



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

۱۶۳-۱۷۸

بررسی رابطه پوشش گیاهی شهری و درجه حرارت سطح زمین با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای لندست TM و OLI و سنجه LST در شهر اصفهان

مرضیه نیلیه بروجنی^۱ و مژگان احمدی ندوشن^{*۲}

^۱گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
^۲مرکز تحقیقات پسماند و پساب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

نیلیه بروجنی، م. و م. احمدی ندوشن. ۱۳۹۸. بررسی رابطه پوشش گیاهی شهری و درجه حرارت سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و OLI و شاخص LST در شهر اصفهان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۱۶۳-۱۷۸.

سابقه و هدف: در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت، رشد سریع صنعتی شدن، افزایش آلودگی هوا در ترازهای پایین جو و آثار جزیره گرمایی، سبب تغییرهای قابل ملاحظه‌ای در وضع هوا و اقلیم محلی شهرهای بزرگ شده است. آثار محیط‌های شهری روی جو بیشتر بصورت جزیره‌های گرمایی ظاهر می‌شوند. فضای سبز با کاهش دما و افزایش رطوبت و در نهایت کاهش پدیده‌ی جزیره‌ی حرارتی و همچنین کاهش رواناب، در ارتقای سطح آسایش شهروندان و در نهایت پایداری محیط شهری موثر خواهد بود. هدف این مطالعه تهیه نقشه‌های کاربری زمین و سنجه پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده NDVI و نیز سنجه حرارتی Land surface temperature (LST) و بررسی نحوه توزیع الگوهای حرارتی سطح زمین و تغییرهای زمانی و مکانی پوشش گیاهی و ارتباط آن‌ها در شهر اصفهان از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۶ است.

مواد و روش‌ها: بدین منظور، تصویرهای ماهواره‌ای سنجنده‌های TM و OLI ماهواره لندست از سایت سازمان زمین شناسی ایالت متحده دانلود گردید. با بکارگیری سه تصویر مربوط به سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶، مقدار سنجه پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده با استفاده از نرم افزار Terrset کمی گردید و نقشه‌های آن تهیه شد. سپس با تهیه نقشه کاربری زمین‌ها به روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال به آنالیز روند تغییرهای کاربری‌هایی از قبیل (شهر، جاده، مزرعه‌های کشاورزی، زمین‌های بایر، رودخانه، کوه و فضای سبز) پرداخته شد. در نهایت برای ارزیابی دمای سطح زمین (LST) و رابطه آن با نقشه پوشش گیاهی، از الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST) استفاده گردید و نقشه‌های حرارتی سطح زمین برای شهر اصفهان برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ تهیه شد.

نتایج و بحث: روند تغییرهای کاربری زمین‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در دوره مورد مطالعه، تخریب شدید در پوشش سبز منطقه رخ داده و بخش عمده این تغییرها در جهت تبدیل شدن به منطقه‌های شهری بوده است. همچنین، نتایج حاصل نشان دهنده وجود یک رابطه معکوس بین دمای سطح زمین و سنجه NDVI است. نتایج بیانگر پیشرفت جزایر حرارتی شهری به سمت منطقه‌هایی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های ساخت و ساز شده (مسکونی، صنعتی و ...) مواجه بوده اند. همچنین نتایج گویای تسریع افزایش دما در سالهای اخیر نسبت به سال‌های گذشته است زیرا افزایش متوسط دمای سالانه در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶، ۰/۶۱ درجه سانتیگراد بود، در حالی که افزایش متوسط دما به میزان ۰/۰۵ درجه سانتیگراد از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ مشاهده گردید.

*Corresponding Author. Email Address: m.ahmadi@khuis.ac.ir

نتیجه گیری: تحلیل تغییرهای زمانی جزایر حرارتی شهر اصفهان گویای افزایش جزایر گرمایی و کاهش فضایی منطقه‌های خنک شهری می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که تغییرهایی که در این بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۶) در زمینه‌های مختلفی از جمله افزایش جمعیت، افزایش مساحت شهری و تغییر کاربری رخ داده در نهایت سبب افزایش مساحت منطقه‌های داغ و ایجاد جزیره حرارتی در این شهر گشته است. بدلیل وجود همبستگی بین دمای سطح زمین و سنج پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده NDVI، لزوم و اهمیت حفاظت و نگهداری کاربری پوشش گیاهی و فضای سبز بویژه در محیط‌های شهر بعنوان یک متغیر بسیار مهم برای تعدیل شرایط آب و هوایی برای نهادهای مسئول در مدیریت شهری ضروری به نظر می‌رسد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند دیدگاهی برای مدیریت دقیق و موثر پوشش گیاهی شهری با هدف اصلاح و تغییر روند ایجاد جزایر حرارتی شهری در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، دمای سطح زمین، سنج NDVI، جزیره حرارت شهری.

مقدمه

اثرهای مضر جزیره‌ی حرارتی شهری و ایجاد شهرهای پایدار می‌باشد (Zhang *et al.*, 2015). دمای بالاتر در محیط‌های شهری در مقایسه با دیگر منطقه‌ها، به جزیره حرارت شهری (UHI) اشاره دارد (Amanollahi *et al.*, 2016). جزیره‌های حرارتی شهری در نتیجه سه پدیده شکل می‌گیرد. دلیل اصلی تبدیل منطقه‌های دارای پوشش گیاهی به منطقه‌های بدون پوشش گیاهی، سطح‌های نفوذناپذیر مانند آسفالت می‌باشد که اشعه خورشید را بشدت جذب می‌کند (Charabi and Bakhti, 2011). افزون بر این، وسایل نقلیه، کارخانه‌ها و صنایع، شرایط آب و هوایی منطقه‌های شهری را در مقایسه با مناطق اطراف گرم تر می‌سازد. عامل سوم ساختمان‌های بلند است که منجر به کاهش جریان هوا و افزایش دمای اتمسفر می‌شود (Liu and Weng, 2012).

در حقیقت جزیره حرارت شهری از جریانات دمایی سطح زمین و نوع شهری شدن منشأ می‌گیرد، بنابراین تعیین دمای سطح زمین یک پارامتر اولیه و گامی کلیدی در تحلیل جزیره حرارت شهری است (Huang *et al.*, 2012). دمای سطح زمین یکی از معیارهای مهم در برنامه‌ریزی ناحیه‌ای و منطقه‌ای می‌باشد زیرا یک عامل مهم در کنترل فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی زمین است (Ghorbannia Kheybari *et al.*, 2017). دمای سطح زمین (LST) یک سنج کلیدی برای ارزیابی جزایر حرارتی شهری است (Joshi and Bhatt, 2012).

بمنظور تعدیل اثرهای مخرب این آسیب‌های محیط زیستی، موثرترین و در عین حال ساده ترین راه توسعه فضای سبز است (De Ridder *et al.*, 2011). فضای سبز شهری، فضای متشکل از گیاهان با ساخت شبه جنگلی و برخوردار

تغییرهای آب و هوا، امروزه چالش‌های اساسی را برای امنیت انسانی در سراسر جهان ایجاد کرده که موجب افزایش میانگین درجه حرارت سطح زمین شده است (Jajarmi and Pishgahifard, 2014). تغییرهای اقلیمی قبل از صنعتی شدن آغاز شده است و همچنان ادامه دارد (Orhan and Yakar, 2016). این تغییرها نتیجه فعالیت‌های انسانی و طبیعی شامل جنگل‌زدایی، تغییرهای کاربری و پوشش زمین‌ها و توسعه شهرنشینی است (Penny and Kealhofer, 2005). از نیمه دوم قرن بیستم، شهرنشینی بعنوان یکی از مهمترین پدیده‌های انسانی تاثیرگذار، جهان را تحت تاثیر قرار داده است (Singh *et al.*, 2017). گسترش شهرنشینی بطور قابل توجهی منجر به تغییر شکل سیمای سرزمین از طریق تغییرهای کاربری و پوشش زمین‌ها شده است (Jeevalakshmi *et al.*, 2017). تغییرها در الگوهای کاربری زمینها، دمای سطح زمین در محیط‌های شهری را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Singh *et al.*, 2017). افزون بر این، کاهش پوشش گیاهی سطح زمین بطور پیوسته در نتیجه رشد شهرنشینی در حال وقوع است و منجر به تجمع دی اکسیدکربن در اتمسفر شده است (Islam and Islam, 2013). از این رو بررسی تغییرهای زمانی و مکانی کاربری زمین‌ها و اثرهای آن روی جزایر حرارتی شهری برای پیدا کردن راه حل‌های امکان پذیر برای این مشکل محیط زیستی امری ضروری است.

امروزه یکی از چالش‌های بزرگ پیش رو تلاش برای کاهش

(LST) Bokaie *et al.* (2016) رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و کاربری پوشش زمین‌ها در کلان شهر تهران را با استفاده از تصویرهای ماهواره ای لندست TM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده رابطه همبستگی منفی بین پوشش گیاهی و فضای سبز و درجه حرارت سطح زمین بود.

Fathizad *et al.* (2017) تغییرهای زمانی- مکانی درجه حرارت سطح زمین بر اساس تغییرهای کاربری زمین‌ها را با استفاده از تصویرهای ماهواره ای لندست و سنجه پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده NDVI در منطقه دشت عباس ایلام واقع در جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار دادند.

Adeyeri *et al.* (2017) جزیره حرارتی شهری آبو جا در نیجریه را بر اساس بررسی رابطه بین دمای سطح زمین برآورد شده از باند حرارتی ماهواره لندست ۸ و سنجه‌های پوشش گیاهی برآورد شده با باندهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده همبستگی منفی بین دمای سطح زمین و سنجه‌های گیاهی بود.

Muro *et al.* (2018) درجه حرارت سطح زمین را با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای MODIS در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در تالاب کیلومبرو در تانزانیا را برآورد کردند. آن‌ها رابطه بین روند تغییرهای دمای سطح زمین و سنجه پوشش گیاهی نرمال شده را مورد بررسی قرار دارند و همبستگی منفی بین این دو پارامتر مشاهده گردید. نتایج نشان داد که آنالیز سری زمانی داده‌های LST می‌تواند بطور موفقیت آمیز برای پایش و مطالعه تغییرها در اکوسیستم‌های تالابی در مقیاس‌های محلی و منطقه ای مورد استفاده قرار گیرد. گسترش شهرنشینی و فعالیت‌های صنعتی در شهرهای بزرگ از جمله اصفهان منجر به تغییرهای وسیعی در ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین، تغییرهای دما و دیگر پارامترهای هواشناسی می‌شود و جزیره گرمایی شهری را ایجاد می‌کند. وجود صنایع بزرگ و کوچک، نیروگاه‌ها و خودروها، منبع‌های اصلی افزایش گرمای سطح زمین در شهر اصفهان هستند. بنابراین با توجه به نقش فضای سبز بعنوان یکی از مهم ترین کلاس‌های کاربری زمین‌ها در اکوسیستم شهری،

از بازدهی اکولوژیکی، بعنوان یکی از ارکان مهم در برنامه ریزی شهری، اثرهای قابل توجهی در کنترل و بهبود تغییر اقلیم شهرها دارا می‌باشد. بنابراین فضای سبز با کاهش دما و افزایش رطوبت و در نهایت کاهش پدیده‌ی جزیره‌ی حرارتی و همچنین کاهش رواناب، در ارتقا سطح آسایش شهروندان و در نهایت پایداری محیط شهری موثر خواهد بود (Ahmadi *et al.*, 2014).

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد ثبات در سطح گازهای جو و کاهش میزان استفاده از سوخت‌های فسیلی یکی از مهمترین قدم‌ها در کمک به کنترل دمای زمین است (Eldevik *et al.*, 2014). جزیره حرارت شهری افزون بر اینکه بر اقلیم و آب و هوای محلی، الگوی باد محلی، توسعه ابر و مه و نرخ بارش تأثیر گذار بوده، بطور مستقیم بر سلامت (فشار خون، بیماری‌های قلبی عروقی، کم آبی بدن) جمعیت ساکن در شهرها نیز تأثیرگذار است و در برخی موارد منجر به بیماری‌هایی از قبیل آسم و بیماری‌های تنفسی می‌شود (Liu and Zhang, 2011).

امروزه سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند امکان بررسی دمای سطح زمین را فراهم آورد و به درک جریان‌های انرژی در منطقه‌های شهری کمک کند. در چند دهه گذشته تصویرهای ماهواره‌ای یک ابزار ارزشمند برای مطالعه جوانب گوناگون پدیده جزیره حرارتی شده است (Acero and González-Asensio, 2018). سنجش از دور یک ابزار مفید برای کمی کردن دمای سطح زمین در واکنش به تغییر پوشش زمین‌ها است (Orhan and Yakar, 2016). تصویرهای ماهواره‌ای چندزمانه را می‌توان برای آشکارسازی تغییرها در پوشش و کاربری زمین‌ها و تغییرهای پی در پی در دمای سطح زمین مورد استفاده قرار داد (Butt *et al.*, 2015).

در سال‌های اخیر، مطالعاتی در رابطه با بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در ایران و دیگر کشورها انجام گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

Kayet *et al.* (2016) اثر سنجه‌های پوشش گیاهی RVI و SAVI و NDVI را بر روی دمای سطح زمین مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنالیز همبستگی نشان‌دهنده رابطه منفی بین پوشش گیاهی با دمای سطح زمین بود.

شمالی قرار دارد. محدوده شهری آن به پانزده منطقه شهری تقسیم می‌شود و در خارج از محدوده شهری نیز از غرب به سمت خمینی شهر و نجف آباد، از جنوب کوه صفا و سپاهان شهر، از سمت شمال به شاهین شهر و از شرق نیز به دشت سگری منتهی می‌شود.

سطح شهر از سطح عمومی دریاها حدود ۱۵۷۰ متر ارتفاع دارد و در قسمت شمالی و شرقی به کویر محدود می‌گردد و در قسمت غربی و جنوبی نیز به سلسله کوه‌های زاگرس منتهی می‌شود (Ataei and Hasheminasab, 2015). براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، اصفهان ۴۸۲ کیلومتر وسعت و ۱۹۶۱۲۶۰ نفر جمعیت داشته است (Statistical center of Iran, 2016). گسترش شهرنشینی و افزایش فعالیت‌های صنعتی در شهرهای بزرگ از جمله اصفهان منجر به تغییرهای وسیعی در کاربری زمین‌ها، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در سال‌های اخیر شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

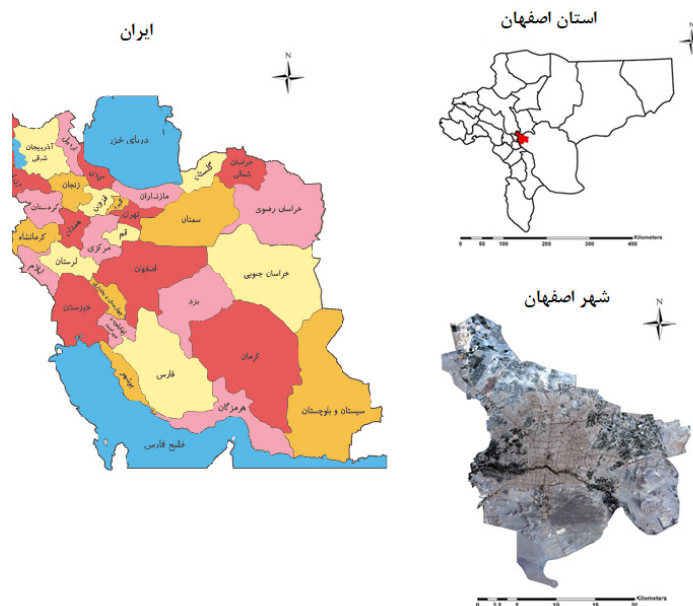
مطالعه تغییرها و تاثیر آن بر کاهش درجه حرارت سطح زمین مهم است (Norouzi and Mohammadi, 2014).

هدف این مطالعه استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی بمنظور تهیه نقشه‌های کاربری زمین‌ها و پوشش گیاهی و دمای سطح زمین و بررسی رابطه بین سنجه پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده NDVI برآورد شده با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای لندست TM و OLI و سنجه دمای سطح زمین استخراج شده با استفاده از باندهای حرارتی تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۶ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر اصفهان در جنوب غربی استان اصفهان و با مختصات ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۱ دقیقه عرض



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Location of study area

و ۲۰۱۶ استفاده شد. از نرم افزار ERDAS IMAGINE بمنظور Layer stacking باندهای تصویرها استفاده شد و این تصویرها بر اساس مرز منطقه بریده شدند. سپس تصویرها به محیط نرم افزار Terrset وارد شد و بمنظور بارسازی تصویرها از عملیات ایجاد تصویرهای رنگی کاذب استفاده گردید.

روش کار

تهیه و پیش پردازش تصویرهای ماهواره‌ای

تصویرهای ماهواره‌ای لندست TM و OLI از سایت سازمان زمین شناسی ایالت متحده دانلود گردید. در این تحقیق از تصویرهای ماهواره‌ای مربوط به ۲۰ اوت سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویرهای ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش
Table 1. The properties of satellite images used in this study

مسیر Path	ردیف Row	تاریخ برداشت Acquisition date	نام سنجنده Sensor	نام ماهواره Satellite
164	37	20 August 1985	TM	Landsat 5
164	37	20 August 2010	TM	Landsat 5
164	37	20 August 2016	OLI	Landsat 8

محاسبه سنجه NDVI

بررسی تغییرها فضای سبز در منطقه مورد مطالعه از اعمال سنجه NDVI بر روی باندهای ۳ و ۴ یا ۴ و ۵ تصاویر ماهواره‌ای TM و OLI، تقسیم‌بندی مقادیر این سنجه به کلاس‌های بدون پوشش و دارای پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار Terrset صورت گرفت.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad (1)$$

P_{RED} و P_{NIR} بترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد.

سنجه تفاضل نرمال شده گیاهی، برای بررسی تراکم فضای سبز بر دمای سطح زمین از طریق نسبت گیری باندهای قرمز و مادون قرمز ترکیب (مطابق جدول شماره ۲) به دست می‌آید. در این روش محاسبه نسبت دامنه تغییرات و مقادیر NDVI از -۱ تا +۱ است. میزان عددی زیاد نشان دهنده پوشش گیاهی سالم بوده و میزان عددی کم دلالت بر پوشش گیاهی ناسالم، و یا تحت فشار همانند شرایط زمین‌ها بدون پوشش دارد. بمنظور

جدول ۲- روابط محاسبه NDVI برای تصاویرهای ماهواره لندست
Table 2. Equations for calculating NDVI for TM satellite images

سنجنده Sensor	فرمول NDVI NDVI formula
TM - لندست ۵ Landsat 5 TM	$\frac{(\text{Band 4} - \text{Band 3})}{(\text{Band 4} + \text{Band 3})}$
OLI - لندست ۸ Landsat 8 OLI	$\frac{(\text{Band 5} - \text{Band 4})}{(\text{Band 5} + \text{Band 4})}$

حاصل در ۷ کلاس طبقه بندی شد، که طبقه‌های موردنظر در جدول (۳) نشان داده شده است.

برآورد دمای سطح زمین (LST)

بمنظور برآورد درجه حرارت سطح زمین از الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST) استفاده شد. اندازه گیری LST، شامل داده‌های زمینی مانند داده‌های پوشش زمینی (توان تشعشع سطحی)، نوع پوشش زمین و درصد ترکیب واحدهای پوشش است. استخراج دمای سطح زمین با از استفاده از باند ۶ (حرارتی) تصویر سنجنده TM و باندهای حرارتی ماهواره لندست ۸ در محیط نرم افزارهای Arc-

تهیه نقشه کاربری زمین‌ها

برای شناسایی تغییرهای کاربری زمین‌ها منطقه مورد مطالعه از طبقه بندی نظارت شده استفاده شد و نقشه‌های کاربری زمین‌ها برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ تهیه گردید. در طبقه بندی نظارت شده برای هر پدیده یا طبقه کاربر زمین‌ها، تعدادی از منطقه‌ها یا سطح‌ها بعنوان نمونه‌های تعلیمی انتخاب می‌شوند، تا از آن‌ها برای طبقه بندی اطلاعات در مرحله‌های بعدی استفاده گردد. در این طبقه بندی از روش حداکثر احتمال استفاده شد، این روش نسبت به دیگر روش‌های طبقه بندی نظارت شده دقیقتر است (Bihamta et al., 2014). نقشه پوشش زمین‌های

جدول ۳- طبقه‌های کاربری زمین‌ها
Table 3. Land use classes

توصیف Description	نام طبقه کاربری زمین‌ها Land use classes
منطقه‌های مسکونی، صنعتی، تجاری، منطقه‌های در حال ساخت و ساز	منطقه‌های شهری (Urban areas)
جاده‌ها و خیابان‌ها	جاده (Road)
رودخانه زاینده رود	رودخانه (River)
کوه‌ها و رخنمون‌های سنگی	کوه (Mountain)
منطقه‌هایی که دارای پوشش گیاهی شامل زمین‌های زراعی و کشاورزی هستند.	مزرعه‌های کشاورزی (Agricultural areas)
انواع پوشش گیاهی شامل انواع فضاهای سبز شهری و پارک‌ها	فضای سبز (Green spaces)
منطقه‌های دارای پوشش گیاهی اندک که به شکل زمین برهنه هستند.	زمین بایر (Barren lands)

10.5 GIS و ERDAS IMAGING 9.2 انجام گرفت. برای
Spatial Analyst بر روی باندهای تصویر در نرم افزار 10.5
ArcGIS طبق جدول ۴ اعمال گردید.
ارزیابی دمای سطح زمین، دستور Raster Calculator ابزار

جدول ۴- معادلات مورد نیاز برای محاسبه دمای سطح زمین
Table 4. Equations for calculating land surface temperature

معادلات Equations	
$L_{\lambda} = [(L_{MAX} - L_{MIN}) / (QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN})] \times (QCAL - QCAL_{MIN}) + L_{MIN}$	تبدیل عدد رقومی (DN) به تابش طیفی (Convert from digital numbers (DN) to radiance)
$T_B = K_2 / \ln(K_1 / L_{\lambda} + 1)$	تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه (Convert from radiance to black body temperature)
$\frac{(Band\ 4 - Band\ 3)}{(Band\ 4 + Band\ 3)}$	محاسبه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (Calculation of normalized difference vegetation Index)
$P_V = (NDVI - NDVI_{MIN} / NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN})^2$	محاسبه نسبت پوشش گیاهی (Calculating proportion of vegetation using NDVI)
$\epsilon = \epsilon_{VEG} \times P_V + \epsilon_{SOIL} (1 - P_V)$	گسیل مندی سطحی (Surface emissivity)
$T_S = T_B / [1 + (\lambda b t / a) L n \epsilon] - 273.15$	تعیین دمای سطح زمین (Calculation of land surface temperature)

$\lambda =$ طول موج رادیانس ساطع شده که مساوی است با 5/11 μm
 $a = hc/k$ ثابت پلانک و مساوی است با 1034×62/6 j.sec
 c که همان سرعت نور می‌باشد و برابر است با 108×998/2 m/sec
 K ثابت استفان بولتزمن است و برابر است با 1023×38/1 j/k و ϵ گسیلمندی می‌باشد.

نتایج و بحث

تهیه و طبقه بندی سنج NDVI

پوشش گیاهی و یکدست شدن پوشش زمین است، ولی کاهش
NDVI معرف پدیده‌های متنوع تر (آب، فضای باز، خاک لخت،
ساخت و ساز و ...) و ناهمگن تر شدن موزائیک سرزمین است. با
افزایش NDVI همبستگی LST-NDVI قویتر می‌شود، بدین
صورت که سطوح پوشیده از گیاه، دمای سطحی کمتری دارند و

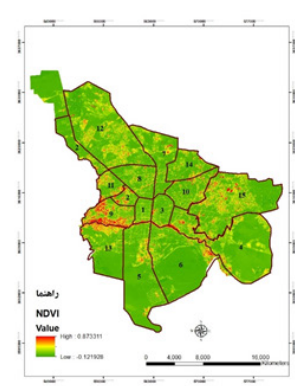
با بررسی میزان عددی سنج NDVI در نرم افزار Terrset
و با توجه به شکل‌های شماره ۲ تا ۴ قسمت‌های قرمز
رنگ دارای مقادیر مثبت بزرگتری به معنی افزایش فراوانی

پوشش گیاهی آثار خنک کنندگی بر پیرامون دارد. تعیین حدود آستانه طبق جدول ۵ به دو کلاس با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی طبقه بندی گردید. در نهایت وابستگی سنجه پوشش گیاهی با دما مورد ارزیابی قرار گرفت.

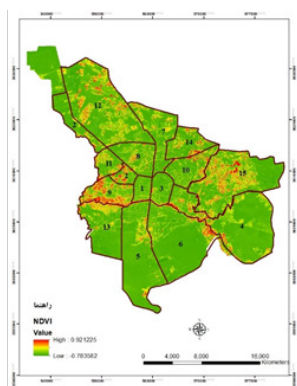
پوشش گیاهی آثار خنک کنندگی بر پیرامون دارد. تعیین حدود آستانه طبق جدول ۵ به دو کلاس با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی طبقه بندی گردید. در نهایت وابستگی سنجه پوشش گیاهی با دما مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۵- حدود آستانه برای طبقه بندی مقادیر سنجه NDVI
Table 5. Threshold values for the classification of NDVI index

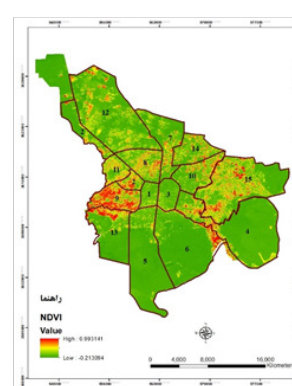
2016	2010	1985	سال Year
-0.1219 – 0.8733	- 0.7835 – 0.9212	- 0.2130 – 0.9931	آستانه های طبقه بندی پوشش گیاهی Threshold for NDVI classification



شکل ۴- نقشه پوشش گیاهی شهر اصفهان (۲۰۱۶)
Fig. 4- The vegetation index map of Isfahan city in 2016



شکل ۳- نقشه پوشش گیاهی شهر اصفهان (۲۰۱۰)
Fig. 3- The vegetation index map of Isfahan city in 2010



شکل ۲- نقشه شاخص پوشش گیاهی شهر اصفهان (۱۹۸۵)
Fig. 2- The vegetation index map of Isfahan city in 1985

افزایش یافته است، همچنین درصد کلاس جاده در سال ۱۹۸۵ از ۸/۴۵ به ۱۲/۱۲ درصد در سال ۲۰۱۰ و در نهایت به ۱۴/۶۶ درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش پیدا کرده است. همچنین مساحت لکه های فضای سبز، کشاورزی و بایر و همچنین تعداد و اندازه کاربری ها نیز تغییر کرده است. درصد کلاس کشاورزی در سال ۱۹۸۵ از ۱۰/۳۰ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه به ۷/۴۶ درصد در سال ۲۰۱۰ و در نهایت ۳/۴۵ در سال ۲۰۱۶ کاهش یافته است که این کاهش سطح بدلیل تبدیل کاربری زمین های کشاورزی به زمین های شهری و صنعتی در اثر توسعه شهری و صنعتی رخ داده است. زمین هایی که به منطقه های شهری تبدیل شده اند بیشتر جزء زمین های کشاورزی و بایر بوده اند. سطح جاده ها و بزرگراه ها که بعنوان طبقه زمین های جاده ها طبقه بندی گردیدند بدلیل گسترش زمین های شهری افزایش یافته اند. مساحت رودخانه در این بازه زمانی کمابیش تغییر محسوسی نکرده است. بدلیل گسترش منطقه های شهری، میزان تکه شدگی فضاهای سبز در این بازه زمانی افزایش یافته که این

تهیه نقشه کاربری زمین ها و ارزیابی صحت طبقه بندی

نقشه های کاربری زمین ها برای سال های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ با استفاده از روش حداکثر احتمال تهیه شد و کاپا و صحت کلی آن بترتیب برای سال ۱۹۸۵، ۸۳/۶۵ درصد و ۸۸/۴۹ درصد، سال ۲۰۱۰، ۹۳/۹۴ درصد و ۹۶/۳۷ درصد، سال ۲۰۱۶، ۹۲/۰۸ درصد و ۹۴/۳۵ درصد محاسبه شد.

تغییرهای کاربری زمین ها بین سال های ۱۹۸۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶

برای شناسایی تغییرهای سرزمین از نقشه های کاربری زمین ها استفاده شد. بطور مختصر نتایج برای منطقه مورد مطالعه (شهر اصفهان) در فاصله زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۶ نشان می دهد که افزایش رشد جمعیت و شهرنشینی در منطقه در بازه زمانی ۳۰ ساله سبب شده مساحت لکه های انسان ساخت در این فاصله افزایش پیدا کند. نتایج نشان داد درصد کلاس انسان ساخت در سال ۱۹۸۵ از ۶۲/۳۴ درصد به ۷۱/۴۴ درصد در سال ۲۰۱۰ و ۸۱/۹۸ در سال ۲۰۱۶

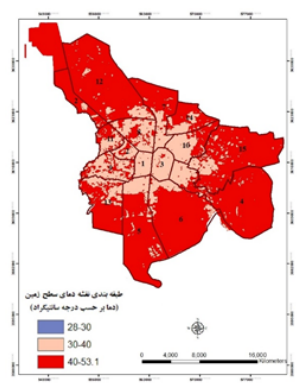
سبب ازدیاد تعداد لکه‌های فضای سبز گردیده است. ارزیابی مدل الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST)

تصویر حرارتی شهر اصفهان پس از اعمال الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST)، تهیه گردید (شکل‌های ۵ تا ۷). نمودارهای ۱ تا ۳ نیز نمودار میانگین و انحراف معیار دمای سطح زمین برای سه سال مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۵)، در سال ۱۹۸۵، در جنوب منطقه ۵ اصفهان و بر روی مساحتی گسترده از زمین‌های بایر به دلیل عدم بهره‌مندی از سازوکارهای خنک‌کننده تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما در کنار ظرفیت هدایتی پایین، هسته اصلی جزایر حرارتی تشکیل گردیده است. افزون بر کانون اصلی جزایر حرارتی در سطح شهر، جزایر پراکنده و کوچک دیگری نیز وجود دارد که طبق بررسی‌های به عمل آمده اکثراً منطبق بر زمین‌های بایر هستند که به عنوان نمونه می‌توان به جزایر حرارتی واقع در شمال اصفهان در منطقه‌های شهری ۷ و ۱۲ اشاره کرد. بخش دیگری از این جزایر کوچک در محدوده‌ی کاربری‌های ساخت و ساز شده در منطقه‌های مرکزی شهر اصفهان که شامل مناطق ۱، ۳، ۴ و ۸ می‌باشند ظاهر شده است که می‌توان دلایل متعددی از جمله نوع کاربری ساختمان، مصالح ساختمانی به کار رفته، تراکم جمعیت و نوع هندسه شهری در این محدوده را، عامل تشکیل این پدیده به شمار آورد و تنها نواحی که نزدیک زاینده رود

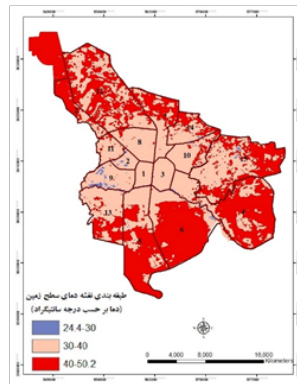
می‌باشند از دمای معتدل و کم بهره‌مند هستند. کم‌ترین دمای شهر اصفهان در تاریخ مورد نظر منطقه‌های مرتفع جنوبی (کوه‌های صفا) شهر هستند که با وجود گسترش در منطقه‌های فاقد پوشش گیاهی و لم یزرع تاثیر دمای خود را بر منطقه‌های اطراف تحمیل کرده‌اند.

بر اساس نقشه دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۰ (شکل ۶)، گرم‌ترین منطقه‌های شهری اصفهان منطقه‌های ۵ و ۶ می‌باشند و نکته قابل توجه در این نقشه بالا رفتن دامنه دمایی مناطق گرم نسبت به همین ماه در سال ۱۹۸۵ در حدود ۶/۳ درجه سانتی‌گراد است که نشان از گرم‌تر شدن محیط شهری در طی ۲۵ سال می‌باشد. کمترین دمای منطقه‌های شهری نیز نواحی پیرامونی زاینده رود است و نکته مهم دیگر در این زمینه بالا رفتن دمای شهری نسبت به سال ۱۹۸۵ است که نکته قابل تاملی است.

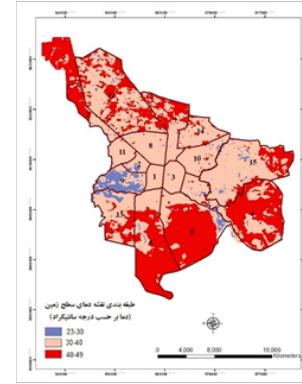
بر اساس نقشه دمای سطح زمین سال ۲۰۱۶ شکل (۷)، اصلی‌ترین هسته جزایر گرمایی، منطقه‌های ۵ و ۶ همچنان کانون اصلی خود را حفظ کرده و جزایر حرارتی موجود در منطقه‌های ۷ و ۱۲ نیز به اطراف گسترش یافته است. همچنین جزیره‌های حرارتی کوچکی در مرکز منطقه شهری و در منطقه‌های ۱۰ و ۱۴ بدلیل گسترش شهری و افزایش سطوح ساخت و ساز شده با توان جذب بالای انرژی و ظرفیت هدایت حرارتی پایین بوجود آمده است. نتایج نشان دهنده افزایش متوسط دما بمیزان ۰/۵۸ درجه سانتیگراد در هر سال بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰



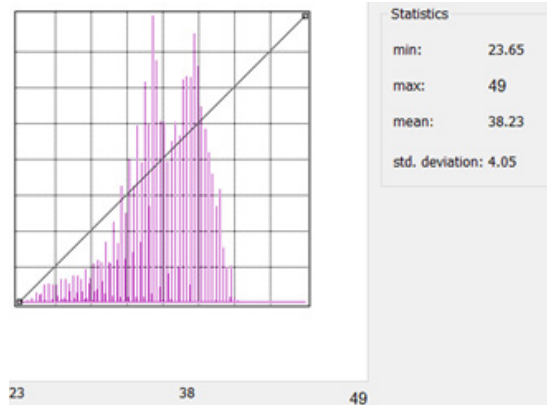
شکل ۷- نقشه سنجه حرارتی شهر اصفهان (۲۰۱۶)
Fig. 7- Land surface temperature map of Isfahan city in 2016



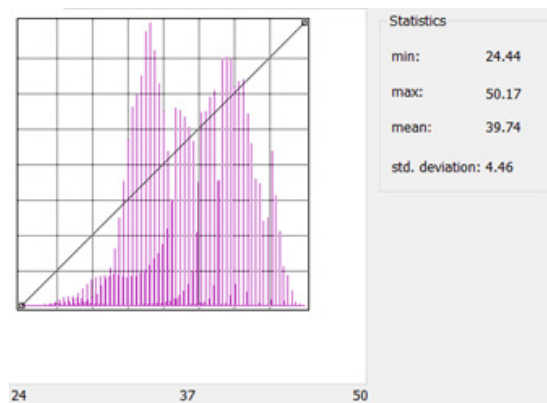
شکل ۶- نقشه سنجه حرارتی شهر اصفهان (۲۰۱۰)
Fig. 6- Land surface temperature map of Isfahan city in 2010



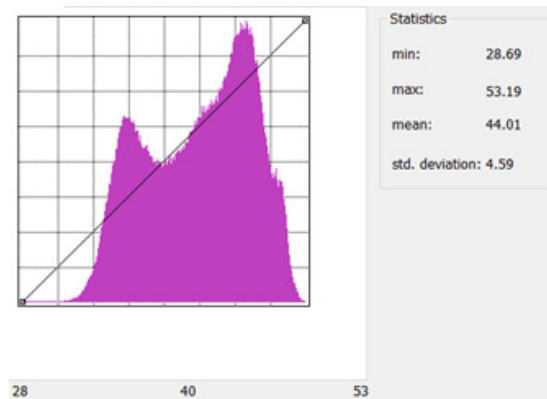
شکل ۵- نقشه شاخص حرارتی شهر اصفهان (۱۹۸۵)
Fig. 5- Land surface temperature map of Isfahan city in 1985



شکل ۸- میانگین و انحراف معیار دمای سطح زمین در سال ۱۹۸۵
Fig. 8- Average and standard deviation of LST in 1985



شکل ۹- میانگین و انحراف معیار دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۰
Fig. 8- Average and standard deviation of LST in 2010



شکل ۱۰- میانگین و انحراف معیار دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۶
Fig. 8- Average and standard deviation of LST in 2016

افزون بر این، موضوع درجه حرارت سطح زمین مورد توجه محققان محیط زیست و برنامه ریزان است زیرا افزایش دمای شهری بر روی سلامت جمعیت تاثیرگذار است (Singh et al., 2017). افزایش رشد جمعیت و صنعتی شدن یکی از دلایل اصلی تغییرهای آب و هوایی در جهان است. امروزه مهمترین مشکل در منطقه‌های شهری،

و افزایش سالانه ۰/۶۱ درجه سانتیگراد از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ بود که گویای اثرهای تسریع گسترش شهری و صنعتی در سال‌های اخیر است.

ارزیابی و بررسی اثر پوشش زمین‌ها بر روی درجه حرارت سطح زمین با استفاده از سنجش از دور توجه زیادی را در سال‌های اخیر از سوی محققان به خود جلب کرده است.

و شبانه بالاتری نشان دادند. در مطالعه Fathizad *et al.* (2017)، نیز بررسی رابطه بین پارامترهای تراکم پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نشان داد که کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای سطح زمین در طبقه‌های گوناگون پوشش و کاربری زمین‌ها شد. Wang *et al.* (2018) نیز در مطالعه خود به افزایش درجه حرارت سطح زمین ناشی از گسترش شهری و تبدیل کاربری‌های کشاورزی به منطقه‌های مسکونی و شهری در سالهای ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ در شهر یانگون در میانمار اشاره کردند.

Hereher (2017) نیز در مطالعه خود در دلتای نیل به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های انسانی نه تنها کاربری زمین‌ها بلکه دمای سطح زمین را در این منطقه تغییر داده است. نتایج نشان داد که منطقه در معرض افزایش دمای سطح زمین ناشی از گسترش شهری و ساخت سطوح بتونی و آسفالت نفوذناپذیر قرار گرفته است.

Pal and Ziaul (2017) اثر کاربری/پوشش زمین‌ها بر روی درجه حرارت سطح زمین (LST) در بخش مالدا در بنگال هند را با استفاده از تصاویر ماهواره ای چندزمانه و چندطیفی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده افزایش دمای سطح زمین در حدود ۰/۰۷ درجه سانتیگراد در سال و ۰/۱۱۴ درجه سانتیگراد در سال بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۴ بود. منطقه‌های شهری و مسکونی بالاترین میزان دما را در سال‌های مورد مطالعه (۱۹۹۱، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴) نشان داد.

تصویرهای ماهواره‌ای این مزیت را دارند که می‌توانند اطلاعاتی در مورد تغییرها و توزیع درجه حرارت در منطقه‌های وسیع فراهم بیاورد که در بیشتر اوقات فراهم کردن این اطلاعات از ایستگاه‌های زمینی بسیار دشوار یا غیرممکن است.

افزایش دمای سطح زمین می‌تواند منجر به ایجاد مشکل‌هایی در زمینه ذخیره‌های انرژی، آب، زیربناها، رفاه اجتماعی و سلامت ساکنان شهرها شود (Ukwattage and Dayawansa, 2012). از این رو، نتایج این مطالعه می‌تواند بوسیله تصمیم‌گیران و برنامه ریزان بعنوان یک هشدار محیط زیستی ناشی از گسترش شهری مورد استفاده قرار گیرد.

افزایش درجه حرارت سطح زمین بدلیل دگرگونی‌های بوجود آمده در سطح‌های طبیعی است که در اثر آن پوشش گیاهی طبیعی حذف شده و با سطح‌های غیرقابل نفوذ، از جمله سنگ، آسفالت و سیمان، جایگزین شده است. نابودی زمین‌های کشاورزی و تبدیل آن‌ها به استفاده‌های شهری در اثر رشد و گسترش سریع شهرها امری فراگیر و کمابیش اجتناب ناپذیر شده است. این تغییرها دارای پیامدهای ناخوشایندی برای محیط زیست مانند کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای محیط می‌باشد.

در این تحقیق، ابتدا با تهیه نقشه کاربری زمین‌ها و NDVI، آنالیز تغییرهای ساختار الگوی فضای سبز انجام گرفت. سپس، با استفاده از الگوریتم استخراج دمای سطح زمین (LST) به بررسی تاثیر پیامدهای ناشی از تغییر الگوی منطقه‌های فضای سبز در کاهش درجه حرارت سطح زمین پرداخته شد. نتایج نشان داد همگام با گسترش شهری، درجه حرارت سطح زمین (LST) در طول سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۶ افزایش یافت. درجه حرارت بالا در محیط‌های شهری را می‌توان به وجود سطح‌های غیرقابل نفوذ شامل سطح‌های بتنی، خیابان‌ها و آجرها که بطور گسترده در محیط‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد نسبت داد (Yuan and Bauer, 2007).

این مطالعه نقش مثبت پوشش گیاهی در کاهش درجه حرارت سطح زمین را نشان می‌دهد. Amanollahi *et al.* (2016)، Sahana *et al.* (2016) و Singh *et al.* (2017) نیز در مطالعات خود به اثر افزایش پوشش گیاهی در کاهش دمای منطقه‌های شهری اشاره کرده اند.

نتایج مطالعه Acero and González-Asensio (2018) نیز نشان داد که مقادیر پایینتر سنج پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) در منطقه‌های شهری بطور عموم منجر به مقادیر بالاتر حرارت شهری شده است. آنالیز پیرسون نشان دهنده یک رابطه خوب منفی بین NDVI و مقادیر حرارت شهری بود.

Ferreira and Duarte (2019) رابطه بین دمای سطح زمین با سنج‌های گیاهی NDVI و EVI را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز نشان دهنده رابطه همبستگی منفی بین دمای سطح زمین و سنج‌های گیاهی بود. بطور کلی منطقه‌های با پوشش گیاهی کمتر دمای سطح زمین روزانه

و صنعتی است. بعبارتی می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات و دگرگونی‌هایی که در این بازه ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۶) در زمینه‌های مختلفی از جمله افزایش جمعیت، افزایش مساحت شهری و تغییر کاربری رخ داده در نهایت سبب افزایش مساحت منطقه‌های داغ و کاهش منطقه‌های خنک در این شهر گشته است. بطور کلی تحلیل نقشه پراکندگی منطقه‌های دمایی شهر اصفهان با استفاده از نقشه کاربری و به کارگیری سنجه NDVI بیانگر توسعه جزایر حرارت شهری به سمت منطقه‌هایی است که با فقر پوشش گیاهی و توسعه کاربری‌های ساخت و ساز شده (مسکونی، صنعتی و تجاری...) مواجه بوده‌اند. بطور کلی می‌توان نتیجه گیری کرد که دمای سطح زمین در تغییرهای کاربری و پوشش زمین‌ها بویژه پوشش گیاهی نقش دارد و می‌تواند دمای منطقه‌های اطراف را تعدیل کند. توسعه شهری مهمترین عامل تغییر کاربری/پوشش زمین‌ها و افزایش دمای سطح زمین (LST) است و در سال‌های اخیر، بسیاری از منطقه‌های دارای پوشش گیاهی به زمین‌های شهری و صنعتی تبدیل شده‌اند. انسان‌ها قادر به بازگرداندن و تغییر روند گسترش شهری و شهرسازی نیستند ولی می‌توان از اقدام‌های مدیریتی مانند کاشت پوشش گیاهی بر روی بام خانه‌ها یا بعبارتی توسعه بام‌های سبز برای کاهش روند افزایش دمای سطح زمین بهره گرفت. اجرای استراتژی‌های برنامه ریزی شهری در ارتباط با پوشش گیاهی برای کاهش دما در سطوح شهری کارایی دارد. همه آنالیزها در این مطالعه بر اساس سنجش از دور و تفسیر تصاویرهای ماهواره‌ای انجام گرفت و نتایج نشان داد که تصاویرهای ماهواره‌ای برای بررسی تغییرهای پوشش گیاهی و جزیره حرارت شهری ایده‌آل و مناسب است و فرصت بررسی اثرهای پوشش گیاهی بر روی دمای سطح زمین را بخوبی فراهم می‌آورد.

پی نوشت‌ها

¹ Urban heat island (Uhi)

² Land surface temperature (Lst)

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق:

۱- روند تغییرهای پوشش زمین‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در این دوره تخریب شدید در پوشش سبز منطقه رخ داده و بخش عمده این تغییرها برای تبدیل شدن به منطقه‌های شهری بوده است.

۲- بیشترین تغییرها مربوط به کلاس انسان ساخت یا شهری است، که در این بازه زمانی افزایش یافته است. این تغییرها بیشتر در مرکز شهر اصفهان رخ داده است.

۳- تحلیل زمانی جزایر گرمایی شهر اصفهان گویای افزایش جزایر گرمایی و کاهش فضایی منطقه‌های خنک شهری می‌باشد. بعبارتی می‌توان نتیجه گرفت که تغییرها و دگرگونی‌هایی که در این بازه ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۶) در زمینه‌های مختلفی از جمله افزایش جمعیت، افزایش مساحت شهری و تغییر کاربری زمین‌ها رخ داده در نهایت سبب افزایش مساحت منطقه‌های داغ و کاهش منطقه‌های خنک در این شهر گشته است.

نتیجه گیری

گسترش شهری منجر به ایجاد جزیره حرارت شهری در سراسر جهان می‌شود که می‌تواند خطرهایی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست ایجاد کند. جزیره حرارت شهری یک مسئله مهم در اکولوژی شهری است که باید از طریق بررسی دمای سطح زمین، مورد مطالعه قرار گیرد. این مطالعه تغییرهای پوشش گیاهی و نیز تغییرهای سنجه حرارتی در سه دهه را در شهر اصفهان نشان داد. تحلیل زمانی جزایر حرارتی شهر اصفهان گویای افزایش جزایر گرمایی و کاهش فضایی منطقه‌های خنک شهری است. نتایج نشان دهنده افزایش متوسط دما به میزان ۰/۰۵۸ درجه سانتیگراد در هر سال بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ و افزایش سالانه ۰/۶۱ درجه سانتیگراد از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ بود که این گویای تسریع افزایش دمای سطح زمین در سال‌های اخیر بواسطه سرعت گرفتن رشد شهری

منابع

Ahmadi, M., Samadi Khadem, S. and Dargahi, A., 2014. Exploration the importance of green space in controlling and reducing the air pollution of urban

areas. In Proceedings International Conference of Environmental Planning and Management, International conference of environmental planning

- and management, 26th Nov, Tehran, Iran.
- Aceró, J.A. and González-Asensio, B., 2018. Influence of vegetation on the morning land surface temperature in a tropical humid urban area. *Urban Climate*. 26, 231-243.
- Adeyeri O.E., Akinsanola, A.A. and Ishola K.A., 2017. Investigating Surface Urban Heat Island Characteristics over Abuja, Nigeria: relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 7, 57-68.
- Amanollahi, J., Tzanis, C., Ramli, M.F. and Abdullah, A.M., 2016. Urban heat evolution in a tropical area utilizing Landsat imagery. *Atmospheric Research*. 167, 175-182.
- Ataei, H. and Hasheminasab, S., 2015. Evaluation and zoning of air pollution in Isfahan using ArcGIS software. First national conference on environmental science, Payam noor university, Isfahan, Iran.
- Bihamta, N., Soffianian, A. and Fakheran, S., 2014. Analysis of land cover change in the central area of Isfahan using landscape metrics. *Applied Ecology*. 77, 69-87.
- Bokaie, M., Kheirkhah Zarkesh, M., Daneshkar Arasteh, P. and Hosseini, A., 2016. Assessment of Urban Heat Island based on the relationship between land surface temperature and Land Use/Land Cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*. 23, 94-104.
- Butt, A., Shabbir, R. Ahmad, S.S. and Aziz, N., 2015. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 18(2), 251-259.
- Charabi, Y. and Bakhit, A., 2011. Assessment of the canopy urban heat island of a coastal arid tropical city: The case of Muscat, Oman. *Atmospheric Research*. 101(1-2), 215-227.
- De Ridder, K., Adamec, V., Banuelos, A., Bruse, M., Burger, M., Damsgaard, O., Dufek, J., Hirsch, J. and Lefebvre, F., 2011. An integrated methodology to assess the benefits of urban green space. *Science of the Total Environment*. 335, 489-495.
- Eldevik. T., Bjorg, R. and Anne, E., 2014. A brief history of climate in the northern seas from the Last Glacial Maximum to global warming. *Journal of Quaternary Science Reviews*. 106, 225-246.
- Fathizad, H., Tazeh, M., Kalantari, S. and Shojaei, S., 2017. The investigation of spatiotemporal variations of land surface temperature based on land use changes using NDVI in southwest of Iran. *Journal of African Earth Sciences*. 134, 249-256.
- Ferreira, S.L. and Duarte, D.H.S., 2019. Exploring the relationship between urban form, land surface temperature and vegetation indices in a subtropical megacity. *Urban Climate*. 27, 105-123.
- Ghorbnnia Kheybari, V., Mirsanjari, M.M., Liaghati, H. and Armin, M., 2017. Land surface temperature estimation of land use and land cover in Dena county using single window algorithm and data of Landsat 8 satellite. *Environmental Sciences*. 15(2), 55-74.
- Herehe, M.E., 2017. Effect of land use/cover change on land surface temperatures - The Nile Delta, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 126, 75-83.
- Huang, J.B., Wang, Sh., Lue, Y., Zhao, Z. and Wen, X., 2012. The Science of Global Warming. *Journal of Advances in Climate Change Research*. 3, 174-178.
- Islam, M.S. and Islam, K.S., 2013. Application of thermal infrared remote sensing to explore the relationship between land use-land cover changes and urban heat Island effect: a case study of Khulna City. *Journal of Bangladesh Institute of Planners*. 6, 49-60.
- Jajarmi, K., Pishgahifard, Z. and Mahkouei, H., 2014. Assessment of Environmental Threats in Iran's National Security. *Rahbord Journal*. 67, 193-230.
- Jeevalakshmi, D., Reddy, S. and Manikiam, B., 2017. Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT data using Emissivity Estimation. *International Journal of Applied Engineering*

Research. 12(20), 9679-9687.

Joshi, J.P. and Bhatt, B., 2012. Estimating temporal land surface temperature using remote sensing: A study of Vadodara urban area, Gujarat. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*. 2(1), 123-130.

Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A. and Sahoo, S. 2016. Urban heat island explored by co-relationship between land surface temperature vs multiple vegetation indices. *Spatial Information Research*. 24(5), 515-529.

Liu, H. and Weng, Q., 2012. Enhancing temporal resolution of satellite imagery for public health studies: A case study of West Nile Virus outbreak in Los Angeles in 2007. *Remote Sensing of environment*. 117, 57-71.

Liu, L. and Zhang, Y., 2011. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 3(7), 1535-1552.

Muro, J., Strauch, A., Heinemann, S., Steinbach, S., Thonfeld, F., Waske, B. and Diekkrüger, B., 2018. Land surface temperature trends as indicator of land use changes in wetlands. *International journal of applied earth observation and geoinformation*. 70, 62-71.

Norouzi, A. and Mohammadi, Z., 2014. Zoning of air pollution by using GIS software and air quality index in Isfahan city of Iran. *Proceedings of the first National Conference on Environment in Payam Noor University, Isfahan, Iran*. 10-16.

Orhan, O. and Yakar, M., 2016. Investigating Land Surface Temperature Changes Using Landsat Data in Konya, Turkey. *Proceedings of The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 41, 12-19.

Pal, S. and Ziaul, S., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban center. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 20, 125-145.

Penny, D. and Kealhofer, L., 2005. Microfossil evidence of land-use intensification in north Thailand. *Journal of Archaeological Science*. 32(1), 69-82.

Sahana, M., Ahmed, R. and Sajjad, H., 2016. Analyzing land surface temperature distribution in response to land use/land cover change using split window algorithm and spectral radiance model in Sundarban Biosphere Reserve, India. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2(2), 81.

Singh, P., Kikon, N. and Verma, P., 2017. Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate. *Sustainable cities and society*. 32, 100-114.

Statistical center of Iran, 2016. Available online at: <https://www.amar.org.ir/>.

Ukwattage, N. and Dayawansa, N., 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(2), 124-131.

Wang, Y.C., Hu, B.K.H., Myint, S.W., Feng, C.C., Chow, W.T.L. and Passy, P.F., 2018. Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. *Science of the Total Environment*. 643, 738-750.

Yuan, F. and 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.

Zhang, Y., Balzter, H., Zou, C., Xu, H. and Tang, F., 2015. Characterizing bi-temporal patterns of land surface temperature using landscape metrics based on sub-pixel classifications from Landsat TM/ETM+. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 42, 87-96.





Environmental Sciences Vol.17/ No.4 /winter 2020

163-178

The relationship between urban vegetation and land surface temperature in Isfahan city using Landsat TM and OLI satellite images and LST index

Marzieh Nilieh Boroujeni¹ and Mozghan Ahmadi Nadoushan^{*1,2}

¹Department of Environmental Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

²Waste and Wastewater Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Received: 2018.02.02 Accepted: 2019.01.12

Nilieh Boroujeni, M. and Ahmadi Nadoushan, M., 2020. The relationship between urban vegetation and land surface temperature in Isfahan city using Landsat TM and OLI satellite images and LST index. *Environmental Sciences*. 17(4): 163-178.

Introduction: During the past decades, population growth, rapid industrialization, increased air pollution at low levels of the atmosphere, and the impact of heat island have caused dramatic changes in the local climate of the big cities. The release of heat energy increased greenhouse gas emissions, and land use change are among the main causes of local climate change in cities. The effects of urban environments on the atmosphere appear more often as thermal islands. Green space would be effective in reducing the temperature and increasing the humidity, and finally reducing the thermal island phenomenon as well as reducing runoff, improving the comfort of the citizens and, ultimately, the sustainability of the urban environment. The objectives of this study were to prepare land use maps and NDVI vegetation index, as well as land surface temperature maps, and to study the distribution of thermal patterns of land surface and temporal and spatial variations of vegetation and their relation in Isfahan from 1985 to 2016.

Material and methods: For this purpose, satellite imagery was downloaded from the US Geological Survey site. Using the three Landsat satellite TM images of August 1985, 2010, and 2016, the NDVI index was quantitated using Terrset software, and their maps were prepared. Then, by generating land use maps using the maximum likelihood supervised classification method, the analysis of the changes in land uses (such as city, road, agricultural fields, barren lands, river, mountains, and green spaces) was done. Finally, Land Surface Temperature (LST) index was used to estimate the land surface temperature (LST) and its relationship with the vegetation maps.

Results and discussion: The trend of land use/cover changes in the study area showed that during the study period, severe degradation occurred in the green space of the area and the main part of these changes was the

*Corresponding Author. *Email Address:* m.ahmadi@khuisf.ac.ir

conversion of green spaces to urban areas. Also, the results indicated an inverse relationship between LST and NDVI index. The results showed that the growth of urban heat islands was toward areas that had encountered poor vegetation and developed constructional uses (residential, industrial, etc.). The results also indicate an accelerated increase in temperature in recent years compared to previous years, as the average annual temperature increase in the period from 2010 to 2016 was 0.61 °C, while the average temperature increase of 0.05 °C was observed from 1985 to 2010.

Conclusion: The analysis of the changes in thermal islands of Isfahan was indicative of the increase of thermal islands and spatial reduction in urban cool areas. It can be concluded that the changes occurred in this 30-year period (1985-2016) in various aspects, such as population increase, urban area increase, and land use change eventually increased the area of hot spots. Because of the correlation between surface temperature and NDVI vegetation index, the necessity of protecting vegetation and green space, especially in urban areas, is a critical variable for climate change modification for responsible institutions in urban management. The results of this study could provide critical insights on precise and effective urban vegetation management with the purpose of Urban Heat Island mitigation for urban planners and managers.

Keywords: Isfahan, Land surface temperature, NDVI index, Urban heat island.

