

جزیره گرمایی کلان شهر مشهد

مرضیه کارکن سیستانی (کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران)
رضا دوستان (استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، نویسنده مسئول)
doostan@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۲/۲۰

صص ۱۳۸-۱۲۳

چکیده

با رشد شهرنشینی، افزایش جمعیت و تغییر کاربری‌ها در قرن اخیر، دمای شهرها نسبت به حومه افزایش داشته و جزایر حرارتی شهر شکل می‌گیرد. شهر مشهد نیز، یکی از کلان‌شهرهای ایران، این بحران نوین شهرنشینی را تجربه می‌کند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر بانند ۶ سنجنده TM ماهواره لندست، موقعیت جزایر گرمایی شهر مشهد در ۴ سال مختلف (۱۳۷۱-۱۳۹۰) برای تیرماه و مردادماه شناسایی شد. به این منظور، از تصاویر در دسترس ماهواره لندست از مرکز مطالعات زمین‌شناسی آمریکا و داده‌های ساعتی هواشناسی مشهد استفاده شد. با استفاده از روش کین، الگوریتم و مدل مناسب و نیز نقشه حرارتی سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی و جزایر حرارتی شهر مشهد تهیه شد. نتایج نشان داد مکان‌های عاری از پوشش گیاهی و دارای رطوبت پایین با قالب فضاها، فاقد کاربری یا کاربری حمل و نقل از جنس خاک و سنگ مانند منطقه ثامن و منطقه ۱۲ شهری، دمای سطح زمین بالا بوده و جزیره‌های گرمایی شهر را شکل می‌دهند و منطقه پارک ملت، باغ ملک‌آباد و باغ‌های آستان قدس رضوی با شاخص پوشش گیاهی درختزار و رطوبت بالا، محدوده‌های سرد شهر هستند. اولین مرکز تشکیل جزیره گرمایی در طی چهار سال مورد مطالعه به‌خصوص در ۲ سال آخر (۱۳۸۸ و ۱۳۹۰)، منطقه ۱۲ شهری با نبود پوشش گیاهی و کاربری مسکونی با فضای باز خالی است. دومین مرکز جزیره گرمایی در منطقه ۸ شهری به دلیل وجود بزرگراه شهید کلانتری از لحاظ پوشش سطح آسفالت و حجم ترافیک و وجود دو منطقه نظامی با زمین‌های بایر بدون پوشش گیاهی و رطوبت است. بنابراین با گسترش فیزیکی شهر، وسعت و تعداد جزیره‌های گرمایی افزوده می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: دمای سطحی، جزیره گرمایی، کلان‌شهر مشهد، توزیع فضایی.

۱. مقدمه

در قرن اخیر گسترش شهرنشینی، افزایش جمعیت شهرها و فعالیت‌های صنعتی موجب شکل‌گیری خرد اقلیم شهر شده است. برآوردها نشان می‌دهد، بیش از ۴۵ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۳۰ این میزان جمعیت به بیش از ۶۰ درصد می‌رسد (اسمال و میلر^۱، ۱۹۹۹). این افزایش جمعیت موجب توسعه فیزیکی شهر، تغییر بافت درون‌شهری، کاهش زمین زراعی حومه به نفع ساخت‌وساز شهری، خیابان‌کشی و دیگر فعالیت‌های شهری شده است. با تغییر کاربری‌های اراضی و تخریب پوشش گیاهی، دمای سطحی زمین در مناطق شهری نسبت به حومه افزایش داشته و جزیره گرمایی ایجاد می‌شود (موسوی‌بایگی، اشرف، فریدحسینی و میان‌آبادی، ۱۳۹۱، ص. ۳۵). هاوارد برای اولین بار در سال ۱۸۳۳ اصطلاح جزیره گرمایی را مطرح کرد. جزیره گرمایی شهر نتیجه تأثیرات پیچیده فرآیندهای شهری و جزء ریزاقلیم آن بوده و این پدیده موجب شده شهرها را هوای گرم در بر بگیرند؛ چنانکه در طول روز ارتفاع آن به حدود ۱۲۰ متر و در شب به بیش از دو برابر می‌رسد. همچنین جزیره گرمایی موجب تجمع و صعود هوای گرم در مرکز شهر می‌شود (خالدی، ۱۳۷۴، ص. ۱۷۰). این اختلاف دما بین مرکز شهر و حومه گاهی به ۶ تا ۵ درجه سلسیوس می‌رسد و حتی در شب‌های آرام و صاف در شهرهای بزرگ ۶ تا ۸ درجه نیز گزارش می‌شود (باری و چورلی^۲، ۱۹۸۷). بنابراین شدت جزیره گرمایی به شرایط جوی بستگی دارد و در شب‌های آرام (بدون باد) و صاف دارای بیشترین مقدار نسبت به حومه است (کلسیک و

فورتینساک^۳، ۱۹۹۹، ص. ۳۸۸۵؛ مونتسارس و رودریگز^۴، ۲۰۰۰، ص. ۸۹۹) در این ارتباط، به علت اختلاف دما و فشار مرکز شهر و مناطق اطراف، جریان هوایی شکل گرفته و هوای مرکز شهر صعود و در ارتفاع بالاتر از سطح زمین به طرف بیرون و حومه حرکت می‌کند و با سرد شدن، در فضای باز منطقه روستایی حومه نزول می‌کند. هم‌زمان با این جریان، در سطح زمین نیز هوا از مناطق حومه و روستایی به طرف مرکز شهر حرکت می‌کند و در برخی موارد هوای تمیزتر وارد شهر شده، اما عمدتاً کارخانه‌های صنعتی در طول مسیر جریان، هوا را آلوده می‌کنند. همچنین در اواسط روز که دمای بیرون و درون شهر به تعادل تمایل دارند، چرخه هوای بین شهر و روستا ضعیف می‌شود. پژوهش‌های زیادی درباره توسعه شهرنشینی و افزایش دما انجام شد. از آن جمله، به منظور شناخت جزیره گرمایی تهران، تفاوت‌های دمایی تهران با کرج از ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد، شدت و ارتفاع جزیره گرمایی در مرکز شهر تهران نسبت به حومه آن بیشتر است. همچنین جزیره گرمایی شهر در افزایش دمای حداقل نمود بیشتری داشته و در شب، جزیره گرمایی شدت بیشتری دارد؛ چنانکه در روز به واسطه تنوع مصالح ساختمانی و آسفالت‌بودن خیابان‌ها و جذب بالای تابش خورشید، دمای سطوح زمین شهر یافزایش می‌یابد و به واسطه تراکم زیاد ساختمان‌های شهر نسبت به حومه، خروج گرما کند است. در نتیجه، دمای حداقل شهر تهران نسبت به کرج در طی شب و اوایل صبح بالاتر است. علاوه بر پژوهش بالا، اهمیت تغییرات جزیره گرمایی شهر در مقیاس فصلی در واکنش به زاویه تابش خورشید، کیفیت و حالات اتمسفر، ویژگی‌های

دمای سطح زمین نشان می‌دهند؛ زیرا میزان گرمایی آنتروپوژنیک بسیار زیاد است (شکیبا، ضیائیان فیروزآبادی، عاشورلو و نامداری، ۱۳۸۸، ص. ۳۹). با تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست در روز ۵ ژوئیه ۱۹۹۲ و ۱۶ اگوست ۲۰۰۲، جزیره گرمایی شهر مشهد بررسی شد و نتایج نشان داد رشد و توسعه شهری با ایجاد تغییر در پوشش زمین و ضریب زبری سطح، منجر به افزایش تغییرات مکانی دمای تابشی و تشکیل جزیره گرمایی می‌شود (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱، ص. ۳۵). تغییرات مکانی هسته جزیره گرمایی شهر تهران طی ۲۴ روز در سال ۲۰۰۶ و داده‌های هواشناسی ۲۲ ایستگاه حومه تهران، تعیین شد. نتایج نشان داد در طول روزهای مورد مطالعه، دمای محدوده شهری نسبت به حومه افزایش داشته و جزایر گرمایی در محدوده دوشان‌تپه، فاطمی، مهرآباد و بهمن قرار دارند. در بیشتر روزها، ایستگاه‌های آزادی، بهمن و بازار مراکز گرمایی می‌باشند. مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل جزیره گرمایی دو عنصر جهت و سرعت باد است (شمسی‌پور، مهدیان‌ماه‌فروزی و حسین‌پور، ۱۳۹۱، ص. ۱۲۷). درباره جزیره گرمایی شهر تهران، با تحلیل خودهمبستگی فضایی دمای سطحی با تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان داده شد، دمای سطحی تهران دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه‌ای توزیع شده است. بین سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ مقدار خودهمبستگی فضایی افزایش یافته و دما تمایل بیشتری به متمرکز شدن و خوشه‌ای شدن در مکان دارد. خوشه‌های حرارتی جدید در شهر تهران شکل گرفته و وسعت فضایی خوشه‌های حرارتی افزایش دارد (صادقی‌نیا، علیجانی و ضیائیان، ۱۳۹۱، ص. ۱). توزیع مکانی دمای سطح زمین شهر تهران با تصویر سنجنده ETM ارزیابی شد. دمای سطحی شهر، تغییرات و گرادیان دما و شاخص پوشش گیاهی بررسی شد و

سطح و فعالیت‌های شهری در تهران بررسی و بیشترین تفاوت دمای سطحی بین شهر و روستا مربوط به فصل تابستان است. مشاهده شد (افشار، ۱۳۷۹، ص. ۵۶). همچنین، شبیه‌سازی عددی جزیره گرمایی تهران نشان داد، الگوی باد و دمای پیش‌بینی با مقادیر دیدبانی ایستگاه مشابه بوده و با پیش‌بینی میدان دما و باد، امکان پیش‌بینی آلودگی هوای تهران وجود دارد؛ چنانکه با استقرار توده هوای سرد، جزیره گرمایی در نیمه شمالی تهران تشکیل می‌شود، درحالی که با استقرار توده هوای گرم، امکان تشکیل و توسعه جزیره گرمایی در ساعات شب ضعیف‌تر است. همچنین تغییرات آهنگ سرمایش در شب، سبب ایجاد گردش حرارتی و مانع افزایش شدت جزیره گرمایی می‌شود (رنجبر سعادت‌آبادی، آزادی، علی‌اکبری بیدختی، صادقی حسینی، ۱۳۸۵، ص. ۶۳). تغییرات دما و کاربری اراضی شهری و غیرشهری اردکان یزد با داده‌های ماهواره لندست از ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۱ بررسی شد و پژوهش نشان داد تغییری در کیفیت و کمیت پوشش گیاهی و دمای پوشش زمین مناطق غیرشهری مشاهده نشده، ولی در مناطق شهری با تغییر کاربری اراضی طی ۱۲ سال، کمیت پوشش گیاهی به میزان ۳۶/۲ درصد کاهش داشته و کیفیت آن نیز تغییر منفی دارد. بنابراین دمای این مناطق نیز، تحت تأثیر تخریب پوشش گیاهی، با کاهش محدوده حرارتی خیلی خنک و خنک و افزایش محدوده گرم و خیلی گرم تغییر می‌کند (عبداللهی، چراغی و رحیمیان، ۱۳۸۷، ص. ۸۵). همچنین شکیبا (۱۳۸۸، ص. ۳۹) با تصاویر ماهواره جزیره گرمایی شهر تهران نشان داد با افزایش سطوح غیرقابل نفوذ و با ظرفیت حرارتی بالا و صدور حرارت آنتروپوژنیک هوا و سطوح خاکی، دمای تهران افزایش می‌یابد و با افزایش پوشش گیاهی، میزان دما کاهش داشته است. مناطق صنعتی بیشترین رابطه مثبت را با

صاف، وزش ضعیف باد با یک و اچرخند، جزیره گرمایی نسبتاً شدید می شود. طی دوره سی ساله (۱۹۳۱-۱۹۶۰) در شهر لندن، متوسط دمای سالانه شهر ۱۱ درجه سلسیوس، حومه شهر ۱۰/۳ درجه و مناطق روستایی اطراف ۹/۶ درجه تغییر داشته و این تفاوت دمای مرکز نسبت به حومه، جزایر حرارتی لندن را نشان می دهد؛ چنان که جزیره گرمایی شدید بعد از غروب خورشید و با آسمان صاف و آرام، و جزیره گرمایی با باد ۵ تا ۶ متر در ثانیه به خصوص در شب های آرام و طی فصول تابستان و اوایل پاییز نمود بیشتری دارد (باری و چورلی، ۱۹۹۸). وجود جزیره گرمایی شهر پکن چین با مقادیر دمای تابش سطح زمین در تصویر TM ماهواره لندست اثبات شد (ژان، ینگ، جین شینگ، هواینگ و لی^۳، ۲۰۱۰، ص. ۶۷) و شدت بیشتر جزیره گرمایی نیویورک در شب و تحت شرایط استقرار مرکز توده هوای سرد همراه با آسمان صاف و وزش باد ملایم شمال غربی است (جدلزن^۴ و همکاران، ۲۰۰۳، ص. ۲۹). با تحلیل تفاوت دمای هوای شهر ساحلی سن ژوان در پورتوریکو و اطراف آن، جزیره گرمایی این منطقه از ۴۰ سال گذشته با سرعت ۰/۰۶ درجه سلسیوس در سال و در مجموع ۴۰ سال، ۲/۴ درجه سلسیوس افزایش دارد (ولازکو-لوزادا، گونزالز و ویتتر^۵، ۲۰۰۶، ص. ۱۷۳۱)؛ بنابراین در کل مطالعه جزیره گرمایی شهر به شکل سنتی با داده های هوای ایستگاه هواشناسی شهر و حومه یا با داده های سنجش از دور که قدرت تفکیک مکانی بالاتر اما دوره کوتاه و قدرت تفکیک زمانی محدود دارد، انجام می شود. اندازه گیری جزیره گرمایی شهری، به کمک ثبت دمای سطح زمین و با کمک سنجنده های فضایی و هوایی، روشی جدید در چند سال اخیر برای کاهش

نتایج نشان داد حداکثر دما در پهنه شهری متراکم نبوده و برعکس بر روی پهنه کوهستانی بی بی شهربانو و نواحی صنعتی غرب شهر متمرکز هستند و گرادیان دمای سطحی تهران از شمال شرقی به جنوب غربی کاهش دارد (هاشمی، علوی پناه و دیناروندی، ۱۳۹۲، ص. ۸۱). در رابطه با تغییرپذیری فضایی زمانی حرارت مرتبط با کاربری و پوشش زمین در تبریز از داده های TM و ETM ماهواره لندست برای ۳۰ ژوئن ۱۳۸۹، ۱۸ اوت ۱۹۹۸ و ۲ اوت ۲۰۰۱ استفاده شد. نتایج نشان داد بین کاهش توده گیاهی و افزایش حرارت سطح ارتباط مستقیمی وجود دارد و تغییرات کاربری شهر تبریز به نفع شرایط نامطلوب و افزایش دما بوده و محدوده های با کاربری مطلوب و پوشش گیاهی در اثر رشد شهر کاهش دارد (امیری، علی محمدی و علوی پناه، ۱۳۸۶، ص. ۱۰۷). همچنین حرارت سطحی چندین شهر با استفاده از تصاویر حرارتی مادون قرمز با قدرت تفکیک مکانی بالا ارزیابی شد و نتایج حاکی از آن است که بخش های تجاری و کاربری های حمل و نقل شهری در طی روز بالاترین دما را داشته و محدوده های با کاربری استخر آبی، پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی پایین ترین دما را دارند. خانه های مسکونی با ترکیب ساختمان و چمن و درخت، دمای متوسط داشته و برعکس در شب، مناطق تجاری، خدماتی، صنعتی و حمل و نقل کاهش دمای سریع را نشان می دهند (لو^۱، ۱۹۹۷، ص. ۲۵۹). اکه^۲ (۱۹۸۱، ص. ۱)، آسمان صاف و باد ضعیف همراه با پایداری آنتی سیکلونی را عامل تشکیل جزیره گرمایی دانسته و می گوید حداکثر اختلاف دمایی شهرها با حومه در اوایل صبح اتفاق می افتد؛ چنان که اثر جزایر حرارتی بر دما بیش از دیگر پارامترهای اقلیمی بوده و در آسمان

3 Jun, Peng, JinXing, HuaBing & Lei

4 Gedzelman et al.

5 Velazquez, Lozada, Gonzalez & Winter

1 Lo

2 Oke

ضعف روش سنتی است. مطالعه جزیره گرمایی شهری با سنجش از دور، ابتدا با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره پرتابی دهه ۱۹۷۰ تی‌روز^۱، اچ‌سی‌ام‌ام^۲، نوآ^۳ آغاز شد که حامل اولین سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی غیرنظامی بودند. رآو^۴ (۱۹۷۲، ص. ۶۴۷) نشان داد، جزایر گرمایی مناطق شهری با تصاویر مادون قرمز حرارتی قابل شناسایی هستند. با پیشرفت علم و تکنولوژی، هم‌اکنون برای بررسی، تجزیه و روند تغییرات جزیره گرمایی از باند ۶ (باند حرارتی) ماهواره لندست استفاده می‌شود. اهمیت و رشد این مطالعات در جهان به دلیل اهمیت متغیر دمای هوا، یکی از شاخص‌های مهم کیفیت محیط و زندگی بوده و شناخت میزان اثرگذاری نقش کاربری شهری در افزایش دما و شکل‌گیری جزایر حرارتی، بسترساز جهت‌دهی به استراتژی شهر در کنترل و کاهش جزایر حرارتی به‌عنوان اثر منفی رشد روزافزون شهرها به‌خصوص در مناطق گرم می‌باشد. با توجه به گرمای ویژه و هدایت مولکولی مخصوص اجسام و توزیع آن‌ها در شهر، شرایط تابشی و توزیع گرما در سطوح خشکی، پوشش گیاهی و آب‌ها تفاوت دارد؛ لذا با توجه به تنوع کاربری‌ها و جنس مواد تشکیل‌دهنده سطوح مختلف کاربری‌ها در محیط‌های شهری، تابش حرارتی متفاوت و متناسب با هر نوع کاربری وجود خواهد داشت. پدیده جزیره گرمایی تأثیرات مهمی بر اقتصاد شهری، آلودگی هوا، افزایش دمای محیط و مصارف آبی، انرژی، کاهش سلامت روحی و جسمی عمومی و کیفیت زندگی شهروندان در مناطق شهری دارد. در همین راستا و در ادامه پژوهش‌های انجام‌شده درباره شهر مشهد، دومین

کلان‌شهر ایران، با استفاده از تصاویر TM ماهواره لندست، توزیع فضایی جزایر حرارتی تعیین شد تا با شناخت محدوده دمای بالا، راهکار برنامه‌ریزی و مدیریت مناسبی در بالابردن کیفیت هوای شهر و شهر پاک و سالم ارائه کند.

۲. روش شناسی پژوهش

۲.۱. روش پژوهش

برای تعیین جزیره حرارتی مشهد، از ۴ تصویر سنجنده TM از ماهواره لندست (جدول ۱) استفاده شد. این تصاویر در محدوده زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ (۱۳۷۱-۱۳۹۰) برای دوره گرم سال، ژوئن تا آگوست (تیرماه و مردادماه)، از سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد (جدول ۲). علاوه بر تصاویر TM، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مشهد در تصحیح هندسی استفاده و همه تصاویر با سیستم مختصات UTM تطبیق داده شد. در تصحیح تمام تصاویر، خطای RMS کمتر از ۰/۵ حاصل شد. برای محاسبه پارامترهای مربوط به استخراج دمای سطح زمین، رطوبت و دمای ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده شد و نقشه دمای سطحی در روزهای مختلف تهیه و تحلیل شد. مراحل تهیه تصویر حرارتی شهر در زیر اشاره گردید. به‌منظور درک و تعیین بهتر جزایر گرمایی و تغییرات مکانی این پدیده، نیم‌رخ دمایی شمال غربی-جنوب شرقی و شمال شرق-جنوب غربی تصاویر تهیه شد. این نیم‌رخ، تغییرات دما در سطح شهر را نشان داده و مکان‌های با حداقل و حداکثر دمای سطحی مشخص شدند.

1 Television Infrared Observation Satellite(TIROS)

2 Heat Capacity Mapping Mission(HCMM)

3 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

4Rao

جدول ۱. زمان محلی و گرینویچ تهیه تصاویر توسط ماهواره

تصاویر	روز	ماه	سال	روز	ماه	سال	زمان عبور (گرینویچ)	زمان عبور (محلی)
اول	۲۵	جولای	۱۹۹۲	۳	مرداد	۱۳۷۱	۶:۳۰ صبح	۱۰:۳۰ صبح
دوم	۲۳	جولای	۲۰۰۰	۲	مرداد	۱۳۷۹	۶:۳۰ صبح	۱۰:۳۰ صبح
سوم	۱۶	جولای	۲۰۰۹	۲۵	تیر	۱۳۸۸	۶:۳۰ صبح	۱۰:۳۰ صبح
چهارم	۷	آگوست	۲۰۱۱	۱۶	مرداد	۱۳۹۰	۶:۳۰ صبح	۱۰:۳۰ صبح

۲.۲. شاخص های پژوهش

با توجه به تفکیک بالای مکانی تصاویر ماهواره لندست در برنامه ریزی منطقه ای و محیط های شهری، تصاویر بانده ۶ (باند حرارتی، محدوده طیفی ۱۰/۴ تا ۱۲/۵ میکرومتر) سنجنده TM برای استخراج دمای سطحی استفاده می شود (جدول ۱). استخراج دمای سطح زمین با روش الگوریتم تک بانده با سه پارامتر شامل قابلیت عبوردهندگی جو، میانگین دمای مؤثر جو و گسیل مندی سطحی تهیه شد (کین، کارنیلی و برلینر، ۲۰۰۱، ص. ۳۷۱۹). برای محاسبه پارامتر اول و دوم (قابلیت عبوردهندگی جو و میانگین دمای مؤثر جو)، دو پارامتر هواشناسی دمای هوای نزدیک سطح زمین و مقدار بخار

آب جو هم زمان با عبور ماهواره از روی منطقه مطالعه (ساعت ۶:۳۰ دقیقه صبح به وقت گرینویچ و ساعت ۱۰:۴۵ دقیقه صبح به وقت مشهد) استفاده شد. این داده ها از اداره هواشناسی مشهد تهیه و با استفاده از آن ها دمای مؤثر جو و قابلیت عبوردهندگی جو محاسبه شد. سومین پارامتر مورد نیاز گسیل مندی است که برای محاسبه آن، شاخص پوشش گیاهی و دیگر پارامترهای مورد نیاز از فایل موجود در داده های تصاویر TM محاسبه شد. جزئیات مدل استخراج دما به شرح زیر است (صادقی نیا، علیجانی و ضیائی، ۱۳۹۱، ص. ۱).

جدول ۲. ویژگی باندهای ماهواره لندست

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
محدوده طیفی	۰/۵۲-۰/۴۵	۰/۶۰-۰/۵۲	۰/۶۹-۰/۶۳	۰/۹۰-۰/۷۶	۱/۷۵-۱/۵۵	۱۲/۵-۱۰/۴۰	۲/۳۵-۲/۰۸
تفکیک مکانی (متر)	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۲۰	۳۰

- تبدیل اعداد رقمی^۱ به رادیانس طیفی

به منظور تبدیل اعداد رقمی به رادیانس طیفی از رابطه زیر استفاده شد (لیو و زهانگ، ۲۰۱۱، ص. ۱۵۳۵):
رابطه ۱.

$$L_{\lambda} = L_{min} + \left[\frac{(L_{max} - L_{min})Qcal}{(Qcal_{max} - Qcal_{min})} \right]$$

در این رابطه: $(Qcal_{min} = 1)$; $(Qcal_{max} = 15.303)$; $(Qcal = DN)$; $(L_{min} = 1.238)$ می باشد.

L_{min} = حداقل رادیانس طیفی، L_{max} = حداکثر رادیانس، $Qcal_{max}$ = حداکثر عدد پیکسل، $Qcal_{min}$ = حداقل عدد

- تبدیل رادیانس طیفی (L) به دمای درخشندگی (دمای مؤثر در سنجنده: BT) بر حسب کلونین:
رابطه ۲.

$$BT = \frac{K_2}{\left\{ L_n \left[\frac{K_1}{L} + 1 \right] \right\}}$$

BT = دمای مؤثر در سنجنده بر حسب کلونین، K_2

ثابت کالیبراسیون دوم (ثابت تصحیح دوم): ۱۲۶۰/۵۶

رابطه ۵.

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2, NDVI_{max} = 0.5$$

$$, NDVI_{min} = 0.2$$

$d\varepsilon =$ اثر توزیع هندسی سطوح طبیعی و همچنین

انعکاس درونی آن‌ها را نشان می‌دهد. برای سطوح هموار این ترم قابل اغماض است، اما برای سطوح ناهمگن و همچنین سطوح ناهموار به صورت تقریبی با استفاده از رابطه ۶ به دست می‌آید:

رابطه ۶.

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - P_v)F\varepsilon_v$$

$F =$ ضریب شکل است که مقدار میانگین آن با فرض

توزیع هندسی متفاوت سطوح ۰/۵۵ است.

- محاسبه قابلیت عبوردهندگی جو

برای تخمین قابلیت عبوردهندگی جو از مقدار بخار آب استفاده شد.

۱- محاسبه بخار آب: به منظور محاسبه بخار آب از

رابطه ۷ استفاده شد.

رابطه ۷.

$$W_i = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1697$$

در رابطه بالا، W_i : مقدار بخار آب، T_0 : (g/cm²)

دمای هوای نزدیک سطح زمین (کلوین) و RH مقدار

رطوبت نسبی است. در مورد پارامترهای دمای هوای

نزدیک سطح زمین و رطوبت نسبی از سازمان اقلیم‌شناسی

مشهد استفاده شد. برای محاسبه قابلیت عبوردهندگی جو

با توجه به زمان سال و مقدار بخار آب (W_i) از روابط

موجود در جدول ۳ استفاده شد.

کلوین، $K_1 =$ ثابت کالیبراسیون اول (ثابت تصحیح اول):

$$L = W m^{-2} \text{ بر حسب } 607/76 \text{ بر حسب } (W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$$

- محاسبه گسیل مندی (توان تشعشعی سطح زمین)

گسیل مندی را می‌توان با استفاده از شاخص تراکم پوشش گیاهی^۱ برآورد کرد. در این شاخص از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک تصاویر TM استفاده می‌شود. رابطه ۳.

$$NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3}$$

در این روش از آستانه‌گذاری شاخص پوشش گیاهی

استفاده شد:

۱- $(NDVI < 0/2)$: در این مورد پیکسل مربوط

است به خاک خشک و میزان گسیل مندی آن از

ارزش‌های انعکاسی ناحیه قرمز طیف به دست می‌آید.

مقدار گسیل مندی خاک براساس آنالیز کتابخانه‌ای

نمونه‌های خاک به دست آمده است. مقدار میانگین آن

برای باند حرارتی لندست ۰/۹۷ است.

۲- $(0/5 < NDVI)$: پیکسل‌های با ارزش شاخص

پوشش گیاهی بزرگ‌تر از ۰/۵ مناطق با پوشش گیاهی

کامل را نشان می‌دهد و مقدار ثابت گسیل مندی آن‌ها

۰/۹۹ تخمین زده شده است.

۳- $(0/2 \leq NDVI \leq 0/5)$: در این مورد پیکسل

ترکیبی از پدیده‌های مختلف است و مقدار گسیل مندی با

استفاده از رابطه (۳-۴) محاسبه شده است:

رابطه ۴.

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon$$

ε_v : گسیل مندی پوشش گیاهی: ۰/۹۹، ε_s :

گسیل مندی خاک: ۰/۹۷، P_v : درصد پوشش گیاهی که با

استفاده از رابطه ۴ به دست آمد.

جدول ۳. روابط مربوط به برآورد قابلیت عبوردهندگی جو

شرایط دمایی	مقدار بخار آب (w_i) (g/cm^2)	معادله‌ی برآورد عبوردهندگی جو (τ_6)
دمای هوا بالا باشد	۰/۴-۱/۶	$0.974290 - 0.08007 \times w_i$
	۱/۶-۳	$1.031412 - 0.11536 \times w_i$
دمای هوا پایین باشد	۰/۴-۱/۶	$0.982007 - 0.09611 \times w_i$
	۱/۶-۳	$1.053710 - 0.14142 \times w_i$

می‌باشند. پس از طبقه‌بندی براساس انحراف معیار، دمای سطح زمین و پوشش گیاهی به کلاس‌های مشخص تقسیم‌بندی شدند. برای هر تاریخ جدول‌ها و نمودارهای تفکیک‌شده‌ای ترسیم شد.

۲.۳. قلمرو جغرافیایی پژوهش

شهر مشهد، با نام تاریخی طوس و سناباد در شمال شرقی ایران، بزرگ‌ترین شهر ایران بعد از تهران است که در دره کشف‌رود بین رشته‌کوه‌های بینالود در جنوب و هزارمسجد در شمال قرار دارد. برآوردها نشان می‌دهد، جمعیت شهر مشهد بالغ بر ۳ میلیون نفر بوده و علاوه بر این، هرساله گردشگران زیارتی تفریحی زیادی به این شهر وارد شده و جمعیت آن را افزایش داده و شناور می‌سازد. با افزایش جمعیت ساکن و متحرک (غیرساکن)، کاربری‌ها مختلف نیز تغییر کرده و جایگزین آن کاربری‌های صنعتی، مسکونی، تجاری و اسکان موقت (هتل آپارتمان) با افزایش کاربری حمل‌ونقل درون‌شهری و برون‌شهری می‌باشد. با تغییر فرم و الگوی شهر مشهد، مخاطرات نوین شهری از جمله آلودگی هوا، گرمایش شهری و جزایر گرمایی افزوده شده است.

- محاسبه میانگین دمای مؤثر جو

برای محاسبه میانگین دمای مؤثر جو، کین و همکارانش (۲۰۰۱) رابطه‌های مندرج در جدول ۳ را ارائه کرده‌اند. با توجه به موقعیت جغرافیایی شهر مشهد از رابطه ۸ استفاده شد:

رابطه ۸.

$$T_a = 17.9769 + 0.91715 \times T_0$$

در رابطه بالا T_a میانگین دمای مؤثر جو و T_0 دمای

هوای نزدیک سطح زمین (کلوین) است.

- استخراج نهایی دمای سطح زمین

برای حل معادله تک‌بندی کین و همکارانش (۲۰۰۱) سه پارامتر مورد نیاز بود که نحوه محاسبه آن‌ها در بالا تشریح شد. در پایان با داشتن پارامترهای ذکرشده از رابطه ۹ به دست آمد:

رابطه ۹.

$$T_s = \{a(1 - C - D)[b(1 - C - D) + C + D]\tau_i - DT_a\}/C$$

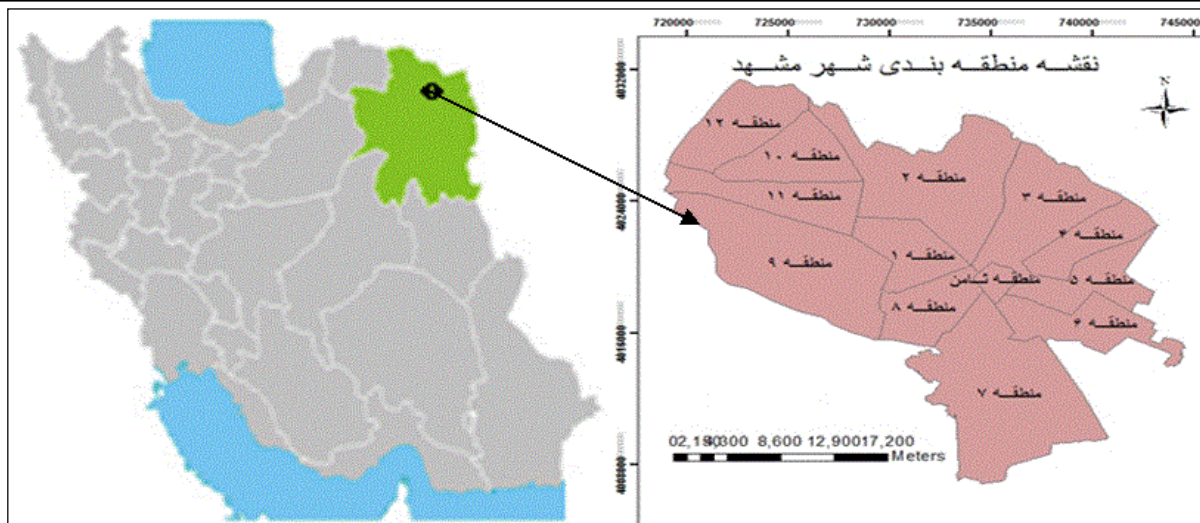
در این رابطه: $a = -67.355351$ ؛ $b =$

$$D = (1 - \tau_i)[1 + \quad ; C = \varepsilon_i \times \tau_i ; 0.458606$$

؛ T_s : دمای سطح زمین، T_i دمای مؤثر در

اتمسفر (دمای درخشندگی)، T_a میانگین دمای مؤثر جو،

τ_i قابلیت عبوردهندگی جو و ε_i میزان گسیل‌مندی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مشهد و مناطق شهری

۳. یافته های پژوهش

۳.۱. توزیع فضایی دمای سطحی

سال ۱۳۸۳ این مکان دارای زمین های بایر و فضای خالی با کاربری خاک و سنگلاخ با توان جذب بالای تابش و بالارفتن دمای سطح زمین می باشد. در جنوب منطقه ۱۰ نیز با توجه به بایر بودن منطقه، دمای سطح زمین بالا بود. در جنوب منطقه ۸ و جنوب غربی منطقه ۷ نیز به دلایل بالا دارای بیشینه دمای سطحی هستند. در حالی که دماهای پایین، ۲۶ تا ۳۴ درجه، بر روی دو محدوده در منطقه ۲ و ۹ شهرداری هستند که وجود باغ ها، فضای سبز، منازل با حیاط سبز و تراکم جمعیتی کم، شروع نشدن ساخت و سازهای شهری و انبوه سازی موجب پایین بودن دمای سطحی این مناطق است. دمای سطح زمین در ۱۶ جولای ۲۰۰۹ برابر با ۲۵ تیرماه ۱۳۸۸ به ترتیب بین حداقل و حداکثر ۲۶ و ۵۷ درجه سلسیوس با تفاوت دمایی ۳۱ درجه سلسیوس است؛ بنابراین شرایط دمایی مشابه اوایل دهه ۷۰ است، منطقه ۱۲ و جنوب مناطق ۷، ۸، ۹ و ۱۰ شهری، به ترتیب بیشترین دمای سطحی در بین دیگر مناطق (دما ۵۲ تا ۶۲ درجه سلسیوس) را نشان می دهند. در این سال که با گسترش شهرنشینی در قسمت شمال غرب شهر مشهد در منطقه ۱۲ یعنی قاسم آباد (شهرک غرب) هم زمان شده بود، ساختمان های متراکم و ازدحام جمعیت و همچنین خروجی این منطقه به سمت شهرهای شمالی و شهرک صنعتی مشهد موجب افزایش دما شده است؛ چراکه سطوح آسفالت و مزارع و باغ ها به نفع ساخت و سازهای شهری

دمای سطح زمین در چهار سال مختلف از دهه ۷۰ تا ۹۰ شمسی حاکی است (شکل ۱) که جزایر حرارتی در روز ۲۵ جولای ۱۹۹۲ برابر با سوم مردادماه ۱۳۷۱ به ترتیب از غرب به شرق شهر بر روی منطقه ۱۲، ۱۰، ۹، ۲ و منطقه ۸ مشاهده می شوند. در بخش عمده ای از منطقه ۱۲ شهری، شمال غربی و جنوب منطقه ۱۰ (حاشیه بزرگراه امام علی)، شمال منطقه ۲ و جنوب منطقه ۸ (شهرداری منطقه ۸ و ترمینال مسافری) و بخش هایی از منطقه ۹ با کاربری نظامی و زمین های بایر، بالاترین دمای سطحی یعنی ۵۵-۵۹ درجه سلسیوس را تجربه می کنند. در همین زمان، پایین ترین دما در باغ ها و فضاهای سبز داخل شهر از جمله باغ ملک آباد، باغ های اطراف میدان فردوسی، باغ های جنگلی ورودی جنوب شرقی مشهد و زمین های کشاورزی در حاشیه شمال و شرق شهر است که کمتر از ۴۰ درجه سلسیوس دمای سطحی را نشان می دهند. حداقل و حداکثر دمای سطحی به ترتیب ۲۸ و ۵۹ درجه و نوسان دمای سطحی شهر، ۳۱ است. در ۲۳ جولای ۲۰۰۳ برابر با دوم تیرماه ۱۳۷۹، چند جزیره گرمایی، در سطح شهر مشهد مشاهده شد. بخش وسیعی از منطقه ۱۲ در شمال غرب شهر مشهد دمای سطحی بسیار بالایی (۵۶-۵۲ درجه سانتیگراد) دارد که با توجه به تأسیس شهرداری منطقه در

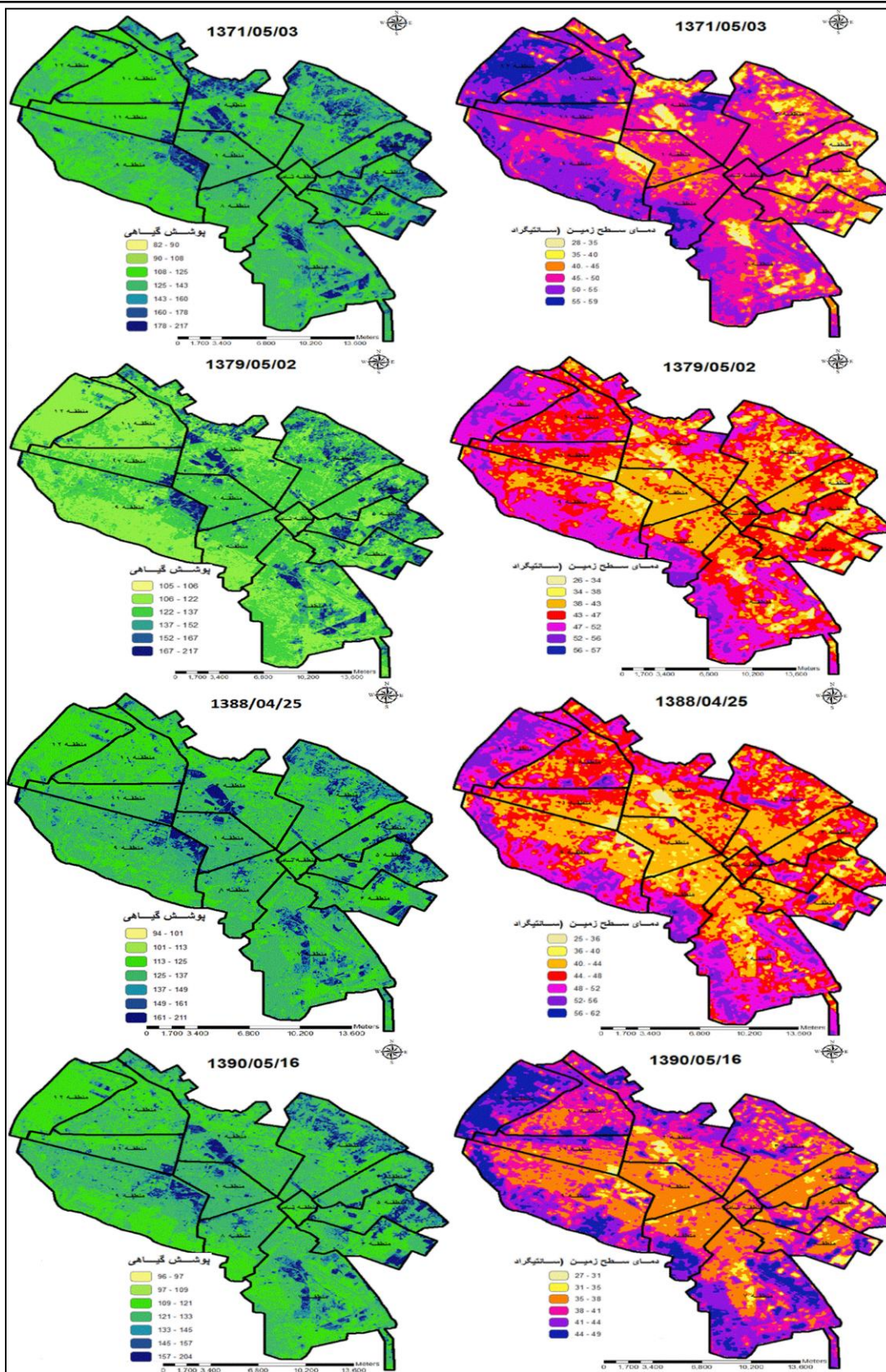
میدان امام علی، منطقه وسیع بیابانی و خشک به دلیل نبود پوشش گیاهی و وجود بزرگراه امام علی، کمربندی شمالی مشهد، دمای سطح زمین افزایش دارد. وجود بزرگراه شهید کلاتری، کمربندی جنوبی مشهد، به دلیل وجود حجم زیاد ترافیک و همچنین احاطه شدن در بین دو منطقه نظامی با فراوانی زمین بایر در جنوب منطقه ۸ موجب بالا بودن دمای سطحی آن می باشد. با استقرار پایانه مسافری مشهد در شمال غرب منطقه ۷ و وجود مناطق پرتراфик و پُر رفت و آمد سیدی و ادامه بزرگراه شهید کلاتری به سمت جنوب مشهد، افزایش دمای سطحی را تجربه می کنند. وجود فرودگاه بین المللی هاشمی نژاد با زمین های بایر و خالی از پوشش گیاهی در شرق و شمال شرق منطقه ۷، موجب بالا رفتن دما تا ۴۹ درجه می شود. همچنین در جنوب منطقه ۵، زمین های موقوفه اداره اوقاف مشهد قرار دارد که به دلیل بایر بودن، دما افزایش نشان می دهد. در منتهی الیه جنوب منطقه ۱۱ پارک بزرگ ملت، با داشتن درختان همیشه سبز و استخر، دما در این منطقه پایین آمده و بین ۲۷ تا ۳۱ درجه سلسیوس است. اراضی آستان قدس در اطراف بولوار خیام شمالی و همچنین پارک پردیس در قسمت بولوار طوس در مرکز و غرب منطقه ۲ و پارک جنگلی طرق به طور وسیع در اطراف جاده ستو در منطقه ۷، دمای پایین دارند. همچنین، همان طور که جدول ۴ نشان می دهد، از نظر شرایط دمایی و فشار و ساعت آفتابی، تفاوت چندانی بین روزها نیست، اما رطوبت در ۱۶ جولای ۲۰۰۹ به ۱۶ درصد کاهش یافته که این شرایط موجب افزایش دمای سطحی و دمای هوا به ترتیب به ۶۲ و ۳۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره قبل در شهر مشهد شده است (جدول ۴).

تخریب می شد. دمای سطحی جنوب منطقه ۱۰ شهری، امامیه و شریعتی در منطقه قاسم آباد با کاربری جاده، تراکم منازل مسکونی و مرکز تجاری با حجم بالای ترافیک، بالا است. در ادامه، مناطق ۷، ۸ و ۹ شهری نیز به دلیل گسترش ساخت و سازهای شهری از فضای سبز و پوشش گیاهی آن ها کاسته شده و به موجب آن دمای سطح زمین بین ۵۲ تا ۵۶ درجه سانتیگراد را نشان می دهد. برای مثال، در منطقه ۹ با از بین بردن کوهپایه و باغ ها و زمین های کشاورزی و تبدیل آن ها به مناطق مسکونی و آپارتمان های پُر جمعیت و مناطق تجاری باعث به وجود آمدن شرایط دمای سطحی بالا شده و در مرکز منطقه ۲ نیز به دلیل وجود باغ های آستان قدس رضوی، بین میدان فردوسی و چهارراه خیام، حداقل دمای سطحی (۲۵ تا ۳۶ درجه) مشاهده شد. وجود پارک ملت در جنوب منطقه ۱۱ و پارک کوهسنگی در شمال شرق منطقه ۹ از دمای سطحی پایین حکایت دارد. دمای سطح زمین ۱۷ آگوست ۲۰۱۱ برابر با ۱۶ مردادماه ۱۳۹۰ در بخش عمده منطقه ۱۲ و جنوب مناطق ۷، ۸، ۹ و ۱۰ شهری مشهد ۴۱-۴۹ درجه سلسیوس است. در مرکز منطقه ۲، جنوب شرقی منطقه ۱۱ و شمال شرقی منطقه ۹ کمترین دمای سطحی یعنی ۲۷ تا ۳۱ درجه سلسیوس و در منطقه ۱۲ به دلیل گسترش شهرک غرب (قاسم آباد) و ساکن شدن جمعیتی زیاد در این منطقه و وجود زمین های بایر و بدون پوشش گیاهی موجب بالا رفتن دمای سطح زمین بین ۴۴ تا ۴۹ درجه سلسیوس شده است. همچنین در جنوب منطقه ۹، محدوده شهید فکوری و بولوار پیروزی، از بین بردن برخی زمین های بایر و تبدیل آن ها به مناطق مسکونی و وجود دیگر زمین ها در این منطقه موجب بالا رفتن دمای سطح زمین شده است. در جنوب منطقه ۱۰، حداقل بین میدان قائم و

جدول ۴. ویژگی های جوّی در ساعت گذر ماهواره در ایستگاه سینوپتیک مشهد

مأخذ: اداره هواشناسی مشهد

روز	ماه	سال	دمای خشک	دمای تر	رطوبت	جهت باد	سرعت باد (نات)	فشار	ساعت آفتابی
۲۵	جولای	۱۹۹۲	۳۰/۶	۲۰/۶	۳۸	۳۳۰	۶	۱۰۰۲/۲	۱۲/۸
۲۳	جولای	۲۰۰۰	۲۹/۲	۱۸	۳۱	۳۳۰	۸	۱۰۰۶/۴	۱۲/۴
۱۶	جولای	۲۰۰۹	۳۲/۸	۱۷	۱۶	۳۰	۴	۱۰۰۲	۱۲/۷
۷	آگوست	۲۰۱۱	۳۴/۸	۲۰/۳	۲۴	۶۰	۴	۱۰۰۱/۷	۱۲



شکل ۲. نقشه دمای سطح زمین و پوشش گیاهی به تفکیک روز

ملک‌آباد)، مرکز و جنوب منطقه ۲ با باغ‌های آستان قدس، شرق و جنوب شرق شهر با کاربری زمین کشاورزی و باغ، شاخص پوشش گیاهی بالا است؛ بنابراین پوشش گیاهی دهه ۸۰ نسبت به دهه ۷۰ کاسته شده و مناطقی مانند باغ ملک‌آباد، باغ‌های آستان قدس در اطراف میدان فردوسی و مناطق با رشد فیزیکی بالا در مناطق شهری ۱۰، ۱۱ و ۱۲ کاهش دارد. رشد و توسعه فیزیکی شهر مشهد در اوایل دهه ۹۰، شاخص پوشش گیاهی در شهر مشهد را، خصوصاً در مناطق اطراف شهر، کاهش داده است؛ چنانکه بیشینه تراکم پوشش گیاهی در باغ‌های قدیمی، پارک‌ها و بوستان‌ها در شمال شرق منطقه ۹، جنوب منطقه ۱۱، مرکز و غرب منطقه ۲ و جنوب منطقه ۶ می‌باشند. وجود باغ‌های آستان قدس رضوی در اطراف بولوار خیام شمالی در مرکز منطقه ۲ و باغ‌های امام‌رضا(ع) و پارک پردیس در اطراف میدان شهید فهمیده، دارای پوشش گیاهی مناسب هستند. وجود پارک ملت در جنوب منطقه ۱۱ و وجود باغ ملک‌آباد در شمال شرق منطقه ۹ و وجود مزرعه نمونه آستان قدس جنوب منطقه ۶، پوشش گیاهی متراکم را نشان می‌دهند.

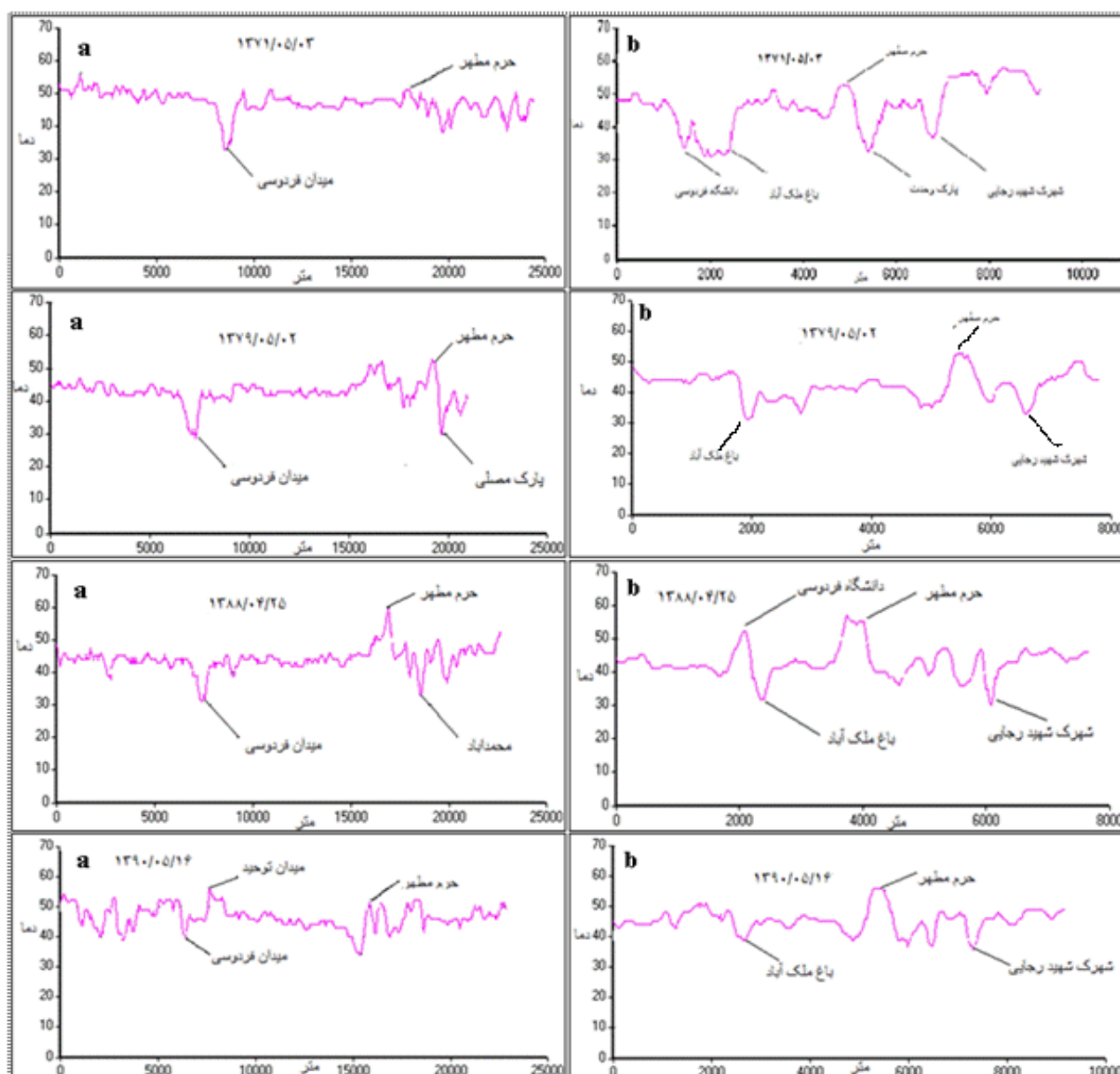
۲.۳. تغییرات مکانی جزیره گرمایی

تغییرات و روند فضایی دما در شهر مشهد نشان داد (شکل ۳) روند دمایی از شمال غربی به جنوب شرقی (a) در مردادماه ۱۳۷۱ افزایش داشته (۵۰ درجه سلسیوس) و در مناطقی مانند میدان فردوسی با پوشش گیاهی و باغ‌های آستان قدس دما کاهش می‌یابد و دوباره روند دمای سطحی افزایش نشان می‌دهد؛ به طوری که در منطقه حرم رضوی نوسان مثبت دما مشاهده شد. همچنین روند جنوب غربی به شمال شرقی شهر مشهد حاکی است (b) ابتدا دما افزایش داشته و مقادیر ۴۸ درجه سلسیوس را نشان داده، اما در منطقه دانشگاه

توزیع پوشش گیاهی ۲۵ تیرماه ۱۳۷۱ در روزهای مورد مطالعه (شکل ۲) نشان داد که شمال شرق منطقه ۹، مرکز و جنوب منطقه ۲ و بخشی از شرق و جنوب شرق شهر مشهد با شاخص پوشش گیاهی چشمگیری است. شمال شرقی منطقه ۹، با داشتن باغ ملک‌آباد، باغ‌های آستان قدس رضوی، تالارهای پذیرایی با فضای سبز و زمین‌های زراعی در جنوب و شمال منطقه ۲، پارک‌های جنگلی با پوشش درختان کاج در ورودی شهر از جنوب شرقی در منطقه ۷ و زمین‌های زراعی و وجود اراضی صیفی‌کاری در مناطق شرقی شهر، پوشش گیاهی مناسبی دارند. همچنین بخش‌هایی از منطقه ۱۲ پوشش گیاهی مشاهده می‌شود. پوشش گیاهی و وجود سبزینه در این مناطق در ارتباط با سایه‌داربودن و فرآیند تبخیر و تعرق، موجب کاهش دمای سطحی و ایجاد مناطق سرد شهر می‌شوند. در ادامه، با توسعه فیزیکی شهر و تغییر کاربری‌های شهری بعد از ۸ سال، پوشش گیاهی مردادماه ۱۳۷۹ حاکی از آن است که پوشش گیاهی در شهر مشهد کاهش یافته است؛ شمال شرق منطقه ۹، جنوب منطقه ۱۱، مرکز و غرب منطقه ۲ و جنوب منطقه ۶ دارای تراکم مسکونی و کاهش پوشش گیاهی است. شاخص پوشش گیاهی دوره گرم با باغ‌های آستان قدس در منطقه ۲، باغ‌های امام‌رضا(ع) و پارک پردیس در اطراف میدان شهید فهمیده نسبت به اطراف بیشتر است. در جنوب منطقه ۱۱ وجود پارک ملت و در شمال شرق منطقه ۹ وجود باغ ملک‌آباد و در جنوب منطقه ۶ وجود مزرعه نمونه آستان قدس پوشش گیاهی متراکم مشاهده شد. پوشش گیاهی اواخر دهه ۷۰ نسبت به اوایل دهه کاهش داشته و عمدتاً در مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ و مناطق شرقی شهر به دلیل توسعه فیزیکی از تراکم پوشش گیاهی کاسته شده است. همچنین پوشش گیاهی ۲۵ تیرماه ۱۳۸۸ (شکل ۲) نشان می‌دهد، شمال شرق منطقه ۹ (باغ

منطقه ثامن با نوسان بیشتر دمایی، حداقل دما در منطقه محمدآباد با ۳۷ درجه سلسیوس است. در همین زمان، نیم‌رخ دمایی جنوب غربی به شمال شرقی شهر (b) نشان می‌دهد روند دمایی از ۴۳ درجه سلسیوس شروع شده و در دانشگاه فردوسی دما افزایش را نشان می‌دهد و در کنار آن در باغ ملک‌آباد دما کاهش می‌یابد. دوباره دما روندی افزایشی داشته و در حرم رضوی به بیشترین مقدار دمای سطحی، یعنی ۶۰ درجه سلسیوس می‌رسد. بعد از حرم، دوباره دما کاهش داشته و در شهرک شهید رجایی کاهش را نشان می‌دهد و دما ۳۲ درجه سلسیوس است. نیم‌رخ دمایی جنوب غربی به شمال شرقی (a) مردادماه ۱۳۹۰ نشان داد دمای سطحی افزایش یافته و از ۵۲ درجه سلسیوس شروع شده و با نوسان بالا تا میدان فردوسی دمای سطحی کاهش می‌یابد و دوباره در میدان توحید دمای سطحی افزایش داشته و نوسان‌های کوتاه تا حرم رضوی افزایش را نشان می‌دهند. دوباره نوسان دما نشان از تغییرات دما در کاربری‌های مختلف دارد. همچنین روند دمایی از جنوب شرقی به شمال شرقی نشان داد (b) دمای سطحی از ۴۳ درجه سلسیوس شروع شده و افزایش یافته و در باغ ملک‌آباد دما کاهش می‌یابد؛ اما باغ ملک‌آباد نیز دمای ۴۰ درجه را نشان می‌دهد و نشان از تغییر کاربری و کاهش پوشش گیاهی در این مکان دارد. بعد از آن در روند افزایش دما، منطقه رضوی به نزدیک ۶۰ درجه سلسیوس می‌رسد و بعد از آن با کاهش دما، دمای سطحی در شهرک شهید رجایی (مزرعه نمونه) کاهش را نشان می‌دهد.

فردوسی و باغ ملک‌آباد، دما کاهش داشته و به ۳۰ درجه سلسیوس می‌رسد. منطقه رضوی با وجود کاربری سنگ‌فرش، ازدحام جمعیت و ترافیک بالا، دما بیش از ۵۰ درجه سلسیوس است و پارک وحدت و شهرک شهید رجایی (محدوده بین قبرستان گلشور و میدان عباس‌پور) با زمین صیفی‌کاری و کاشت سبزیجات با پوشش فضای سبز روند کاهش دما اتفاق می‌افتد. در ادامه، نیم‌رخ دمایی مردادماه ۱۳۷۹ حاکی از آن است که روند دما در این زمان، از ۴۵ درجه سلسیوس شروع و در منطقه فردوسی به ۳۰ درجه سلسیوس کاهش می‌یابد، بعد دما روند افزایشی داشته و در حرم رضوی، بیشترین دما، بالای ۵۰ درجه را نشان می‌دهد و دوباره دما در پارک مصلی کاهش می‌یابد. همچنین تغییرات دمای نیم‌رخ جنوب غربی به شمال شرقی نشان می‌دهد دمای سطحی با ۴۸ درجه شروع و در منطقه دانشگاه فردوسی و باغ ملک‌آباد به ۳۰ درجه سلسیوس کاهش یافته و دوباره روند افزایشی مشاهده می‌شود و بیشترین مقدار را حرم رضوی با دمای سطحی ۵۰ درجه سلسیوس تجربه می‌کند. بعد از آن، در منطقه پارک وحدت کاهش دما مشاهده می‌شود. در ادامه توسعه و رشد فیزیکی شهر مشهد، در تیرماه ۱۳۸۸ (a) نیم‌رخ دمای شمال غربی به جنوب شرقی نشان می‌دهد دمای سطحی از ۴۵ درجه شروع و با نوسان‌های دمایی کوچک تا باغ‌های آستان قدس در اطراف میدان فردوسی، دما کاهش یافته و ۳۱ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در ادامه، روند دما افزایشی با نوسان کوتاه است و در منطقه ثامن به بیشترین دمای سطحی یعنی ۶۰ درجه می‌رسد. بعد از



شکل ۳. روند تغییرات دما: a: شمال غربی-جنوب شرقی، b: جنوب غربی-شمال شرقی

هستند. بنابراین مکان‌های عاری از پوشش گیاهی و رطوبت با ساختمان‌های وسیع و جنس زمین از نوع سنگ و یا خاک بدون رطوبت، به دلیل جذب بیشتر تابش خورشید، بالاترین دمای سطحی را دارند. منطقه ۱۲ منطقه ۱۲ جزء مناطق با دمای سطحی بالا هستند؛ منطقه ۱۲ ثامن با سنگ‌فرش و ساختمان‌های متعدد و منطقه ۱۲ با ساخت‌وسازهای متراکم، خیابان آسفالتی، حجم بالای ترافیک به دلیل خروجی شهر به سمت شهرک صنعتی

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

دمای سطحی شهر مشهد با توسعه فیزیکی و رشد شهرنشینی در طی دوره مطالعه افزایش داشته و خصوصاً در اواخر دهه ۸۰ و ۹۰ شمسی این افزایش دما بیشتر است. به طور کلی مناطق با دمای بیشینه و جزایر حرارتی شهر مشهد در مناطق با کاربری کم‌پوشش گیاهی و غالباً با پوشش زمین بایر، ارتفاعات و فضای باز خالی، راه‌آهن، فرودگاه، صنایع درون‌شهری و بزرگراه درون‌شهری

هرچند در دو سال آخر، یعنی ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰، در باغ‌ها مخصوصاً باغ ملک‌آباد و آستان قدس محدوده‌های با دمای بالا شکل گرفته که این نشان از تغییر کاربری و کاهش پوشش گیاهی در این فضاها می‌باشد. همچنین مشاهده شد که نقش عوامل جوی در تعیین جزایر حرارتی شهر و دمای سطحی مناطق مختلف اهمیت زیادی دارد؛ چراکه با شرایط جوی پایدار و آفتابی و نبود باد تعیین این محدوده‌ها با جذب بالای سطحی دقیق و صحیح بوده و برعکس آن تعیین این محدوده‌ها و اختلاف دمای کاربری‌های مختلف واقعی نمی‌باشد. بنابراین ضروری است پژوهشگر قبل از تصمیم برای تعیین این محدوده‌ها در مناطق مختلف، شرایط جوی ساعتی در زمان عبور ماهواره را بررسی کند. در ارتباط با توسعه فیزیکی شهر مشهد، افزایش دمای سطحی شهر مشهد و تشکیل جزایر حرارتی روند افزایشی دارد و ضروری است برای کاهش این پدیده از روش‌های مدیریتی و معمول در دیگر نقاط استفاده شود.

مشهد، ازدحام جمعیت و وجود زمین‌های بایر بدون پوشش گیاهی و رطوبت، موجب افزایش دما و تشکیل جزیره گرمایی می‌شوند. منطقه دوازده شهری به دلیل سطحی با جذب بالا و کاهش پوشش گیاهی، مرکز تشکیل جزیره گرمایی در طی چهار سال مورد مطالعه، به‌خصوص دو سال آخر (۱۳۸۸ و ۱۳۹۰)، است. دومین محدوده تشکیل جزیره گرمایی مربوط به منطقه ۸ شهری است، به دلیل وجود بزرگراه شهید کلانتری و پوشش سطح آسفالت و حجم ترافیک و وجود دو منطقه نظامی با زمین‌های بایر بدون پوشش گیاهی و فاقد رطوبت. همچنین نتایج نشان داد جزایر گرمایی حاشیه شهر مشهد غالباً در جنوب شهر به دلیل وجود زمین‌های بایر، ارتفاعات و نبود رطوبت در مقایسه با نواحی مرکزی، تمرکز و توسعه فضایی بیشتر دارند. از طرفی مکان‌هایی چون پارک ملت، باغ ملک‌آباد و باغ‌های آستان قدس رضوی، پارک‌ها و بوستان‌ها با فضای سبز به دلیل وجود پوشش گیاهی وسیع از نوع درخت، رطوبت بالا، وجود سایه و فرآیند تبخیر و تعرق، دارای دمای پایین هستند.

کتابنامه

۱. افشار، م. (۱۳۸۸). بررسی و شناخت جزیره گرمایی شهر تهران. فصلنامه سپهر (سازمان جغرافیایی)، ۱۸ (۷۱)، ۵۶-۶۲.
۲. امیری، ر.، علی محمدی، ع. و علوی پناه، س. ک. (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست. محیط‌شناسی، ۳۳ (۴۳)، ۱۰۷-۱۲۰.
۳. خالدی، ش. (۱۳۷۴). آب و هواشناسی کاربردی. تهران: نشر قومس.
۴. رنجبر سعادت‌آبادی، ع.، آزادی، م.، علی اکبری بیدختی، ع.، و صادقی حسینی، س. ع. (۱۳۸۵). مطالعه موردی جزیره گرمایی تهران و شبیه‌سازی عددی آن. فیزیک زمین و فضا، ۱ (۳۱)، ۵۹-۶۸.
۵. شکیبیا، ع.، ضیائیان فیروزآبادی، پ.، عاشورلو، د. و نامداری، س. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+. سنجش از دور و GIS/ایران، ۱ (۱)، ۳۹-۵۶.
۶. صادقی‌نیا، ع.، بهلول، ع.، ضیائیان، پ.، و خالدی، ش. (۱۳۹۲). کاربرد تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی در تحلیل جزیره حرارتی شهر تهران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳ (۳۰)، ۶۷-۹۰.

۷. صادقی‌نیا، ع.، علیجانی، ب.، و ضیائیان، پ. (۱۳۹۱). تحلیل فضایی-زمانی جزیره گرمایی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۴)، ۱-۱۷.
۸. موسوی‌بایگی، م.، اشرف، ب.، فریدحسینی، ع.، و میان‌آبادی، آ. (۱۳۹۱). بررسی جزیره گرمایی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۱)، ۳۵-۴۹.
۹. عبداللهی، ج.، چراغی، س. ع.، و رحیمیان، م. (۱۳۸۷). مقایسه آثار زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی بر تغییر پوشش گیاهی و دمای سطحی در مناطق شهری و غیرشهری با به‌کارگیری سنجش از دور. *محیط‌شناسی*، ۳۴(۴۵)، ۸۵-۹۶.
۱۰. هاشمی، س. م.، علوی‌پناه، س. ک.، و دیناروندی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی. *محیط‌شناسی*، ۳۹(۶۵)، ۸۱-۹۲.
۱۱. شمسی‌پور، ع.، مهدیان‌ماهریزی، م.، و حسین‌پور، ز. (۱۳۹۱). واکاوی تغییرات مکانی هسته جزیره گرمایی شهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳(۴۴)، ۱۲۷-۱۴۶.

12. Barry, R., & Chorley, R. J. (1987). *Atmosphere, Weather and Climate*, London: Methuen and Co, Ltd.
13. Gedzelman, S. D., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., Partridge, S., Quesenberry, S., & Robimson D. A. (2003). Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City. *Theoretical Applied Environmental*, 75, 29-42.
14. Klysik, K., & K., Fortuniak. (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*, 33, 3885-3895.
15. Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: a case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3, 1535 – 1552.
16. Lo. C. P. (1997). Application of Land sat TM data for quality of life assessment in an urban environment. *Computers Environment and Urban Systems*, 21, 259 – 276.
17. Montares, J. P., Rodriguez, A., & Jmennez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20, 899-911.
18. Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly journal of royal meteorological society* 108, 1-24.
19. Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental Satellite. *Bulletin of the American Meteorological society*, 53, 647-648.
20. Small, C., & Miller, R. B. (1999). *Monitoring the Urban Environment from Space*, Lamont Doherty Earth observatory. NY, USA: Columbia University Palisades.
21. Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001). A mono – window algorithm for retraining land Surface Temperature from Land sat TM data and its application to the Israel – Egypt border region. *International Journal of Remote sensing*, 22(18), 3719-3746.
22. Jun, Y., Pen, G., JinXing, Z., Hua Bing, H., & Lei, W. (2010). Detecting and analyzing urban heat island patterns in Beijing using HJ-1B satellite imagery. *Science China Earth Science*, 53, 67-73.
23. Velazquez Lozada, A.V., Gonzalez, J. E., & Winter, A. (2006). Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment*, 40, 1731-1741.