

مقاله پژوهشی

آشکار سازی تغییرات جزیره گرمایی شهر اصفهان با تأکید بر توسعه شهری

احمد مزیدی، دانشیار آب و هواشناسی و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

کمال امیدوار، استاد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

غلامعلی مظفری، دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

زهرا تقی زاده^۱، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

چکیده

یکی از چالش‌های اساسی در فرآیند توسعه شهری در کشورهای در حال توسعه، بحث تغییرات جزیره گرمایی است که رشد شتابانی داشته و این رشد مشکلات و مسائل متعددی را برای فرایندهای مدیریتی و برنامه‌ریزی شهری ایجاد خواهد نمود. مطالعه حاضر با هدف آشکار سازی تغییرات جزیره گرمایی شهر اصفهان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ی لندست در طول دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ انجام گرفته است. بر روی تصاویر ماهواره‌ای، چهار مرحله عملیات پیش پردازش شامل پردازش اولیه، استخراج سطوح غیر قابل نفوذ تعلیمی، ارزیابی دقت و صحت طبقه‌بندی و بازیابی دمای سطح زمین انجام گرفته است. نتایج حاصل از استخراج دقت ضریب کاپا نشان می‌دهد که تصاویر سال ۲۰۱۶ با ضریب ۰/۸۳۴۱ دارای دقت بیشتری است. از نظر مکانی هسته‌های پر حرارت بر اراضی نامرغوب و بایر منطبق است که به صورت خوشه‌ای در شمال و جنوب شهر و مناطق عاری از پوشش گیاهی قابل مشاهده است و در مرکز شهر جزایر گرمایی به صورت چاهک‌های گرمایی کوچک نمایان است. بررسی رابطه شدت جزیره گرمایی با نوع پوشش زمین، نشان دهنده‌ی وجود رابطه معکوس بین تراکم ساخت و ساز و پوشش گیاهی با دمای سطح است از این رو می‌توان گفت که رطوبت و عدم برهنگی سطح زمین از عوامل تعدیل کننده‌ی جزایر گرمایی در محیط شهر اصفهان است.

کلمات کلیدی: جزیره گرمایی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، لندست، اصفهان

مقدمه

در مناطق شهری بسته به پوشش زمین، مناطقی با دمای بیشتر از سایر نواحی به وجود می‌آید که این پدیده به نام جزیره گرمایی شهری نام‌گذاری شده است (متکان و همکاران، ۱۳۹۳: ۲). جزیره گرمایی شهری خطوط هم‌دمای بسته‌ای هستند که نماینده‌ی پهنه گرم می‌باشند، به ویژه پهنه‌هایی که بشر وضع طبیعی زمین را بر هم زده است. دلیل این نام‌گذاری شباهت خطوط هم‌دما در این پهنه‌ها با خطوط تراز ارتفاعی جزایر بر روی نقشه‌های توپوگرافی بوده است (واژه‌نامه هواشناسی انجمن هواشناسی ایالات متحده آمریکا، ۲۰۱۵). دو روش برای ارزیابی کمی جزیره گرمایی وجود دارد نخست اندازه‌گیری دمای هوا در دو نقطه که مناطق اطراف شهر به عنوان روستا در مقابل مناطق شهری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (استوارت^۱، ۲۰۱۱: ۲۰۷). روش دوم ارزیابی جزیره گرمایی با استفاده از داده‌های سنجش از دور است (ووگت و اوکه^۲، ۲۰۰۳: ۳۷۲). بر این اساس مطالعات زیادی در زمینه‌ی ابعاد مختلف جزیره گرمایی صورت گرفته که برخی از این مطالعات عبارتند از: لازرینی و همکاران (۲۰۱۳)، چوی^۳ و همکاران (۲۰۱۴)، رسول^۴ و همکاران (۲۰۱۵)، علی^۵ و همکاران (۲۰۱۶)، سان و همکاران^۶ (۲۰۱۷)، که در همه این مطالعات اعتبار رویکرد استفاده از تصاویر ماهواره-ای برای تحلیل فضایی و مکانی جزیره گرمایی تأیید شده است. از سوی دیگر ارتباط بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی در مطالعات جزیره گرمایی مورد مطالعه قرار گرفته است که می‌توان به مطالعات ونگ^۷ و همکاران (۲۰۰۴)، سان و کافاتوس^۸ (۲۰۰۷) و پنگ^۹ و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. در همه این مطالعات

¹ Stewart

² Voogt and oke

³ Choi

⁴ Rasul

⁵ Ali

⁶ Son

⁷ Weng

⁸ Sun and Kafatos

⁹ Peng

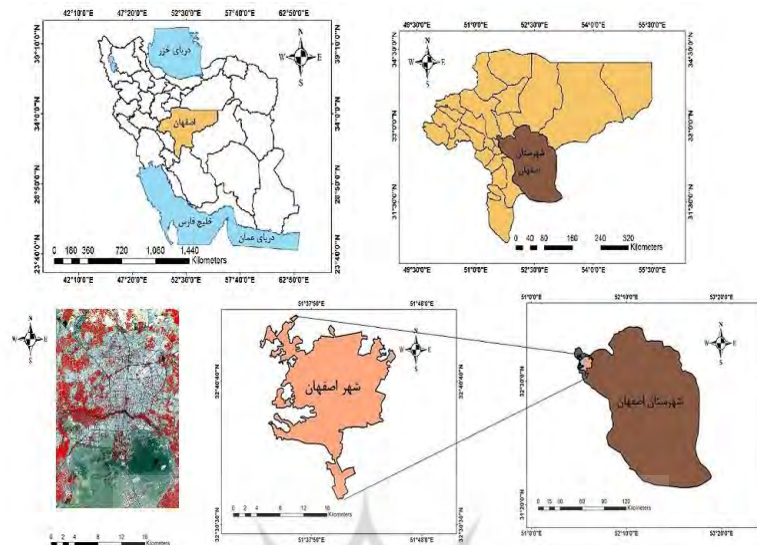
رابطه خطی معکوس بین دما و پوشش گیاهی تأیید شده است. از جمله مطالعات داخلی صورت گرفته در زمینه جزیره گرمایی می‌توان به مطالعات رنگزن و همکاران (۱۳۹۰)، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) و ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، مزیدی و حسینی (۱۳۹۴)، علوی پناه و همکاران (۱۳۹۴)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) اشاره نمود. همچنین در ارتباط با مبحث جزیره گرمایی در شهر اصفهان می‌توان به مطالعه عبدالهی (۱۳۸۸)، و بابایی فینی (۱۳۹۴)، اشاره نمود. که نوع نگاه به مبحث جزیره گرمایی در این مطالعات متفاوت است.

لذا با توجه به اهمیت موضوع جزیره گرمایی در این پژوهش تلاش شد تا به بررسی وضعیت جزیره گرمایی با توجه به تغییرات کاربری و توسعه شهرنشینی در شهر اصفهان پردازیم. وجه تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های صورت گرفته در این است که در پژوهش حاضر با دید همه جانبه به بررسی نقش گسترش شهرنشینی در توسعه جزیره گرمایی از نظر موضوعی و از لحاظ ابزار تحقیق پرداخته شده است.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی محدوده مورد مطالعه

شهر اصفهان به عنوان سومین کلان شهر ایران پس از کلان شهرهای تهران و مشهد در قلب نظام شهری قرار گرفته است. ارتفاع آن حداقل ۱۵۵۰ متر در اطراف زاینده رود تا حداکثر ۱۶۵۰ متر در نقاط مرتفع‌تر نوسان دارد. این شهر در بخش شمالی و جنوبی به اراضی بیابانی و در بخش شرقی و غربی به اراضی کشاورزی منتهی می‌شود (صابری و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۳). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر اصفهان را نشان می‌دهد. در مطالعه حاضر برای بررسی دقیق‌تر مساحت ده کیلومتری حومه شهر نیز در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

در این پژوهش به دلیل مشکلاتی از قبیل در دسترس نبودن تصویر، دوره‌ی زمانی عبور ماهواره از منطقه، پوشش ابر و سایر مشکلات امکان اخذ تصاویر در یک تاریخ همسان (روز و ماه) امکان‌پذیر نبود. بنابراین برای استخراج فصول سرد و گرم از روش‌های آماری استفاده شد. براین اساس میانگین‌های روزانه دما به میانگین‌های پنج روزه تبدیل و سپس با استفاده از روش خوشه‌بندی به روش فواصل اقلیدسی با استفاده از روش وارد^۱ فصل‌های سال مشخص گردید. در نتیجه ۳۶۵ روز سال به ۷۳ پنجک تقسیم شد. همه پنجک‌ها با میانگین دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و بیشتر جزء دوره گرم و پنجک‌های با میانگین دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد جزء دوره سرد محسوب شده است. این روش به نام روش چنگلان^۲ مرسوم است (علیجانی، ۱۳۷۶: ۲۴). برای این مرحله از میانگین داده‌های دمایی سینوپتیک اصفهان از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۱۴ استفاده شد. در ادامه از تصاویر سنجنده TM لندست ۵، تصاویر سنجنده OLI لندست ۸ به عنوان

^۱ Ward

^۲ Chenglon

تاریخ‌های مبنا در پژوهش و از دو تصویر سنجنده ETM+ لندست ۷ به عنوان تصاویری که در دوره آماری قرار گرفته برای مشاهده تغییرات استفاده شده است. اما مبنای اصلی پژوهش بر اساس تاریخ ابتدا و انتهای دوره آماری است (جدول ۱). این تصاویر از تارنمای <http://Earthexplorer.usgs.gov> اخذ گردید.

جدول ۱- مشخصات سنجنده‌های TM، OLI، ETM

سنجنده	تاریخ تصویربرداری	پوشش ابر به درصد	کیفیت تصویر	مسیر/ ردیف	تفکیک مکانی به متر
TM	۱۹۹۱/۰۸/۱۲	۰/۰۰۰	۹	۱۶۳/۳۷	۳۰
ETM	۱۹۹۹/۸/۱	۰/۰۰	۹	۱۶۴/۳۷	۳۰
ETM	۲۰۰۳/۵/۲۴	۶/۰۳	۹	۱۶۴/۳۷	۳۰
OLI	۲۰۱۶/۰۵/۳	۵/۹۷	۹	۱۶۴/۳۷	۳۰

<https://earthexplorer.usgs.gov>

پیش پردازش و پردازش اولیه تصاویر

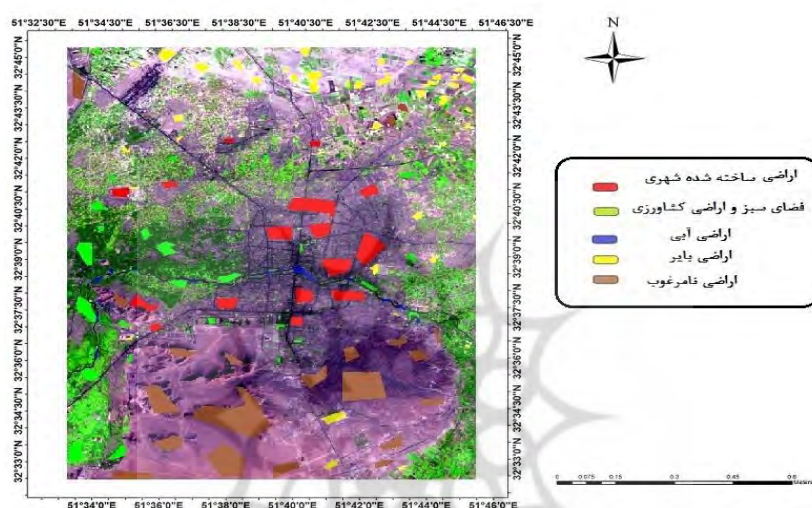
به منظور بررسی وجود و یا عدم وجود خطاهای هندسی و رادیومتریک، بررسی کیفیت داده‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت و خطاهای موجود گرفته شد. معمولاً دقت تصحیح هندسی باید کمتر از یک پیکسل و مناسب‌تر نیم پیکسل باشد. در این مطالعه خطای هندسی با استفاده از معادله درجه اول و خطای جذر میانگین مربع‌ها^۱ ارزیابی شده که مقدار این خطا کمتر از نیم پیکسل (۰/۴۹۳) ارزیابی شده است.

انتخاب نمونه‌های تعلیمی و طبقه‌بندی تصاویر

در پژوهش حاضر نقشه کاربری اراضی بر اساس یک تصویر واقعی از لندست ۵، ۷ و ۸ ایجاد شده است و نمونه کلاس‌های کاربری اراضی با توجه به تعریف کاربری اراضی و بر اساس دانش تخصصی پژوهشگران ایجاد گردید. لذا به فراخور سهم هر طبقه تعداد ۱۵۷ نمونه تعلیمی با پراکنش مناسب به‌طور تصادفی با استفاده از نقشه

¹ Root-mean-square error (RMSE)

کاربری اراضی شهر اصفهان، بررسی تصاویر گوگل ارث و تصاویر رنگی مرکب انتخاب گردید. که در نهایت با حذف تعدادی از نمونه‌های تعلیمی به علت وجود خطای زیاد از ۱۳۰ نمونه تعلیمی با پراکنش مناسب بر روی تصاویر استفاده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- پراکنش نمونه‌های آموزشی در منطقه مورد مطالعه

پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی عملیات طبقه‌بندی با استفاده از یکی از روش‌های پارامتریک طبقه‌بندی نظارت شده به نام روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت یا روش حداکثر احتمال^۱ انجام شد. در نهایت با توجه به داده‌ها موجود، قدرت تفکیک مکانی تصاویر و دانش تخصصی پژوهشگر ۵ کلاس آموزشی شامل (فضای ساخته شده شهری، فضای سبز و اراضی کشاورزی، اراضی آبی، اراضی بایر، اراضی نامرغوب) برای هر چهار تصویر به صورت جداگانه انتخاب شد. در ادامه ارزیابی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از ضریب کاپا^۲ صورت پذیرفت، ضریب کاپا، دقت

^۱ Maximum Likelihood

^۲ Kapa Coefficient

طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند (اکبری و شکاری آبادی، ۱۳۹۳: ۲۰۲).

بازیابی دمای سطح زمین (LST)

برای استخراج دمای سطح، سه مرحله انجام شد

تبدیل عدد رقومی^۱ (DN) به رادیانس طیفی^۲

تبدیل عدد رقومی به تابش طیفی برای تصاویر خام لندست TM بر اساس رابطه (۱) صورت گرفت.

رابطه (۱)

$$L = \left[\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{Qcalmax - Qcalmin} \right] (Qcal - Qcalmin) + LMIN\lambda$$

$L\lambda$ = رادیانس طیفی در سنجنده $W / (m^2sr \mu m)$ ، $Qcal$ ارزش پیکسل، $Qcalmin$ ، حداقل ارزش پیکسل، $Qcalmax$ حداکثر ارزش پیکسل و $LMAX\lambda$ و $LMIN\lambda$ حداقل و حداکثر رادیانس طیفی در سنجنده $[W / (m^2sr \mu m)]$ است. همچنین میزان رادیانس طیفی سنجنده TIRS/OLI لندست ۸ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$L = M_L * Qcal + A_L \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه L رادیانس در بالای اتمسفر $(watts / m^2 * Srad * \mu m)$ ، M_L ضریب تبدیلی ضریبی، $Qcal$ ارزش پیکسل باند ۱۰ و ۱۱ و A_L ضریب تبدیلی تجمیع کننده است ضرایب M_L و A_L در جدول (۲) آمده است (چاندر^۳ و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۹۸)، (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۶).

^۱ Digital Number (DN)

^۲ Spectral Radiance

^۳ Chander

جدول ۲- فاکتور تغییر مقیاس برای باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده OLI (چاندر و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۹۸)

ضریب کالیبراسیون	M_L باند ۱۰	A_L باند ۱۰	M_L باند ۱۱	A_L باند ۱۱
مقدار ضریب	۰/۰۰۰۳۴۲	۰/۱	۰/۰۰۰۳۴۲	۰/۱

تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه^۱

تبدیل تصاویر رادیانس به دمای جسم سیاه با استفاده از رابطه (۳) صورت می‌پذیرد

$$TB = K2/ln[k1/(L) + 1] \quad \text{رابطه (۳)}$$

TB دمای مؤثر در سنجنده برحسب کلوین، $K2$ ، ضریب کالیبراسیون ۲ برحسب کلوین، $K1$ ضریب کالیبراسیون برحسب $(W/(m^2 sr \mu m))$ و $L\lambda$ رادیانس طیفی در سنجنده است. ضرایب $K1$ و $K2$ در سنجنده TM به ترتیب به $607/76$ برحسب $W/(m^2 sr \mu m)$ و $1260/56$ برحسب کلوین است. در ماهواره لندست ۸ باند ۱۰ ضریب $K1$ برابر $777/89$ و $K2$ برابر $1321/08$ است و در باند ۱۱ ضریب $K1$ برابر $480/89$ و $K2$ برابر $1201/14$ است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۷).

به دست آوردن دمای سطح زمین (LST)

برای به دست آوردن توان تشعشعی، از روش آستانه NDVI و طبقه بندی تصویر استفاده شد. شاخص NDVI بر پایه جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است که می‌توان بر اساس روش‌های ذیل آن را محاسبه کرد. برای داده‌های سنجنده TM مقدار NDVI از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$NDVI = \frac{B4-B3}{B4+B3} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$B4$ باند مادون قرمز نزدیک و $B3$ باند قرمز در این سنجنده است همچنین برای سنجنده OLI لندست ۸ مقدار NDVI از رابطه (۵) به دست می‌آید (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۸).

¹ Black Body

$$NDVI = \frac{B5-B4}{B5+B4} \quad \text{رابطه (۵)}$$

با به دست آوردن مقادیر توان تشعشعی، دمای سطح زمین (LST) از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$T_S = \frac{T_B}{1 + (\lambda * T_B / P) 1ne} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه دمای مؤثر در ماهواره به کلوین، λ طول موج رادیانس ساطع شده ($11/5 \mu m$)، مقدار p از رابطه $\alpha = hc/K$ به دست می‌آید که در آن h ضریب پلانک، C سرعت نور، k ثابت استفان بولتزمان و ϵ گسیلمندی است. سرانجام برای ترسیم نقشه‌ی حرارتی دما بر اساس رابطه (۷) دما از درجه کلوین به درجه سانتی‌گراد تبدیل شد (مزیدی و حسینی، ۱۳۹۴: ۷)، (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۹).

$$S = Kelvin - 273.15 \quad \text{رابطه (۷)}$$

تا این مرحله که شامل مراحل پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای است همه عملیات در نرم‌افزار ENVI4.8 صورت گرفته است. سپس برای استخراج داده‌ها از تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار MATLAB برنامه نویسی‌های لازم صورت گرفته است. به این صورت که برای به دست آوردن اطلاعات از تصاویر مورد نظر با فرمت TIF خروجی گرفته شده است. سپس این تصاویر وارد نرم‌افزار MATLAB گردید و برنامه نویسی‌های لازم برای خروجی داده‌ها صورت پذیرفت.

یافته‌های پژوهش

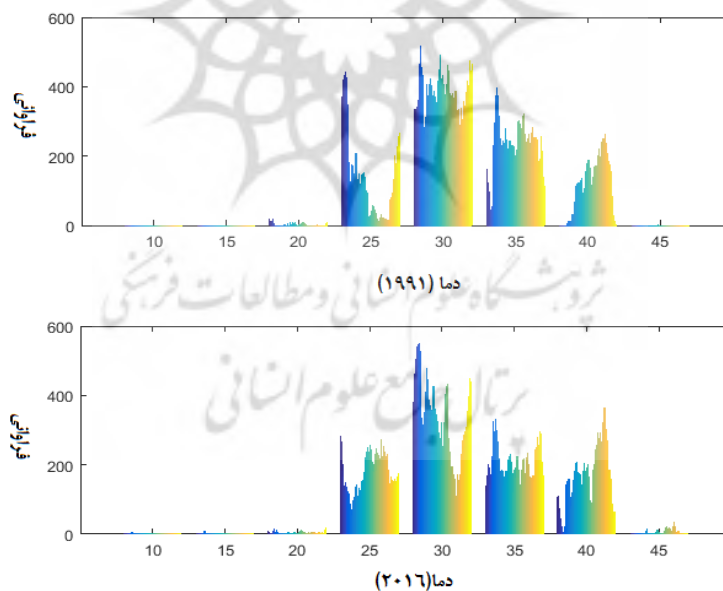
دقت اندازه‌گیری سطوح و طبقه‌بندی کاربری اراضی

نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ نشان داد که مناطق شهری اصفهان در سال ۱۹۹۱ متمرکزتر بوده است، ولی در سال ۲۰۱۶ رشد فراوان داشته و در ابعاد مختلف گسترش داشته است. مقایسه دقت تصاویر نشان داد ضریب کاپا به دست آمده در سال ۱۹۹۱، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷۵، ۰/۷۳ و

۰/۸۳۴۱ بوده است. دقت کلی این تصاویر نیز به ترتیب ۷۹/۸۸، ۸۰/۱۳، ۷۹/۹۱، ۸۸/۱۷ می‌باشد.

تحلیل تغییرات دمایی سال ۱۹۹۱-۲۰۱۶

بیکسل‌های دما در سال ۱۹۹۱ بین ۱۸/۶۱ - ۴۲/۶۸ درجه سانتی‌گراد و در سال ۲۰۱۶ دما بین ۱۰/۳۴ - ۴۴/۲۹ در نوسان بوده است. بر این اساس طبقات دمایی سطح شهر اصفهان، به ۵ طبقه دمایی تقسیم شده است. طبقات دمایی کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد را (خیلی خنک)، ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد (خنک)، ۲۵-۳۰ (متوسط)، ۳۰ تا ۳۵ (گرم) و بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد در طبقه دمایی (بسیار گرم) قرار می‌گیرد. در طی دوره آماری طبقات دمایی ۳۰ تا ۳۵ درجه دارای بیشترین پراکنش بوده و طبقات دمایی ۳۵ تا ۴۰ درجه و بالاتر در طی دوره رو به افزایش است (شکل ۳).



شکل ۳- فراوانی پراکنش طبقات دمایی در شهر اصفهان بر حسب درجه سانتی‌گراد در

بازه زمانی ۱۹۹۱-۲۰۱۶

بیشترین مساحت دمایی در سال ۱۹۹۱ مربوط به طبقه دمایی ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است که ۶۶/۶۲ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. سپس طبقه دمایی ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد که ۳۰/۷ درصد است؛ و سایر خوشه‌های دمایی در طبقات دیگر قرار گرفته‌اند. کمترین درصد مساحت مربوط به طبقات دمایی ۱۰ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است که ۰/۰۴۳ درصد را به خود اختصاص داده است. در سال ۲۰۱۶ طبقات دمایی ۲۵-۳۰ و ۳۰ تا ۳۵ به ترتیب با ۳۳/۸ و ۳۱/۵۲ درصد بیشترین مساحت دمایی را به خود اختصاص داده است. کمترین درصد مساحت در این سال به طبقه دمایی ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد با ۰/۰۸۸ درصد اختصاص یافته است. طبقات دمایی ۳۵-۴۰ و ۴۰-۴۵ درجه سانتی‌گراد به عنوان طبقه بسیار گرم در سال ۲۰۱۶ با ۳۲/۳۶ درصد دارای افزایش چشمگیری بوده که از علل این افزایش دما از بین رفتن اراضی کشاورزی، تبدیل این اراضی به اراضی بایر و نامرغوب است (جدول ۳).

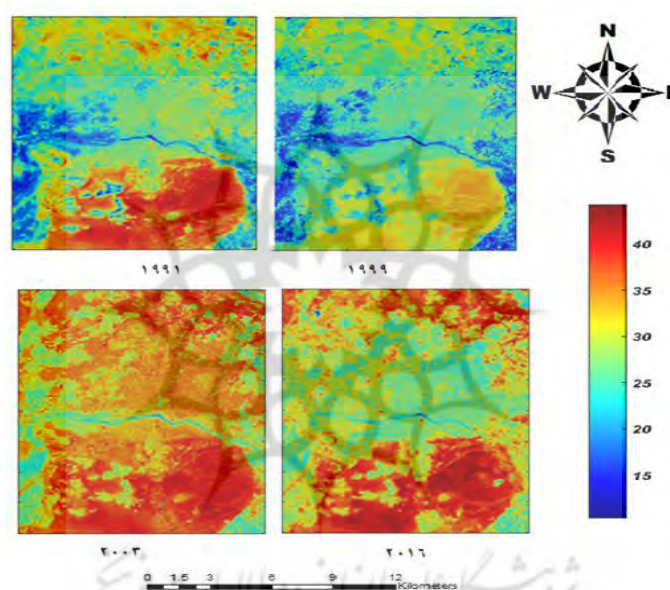
جدول ۳- تغییرات طبقات دمایی بر حسب درجه سانتی‌گراد در شهر اصفهان در بازه

زمانی ۱۹۹۱-۲۰۱۶

نوع طبقه	۱۹۹۱				۲۰۱۶			
	دما	مساحت به کیلومتر مربع	درصد	انحراف معیار	دما	مساحت به کیلومتر مربع	درصد	انحراف معیار
خیلی خنک	۱۰-۱۵	۰	۰	۰	۱۰-۱۵	۰/۰۴۰۵	۰/۰۰۸۸	۰/۹۵
	۱۵-۲۰	۰/۱۹۵۳	۰/۰۴۳	۰/۶۹۲۵۱	۱۵-۲۰	۰/۱۶۹۲	۰/۰۳۷	۱/۰۹
خنک	۲۰-۲۵	۲۰/۶۳۳۴	۴/۵۱	۱/۰۹۸	۲۵-۲۰	۱۰/۱۸۲۶	۲/۲۸	۰/۹۸
متوسط	۲۵-۳۰	۱۳۹/۹۲۱۵	۳۰/۷	۱/۰۶	۲۵-۳۰	۱۶۲/۵۸۰۵	۳۳/۸	۰/۷۶
گرم	۳۰-۳۵	۲۱۱/۹۲۳۵	۴۶/۶۲	۱/۰۹	۳۰-۳۵	۱۴۲/۶۵۷۲	۳۱/۵۲	۱/۰۷
بسیار گرم	۳۵-۴۰	۶۳/۸۲۴۱	۱۳/۹۸	۱/۱۴	۳۵-۴۰	۱۰۸/۰۳۹۶	۲۳/۵۷	۱/۱
	۴۰-۴۵	۱۸/۸۱۰۹	۴/۱۵	۰/۶۲	۴۰-۴۵	۳۲/۸۶۳۵	۸/۷۹	۱/۱۵

نمای کلی تصاویر دمایی (شکل ۴)، نشان دهنده این است که بیشترین دماها از نظر مکانی مربوط به شمال و جنوب شهر اصفهان است که شدت این دماها در سال ۲۰۱۶ افزایش پیدا کرده است. طبقه دمایی گرم و بسیار گرم در نیمه‌ی غربی و شرقی شهر

اصفهان افزایش پیدا کرده است. این طبقات در مرکز شهر اغلب به صورت چاهک‌های گرمایی نمایان است. طبقه دمایی متوسط اغلب در قسمت مرکز شهر یافت می‌شود. طبقه دمایی بسیار خنک و خنک کاهش چشمگیری یافته و در اغلب موارد جای خود را به طبقات متوسط و گرم داده است. در تصویر سال ۲۰۰۳ در مرکز شهر نیز طبقات دمایی گرم گسترش بیشتری دارد که این نوسانات می‌تواند در اثر خطای اتمسفری هم‌چون پوشش ابر، آلودگی و غیره در سطح تصویر باشد.



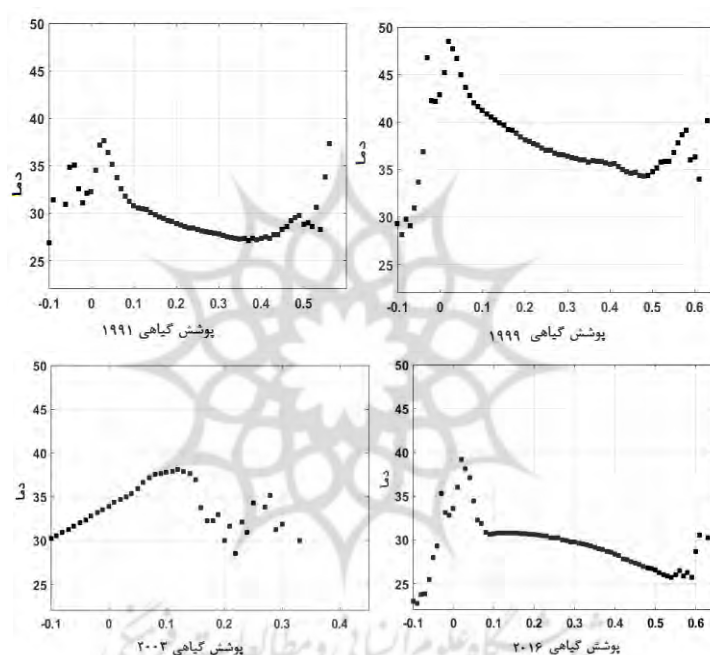
شکل ۴- تغییرات مکانی طبقات دمایی در شهر اصفهان در بازه زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ بر

حسب درجه سانتی‌گراد

تحلیل رابطه پوشش گیاهی (NDVI) با دمای سطح زمین

در منطقه مورد مطالعه پوشش گیاهی شامل زمین‌های کشاورزی، فضای سبز، بوستان‌ها و غیره است که جزایر خنک وسیعی در حومه‌ی شهر، جایی که اراضی کشاورزی قرار دارد، گسترش یافته است. اراضی کشاورزی و فضای سبز

در سال ۱۹۹۱، ۳۹/۰۶ درصد (۱۷۹/۵ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه را شامل می‌شود. در سال ۲۰۱۶، ۲۰/۲۵ درصد (۹۳/۲۱ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه را پوشش داده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد در سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ رابطه معکوس بین پوشش گیاهی و دما وجود داشته است. براین اساس کاهش میزان پوشش گیاهی می‌تواند یکی از علل افزایش دما و ایجاد جزایر گرمایی در شهر اصفهان باشد (شکل ۵).

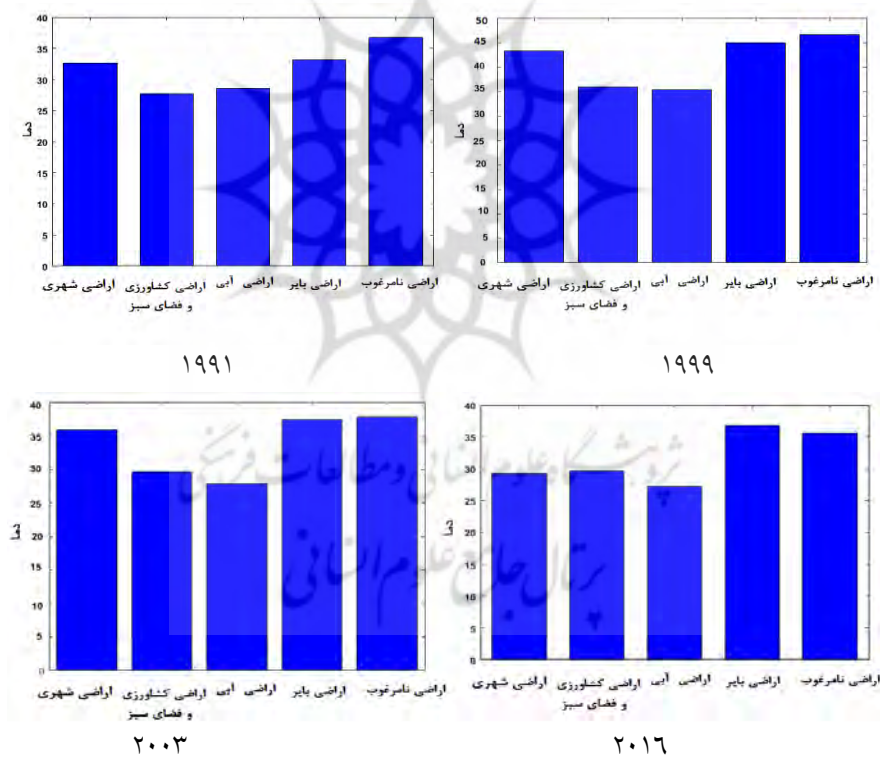


شکل ۵- مقایسه توزیع دمای سطح زمین (بر حسب درجه سانتی‌گراد) و پوشش گیاهی در شهر اصفهان در طی دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶

آشکار سازی رابطه جزیره گرمایی در رابطه با پوشش زمین

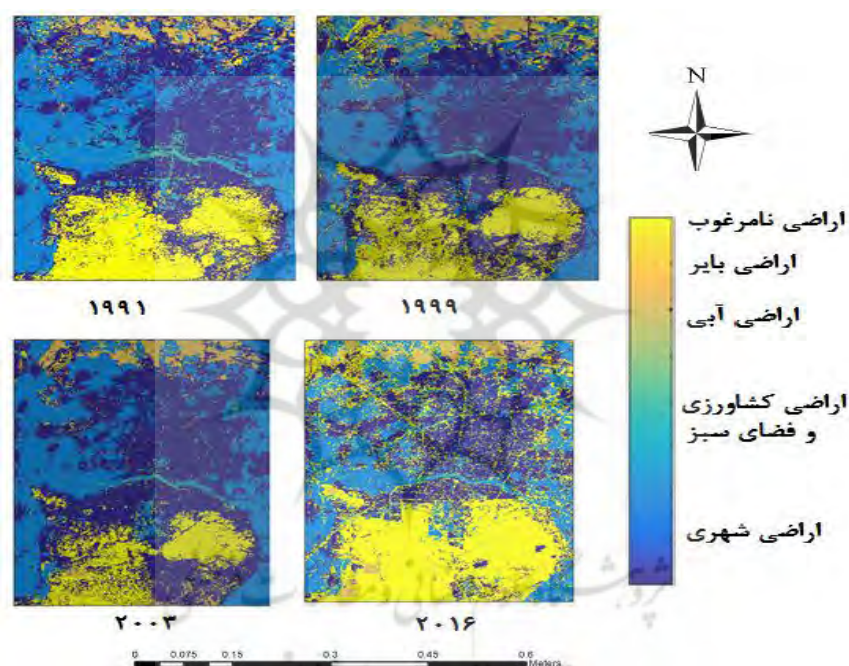
همان‌طور که گفته شد ۵ نوع کاربری پوشش زمین در منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. در طی دوره آماری مورد بررسی اراضی کشاورزی و فضای سبز ۱۸/۸۱ درصد کاهش پیدا کرده، کاربری شهری ۱۲/۰۷ درصد رشد داشته و اراضی آبی ۴/۵۹ درصد کاهش داشته است. رشد اراضی بایر تقریباً ثابت مانده و اراضی نامرغوب

۱۱/۷۲ درصد افزایش پیدا کرده است. به منظور بررسی شدت جزیره گرمایی با پوشش زمین، نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی و دمای سطح زمین با هم تلاقی داده شد و نتایج آن به صورت نمودار میانگین وزنی ارائه گردید (شکل ۶). در سال ۱۹۹۱، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ بیشترین دماها به ترتیب منطبق بر اراضی نامرغوب، اراضی بایر، اراضی شهری و ساخته شده و کمترین دماها منطبق به اراضی کشاورزی و آبی بوده است که در سال ۲۰۱۶ در وضعیت دمایی این کاربری‌ها تغییرات محسوسی ایجاد شده است. در شهر اصفهان بر خلاف انتظار میانگین دما در نواحی مرکز شهر پایین‌تر از محیط‌های باز اطراف است که یکی از دلایل آن می‌تواند سرمایه‌ش تبخیری ناشی از پوشش گیاهی شهر باشد (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار وزنی میانگین دما (برحسب درجه سانتی‌گراد) و کاربری اراضی شهر اصفهان طی دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶

میانگین دمایی اراضی شهری و ساخته شده در سال ۱۹۹۱، ۳۲/۶۶ درجه بوده است. در سال ۲۰۱۶ با توسعه ۱۲ درصدی شهر دما به ۲۹/۲۲ درجه کاهش یافته است. میانگین دمای اراضی کشاورزی و فضای سبز در سال ۲۰۱۶ به ۲۹/۶ درجه سانتی‌گراد رسیده که با افزایش چند درجه‌ای مواجه است. از دلایل اصلی این افزایش دما تغییر کاربری اراضی کشاورزی و فضای سبز است. میانگین دمایی در سایر کاربری‌ها دارای یک درجه کاهش بوده است (شکل ۶ و ۷).



شکل ۷- تغییرات مکانی مساحت کاربری اراضی شهر اصفهان در سال ۱۹۹۱ - ۲۰۱۶

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش قبل از بحث در زمینه‌ی تغییرات جزیره گرمایی در ارتباط با توسعه شهر اصفهان به بررسی تغییرات کاربری‌های زمین پرداخته شده است. بر این اساس

اراضی شهری با میانگین دمایی ۳۲/۶۶ درجه سانتی‌گراد دارای ۱۲/۰۷ درصد تغییرات بوده است، اراضی نامرغوب ۱۱/۷۲ درصد افزایش داشته است، اراضی کشاورزی و فضای سبز با بیشترین رشد منفی مواجه بوده است. به طوری که کاربری اراضی آن ۱۸/۸۱ کاهش پیدا کرده است، سطح اراضی آبی منطقه ۴/۵۹ کاهش یافته و اراضی بایر دارای کمترین میزان تغییرات بوده است با توجه به شکل (۶)، (۷) در سال ۱۹۹۱، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۳ بیشترین دماها به ترتیب منطبق بر اراضی نامرغوب، اراضی بایر و کمترین دماها منطبق به اراضی کشاورزی و آبی بوده که در سال ۲۰۱۶ در وضعیت دمایی این کاربری‌ها تغییرات محسوسی ایجاد شده است. به عبارتی اراضی نامرغوب و بایر به دلیل نبود ساز و کارهای خنک‌کنندگی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما و ظرفیت هدایتی پایین، به مقدار زیادی انرژی جذب کرده و به سرعت گرم می‌شود. از سوی دیگر توزیع فضایی دمای سطح با تراکم ساختمان‌ها دارای رابطه معکوس است. لذا می‌توان گفت که توسعه شهرنشینی در شهرهای با هوای گرم و خشک مانند شهر اصفهان به کاهش اثرات جزیره گرمایی کمک نموده است. این نتیجه با مطالعات صورت گرفته توسط لازرینی و همکاران (۲۰۱۳)، رسول و همکاران (۲۰۱۵)، هماهنگ است و با مطالعات موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱)، ساسان پور و همکاران (۱۳۹۲) متفاوت می‌باشد. تحلیل رابطه دما با پوشش گیاهی نیز نشان می‌دهد در سال ۱۹۹۱، ۱۹۹۹، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۶ رابطه معکوس بین پوشش گیاهی و دما وجود دارد. بنابراین کاهش میزان پوشش گیاهی می‌تواند یکی از علل افزایش دما و ایجاد جزایر گرمایی در شهر اصفهان باشد (شکل ۵)؛ در مطالعات ونگ و همکاران (۲۰۰۴)، سان و کافاتوس (۲۰۰۷)، ونگ و لوو (۲۰۰۸) و پنگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز به رابطه خطی معکوس بین دما و پوشش گیاهی تأکید شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه و ترکیب روش‌های معمول بررسی جزیره گرمایی می‌تواند دیدی همه‌جانبه از نحوه‌ی شکل‌گیری و گسترش جزیره

گرمایی شهری به دست می‌آورد و باعث شکل‌گیری استراتژی‌های مدیریت شهری برای کاهش اثرات منفی جزیره گرمایی شود.

منابع

- اکبری، الهه، علی، شکار آبادی، (۱۳۹۳)، پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه برداری، جغرافیا و محیط زیست، نشر ماهواره، چاپ سوم، تهران، ۲۴۰.
- بابایی فینی، ام‌السلمه، (۱۳۹۴)، بررسی رابطه دمای سطح زمین و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط شهری (مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۲۹، دانشگاه آزاد لارستان، صص ۷۵-۹۰.
- رنگزن، کاظم، محمد علی، فیروزی، ایوب، تقی زاده، رامین، مهدی زاده، (۱۳۹۰)، بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از RS و GIS: نمونه موردی شهر اهواز، اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، تهران، شرکت بین‌المللی پردازش اطلاعات.
- ساسان پور، فرزانه، پرویز، ضیائیان، مریم، بهادری، (۱۳۹۲)، بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، جغرافیا، شماره ۳۹، تهران؛ صص ۲۵۶-۲۷۰.
- صابری، حمید، اصغر، ضرابی، جمال، محمدی، (۱۳۹۱)، اولویت‌بندی استراتژی‌های توسعه شهر (CDS) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP مطالعه موردی: کلانشهر اصفهان، فضای جغرافیایی، شماره ۷۲، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، صص ۵۹-۷۵.
- عبداللهی، علی اصغر، (۱۳۸۸)، نقش ژئومورفولوژی شهری در تغییرات زمانی - مکانی آلودگی هوا و شناسایی جزایر گرمایی شهر اصفهان با استفاده از RS و GIS، محمدی، جمال، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا برنامه ریزی شهری.
- علوی پناه، سید کاظم، سیروس، هاشمی دره بادامی، علی، کاظم‌زاده، (۱۳۹۴)، تحلیل زمانی مکانی جزیره حرارتی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات - کاربری

پوشش زمین، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، شماره ۱، تهران، صص ۱-۱۷.

علی‌جانی، بهلول، (۱۳۷۶). تعیین فصول طبیعی ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۵، دانشگاه تهران، صص ۲۱ - ۳۳.

متکان، علی اکبر، احمد، نوحه‌گر، بابک، میر باقری، ناهید، ترک چین، (۱۳۹۳)، تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده ASTER مطالعه موردی: شهر بندرعباس، سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، شماره ۱۴، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، صص ۱-۱۴.

مزیدی، احمد، فاطمه، حسینی، (۱۳۹۴)، تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه‌ی شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش از دور، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۸، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۱-۱۲.

موسوی بایگی، محمد، بتول، اشرف، علیرضا، فرید حسینی، آمنه، میان آبادی، (۱۳۹۱)، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۳۵ - ۴۹.

یوسفی، یداله، فاطمه، کاردل، همت اله، رورده، مولود، محتسبی خلعتبری، (۱۳۹۶). بررسی پدیده جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری روز به روز دمای تابستان شهر بابل، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، صص ۴۹۴ - ۵۰۱.

Ali, Jasim M. Stuart H. Marsh, and Martin J. Smith (2017). A comparison between London and Baghdad surface urban heat islands and possible engineering mitigation solutions. *Sustainable Cities and Society*, 29, 159-168.

American Meteorological Society cited (2015). Urban Heat Island, Glossary of Meteorology. Available online at http://glossary.ametsoc.org/wiki/Urban_heat_island.

Chander, Gyanesh, Brian L. Markham, and Dennis L. Helder (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903.

Choi, Youn-Young, Myoung-Seok Suh, and Ki-Hong Park (2014). Assessment of surface urban heat islands over three megacities in East Asia using land surface temperature data retrieved from COMS. *Remote Sensing*, 6(6), 5852-5867.

- Lazzarini, Michele, Prashanth Reddy Marpu, and Hosni Ghedira. (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, 130, 136-152.
- Poggendorf, Philipp, Ciais Pierre, Friedl, G. M., Oberthur, T., and Myneni (2011). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2), 696-703.
- Rasul, Azad, Heiko Balzter, and Claire Smith (2015). Spatial variation of the daytime surface urban cool island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat 8. *Urban climate*, 14, 176-186.
- Son, Nguyen-Thanh, Chi-Fan Chen, Cheng-Ru Chen, Bui-Xuan Thanh, and Tran-Hau Vuong (2017). Assessment of urbanization and urban heat islands in Ho Chi Minh City, Vietnam using Landsat data. *Sustainable Cities and Society*, 30, 150-161.
- Stewart, Iain D (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31(2), 200-217.
- Sun, Donglian, and Menas Kafatos (2007). Note on the NDV-LST relationship and the use of temperature related drought indices over North America. *Geophysical Research Letters*, 34(24).
- Voogt, James A. and Tim R. Oke (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- Weng, Qihao, Dengsheng Lu, and Jacquelyn Schubring (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- <https://earthexplorer.usgs.gov>