

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۷، تابستان ۱۳۹۷

وصول مقاله : ۱۳۹۶/۲/۷

تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۸/۱۲

صفحات : ۳۶ - ۱۹

ارزیابی تغییرات فضایی دمای سطحی کلان شهر مشهد

سمیه دلپسته^۱، دکتر رضا دوستان^۲، دکتر نعمت‌الله کریمی^۳

چکیده

افزایش دمای کلان شهرها، بحران شهرنشینی در قرن حاضر است. هدف این تحقیق شناخت تغییرات فضایی دمای سطحی در شهر مشهد است که با باند حرارتی ۱۱ تصویر لندست برای دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ و نقشه رقومی کاربری اراضی مشخص شد. در این مطالعه برای محاسبه دمای سطحی، از روش الگوریتم پنجره مجزا استفاده شد. مدل الگوی فضایی دمای سطحی شهر مشهد در طول سال، افزایش دمای سطحی از مرکز به حاشیه شهر در زمان گذر ماهواره است؛ به طوری که مناطق مرکزی و قدیمی شهر (سناباد، آبکوه، سعدآباد، ملک‌آباد)، دمای سطحی پایین تری نسبت به حومه شهر دارند. بالاترین دمای سطحی در حاشیه جنوبی شهر، پیش کوه‌های بینالود از غرب تا جنوب شرقی مشهد، راه آهن، فرودگاه، میدان شهدا، حاشیه بزرگراه امام علی و کمر بندی همت، ششصد دستگاه، کارخانه قند و نخریسی و فضاهای باز خالی و فاقد کاربری شهری است. کاربری‌های حمل و نقل شهری، زمین بایر و ارتفاعات در طول سال، حداکثر دمای سطحی و حداقل دما، در کاربری تفریحی و توریستی، کشاورزی و باغ‌ها به خصوص در ماه‌های گرم وجود دارد. منطقه ۱۲ شهری، گرم‌ترین و منطقه ۱، خنک‌ترین منطقه شهر مشهد به لحاظ دمای سطحی است. حداکثر دمای سطحی مشهد، در ماه‌های تیر و مرداد، و حداقل دما، در آذر بوده و دامنه فضایی دمای سطحی شهر، به ترتیب در ماه آوریل (فروردین) و فصل بهار، بیشترین و در ماه اکتبر (مهر) و پاییز، کمترین است.

کلید واژگان: الگوی فضایی، ماهواره لندست، تغییرات دمای سطح زمین، کاربری اراضی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی شهری دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران (نویسنده مسؤول)

۳- دکتری اقلیم‌شناسی، مؤسسه تحقیقات آب و وزارت نیرو

مقدمه

امروزه بیش از ۴۵ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۳۰ این نرخ جمعیت به بیش از ۶۰ درصد می‌رسد (عبداللهی و همکاران، ۱۳۸۷: ۸۵). افزایش جمعیت و تغییر کاربری در کلان شهرها موجب افزایش دمای سطحی شهرها نسبت به حومه و تشکیل جزایر حرارتی شهر می‌شود. با افزایش دما و شکل‌گیری جزایر حرارتی، سرانه مصرف انرژی و ناهنجاری اقلیمی در شهرها افزایش داشته و این امر سبب تغییر در اقلیم شهرها و در مقیاس وسیع تر، اقلیم کره زمین می‌شود. دمای سطحی زمین به طور مستقیم از نوع پوشش زمین تأثیر می‌پذیرد و باعث تغییر در شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی شهرها می‌شود. این افزایش دما، خسارت اقتصادی-اجتماعی، کاهش سلامت، بیماری‌های قلبی-تنفسی و مرگ و میر انسان، افزایش توفان و کاهش کیفیت هوا در مناطق شهری را موجب می‌شود (ونگ و یوئن، ۱۳۹۲)؛ از این رو مطالعه و شناخت تغییرات فضایی و زمانی جزایر حرارتی برای مدیریت و برنامه ریزی شهر ضروری است؛ چرا که شناسایی و کشف عوامل تأثیرگذار بر افزایش دمای شهر در کاربری‌های مختلف، پوشش اراضی و غیره، به مدیران و برنامه ریزان شهری برای توسعه و عمران شهرها در جهت رفاه و رضایت شهروندان کمک می‌کند. مطالعه دمای سطحی شهرها (جزیره حرارتی شهری) در گذشته، بیشتر با داده دمای هوای ایستگاه هواشناسی یا پیمایش به کمک وسایط نقلیه انجام می‌شد. امروزه ماهواره‌ها و سنجنده‌های مختلف، قادر به ثبت دمای سطح زمین بوده و جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی می‌باشند؛ چراکه اصولاً داده‌های سنجنش از دور، از قدرت تفکیک مکانی بالاتر و دسترسی آسان به داده‌ها و اطلاعات و نبود دخالت انسان، از ویژگی‌های منحصر به فرد این تکنیک است. شروع مطالعه جزایر حرارتی شهر^۱ با سنجنش از دور با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای پرتاب شده در دهه ۱۹۷۰، حامل اولین سنجنده‌های مادون قرمز حرارتی

غیرنظامی، انجام شد (امیری و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰۷). در ادامه، از داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک مکانی و دقت بالاتر از جمله لندست استفاده شد. چنانکه با استفاده از تصاویر سنجنده «ای.تی.ام»^۲ لندست و مادیس در اراضی پایین دست شبکه آبیاری دشت قزوین با حذف پیکره‌های آبی از تصاویر ماهواره‌ای، رابطه معکوس بین شاخص پوشش گیاهی^۳ و دمای سطح در هر دو سنجنده مشاهده شد (کویانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۴). همچنین برای تعیین دمای سطحی در تهران و قزوین از ۱۱۴ تصویر متعلق به دو سنجنده «ای.وی.اچ.آر»^۴ و مادیس و انتخاب ۱۶ تصویر برای محاسبه نهایی دما، از الگوریتم «کی.ین»^۵ استفاده شد. بالابودن ضرایب همبستگی از قابل اطمینان بودن الگوریتم در برآورد دمای سطح زمین به خصوص با سنجنده «ای.وی.اچ.آر» حکایت دارد. چنانکه تفاوت بین برآورد دمای سنجنده «ای.وی.اچ.آر» و دمای ایستگاه ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و سنجنده مادیس ۶/۷ درجه سانتی‌گراد است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۳). از طرفی افزایش دما بر اثر گسترش جزیره حرارتی در شهر تهران، در مقایسه با نقشه حرارتی، کاربری و پوشش اراضی مناطق مختلف، نشان از رابطه مستقیم جزایر حرارتی و تراکم ساخت و ساز، مناطق بایر گسترده و رابطه معکوس با پوشش گیاهی دارد (ساسان‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۵۶). این جزایر حرارتی در تهران با استفاده از تصاویر سنجنده «ای.تی.ام+۷» لندست، حاکی از بیشینه دمای سطحی در پهنه‌های متراکم شهری و ارتباط پایین بین دمای سطحی و پوشش گیاهی در پهنه کوهستانی است. به طور کلی شیب توزیع دما در شهر تهران از شمال شرق به جنوب غرب کاهش یافته و حداکثر دمای سطحی در پهنه کوهستانی شرق (بی‌بی شهربانو) و منطقه صنعتی غرب است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۱). همچنین ساختار فضایی-زمانی جزیره حرارتی شهر

1- Enhanced thematic mapper(ETM)

2-Normalized difference vegetation index(NDVI)

3-Advanced very high resolution radiometer(AVHRR)

4-Qin,Z(2001)

به دلیل واقع شدن کارخانجات عظیم فولاد، لوله‌سازی، شرکت‌های کربن بلاک و لوله‌سازی شرکت ملی نفت، بالاترین دمای سطحی با $۴۳/۲$ درجه سانتی‌گراد و منطقه ۵ شهرداری اهواز با بیشترین فضای سبز در بین مناطق ۸ گانه، پایین‌ترین دما با $۳۵/۹$ درجه را دارد (معروف‌نژاد، ۱۳۹۰: ۶۵). اثر کاربری بر افزایش دمای شهر و تشکیل جزایر حرارتی در تهران، با روش طبقه‌بندی پوشش اراضی شهری و شناخت تغییر ویژگی بیوفیزیکی پیکسل و استخراج کسر خاک، پوشش گیاهی و سطوح نفوذناپذیر با تصاویر «ای.تی.ام» نشان داد، اثر گرمایشی سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی، بالا بوده و پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی با تبخیر و تعرق و تولید سایه، اثر خنک‌کننده دارند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹). میانگین وزنی دما برای سطوح فیزیکی از جمله، شن‌زار، دشت سر، دشت رسی، تاغ زار، تأسیسات شهری، سطوح آسفالتی و پوشش گیاهی نشان داد که اراضی بایر، به خصوص نواحی شن‌زار بیشترین دما و اراضی کشاورزی و باغی به سبب رطوبت موجود در خاک و پوشش گیاهی دارای کمترین دمای سطحی می‌باشند (دشتکیان و دهقانی، ۱۳۸۶: ۱۶۹). همچنین رابطه بین الگوی توزیع و تغییرات دما با کاربری زمین در منطقه شهری در حال رشد تبریز با تصاویر چندزمانه لندست ۴، ۵ و ۷ سنجنده «تی.ام» و «ای.تی.ام» در سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ تعیین شد و ارتباط قوی میان نوع کاربری با دمای سطحی و رابطه شاخص پوشش گیاهی و حرارت سطح زمین شناسایی و با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون چندمتغیره نقش مؤثر پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطحی مشخص شد (امیری و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰۷). در دیگر کلان‌شهرهای جهان نیز افزایش دمای شهرها بررسی شد. در «شانگهای»، تغییر کاربری و پوشش گیاهی با تغییر جمعیت بررسی و اثر آن بر جزیره حرارتی با تصاویر لندست سنجنده «تی.ام» و «ای.تی.ام» در سال ۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ و داده جمعیتی تعیین و نشان داد، با رشد شهر و کاهش بستر آبی،

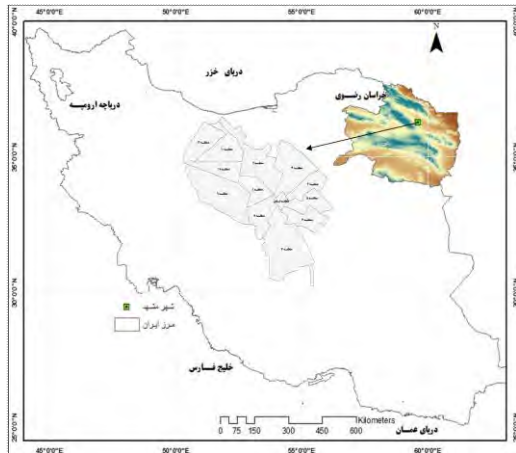
تهران بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ با تصاویر چند زمانه «تی.ام» و دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک‌باندی «کین» و با روش آمار کلاسیک، تغییرات فضایی و زمانی دمای سطحی تهران مشخص شد. نتایج کاهش محدوده دمای متوسط و بسیار خنک شهری و برعکس افزایش در محدوده دمای بسیار بالا را نشان داد. تغییرات زمانی شدت جزیره حرارتی تهران از ۱۱ درصد در سال ۱۹۸۶ به ۱۵ درصد در سال ۲۰۱۰ و کانون اصلی بر روی فرودگاه مهرآباد و در پیرامون این کانون در سمت غرب و جنوب غرب فرودگاه با خوشه‌های داغ جدیدی و گسترش جزیره حرارتی در بخش‌های با کاهش شدید پوشش گیاهی و افزایش گسترش کاربری‌های صنعتی-کارگاهی و انبارداری مشهود است (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). در دیگر کلان‌شهرهای ایران نیز دمای سطحی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بررسی شد، چنانکه الگوی حرارتی شهر شیراز با تصاویر ماهواره سنجنده «ای.تی.ام» و «تی.ام» ماهواره لندست و نقشه کاربری در بازه زمانی ۲۴ ساله تعیین شد. نتایج نشان داد، سطوح بایر حاکی فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر، بیشترین میزان دمای سطحی که در کاربری‌های شهری با بافت فشرده و فرسوده شهر بیش از مناطق دیگر است. بیشینه دمایی با مناطق آلوده و پرتراфик شهری انطباق داشته و سردترین مناطق نیز با کاربری پوشش گیاهی است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۵). در اصفهان نیز به منظور بررسی تغییر کاربری و دمای سطحی از تصاویر سنجنده «تی.ام» ماهواره لندست با اختلاف زمانی ۲۲ ساله استفاده شد، کمترین دمای سطحی در این شهر مربوط به اراضی دارای پوشش گیاهی برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ به ترتیب ۳۰۱ و ۳۰۷ درجه کلون و بیشترین دما در مناطق بایر و فاقد پوشش گیاهی به ترتیب ۳۰۸ و ۳۱۷ درجه کلون است. در سال‌های اخیر نیز با رشد شهر، محدوده‌های جزیره حرارتی گسترش دارد (مشتاق و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین در شهر اهواز با تصاویر ماهواره‌ای، دمای سطحی تعیین و حاکی است، منطقه ۸ شهرداری

دارد. همچنین کاهش تراکم در کاربری پوشش گیاهی، افزایش دمای سطحی از $28/7$ درجه سانتی‌گراد در ۱۹۸۴ به 33 درجه سانتی‌گراد در ۲۰۱۱ را نشان می‌دهد (Omran, 2012: 189). در ادامه جزایر حرارتی با باندهای ۱-۵ و ۷ تصاویر لندست سنجنده «ای.تی.ام» در سال ۲۰۰۱ و شاخص پوشش گیاهی، دمای سطحی زمین مطالعه و با تفکیک کاربری به پنج طبقه (مسکونی، زمین قاعد پوشش گیاهی، بستر آبی، زمین کشاورزی و پوشش گیاهی) در شهر «ویجایاوادا»^۲ در ایالت «کریشنای هند» نشان داد، بیشترین دما در نواحی مسکونی و کمترین دما در نواحی دارای پوشش گیاهی است (Sundara Kumar et al, 2012: 771). رابطه بین انواع کاربری و دمای سطحی زمین در تهران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نشان داد، زمین‌های مربوط به انباشت زباله، زمین‌های بایر و لخت از میانگین دمای بسیار بالا و دمای بالا در بخش مرکزی با کاربری مسکونی و کمترین دما مربوط به نواحی با تراکم مسکونی پایین و نواحی با پوشش گیاهی، زمین کشاورزی و بستر آبی است (Malekpour & Taleai, 2011: 10). ویژگی روزانه و فصلی جزیره حرارتی شهر مرتبط با پوشش زمین در ناحیه شهری «فونیکس»^۳ در «آریزونا آمریکا» بررسی شد. نتایج حاکی است، هسته شهر به‌خصوص در شب گرم‌تر از سایر مناطق بوده، ولی هیچ روند تداومی در امتداد شیب شهرنشینی وجود ندارد. در اغلب الگوهای حرارتی، دمای داخل شهر تفاوت بزرگی با حومه داشته و تجزیه و تحلیل رگرسیونی نقش مهم پوشش گیاهی را در طول روز و پیاده‌روها را در طول شب در توزیع تنوع فضایی - زمانی دمای سطحی تأیید می‌کند (Buyantuyev and Wu, 2010: 17). با تجزیه دو تصویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ در شهر «چنای»^۴ هند مشخص شد، نتیجه تبدیل اراضی طبیعی به مسکونی و کاهش پوشش گیاهی، افزایش دمای سطحی است. چنانکه افزایش ساخت‌وساز شهری

پوشش گیاهی و جایگزینی با ساخت‌وساز شهری، تنوع قابل‌توجهی در الگوی زمانی جزیره حرارتی رخ داده و محدوده و میزان جزیره حرارتی با توسعه و گسترش شهر به‌خصوص در مناطق حومه و خارج از شهر گسترش دارد (Zhang et al, 2013: 121). در جنوب کنیا، مطالعه تغییر دمای سطحی در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۵، ۲۰۰۳ حاکی از بیشینه تغییرات دمای سطحی بین سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۹۵ است، که این مرتبط با تغییر کاربری پوشش گیاهی به زمین بایر بوده است. همچنین تغییرات دما بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۳ حاکی از کاهش دمای سطحی و تغییرات دمای سطحی سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰، افزایش دما در کل منطقه را نشان داد (Nduati et al, 2011). تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر روی الگو سطحی جزیره حرارتی با استفاده از تصاویر لندست سنجنده «ای.تی.ام» و «ای.تی.ام» در سال ۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ در شهر شانگهای بررسی و نشان داد، تغییرات در کاربری زمین و پوشش گیاهی با کاهش زمین کشاورزی، جنگل، درختچه‌زار و گسترش کاربری شهری مرتبط بوده و این تغییر در ویژگی‌های سطحی زمین، الگوی زمانی جزیره حرارتی شهر را تغییر داده است. به‌طور متوسط جزیره حرارتی بین مرکز شهر، مناطق حاشیه و نواحی روستایی در طول دوره تابستان به حداکثر، در بهار متوسط، زمستان ضعیف و در پاییز، تفاوت دمای شهر و حومه نسبت به حومه اندک و خفیف است. الگوی شیب دمای سطحی زمین از مرکز شهر به نواحی روستایی اطراف می‌باشد (Li et al, 2012: 127). در شهر اسماعیلیه مصر، رابطه بین دمای سطح زمین، کاربری اراضی و پوشش گیاهی^۱ با تصاویر لندست از ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ بررسی و نشان از تغییر کاربری زمین در منطقه مطالعه و توسعه سریع مناطق در طی ۲۷ سال دارد؛ بنابراین دما از $37/7$ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۸۴ به $43/9$ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۱ افزایش داشته و زمین بایر از $37/3$ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۸۴ به $42/8$ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۱۱ افزایش

2-Vijayawada of India
3-Phoenix metropolitan
4-Chennai city of India

1-Land Use Land Cover



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و مناطق شهری مشهد
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

برای شناسایی تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی شهر مشهد (جزایر حرارتی سطحی) و نقش کاربری‌ها مختلف در ارتباط با این جزایر در سطح شهر مشهد مراحل زیر انجام شد.

به منظور تعیین چگونگی توزیع دمای سطحی در طول سال از روش الگوریتم پنجره مجزا (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۵) استفاده شد؛ بنابراین داده‌های روزانه باند حرارتی (باند ۶) تصاویر ماهواره‌اندست ۵، سنجنده «تی.ام» و باند حرارتی (باند ۱۰) ماهواره‌اندست ۸، سنجنده الی-تیرز استفاده شد. این داده‌های حرارتی به ترتیب شامل سنسور حرارتی مادون قرمز و سنسور عملیاتی تصویر ساز سطح زمین الی-تیرز^۱ و تصاویر حرارتی سنجنده «تی.ام» شهر مشهد می‌باشند. تصاویر مربوط به حوزه شهر مشهد با شماره ردیف و گذر ۳۵-۱۵۹ از سیستم مرجع جهانی^۲ با ساعت گذر ماهواره‌اندست ۶:۳۰ گرینویچ، معادل با ۱۰:۳۰ صبح محلی شهر مشهد است. تصاویر حرارتی برای تهیه نقشه حرارتی شهر مشهد در ۱۱ ماه سال در طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ از سایت زمین‌شناسی آمریکا^۳ دریافت شد (لازم به ذکر است که به دلیل نبود تصویر بدون پوشش ابر و برف در ماه ژانویه در طی دوره آماری ذکر شده از اطلاعات دمایی مربوط به این

و جایگزینی خاک طبیعی و پوشش گیاهی به جاده‌ها و ساختمان‌ها، فاکتور مهم افزایش گرمای شهر می‌باشند (Lilly Rose et al, 2009). مشابه همه مناطق دیگر کره زمین، امروزه در ایران نیز با رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، میکرو اقلیم‌های شهری ظهور کرده که بر محیط شهر و پیرامون خود تأثیرگذار بوده و تغییرات محیط زیستی و آب و هوایی و غیره را موجب می‌شوند؛ بنابراین تغییرات زمانی و مکانی دمای سطحی کلان‌شهر مشهد به‌عنوان دومین شهر پرجمعیت ایران، در ارتباط با کاربری‌های مختلف، به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح محیط شهری و شناخت میکرو اقلیم شهر ضروری است. هدف این مطالعه، تعیین الگوی تغییرات فضایی دمای سطح زمین در ماه‌های مختلف سال است.

داده و روش تحقیق: شهر مشهد در موقعیت جغرافیایی با عرض $36^{\circ} 17' 45''$ شمالی و طول $43^{\circ} 36' 59''$ شرقی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت شهر مشهد را نشان می‌دهد. آب و هوای این شهر با میانگین بارش و دمای سالانه (به ترتیب ۲۵۷/۵ میلی‌متر و $14/1$ درجه سلسیوس) در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، جزء گروه اقلیمی نیمه‌خشک است. همچنین براساس اطلاعات آماری سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۰ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) مشهد به عنوان دومین کلان‌شهر ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۲۴۱۰۸۰۰ نفر است (موسوی‌بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). شهر مشهد دارای ۱۲ منطقه شهری که با جهت شمال غربی- جنوب شرقی در دره وسیع کشف رود بین «ارتفاعات بینالود» در جنوب و «هزار مسجد» در شمال قرار دارد. این شهر که با تکیه بر ارتفاعات جنوبی در گذشته با نام «سناباد»، دارای آب و هوای مناسب و باغ‌های زیادی است. امروزه به دلیل ساخت و سازهای متعدد و تغییر کاربری اراضی به دنبال افزایش جمعیت، کاهش چشم‌انداز طبیعی در سطح شهر و تفاوت دمایی در منطقه شهری و حومه شده است.

1- Operational Land Imager - Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS)
2- Worldwide Reference System(WRS)
3-The United States Geological Survey(USGS)

برای تهیه تصاویر حرارتی مورد نیاز به درجه سانتی‌گراد و نقشه حرارتی مراحل زیر انجام شد.
الف: محاسبه دمای سطح زمین: برای تهیه تصویر حرارتی با روش پیکسل به پیکسل (تصاویر لندست ۸) مراحل زیر به ترتیب انجام شده است. رابطه شماره ۱: برای تبدیل مقادیر عدد رقومی به رادیانس طیفی از فرمول زیر استفاده شد. فرمول (۱).

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

$L_{\lambda} =$ درخشندگی طیف ($W/M^2sr\mu m$)، $M_L =$ ضریب اصلاحی رادیانس هر باند (جهت ضرب کردن در مقادیر عددی هر پیکسل تصویر ماهواره ای که از فراداده تصاویر قابل استخراج است). $Q_{cal} =$ مقدار عددی هر پیکسل (بر حسب قدرت تفکیک رادیومتری سنجنده). $A_L =$ ضریب اصلاحی رادیانس هر باند (جهت جمع کردن در مقادیر عددی هر پیکسل تصویر ماهواره ای که از فراداده تصاویر قابل استخراج است).
ب: رابطه شماره ۲: در این مرحله برای تبدیل رادیانس طیفی به دمای سطحی بر حسب کلونین از رابطه پلانک استفاده شد. فرمول (۲).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

$K_1, K_2 =$ ثوابت معادله هستند مقادیر آن به ترتیب برابر با ۱۲۸۲,۷۱ و ۶۶۶,۰۹ می‌باشند که واحد K_2 درجه کلونین و واحد K_1 ($W/m^2sr\mu m$) می‌باشد.
 $L_{\lambda} =$ درخشندگی طیفی ($W/m^2sr\mu m$)
پ: رابطه شماره ۳: در مرحله پایانی برای تبدیل و تغییر واحد داده‌ها از درجه کلونین به سانتی‌گراد از رابطه زیر استفاده شد. فرمول (۳).

$$(C = K - 273.15)$$

محاسبه دمای سطحی ماهواره لندست ۵: برای تبدیل عدد رقومی به رادیانس طیفی از رابطه زیر مقادیر

ماه صرف نظر شد). همچنین به دلیل گذر ۱۶ روزه ماهواره از شهر مشهد و موجود نبودن همه تصاویر در منبع دریافت ذکر شده، امکان تهیه تصاویر در یک روز خاص در همه ماه‌ها و سال‌ها وجود نداشت. اطلاعات مربوط به تصاویر در جدول شماره ۱ مشخص شد.

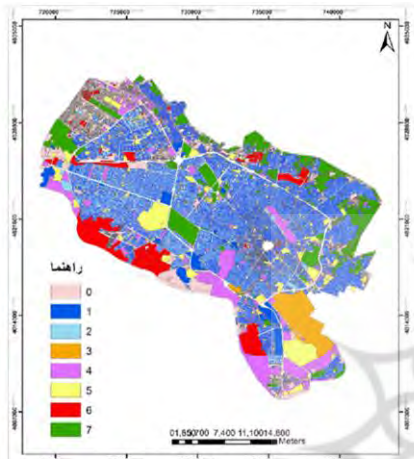
جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه

روز	ماه	فصل	سال	سنجنده «تی‌ام» ماهواره لندست
۲۲	۲	زمستان	۲۰۰۹	
۱۰	۳	زمستان	۲۰۰۹	
۱۷	۴	بهار	۲۰۱۱	
۲۹	۵	بهار	۲۰۰۹	
۱۴	۶	بهار	۲۰۰۹	
۵	۱۱	پاییز	۲۰۰۹	
۱۰	۱۲	پاییز	۲۰۱۰	
۲۷	۷	تابستان	۲۰۱۳	
۲۸	۸	تابستان	۲۰۱۳	
۲۹	۹	تابستان	۲۰۱۳	
۳۱	۱۰	پاییز	۲۰۱۳	

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

برای تهیه نقشه حرارتی از باند ۶ تصاویر لندست ۵ و باند ۱۰ تصاویر لندست ۸، مقادیر اعداد رقومی آن به درجه سانتی‌گراد تبدیل شد. سپس با فراخوانی این تصاویر و طبقه‌بندی آن به درجات مختلف دمایی، پراکندگی دما در سطح شهر مشهد در هفت طبقه دمایی تعیین شد؛ بنابراین تصاویر حرارتی ماهانه، توزیع فضایی دمای سطحی شهر را نشان می‌دهد. در ادامه با استفاده از این تصاویر نقشه‌های توزیع متوسط فصلی تهیه شد. چنانکه مثلاً نقشه توزیع متوسط دمای سطحی فصل بهار، میانگین دمای ماه آوریل، مه و ژوئن است. در ادامه به منظور تعیین توزیع نهایی دمای سطحی شهر مشهد، همه نقشه‌های ماهانه با همدیگر تلفیق و توزیع متوسط سالانه دمای سطحی تهیه شد. همچنین در مقیاس ماهانه و فصلی، ویژگی‌های اولیه آماری شامل حداقل، حداکثر، متوسط و دامنه تغییرات در هر ماه و فصل شناسایی و جداول و نمودار تغییرات ویژگی‌های دمای سطحی در طول سال مشخص شد.

نقشه دمای سطح زمین و کاربری‌های مختلف در شهر مشخص شد هر کدام از کاربری‌ها چگونه موجب تغییرات دمای سطحی شهر مشهد می‌شوند. با توجه به اینکه تصاویر در سال‌های مختلف تهیه شد، تغییرات زمانی و مکانی گسترش محدوده‌های دمای در مقیاس فصلی و ماهانه مشخص و نقش کاربری‌های مختلف در این افزایش دمای شهر تعیین شد.



نام کاربری	طبقه	نام کاربری	طبقه
نظامی - صنایع - حمل و نقل - طبیعی - راه آهن	۴	فاقد اطلاعات	۰
تأسیسات شهری - آموزشی - تجاری - فضای باز خالی	۵	فضای سبز و پارک - بوستان - درمانی	۱
ارتفاعات - زمین بایر	۶	مسکونی - مختلط فعالیتی	۲
کشاورزی - باغات داخل شهر	۷	فرودگاه و ترمینال مسافری	۳

شکل ۲. کاربری‌های مختلف شهر مشهد

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

یافته‌های تحقیق

پراکندگی دمای سطحی شهر در ماه‌های مختلف سال نشان داد (جدول ۲ و شکل ۳ و ۴)، در ماه آوریل (فروردین) (شکل ۴، a) دمای سطحی کل شهر بین ۱۵-۴۳ درجه سانتی‌گراد بوده و دامنه دما در این ماه ۲۸ درجه سانتی‌گراد است. شهر مشهد در این ماه، بیشترین دامنه دما در طول سال را تجربه می‌کند. چنانکه بیشتر نواحی داخلی شهر دمای سطحی بین ۱۵-۳۲ درجه و حاشیه شهر به خصوص قسمت‌های غربی، جنوب‌غرب و جنوب شهر دمای ۳۲-۴۳ درجه سانتی‌گراد دارند. در فروردین، بخش‌هایی از زمین‌های کشاورزی و باغات (ملک آباد و آستان قدس) با توجه به گونه‌های گیاهی و سبزینه کمتر، دمای بالاتر از ۳۲ را

رادیانس به دمای تشعشی برحسب کلون تبدیل شد. رابطه شماره ۴: فرمول (۴).

$$T = \frac{1440 \times 10^{-5}}{\lambda \times \ln\left(\frac{1.19268 \times 10^{-16}}{L \times \lambda^5} + 1\right)}$$

$$T = \frac{1440 \times 10^{-5}}{(11.43 \times 10^{-6}) \times \ln\left(\frac{1.19268 \times 10^{-16}}{(float(b6) \times 10^6) \times (11.43 \times 10^{-6})} + 1\right)}$$

$LN =$ لگاریتم طبیعی است. $L =$ رادیانس طیفی واحد آن وات بر مترمربع بر میکرومتر. $\lambda =$ طول موج برحسب میکرومتر.

در ادامه به منظور تعیین نقش انواع کاربری‌ها در دمای سطحی شهر مشهد، نقشه رقومی کاربری اراضی مربوط به نیمه دوم دهه ۱۳۸۰ (۲۰۰۲) از شهرداری مشهد تهیه شد (لازم به ذکر است، نقشه کاربری قبل از این دهه موجود نبود). پس از آماده سازی تصاویر حرارتی برای گرفتن خروجی مربوط به میانگین حداکثر و حداقل دما، برای ۱۹ طبقه کاربری موجود، لایه رستری و نقشه رقومی، با هم تلفیق شد؛ اما به دلیل نزدیکی بسیار زیاد دمای کاربری‌ها، برای ایجاد یک الگوی جدید از طبقات کاربری‌ها از روش آماری تحلیل مؤلفه اصلی برای طبقه بندی استفاده شد. در نهایت با داشتن ۷ طبقه جدید (هر طبقه در برگیرنده تعدادی از کاربری‌هاست که به لحاظ ویژگی‌های آماری دما به هم نزدیک اند) و داشتن اطلاعات مربوط به میانگین حداکثر و حداکثر دما مربوط به هر طبقه، کار تحلیل داده‌ها انجام شد. همچنین برای به دست آوردن دمای مربوط به مناطق ۱۳گانه مشهد نیز ابتدا میانگین فصلی تصاویر، سپس با داشتن تصاویر میانگین و لایه شیب، فایل مربوط به مناطق ۱۳گانه مشهد، استخراج دما انجام شد. نتیجه به صورت نقشه، نمودار و جدول تهیه شد. نقشه‌های رقومی برای به دست آوردن دمای مربوط به کاربری‌ها و مناطق مختلف شهر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. برای به دست آوردن دمای سطحی مربوط به کاربری‌ها و مناطق، نقشه‌های رقومی به همراه تصاویر حرارتی که دمای سطح زمین محاسبه، استفاده شد؛ بنابراین با روی هم قرار گیری

نشان می‌دهند، که با توجه به آغاز فصل رویش درختان و گیاهان، این مسئله طبیعی است. در داخل شهر کاربری‌هایی همچون فرودگاه-ترمینال، راه‌آهن، اطراف بولوار امام علی بیشترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند. در ادامه در ماه مه (اردیبهشت) (شکل ۴b) دمای سطحی شهر بین ۱۶-۴۱ درجه سانتی‌گراد بوده و دامنه دمایی ۲۷ درجه سانتی‌گراد است، که بعد از ماه آوریل رتبه دوم بالاترین دامنه دمایی را دارد. همچنین متوسط دمای شهر در این ماه مشابه آوریل، ۲۹ درجه سانتی‌گراد است. در این ماه به لحاظ ویژگی‌های دمایی، تفاوت محسوسی با ماه آوریل نداشته؛ اما از لحاظ پراکندگی فضایی، دما تغییر زیادی دارد. چنانکه بخش عمده داخل شهر در این ماه دمای بین ۳۱-۳۴ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده و بیشینه دمای حداکثر در مناطق شمال غربی و جنوب شرقی شهر مشهود است؛ بنابراین در این ماه، فرودگاه، جنوب منطقه ۸، منطقه ۱۲، راه‌آهن، منطقه ۱۰، ۷ و محدوده‌های حاشیه شهر به جز زمین‌های کشاورزی و فضاهای سبز، دمای بالای ۳۴ درجه سانتی‌گراد را تجربه می‌کنند. در این ماه برعکس ماه قبل با افزایش سبزینه گیاهی در باغات و مزارع، این محدوده‌ها کمترین دمای سطحی، بین ۱۶-۳۰ درجه سانتی‌گراد را دارند. باغات و فضاهای سبز نسبت به ماه آوریل ۱۳ درجه کاهش دما داشته، در حالی که دمای عمده مناطق داخل شهر نسبت به آوریل ۲ تا ۳ درجه افزایش دارد، که با توجه به روند گرم شدن هوا این امر عادی است. دمای سطحی شهر در ماه ژوئن (شکل ۴c) افزایش چشمگیری داشته است. در این ماه دما بین ۲۴-۴۸ درجه سانتی‌گراد و به ترتیب حداقل و حداکثر دما نسبت به ماه قبل ۸ و ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد، همچنین دامنه دمای سطحی شهر (۲۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به ماه قبل ۲ درجه کاهش دارد؛ از اوایل دهه دوم خرداد، دمای سطحی شهر افزایش یافته و گرما به دلیل تابش عمودتر خورشید بیشتر و به‌طور طبیعی تابستان شهر مشهود آغاز می‌شود. این تغییر سریع (شیب تند) دمای

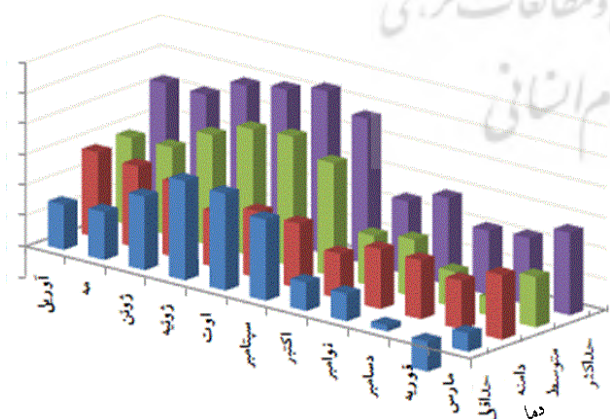
سطحی از مه به ژوئن در ماه‌های دیگر سال اتفاق نمی‌افتد و این به معنی تغییر سریع فصل بهار به تابستان است. در واقع در این ماه نسبت به دو ماه گذشته، یک افزایش ناگهانی ۸ درجه‌ای در دمای حداقلی مشاهده شد. در این ماه عمده نواحی داخلی شهر دمای سطحی ۲۴-۳۸ درجه سانتی‌گراد داشته، که نسبت به ماه مه افزایش ۳-۴ درجه‌ای را نشان می‌دهند. هر چند در محدوده‌های با پوشش گیاهی در سطح شهر کاهش دمای ۲-۳ درجه مشهود است، که به دلیل افزایش سبزینه و حجم توده گیاهی سبز است. حداکثر دمای سطحی در این ماه، همانند ماه‌های قبل در حواشی شهر، بخش‌های حاشیه جنوبی تا شرق و شمال شرقی شهر که دمای ۴۰-۴۸ درجه‌ای را تجربه می‌کنند. در داخل شهر نیز محدوده بزرگراه امام علی و زمین‌های بایر آستان قدس در اول بزرگراه، راه‌آهن، باغ آستان قدس در غرب بولوار جانباز، محدوده بزرگراه همت در شرق شهر، محدوده ابتدای بولوار مجلسی و بعثت، فرودگاه، شهرداری منطقه ۸، کارخانه نخ‌ریسی در منطقه ۷ بالاترین دمای سطحی (۴۲-۴۸ درجه) را دارند. پایین‌ترین دمای سطحی در این ماه در باغات و بوستان‌های داخل شهر با دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. در ماه ژوئیه (شکل ۴d)، دمای سطحی در کل شهر بین ۳۲-۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده، چنانکه مشابه ماه قبل (ژوئن) حداقل دما افزایش ۸ درجه‌ای داشته، اما حداکثر دما ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد. همچنین دامنه و متوسط دما به ترتیب ۱۸ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد است، که نسبت به ماه قبل به ترتیب ۶ و ۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت داشته و دامنه دما کاهش دارد. این شرایط نشان می‌دهد، تفاوت‌های دمایی در شهر کمتر شده و کل شهر دماهای سطحی بالا را تجربه می‌کند. نواحی داخلی شهر در این ماه، دمای سطحی ۳۲-۴۳ درجه سانتی‌گراد و باغات، بوستان‌ها و محدوده با پوشش گیاهی دمای ۳۲-۳۸ درجه دارند، که خنک‌ترین کاربری‌ها در داخل شهر می‌باشند. همچنین حاشیه شهر در جنوب منطقه ۷، ۸، ۹ و کل منطقه ۱۲، فرودگاه، ترمینال مسافری،

محدوده‌های ترمینال، فرودگاه، راه‌آهن، اطراف بزرگراه امام علی و کمربندی همت، ششصد دستگاه و باغ آستان قدس، محدوده‌هایی از دانشگاه فردوسی و باغ ملک‌آباد، شرکت برق خراسان و زمین‌های بایر و خالی در داخل شهر، بالاترین دمای سطحی را دارند. در این ماه نیز باغات و فضاهای سبز کمترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند.

جدول ۲. دمای سطحی شهر در ماه‌های مختلف

دما	نماد	حداکثر	حداقل	متوسط	دامنه
آوریل	a	۴۲/۵	۱۴/۷	۲۸/۶	۲۷/۸
می	b	۴۲/۱	۱۵/۶	۲۸/۸	۲۶/۵
ژوئن	c	۴۸/۴	۲۴	۳۶/۲	۲۴/۴
ژوئیه	d	۵۰/۴	۳۲/۴	۴۱/۴	۱۸
اوت	e	۵۳/۳	۳۱/۶	۴۲/۳	۲۱/۷
سپتامبر	f	۴۷/۶	۲۶/۵	۳۷	۲۱/۱
اکتبر	g	۲۳/۹	۹/۳	۱۶/۶	۱۴/۶
نوامبر	h	۲۸/۳	۸/۹	۱۸/۶	۱۹/۴
دسامبر	i	۲۱	۱/۹	۱۱/۵	۱۹/۱
فوریه	j	۲۱/۹	-۹/۸	۶	۱۵/۸
مارس	k	۲۷	۶	۱۶/۵	۲۱

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



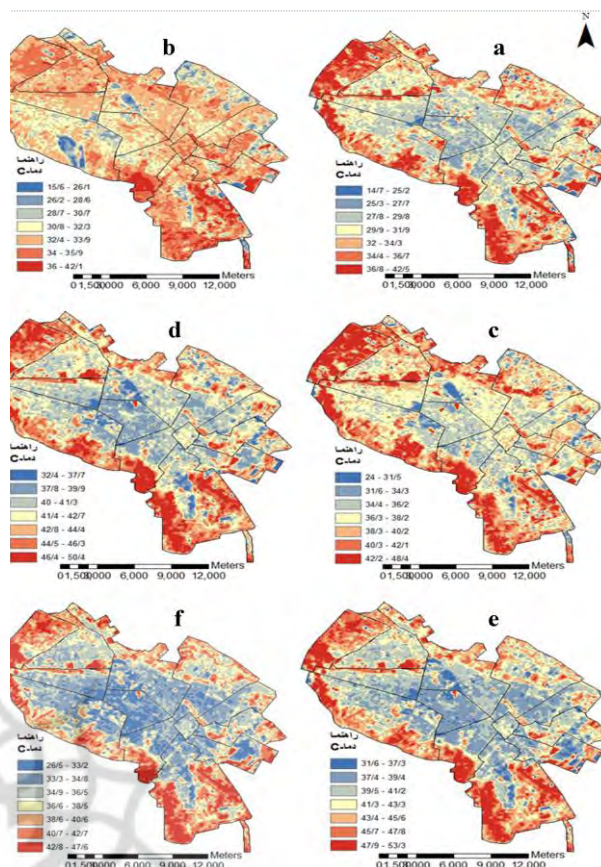
شکل ۳. تغییرات ویژگی‌های دمای سطحی شهر مشهد در

ماه‌های مختلف (جدول ۲)

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

راه‌آهن، ششصد دستگاه، محدوده‌های اطراف بزرگراه همت در منطقه ۵، کارخانه قند آبکوه و زمین آستان قدس در جنوب آن و زمین‌های بایر در شرق بولوار هنرور، بالاترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند. دمای سطحی شهر مشهد در ماه اوت (مرداد ماه) (شکل ۳) بین ۳۲-۵۳ درجه سانتی‌گراد و به ترتیب متوسط و دامنه دمای سطحی ۴۲ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد است. بالاترین دما در طول سال، در این ماه اتفاق می‌افتد. از نظر ویژگی‌های دمایی، این ماه مشابه ماه قبل (ژوئیه) بوده و حداقل دما در این ماه نسبت به ماه ژوئیه تفاوتی نداشته، ولی حداکثر دما ۲ درجه و دامنه دما نسبت به ماه قبل ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد. نواحی داخلی شهر مشابه ماه ژوئیه دمای بین ۳۲-۴۱ درجه دارند. در این ماه نیز مشابه ماه قبل محدوده‌های جنوبی شهر مشرف به دامنه‌های ارتفاعات و غرب شهر بیشترین دما را تجربه می‌کنند. همچنین در این ماه محدوده‌های که در ماه ژوئیه دمای سطحی بالا داشتند در این ماه نیز بالاترین دمای سطحی را داشته و جزایر دمایی شهر را تشکیل می‌دهند و محدوده‌هایی در داخل شهر از جمله باغات، پارک و فضاهای سبز، پایین‌ترین دما را دارند. در ماه سپتامبر (شهریور) (شکل ۴) دمای سطحی شهر بین ۲۷-۴۸ درجه سانتی‌گراد و نسبت به ماه قبل کاهش نشان می‌دهد، همچنین متوسط و دامنه دما به ترتیب ۳۷ و ۲۱ درجه است. در این ماه روند رو به افزایشی دما در دمای حداقل، حداکثر، متوسط به جز دامنه دما، تغییر کرده و کاهش یافته، هر چند این با تغییر دمای هوا در اواسط شهریور مشهود است. دمای سطحی نواحی داخلی شهر در این ماه بین ۲۷-۳۷ درجه است، که حداقل و حداکثر دمای داخل شهر نسبت به ماه قبل به ترتیب ۵ و ۴ درجه کاهش نشان می‌دهد و به‌طور طبیعی نشانه آغاز فصل سرد است. در این ماه نیز محدوده حاشیه شهر از جنوب تا غرب شهر مشرف به دامنه‌ها، بالاترین دما بین ۳۹ تا ۴۸ درجه را تجربه می‌کنند که نسبت به دمای ماه آگوست ۴-۵ درجه کاهش دما مشاهده می‌شود و در داخل شهر نیز

است و متوسط و دامنه دما به ترتیب ۱۹ و ۱۹ درجه است. چنانکه حداقل دما بین ماه نوامبر و اکتبر تغییری نداشته، اما به ترتیب حداکثر، متوسط و دامنه دما ۴، ۲ و ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است که با توجه به روند کاهشی در این فصل، این افزایش به دلیل وجود سیستم‌های گرم انتقالی (جبهه گرم سیکلون و یا موج گرما) به شهر است. در این ماه عمده نواحی داخل شهر دمای ۹-۲۰ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده و با وجود کاهش پوشش گیاهی و حجم توده سبز باغات و فضاهای سبز نیز دمای بالا بین ۱۸-۲۳ درجه و جزء مناطق گرم داخل شهر می‌باشند. در این ماه نیز محدوده‌هایی با دمای بالا علاوه بر حواشی جنوبی تا غربی شهر، محدوده‌هایی است که در ماه‌های دیگر، دمای سطحی بالا داشته است، هرچند در این ماه این محدوده‌ها افزایش نسبی دارند. در ماه دسامبر (آذر) (شکل ۴، ا) کاهش دمای سطحی شهر مشاهده می‌شود و شهر دمای بین ۲-۲۱ درجه سانتی‌گراد دارد و متوسط و دامنه دما به ترتیب ۱۲ و ۱۹ درجه و دمای سطحی شهر نسبت به ماه‌های قبل روند کاهشی دارد. نواحی داخلی شهر در طبقه دمایی ۲-۱۰ درجه قرار دارند که نسبت به ماه قبل به ترتیب ۷ تا ۱۰ درجه کاهش دما را تجربه می‌کنند. همچنین باغات، فضاهای سبز و زمین‌های کشاورزی با نبود سبزینه و پوشش گیاهی دمای بالا بین ۱۰-۲۱ درجه دارند، هرچند بوستان‌های جنگلی کاج در ورودی جنوب شرقی، دمای کمتر از ۸ درجه را تجربه می‌کنند و این تفاوت دمای فصل سرد در دو پوشش خزان‌دار (توت و سپیدار) و برگ سوزنی همیشه سبز (کاج) را نشان می‌دهد. همچنین علاوه بر حاشیه جنوبی تا غربی شهر، محدوده‌هایی از جمله فرودگاه، راه آهن، اطراف بولوار امام علی و همت، زمین‌های بایر و شهرداری منطقه ۸ بالاترین دماهای مشابه باغات را تجربه می‌کنند. در ماه فوریه (بهمن ماه) (شکل ۴، ج) دامنه دما بین ۱۰- تا ۲۱/۹ درجه سانتی‌گراد بوده و به ترتیب متوسط و دامنه دما ۶ و ۱۵/۸ درجه می‌باشند. پایین‌ترین دمای شهر در این ماه است و دامنه دما نسبت به ماه قبل، ۳



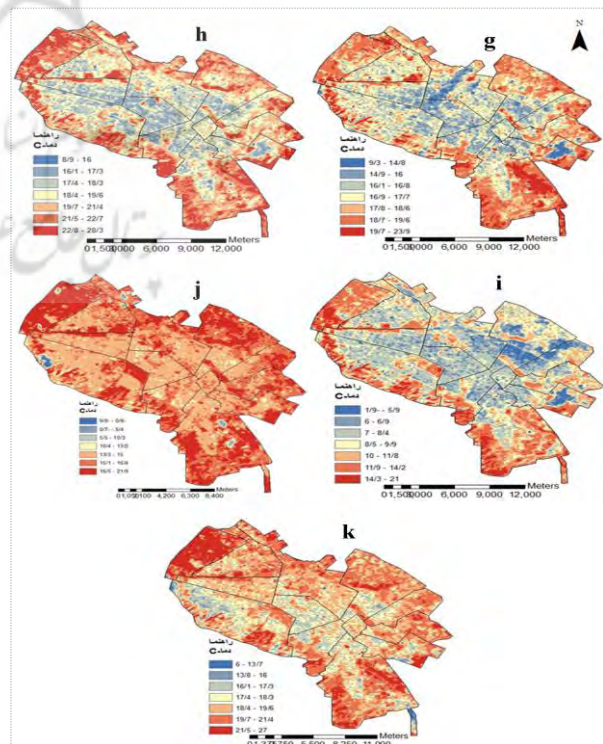
شکل ۴. پراکنندگی دما در ماه‌های مختلف

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

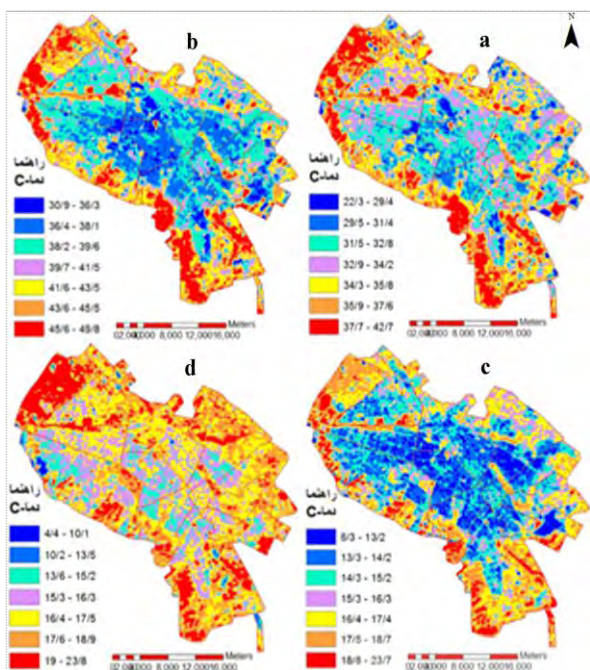
در ماه اکتبر (شکل ۴، گ) شهر مشهد دمای سطحی بین ۹-۲۴ درجه سانتی‌گراد دارد، چنانکه حداکثر و حداقل دما نسبت به ماه دسامبر به ترتیب ۲۴ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد کاهش نشان می‌دهد. همچنین متوسط و دامنه دما به ترتیب ۱۷ و ۱۵ درجه و آفت دما به ترتیب ۲۰ و ۶ درجه‌ای نسبت به ماه قبل می‌باشند. این تغییر شدید در دمای سطحی نشان‌دهنده تغییر فصل گرما به سرماست که این با کاهش تابش، طول روز، ساعات آفتابی و تغییر زاویه تابش خورشید در پاییز، جذب کاهش می‌یابد؛ بنابراین نواحی داخلی نیز دمای بین ۹-۱۸ درجه‌ای را تجربه می‌کنند که باغات نیز در همین محدوده دمایی قرار دارند. در این ماه نیز مشابه ماه‌های قبل حواشی شهر، فرودگاه، ترمینال، راه آهن و اطراف دو بزرگراه (امام علی و همت) و زمین‌های بایر و خالی بیشترین دمای سطحی را دارند. در ماه نوامبر (آبان) (شکل ۴، ه) دمای سطحی در کل شهر بین ۹-۲۸ درجه سانتی‌گراد

به طور کلی، شهر مشهد در ماه اوت، بالاترین مقدار دما و در ماه فوریه کمترین مقدار دمای سطحی را تجربه می‌کند. همچنین نقش عناصر جوئی در افزایش دمای سطحی زمین در این بررسی ماهانه آشکار شد که افزایش دما و برقراری حالت پایدار در روزهای مورد مطالعه (نمونه ماه نوامبر) نظم و روند تغییرات دمای شهر را تغییر می‌دهد. حواشی غربی-جنوب‌غرب و جنوبی شهر مشهد همچنین کاربری‌هایی همچون فرودگاه-ترمینال و راه آهن و در فصل‌های فاقد پوشش گیاهی باغات و زمین‌های کشاورزی از بالاترین دماها در شهر مشهد برخوردار می‌باشند. پارک‌ها و مناطق دارای پوشش گیاهی در داخل شهر نسبت به حومه در همه ماه‌ها کمترین دما را دارند (شکل ۴). همچنین توزیع فضایی و زمانی دمای شهر در مقیاس فصلی نشان داد (جدول ۳، شکل ۵ و ۶)، غالب مناطق داخلی شهر دمای سطحی بین ۳۱-۴۰ درجه سانتی‌گراد داشته و از داخل به سمت حاشیه شهر دمای سطحی افزایش دارد. بیشترین افزایش دما در شمال‌غرب-جنوب و جنوب شرق شهر شامل منطقه ۱۲، قسمت‌هایی از مناطق ۸، ۹ و منطقه ۷ می‌باشند. بخش شمالی بولوار امام علی، راه آهن، ششصد دستگاه، جنوب شهر مشرف به ارتفاعات، قسمت‌هایی از زمین‌های کشاورزی منطقه ۲، ۳، ۴ و ۵ بیشینه دمای سطحی و بوستان‌ها، باغات اطراف میدان فردوسی و پارک ملت، پارک جنگلی طرق با حداقل دمای سطحی (۳۱ درجه سانتی‌گراد) در فصل گرم سال (شکل ۶، b)، معتدل می‌باشند. در کل شهر مشهد در فصل پاییز (شکل ۶، c) تفاوت دمای سطحی کاهش دارد و دما بین ۶-۲۴ درجه سانتی‌گراد و دامنه تغییرات دما ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. توزیع فضایی حداقل دمای سطحی در مناطق داخلی شهر بین ۶-۱۵ درجه سانتی‌گراد بوده که شامل زمین‌ها و باغات شهر، باغ امام رضا، فضاهای مسکونی، پارک ملت و پارک جنگلی طرق می‌باشند. در این فصل، مناطق با دمای سطحی بالا شامل بولوار امام علی، منطقه ۱۲ شهرداری مشهد، منطقه ۷ (فرودگاه)، راه آهن، ترمینال و زمین‌های

درجه کاهش دارد. در این ماه مناطق داخلی شهر دمای بین ۱۰-۱۵ درجه و بالاترین دمای سطحی در حاشیه شمالی شهر از منطقه ۶ تا ۱۲ و محدوده‌های با جزیره حرارتی در ماه‌های قبل و در باغات از جمله ملک آباد، امام رضا و بخش‌های عمده‌ای از شهر مشاهده شد. این محدوده‌ها، دمای بین ۱۵-۲۲ درجه دارند. پایین‌ترین دمای سطحی در نقاطی از فرودگاه، جنوب منطقه ۹ و شمال غربی منطقه ۲ مشاهده شد. در ماه مارس (اسفند) (شکل ۴، k) دمای سطحی شهر بین ۶-۲۷ درجه و متوسط و دامنه دما به ترتیب ۱۶/۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد بود و این نشان از افزایش دمای سطحی در شهر است. نواحی داخلی دمای بین ۶-۲۰ درجه و باغات و زمین‌های کشاورزی دمای سطحی بالای ۲۰ درجه دارند. همچنین فرودگاه، ترمینال، راه آهن و نواحی حاشیه شهر به خصوص مناطق ۶ تا ۱۲ شهری در اطراف شهر، بالاترین دمای سطحی، ۲۰-۲۷ درجه و مناطق با دمای پایین در این ماه منطقه ۱، مناطق اطراف ثامن و منطقه ۹ با دمای ۶-۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشند.



ادامه شکل ۴



شکل ۶. پراکندگی دمای سطحی شهر مشهد در فصول مختلف (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

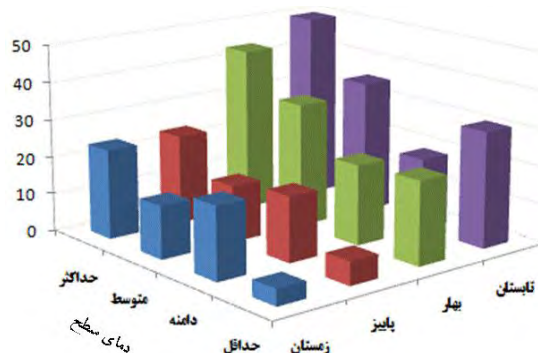
در مقیاس فصلی در طول سال به خصوص در فصول بهار، تابستان و پاییز بخش غالبی از مناطق داخلی شهر دمای متوسط به پایین را تجربه می‌کنند، هرچند در داخل شهر محدوده کمربند امام علی، شش‌دستگاه، راه‌آهن، فرودگاه، میدان‌های بزرگ شهر و مناطق با کاربری زمین خالی در داخل شهر و مناطق حاشیه شهر به خصوص منطقه ۱۲، جنوب مناطق ۷، ۸ و ۹ بالاترین دمای سطحی را دارند. در فصل زمستان با وجود کاهش پوشش گیاهی بخش عمده شهر، دمای سطحی بالا و یکنواخت تری داشته و باغات داخل شهر نیز به دلیل نبود پوشش گیاهی دمای بالا را نشان می‌دهند. در این فصل نیز بیشینه دما مشابه فصول قبل به علاوه باغات می‌باشند. به‌طور کلی توزیع محدوده‌هایی با دمای سطحی متفاوت در کل سال نشان داد (شکل ۷)، متوسط دمای سطحی سالانه شهر مشهد بین ۱۸-۳۵ درجه سانتی‌گراد است. چنانکه بخش غالب محدوده داخلی شهر دمای بین ۱۸-۲۷ درجه سانتی‌گراد را تجربه کرده و مناطق حاشیه شهر دمای سطحی بالای بین ۲۸-۳۵ درجه سانتی‌گراد دارند؛ بنابراین در مقیاس سالانه، الگوی فضایی دمای

کشاورزی واقع در شمال شرقی، جنوب و جنوب شرق شهر، جنوب باغ ملک آباد و دانشگاه فردوسی در این فصل دمای بالا را تجربه می‌کنند. بیشتر نواحی شهر به خصوص بخش‌های داخلی در دامنه دمای خنک واقع شده و شدت و گستره بخش‌های دارای بیشینه دما، کاهش دارد. در فصل زمستان (شکل ۶، d)، دامنه توزیع دمای سطحی شهر کاهش داشته و دما بین ۴-۲۴ درجه سانتی‌گراد در کل شهر و دامنه تغییرات دمای سطحی، ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. در این فصل بیشتر نواحی شهر در محدوده دماهای بالا با دمای ۱۶-۲۴ درجه قرار داشته و محدوده کوچکی از مناطق مسکونی داخل شهر دمای کمتر از ۱۶ درجه سانتی‌گراد را تجربه می‌کنند. چنانکه محدوده شمالی و شمال شرقی شهر، منطقه ۱۲، بولوار امام علی، باغ ملک‌آباد، منطقه ۷، فرودگاه، راه‌آهن، ترمینال، زمین‌های کشاورزی اطراف میدان فردوسی، زمین بایر واقع در منطقه ۳ شهرداری، فضاهای باز در منطقه ۶ در دامنه دمای بین ۱۸-۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار دارند. در این فصل با نبود پوشش گیاهی در شهر، حتی فضاهای سبز شهری در دامنه دمای ۱۴-۱۶ درجه قرار گرفته که در محدوده نواحی با دمای نسبتاً بالا جای دارند.

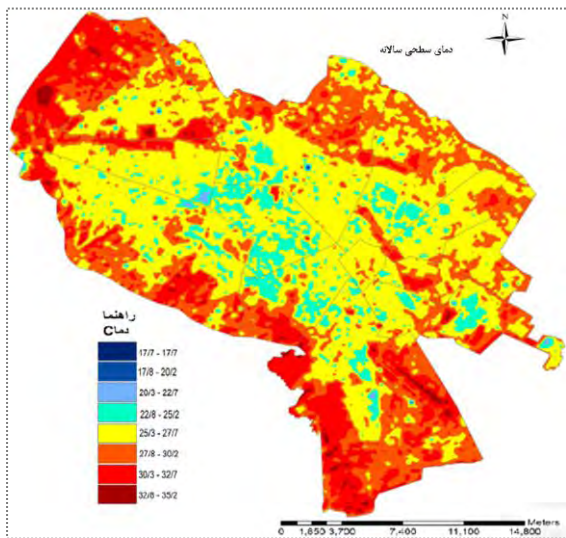
جدول ۳. تغییرات دمای سطحی در طول سال

دمای سطحی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
حداکثر	۴۳/۷	۴۹/۸	۲۳/۷	۲۳/۸
حداقل	۲۲/۳	۳۰/۹	۶/۳	۴/۴
متوسط	۳۳	۳۵/۴	۱۵	۱۴/۱
دامنه	۲۱/۴	۱۸/۹	۱۷/۴	۱۹/۴

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۵. تغییرات ویژگی‌های دمای سطحی در فصول سال



شکل ۷. دمای سطحی سالانه شهر مشهد
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

روند تغییرات درجه حرارت سطحی شهر مشهد در ۱۳ منطقه شهری با کاربری متفاوت (شکل ۶) نشان داد، گرم‌ترین منطقه شهر مشهد در طی فصول مختلف، منطقه دوازده است. در این منطقه بخش غالب کاربری اراضی آن زمین‌های بایر، فضاهای خالی، تأسیسات تجاری و شهری، زمین‌های کشاورزی، نمایشگاه و فضاهای خالی می‌باشند (شکل ۲)؛ از این رو کاربری‌های مذکور همان‌طور که در بخش قبل مشاهده شد، در همه نقاط شهری بیشترین دمای سطحی را به دلیل جذب بالای تابش سطحی دارند. همچنین منطقه ۱ شهری، حداقل دمای سطحی در طی فصول مختلف را دارد (جدول ۴). قدیمی‌ترین منطقه شهری مشهد شامل محله‌های سناباد، سعدآباد و آبکوه بوده که کاربری غالب آن مناطق مسکونی ویلایی و مختلط فعالیت است و بخشی نیز فضاهای سبز درمانی و ورزشی است. مناطق مسکونی در این منطقه با تراکم پایین و عمدتاً خانه‌های حیات‌دار با پوشش درختی انبوه بوده و درختان با چند دهه قدمت و پوشش مناسب در این منطقه مشاهده شد. همچنین کال چهل بازه با کاربری درخت و فضای سبز تفریحی شهرداری در این منطقه وجود دارد؛ از این رو این ویژگی‌ها موجب شده تا این منطقه با قرارگیری در مرکز شهر، پایین‌ترین دماها (خنک‌ترین منطقه) را در

سطحی در شهر مشهد، به جز محدوده‌های کوچک در داخل شهر، از مرکز به بیرون، افزایش شدید دما مشاهده می‌شود. چنانکه مناطق حاشیه شهر شامل کل منطقه ۱۲، جنوب مناطق ۹، ۸، ۷، بخش غالبی از منطقه ۶ و شمال منطقه ۲ و زمین‌های کشاورزی و بایر در حاشیه شمال و شمال شرقی شهر بیشترین دمای سطحی را دارند. علاوه بر این در داخل شهر محدوده‌هایی از جمله حاشیه کمربندی امام‌علی، شهرداری منطقه ۱۰، صداوسیما، اطراف کال چهل بازه و زمین‌های بایر اطراف، کارخانه قند آبکوه تا شرق بلوار جانباز، فضای باز ششصد دستگاه (نمایشگاه ماشین‌آلات)، هتل هما، شرکت ملی گاز و اداره اوقاف آبکوه، فضای خالی شرق بولوار هنرور، راه آهن تا نیروگاه برق حرارتی و مصلی، بخش‌های جنوبی باغ ملک‌آباد، بخش‌هایی از دانشگاه فردوسی تا بولوار پیروزی، شرکت برق خراسان، میدان پژوهش، بخش‌هایی از منطقه ثامن، کارخانه نخریسی تا بلوار کوشش و ترمینال مسافری، میدان قطار شهری تا فرودگاه، کارخانه آسفالت و محدوده‌های کوچک‌تر در داخل شهر دارای دمای سطحی بالا می‌باشند. این محدوده‌ها جزیره‌های کوچک گرمایی در داخل شهر مشهد را موجب می‌شوند. از طرفی محدوده‌های با دمای سطحی پایین عمدتاً در منطقه ۱، شمال منطقه ۸، منطقه ۳ در شمال راه آهن از محله سمرقند تا خیرآباد، بخش جنوب غربی منطقه ۲، بخش‌هایی از منطقه ۵ و ۶ با کاربری فضای سبز و بوستان جنگلی، پارک ملت، ابتدای باهنر تا لاله، محدوده میدان مادر و محدوده‌هایی کوچک‌تر با کاربری پارک و بوستان در داخل شهر پایین‌ترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند.

مشهد شامل فرودگاه، ترمینال و طبقه ۶ با کاربری زمین بایر و ارتفاعات به طور پراکنده، در طول سال حداکثر دما را دارند. همچنین طبقه ۷ با کاربری کشاورزی و باغات در ماه سرد سال با پوشش گیاهی خزان دار و کاهش حجم توده سبز در ماه فوریه و مارس جزء گروه حداکثر دمای سطحی قرار می‌گیرند؛ بنابراین کاربری‌های کشاورزی و باغات با نبود پوشش گیاهی و پوشش خاک شبیه کاربری زمین خالی با تابش جذبی بالا می‌باشند. همچنین طبقه ۳ با کاربری ترمینال و فرودگاه در دو ماه سپتامبر و اکتبر (شهریور و مهر)، از حداکثر میانگین دما برخوردارند. کاربری‌های ارتفاعات اطراف شهر و زمین‌های فاقد کاربری شهری و پوشش گیاهی (طبقه ۶) در طول سال، جزء مناطق با بالاترین دمای سطحی می‌باشند. چنانکه با توجه به جهت قرارگیری ارتفاعات جنوب شهر (شمال-شمال غربی، جنوب شرقی) به خصوص در ماه‌های گرم و پاییز و پوشش سنگی و تیره با زمین‌های خالی، اشعه تابش خورشید بر این مناطق عمود است و با طلوع خورشید این محدوده با ارتفاع بیشتر تابش زودتر و بیشتری را جذب می‌کنند. چنانکه جدول (۵) نشان می‌دهد، این طبقه در دو ماه ژوئیه (تیر) و اوت (مرداد) از فصل تابستان، آوریل (فروردین) و ژوئن (خرداد) از فصل بهار، نوامبر (آبان) و دسامبر (آذر) از فصل پاییز و مارس (اسفند) بیشترین دمای سطحی را دارند. حداقل دماهای سطحی در ماه‌های مختلف سال در کاربری‌های مسکونی و مختلط فعالیتی (طبقه ۱) و فضای سبز و درمانی (طبقه ۲) مشاهده شد. همچنین متوسط حداقل دما در طبقه ۷ با کاربری کشاورزی و باغات داخل شهر نیز فقط در ماه مه در گروه با دمای حداقل قرار داشته و این نشان دهنده تغییر و کاهش پوشش گیاهی و تغییر کاربری در محدوده‌هایی مانند باغات آستان قدس، ملک آباد و غیره در داخل شهر است. طبقه یک که در برگیرنده کاربری‌های مسکونی و مختلط فعالیتی است در فصل‌های بهار و تابستان - آوریل (مهر) از پاییز و مارس (اسفند) از زمستان، کمترین دمای سطحی را دارا بوده و همچنین طبقه ۲

طول سال تجربه کند. در مرتبه بعد، منطقه ثامن در فصل زمستان و پاییز و منطقه ۹ در فصل زمستان در همه فصول حداقل دمای سطحی را تجربه می‌کنند. بیشترین تفاوت دمایی بین سردترین و گرم‌ترین منطقه در فصل تابستان مشاهده و فصل تابستان از بیشترین نوسان دمایی در شهر مشهد برخوردار است. کم‌ترین تفاوت دمایی بین سردترین و گرم‌ترین منطقه در فصل زمستان مشاهده شد. منطقه ۱۲ مشهد در فصل تابستان از ماکسیمم دما ۴۹ درجه سانتی‌گراد و در فصل پاییز دمای سطحی آن ۲۱ درجه سانتی‌گراد است. این اختلاف دما به دلیل وجود زمین‌های باز و فاقد کاربری که در تابستان به دلیل شدت و مدت بیشتر تابش خورشید از دمای سطحی بیشتر و پاییز کمترین دمای سطحی را دارند. منطقه ۱ مشهد نیز به دلیل اینکه بالغ بر ۷۴ درصد از مساحت آن توسط کاربری‌های طبقه یک و دو و پوشش درختی بالا اشغال شده (کاربری‌هایی که در طی تمام سال از حداقل دما برخوردار بوده‌اند)، طبیعی است سردترین منطقه محسوب شود و تفاوت دمایی فصول گرم و سرد آن به دلیل تفاوت در شدت و مدت تابش خورشید است.

جدول ۴. مناطق حداقل دمای سطحی شهر مشهد

فصل	منطقه شهری	دمای سطحی		
		حداکثر	حداقل	متوسط
بهار	یک	۳۹	۲۷	۳۲
	یک	۴۷	۳۳	۳۷
پاییز	یک	۱۹	۱۱	۱۴
	ثامن	۱۶	۱۱	۱۴
زمستان	یک	۲۰	۱۳	۱۶
	نه	۲۳	۴	۱۶
	ثامن	۱۸	۱۴	۱۶

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

همچنین دمای سطحی هر کدام از کاربری‌ها در طول سال و اینکه کدام کاربری‌ها با جذب بالاتر تابش در درون شهر، جزایر حرارتی داخل شهر را موجب می‌شود (جدول ۵) نشان داد، طبقه ۳ کاربری اراضی شهر

ارتباط با دمای متوسط کاربری‌ها در طی سال (جدول ۶) نشان داد، کاربری فضای سبز، بوستان، پارک و درمانی (کاربری ۱) و مسکونی و مختلط فعالیتی (کاربری ۲) حداقل دمای سطحی و کاربری‌های فرودگاه، ترمینال، حمل‌ونقل شهری (کاربری ۳) و ارتفاعات و زمین‌های بایر (کاربری ۶) بالاترین دمای سطحی را دارند. همچنین پایین‌ترین دامنه دمای سطحی در دو کاربری شهری شامل کاربری فضای سبز، بوستان، پارک و درمانی (کاربری ۱) با تفاوت دمایی ۳۲ درجه سانتی‌گراد (حداکثر ۴۱ و حداقل ۹ درجه) و کاربری کشاورزی و باغات داخل شهر با دامنه ۳۲ درجه سانتی‌گراد (حداکثر ۴۳ و حداقل ۱۱ درجه) است و نشان می‌دهد این دو کاربری شهری از نوسان دمایی پایینی در طول سال برخوردارند و کاربری مسکونی و مختلط با پوشش‌های فیزیکی متفاوت (کاربری ۲) با دمای پایین‌تر در طی سال، دامنه و نوسان بیشتری (۳۴ درجه) نسبت به کاربری باغات و کشاورزی دارد و از نظر دامنه دمایی با کاربری ارتفاعات و زمین‌های بایر (کاربری ۶) مشابه می‌باشند. همچنین بالاترین دامنه دمایی در کاربری حمل‌ونقل شهری، فرودگاه و ترمینال مسافربری با نوسان ۳۵ درجه سانتی‌گراد (حداکثر ۴۶ و حداقل ۱۱ درجه) مشاهده شد.

جدول ۶. میانگین ماهانه و دامنه دمای سطحی کاربری شهری

کاربری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	دامنه
آوریل	۲۹	۲۹	۲۵	۲۳	۲۲	۳۵	۳۳	۶
مه	۳۱	۳۲	۳۵	۳۴	۳۳	۳۲	۳۱	۴
ژوئن	۳۵	۳۷	۴۰	۳۹	۳۸	۴۱	۳۷	۶
ژوئیه	۴۱	۴۱	۴۴	۴۳	۴۲	۴۵	۴۲	۴
اوت	۳۹	۴۰	۴۶	۴۴	۴۲	۴۶	۴۳	۷
سپتامبر	۳۵	۳۵	۴۱	۳۹	۳۷	۴۰	۳۸	۶
اکتبر	۱۷	۱۷	۱۹	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱
نوامبر	۱۹	۱۸	۲۱	۲۱	۲۰	۲۲	۲۱	۴
دسامبر	۹	۷	۱۱	۱۱	۹	۱۲	۱۱	۵
فوریه	۱۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶	۱۷	۳
مارس	۱۸	۱۸	۲۰	۱۹	۱۹	۲۰	۲۰	۲
دامنه	۳۲	۳۴	۳۵	۳۳	۳۳	۳۴	۳۲	

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

با کاربری‌های تفریحی-توریستی و درمانی در فصل پاییز، بهمن، اسفند، فروردین، تیر و شهریور نیز دمای سطحی پایین دارند؛ بنابراین کاربری‌های فضای سبز، پارک، بوستان و درمان (طبقه ۱) در نیمه گرم سال از کم‌ترین دما و کاربری مسکونی و مختلط فعالیتی (طبقه ۲) در نیمه سرد سال کم‌ترین دمای سطحی را تجربه می‌کنند.

جدول ۵. حداکثر و حداقل میانگین دمای کاربری‌های شهری

ماه	منطقه شهری		ماه	منطقه شهری	
	حداکثر	حداقل		حداکثر	حداقل
آوریل	۲-۱	۳-۶	سپتامبر	۲-۱	۳
می	۱-۷	۳	اکتبر	۲-۱	۳
ژوئن	۱	۶	نوامبر	۲	۶
ژوئیه	۲-۱	۶	دسامبر	۲	۶
اوت	۱	۳-۶	فوریه	۲	۷
			مارس	۲-۱	۳-۷

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

تغییرات میانگین دما در ماه‌های مختلف در هر طبقه نشان داد (جدول ۶)، کاربری‌های مختلف شهری مشهد در ماه اوت (مرداد) و ژوئیه (تیر) از حداکثر میانگین دمای سطحی، چنانکه همه کاربری‌های شهری در این دو ماه از فصل تابستان دمای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد داشته و به عبارتی تابستان واقعی شهر مشهد در این دو ماه است. همچنین در ماه اوت، بیشترین دامنه دمای سطحی در طی ماه‌های مختلف سال در بین کاربری‌های شهری مشاهده شده، چنانکه بین حداقل و حداکثر دمای سطحی کاربری‌ها در این ماه ۷ درجه سانتی‌گراد تفاوت دمایی وجود دارد و کاربری ۱ با ۳۹ درجه کمترین و کاربری ۳ و ۶ با ۴۶ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین پوشش‌های فیزیکی شهر مشهد می‌باشند. حداقل دمای سطحی کاربری‌های شهری در ماه دسامبر با حداقل دمای ۷ درجه و حداکثر ۱۲ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین دامنه دمایی در ماه آوریل با ۱ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که نشان می‌دهد در این ماه تمام کاربری‌ها و پوشش‌های فیزیکی دمای سطحی مشابه را تجربه می‌کنند. در

بحث و نتیجه‌گیری

مدل الگوی فضایی دمای سطحی مشهد، افزایش دمای سطحی از مرکز به بیرون شهر در زمان گذر ماهواره لندست است؛ بنابراین مناطق حاشیة شهر با فضای خالی (فاقد کاربری) و کاهش پوشش گیاهی، پیش کوه‌های بینالود در جنوب و جنوب غربی شهر، افزایش شدید دمای سطحی را دارند. در حالی که مناطق مرکزی و قدیمی شهر با تراکم ساختمانی کمتر، حیات سبز و پوشش گیاهی بیشتر روند کاهش دما را تجربه می‌کنند، از جمله منطقه یک شهری شامل سناباد، آبکوه، احمدآباد، ملک‌آباد، سعدآباد و کوهسنگی، بخش شمالی منطقه هشتم شهری شامل ارگ، سراب، سرشور و محله‌هایی در جنوب منطقه ۳ و جنوب منطقه ۲ شهری می‌باشند. این الگوی فضایی بر عکس کلان شهرهای جهان با اقلیم مرطوب و موافق با شهرها در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (اسکورو، ۱۳۹۱). ترکیب و ساختار در کلان شهرهای مناطق مرطوب در مرکز شهر ساختمان‌های با تراکم بالا و به حاشیة شهر باغ سرا و خانه‌های ویلایی و جنگل و درختزار ولی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در مرکز شهر و مناطق سنتی شهر، خانه‌های ویلایی و حیاط‌دار که در گذشته در اطراف و مظهر منبع آبی، اغلب قنات‌ها، شکل گرفته و به حاشیة شهر بلند مرتبه سازی و ساختمان‌های مرتفع با نبود درخت و در حاشیه و بیرون شهر زمین‌های خشک و بایر مشهود است. این مناطق بیشینه دما در دیگر شهرها، تهران (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۱، ساسان پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۵۶)، شیراز (احمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۵)، شانگهای (Zahang et al, 2013: 121) نیز وجود دارد. همچنین روند کاهش دمای سطحی، جزایر گرمایی، از مرکز به بیرون شهر، نشان از الگوی ناهمگن و غیر ساختاری بودن فرم شهرها و کاربری‌های مختلف در کلان شهرهای ایران و کلان شهر مشهد دارد؛ از این رو با این الگوی فضایی و ناهمگنی شهر مشهد علاوه بر افزایش دمای سطحی در حاشیة شهر، در داخل شهر نیز مناطق با فضای باز (منطقه ۱۲، جنوب منطقه ۹،

۸، ۷ و فضای خالی و بایر منطقه ۵ و ۶) و زمین‌های خالی آستان قدس رضوی در داخل شهر، کاربری‌های صنعتی شامل کارخانه قند، کارخانه آسفالت، نیروگاه حرارتی، کارخانه نخ‌ریسی، شرکت نفت و گاز، شرکت برق خراسان و کاربری حمل‌ونقل شامل راه‌آهن، فرودگاه و ترمینال و بزرگراه‌های درون شهری شامل امام علی و همت، بیشترین دمای سطحی را داشته و محدوده‌های کوچک جزیره گرمایی شهر مشهد را تشکیل می‌دهند که این کاربری‌ها در دیگر شهرهای ایران از جمله شهر تهران (ساسان پور، ۱۳۹۲: ۲۵۶؛ صادقی‌نیا، ۱۳۹۱: ۱) و اهواز (معروف‌نژاد، ۱۳۹۰: ۶۵) نیز بیشترین دمای سطحی را دارند. در الگوی فضایی مشهد، در طول سال کمترین دمای سطحی را مناطق با پوشش گیاهی، باغات و فضای سبز به جز فصل خزان، به دلیل اثر خنک‌کنندگی این پوشش‌های فیزیکی در ارتباط با تبخیر و تعرق (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹) دارند. در فصول سرد سال به دلیل تغییر پوشش فیزیکی سطح زمین در باغات و زمین‌های کشاورزی، جزایر حرارتی شهر بر روی این نواحی نیز کشیده می‌شوند. تغییرات زمانی دمای سطحی در طول سال شهر مشهد، در فصل پاییز و ماه آذر (دسامبر) سردترین و ماه مرداد (اوت) و تابستان گرم‌ترین دمای سطحی بوده و بیشترین تفاوت دمایی (دامنه دما) شهر مشهد در فصل بهار است. این تفاوت دمایی مرکز و حومه شهر در بهار، بارش‌های همرفتی این فصل در شهر مشهد را موجب می‌شود. تغییرات حداقل و حداکثر دمای سطحی با روند سریعی از ماه مه (اردیبهشت) به ژوئن (خرداد) اتفاق می‌افتد که نشان از شروع تابستان در شهر دارد و در دو ماه ژوئیه (تیر) و اوت بالاترین دمای سطحی را شهر مشهد تجربه می‌کند. پایین‌ترین دمای سطحی در ماه دسامبر و فوریه و کمترین دامنه دمایی شهر مشهد در ماه اکتبر و فصل پاییز که نشان از دمای مشابه تمام کاربری‌های شهری در این فصل دارد. در شهر مشهد کاربری فضای سبز، پارک، بوستان و کاربری مسکونی و مختلط در طول سال پایین‌ترین دمای سطحی را دارند

داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست، محیط‌شناسی، دوره ۳، شماره ۴۳، صفحه ۱۰۷-۱۲۰.

جویباری مقدم، یاسر؛ محمدآخوندزاده و محمدرضا سراجیان (۱۳۹۴)، ارائه یک الگوریتم مجزای نوین به‌منظور تخمین دمای سطحی از داده‌های ماهواره لندست ۸، علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۲۱۵-۲۲۶.

حجازی‌زاده، زهرا؛ پرویز ضیاییان فیروزآبادی و علیرضا شیرخانی (۱۳۹۲)، مقایسه تخمین دمای سطح با استفاده از داده‌های باند حرارتی سنجنده‌های ماهواره‌ای در غرب استان تهران و قزوین، جغرافیا، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صفحه ۳۳-۴۹.

دشتکیان، کاظم و محمد علی دهقانی تفتی (۱۳۸۶)، بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجنش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: منطقه یزد- اشکذر)، پژوهش و سازندگی، دوره ۲۰، شماره ۷۷، صفحه ۱۶۹-۱۷۹.

رضانی، بهمن و سیده مریم دخت محمد (۱۳۸۹)، شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۱، شماره ۱، صفحه ۴۹-۶۴.

ساسان پور، فرزانه؛ پرویز ضیاییان فیروزآبادی و مریم بهادری (۱۳۹۲)، بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، جغرافیا، دوره ۱۱، شماره ۳۹، صفحه ۲۵۶-۲۷۰.

شکیبا، علیرضا؛ پرویز ضیاییان فیروزآبادی؛ داوود عاشورلو و سودابه نامداری (۱۳۸۸)، تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM+، نشریه سنجنش از دور و GIS ایران، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۳۹-۵۶.

صادقی‌نیا، علیرضا؛ بهلول علیجانی و پرویز ضیاییان فیروزآبادی (۱۳۹۱)، تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۱، شماره ۴، صفحه ۱-۱۷.

عبداللهی، جلال؛ سید علی محمد چراغی و محمد حسن رحیمیان (۱۳۸۷)، مقایسه آثار زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی بر تغییر پوشش گیاهی و دمای سطحی در مناطق شهری و غیرشهری با به‌کارگیری سنجنش از دور، محیط‌شناسی، دوره ۳۴، شماره ۴۵، صفحه ۸۵-۹۶.

کاوینانی، عباس؛ تیمور سهرابی و پیمان دانش‌کار آراسته (۱۳۹۲)، تخمین دمای سطح زمین با استفاده از شاخص اختلاف نرمال‌شده (NDVI) در تصاویر سنجنده‌های

و پایین‌ترین دما را کاربری فضای سبز و باغات دارند و نشان می‌دهد در این دو کاربری تغییرات دمای سطحی در طول سال کم بوده و دمای معتدل و مناسب است. کاربری حمل‌ونقل و ارتفاعات و زمین بایر بالاترین دمای سطحی را در طول سال تجربه می‌کنند. همچنین بالاترین و پایین‌ترین دما به ترتیب در ماه اکتبر (مهر) و اوت (مرداد) در شهر مشهد اتفاق می‌افتد. همچنین پدیده‌های اقلیمی و از جمله جبهه‌های گرم و امواج گرمایی در شهرها بر دمای سطحی در داخل شهرها و برداشت تصاویر ماهواره‌ای اثر می‌گذارند و روند دمای سطحی در طول سال را تغییر می‌دهند (نمونه، ماه نوامبر در این تحقیق). افزایش دمای سطحی شهر مشهد و گرم شدن شهر، تأثیرات منفی بر محیط طبیعی، افزایش مصرف انرژی و آب، کاهش فعالیت اقتصادی و کاهش سلامتی روحی و جسمی شهروندان را موجب می‌شود و ضروری است به منظور مدیریت ریسک و بحران این پدیده شهری، افزایش کاربری فضای سبز و پوشش گیاهی در داخل شهر و پوشش جنگلی به خصوص در ارتفاعات و زمین‌های بایر در حاشیه جنوبی شهر و بزرگراه‌ها برای کاهش جزایر حرارتی مناطق و محدوده‌های فاقد کاربری داخل و حاشیه شهر انجام شود. این یافته‌ها مرتبط با دمای سطحی شهر مشهد متأثر از شرایط فیزیکی سطح زمین و زاویه تابش در زمان گذر ماهواره است.

منابع

- احمدی، محمود؛ داوود عاشورلو و مهدی نارنگی‌فرد (۱۳۹۱)، تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی و کاربردی شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM & ETM+، سنجنش از دور و GIS ایران، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۵۵-۶۸.
- اسکورو، ژیزل، (۱۳۹۱). اقلیم و شهر. ترجمه کاظم جاجرمی. انتشارات اندیشه‌های گوهربار تهران. چاپ دوم. تهران.
- امیری، رضا؛ عباس علی‌محمدی و سید کاظم علوی‌پناه (۱۳۸۶)، مطالعه تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از

- Nduati, E.W., Mundia, Ch. N., Moses M. Ngiigi, M. M., Kenduyiwo, B.K (2013). A Remote Sensing – based approach to Evaluation of Trends and impacts of Land Surface changes in the Mara Ecosystem. Proceeding of global geospatial conference, Addis Ababa, Ethiopia, 4-8 November.
- Omran, El.E (2012). Detection of land – use and surface temperature change at different resolutions. *Journal of Geographic Information System* 4: pp.189-203.
- Sundara Kumar, K., Udaya Bhaskar, P., Padmakumari, K (2012). Estimation of Land Surface Temperature to Study Urban Heat Island Effect Using Landsat ETM+ Image. *International Journal of Engineering Science and Technology* 4: pp.771-778.
- Zhang, H., Qi, Z.f., Ye, X.y, Cai, Y.B., Ma, W.C., Chen, M, n (2013). Analyses of Land use / Land cover Change, Population Shift, and effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography* 44: pp. 121-133.
- ۱، شماره ۱، صفحه ۱۴-۲۵. Landsat ETM+ و MODIS، هواشناسی کشاورزی، دوره
- مشتاق، ناهید؛ رضا جعفری و سعید سلطانی (۱۳۹۰)، بررسی تغییرات دمای سطحی و کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهر اصفهان)، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، ۷-۸ اردیبهشت ۱۳۹۰.
- معروف‌نژاد، عباس (۱۳۹۰)، تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی، (مطالعه موردی: شهر اهواز)، آمایش محیط، دوره ۴، شماره ۱۴، صفحه ۶۵-۹۰.
- موسوی بایگی، محمد؛ بتول اشرف؛ علیرضا فریدحسینی و آمنه میان‌آبادی (۱۳۹۱)، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۳۵-۴۹.
- هاشمی، سید محمود؛ سید کاظم علوی پناه و مرتضی دیناروندی (۱۳۹۲)، ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۱، صفحه ۸۱-۹۲.
- ونگ، تای چی و بلیندا یوئن. (۱۳۹۲). برنامه‌ریزی شهر اکولوژیک: سیاست‌ها، تجارب و طراحی. ترجمه محمدرحیم رهنما و الهه کریمی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. مشهد.
- Buyantuyev, A., Wu, J (2010). Urban Heat Island and landscape Heterogeneity: Linking Spatiotemporal Variation in Surface Temperatures to Land-Cover and Socioeconomic Patterns. *J. Landscape Ecology* 25: pp.17-33.
- Li, Y.y., Zhang, H., Kainz, W (2012). Monitoring Patterns of Urban heat island of the fast – growing Shanghai metropolis, China: using time – series of Land sat TM/ETM+ data. *International Journal of Applied Earth Observation and GeoInformation* 19: pp. 127-138.
- Lilly Rose, A., Monsingh, D., Devadas (2009). Analysis of land surface temperature and land use/land cover types using remote sensing imagery – a case in Chennai city, India, The seventh international conference on urban climate, 29 June-3 July 2009, Yokohama, Japan.
- Malekpour, P. Taleai, M (2011). Modeling of Relationship between Land use /Cover and land Surface Temperature Using ASTER datasets. *Journal of Environmental Studies* 37: pp. 10-12.