

بررسی و ارزیابی وضعیت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از

تصاویر ماهواره‌ای

علی مجنونی تو تاخانه*^۱ و محمد ابراهیم رضانی^۲

۱- مدرس گروه مهندسی معماری دانشگاه بناب، بناب، ایران

۲- استادیار مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت ۹۶/۱۲/۱۲ - تاریخ پذیرش ۹۷/۰۱/۲۹)

چکیده:

جزیره حرارتی شهر یکی از بارزترین پیامدهای گسترش شهرنشینی و توسعه کلان‌شهرها است. اثرات ناشی از شکل‌گیری جزیره‌های حرارتی می‌تواند نقشی اساسی و مهم در کیفیت هوا و به تبع آن سلامت عمومی ایفا می‌نماید. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش پوشش عناصر سطح زمین در تغییرات اقلیمی دما در کلان‌شهر تهران صورت پذیرفته است. در این مطالعه، اطلاعات مورد نیاز از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در دو دوره تابستان و زمستان سال ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی وضعیت جزیره حرارتی، از طبقات تک باند برای بررسی توزیع دمای سطح زمین در محدوده تهران و تعیین اثرات محلی جزیره حرارتی در سطح این شهر استفاده شد. در ادامه همبستگی دمای سطح زمین با شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده، شاخص ساخت و ساز، شاخص زمین بایر و شاخص آب برای تعیین اثرات زمین سبز، لخت، آبی و مسکونی بر روی جزیره حرارتی به دست آمد. نتایج نشان داد که اثر جزیره حرارت شهری بیشتر در مناطق شمالی این شهر قرار داشته که ناشی از وجود شهرک صنعتی و توپوگرافی کوهستانی است. همچنین بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی تهران ارتباط وجود دارد به نحوی که با کاهش پوشش گیاهی میزان دمای سطح این شهر، افزایش یافته است. در نهایت با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهادهای کاربردی ارائه شده است.

کلید واژگان: لندست ۸، دمای سطح زمین، جزیره حرارت شهری، کلان‌شهر تهران

۱. مقدمه

شهری یکی از مهم‌ترین مسائل محیط‌زیستی امروز جهان است. این پدیده در کلان‌شهر تهران به‌عنوان نخست شهر ایران نیز با افزایش روند شهری شدن، بیشتر و بیشتر معنی‌دار شده و اثرات زیادی بر توسعه شهر تهران و محیط‌زیست زندگی ساکنان آن داشته است (Lin et al., ۲۰۱۱). همچنین ساختمان‌های بلند و خیابان‌های نسبتاً باریک هوای محبوس بین آن‌ها را گرم کرده و جریان هوا را کاهش داده‌اند (Toutakhane & Mofareh, ۲۰۱۶)، به‌علاوه گرمای ناشی از وسایل نقلیه رو به ازدیاد، کارخانه‌ها و صنایع و تهویه‌های هوا، بر گرمای اطراف افزوده و سبب بدتر شدن اثر جزیره حرارتی در شهر تهران گردیده است (Feng et al., ۲۰۱۴). با پیشرفت روند جزیره حرارتی در شهر تهران، این مسئله می‌تواند بر آب و هوای محلی اثرگذار بوده و الگوی بادهای محلی در این شهر را نیز تغییر دهد.

سنجش از دور حرارتی^۱، شاخه‌ای از سنجش از دور محسوب می‌شود که پیرامون پردازش و تفسیر داده‌های به دست آمده در ناحیه مادون قرمز حرارتی (TIR) و طیف الکترومغناطیس (EM) بحث می‌نماید (Amawa, ۲۰۱۷). با توجه به این‌که حرارت به عنوان نوعی کمیت مهم ترمودینامیکی می‌تواند برای شناسایی ماده و انتقال حرارت استفاده شود (Norman, ۱۹۹۵)، در سنجش از دور حرارتی، تابش‌های ساطع شده از سطح هدف، اندازه‌گیری می‌شود (Toth and Jozkow, ۲۰۱۶)، به‌طوری‌که مطالعات شهری با کسب دمای سطح زمین از باند حرارتی ماهواره لندست^۸، به طور گسترده‌ای صورت گرفته است (Weng, ۲۰۰۱). نتایج همه این تحقیقات نشان داده است که دمای سطح زمین

جهان امروزه جریان بی‌سابقه‌ای از صنعتی شدن و شهری شدن بدون برنامه را تجربه می‌نماید. با توسعه شهرنشینی، وسعت زیادی از مناطق کشاورزی و جنگل جای خود را به مناطق مسکونی و صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند که به‌عنوان مراکز تولید انسانی، حیات و دستیابی به تمدن شناخته می‌شوند (Sharma et al., ۲۰۱۶). توسعه صنایع در کنار گسترش روزافزون شهرنشینی منجر به تخریب گسترده زمین‌های کشاورزی، پوشش گیاهی و اختصاص بخش عمده‌ای از آب برای مصارف شهری و صنایع شده است (Adegoke & Sojubi, ۲۰۱۵). همچنان که چشم‌انداز مصنوعی جایگزین چشم‌انداز طبیعی می‌گردد، تغییر مواد تشکیل دهنده‌ی سطح زمین سبب یک سری از تغییرات بازتاب سطح، نگهداشت گرما و انتقال گرما یا به عبارتی اثرات معنی‌داری بر آب‌وهوای محلی می‌گردد (Zhang et al., ۲۰۱۲). از این تأثیرات یکی از آشناترین آن‌ها جزیره حرارتی شهری است که امروزه بیشتر شهرها و مخصوصاً کلان‌شهرها را درگیر کرده است (Streutker, ۲۰۰۲). جزیره حرارت شهری یک منطقه شهری است که به طور معنی‌داری گرم‌تر از مناطق مجاورش هست (Liu & Zhang, ۲۰۱۱) و باز نمود شاخصی از مشکلات محیط‌زیستی اکولوژیکی شهری است (Amawa, ۲۰۱۷). مشکلات ناشی از تشکیل جزیره حرارتی شهری نه فقط منجر به کاهش کیفیت هوا، اثرات بر میزان بارندگی و افزایش آلودگی می‌گردد، بلکه تهدیدی برای سلامت جسمانی ساکنین و کیفیت حیات شهروندان ساکنان است (Zhang et al., ۲۰۱۲). مشکلات جزیره حرارت

۱-Thermal Remote Sensing

یکپارچه‌ای با عنوان "پتانسیل نوارهای بازتابنده"^۴ ارائه نمودند. آن‌ها در این روش با استفاده از تصاویر برگرفته از باندهای ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸، اقدام به بررسی ویژگی‌های پوشش گیاهی و نقش آن در شکل‌گیری جزیره حرارتی شهری نموده‌اند. محاسبات پژوهشگران اثبات کرد که میزان دقت (صحت) تصاویر ماهواره‌ای در این روش در حدود از نظر ۸۹/۳۳ درصد بوده است (Mushore et al., ۲۰۱۷). همچنین در سال ۲۰۱۷ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و محاسبات آماری، مدل‌سازی جزیره حرارتی در شهرهای مهم جنوب شرقی آسیا صورت گرفته و از طریق محاسبه ضریب نفوذ فضاهای سبز شهری، ارتباط بین عناصر شهری مانند معابر شهری، ارتفاع ساختمان، پیچیدگی فضاهای سازنده شهری و... با توسعه فضاهای سبز شهری اثبات گردید (Estoque et al., ۲۰۱۷). Wang و همکاران (۲۰۱۸) با ارائه روشی تحت عنوان "ماشین پشتیبانی وکتوری"^۵ از طریق محاسبات عددی و تعیین دامنه تغییرات، اقدام به بررسی ارتباط بین رشد سریع شهری، شکل‌گیری درجه حرارت و وقوع خزش شهری چین نموده‌اند (Wang et al., ۲۰۱۸). Li و همکارانش (۲۰۱۸) با ارائه روشی جدید در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، مشکلات روش‌های قبلی در خصوص اندازه‌گیری شدت گرمای سطح زمین را برطرف کردند. آن‌ها با استفاده از رابطه بین دمای سطح زمین و سطح غیرقابل نفوذ و از طریق محاسبه معادلات خطی، مربوط به اندازه تراکم پیکسل‌ها، تغییرات دمایی شهر را با ضریب دقت بیش از ۹۰ درصد اندازه‌گیری کردند (Li et al., ۲۰۱۸). همه این روش‌ها بر پایه تصاویر

همبستگی بالایی با تکامل شهری دارد. محققان زیادی نیز به طبقه‌بندی مناطق شهری با تکنیک ارزیابی دمای سطح زمین و به تحلیل دمای سطح شهر و تأثیرات آن پرداختند (Qin et al., ۲۰۰۱; Sobrino et al., ۲۰۰۶; Chen et al., ۲۰۰۴) و همگی بر ضرورت دستیابی به پارامتر انتشار از اطلاعات ماهواره‌ای تأکید داشته‌اند، به طوری که عامل انتشار و دمای سطح را عامل مفیدی برای درک طبقات پوشش زمین و درک مسائل بار انرژی دانسته‌اند. روش‌های مختلف ارزیابی دمای سطح زمین، براساس منابع اطلاعات مختلف توسعه یافته است، مثل روش دو بانده^۱ (Sobrino et al., ۱۹۹۶)، روش جداسازی انتشار/دمای^۲ (Sobrino et al., ۱۹۹۶)، روش تک بانده^۳ (Qin et al., ۲۰۰۱) و روش کانال واحد^۳ (Sobrino et al., ۲۰۰۴). علاوه بر این روش‌ها، در سال ۲۰۱۰ محققین ضمن بررسی روش پردازش تصویر با استفاده از ابزار مدل‌ساز فضایی نرم‌افزار تصاویر ماهواره‌ای ERDAS به این نتیجه دست یافتند که کسب دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای اصلی امری پیچیده است و نیاز به یک مدل مستقیم و سیستماتیک است که به سادگی روند پردازش را انجام دهد (Sun et al., ۲۰۱۰). نتایج بررسی‌های محققان در سال ۲۰۰۸ حاکی از این بود که آگاهی از انتشار سطح زمین برای ارزیابی دمای سطح زمین مهم است به طوری که انتشار می‌تواند خطای ارزیابی دمای سطح زمین از اطلاعات حرارتی ماهواره را کاهش دهد (Mallick et al., ۲۰۱۲). در سال ۲۰۱۷ برای اولین بار پژوهشگران روشی جدید و

۱-Split-Window Algorithm

۲-Temperature/Emissivity Separation

۳-Single-Channel

۴-traditional reflective

۵-support vector machine method

به طوری که از شمال به جنوب در دامنه کوهستان شمیرانات با شیب متوسط ۱۰٪ تا ۱۵٪، از تجریش تا تپه‌های عباس‌آباد ۳٪ تا ۵٪، از عباس‌آباد تا خیابان انقلاب ۲٪ و از مرکز شهر تهران تا کناره ۱٪ است. شهر تهران در شمال تا ارتفاع ۲۰۰۰ متری و در جنوب تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری گسترش یافته است که به علت گستردگی و وسعت زیاد این شهر، تأثیری مهم بر ویژگی‌های فضاهای شهری تهران داشته است. امروزه تهران به عنوان پایتخت ایران به کلان‌شهری بزرگ تبدیل شده است که نقش نخست شهری و مرکز سیاسی، اقتصادی و مدیریتی گسترده‌ای را بر عهده دارد، به طوری که با فقط شهر تهران با جمعیتی معادل ۱۳ میلیون نفر در سال ۱۳۹۵ در حدود ۱۶/۲۵ درصد از کل جمعیت ۸۰ میلیونی کشور را در خود جای داده و بالاترین تراکم شهری را در کشور به خود اختصاص داده است و هسته‌های متعدد مسکونی و صنعتی در شهر ایجاد شده است (نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵). شکل ۱ تصویر رنگی کاذب شهر تهران را نشان می‌دهد.

۲.۲. روش پژوهش

نوع تحقیق کاربردی و روش بررسی آن تحلیلی-توصیفی است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سنجندهای^۲ TIRS،^۲ OLI (باند‌های ۱۰ و ۱۱) ماهواره لندست ۸ است. در گام اول تصویر شهر تهران مربوط به گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ از طریق سایت (<http://www.usgs.gov>) در فرمت img دریافت شد که ویژگی‌های تصویر در جدول ۱ ذکر شده است.

ماهواره‌ای حاصل از ماهواره‌های Landsat، AVHRR، ASTER، SPOT و غیره بوده‌اند که با گذشت زمان و پیشرفت ماهواره‌های عمدتاً سری لندست و همچنین ارائه روش‌های جدید پردازش تصاویر که معمولاً با استفاده از محاسبات الگوریتمی صورت پذیرفته است (Ogashawara, ۲۰۱۲)، با در نظر گرفتن این نکته که جزیره حرارتی شهری اساساً در توزیع فضایی دمای سطح زمین آشکار می‌شود که به وسیله جریان‌های گرمای سطح مدیریت شده است و به طور مشخص تحت تأثیر شهری شدن می‌باشد (Sun et al., ۲۰۱۰)، در نتیجه، دستیابی به دمای سطح زمین گام کلیدی و اولیه برای تحلیل جزیره حرارتی شهری می‌باشد. با توسعه تکنولوژی سنجنش از دور حرارتی، دمای سطح زمین در سرتاسر منطقه به آسانی قابل دستیابی است و علم و هنر سنجنش از دور پاسخ‌گوی مناسب انجام چنین تحقیقاتی است. در این پژوهش ضمن بررسی توزیع مکانی جزیره حرارتی با کمک بازیابی دمای سطح زمین شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، به تحلیل اثرات انواع پوشش زمین شهری در ایجاد جزایر حرارتی پرداخته شد و استراتژی‌ها و راهبردهای کاهنده جزیره حرارتی شهری ارائه گردید تا توجه محققین و تصمیم‌سازان را به مسئله گسترش شهری، اثرات جزیره حرارتی شهری و اثرات آن بر روی آب‌وهوای محلی در آسایش آینده انسان جلب نماید.

۲. مواد و روش‌ها

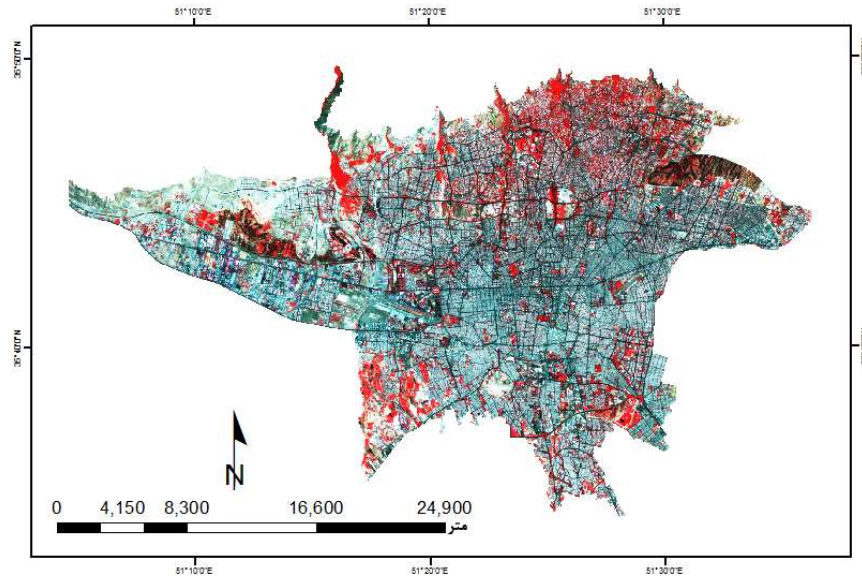
۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه شهری تهران بین دو محدوده متفاوت کوه و کویر به صورت هلالی شکل توسعه یافته است

۲-Thermal Infrared Sensor

۳-Operational Land Imager

۱-Land Surface Temperature



شکل ۱- محدوده شهر تهران با تصویر ماهواره‌ای TM تصحیح هندسی شده
با ترکیب رنگی کاذب (FCC) ۲-۳-۴

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر ماهواره لندست ۸ مورد استفاده در پژوهش

| سنجنده | تاریخ تصویر | ساعت تصویربرداری (به وقت محلی) | زاویه ارتفاع خورشیدی | زاویه آزیموت خورشیدی |
|-----------|---------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| OLI, TIRS | ۱۹ ژوئیه ۲۰۱۷ | ۰۶:۵۷:۰۰ | ۶۳/۱۹ | ۱۱۷/۷ |
| OLI, TIRS | ۱۲ فوریه ۲۰۱۷ | ۰۴:۳۵:۰۰ | ۶۳/۱۹ | ۱۱۷/۷ |

سیستم مختصاتی مورد استفاده تصویر، UTM بیضوی WGS-۸۴ زون ۳۹ شمالی است. سپس، از ابزار image subset برای برش منطقه مطالعه مان استفاده شد. بعد از پیش‌پردازش، تصویر منطقه مورد مطالعه برای پردازش داده‌ها و تحلیل جزیره حرارت شهری مورد بررسی قرار گرفت، به طوری که برای بازیابی دمای سطح زمین عدد رقومی تصویر مورد نظر به تابش طیفی تبدیل و با استفاده از تابع پلانک تابش طیفی نیز به دمای روشنایی سنسور ماهواره مورد نظر تبدیل شد. با توجه به این که آگاهی از انتشار سطح زمین برای ارزیابی دمای سطح زمین مهم است، در گام بعدی با استفاده از طبقه‌بندی شاخص گیاهی

در مرحله پیش‌پردازش داده‌ها به دلیل این که باندهای OLI, TIRS از لحاظ توان تفکیک مکانی متفاوت می‌باشند، در ابتدا ترکیب تصاویر تک باند به یک تصویر چند باندهای با استفاده از layerstacking در نرم افزار ERDAS ۹,۱ انجام شد. تصحیح هندسی از طریق ارجاع و تطبیق با نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و با استفاده از ۱۶ نقطه کنترل زمینی^۱ بیشتر شامل تقاطع خیابان‌ها و جاده‌ها انجام شد، در این مطالعه، خطای RMS کمتر از نیم پیکسل (۰/۴۸۰) بوده است که بر اساس استانداردها کاملاً قابل قبول است. در ضمن

^۱-Ground Control Point

کالیبراسیون لندست ۸ نشان‌دهنده رادیانس طیفی سنسور ماهواره لندست ۸ است. همچنین به منظور تهیه نقشه توزیع دمای سطح زمین شهر تهران براساس تصاویر ماهواره لندست ۸ از روش زیر استفاده شده است (Asgarian et al., ۲۰۱۵).

۳.۲. محاسبه انتشار سطح زمین

محاسبه کسر بین باند مادون قرمز نزدیک (TIR) و باند قرمز (باند R یا باند شماره ۴ در لندست ۸) می‌تواند اطلاعات پوشش گیاهی را قوی‌تر نشان دهد. انتشار می‌تواند با استفاده از NDVI معادله ۳ محاسبه گردد (Van De Griend & Owe, ۲۰۰۳). در سال ۲۰۱۷ روش تخمین انتشار سطح زمین را با استفاده از NDVI به صورت جدول ۲ ارائه شده است (Zhang et al., ۲۰۰۶).

$$NDVI = (\rho(\text{band}4) - \rho(\text{band}3)) / (\rho(\text{band}4) + \rho(\text{band}3)) \quad (3)$$

۳.۲. محاسبه پراکنش جوی

در واقع، پراکنش جوی می‌تواند با استفاده از ظرفیت بخار آب تخمین زده شود. برای محاسبه ظرفیت بخار آب، معادله ۴ می‌تواند به صورت زیر استفاده شود (Karkon- Sistani & Doustan, ۲۰۱۴):

$$W_i = 0.981 \times \{10 \times 0.6108 \times \exp [17.27 \times (T. - 273.15) / (237.3 + (T. - 273.15))] \times RH\} + 0.1697 \quad (4)$$

W_i ظرفیت بخار آب (g/cm^3) که معادل ۲/۴۵ حاصل گردید، T_0 دمای هوای نزدیک سطح در K و RH نشان‌دهنده رطوبت نسبی است. دمای نزدیک سطح و رطوبت نسبی، از مشاهدات میدانی کسب شد. برای داده‌های ماهواره لندست ۸، این عوامل ارزش‌های متوسط ایستگاه‌های هواشناسی در زمان گذر ماهواره می‌باشند که به ترتیب دمای هوای نزدیک سطح

تفاضل نرمال شده (NDVI)، انتشار سطح زمین محاسبه گردید، سپس پراکنش جوی محیط با استفاده از ظرفیت بخار آب تعیین و میانگین دمای جوی نیز با استفاده از معادلات ارائه شده توسط (Qin et al., ۲۰۰۱; Sun et al., ۲۰۱۰) تعیین شد و در نهایت با استفاده از معادله خوارزمی تک باند دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه تعیین شد. برای استخراج دمای سطح مراحل زیر انجام شد:

- تبدیل عدد رقومی^۱ به تابش طیفی^۲:
برای تبدیل داده‌های عدد رقومی از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸، به تابش طیفی معادله ۱ می‌تواند نوشته شود (Qin et al., ۲۰۰۱):

$$Q_{dn}/Q_{max}(L_{max} - L_{min}) L_i = L_{min} + (1)$$

که L_i رادیانس طیفی سنسور ($MW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$)، L_{max} ماکزیمم رادیانس طیفی سنسور ($15/303$)، L_{min} مینیمم رادیانس طیفی سنسور ($1/238$)، Q_{max} ماکزیمم ارزش DN پیکسل‌ها (۲۵۵) و Q_{dn} ارزش DN پیکسل است.

- تبدیل تابش طیفی به دمای روشنایی سنسور^۳:
برای تبدیل تابش طیفی به دمای روشنایی سنسور، تابع پلانک می‌تواند استفاده شود (Qin et al., ۲۰۰۱):
در این معادله، با توجه به تابع پلانکو با در نظر گرفتن دو پارامتر K_1 و K_2 برای داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸، معادله ۲ می‌تواند استفاده شود:

$$T_i = K_2 / (1 + K_1 / L_i) \quad (2)$$

$$K_1 = 60,776 MW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$$

$$K_2 = 1260,56 K$$

در معادله فوق T_i دمای روشنایی سنسور ماهواره و

۱-Digital Number

۲-Spectral Radiance

۳-at- Sensor Brightness

معادل ۳۱۲/۵۵ درجه کلون و رطوبت نسبی نیز ۷ درصد بود (Doustan, ۲۰۱۴ Karkon- Sistani &).
 برای محاسبه پراکنش جوی شهر تهران از قوانین شناخته شده جدول ۳ استفاده شده است.

جدول ۲- تخمین انتشار سطح زمین با استفاده از شاخص گیاهی تفریقی نرمال شده

| انتشار سطح زمین (E _i) | NDVI |
|-----------------------------------|----------------------|
| ۰/۹۹۵ | >NDVI-۰/۱۸۵ |
| ۰/۹۷۰ | <۰/۱۵۷ ≤ NDVI-۰/۱۸۵ |
| ۱/۰۰۹۴+ ۰/۰۴۷×ln(NDVI) | ۰/۷۲۷ ≤ NDVI ≤ ۰/۱۵۷ |
| ۰/۹۹۰ | >۰/۷۲۷NDVI |

جدول ۳- روابط مربوط به برآورد قابلیت عبوردهندگی جو

| شرایط دمایی | مقدار بخار آب (w _i)(g/cm ^۲) | معادله برآورد عبور دهندگی جو (T _e) |
|---------------------|---|--|
| دمای هوا بالا باشد | ۰/۴-۱/۶ | ۰,۹۷۴۲۹-۰,۰۸۰۰۷* w _i |
| | ۱/۶-۳ | ۱,۰۳۱۴۱۲-۰,۱۱۵۳۶* w _i |
| دمای هوا پایین باشد | ۰/۴-۱/۶ | ۰,۹۸۲۰۰۷-۰,۰۹۶۱۱* w _i |
| | ۱/۶-۳ | ۱,۰۵۳۷۱-۰,۱۴۱۴۲* w _i |

برای داده‌های ماهواره لندست ۸، معادله ۵ با توجه به نتایج مطالعات (Sun et al., ۲۰۱۰; Qin et al., ۲۰۱۰) می‌تواند به کار رود تا میزان پراکنش جوی ماهواره لندست ۸ حاصل شود:

این که T برابر با ۳۹/۴ درجه سانتی‌گراد است لذا با توجه به معادله ۶ میزان دمای متوسط اتمسفری برابر ۳۰۵/۴۹ درجه کلون به دست آمده است.

$$\tau_1 = 1,031412 - 0,11536 \times w_1 \quad (5)$$

$$= 16,01101 + 0,92621 \times T_a \quad (6)$$

۵.۲. بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از

خوارزمی تک باند
 خوارزمی تک باند می‌تواند به صورت معادله ۷ نوشته شود (Qin et al., ۲۰۱۰). ۳ متغیر (انتشار، پراکنش و دمای متوسط مؤثر جوی) به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$T_s = \{a(1-C-D) + b(1-C-D) + C + D\} T_i -$$

$$DT_a\} / C(7)$$

$$a = -67,355351$$

$$b = 0,458606$$

$$C = \varepsilon_i \times \tau_i(8)$$

۴.۲. محاسبه میانگین دمای جوی

معادله میانگین دمای جوی مناسب برای مناطق واقع در عرض جغرافیایی میانه و در فصل تابستان می‌تواند برای محاسبه دمای متوسط جوی استفاده شود (Qin

نواحی کشاورزی جنوبی را در بر می‌گیرد. در بخش‌های کوهستانی شمالی شهر این نواحی شامل دره‌هایی با جریان مؤثر باد و پوشش گیاهی متراکم است. بیشتر مناطق ۱ شهرداری تهران و سد لتیان در این طبقه دمایی قرار می‌گیرند.

در بخش‌های کوهستانی شرق و همچنین در پهنه‌های غربی طبقه ۲ دمایی حضور گسسته داشته و لکه‌های پراکنده هسته شهر منطبق با پارک‌های شهری عمدتاً مربوط به این طبقه است. طبقه ۳ دمایی بیشتر در نواحی هسته شهری قرار گرفته و در سایر نواحی، طبقه ۳ به صورت لایه مرزی حول طبقات ۱ و ۲ قرار گرفته است و به سمت جنوب پیوسته است. طبقه ۴ دمایی الگوی پس زمینه دما در سطح شهر تهران بوده و بیشتر از مرکز به سمت غرب شهر دارای پیوستگی است. طبقه ۵ دمایی بیشتر در پهنه غربی شهر و مناطق پهنه کوهستانی شرق و جنوب شرقی وجود دارد که علت اصلی آن وجود صنایع سنگین در این نواحی است. جدول ۴ درصد هر یک از طبقات دمایی نشان داده شده است. برای تعیین ارتباط بین کاربری‌های مختلف با دمای سطح زمین در ایجاد پدیده جزیره حرارتی با استفاده از معادلات ارائه شده برای هر یک از شاخص‌ها، لایه شاخص‌های گیاهی نرمالیزه شده (NDVI)، شاخص تفکیک مناطق مسکونی (NDBI)، شاخص تفکیک مناطق آبی (NDWI) و شاخص برهنگی سطح (NDBaI) مورد بررسی قرار گرفته است که نقشه مربوط به این چهار شاخص مطابق شکل شماره ۳ به دست آمده است.

$$1-(D=t_i) \times (1+(1-\epsilon_i) \times t_i(9))$$

در معادله فوق، T_s دمای سطح زمین، برحسب کلوین، T_i دمای روشنایی برحسب کلوین که با استفاده از معادله ۲ قابل محاسبه می‌باشد، انتشار (ϵ_i) است که می‌تواند با استفاده از NDVI محاسبه و طبقه‌بندی شود (جدول ۲). t_i پراکنش جوی، با استفاده از معادله ۴ قابل محاسبه است و T_a نشان‌دهنده دمای متوسط مؤثر جوی است.

علاوه بر این، در پژوهش حاضر جهت بررسی دقیق‌تر وضعیت جزیره حرارتی شهر تهران از شاخص‌های گیاهی (NDVI)^۱، شاخص ساخت و ساز (NDBI)^۲ (معادله ۱۰)، شاخص آب (NDWI)^۳ (معادله ۱۱) و شاخص زمین بایر (NDBaI)^۴ (معادله ۱۲) در باندهای^۳ (سبز)، باند^۴ (قرمز)، باند^۵ (مادون قرمز نزدیک) و باند^۶ (مادون قرمز طول موج کوتاه) ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۱۹ ژوئیه ۲۰۱۷ استفاده شده است.

$$NDBI = (d(\text{band}5) - d(\text{band}4)) / (d(\text{band}5) + d(\text{band}4)(1.0))$$

$$NDBaI = (d(\text{band}5) - d(\text{band}6)) / (d(\text{band}5) + d(\text{band}6)(1.1))$$

$$NDWI = (\rho(\text{band}4) - \rho(\text{band}5)) / (\rho(\text{band}4) + \rho(\text{band}5)(1.2))$$

۳. یافته‌های پژوهش

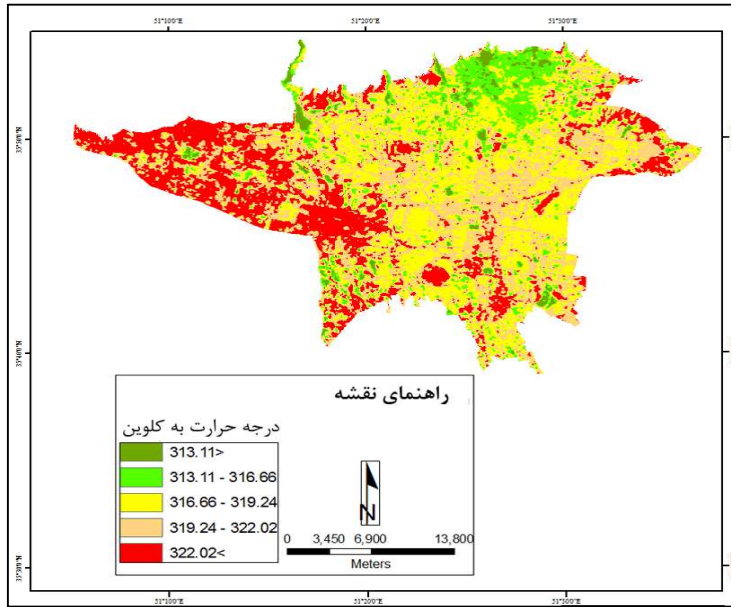
نقشه توزیع دمای سطح زمین شهر تهران بر اساس تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ ژوئیه ۲۰۱۷ میلادی در شکل ۲ نشان داده شده است. برای بررسی توزیع دمای سطح بر اساس شکل ۲، دمای سطح به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. طبقه ۱ دمایی که نشان دهنده خنک‌ترین نواحی است بخش اعظمی از نواحی کوهستانی شمالی و بخش اندکی از

۱-Normalized Difference Vegetation Index

۲-Normalized Difference Building Index

۳-Normalized Difference Water Index

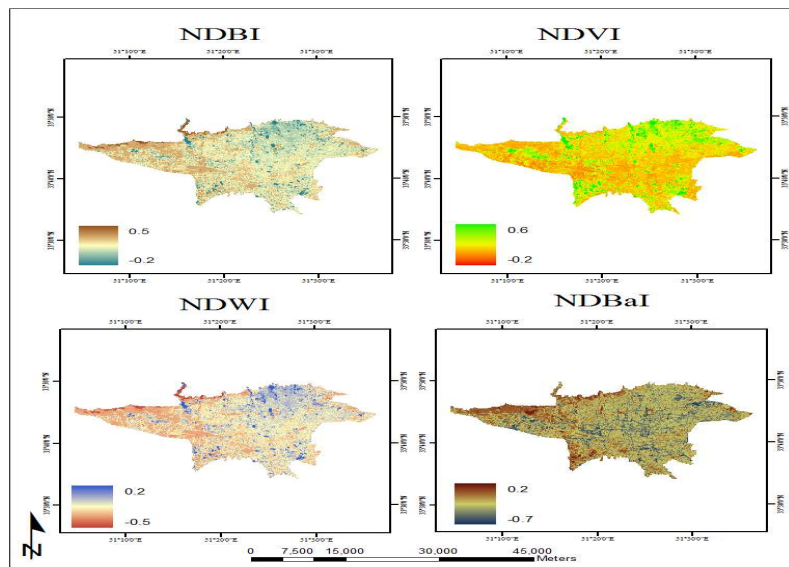
۴-Normalized Difference Bare land Index



شکل ۲- نقشه دمای سطح زمین منطقه مورد مطالعه

جدول ۴- طبقات دمای سطحی شهر تهران و درصد مساحت هر طبقه

| طبقه ۵ | طبقه ۴ | طبقه ۳ | طبقه ۲ | طبقه ۱ | طبقات دما |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|---------------------------|
| ۴۷/۵۱-۴۷/۲۹ | ۴۷/۲۹-۴۱/۴۸ | ۴۱/۴۸-۳۵/۴۸ | ۳۵/۴۸-۲۶/۵۴ | -۱۵/۴۲ ۲۶/۵۴ | محدوده حرارتی (سانتیگراد) |
| %۲۲/۷۴ | %۳۳/۲ | %۳۲ | %۹/۷۷ | %۲/۲۷ | مساحت (درصد) |



شکل ۳- نقشه شاخص‌های مورد سنجش مربوط به تصاویر ماهواره‌ای در تاریخ ۱۹ ژوئیه ۲۰۱۷

نتایج همبستگی شاخص‌های چهارگانه باحرارت سطح

مهرآباد، قابلیت اطمینان دارند. در این مرحله تفاوت دمایی تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد برابر با ۳/۹۹ درجه کلوین به دست آمد، این امر نشان‌دهنده این امر است که دمای بازیابی شده سطح زمین توسط ماهواره بیشتر از دمای درجای سطح زمین است که ناشی از اثرگذاری عناصر جوی (اتمسفیری) بر امواج بازگشتی از زمین است. در نهایت شکل شماره ۶، پراکندگی فضایی مناطق دمایی تهران را برای تصاویر ۲۰۱۷/۱۱/۳۰ و ۲۰۱۷/۰۵/۱۵ نشان می‌دهد. بر اساس این نقشه، خوشه‌های داغی در فصل گرم سال شکل گرفته و در فصل سرد سال از بین می‌رود. به عبارتی مناطقی که با رنگ سبز مشخص شده‌اند، خوشه‌های داغی را تشکیل می‌دهند که بین دو فصل گرم و سرد سال در محدوده غرب و جنوب غرب تهران شکل گرفته یا تقویت شده‌اند و برعکس مناطق مشخص شده با رنگ آبی نشان دهنده نواحی است که خوشه‌های داغ مستقر در این نواحی از بین رفته یا تضعیف شده‌اند. بر اساس این نقشه، مرکز جزیره حرارتی همچنان بر روی فرودگاه مهرآباد باقی مانده و کانون اصلی خود را حفظ کرده است. در پیرامون این کانون اصلی خوشه‌های داغ جدیدی در سمت غرب و جنوب غرب فرودگاه مهرآباد ظهور یافته‌اند. همچنین مقایسه مقدار خزانپوشش گیاهی در فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد که تقویت و گسترش جزیره حرارتی و کاهش مساحت نواحی خنک در شهر تهران هماهنگی انکارناپذیری با خزان پوشش گیاهی در فصول سرد سال و همچنین رویش دوباره پوشش گیاهی در فصول گرم سال دارد (شکل ۴).

زمین (LST)^۱ به تفکیک فصل گرم و سرد سال نشان داد که مناطق دارای پوشش گیاهی سبب کاهش دمای سطح زمین شده ($r = -0.53$) در حالی که مناطق مسکونی سبب افزایش دمای سطح زمین شده است ($r = 0.62$). علاوه بر این، نتایج آزمون در خصوص دو متغیر آب و برهنگی سطح زمین نشان داد که به علت نبود منابع آبی در سطح شهر تهران، این عامل نقش چندانی در تعدیل درجه حرارت ندارد. همچنین بر اساس نتایج آزمون، شاخص برهنگی سطح زمین دارای ارتباط نزدیکی با شاخص آب داشته و به علت نبود منابع آب، سطح زمین از پوشش گیاهی برهنه شده و بر میزان حرارت شهر تهران می‌افزاید. (جدول ۵)

نتایج آزمون خود همبستگی فضایی در خصوص ارتباط بین درجه حرارت سطح زمین با ۴ شاخص‌های چهارگانه نیز در فصل سرد سال (تصاویر مربوط به تاریخ ۱۲ فوریه ۲۰۱۷) مطابق جدول ۶ به دست آمده است.

به منظور کسب اطمینان از درست بودن پردازش تصاویر ماهواره‌ای در اثبات وجود همبستگی فضایی (معناداری) بین شاخص‌های چهارگانه با درجه حرارت، اقدام بهارزیابی صحت داده‌ها در خصوص دمای بازیابی شده از سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تاریخ مورد نظر، با دمای ثبت شده توسط ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران در آن روز، نمودار است. نتایج نشان داد تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده به جهت مطابقت با نتایج ایستگاه هواشناسی

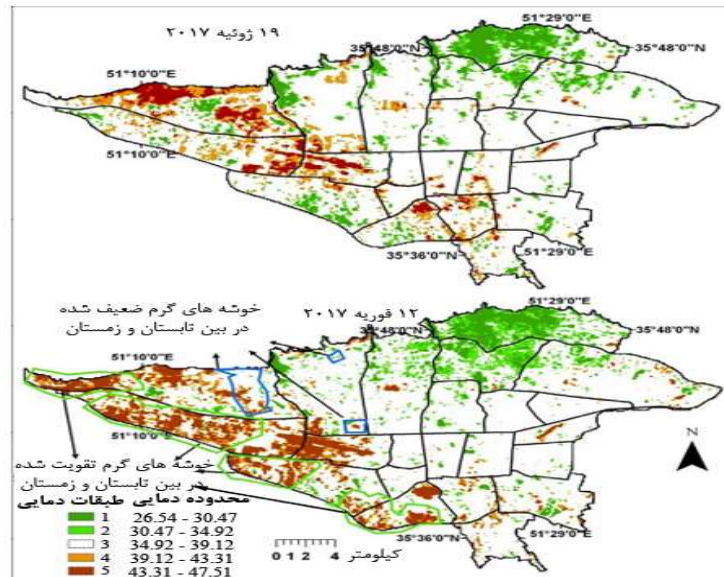
۱-Land Surface Temperature

جدول ۵- همبستگی بین LST و NDVI، NDBI، NDBaI، NDWI در فصل گرم سال (۱۹ ژوئیه ۲۰۱۷)

| شاخص‌ها | شاخص‌های آماری | LST | NDVI | NDBI | NDBaI | NDWI |
|---------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LST | مقدار همبستگی | ۱/۰۰ | | | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۰ | | | | |
| NDVI | مقدار همبستگی | -۰/۵۳ | ۱/۰۰ | | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | | | |
| NDBI | مقدار همبستگی | ۰/۶۲ | -۰/۸۰ | ۱/۰۰ | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | | |
| NDBaI | مقدار همبستگی | ۰/۱۲ | -۰/۲۰ | ۰/۵۵ | ۱/۰۰ | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | |
| NDWI | مقدار همبستگی | -۰/۶۲ | ۰/۸۰ | -۱/۰۰ | -۰/۵۵ | ۱/۰۰ |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |

جدول ۶- همبستگی بین LST و NDVI، NDBI، NDBaI، NDWI در فصل سرد سال (۱۲ فوریه ۲۰۱۷)

| شاخص‌ها | شاخص‌های آماری | LST | NDVI | NDBI | NDBaI | NDWI |
|---------|----------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| LST | مقدار همبستگی | ۱/۰۰ | | | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۰ | | | | |
| NDVI | مقدار همبستگی | -۰/۱۲۳ | ۱/۰۰ | | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۰ | | | |
| NDBI | مقدار همبستگی | ۰/۲۰۸ | -۰/۱۱۰ | ۱/۰۰ | | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۰ | | |
| NDBaI | مقدار همبستگی | ۰/۱۰۹ | -۰/۱۷۸ | ۰/۲۵۸ | ۱/۰۰ | |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | |
| NDWI | مقدار همبستگی | -۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۹ | -۰/۰۹۸ | -۰/۲۸۶ | ۱/۰۰ |
| | سطح همبستگی | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ |



شکل ۴- پراکندگی فضایی مناطق دمایی تهران را برای تصاویر ۲۰۱۷/۰۵/۱۵ و ۲۰۱۷/۱۱/۳۰

۴. بحث و نتیجه گیری

کسب اطمینان از توانایی بازیابی داده‌های با کیفیت بالا تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای آنالیز جزیره حرارت شهر تهران به صورت میدانی، داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مرحله نشان داد که بین میزان حرارت اندازه‌گیری شده توسط تصاویر ماهواره‌ای با میزان حرارت به دست آمده از ایستگاه زمینی مهرآباد دارای تفاوت ۳/۹۹ درجه کلون بوده است. نتایج یافته‌های Chan و همکاران (۲۰۱۸)، در شهرهای شمال شرقی تایوان بوده است. در این خصوص می‌توان گفت که علت اصلی تفاوت زیاد دمای شهر تهران در دو روش فوق ناشی از غلظت زیاد آلاینده‌ها در سطح شهر است. علاوه بر این، نتایج یافته‌های این پژوهش نشان داد که تراکم ساختمانی تهران، تغییرات سطح زمین، آلودگی هوا و منابع غیرطبیعی با خاصیت گرمایشی، دارای اثرگذاری بالایی در وضعیت حرارتی این شهر هستند. با توجه به نتایج یافته‌های این پژوهش در خصوص اثرگذاری عناصر فوق می‌توان گفت که در هسته‌های قدیمی شهر به دلیل شیوه‌های غیراصولی ساخت و ساز و همچنین به دلیل وجود کوچه‌ها و خیابان‌های

همان‌طوری که مطرح گردید جزیره حرارتی علاوه بر افزایش دمای سطح شهرها، کاهش کیفیت هوا، منجر به بروز انواع بیماری‌های روحی، روانی و منجر اثرات به کاهش کیفیت زندگی شهروندان، بروز بیماری‌ها، مهاجرت، پراکندگی جمعیت، تغییر الگوی بادهای محلی و غیره می‌شود. لذا جزایر حرارتی شهری برای انواع وسیعی از مطالعات علمی از آب و هوا شناسی تا هیدرولوژی، بوم‌شناسی، زمین‌شناسی، علوم پزشکی، طراحی شبکه حمل و نقل و مسکن و همچنین طیف وسیعی از مطالعات محیطی، مهندسی و انسانی ضروری است. امروزه استفاده از فناوری سنجش از دور و از آن جمله تصاویر ماهواره‌ای توانایی‌های را فراهم ساخته تا با استفاده از این فناوری بتوانند اثرات نامطلوب صنعتی شدن و توسعه شهرنشینی را کنترل نمود (Fan et al., ۲۰۱۸; Gao et al., ۲۰۱۸) با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش، وضعیت جزیره حرارتی کلان شهر تهران از طریق بررسی و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مورد تحلیل قرار گرفت. به منظور

اصلی مدیران شهری باشد. علاوه بر پیشنهادهای مطرح شده، راهبردهای زیر جهت توجه کنترل پدیده‌ی جزیره حرارتی شهر تهران ارائه می‌گردد:

۱. توجه به معیارهای افزایش پوشش سبز در طول مسیرهای حمل‌ونقل (اطراف خیابان و اطراف کوچه‌ها، مسیرهای خط‌آهن)، اماکن عمومی (پارک‌ها، زمین‌های دولتی و شهری، حیاط مدرسه‌ها، زمین‌های بازی و پارکینگ‌های عمومی) و خصوصی (پیرامون مناطق مسکونی و بام‌ها و دیوارها، ساختمان‌های تجاری و صنعتی، کوچه‌ها)
۲. نظارت بر کیفیت و استانداردهای محیط زیستی در صنایع و مخصوصاً صنایع خودروسازی در کنار فرهنگ‌سازی استفاده عموم از وسایط نقلیه عمومی.
۳. بازسازی و احیای بافت‌های فرسوده که عمدتاً ساختمان‌ها با پشت‌بام‌های فلزی ساخته شده و منجر به انعکاس شدید نور خورشید می‌شود، در اولویت برنامه‌های مدیران شهر باشد.
۴. توجه به معیارهای مرتبط با معماری و آمایش سرزمین شهری بر طبق اصول معماری سبز و همچنین توجه به نوع درختان کاشت شده به عنوان فضای سبز شهری.
۵. توجه به معیارهای مدیریت آب‌و‌خاک و جلوگیری از تخریب خاک ناشی از گسترش شهرسازی و همچنین کشاورزی فشرده اطراف شهره که ناشی از تقاضای زیاد محصولات توسط شهروندان کلان‌شهرها می‌باشد.
۶. توجه به معیارهای کاهنده حرارت ناشی از فعالیت‌های انسانی از جمله نظارت دقیق بر آلاینده‌های صنایع و وسایط نقلیه و همچنین حمایت از تولید وسایل گرمایشی کم‌مصرف خانوارها.

باریک و ماریچ مانند، پشت‌بام‌های حلبی (فلزی) و مخصوصاً نبود پوشش گیاهی منجر به شکل‌گیری خوشه‌های داغ در سطح شهر تهران می‌شود.

نتایج آنالیز خود همبستگی فضایی موران در خصوص همبستگی بین درجه حرارت سطح زمین شهر تهران و در فصل گرم نشان داد که پوشش گیاهی سبب کاهش دمای سطح زمین در سطح شهر می‌شود، به عبارتی پوشش گیاهی سطح شهرها نقش بسزایی در جلوگیری از بروز پدیده حرارتی و یا تعدیل این پدیده دارد، در این راستا می‌توان از پشت‌بام‌های مساکن برای کاشت درخت و گیاهان استفاده نمود (پشت‌بام سبز). تأثیرپذیری هوای شهر تهران از عوامل گفته شده منجر به ایجاد شرایط آب و هوایی به نام آب‌وهوای شهری در این شهر گردیده است که به صورت جزیره حرارتی در سطح کلان‌شهر تهران بروز یافته و منجر به تغییرات آب‌وهوا و محیط‌زیست شهر تهران شده است. در راستای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که از طریق کاشت درخت در کنار خیابان‌ها و همچنین توسعه پارک‌ها و فضاهای سباز برخورد نور آفتاب با زمین بایر مانند کف خیابان جلوگیری شود. علاوه بر این، می‌توان گفت که با توجه به اینکه کلان‌شهر تهران در حدود یک چهارم جمعیت ایران را در خود جای داده که این امر خود منجر به گسترش و شدت فشارهای وارده بر محیط‌زیست گردیده و نتیجه آن بروز انواع آلودگی‌های محیط‌زیستی، تخریب منابع و کاهش فضاهای طبیعی و در پی آن افزایش نیاز شهروندان تهرانی به محیط‌زیستی سالم و در نهایت آسیب‌پذیری و نوسان این منطقه در برابر جزیره حرارتی شده است. در راستای رفع این مشکل بایستی از گسترش فیزیکی شهر تهران جلوگیری کرده و حفظ و احیای محیط‌زیست این شهر جزو برنامه‌های

References:

- Adegoke, C. and A. Sojobi. ۲۰۱۵. "Climate change impact on infrastructure in Osogbo metropolis, south-west Nigeria." *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences* ۶(۳), ۱۵۶-۱۶۷.
- Amawa, S. ۲۰۱۷. "Assessment of Health Related Impacts of Urban Heat Island (UHI) in Douala Metropolis, Cameroon." *World Journal of Applied Environmental Chemistry* ۲(۲), ۵۴-۶۰.
- Asgarian, A. Amiri, B. J. & Sakieh, Y. ۲۰۱۵. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystems*, ۱۸(۱), ۲۰۹-۲۲۲.
- Chen, X.L. Zhao, H.M. Li, P.X. & Yin, Z.Y. ۲۰۰۶. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, *Remote Sensing of Environment*. ۱۰۴, ۱۳۳-۱۴۶.
- Estoque, R. C. Murayama, Y. & Myint, S. W. ۲۰۱۷. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment* ۵۷۷, ۳۴۹-۳۵۹.
- Fan, Y. Li, Y. & Yin, S. ۲۰۱۸. Interaction of multiple urban heat island circulations under idealised settings. *Building and Environment*, ۱۳۴, ۱۰-۲۰.
- Feng, H. Zhao, X. Chen, F. & Wu, L. ۲۰۱۴. Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. *Advances in Space Research* ۵۳(۳), ۴۶۳-۴۷۳.
- Gao, Z. Bresson, R. Qu, Y. Milliez, M. de Munck, C. & Carissimo, B. ۲۰۱۸. High resolution unsteady RANS simulation of wind, thermal effects and pollution dispersion for studying urban renewal scenarios in a neighborhood of Toulouse. *Urban Climate*, ۲۳, ۱۱۴-۱۳۰.
- Karkon-Sistani, Marzieh. Doustan, Reza. ۲۰۱۴. Thermal island of Mashhad metropolitan. *Journal of Geography and Spatial development* ۲(۲), ۱۲۳-۱۳۸.
- Li, H. Zhou, Y. Li, X. Meng, L. Wang, X. Wu, S. & Sodoudi, S. ۲۰۱۸. A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, ۶۲۴, ۲۶۲-۲۷۲.
- Lin, C.Y. Chen, W.C. Chang, P.L. & Sheng, Y.F. ۲۰۱۱. Impact of the urban heat island effect on precipitation over a complex geographic environment in northern Taiwan. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* ۵۰(۲), ۳۳۹-۳۵۳.
- Liu, L. & Zhang, Y. ۲۰۱۱. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sens* ۳(۷):۱۵۳۵-۱۵۵۲.
- Mallick, J. Kant, Y. & Bharath, B.D. ۲۰۰۸. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat ETM+. *Journal of Indian Geophysics Union* ۱۲(۳), ۱۳۱-۱۴۰.
- Mallick, J. Kumar Singh, C. Shashtri, S. Rahman, A. & Mukherjee, S. ۲۰۱۲. Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* ۱۹, ۳۴۸-۳۵۸.
- Mushore, T. D. Mutanga, O. Odindi, J. & Dube, T. ۲۰۱۷. Assessing the potential of integrated Landsat ۸ thermal bands, with the traditional reflective bands and derived vegetation indices in classifying urban landscapes. *Geocarto International* ۳۲(۸), ۸۸۶-۸۹۹.
- Norman, J. M. ۱۹۹۵. Algorithms for extracting information from remote thermal-IR observation of the earth surface. *Remote Sensing environment* ۵۱, ۱۵۷-۱۶۸.
- Qin, Z. Karnieli, A. & Berliner, P. ۲۰۰۱. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from LANDSAT TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing* ۲۲(۱۸), ۳۷۱۹-۳۷۴۶.

Sharma, A. Conry, P. Fernando, H. Hamlet, A. F. Hellmann, J. & Chen, F. ۲۰۱۶. Green and cool roofs to mitigate urban heat island effects in the Chicago metropolitan area: Evaluation with a regional climate model. *Environmental Research Letters* ۱۱(۶), ۰۶۴۰۰۴.

Sobrino, J.A. Jimenez- Munoz, J.C. & Paolini, L. ۲۰۰۴. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM ۵. *Remote Sensing of Environment* ۹۰ (۴), ۴۳۴-۴۴۰.

Sobrino, J.A. Li, Z.L. Stoll, M.P. & Becker, F. ۱۹۹۶. Multi- channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *Int J Remote Sens* ۱۷ (۱۱), ۲۰۸۹-۲۱۱۴.

Streutker, D.R. ۲۰۰۲. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *Int. J. Remote Sens* ۲۳:۲۵۹۵-۲۶۰۸.

Sun, Q. Tan, J. & Xu, Y. ۲۰۱۰. An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: a case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environmental Earth Sciences* ۵۹, ۱۰۴۷-۱۰۵۵.

Toth, C. and G. Józków. ۲۰۱۶. "Remote sensing platforms and sensors: A survey." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* ۱۱۵, ۲۲-۳۶.

Toutakhane, A. M. & Mofareh, M. ۲۰۱۶. Investigation And Evaluation Of Spatial Patterns In Tabriz Parks Using Landscape Metrics. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, ۱۰(۲), ۲۶۳-۲۶۹.

Toutakhane, A. M. ۲۰۱۸. Influencing Factors On Performance Of Social Behavior

Settings At Parks And Green Spaces Of Tabriz. *Journal of Urban and Regional Analysis*, ۱۰(۲), ۱۹۹-۲۱۵.

United States Geological Survey website, (<http://www.usgs.gov>).

Van de Griend, A.A. & Owe, M. ۲۰۰۳. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. *Int. J. Remote Sens* ۱۴, ۱۱۱۹-۱۱۳۱.

Wang, S. Ma, Q. Ding, H. & Liang, H. ۲۰۱۸. Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. *Resources, Conservation and Recycling* ۱۲۸, ۵۲۶-۵۳۴.

Weng, Q. ۲۰۰۱. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *Int J Remote Sens* ۲۲, ۱۹۹۹-۲۰۱۴.

Xu, D. and R. Chen. ۲۰۱۷. "Comparison of urban heat island and urban reflection in Nanjing City of China." *Sustainable Cities and Society* ۳۱, ۲۶-۳۶.

Zhang, J. Wang, Y. & Wang, Z. ۲۰۰۸. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from ۱۹۹۰ to ۲۰۰۰ by Landsat TM/ETM+ data. *Journal of Remote Sensing* ۲۸(۱۰), ۲۳۸۳-۲۳۹۰.

Zhang, Y. Yiyun, C. Qing, D. & Jiang, P. ۲۰۱۲. Study on Urban Heat Island Effect Based on Normalized Difference Vegetated Index: A Case Study of Wuhan City, the ۱۸th Biennial Conference of International Society for Ecological Modeling, *Procedia Environmental Sciences* ۱۳, ۵۷۴-۵۸۱.