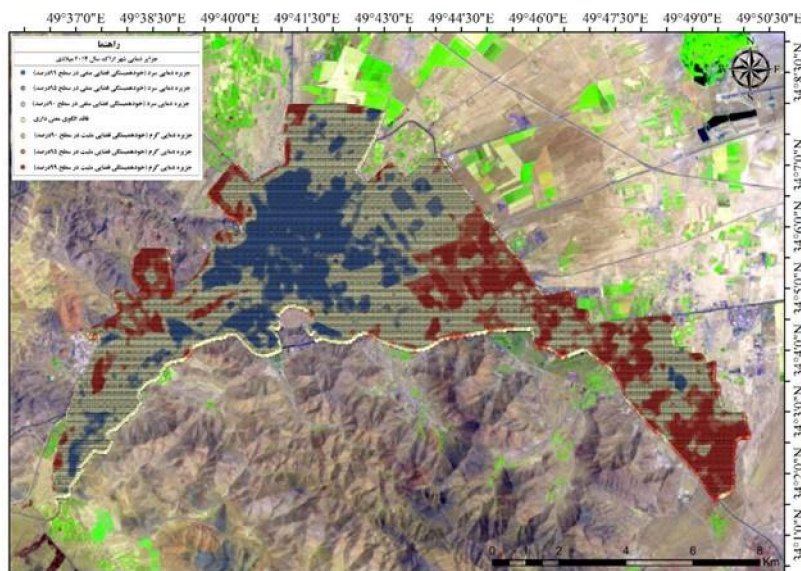
جدول (۵) درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص GI^* یا $HotSpot$

نوع الگوی جزایر حرارتی شهر اراک	بازه آماری	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵
جزیره دمایی سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد)	$> -۲/۵۸$	۱۶/۲۵	۱۵/۸۹	۱۶/۶۱
جزیره دمایی سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۵ درصد)	$-۲/۵۸$ تا $-۱/۹۶$	۸/۱۳	۷/۹۴	۷/۴۶
جزیره دمایی سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۰ درصد)	$-۱/۶۵$ تا $-۱/۹۶$	۴/۳۲	۴/۱۸	۴/۱۶
% فاقد الگوی معنی‌داری	$۱/۶۵$ تا $-۱/۶۵$	۴۱/۳۴	۴۱/۷۵	۴۱/۶۹
جزیره دمایی گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۰ درصد)	$۱/۶۵$ تا $۱/۹۶$	۵/۵۶	۵/۶۲	۵/۵۵
جزیره دمایی گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۵ درصد)	$۲/۵۸$ تا $۱/۹۶$	۱۰/۹۶	۱۲/۱۴	۱۱/۴۸
جزیره دمایی گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد)	$> ۲/۵۸$	۱۳/۴۴	۱۲/۴۸	۱۳/۰۵

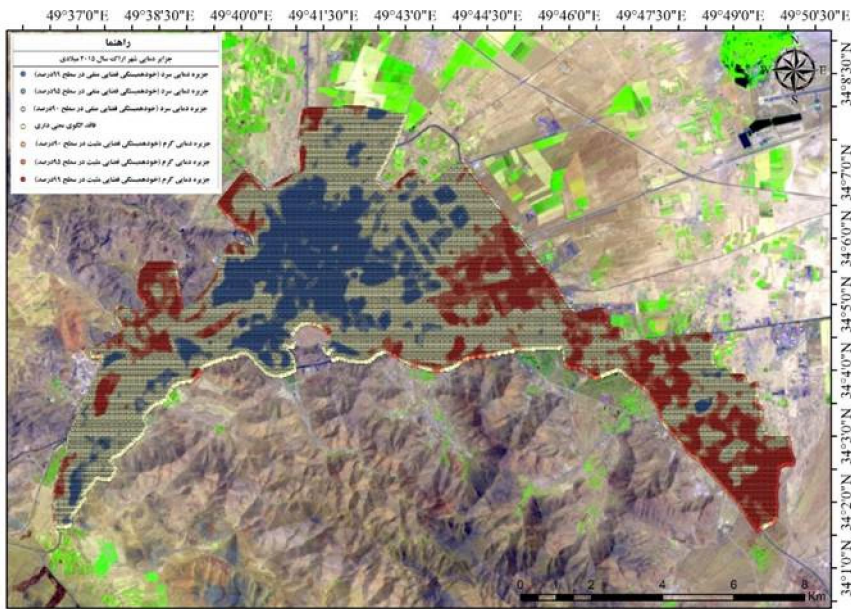
(مأخذ: یافته‌های تحقیق)



شکل (۹) جزایر حرارتی استخراج شده شهر اراک با استفاده از شاخص GI^* برای سال ۲۰۱۳ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)



شکل (۱۰) جزایر حرارتی استخراج شده شهر اراک با استفاده از شاخص GI^* برای سال ۲۰۱۴ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)



شکل (۱۱) جزایر حرارتی استخراج شده شهر اراک با استفاده از شاخص GI^* برای سال ۲۰۱۵ میلادی (مأخذ: یافته های تحقیق)

نتیجه گیری

جزایر حرارتی شهری برای انواع وسیعی از مطالعات علمی از آب و هواشناسی تا هواشناسی، هیدرولوژی، بوم‌شناسی، زمین‌شناسی، علوم پزشکی، طراحی شبکه حمل‌ونقل و مسکن و همچنین طیف وسیعی از مطالعات محیطی، مهندسی و انسانی ضروری است. این مطالعه، با رویکرد پردازش تصویر با استفاده از شاخص تحلیل لکه‌های داغ (HOT SPOT) باهدف مطالعه شکل‌گیری و خوشه‌ای شدن جزایر حرارتی شهری اراک انجام شده است. به این منظور تصاویر حسگرهای *OLI* و *TIRS* ماهواره لندست ۸ برای ماه اوت سه سال ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ از پایگاه علوم زمین ایالات متحده آمریکا (USGS) اخذ گردیده و دمای سطح زمین (LST) هر یک از تصاویر اخذ شده برای محدوده شهر اراک محاسبه گردید. در گام بعدی برای ارزیابی عوامل مؤثر در شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری اراک دو شاخص NDVI و NDBI محاسبه شده و سپس نتایج آنان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بوده که شاخص NDVI به میزان همبسته‌اند، به طو قابل توجهی ری که با LST شاخص NDVI اثر منفی و برعکس آن شاخص NDBI اثر مثبت بر روی LST داشته اند. به عبارت دیگر پوشش گیاهی

مناسب موجب تعدیل هوا و کاهش اثرات جزایر حرارتی شهر اراک شده و برعکس مناطق ساخته شده شهری موجب تشدید پدیده جزایر شهری شده است. نتایج ارزیابی تفصیلی پژوهش حاضر منجر به شناسایی دو نوع جزیره حرارتی شهری گردید: ۱- جزیره حرارتی کانونی و ۲- جزیره حرارتی خطی. نوع اول جزایر حرارتی غالباً مناطقی با کاربری غیرمسکونی اند و همچنین در مناطق مسکونی منطبق بر بافت فرسوده و متراکم شهری اند؛ و نوع دوم بازتاب سطوح روکش شده آسفالت و خطوط حمل نقل شهری اند. نتایج خودهمبستگی فضایی موران جهانی به دست آمده نشان از رد فرضیه عدم ارتباط فضایی دمای سطح زمین اراک (H_0) بوده که نشان داده است داده‌های دمای سطح زمین اراک دارای ساختار فضایی بوده یا عبارتی دمای سطح زمین اراک به شکل خوشه‌ای توزیع شده است؛ یعنی یاخته‌هایی دمایی بالا و پایین تمایل به متمرکز شدن یا خوشه‌ای شدن در فضا دارند. در نهایت به منظور آشکارسازی جزایر حرارتی شهری از تابع تحلیل فضایی GI^* استفاده شد که بر این اساس از کل مساحت شهر اراک در سه دوره مورد بررسی، جزایر حرارتی سرد برای سال ۲۰۱۳ میلادی ۲۸/۷۰، برای سال ۲۰۱۴ میلادی ۲۸/۰۱ و برای سال ۲۰۱۵ میلادی ۲۸/۲۳ درصد از کل فضای شهر اراک را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین جزایر حرارتی گرم به ترتیب آنچه پیش‌تر برای جزایر حرارتی سرد عنوان گردید ۲۹/۹۶، ۳۰/۲۴ و ۳۰/۰۸ درصد از مساحت شهر اراک را به خود اختصاص داده‌اند.

منابع و مآخذ:

۱. احمدی، م؛ عاشور لو، د؛ نارنگی فرد، م ۱۳۹۱. تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM&ETM⁺، سنجش‌ازدور و GIS ایران، سال چهارم، شماره چهارم، ۵۵-۶۸.
۲. احمدی، م؛ عاشور لو، د؛ نارنگی فرد، م. ۱۳۹۴. تحلیل دمای شهر شیراز در فصول گرم و سرد با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۲، ۱۴۷-۱۶۰.
۳. انتظاری، ع؛ داداشی رودباری، ع؛ اسدی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی خودهمبستگی فضایی تغییرات زمانی- مکانی جزایر دمایی در خراسان رضوی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۴، شماره ۱۶.
۴. شکیب، ع؛ ضیائیان فیروزآبادی، پ؛ عاشور لو، د؛ نامداری، س. ۱۳۸۸. تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM⁺، سنجش‌ازدور و GIS ایران، سال اول، شمار اول، ۳۹-۵۶.
۵. صادقی نیا، ع؛ علیجانی، ب؛ ضیائیان فیروزآبادی، پ. ۱۳۹۲. کاربرد تکنیک خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۳۰، ۶۷-۹۰.
۶. علی‌آبادی، ک؛ داداشی رودباری، ع. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه‌ی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۶، شماره ۲۱، ۸۶-۱۰۴.
۷. فلاح قاهره‌ی، غ؛ اسدی، م؛ داداشی رودباری، ع. ۱۳۹۴. تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، ۶۳۷-۶۵۰.
۸. کرمی، م؛ داداشی رودباری، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی الگوهای بارشی استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های نوین آمار فضایی، مجله علمی ترویجی سامانه و سطوح آبرگیر باران، جلد ۴، شماره ۳، ۶۱-۷۲.
۹. مسعودیان، ا. ۱۳۹۰. آب‌وهوای ایران، انتشارات شریعی توس مشهد، چاپ اول، مشهد.
۱۰. معروف نژاد، ع. ۱۳۹۰، تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر اهواز)، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۴ (۴)، ۶۵-۹۰، دانشگاه آزاد اسلامی ملایر

۱۱. ملک حسینی، ع. ملکی، ع. ۱۳۸۹. اثرات اقلیم بر معماری سنتی و مدرن شهر اراک، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۱ (۳)، ۱۳۳-۱۵۵، دانشگاه آزاد اسلامی ملایر
12. Atzberger, C. 2013. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, 5(2), 949-981.
13. Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., Helder, D. L., Hook, S. J., Markham, B. L., et al. 2003. Landsat TM and ETM+ thermal band calibration. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2), 141-153.
14. Chander, G., & Groeneveld, D. P. 2009. Intra-annual NDVI validation of the Landsat 5 TM radiometric calibration. *International Journal of Remote Sensing*, 30(6), 1621-1628.
15. Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), 133-146.
16. Dai, X., Guo, Z., Zhang, L., & Li, D. 2010. Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2), 247-257.
17. Griffith, D., 1987, *spatial Autocorrelation: A Primer*. Resource Publication in Geography, Association of American geographers.
18. Grimm, N. B., Grove, J. G., Pickett, S. T., & Redman, C. L. 2000. Integrated Approaches to Long-Term Studies of Urban Ecological Systems Urban ecological systems present multiple challenges to ecologists—pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and theory. *BioScience*, 50(7), 571-584.
19. Karami, M., Dadashi Roudbari, A., Asadi, M., 2016. Investigating the spatial variation of heat Islands of Tehran - published at: *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, Volume 6, Issue 2.
20. Landsberg, H. E. 1981. *The urban climate* (Vol. 28). Academic press.
21. Li, J. J., Wang, X. R., Wang, X. J., Ma, W. C., & Zhang, H. 2009. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of

- the Shanghai metropolitan area, China. *Ecological Complexity*, 6(4), 413-420.
22. Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249-3263.
 23. Lo, C. P., Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. 1997. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 287-304.
 24. Masek, J. G., Lindsay, F. E., & Goward, S. N. 2000. Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area, 1973-1996, from Landsat observations. *International Journal of Remote Sensing*, 21(18), 3473-3486.
 25. Oke, T. R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
 26. Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
 27. Song, Y., & Wu, C. 2016. Examining the impact of urban biophysical composition and neighboring environment on surface urban heat island effect. *Advances in Space Research*, 57(1), 96-109.
 28. Streutker, D. R. 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2595-2608.
 29. Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., & Chen, H. 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75-84.
 30. Weng, Q. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 69(5), 555-566.
 - Yuan, F., & Bauer, M. E. 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375-386