

# بررسی روش ترکیبی در تشخیص جزایر گرمایی و راهکار تعدیل از طریق ظرفیت فضای سبز شهری<sup>۱</sup>

## مطالعه موردی: شهر اصفهان

صلاح‌الدین شوشتری<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری شهرسازی اسلامی، دانشگاه هنر اصفهان، ایران.  
محمود قلعه‌نویی - عضو هیأت علمی گروه شهرسازی دانشگاه هنر اصفهان، ایران.  
ویکتوریا عزتبان - سرپرست پژوهشی، اداره کل هواشناسی استان اصفهان، ایران.  
آیدا ملکی - عضو هیأت علمی گروه معماری دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.  
مصطفی پاکنژاد - کارشناس ارشد معماری، مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور فرآیند بنا.  
رئوفه رهپو - نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۶

### چکیده

پدیده جزایر گرمایی شهری یکی از چالش‌هایی است که در پی گسترش بدون برنامه شهرها گریبانگیر اغلب کلانشهرها شده است. از آنجایی که در هر شهر و یا منطقه شهری پدیده جزیره گرمایی برآیند عوامل متفاوتی است که می‌تواند منحصر به آن مکان باشد، راهکارهای ارائه شده برای آن منطقه نیز باید در جهت تصحیح و یا تقلیل آن عوامل باشد. در این پژوهش سعی شده به کمک داده‌های ماهواره‌ای شامل یک تصویر حرارتی روزانه ۱۸ جولای ۲۰۱۵ ماهواره لندست و همچنین تصویر شبانه ماهواره مدیس و سیستم اطلاعات جغرافیایی به همراه داده زمینی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی شهری به محل شبیه‌سازی جزایر گرمایی شهر اصفهان مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا میزان تأثیرپذیری کاربری‌های مختلف بر ایجاد و شدت جزایر گرمایی در اصفهان بررسی شده و بر پایه یافته‌های تحقیق، پیشنهادها قابل اجرا در حوزه فعالیت شهری با نگاه ویژه بر روی فضای سبز داده شده است. از میان کاربری‌های شهری به کمک شبیه‌سازی تأثیر فضاهای سبز و به ویژه فضای سبز حاشیه معابر بر خرد اقلیم‌های شهری در یکی از محدوده‌های دارای با قدمت‌ترین فضای سبز حجمی شهر، محدوده عباس‌آباد مورد مطالعه قرار گرفت. در این راستا این فضای سبز شهری با درختان با قدمت زیاد در بافت تاریخی اصفهان انتخاب شد و به وسیله نرم‌افزار Envi-met مدل سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی برای تابستان ۲۰۱۵ میلادی نشان می‌دهد که در سه نقطه انتخاب شده با وجود نزدیکی فواصل، حدود ۱ درجه تفاوت دمایی مشاهده می‌شود که نزدیکی به بدنه‌های آبی و به خصوص فضای سبز از عوامل اصلی تأثیرگذار می‌باشند و همچنین داده‌های زمینی انطباق نسبی با روند تغییرات در نقاط دارند. بر این اساس سناریوهای مختلفی از حضور فضای سبز پیشنهاد و به کمک شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که فضاهای سبز خرد می‌تواند در صورت طراحی مناسب و بر مبنای اصول علمی تأثیر مناسبی در تعدیل اثرات حرارتی جزایر گرمایی در مقیاس‌های کوچک داشته باشد. همچنین به علت گستردگی محدوده شهری روش‌های ترکیبی پیشنهادی در این پژوهش می‌تواند تحلیل‌های حداکثری برای اقدامات کاربردی به منظور کاهش اثرات منفی جزایر گرمایی برای مدیریت شهری به ارمغان آورد.

**واژگان کلیدی:** جزایر گرمایی کلانشهر اصفهان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبیه‌سازی زیست محیطی، طراحی فضای سبز شهری.

۴۱

شماره بیست و هشتم

پاییز ۱۳۹۷

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهری

راهکار تعدیل از طریق ظرفیت فضای سبز شهری - بررسی روش ترکیبی در تشخیص جزایر گرمایی و

۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری در گروه شهرسازی دانشگاه هنر اصفهان با عنوان "تأثیر کاربری زمین و تراکم ساختمانی بر ایجاد جزایر گرمایی با تاکید بر نقش فضای سبز-نمونه موردی کلانشهر اصفهان" می‌باشد. این رساله تحت حمایت معنوی و نظارت ستاد توسعه پایدار معاونت خدمات شهری شهرداری اصفهان می‌باشد.

۲ نویسنده مسئول مقاله: salahedinshostari@gmail.com

## ۱. مقدمه

سازه‌های شهری با ایجاد تغییرات در فضاها، سطوح و همچنین مصالح به کار رفته که از نظر ترمودینامیکی و چرخه طبیعی جریان انرژی با مواد طبیعی موجود متفاوت می‌باشند، موجب تشکیل خرد اقلیم خاصی تحت عنوان خرد اقلیم شهری شده‌اند. این خرد اقلیم دارای اثرات مثبت در صورت رعایت موارد زیست محیطی و همچنین اثرات منفی می‌باشد. این تفاوت‌های ایجاد شده در مصالح و کارکرد و اثر ترمودینامیکی موجب شده که میانگین دما، کمینه و بیشینه دما، هم از نظر کمی و هم از نظر زمانی، در مقایسه با حالت طبیعی متفاوت باشند. از طرفی این تغییرات موجب به هم خوردن شرایط محیطی برای آسایش انسانی و شرایط مناسب زندگی برای موجودات زنده و گیاهان می‌شوند.

در دهه‌های اخیر توسعه شهرها در ایران اغلب براساس موجود بودن زمین، نیازها و تقاضای جمعیتی صورت گرفته است. عدم توجه کافی به ظرفیت‌های اکولوژیکی مانند پتانسیل‌های آب‌وهوایی و طراحی‌های اقلیمی موجب شده است که چالش‌هایی مانند عدم تعادل انرژی در محیط‌های شهری ایجاد شود که خود عامل تشدید و یا ایجاد پدیده‌هایی مانند جزایر گرمایی می‌شود. پدیده جزایر گرمایی از بهترین شواهد ثبت شده تغییر انسان‌ساز آب‌وهوا در نواحی شهری است (Arnfield 2003). برای بررسی تأثیرات منفی خرد اقلیم شهری مانند جزایر گرمایی، بررسی دمای سطحی و مبنای قرار دادن دمای سطح به عنوان پایه مطالعه از اهمیت شایانی برخوردار است. در پژوهش‌های صورت گرفته، دمای سطوح شاهد مناسبی برای تکمیل داده‌های اولیه و پایه بررسی بقیه فاکتورها است.

هدف پژوهش حاضر تشخیص جزایر گرمایی شهر اصفهان با روش ترکیبی استفاده از ابزارها و متدهای علمی است، به نحوی که بتوان در جهت اجرایی و نهادینه کردن استفاده از ابزارها و روش‌ها در مدیریت شهری با استفاده از پتانسیل ابزارها و روش‌های بین رشته‌ای مفید قرار بگیرد. در این بین با کمک ابزارهای شبیه‌سازی با انتخاب یکی از راهکارهای در دسترس مدیریت شهری، فضای سبز شهری به بررسی تعدیل جزایر گرمایی به وسیله فضای سبز حجمی پرداخته می‌شود. شایان ذکر است در شهر اصفهان علاوه بر پارک‌های موجود، فضای سبز حاشیه معابر و فضاهای سبز خصوصی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. تا دوده گذشته، نگهداری و توسعه فضای سبز به عنوان چالش در نظر گرفته نمی‌شد و از نظر کارکردی هم بیشتر جنبه زیبایی‌شناسی آن بیشتر مد نظر بوده و تا حدی تأثیر فضاهای سبز خرد مورد توجه کمتری از نظر تأثیرات اقلیمی قرار گرفته است. البته در حال حاضر مدیریت زیست محیطی شهری در مواردی مانند فضای سبز و اثرات اقلیمی نیاز به بررسی‌هایی برای تعیین حدود اکولوژیکی برای تدوین ضوابط اجرایی است که این امور در طرح‌های تفصیلی هم باید غنی‌سازی شود. با نمودار شدن آثار تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا در بعضی فصول، کارکردهای دیگر فضای سبز مورد توجه قرار گرفته است. این که توسعه فضای سبز در مقیاس خرد چه تأثیری در تعدیل

چالش‌هایی مانند جزایر گرمایی دارد و همچنین نحوه قرارگیری فضای سبز چگونه باید باشد، مورد بررسی علمی قرار نگرفته است. تأثیر کمی و کیفی فضای سبز حجمی از سئوالاتی است که سعی شده در این پژوهش پاسخ داده شود. بنابراین معرفی ترکیب روش‌هایی مانند شبیه‌سازی زیست محیطی با داده‌های سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور برای مدیریت شهری در زمینه تحلیل‌های اقلیمی از جمله خروجی‌های مهم این مقاله می‌باشد.

## ۲. چارچوب نظری

براساس بررسی‌های گازتلند در کتابی جامع برای جزایر حرارتی، نخستین مستندات پیرامون پدیده جزایر گرمایی در سال ۱۸۱۸ به وسیله لوک هوارد (۱۸۳۳)<sup>۲</sup> ارائه گردید. وی گرمای مصنوعی و غیرعادی مناطق شهری را با نواحی اطراف شهر مقایسه کرد. رنو (۱۸۵۵، ۱۸۶۲، ۱۸۶۸)<sup>۳</sup> مشاهدات مشابهی در شهر پاریس در نیمه دوم قرن ۱۹ داشته است. اشمیت (۱۹۲۹، ۱۹۱۷)<sup>۴</sup> به همان نتایج در اوایل قرن ۲۰ در شهر وین اتریش رسید. در آمریکا این بررسی‌ها به نیمه اول قرن ۲۰ می‌رسد که به وسیله میتچل (۱۹۶۱، ۱۹۵۳)<sup>۵</sup> به انجام رسید (Gartland 2008). میرزایی و پرهام (Mirzaei and Parham 2015) اعلام نمودند که پدیده جزایر گرمایی با تکنیک‌های مختلفی از جمله پدیده چند سطحی، به صورت کمی و کیفی قابل اندازه‌گیری است. به خاطر محدودیت‌ها در اندازه‌گیری، تحلیل همانند سازی‌های زیست محیطی با اقبال بیشتری روبه‌رو شده است. وارد و همکاران (Ward, Lauf et al. 2016) تغییرات جزایر گرمایی سطوح را در بیش از ۷۰ کشور اروپایی مورد بررسی قرار دادند. آنها برای این پژوهش از داده‌های ماهواره مدیس استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که وسعت جزایر گرمایی ۱۶ درصد مساحت شهر بوده و تفاوت دما از ۱۵/۰ تا ۱۸/۱ درجه کلوین متغیر است.

به منظور اندازه‌گیری جزایر گرمایی، پژوهشگران مختلف ابزارها و متدهای گوناگون همچنین روش‌های ترکیبی متفاوتی را استفاده می‌نمایند. در یکی از آخرین پژوهش‌ها در کشور هند که به وسیله کوتارکار و باگاد (Kotharkar and Bagade 2018) به انجام رسیده، علاوه بر پیاده‌سازی داده‌ها بر روی نقشه به وسیله سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، از ایستگاه‌های ثابت و سیار برای تشخیص جزایر گرمایی استفاده شده است. ایشان توانستند با تحلیل‌ها به نتایجی چون خنک‌تر بودن دمای شبانه محیط‌های باز و کمتر فشرده در مقابل نواحی فشرده و همچنین اثرات فضاهای سبز به خصوص فضاهای سبز متراکم بپردازند. همچنین شنگ و همکاران (Sheng, Tang et al. 2016) تصاویر ماهواره‌ای و اندازه‌گیری‌های زمینی دما در ارتفاع ۱/۵ متری در هانگزو چین را برای تخمین شدت جزایر گرمایی مورد استفاده قرار دادند.

2 Luke Howard

3 Renou

4 Schmidt

5 Mitchell

آنها اثر شرایط آب و هوایی و این که کدام شاخص‌ها برای تخمین شدت در شب و یا روز بهتر است را مورد آزمون قرار دادند. نصار و همکاران (Nassar, G. et al. 2016) جزایر گرمایی شهری را اندازه‌گیری نمودند. ملکی (Maleki 2015) در پژوهش جامع با اندازه‌گیری زمینی و شبیه‌سازی زیست‌محیطی به بررسی جزایر گرمایی و خرد اقلیم شهری در مرکز شهر وین پرداخت. وی وضعیت اقلیمی محیط‌های باز شهری، پارک و خیابان و اماکن مسکونی را مقایسه نمود. میرزایی و پرهام (Mirzaei and Parham 2015) در مطالعه‌ای به بررسی جامع روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل جزایر گرمایی پرداخته که در جدول شماره ۱ روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل جزایر گرمایی بخشی از آن آمده است. ماریانی و همکاران (L., S.G. et al. 2016) اثر پوشش‌های گیاهی بر جزایر گرمایی شهر میلان را بررسی نمود. اثرات مثبتی که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند شامل اثرات سایه‌اندازی درختان و انتقال حرارت گرمای نهان به وسیله درختان است. در نتایج شبیه‌سازی ایشان نه تنها قرارگیری درخت، چمن و فضاهای ساختمانی و آسفالت مورد بررسی قرار گرفتند، حتی مقدار خاک موجود برای ریشه، مدیریت آبیاری و گرمای آزاد شده شهری هم به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار بررسی شدند. پژوهش‌های انجام شده در ایران که به وسیله فهیمه و منصوره غلامی (Gholami and Gholami 2016) انجام گرفته، بیشتر به عوامل تأثیرگذار طراحی شهری بر تشکیل جزایر گرمایی پرداخته و مباحث کاربردی یا مطالعات موردی کمتر بررسی شده است.

سطوح و یا اقداماتی خردتر مانند اعمال قوانینی برای مرتفع‌سازی در یک همسایگی است. در بعضی موارد به جزئیات مانند استفاده از آلمان خاصی در طراحی ساختمان‌ها پرداخته شده است. یان و همکاران (Yuan, Emura et al. 2016) به بررسی کاربرد نماهای خاص با بازتابش ویژه برای کاهش اثرات جزایر گرمایی پرداختند. در موارد مشابهی تأثیر جنس مصالح به کار رفته در پیاده‌روها برای تعدیل اثرات جزایر گرمایی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیرگذاری پیاده‌روها با دره‌های شهری<sup>۱</sup> بر جزایر گرمایی بررسی گردید (Z. J. et al. 2016). در ایتالیا روسی و همکاران (F., B. et al. 2016) اثر پیاده‌روهای ساخته شده با مواد مقاوم به بازتاب<sup>۲</sup> در تعدیل اثرات جزایر گرمایی در دالان‌های شهری را بررسی نمودند. این مواد تابش‌ها را به همان سمت ورودی انعکاس می‌دهند. در این پژوهش تعامل و مقایسه بازتاب خروجی این مصالح با نما و انرژی باقی مانده در دالان شهری مورد بررسی قرار گرفت. این محاسبات با مقایسه چند نوع مصالح به صورت کمی به انجام رسید. در بررسی آخرین پژوهش‌ها، گوناواردنا و همکاران (Gunawardena and Wells 2017) برای شهر لندن دوراهاکار فضاهای آبی (بدنه‌های آبی) و فضاهای سبز را مورد بررسی جامع قرار دادند. در بررسی ایشان فضای سبز حجمی در تخلیه بار حرارتی از طریق تبخیر سرمایشی یکی از بهترین تأثیرها را در زمانی که نیاز است، داراست؛ البته شدت اثر در تعدیل دما بسته به اندازه و پراکندگی و هندسه فضای سبز دارد. اکبری و همکاران (Akbari and Kolokotsa 2016) در پژوهشی جامع به بررسی سه دهه فناوری‌های مورد استفاده برای تعدیل و جلوگیری از جزایر گرمایی پرداخته‌اند. در

جدول شماره ۱: روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل جزایر گرمایی

گروه	هدف	متد
تهویه شهری و تغییرات جنس سطوح	اثر فضای سبز روی کاهش شدت جزایر گرمایی شبانه	اندازه‌گیری با استفاده از ایستگاه‌های سیار و همبستگی توسعه یافته
نتایج مکان	استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی در کنار فضاهای سبز شهری می‌تواند شدت جزایر گرمایی با توجه به اثر سرمایشی فضاهای سبز شهری را تخمین بزند، لندن-انگلیس.	
سلامتی و آسایش	آسایش حرارتی بیرونی	شبکه‌ای از ۱۴ ایستگاه هواشناسی + ارزشیابی PET
نتایج مکان	تفاوت‌ها در رطوبت نسبی و تابش جهانی در نواحی شهری به نسبت کوچک است و تأثیر شایانی بر روی اندازه PET ندارد، روتردام هلند.	
تغییرات زمانی و مکانی جزایر گرمایی	کشف رابطه غیرخطی میان LST و خصوصیات چشم‌اندازها	سنجش از دور ماهواره‌ای و متد رگرسیون
نتایج مکان	رابطه مابین LST و ترکیب بیوفیزیکی شهری مشخص شده‌اند، گوانجو، چین.	
بررسی و بهسازی مدل‌ها	مدل‌سازی تغییرات فضایی و دمایی جزایر گرمایی	سنجش از دور ماهواره‌ای (ماهواره مدیس) + (MM WRF) + مشاهدات زمینی
نتایج مکان	کار آرایشی سیستم مدلینگ ارزیابی شد، آتن، یونان.	
پیش‌بینی دماهای آینده	بررسی تغییرات زمانی و مکانی جزایر گرمایی در آینده	پنج ایستگاه هواشناسی و مدل‌های تغییر اقلیم (RT2B)
نتایج مکان	اشتوتگارت، آلمان	
صرفه‌جویی انرژی ساختمان	صرفه‌جویی انرژی در ساختمان با توجه به جزایر گرمایی	مدل‌های انرژی ساختمان + (Energy Plus) مدل‌های اقلیمی شهری (TEB-ISBA)
نتایج مکان	جزایر گرمایی منجر به تغییرات مشهودی در نیاز مصرف سرمایشی و گرمایشی، ۱۵ شهر با نواحی اقلیمی متفاوت در آمریکا	

- 1 Urban Canyon
- 2 Retro-Reflective

ارتباط با کمی سازی اثرات فضای سبز در بررسی و مرور پژوهش ها به کمیت هایی هم از نظر صرفه جویی مالی برای انرژی هم به مقادیری برای تأثیر در تعدیل دما برای نقاط و محدوده های دورتر از محل فضای سبز رسیده اند. برای مثال یک پارک کوچک در ژاپن با وسعت ۰٫۶ کیلومتر مربع توانسته است تا ۱۰۰۰ متر فاصله را تحت تأثیر قرار دهد. در مواردی مانند تفاوت های دمایی در شب و روز به واسطه وجود فضاهای سبز، بررسی های کمی و کیفی به انجام رسیده است. در شهر اصفهان تاکنون مطالعات متعددی برای شناسایی این چالش به وسیله شهرداری به عنوان ارگان اصلی مدیریت شهری صورت گرفته است. در مرحله نخست پروژه، پژوهشی با همکاری دانشگاه صنعتی اصفهان با عنوان "پهنه بندی خرد اقلیمی مناطق مختلف شهر اصفهان بر اساس نوع پوشش سطح برای تعیین درجه حرارت تجمعی آفات و برآورد نیاز آبی" به انجام رسید که با کمک داده های چند ایستگاه زمینی و روش وزن بندی داده های سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه بندی اقلیمی شهر با توجه به داده های موجود تهیه گردید. پس از آن پروژه جزایر گرمایی شهر اصفهان با همکاری دانشگاه اصفهان با کمک داده های ماهواره ای که در زمان نگارش این مقاله در حال انجام است، آغاز شد. به علاوه پروژه های پژوهشی دیگری از جمله طراحی های اقلیمی برای شهر اصفهان با محوریت خرد اقلیم شهری در حال انجام هستند. یکی از پژوهش های مرتبط برای جزایر گرمایی کلانشهر اصفهان به وسیله احمدی و همکاران (Ahmadi, Ghafari et al) به انجام رسیده است. در این پژوهش از تکنیک سنجش از دور استفاده شده و با تلفیق داده های زمینی به بررسی جزایر گرمایی شهر پرداخته شده است. همچنین برای نقاطی به بررسی دقیق تر و ریشه یابی پرداخته شده؛ البته در این پژوهش از شبیه سازی های زیست محیطی استفاده نشده است.

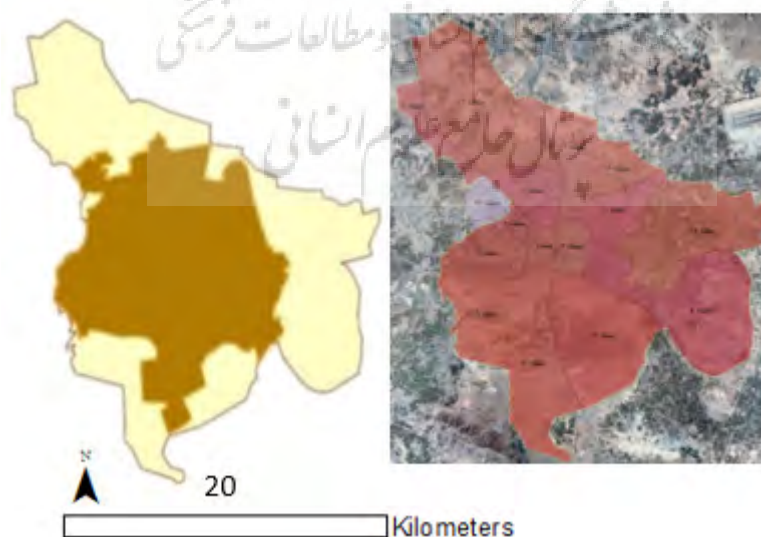
### ۳.۰۳ روش

#### ۳.۱. توصیف محدوده مورد مطالعه بخش کیفی تصاویر ماهواره ای روزانه

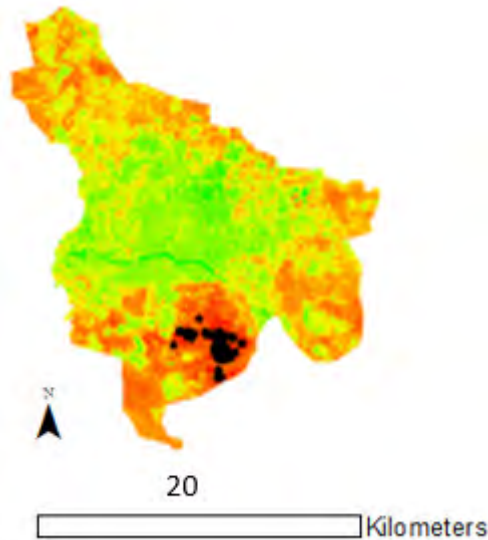
کلانشهر اصفهان با ارتفاع هزار و ۵۸۰ متر بالاتر از سطح اقیانوس های آزاد، در محدوده خود دارای عوارض طبیعی مانند کوه صفا با ارتفاع قله دو هزار و ۳۶۹ متر<sup>۱</sup> و رودخانه زاینده رود در مرکز شهر همراه با عرصه های فضای سبز گسترده در راستای رودخانه و پراکنده در سطح شهر قرار دارد. ناحیه مورد مطالعه بخشی از محدوده قانونی شهر اصفهان بر اساس مناطق ۱۵ گانه است که در آن ساخت و ساز شهری زیاد بوده و به واسطه آن شرایط محیطی آن منطقه تغییر یافته است. عوامل مؤثر بر تغییرات دمای سطح شهر نیز متنوع هستند. نقشه شماره ۱ شهر اصفهان (سمت راست) و محدوده انتخاب شده (سمت چپ) را نشان می دهد.

#### ۳.۲. توصیف طبقه بندی سطوح دمایی و جزایر گرمایی شهر اصفهان

در این پژوهش جزایر گرمایی شهری بر اساس تصاویر حرارتی تبیین شده است. نقشه شماره ۲ تبیین کننده تصویر حرارتی شهر است. بررسی ویژگی جزایر گرمایی به بررسی علل و عوامل تشکیل آن کمک می کند. همچنین با توجه به محدودیت هایی که در بحث شبیه سازی های زیست محیطی برای انتخاب نواحی منتخب پیش می آید، طبیعتاً این خاصیت شناسی کمک می کند تا نقاط هدف بهتر شناسایی شوند. بر اساس نقشه شماره ۲ تصویر ماهواره ای دمای سطوح و محدوده با دمای حداکثری، سمت نشان داده شده با نقاط سیاه در تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۵ مشاهده می شود. برای جزایر گرمایی سطوح در اصفهان، دما بین ۲۴ تا ۵۱ درجه سانتی گراد در تغییر است.



نقشه شماره ۱: شهر اصفهان (سمت راست) و محدوده انتخاب شده (سمت چپ)



نقشه شماره ۲: تصویر ماهواره-ای دمای سطوح و محدوده با دمای حداکثری. سمت نشان داده شده با نقاط سیاه در تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۵

### الف- توصیف فراوانی حرارتی

به منظور شناخت پارامترها و عوامل مؤثر در محدوده بر مبنای توزیع نرمال دمایی سه محدوده دمایی قابل تشخیص است.

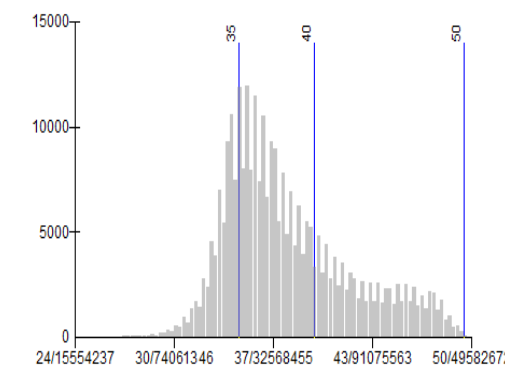
- ۱- محدوده پایین تر از نرمال: ۲۴-۳۵ درجه
- ۲- محدوده نرمال: ۳۵-۴۰ درجه
- ۳- محدوده بالاتر از نرمال: ۴۰ درجه به بالا

براساس طبقه بندی هندسی که به وسیله نرم افزار اسری<sup>۱</sup> صورت گرفته، سه کلاس تعریف شد که در جدول شماره ۲ ارائه شده که مبنای طبقه بندی ها در این پژوهش خواهد بود. در این طبقه بندی، تقسیم بندی براساس سری های هندسی صورت می گیرد که بهترین طبقه بندی برای داده های راستری است. داده های آماری نشان می دهند که محدوده دمایی نرمال بیشترین درصد پوشش را تشکیل می دهد. همانگونه که در نقشه شماره ۲ تصویر ماهواره ای دمای سطوح و محدوده با دمای حداکثری سمت نشان داده شده با نقاط سیاه در تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۵ دیده می شود، در بین مناطق شهری اصفهان، حداکثر دمای سطوح در منطقه ۶ شهری در سمت تقریباً جنوبی محدوده شهری قرار گرفته اند که این سطوح با حداقل ساخت و ساز جزو سطوح طبیعی شهری هستند. نقاط با رنگ سیاه نقاط با دمای سطح بالای ۵۰ درجه هستند.

نمودار شماره ۱ فراوانی داده ها در محدوده های تعریف شده را نمایش می دهد. نکته قابل توجه این که فراوانی دماهای پایین تر از نرمال منطبق با توزیع نرمال است. ولی در دماهای بالاتر از نرمال این توزیع نرمال نیست و توزیع فراوانی دماها غیرمتمقارن بوده و به اصطلاح از توزیع نرمال تبعیت نمی کند. در نقشه شماره ۳ فراوانی دما در هر یک از کلاس ها به صورت کیفی مشاهده می شود.

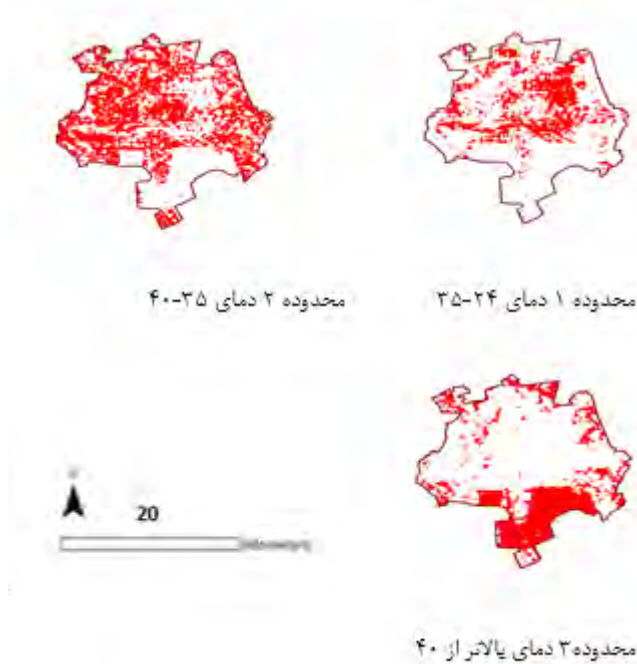
جدول شماره ۲: کلاس های دمایی در محدوده بررسی شده

کلاس پایین تر از نرمال	کلاس نرمال	کلاس پایین تر از نرمال
کمینه دمای ۲۴،۱۵	کمینه دمای ۳۵،۲۳	کمینه دمای ۴۰،۱۷
بیشینه دمای ۳۵،۲۳	بیشینه دمای ۴۰،۱۷	بیشینه دمای ۵۱،۲۵



نقشه شماره ۳: فراوانی دما در هر یک از کلاس ها



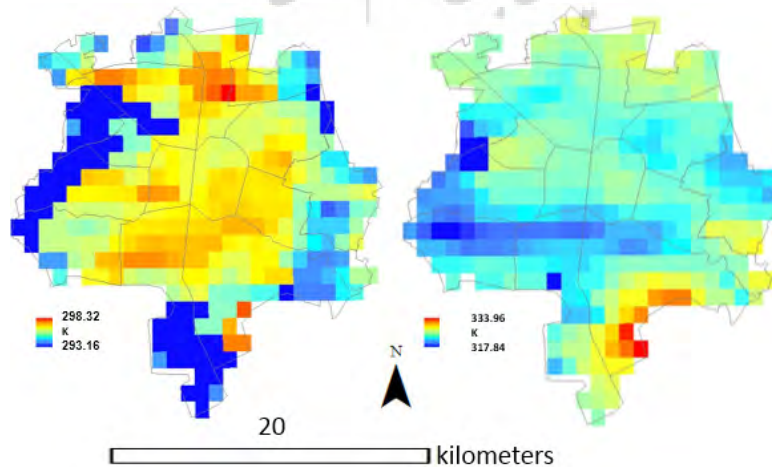


نقشه شماره ۳: فراوانی دما در هر یک از کلاس‌ها

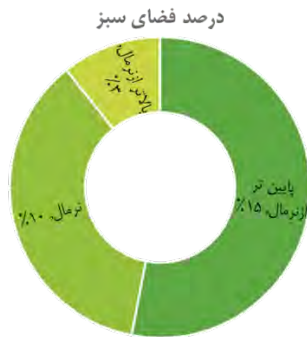
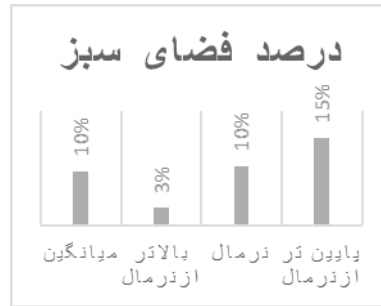
**۳,۵. توصیف فضای سبز در محدوده‌های تعریف شده**  
در سه کلاس منطبق با طبقه‌بندی‌های حرارتی، نمایش داده شده است. موقعیت، نوع، وسعت، پراکندگی، شکل و نحوه قرارگیری در موقعیت‌های حساس دمایی فضای سبز شهر اصفهان از فاکتورهای تأثیرگذار بر آب‌وهوای شهر هستند. عمده تقسیم‌بندی فضای سبز اصفهان در محیط شهری را می‌توان به فضای سبز که به صورت پارک شامل پارک‌های شهری، همسایگی و محلی هستند و فضاهای سبز حاشیه معابر و همچنین فضاهای سبز خصوصی در نظر گرفت. این اثرات به صورت کاربردی به ویژه در فصول گرم سال تحلیل می‌گردد. نمودار شماره ۲ درصد فضای سبز در هر محدوده را نشان می‌دهد.

**۳,۳. توصیف محدوده مورد مطالعه - بخش کیفی تصاویر ماهواره‌ای شبانه**  
برای مقایسه بهتر به صورتی خلاصه، تصویر شبانه حرارتی اصفهان برای همان روز در نقشه شماره ۴ نمایش و مقایسه می‌شود. تصویر شبانه از ماهواره مدیس استخراج گردیده است.

**۳,۴. تبیین پارامترهای مؤثر بر شکل‌گیری جزایر حرارتی در محدوده مورد مطالعه با تأکید بر فضای سبز**  
پارامترهای مؤثر بر دماهای سطح، طیف گسترده‌ای از عوامل اقلیمی، شهرسازی، معماری و انسانی را در بر می‌گیرند. در جدول شماره ۳ ماتریس عوامل مؤثر بر دمای سطوح بیان شده است که در ادامه مقاله برای بعضی فاکتورها مانند فضای سبز به صورت ویژه بررسی شده است. سایر موارد نیاز به مطالعات جداگانه نیاز دارند که در آینده مورد تدقیق قرار خواهند گرفت.



نقشه شماره ۴ تصویر حرارتی روزانه (راست) و شبانه (چپ) مدیس ۱۸ جولای ۲۰۱۵



نمودار شماره ۲: درصد فضای سبز در هر محدوده

جدول شماره ۳: ماتریس عوامل مؤثر بر دمای سطوح

پارامترهای فیزیکی برای تحلیل دما	سنجش اثرات اقلیمی	فضای سبز	تراکم ساختمانی	پارامترهای شهرسازی	کاربری های شهری
ظرفیت گرمایی	دما	وسعت	تراکم جمعیت	پیاده روها و پوشش های سطح	مسکونی
هدایت گرمایی	آسایش حرارتی فضای باز	نوع	تراکم ترافیکی	خیابان ها	فضای سبز
سپیدایی سطح و رنگ	گرمای ناشی از فعالیت های انسانی	کاربرد	نسبت ابعادی	نماها	معابر
تبخیر و نفوذپذیری			فاکتور دید آسمان	دالان شهری	خدماتی
براساس مشخصات ترمودینامیکی تپ موجود در ساختمان های شهر و تأسیسات براساس زمان ساخت			جهت خیابان ها	پدنه های آبی	

اقلیم شهری دارد، به واسطه جهت قرارگیری در برابر تأثیرگذاری های اقلیمی مانند جهت باد غالب و محیط اطراف اثرات مختلفی دارد.

## ۲- پراکندگی فضای سبز

در نقشه شماره ۵ پراکنش پارک های محلی و شهری و همسایگی در سه محدوده دمایی تعریف شده، ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود، در محدوده دمایی بالاتر از نرمال، فضای سبز دارای وسعت و پراکندگی کمتری نسبت به طبقه بندی های دیگر است.

## ۳- نوع

با توجه به تأثیر فضای سبز بر خرد اقلیم شهری، نوع فضای سبزی که می تواند به صورت پوشش های سطحی مانند چمن و یا حجمی مانند درختان باشد، تأثیر متفاوتی دارد. کمی سازی این تأثیرات نیازمند

شبیه سازی های زیست محیطی است. آنچه در محیط های گرم و خشک مهم است، گرمای طبیعی فصول گرم است که در نخستین سطح بررسی پوشش های برگدار شهری مورد توجه هستند. اصفهان دارای پارک های گسترده با درختان انبوه و غالباً خزان پذیر است که با پوشش های گیاهی مانند چمن همراه شده اند.

## ۴- وسعت و شکل

پارک های اصفهان با وسعت متفاوت تأثیر متفاوتی بر تعدیل اثرات اقلیمی دارند. از لحاظ شکل، فضاهای سبز تأثیرات متفاوتی بر دمای سطح دارند. با بررسی تعداد لکه های شهری و طبقه بندی مقدماتی شکل فضای سبز می توان چنین تأثیراتی را مشاهده کرد.

در این پژوهش پارک های جنگلی<sup>۱</sup> و کمربند سبز<sup>۲</sup> در کلانشهر بررسی نمی شود و رفیوژ خیابان<sup>۳</sup>، قطعات پراکنده فضای سبز<sup>۴</sup>، فضای سبز حاشیه انهار<sup>۵</sup> و جزایر ترافیکی<sup>۶</sup> بررسی می شود. براساس نحوه ورود مدیریت شهری به مسئله فضای سبز، طبقه بندی های زیر در نظر گرفته شد.

## ۱- وجود و موقعیت فضای سبز

**الف-** نخستین مسئله وجود و یا عدم وجود فضای سبز در طبقه بندی بالاتر از نرمال است. در بررسی کیفی مناطق حساس، تصویر شماره ۱ گویای این نکته است که عدم وجود فضای سبز در فضاهای بایر شهری بیشترین تأثیر منفی را بر تشکیل جزایر گرمایی دارد.

**ب-** موقعیت قرارگیری فضاهای سبز جدا از اثری که بر تعدیل خرد

۱ به پارک هایی گفته می شود که در حاشیه شهر باشند و حداقل امکانات و مبلمان شهری و گیاهان پوششی به ویژه چمن را دارا هستند. عموماً کاربری شهری نداشته و بیشتر تأثیرات زیست محیطی دارند.

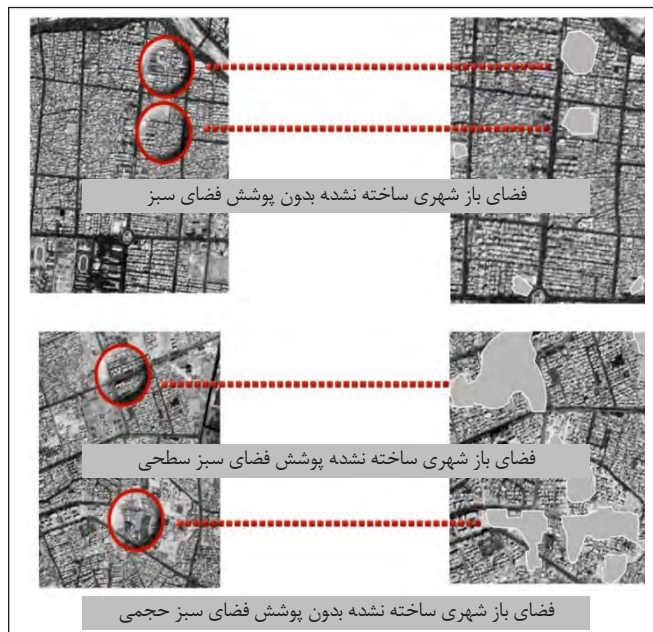
۲ کمربند سبز در پیرامون شهر برای تعیین حدود شهر، کنترل گسترش شهر و جلوگیری از رشد بی رویه و به هم خوردن تناسب ساخت مورفولوژی شهر ایجاد می شود.

۳ قطعات فضای سبز درون خیابان ها به صورت پیوسته و طولی که مسیر ترافیکی را از هم جدا می کند.

۴ فضاهای سبزی که فاقد امکانات تأسیسات رفاهی و مبلمان شهری باشد که شامل ۱- توده درخت کاری و ۲- توده غیر درخت کاری است.

۵ به فضای سبزی اطلاق می شود که از محل داغ آب نهر شروع شده و حداکثر معادل حریم نهر برابر با ضوابط طرح تفصیلی ادامه می یابد.

۶ قطعات فضای سبز که جدا کننده باندهای عبوری ترافیکی است که به صورت اشکال منظم و نا منظم است و شامل ۱- توده درخت کاری، ۲- توده غیر درخت کاری (لچکی) و ۳- فضای سبز میدانی است.



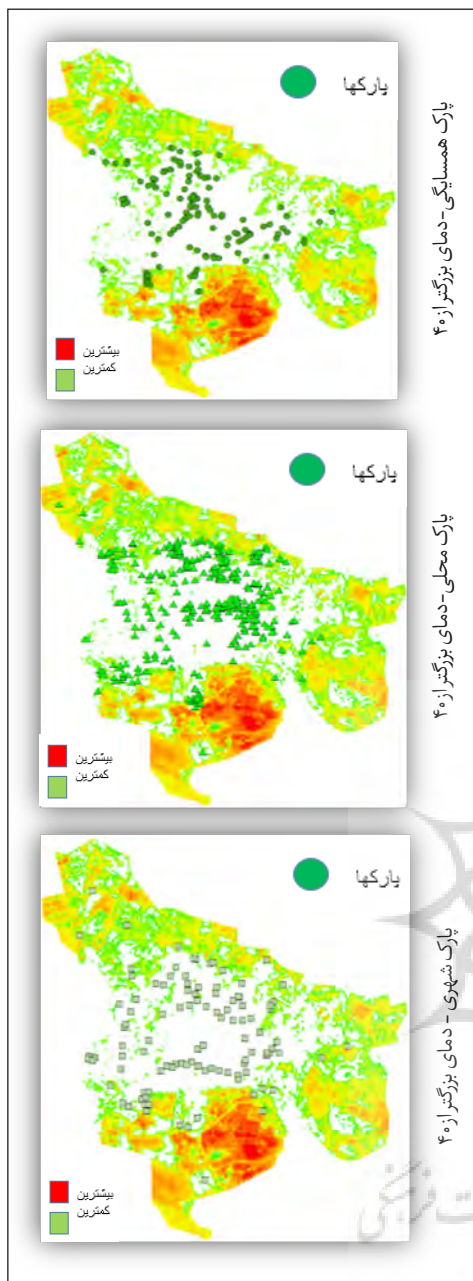
تصویر شماره ۱۰: مقایسه چند نقطه حساس دمایی

### ۳.۶. توصیف محدوده مورد مطالعه (بخش شبیه‌سازی با نرم‌افزار ENVI-MET)

برای تحلیل کمی اثرات وضعیت موجود تغییرات فضای سبز برای یک محدوده منتخب، از نرم‌افزار شبیه‌سازی ENVI-MET استفاده شد. ناحیه مورد مطالعه، شامل محدوده خیابان عباس‌آباد است که بافتی مسکونی-خدماتی و با قدمت‌ترین درختان حاشیه در محیط شهری را دارد. این نمونه انتخاب شد تا بتوان اثر پوشش گیاهی حجمی (دارای تاج پوشش) را بر محدوده مورد مطالعه بررسی کرد. این مدل‌سازی‌ها برای تابستان سال ۲۰۱۵ میلادی صورت گرفت. آنچه در این شبیه‌سازی‌ها مورد تأکید قرار گرفته، اثر فضاهای سبز حجمی در تعدیل اثرات جزایر گرمایی است.

### ۳.۷. توصیف محیط شبیه‌سازی شده

محدوده خیابان عباس‌آباد به وسعت ۹۰ هزار مترمربع شامل کاربری مسکونی و خدماتی (بیمارستان و مطب‌های پزشکی) است. خیابان‌ها و معابر سواره به مساحت هشت هزار و ۴۰۰ مترمربع با آسفالت و به رنگ تیره و ساختمان‌های با ارتفاع متوسط ۱۲ متر و تعداد طبقات متغیر در محدوده یک تا چهار طبقه و سطح عرصه ۳۰ هزار مترمربع است. مقدار فضای مسطح شامل پنج هزار و ۴۰۰ مترمربع فضای پیاده‌رو و هزار و ۶۰۰ مترمربع بدنه آبی و حدود ۴۴ هزار و ۶۰۰ مترمربع فضای سبز عمومی، خصوصی و عرصه‌های غیرعمومی شامل حیاط انبیه و زمین‌های ساخته نشده است. پوشش سطح مربوط به فضای سبز حجمی ۱۰ درصد، تراکم ساختمانی در این محدوده به طور متوسط ۷۱ درصد و سطح اشغال محدوده ۳۰ درصد است. در جدول شماره ۴۴ آترناتیوهای مختلف شبیه‌سازی شده، مشاهده می‌شود. همانگونه که در نقشه شماره ۶ مشاهده می‌شود، اطلاعات نقاط شاهد به شرح زیر است:



نقشه شماره ۵: پراکنش پارک‌های محلی و شهری و همسایگی در محدوده‌های دمایی بالاتر از شمال

نقطه A: در محدوده مرکزی منطقه مورد مطالعه و در فصل مشترک معابر عباس‌آباد با شمس‌آبادی که با توجه به قرارگیری در وسط تقاطع فاقد تاج پوشش است. نقطه B: در حاشیه مادی نیاصرم بوده که به لحاظ شرایط فیزیکی دارای دو پارامتر تاج پوشش و بدنه آبی است. نقطه C: در مرکز خیابان عباس‌آباد که دارای تاج پوشش مناسبی در طرفین خیابان است. زمان شبیه‌سازی ۲۸ خرداد ماه

۱ نام باستانی نهرهای آب داخل شهر اصفهان که به دوره مادها بازمی‌گردد

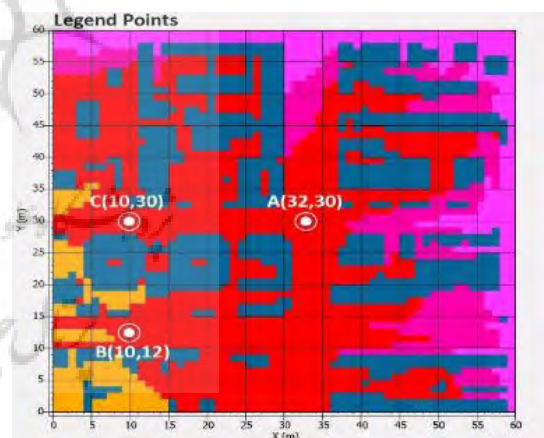


سال ۱۳۹۴ است که فصل گرم سال بوده و تصاویر حرارتی شهر از ماهواره لندست در این تاریخ موجود است.

جدول شماره ۴: آلترناتیوهای مختلف شبیه سازی شده

وضع موجود	
مساحت محدوده: ۹۰,۰۰۰ مترمربع	
سطح تاج پوشش: ۳۸۱۰ مترمربع	
تعداد درختان: ۳۶۵ عدد	
تاج پوشش کمتر	
مساحت محدوده: ۹۰,۰۰۰ مترمربع	
سطح تاج پوشش: ۳۹۰ مترمربع	
تعداد درختان: ۵۵ عدد	
بدون تاج پوشش	
مساحت محدوده: ۹۰,۰۰۰ مترمربع	
سطح تاج پوشش: صفر	
تعداد درختان: صفر	

شرایط ابتدایی شروع شبیه سازی به شرح نقشه شماره ۶ می باشد:



نقشه ۶ طبقه بندی حرارتی محدوده شبیه سازی شده

کمینه دمای هوا: ۱۴ درجه سانتی گراد و بیشینه دما ۳۷٫۲ درجه سانتی گراد رطوبت نسبی: ۱۸ درصد سرعت باد در تاریخ ۲۸ خرداد ۴٫۹۴ متر بر ثانیه با جهت غربی.

### ۳٫۸. توصیف ایستگاه هواشناسی زمینی

اطلاعات ایستگاه کوچک مقیاس زمینی ( ایستگاه کاشانی) که نزدیک ترین ایستگاه زمین به نقاط شبیه سازی شده با فاصله حدود ۱٫۷ کیلومتر است، برای صحت شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۴. بحث و یافته ها

### الف. نتایج کیفی

بر اساس بررسی های منتج شده از قسمت های قبل در این پژوهش به نتایج کمی و کیفی دست یافتیم. این روند به نحوی است که با تمرکز بر فضای سبز و بررسی پارامترهای تأثیرگذار فضای سبز، با انتخاب محدوده شهری برای شبیه سازی با تمرکز بیشتری به نتایج کمی رسیدیم.

### ب. نمونه های موردی مرتبط با شکل فضای سبز (اثر ترکیبی فضاهای سبز خرد نزدیک به هم)

نقشه شماره ۷ مقایسه فضای سبز شهری و اثر دمایی مربوط به منطقه ۱۰ شهرداری، محدوده محلات دشتستان و عسکریه است. در این قسمت از بافت شهری، فضای سبزی در مقیاس محلی منطبق بر شبکه شطرنجی محله ایجاد شده است.



نقشه شماره ۷: مقایسه فضای سبز شهری و اثر دمایی

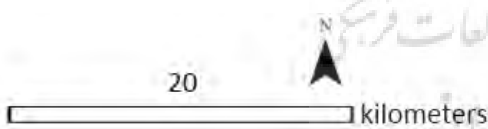
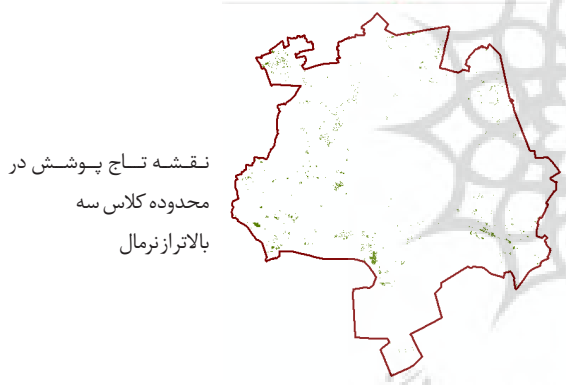
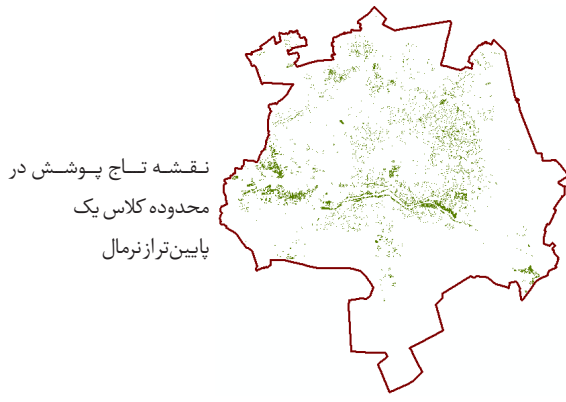
وجود این فضاهای سبز با توجه به عمق تأثیری که بر محیط اطراف خود ایجاد می کند، موجب شده تا از همپوشانی اثر این فضاهای سبز، کل منطقه در رده دمایی مطلوب قرار بگیرد. نکته دیگر، تفاوت دمایی در قسمت قدیم باغ است. قسمت غربی باغ که دارای قدمت بیشتر و تاج پوشش مناسبتری است، دارای دمای سطح پایین تری است.

### ج. اثرات فضای سبز متمرکز و پراکنده

در ضلع غربی بزرگراه شهید صیاد شیرازی مجتمع مسکونی ۲۲ بهمن قرار دارد. با این که این منطقه فضای سبز شهری ندارد و فقط دارای پوشش ها و تاج پوشش بین بلوک های ساختمانی است، ولی دارای دمای سطح مناسبی است که این موضوع خود شاهی بر کارایی مناسب تر و فضای سبز پراکنده در مقایسه با

۱ قطعات پراکنده فضای سبز: فضاهای سبزی که فاقد امکانات تأسیسات رفاهی

فضاهای سبز بزرگ شهری، نمایش داده شده در نقشه شماره ۹ است.



نقشه شماره ۹: تاج پوشش‌ها در هر یک از کلاس‌های دمایی

ترمودینامیکی جاذب حرارت بوده و در هنگام آزادسازی حرارت نیز دارای رفتار تأخیری نسبت به سایر مصالح دارای سطح شفاف است. این سطوح دارای رفتارهای غیرهمسان است. محدوده نقطه B به واسطه قرارگیری در محدوده دارای بدنه آبی (مادی نیاصرم) و نیز فضای سبز حاشیه نهر به همراه فضاهای سبز حجمی، دارای شرایط مناسبی است. نتایج حاصل از تصویر حرارتی منطبق با شبیه‌سازی انجام شده است که در هر دو حالت مبین تأثیر فضای سبز خرد در تعدیل اثرات منفی جزایر حرارتی سطوح شهر است. نقشه شماره ۱۱ تصویر هوایی دمای سطحی محدوده مورد بررسی در همان تاریخ شبیه‌سازی (۱۳۹۴/۰۳/۲۸) است.



نقشه شماره ۸: مقایسه فضای سبز متمرکز و پراکنده

در این بخش میزان تاج پوشش در محدوده مورد مطالعه بررسی می‌شود. با بررسی نقشه‌های حرارتی و فضاهای سبز حجمی مشاهده می‌شود که میزان دمای سطح رابطه مستقیم با تاج پوشش محدوده دارد. در نقشه شماره ۹ تاج پوشش‌ها در هر یک از کلاس‌ها نمایش داده شده است. در کلاس دمایی پایین‌تر از شمال، درصد تاج پوشش بسیار بالاتر از میزان شمال است. در کلاس دمایی بالای شمال، فقر تاج پوشش به وضوح مشاهده می‌شود.

#### د- نتایج کیفی و کمی منتج از داده‌های ماهواره‌ای

مقایسه کمی دماهای بیشینه برای تصاویر حرارتی روزانه و شبانه تفاوت حدود را در دماهای بیشینه، ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۴ درجه سانتی‌گراد در دماهای کمینه در مقایسه روزانه لندست و شبانه مدیس نشان می‌دهد. همچنین تفاوت دمای بیشینه و کمینه در تصاویر شبانه کاهش محسوسی نسبت به روزانه دارد.

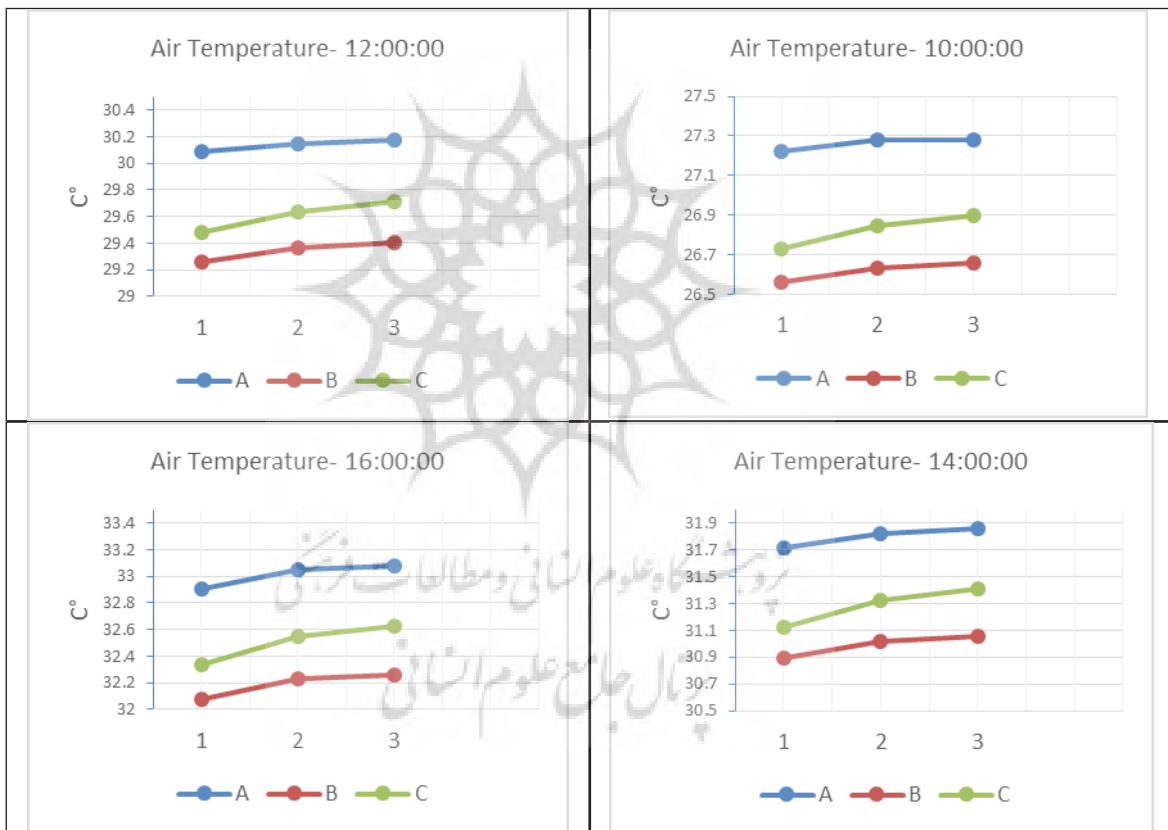
اگرچه در تصویر به دست آمده از ماهواره لندست تغییرات دمایی سطح به دلیل تفکیک مکانی بالاتر (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) در مقایسه با نقشه LSD سنجد مودیس با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر بیشتر نمایان است اما دو سنجده الگوی دمایی مشابهی را نشان می‌دهند. از آنجا که رودخانه زاینده‌رود در این تاریخ جریان داشته و به دلیل فضای سبز حاشیه رودخانه کمترین دمایی سطح در این ناحیه حادث شده و در قسمت جنوب شرقی کلانشهر اصفهان که کمترین مقدار ساخت‌وساز وجود دارد، شاهد ماکزیمم دمایی سطح هستیم. با توجه به گذر ۱۵ روزه ماهواره لندست تنها از تصویر شبانه سنجد مودیس مستقر بر ماهواره اکوا برای نمایش نقشه دمایی سطح استفاده شد.

#### ه- نتایج کمی منتج از شبیه‌سازی

نمودار شماره ۳ مقایسه دمایی نقاط شاهد در آلترا تپوهای مختلف را نشان می‌دهد. براساس این نمودار محدوده نقطه A به واسطه فقدان فضای سبز حجمی و عبور معابر سواره‌ای با سطوح کدر، از شرایط نامناسبی برخوردار است. سطوح کدر از لحاظ و مبلمان شهری باشد که شامل ۱- توده درخت‌کاری و ۲- توده غیر درخت‌کاری است.



نقشه شماره ۱۰: تصویر هوایی دمای سطحی محدوده مورد بررسی



نمودار شماره ۳: مقایسه دمای نقاط شاهد در آلترناتیوهای مختلف

وجود دارد. البته تفاوت دمایی موجود است که ناشی از محل قرارگیری ایستگاه بوده و شرایط حاکم بر آن و طبیعتاً مسافت از محل شبیه‌سازی شده است.

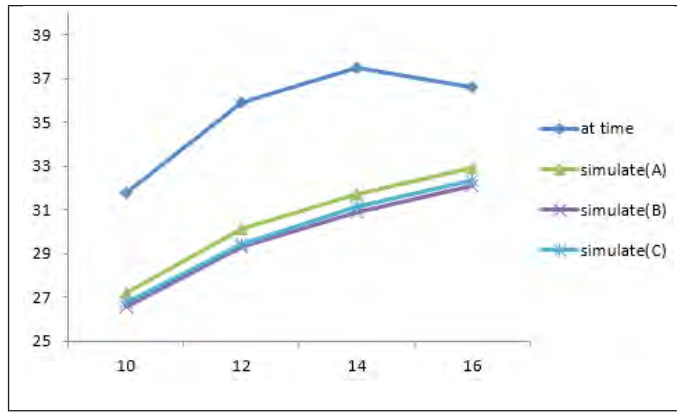
در این مطالعه با ترکیب روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و شبیه‌سازی زیست‌محیطی سعی شد که علاوه بر بررسی علل تشکیل جزایر گرمایی در کلانشهر اصفهان و ارائه راهکارهای قابل انجام به توانایی و هم‌افزایی ابزارهایی پرداخته شود که دارای قابلیت تحلیل و بررسی داده‌های مکان‌مند

با استفاده از نرم‌افزار اسری اطلاعات نقاط سه گانه A,B,C استخراج شد. دمای سطح این نقاط در لحظه تصویربرداری به شرح زیر است:  $A=33.63^{\circ}C$   $B=32.54^{\circ}C$   $C=32.94^{\circ}C$

#### و- نتایج کمی منتج از داده‌های زمینی

برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های زمینی ایستگاه کاشانی که از ایستگاه‌های کوچک مقیاس شهری دما و رطوبت است، مورد استفاده قرار گرفت. نمودار شماره ۴ نشان می‌دهد که از لحاظ روند تطابق کاملی مابین نقاط شبیه‌سازی شده به خصوص نقطه A





نمودار شماره ۴: مقایسه دمایی ایستگاه زمینی با نقاط شبیه‌سازی شده

برای تدوین سناریوهای کاربردی برای ورود مدیریت شهری به مبحث تعدیل اثرات منفی جزایر گرمایی علاوه بر ترکیب روش‌ها که در قسمت‌های قبل بیان شد، استفاده از این ابزارها می‌تواند راه‌گشای مدیران و کارشناسان در این حوزه باشد.

#### ۵. نتیجه‌گیری

**الف-** براساس بررسی‌های کیفی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، بسیاری از فضاهای بایر شهری در محدوده داخلی شهر در دمای بالاتر از نرمال قرار می‌گیرند. عدم وجود فضاهای سبز برای این محدوده‌ها عامل تشدید کننده است. در بعضی محدوده‌هایی که دارای فضای سبز سطحی هستند، این مورد مشاهده می‌شود و در حالی که در محدوده‌های غیرمسکونی که دارای فضاهای سبز حجمی هستند، این اثر منفی به حداقل رسیده است. بنابراین مدیریت شهری می‌تواند با به‌روزرسانی نقشه‌های وضعیت موجود کاربری شهری و انطباق تصاویر حرارتی ماهواره‌ای در برنامه‌ریزی‌های شهرسازی، پیشنهادها را لازم برای ارتقای این محدوده‌ها به فضاهای سبز حجمی و یا عدم توسعه و تغییر کاربری با توجه به جزایر حرارتی و یا تأثیرات منفی خرد اقلیم شهری را در نظر بگیرد.

**ب-** در بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان باید مباحث پیشرفته‌تری در مورد محیط زیست مانند اثرات اقلیمی وارد شود. موارد مثبت موجود در محدوده‌های خصوصی که در این مقاله کمتر مورد بررسی قرار گرفت، شامل ۲۰ درصد مساحت خالص عرصه به عنوان پوشش گیاهی ریشه‌دار الزامی است که در مواردی به نحو تأثیرگذاری اجرا نمی‌شود. البته با توجه به این که در کشورهای پیشرفته علاوه بر محدوده‌های خصوصی وسعت برنامه‌ریزی برای تعدیل اثرات منفی حرارتی خرد اقلیم شهری را در سطح همسایگی در نظر می‌گیرند، علاوه بر ارتقای طرح تفصیلی موجود برای مسائل زیست‌محیطی باید در آینده نزدیک برای در نظر گرفتن موارد در سطح همسایگی هم برنامه‌ریزی نماییم.

**ج-** در طراحی فضای سبز که به وسیله شهرداری انجام شده، بررسی‌های اقلیمی محلی (در مقیاس کوچکتر شهری) مانند

در وسعت شهری برای امور مرتبط با خرد اقلیم شهری هستند. در این مقاله با دید کاربردی علاوه بر تشریح وضعیت موجود شهر از نظر حرارتی و بررسی بعضی نقاط حساس مانند آنچه در قسمت جنوبی شهر در نقشه شماره ۲ تصویر ماهواره‌ای دمای سطوح و محدوده با دمای حداکثری سمت نشان داده شده با نقاط سیاه در تاریخ ۱۸ جولای ۲۰۱۵ دیده شد که صرفاً بررسی تصاویر حرارتی نمی‌تواند منجر به اخذ تصمیمات و دستورات اجرایی در جهت تعدیل اثرات حرارتی باشد. چون محل نقاط حساس، رفتارهای حرارتی یک مکان در طی زمان و بررسی پوشش‌های سطوح و وجود بدنه‌های آبی و فضای سبز از جمله مواردی است که باید به کمک ابزارهای دیگر مانند ابزارهای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار بگیرد. در قسمت آخر پژوهش با انتخاب یکی از محدوده‌های مهم شهری با سه نقطه هدف که با فاصله به نسبت کم در سه مکان الف- دارای با قدمت‌ترین فضای سبز حجمی شهر، ب- نزدیک به بدنه آبی (مادی) و فضای سبز حجمی کمتر و ج- در محل بدون فضای سبز حجمی قرار داشتند، سه آلترناتیو معرفی شد که در چهار پروفایل زمانی مورد بررسی قرار گرفت. در همه نقاط بررسی شده طی زمان از ساعت ۱۰ تا ۱۶ افزایش دما مشاهده شد که روند طبیعی است. مقایسه روند رشد دمای محاسبه نشان می‌دهد که در آلترناتیو دوم با تقریباً ۰٫۱ درجه سانتی‌گراد تفاوت داریم و برای بدون تاج پوشش برای ساعت ۱۴ در مقایسه بین آلترناتیو اول تا سوم برای نقطه A حدود ۰٫۲ درجه سانتی‌گراد تفاوت داریم و برای نقطه B هم همین مقدار و این در حالی است که برای نقطه C حدود ۰٫۴ درجه سانتی‌گراد است. این تفاوت‌ها ناشی از آنجاست که نقطه A اگرچه خود در فصل مشترکی قرار دارد که در وسط تقاطع فاقد پوشش است ولی کاهش کلی تاج پوشش کل محدوده توانسته است اثر افزایشی دمای داشته باشد که در محاسبات کمی مشاهده گردید. برای نقطه B این افزایش در آلترناتیو دوم و سوم با شیب بسیار کمی تغییر یافته که البته اثر کاهش فضای سبز حجمی دیده می‌شود. برای نقطه C این تفاوت بسیار مشخص است و اثرپذیری وجود و یا عدم وجود فضای سبز حجمی و همچنین کاهش آن مشهود است. همانگونه که از نتایج کیفی و کمی این شبیه‌سازی زیست‌محیطی که خود مکمل تحلیل‌های اولیه به وسیله تصاویر حرارتی ماهواره‌ای است، مشاهده می‌شود،



## References:

- Ahmadi, A., et al. "Urban Change and Its Thermal Impacts Case Study: Isfahan." *Journal of Architecture and Urban Planning* 9(17): 155-171. [Persian]
- Akbari, H. and D. Kolokotsa (2016). "Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research." *Energy and Buildings* 133 834-842.
- Arnfield (2003). "Two Decades of Urban Climate Research: a Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island." *International Journal of Climatology* 23(1): 1-26.
- F., R., et al. (2016). "Experimental evaluation of urban heat island mitigation potential of retro-reflective pavement in urban canyons." *Energy and Buildings* 126 340-352.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands, Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. London, Earthscan.
- Gholami, F. and M. Gholami (2016). *Urban Design indicators, effecting on Urban heat Island mitigation- Case study Enghelan Square Tehran*. International Conference on Science and Engineering. Istanbul, www.civilica.com. [Persian]
- Gunawardena, K. R. and M. J. K. Wells, T. (2017). "Utilizing green and bluespace to mitigate urban heat island intensity." *Science of the Total Environment* 584-585: 1040-1055.
- j., Y., et al. (2016). "Effect of pavement thermal properties on mitigating urban heat islands: A multi-scale modeling case study in Phoenix,.." *Building and Environment* 108 110-121.
- Kotharkar, R. and A. Bagade (2018). "Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city." *Landscape and Urban Planning* 169: 92-104.
- L., M., et al. (2016). "Climatological analysis of the mitigating effect of vegetation on the urban heat island of Milan, Italy,." 569-570: 762-773.
- Maleki, A. (2015). *Monitoring and modelling of the urban micro-climate in Vienna*. Architecture and Spatial Planing. Vienna, Technical university of Vienna. PhD.
- Mirzaei and Parham (2015). "Recent challenges in modeling of urban heat island " *Sustainable Cities and Society* 19: 200-206.

منطقه‌های شهری و نواحی و همسایگی‌ها و نیز کیفیت طراحی و اجرای فضای سبز موجود در نظر گرفته نشده است. همانگونه که در نتایج شبیه‌سازی این مقاله به دست آمد، در محدوده مورد مطالعه تفاوت حدود ۱ درجه در نقاط مشخص شده مشاهده گردید که فاصله خیلی زیادی ندارند ولی تفاوت در جنس سطوح و دوری و نزدیکی به بدنه‌های آبی و فضای سبز از عوامل تأثیرگذار برای این تفاوت بوده‌اند. بنابراین با تهیه نقشه‌های اقلیمی شهر و تطابق تصاویر حرارتی و شبیه‌سازی‌های زیست‌محیطی می‌توان همگنی در وضعیت حرارتی و تعدیل مناسب در اثرات منفی خرد اقلیم شهر ایجاد نمود.

د. در نظریات کارشناسی تجربی در شهرداری‌ها سیاست نانوشتن‌ای در مورد فضای سبز (و یا توسعه) و تأثیر بر خرد اقلیم شهری موجود است که بیان می‌دارد، توسعه فضاهای سبز بزرگ بر خرد اقلیم تأثیر دارند. این در حالی است که با بررسی انجام شده در این پژوهش توسعه فضاهای سبز خصوصی و خرد نیز می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشند.

ه. تعریف حدود اکولوژیکی جدید برای مدیریت بر پایه محیط زیست لازم است. مرز بندی‌های اکولوژیکی می‌توانند به کمک داده‌های اقلیمی با وزن‌بندی در بستر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرند. همانگونه که در این مقاله بررسی شد، در بعضی نقاط از نظر حرارتی وضعیت مناسبی نیست. این در حالی است که مرز بندی‌های مدیریت شهری برای موردی چون پهنه‌های اقلیمی و زیست‌محیطی انطباق ندارد، در نتیجه اعمال نظرات و تغییرات برای بهبود را در بعضی موارد با مشکل مواجه می‌کند.

و. براساس نتایج کمی این پروژه ابزارهای شبیه‌سازی می‌توانند در تشخیص درصد مورد نیاز فضای سبز و رسیدن به درصد بهینه کمک شایانی نمایند؛ به خصوص در صورت اولویت‌بندی فضاهای شهری مانند فضاهای باز عمومی و یا تاریخی که درصد بسیاری از شهروندان و گردشگران اوقات زیادی را در آن محل طی می‌کنند. به علاوه شبیه‌سازی‌های زیست‌محیطی می‌تواند تأثیر بسزایی در تدوین راهکارهای استراتژیک مدیریت شهری داشته باشد. این مهم با کمک تدوین سناریوها به وسیله این شبیه‌سازی امکان پذیر شده است.

ز. در مطالعات آتی استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای بازه‌های زمانی بیشتر می‌تواند منجر به تحلیل‌های کامل‌تری گردد. برای این پژوهش یک برش از زمان خاصی از تصاویر ماهواره‌ای برای تأکید بیشتر بر اثرات حرارتی روزانه استفاده شد. استفاده ترکیبی از داده‌های چند ماهواره مانند هم‌زمان مدیس و لندست برای حداقل رسانی رزولوشن مکانی و زمانی یکی از این پیشنهادها است.

- Nassar, A., et al. (2016). "Dynamics and controls of urban heat sink and island phenomena in a desert city: Development of a local climate zone scheme using remotely-sensed inputs." International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation 51: 76–90.
- Sheng, L., et al. (2016). "Comparison of the urban heat island intensity quantified by using air temperature and Landsat land surface temperature in Hangzhou, China." Ecological Indicators 72: 738–746.
- Ward, K., et al. (2016). "Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers." Science of the Total Environment: 569–570
- Yuan, J., et al. (2016). "Application of glass beads as retro-reflective facades for urban heat island mitigation: Experimental investigation and simulation analysis." Building and Environment 105: 140-152.

