

## اثرات گسترش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی شهری (مطالعه موردی: بوستان ولایت)

مجتبی مهدیان ماهفروزی - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشگاه تهران

علی‌اکبر شمسی‌پور\* - استادیار آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی - دانشیار آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران

تأیید مقاله: ۱۳۹۴/۳/۳۰

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۷

### چکیده

جمعیت شهرنشین زیاد، الگوی شهرسازی نامنظم، سرانه فضای سبز نامناسب و توزیع ناهمگن فضای سبز در شهر تهران سبب افزایش شدت و چندهسته‌ای شدن جزیره گرمایی شده است. یکی از هسته‌های مذکور بر فراز بوستان ولایت قرار دارد. با توجه به افزایش فضای سبز در بوستان ولایت طی سال‌های اخیر و ارتباط بین شدت جزیره گرمایی با فضای سبز، در این پژوهش آثار افزایش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی در این منطقه بررسی می‌شود. در راستای هدف مذکور، با استفاده از تصاویر ماهواره گوگل و سنجنده‌های TM و OLI-TIRS به دلیل در دسترس بودن تصاویر، قدرت تفکیک مکانی مناسب که انطباق پذیری مناسبی را با مدل نشان می‌داد و سهولت کار با آنها، تغییرات کاربری اراضی و افزایش فضای سبز در بوستان ولایت با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 بررسی شد و نتایج آن به عنوان ورودی به مدل اقلیمی خردمقیاس Envi-met با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر برای منطقه به ابعاد ۳/۴ کیلومتر در ۲/۶ کیلومتر وارد شد. شبیه‌سازی به صورت ساعتی انجام گرفت که نتایج آن در این پژوهش با فواصل زمانی شش ساعته به نمایش گذاشته شد. نتایج حاکی از هم‌بستگی معنادار و قوی خروجی مدل با داده‌های ایستگاه آلودگی سنجی میدان بهمن بود. همچنین محدوده مرکزی بوستان ولایت که پوشش خاک دارد، در اغلب اوقات یک هسته سرمایی در این منطقه ایجاد می‌کند. همچنین، ساختمان‌های نسبتاً مرتفع در اطراف بوستان ولایت مانع از نفوذ زبانه هوای خنک پهنه بوستان به اطراف می‌شود. اثر افزایش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی در بوستان ولایت با افزایش تفاوت‌های دمایی بین سطوح مختلف در فصل گرم و کاهش تفاوت‌های دمایی روزانه بین سطوح در دوره سرد دیده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بوستان ولایت، جزیره گرمایی شهری، فضای سبز، مدل‌سازی خردمقیاس.

## مقدمه

کلان‌شهر تهران به عنوان مرکز سیاسی، اقتصادی و ارتباطی ایران، اضافه بر اینکه پرجمعیت‌ترین شهر کشور است، دارای الگوی شهرسازی نسبتاً نامنظم و بدون برنامه است. سرانه فضای سبز نیز در این شهر کمتر از حد استاندارد است و افزون بر آن، توزیع فضای سبز در گستره شهر و در مناطق مختلف شهرداری تهران ناهمگن است، این حالت سبب شده تا شهر تهران هم از جزیره گرمایی شدید به نسبت بالایی برخوردار باشد و هم جزیره گرمایی به صورت مجمع‌الجزایری با هسته‌های متعدد متمرکز بر مراکز فعالیتی مختلف شهر توزیع شود. همچنین به دلیل وجود پهنه‌های فعالیتی و کاربری‌ها و پوشش‌های سطحی مختلف، هسته‌های گرمایی و سرمایایی در کنار هم دیده می‌شود (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). در تعریف، جزیره گرمایی شهری به بالا بودن دمای شهرها در مقایسه با نواحی روستایی و حومه شهری گفته می‌شود. این پدیده که نخستین بار توسط لوک هوارد<sup>۱</sup> شناسایی، اندازه‌گیری و تشریح شد، نام خود را از رسم منحنی‌های هم‌دما در شهر و حومه آن گرفته است. خطوط منحنی بسته دماهای بیشتر روی شهر از پیرامون آن، شهر را شبیه به یک جزیره محصور در آب نشان می‌دهند. بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته، شدت جزیره گرمایی در دماهای کمینه نمود بارزتری پیدا می‌کند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۳۳۹).

شدت جزیره گرمایی تا حد زیادی از الگوهای همدیدی تبعیت می‌کند، اما الگوی فضایی آن عمدتاً متأثر از شرایط محلی و پوشش سطحی است. بر اساس مطالعات انجام‌گرفته، مشخص شده است که شدت جزیره گرمایی شهر تهران تابع شرایط همدیدی است، اما هرگز به صفر نمی‌رسد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین پژوهش‌های دیگر بر وجود ارتباط بین تغییر کاربری اراضی، از کاربری‌های طبیعی به شهری، به‌ویژه کاهش فضای سبز با تشدید جزیره گرمایی تأیید کرده‌اند که از آنها می‌توان به پژوهش‌های آخوندزاده و سراجیان (۱۳۸۶)، شکیبیا و همکاران (۱۳۸۸)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، عبداللهی و همکاران (۱۳۸۹)، ملک‌پور و طالعی (۱۳۸۹)، معروف‌نژاد (۱۳۹۰)، رنگزن و همکاران (۱۳۹۰)، ملک‌پور و طالعی (۱۳۹۰) و شرافتی (۱۳۹۱) اشاره کرد. در همین راستا، یکی از بهترین روش‌های کاهش شدت جزیره گرمایی افزایش فضای سبز است. هر چند این مسئله بدیهی به نظر می‌رسد که افزایش فضای سبز در کاهش شدت جزیره گرمایی مؤثر است، میزان اثر آن شاید در هر منطقه‌ای متفاوت باشد. به عبارت دیگر، میزان تغییرات در شدت جزیره گرمایی با سرانه فضای سبز متغیر است.

در سال‌های اخیر رویکرد پژوهشگران در مطالعه جزیره گرمایی به سمت ارائه راهکار برای کاهش آثار این پدیده گرایش یافته است. از جمله محققانی که به ارائه راهکارهایی برای کاهش شدت جزیره حرارتی روی آورده‌اند می‌توان یاماماتو<sup>۲</sup> (۲۰۰۶)، ساویو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، سوومی و کایک<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، روزنفلد<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۵)، اسمیت و لورمور<sup>۶</sup>

1. Luke Howard
2. Yamamoto
3. Savio
4. Suomi and K'ayhk
5. Rosenfeld
6. Smith and Levermore

(۲۰۰۸)، اکبری و رز (۲۰۰۸)، سولسکی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، کارلسی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، سینفا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، انیشی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۰)، اوبرندورفر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۷)، و پمپی<sup>۶</sup> و هاوکینز (۲۰۱۱) را نام برد. همچنین از تحقیقات محققان ایرانی می‌توان به پژوهش‌های مرادزاده (۱۳۷۸)، معتمدی (۱۳۸۲)، رضانی و دخت‌محمدی (۱۳۸۹)، امیری و همکاران (۱۳۸۹)، غضنفری‌مقدم و همکاران (۱۳۸۹)، رنجبر و همکاران (۱۳۸۴)، موسوی‌بیگی و همکاران (۲۰۱۰)، اربابی و همکاران (۲۰۱۰)، اربابی و یوسفی (۲۰۱۰)، رنجبر و همکاران (۱۳۸۵)، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱ الف و ب)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۲)، ملکوتی (۲۰۱۰)، مهدلویی و همکاران (۲۰۱۲)، و شاه‌محمدی و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد.

همه مطالعات انجام‌گرفته در ایران بر دو روش استفاده از داده‌های آماری و سنجش از دوری مبتنی بوده است. البته بیشتر این مطالعات با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سنجنده‌هایی نظیر TM، ETM+ و ASTER بوده است. بیشتر مطالعات مذکور نیز بر شناسایی شرایط کنونی جزیره گرمایی - و نه ارزیابی آثار گسترش فضای سبز بر الگوی آن - استوار بوده‌اند و از این رو می‌توان بیان کرد که در این مقوله خلاً پژوهشی مشاهده می‌شود. از سویی دیگر، تاکنون پژوهشی با استفاده از روش مدل‌سازی خرد مقیاس در این باب صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به خلاً پژوهشی که میزان تغییرات شدت جزیره گرمایی با سرانه فضای سبز و تغییرات الگوی فضایی - زمانی جزیره گرمایی را با گسترش فضای سبز بررسی می‌کند، این پژوهش با هدف مدل‌سازی و اندازه‌گیری اثر گسترش فضای سبز بر تغییرات الگوی جزیره گرمایی در بوستان ولایت شهر تهران صورت گرفته است.

## مواد و روش‌ها

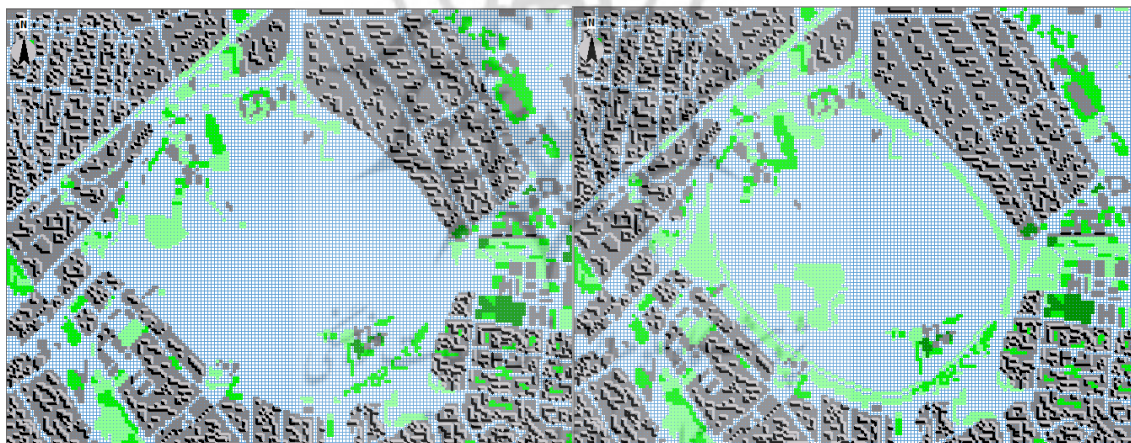
با هدف استخراج محدوده گسترش فضای سبز از دو منبع داده‌ای استفاده شد. در مرحله اول، با استفاده از تصاویر ماهواره گوگل<sup>۷</sup> و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Universal Map Downloader تصاویر مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ استخراج شد. تصویر سال ۲۰۰۶ با هدف بررسی وضعیت پوشش سطحی محدوده پادگان قلعه مرغی پیش از احداث بوستان ولایت دریافت گردید و تصویر سال ۲۰۱۳ با هدف بررسی وضعیت کنونی بوستان ولایت دریافت شد. در مرحله بعد، برای تعیین قطعی کاربری‌های مختلف از یکدیگر تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و سنجنده OLI-TIRS<sup>۸</sup> ماهواره لندست ۸ استفاده شدند. تاریخ و مشخصات تصاویر مذکور در جدول ۱ به نمایش درآمده است.

1. Solecki
2. Karlessi
3. Syennefa
4. Onishi
5. Oberndorfer
6. Pompeii and Hawkins
7. Google
8. Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)

## جدول ۱. ماهواره، سنجنده و تاریخ تصاویر استفاده‌شده در پژوهش

ماهواره/سنجنده	تاریخ تصویربرداری
لندست ۵، TM	۱۸ جولای ۲۰۰۶ (۲۷ تیر ۱۳۸۵)
لندست ۸، OLI-TIRS	۶ آگوست ۲۰۱۳ (۱۵ مرداد ۱۳۹۲)

در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.7 با به‌کارگیری روش طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۱</sup> به روش بیشینه شباهت<sup>۲</sup> (بر اساس بیشینه انحراف معیار از میانگین، با ۵ بار تکرار و ضریب کاپا<sup>۳</sup> معادل ۰/۸۹) کل محدوده به ۴ طبقه (کاربری) اصلی آسفالت، خاک، پوشش گیاهی و سطوح ساختمانی (بتن) طبقه‌بندی شد. به منظور افزایش دقت پژوهش، ۴ مرتبه بازدید میدانی نیز توسط نگارندگان صورت پذیرفت. خروجی‌های برگرفته از این دو منبع داده به عنوان ورودی مدل Envi-met به کار گرفته شدند و کاربری‌های تعیین‌شده در مدل بر اساس کاربری‌های منتج از تصاویر ماهواره‌ای شبیه‌سازی شدند. همچنین، ارتفاع کاربری‌های ساختمانی نیز با استفاده از لایه ارتفاعی ساختمان‌های شهر تهران (تهیه‌شده از شهرداری مناطق تحت بررسی) محاسبه و به مدل وارد شد (شکل ۱). قدرت تفکیک مکانی مدل ۲۰ متر و ابعاد منطقه ۳/۴ کیلومتر در ۲/۶ کیلومتر است.



شکل ۱. کاربری‌های واردشده به مدل Envi-met پیش و پس (شکل راست و چپ، به ترتیب) از افزایش فضای سبز (رنگ سبز نشان‌دهنده پوشش گیاهی، خاکستری نماینده ساختمان، و آبی نمایش‌دهنده سطوح آسفالتی و خاک (سطوح برهنه) است.

بخش بسیار مهمی از پژوهش حاضر، انتخاب روزهای تحت نظر برای شبیه‌سازی بوده است. در این راستا، با توجه به مقیاس مطالعه، می‌بایست روزهایی تحت مطالعه قرار گیرند که شرایط جوی آنها به لحاظ هم‌دیدگی پایدار باشد، تا تفاوت‌های دمایی نمود بارزتری پیدا کنند. از سویی دیگر، در شرایط پایدار عمدتاً سرعت باد کمتر است و اثر کاهندگی باد نیز کاهش پیدا می‌کند و نقش کاربری‌های مختلف در ایجاد شرایط اقلیم محلی متفاوت پررنگ‌تر می‌گردد. بنابراین، با

1. Supervised Classification
2. Maximum Likelihood
3. Kappa

توجه به مطالعات پیشین (شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱ الف؛ شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۱ ب، عزیزی و همکاران، ۱۳۹۲) برای سال ۲۰۰۶ روزهای چهارم ژانویه (۱۴ دی ۱۳۸۲) و دوم آگوست (۱۲ مرداد ۱۳۸۳) به عنوان نمونه‌های زمستانی و تابستانی انتخاب شدند. برای سال ۲۰۱۳ نیز سعی بر آن شد تا شرایط همدیدی مشابهی استخراج گردد که بدین ترتیب روزهای هفدهم ژانویه (۲۸ دی ۱۳۹۱) و پانزدهم جولای (۴ تیر ۱۳۹۲) به عنوان نمونه‌های زمستانی و تابستانی برگزیده شدند. درباره انتخاب روزهای پژوهش دو نکته شایان ذکر است. نخست اینکه روزهای سال ۲۰۰۶ منطبق با پژوهش‌های پیشین نگارندگان است که در آنها شرایط جزیره گرمایی با استفاده از داده‌های آماری و مدل‌سازی میان مقیاس تحت بررسی قرار گرفته بود. دوم اینکه، در انتخاب روزهای سال ۲۰۱۳، سعی بر انتخاب روزهایی شد که به لحاظ همدیدی دارای شرایط مشابه با روزهای سال ۲۰۰۶ باشند. علت انتخاب سال ۲۰۱۳ نیز به دلیل زمانی است که زمان عملیات افزایش فضای سبز بوستان ولایت به اتمام رسیده باشد. شرایط اقلیمی هر یک از روزهای تحت بررسی در این پژوهش در جدول ۲ به نمایش گذاشته شده است.

جدول ۲. ویژگی اقلیمی روزهای تحت مطالعه

روز	میانگین دمای هوا (C)	دمای کمینه (C)	دمای بیشینه (C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	جهت باد (درجه)
۴ ژانویه ۲۰۰۶	۲/۷	-۰/۸	۷	۵۱/۸	۰/۷۵	۲۱۰
۱۷ ژانویه ۲۰۱۳	۲/۲	-۳/۲	۸/۴	۳۴	۲	۲۷۰
۲ آگوست ۲۰۰۶	۳۳/۵	۲۸/۴	۴۰	۲۷/۸	۲	۱۸۰
۱۵ جولای ۲۰۱۳	۳۲/۳	۲۷	۳۷/۴	۲۴	۳	۲۴۰

برای ارزیابی مدل در محل استقرار ایستگاه آلودگی سنجی بهمن (وابسته به سازمان محیط زیست) در محدوده شبیه‌سازی یک گیرنده مجازی تعیین شد که نتایج آن به صورت عددی استخراج شد و داده‌های آن به صورت زوجی با داده‌های واقعی هر یک از روزها مقایسه شد و ضریب هم‌بستگی آنها محاسبه گشت. ضرایب هم‌بستگی داده‌های مدل با داده‌های واقعی در جدول ۳ به نمایش گذاشته شده است. برای هر روز ۲۴ زوج داده وجود داشت، بنابراین با درجه آزادی ۲۳، ضریب هم‌بستگی بیش از ۰/۵۰۵ در سطح ۹۹٪ معنادار شناخته می‌شود. بدین ترتیب، با توجه به معناداری داده‌های مدل در سطح ۹۹٪، در ادامه نتایج آن بررسی شد.

جدول ۳. ضریب هم‌بستگی بین نتایج مدل با داده‌های واقعی ایستگاه میدان بهمن

روز	میانگین دمای هوا (C)	دمای کمینه (C)	دمای بیشینه (C)
۴ ژانویه ۲۰۰۶	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۸۳
۱۷ ژانویه ۲۰۱۳	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۸۰
۲ آگوست ۲۰۰۶	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۹۲
۱۵ جولای ۲۰۱۳	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۹۵

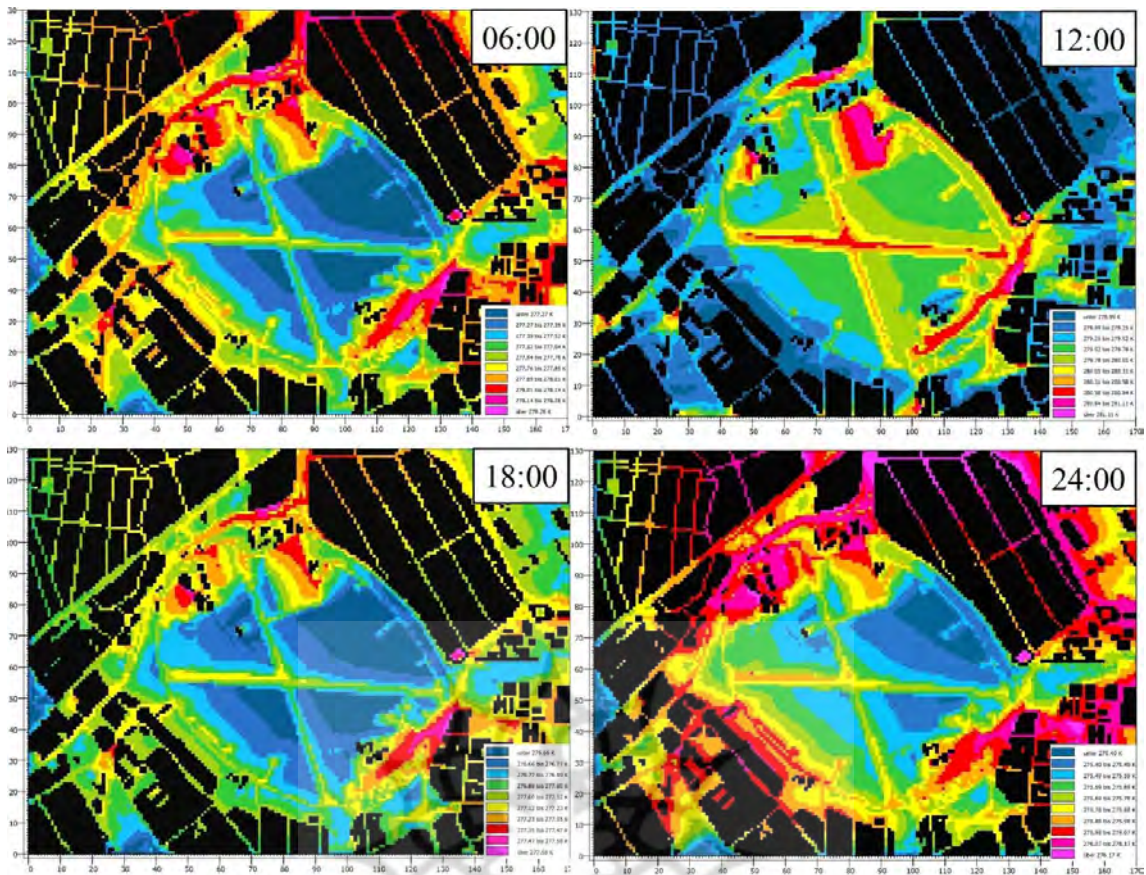
## یافته‌های پژوهش

### ۱. الگوی زمستانی

#### الف) چهارم ژانویه ۲۰۰۶

در ساعت ۰۶:۰۰ روز چهارم ژانویه ۲۰۰۶، سطوح خاکی پایین‌ترین دما را نمایش می‌دهند. بدین ترتیب کمترین دما متعلق به بخش مرکزی قلعه مرغی است. دامنه دمایی در حدود ۲ درجه سلسیوس است. دمای سطوح آسفالت در مقایسه با سطوح خاکی بیشتر است تا حدی که اثر پوشش آسفالتی شمالی - جنوبی و شرقی - غربی قلعه مرغی به‌خوبی نمایان شده است. بیشترین دمای ثبت‌شده در این ساعت مربوط به سطوح آسفالتی با مساحت زیاد است که در جنوب شرق و شمال محدوده قلعه مرغی دیده می‌شود. پس از آن، سطوح پوشش گیاهی به‌طور نسبی دمای بیشتری دارند، هرچند به نظر می‌رسد بین تراکم پوشش گیاهی و دمای آن رابطه معکوس وجود داشته باشد. همچنین، به‌طور نسبی، مناطق مسکونی شمالی و شرقی منطقه از دمای سطحی بیشتری برخوردارند. شیب دمایی در محدوده غرب و جنوب غربی قلعه مرغی بیش از محدوده شرقی آن است (شکل ۲). همچنین هسته سرمایی شکل‌گرفته روی قلعه مرغی بر اثر شرایط دمایی خیابان گذرنده از میان محوطه به چهار هسته تقسیم شده است که بزرگ‌ترین آن در ربع شمال شرقی شکل گرفته است. گرادیان دمایی در ضلع جنوب غربی قلعه مرغی بیش از دیگر مناطق است. به‌علاوه، اثر سرمایشی هسته شکل‌گرفته در ربع شمال غربی تا محدوده خیابان نواب گسترش یافته است. باید اشاره کرد که فاصله میان خیابان و محدوده پادگان در شرق پادگان بسیار کمتر از غرب پادگان است. این حالت سبب گردیده تا در غرب محدوده دما با روندی آهسته‌تر کاهش یابد و اختلاف دمای دو سطح نیز بیشتر باشد. هر چند، نکته بسیار مهم دمای بزرگراه نواب در محدوده شمال شرقی پادگان قلعه مرغی است که در مقایسه با سطوح خیابانی دیگر بیشتر است. همچنین، به نظر می‌رسد زیانه سرمایی از قلعه مرغی تا فرهنگسرای بهمن ادامه پیدا کرده است. در ساعت ۱۲:۰۰، دمای محدوده قلعه مرغی در مقایسه با مناطق اطراف افزایش یافته است. در این ساعت بیشترین دما در منطقه شمالی قلعه مرغی که محدوده‌ای آسفالتی است به ثبت رسیده است. پس از آن در نوار جنوب شرقی و پس از آن در شمال محدوده دما در مقایسه با دیگر مناطق بیشینه است. اثر محدوده آسفالتی میان قلعه مرغی به‌خوبی تأثیر گرمایشی سطوح را نشان می‌دهد. به‌علاوه، بزرگراه نواب دمای بیشتری در مقایسه با دیگر خیابان‌های شهری دارد. هر چند بقیه سطوح آسفالتی دمای کمتری را - حتی از سطوح برهنه - نشان می‌دهند. برای تحلیل این حالت باید از زاویه تابش خورشید سود جست. با توجه به زاویه تابش پایین خورشید، به نظر می‌رسد سطوح آسفالتی که تابش خورشید را دریافت کرده‌اند دمای بسیار بیشتری دارند و دیگر سطوح آسفالتی که تابش مستقیم به آنها اصابت نکرده است، دمای کمتری دارند. به نظر می‌رسد با توجه به پهنا و وسیع قلعه مرغی، امکان دریافت تابش مستقیم آفتاب برای سطوح شمالی این پهنا وجود داشته باشد، در حالی که در قسمت‌های جنوبی، به دلیل ساختمان‌های مستقر در محدوده، دریافت انرژی تابشی با دشواری‌هایی مواجه می‌گردد.





شکل ۲. تغییرات دمای هوا در ساعت‌های ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۲۴:۰۰ روز چهارم ژانویه ۲۰۰۶

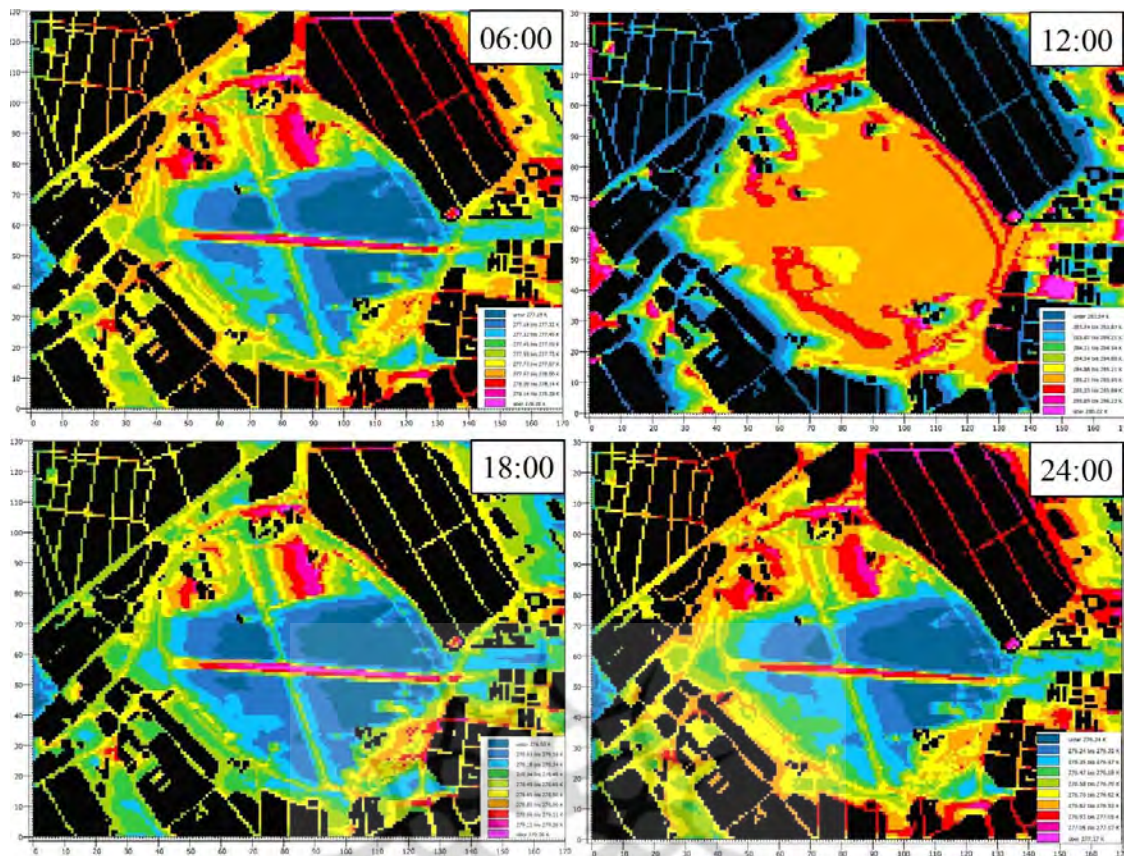
در ساعت ۱۸:۰۰، به دلیل تفاوت در ویژگی‌های سطوح، سطوح خاکی و پوشش‌های گیاهی دمای کمتری را در مقایسه با خیابان‌ها نمایش می‌دهند. بیشترین دما در جنوب شرق قلعه مرغی و کمترین دما در بخش‌های میانی و شرقی آن دیده می‌شوند. اثر سطح آسفالتی میان قلعه مرغی نیز به‌خوبی مشهود است. همچنین، محدوده شمالی که دارای سطوح آسفالت بیشتر است، دمای بیشتری دارد. در ساعت ۲۴:۰۰ نیز دمای سطوح خاکی در منطقه در مقایسه با دیگر سطوح کمتر است. در این ساعت نیز همانند ساعت‌های گذشته، شمال شرقی محدوده قلعه مرغی کمترین دما را دارد. در حالی که در شمال و شمال غربی قلعه مرغی یکی از هسته‌های گرمایی مستقر است. همچنین، در کل منطقه تحت مطالعه دمای سطوح خیابانی نسبتاً زیاد است که در شرق و شمال شرقی به بیشترین حد خود می‌رسد. به‌طور کلی، سطوح آسفالت بیشترین دما را نشان می‌دهند که در این میان بزرگراه نواب رفتاری کاملاً عکس دارد (شکل ۲).

### ب) هفدهم ژانویه ۲۰۱۳

در روز هفدهم ژانویه در ساعت ۰۶:۰۰ محدوده بوستان ولایت که دارای پوشش خاک است، در مقایسه با محیط اطراف سردتر شده است. در این ساعت پوشش آسفالت بیشترین دما را دارد، به‌طوری که بیشترین دما در محدوده‌های آسفالتی

واقع در ربع‌های شمال شرقی و شمال غربی بوستان ولایت به ثبت رسیده است. پس از آن، جاده آسفالت شرقی - غربی بوستان ولایت بیشترین میزان دما را دارد، تا حدی که هسته سرمایگی شکل گرفته به چهار هسته تقسیم می‌شود، که البته هسته‌های غربی وسیع‌تر از هسته‌های شرقی‌اند. همچنین خیابان‌های بخش شرقی (به‌ویژه) منطقه جوادیه دمای بیشتری را نمایش می‌دهند که ممکن است ناشی از تأثیر هندسه شهری و تراکم ساختمانی بیشتر باشد. به نظر می‌رسد اثرهای سرمایگی محدوده بوستان ولایت به سمت شرق کشیده شده باشد؛ زیرا با توجه به اینکه دمای پوشش‌های گیاهی منطقه در حد متوسط است، اما محدوده فرهنگسرای بهمن که پوشش گیاهی نسبتاً متراکمی نیز دارد، دمای کمتری را در مقایسه با دیگر سطوح پوشش گیاهی نمایش می‌دهد. در ساعت ۱۲:۰۰ روز هفدهم ژانویه، خیابان‌های منطقه مسکونی جوادیه سردترین بخش محدوده تحت مطالعه است. کل محدوده بوستان ولایت دارای دمایی بیشتر از مناطق اطراف خود است. به نظر می‌رسد افزایش پوشش گیاهی در این ساعت شبانه‌روز سبب افزایش دمای منطقه در مقایسه با دیگر مناطق شده باشد. دیگر اینکه همچنان گرادیان دمایی در غرب و جنوب غرب بوستان ولایت بیش از بخش شرقی آن است. به‌علاوه اینکه خیابان نواب در محدوده منطقه مسکونی جوادیه دمای بسیار بیشتری از پوشش‌های آسفالتی دیگر نمایش می‌دهد. همچنین، خیابان‌های مناطق مسکونی شمال غرب و جنوب شرق محدوده تحت مطالعه دمای بیشتری در مقایسه با خیابان‌های منطقه جوادیه دارند. به نظر می‌رسد این اختلاف دمایی ناشی از پوشش گیاهی موجود - ولو اندک - باشد. در ساعت ۱۸:۰۰ الگوی دمایی بسیار شبیه به الگوی ساعت ۶ صبح است. گرم‌ترین منطقه زمین آسفالت مستقر در ربع شمال شرقی بوستان ولایت است. پس از آن، خیابان آسفالت شرقی غربی بوستان ولایت دمای زیادی را به نمایش می‌گذارد. دو مرکز گرمایی دیگر آسفالت خیابان شمال بوستان ولایت و زمین آسفالتی ربع شمال غربی‌اند. علاوه بر مرکز سرمایگی بوستان ولایت، به نظر می‌رسد زبانه سرمایگی این هسته کمی تا شرق کشیده شده باشد. همچنین، دمای بزرگراه نواب نیز در مقایسه با دیگر خیابان‌ها بیشتر است. در ساعت ۲۴:۰۰، دمای سطوح آسفالتی در منطقه بسیار بیشتر از دیگر سطوح به نظر می‌رسد. سطوح آسفالتی ربع‌های شمال شرقی و شمال غربی، و خیابان‌های منطقه جوادیه بیشترین دما را از خود به نمایش گذاشته‌اند. همچنین خیابان شرقی - غربی بوستان ولایت نیز دمای زیادی را نشان می‌دهد. در ربع‌های شمال شرقی و جنوب شرقی هسته سرمایگی شکل گرفته سبب ورود یک زبانه سرمایگی به شرق محدوده (به محدوده فرهنگسرای بهمن) شده است. به نظر می‌رسد گرادیان دمایی در غرب و جنوب غرب بوستان ولایت به واسطه وجود پوشش گیاهی تغییر کرده باشد (شکل ۳).





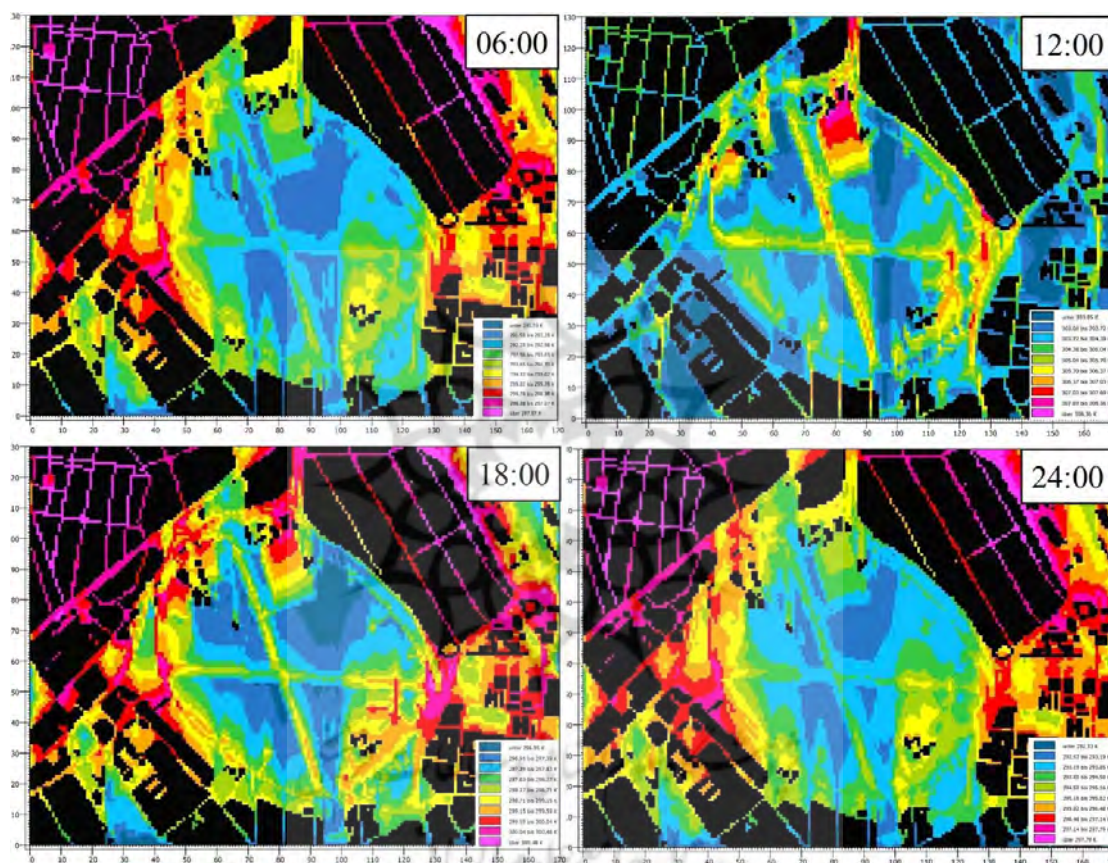
شکل ۳. تغییرات دمای هوا در ساعات‌های ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۸:۰۰، و ۲۴:۰۰ روز هفدهم ژانویه ۲۰۱۳

## ۲. الگوی تابستانه

### الف) دوم آگوست ۲۰۰۶

در روز دوم آگوست ۲۰۰۶، دمای محدوده خاکی قلعه مرغی در بخش‌های شمالی آن در مقایسه با دیگر سطوح سردتر است. گرم‌ترین مناطق در این ساعت‌ها خیابان‌ها برآورد شده‌اند. نکته جالب توجه روند شمالی- جنوبی کشیدگی دما در محدوده قلعه مرغی است. همچنین، خیابان‌های محدوده غربی قلعه مرغی بیشترین دما را دارند که سبب افزایش گرادبان دمایی در بخش غربی در مقایسه با بخش شمالی و شرقی می‌شود. در این ساعت گرم‌ترین مناطق خیابان‌های نیمه شمالی منطقه‌اند. به نظر می‌رسد جهت باد بر شرایط دمایی منطقه بسیار تأثیرگذار باشد. زیرا اختلاف دما بین نیمه شمالی منطقه تحت بررسی با نیمه جنوبی آن بیش از ۵ درجه است. در ساعت ۱۲:۰۰، وضعیت کمی پیچیده می‌شود. اگرچه دمای هوا در مقایسه با ساعت قبلی افزایش می‌یابد (به بیش از ۳۴ درجه سلسیوس)، اما دمای محدوده خاکی در قلعه مرغی با خیابان‌های مناطق مسکونی تقریباً برابر می‌شود. تنها خیابان‌های منطقه مسکونی شمال غرب محدوده تحت بررسی دمایی بیشتری در مقایسه با دیگر خیابان‌ها دارند. گرم‌ترین مناطق در این ساعت زمینی با پوشش آسفالت در شمال قلعه مرغی و پس از آن در شرق قلعه مرغی مشاهده می‌گردد. همچنین، اثر پوشش آسفالتی خیابان میانی قلعه مرغی کاملاً مشهود است. در ساعت ۱۸:۰۰، شرایط دمایی بسیار شبیه به ساعت ۰۶:۰۰ است. گرم‌ترین محدوده‌ها،

مناطق مسکونی شمال قلعه مرغی‌اند و پس از آن مناطق شرقی و غربی دمای بیشتری دارند. کمترین دما نیز در محدوده شمال غربی محدوده قلعه مرغی دیده می‌شود. همانند ساعت‌های قبلی و روزهای قبلی گرادیان دمایی در سمت غربی محدوده بیشتر است. در ساعت ۲۴ روز دوم آگوست، شرایط دمایی بسیار شبیه به ساعت ۱۸:۰۰ است. تفاوت عمده آن با الگوی ساعت ۱۸ در تضعیف هسته سرمایی شکل گرفته بر روی بخش مرکزی قلعه مرغی است. به‌علاوه اینکه دمای محدوده آسفالت شمال قلعه مرغی کاهش یافته است و از گرادیان دمایی غرب قلعه مرغی نیز کاسته شده است (شکل ۴).



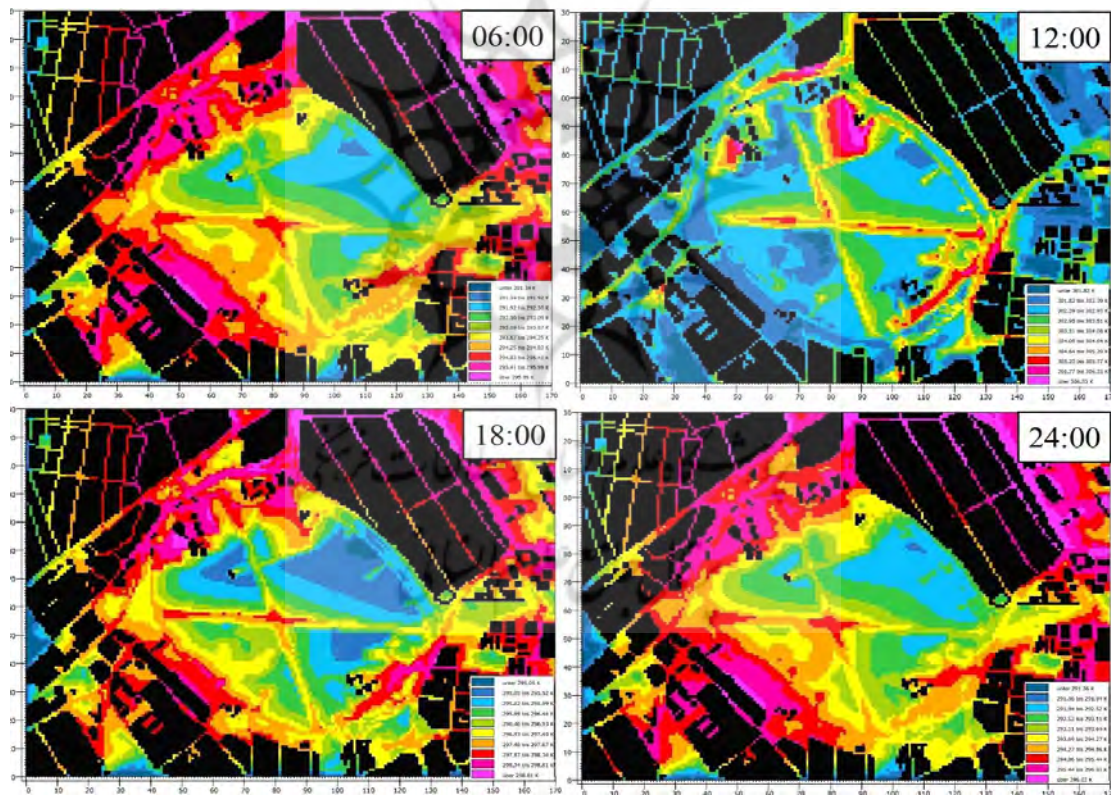
شکل ۴. تغییرات دمای هوا در ساعات ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۲۴:۰۰ روز دوم آگوست ۲۰۰۶

### ب) پانزدهم جولای ۲۰۱۳

در روز پانزدهم جولای، در ساعت ۰۶:۰۰، هسته سرمایی ضلع شمال شرقی مشاهده می‌شود، اما هسته‌های سرمایی شکل گرفته در اضلاع دیگر یا از بین رفته‌اند یا بسیار تضعیف شده‌اند. اثر هسته سرمایی ضلع شمال شرقی سبب کاهش دمای بزرگراه نواب شده است، در حالی که دیگر خیابان‌ها دمای بیشتری را نمایش می‌دهند. در این ساعت ضلع شمالی، شمال شرقی و جنوب غربی بوستان دمای بیشتری را در مقایسه با دیگر مناطق نمایش می‌دهند. به‌علاوه اینکه اثر گرمایشی پوشش آسفالتی خیابان مرکزی بوستان ولایت در حال نمایان شدن است، در حالی که اثر پهنه آسفالتی ضلع شمال شرقی چندان به چشم نمی‌خورد. اثر فضای سبز ربع جنوب غربی بر کاهش دمای منطقه محسوس است. در



ساعت ۱۲:۰۰، دامنه دمایی منطقه در حدود ۵ درجه سلسیوس است (از حدود ۲۸ درجه تا ۳۳ درجه سلسیوس). بیشترین دما در این ساعت در پهنه آسفالتی ضلع‌های شمال شرقی و شمال غربی بوستان مشاهده می‌شود. پس از آن منطقه، حداقل فضای سبز احداث شده در ضلع جنوب شرقی با فضای سبز قبلی (در اطراف ساختمان‌های ربع جنوب شرقی) بیشترین دما را نمایش می‌دهد. همچنین، خیابان میان بوستان ولایت نیز دمای زیادی را نمایش می‌دهد. باید اشاره کرد اثر کاهندگی دمای هوا ناشی از احداث فضای سبز در این ساعت به خوبی مشخص است. در حالی که خیابان‌های اطراف بوستان ولایت دمای نسبتاً زیادی دارند، محدوده‌های فضای سبز منطقه دمای کمتری را نمایش می‌دهند. در ساعت ۱۸:۰۰، الگوی دمای محدوده بسیار شبیه به ساعت ۰۶:۰۰ است. تفاوت عمده آن با الگوی ساعت ۰۶:۰۰ در کاهش گرادیان دمایی ربع جنوب غربی و افزایش گرادیان دمایی ربع جنوب شرقی است. به علاوه اینکه هسته‌های سرمایی ربع‌های جنوب شرقی و شمال غربی نیز تشدید شده‌اند. در این ساعت گرم‌ترین محدوده در شمال بوستان ولایت استقرار دارد. همچنین اثر فضای سبز چمنی ربع جنوب غربی نیز مشهود است. به نظر می‌رسد بزرگراه نواب هنوز از شرایط ربع شمال شرقی تأثیر نپذیرفته است (شکل ۵).



شکل ۵. تغییرات دمای هوا در ساعت‌های ۰۶:۰۰، ۱۲:۰۰، ۱۸:۰۰ و ۲۴:۰۰ روز پانزده جولای ۲۰۱۳

## بحث و نتیجه گیری

یکی از روش‌هایی که امروزه برای مطالعه جزیره گرمایی به کار می‌رود، مدل‌سازی است. در این پژوهش با استفاده از یک مدل خردمقیاس به نام Envi-met اثرات گسترش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی شهر تهران در هسته

بوستان ولایت شبیه‌سازی شد. بررسی‌ها نشان دادند که محدوده مرکزی بوستان ولایت که هنوز پوشش خاک دارد، در بیشتر ساعت‌ها موجب تشکیل یک هسته سرمایی در منطقه می‌گردد. این پژوهش از این نظر منطبق با نتایج دیگر پژوهشگران است که بیان کرده بودند وجود پوشش خاک به جز در ساعات اوج روزانه سبب تشکیل یک هسته سرمایی می‌گردد (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸، امیری و همکاران، ۱۳۸۹، رنگزن و همکاران، ۱۳۹۰، ملک‌پور و طالعی، ۱۳۹۰). این هسته در برخی موارد یکپارچه و در موارد دیگر چند قسمت دارد. در هر صورت، سردترین قسمت هسته در ربع شمال شرقی استقرار دارد. از سویی دیگر، مشاهده شد که گرادیان دمایی در قسمت غربی بوستان بیش از دیگر مناطق است. اثرات فضای سبز در این بخش از بوستان به تشدید این گرادیان منجر شده است. همچنین، مشاهده شد که در برخی ساعت‌ها، در لبه داخلی کمر بند فضای سبز ایجاد شده به دور بوستان، دمای هوا افزایش شدیدی می‌یابد. به لحاظ انتقال گرما، با توجه به محاصره بوستان با ساختمان‌های نسبتاً بلند، امکان انتقال حرارت چندان میسر نیست. به‌خوبی مشهود است که در شرق بوستان ولایت، در منطقه فرهنگسرای بهمن که ساخت‌وساز وجود ندارد، زبانه‌های گرمایی و سرمایی منتج از تغییرات دمایی شرق بوستان ولایت تا حدی به خارج از فضای بوستان نفوذ می‌کنند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت تغییر در ارتفاع و تراکم ساختمانی اطراف بوستان، امکان ظهور اثر کاهشی تا محدوده بیشتری وجود دارد. در نتایج پژوهش‌های پیشین نیز این مسئله بیان شده بود که زبانه گرمایی و سرمایی بوستان ولایت به سمت شرق تمایل بیشتری دارد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱ الف و ب، رنجبر و همکاران، ۱۳۸۵، شاه‌محمدی و همکاران، ۲۰۱۲).

همچنین مشاهده شد که در فصل زمستان، اثرات افزایش فضای سبز بر الگوهای دمایی در ساعت ۱۲:۰۰ (و به‌طور کلی در ساعات روز) بیشتر قابل مشاهده‌اند. به طوری که در این ساعت، پس از احداث فضای سبز، تفاوت‌های دمایی در محدوده مرکزی بوستان ولایت در مقایسه با قبل از احداث فضای سبز کاهش می‌یابد. مشاهده شد که پس از احداث فضای سبز، در ساعات روز آثار دمایی جاده آسفالت گذرنده از مرکز بوستان ولایت تقریباً محو می‌شود، در حالی که پیش از احداث فضای سبز اثرات این مناطق به‌خوبی مشهود است. در تابستان، دو نکته قابل توجه است: نخست اینکه در روز دوم آگوست ۲۰۰۶ که جهت باد جنوبی است، بدون استثنا در همه ساعت‌ها الگوهای دمایی به سمت جنوب کشیدگی دارد. دوم اینکه در همه ساعت‌ها، اثر افزایش فضای سبز بر الگوی جزیره گرمایی به صورت افزایش تفاوت‌های دمایی در منطقه مشاهده می‌شود. بدیهی است که با شدت گرفتن تابش آفتاب، هرچه تجانس سطوح بیشتر باشد، تفاوت‌های دمایی کاهش خواهند یافت و بالعکس. همچنین، در فصول گرم به دلیل تفاوت ضرایب گرمایی سطوح، سردشدگی شب‌هنگام در سطوح مختلف متفاوت است. از این رو، در الگوی تابستان، چه در ساعت‌های شبانه و چه در ساعت‌های روزانه افزایش فضای سبز به معنای افزایش تفاوت دمایی سطوح است. بدین ترتیب، در فصل گرم و سرد شاهد دو الگوی دمایی متفاوت منتج از گسترش فضای سبز هستیم.

## منابع

- آخوندزاده، مهدی؛ سراجیان، محمدرضا؛ (۱۳۸۶). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای ASTER-TERRA در نمایش جزایر گرمایی در مناطق شهری، دومین همایش سالانه مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- امیری، رضا؛ علیمحمدی، عباس؛ علوی پناه، سید کاظم؛ (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری فضایی - زمانی حرارت در ارتباط با کاربری - پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های لندست ETM+ و TM حرارتی و انعکاسی، محیط‌شناسی، سال سی‌وسوم، شماره ۴۳، پاییز ۱۳۸۶، صص ۱۰۷ تا ۱۲۰.
- رضوانی، بهمن؛ دخت محمد، سید مریم؛ (۱۳۸۹). شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره گرمایی در شهر رشت، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال اول، شماره اول، صص ۶۴-۴۹.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ آزادی، مجید؛ علی اکبری بیدختی، عباسعلی؛ صادقی حسینی، سیدعلیرضا؛ (۱۳۸۴). مطالعه موردی جزیره گرمایی تهران و شبیه‌سازی عددی آن، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱، شماره ۱، صص ۶۳ تا ۷۸.
- رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ اکبری بیدختی، عباسعلی؛ صادقی حسینی، سیدعلیرضا؛ (۱۳۸۴). آثار جزیره گرمایی و شهرنشینی روی وضع هوا و اقلیم محلی در کلان‌شهر تهران بر اساس داده‌های مهرآباد و ورامین، مجله محیط‌شناسی، شماره ۳۹، صص ۵۹ تا ۸۴.
- رنگزن، کاظم؛ فیروزی، محمدعلی؛ تقی‌زاده، ایوب؛ مهدی‌زاده، رامین؛ (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر گرمایی با استفاده از GIS و R.S، نمونه موردی شهر اهواز، اولین سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- شرافتی، شهاب؛ (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات مکانی - زمانی جزیره گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- شکیبا، علیرضا؛ ضیائی‌ان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داود؛ نامداری، سودابه؛ (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، بهار ۱۳۸۸، شماره ۱، صص ۵۶-۳۹.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ مهدیان ماهفروزی، مجتبی؛ حسین‌پور، زینب؛ (۱۳۹۱). واکاوی تغییرات مکانی هسته جزیره گرمایی شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۴۴، شماره ۳، پیاپی ۸۱، صص ۱۴۶-۱۲۷.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ مهدیان ماهفروزی، مجتبی؛ اخوان، هانیه؛ حسین‌پور، زینب؛ (۱۳۹۱). واکاوی رفتار روزانه جزیره گرمایی شهر تهران، محیط‌شناسی، سال ۳۸، شماره ۴، صص ۴۵-۵۶.
- عبداللهی، جلال؛ محمد چراغی، سید علی؛ رحیمیان، محمدحسن؛ (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، سال سی و چهارم، شماره ۴۵، بهار ۸۷، صص ۹۶-۸۵.
- عزیزی، قاسم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ مهدیان ماهفروزی، مجتبی؛ میری، مرتضی؛ (۱۳۹۲). تأثیرپذیری شدت جزیره گرمایی شهری تهران از الگوهای همدیدی، محیط‌شناسی، سال ۳۹، شماره ۴، صص ۵۵-۶۶.
- عزیزی، قاسم؛ (۱۳۸۴). تغییر اقلیم، انتشارات قومس، تهران.
- غضنفری مقدم، محمدصادق؛ علیزاده، امین؛ ناصری مقدم، مهیار؛ فرید حسینی، علیرضا؛ (۱۳۸۹). بررسی اثر جزیره گرمایی شهری بر روند تغییرات ریزش‌های جوی مشهد، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد و تیر، صص ۳۶۶-۳۵۹.

- مرادزاده، محمد؛ (۱۳۷۸). شبیه‌سازی فیزیکی جزیره گرمایی و الگوی دمای تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- معتمدی، مینا؛ (۱۳۸۲). مطالعه اثر متقابل گردش‌های محلی (کوهستانی) و پدیده جزیره گرمایی در تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- معروف‌نژاد، عباس؛ (۱۳۹۰). تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر گرمایی (مطالعه تحتی: شهر اهواز)، فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۱۴، صص ۶۵-۹۰.
- ملک‌پور، پیمان؛ طالعی، محمد؛ (۱۳۸۹). بررسی تغییرات درجه حرارت سطح و پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+، سنجش از دور و GIS ایران، سال دوم، شماره سوم، صص ۸۹-۱۰۲.
- ؛ (۱۳۹۰). مدل‌سازی و ارتباط کاربری-پوشش اراضی و حرارت سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER، محیط‌شناسی، سال سی و هفت، شماره ۵۸، تابستان ۹۰، صص ۲۹-۴۲.
- Akbari, H., Rose L. S., 2008, Urban surfaces and heat island mitigation potentials, Journal of the Human-Environmental System, 11: 85-101.
- Arbabi A., Arzjani Z, Khaledi Sh., Sabri M., 2010, Tehran Megacity analyzed using Population and Climate change, IJBSM 1(1), 13-16.
- Arbabi A., Yousefi A., 2010, a Survey on climatological elements (temperature, precipitation and relative humidity) impact on climatological changes in big city of Tehran and formation of heat islands in the last two decades, The 1 st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University - Mashad Branch, Iran, 26-28 April 2010.
- Karlessi T., Santamouris M., Synnefa A., Assimakopoulos D., Didaskalopoulos P., Apostolakis K., 2010, Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings, Building and Environment, Pp 1-10.
- Mahdeloei S., Hamidi Farahani F., Shakori M.J., 2012, The role of roof gardens in saving energy and reducing the heat island phenomenon, Annals of Biological Research, 3 (4):1704-1707.
- Malakooti, H., 2010, Meteorology and air-quality in a mega-city: application to Tehran, Iran, PhD Dissertation of École des Ponts ParisTech, Université Paris Est.
- Mousavi-Baygi, Ashraf M., Miyanabaygi M., 2000, hhe nnggggggggff nannenn Hea dddladly using the Surface Ozone and Temperature Data, International Journal of Applied Environmental Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 189° 200.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Kohler M., Liu K.K.Y., Rowe B., 2007, Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, BioScience, 57(10): 823-833.
- Onishi, A., Cao X., Ito T., Shi F., Imura H., 2010, Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots, Urban Forestry & Urban Greening, pp. 1-10.
- Pompeii W.C., Hawkins T.W., 2011, Assessing the Impact of Green Roofs on Urban Heat Island Mitigation: A Hardware Scale Modeling Approach, the Geographical Bulletin 52: 52-61.
- Rosenfeld A.H., Akbari H., Romm J.J., Pomerantz M., 1998, Cool communities: strategies for heat island.
- iaii ,, ,, add Team 0066 ttt gggggg e kkkk yyyy Hea dddladlhhhhh nnnannooyeyyyyy



Living Roofs, and Light Surfaces, New York City Regional Heat Island Initiative Final Report, New York State Energy

Shahmohamadi P., Cubasch U., Sodoudi S., Che-Ani A.I., 2012, Mitigating Urban Heat Island Effects in Tehran Metropolitan Area, Chapter 11 of the book: Air Pollution ° A Comprehensive Perspective.

Smith, C., Levermore, G., 2008, Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world, Energy Policy, 36: 4558° 4562.

Solecki W.D., Rosenzweig C., Pope G., Parshall L., Wiencke M., 2008, The Current and Future Urban Heat Island Effect and Potential Mitigation Strategies in the Greater Newark, New Jersey Region, United States Department of Energy (DOE).

Suomi, J., Käyhkö J., 2010, The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland, International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.2277.

Synnefa, A., Karlessi T., Gaitani N., Santamouris M., Assimakopoulos D.N., Papakatsikas C., 2011, Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate, Building and Environment, 46: 38-44.

Yamamoto, Y., 2006, Measures to Mitigate Urban Heat Islands, Quarterly Review, vol.18.

