

ارزیابی روند تغییرات دما، الگوی جزیره حرارتی و پوشش گیاهی ایام گرم شهر تهران

محمدرضا نجفیان گر جی

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

ابراهیم مقیمی*

استاد ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

حسین محمدی

استاد اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۸

چکیده

بررسی وضعیت دمای مناطق شهری و بررسی جزیره حرارتی آن‌ها در مطالعات اقلیم شهری و علوم محیطی حائز اهمیت است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی روند تغییرات دمای هوای و الگوی جزیره حرارتی ایام گرم شهر تهران بررسی شد. در این پژوهش برای ارزیابی روند تغییرات دمای ماه‌های گرم سال، از آزمون نا پارامتری من - کندال بر روی داده‌های دیدبانی ایستگاه مهرآباد تهران استفاده شد. برای آشکارسازی الگوی فضایی جزیره حرارتی شهر تهران در ماه‌های گرم از تصاویر ماهواره لندست ۸ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، برای ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر استفاده شد. در ادامه شاخص تفاضل پهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI) بر روی تصاویر محاسبه شد. نتایج نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در مؤلفه‌های دمایی شهر تهران وجود دارد. به طوری که در نیم سده گذشته میانگین دمای سالانه ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. این روند تغییرات افزایشی در میانگین دماهای کمینه بیشتر از دیگر مؤلفه‌های دمایی مشاهده گردید. نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که بین جزیره حرارتی شهر و کاربری‌های فضاهای سبز ارتباط مؤثری وجود دارد. استفاده از شاخص‌های گیاهی نرمال شده نشان‌دهنده این است که فضاهای سبز شهری، در کاهش پدیده جزایر حرارتی در شهر نقش مؤثری دارند. بیشترین میزان شاخص NDVI به طور متوسط ۰/۶۵ در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مشاهده گردید. کانون عمده جزایر حرارتی شهر تهران در ماه‌های گرم سال، مناطق غرب، جنوب غرب و مرکز و نیمه جنوبی می‌باشد. از شمال به جنوب شهر تهران با کاهش کاربری فضاهای سبز شهری و افزایش کاربری‌های فرسوده و کارگاهی و حمل‌ونقل؛ میزان گرما افزایش یافته و اقلیم شهری آن منطقه متأثر از کاربری‌های شهری قرار می‌گیرد. نتایج و دستاوردهای این پژوهش از نظر تغییرات فضایی جزایر حرارتی شهر تهران در ماه‌های گرم و رنگ خطر روند افزایش دمای هوا در پیوند با گرمایش جهانی برای مدیریت شهری حائز اهمیت است.

واژگان کلیدی: اقلیم شهری، تصاویر ماهواره‌ای، جزیره حرارتی، دمای هوا، تهران.

مقدمه

پارامتر دمای هوا یکی از مهم‌ترین سنجه‌های شناسایی وضعیت اقلیمی و محیطی هر منطقه محسوب می‌شود. هر نوع تغییر در دمای هوا سلسله پیامدهایی بر روی بوم نظام‌ها و زیست‌کره به همراه داشته است. تا چند دهه پیش، نواحی شهری فقط ۲ درصد از مساحت سطح زمین را اشغال کردند؛ اما امروزه مناطق شهری غالب‌ترین چشم‌اندازهای انسانی را تشکیل داده و تأثیرات قابل توجهی بر روی اکوسیستم‌های محلی و جهانی گذاشته‌اند. در میان پدیده‌های محیطی مهم که با فعالیت‌های انسانی ارتباط دارد، اثر جزیره حرارتی شهری یکی از مهم‌ترین مشکلات جوامع بوده است. پدیده جزیره حرارتی اشاره به اختلاف دما بین شهر و نواحی روستایی پیرامون آن دارد، به‌طور نواحی ساخته‌شده شهری دارای دمای بالاتری نسبت به نواحی پیرامونی هستند (صادقی نیا، ۱۳۹۱: ۲). جمعیت جهان به‌سرعت در حال افزایش است و اکثریت این جمعیت در مناطق شهری زندگی می‌کنند (گولت^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) شهرها تقریباً ۲ درصد از سطح زمین را در بر می‌گیرند (گاگو^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). صنعتی سازی و مهاجرت‌های وسیع جمعیت روستایی به مناطق شهری موجب افزایش رشد جمعیت شده و توسعه پراکنده رویی شهری را نیز موجب می‌شود. در سال ۲۰۱۰ پنجاه درصد جمعیت جهان در مناطق شهری سکونت یافته‌اند، در واقع اکثریت جمعیت جهان به‌جای مناطق روستایی در مناطق شهری زندگی می‌کنند (سنانیاک^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). شهرسازی پیامدهای عمده‌ای بر روی محیط‌های شهری دارد. یکی از مهم‌ترین پیامدهای جدی شهرسازی، افزایش درجه حرارت به خاطر سطوح مصنوعی و دمای نهام حاصل از مصارف بشری که جزیره حرارتی شهری را شکل می‌دهد. جزیره حرارتی شهری یکی از معضلات عمده بری برنامه‌ریزی شهری و کنترل زیست‌محیطی محسوب می‌شود، چون که جزیره حرارتی شهر اثرات منفی بر روی محیط شهری ایجاد می‌نماید (هیرانو و فوجیتا^۴، ۲۰۱۲). جزیره گرمایی شهری به افزایش دمای شهرها در مقابل نواحی روستایی و حومه گفته می‌شود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۶). علیرغم تفاوت‌های منطقه‌ای اقلیم، شهرهای جهان دارای یک ویژگی خاص به نام جزیره حرارتی شهر می‌باشند، در واقع مناطق شهری از دمای بالاتری نسبت به مناطق روستایی برخوردار است (گولت و همکاران، ۲۰۱۶). در مناطق شهر و حومه شهر جزایر حرارتی گرمایی مشاهده می‌شود که به‌صورت واحه‌های که در واقع دماهای سطح زمین و هوا گرم‌تر از مناطق روستایی که آن‌ها را احاطه کرده‌اند، می‌باشد. جزیره حرارتی شهر، به معمول در تمام شهرهای دنیا مشاهده می‌شود (گارتلند^۵، ۲۰۰۸). دلیل عمده جزیره حرارتی سطوح ساخته‌شده دست انسان است که مانع انعکاس نور خورشید شده و میزان جذب نور خورشید را بالا می‌برد که تبع آن، دما افزایش می‌یابد. به‌طور کلی جزایر حرارتی در شهرها موجب دمای هوای بالاتر، افزایش دمای سطح زمین و وارونگی‌های حرارتی می‌گردد (گارتلند^۶، ۲۰۰۸). سنجش‌ازدور می‌تواند برای شناسایی دما و دیگر خصوصیات سطوح، به‌طور نمونه سقف‌ها، سنگفرش‌ها،

1 - Gulte

2 - Gago

3 - Senanayake

4 - Senanayake

5 - Gartland

6 - Gartland

پوشش‌های گیاهی، به‌وسیله اندازه‌گیری انرژی منعکس شده و منتشر شده از آن‌ها، استفاده شود. روند تغییرات دمای ماه‌های گرم در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور نمونه کمینه‌های روزانه دمای هوا نسبت به بیشینه‌ها در سراسر جهان تمایل بیشتری به افزایش بیشتر نشان می‌دهند (رین و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی تغییرات اقلیمی از طریق سنجش‌های اقلیمی همیشه مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از پارامترها است، به‌احتمال زیاد در تغییر هستند (احمدی و رادمش، ۱۳۹۳: ۸۵۵). از آنجا که دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم است، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب‌وهوای هر محل را دگرگون سازد. به همین دلیل است که بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بخش بزرگی از ادبیات و اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۲۹).

تعدادی از مطالعات با استفاده از داده‌های مشاهداتی زمینی به‌منظور اهمیت و تغییرپذیری فضایی دمای سطح زمین به‌منظور ارزیابی جزایر حرارتی گرمایی انجام شده است (استفاپالو و کارتالیس^۷، ۲۰۰۹؛ استفاپالو و همکاران، ۲۰۰۹؛ سنایک و همکاران^۸، ۲۰۰۹؛ ایفات و حسن^۹، ۲۰۱۴). این مطالعات یک دید فضایی مداوم از دمای محیط مناطق بزرگ شهری را ارائه داده‌اند و در نتیجه بر محدودیت مکانی شبکه‌های زمینی ایستگاه‌های هواشناسی غلبه کردند. طیف دیگری از مطالعات دمای سطح زمین را با رویکرد شناسایی مناطق فاقد دمایی مورد سنجش قرار دادند. بایاتوبیه و وو (۲۰۱۰) جزایر حرارتی شهری و نوسانات و توزیع زمانی - مکانی آن‌ها در سطح زمین را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که جزیره حرارتی در ماه‌های گرم بیشتر از دیگر ماه‌های رخ می‌دهد و روند مشخصی در وضعیت جزیره حرارتی به دلیل صنعتی سازی و معیارهای اقتصادی وجود ندارد.

مقیمی (۱۳۷۸) تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارندگی تهران در یک دوره سی‌ساله را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که میانگین سالانه رطوبت نسبی حداقل با میانگین بارش مطابقت ندارد ولی رطوبت نسبی ماهانه و فصلی با میانگین فصلی و ماهانه بارش مطابقت دارد. رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران (۱۳۸۴) آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روند افزایشی در دمای کمینه نسبت به دمای بیشینه در تهران دیده می‌شود، علاوه بر گسترش شهر و ایجاد ساختمان‌ها و موانع، روند مؤلفه شمالی بادهای محلی تهران مشاهده شده است. صادقی نیا (۱۳۹۱) تحلیل فضایی - زمانی ساختار جزیره حرارتی شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی غرب و جنوب غرب تهران مناطق ۱۸، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ و گسترش کارگاهی و انباری، خوشه‌های خنک از بین رفته و خوشه‌های داغ جای آن را گرفته است. صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۱) تحلیل فضایی و زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد مناطق غرب و جنوب غرب به دلیل از بین

7. Stathopoulou and Cartalis

8. Senanayake et. al.

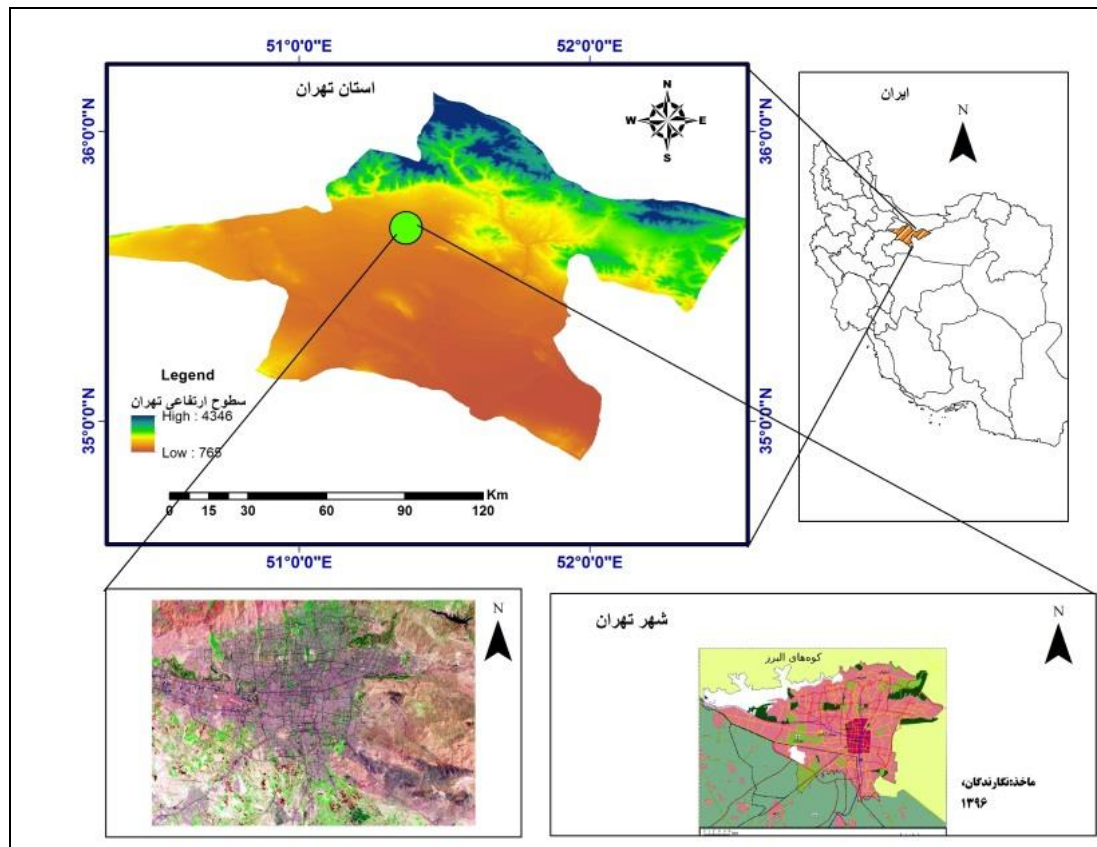
9. Effat & Hassan

رفتن پوشش گیاهی از گرمای بیشتری برخوردار است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر و پیروی شدت جزیره گرمایی شهر تهران از الگوهای همدیدی جو پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در زمان حاکمیت شرایط پرفشاری به علت سکون هوا، شدت جزیره حرارتی افزایش می‌یابد. در شرایط کم‌فشاری شرایط برعکس است. کریمیان و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر پوشش گیاهی و سطوح سخت شهری بر ریز آسایش دمایی مشهد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در ایام گرم شاخص‌ها در تنش دمایی اندک تا بسیار شدید قرار دارند. مناطق با پوشش گیاهی زیاد، از تنش دمایی کمتری برخوردار بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی تحلیل فضایی دمای شهر شیراز در فصول گرم و سرد سال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در فصل گرم پایین‌ترین آستانه‌های دمایی منطبق بر پوشش گیاهی بوده ولی در فصل سرد سال منطبق بر نواحی جدید شهرسازی شده می‌باشد. انتظاری و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی فضایی جزیره حرارتی شهر مشهد بر اساس تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که مراکز پرجمعیت با کاربری با پوشش گیاهی کمتر از خوشه‌های گرمایی بالاتری برخوردار است. بابایی فینی (۱۳۹۴) به بررسی رابطه دمای سطح زمین و شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در محیط شهری (مطالعه موردی: شهر اصفهان) پرداختند. نتایج بر اساس تصاویر خروجی سنجنده TM ماهواره لندست نشان داد که دماهای کمینه منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی مترکام بوده است. ترکاشوند (۱۳۹۵) آشکارسازی جزیره حرارتی شهر اراک را بررسی نمودند. با استفاده از شاخص NDVI و LST و تصاویر ماهواره‌ای نتایج نشان داد که پوشش گیاهی باعث تعدیل دما و مناطق ساخته‌شده شهری موجب تشدید جزیره حرارتی شده است.

جزیره حرارتی شهر (UHI) یکی از مهم‌ترین مسائل حیات در مناطق شهری است که شرایط اقلیمی و بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار کمی دهد. جزیره حرارتی شهر که نتیجه تراکم شهری و افزایش مصارف بشری در محیط شهر است، تبعات عمده‌ای از جمله افزایش اینورژن‌ها و همچنین افزایش میزان آلاینده‌ها، بالا رفتن میزان مصرف انرژی در شهرها و عدم راحتی انسانی را به همراه دارد. امروزه دانش سنجش‌ازدور با استفاده از ماهواره‌ها و سنجنده‌های مختلف، وضعیت دمای سطح زمین و میزان بازتابش از سطوح مختلف سطح زمین در جهت برنامه‌ریزی بهتر حائز اهمیت است. در واقع از اندازه‌گیری‌های سنجش‌ازدور برای تعیین وضعیت سطوح سرد و گرم و همچنین میزان بازتابش آن‌ها استفاده کرد. شهر تهران به‌عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا از جزیره حرارتی خاصی برخوردار می‌باشد. ماه‌های گرم سال به دلیل افزایش دمای هوا در این شهر، وضعیت آسایش ساکنان شهر را مختل می‌کند. در اثر افزایش دمای شهر تهران، هزینه‌های مصرف انرژی برای تعدیل دمای شهر تهران در جهت آسایش نیز بالا می‌رود؛ بنابراین پژوهش حاضر باهدف واکاوی روند تغییرات دمای ایام گرم سال و الگوی فضایی جزیره حرارتی در سطح شهر تهران در ایام گرم سال در بازه سه‌ساله از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ به‌طور مستمر از طریق تصاویر مادون‌قرمز ماهواره لندست ۸ تدوین شده است.

داده‌ها و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. تهران در بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین و از شمال توسط کوهستان محصور شده است. تهران یک مرکز کلیدی برای تولید، سکونت، تجارت، توزیع و حمل‌ونقل در کشور ایران است. توسعه شهری شتاب یافته و فقدان برنامه‌ریزی مناسب تأثیرات مهمی روی محیط حرارتی آن بر جا گذاشته است (صادقی نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۵). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر تهران را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر تهران

روش بررسی

پژوهش حاضر با روش آماری - تحلیلی بررسی شد. زیربنای پژوهش آمار داده ایستگاهی و تصاویر ماهواره‌ای است. در این راستا از داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی مهرآباد تهران از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ برای سنجش تغییرات دمای هوا

استفاده شد. آمار لازم از سازمان هواشناسی کشور تهیه و استخراج گردید. برای سنجش روند تغییرات پارامترهای دمایی در ماه‌های گرم از روش نا پارامتری من - کندال استفاده گردید. شاخص‌های گیاهی از پرکاربردترین نمونه‌های محاسبات باندی هستند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، بررسی انواع پوشش گیاهی و وضعیت سبزیگی یک منطقه طی دوران‌های مختلف به کار می‌روند. در این راستا به منظور استخراج الگوی دمایی شهر تهران در ماه‌های گرم سال، از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ برای ماه‌های (ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر) استفاده شد. این تصاویر محدوده زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ میلادی را در بر می‌گیرد. این تصاویر تحت شرایط هوا سپهری صاف از تارنمای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا از این آدرس^{۱۰} و سامانه تصویر WGS-1984 UTM بارگیری می‌شوند. برای صحت سنجی و ارزیابی شرایط هوا سپهری تصاویر منتخب از اطلاعات آب‌وهوایی ایستگاه همدید استفاده شد.

به منظور ارزیابی ترکیبی اقدام به سنجش میانگین مبتنی بر یاخته‌های تصویر منتخب شد. برای تصویر حرارتی اصلاح اتمسفری^{۱۱} صورت گرفته است تدبیر حاضر به خاطر دو کاناله بودن تصاویر حرارتی بکار برده شد. علاوه بر این از روش اصلاح جوی سریع^{۱۲} (QUAC) برای اصلاحات هوا سپهری گروه‌های باندی OLI استفاده شد. به منظور محاسبه دمای سطح زمین ارزش‌های رقومی تصاویر حرارتی (TIRS) به رادیانس طیفی تبدیل گردید (USGS, 2013). معادله (۱).

$$L_{\lambda} = gain \times DN + offset \quad (1)$$

که در آن L_{λ} رادیانس طیفی حس گر $(W / M^2 \text{srad } \mu m)$ ؛ $gain = (0.0003342)$ عامل دگرگونی مقیاس خاص برای هر باند از فراداده^{۱۳}؛ $offset = (0.1)$ عامل دگرگونی مقیاس اضافه شده به هر باند از فراداده و DN شماره دیجیتالی هر یاخته است. در گام بعدی این مقادیر به دمای روشنایی با استفاده معادله (۲) تبدیل شد.

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

که در آن TB دمای درخشندگی به کلوین، $k_1 = 774.89$ و $k_2 = 1321.08$ مقادیر ثابت کالیبراسیون اند که از فراداده قابل دسترسی است (USGS, 2013).

10 - <http://glovis.usgs.gov/>

11. thermal atmospheric correction

12. Quick Atmospheric Correction

13. metadata

شاخص وضعیت پوشش گیاهی NDVI

شاخصی که به شکل گسترده‌ای در پژوهش‌های شهری به کار می‌رود، شاخص NDVI است. به نقل از احمدی و همکاران (۱۳۹۶) کارنیلی و همکاران تأیید کردند که این شاخص پوشش گیاهی دارای جذب قوی در باند قرمز و بازتاب قوی از تابش در باند مادون قرمز است.

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad (۳)$$

P_{NIR} ، بیان کننده میزان بازتاب در باند قرمز و P_{RED} بیان کننده میزان بازتاب در باند قرمز است.

روش نا پارامتری من - کندال

برای بررسی روند تغییرات شش پارامتر اقلیمی مؤثر بر تبخیر- تعرق از آزمون نا پارامتری من - کندال استفاده شد. این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) تکامل یافت. این روش که به‌طور گسترده در مباحث علوم محیطی و هواشناسی کاربرد دارد، یکی از روش‌های نا پارامتری مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود.

$$Z = \begin{cases} x = \frac{s-1}{\text{var}(s)} & \text{if } s > 0 \\ x = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s = 0 \\ x = \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

در این رابطه S نشانه تفاوت مقادیر با یکدیگر و $\text{var}(s)$ پراش S است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (۴)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (۵)$$

در این رابطه n تعداد مشاهدات سری، X_k و X_j به ترتیب داده‌های J ام و K ام سری (مرتب‌شده به ترتیب وقوع) Sign تابع علامت (رابطه ۷) و β عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد (رابطه ۸) است.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 \text{ if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \text{ if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \text{ if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5) \quad (۷)$$

t تعداد داده‌های مشاهده شده و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

با پیشرفت دانش امروزه سنجنده‌های ماهواره‌ای حرارتی با قدرت تفکیک مکانی بالا، قار به‌اندازه گیری سطح زمین هستند. سنجش‌ازدور نقش حیاتی و ضروری در تخمین پارامترهای فیزیکی مرتبط با مطالعات شهری دارد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره لندست تصاویر چند زمانه، تغییرات فضایی جزیره حرارتی شهر تهران بررسی شد. با توجه به اینکه در مطالعات اقلیم شهری، برنامه‌ریزی‌ها بر مبنای الگوهای بلند مدت است، لذا در این پژوهش از روش متداول من - کندال برای سنجش تغییرپذیری‌های بر اساس سری بلند مدت دمای هوا استفاده شد. همچنین برای سنجش پدیده جزیره حرارتی با در نظر گرفتن نقش کاربری فضاهای سبز، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نقش بسزایی دارد.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات پارامترهای دمایی در شهر تهران

نتایج روند تغییرات مؤلفه‌های دمایی، میانگین دمای هوا، میانگین کمینه‌ها، میانگین بیشینه‌ها، به‌صورت ماهانه و فصلی در جداول (۱) مشخص شده است. نتایج روش نا پارامتری من - کندال بر روی سری میانگین دمای هوا در ماه‌های ژوئن تا به‌صورت آماره Z به ترتیب ۲، ۱/۹۹ و ۲ در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار شد. در پارامتر میانگین کمینه‌های دمای هوا در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر، مقدار آماره Z به ترتیب ۲/۵، ۳، ۳ و ۲/۹ مشاهده شد که روند افزایشی آن درسته ۰/۰۱ معنی‌دار گردید. در پارامتر میانگین بیشینه‌های دمای هوا مقدار آماره Z به ترتیب در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر به ترتیب ۳، ۲/۶، ۳ و ۲/۱ مشاهده شد که این روند در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ معنی‌دار شد. با اتکا بر نتایج روش من - کندال بر روی سری‌های دمایی، در تمام مؤلفه‌های دمایی روند تغییرات افزایشی مشاهده می‌شود. مقدار روند افزایشی در میانگین کمینه‌های دمایی بیشتر از بیشینه‌های دمایی مشاهده می‌شود.

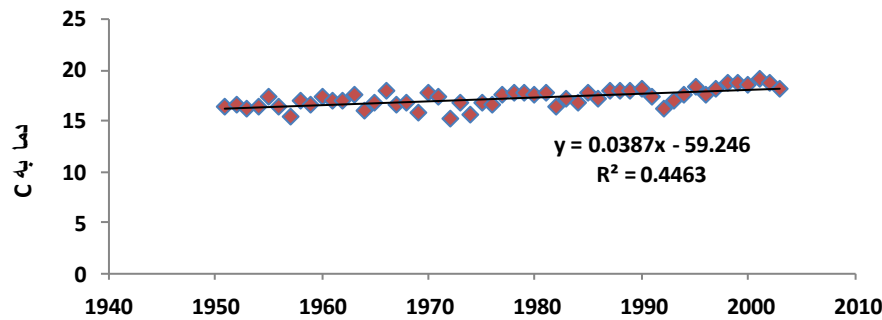
جدول ۱: روند تغییرات مؤلفه‌های دمایی بلند مدت در ماه‌های گرم در شهر تهران بر اساس ایستگاه مهرآباد

پارامتر	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر
میانگین دما	۲*	*۱/۹۹	۲*	۱/۶۵
میانگین کمینه‌ها	۲/۵*	۳**	۳**	۲/۹**
میانگین بیشینه‌ها	۳**	۲/۶**	۳**	۲/۱*
**معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵				

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

روند تغییرات بلند مدت سالانه در میانگین دمای هوای ایستگاه مهرآباد تهران در شکل (۲) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که روند صعودی قابل‌توجهی در مقدار دمای هوا در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود. شیب تغییرات دمای هوا ۰/۰۳۸۷ به ازای هر سال رخ داده است. نسبت به ۵ دهه پیش، دمای سالانه شهر تهران بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد

افزایش پیدا کرده است. با توجه به این نتایج روند تغییرات قابل توجهی در میانگین دمای هوای شهر تهران رخ داده است. این شرایط می‌تواند در پیوند احتمالی با پدیده روند شهرنشینی و گرمایش جهانی کره زمین باشد.



مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

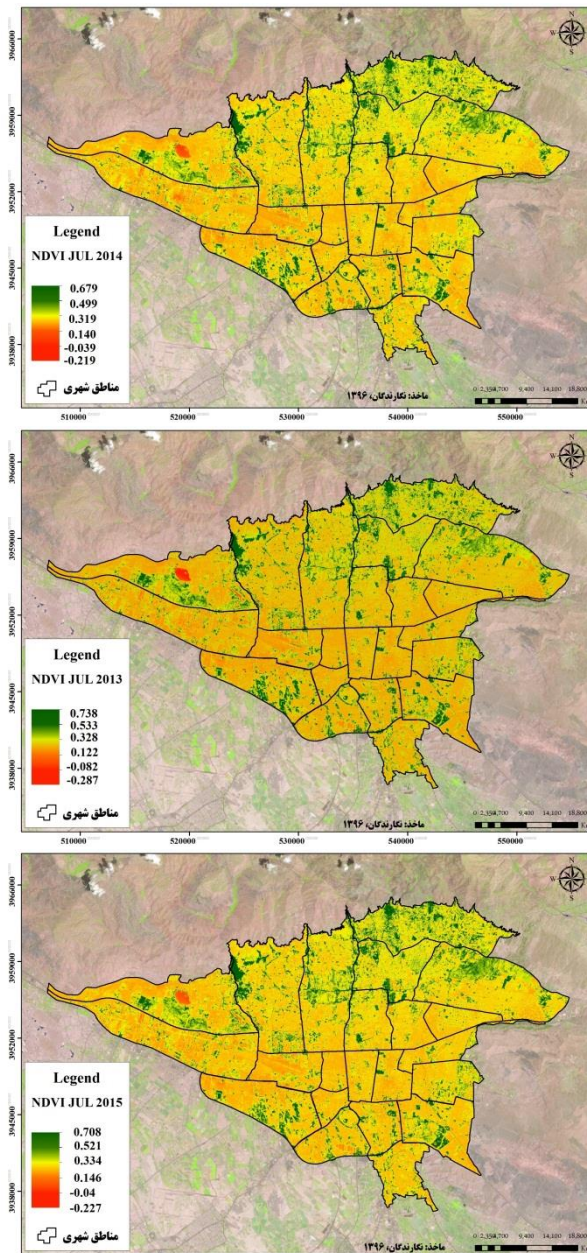
شکل ۲: روند تغییرات دمای هوا در ایستگاه مهرآباد - تهران

الگوی تغییرات جزایر حرارتی شهر تهران در ایام گرم

ماه جولای

نتایج حاصل از تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه جولای برای شهر تهران در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۱۳ بیشینه شاخص NDVI در ماه جولای، ۰/۷۳۸ و کمینه آن به مقدار ۰/۲۸۷- قرار دارد. در سال ۲۰۱۴ بیشینه این شاخص به ۰/۶۷۹ و کمینه آن به ۰/۲۱۹- می‌رسد. در سال ۲۰۱۵، بیشینه شاخص NDVI به ۰/۷۰۸ و کمینه آن به ۰/۲۲۷- تغییر می‌یابد. این شرایط بر اساس برونداد تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که کمترین میزان گرما یا کمینه شاخص NDVI، منطبق بر مناطق با پوشش گیاهی بالاتر در شمال تهران و مراکز با کاربری فضای سبز قدیمی در مناطقی از جنوب و پراکنده در سطح شهر است. در واقع مناطقی که در وضعیت بیشینه مقدار شاخص NDVI به صورت مثبت قرار دارند، بیشتر مربوط به مناطق با فضای سبز بالاتر و کاربری از نوع پوشش گیاهی هستند که در شهر تهران بیشتر در مناطق شمالی بیشتر مشاهده می‌شود؛ زیرا کاربری فضاهای سبز شهری در ایجاد میکروکلیمات و تأثیر بر دمای سطح زمین نقش مؤثری ایفا می‌نمایند. هر چقدر مقدار شاخص NDVI در حالت کمینه و منفی قرار می‌گیرد، شرایط گرم و مناطق با کاربری ترافیک شدید شهری و مناطق مسکونی و صنایع محور را نشان می‌دهد. یک ناحیه با خوشه و جزیره بسیار گرم در منطقه غرب تهران در ورودی شهر قرار دارد که به کاربری حمل‌ونقل و پایانه‌های مسافری و دیگر تمرکز گاه صنایع و اشیا حرارت زا اختصاص دارد. به‌طور کل بیشترین گرما یا کمینه شاخص NDVI در مناطق مرکزی و جنوب و مناطق قدیمی و بافت فرسوده مشاهده می‌شود. در ماه جولای بیشترین تغییرات در وضعیت جزیره حرارتی در سال ۲۰۱۵ مشاهده می‌شود. در واقع هرچقدر به سال‌های اخیر نزدیک‌تر می‌شویم، میزان شاخص NDVI و گرما بیشتر خودنمایی می‌نماید. این شرایط هم به شرایط گرمای بی‌سابقه

کره زمین در سال‌های اخیر ارتباط دارد و هم به ازدیاد جمعیت و مهاجرت و حجم بسیار بالای مناطق مسکونی که در ایجاد جزیره حرارتی شهر تهران نقش دارد.



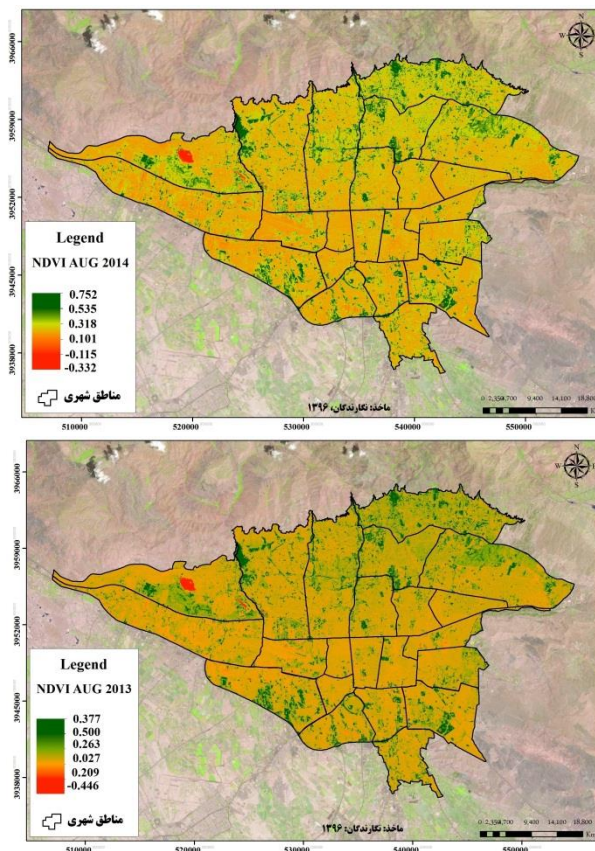
مأخذ: نگارندگان

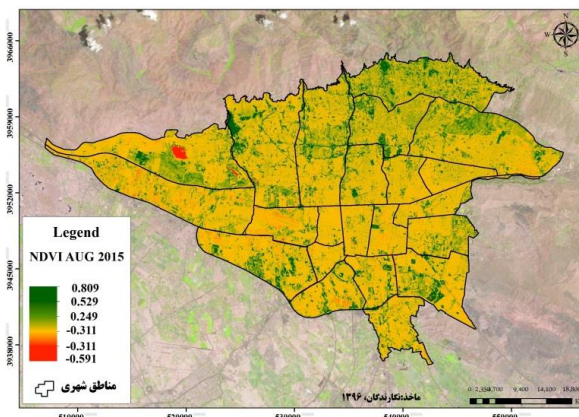
شکل ۳: الگوی تغییرات فضایی جزیره حرارتی شهر تهران در ماه جولای از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ ماه آگوست

نتایج حاصل از تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه آگوست برای شهر تهران در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در شکل (۴) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مقدار شاخص (NDVI) در سال ۲۰۱۳ از $0.72 +$ برابر با بیشینه این شاخص تا $0.22 -$ برای کمینه این شاخص متغیر است. در سال ۲۰۱۴ مقدار این شاخص افزایش یافته و بیشینه و کمینه

آن به ترتیب در وضعیت $+0/75$ و $-0/21$ قرار دارد. در سال ۲۰۱۵ بیشینه و کمینه این شاخص در وضعیت $+0/89$ تا $-0/59$ قرار می‌گیرد. مقدار شاخص مذکور در سال ۲۰۱۵ برای ماه آگوست بیشتر از دیگر ماه‌ها و سال‌های مورد مطالعه مشاهده شد. در این ماه از سال، کانون جزایر گرم یا کمینه شاخص NDVI، در مناطق غرب، جنوب غرب و مرکز تهران و بافت‌های قدیمی قرار دارد. در سال ۲۰۱۳ کمترین تغییرات در الگوی جزایر حرارتی و در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، تغییرات مکانی بیشتری در الگوی جزیره حرارتی مشاهده می‌شود. در بین این سال‌ها، سال ۲۰۱۴ بیشترین کانون جزایر حرارتی را نشان می‌دهد. نقش مؤثری کاربری‌های فضاهای سبز شهری در نیمه شمالی در ایجاد تغییر در میزان دمای سطح زمین آشکار است.

روند تغییرات افزایشی دمای هوا بر اساس آزمون من کندال از طریق داده‌های ایستگاه مهرآباد نشان داد که روند افزایشی در دمای هوای شهر تهران در نیم سده گذشته وجود دارد. این شرایط از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ به صورت ۴ درجه سانتی‌گراد، افزایش دمای هوا خودنمایی کرده است. این شرایط می‌تواند در پیوند احتمالی با گرمایش جهانی باشد. گرمایش جهانی کره زمین از یک طرف و افزایش جمعیت و تغییر کاربری‌ها و حجم زیاد مهاجرت‌ها و تردد به شهر تهران موجب شده که نواحی ورودی شهر در مناطق غربی، با وجود پایانه‌های شهری و همچنین گره‌گاه‌های ترافیکی، از مقدار گرمای بیشتری نسبت به دیگر نواحی شهر تهران برخوردار باشد.

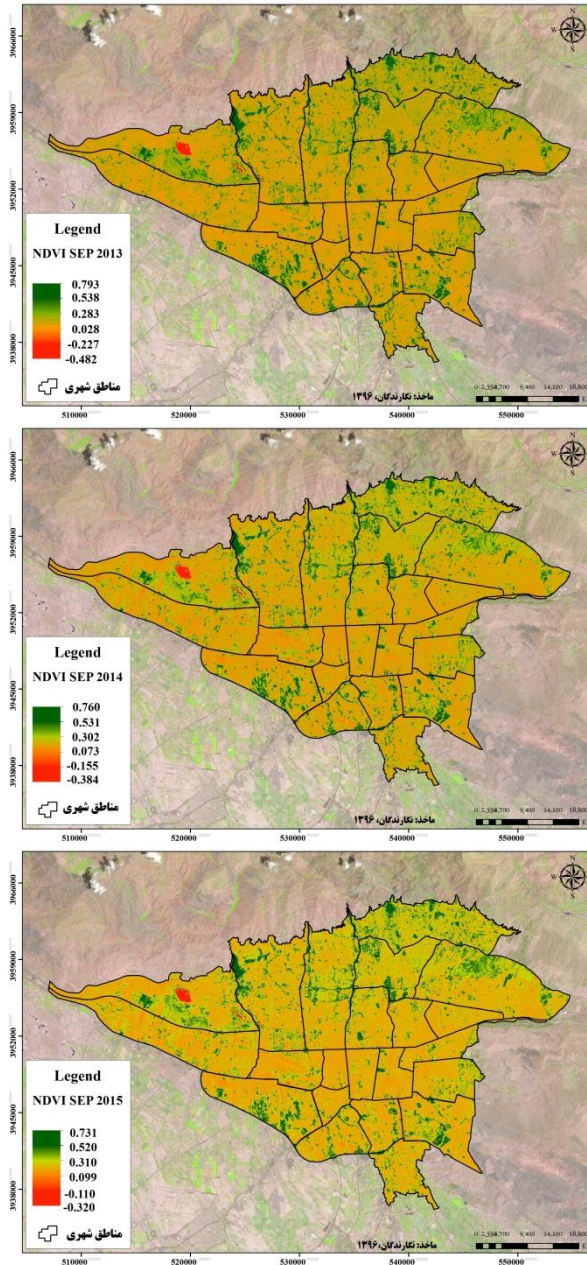




مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

شکل ۴: الگوی تغییرات فضایی جزایر حرارتی شهر تهران در ماه آگوست از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ ماه سپتامبر

نتایج شاخص (NDVI) برای ماه سپتامبر برای شهر تهران در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ در شکل (۵) مشخص شده است. در سال ۲۰۱۳ بیشینه شاخص معادل $0/79$ و کمینه آن به مقدار $-0/40$ مشاهده شد. در سال ۲۰۱۴ بیشینه شاخص از $0/76$ و کمینه آن در وضعیت $-0/36$ قرار دارد؛ و در سال ۲۰۱۵ این شاخص در شرایط بیشینه به مقدار $0/73$ و در شرایط کمینه به مقدار $-0/32$ رسیده است. در این ماه از سال نیز کانون جزایر حرارتی همچنان در مناطق غرب، جنوب غرب و مناطق مرکزی و نیمه جنوبی در بافت‌های قدیمی شهر تهران رخ می‌دهد. مسیر غرب به شرق در مرکز به‌عنوان یکی از تمرکز گاه‌های حمل‌ونقل و در میان بافت‌های قدیمی مانند مسیر آزادی به تهران‌پارس جزو مناطق با گرمای بیشتر محسوب می‌شوند. در این ماه همچنان نیمه شمالی شهر تهران از میزان دمای کمتری برخوردار بوده و کاربری فضاهای سبز شهری در خنک‌هایی دمای سطح زمین در آن مناطق نقش مؤثری ایفا نموده است.



مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

شکل ۵: الگوی تغییرات فضایی جزایر حرارتی شهر تهران در ماه سپتامبر از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵

در مجموع نتایج نشان داد که مقدار شاخص NDVI در ماه آگوست بیشتر از دیگر ماه‌های سال رخ می‌دهد. در بازه زمانی سه ساله از نظر مکانی، تغییری در الگوی جزیره حرارتی شهر تهران رخ نداده است. در ایام گرم سال، بیشینه شاخص NDVI منطبق بر مناطق غربی، جنوب غربی و مرکز و جنوب شهر تهران است. این مناطق با بافت نسبتاً قدیمی، از فضاهای سبز شهری کمتری نیز برخوردارند که شرایط را برای ایجاد خوشه‌های گرم در ایام گرم سال فراهم ساخته است؛ بنابراین کاربری‌ها بخصوص فضاهای سبز شهری، نقش مؤثری در الگوی جزیره حرارتی شهرها ایفا می‌نمایند.

نقش پوشش گیاهی شهر در جزیره حرارتی و دمای تهران

فضاهای سبز شهری که در برگیرنده بخشی از سیمای شهر است، انواعی از پوشش گیاهی را تشکیل می‌دهند. روند رو به رشد توسعه و افزایش سرانه فضای سبز در ایران در سیر تحول شهر تهران کاملاً مشهود است. همان‌طور که تصاویر پردازش‌شده ماهواره لند ست مشخص شده، بر اساس الگوی جزیره حرارتی به‌درستی می‌توان به وضعیت پوشش گیاهی و توزیع آن در شهر تهران پی برد. نتایج نشان داد که توزیع و پراکنش فضای سبز در شهر تهران از حالت مناسبی برخوردار نیست، به‌طوری‌که در تصاویر دیده می‌شود، مناطق شمال شهر و مناطق نسبتاً جدید و نوساز از میزان پوشش گیاهی بالاتری نسبت به بافت‌های و مناطق قدیمی شهر برخوردار می‌باشند. گیاهان با سایه‌اندازی روی زمین و کاهش شدید سرعت باد، تبخیر از خاک را کاهش می‌دهند و از خشکی محیط می‌کاهند. الگوی جزیره حرارتی ماه‌های گرم شهر تهران در سال‌های مختلف نشان داد که نبود پوشش گیاهی و حذف آن در بسیار از مناطق نیمه جنوبی و جنوب غربی شهر، موجب افزایش دمای هوا در آن مناطق با میکروکلیمای گرم شده است. پردازش تصاویر ماهورهایی نشان از انطباق کمینه دمای شهر تهران با مناطق پوشش گیاهی متراکم و اختلاف ارتفاع است. بررسی رابطه تراکم پوشش گیاهی با وضعیت الگوی جزیره حرارتی و دمای شهر تهران، نشان‌دهنده این است که مناطق نوساز و با پوشش گیاهی متراکم ارتباط مستقیمی با وضعیت دما و تعدیل آن در مناطق مختلف شهر تهران دارند. با استناد به نتایج کسب‌شده، لزوم اهمیت و افزایش سرانه فضاهای سبز شهری و کمربندهای سبز در محیط‌های شهری بخصوص مناطق پرجمعیت به‌عنوان یک فاکتور تعدیل‌کننده دمای هوا در محیط شهر و اقلیم شهری، برای نهادهای مسئول در مدیریت شهری، ضروری می‌سازد.

مهم‌ترین اثرات فضای سبز در شهرها، کارکردهای زیست‌محیطی آن‌ها است که ایجاد تعادل بخشی در متابولیسم شهر از یک‌سو و بالا بردن سطح زیبایی از سوی دیگر، سبب افزایش کیفیت زیستی شهرها می‌شوند. اقلیم شهری به‌شدت از وضعیت فضاهای سبز شهری تأثیر می‌پذیرد. تعدیل دمای شهر بر اساس فضاها و بام‌های سبز نقش مؤثری در کاهش دمای و بالا بردن آسایش اقلیمی در داخل شهرهای کلان مانند تهران دارد. مؤلفه‌های اثرات گسترش در شهرها، به‌طور گوناگونی نظام زیستی شهرها را می‌توانند مختل کنند. مهم‌ترین اثرات فضای سبز در شهرها تعدیل دما، افزایش رطوبت نسبی، تلطیف هوا و جذب گردوغبار است. امروزه آسایش انسانی در شهرهای کلان بسیار حیاتی است. بررسی دماهای ثبت‌شده نشان داد که دمای شهر تهران بیش از ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به ۵ دهه گذشته افزایش یافته است. این شرایط نشان می‌دهد که بیوکلیمای انسانی در بیشتر مناطق شهر تهران با تنش مواجه خواهد شد. از طرفی الگوی جزیره حرارتی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که عدم نبود فضاهای سبز شهری در مناطق قدیمی و بافت‌های فرسوده کاملاً مشهود است. مناطق شمال شهر به دلیل ارتفاع بالاتر و همچنین گسترش کمربندهای سبز و فضاهای سبز شهری، از جزیره گرمایی کمتری برخوردار است.

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر وضعیت روند تغییرات دمای ماه‌های گرم سال و الگوی فضایی جزیره حرارتی شهر تهران بر اساس تصاویر ماهواره لندست، سنجنده TM در زمان‌های مختلف ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد در مؤلفه‌های دمایی (دمای کمینه، بیشینه و میانگین دمای هوا) در بلند مدت برای ۶ دهه برابر با نیم سده و بیشتر، روند افزایشی در دمای هوا مشاهده می‌شود. این روند افزایشی دمای هوا در سال‌های اخیر از شیب بالاتری برخوردار است. با توجه به گسترش دانش سنجش‌ازدور، ارزیابی دمای سطح زمین و بررسی جزیره حرارتی در شناخت اقلیم شهری حائز اهمیت است. نتایج نشان داد که ماهواره لندست و تصاویر ماهواره به‌درستی وضعیت دمای سطح شهر تهران را نشان می‌دهد. وضعیت و نقش کاربری فضاهای سبز شهری در تعدیل دمای سطح شهر به‌خوبی آشکار می‌باشد. جزایر حرارتی در سطح شهر تهران هم نقشه‌ای و هم پهنه‌ای مشاهده گردید که متناسب با وضعیت مناطق فرسوده و جنوب تهران با تمرکز صنایع مشاهده می‌شود. در سال‌های اخیر و بخصوص سال ۲۰۱۵ میزان NDVI بیشتر از سال‌های گذشته مشاهده گردید. نقش مهاجرت و گسترش شهرنشینی و کاهش فضاهای سبز شهری در ایجاد جزیره حرارتی شهر آشکار است. نتایج و دستاوردهای این پژوهش برای برنامه ریزان و مدیران بخش شهری برای اتخاذ تصمیمات درست در جهت مدیریت شهری حائز اهمیت است. بررسی نقشه‌ها نشان داد که مرکز حرارتی و خوشه‌های داغ در مناطق غرب و جنوب غرب در اطراف فرودگاه مهرآباد بیشتر مشاهده می‌شود. الگوها توسعه شهری در روند تغییرات جزیره حرارتی شهری نقش مؤثری ایفا می‌نماید، به‌طوری‌که در شهر تهران گسترش کاربری‌های کارگاهی و گمرکات و پایانه‌های شهری در حواشی و جنوب تهران موجب ایجاد جزایر حرارتی در آن مناطق شده است. اجرای برنامه‌های توسعه کاربری‌های فضاهای سبز شهری در مناطق نوساز و نیمه شمال تهران آشکار است. نتایج نشان داد که تغییرات در کاربری‌های شهری بخصوص فضاهای سبز شهری، حمل‌ونقل و کارگاهی و صنعتی در ایجاد اقلیم شهری و جزایر حرارتی شهری نقش مؤثری دارد. بین جزیره حرارتی شهر و کاربری‌های فضاهای سبز ارتباط مؤثری وجود دارد. استفاده از شاخص‌های گیاهی نرمال شده نشان‌دهنده این است که فضاهای سبز شهر در کاهش پدیده جزایر حرارتی در شهر نقش مؤثری دارد؛ بنابراین بین جزایر حرارتی و افزایش دمای شهر تهران با روند شهرنشینی و مهاجرت و تردد زیاد از دیگر مناطق کشور به این کلان‌شهر ارتباط نزدیکی وجود دارد. گسترش فضاهای سبز شهری، مدیریت حمل‌ونقل و بالا بردن فرهنگ حمل‌ونقل در کاهش دمای شهر تهران حائز اهمیت می‌باشد.

نتایج پژوهش حاضر در تأیید مطالعات صادقی نیا و همکاران (۱۳۹۱) است. آن‌ها در تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران بر اساس تصاویر ماهواره‌ای مشخص نمودند که کانون اصلی جزیره حرارتی در مناطق غرب تهران در اطراف فرودگاه مهرآباد و پیرامون آن رخ می‌دهد. همچنین با نتایج پژوهش عقیلی نسب و همکاران (۱۳۹۲) مبنی بر نقش مؤثر تصاویر ماهواره‌ای لندست و شاخص NDVI در شناسایی جزیره حرارتی شهری در جهت برنامه‌ریزی‌ها همخوانی دارد. همسو با مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۹۴) تمایز دمایی و نقش مؤثر پوشش گیاهی در

الگوی جزیره حرارتی شهر در ایام گرم سال مشخص است. همچنین نتایج مطالعه حاضر در تأیید مطالعات بابایی (۱۳۹۴) و احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶) برای نقش تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI برای شناسایی الگوی جزیره حرارتی شهری است.

نتایج و دستاوردهای مطالعه حاضر برای مدیریت شهری در کلان‌شهر تهران از نظر توزیع و پراکنش مناسب فضاهای مناسب شهری در شهر تهران، کاهش حاشیه‌نشینی در مناطق قدیمی و بخصوص مناطق غرب و جنوب غرب شهر تهران برای نهادهای متولی امر، جداسازی کارخانه‌ها و مراکز صنعتی از منطقه جنوب غرب به دلیل بیشترین میزان جزیره گرمایی، جلوگیری از ساخت‌وساز بی‌رویه بدون در نظر گرفتن مدیریت اکولوژیک در جهت احداث سقف‌های سبز و کمربندهای سبز در جهت تعدیل دمای شهر از طریق شهرداری و همچنین برای شناخت بیشتر از وضعیت اقلیم شهری و بیوکلیمای شهری برای مراکز و نهادهای مدیریت شهری تهران حائز اهمیت است.

منابع

۱. احمدی، محمود، عاشور لو، د، نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۴): تحلیل دمای شیراز در فصول گرم و سرد با به‌کارگیری تحلیل‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۲: ۱۶۰-۱۴۷. مشهد.
۲. احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی، (۱۳۹۶): شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست‌محیطی (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۸(۶۷): ۲۰-۱. اصفهان.
۳. احمدی، فرشاد، رادمش، فریدون (۱۳۹۳): بررسی روند تغییرات متوسط دمای ماهانه و سالانه نیمه شمالی کشور در نیم‌قرن اخیر، نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی) شماره ۴: ۸۶۵-۸۵۵. تهران.
۴. انتظاری، علیرضا، داداشی رودباری، عباسعلی، اسدی، مهدی، (۱۳۹۴): ارزیابی خودهمبستگی فضایی تغییرات زمانی - مکانی جزایر دمایی در خراسان رضوی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۶: ۱۲۱-۱۳۵. مشهد.
۵. 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، سال هشتم، شماره ۲۹: ۹۰-۷۵. لارستان.
۶. ترکاشوند، محمدقاسم. (۱۳۹۵): آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیلی‌های خودهمبستگی فضایی، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۳۵: ۱۴۸-۱۲۳. ملایر.
۷. رنجبر سعادت‌آبادی، عباس، بیدختی، عباسعلی و صادقی حسینی، سید علیرضا، (۱۳۸۴): آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم در کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین، نشریه محیط‌شناسی، شماره ۳۹: ۶۸-۵۹. تهران.
۸. سبزی پرور علی‌اکبر و شادمانی مسعود، (۱۳۹۰): تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من - کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴: ۸۲۳ تا ۸۳۴. مشهد.
۹. صادقی نیا، علیرضا. (۱۳۹۱): تحلیل فضایی - زمانی ساختار جزیره حرارتی تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، رساله دکتری، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه آب و هواشناسی، تهران.
۱۰. صادقی نیا، علیرضا، علیجانی، بهلول و ضیائیان، پرویز. (۱۳۹۱): تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴: ۱۷-۱. تهران.
۱۱. عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی‌اکبر، مهدیان ماه‌فروری، مجتبی و میری، مرتضی (۱۳۹۲): تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهر تهران از الگوهای همدیدی جو، نشریه محیط‌شناسی، دوره ۴۹، شماره ۴: ۶۶-۵۵. تهران.

۱۲. عقیلی نسب، سیده زهرا، محمد زاده، مرجان، سلمان ماهینی، عبدالرسول و زارعی، حسین. (۱۳۹۲): تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوست دار محیط زیست، محیط زیست و توسعه، ۴ (۸): ۷۹-۸۸. تهران.
۱۳. کریمیان، زهرا، تهرانی فر، علی، بنیان اول، محمد، عزیزی، مجید و کاظمی، فاطمه. (۱۳۹۳): مطالعه تأثیر پوشش گیاهی و سطوح سخت شهری بر ریز اقلیم و آسایش دمایی مشهد. نشریه علوم باغبانی ایران، ۴۵ (۴): ۴۷۳-۴۶۱. تهران.
۱۴. مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۳): بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته. پژوهش های جغرافیایی شماره ۵۴: ۲۹-۴۵. تهران.
۱۵. مقیمی، ابراهیم. (۱۳۷۸): تحلیل آماری رطوبت نسبی و بارش تهران در یک دوره ۳۰ ساله، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۴، شماره ۴: ۶۱-۴۳. مشهد.

- 16- Buyantuyev, A. Wu, J. (2010): Urban Heat Islands and Landscape Heterogeneity: Linking Spatiotemporal Variations in Surface Temperatures to Land-Cover and Socioeconomic Patterns, *Landscape Ecol*, 25:17-33.
- 17- Effat, H. A. & Hassan, O. A. K. (2014): Change Detection of Urban Heat Islands and Some Related Parameters Using Multi-Temporal Landsat Images; A Case Study for Cairo City, Egypt. *Urban Climate*, 10, 171-188.
- 18- Gago, E. J. Roldan, J. Pacheco-Torres, R. & Ordoñez, J. (2013): The City and Urban Heat Islands: A Review of Strategies to Mitigate Adverse Effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758.
- 19- Gartland, L. M. (2012): *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat In Urban Areas*. Routledge.
- 20- Gülten, A. Aksoy, U. T. & Öztop, H. F. (2016): Influence of Trees On Heat Island Potential In an Urban Canyon. *Sustainable Cities and Society*.
- 21- Hirano, Y. & Fujita, T. (2012): Evaluation of The Impact of The Urban Heat Island on Residential and Commercial Energy Consumption in Tokyo. *Energy*, 37(1), 371-383.
- 22- Kendall, M. (1975). *Multivariate Analysis*. Charles Griffin Book, London. 218 p.
- 23- Mann, H. B. (1945): Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrical: Journal of The Econometric Society* 13(3): 245-259.
- 24- Ren, Y. Parker, D. Ren, G. & Dunn, R. (2016): Tempo-Spatial Characteristics of Sub-Daily Temperature Trends in Mainland China. *Climate Dynamics*, 46(9-10), 2737-2748.
- 25- Senanayake, I. P. Welivitiya, W. D. D. P. & Nadeeka, P. M. (2013): Remote Sensing Based Analysis of Urban Heat Islands With Vegetation Cover in Colombo city, Sri Lanka Using Landsat-7 ETM+ Data. *Urban Climate*, 5, 19-35.
- 26- Senanayake, I. P. Welivitiya, W. D. D. P. & Nadeeka, P. M. (2013): Remote Sensing Based Analysis of Urban Heat Islands With Vegetation Cover in Colombo City, Sri Lanka Using Landsat-7 ETM+ Data. *Urban Climate*, 5, 19-35.
- 27- Stathopoulou, M. & Cartalis, C. (2009): Downscaling AVHRR Land Surface Temperatures For Improved Surface Urban Heat Island Intensity Estimation. *Remote Sensing of Environment*, 113(12), 2592-2605.
- 28- Stathopoulos, M. Synnefa, A. Cartalis, C. Santamouris, M. Karlessi, T. & Akbari, H. (2009): A Surface Heat Island Study of Athens Using High-Resolution Satellite Imagery and Measurements of The Optical and Thermal Properties of Commonly Used Building and Paving Materials. *International Journal of Sustainable Energy*, 28(1-3), 59-76.