مطالعات محیطی هفت حصار شماره پنجاه و یکم/ سال چهاردهم/ بهار ۱۴۰۴
صفحات ۱۲۴-۱۱۳

برآورد فضایی میزان اثرگذاری عامل محیطی در پایداری انرژی حرارتی سطح کلانشهر تهران با استفاده از الگوریتم BCS

هادی رضایی‌راد*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۶/۲۰

چکیده

در برهم خوردن تعادل و پایداری انرژی حرارتی در سطوح شهری عوامل مختلفی دخیل هستند که در نتیجه‌ی تغییرات غیرعمدی پارامترهای آب و هوایی و بر هم خوردن تعادل انرژی در شهرها می‌تواند به عواقب شدید محیط‌زیستی منجر شوند. از سوی دیگر چالش‌ها و دغدغه‌هایی هم در مورد توسعه‌ی روزافزون کالبد شهرها و اثرات مخربی که بر محیط زیست مناطق شهری دارد باعث شده است موضوع اثرگذاری عوامل محیطی ناشی از توسعه‌ی کالبدی شهرها به یکی از اولویت‌های مدیریت شهری بسیاری از کلانشهرهای دنیا جهت دست‌یابی به توسعه پایدار محیطی تبدیل گردد. بدین ترتیب تبیین و تحلیل تعادل و پایداری انرژی گرمایی سطوح شهرها در مقیاس کلانشهری و همچنین شناسایی مهمترین تغییرات شاخص‌های اثرگذار مرتبط با عامل محیطی در نوع سیاستگذاری طرح‌ها و برنامه‌های عملیاتی توسعه شهری الزامی به نظر می‌رسد. در همین راستا جهت تحلیل برآورد فضایی میزان اثرگذاری شاخص‌های عامل محیطی در تعادل انرژی حرارتی سطوح و سنجش میزان همبستگی فضایی با این پدیده در اثر تحولات شهرنشینی و شهرسازی، کلانشهر تهران در سال ۱۴۰۰ مورد پژوهش واقع شده است. تصویر ماهواره‌ی بدون پوشش ابری و صاف کلانشهر تهران توسط ماهواره‌ی Landsat8 به کمک نرم‌افزار Envi تهیه شده و از طریق الگوریتم‌های مختلف در سنجش از دور الگوی تغییرات فضایی میزان انرژی حرارتی سطح شهر سنجش شده است. در ادامه از طریق سنجش همبستگی فضایی با استفاده از الگوریتم (Band Collection Statistical) میزان همبستگی لایه‌های شاخص‌های عامل محیطی با لایه‌ی انرژی حرارتی سطح در مناطق ۲۲گانه شهر تهران برآورد شده است. از بین همه مهمترین شاخص‌های عامل محیطی چهار شاخص (تعداد پارک‌های شهری، NDVI، NDMI و NDWI) بدلیل میزان ارتباط همبستگی بیش از ۲۵٪ برگزیده شده‌اند. برآورد نمود فضایی شاخص‌های عامل محیطی در تعادل انرژی حرارتی سطح کلانشهر تهران نشان می‌دهد هر چهار شاخص مذکور با بعد محیطی دارای ارتباط مستقیم بوده و از نظر ارزش قدر مطلقی آن شاخص NDWI بالاترین ضریب و شاخص تعداد پارک و فضای سبز پایین‌ترین را به خود اختصاص داده‌اند. این میزان همبستگی‌ها نشان از افزایش نقش فعالیت‌های انسانی و تاثیرات فعالیت‌هایشان بر شاخص‌های عامل محیطی می‌باشد. از آنجایی که شهرنشینی و شهرسازی اصلی‌ترین عوامل تغییر در الگوی انرژی حرارتی سطوح کلانشهر تهران می‌باشد، لذا اتخاذ سیاست‌های مختلف در این حوزه‌ها می‌تواند منجر به تغییر در میزان شاخص‌های عامل محیطی شده که نهایتا باعث تحت تاثیر قرار گرفتن الگوهای حرکتی، فعالیتی و زیستی و در نتیجه تغییر در میزان پایداری انرژی حرارتی سطح در مناطق مختلف کلانشهر تهران خواهد شد.

واژگان کلیدی

پایداری انرژی حرارتی سطح، شاخص‌های عامل محیطی، الگوریتم BCS، کلانشهر تهران.

* استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران H.rezaeirad@Basu.ac.ir

مقاله پژوهشی- مورد پژوهی
©: IAUH
ISSN: 2322-5602

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

مقدمه

از دهه ۷۰ قرن بیست با تقلیل منابع و بروز محدودیت‌ها، دنیا در چالش با مسئله پیچیده و بغرنج برخواسته از تهدیدات ناپایداری انرژی در شهرها قرار گرفته است. آن چه امروزه در نتیجه استفاده گسترده از منابع تجدیدناپذیر انرژی و به طور کلی مصرف بالای انرژی به عنوان معضلی جدی مطرح شده، پدیده تغییرات اقلیمی است. نرخ رشد شهرنشینی بالا در طی دهه‌های اخیر تاثیرات زیادی در محیط‌زیست شهری از جمله افزایش حرارت و تغییرات اقلیم شده است. افزایش جمعیت شهری، رشد سریع صنعتی شدن و افزایش غلظت آلاینده‌ها در پایین‌ترین سطح اتمسفر شدت جزیره‌های حرارتی شهر را تحت تاثیر قرار داده‌اند (RezaeiRad & Rafieyan, 2017). آب و هوای متاثر از شهرنشینی در مقیاس منطقه‌ای عمدتا توسط اختلاف دمای محیط در داخل شهر و مناطق اطراف و پیرامونی آن که تحت عنوان جزیره حرارتی شهر (UHI) است، توصیف می‌شود (رضایی‌راد، ۱۳۹۶). این پدیده مشخص می‌کند پایداری انرژی سطح شهری و تولید و ذخیره گرما در محدوده‌های مختلف شهر با یکدیگر متفاوت است. جزیره حرارتی سطوح شهری نتیجه‌ی تغییرات غیرعمدی پارامترهای آب و هوایی است که می‌تواند به عواقب شدید محیط‌زیستی و حتی اجتماعی منجر شوند (RezaeiRad & Afzali, 2024). از سمتی هم تغییرات دما که بخشی از ناشی از تغییرات محیط شهر است، آسایش و سلامتی انسان، مصرف انرژی و کیفیت هوا را متاثر کرده است (Svensson et al, 2002). نگرانی‌های موجود در مورد اثرات منفی شهرنشینی بر محیط زیست ویژگی‌های مناطق شهری را به طور فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی و عمران شهری بویژه در شهرهای پرتراکم با اهمیت نموده است (Yang et al, 2013). لذا آزاد شدن انرژی گرمایی زیاد، افزایش گازهای گلخانه‌ای و همچنین تغییر کاربری زمین از عوامل اصلی تغییر اقلیم محلی و عامل محیطی شهرها است (RezaeiRad & Afzali, 2021). از آنجایی که تراکم در نواحی کلانشهر تهران در طی سالهای اخیر به یکباره افزایش چشمگیری داشته و این روند از سال ۱۳۸۲ با اعطای اضافه تراکم تشویقی تشدید شده است (رضایی‌راد، ۱۳۹۶) کالبد و محیط شهر را شدیدا دچار تغییرات مختلفی در مناطق ۲۲گانه شهرداری کرده است. در نتیجه با توجه به ارتباط مستقیم جزیره حرارتی در بر هم خوردن تعادل انرژی در سطوح شهرها و همچنین اثرگذاری شاخص‌های عامل محیطی بر این تعادل پژوهش حاضر با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست۸ به سنجش تغییرات حرارت سطح مناطق ۲۲گانه کلانشهر تهران در سال ۱۴۰۰ پرداخته است و در ادامه به کمک تکنیک‌های تحلیل همبستگی فضایی برآوردی از نمود فضایی شاخص‌های عامل محیطی در تعادل انرژی حرارتی سطح کلانشهر تهران را ارائه می‌دهد.

روش تحقیق

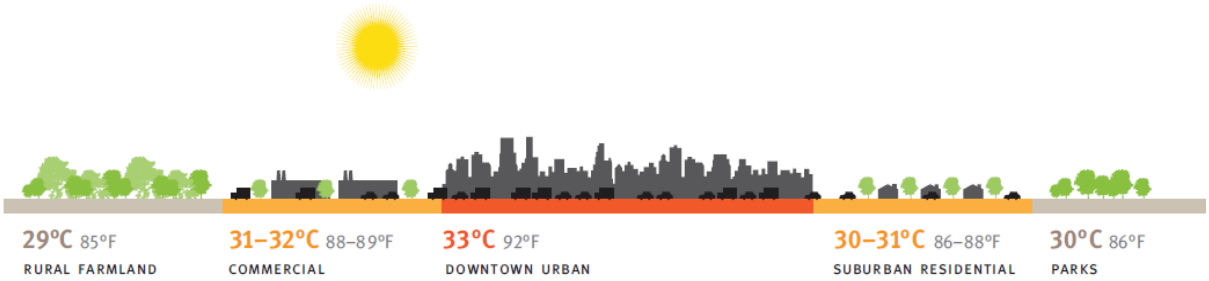
حرارت سطح زمین (LST; Land Surface Temperature) را می‌توان به عنوان درجه‌ی حرارت احساس در هنگامی که سطح زمین از طریق دست یا پوست لمس می‌گردد، تعریف نمود (Rajeshwari et al, 2014). یکی از عوامل اصلی تعیین تابش سطح و تبادل انرژی توسط ونگ (RezaeiRad et al, 2019) و کنترل توزیع گرما بین سطوح شهر و اتمسفر است (Tan et al, 2010). گویلویچ و همکارانش (Guillevic et al, 2012) در پژوهشی در سال ۲۰۱۲ بیان می‌کنند، حرارت سطح زمین (LST) متغیر کلیدی برای کنترل ارتباط بین شار حرارت تابشی، نهفته و محسوس می‌باشد. بدین ترتیب آنالیز و درک پویایی LST و شناسایی ارتباط آن با تغییرات منشاء انسانی برای مدلسازی و پیش‌بینی تغییرات محیطی الزامی است (Kerr et al,2004 & Moran et al, 2009).

حرارت سطوح شهری از تعدادی ویژگی سطح شهر همچون رنگ، زبری سطوح، رطوبت، ترکیب‌های شیمیایی و... تاثیر می‌گیرد (Tran et al, 2009). از آنجایی که حرارت سطح زمین لایه‌های زیرین اتمسفر را تنظیم می‌کند، می‌توان از آن به عنوان شاخص آب و هوایی و یک عامل مهم در محیط زیست شهری یاد کرد (رضایی‌راد، ۱۳۹۶). ترکیبات پوشش سطح زمین به ویژه میزان درصد و سهم هر یک از پوشش‌های زمین در شهر یکی از عوامل اصلی متاثر کننده‌ی میزان حرارت سطح زمین است (Bobrinskaya, 2012)، در سال ۲۰۱۱ سان و همکارانش (Sun et al, 2011) ثابت کردند بین (LST) و سطوح غیرقابل نفوذ شهری همبستگی مثبت و با مناطق جنگلی و پوشیده از فضای سبز همبستگی منفی وجود دارد.

در بسیاری از مناطق شهری و برون شهری در مقایسه با محیط‌های روستایی دما و حرارت بیشتر است، که این اختلاف دما به دلیل وجود پدیده‌ای به نام "جزیره حرارتی شهری" است. متوسط سالانه درجه حرارت هوا در یک شهر نسبتا بزرگ با جمعیت یک میلیون یا بیشتر می‌تواند ۱/۸ تا ۵/۴ درجه فارنهایت (۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد) گرمتر از محیط اطراف و پیرامونی‌اش باشد (رضایی‌راد، ۱۳۹۶). همچنین در یک شب صاف و بدون ابر این اختلاف دما می‌تواند حتی به ۲۲ درجه فارنهایت (۱۲ درجه سانتی‌گراد) هم برسد (Oke,2002). البته در شهرهای کوچک هم این پدیده تشکیل می‌شود، هر چند اثرات این پدیده با کاهش اندازه‌ی شهر هم کاهش پیدا می‌کند (Oke,1982). تصویر ۱ به صورت شماتیک تاثیر جزیره حرارتی شهر بر میزان دما شهر و محیط پیرامونی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]



تصویر ۱– تاثیر جزیره حرارتی شهر بر میزان دما شهر و محیط پیرامونی (رضایی‌راد، ۱۳۹۶)

به طور کلی این پدیده به سه نوع و مقیاس کلی تقسیم می‌شوند (Voogt,2006):

۱) UHI در اتمسفر[۱]
۲) UHI در سطح زمین[۲]
۳) UHI در زیر سطح زمین[۳]

در ادامه معرفی کامل هر گونه از پدیده‌ی جزیره حرارتی شهری صورت خواهد گرفت. جدول شماره ۱ بطور خلاصه و کلی دو گونه‌ی جزیره حرارتی شهری در اتمسفر و سطح شهر که بیشترین تاکید پژوهش حاضر را در پی خواهد داشت، با یکدیگر مقایسه کرده است.

جدول۱– ویژگی‌های پایه‌ای جزیره حرارتی شهری اتمسفر و سطح زمین (Voogt et al,2003)

ویژگی	UHI در سطح شهرها	UHI در اتمسفر
زمان شکل‌گیری و توسعه	در حال حاضر در هر زمان از روز و شب اکثرا در طول روزهای تابستانی، شدید	احتمالا در طول روز با شدت خیلی کم بیشترین شدت در شب‌ها یا سپیده دم‌های زمستانی
بیشترین شدت پدیده	بیشتر مکانها و زمانها متنوع‌اند: روز: ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد شب: ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد	تنوع کمتر: روز: (۱–) تا ۳ درجه سانتی‌گراد شب: ۷ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد
روش‌های شناسایی	اندازه‌گیری غیرمستقیم سنجش از دور	اندازه‌گیری مستقیم ایستگاه‌های ثابت هواشناسی سنجنده‌های متحرک
روش تصویر کردن	تصاویر حرارتی	نقشه‌های همدمایی نمودارهای دما

ترکیب چند عامل توامان باعث گرم شدن سطوح شهرها و شکل‌گیری جزیره حرارتی شهر می‌گردد (Gartland, 2012). طبق مطالعات انجام شده دلایل اصلی تشکیل UHI عبارتند از (RezaeiRad & Afzali, 2024):

- میزان پایین تبخیر و تعرق به دلیل کاهش پوشش گیاهی
- جذب تابش نور خورشید با توجه به پایین بودن ضریب آلبدو
- ممانعت از گردش جریان هوا به دلیل شکل تاج‌پوش شهر
- افزایش مقدار گرمای آزاد شده انسانی

با توجه به بیان ارتباط دو سویه‌ی بین شکل‌گیری جزیره‌ی حرارتی و تعادل انرژی سطح جدول (۲) ویژگی‌های مهم شهر و برون شهر را در شکل‌گیری جزیره حرارتی و تعادل مصرف انرژی سطح زمین را نشان می‌دهد.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

جدول۲- شکل‌گیری جزیره حرارتی و تعادل انرژی سطح (رفیعیان و رضایی‌راد،۱۳۹۶)

ویژگی‌های موثر در شکل‌گیری جزیره حرارتی	تاثیر بر تعادل انرژی
کاهش پوشش گیاهی	کاهش تبخیر
استفاده وسیع از سطوح نفوذناپذیر	کاهش تبخیر
افزایش ضریب انتشار حرارتی از مصالح ساختمانی در شهر	افزایش گرمای ذخیره شده
ضریب بازتاب پایین مصالح ساختمانی در شهر	افزایش تابش خالص
ماند گرما به سبب هندسه شهری	افزایش تابش خالص
کاهش سرعت باد به سبب هندسه شهری	کاهش انتقال دما (همرفت)
افزایش سطح آلودگی هوا	افزایش تابش خالص
افزایش مصرف انرژی	افزایش حرارت انسانی

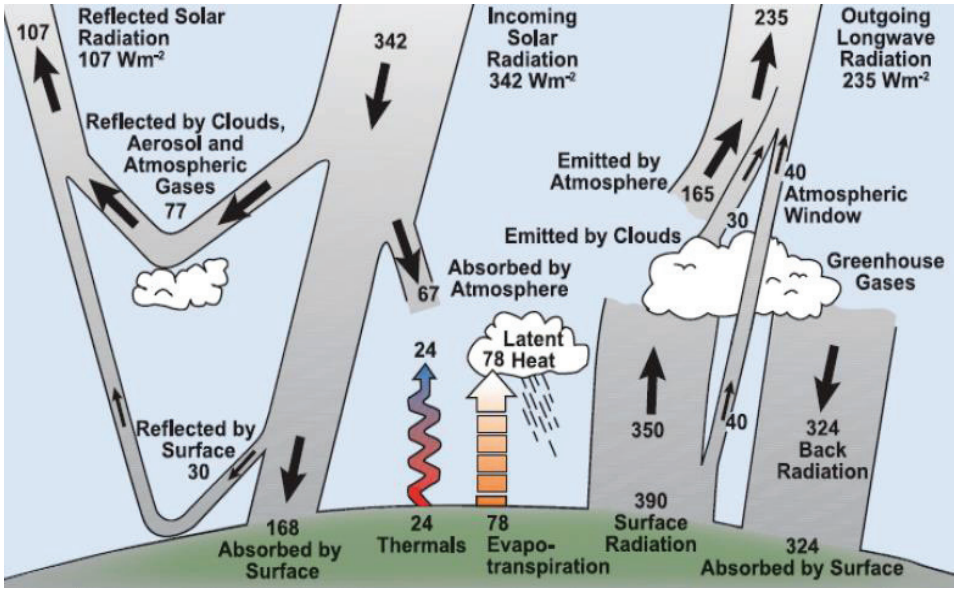
از آنجایی اقلیم به چند عامل از جمله عرض جغرافیایی، توپوگرافی، پوشش زمین، عناصر و آب موجود در اتمسفر بستگی دارد، اما در مقیاس و سطح کلان با توجه به حالت تعادل و توازن در ورودی‌ها و خروجی‌های انرژی کنترل می‌شوند. این تعادل می‌تواند باعث تغییر در سه مسیر اصلی زیر شوند (رضایی‌راد و رفیعیان،۱۳۹۶):

۱) تغییرات در ورودی تابش خورشیدی، مانند تغییر در خروجی انرژی خورشیدی

۲) تغییرات در طول موج کوتاه تابش منعکس به فضا، مانند بازتابش توسط ابرها یا سایر سطح

۳) تغییرات در طول موج بلند تابش ناشی از تغییرات در ترکیب اتمسفر یا ابر

در ادامه تصویر (۲) ذیل مفهوم تعادل تابشی زمین را به صورت گرافیکی نمایش می‌دهد.

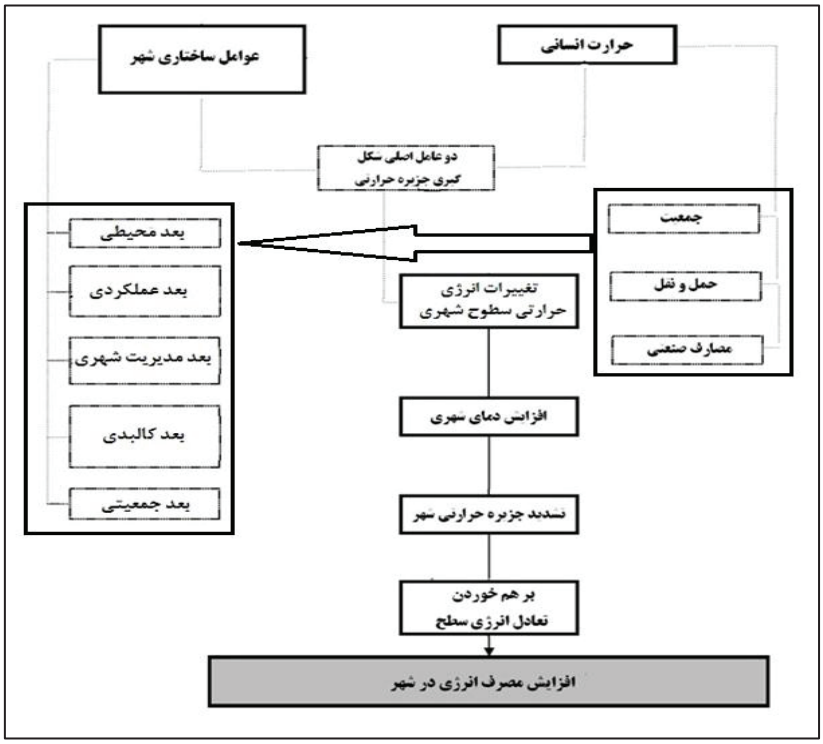


تصویر ۲- نمایش گرافیکی نحوه تعادل انرژی زمین (Skelhorn,2013)

همانگونه که پیش‌تر اشاره شد، افزایش جمعیت شهرنشین و افزایش ساخت و ساز و حرارت انسانی منجر به افزایش دما در شهر می‌گردد. این افزایش دما باعث بوجود آمدن یک سایبان هوای گرم در بالای سطح شهر شده و جزیره حرارتی شهر را بوجود می‌آورد. در نتیجه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش مصرف انرژی در راستای سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها را در پی خواهد داشت. لذا نمودار تصویر (۳) مدل ارتباطی بین عوامل مختلف با تعادل در مصرف انرژی را بیان می‌کند:

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]



تصویر ۳- مدل ارتباطی بین عوامل مختلف با تعادل در مصرف انرژی

تعادل انرژی برای رشته‌ها و تخصص‌های مختلف دانشگاهی معانی و اصطلاحات متفاوتی را در برمی‌گیرد. بـه عنـوان مثـال در علـم فیزیـک منظور از تعادل انرژی به عنوان جریان انرژی و تحولات در یک سیستم بوده و قانون اول اصل ترمودینامیک را بازگو می‌کند. در واقـع انـرژی ایجاد نمی‌گردد و از بین نمی‌رود، بلکه فقط از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌شود. برای سطوح روی زمین این بدان معناست که همه‌ی انرژی جذب شده توسط تابش خورشیدی یا حرارت انسانی به جایی دیگر منتقل می‌شوند. در مقاله حاضر برداشت از تعادل انرژی از نگاه و منظر اقلیم قابل درک‌تر است. بنابراین در این حوزه، تعادل انرژی اشاره به کل انرژی‌های ورودی و خروجی در یک محدوده‌ی خـاص و از جملـه انـرژی خورشیدی، انتقال اتمسفر و رسانایی زمین دارد، اما بواسطه‌ی همین پیچیدگی‌ها در این پژوهش به استناد بـه نمـودار تصـویر شـماره ۳ صـرفاً شاخص‌های بعد محیطی اثرگذار بر تعادل انرژی سطوح شهری پرداخته شده است.

کاهش پوشش گیاهی تعادل در گرما را تحت تاثیر قرار می‌دهد و منجر به افزایش انرژی حرارتی سطوح شهر و کاهش روند تعرق و تبخیـر در سطوح می‌شود (Shukla et al,1982 & Collatz et al,2000 & Meng et al,2009 & Zhou et al,2011). نه تنها تراکم پوشش زمین و نحوه پراکنش فضایی آنها بلکه ویژگی ساختارها موضوع مهمی در میزان دمای سطح زمین محسوب می‌شود. انرژی حرارتـی سـطوح منـاطق شهری رابطه‌ی نزدیکی با ساختار و بافتهای سطوح شهری دارند. مناطق انسانی شهری پتانسیل انباشت حرارت و گرمایی که دمـای هـوا را متـاثر کند، دارا می‌باشد (Bhang et al, 2009). پیتمن و همکارانش (Pitman et al, 2011) در سال ۲۰۱۱ برآورد می‌کنند تغییر در دمای سـطح زمـین (LST) نه تنها به تغییر در نوع کاربری و پوشش زمین بستگی دارد، بلکه به شکل‌گیری و افزایش اثر گلخانه‌ای هم ارتباط پیدا می‌کند.

کاربری و پوشش زمین (LU/LC) در مناطق مختلف می‌توانند در برآورد و تخمین میزان دمـای سـطح زمـین بکـار گرفتـه شـوند. همچنـین فعالیت‌های انسانی و طبیعی باعث تغییر در کاربری و پوشش زمـین در منـاطق شـهری شـده اسـت (Rajeshwari et al, 2014). در دهـه‌ی گذشته تلاش‌ها و پیشرفت‌های زیادی برای دست‌یابی به روشی جهت سنجش انرژی حرارتی سطوح شهری از طریق داده‌های سنجش از دور حاصل شده است (Li, 2016).

تغییرات قابل ملاحظه در میزان ارتفاع ساختمان‌های یک شهر، گرمای رها شده و آلاینده‌ها را بین ساختمان‌ها محبوس می‌کند که این اتفـاق باعث افزایش اثرات پدیده جزیره حرارتی می‌شود (RezaeiRad et al,2016). در نتیجه افزایش درجه‌ی دمای سطح بـه‌ویـژه در کلانشـهرها باعث افزایش مصرف انرژی به دلیل بالا بردن میزان مصرف در بخش خنک‌کننده‌های ساختمان‌ها و در نتیجه به‌هم خـوردن تعـادل مصـرف انرژی شده است. ابزارهای سنجش از دور برای انجام اینگونه مطالعات و تولید نقشه‌ی حرارت سطح زمین (LST) در مقیاس زمـانی- فضـایی مورد نظر نقش اصلی را ایفا می‌کنند (رضـایی‌راد،۱۳۹۶). در روش‌های سنجش از دور به منظور بررسی پدیده‌های مختلف سطح زمین، هزینـه و

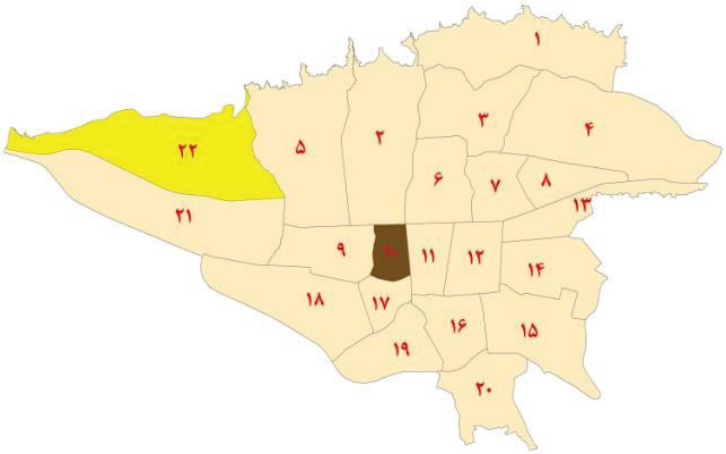
[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

زمان کمتری صرف می‌گردد (Niu et al,2015). از مزایای استفاده از سنجش دور می‌توان به پوشش مداوم و تکراری و همچنین ارزیابی ویژگی‌های زمین با وضوح بالا اشاره کرد (Owen et al,1998).

داده‌ی مادون قرمز حرارتی (TIR) در سنجش از دور می‌تواند به بدست آوردن اطلاعات کمّی دمای سطح زمین کمک زیادی نماید. برای بدست آوردن این داده‌ها از سیستم‌های تصویربرداری ماهواره‌ای مختلفی استفاده می‌گردد. در سنجش و برآورد LST از طریق معادله‌ی انتقالی تابش و الگوریتم‌های تک کانالی به کمک داده‌های مادون قرمز حرارتی از سنسورهای TM (Thematic Mapper) استفاده می‌گردد (رضایی‌راد،۱۳۹۶). در پژوهش حاضر جهت سنجش و برآورد تغییرات شدت حرارت سطح کلانشهر تهران از سیستم ماهواره‌ای Landsat8 بهره گرفته شده است.

سیستم ماهواره‌ای لندست فرصت ویژه‌ای را برای بازیابی دمای سطح زمین فراهم کرده است (Roy et al,2014 & Weng et al,2014)، که با ذخیره‌ی داده‌های دوره‌های زمانی نسبتا طولانی لندست ۳ در سال ۱۹۷۸ راه‌اندازی گردید (Markham et al,2004). از اسکنر چند طیفی (MSS; Multispectral Scanner) در لندست۳ تا تماتیک مپر (TM) در لندست ۴ و ۵ و پیشرفت آن در (ETM+; Enhanced Thematic Mapper Plus) در لندست۷ تنها یک کانال مادون قرمز حرارتی در دسترس وجود دارد (Huang et al,2010). سنسورهای TM قبلی و ETM+ فقط یک باند حرارتی دارا می‌باشند، در حالی که در TIRS لندست ۸ دو طیف مجاور باند حرارتی وجود دارد. این ویژگی برای الگوریتم اسپلیت ویندوز (SW) مناسب می‌باشد (RezaeiRad & Rafieian,2016). الگوریتم SW با استفاده از دو باند حرارتی در پنجره‌ی جوی بین ۱۰ تا ۱۲ میکرون واقع شده است (Sobrino et al,1993).

کلانشهر تهران، بزرگترین شهر، پایتخت ایران، مرکز استان تهران و بیست و پنجمین شهر پرجمعیت جهان به شمار می‌آید. مساحت این شهر، ۷۳۰ کیلومتر مربع است (رضایی‌راد و رفیعیان،۱۳۹۶). این بستر شهری از سمت جنوب به حاشیه شمال غربی کویر مرکزی، از سمت شمال به دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی، از شرق به دره‌های جاجرود، و از سمت غرب به دره‌های کرج محدود شده است. تصویر (۴) موقعیت بالاترین تراکم جمعیتی (منطقه ۱۰) و پایین‌ترین تراکم جمعیتی (منطقه ۲۲) را در بین ۲۲ مناطق کلانشهر تهران نشان می‌دهد.



تصویر ۴- موقعیت نسبی مناطق ۲۲ گانه و موقعیت بالاترین تراکم جمعیتی (منطقه ۱۰) و پایین‌ترین تراکم جمعیتی کلانشهر تهران

پژوهش حاضر از نظر هدف از نوع کاربردی و از لحاظ روش انجام آن، توصیفی- تحلیلی است. در مبانی نظری با استفاده از روش کتابخانه‌ای و مرور ادبیات مربوط به تعادل انرژی در سطوح شهری به شناسایی عوامل اثرگذار بر آن پرداخته شده است. روند تغییرات انرژی حرارتی سطح مناطق ۲۲گانه کلانشهر تهران در سال ۱۴۰۰ در اثر تحولات شهرسازی با کمک تصویر ماهواره‌ای شناسایی شده است. در همین راستا ابتدا تصاویر ماهواره‌ای بدون پوشش ابری و صاف کلانشهر تهران توسط ماهواره‌ی Landsat8 برای سال ۱۴۰۰ شمسی (۲۰۲۱میلادی) از طریق سایت ناسا تهیه شده است. در ادامه به کمک نرم‌افزارهای Envi و GIS از طریق الگوریتم‌های مختلف نقشه‌های فضایی شاخص‌های عامل محیطی اثرگذار بر میزان تغییرات انرژی حرارتی سطح مناطق ۲۲گانه شهر تهران برآورد شده است. سپس از طریق سنجش همبستگی فضایی با استفاده از تکنیک (BCS[4]) میزان همبستگی هر لایه با لایه‌ی حرارتی انرژی سطح در مناطق ۲۲گانه شهر تهران برآورد شده است. در این تکنیک میزان ارتباط و نوع ارتباط مشخص هر یک از شاخص‌های محیطی محاسبه شده است. همچنین جهت تحلیل و سنجش روابط عوامل موثر در هدف اصلی پژوهش که شناسایی سنجش شاخص‌های اصلی اثرگذار عامل محیطی در تعادل انرژی حرارتی سطوح نواحی مختلف شهر تهران می‌باشد از شبکه‌ی تحلیلی متشکل از مربع‌های (گرید مربعی) ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر به عنوان مقیاس تحلیل بهره گرفته شده است.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

لازم به ذکر است مبنای انتخاب مربع‌های با ضلع ۱۰۰۰ متر ملاک قرار دادن مقیاس واحدهای همسایگی جهت پیاده نمودن تحلیل‌های فضایی و حرارتی انرژی در سطح کلیه‌ی مناطق بیست و دوگانه کلانشهر تهران بوده است.

یافته‌های تحقیق

جهت سنجش و برآورد حرارت سطح امروزه‌ی کلانشهر تهران از تصویر ماهواره‌ای Landsat8 در تاریخ مردادماه ۱۴۰۰ در وضعیت بدون پوشش ابری و هوای صاف بهره گرفته شده است. بعد از استخراج تصویر ماهواره‌ای از Landsat8 در سنسور OLI (Operational Land Imager) دو فرآیند به موازات همدیگر صورت گرفته است. از یک سو ابتدا اصلاح جوی و تابشی در محیط Envi انجام شده و در ادامه برای باندهای ۱۰ و ۱۱ DN به رادیانس‌های طیفی تبدیل شده است. در ماهواره‌ی Landsat8 محاسبه‌ی رادیانس طیفی (L_λ) در سنسور در واحد (M^2*Ster*um) به صورت معادله زیر تعریف می‌گردد (Yuan et al,2007):

$$L_\lambda = Grescale * QCAL + Brescale$$

همچنین می‌توان از فرمول زیر هم بهره برد:

$$L_\lambda = (Lmax-Lmin/Qcalmax- Qcalmin) * (Qcal- Qcalmin) + Lmin$$

در معادلات فوق منظور از Qcal کوانتیزه‌ی ارزش پیکسل کالیبره شده در DN است.

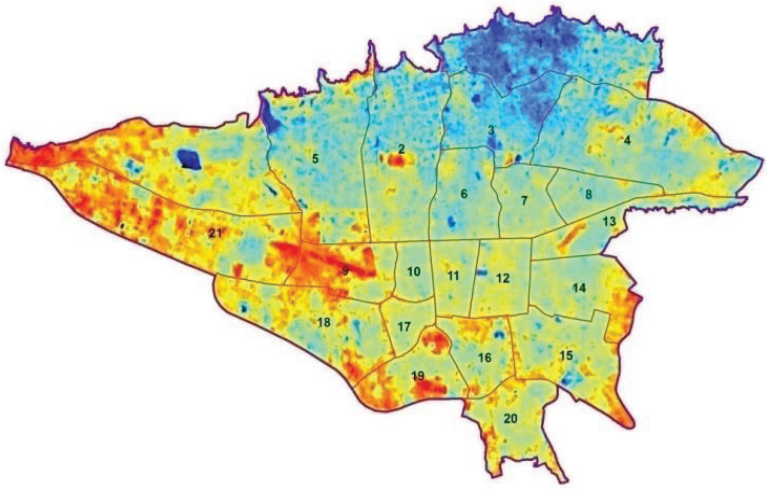
Grescale = عامل افزایش تغییر مقیاس یک باند خاص در DN است.

Brescale = عامل متمایل به تغییر مقیاس یک باند خاص در DN است.

همچنین منظور از Qcalmax حداکثر کوانتیزه مقدار پیکسل کالیبره و Qcalmin حداقل کوانتیزه حداقل مقدار پیکسل کالیبره است. Lmin درخشندگی طیفی است که به Qcalmin مدرج و Lmax درخشندگی طیفی است که به Qcalmax مدرج شده است. در مرحله‌ی بعدی لایه‌ی رادیانس طیفی به دمای روشنایی (BT; Brightness Temperature) ماهواره‌ای تبدیل شده است. همچنین در ادامه دمای روشنایی با کمک معادله‌ی زیر از واحد کلوین به واحد سلسیوس تبدیل شده است:

$$BT_c = BT_k - 273.15$$

به موازات در سمت دیگر با استفاده از تصویر خام ماهواره‌ای مورد نظر ابتدا طبقه‌بندی پوشش زمین برای تمام باندها و در ادامه براساس مقدار Emissivity مجددا طبقه‌بندی برای هر طبقه شکل گرفته است. در انتها هم با استفاده از نرمالایز کردن دمای روشنایی ماهواره‌ای در واحد درجه‌ی سلسیوس بر پایه‌ی Emissivity حرارت سطوح شهری به صورت نقشه استخراج شده است. شکل (۵) خروجی نهایی حرارت سطوح کلانشهر تهران را برای مردادماه ۱۴۰۰ نشان می‌دهد.



تصویر ۵- خروجی نهایی حرارت سطوح کلانشهر تهران در مردادماه سال ۱۴۰۰

خروجی نقشه تصویر شماره ۵ نشان می‌دهد کمینه حرارت ۲۲.۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و بیشینه‌ی آن ۴۰.۴۱ درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد شده است. در ادامه از طریق سنجش همبستگی فضایی با استفاده از الگوریتم (BCS) میزان همبستگی هر لایه شاخص محیطی با لایه‌ی انرژی حرارتی سطح در مناطق ۲۲گانه شهر تهران برآورد شده است. در این تکنیک میزان ارتباط و نوع ارتباط مشخص هر یک از شاخص‌ها مشخص گردیده شده است. از بین همه شاخص‌های عامل محیطی چهار شاخص منتخب در جدول شماره (۳) به دلیل میزان ارتباط همبستگی بیش از ۲۵٪ برگزیده شده‌اند.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

جدول۳- سنجش همبستگی فضایی شاخص‌های محیطی با لایه‌ی انرژی حرارتی سطح کلانشهر تهران

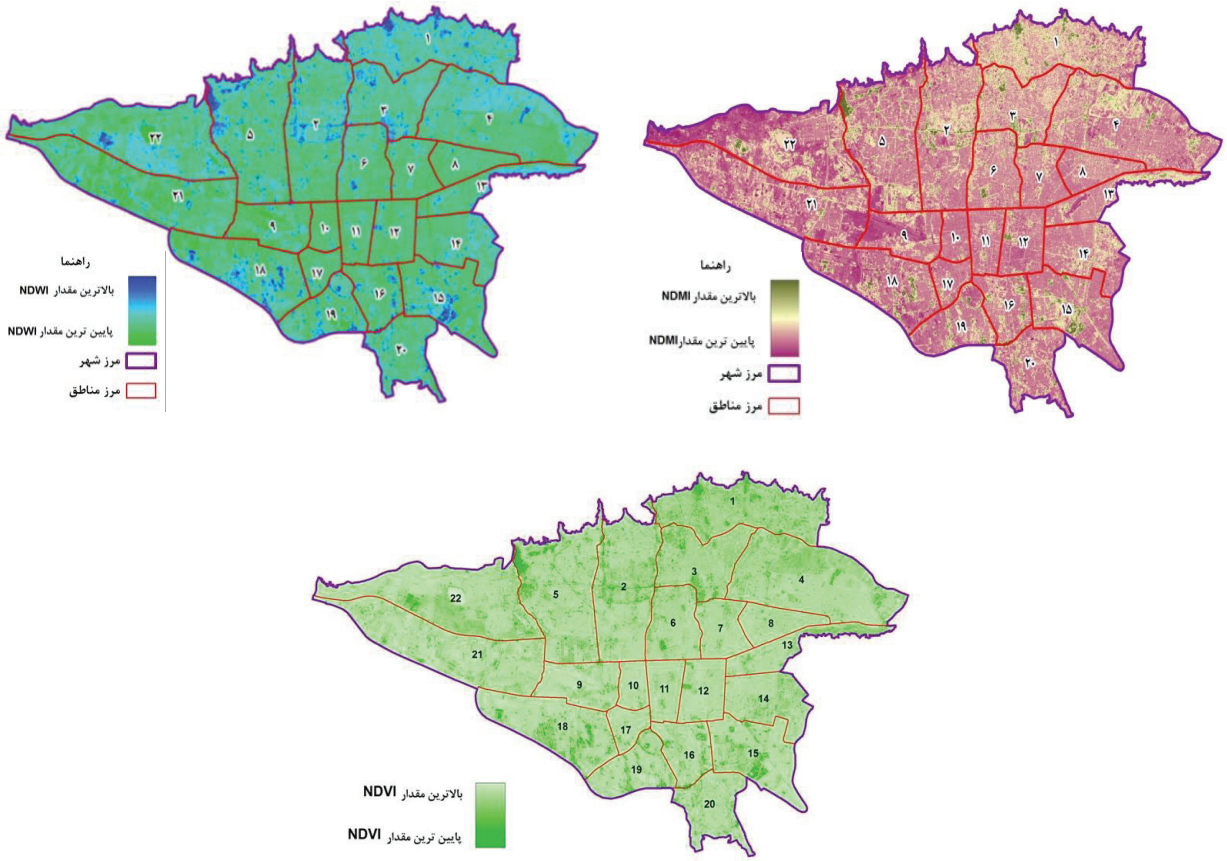
شاخص‌ها	میزان همبستگی با LST مناطق ۲۲گانه شهر تهران در سال ۱۳۹۵	نوع ارتباط	عامل
شاخص NDMI	٪۶۲	معکوس	بعد محیطی
شاخص NDMI	٪۴۷	معکوس	بعد محیطی
شاخص NDMI	٪۳۵	معکوس	بعد محیطی
تعداد پارک	٪۲۵	معکوس	بعد محیطی

بنابراین در بعد محیطی تحولات چهار شاخص NDMI[5]، NDVI[6]، NDWI[7] و تعداد پارک و فضای سبز شهری بالاترین همبستگی فضایی با تحولات تعادل انرژی حرارتی سطوح نواحی شهری را داشته‌اند. لازم است قبل از محاسبه‌ی رگرسیونی مورد نظر شاخص‌های فوق به صورت مختصر معرفی گردند. شاخص (NDMI[8]) نرمال شده تفاوت رطوبت عناصر مختلف زمین از جمله خاک، سنگ و گیاهان در میزان رطوبت آنها اندازه می‌گیرد. نحوه محاسبه این شاخص از طریق رابطه زیر مشخص می‌گردد (رضایی‌راد،۱۳۹۶).

$$NDMI = (NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$$

در این شاخص ارزش‌های بیش از ۰/۱ نشان‌دهنده سطح بالایی از رطوبت می‌باشد. اما وقتی ارزش آن به ۱- نزدیک باشد، نشان دهنده رطوبت پایین است. همچنین شاخص (NDWI) در واقع به عنوان شاخصی برای بررسی میزان آب موجود بویژه در گیاهان می‌باشد. این شاخص از بازتاب عارضه‌های پوشش گیاهی، نواحی خشک (عاری از پوشش گیاهی) و خاک با استفاده از دو باند مادون قرمز نزدیک استخراج می‌گردد. رابطه زیر را می‌توان جهت استخراج این شاخص به کار بست (رضایی‌راد،۱۳۹۶).

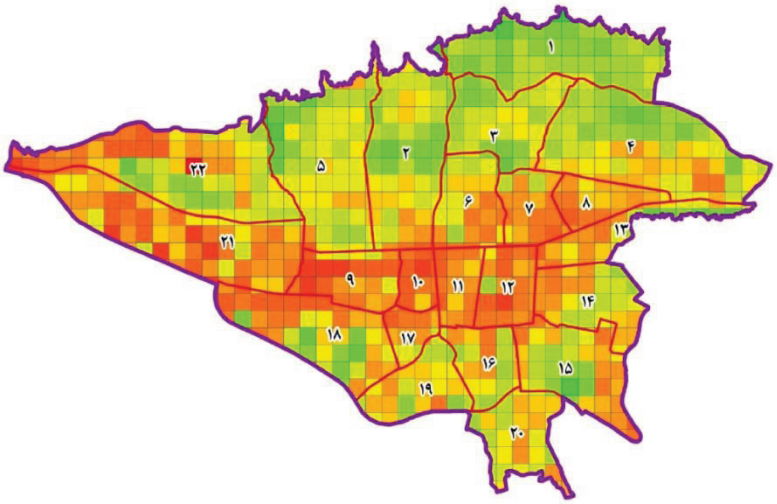
$$NDWI = (NIR - G)/(NIR + G)$$



تصویر ۶- نقشه‌های پراکنش فضایی شاخص‌های (بالا سمت چپ)NDWI، (بالا سمت راست) NDMI و (پایین) NDVI در کلانشهر تهران

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

در این شاخص ارزش‌ها نزدیک به ۱-، ۱+ و ۰ می‌باشند که به ترتیب نشان دهنده سطوح آبی، زمین‌های خشک و اراضی با رطوبت متوسط می‌باشد. همچنین شاخص NDVI بر پایه ارتباط جذب انرژی در محدوده طیفی قرمز توسط کلروفیل و افزایش انعکاس در انرژی مادون قرمز نزدیک برای پوشش گیاهی سالم استوار است. این شاخص بین ۱+ تا ۱- قرار داشته و ارقام کمتر از صفر نشان‌دهنده‌ی پهنه‌های آبی، یخی و برف، و از صفر تا ۰.۱ خاک بایر و سنگ می‌باشد. همچنین ارقام بیشتر از ۰.۱ تا ۰.۸ نیز نشان‌دهنده انواع پوشش گیاهی است (Zareie et al,2016). بعد از تهیه نقشه‌های فضایی شاخص‌های مذکور در ادامه ترکیب شاخص‌های بعد محیطی در مقیاس پیکسل‌های مربعی شکل ۱۰۰۰ متر * ۱۰۰۰ متر و با در نظر گرفتن مساحت واحدهای همسایگی برای کل کلانشهر تهران به صورت تحلیل فضایی در شکل شماره (۷) نشان داده شده است.



تصویر ۷- برآورد نمود فضایی شاخص‌های محیطی در تعادل انرژی حرارتی سطح کلانشهر تهران

در نقشه‌ی تصویر شماره ۷ پهنه‌ی محوری مرکزی شرقی- غربی کمترین ارزش و حوزه شمالی شهر بیشترین ارزش بعد محیطی را به خود اختصاص داده‌اند. به کمک نرم‌افزارهای تحلیل آماری میزان ضرایب ارزش شاخص‌های اثرگذار بعد محیطی بر انرژی حرارتی سطوح شهری مورد سنجش واقع شده است. نتایج تحلیل‌های رگرسیونی در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

جدول۴- تحلیل آماری میزان ضرایب ارزش شاخص‌های اثرگذار بعد محیطی

Coefficients[a]					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
(Constant)	-1.06	.000		-4.896E7	.000
NDWI	.338	.000	.340	6.316E7	.000
NDMI	.318	.000	.318	9.990E7	.000
تعداد پارک و فضای سبز	.127	.000	.127	9.425E7	.000
NDVI	0.296	.000	.354	4.865E7	.000

بحث و نتیجه‌گیری

برمبنای یافته‌های پژوهش با توجه به الگوی فضایی حرارت سطح و شاخص‌های عامل محیطی کلانشهر تهران .و محاسبات رگرسیون فضایی در محیط GIS و محاسبات آماری با توجه به ضرایب ابعاد اثرگذار بر متغیر وابسته در جدول شماره ۴ معادله‌ی ارتباطی بین متغیرهای مستقل اثرگذار بر تعادل انرژی سطوح شهر تهران در حال حاضر بعد محیطی به صورت زیر قابل تعریف است:

$$A= -1.06+(0.338a1+0.318a2+0.127a3+0.296a4)$$

منظور از هر یک از علایم استفاده شده در معادله‌ی رگرسیونی فوق در ادامه بیان شده است:

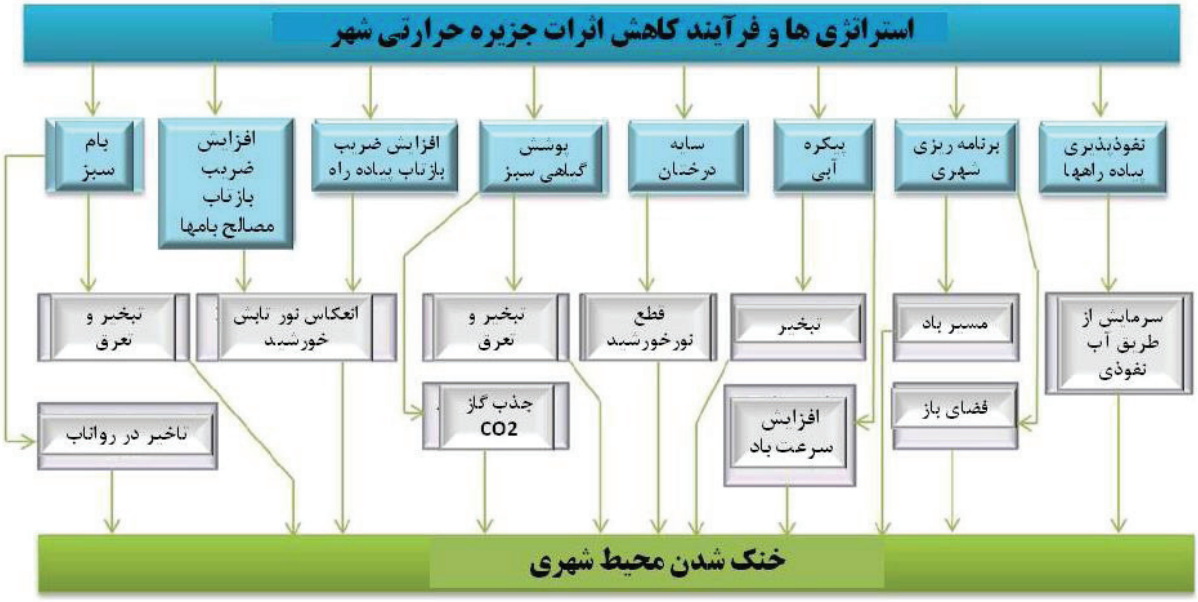
A ← عامل محیطی؛ a1 ← شاخص NDWI؛ a2 ← شاخص NDMI؛ a3 ← تعداد پارک و فضای سبز؛ a4 ← شاخص NDMI

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

معادله رگرسیونی فوق نشان می‌دهد هر چهار شاخص مذکور با بعد محیطی دارای ارتباط مستقیم بوده و از نظر ارزش قدر مطلقی آن شاخص NDWI بالاترین ضریب و شاخص تعداد پارک و فضای سبز پایین‌ترین را به خود اختصاص داده‌اند. مطمئناً این میزان همبستگی‌ها نشان از افزایش نقش فعالیت‌های انسانی و تاثیرات فعالیت‌هایشان بر شاخص‌های عامل محیطی می‌باشد. شهرنشینی و شهرسازی اصلی‌ترین عوامل در تغییر در الگوی انرژی حرارتی سطوح کلانشهر تهران می‌باشد، زیرا اتخاذ سیاست‌های مختلف در این حوزه‌ها می‌تواند منجر به تغییر در الگوهای حرکتی، فعالیتی و زیستی در مناطق مختلف شهر تهران گردد. در نتیجه با تغییر هر یک از این الگوها مقدار حرارت سطوح و در نتیجه شدت جزیره حرارتی و نهایتا میزان تعادل انرژی در سطح دستخوش تغییرات خواهد شد. همانطور که نتایج پژوهش نشان از کاهش میزان اثرگذاری سبزینگی شهری بر حرارت سطح شهری را دارد.

بنابراین در مجموع می‌توان از برآورد همبستگی شاخص‌های عامل محیطی بر تعادل انرژی حرارتی سطوح شهری در زمانهای متفاوت جهت برنامه‌ریزی و مدیریت شهری با هدف نهایی مدیریت بهینه در مصرف انرژی شهری استفاده نمود. همچنین با توجه به نتایج می‌توان جهت کاهش مصرف انرژی شهری در راستای به تعادل رساندن انرژی سطح شهر استفاده‌ی بیشتر از گونه‌های مناسب با اقلیم پوشش گیاهی، استفاده از پوشش‌های گیاهی بر روی مصالح با ضریب آلبدو (بازتاب) پایین در ساخت و سازها (دیوارها و بام‌ها)، انتقال کاربری‌های پر حرارت همچون کارگاهی- صنعتی سنگین به بیرون محدوده‌ی شهر بدلیل اثرگذاری بر شاخص‌های محیطی و رعایت جهت‌گیری مناسب ساخت‌وساز شهری جهت تهویه‌ی طبیعی هوا را به برنامه‌ریزان و طراحان و مدیران شهری پیشنهاد نمود. در انتها شکل شماره ۸ در قالب نمودار استراتژی‌های پیشنهادی در راستای کاهش اثرات منفی UHI و افزایش پایداری انرژی در سطح کلانشهر تهران و همچنین چگونگی اتفاق افتادن آنها نشان داده شده است:



تصویر ۸- استراتژی‌های پیشنهادی کاهش اثرات منفی جزیره حرارتی شهری و افزایش پایداری انرژی سطح کلانشهر تهران

همانگونه که در تصویر فوق هم نشان داده شده، استراتژی‌های پیشنهادی همه در راستای کاهش دمای محیط و سطح شهر و خنک کردن محیط شهری تبیین شده است. البته همانگونه که پیش‌تر هم اشاره شد (تصویر ۳) علاوه بر بعد محیطی که در این پژوهش مورد برآورد و سنجش فضایی قرار گرفت ابعاد دیگری چون بعد عملکردی، مدیریت شهری، کالبدی و جمعیتی از مهمترین ابعاد عامل ساختاری شهر هستند که در کنار عامل حرارت انسانی اصلی‌ترین عوامل تشکیل جزیره حرارتی را تشکیل می‌دهند که می‌تواند سنجش شاخص‌های هریک از ابعاد را به عنوان پیشنهاد جهت پژوهش‌های آتی مطرح نمود. همچنین لازم بذکر است که به نوآوری و بداعت پژوهش اشاره شود که الگوریتم سنجش بکار گرفته شده (BCS) و برآورد میزان‌اثرگذاری بعد محیطی نه صرفا تک شاخص مهمترین آنها هستند. از همین رو بدلیل عدم وجود چنین رویکردی در سنجش در نمونه‌های قبلی و پیشینه پژوهش عملا نمی‌توان مقایسه تطبیقی بین دستاورد این پژوهش با سایر کلانشهرهای دنیا انجام داد مگر در پژوهش‌های آتی این سنجش و برآورد برای سایر کلانشهرها با اعمال بعد محیطی صورت گیرد و همچنین سایر ابعاد (کالبدی، عملکردی و...) هم برای کلانشهر تهران هم سایر کلانشهرهای دیگر مورد پژوهش قرار گیرد تا بتوان با روش‌های فراتحلیل وفراترکیب به دستاورد و نتیجه‌ای بدیع دست یافت.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]
[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

پی‌نوشت‌ها

1. Air UHI
2. Surface UHI
3. Substrate UHI
4. Band Collection Statistical
5. Normalized Difference Moisture Index
6. Normalized Difference Vegetation Index
7. Normalized Difference Water Index
8. Normalized Difference Moisture Index

منابع

- رضایی‌راد، هادی. (۱۳۹۶). تحلیل اثرات برنامه‌ریزی کالبدی بر تعادل انرژی در نواحی شهر تهران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- رضایی‌راد، هادی، و رفیعیان، مجتبی (۱۳۹۶). روندیابی تغییرات حرارتی سطوح نواحی شهر تهران، *نشریه علمی- پژوهشی پژوهش‌های محیط زیست*، ۸ (۱۶):۱۷۶-۱۶۷.
- رفیعیان، مجتبی و رضایی‌راد، هادی (۱۳۹۶). سنجش اثرات سبزینگی گیاهی در تحولات فضایی شدت جزیره حرارتی سطح کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT8 وASTER ، *نشریه علمی- پژوهشی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴ (۳):۱-۱۶.
- Bhang, K. J., & Park, S. S. (2009). Evaluation of the surface temperature variation with surface settings on the urban heat island in Seoul, Korea, using Landsat-7 ETM+ and SPOT. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *6*(4), 708-712.
- Bobrinskaya, M. (2012). Remote sensing for analysis of relationships between land cover and land surface temperature in ten megacities.
- Collatz, G. J., Bounoua, L., Los, S. O., Randall, D. A., Fung, I. Y., & Sellers, P. J. (2000). A mechanism for the influence of vegetation on the response of the diurnal temperature range to changing climate. *Geophysical Research Letters*, *27*(20), 3381-3384.
- Gartland, L. M. (2012). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Routledge.
- Guillevic, P. C., Privette, J. L., Coudert, B., Palecki, M. A., Demarty, J., Ottlé, C., & Augustine, J. A. (2012). Land Surface Temperature product validation using NOAA's surface climate observation networks—Scaling methodology for the Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS). *Remote Sensing of Environment*, *124*, 282-298.
- Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., & Vogelmann, J. E. (2010). An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, *114*(1), 183-198.
- Kerr, Y. H., Lagouarde, J. P., Nerry, F., & Ottlé, C. (2004). Land surface temperature retrieval techniques and applications: Case of the AVHRR. In *Thermal remote sensing in land surface processing* (pp. 33-109). CRC Press.
- Li, H. (2016). Pavement materials for heat island mitigation. *Science Direct*, 79-96.
- Markham, B. L., Storey, J. C., Williams, D. L., & Irons, J. R. (2004). Landsat sensor performance: history and current status. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, *42*(12), 2691-2694.
- Meng, Q. Y., Spector, D., Colome, S., & Turpin, B. (2009). Determinants of indoor and personal exposure to PM2. 5 of indoor and outdoor origin during the RIOPA study. *Atmospheric Environment*, *43*(36), 5750-5758.
- Moran, M. S., Scott, R. L., Keefer, T. O., Emmerich, W. E., Hernandez, M., Nearing, G. S., ... & O'Neill, P. E. (2009). Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *agricultural and forest meteorology*, *149*(1), 59-72.
- Niu, C. Y., Musa, A., & Liu, Y. (2015). Analysis of soil moisture condition under different land uses in the arid region of Horqin sandy land, northern China. *Solid Earth*, *6*(4), 1157-1167.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, *108*(455), 1-24.
- Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.
- Owen, T. W., Carlson, T. N., & Gillies, R. R. (1998). Remotely sensed surface parameters governing urban climate change. *Int. J. Remote Sens*, *19*, 1663-1681.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

- Pitman, A. J., Avila, F. B., Abramowitz, G., Wang, Y. P., Phipps, S. J., & de Noblet-Ducoudré, N. (2011). Importance of background climate in determining impact of land-cover change on regional climate. *Nature Climate Change*, *1*(9), 472-475.
- Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International journal of research in engineering and technology*, *3*(5), 122-126.
- RezaeiRad, H., & Afzali, N. (2021). Measuring effects of building orientation and vegetation on thermal comfort by ENVI-Met (Case Study: Maslak Area, Istanbul).
- RezaeiRad, H., & Afzali, N. (2024). The Role of City Information Modelling (CIM) in Evaluating the Spatial Correlation Between Vegetation Index Changes and Heat Island Severity in the Last Two Decades in Tehran Metropolis. In *City Information Modelling* (pp. 111-138). Singapore: Springer Nature Singapore.
- RezaeiRad, H., & Rafieiana, M. (2016). Evaluating The Effects of High rise building On Urban Heat Island by Sky View Factor: A case study of Narmak neighborhood, Tehran. *Naqshejahan- Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning*, *5*(4), 13-22.
- RezaeiRad, H., & Rafieyan, M. (2017). Estimating the spatial-temporal Changes in intensity of the heat island in Tehran Metropolitan by Using ASTER and Landsat8 Satellite Images. *Regional Planning*, *7*(27), 47-60.
- RezaeiRad, H., Rafieian, M., & Sozer, H. (2019). Evaluating the effects of increasing of building height on land surface temperature. *International Journal Of Urban Management And Energy Sustainability*, *1*(1), 37-42.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... & Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote sensing of Environment*, *145*, 154-172.
- Shukla, J., & Mintz, Y. (1982). Influence of land-surface evapotranspiration on the earth's climate. *Science*, *215*(4539), 1498-1501.
- Skelhorn, C. P. (2013). A fine scale assessment of urban greenspace impacts on microclimate and building energy in Manchester. The University of Manchester (United Kingdom).
- Sobrino, J. A., Caselles, V., & Coll, C. (1993). Theoretical split-window algorithms for determining the actual surface temperature. *Il Nuovo Cimento C*, *16*, 219-236.
- Sun, J. (2011). *Parameter estimation of coupled water and energy balance models based on stationarity constraints of soil moisture and temperature*. Boston University.
- Svensson, M. K., & Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and urban planning*, *61*(1), 37-54.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, *54*, 75-84.
- Tran, N., Powell, B., Marks, H., West, R., & Kvasnak, A. (2009). Strategies for design and construction of high-reflectance asphalt pavements. *Transportation Research Record*, *2098*(1), 124-130.
- Voogt, J. (2006). How researchers measure urban heat islands. In *United States Environmental Protection Agency (EPA), state and local climate and energy program, heat island effect, urban heat island webcasts and conference calls*.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, *86*(3), 370-384.
- Weng, Q., Fu, P., & Gao, F. (2014). Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data. *Remote sensing of environment*, *145*, 55-67.
- Yang, X., Zhao, L., Bruse, M., & Meng, Q. (2013). Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Building and Environment*, *60*, 93-104.
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment*, *106*(3), 375-386.
- Zareie, S., Khosravi, H., & Nasiri, A. (2016). Derivation of land surface temperature from Landsat Thematic Mapper (TM) sensor data and analysing relation between land use changes and surface temperature. *Solid Earth. Discuss*, 1-15.
- Zhou, Y., & Ren, G. (2011). Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961− 2008. *Climate Research*, *50*(2-3), 125-139.

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]

Spatial estimation of the intensity of the impact of environmental factors on thermal energy sustainability in the Tehran metropolitan area using the BCS algorithm

Hadi RezaeiRad*, *Assistant Professor in Department of Urbanism, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.*

Received: 2024/3/11 *Accepted: 2024/9/10*

Extended abstract

Introduction: Various factors disrupt the thermal energy balance and stability on urban surfaces, often due to unintended changes in climatic parameters and the systemic imbalance of energy systems in cities. These disruptions can lead to serious environmental consequences. Simultaneously, the rapid physical expansion of cities and their adverse environmental impacts have made urban morphological development a central concern. In many global metropolises, addressing the ecological implications of such development has become a key priority in efforts to achieve sustainable urban environmental development. The rising urban population, intensification of construction activities, and increased anthropogenic heat emissions have contributed to a noticeable increase in urban temperatures. This leads to the formation of a warm air canopy over city surfaces—commonly referred to as the Urban Heat Island (UHI) phenomenon. Consequently, the energy consumption for cooling and heating buildings rises significantly. Therefore, analyzing and interpreting the thermal energy balance and sustainability of urban surfaces at the metropolitan scale is essential. Moreover, identifying the most influential environmental factors and changes in relevant indicators is crucial for informed policymaking and the effective implementation of urban development strategies and operational plans.

Methodology: The present study is applied in terms of its objective and descriptive-analytical in terms of methodology. In the theoretical framework, the influencing factors on the thermal energy balance of urban surfaces were identified through a library-based approach and a review of relevant literature. Accordingly, to analyze the spatial estimation of the impact level of environmental factor indicators on the thermal energy balance of surfaces, and to assess the spatial correlation with this phenomenon resulting from urbanization and urban development changes, the metropolis of Tehran in the year 2021–2022 was selected as the case study. A cloud-free and clear satellite image of Tehran was obtained by the Landsat 8 satellite using Envi software. The spatial variation patterns of surface thermal energy across the city were assessed using various remote sensing algorithms. Subsequently, the spatial correlation between environmental factor indicator layers and the surface thermal energy layer in the 22 municipal districts of Tehran was estimated using the Band Collection Statistical algorithm

Results: Among all the major environmental factor indicators, four indicators (number of urban parks, NDVI, NDMI, and NDWI) were selected based on their correlation coefficients exceeding 25%. The spatial estimation of environmental factor indicators in the thermal energy balance of Tehran metropolis shows that all four mentioned indicators have a direct association with the environmental dimension. In terms of absolute values, NDWI exhibited the highest correlation coefficient, whereas the number of parks and green spaces showed the lowest. These levels of correlation reflect the increasing role of anthropogenic activities and their impacts on environmental factor indicators. As a result, any change in these patterns will alter the surface heat levels, and consequently, the intensity of the heat island and ultimately the thermal energy balance on the surface. As the research results show, there is a decreasing moderating effect of urban greenery on the surface temperature of the city.

Conclusion: Since urbanization and urban development are the main factors behind changes in the thermal energy distribution of Tehran's metropolitan surfaces, the implementation of targeted policies in these areas can lead to measurable shifts in environmental factor indicators. Ultimately, such shifts are likely to impact mobility, behavioral, and residential patterns, thereby affecting the degree of thermal energy sustainability across various districts of the Tehran metropolis. All the proposed strategies have been formulated to mitigate ambient and surface temperatures and cool the urban environment.

Keywords: Surface thermal energy sustainability, environmental factor indices, BCS algorithm, Tehran metropolis.

* Corresponding Author's E-mail: H.rezaeirad@Basu.ac.ir

[Downloaded from hafthesar.iauh.ac.ir on 2026-09-08]

[DOI: 10.61186/hafthesar.14.51.113]