



مریم خسرویان^{۱*}
یعقوب زنگنه^۲
رحمان زندی^۳
مختار، کریمی^۴

پایش فرم فضایی جزایر حرارتی در شهر شیراز با استفاده از تصاویر چند طیفی

چکیده

دمای سطح زمین یکی از معیارهای مهم در برنامه ریزی ناحیه ای منطقه ای می باشد. امروزه افزایش درجه حرارت برخی از مناطق پرجمعیت شهری در مقایسه با محدوده روستایی اطراف، پدیده ای تحت عنوان جزیره ی گرمایی شهری را به وجود آورده و موجب بروز مشکلات فروانی شده است. جزیره حرارتی شهری، سطحی از شهر است که به میزان قابل توجهی از مناطق روستایی اطراف گرم تر است. بدین منظور، ابتدا ۸ تصویر ماهواره ای دوره گرم سال شهر شیراز، طی بازه ی زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده های سنجنده های (TM) لندست های ۴ و ۵، (ETM+) لندست ۷، (OLI/TIRS) لندست ۸ جمع آوری و استخراج گردید. بعد از پیش پردازش های لازم، شاخص های تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، دمای سطح زمین (LST) و شاخص پراکندگی عرصه حرارتی شهر با ارزیابی اکولوژیکی (UTFVI) محاسبه گردید. براساس نتایج حاصل از پردازش تصاویر، مکان های دارای جزایر حرارتی، چگونگی تغییرات دمایی شهر، ارتباط بین تغییرات دمای سطح زمین با پوشش سطحی بررسی و تحلیل گردید تا جزایر حرارتی شهری شیراز شناسایی و تحلیل شوند. تغییرات مقیاس زمانی الگوهای دمایی شیراز نشان داد که از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ حدود ۱۲/۷۶ کیلومترمربع بر مساحت طبقه ی چهارم دمایی افزوده شده است. نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص NDVI طی بازه زمانی مورد مطالعه مساحت پوشش گیاهی به دلیل تغییر کاربری های شهری از ۲۲/۲۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۵ به ۱۷/۵۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ تقلیل یافته است که این مسأله می تواند دلیل بر شکل گیر و افزایش جزایر حرارتی در نواحی مذکور باشد. شاخص UTFVI نشان داد که خیلی خیلی بد (طبقه دمای بسیار گرم) عمدتاً در قسمت های غربی شیراز از شمال غرب تا جنوب غرب (شامل بخش هایی از منطقه ۹ و ۱۰)، نواحی جنوب شرقی منطقه ۷ و نواحی شمالی منطقه ۱ متمرکز شده است.

کلمات کلیدی: تصاویر ماهواره ای، جزایر حرارتی شهری، شاخص های، LST، NDVI و UTFVI، شیراز

m.khosravian69@gmail.com

* محقق پسا دکتری آب و هواشناسی-تغییرات آب و هوایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

y.z1345@gmail.com

^۲ دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

rahmanzandi@gmail.com

^۳ دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

M.karami8@yahoo.co.uk

^۴ دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

مقدمه

شهرنشینی یکی از ویژگی های مهم توسعه ی اقتصادی و اجتماعی است (liu and li, 2017). گسترش روزافزون محیط های شهری و روند صنعتی شدن و مهاجرت جمعیت روستایی به نواحی شهری باعث افزایش جمعیت و نیز توسعه پراکنده در شهرها شده است (Senanyak et al., 2012). امروزه با توسعه ی شهرنشینی مساحت بسیار زیادی از مناطق طبیعی از جمله کشاورزی، فضای سبز و غیره جای خود را به مناطق شهری، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت ها داده اند (Maekey et al., 2012). طی دهه های گذشته سطح زمین دستخوش تغییرات فراوانی ناشی از فعالیت های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی و توسعه ی شهرها شده است (Owen, 1998; liu and Zhany., 2011). این تغییرات گسترده انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی همچون افت کیفی محیط زیستی را به همراه دارد که سرانجام به کاهش کیفیت زندگی منجر می شود (Fan et al., 2008; wu, 2014; Chany et al., 1996). گرمایش شهری یکی از شناخته شده ترین اشکال دست کاری محلی اقلیم به دست بشر است (Streutker, 2003). دمای سطح زمین (LST)^۵ یکی از پارامترهای کلیدی برای کنترل و ارزیابی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی سطح زمین و یک عامل مهم برای مطالعه آب و هوای در مناطق شهری محسوب می شود (Jalalzadeh et al., 2008; Miryaghoobzadeh and Ghorbanpur, 2009; Maekey et al 2012).

در طول دو دهه اخیر نیاز فراوان به اطلاعات دمای سطح زمین برای مطالعات محیطی و فعالیت های مدیریتی منابع زمین، سنجش از دور دمای سطح زمین را به یکی از موضوعات مهم علمی تبدیل کرده است (Jimen et al., 2003; Rajasekar and Weng, 2009; liu and Zhang, 2011).

تصاویر سنجش از دور منبع اطلاعاتی مناسبی برای تهیه نقشه های حرارتی به شمار آمده و کاربردهای بسیاری برای بررسی دقیق تغییرات اقلیم، جزیره حرارتی و کاربری اراضی مناطق شهری و غیر شهری دارند (Jimenez et al., 2003-2010, Voogt and oke, 2003; Weng et al., 2004).

نخستین مطالعاتی که کوشیدند با استفاده از داده های مادون قرمز حرارتی وضعیت حرارتی شهری را مطالعه کنند از داده های سنجنده NOAA AVHRR استفاده کردند (Balling et al., 1988; Gallo et al., 1999; Gallo et al., 1993; Streutker, 2002; Guo et al., 2015; Weng and Yuan and Bauer, 2007).

با استفاده از داده های مادون قرمز حرارتی ماهواره های لندست و استر امکان استخراج درجه حرارت سطح زمین و دمای سطح مناطق شهری فراهم شده است (Li et al., 2012; Chen et al., 2006; Aniello et al., 1995; Hashemi et al., 2016).

از تصاویر حرارتی بطور گسترده برای استخراج LST و بررسی جزیره حرارتی شهری مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعات بیشتر بر روی رابطه بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی مانند NDVI، مورد استفاده قرار گرفته است (Kustas et al., 2003; Sobrino et al., 2008).

⁵ Land Surface Temperature

یکی از آثار ناخواسته و منفی توسعه شهری، افزایش دمای محیط زیست شهری است (Xiao, 2007). توسعه شهرنشینی و فعالیت‌های صنعتی در شهرهای بزرگ منجر به تغییرات وسیعی در مشخصات فیزیکی سطح زمین، انرژی گرمایی آزاد شده، تغییرات دما و سایر پارامترهای هواشناسی می‌شود و جزیره گرمایی شهری را ایجاد می‌کند (Lilly and Deradas, 2009; Wong et al., 2001). تفاوت دمای هوا در داخل شهر در مقایسه با مناطق حومه و روستاهای اطراف شهر، به عنوان جزایر حرارتی شهری (UHI)⁶ شناخته می‌شود (Oke, 1982; Mackey et al., 2012; Grigoras and Uritescu, 2018).

علت اصلی اثر جزیره گرمایی شهری، ایجاد تغییرات سطح زمین است (Solecki et al., 2005, United States Environmental Protection Agency, 2008). تغییراتی مانند جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با عوارض شهری همچون سنگفرش، ساختمان و سایر ساخت و سازهای شهری است که اثرات خنک‌کنندگی سطح را از بین می‌برد (Zhu et al., 2010; Voogt, 2004; Schwarz et al., 2012; Chandler, 1970). شکل و اندازه جزیره حرارتی شهری که حاصل ویژگی‌های هواشناختی محلی و شهری است، در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متفاوت است (Voogt, 2004) و به همین خاطر پایش و رصد این تغییرات در بازه‌ی زمانی ضروری می‌نماید (Arkhi et al., 2011). محاسبه‌ی جزایر حرارتی شهری و بررسی روند تغییرات آن مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است که در اینجا به برخی از پژوهش‌های پیشین در زمینه جزایر حرارتی با استفاده از فناوری سنجش از دور به کارگیری تکنیک‌ها و سنجنده‌ها پرداخته می‌شود:

Lin and Yuanzhi (2011) تحلیل کردند که همبستگی منفی میان LST و NDVI، و همبستگی مثبت بین LST و NDBI وجود دارد. در تحقیقات (Xiao et al, 2014)، نیز نشان داده شد که شدت جزایر حرارتی در مناطق با سرعت شهرنشینی بالا بسیار بیشتر از سایر مناطق بوده است.

weng et al, 2004; Amiri et al, 2009; Buyantuyev & Wu, 2010; Rajeshwari & Mani, 2014; Fei wu et al, 2007; Shahmohamadi et al, 2010; Manik & Syaukat, 2015; Jacobz et al, 2014; Yu et al, 2014; Hardy et al, 2015; Wanga et al, 2015; Rotem-Mindali et al, 2015; Heint et al, 2015; Deng & Wu, 2013; Pena, 2009; Maloley, 2010; Umar & Kumar, 2014; Senanayake et al, 2013. Ukwattage & Dayawansa, 2012.

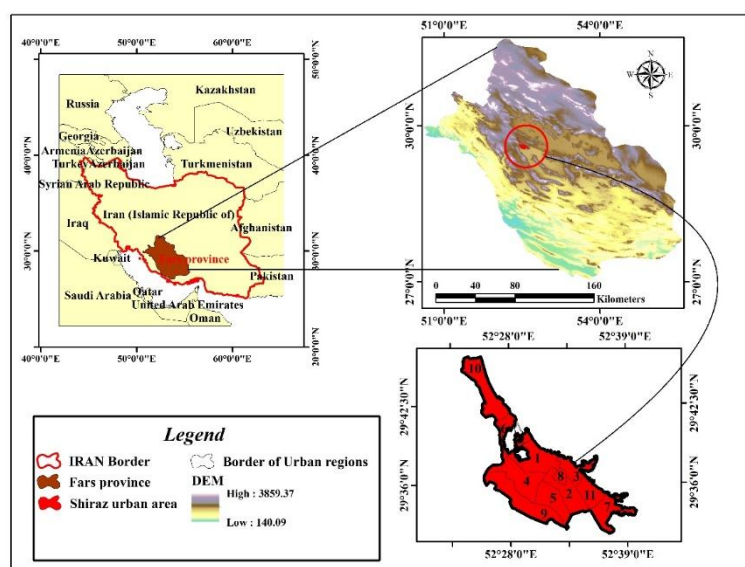
در دهه‌های اخیر در شهر شیراز به دلیل رشد جمعیت و مهاجرت از روستاها به شهرها و سایر عوامل روزبه‌روز بر جمعیت شهری آن افزوده می‌شود که باعث گسترش فیزیکی و به دنبال آن کاربری‌های شهری دستخوش تغییر شده به طوری که فضاهای سبز شهری به وسیله‌ی خیابان‌ها، ساختمان‌ها و جاده‌های آسفالت جایگزین شده و باعث تشدید جزایر حرارتی شهری شده است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین و تأثیر آن بر روی جزیره حرارتی شهری با استفاده از داده‌های حرارتی سنجش از دور می‌باشد.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

⁶ Urban Heat Island

شیراز کلان‌شهری در ایران و مرکز استان فارس در جنوب کشور است. جمعیت شیراز در سال ۱۳۹۵ خورشیدی، بالغ بر ۱۵۶۵۵۷۲ تن بوده که این رقم با احتساب جمعیت ساکن در حومه شهر به ۱۸۶۹۰۰۱ تن می‌رسد. شیراز در بخش مرکزی استان فارس، در ارتفاع ۱۴۸۶ متر از سطح دریا و در منطقه‌ی کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد. این شهر، از سمت غرب به کوه دراک، از سمت شمال به کوه‌های بمو، سبزپوشان، چهل‌مقام و باباکوهی از رشته‌کوه‌های زاگرس محدود شده‌است. شهرداری شیراز به ۱۱ منطقه‌ی مستقل شهری، تقسیم شده و جمعاً مساحتی بالغ بر ۲۴۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود شکل (۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the study area

به منظور بررسی میزان توسعه مکان‌های گرم شهر و مشخص نمودن الگوهای حرارتی شهری، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های لندست ۴، ۵، ۷ و ۸، طی دوره گرم سال در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. نحوه انتخاب تصاویر با توجه به مقیاس توزیع زمانی و عوامل تأثیرگذار بر میزان واضح بودن تصویر مثل اغتشاشات جوی و پوشش ابرهای سطوح مختلف جوی صورت گرفته و کوشش شد تا تصاویری انتخاب شود که هیچگونه عوامل محل ر آن وجود نداشته باشد (جدول ۱). تصاویر و داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌های لندست ۵ (TM)، لندست ۷ (ETM+)، لندست ۸ (OLI/TIRS) دارای باندهای طیفی انعکاسی و باندهای حرارتی هستند (جدول ۲). باندهای حرارتی برای شناسایی دمای سطحی و جزایر حرارتی قابل استفاده بوده و باندهای انعکاسی نیز به منظور اعمال شاخص‌ها برای پردازش تصویر به کار گرفته می‌شود. داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست در باند ۶ و داده‌های سنجنده ETM+ در باند ۸ و داده‌های سنجنده OLI/TIRS در باند ۱۱ مورد استفاده قرار گرفت. از داده‌های باند ۶ حرارتی لندست ۵ و ۷ با طول موج‌های ۱۲/۵-۱۰/۴۰ میکرومتر و باند ۱۰ لندست ۸ با طول موج ۱۰/۶۰ تا ۱۱/۱۹ میکرومتر برای محاسبه الگوهای توزیع دمای سطحی شیراز استفاده شد. باندهای ۳ و ۴ لندست ۵ و ۷ و باندهای ۴

و ۵ لندست ۸ نیز برای محاسبه شاخص NDVI به کار گرفت شدند (NASA, 2014). تصویر پهنه شهر شیراز، مربوط به گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۹ می‌باشند.

جدول ۱- تاریخ های تصویربرداری ماهواره لندست از شهر شیراز

Table1- satellite imagery dates of Landsat from the city of Shiraz

روز	سنجنده	ماهواره	تاریخ برداشت میلادی
191	TM5	لندست ۵	۱۹۸۵/۶/۱۱
234	TM5	لندست ۵	۱۹۹۰/۷/۲۴
216	TM5	لندست ۵	۱۹۹۵/۷/۶
205	ETM+	لندست ۵	۲۰۰۰/۶/۲۵
219	ETM+	لندست ۷	۲۰۰۵/۷/۹
201	ETM+	لندست ۷	۲۰۱۰/۶/۲۱
223	OLI/TIRS	لندست ۸	۲۰۱۵/۷/۱۳
220	OLI/TIRS	لندست ۸	۲۰۲۰/۷/۱۰

جدول ۲- مشخصات توان تفکیک مکانی و رادیومتریک سنجنده های TM، ETM+ و OLI/TIRS

Table2:-specifications of spatial and radiometric resolution of sensors TM, ETM+ و OLI/TIRS

ماهواره / سنجنده	تفکیک رادیومتریک	تفکیک مکانی باندهای حرارتی (متر)	تفکیک مکانی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک و میانی (متر)	تفکیک باند پانکروماتیک (متر)
لندست ۵ TM	۸ بیت	۱۲۰*۱۲۰	۳۰*۳۰	ندارد
لندست ۷ ETM+	۸ بیت	۶۰*۶۰	۳۰*۳۰	۱۵*۱۵
لندست ۸ OLI/TIRS	۱۶ بیت	۱۰۰*۱۰۰	۳۰*۳۰	۱۵*۱۵

محاسبه LST و رادیانس طیفی

برای محاسبه دمای سطحی به روش تک پنجره با استفاده از رابطه (۱) اعداد رقومی تصاویر (Digital Number) به رادیانس طیفی تبدیل شدند. برای تصاویر ETM+، TM، مقادیر از هیدر فایل های^۷ تصاویر مذکور استخراج شد. قبل از این مرحله، تصحیح هندسی بر روی تصاویر انجام گرفته و تصاویر دریافتی به اندازه محدوددهی مورد مطالعه شهر شیراز برش داده شد. الگوریتم مورد استفاده برای استخراج درجه حرارت سطح زمین، الگوریتم تک پنجره ۸ می‌باشد. مقدار کل تابش رسیده به سطح افقی در مسیر حرکت طول موج به طور کامل دریافت نمی‌شود بلکه در مسیر حرکت مستقیم، بخشی از آن توسط مولکول‌ها و ذرات موجود در اتمسفر پراکنده یا جذب می‌گردد، به همین

⁷ Header files

⁸ . Mono_Window

دلیل برای بازیابی دمای روشنایی تصاویر ماهواره‌ای به تابش روشنایی و درخشندگی در هر باند، طبق فرمول (۱) عمل می‌گردد (Laosuwan and Sangpradit, 2012) و رادیانس طیفی با استفاده از فرمول (۱) محاسبه گردید.

$$L\lambda = \frac{(R_{max} - R_{min})}{(QR_{max} - QR_{min})} * (DN - QR_{min}) + R_{min} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه $L\lambda$ ، تابش روشنایی در هر باند طیفی است. R_{max} ^۹ و R_{min} ^۹ حداقل و حداکثر مقدار اردیانس طیفی برای باند حرارتی تصویر مربوطه است. Q_{max} ^{۱۱} و Q_{min} ^{۱۲} باند مربوطه، DN مقدار درجه خاکستری پیکسل تصویر ماهواره‌ای باند مربوطه می‌باشد (Richard et al., 2002).

تبدیل مقدار تابش محاسبه شده به دمای کلوین

بر اساس رابطه (۲)، دمای درخشندگی به درجه کلوین محاسبه شد.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right) + 1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲) مقادیر K_1 و K_2 ضرایبی هستند که توسط طول موج مؤثر دریافت شده از حسگر ماهواره محاسبه می‌شوند.

تبدیل دمای کلوین به دمای سانتیگراد

تبدیل دمای کلوین به دمای سانتیگراد، با استفاده از رابطه (۳) صورت می‌گیرد:

$$t = T - 273.15 \quad \text{رابطه (۳)}$$

محاسبه مساحت طبقات دمایی مناطق شیراز

برای محاسبه مساحت طبقات دمایی مناطق مختلف شیراز، در محیط نرم‌افزار (Arc map) ابتدا دما، کلاس‌بندی و سپس طبقات دمایی برای مناطق مختلف محاسبه شد. در این مطالعه دمای مناطق مختلف به ۴ طبقه دمایی تقسیم‌بندی و مقدار مساحت هر طبقه محاسبه شد تا از این طریق، میزان تغییرات کاهشی یا افزایشی هر طبقه دمایی شناسایی شود (جدول ۳). هدف از محاسبه مساحت دمایی سطح زمین آن است که، میزان تغییرات مساحت نواحی گرم و بسیار گرم (به خصوص طبقه چهارم دما که مربوط به دماهای بسیار بالا و بحرانی است) تشخیص داده شود.

جدول ۳- درجه حرارت طبقات دمای سطح زمین به سانتیگراد

Table3- Temperature of surface temperature layers in degrees Celsius.

طبقه اول	طبقه دوم	طبقه سوم	طبقه چهارم
نه چندان گرم	کمی گرم	گرم	بسیار گرم
۴۰-۳۵	۴۵-۴۰	۵۰-۴۵	۵۵-۵۰

محاسبه تراکم طبقه چهارم دما (نقاط بسیار گرم و بحرانی شهر)

⁹ Radiance min

¹⁰ Radiance max

¹¹ Quantize max

¹² Quantize max

پس از محاسبه مساحت طبقات دمای شهر شیراز، دمای طبقه‌ی چهارم که دارای بالاترین میزان حرارت و از نظر زیست‌محیطی آزاردهنده است در هر منطقه شهرداری مشخص گردید. هدف از محاسبه درصد طبقه چهارم دمایی، مشاهده تعداد پیکسل‌های نقاط گرم شهر شیراز به صورت منطقه‌ای و سپس بررسی تغییرات این پیکسل‌ها طی دوره ۳۵ می‌باشد. محاسبه‌ی سری زمانی دمای سطحی زمین با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین^{۱۳} با استفاده از کدنویسی در سامانه ی گوگل ارث انجین، دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تابع پلانک برای تصاویر ماهواره ی لندست انجام و به این طریق سری زمانی دمای سطح زمین در بازه ی زمانی مورد بررسی تهیه گردید. کدهای نوشته شده در سامانه ی گوگل ارث انجین در شکل های زیر قابل مشاهده است.

```

Link 3028ba1a298f3d29b9cc6829731b59b5 *
3 var LCB = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1')
4 .filterBounds(geometry)
5 .filterDate('2013-01-01','2020-01-01')
6 .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH',103))
7 .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW',30))
8 .map(function(img){
9
10 var ms = img.select('B[2-7]');
11 var clips = ms.clip(geometry);
12 var rad = clips.multiply(0.00002).subtract(0.1);
13 var ndvi = ref.normalizeDifference(['B5','B4']);
14
15 var lse = ndvi.expression('1.008 + 0.047 * log(ndvi)',{ndvi:ndvi});
16 var emissivity1 = ndvi.where(ndvi.lt(-0.185),0.995);
17 var emissivity2 = emissivity1
18 .where(ndvi.gte(-0.185).and(ndvi.lt(0.157)),0.985);
19 var emissivity3 = emissivity2
20 .where(ndvi.gte(0.157).and(ndvi.lt(0.727)),lse);
21 var emissivity4 = emissivity3
22 .where(ndvi.gt(0.727),0.998);
23
24 var tir = img.select('B10');
25 var tirclip = tir.clip(geometry);
26 var rad = tirclip.multiply(0.00019420).add(0.3);
27 var bt = rad.expression('3221.0789/(log(774.8885/rad + 1))',{rad:rad});
28
29 var lst = emissivity4
30 .expression('(bt)/(1 + ((bt * 10.895)/(34388.0) * log(e)))',
31 {'bt':bt,'e':emissivity4});
32
33 var lstcal = lst.subtract(279.15);
34
35 return lstcal.rename('LST')
36 .copyProperties(img,['system_time_start','system_time_end']);
37 });
38
39 //print(LCB)

```

```

Link 3028ba1a298f3d29b9cc6829731b59b5 *
41 Map.addLayer(LCB.rename());
42
43 print(ui.chart.image.series(
44 LCB.generateId(), ee.Reducer.mean(), 90, 'system_time_start')
45 .setOptions({
46
47 title: 'Land surface temperature in Shiraz',
48 vAxis: {title: 'temperature (C)'},
49 hAxis: {title: 'time'},
50 trendlines: [0], {color: 'red'},
51 series: [0], {color: 'black'}
52 }));
53
54
55 // raster time series
56
57
58
59 var LCB = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1')
60 .filterBounds(geometry)
61 .filterDate('2013-01-01','2014-01-01')
62 .filter(ee.Filter.eq('WRS_PATH',103))
63 .filter(ee.Filter.eq('WRS_ROW',99))
64 .map(function(img){
65
66 var id = img.id();
67
68 var ms = img.select('B[2-7]');
69 var clips = ms.clip(geometry);
70 var rad = clips.multiply(0.00002).subtract(0.1);
71 var ndvi = ref.normalizeDifference(['B5','B4']);
72
73 var lse = ndvi.expression('1.008 + 0.047 * log(ndvi)',{ndvi:ndvi});
74 var emissivity1 = ndvi.where(ndvi.lt(-0.185),0.995);
75 var emissivity2 = emissivity1
76 .where(ndvi.gte(-0.185).and(ndvi.lt(0.157)),0.985);
77 var emissivity3 = emissivity2

```

¹³ Google Earth Engine

```

Link 3028ba1a29f7ad299cc829731b59b5 *
74 var emissivity1 = ndvi.where(ndvi.lt(-0.185),0.995);
75 var emissivity2 = emissivity1;
76 var emissivity3 = ndvi.where(ndvi.gte(-0.185).and(ndvi.lt(0.197)),0.889);
77 var emissivity4 = emissivity2;
78 var emissivity5 = ndvi.where(ndvi.gte(0.197).and(ndvi.lt(0.727)),1.1e);
79 var emissivity6 = emissivity3;
80 var emissivity7 = ndvi.where(ndvi.gte(0.727),0.889);
81
82 var tir = img.select('B3');
83 var tir_clip = tir.clip(geometry);
84 var rad = tir_clip.multiply(0.0003428).add(0.1);
85 var bt = rad.expression('(321.0789*(log(774.8953/rad + 3))', {'rad':rad});
86
87 var lat = math.atan(
88   .expression('(bt)/(1 + (bt * 10.895)/(14880.0)) * log(e)'),
89   {'bt':bt,'e':emissivity4});
90
91 var latcel = lat.subtract(278.15);
92
93 return latcel.rename('lat');
94 }
95 .toBands();
96
97 print(LC6);
98
99 - Export Image to Drive({
100   image: LC6,
101   description: 'LC6_45136',
102   scale: 30,
103   region: geometry,
104   maxPixels: 1e13,
105   crs: 'EPSG:4326'
106 });
107
108
109
110

```

شکل ۲: کدنویسی LST در سامانه ی گوگل ارث انجین

Figure 2: Coding LST In the Google Earth Engine system

شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده NDVI

این شاخص گیاهی از معروف ترین و ساده ترین شاخص های گیاهی مورد استفاده است بر حسب دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک به صورت زیر تعریف می باشد (Lillesand & Kiefer, 2004).

$$NDVI = \frac{B_4 - B_3}{B_4 + B_3} \tag{۴}$$

از لحاظ عملکرد NDVI رفتاری مشابه RVI دارد البته این شاخص چنانچه از نام آن پیداست دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان پذیر می سازد (Rouse et al, 1973).

مقادیر مختلف NDVI نمایانگر پوشش های مختلف می باشند مثلاً مقادیر NDVI بین ۰/۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰/۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی می باشد.

محاسبه ی سری زمانی پوشش گیاهی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین.

با استفاده از کدنویسی در سامانه ی گوگل ارث انجین، پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI برای تصاویر ماهواره ی لندست انجام و به این طریق سری زمانی پوشش گیاهی در بازه ی زمانی مورد بررسی تهیه گردید. کدهای نوشته شده در سامانه ی گوگل ارث انجین در شکل های زیر قابل مشاهده است.

```

NDVI
3
4 var landsat = ee.ImageCollection("LANDSAT/L501/C01/T1_SR");
5 .filterBounds(table);
6 .filterDate('2000-01-01', '2000-12-31');
7 .filter(ee.Filter.equals('WRS_PATH', 30));
8 .filter(ee.Filter.equals('WRS_ROW', 30));
9 .filter(ee.Filter.lessThan('CLOUD_COVER', 35));
10 .sort('CLOUD_COVER');
11 .first();
12 print(landsat);
13
14 var ndvi1 = landsat.normalizedDifference(['B4', 'B3']).clip(table);
15 Map.addLayer(ndvi1, {'color':'red'}, 'ndvi1');
16 /NDVI time series
17
18 var landsat_series = ee.ImageCollection("LANDSAT/C01/C01/T1_SR");
19 .filterBounds(table);
20 .filterDate('2000-01-01', '2000-12-31');
21 .filter(ee.Filter.equals('WRS_PATH', 30));
22 .filter(ee.Filter.equals('WRS_ROW', 30));
23 .filter(ee.Filter.lessThan('CLOUD_COVER', 35));
24 print(landsat_series);
25
26 var ndvi2 = landsat_series.map(function(image){
27   var rescale = image.divide(0.0003428);
28   var ndvi = rescale.normalizedDifference(['B5', 'B4']);
29   var clip = ndvi.clip(table);
30
31   return clip;
32 });
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
```

شاخص پراکندگی عرصه حرارتی شهر یا ارزیابی اکولوژیکی UTFVI^{۱۴}

این شاخص، برای توصیف کمی تأثیر جزیره‌ی حرارتی شهری به کار می‌رود و با استفاده از رابطه‌ی (۶) قابل محاسبه است (Liu and zhang, 2011).

$$UTVFI = \frac{TS}{TS - T_{min}} \quad \text{رابطه ۵}$$

جهت بررسی دقیق تغییرات میدان حرارتی شهری (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۶)، می‌توان UTFVI را به شش سطح مطابق با شش شاخص ارزیابی اکولوژیکی متفاوت تقسیم کرد (جدول ۴).

جدول ۴- آستانه شاخص ارزیابی اکولوژیکی

Table4- threshold of ecological assessment index.

شاخص ارزیابی اکولوژیکی	پدیده جزیره حرارتی شهری
عالی	موجود نیست
خوب	ضعیف
عادی	متوسط
بد	قوی
بدتر	قوی‌تر
بدترین	بسیار قوی

بحث و نتایج

جهت شناسایی الگوهای حرارتی و نقاط گرم طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰، نقشه‌های دمای سطح زمین شهر شیراز تهیه و مشخص گردید که در بخش‌هایی از شهر همواره درجه حرارت بالا مشاهده می‌شود (شکل ۲). همچنان که از نقشه‌های شکل (۲) پیداست، فراوانی توزیع زمانی و مکانی درجه حرارت بالای ۴۵ درجه در بخش‌های مشخصی از شهر شیراز به ویژه در حاشیه‌های غربی الی شمال غربی آن در اکثر مواقع سال بسیار زیاد است. در کلیه تصاویر مورد مطالعه، مراکز گرم بالای ۴۵ درجه که با رنگ قرمز مشخص شده است، بیشتر منطبق بر حاشیه‌ی شهر و مناطق ۱۰، ۹، ۵، ۷ و بخش‌هایی از ۶ شکل گرفته است. دلیل این امر استقرار صنایع و تراکم بخش صنعتی در قسمت غربی شیراز و همجواری با اتوبان و کمربندهای شهری می‌باشد. تقریباً در تمامی روزهای مورد بررسی با حرکت از نواحی حاشیه به داخل شهر، تسلط بر طبقه‌ی دمای سوم (۴۰°-۳۵°) بوده است. کم شدن این درجه حرارت به سمت نواحی مرکزی، شرقی و شمال شرقی به رنگ آبی پررنگ مشخص شده است. طبقات دوم و سوم دمای زیر ۴۵ بخش گسترده‌ای از شیراز را شامل می‌شود که البته در این بین طبقه‌ی دوم با میانگین مساحت ۷۵/۶۹ کیلومتر مربع (۳۹/۴۷ درصد از مساحت کل شهر) بیشترین مساحت از شهر را تحت سیطره خود قرار داده است، در بخش‌هایی از شهر که دارای هسته‌های سرد بوده اند رابطه نزدیکی با پوشش گیاهی در همان بخش مشاهده شد (شکل ۳). به طوریکه پوشش گیاهی از عوامل مؤثر در پایین آمدن دمای سطح زمین در این مناطق بوده

¹⁴ Urban thermal field variance index

است. جدول ۵ تغییرات زمانی پهنه های طبقات دمایی سطح زمین شهر شیراز را طی سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ نشان میدهد. مساحت پهنه های طبقه چهارم دمایی (۴۵-۵۰ درجه سانتیگراد) با میانگین دمایی ۲۶/۳۲ کیلومترمربع و انحراف معیار ۴۲/۳۱ واحد و تغییرات مثبت ۱۲/۷۶ کیلومترمربع بیشترین نوسان را داشته است. به طوری که، از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ حدود ۱۲/۷۶ کیلومترمربع بر مساحت طبقه ی چهارم دمایی افزوده شده است. از طرفی حدود ۱۳/۷۳ درصد از کل مساحت شیراز طی دوره ی مورد مطالعه تحت سیطره بالاترین طبقه ی دمایی چهارم بوده است. در مجموع، از مساحت طبقه ی دمایی ۲ به نفع سهم مساحت طبقات دمایی ۳ و ۴ کاسته شده است.

به منظور بررسی مساحت تراکم نقاط گرم شیراز طی دوره زمانی مورد نظر، پس از محاسبه طبقات دمایی شهر شیراز، دمای طبقه ی چهارم که دارای بالاترین میزان حرارت (۴۵-۵۰ درجه سانتیگراد) است در هر منطقه مشخص گردید.

هدف از محاسبه ی درصد طبقه ی چهارم دمایی، مشاهده تعداد پیکسل های نقاط گرم و حاد شهر شیراز به صورت منطقه ای و سپس بررسی تغییرات زمانی این پیکسل ها طی دوره ی ۳۵ ساله است. در این بررسی هر پیکسل برابر با ۹۰۰ مترمربع است.

جدول ۵- مساحت تراکم نقاط گرم (دمای طبقه چهارم) شهر شیراز

Table 5-area of hot spot density (fourth floor temperature) in the city of Shiraz

سال	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷	منطقه ۸	منطقه ۹	منطقه ۱۰	منطقه ۱۱
۱۹۸۵	۰	۰	۰	۰/۰۲	۰/۲۸	۰	۰/۰۱	۰	۰/۱۲	۰	۰
۱۹۹۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۷	۰	۱/۲۱	۰/۷۱	۰
۱۹۹۵	۰	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۲	۰	۰	۰/۴۹	۰	۰/۰۷	۰	۰/۰۲
۲۰۰۰	۸/۰۵	۱۲/۳۶	۱۰/۷۲	۱۶/۶۵	۱۴/۲	۵/۱۶	۱۳/۶۹	۶/۳	۱۸/۶۸	۱۸/۸۴	۱۱/۳۴
۲۰۰۵	۱/۷۱	۱/۷۸	۱/۳۵	۱/۹	۲/۵۴	۱/۰۸	۲/۴۸	۱/۰۱	۱/۰۱	۹/۱	۱/۲
۲۰۱۰	۰	۰/۶۶	۰/۰۵	۰	۱/۶۵	۰	۱/۶۸	۰	۱/۱۱	۳/۰۲	۰/۲
۲۰۱۵	۱/۸۴	۲/۸۴	۱/۲۶	۲/۸۸	۲/۵۳	۱/۹	۵/۰۹	۰	۱۴/۲۸	۱	۱/۳۷
۲۰۲۰	۰/۳۹	۰/۱	۰/۰۱	۰/۶۹	۱/۰۵	۰/۰۱	۱/۵۷	۰	۵/۸۳	۳/۲۶	۰/۰۳

جدول ۶- کمینه، بیشینه و میانگین دمای سطح زمین شیراز به سانتیگراد

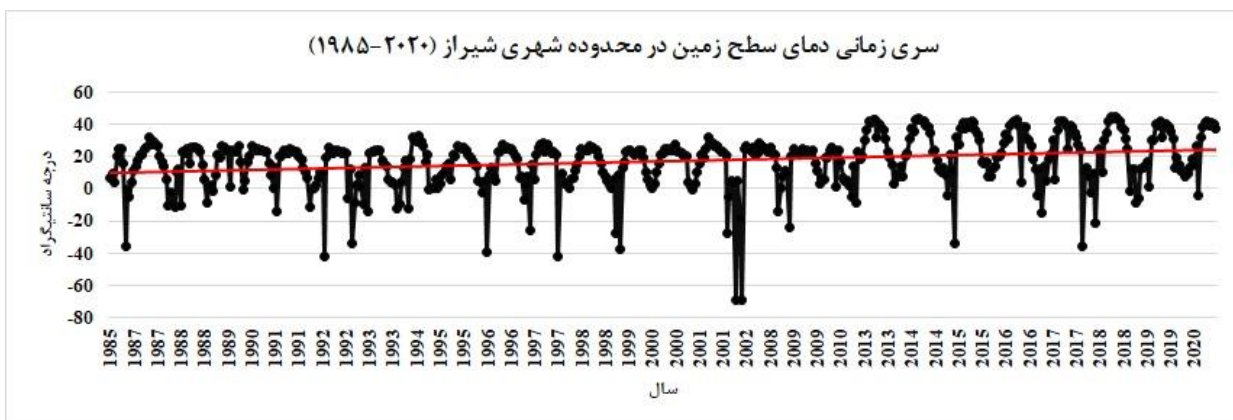
Table 6- minimum, maximum, and average surface temperature of Shiraz in degrees Celsius

سال	کمینه	بیشینه	میانگین
۱۹۸۵	۲۵/۴	۴۹/۲	۳۸/۰۳
۱۹۹۰	-۰/۲۲	۴۷/۰۳	۳۷/۸۱
۱۹۹۵	۲۳/۶۸	۵۰/۶۴	۳۷/۹۹
۲۰۰۰	۱۹/۴۹	۵۰/۶۷	۴۵/۸۳
۲۰۰۵	۱۵/۲۶	۵۴/۷	۴۱/۳۱
۲۰۱۰	-۱۸/۱۹	۵۴/۲۸	۲۹/۱۸
۲۰۱۵	۲۸/۳۳	۵۴/۸۶	۳۹/۴۹
۲۰۲۰	۲۸/۹۸	۵۰/۷۳	۳۷/۸

همانطور که در جدول (۵) مشاهده می شود، مساحت تراکم نقاط گرم مربوط به هر منطقه و سطح شهر در سال های مختلف محاسبه شده است. در بین ۱۱ منطقه شهرداری شیراز، مساحت نقاط گرم منطقه ۹ شهرداری در سال

۲۰۰۰ حدود ۱۸/۶۸ کیلومترمربع و بیشترین میزان پیکسل‌های نقاط گرم را در طی بازه‌ی زمانی مطالعاتی و مناطق مختلف شهر داشت، بطوریکه مساحت نقاط گرم منطقه ۹ از ۰/۱۲ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۵، به ۵/۸۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ رسیده که در طول این بازه نیز سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ مساحت زیادی را از نقاط گرم شامل شده است. در مجموع، منطقه ۹ از بیشترین فراوانی تکرار و بالاترین مقادیر مساحت نقاط گرم طبقه چهارم دمایی برخوردار است و منطقه ششم شهرداری، کمترین مقادیر مساحت نقاط گرمایی را تجربه کرده است. پس از منطقه ۹، منطقه ۱۰ و منطقه ۷، بیشترین تراکم نقاط گرم طبقه چهار (جزایر حرارتی) را دارند.

به این ترتیب می‌توان گفت که، گستره‌ی طبقه گرمایی چهارم در طی دوره‌ی مورد مطالعه، به سمت حاشیه‌ی بخش‌های غربی تا شمال غربی کشیده شده و توسعه فیزیکی داشته است (شکل ۵). نتایج حاصل از بررسی کیمنه، بیشینه میانگین دمای سطح زمین شیراز نشان داد که، بیشترین مقدار بیشینه دما مربوط به سال ۲۰۱۵ در حدود ۵۴/۸۶ درجه سانتیگراد و کمترین مقدار دما مربوط به سال ۲۰۱۰، با مقدار ۱۸/۱۹- درجه سانتیگراد می‌باشد. میانگین دما نیز در سال‌های مورد مطالعه، بین ۳۷ تا ۴۵ درجه سانتیگراد در نوسان بوده است (جدول ۶). هدف از مشخص نمودن تغییرات توزیع زمانی کیمنه و بیشینه دما در هر منطقه، بررسی میزان تغییرات افزایش درجه حرارت و تأثیر آن بر میزان توسعه و گسترش نقاط گرم شهر است. همچنان که از جدول مذکور پیداست، دامنه تغییرات کیمنه دما و بیشینه دمایی از سال ۱۹۸۵ به سمت ۲۰۲۰ کاهش پیدا کرده و هر دو به سمت میانگین متمایل شده است. از لحاظ موقعیت منطقه‌ای نیز، فراوانی تکرار کیمنه‌ی دمایی بیشتر منطبق بر مناطق ۱، و بخش‌هایی از ۱۱، ۵، ۴، ۸ و بوده که می‌توان علت تکرار کیمنه دما در مناطق مذکور را وجود پوشش گیاهی که برای تعدیل دما تأثیرگذار است (جدول ۸). بنابر نتایج به دست آمده از کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین، روند کلی دمای سطح زمین در محدوده‌ی شهری شیراز روندی افزایشی بوده است (شکل ۴).



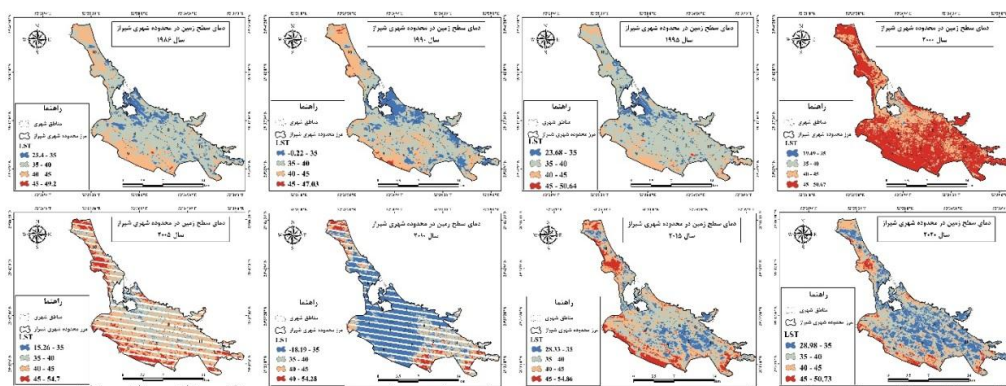
شکل ۴: سری زمانی دمای سطح زمین در منطقه شهری شیراز (۱۹۸۵-۲۰۲۰)

Figure 4: time series of surface temperature in the urban area of Shiraz (1985-2020).

جدول ۷- مساحت طبقات دمایی شیراز در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ کیلومترمربع

Table 7- area of temperature layers in Shiraz over the period from 1985 to 2020 in square kilometers.

سال	طبقه اول دمایی	طبقه دوم دمایی	طبقه سوم دمایی	طبقه چهارم دمایی
۱۹۸۵	۲۴/۵۸	۱۲۰/۹۳	۴۵/۷۹	۰/۴۳
۱۹۹۰	۳۴/۷۲	۱۰۱/۰۳	۵۶/۸۷	۲/۳
۱۹۹۵	۲۰/۸۹	۱۳۹/۱۳	۳۰/۷۸	۰/۹۱
۲۰۰۰	۱/۴۹	۷/۵۷	۵۵/۸۵	۱۲۶/۸۱
۲۰۰۵	۴/۲۵	۴۵/۶۷	۶۰/۶۷	۲۵/۰۹
۲۰۱۰	۸۴/۹۴	۲۶/۸۹	۱۹/۹	۸/۴۴
۲۰۱۵	۶۰/۳۵	۷۳/۲۶	۵۷/۲۸	۳۳/۴۴
۲۰۲۰	۶۷/۷	۹۱/۰۴	۵۲/۸۹	۱۳/۱۹
انحراف معیار	۳۰/۵۶	۴۶/۱	۱۴/۴	۴۲/۳۱
میانگین مساحت طبقات دمایی	۳۷/۳۶	۷۵/۶۹	۴۷/۱۲	۲۶/۳۲
درصد میانگین طبقات دمایی شهر	٪۱۹/۴۸	٪۳۹/۴۷	٪۲۴/۵۴	٪۱۳/۷۳
تغییرات مساحت طبقات دمایی	+۴۳/۱۲km2	-۲۹/۸۹ km2	+۷/۱ km2	+۱۲/۷۶ km2



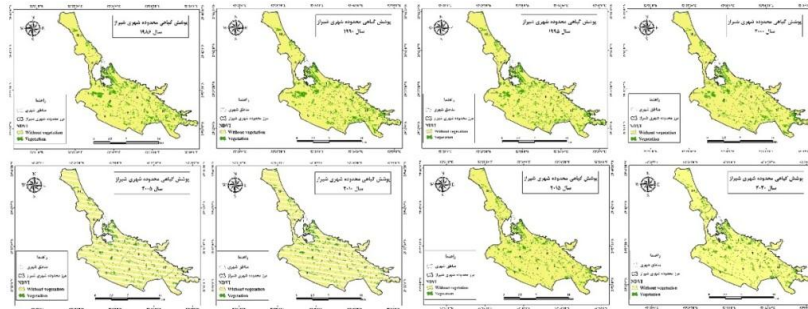
شکل ۵: نقشه های دمای سطح زمین در محدوده شهری شیراز

Figure 5: maps of surface temperature in the urban area of Shiraz

تحلیل تغییرات پوشش گیاهی

هدف از کاربرد شاخص (NDVI) بررسی پوشش گیاهی شهر شیراز، انطباق آن با طبقات دمای سطح زمین و بررسی تأثیر پوشش گیاهی با دمای سطح زمین است. براساس نتایج حاصل در شکل های (۶ و ۷) و جدول (۸) مشاهده شد که پوشش گیاهی با توجه به کاربری های متفاوت اراضی با طبقه دمای مطابقت دارد. به طور کلی، دماهای پایین در نواحی مرکزی شیراز مربوط به وجود پوشش گیاهی (پارک و فضای سبز) است. کاهش دما در نواحی مرکزی در نقشه های دمای سطح زمین طی دوره ی مورد مطالعه گویای تأیید این امر است. همچنین عدم وجود فضای سبز در نواحی غربی شیراز می تواند گواهی بر افزایش دمای سطح زمین در این مناطق باشد. بطور کلی تغییرات محسوسی در مساحت پوشش گیاهی مناطق شهرداری شیراز و به تبعیت از آن، تغییرات مکانی در پهنه های طبقات دمایی ایجاد شده است. بطوری که، در مناطق ۱، ۱۱، ۵، ۴، ۸ علاوه بر سوابق پوشش گیاهی از گذشته تا سال ۲۰۲۰، همواره بر

مساحت پوشش مذکور و طبقات پایین دمایی افزوده شده است. اما در سایر قسمت‌های شهر از جمله در شمال‌غربی و غرب و تاحدودی مرکز شهر تغییرات کاهشی مشاهده می‌شود. اما در مجموع، طی بازه زمانی مورد مطالعه مساحت پوشش گیاهی به دلیل تغییر کاربری‌های شهری از ۲۲/۲۸ کیلومترمربع در سال ۱۹۸۵ به ۱۷/۵۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ تقلیل یافته است (جدول ۸) که این مسأله می‌تواند دلیل بر شکل‌گیر و افزایش جزایر حرارتی در نواحی مذکور باشد.



شکل ۶: نقشه‌های پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در محدوده شهری شیراز (۱۹۸۵-۲۰۲۰)

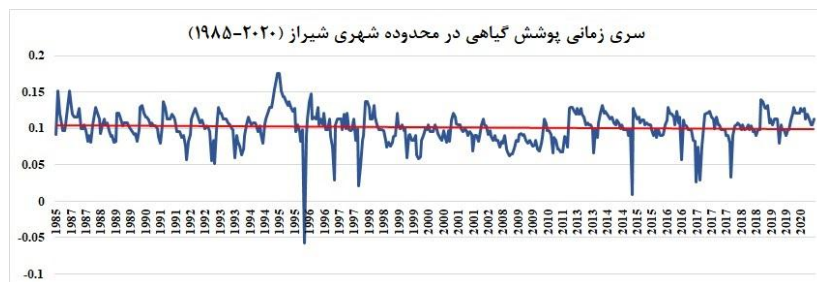
Figure 6: maps of vegetation (index :NDVI) in the urban area of Shiraz(1985-2020)

جدول ۸- میزان مساحت پوشش گیاهی در دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۰ به کیلومترمربع

Table 8- The area of vegetation cover during the period from 1985 - 2020 in square kilometers

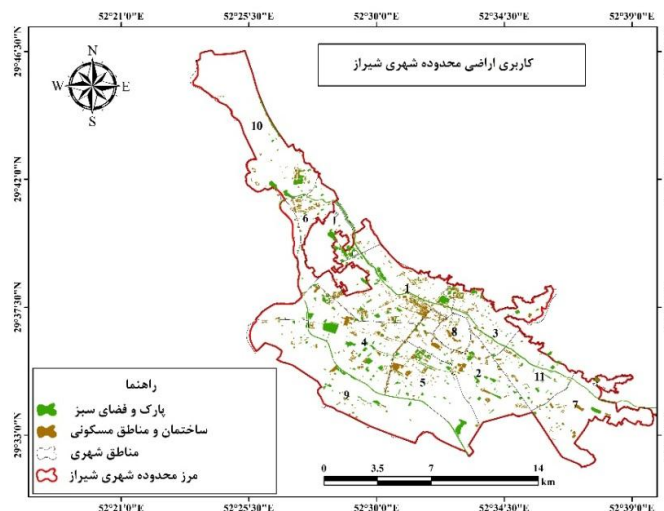
سال	پوشش گیاهی	بدون پوشش گیاهی	Number of vegetation pixels
۱۹۸۵	۲۲/۲۸	۱۷۲/۲۳	۲۴۷۵۹
۱۹۹۰	۲۴/۶۰	۱۶۹/۹	۲۷۳۴۴
۱۹۹۵	۲۳/۸۳	۱۷۰/۶۷	۲۶۵۸۸
۲۰۰۰	۲۱/۳۲	۱۷۳/۱۸	۲۳۶۹۹
۲۰۰۵	۱۱/۹۴	۱۱۸/۱	۱۳۳۷۱
۲۰۱۰	۱۲/۳۳	۱۲۲/۱۴	۱۳۷۰۰
۲۰۱۵	۱۷/۴۹	۱۷۷/۰۱	۱۹۴۴۳
۲۰۲۰	۱۷/۵۴	۱۷۶/۶۶	۱۹۴۹۸

در ادامه جهت بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در محدوده‌ی شهری شیراز، طی بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۲۰) از کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد که نتایج حاکی از روند کاهشی پوشش گیاهی در شیراز می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷: سری زمانی پوشش گیاهی در محدوده شهری شیراز طی بازه زمانی (۱۹۸۵-۲۰۲۰)

Figure 7: time series of in the urban area of Shiraz during the period from (1985-2020)

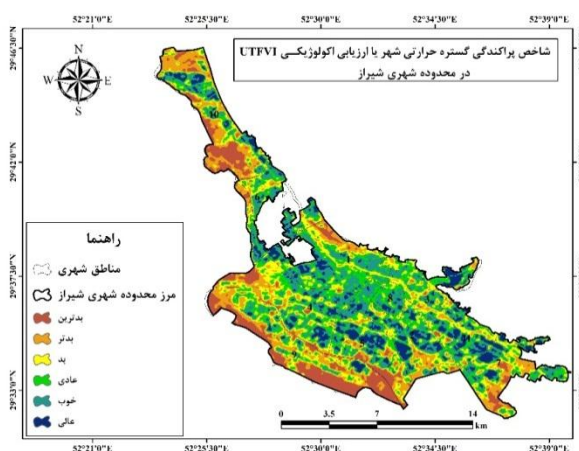


شکل ۸: کاربری اراضی محدوده شهری شیراز

Figure 8: Land use in the urban area of Shiraz

تحلیل شاخص پراکندگی گستره حرارتی شهر یا ارزیابی اکولوژیکی (UTFVI)

هدف از بکارگیری این شاخص، طبقه‌بندی دمایی شهر شیراز براساس حداقل و حداکثر مقادیر دما بوده و با استفاده از آن مکان‌های بسیار گرم و بحرانی شهر شیراز شناسایی گردید. جهت تهیه نقشه ارزیابی اکولوژیکی جزار حرارتی شهر شیراز، هر کدام از ۶ طبقه ایجاد شده در نقشه طبقه‌بندی شده UTFVI شهر شیراز با توجه به مقادیر به دست آمده به یکی از کلاس‌های عالی، خوب، نرمال، بد، خیلی بد، خیلی خیلی بد اختصاص داده می‌شود. مطابق شکل (۹)، بررسی گستره و مساحت طبقه‌های دمایی با درجه حرارت بالاتر از حد انتظار (طبقه دمای خیلی خیلی بد) شهر شیراز نشان داد، که طبقه دمایی بسیار گرم عمدتاً در قسمت‌های غربی شیراز از شمال‌غرب تا جنوب‌غرب (شامل بخش‌هایی از منطقه ۹ و ۱۰)، نواحی جنوب‌شرقی منطقه ۷ و نواحی شمالی منطقه ۱ متمرکز شده است. ایجاد دمای بحرانی در پهنه‌های مذکور مشکلات زیست‌محیطی زیادی به دنبال دارد.



شکل ۹: شاخص پراکندگی گستره حرارتی شهر یا ارزیابی اکولوژیکی (UTFVI) در محدوده شهری شیراز

Figure 9 :urban thermal variation Index or ecological assessment (UTFVI) in the urban area of Shiraz:

نتیجه گیری

تحلیل و پایش طبقات دمایی شهری با توجه به نوع کاربری های شهری و در مقیاس بلندمدت یکی از مقوله های مهم زیست محیطی است. افزایش دمای سطح زمین به ویژه پیدایش جزایر گرمایی شهر، نمایه ای از شدت گرما و از عناصر مهم شناخت تغییرات آب و هوایی می باشد. گزارش ها حاکی از آن است که، تأثیر جزیره ی گرمایی در مناطق شهر باعث افزایش دما تا ۱۲ درجه سانتیگراد می شود. فناوری های سنجش از دور مبتنی بر تصاویر به طور گسترده ای برای بررسی محیط گرمایی شهری تحت گسترش سریع شهری مورد استفاده قرار می گیرد. مطالعه حاضر انجام شده بر روی شهر شیراز، به دنبال ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی الگوی دمایی در منطقه شهری شیراز است که می تواند ناشی از فعالیت های انسانی باشد.

بنابراین، کوشش گردید که، مکان های با درجه حرارت حاد و بسیار بالای شهر شیراز (طبقه چهارم دمایی) که باعث ایجاد پدیده ی الگوهای حرارتی در برخی از مناطق یاد شده را با استفاده از روش تحلیلی آماری-فضایی داده ها شناسایی و بررسی کند و ویژگی الگوی حرارتی شهر شیراز با بررسی روابط بین دمای سطح زمین و NDVI، UTFVI مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد تا ارتباط میان میان تغییرات مقیاس زمانی و مکانی دمای سطحی با پوشش سطح زمین آشکار شود. از آنجا که، برآورد داده های رقومی Landsat قادر به اندازه گیری تغییرات LST است از این رو، در تحقیق حاضر از داده های طیف سنج تصویری Landsat برای اندازه گیری تغییرات درجه حرارت سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) سطح شهر شیراز استفاده شد. نقاط گرمایی با استفاده از رویکردهایی مانند مدل سازی دمای سطح زمین (LST) مبتنی بر سنجش از دور و نظارت بر دمای محیط مبتنی بر بررسی های سنجش از دوری شناسایی شدند.

براساس بررسی های انجام شده در این پژوهش، تغییرات مقیاس زمانی الگوهای دمایی اراک نشان داد که از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ به طور مداوم در برخی از مناطق شهر به ویژه در مناطق ۹، ۱۰ و ۷ (شمال غربی تا جنوب غربی و نیز جنوب شرقی شیراز) افزایش درجه حرارت به وجود آمده است، بطوری که حدود ۱۲/۷۶ کیلومتر مربع بر مساحت طبقه چهارم دمایی (۴۵ تا ۵۰ درجه سانتیگراد) افزوده شده است. در واقع برخلاف انتظار و تصور عمومی، الگوهای گرمایی حاد به جای تسلط بر نواحی مرکزی شهر، به سمت حواشی و کاربری های صنعتی اطراف شهر هدایت شده که این ادعای محققین با نتایج حاصل از کار تحقیقی مشابه که جابجایی الگوی حرارتی به سمت مناطق صنعتی شهر ژنگ شیان چین که توسط (Yang et al., 2020) مطابقت دارد. با استفاده از شاخص UTFVI، دمای شیراز براساس حداقل و حداکثر دمای طبقه بندی و از این طریق مکان های بسیار گرم و بحرانی شیراز مشخص شد. بر این اساس مناطق ۹ و ۱۰ و ۷ شحری دارای دمای بحرانی هستند.

References

- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12), 2606-2617.
- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., & Newland, L. (1995). Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS. *Computers & Geosciences*, 21(8), 965-969.
- Arkhi, S. Niazi, Y. Adibnezhad, M. (2011). Changes in Vegetation Monitoring Using Remote Sensing Techniques in the Ilam Dam Basin. *J. of Geography and Development Iranian*, 24(23), 121-136.
- Balling, R., & Brazel, S. (1988). High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54(9), 1289-1293.
- Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape ecology*, 25(1), 17-33.
- Chandler, T. (1970). Selected bibliography on urban climate. Tech, note.
- Chang, S.A, Kunkel, Jr.K.E., Reinke, B.C. (1996). Impact and responses to the 1995 heat wave: A call to action. *bulletin of the American Meteorological Society*, 77(21), 1497-1506.
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P., & Yin, Z. (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.
- Deng, C., & Wu, C. (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131(32), 262-274.
- EPA, U.S. (2007). Basic Information about Heat Island. Available online from following website: <http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html>.
- Fan, F., Wang, Y., & 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.
- Fei wu . P., & Xia Zhang .X. (2007). Study on the distribution changes of Urban Heat Island Based on Heat-Greenness feature Space. Beijing Forest University, Beijing 100083, P.R.China.
- Gallo, K. P., & Owen, T.W. (1999). Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of Applied Meteorology*, 38(6), 806-813.
- Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., & Tarpley, J. D. (1993). The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. *Journal of Applied Meteorology*, 32(5), 899-908.
- Grigoraş, G., & 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.
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10.
- Hardy, C.H. (2015). Data and techniques for studying the urban heat island effect in johannesburg, The international Archive of photogrammetry. *Remote sensing and Spatial information science*. XL-7/W.11-15 May, Berlin, Germany.
- Heinel, M., Hammerle, A., Tappeiner, U., & Leitinger, G. (2015). Determinants of urban-rural land surface temperature differences—A landscape scale perspective. *Landscape and Urban Planning*, 134(16), 33-42.
- <http://landsat.gsfc.nasa.gov>.

- Islam, A., Ahmed, I., Naglaa, Z. (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.
- Jacobz, C.M.J., Heusinkveld, B.G., Steeneveld, L.W.A., van Holve, A. A., & Holtslag. M. (2014). Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, 119(32),677-692.
- Jalalzade, Z., Torabi, M., Dalaki, A. (2008). The Comparison of Sea Surface Temperature by Satellite and Field Data of South Caspian. *Physical Geography Research*, 65(21), 110-121.
- Jiménez - Muñoz, J. C., & So, J.A. (2003). A generalized single channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(22).
- Jiménez - Muñoz, J. C., & Sobrino, J.A. (2003). A generalized single channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(22).
- Jiménez - Muñoz, J. C., & Sobrino, J.A. (2010). A single-channel algorithm for land-surface temperature retrieval from ASTER data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 7(1), 176-179.
- Kustas, W. P., Norman, J. M., Anderson, M. C., & French, A.N. (2003). Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote sensing of environment*, 85(4), 429-440.
- Laosuwan, T., & Sangpradit, S. (2012). Urban heat island monitoring and analysis by using integration of satellite data and knowledge based method. *International Journal of Development and sustainability online*, 1(2), 99-110.
- Li, X., Zhou, W., Ouyang, Z., Xu, W., & Zheng, H. (2012). Spatial pattern of greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area. *China, Landscape ecology*, 27(6), 887-898.
- Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (2004). *Remote sensing and image interpretation*. Wiley, Toronto.
- Lilly Rose, A., & Devadas, M.D. (2009). Analysis of land surface temperature and landuse/land cover types using Remote Sensing imagery a case in Chennai city, India. In *The seventh International Conference on Urban Clim*, held on.
- Liu, L., & 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(12), 1535-1552.
- Liu, C., & Li, Y. (2017). Spatiotemporal Features of Urban Heat Island and its Relationship with Land Use /Cover in Mountainous City: A Case Study in Chongqing. *Journal sustainability Sustainability*.
- Mackey, C. W., Lee, X., & Smith, R.B. (2012). Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49(23), 348-358.
- Mahesh Kumar, J., Choudhary, M., Saxena, A. (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*.
- Maloley, M.J. (2010). Thermal remote sensing of urban heat island effects: greater Toronto area. *Geological Survey Commission Geologique*, 257-270.
- Manik ,T. K., & Syaukat, S. (2015). The impact of urban heat islands Assessing vulnerability in Indonesia. *Asian Cities Climate Resilience , Working paper series 13*.
- Miryaghoobzadeh, M.H., & Ghanbarpur, M.R. (2009). Using Remote Sensing Data to Estimate Land Surface Temperature (Case study Vardin Basin, East Azerbaijan). *Journal of Range*, 4(12), 723-734.
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.

- Owen, T., Carlson, T., & Gillies, R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International journal of remote sensing*, 19(9), 1663-1681.
- Pena, M. (2009). Examination of the land surface temperature response for Santiago, Chile. *Remote Sensing*, 10(12), 4385-4404.
- Quattrochi, C., & Luvall, J. (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.
- Rajasekar, U., & Weng, Q. (2009). Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 86-96.
- Rajeshwari A. & Mani, N.D. (2014). Estimation of Land Surface Temperature of Dindigul District using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- Richard, A., Masahiro, T., Trezza, R., Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land, Version 1.0, Funded by a NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources, 97-110.
- Rotem-Mindali, O., Michael, Y., Helman, D., & Lensky, I.M. (2015). The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. *Applied Geography*, 56(24), 145-153.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In *Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, ON, Canada, 351(14), 309-317.
- S. Haashemi, Q., Weng, A., & Alavipanah, S. K. (2016). Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing*, 8(4), 352-361.
- Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U., & 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(14), 693-704,
- Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., Nadeeka, P. M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5(17), 19-35.
- Senanayake, I.P., Welivitiya, W.D.D.P., & Nadeeka, P.M. (2013). Remote Sensing based Analysis of Urban Heat Islands with Vegetation cover in Colombo city, SriLanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A.L., Ramly, A., Maulud, K.N.A., & Mohd-Nor, M.F.L. (2010). Reducing urban heat island effects : A systematic review to achieve energy consumption balance. *International Journal of Physical Sciences*, 5(6), 626_636.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., & Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2), 316-327.
- Solecki, W.D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39-49.
- Streutker, d. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston. TX. *Remote sensing of environment*, 85(12), 282-289.
- 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.

- Ukwattage, N. L., Dayawansa, N. D. K. (2012). Urban heat islands and the energy demand: An analysis for Colombo city of Sri Lanka using thermal remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(18), 124-131.
- Umar, U. M., Kumar, J.S. (2014). Spatial and temporal changes of urban heat island in Kano metropolis, Nigeria. *International Journal of Research in Engineering Science and Technology*, 1(2).
- Voogt, J. A., & Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- Voogt, J. (2004). *Urban Heat Island: Hotter Cities*. Washington D.C.: American Institute of Biological Sciences.
- Voogt, J.A. & Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- Wanga, Y., Berardib, U., Akbaria, H. (2015). The Urban Heat Island effect in the city of Toronto. *Procedia Engineering*, 118(31), 137-144.
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends," *ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344.
- Weng, Q. (2011). A remote sensing - GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International journal of remote sensing*, 22(10), 1999-2014.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- Wong, E., Akbari, H., Bell, R., & Cole, D. (2011). *Reducing urban heat islands: compendium of strategies*. Environmental Protection Agency.
- Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 125(14), 209-221.
- Xiao, R. (2007). Spatial Pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China. *Journal of Environ. Science*, 19: 250- 256.
- Xiaolei, Y., Guo, X., Wu, Z. (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(14), 9829-9852.
- Yang, H., Xi, C., Zhao, X., Mao, P., Wang, Z., Shi, Y., He, T., & Li, Z. (2020). Measuring the Urban Land Surface Temperature Variations Under Zhengzhou City Expansion Using Landsat-Like Data. *Remote Sensing*. 12(3), 801-828.
- 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.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.
- Zhang, Y. (2006). Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. *J. Remote Sens*, 10(2), 789-797.
- Zhu, X.L., Chen, J., Gao, F., Chen, X.H. & 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.
- Lin, Liu., Yuanzhi, Z. (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sens*, 3, 1535-1552.

Monitoring the Spatial form of Thermal Islands in Shiraz using Multispectral Images

M. Khosravian¹⁵, Y. Zanganeh¹⁶, R. Zandi¹⁷, M. Karimi¹⁸

Email: m.khosravian69@gmail.com((Corresponding author)

Introduction

Urbanization is one of the important features of economic and social development. The ever-increasing expansion of urban environments and the process of industrialization and migration of the rural population to urban areas have caused population growth and scattered development in cities. Today, with the development of urbanization, a large area of natural areas such as agriculture, green space, etc. have been replaced by urban areas, industrial areas and other infrastructures. Over the past decades, the surface of the earth has undergone many changes due to human activities, including changes in land use and the development of cities. The purpose of this study is to investigate the changes in vegetation and surface temperature and its effect on the urban thermal island of Shiraz using remote sensing thermal data.

Materials and Methods

Satellite images of Landsat 4, 5, 7 and 8 sensors have been used to investigate the development of hot places in the city and to determine urban thermal patterns, during the hot period of the year between 1985 and 2020. Landsat satellite TM sensor data in band 6, ETM+ sensor data in band 8 and OLI/TIRS sensor data in band 11 were used. The data of thermal band 6 of Landsat 5 and 7 with wavelengths of 10.40-12.5 micrometers and band 10 of Landsat 8 with wavelengths of 10.60 to 11.19 micrometers were used to calculate the surface temperature distribution patterns of Shiraz. Bands 3 and 4 of Landsat 5 and 7 and bands 4 and 5 of Landsat 8 were also used to calculate the NDVI index.

Discussion and Results

It can be seen that in order to identify thermal patterns and hot spots during the years 1985 to 2020, maps of the surface temperature of the city of Shiraz were prepared and it was determined that the temperature is always high in parts of the city. From 1985 to 2020, about 12.76 square kilometers have been added to the area of the fourth floor. On the other hand, about 73.13% of the total area of Shiraz during the studied period was under the control of the highest temperature class 4. In total, the area of temperature class 2 has been reduced in favor of the share of the area of temperature classes 3 and 4. It is also effective in terms of regional location, the frequency of repetition of minimum temperature corresponding to regions 1, and parts of 11, 5, 4, 8 and it has been that the reason for repeating the minimum temperature in the mentioned areas is the presence of vegetation that is used to adjust the temperature. The purpose of using the index (NDVI) is to investigate the vegetation cover of Shiraz city, its compliance with the earth surface temperature classes and to investigate the effect of

¹⁵ - Postdoctoral Researcher in Climatology - Climate Change, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.

¹⁶ - Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Sabzevar, Iran.

¹⁷ - Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Sabzevar, Iran.

¹⁸ - Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Sabzevar, Iran.

vegetation cover on the earth surface temperature. During the studied period, the area of vegetation has decreased due to the change of urban uses from 22.28 square kilometers in 1985 to 17.54 square kilometers in 2020, which can be the reason for the formation and increase of thermal islands in the mentioned areas. In order to prepare the ecological evaluation map of Shiraz thermal reservoirs, each of the 6 classes created in the UTFVI classified map of Shiraz city, according to the obtained values, is classified into one of the excellent, good, normal, bad, very classes. Bad, very, very bad allocation.

Conclusion

In this research, an attempt was made to identify and investigate the places with acute and very high temperature in Shiraz city (fourth temperature floor) that cause the phenomenon of thermal patterns in some of the mentioned areas by using statistical analysis method. Spatial data and characteristics of the thermal pattern of Shiraz city should be analyzed by examining the relationship between land surface temperature and NDVI, UTFVI to reveal the relationship between temporal and spatial changes in surface temperature and land cover. Since the estimation of Landsat digital data is capable of measuring LST changes, therefore, in this research, Landsat image spectrometer data was used to measure changes in land surface temperature (LST) and index Normalized vegetation cover (NDVI) of Shiraz city. Hot spots were identified using approaches such as modeling of land surface temperature (LST) based on remote sensing and environmental temperature monitoring based on remote sensing studies.