

بارزسازی و تشخیص جزایر گرمایی کلان‌شهر تهران در ماه‌های سرد سال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

صادق کریمی*^۱

دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

حسین غضنفرپور

دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

مصطفی خبازی چالستری

دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اصغر حیدری

دانشجوی دکتری، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مهلا شجاعی اناری

دانشجوی دکتری، دانشگاه اوتوش لورند مجارستان، بوداپست، مجارستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۵

چکیده

حداکثر آسیب‌پذیری از تغییرات اقلیمی در مناطق شهری و برای ساکنان آن‌ها از طریق بالا رفتن دمای هوا و تشکیل جزایر گرمایی سطحی رخ می‌دهد. در برخی کلان‌شهرهای ایران نیز این پدیده تا حدودی قابل‌تعمیم و مشاهده است. از طرفی در دهه‌های اخیر، آلودگی هوای کلان‌شهر تهران مرتباً با افزایش چشمگیر و خطرناکی مواجه بوده است؛ به طوری که در حال حاضر، تهران یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب می‌شود. وجود ساختمان‌های بلند، ترافیک، فشردگی جمعیت در مراکز گره‌گاهی و به‌خصوص محدوده مرکزی شهر باعث ایجاد جزیره گرمایی در شهر می‌شود. در این پژوهش به شناسایی زمانی-مکانی جزایر گرمایی دوره سرد سال طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ و تحلیل زمینه‌های مؤثر در شکل‌گیری آن‌ها با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی، بافت، بلندمرتبه‌سازی، پوشش زمین و متغیرهای اقلیمی در شهر تهران پرداخته شد. پژوهش حاضر که مبتنی بر استخراج تصاویر ماهواره‌ای لندست صورت گرفته، با استفاده از شاخص‌های NDVI، LSE، ISA و LST به تولید نقشه‌های شاخص‌های مذکور پرداخته که مبنای تجزیه و تحلیل‌ها قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر بالای LST در مناطقی از سطح شهر تهران گسترش یافته که شاخص NDVI در آنجا نسبتاً پایین و شاخص ISA بالا بوده است. لذا اگرچه تشکیل جزایر گرمایی در زمستان کمی دور از انتظار است، اما بخش‌های کوچکی از نواحی شمال، شمال غرب، جنوب و جنوب غرب شهر در مناطق ۱، ۵ و ۱۸ که عموماً در معرض دائمی جزایر گرمایی است که با کاربری‌های متراکم و نقاط عاری از پوشش گیاهی همگام است. لکه‌های گرم پراکنده در نواحی مذکور با پوشش دمایی بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد در میان

^۱ Email: karimi.s.climatologist@uk.ac.ir 034-31322409

متوسط دمای شهر که پایین‌تر از ۱۷ درجه سانتی‌گراد در طول دوره سرد سال می‌باشد، گویای این واقعیت است.

واژگان کلیدی: شاخص LST، شاخص LSE، شاخص NDVI، جزایر گرمایی، کلان‌شهر تهران.

مقدمه

با توسعه شهرنشینی، وسعت زیادی از مناطق کشاورزی و جنگل جای خود را به مناطق مسکونی، صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها می‌دهند. از منظر چشم‌انداز، شهر روند تبدیل پوشش یا استفاده از زمین را نشان می‌دهد، این‌روند شامل تبدیل چشم‌انداز طبیعی شامل آب، خاک و گیاه به چشم‌انداز مصنوعی نظیر سیمان، آسفالت، مواد شیمیایی، فلزات و دیگر عناصر می‌باشند. همچنان که چشم‌انداز مصنوعی جایگزین چشم‌انداز طبیعی می‌گردد، تغییر مواد سطح سبب یک سری از تغییرات بازتاب سطح، نگهداشت و انتقال گرما یا به عبارتی اثرات معنادار بر آب و هوای محلی می‌گردد که یکی از آشکارترین اثرات آن، جزایر گرمایی است (استراترک، ۲۰۰۲). جزایر گرمایی شهری محدوده‌ای است که به‌طور معناداری گرم‌تر از مناطق مجاورش می‌باشد و نمود شاخصی از مشکلات محیط‌زیست شهری است (لئو و ژانگ، ۲۰۱۱).

اثرات منفی جزایر گرمایی شهری نه‌تنها منجر به کاهش کیفیت هوا، کاهش میزان بارندگی و افزایش آلودگی می‌شود، بلکه تهدیدی برای سلامت جسمانی و روحی ساکنین و کیفیت حیات آن‌هاست. طی چند سال اخیر بسیاری از محققان بر روی استراتژی‌های ممکن برای کاهش UHI در مقیاس شهری تمرکز کردند (سایلور، ۲۰۱۴؛ وانگ و اکبری، ۲۰۱۵)؛ بنابراین مدل‌سازی روابط بین ساختمان‌ها و محیط اطراف یک امر چند جانبه و ضروری برای بررسی آب و هوایی شهری و آسایش حرارتی است (تالب و تالب، ۲۰۱۴). از این‌رو درک توزیع و تنوع مکانی دمای سطح زمین یا LST برای پیدا کردن عامل آن و ارائه راه‌حل ممکن، مفید می‌باشد (آنیلو و همکاران، ۱۹۹۵).

در رابطه با موضوع جزایر گرمایی، مطالعات زیادی صورت گرفته که در ادامه به‌صورت اجمالی به‌مرور آن‌ها در جهان و ایران پرداخته می‌شود.

لوکوش‌چنکو و کورنیوا (۲۰۱۵) به بررسی جزیره گرمایی شهر مسکو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. در پژوهش مذکور برای اولین بار جزیره گرمایی شهری در مسکو با داده‌های طولانی‌مدت ماهواره‌های AQUA و TERRA مورد مطالعه قرار گرفت. در مجموع ۱۰۸ تصویر ماهواره‌ای برای دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ که در شرایط غیر ابری در صبح دریافت شد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. دوره سالانه جزیره گرمایی در مسکو حداکثر در بهار و تابستان و حداقل در پاییز است. در اواخر صبح، دمای هوا در سطح ۲ متر به‌طور متوسط کمی گرم‌تر از ارتفاع یک متری و دو متری است. میانگین تفاوت بین آن‌ها حدود یک درجه سانتی‌گراد است. از نتایج دیگر این پژوهش، استخراج جزایر خنک (نسبتاً سرد) در مناطق دارای پوشش جنگلی و پارک‌های این شهر بوده است.

لیاو و همکاران (۲۰۱۵) نیز اثرات شهرنشینی بر وضعیت اقلیمی و کیفیت هوا در حوضه رودخانه یانگ تسه واقع در شرق چین را به کمک مدل WRF-Chem برای دو ماه ژانویه و ژولای و به کمک دو سناریوی کاربری اراضی متفاوت، مدل سازی کردند و نشان دادند که شهرنشینی باعث افزایش دما در حدود ۰٫۹ تا ۲٫۳ درجه سانتی گراد در این منطقه شده است.

ژان و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با هدف بررسی و مقایسه روابط بین دمای سطح زمین شهری (LST)، نسبت پوشش زمین (GCR) و تراکم حجم ساخت و ساز (BVD) از داده‌های سنجنده ETM+ لندست ۷ طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ برای برآورد دمای سطح زمین در منطقه شهری ووهان چین استفاده کردند؛ همچنین آن‌ها نقشه‌های GCR و BVD را با استفاده از آمار ساختمان‌ها طی سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ تولید کردند. نتایج تحلیل‌های آن‌ها نشان داد که یک رابطه خطی قوی بین دمای سطح زمین و GCR وجود دارد؛ در حالی که رابطه بین BVD و LST یک رابطه معنادار مستقیم نبود.

ولیزاده کامران و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با عنوان بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده TIRS4 لندست ۸ مقایسه‌ای بین الگوریتم پنجره مجزا و روش سبال وارونگی دمای سطح زمین را در شهر تهران انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وارونگی دمای سطح زمین در روش پنجره مجزا دارای دقت با RMSE کمتر از ۰٫۱۷ درجه سانتی گراد بود؛ در حالی که روش سبال دقتی برابر با ۳٫۲۷ درجه سانتی گراد داشت؛ به طوری که الگوریتم پنجره مجزا روش مناسبی برای مورد مطالعه منطقه است.

احمدی و همکاران (۲۰۱۵) نیز تحولات کالبدی شهر و بازتاب حرارتی آن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دهنده ارتباط خشک‌سالی و کاهش سبزی‌نگی بر دمای سطح و هم بر دمای هواست و یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر دمای هوا سایه‌اندازی‌ها و ضریب آسمان قابل رؤیت بر پایه محصوریت کالبدی و فضای سبز است. علیچانی و همکاران (۲۰۱۶) به محاسبه شدت جزیره گرمایی بر اساس هندسه شهری پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده شبیه‌سازی و محاسبه حداکثر شدت جزیره گرمایی با بناهای بلند مرتبه و عرض کم معابر دارای ارتباط مستقیم است.

خان و چاترجی (۲۰۱۷) با استفاده از یک مدل خطی ساده شده و دمای هوا به بررسی شدت جزایر گرمایی در مناطق شهری و حومه‌ای کلکته پرداختند. نتایج نشان داد مدل خطی ساده شده با شبیه‌سازی تغییرات دمای هوا دارای رابطه مستقیم است؛ به طوری که شرایط جزایر گرمایی با دمای سطح و کمترین دمای روزانه محیط در مدل خطی دارای رابطه بوده است.

لی و همکاران (۲۰۱۸) روشی جدید را برای تعیین کمیت شدت جزیره گرمایی شهری مورد استفاده قرار دادند. این روش با استفاده از رابطه بین دمای سطح زمین و سطوح غیرقابل نفوذ به تعیین شدت جزیره گرمایی شهری

می‌پردازد. برای ارزیابی سطوح غیرقابل نفوذ از داده‌های سنجش از دور و روش تراکم هسته‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد، تابع خطی دمای سطح زمین با سطوح غیرقابل نفوذ مطابقت داشته است و بین دمای سطح زمین و تراکم هسته‌ای همبستگی مثبت وجود دارد.

یو و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی دمای سطح زمین فصلی و پوشش زمین توسط ماهواره لندست ۸ و مودیس در ۳۶ شهر چین پنج شاخص متریک اثرگذار بر شکل‌گیری جزایر گرمایی شهری را شناسایی کردند: شاخص بزرگ‌ترین لکه؛ شاخص میانگین وزنی مساحت شکل؛ شاخص میانگین وزنی مساحت ابعاد فرکتال‌ها؛ شاخص پیوستگی^۴ و شاخص تقسیمات منظر^۵. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شاخص پیوستگی ساختمان‌ها شاخصی کلیدی است که ارتباط مستقیمی با شکل‌گیری جزایر گرمایی شهری دارد؛ بنابراین افزایش پیوستگی ردیف ساختمانی موجب افزایش جزایر گرمایی شهری می‌شود.

شکیبا و همکاران (۱۳۸۸) به تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM + پرداختند. آن‌ها با تحلیل آماری هر یک از جزایر حرارتی شهر تهران به تفکیک نقش هر یک از پوشش و کاربری‌های اراضی در ایجاد آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه، دارای اثر خنک‌کننده است.

متکان و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثرات کاربری اراضی پوشش در ایجاد دمای سطح زمین در شهر ساحلی بندرعباس با هدف شناخت رابطه میان ویژگی‌های پوشش زمین در ایجاد جزایر گرمایی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه سنجنده ASTER پرداختند. پس از اعمال پردازش روی تصاویر با استفاده از معادلات حرارتی، دمای سطحی محاسبه گردید. نتایج پژوهش نشان داد مناطق صنعتی، زمین‌های مادر دارای حرارت زیاد و مناطق ساحلی به دلیل مجاورت با آب و مناطق دارای پوش گیاهی و فضای سبز به دلیل تبخیر و تعرق از سطح برگ درختان و ایجاد سایه، دارای دمای کمتری نسبت به سایر کاربری‌ها است.

علوی‌پناه و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان تحلیل زمانی - مکانی جزیره گرمایی شهر مشهد، با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری - پوشش زمین به بررسی تغییرات دمایی و گسترش جزیره گرمایی در این شهر پرداختند. روش انجام این پژوهش استفاده از تصاویر چندزمانه لندست (ETNI1987 + TNI2000 و NDVI)، روش NDVI و قانون پلانک برای تصاویر TMI و ETMI و الگوریتم دو پنجره برای تصاویر OLITIRS2014)، روش NDVI و قانون پلانک برای تصاویر TMI و ETMI و الگوریتم دو پنجره برای تصاویر OLITIRS دمای سطح زمین بوده است. نتایج حاصل از پژوهش مذکور نشان داد که حدود ۲۵۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی و فضای سبز به کاربری ساخته شده تبدیل شده که تقریباً برابر با افزایش مساحت طبقه دمایی بسیار گرم بوده

¹- Largest Patch Index (LPI)

²- Area-Weighted Mean Shape Index (AWMSI)

³- Area-Weighted Mean fractal Dimension Index (AWMDI)

⁴- Contiguity Index (CI)

⁵- Landscape Division Index (LDI)

است. این موضوع نشان می‌دهد که کاهش پوشش گیاهی، مهم‌ترین عامل در گسترش جزایر گرمایی شهر مشهد بوده است. بررسی تغییرات دمای سطح زمین و جزیره گرمایی نشان داد با از بین رفتن پوشش گیاهی داخل و اطراف شهر طبقه دمایی بسیار خنک (۲۹-۲۵ درجه سانتی‌گراد)، جای خود را به طبقه دمایی متوسط (۳۷-۳۳ درجه) داده است. همچنین با دست‌کاری دامنه‌های اطراف شهر، دمای آن‌ها افزایش یافته و به طبقه دمایی گرم (۴۱-۴۱ درجه) و بسیار گرم (۴۵-۴۱ درجه) تغییر یافته‌اند.

مجدداً علوی‌پناه و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهش‌های تکمیلی خود به بررسی سطوح غیرقابل نفوذ و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر گرمایی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج بررسی مذکور نشان داد رابطه خطی و قوی بین LST و ISA وجود دارد، در حالی که رابطه بین LST و NDVI بسیار ضعیف است؛ لذا در استخراج LST جزایر گرمایی شهری با استفاده از سنجش از دور حرارتی، شاخص ISA بسیار مناسب‌تر از شاخص NDVI است.

مجنونی توتاخانه و رضانی (۱۳۹۸) به بررسی و ارزیابی وضعیت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های به دست آمده از باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در دو دوره تابستان و زمستان سال ۲۰۱۷ و با به‌کارگیری روش 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 نشان دادند 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.

فدایی (۱۳۹۹) به بررسی جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخت. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ شهر تهران در دو تاریخ ۱۶ آذر ۱۳۹۶ و تاریخ ۱۶ خرداد ۱۳۹۶ استفاده شد. پیش پردازش‌های اولیه از قبیل تصحیحات هندسی و رادیو متریک و اتمسفریک روی داده‌ها انجام گرفت؛ سپس از باندهای ۹ و ۱۰ که باندهای حرارتی این ماهواره است، درجه حرارت زمین (LST) استخراج شد. نتایج پژوهش نشان داد بیشترین منطقه تحت تأثیر جزایر گرمایی شهری مربوط به بزرگراه امام علی بوده که بیشترین حجم ترافیک را دارا بوده است. مناطق با آلودگی کمتر که کمترین تأثیر در ایجاد جزایر گرمای شهری را دارند در حدود $R^2 = 0.59$ و مناطق با آلودگی بیشتر دارای بیشترین تأثیر در ایجاد جزایر گرمای شهری در حدود $R^2 = 0.72$ می‌باشد. مناطق با پوشش گیاهی کم و خاک لخت بیشترین درجه حرارت زمین (LST) را نشان می‌دهد.

این پژوهش نیز در راستای تکمیل پژوهش‌های انجام شده و مبتنی بر آخرین روش‌های جدید به کار گرفته در استخراج جزایر گرمایی شهری به دنبال شناسایی جزایر گرمایی کلان‌شهر تهران در ماه‌های سرد سال با استفاده از

سنجش از دور طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ است. ضرورت انتخاب این موضوع، چالش‌های شهر در مواجهه با مخاطرات گرمادگی، تشدید آلودگی‌هایی هوایی است که این شهر با آن‌ها روبروست که در صورت بارز سازی توزیع جزایر گرمایی، پیش‌بینی‌ها و اقدامات لازم از طرف سیستم مدیریت شهری انجام خواهد شد.

مفاهیم و مبانی نظری

جزیره گرمایی شهری^۱ به افزایش دمای شهرها در برابر نواحی روستایی و حومه اطلاق می‌شود. برخلاف تفاوت‌های منطقه‌ای اقلیم، شهرهای جهان دارای یک ویژگی خاص به نام جزیره گرمایی شهر هستند. در واقع مناطق شهری از دمای بالاتری نسبت به مناطق روستایی برخوردارند (کوانگ و همکاران، ۲۰۱۷). آژانس حفاظت محیط آمریکا می‌گوید: در روزهای گرم تابستان هوای شهر می‌تواند ۲ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از حومه آن باشد. شدت جزایر گرمایی شهری بسته به فصل، تابش خورشید و ویژگی‌های شهر می‌تواند بین ۰-۷ درجه سانتی‌گراد تغییر کند (ای‌پی‌ای، ۲۰۱۴: ۲). دو نوع جزایر گرمایی شهری وجود دارد: جزایر گرمایی شهری سطح زمین و جزایر گرمایی شهری اتمسفری. جزایر گرمایی شهری اغلب در طول روز و شب نمایان می‌شود، اما در طول روز تابش آفتاب آن را تشدید می‌کند. بسته به فصل، همان‌طور که پوشش زمین و هوا تغییر می‌کند، شدت جزایر گرمایی شهری سطح نیز متغیر است. گرم‌تر بودن هوا در برخی مناطق شهری، در مقایسه با دیگر مناطق شهری، جزایر گرمایی اتمسفری نامیده می‌شود (چاو و روس، ۲۰۰۶: ۲۳).

از عوامل مؤثر بر جزایر گرمایی می‌توان به تغییرات پوشش سطح زمین، آب، پوشش گیاهی، باد و جمعیت اشاره کرد. فعالیت‌های انسانی^۲ باعث تغییرات در کاربری زمین و پوشش سطح زمین در قرن اخیر شده است. تغییرات پوشش سطح زمین علت اصلی تغییرات منفی زیست‌محیطی و هیدرولوژی شهری و افزایش جزایر گرمایی و تغییر اقلیم در مقیاس محلی و جهانی است (سینج و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۰۱). حرکت آب از لایه‌های سطحی و زیرسطحی به اتمسفر فاکتور مهمی برای کنترل جزایر گرمایی شهری است، زیرا بخشی از انرژی تابشی خورشید که توسط سطح جذب می‌شود را به گرمای نهان تبدیل می‌کند. پوشش گیاهی ارتباط مستقیمی با خصوصیات رطوبتی، حرارتی و تابشی دارد. پوشش گیاهی نیز به‌نوبه خود از اقلیم محلی و ناحیه‌ای که متأثر از ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین است تأثیر می‌پذیرد (هاس و تروگلیو، ۲۰۱۷). جزایر گرمایی شهری منبع گردش بادهای شهری نیز هستند. این جریان در نتیجه گرما و فشار سطوح شیب‌دار افقی پدید می‌آید. هوای گرم‌تر در بالای شهر تشکیل شده و گردش محلی آن همراه با هوای سردتر از محیط‌های روستایی که به سمت مرکز شهر حرکت می‌کند، آغاز می‌شود (هیدالگو و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۸۹).

اثرات پوشش سطح، آب، پوشش گیاهی و باد در مقیاس‌های مختلف روی اتمسفر شهری، اثرات جوی و اقلیمی دارد و همه این فاکتورها به رشد جمعیت و اثرات آن بستگی دارد؛ اما رشد جمعیت به‌تنهایی اثرات اقلیمی محلی دارد. شدت

¹- Urban Heat Island (UHI)

²- Anthropogenic

جزایر گرمایی شهری با افزایش اندازه شهر و یا جمعیت، افزایش می‌یابد و هم‌زمان با رشد شهرها به‌صورت فزاینده در تغییرات اقلیمی حتی فراتر از مقیاس محلی شرکت می‌کنند (وو و ژانگ، ۲۰۱۷: ۲).

منطقه مورد مطالعه

قلمرو مورد مطالعه در این پژوهش، کلان‌شهر تهران به‌عنوان ۲۳ مین کلان‌شهر بزرگ دنیا با اقتصادی مشتمل بر تجارت و صنعت است که دارای تعداد بسیار زیادی کارگاه، کارخانه‌های صنعتی و تولیدی است. وسایل نقلیه عمومی مورد استفاده در این شهر عبارتند از: مترو که برای تعداد نفرات استفاده کننده؛ همچنین مساحت تحت پوشش بسیار ضعیف و کم ظرفیت است و اتوبوس‌های خط واحد که آن‌ها نیز خود از منابع مهم آلودگی هوا محسوب می‌شوند. تاکسی‌های شهری نیز از دیگر وسایل نقلیه مورد استفاده در این کلان‌شهر است. البته مردم این شهر عموماً استفاده از وسیله نقلیه شخصی را ترجیح می‌دهند و این مسئله سبب بروز ترافیک بسیار حجیم و تولید آلاینده‌های هوایی در ساعاتی از روز می‌شود. این شهر دارای ۷۵۱ کیلومترمربع مساحت است که به ۲۲ منطقه تقسیم شده و هر منطقه شهردار و مسئولین شهری مخصوص خود را دارد. تراکم جمعیت بسیار بالایی در این شهر وجود دارد، به‌طوری که بر اساس آمار سال ۱۴۰۰ به ازای هر کیلومتر مربع در این شهر تقریباً ۱۲۰۰۰ نفر زندگی می‌کنند.

داده‌ها و روش‌ها

این پژوهش به لحاظ روش، توصیفی-تحلیلی است. یافته‌های نیمه‌تجربی (اطلاعات و نقشه‌های تولید شده از روی تصاویر ماهواره‌ای) که با کمک تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود، با استفاده از تحلیل‌های کمی فضایی مورد آزمون قرار می‌گیرد. شیوه جمع‌آوری داده و اطلاعات در این پژوهش، کتابخانه‌ای و اسنادی است. داده‌های مورد نیاز پژوهش حاضر از طریق تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست با قدرت تفکیک متوسط مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی و ۱۲۰ متر در باند مادون‌قرمز حرارتی و حسب ضرورت از تصاویر سنجنده ETM+ به دست آمد (<https://www.usgs.gov>); همچنین داده‌های مکانی شامل نقشه‌های پایه کاربری اراضی شهر (وضع سابق و وضع موجود) از طریق بررسی‌های اسنادی و شهرداری تهران در مقیاس ۱/۲۰۰۰ تهیه خواهد شد.

دمای سطح زمین (LST)

به‌طور کلی دمای سطح زمین^۱، کلیدی در رفتارهای سطح زمین است. تخمین میزان حرارت سطح در مناطق مختلف شهری به‌منظور بررسی توزیع دمای سطح زمین و علل پیدایش آن کاربردهای فراوانی مانند تعیین نقطه ترافیک و شهر صنعتی و مراکز تجاری در گرم شدن شهرها دارد؛ لذا در بررسی و تجزیه و تحلیل پدیده جزایر گرمایی در شهرها بسیار

¹ - Land Surface Temperature (LST)

حائز اهمیت است. برای ایجاد نقشه دمای سطح زمین از دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ استفاده شد. رابطه (۱) مبنای نظری و محاسبات این استخراج است.

$$\text{رابطه (۱)} \quad LST=1+w \times (BT/P) \times \ln(e)$$

در این رابطه، BT دمای درخشندگی، W باند حرارتی، e تابش سطحی زمین است؛ همچنین در این رابطه P از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$\text{رابطه (۲)} \quad P=h \times c/s (1.438 \times 10^{-2}mk)$$

$$\text{ثابت استفان بولتزمن } S=(1.38 \times 10^{-23}j/k) \quad \text{بت پلانک } H=(6.62 \times 10^{-34}js)$$

$$\text{رعت نور در خلأ } C=(2.998 \times 10^8m/s)$$

شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

سنجندهای حرارتی قادر هستند جزایر گرمایی سطح زمین را به وسیله ثبت درخشندگی حرارتی صادر شده از سطح مناطقی که در میدان دید سنجنده هستند، بازیابی کنند. به منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته مانند تأثیرات توپوگرافی و بازتاب پوشش‌های سنگی و خاک لخت روی اطلاعات پوشش گیاهی و افزایش اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی، با استفاده از ترکیب حداقل دو باند، شاخص پوشش گیاهی ایجاد می‌شود. در واقع شاخص گیاهی نوعی نسبت و عملیات ریاضی میان باندهای مختلف اعم از مرئی و مادون قرمز است. هدف از ایجاد شاخص‌های گیاهی آن است که برخی از ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر خصوصیات تاج پوشش، سطح برگ یا درصد پوشش گیاهی وضعیت حاضر ارزیابی شود. معروف‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی برای تهیه LST، شاخص NDVI است که در رابطه (۳) بیان شده است (موراویتز و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\text{رابطه (۳)} \quad NDVI=(BNIR-BRED)/(BNIR+BRED)$$

که BNIR و BRED به ترتیب مربوط به باندهای مادون قرمز کوتاه و قرمز تصویر می‌باشند.

سطوح غیرقابل نفوذ (ISA)^۱

تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ در محدوده شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور به دلیل پیچیدگی چشم‌انداز شهری و محدودیت‌های داده‌های سنجش از دور مانند پایین بودن قدرت تفکیک فضایی و طیفی همواره با چالش‌هایی روبرو است. از آنجا که سطوح شهری از عوارض متفاوتی تشکیل شده‌اند، انتخاب نمونه‌های تعلیمی به منظور محاسبه سطوح غیرقابل نفوذ یکی از دشوارترین مراحل در محاسبه درصد سطوح غیرقابل نفوذ است. سطوح مورد استفاده در این پژوهش شامل خاک، پوشش گیاهی و سطح غیرقابل نفوذ می‌باشند. به منظور انتخاب این سطوح از نمودارهای پراکندگی

^۱ - Impervious Surface Area

که از ترکیب باندهای تصویر حاصل شده‌اند، استفاده شده است. ابتدا به منظور کاهش حجم داده‌های تکراری بین باندهای مختلف تبدیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی تصویر مورد نظر اعمال شده است. سپس با توجه به این که بیشتر داده‌های تصویر در PC های شماره‌های ۱، ۲ و ۳ قرار می‌گیرند، به منظور تشکیل نمودارهای پراکندگی از این سه باند استفاده شده و با کنار هم قرار دادن هر یک از باندها پیکسل‌های خالص مربوط به هر سطح به دست آمده است. اخیراً اکثر کارهای مربوط به تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ از طبقه‌بندی زیر پیکسل و تصاویر با قدرت تفکیک بالا که برای محاسبه پدیده‌های شهری مناسب‌تر است، استفاده می‌کنند؛ اما تصاویر لندست با قدرت تفکیک متوسط نیز می‌توانند برای استخراج ISA در مناطق بزرگ استفاده شوند. در این مطالعه از درصد ISA به عنوان یک شاخص گرمایش شهری و از مدل ترکیب طیف خطی (LSMA) به منظور محاسبه درصد ISA استفاده شده است. در این شیوه که یک روش پردازش تصویر به صورت فیزیکی است، طیف اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده برای یک پیکسل به صورت ترکیبی خطی از طیف‌ها در نظر گرفته می‌شود. مدل LSMA درصد هر یک از عضوهای پایانی را در هر پیکسل با توجه به طیف انعکاسی محدوده‌های تعلیمی مشخص می‌کند. معمولاً از این شیوه برای تحلیل زیر پیکسل تصاویر استفاده می‌شود. مدل LSMA ترکیب سطحی هر پیکسل از تصویر را با استفاده از پوشش‌های خالص زمین که عضوهای پایانی نامیده می‌شوند، توصیف می‌کند و ترکیبی خطی بین این اعضا در نظر می‌گیرد (ونگ و لو، ۲۰۰۸). رابطه (۳) بیانگر این موضوع است.

$$R_i = \sum_{k=1}^n F_k R_{ik} + ER_i$$

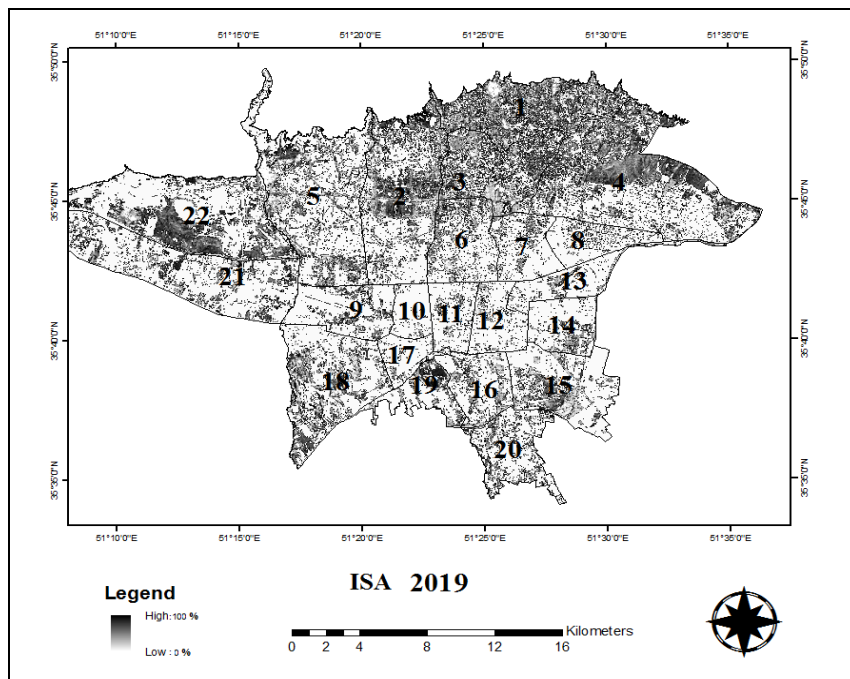
رابطه (۴):

در این معادله، تعداد باندهای طیفی (k)، تعداد عضوهای پایانی (R)، انعکاس طیفی باند (i)، مربوط به یک پیکسل که از یک یا چند عضو پایانی تشکیل شده، با نسبت عضو (k) درون یک پیکسل، (R) انعکاس طیفی آشکار عضو k درون یک پیکسل در باند یک و ER خطای مربوط به باند است. به منظور محاسبه F، لازم است این شرایط برقرار باشد: عضوهای پایانی انتخاب شده از هم مستقل باشند؛ تعداد عضوهای پایانی کمتر یا مساوی باندهای طیفی استفاده شده باشد؛ باندهای طیفی انتخاب شده نباید همبستگی زیادی داشته باشند (ونگ و همکاران، ۲۰۰۷). برآورد تصاویر درصد (نسبت) عضوهای پایانی با استفاده از LSMA شامل پردازش تصاویر، انتخاب عضوهای پایانی، راه حل‌های تفکیک و برآورد تصاویر مربوط به درصد هر عضو پایانی است.

بحث و یافته‌ها

برای مقایسه و بررسی تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه در حالت ایده‌آل، داشتن تصاویر مربوط به یک روز در سال‌های مختلف مناسب است؛ اما با توجه به مشکلاتی از قبیل در دسترس نبودن تصویر، دوره زمانی عبور ماهواره از منطقه،

پوشش ابر و ... استفاده از تصاویر نزدیک به هم ارجحیت دارد؛ بنابراین در این پژوهش از تصاویر متوالی و دوره‌ای سنجنده‌های TM و حسب ضرورت از ETM+ طی ماه‌های نمونه سرد سال (ژانویه، فوریه و مارس) در سال‌های مختلف از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ استفاده گردید. ضمن استفاده از دو شاخص سطوح غیرقابل نفوذ (ISA) و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، نتایج و ارقام LST به دست آمده از آن‌ها نیز مقایسه شد. در شیوه‌ای که برای استخراج LST در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، استخراج تصاویر ISA پیش‌نیاز اصلی محسوب می‌شود؛ لذا این تصاویر نیز استخراج شد. تصویر نمونه برای سال ۲۰۱۹ جهت نمایش انتخاب گردید (شکل ۱).

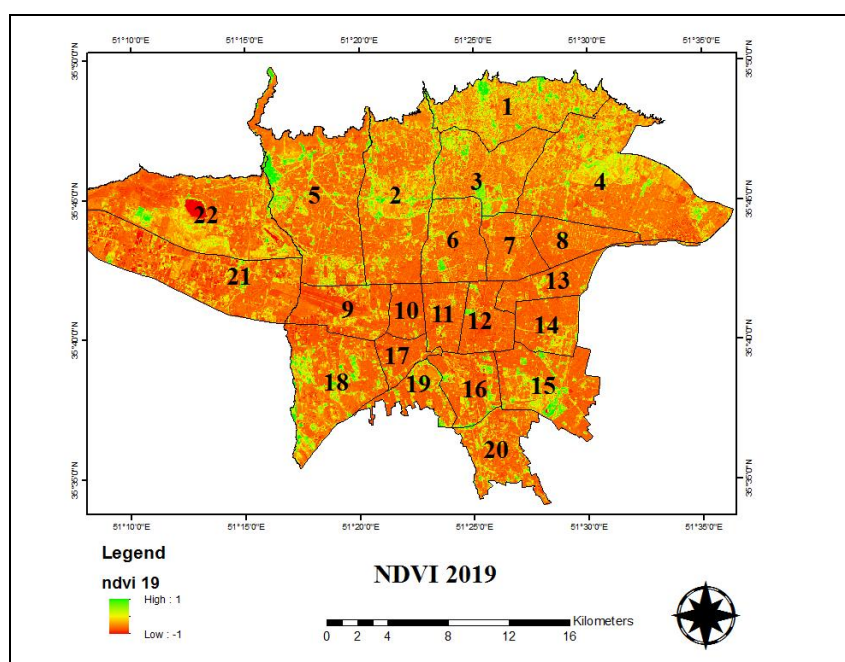


مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: درصد سطوح غیرقابل نفوذ سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۹

محاسبه NDVI

در شیوه‌ای که برای استخراج LST در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، استخراج تصاویر NDVI پیش‌نیاز محسوب می‌شود؛ بنابراین این تصاویر به شیوه‌ای که در روش‌شناسی تشریح گردید، استخراج شد. تصاویر نمونه از سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹ انتخاب گردید. مقایسه تصاویر مذکور نشان می‌دهد تغییرات NDVI (پوشش گیاهی) در تصاویر زمان‌های مختلف آن‌چنان محسوس نیست به‌خصوص اینکه پوشش گیاهی سطح شهر آن‌چنان دستخوش خشکسالی در سال‌های مختلف نیست؛ چراکه این پوشش به‌وسیله شهرداری به‌صورت منظم مورد آبیاری و رسیدگی قرار می‌گیرد؛ اما با توجه به اینکه میزان سبزی‌نگی پوشش گیاهی در ماه‌های مختلف سال می‌تواند متفاوت باشد، این تغییرات فصلی می‌تواند در جابجایی هسته‌های حرارتی در سطح شهر مؤثر باشد. در شکل (۲) نمونه‌ای از شاخص NDVI برای شهر تهران آورده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: شاخص پوشش گیاهی (NDVI) سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۹

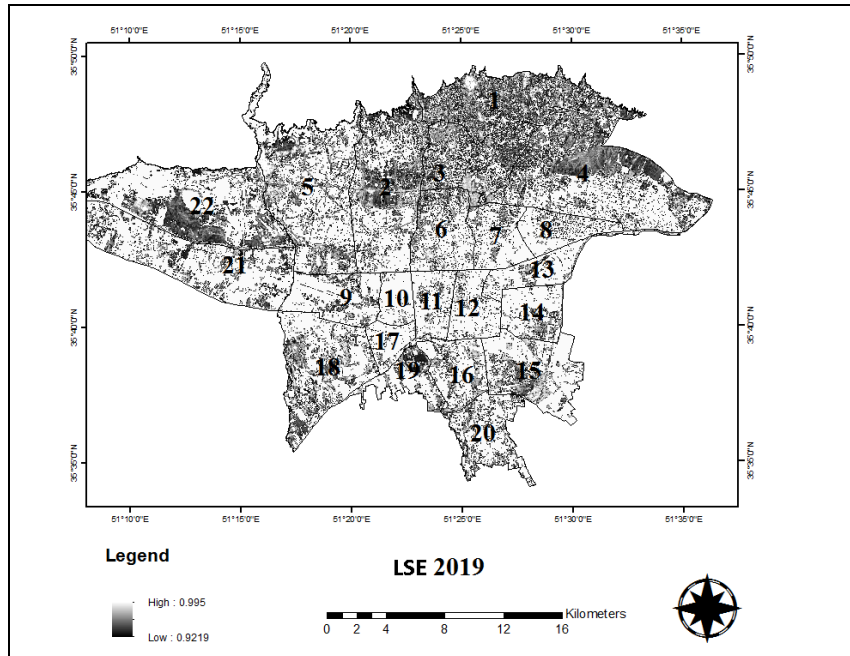
از آنجا که مبنای محاسبه LST، تهیه نقشه‌های NDVI بوده؛ لذا بدیهی است مقایسه نقشه‌های NDVI و نقشه‌های LST با هم ارتباط معناداری داشته باشد؛ به طوری که در نقشه‌های LST استخراج شده، مقادیر بالای LST در مناطقی از سطح شهر تهران گسترش یافته که شاخص NDVI در آنجا پایین بوده، یعنی از پوشش گیاهی ضعیف برخوردار بوده‌اند.

محاسبه قابلیت گسیل مندی زمین (LSE)

در سیستم استخراج LST از طریق تصاویر لندست، شاخص هم‌نیاز دیگری به نام LSE (قابلیت گسیلندگی زمین)^۱ نیز باید استخراج شود. هرچقدر سطح زمین از قدرت جذب بیشتری برخوردار باشد، طبق قانون استفان بولتزمن تابش (گسیل مندی) انرژی بیشتری از خود نشان می‌دهد و بالعکس. لذا مقادیر متنوع این شاخص در جای‌جای شهر تهران، می‌تواند با سه شاخص ISA، NDVI و LST رابطه نزدیک و معناداری داشته باشد. به طوری که مقادیر LSE پایین با مقادیر بالای ISA و مقادیر بالای NDVI همراه است. در چنین رابطه‌ای انتظار تشکیل جزایر گرمایی در این گونه مناطق طبق شاخص LST ضعیف خواهد بود و بالعکس. تصویر نمونه از سال ۲۰۱۹ انتخاب گردید. مقایسه تصاویر سال‌های مختلف نشان می‌دهد تفاوت‌های این شاخص در مناطق سفید و سیاه در تشکیل جزایر گرمایی در محدوده

¹ - Land Surface Emissivity

مناطق سفیدتر محتمل‌تر است، چرا این‌گونه مناطق دارای درجهٔ بالایی از شاخص LSE هستند. بالعکس مناطق با درجهٔ پایین‌تر که بیشتر مناطق شمالی شهر تهران را در بر می‌گیرند، جزو مناطقی خواهند بود که شاخص LST در آنجاها نیز پایین‌تر است (شکل ۳).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: قابلیت گسیل‌مندی زمین در سطح شهر تهران برای سال ۲۰۱۹

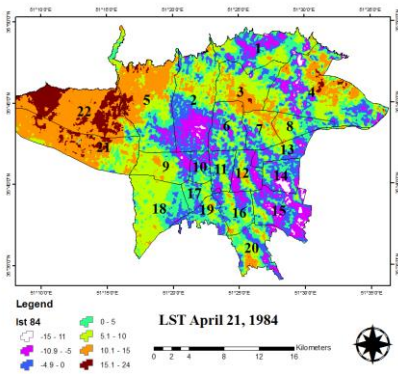
محاسبهٔ LST و شناسایی جزایر گرمایی

تصاویر LST برای ماه‌های نمونهٔ سرد سال‌های مختلف از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ استخراج گردید. سه ماه ژانویه، فوریه و مارس به‌عنوان نمونهٔ ماه‌های سرد سال در نظر گرفته شد. به عبارتی از آنجا که تصاویر LST برای ماه ژانویه در برخی سال‌ها وجود نداشت؛ لذا ناگزیر از تصاویر ماه‌های بعدی (فوریه و مارس) استفاده شد (شکل‌های ۴ تا ۲۱).

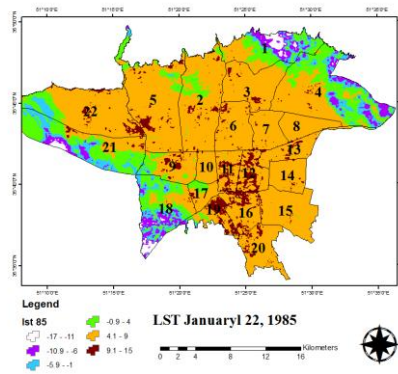
تحلیل نقشه‌های LST ماه‌های سرد سال

اگرچه با مشاهدهٔ تصاویر مربوط به این شاخص در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه و مارس) در سال‌های متعدد، الگویی از تشکیل جزایر گرمایی (دماهای غیرعادی بالا) در سطح کلان‌شهر تهران به چشم نمی‌خورد، با این حال در برخی سال‌ها LST‌های نسبتاً بالایی در برخی از مناطق شهر تهران مشاهده شده است (جدول ۱).

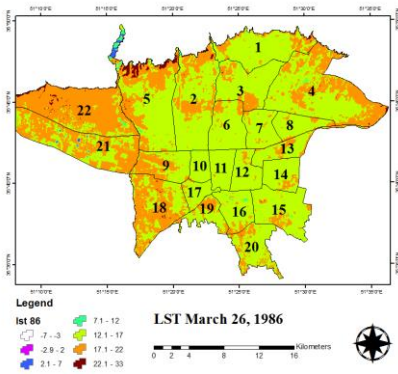
اگرچه با مشاهدهٔ تصاویر مربوط به این شاخص در ماه‌های سرد سال (ژانویه، فوریه و مارس) در سال‌های متعدد، الگویی از تشکیل جزایر گرمایی (دماهای غیرعادی بالا) در سطح کلان‌شهر تهران به چشم نمی‌خورد، با این حال در برخی سال‌ها LST‌های نسبتاً بالایی در برخی از مناطق شهر تهران مشاهده شده است.



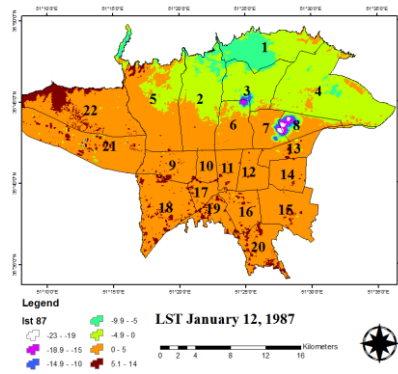
شکل ۵: LST آوریل ۱۹۸۴ (سانتی گراد)



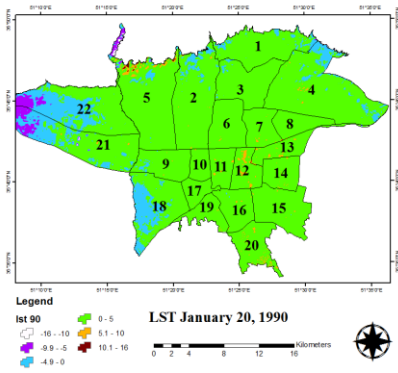
شکل ۴: LST ژانویه ۱۹۸۵ (سانتی گراد)



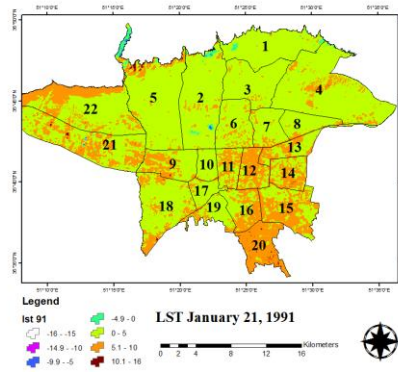
شکل ۷: LST مارس ۱۹۸۶ (سانتی گراد)



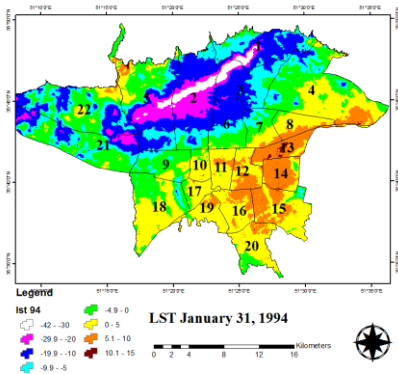
شکل ۶: LST ژانویه ۱۹۸۷ (سانتی گراد)



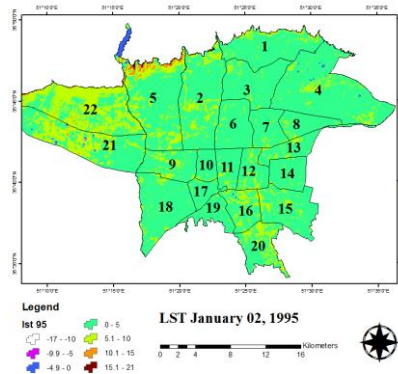
شکل ۹: LST ژانویه ۱۹۹۰ (سانتی گراد)



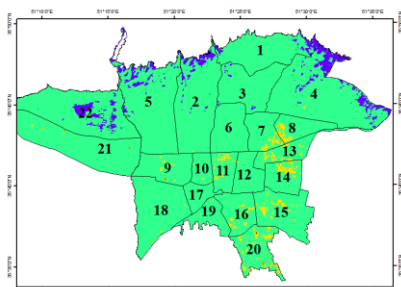
شکل ۸: LST ژانویه ۱۹۹۱ (سانتی گراد)



شکل ۱۱: LST ژانویه ۱۹۹۴ (سانتی گراد)

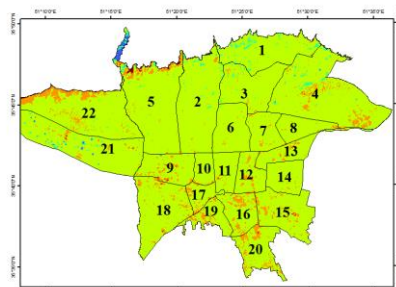


شکل ۱۰: LST ژانویه ۱۹۹۵ (سانتی گراد)



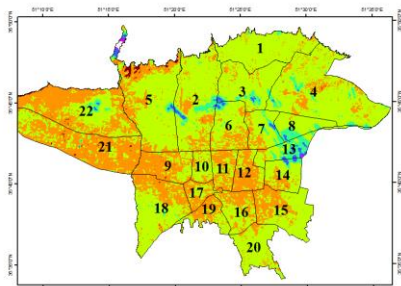
Legend
ist 98
-10.1 - -5.9 - 1
-10.9 - -6
4.1 - 7
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۳: LST ژانویه ۱۹۹۸ (سانتی‌گراد)



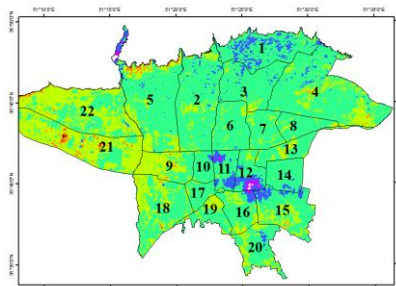
Legend
ist 99
0 - 4
-13 - -8
4.1 - 9
-7.9 - -4
9.1 - 13
-3.9 - 0
13.1 - 18
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۲: LST ژانویه ۱۹۹۹ (سانتی‌گراد)



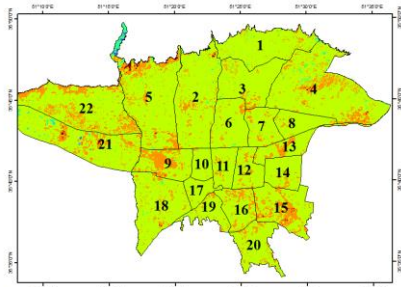
Legend
ist 02
-31 - -20
-19.9 - -10
-9.9 - 0
0 - 5
5.01 - 10
10.1 - 15
15.1 - 21
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۵: LST ژانویه ۲۰۰۲ (سانتی‌گراد)



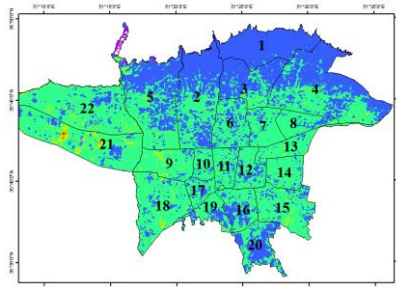
Legend
ist 09
-3 - 1
1.1 - 5
5.1 - 10
10.1 - 15
15.1 - 19
19.1 - 25
25.1 - 32
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۴: LST مارس ۲۰۰۹ (سانتی‌گراد)



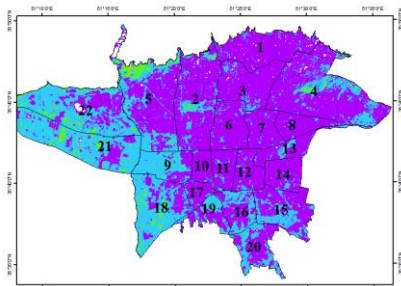
Legend
ist 10
-10 - -14
-13.9 - -10
-9.9 - -5
-4.9 - 0
0 - 5
5.1 - 10
10.1 - 15
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۷: LST ژانویه ۲۰۱۰ (سانتی‌گراد)



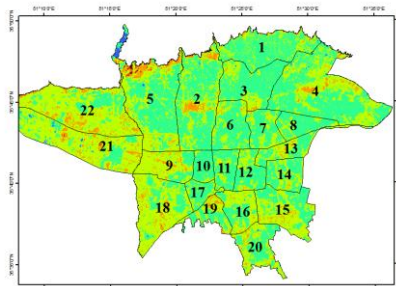
Legend
ist 11
-13 - -9
-8.9 - -5
-4.9 - 1
1.1 - 5
5.1 - 10
10.1 - 15
15.1 - 18
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۶: LST ژانویه ۲۰۱۱ (سانتی‌گراد)



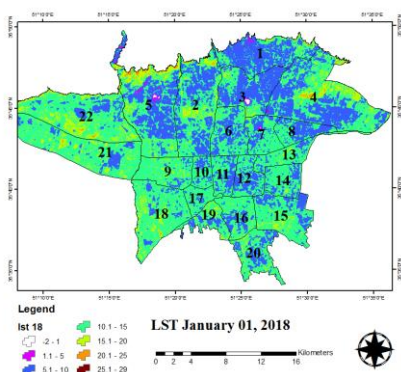
Legend
ist 14
-1 - 5
5.1 - 10
10.1 - 15
15.1 - 20
20.1 - 25
25.1 - 28
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۹: LST ژانویه ۲۰۱۴ (سانتی‌گراد)

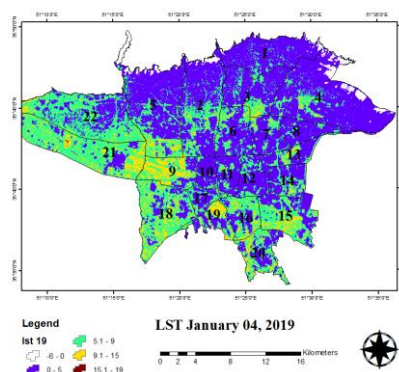


Legend
ist 15
0 - 5
-18 - -10
-9.9 - -5
-4.9 - 0
5.1 - 10
10.1 - 15
15.1 - 22
0 2 4 8 12 16 Kilometers

شکل ۱۸: LST ژانویه ۲۰۱۵ (سانتی‌گراد)



شکل ۲۱: LST ژانویه ۲۰۱۸ (سانتی گراد)



شکل ۲۰: LST ژانویه ۲۰۱۹ (سانتی گراد)

مآخذ: نگارندگان

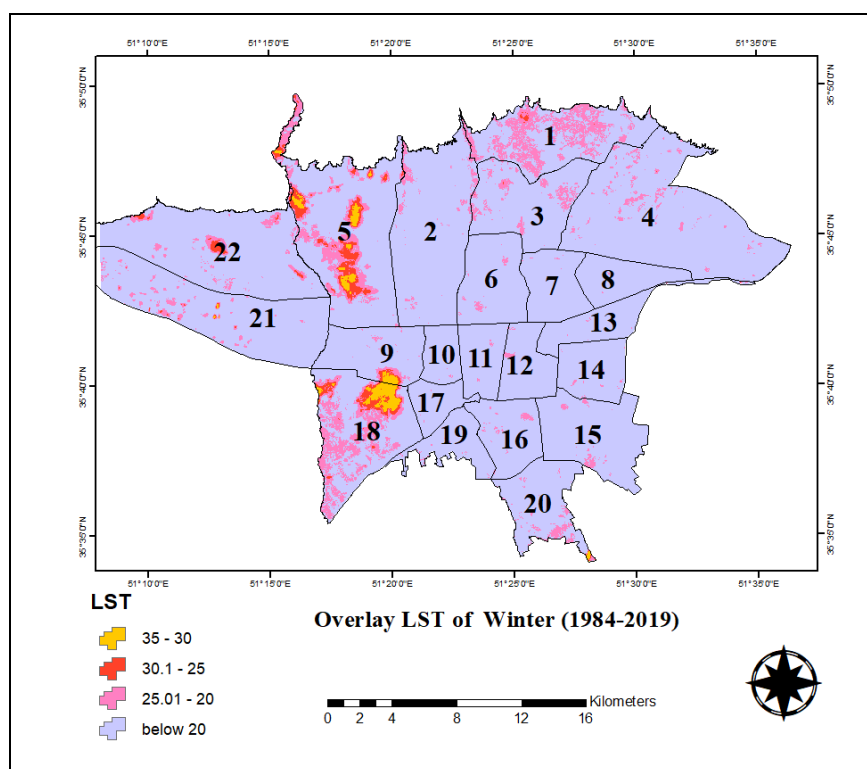
جدول ۱: مساحت طبقات دمایی زمستانه مربوط به شاخص LST در کلان شهر تهران

ماه و سال	زیر صفر	۱ تا ۵	۶ تا ۱۰	۱۱ تا ۱۵	۱۶ تا ۲۰	۲۱ تا ۲۵	۲۶ به بالا
ژانویه ۱۹۸۴	۱۶۸/۶	۱۲۳/۳	۱۵۶/۵	۱۲۳/۳	۲۹/۷	-	-
ژانویه ۱۹۸۵	۱۰۶/۸	۸۱/۱	۴۰۹/۴	۴/۱	-	-	-
مارس ۱۹۸۶	-	-	۲/۱	۱۸۳/۲	۳۸۰/۳	۳۴/۸	۱/۰۴
ژانویه ۱۹۸۷	۱۹۴/۸	۳۷۶/۶	۲۹/۹	-	-	-	-
مارس ۱۹۸۸	۳۸۳/۸	۲۱۳/۶	۳/۹	-	-	-	-
ژانویه ۱۹۸۹	۱۰۹/۹	۴۷۸/۴	۱۲/۲	۱	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۰	۲۱۷/۸	۳۷۶/۵	۶/۷	۰/۳۴	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۱	۵/۳	۴۴۰/۱	۱۵۴/۸	۱/۲	-	-	-
ژانویه ۲۰	۵۹۷/۹	۳/۵	-	-	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۳	۵۱۳/۸	۸۷/۵	-	-	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۴	۳۷۱/۷	۱۶۵/۴	۶۲/۹	۱/۴	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۵	۲/۹	۴۷۵/۸	۱۱۷/۷	۴/۶	۰/۳۷	-	-
مارس ۱۹۹۶	۵۰۴/۸	۹۶/۶	۰/۰۱	-	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۷	۳/۸	۲۸/۸	۵۳۰/۱	۳۵/۴	۳/۱	۰/۱۸	-
ژانویه ۱۹۹۸	۴۹۴	۱۰۷/۴	-	-	-	-	-
ژانویه ۱۹۹۹	۱/۵	۴۰	۵۴۵/۱	۱۴/۷	-	-	-
مارس ۲۰۰۰	۴۴/۶	۴۳۰/۴	۱۲۵/۳	۱/۱	-	-	-
ژانویه ۲۰۰۱	۱/۱	۵۲/۴	۵۲۴/۸	۲۱/۴	۱/۷	-	-
ژانویه ۲۰۰۲	۵/۶	۲۴/۶	۳۷۶/۴	۱۹۲/۲	۲/۶	-	-
زمستان ۲۰۰۳	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۰۴	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۰۵	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۰۶	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۰۷	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۰۸	N	N	N	N	N	N	N
مارس ۲۰۰۹	-	۲/۵	۲۶/۸	۴۰۶/۷	۱۶۰/۶	۴/۵	۰/۳۰

ژانویه ۲۰۱۰	۶/۵	۵۰۹	۸۴/۳	۱/۶	-	-	-
ژانویه ۲۰۱۱	۱۱۳/۶	۴۷۲/۴	۱۴/۸	۰/۶۴	-	-	-
زمستان ۲۰۱۲	N	N	N	N	N	N	N
زمستان ۲۰۱۳	N	N	N	N	N	N	N
ژانویه ۲۰۱۴	-	۳/۹	۳۷۷	۲۰۲/۲	۱۷/۸	-۰/۵۰	
ژانویه ۲۰۱۵	۱/۹	۲۸۷/۷	۲۷۹/۶	۳۱/۵	-۰/۷۱	-	-
مارس ۲۰۱۶	-۰/۰۵	۲/۴	۳۱۸/۷	۲۳۱/۷	۴۸/۶	-	-
ژانویه ۲۰۱۷	۱۱/۶	۳۷۱/۳	۲۰۷/۴	۱۰/۹	-۰/۲۰	-	-
ژانویه ۲۰۱۸	-	۲/۴	۱۹۱/۳	۳۵۲/۸	۵۲/۶	۲/۳	-۰/۰۲
ژانویه ۲۰۱۹	۱۱/۹	۳۲۳/۶	۲۳۷/۵	۲۸/۲	-۰/۰۸	-	-

مأخذ: نگارندگان * در این جدول واحد طبقات دمایی، درجه سانتی‌گراد و واحد مساحت، کیلومترمربع است. N: فاقد تصویر در ماه‌های ژانویه، فوریه و یا مارس بوده است.

به‌منظور یکجا نگری تمامی مناطقی از شهر تهران که در طول زمستان‌های گذشته، LST بین ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد را تجربه نموده‌اند، شکل (۲۲) تهیه شده است. این شکل نشان می‌دهد که نقاط پراکنده‌ای در شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب این شهر مستعد تشکیل جزایر گرمایی هستند؛ اگرچه در طول این سال‌ها دماهای مذکور در حد تشکیل جزایر گرمایی خیلی گرم نبوده‌اند.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲۲: مناطقی از شهر تهران که در زمستان‌های دوره مورد مطالعه LST بین ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده‌اند.

اگرچه تقریباً تمامی مناطق کلان‌شهر تهران حداقل یک‌بار در زمستان‌های مورد مطالعه درگیر یک‌بار و بیشتر تشکیل جزیره گرمایی بوده‌اند، اما مناطقی که در طول زمستان‌های مورد مطالعه به‌صورت قابل توجهی درگیر تشکیل جزایر گرمایی بوده‌اند، شامل مناطق ۱، ۵، ۹، ۱، ۴، ۳، ۲۲ و ۲۱ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر که مبتنی بر استخراج تصاویر ماهواره‌ای لندست صورت گرفته، منجر به تولید نقشه‌های LST گردید که منبای تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تصاویر ISA، NDVI، LSE و LST برای ماه‌های نمونه سرد در سال‌های مختلف از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۹ استخراج گردید. سه ماه ژانویه، فوریه و مارس به‌عنوان ماه‌های سرد سال در نظر گرفته شد. جمع‌بندی نتایج نشان داد تغییرات سطوح غیرقابل نفوذ (ISA) تصاویر استخراج شده، محسوس نیست ولی همین تفاوت‌های جزئی در فاصله سال‌های مختلف نیز در جابجایی مراکز حرارتی در سطح شهر تهران مؤثر بوده است. بافت‌های متراکم و چند طبقه در تعیین مقادیر ISA در نقاط مختلف شهر مؤثر است؛ به‌طوری که مناطق متراکم‌تر از نفوذپذیری کمتر و نقاط کم تراکم از نفوذپذیری بیشتری برخوردارند. اگرچه نقشه‌های تراکم و طبقات به‌صورت مستقیم مورد بررسی قرار نگرفته، اما اثر تراکم و طبقات در تعیین مقادیر ISA مؤثر واقع شده و به‌صورت غیرمستقیم در نظر گرفته شده است. از طرفی مقادیر بالای LST در مناطقی از سطح شهر تهران گسترش یافته که شاخص NDVI در آنجا پایین بوده، یعنی از پوشش گیاهی ضعیف برخوردار بوده‌اند؛ همچنین تفاوت‌های شاخص گسیندگی (LSE) در تشکیل جزایر گرمایی در محدوده مناطق دارای درجه بالایی از این شاخص محتمل‌تر است؛ بالعکس مناطق با درجه پایین‌تر LSE شهر تهران را در برمی‌گیرند، جزو مناطقی هستند که جزایر گرمایی در آنجا کمتر تشکیل می‌شود. به‌طور کلی نتایج بررسی نقشه‌های استخراج شده LST دوره سرد سال نشان می‌دهد نقاط پراکنده‌ای در شمال، شمال غرب، غرب و جنوب غرب عمدتاً در مناطق ۱، ۵ و ۱۸ این شهر مستعد تشکیل جزایر گرمایی در دوره سرد سال هستند.

قدردانی

مقاله حاضر اثری اصیل، بدیع و مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان «تحلیل زمانی- مکانی جزایر حرارتی شهر تهران مبتنی بر تغییرات کاربری اراضی، پوشش زمین و متغیرهای اقلیمی» به شماره ۹۷۰۰۸۷۱۱ است که توسط نویسندگان و تحت نظارت «صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور» تدوین گردید؛ لذا از حمایت مادی و معنوی آن صندوق، دست‌اندرکاران و به‌ویژه ناظر محترم طرح قدردانی می‌شود.

منابع

- ۱- شکیبیا، علیرضا؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود؛ نامداری، سودابه؛ (۱۳۸۸): تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM+. سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۱، شماره ۱، صص ۵۶-۲۹.
 - ۲- علوی‌پناه، سید کاظم؛ رضایی، عبدالعلی؛ آزادی‌قطار، سعید؛ جدی ازغندی، حمیدرضا؛ (۱۳۹۵): بررسی سطوح غیرقابل نفوذ و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر گرمایی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، سال ۲۰، شماره ۵۵، صص ۲۰۷-۱۸۳.
 - ۳- علوی‌پناه، سید کاظم؛ هاشمی دره‌بادامی، سیروس؛ کاظم‌زاده، علی؛ (۱۳۹۴): تحلیل زمانی - مکانی جزیره گرمایی شهر مشهد با توجه به گسترش شهر و تغییرات کاربری - پوشش زمین، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دوره ۳، شماره ۱، صص ۱۷-۱.
 - ۴- فدایی، هادی؛ (۱۳۹۹): بررسی جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. اطلاعات جغرافیایی. مجله سپهر، دوره ۲۹، شماره ۱۱۶، صص ۱۳۰-۱۱۹.
 - ۵- متکان، علی‌اکبر؛ نوحه‌گر، احمد؛ میرباقری، بابک؛ ترک‌چین، ناهید؛ (۱۳۹۳): تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چند زمانه (مطالعه موردی: شهر بندرعباس). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۵، شماره ۴، صص ۱۴-۱.
 - ۶- مجنون‌توتاخانه، علی؛ رضانی، محمدابراهیم؛ (۱۳۹۸): بررسی و ارزیابی وضعیت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران). ۷۲ (۱)، صص ۴۳-۲۹.
- 7- Ahmadi, A. Ghafari, A. Taghbaz, M. (2015): Urban Physics Changes And Its Thermal Reflection (Case Study: Isfahan). Journal Of Art University, 17(9), 155-171.
 - 8- Alijani, B. Toulabi Nezhad, M. Sayadi, F. (2016): Thermal Island Intensity Calculating Based On Urban Geometry, Journal Of Spatial Analyze Of Environment Risks, 4(3), 99-112.
 - 9- Aniello, C. Morgan, K. Busbey, A. Newland, L. (2015): Mapping Micro-Urban Heat Islands Using Landsat TM And A GIS. Computers And Geosciences, 21(8), 961-967,
 - 10- Chow, W. Roth, M. (2006): Temporal Dynamics Of The Urban Heat Island Of Singapore, International Journal Of Climatology, 14, 21-35.
 - 11- EPA (2014): Reducing Urban Heat Islands: Compendium Of Strategies. Nonpoint Source News-Notes, 1-23.
 - 12- Haas, T. Troglia, E. (2017): Energy Transects Modeling And Sustainable Urban Cells Approach. Geosee Institute, 8, 1-17.
 - 13- Hidalgo, J. Masson, V. Gimeno, L. (2010): Scaling The Daytime Urban Heat Island And Urban-Breeze Circulation, Journal Of Applied Meteorology And Climatology, 889-901.
 - 14- <https://www.usgs.gov/>
 - 15- Khan, A. Chatterjee, S. (2017): Numerical Simulation Of Urban Thermal Island Intensity Under Urban-Suburban Surface And Reference Site In Kolkata, India, Journal Of Modeling Earth Systems And Environment, 2-71.
 - 16- Kuang, W. Yang, T. Liu, A. Zhang, C. Lu, D. Chi, W. (2017): An Eco City Model For Regulating Urban Land Cover Structure And Thermal Environment: Taking Beijing As An Example. Sci. China Earth Sci. 60 (6), 1098-1109.
 - 17- Li, H. Zhou, Y. Li, X. Meng, L. Wang, X. Wu, S. Sodoudi, S. (2018): A New Method To Quantify Surface Urban Thermal Island Intensity, Science Of The Total Environment, 624, 262-272.
 - 18- Liao, J. Wang, T. Jiang, Z. Zhuang, B. Xie, M. Yin, C. Et Al. (2015): WRF/Chem Modeling Of The Impacts Of Urban Expansion On Regional Climate And Air Pollutants In Yangtze River Delta, China. Atmospheric Environment, 106, 204- 214.
 - 19- Liu, L And Zhang, Y. (2011): Urban Thermal Island Analysis Using The Landsat TM Data And ASTER Data: Case Study In Hong Kong. Remote Sensing, No.3 (7): Pp.1535-1552.

- 20- Lokoshchenko, M.A. Korneva, I.A. (2015): Underground Urban Heat Island Below Moscow City. *Urban Climate*, (13), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.04.002>.
- 21- Morawitz, D. Blewett, T. Cohen, A. Alberti, M. (2006): Using NDVI To Assess Vegetative Land Cover Change In Central Puget Sound. *Environmental Monitoring And Assessment*, 114: 85–106.
- 22- Sailor, D.J. (2014): A Holistic View Of The Effects Of Urban Thermal Island Mitigation. *Low Carbon Cities: Transforming Urban Systems*. Routledge. New York, 270-281.
- 23- Singh, P. Kikon, N. Verma, P. (2018): Impact Of Land Use Change And Urbanization On Urban Heat Island In Lucknow City, Central India. A Remote Sensing Based Estimate, *Journal Of Sustainable Cities And Society*, 32, 100-114.
- 24- Streutker, D.R. (2002): A Remote Sensing Study Of The Urban Thermal Island Of Houston, Texas. *International Journal Of Remote Sensing*, 23(13), 2595-2608.
- 25- Taleb, H. Taleb, D. (2014): Enhancing The Thermal Comfort On Urban Level In A Desert Area: Case Study Of Dubai, United Arab Emirates. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 253-260.
- 26- Valizadeh Kamran, K. Pirnazar, M. Bansouleh, V.F. (2015): Land Surface Temperature Retrieval From Landsat 8 TIRS: Comparison Between Split Window Algorithm And SEBAL Method. In *Third International Conference On Remote Sensing And Geoinformation Of The Environment* (Pp.953503-953503). International Society For Optics And Photonics.
- 27- Wang, Y. Akbari, H. (2015): Development And Application Of ‘Thermal Radioactive Power For Urban Environmental Evaluation. *Sustainable Cities And Society*, 14, 316-322.
- 28- Weng, Q. Lu, D. (2008): A Sub-Pixel Analysis Of Urbanization Effect On Land Surface Temperature And Its Interplay With Impervious Surface And Vegetation Coverage In Indianapolis, United States. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation*, 10(1), 68-83.
- 29- Wu, L. Zhang, J. (2017): Assessing Population Movement Impacts On Urban Heat Island Of Beijing During The Chinese New Year Holiday: Effects Of Meteorological Conditions, *Journal Of Theoretical And Applied Climatology*, 131, 1203–1210.
- 30- Yue, W. Sun, Zhou. (2019): Impacts Of Urban Configuration On Urban Thermal Island: An Empirical Study In China Mega-Cities. *Science Of The Total Environment*. Elsevier B.V. 671, Pp. 1036–1046. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.421.
- 31- Zhan, Q. Meng, F. Xiao, Y. (2015): Exploring The Relationships Of Between Land Surface Temperature, Ground Coverage Ratio And Building Volume Density In An Urbanized Environment. *The International Archives Of Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 40(7), 255.