



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰  
Vol.13, No. 4, Winter 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

۳۵-۵۰

مقاله پژوهشی

## واکاوی رفتار زمانی و مکانی جزیره گرمایی کلان شهر مشهد

مسلم ترکی<sup>۱</sup> و سید ابوالفضل مسعودیان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه اصفهان

۲. استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹

### چکیده

گسترش شهرنشینی و افزایش جمعیت در کلان‌شهرها و رشد فعالیت‌های صنعتی در شهرها باعث ایجاد تغییراتی در خرداقلیم مناطق شهری شده است. یکی از نتایج این تغییرات، جزایر گرمایی شهر است. شهر مشهد نیز، طی سال‌های اخیر، رشد شتابناکی داشته است. در این پژوهش، جزیره گرمایی / سرمایی رویه پایه کلان‌شهر مشهد براساس آب‌وهوای پس‌زمینه بررسی شده که هدف آن شناخت رفتار زمانی و مکانی این جزیره گرمایی بوده است. بدین‌منظور، داده‌های دمای رویه زمین سنجنده‌های مودیس ترا و مودیس آکوا دریافت و جزیره گرمایی، براساس آن، بررسی شد. برای سنجش جزیره گرمایی، از روش نوینی استفاده شد. در این روش، نقشه‌های کاربری اراضی مودیس برای تعیین محدوده شهر و غیرشهر و همچنین، تعیین نوع کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه به‌کار رفت. آب‌وهوای پس‌زمینه برپایه دمای دورسو مشخص شد، نماینده دمای غیرشهر طبق بیشترین تکرار دما انتخاب شد و جزیره گرمایی براساس آن محاسبه شد. بررسی جزیره گرمایی / سرمایی در بازه روزانه نشان داد که در کلان‌شهر مشهد، طی روز، میانگین دما کمتر و در شب، دمای شهر بیشتر از دمای بیرون شهر است. همچنین، بررسی فصلی جزیره گرمایی / سرمایی این کلان‌شهر نشان می‌دهد که جزیره سرمایی، روز هنگام، طی فصل‌های گرم سال بیشترین مقدار و در فصل‌های سرد کمترین مقدار را دارد و تغییرات فصلی جزیره گرمایی شبانه کمتر از جزیره سرمایی روز هنگام است. هسته جزیره سرمایی روز هنگام مشهد در محدوده حرم مطهر تا میدان شهید فهمیده به‌سمت حاشیه غربی شهر قرار دارد. این منطقه منطبق بر پارک‌ها و باغ‌های بزرگ شهری است. هسته جزیره گرمایی شبانه در بافت قدیمی، پرتراکم و پررفت‌وآمد شهر و در محدوده حرم مطهر به‌سمت شمال غرب قرار دارد. شدت جزیره گرمایی / سرمایی نیز ارتباط مستقیمی با سرعت وزش باد دارد. نقش کاربری اراضی در تشدید و یا کاهش شدت جزیره گرمایی شهر مشهد به‌خوبی مشخص است. در توسعه شهر، می‌توان توجه بیشتری به کاربری اراضی شهری داشت تا دمای شهر را با استفاده درست از آن، تعدیل کرد.

کلیدواژه‌ها: جزیره گرمایی، کلان‌شهر مشهد، مودیس، دمای رویه زمین.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیای طبیعی، کدپستی ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، تلفن: ۰۲۱۳۷۹۳۳۱۳۳، ۰۹۱۳۳۱۳۱۱۰۱

## ۱- مقدمه

مطالعه جزیره گرمایی را دوچندان کرده است (Schwarz, 2012). همچنین، همانندسازی‌ها نشان می‌دهد که اثر گرمایش جهانی در تقویت جزایر گرمایی شهری، در مناطق خشکی مانند خاورمیانه، زیادتیر خواهد بود (McCarthy et al., 2010).

دو رویکرد اصلی در بررسی جزیره گرمایی وجود دارد؛ رویکرد مبتنی بر مقایسه دمای هوا بین ایستگاه‌های واقع در شهر و بیرون شهر (رویکرد سنتی) و رویکرد مبتنی بر مقایسه دمای رویه بین شهر و بیرون شهر (رویکرد نوین) (Jin et al., 2005). در رویکرد سنتی، در کنار تحقیقات متکی به ایستگاه‌های هواشناسی، تحقیقات دیگری بر مبنای دامسنج‌های نصب‌شده روی خودرو برای مطالعه تغییرات دمای شهر به کار رفته است. در روش سنتی، تفاوت دمای یک جفت ایستگاه یکی در شهر و دیگری بیرون از شهر، اساس تعریف جزیره گرمایی است. از آن‌جا که تفاوت دمای این دو ایستگاه به موقعیت، فاصله و شرایط جغرافیایی آنها بازمی‌گردد، با گزینش جفت ایستگاه‌های متفاوت برای شدت جزیره گرمایی یک شهر واحد، مقادیر متفاوتی به دست خواهد آمد؛ چون دمای رویه شهر بسیار ناهمگن است، یک یا حتی چند ایستگاه نمی‌تواند نماینده دمای شهر باشد. از سوی دیگر، بیرون از شهر، ممکن است رویه زمین بسیار متنوع باشد و با توجه به اینکه ایستگاه بیرون از شهر روی کدام گونه از این رویه‌ها جا گرفته باشد، دماهای متفاوتی پیدا خواهد کرد. از این رو، جزایر گرمایی که به این روش درمورد شهرهای گوناگون به دست می‌آید با یکدیگر قابل مقایسه نخواهد بود؛ بنابراین، به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای دمای رویه زمین ابزار بهتری برای تعریف جزیره گرمایی است. داده‌های ماهواره‌ای گسترده‌های بزرگی را پوشش می‌دهند و تفکیک مکانی متفاوتی دارند؛ پس ابزار بهتری برای تعریف شدت جزیره گرمایی شهری‌اند (Jin, 2012). استفاده از

جزیره گرمایی شهری انباشت دما، در مقایسه با مناطق اطراف شهر است که به صورت مکرر، از طریق سطوح شهری جذب می‌شود (Hidalgo et al., 2010). در حقیقت، جزیره گرمایی پیامد رشد شهرهاست که این رشد سبب افزایش رویه‌های ناتراوا، افزایش گرمای انسان‌ساخت، کاهش رویه‌های تبخیرکننده و تغییر در معادله بیلان انرژی می‌شود (Taha, 1997) نحوه قرارگیری ساختمان‌های شهر نیز، با تأثیر گذاشتن در جهت و سرعت باد، در شکل‌گیری جزیره گرمایی نقش دارد. به عبارت دیگر، هرگونه ناپایداری سرعت باد را افزایش می‌دهد و به علت ایجاد تلاطم، موجب کاهش شدت جزیره گرمایی می‌شود و شرایط پایدار نیز از سرعت باد می‌کاهد و سبب تقویت شدت جزیره گرمایی می‌شود (Landsberg, 1981). شهرنشینی یکی از اصلی‌ترین تغییرات انسان‌ساز در کره زمین است که نرخ شتاب آن در سراسر جهان افزایش بی‌سابقه‌ای یافته است (Seto et al., 2011). در حال حاضر، بیش از نیمی از جمعیت جهان (۵۴٪) در شهرها زندگی می‌کنند و پیش‌بینی شده است این تعداد به ۶۶٪ در سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۴۲۹-۱۴۲۸ شمسی) برسد (United Nations, 2016). شهر مشهد، در سده اخیر، رشد جمعیت بالایی داشته است. در سال ۱۳۵۵، این شهر چهارمین شهر بزرگ ایران بوده، پس از تهران، دومین شهر پرجمعیت ایران بود و تا به امروز همین جایگاه را داشته است (درگاه مرکز آمار ایران).

شهرنشینی ممکن است تأثیرات منفی بسیاری در اکوسیستم‌های زمین، که فراتر از مرز شهر هستند بگذارد. در میان این تأثیرات، جزیره گرمایی شهری مورد توجه دانشمندان و برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است. جزیره گرمایی در کیفیت زندگی شهری، از جمله مصرف انرژی، کیفیت هوا و آب و نیز تندرستی مردم اثر دارد (Peng, 2011). از سوی دیگر، افزایش میانگین درجه حرارت در نتیجه تغییرات آب‌وهوایی اهمیت

(Imhoff et al., 2010). از سوی دیگر، در آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک، حتی در شهرهای پرتراکم ممکن است شدت جزیره گرمایی اندک باشد یا حتی شاهد چاهک گرمایی شهری باشیم زیرا پیرامون شهر را بونه زارهای بیابانی پوشانده‌اند (Imhoff et al., 2010). در مقیاس جهانی، جزیره گرمایی روزانه شهری در فصل تابستان، در شهرهای واقع در زیبوم جنگل ۳.۸ درجه سانتی‌گراد است که به‌طور چشمگیری بیشتر از زیبوم با پوشش گیاهی کوتاه، مانند بونه‌زارها (۱.۹ درجه سانتی‌گراد)، زیمان خشک (۰.۲ درجه سانتی‌گراد) و زیمان نیمه‌خشک (صفر درجه سانتی‌گراد) است. همچنین، شدت جزیره گرمایی شبانه به‌نسبت باثبات‌تر است و پراش کمی در زیبوم‌های متفاوت دارد. میانگین جهانی جزیره گرمایی شبانه زمستانه، در زیبوم جنگل، ۱.۲ درجه سانتی‌گراد، بونه‌زار ۱.۵ درجه سانتی‌گراد، خشک ۱.۸ درجه سانتی‌گراد و نیمه‌خشک ۱ درجه سانتی‌گراد است. جزیره گرمایی شبانه تابستانه، در زیبوم جنگل، ۱.۵ درجه سانتی‌گراد، بونه‌زار ۱.۷ درجه سانتی‌گراد، خشک ۱.۵ درجه سانتی‌گراد و نیمه‌خشک ۱.۶ درجه سانتی‌گراد است (Zhang et al., 2010). وانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از داده‌های دمای مودیس، نشان دادند که در پکن جزیره گرمایی روز هنگام ورودش فصلی آشکاری نشان می‌دهد و در تابستان، بیشینه شدت آن از ده درجه سلسیوس هم فراتر می‌رود. در حالی که در زمستان و بهار ممکن است، حتی روی پکن، شاهد چاهک گرمایی باشیم. در مقابل، ورودش‌های فصلی جزیره گرمایی شبانه بسیار کمتر است. در این مطالعه، تفاضل دمای شهر و روستا مورد سنجش قرار گرفت. پیکسل شهر مرکز شهر انتخاب شد و برای پیکسل‌های روستا، چهار محدوده روستایی انتخاب شد (Wang et al., 2007).

ماهواره برای اندازه‌گیری جزیره گرمایی، در ابتدا، در دهه ۱۹۷۰ ارزیابی شد (Price, 1979). رانو<sup>۱</sup> (۱۹۷۲) اولین فردی بود که جزیره گرمایی شهری رویه‌پایه را با استفاده از سنجنده ماهواره‌ای، مطالعه کرد. وی در مقاله‌اش، با عنوان «بررسی جزایر گرمایی به‌کمک داده‌های ماهواره‌ای محیطی»، این باب را گشود (Majkowska, 2016). پس از آن، به‌کارگیری مشاهده‌های سنجش از دور و ترکیب سنجنده‌های گوناگون (ماهواره، هواپیما و داده‌های زمینی) برای اندازه‌گیری جزیره گرمایی شهری رویه‌پایه استفاده شد (Voogt & Oke, 2003). در بررسی جزیره گرمایی، توجه به زیبوم شهر اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا عناصر اقلیمی، همانند عوامل زیستی، در آن قرار دارند و به درک عرصه‌های پویا نیاز دارد که در آن فرایندهای زیست‌محیطی و تأثیرات مردم‌زاد مانند شهرنشینی تأثیر متقابل قدرتمندی دارند (Zhang et al., 2010). از سوی دیگر، اثری که گسترش شهر در کارکرد و حالت زیبوم دارد باید با نوع زیبومی سنجنده شود که پیش از آن در محل وجود داشته است. برای ارزیابی جزیره گرمایی باید زیبوم پس‌زمینه محلی، که شهر بر آن گسترده شده است، شناخته شود (Imhoff et al., 2010). ایمهوف<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) جزیره گرمایی ۳۸ شهر پرجمعیت آمریکا را براساس زیبوم هر شهر، مورد سنجش قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در ایالات متحد، شدت جزیره گرمایی طبق زیبومی مشخص می‌شود که شهر در آن جای گرفته است. باین‌حال، در همه شهرها، جزیره گرمایی هنگام روز و در فصل تابستان نیرومندتر بوده است. شدت جزیره گرمایی، در آن دسته از شهرهای ایالات متحد که در دل زیبوم جنگل‌های پهن‌برگ، جنگل‌های آمیخته و جنگل‌های سوزنی‌برگ معتدل جای گرفته‌اند، بین ۷ تا ۹ درجه سلسیوس است. شدت جزیره گرمایی شهرهایی که در دل سرزمین‌های کم‌پوشش‌تر علفزار و بونه‌زار و ساوان جای گرفته‌اند بین ۴ تا ۶ درجه سلسیوس است

1. Rao  
2. Imhoff  
3. Wang

جزیره گرمایی نیستند. همچنین، در این مطالعات از شاخص شهر-روستا و شهر-پیراشهر استفاده شده است؛ از این رو، در این پژوهش رفتار زمانی و مکانی کلان‌شهر مشهد، با استفاده از شاخصی نوین برای محاسبه جزیره گرمایی و با توجه به نقش زیوم، مطالعه شد.

## ۲- داده‌ها و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد در شمال شرق ایران، در استان خراسان رضوی و دره کشف‌رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود در جنوب و جنوب‌غرب و هزارمسجد در شمال شرق واقع شده است (شکل ۱). براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، این شهر با جمعیتی حدود ۳۱۰۰۰۰۰ نفر، دومین کلان‌شهر ایران است (درگاه مرکز آمار ایران). محدوده شهری مشهد طی بیست سال گذشته رشد چشمگیری داشته است؛ به طوری که در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۵، سطح آن از ۷۴ کیلومترمربع به حدود ۱۴۸ کیلومترمربع رسیده است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). این شهر در ارتفاع ۹۵۰ تا ۱۱۵۰ متر از سطح دریا قرار دارد و دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک سرد است (حیدری و علیجانی، ۱۳۷۸).

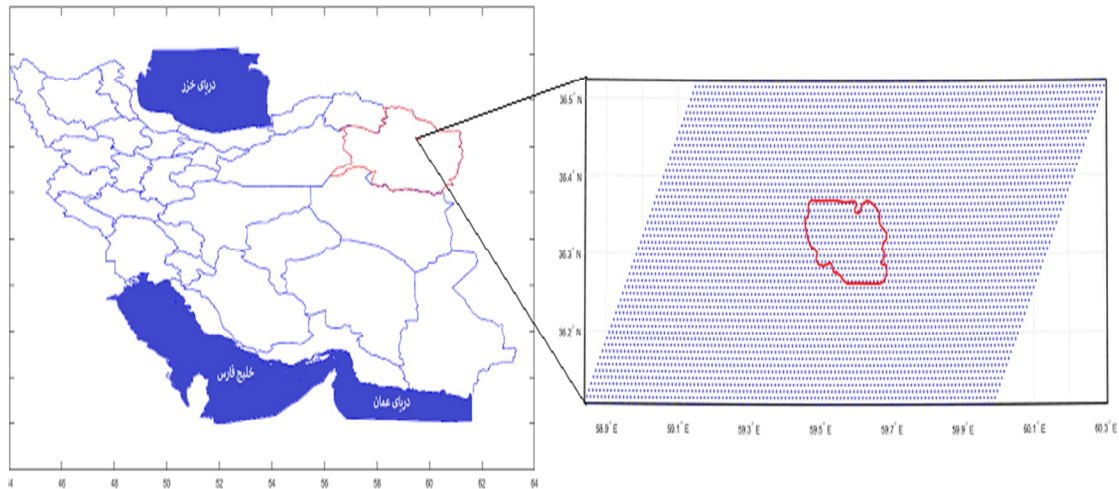
### ۲-۲- داده‌ها

در این پژوهش، داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس (MOD11A1, MYD11A1)، که روی دو ماهواره تررا و آکوا نصب است، در بازه زمانی اول فروردین ۱۳۸۱ تا ۲۹ اسفند ۱۳۹۶ به دست آمد. تفکیک مکانی اسمی این محصول ۱×۱ کیلومتر و تفکیک واقعی آن ۹۲۶.۸۸۲۹ متر است. سیستم تصویر این فرآورده سینوسی هم‌مساحت است. این داده‌ها به صورت کاشی‌هایی<sup>۱</sup> به ابعاد ۱۰ درجه قوسی

علاوه بر تحقیقاتی که در سرتاسر جهان در مورد جزیره گرمایی کلان‌شهرهای گوناگون جهان انجام شده است، برخی پژوهشگران جزیره گرمایی تعدادی از کلان‌شهرهای ایران را نیز با روش‌های گوناگونی بررسی کرده‌اند. مجرد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و شاخص شهر و روستا نشان دادند که در شهر کرمانشاه، دمای مناطق شهری در روز، به‌ویژه طی دوره گرم سال کمتر از مناطق غیرشهری است و جزیره گرمایی تشکیل می‌شود؛ همچنین در شب، به‌ویژه طی فصل بهار دمای مناطق شهری بین ۱ تا ۲ درجه بیشتر از دمای مناطق غیرشهری است. در تحقیق دیگری، شکیبا و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تصاویر حرارتی سنجنده ETM نشان دادند که بین کاربری زمین و تشکیل جزیره گرمایی رابطه‌ای مستقیم وجود دارد؛ به طوری که سطوح نفوذناپذیر، از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی، اثر گرمایشی دارند اما پوشش گیاهی، با ایجاد توازن گرمایی از راه تبخیر و تعرق و تولید سایه، دارای اثر خنک‌کننده است. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶) نیز، با استفاده از داده‌های نه تصویر برگزیده حرارتی مادون قرمز سنجنده TIRS ماهواره لندست، نشان دادند که دمای اطراف شهر اصفهان بیش از مرکز آن است و اطراف شهر ویژگی جزیره حرارتی گرم را دارد. به دلیل قرارگرفتن اصفهان در منطقه نیمه‌خشک، دمای سطحی مرکز شهر کمتر از محیط اطراف خشک غیرشهری است که وجود جزیره گرمایی را در این شهر تأیید می‌کند. محققان دیگری نیز مطالعاتی در مورد شهرهای دیگر ایران انجام داده‌اند؛ از جمله احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱)، محمودزاده و همکاران (۱۳۹۷)، هاشمی دره‌بادامی و همکاران (۱۳۹۸) و رضایی‌راد و رفیعیان (۱۳۹۶).

در پژوهش‌های انجام‌شده درباره کلان‌شهرهای ایران، اغلب از تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک زمانی زیاد استفاده شده است که قادر به نشان دادن تغییرات روزانه

1. Tile



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دیده نمی‌شود. همچنین، مدل تنظیم میزان انتشارپذیری گنجانیده شده در فرآوردهٔ ۶ مودیس باعث شده است دقت اندازه‌گیری مودیس، در رویه‌های دارای خاک لخت، بالا باشد (Duan, 2019). نتایج پژوهشی دیگر نشان می‌دهد که دقت اندازه‌گیری مودیس آکوا، هنگام شب و در مقایسه با شش ایستگاه تابشی زمینی، بین ۰.۳ تا ۱.۶- درجهٔ سلسیوس است (Wang, K., & Liang, 2009).

از داده‌های کاربری اراضی مودیس (MCD12Q1) برای تعیین محدودهٔ شهر و بیرون شهر و نیز تعیین نوع کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شد. تفکیک مکانی این محصول ۵۰۰×۵۰۰ متر است. از داده‌های مدل رقومی ارتفاع مودیس با تفکیک ۱۰۰۰ متر نیز برای تعیین ارتفاع نقاط استفاده شد. داده‌های روزانه (هشت نوبت در روز) ایستگاه هواشناسی مشهد در تعیین روزهای بارشی و برفی روزهای همراه با وزش به کار رفت.

(۱۲۰۰×۱۲۰۰ پیکسل) با فرمت HDF<sup>۱</sup> فراهم شده‌اند. شش تا از این کاشی‌ها (h21v05, h22vo5, h23v05, h21v06, h22v06, h23v06) سراسر ایران را می‌پوشانند. داده‌های سنجندهٔ مودیس با الگوریتم پنجرهٔ مجزای بهنجار شده با استفاده از باند ۳۱ و ۳۲ سنجندهٔ مودیس، که تصحیح شرایط اتمسفری و خطاهای گسیلندگی سطح زمین روی آن انجام گرفته است، تولید شده‌اند (Wan, 2008). در فرمت رقومی داده‌ها، برای هر پیکسل اطلاعات گوناگونی مانند دمای سطح زمین<sup>۲</sup>، اطمینان از کیفیت<sup>۳</sup>، زمان گذر ماهواره<sup>۴</sup>، زاویهٔ دید سنجنده<sup>۵</sup> و گسیلندگی<sup>۶</sup> سطح زمین در دسترس است (Wan, 2006).

دقت سنجندهٔ مودیس را پژوهشگران متعددی مورد سنجش قرار داده‌اند و ب، دین ترتیب دقت دمای رویهٔ زمین، به دست آمده از محصول ۶ مودیس، با داده‌های شش ایستگاه زمینی دارای پوشش زمین متفاوت، سنجیده شد. نتایج نشان داد که دقت اندازه‌گیری مودیس، در طول شب، بهتر از روز است و دقت اندازه‌گیری آن، روز هنگام، بین ۰.۷- تا ۳ کلون و شب هنگام، بین ۰.۶- تا ۱.۵ کلون است. بین فصل‌های گوناگون، دقت اندازه‌گیری روز هنگام مودیس طی زمستان بهتر است اما شب هنگام، تفاوتی بین فصل‌ها

1. Hierarchical Data Format
2. land Surface Temperature (LST)
3. Quality Assurance
4. View Time
5. View Angle
6. Emissivity

### ۳- روش

برای شناسایی آب‌وهوای، از روش دورسو استفاده شد. در این روش، یک نقطه در شهر مبنا قرار گرفت و میانگین دمای رویه زمین برای همه نقاط در جهات (سواهی) و فاصله‌های (دوری‌های) متفاوت محاسبه شد. بدین طریق آب‌وهوای پس‌زمینه شهر نمایان می‌شود.

در این پژوهش، برای تمییز شهر از غیرشهر، رویه‌های شهری به کمک داده‌های کاربری اراضی مودیس (MCD12Q1) مشخص شد. سپس از هر طرف، محدوده شهر تا آن‌جا گسترش داده شد که مساحت محدوده پیرامونی با مساحت شهر برابر شود. این محدوده پیرامونی، که مساحتی برابر شهر دارد، غیرشهر نامیده شد. مناطقی که اختلاف ارتفاع بیشتر از پانصد متر با شهر داشتند حذف شد. برای انتخاب دمای غیرشهر، از شگرد بیشترین تکرار دما در منطقه مورد مطالعه استفاده شد؛ بدین صورت که ابتدا محدوده غیرشهر انتخاب شد و دمایی که بیشترین تکرار را در میان پیکسل‌های غیرشهر داشت به‌منزله نماینده دمای غیرشهر در نظر گرفته شد. انتخاب بیشترین تکرار دما در میان پیکسل‌های غیرشهر باعث می‌شود دمایی که نماینده دمای غیرشهر انتخاب می‌شود معرف دمای غالب منطقه باشد. برای محاسبه شدت جزیره گرمایی، اختلاف نماینده غیرشهر از پیکسل‌های درون شهر طبق رابطه (۱) به‌دست آمد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad SUHI_i = LST_{ui} - LST_{nu}$$

در این رابطه،  $SUHI_i$  شدت جزیره گرمایی/ سرمای رویه پایه برای هر پیکسل،  $LST_{ui}$  دمای رویه زمین برای هر یاخته درون شهر و  $LST_{nu}$  دمای رویه نماینده غیرشهر است.

همچنین، برای آنکه داده‌های دمای روز هنگام در روزهای متفاوت را بتوان با یکدیگر مقایسه کرد، دمای بهنجار شده رویه زمین برای تمامی پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Haashemi et al., 2016).

$$\text{رابطه (۲)} \quad NLST_i = \frac{(LST_i - LST_{min})}{(LST_{max} - LST_{min})}$$

$NLST_i$  دمای بهنجار شده رویه زمین برای هر پیکسل،  $LST_i$  دمای رویه زمین برای هر پیکسل،  $LST_{min}$  دمای کمینه و  $LST_{max}$  دمای بیشینه در محدوده انتخابی است.

برای بررسی پیوند جزیره گرمایی با عناصر آب‌وهوایی، داده‌های سمت و سرعت باد و روزهای بارشی و برفی ایستگاه‌های زمینی به‌کار رفت که از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد.

به سبب اینکه وقوع بارش (باران یا برف) باعث تغییر در ویژگی‌هایی رویه زمین می‌شود، پیوند شدت جزیره گرمایی و روزهای بارشی شایسته بررسی است. همچنین در روزهای بارشی، به سبب ابرناکی، سنجنده مودیس نمی‌تواند دمای رویه را برداشت کند و از طرفی، در بارش‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌متر تا یک یا دو روز بعد، رطوبت رویه زمین مهیاست؛ از این رو، بارش‌های بزرگ‌تر و مساوی ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد و روزهای بارشی، تا دو روز بعد از وقوع بارش، در نظر گرفته شد. برای بررسی پیوند شدت جزیره گرمایی و روزهای برفی نیز، روزهایی که در ایستگاه زمینی پوشش برف (کد 4E55) بزرگ‌تر یا مساوی ۱ سانتی‌متر گزارش شده است به‌منزله روز برفی انتخاب شد.

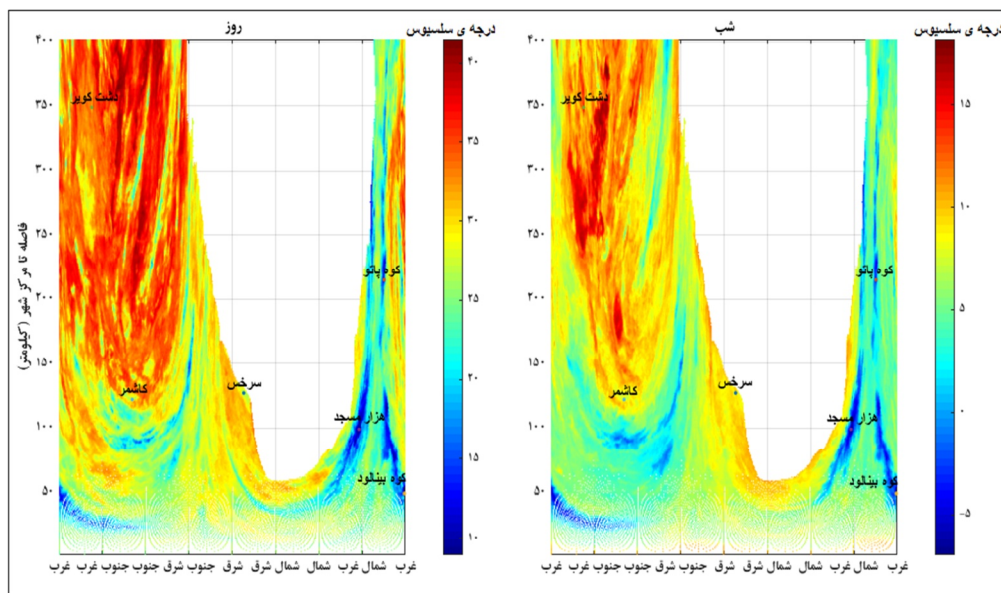
### ۴- نتایج

دورسوی دمایی کلان‌شهر مشهد، که براساس میانگین بلندمدت دمای روزانه به‌دست آمده است، گونه غالب دمایی کلان‌شهر مشهد را نشان می‌دهد. گونه غالب دمایی مشهد در روز، تا فاصله پنجاه کیلومتری، با میانگین دمای ۲۵ درجه سلسیوس است که در همه سرزمین‌های هموار اطراف این شهر گسترش یافته و فقط کوه بینالود، که از غرب تا جنوب مشهد کشیده شده است و امتداد کوه‌های هزارمسجد در سمت شمال، این یکدستی را از بین می‌برد و دمای ۱۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد؛ کوه بینالود نیز دمای ۵- درجه سلسیوس دارد. همچنین، مناطق جنوب شرق تا شمال شرق مشهد دمایی بالاتر از مناطق اطراف این شهر دارند و میانگین دمای این مناطق، در روز،

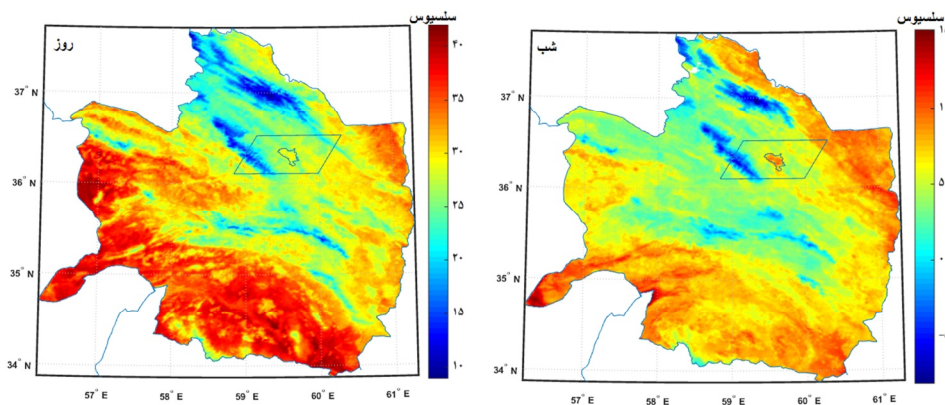
سطح دریا و جنس رویه پیروی می کند (تصویر ۲ و ۳). توزیع فراوانی دمای شهر و غیر شهر در روز هنگام نشان می دهد که به دلیل نزدیکی کوه بینالود به مشهد، فراوانی دماهای پایین (کمتر از ۵ درجه سلسیوس) در غیرشهر بیشتر از شهر است ولی، به طور کلی دمای شهر و غیرشهر اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند و رخداد دماهای بالاتر از ۵۰ درجه سلسیوس در غیرشهر بیشتر است. در شب هنگام، دمای شهر به طور چشمگیری بیشتر از غیرشهر است (شکل ۴). بررسی دمای نرمال شده منطقه

۲۸ و در شب، ۸ درجه سلسیوس است. در شب دمای غالب پیرامون مشهد، تا فاصله پنجاه کیلومتر، ۵ درجه سلسیوس است. در ورای کوه های بینالود از سمت غرب تا جنوب شرق، سرزمین های داغ و هموار دشت کویر و ایران مرکزی با دمای ۳۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس در طی روز و دمای ۱۰ تا ۱۵ درجه سلسیوس در شب هنگام، قرار دارند.

نکته دیگری که دمای دورسوی مشهد به ما نشان می دهد این است که دمای رویه از دو عامل ارتفاع از



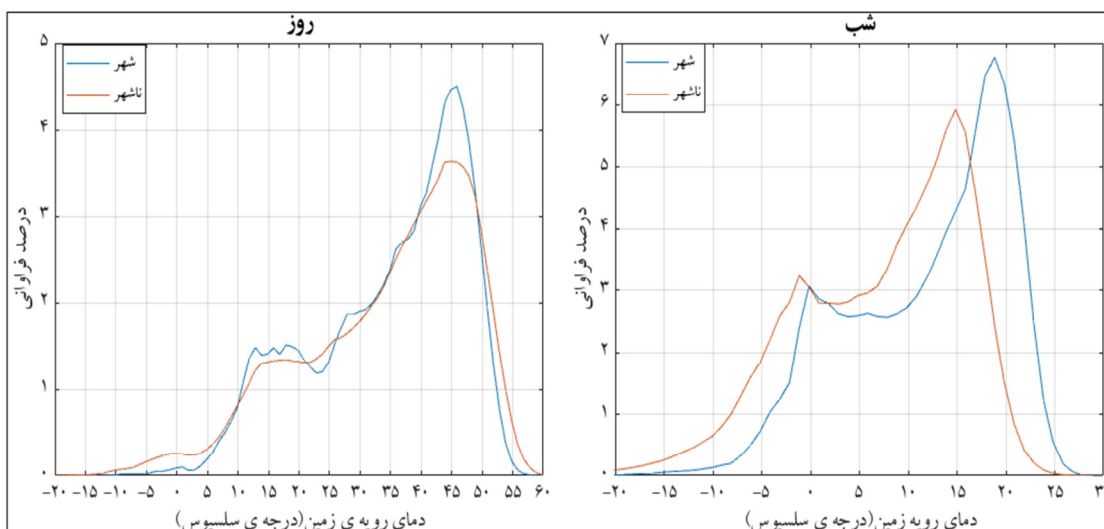
شکل ۲. دورسوی دمایی کلان شهر مشهد برپایه داده های میانگین بلندمدت زمان گذر آکوا، روز و شب



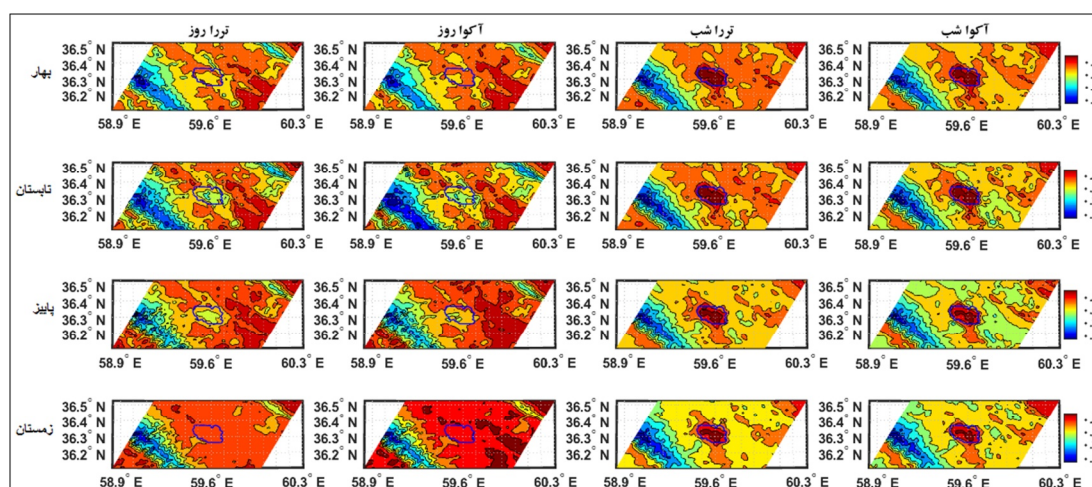
شکل ۳. میانگین بلندمدت دمای رویه زمین (درجه سلسیوس) برپایه داده های آکوا، روز و شب

مودیس تررا و آکوا، به ترتیب ۱.۹- و ۲- درجه سلسیوس است (شکل ۴). روز هنگام در ۸۸٪ موارد، شهر خنک‌تر از غیرشهر است (شکل ۸). بیشترین شدت جزیره سرمایی، روز هنگام و به میزان ۱۳- درجه سلسیوس، در تاریخ ۲۲ خرداد ۱۳۹۳ اتفاق افتاده است. در روزهای بارشی، شدت جزیره گرمایی کاهش می‌یابد و به‌طور میانگین، به ۰.۷- درجه سلسیوس می‌رسد و در روزهای برفی، حتی روی شهر جزیره گرمایی با شدت ۱.۶ درجه سلسیوس تشکیل می‌شود. در شب، دمای شهر بیشتر از پیرامون آن است. هرچند برخی شب‌ها شهر از پیرامونش سردتر است؛

مورد مطالعه نشان داد که روز هنگام، کوه بینالود در غرب و جنوب‌غرب مشهد و کوه‌های شمال مشهد دمایی پایین‌تر از سایر نقاط دارند. کشتزارهای اطراف شهر نیز دمای پایینی دارند اما نکته درخور توجه، در دمای نرمال شده منطقه، وجود هسته سرد طی روز و هسته گرم در شب هنگام روی منطقه شهری است. اختلاف دمای شهر و غیرشهر، طی روز در فصل تابستان و پاییز، بیشتر از زمستان و بهار است (شکل ۵). بررسی روزانه جزیره گرمایی / سرمایی کلان‌شهر مشهد نشان داد که روز هنگام، روی شهر جزیره سرمایی تشکیل می‌شود. شدت این جزیره سرمایی، هنگام گذر



شکل ۴. توزیع فراوانی دمای رویه زمین شهر و غیرشهر براساس داده‌های مودیس آکوا، در روز و شب

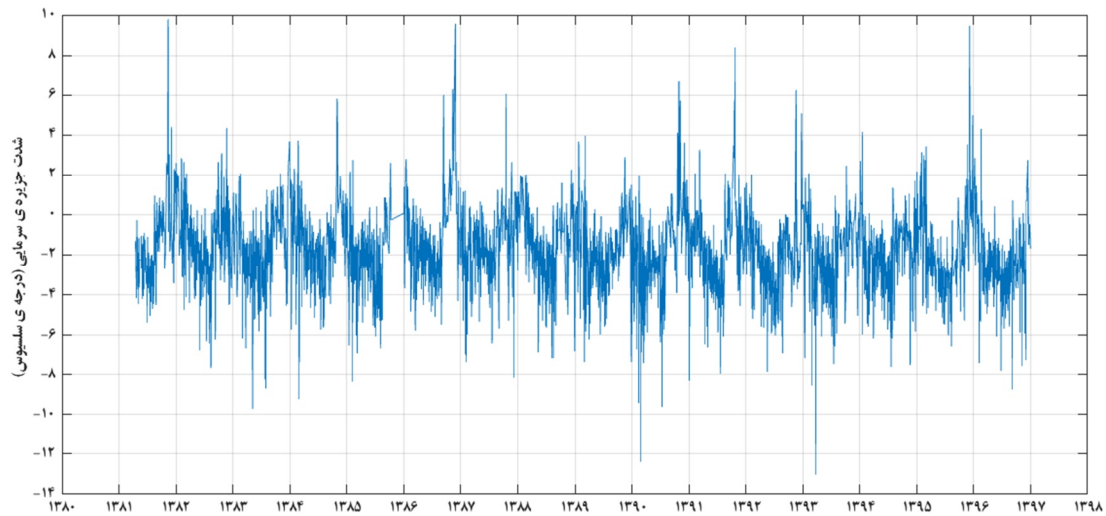


شکل ۵. دمای نرمال شده منطقه مورد مطالعه در فصل‌های متفاوت هنگام گذر آکوا، روز و شب

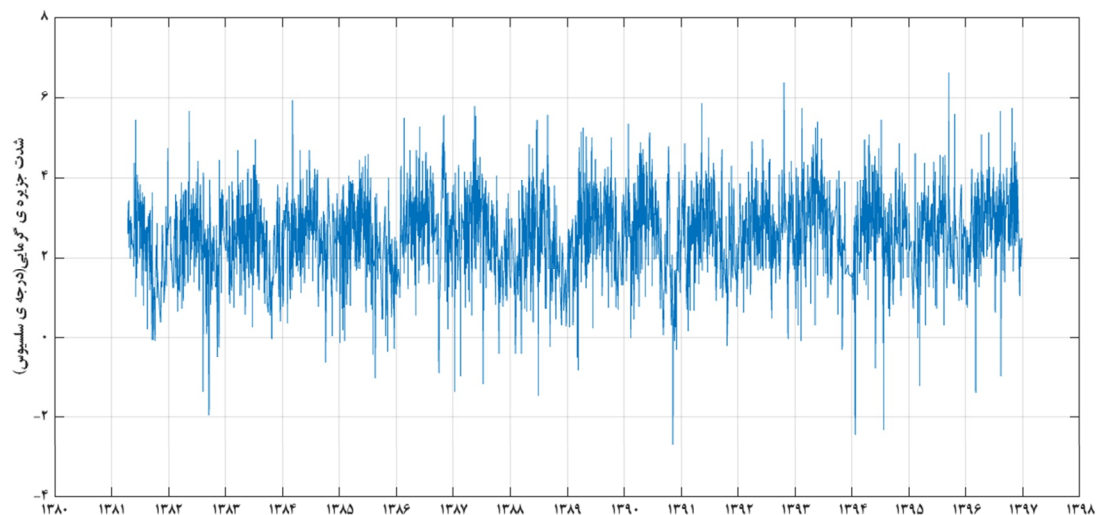


بیشترین مقدار جزیره گرمایی شبانه، در تاریخ ۱۰ آذر ۱۳۹۵، به میزان ۶.۶ درجه رخ داده است. جزیره گرمایی شبانه نیز، در شبهای بارشی به نسبت سایر شبها کاهش می یابد؛ به طوری که شدت جزیره گرمایی، هنگام گذر مودیس آکوا از ۲.۴ به ۱.۴ درجه سلسیوس و در شبهای برفی، به ۱.۲ درجه سلسیوس می رسد.

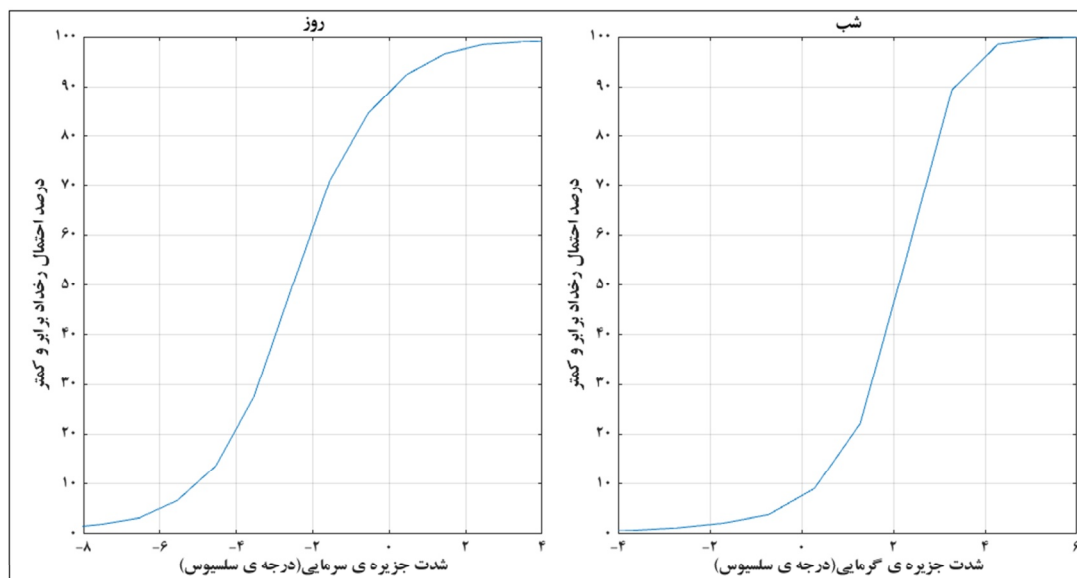
جزیره گرمایی شبانه ویژگی غالب کلان شهر مشهد شمرده می شود (شکل ۷). در ۹۲٪ موارد، شهر از پیرامونش گرم تر است (شکل ۸). میانگین شدت جزیره گرمایی شبانه کلان شهر مشهد، هنگام گذر ماهواره ی ترا و آکوا، به ترتیب ۲.۳ و ۲.۷ درجه سلسیوس است.



شکل ۶. میانگین بلندمدت جزیره گرمایی / سرمای کلان شهر مشهد هنگام گذر مودیس آکوا، روز



شکل ۷. میانگین بلندمدت جزیره گرمایی / سرمای کلان شهر مشهد در زمان گذر مودیس آکوا، شب



شکل ۸. توزیع فراوانی انباشته جزیره گرمایی / سرمای کلان شهر مشهد در زمان گذر ماهواره آکوا

قدس، باغ ملک آباد، پارک ملت، بوستان ششصد دستگاه و بوستان کوه سنگی سبب افزایش شار گرمای نهان و کاهش شار گرمای محسوس می شود و از این رو، در مقایسه با غیرشهر که شار گرمای محسوس زیادی دارد، خنک تر است. در منطقه حاشیه ای شهر، مناطقی مثل جاهدشهر، عصمتیه، شهرک حجت، همت آباد و نواحی اطراف فرودگاه مشهد، به دلیل تراکم اندک ساختمان ها و وجود قطعه زمین های باز و افزایش شار گرمای محسوس به نسبت مناطق متراکم تر، جزیره سرمای ضعیف تری دارند (شکل ۱۰).

طی شب، به غیر از حاشیه های اطراف شهر، سایر مناطق شهری دارای جزیره گرمایی اند. این جزیره گرمایی دو هسته مرکزی دارد. هسته اول در محدوده حرم، در امتداد بلوار توحید و بلوار قرنی تا خیابان مجد تشکیل شده است و هسته دوم در محدوده بین بزرگراه آزادی، بزرگراه امام علی و بزرگراه وکیل آباد (منطقه ۱۱ شهری) قرار دارد. این مناطق بر محدوده پرتراکم شهر منطبق اند. محدوده حرم تا خیابان مجد نیز منطقه پرتراکم شهر محسوب می شود. طی شب، به دلیل گرمای مردم زاد و به دام افتادن گرما در میان ساختمان ها، شار گرمای محسوس افزایش می یابد و

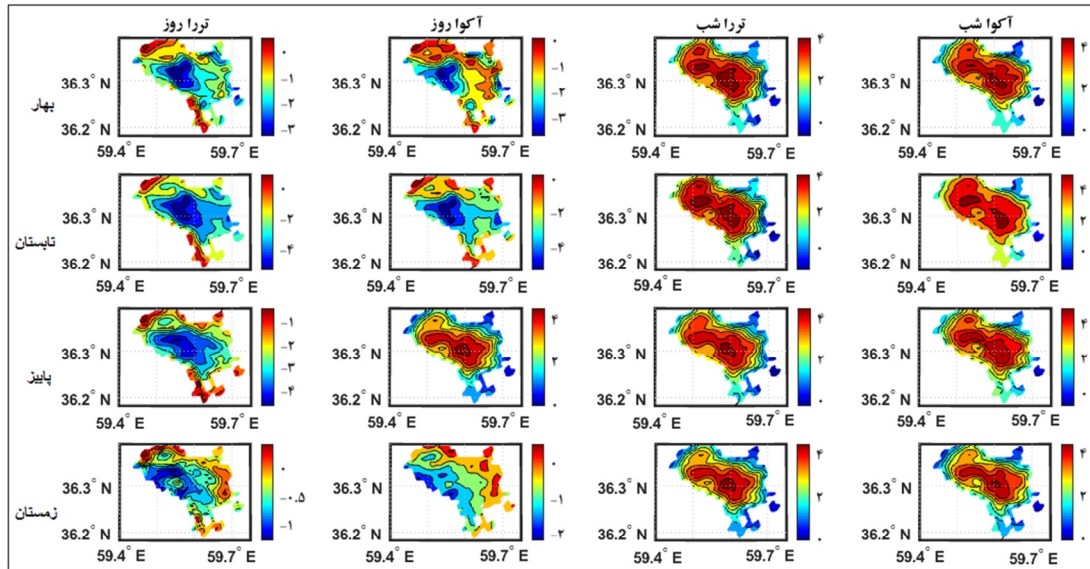
بررسی فصلی جزیره گرمایی / سرمای کلان شهر مشهد نشان داد که جزیره سرمای، روز هنگام، طی فصل های گرم سال بیشترین مقدار و در فصل های سرد، کمترین مقدار را دارد. همچنین، پایایی جزیره گرمایی شبانه بیشتر از جزیره گرمایی روزانه است (شکل ۹ و جدول ۱).

جدول ۱. میانگین شدت جزیره گرمایی بر حسب درجه سلسیوس در فصل های متفاوت سال

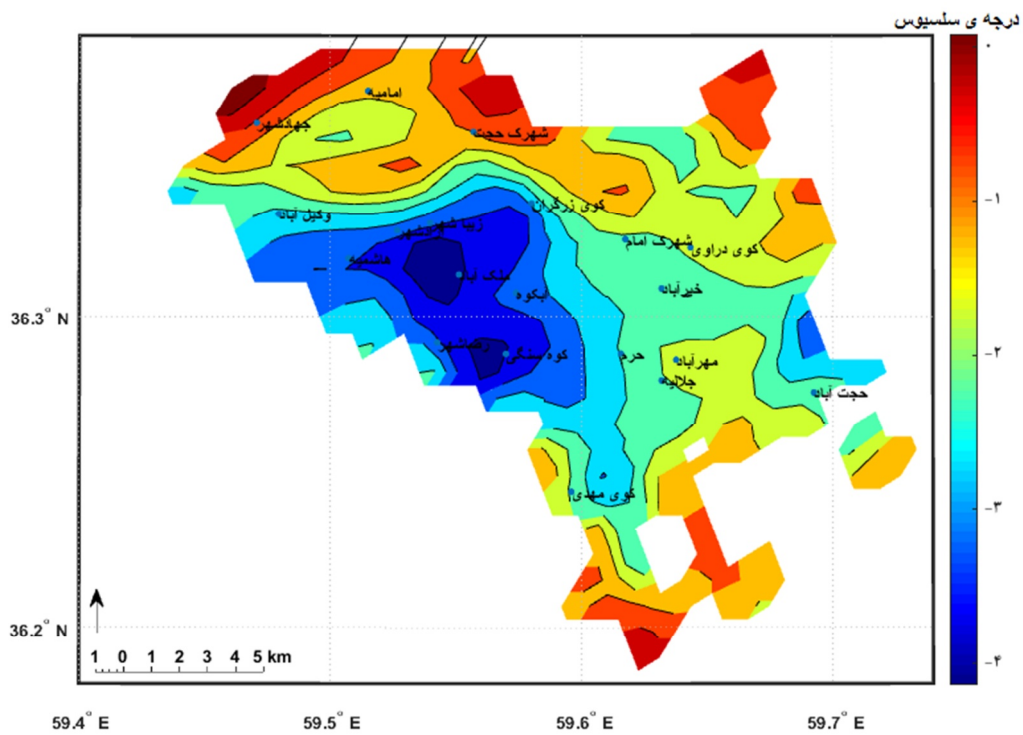
فصل	تراز روز	تراز شب	تراز شب آکوا
بهار	-۱.۴	-۱.۵	۲.۶
تابستان	-۲.۵	-۲.۵	۳
پاییز	-۲.۳	-۲.۴	۲.۷
زمستان	-۰.۴	-۰.۷	۲.۳

میانگین بلندمدت جزیره گرمایی / سرمای مشهد نشان می دهد که تمامی مناطق مشهد، طی روز، خنک تر از پیرامون خود است. هسته جزیره سرمای شبانه مشهد، در محدوده بین حرم تا میدان شهید فهمیده، به سمت حاشیه غربی مشهد قرار دارد. در این منطقه وجود پارک ها و باغ های بزرگ مانند باغ آستان

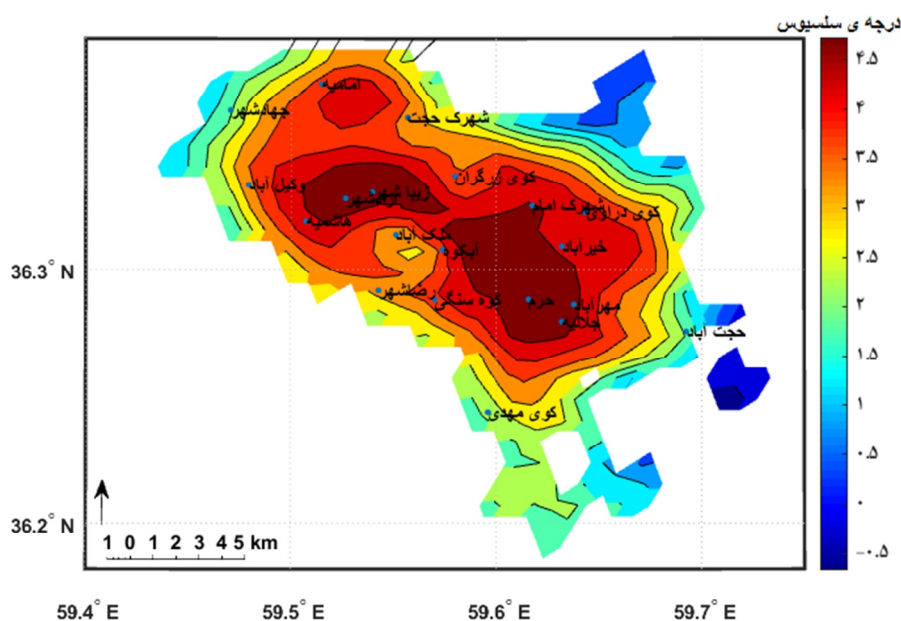
همچنین، به دلیل کاهش شار گرمای محسوس در غیرشهر، جزیره گرمایی روی شهر شکل می گیرد که هسته آن در مناطق پرتراکم و پرفت و آمد شهر قرار دارد (شکل ۱۱).



شکل ۹. میانگین بلندمدت جزیره گرمایی / سرمای کلان شهر مشهد در فصل های گوناگون



شکل ۱۰. پهنه بندی جزیره سرمای کلان شهر مشهد بر پایه داده های آکوا، روز



شکل ۱۱. پهنه‌بندی جزیرهٔ سرمایي کلان‌شهر مشهد بر پایهٔ داده‌های آکوا، شب

مورد مطالعه و توزیع فراوانی دمای شهر و پیرامون شهر استفاده شد. مطابق با نتایج هر سه روش، این کلان‌شهر طی روز، دارای جزیرهٔ سرمایي و شب‌هنگام، دارای جزیرهٔ گرمایی است. همچنین، پایایی جزیرهٔ گرمایی شب‌هنگام از جزیرهٔ سرمایي روزهنگام بیشتر است. می‌توان گفت سازکارهایی که در تشکیل جزیرهٔ گرمایی شبانه دخالت دارند با سازکارهای تشکیل جزیرهٔ گرمایی روزانه متفاوت‌اند. در شب، به‌دلیل کاهش شار گرمای نهان در بیرون شهر و نیز به‌دلیل بیشتر بودن ذخیرهٔ گرمایی در منطقهٔ شهری به‌نسبت بیرون شهر، در مقایسه با روز (این اثر ممکن است به‌صورت غیرمستقیم و به‌علت گرمای مردم‌زاد، که از ترافیک و صنعت و ساختمان‌ها ناشی می‌شود، افزایش یابد)، جزیرهٔ گرمایی شبانه گسترش می‌یابد. طی روز، افزایش

بررسی روزها و شب‌های همراه با وزش باد نشان می‌دهد که طی روز، هرچه بر سرعت وزش باد افزوده می‌شود، شدت جزیرهٔ سرمایي نیز افزایش می‌یابد. در حقیقت، وزش باد سبب کاهش گرمای انباشت‌شده در میان ساختمان‌ها می‌شود و اختلاف دمای شهر و غیرشهر افزایش می‌یابد. هنگام شب، که جزیرهٔ گرمایی روی شهر وجود دارد، افزایش سرعت باد و کاهش انباشت دما روی شهر باعث کاهش شدت جزیرهٔ گرمایی شهر می‌شود (جدول ۲).

#### ۵- بحث و نتیجه‌گیری

برای بررسی جزیرهٔ گرمایی شهر مشهد، از سه روش محاسبهٔ شدت جزیرهٔ گرمایی براساس اختلاف دمای شهر و نمایندهٔ پیرامون شهر، دمای نرمال‌شدهٔ منطقهٔ

جدول ۲. پیوند بین وزش باد و شدت جزیرهٔ گرمایی مشهد هنگام گذر ماهوارهٔ آکوا

سرعت وزش باد	هوای آرام	۰-۲ متر بر ثانیه	۲-۴ متر بر ثانیه	۴-۶ متر بر ثانیه	بزرگ‌تر از ۶ متر بر ثانیه
شدت جزیرهٔ سرمایي روزهنگام	-۱.۳۳	-۱.۴۷	-۱.۸۷	-۲.۱	-۲.۲۷
شدت جزیرهٔ سرمایي شب‌هنگام	۲	۱.۹۴	۱.۷۸	۱.۲۶	۰.۸۲

کوه‌سنگی باعث افزایش شار گرمای نهان و تشدید جزیره سرمایی روزهنگام و تشکیل هسته جزیره سرمایی در این مناطق می‌شود؛ به طوری که شدت جزیره سرمایی در این مناطق تا ۴ درجه سلسیوس هم می‌رسد. همچنین، وجود قطعه زمین‌های باز و تراکم اندک ساختمان‌ها در مناطقی همچون جاهدشهر، عصمتیه، شهرک حجت، همت‌آباد و نواحی اطراف فرودگاه مشهد و وجود مناطق صنعتی در مناطق حاشیه‌ای شهر باعث تضعیف جزیره سرمایی روزهنگام می‌شود. نتایج تحقیق زندی و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین کاربری زمین و دمای رویه شهر مشهد وجود دارد؛ به صورتی که دماهای بالای ۴۰ درجه با زمین‌های عاری از پوشش گیاهی، فاقد کاربری و یا زمین‌های دارای پوشش خاک و سنگ شهری (منطقه ۱۲ و ۱۳) منطبق است و پارک کوه‌سنگی، پارک جنگلی وکیل‌آباد و باغ‌های استان قدس رضوی دمایی بسیار پایین‌تر از سایر مناطق دارند. طی شب، به دلیل کاهش شار گرمای محسوس در غیرشهر، شاهد شکل‌گیری جزیره گرمایی روی شهر هستیم. جزیره گرمایی شبانه دارای دو هسته است؛ هسته اولیه و بزرگ‌تر روی نواحی قدیمی، متراکم و پررفت‌وآمد اطراف حرم مطهر قرار دارد که به سمت شمال‌غرب کشیده شده است. هسته دوم و کوچک‌تر در شمال‌غرب هسته اولیه و در ناحیه پرتراکم شهر قرار دارد. در حقیقت، وجود باغ‌های داخل شهر مانند باغ آستان قدس رضوی، باغ ملک‌آباد و پارک ملت باعث جدایی این دو هسته جزیره گرمایی شده است. می‌توان گفت که جزیره گرمایی مشهد دارای یک هسته بزرگ بوده که بر اثر وجود باغ‌های بزرگ درون‌شهری، به دو بخش تقسیم شده است؛ بنابراین، در صورتی که این باغ‌ها تغییر کاربری دهند، یک جزیره گرمایی بزرگ و یکپارچه بر بخش‌های زیادی از شهر حاکم می‌شود. نتایج تحقیق منتظری (۱۳۹۷) نشان می‌دهد که شب‌هنگام، روی شهر مشهد جزیره گرمایی تشکیل می‌شود که هسته اصلی جزیره گرمایی در مناطق

شار گرمای محسوس در بیرون شهر باعث می‌شود که دمای شهر کمتر از غیرشهر باشد. نتایج مطالعه موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) نشان می‌دهد که دمای تابشی روزهنگام شهر مشهد، طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲، افزایش داشته و این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر است که با نتایج تحقیق حاضر مغایرت دارد. می‌توان گفت علت این مغایرت در روش سنجش جزیره گرمایی است؛ به صورتی که در تحقیق حاضر، معیار تعریف جزیره گرمایی همانند تعریف استاندارد آن، اختلاف دمای پهنه‌های شهری با پهنه‌های پیرامون شهری است اما موسوی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات دمای پهنه‌های شهری را، طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲، روی کاربری‌های گوناگون شهری ارزیابی کرده‌اند.

بررسی سالیانه جزیره گرمایی / سرمایی مشهد مشخص می‌کند که در فصل‌های گرم سال، شدت جزیره سرمایی بیشتر از دوره سرد سال است. شاید تنها دلیلی که بتوان در مورد کاهش شدت جزیره سرمایی، در فصل زمستان، بیان کرد این باشد که فصل بارشی مشهد نیز در همین ماه‌ها اتفاق می‌افتد و رویه‌های لخت غیرشهر در این فصل‌ها مرطوب‌تر است و ظرفیت گرمایی خاک مرطوب بیشتر از خاک خشک است؛ بنابراین، طی روز، تابش دریافتی را در خود انبار می‌کند و در شب، گرمای انبارشده را گسیل می‌کند. از این رو، طی روز، دمای پایین‌تر و در شب دمای بالاتری به نسبت خاک خشک خواهد داشت و این باعث می‌شود شدت جزیره سرمایی روزانه کاهش یابد.

کاربری زمین در تقویت و یا تضعیف جزیره گرمایی / سرمایی نقش عمده‌ای دارد. شکل‌گیری جزیره سرمایی روزهنگام روی شهر ناشی از گرمایش شدید رویه‌های غیرشهر، با ظرفیت گرمایی پایین بر اثر تابش خورشیدی است و رویه‌های ساخته‌شده شهری به دلیل بازتابندگی زیاد، وجود فضاها سبز شهری و سایه‌اندازی ساختمان‌ها دمایی پایین‌تر از رویه‌های غیرشهری دارند. وجود باغ‌ها و فضاها سبز درون شهر همانند باغ آستان قدس رضوی، پارک ملک‌آباد و

اطراف حرم محسوب می‌شود و در مناطق اطراف باغ‌های بزرگ شهر مشهد، از شدت جزیره گرمایی کاسته می‌شود. نتایج تحقیق مجرد و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان می‌دهد در شهر کرمانشاه هم مانند مشهد، هنگام روز، جزیره گرمایی و در شب، جزیره گرمایی روی شهر تشکیل می‌شود.

به سبب اینکه وزش باد باعث انتقال گرمای انباشت شده در میان ساختمان‌ها می‌شود لذا افزایش سرعت وزش باد بر روی شهر باعث می‌شود شدت جزیره گرمایی روز هنگام افزایش و شدت جزیره گرمایی شبانه کاهش می‌یابد.

بیشترین مقدار جزیره گرمایی شبانه، در نواحی شلوغ و پرتراکم شهر، تا ۴.۵ درجه سلسیوس هم می‌رسد. با توجه به نقش پوشش گیاهی و فشردگی ساختمان‌ها در تقویت یا تضعیف جزیره گرمایی/سرمایی، می‌توان با مدیریت صحیح شهری و توجه به توسعه متوازن فضاهای سبز و نیز ایجاد فضاهای مناسب بین ساختمان‌ها، که در آسمان دید اثرگذار است، به سمت تعدیل دمای شهر گام برداشت.

نتایج تحقیقات در مورد جزیره گرمایی بسیاری از شهرهای جهان، به سبب واقع شدن در زیبوم‌های متفاوت و پوشش زمینی اطراف شهر، با پژوهش حاضر تفاوت دارد. اما در هر مطالعه‌ای که درباره شهرهای دارای زیبوم تقریباً یکسان با مشهد انجام شده است، نتایج به دست آمده با مطالعه حاضر هماهنگی دارد و بدین ترتیب، نتایج مطالعه ایمهوف و همکاران (۲۰۱۰)، ژانگ و (۲۰۱۰) و احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶) در مناطق گرم و خشک با نتایج این تحقیق هماهنگی دارد.

در مطالعات انجام گرفته در تحقیقات دیگر، از شاخص‌های گوناگونی برای سنجش جزیره گرمایی استفاده شده که معیار انتخاب نماینده غیرشهر، در بسیاری از آنها، متکی به نقطه‌ای در خارج از شهر است. انتخاب نقطه‌ای خارج از شهر، به منزله نماینده غیرشهر، می‌تواند از ویژگی‌های رویه سطح اثرپذیر باشد و در ارزیابی دقیقی از جزیره گرمایی شهر، به دست نیاید. به

همین دلیل، در این تحقیق، از روش بیشترین فراوانی دما به منزله نماینده دمای غیرشهر استفاده شد تا فقط ویژگی‌های یک نقطه خاص در دمای نماینده غیرشهر اثرگذار نباشد و برآیند تمامی رویه‌های غیرشهری به دست آید. از سویی، برای اینکه نتایج تحقیق مورد اطمینان باشد، از توزیع فراوانی دمای شهر و غیرشهر و نیز دمای نرمال شده منطقه مورد مطالعه استفاده شد که نتایج هر دو با نتایج حاصل از مقایسه دمای نماینده غیرشهر و پیکسل‌های درون شهر هماهنگی کامل داشت. بررسی جزیره گرمایی کلان‌شهر مشهد نقش کاربری اراضی، همچون فضاهای سبز شهری یا تراکم ساختمان‌های شهری، را در تضعیف یا تشدید جزیره گرمایی کلان‌شهر مشهد به خوبی نشان داد. برنامه‌ریزان شهری می‌توانند، با استناد به نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات مشابه و نیز با استفاده صحیح از نوع کاربری اراضی در مناطق گوناگون شهر و طبق توجه به آب‌وهوای شهر، دمای شهر را تا حدودی متعادل کنند.

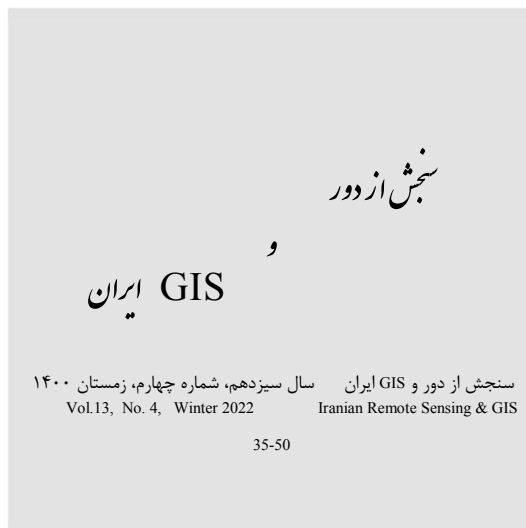
#### ۶- منابع

- احمدی م.، داداشی رودباری، ع.، ۱۳۹۶، شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست‌محیطی (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره بیست‌وهشتم، شماره ۳، صص. ۲۰-۱.
- احمدی م.، عاشورلو، د.، نارنگی فرد، م.، ۱۳۹۱، تغییرات زمانی - مکانی الگوی حرارتی و کاربردی شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM&ETM+، سنجش از دور و GIS ایران، دوره چهارم، شماره ۴، صص. ۶۸-۵۵.
- حیدری ح.، علیجانی، ب.، ۱۳۷۸، طبقه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از فن‌های آماری چندمتغیره، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، صص. ۷۴-۵۷.

- مجرد، ف.، ناصریه، م.، هاشمی، س.، ۱۳۹۷، بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیزیک زمین و فضا، دوره چهارم، شماره ۲، صص. ۴۹۴-۴۷۹.
- مرکز ملی آمار ایران، ۱۳۹۶.
- سالنامه آماری ایران، ۱۳۹۴.
- <https://www.amar.org.ir>
- منتظری، م.، ۱۳۹۷، جزیره گرمایی کلان شهر مشهد، دومین کنفرانس آب‌وهواشناسی ایران.
- موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، فرید حسینی، ع.، میان‌آبادی، ا.، ۱۳۹۱، بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نظریه فرکتال، جغرافیا و مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۱، صص. ۴۸-۳۵.
- هاشمی دره‌بادامی، س.، درویشی بلورانی، ع.، علوی‌پناه، س.ک.، ملکی، م.، بیات، ر.، ۱۳۹۸، تحلیل تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهری در روز و شب با استفاده از محصولات چندزمانه سنجنده مودیس (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره نوزدهم، شماره ۵۲، صص. ۱۲۸-۱۱۳.
- Duan, S.B., Li, Z.L., Li, H., Göttsche, F.M., Wu, H., Zhao, W. & Coll, C., 2019, **Validation of Collection 6 MODIS Land Surface Temperature Product Using in Situ Measurements**, Remote Sensing of Environment, 225, PP. 16-29.
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A. & Alavipanah, S.K., 2016, **Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City**, Remote Sensing, 8(4), P. 352.
- Hidalgo, J., Masson, V. & Gimeno, L., 2010, **Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49(5), PP. 889-901.
- رضایی‌راد، ه.، رفیعیان، م.، ۱۳۹۶، برآورد تغییرات فضایی - زمانی شدت جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 و Aster، برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره هفتم، شماره ۲۷، صص. ۶۰-۴۷.
- رفیعی ر.، سلمان ماهینی، ع.، خراسانی، ن.، ۱۳۹۰، تعیین تغییرات کاربری اراضی به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌های Landsat و IRS، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، دوره دوم، شماره ۳، صص. ۶۳-۵۳.
- زندى، ر.، کرمی، م.، طاهری، ج.، ۱۳۹۸، نقش تغییرات کاربری اراضی بر فرم فضایی جزایر حرارتی در شهر مشهد، برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال چهارم، شماره ۴، صص. ۹۳-۱۰۴.
- شکیبا، ع.، ضیائیان فیروزآبادی، پ.، عاشورلو، د.، 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، دوره اول، شماره ۱، صص. ۵۶-۳۹.
- صادقی‌نیا، ع.، علیجانی، ب.، ضیائیان، پ.، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره اول، شماره ۴، صص. ۱۷-۱.
- مارتین، ج.ای.، ۱۳۸۸، دینامیک جو در عرض‌های میانه، ترجمه س.ا. مسعودیان، دانشگاه اصفهان: انتشارات سمت، چاپ اول.
- محمودزاده، ح.، نقدبیشی، ا.، مؤمنی، س.، ۱۳۹۷، تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره هفتم، شماره ۲۷، صص. ۱۱۹-۱۰۵.

- Mhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E. & Bounoua, L., 2010, **Remote Sensing of the Urban Heat Island Effect Across Biomes in the Continental USA**, *Remote Sensing of Environment*, 114(3), PP. 504-513.
- Jin, M.S., 2012, **Developing an Index to Measure Urban Heat Island Effect Using Satellite Land Skin Temperature and Land Cover Observations**, *Journal of Climate*, 25(18), PP. 6193-6201.
- Jin, M., Dickinson, R.E. & Zhang, D., 2005, **The Footprint of Urban Areas on Global Climate as Characterized by MODIS**, *Journal of Climate*, 18(10), PP. 1551-1565.
- Landsberg, H.E., 1981, **The urban climate**, (Vol. 28), Academic Press.
- Majkowska, A., Kolendowicz, L., Pórolniczak, M., Hauke, J. & Czernecki, B., 2016, **The Urban Heat Island in the City of Poznań as Derived from Landsat 5 TM**, *Theoretical and Applied Climatology*, PP. 1-15.
- McCarthy, M.P., Best, M.J. & Betts, R.A., 2010, **Climate Change in Cities Due to Global Warming and Urban Effects**, *Geophysical Research Letters*, 37(9).
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C., Bréon, F.M. & Myneni, R.B., 2011, **Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities**, *Environmental Science & Technology*, 46(2), P. 696-703.
- Price, J.C., 1979, **Assessment of the Urban Heat Island Effect through the Use of Satellite Data**, *Monthly Weather Review*, 107, PP. 1554-1557.
- Rao, P.K., 1972, **Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite**. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 53, 647-648, 1972.
- Schwarz, N., Schlink, U., Franck, U. & Großmann, K., 2012, **Relationship of Land Surface and Air Temperatures and Its Implications for Quantifying Urban Heat Island Indicators—An Application for the City of Leipzig (Germany)**, *Ecological Indicators*, 18, PP. 693-704.
- Seto, K.C., Fragkias, M., Güneralp, B. & Reilly, M.K., 2011, **A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion**, *PLoS ONE*, 6(8), P. e23777.
- Taha, H., 1997, **Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat**, *Energy and Buildings*, 25(2), PP. 99-103.
- United Nations, 2016, **World Urbanization Prospects: The 2016 Revision**, United Nations, New York.
- Voogt, J.A. & Oke, T.R., 2003, **Thermal Remote Sensing of Urban Climates**, *Remote Sensing of Environment*, 86, PP. 370-384.
- Wan, Z., 2006, **MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide**, Institute for Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara, CA.
- Wan, Z.M., 2008, **New Refinements and Validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity Products**, *Remote Sens. Environ.*, 112, PP. 59-74.
- Wang, K. & Liang, S., 2009, **Evaluation of ASTER and MODIS Land Surface Temperature and Emissivity Products Using Long-Term Surface Longwave Radiation Observations at SURFRAD Sites**, *Remote Sensing of Environment*, 113(7), PP. 1556-1565.
- Wang, K., Wang, J., Wang, P., Sparrow, M., Yang, J. & Chen, H., 2007, **Influences of Urbanization on Surface Characteristics as Derived from the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer: A Case Study for the Beijing Metropolitan Area**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D22).
- Zhang, P., Imhoff, M.L., Wolfe, R.E. & Bounoua, L., 2010, **Characterizing Urban Heat Islands of Global Settlements Using MODIS and Nighttime Lights Products**, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36(3), PP. 185-196.





## Analysis of Spatiotemporal Behavior of Mashhad Metropolis's Urban Heat Island

Torky M.<sup>1</sup> and Masoodian S.A.<sup>2\*</sup>

1. Ph.D. Student of Climatology, University of Isfahan, Isfahan
2. Prof. of Climatology, University of Isfahan, Isfahan

### Abstract

The expansion of urbanization and the increase of population in metropolises and the growth of industrial activities of cities, It has caused changes in urban area climate. One result of these changes is the city's heat islands. The city of Mashhad has also grown rapidly in recent years. This study investigates the heat/cold island of Mashhad metropolis based on the background climate in order to identify its spatiotemporal behavior. For this purpose The MODIS Terra and Aqua land surface temperature (LST) data were obtained and the heat island was examined accordingly. A new was used to measure the heat island. In this method, Modis land use data was used to determine the urban and suburban boundaries as well as to determine the land use type of the study area. The background climate was determined based on Far-side temperature and the representative non urban area was selected based on the most frequent temperature and the heat island was calculated. Survey of heat/cold island in the daily period showed that during the day the average temperature of city is lower than non urbun temperature and at night is higher. Also the seasonal survey of heat island/could island of Mashhad metropolitan shows that daily cold island is the highest during the warm seasons and lowest in the cold seasons and the seasonal variability of nightly heat island is less than the daily cold island. The core of the daily cold island is located between the Haram and the Shahid Fehmidah Square towards the western area of Mashhad. The day time cold island matches the areas of the city with high vegetation coverage. The core of the nightly heat island is consistent with the old texture and dense area around the Haram towards the northwest of the city. The heat/cold island intensity is also directly related to the wind speed. The role of land use in intensifying or reducing the intensity of the heat island of Mashhad is well seen. In the development of the city, more attention can be paid to the use of urban land use in order to moderate the temperature of the city.

**Keywords:** Mashhad metropolis, Heat island, Modis, Land surface temperature.

\* Correspondence Address: University of Isfahan, Isfahan, Postal code: 8174673441. Tel: 03137933133, 09133131101.  
Email: s.a.masoodian@geog.ui.ac.ir