

## بررسی دمای شبانه سطح زمین و شناسایی الگوی جزایر حرارتی شبانه شهر تهران با استفاده از تحلیل نقاط داغ (Hot Spot Analysis)

اکبر محمدی<sup>۱\*</sup>

[a.mohammadi@bzte.ac.ir](mailto:a.mohammadi@bzte.ac.ir)

سمیه رحیمی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۶

### چکیده

**زمینه و هدف:** گرم شدن محیط های شهری و ایجاد جزایر حرارتی اثرات متفاوتی بر شهرها دارد که از آن جمله می توان به افزایش مصرف انرژی، افزایش انتشار آلاینده ها و گازهای گلخانه ای، خطر افتادن سلامت انسان و افزایش دمای آب های سطحی اشاره کرد. در شهر تهران در طی دهه های اخیر افزایش فضاهاى انسان ساخت در شهر منجر به کاهش فضاهاى باز و طبیعى در شهر شده است و به نظر می رسد دمای سطح شهر تهران در سالهای گذشته در برخی از قسمت ها افزایش یافته که این افزایش منجر به ایجاد جزایر حرارتی گردیده است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات دما در شهر تهران و بررسی الگوی شبانه جزایر حرارتی سطحی است.

**روش بررسی:** در این تحقیق برای بدست آوردن الگوی جزایر حرارتی شبانه شهر تهران از داده های سنجنده مو دیس (ماهواره terra) با نام MOD11A2 و روش تحلیل نقاط داغ (Hot Spot Analysis) استفاده گردیده است.

**یافته ها:** بررسی فضایی تغییرات دمای سطح شبانه نشان می دهد که اختلاف دمای پهنه شهر با فضاهاى خارج از شهر بین ۲/۶۴ تا ۱۳/۶۴ درجه سانتی گراد است. بر اساس نقشه نهایی تحلیل نقاط داغ، جزایر حرارتی سطحی تمامی مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی تهران را شامل می شود.

**بحث و نتیجه گیری:** نتایج بدست آمده در این تحقیق در هماهنگی کامل با نتایج مطالعات مشابه در خصوص الگوی شبانه جزایر حرارتی سطحی شهر تهران می باشد. از عمده ترین دلایل شکل گیری جزایر حرارتی در این مناطق می توان به تراکم بالای جمعیتی، ریزدانه بودن بودن بافت و عدم وجود فضاهاى باز و سبز کافی در این مناطق اشاره کرد.

**واژه های کلیدی:** جزایر حرارتی شبانه، تهران، مودیس، تحلیل نقاط داغ.

۱- استادیار مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، گروه معماری و شهرسازی، بوئین زهرا، قزوین، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۲ - مدرس مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، گروه معماری و شهرسازی، بوئین زهرا، قزوین، ایران

# Investigating the Night time Surface Temperature and Identifying the Pattern of Night Heat Islands in Tehran City Using Hot Spot Analysis

Akbar Mohammadi<sup>1</sup> \*

[a.mohammadi@bzte.ac.ir](mailto:a.mohammadi@bzte.ac.ir)

Somaye Rahimi<sup>2</sup>

Admission Date: August 29, 2024

Date Received: September 7, 2022

## Abstract

**Background and Objective:** Urban warming and creation of heat islands have different effects on cities, such as increasing energy consumption, increasing emissions of pollutants and greenhouse gases, human health risk and increasing surface water temperature. In Tehran city during recent decades, the increase in man-made spaces has led to a decrease in open and natural spaces, and it seems that the surface temperature of Tehran has increased in some parts in recent years, which has led to the creation of heat islands. The aim of this study was to investigate the surface temperature changes in Tehran and the night pattern of surface heat islands.

**Material and Methodology:** In this study, in order to obtain the pattern of nighttime heat islands in Tehran, Modis (Terra satellite) data called MOD11A2 and Hot Spot Analysis method were used.

**Finding:** Spatial analysis of night surface temperature changes shows that the difference between the temperature of the city area and the Suburbs is between 2.64 and 13.64 °C. Based on the final map of hot spots analysis, surface heat islands cover all central, south and southeast regions of Tehran.

**Discussion and Conclusion:** The results of this study are in complete harmony with the results of similar studies on the night pattern of surface heat islands in Tehran. The main reasons for the formation of heat islands in these areas are high population density, fineness of texture and lack of sufficient open and green spaces in these areas.

**Keywords:** Night time Heat Islands, Tehran, Modis, Hot Spots Analysis

---

1- Assistant Professor of Buein Zahra Technical University, Department of Architecture and Urban Planning, Buein Zahra, Qazvin, Iran. *\*(Corresponding Author)*

2- Visiting professor of Buein Zahra Technical University, Department of Architecture and Urban Planning, Buein Zahra, Qazvin, Iran

#### مقدمه

دما بعنوان یکی از مهمترین عناصر اقلیمی نقش بسیار مهمی در فرآیندهای اقلیمی و همچنین زندگی انسان بر روی کره زمین دارد. بدنبال تحولاتی که در زمینه توسعه سکونتگاه های بشری بویژه شهرها بعد از انقلاب صنعتی شکل گرفت، دما نیز دچار تغییرات زیادی گردید، از جمله این تغییرات، بالا رفتن دما در پهنه های متراکم شهری و شکل گیری جزایر حرارتی بود. جزایر حرارتی پهنه هایی از شهر را شامل می گردند که نسبت به محیط طبیعی اطراف دمای بالاتری را تجربه می نمایند. عدم توجه به مباحث زیست محیطی در برنامه ریزی و طراحی شهری بویژه در زمینه کاربری اراضی-پوشش زمین و ساختار کالبدی باعث ایجاد این پدیده در شهرها گردید.

یکی از روشهای معمول برای اندازه گیری تغییرات دمایی و جزایر حرارتی در شهرها دمای سطح زمین می باشد. دمای سطح زمین در شهرها تحت تاثیر عوامل مختلفی می باشد که کاربری اراضی یکی از مهمترین این عوامل است. این عامل با اثر گذاری بر ساختار فیزیکی، نوع مواد پوشش دهنده سطح زمین و عملکردهای صورت گرفته بر روی آن باعث تغییر در دمای آن می گردد بعبارت دیگر در شهرها بدنبال تغییرات آلوده به دلیل افزایش سطح آسفالت و بتن، کاهش محتوای آب در خاک به دلیل افزایش تبخیر و تعرق، تغییر در شار تشعشعی به دلیل بیشتر شدن ساختمان ها و خیابان ها، و افزایش انتشار حرارت شهری توسط انسان، دمای سطح زمین افزایش می یابد (۱ و ۲) این عوامل باعث می گردد دمای سطح زمین در محیط های متراکم شهری نسبت به محیط اطراف شهر بالاتر باشد که این اختلاف دما در روز ۱ تا ۷ درجه سانتی گراد و در شب ۲ تا ۵ درجه سانتی گراد می باشد (۳).

گرم شدن محیط های شهری و ایجاد جزایر حرارتی تاثیرات مختلفی را بر شهرها از جنبه های گوناگون دارد که از جمله این اثرات می توان به موارد زیر اشاره داشت:

- افزایش مصرف انرژی: ایجاد جزایر حرارتی افزایش مصرف انرژی برای تهویه و سرمایش ساختمانها را بدنبال دارد. در مطالعاتی که در چند کشور انجام شده است نشانگر این است که با افزایش ۲

درجه فارنهایت میزان مصرف انرژی برای تهویه ساختمانها به میزان ۱ تا ۹ درصد افزایش می یابد. کشورهایی مثل ایالات متحده آمریکا که اکثر ساختمانهای آن دارای سیستم تهویه می باشند بیشترین میزان تقاضا برای انرژی الکتریکی را داشته اند (۴).

- افزایش انتشار گازهای آلاینده هوا و گازهای گلخانه ای: بدنبال افزایش تقاضای انرژی الکتریکی برای تهویه و سرمایش ساختمان ها، مصرف سوخت های فسیلی جهت تولید انرژی الکتریکی نیز افزایش می یابد که این افزایش باعث تولید آلاینده های هوا و گازهای گلخانه ای می گردد. علاوه بر این افزایش دمای سطح زمین در فرآیندهای شیمیایی تولید گازهای گلخانه ای مثل ازن نقش اساسی دارد.

- به خطر انداختن سلامت و آسایش انسان ها: افزایش دما و تشکیل جزایر حرارتی در شهرها باعث ایجاد بیماریها و مرگ های مرتبط با گرما مثل مشکلات تنفسی و گرمزدگی می گردد. بر اساس آمار مرکز کنترل و پیشگیری از بیماریهای آمریکا از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ در حدود ۱۰۵۲۷ مرگ ناشی از گرما در ایالات متحده ثبت گردیده که بطور متوسط سالیانه ۷۰۲ مورد بوده است. این عدد شامل مرگ و میرهایی بوده که گرما بصورت مستقیم و غیر مستقیم در ایجاد آن موثر بوده است. (۵)

- افزایش دمای آبهای سطحی: دمای بالای سطوح شهری مثل خیابانها، پیاده روها و پشت بام ها باعث افزایش آبهای جریان یافته در این سطوح می نماید که این آبها با ورود به جریانهای سطحی مثل رودخانه ها یا دریاچه های اطراف شهر دمای آنها را بالا برده و متابولیسم و تولید مثل بسیاری از آبزیان را تحت تاثیر قرار دهد. بر اساس مطالعه ای که در شهر دورهام (Durham) آمریکا انجام گردیده جریانهای داخل شهر دمای بالاتری (۷ درجه فارنهایت) نسبت به دمای جریانهای مناطق جنگلی اطراف شهر داشته اند.

شناسایی پدیده جزایر حرارتی توسط اندازه گیری دمای سطح زمین و همچنین دمای هوا صورت می گیرد، دمای سطح زمین توسط ماهواره های مختلفی که دارای سنجنده های حرارتی

هستند اندازه گیری می شود، علاوه بر این ایستگاه های هواشناسی نیز در زمینه شناسایی پدیده جزایر حرارتی می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

شهر تهران به عنوان پایتخت و بزرگ ترین شهر کشور بر اساس سرشماری ۱۳۹۵ در برگیرنده ۱۴/۷ درصد از جمعیت شهرنشین کشور (۶) می باشد که نشان دهنده تمرکز بالای جمعیتی در این شهر است. محیط کالبدی شهر نیز به تبعیت از این تمرکز، رشد و توسعه زیادی را داشته است و پهنه های ساخته شده در این شهر در طی دهه های اخیر رشد فزاینده ای را دنبال نموده است. افزایش پهنه های ساخته شده در شهر منجر به کاهش فضاهای باز و سبز طبیعی در شهر گردیده و علاوه بر این توسعه فضاهای سبز برنامه ریزی شده نیز از نظر مساحت و توزیع نیز مناسب نبوده است و این روند به نظر می رسد باعث گردیده تا دمای سطح زمین در شهر تهران در برخی از قسمت های آن افزایش یافته و منجر به ایجاد جزایر حرارتی گردیده است. هدف این تحقیق بررسی تغییرات درجه حرارت شهر تهران و کشف الگوی جزایر حرارتی شبانه آن می باشد.

#### پیشینه تحقیق:

پژوهش های متعددی در خصوص موضوع مورد مطالعه انجام گردیده است. در ادامه به بررسی برخی از پژوهش های صورت گرفته در این حوزه پرداخته شده است:

در یک تحقیق Rhee و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی رابطه میان الگوی پوشش زمین و دمای سطح آن در دو منطقه شهری دنور و کلرادو آمریکا با استفاده از داده های لندست ۵ پرداختند. روش مورد استفاده در این تحقیق، نیز الگوریتم جنگل تصادفی و رگرسیون خطی بوده است، نتایج تحقیق بیانگر این است که در بین چهار طبقه پوشش زمین (ساختمان، درخت، چمن، خیابان و پارکینگ ها)، درختان، خیابانها و پارکینگ ها بر روی دمای سطح تاثیر گذار هستند (۷)

Grigorasi و Uritescu (۲۰۱۸) در مقاله ای، دمای سطح زمین و رابطه آن با دمای هوا و همچنین تعیین نقاط داغ (hot spot) در شهر بخارست (پایتخت رومانی) را مورد بررسی قرار دادند. داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده های ماهواره مودیس و داده های هواشناسی مربوط به ایستگاه های

هواشناسی مستقر در شهر بوده است. نتایج تحقیق نشان داد که رابطه همبستگی میان دمای سطح زمین و دمای هوا در شب (۰/۸۷ - ۰/۸) بیشتر از روز (۰/۷۷ - ۰/۷۱) بوده است در ضمن تحلیل نقاط داغ نشان می دهد که نقاط بسیار داغ (پهنه های با دمای بسیار بالا) در طول روز ۳۳/۲ درصد و در طول شب ۳۱/۶ درصد از پهنه شهر را دربرمی گیرد که در برگیرنده مناطق مرکزی شهر است (۸).

شمسی پور و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود به بررسی رفتار روزانه (۸ روز) جزایر حرارتی شهر تهران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از ۱۴ ایستگاه هواشناسی پرداختند و مدلسازی تغییرات دما با استفاده از نرم افزار arc gis را انجام دادند. نتایج تحقیق نشانگر این است مرکز جزایر حرارتی حد فاصل ایستگاه های بهمن، آزادی و بازار قرار دارد و در ضمن سرعت و جهت باد بیشترین نقش را در الگوی جزایر حرارتی شهر تهران به عهده دارد (۹).

در یک تحقیق دیگر حلبیان و سلطانی (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات فضایی- زمانی جزایر حرارتی شهر شیراز و ارتباط آن با کاربری اراضی پرداختند. در این تحقیق برای بازسازی الگوی جزایر حرارتی شهر از داده های ماهواره های لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شده است. نتایج تحقیق بیانگر این است که زمین های بایر اطراف شهر بیشترین دما را دارا هستند و پایین ترین دماها با پهنه های سبز تطابق دارد (۱۰).

محمد پور زیدی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیق خود الگوی زمانی و فضایی جزایر حرارتی شهر گرگان را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از داده های ماهواره لندست ۷ در دوره های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ استفاده گردید نتایج تحقیق نشانگر این است که تغییرات زمانی و مکانی جزایر حرارتی در شهر گرگان الگوی خوشه ای بالایی دارند و الگوی جزایر حرارتی به دو عامل شرایط اقلیمی و شرایط انسانی حاکم بر شهر بستگی دارد (۱۱).

نجفیان گرجی و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله ای تغییرات دمایی و الگوی جزایر حرارتی شهر تهران و ارتباط آن با شاخص NDVI را با استفاده از داده های ماهواره لندست ۸ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان می دهد که پوشش گیاهی نقش معناداری در کاهش پدیده جزایر حرارتی دارد (۱۲)

مورد استفاده در این تحقیق، داده های ماهواره مودیس، ماهواره سنتینل ۳ و لندست ۸ می باشد. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان می دهد که تفاوت دمایی شبانه شهر تهران و حومه های غربی نسبت به محیط های ساخته نشده بیشتر از روز است. همچنین نتایج استفاده از شاخص موران بر روی داده های مودیس نشان داد که بالاترین ارزش های مثبت در زمینه دمای سطح سالانه و فصلی در شب اتفاق می افتد. شاخص Getis هم یک الگوی ثابت را در تمام فصول نشان می دهد و این روند در طول سال ادامه دارد. اختلاف دمای سطحی سالانه و فصلی تهران و حومه آن در حدود ۵ درجه سانتی گراد می باشد. بالاترین مقادیر مربوط به دمای سطح زمین (جزایر حرارتی) در مرکز شهر تهران و حومه های شرقی، جنوب شرقی، جنوب، جنوب غربی و غرب دیده شد. (۱۷)

Haashemi و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیق خود به بررسی تغییرات دمای سطح و همچنین جزایر حرارتی (روزانه و شبانه) شهر تهران با استفاده داده های مودیس و لندست ۸ در دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ پرداختند، علاوه بر این، رابطه جزایر حرارتی با شاخص هایی تاثیر گذاری مثل کاربری و پوشش زمین، ارتفاع، سطوح غیر قابل نفوذ، پوشش گیاهی و آلوده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان دهنده این است بیشترین همبستگی در رابطه بین دمای سطح در شب با ارتفاع در فصل بهار (ضریب: ۰٫۷۶)، دمای سطح در شب با سطوح غیر قابل نفوذ در فصل بهار (۰٫۶۰)، دمای سطح در شب با آلوده در فصل زمستان (۰٫۵۳) و دمای سطح در روز با پوشش گیاهی در فصل تابستان (۰٫۴۱) می باشد (۱۸).

در تحقیق Shahfahad و همکاران (۲۰۲۱)، الگوی جزایر حرارتی شهر بمبئی در رابطه با تغییرات الگوی کاربری اراضی و پوشش زمین در فاصله سالهای ۲۰۱۸-۱۹۹۱مورد بررسی قرار گرفت. در این زمینه از داده های لندست استفاده گردید. نتایج تحقیق بیانگر این امر می باشد که در طی این دوره با کاهش فضاهای سبز و افزایش ساخت و سازها دمای سطح شهر افزایش یافته است (۱۹).

در تحقیق رضایی راد و رفیعیان (۱۳۹۶) تغییرات فضایی- زمانی جزیره حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و آستر در دوره ۱۳۸۲-۱۳۹۴مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشانگر شکل گیری جزایر حرارتی با شدت بیشتر در مناطق غربی شهر و با شدت کمتر در مناطق جنوب غربی و جنوب شرقی می باشد. (۱۳)

در مقاله ای هاشمی دره بادامی و همکاران (۱۳۹۸) تغییرات جزیره حرارتی سطوح شهر تهران را در شبانه روز با استفاده از داده های مودیس مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشانگر این است که جزایر حرارتی سطوح شهری دارای نوسانات روزانه و فصلی و مکانی است. همچنین عواملی مثل کاربری اراضی، ارتفاع، آلوده، شاخص پوشش گیاهی و شاخص نفوذ ناپذیری در شکل گیری این جزایر حرارتی نقش دارند. (۱۴)

در تحقیق دیگری که Bokaei و همکارانش (۲۰۱۹) در شهر تهران انجام دادند تغییرات فصلی جزیره حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. داده های مورد استفاده در این تحقیق داده های ماهواره های لندست (سنجده TM) و مودیس بود. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که الگوی روزانه جزایر حرارتی در هماهنگی با نوع کاربری زمین دارد و در مناطق غربی و جنوب غربی دیده می شود ولی جزایر حرارتی شبانه بیشتر در مناطق شرقی و جنوبی ایجاد می گردد. (۱۵)

در مقاله ای پژوهشی Zoghi و همکاران (۲۰۲۳) به مدلسازی جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر سنجش از دور و روش شبکه های عصبی مصنوعی پرداختند. در این تحقیق ۱۳ تصویر سنجده TM و ETM+ ماهواره لندست بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت و برای کسب نتایج بهینه مدلسازی از توپولوژی های مختلف شبکه عصبی استفاده گردید. نتایج بدست آمده از تحقیق نشان می دهد که شبکه های عصبی آبشاری (Cascade) بهترین خروجی ها را در زمینه مدلسازی جزایر حرارتی شهر تهران داشتند. (۱۶)

در تحقیقی Zargari و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی تغییرات دمای سطح زمین در شهر تهران و حومه آن پرداختند. داده های

در تحقیق Yin و همکاران (۲۰۱۸) اثرات فرم شهری و ترکیب کاربری اراضی بر روی جزایر حرارتی شهر ووهان چین با استفاده از مدل رگرسیون فضایی مطالعه گردید. الگوی جزایر حرارتی شهر از روی داده های لندست ۷ استخراج گردید، شاخص های مربوط به ترکیب کاربری اراضی نیز شامل درصد فضاهای غیر قابل نفوذ، درصد فضاهای سبز و درصد پهنه های دربرگیرنده آب می باشد. همچنین از شاخص های نسبت آشکاری آسمان، تراکم ساختمانی و نسبت مساحت همکف به عنوان شاخص های فرم شهری استفاده گردیده است. نتایج تحقیق بیانگر اثر مثبت درصد فضاهای غیر قابل نفوذ و شاخص های نسبت آشکاری آسمان و تراکم ساختمانی و اثر منفی درصد فضاهای سبز و نسبت مساحت همکف بر روی جزایر حرارتی شهر می باشد (۲۰).

در یک تحقیق کاربردی Li و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی نقش تراکم و مورفولوژی بر ایجاد جزایر حرارتی شهر پرداخته اند. در این تحقیق با شبیه سازی اقلیمی و فرم های مختلف شهری به ارائه فرم مطلوب و کاهش دهنده جزایر حرارتی اقدام نموده اند. (۲۱)

در مطالعه Sun و همکاران (۲۰۱۹) رابطه میان دمای سطح زمین و فرم شهری با استفاده از داده های ماهواره لندست ۸ و روش یادگیری ماشین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که ۹۰ درصد از تغییرات دمای سطح زمین در شهر با

معیارهای فرم شهری قابل توضیح می باشد. به طور کلی، مورفولوژی ساختمان و زیرساخت های اکولوژیکی شهری تأثیرات غالب بر تغییرات دمای سطح در مراکز شهری با تراکم بالا داشتند. فضای سبز شهری و پهنه های آبی اثرات خنک کنندگی قوی تری به ویژه در تابستان نشان دادند. تراکم ساختمان اثرات مثبت قابل توجهی را بر دمای سطح نشان داد، در حالی که نسبت سطح همکف تأثیر منفی بر دمای سطح داشته است. (۲۲)

Najafzadeh و همکاران (۲۰۲۱) به تحلیل فضایی و زمانی جزایر حرارتی سطحی و آسایش حرارتی شهر تهران در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۹ با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ پرداختند. روش مورد استفاده در این تحقیق Planar fitting و مدل گوسی می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد که جزایر حرارتی شهر تهران در قسمت های غربی، شمال غربی و جنوب غربی قرار گرفته و در طی سه دهه ۲۰۲ درجه سانتی گراد افزایش داشته است. محققین دلایل ایجاد جزایر حرارتی را به کمبود فضاهای سبز و افزایش سطوح توسعه یافته مرتبط دانسته اند. (۲۳)

همانطور که در پیشینه تحقیقاتی بررسی گردید، تحقیقات مشابه زیادی در خصوص الگوی جزایر حرارتی در شهر تهران و شهرهای دیگر ایران انجام شده است. برای مقایسه تحقیقات مشابه با تحقیق کنونی جدول ۱ تهیه گردید.

#### جدول ۱- مقایسه تحقیقات مشابه

Table 1. comparison similar researches

| روش مورد استفاده               | دوره مطالعه                               | داده های مورد استفاده | فصلهای مورد بررسی | زمان بررسی جزایر حرارتی |                      |
|--------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| روش آماری                      | ۱۹۸۹-۲۰۱۹<br>در فواصل ۱۰ ساله<br>(۴ مقطع) | لندست ۵ و ۸           | فاقد بررسی فصلی   | روزانه                  | Najafzadeh و همکاران |
| محاسبه تفاوت دما با محیط اطراف | ۲۰۱۳-۲۰۱۵                                 | مودیس و لندست ۸       | تمام فصل ها       | روزانه و شبانه          | Haashemi و همکاران   |
| بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر | ۱۳۸۲-۱۳۹۴                                 | لندست ۸ و آستر        | تابستان           | روزانه                  | رضایی راد و رفیعیان  |

|                                                                     |                |                  |                          |                       |                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| نصفیان گرجی و همکاران                                               | روزانه         | تابستان          | لندست ۸                  | ۲۰۱۳-۲۰۱۵             | بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر                                                              |
| شمسی پور و همکاران                                                  | روزانه و شبانه | تابستان و زمستان | ایستگاه های هواشناسی     | ۲۰۰۶                  | بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر                                                              |
| هاشمی دره بادامی و همکاران                                          | روزانه و شبانه | تمام فصل ها      | مودیس                    | ۲۰۱۳-۲۰۱۴             | محاسبه تفاوت دما با محیط اطراف                                                              |
| Bokaie و همکاران                                                    | روزانه و شبانه | تمام فصل ها      | لندست ۵ و مودیس          | ۲۰۱۰                  | بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر                                                              |
| Zoghi و همکاران                                                     | روزانه و شبانه | تمام فصل ها      | لندست                    | ۱۹۹۰-۲۰۱۵             | مدلسازی تغییرات دمای سطح و جزایر حرارتی                                                     |
| Zargari و همکاران                                                   | روزانه و شبانه | تمام فصل ها      | لندست ۸- مودیس- سنتینل ۳ | ۲۰۲۰                  | بررسی تغییرات دمایی سطح شهر و تفاوت با محیط اطراف                                           |
| سایر تحقیقات در شهرهای دیگر ایران (مشهد، ارومیه، گرگان، شیراز و...) | روزانه و شبانه | تمام فصل ها      | لندست ۵ و ۸ و مودیس      | دوره های یک تا ۳ ساله | بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر و محاسبه تفاوت دما با محیط اطراف                             |
| تحقیق حاضر                                                          | شبانه          | تمام فصل ها      | مودیس                    | ۲۰۱۷-۲۰۲۱             | بررسی تغییرات دمایی در سطح شهر و محاسبه تفاوت دما با محیط اطراف و روش آماری (تحلیل Hotspot) |

بررسی تغییرات دمایی، روش محاسبه تفاوت دما با محیط اطراف و روش آماری.

بررسی جزایر حرارتی سطحی از نظر زمانی (شبانه) تفاوت دیگر تحقیق حاضر با سایر تحقیقات مشابه می باشد. با توجه به اینکه تفاوت درجه حرارت محیط های شهری در شب با محیط های اطراف بیشتر می باشد بهتر می تواند به شناسایی پهنه های مستعد جزایر حرارتی کمک نماید.

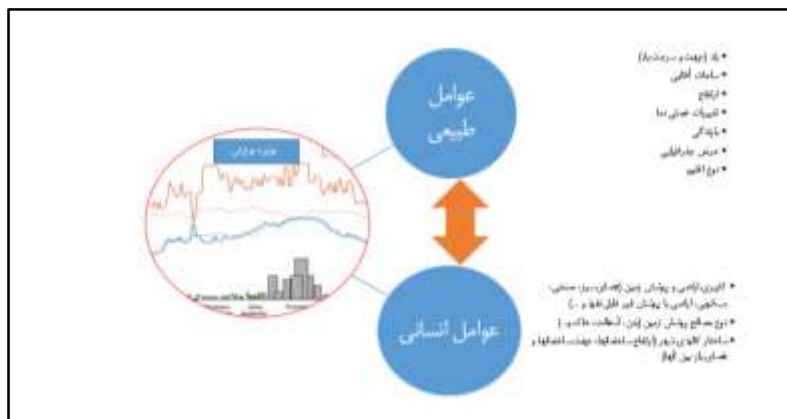
#### مبانی نظری

بر اساس مطالعات صورت گرفته در حوزه جزایر حرارتی شهر عوامل متعددی در ایجاد جزایر حرارتی شهر موثر می باشند که این عوامل را می توان در دو دسته عوامل طبیعی و عوامل انسان ساخت دسته بندی کرد. بر اساس اطلاعات بدست آمده از پیشینه تحقیقات صورت گرفته می توان نمودار زیر را ترسیم نمود. در

مقایسه تحقیق حاضر با سایر تحقیقات مشابه در این حوزه نشان می دهد که این تحقیق چند تفاوت اساسی با سایر تحقیقات دارد: اولین تفاوت مربوط به دوره مورد بررسی این تحقیق می باشد که در دوره ای جدیدتر (۲۰۱۷-۲۰۲۱) نسبت به سایر تحقیقات انجام گرفته است. چون تغییرات جزایر حرارتی سطحی تحت تاثیر تغییرات کالبدی و محیطی قرار دارد و با توجه به سرعت بالای تغییرات کالبدی و محیطی در شهرهای بزرگ هر چقدر این دوره ها جدیدتر باشد تطابق بهتری را با شرایط موجود نشان می دهد. در ضمن دوره مورد بررسی در تحقیق حاضر دوره ای ۵ ساله و پیوسته می باشد که در مقایسه با مطالعات قبلی متفاوت است. تفاوت دیگر این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات روش مورد استفاده در تحقیق می باشد. در این تحقیق از تلفیق سه روش رایج در مطالعات جزایر حرارتی استفاده گردید، یعنی تلفیق روش

این نمودار نقش عوامل موثر در ایجاد جزایر حرارتی شهر نشان

داده شده است:



شکل ۱- عوامل موثر در ایجاد جزایر حرارتی شهر

Figure1. Effective factors in forming of urban heat island

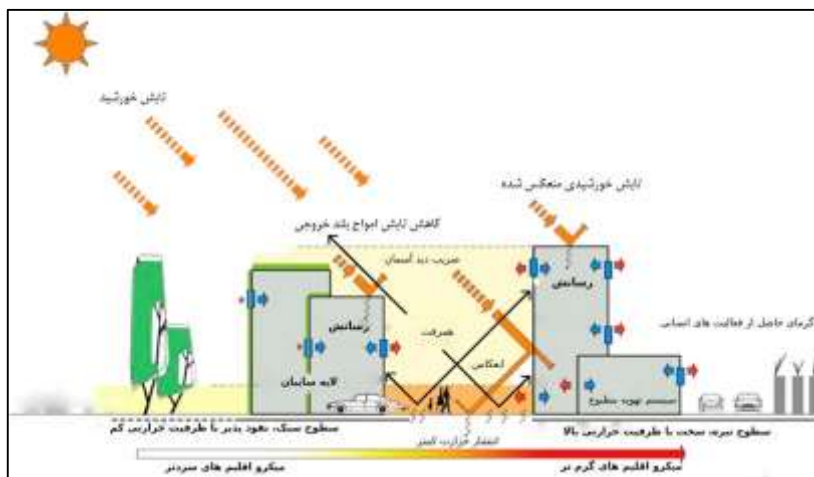
انرژی و تولید کننده گرما می باشند. چنین گرمای انسانی (ساخت بشر) عمدتاً مربوط به تهویه هوا و حمل و نقل داخلی است (۲۵).

ویژگی های حرارتی مواد سطح شهری (گرمای خاص، جرم، رسانایی و انتشار)، رنگ، بافت و پوشش، تبادل حرارت را در محیط های شهری تحت تاثیر قرار می دهد. توزیع و نسبت طبقات پوشش زمین شامل زمین های سنگفرش، پوشش گیاهی، زمین های بدون پوشش و آب های سطحی به تبادل گرما بین منطقه شهری و هوای مجاور کمک می کند (۲۶)

ساختار شهری بر الگوهای سایه و تبادل حرارت در محیط ساخته شده تأثیر می گذارد (۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰) تبادل حرارتی بین بدنه ساختمان ها و هوای مجاور، شدت و الگوهای جریان هوا را در دره های شهری تغییر می دهد، علاوه بر این الگوهای باد نیز تحت تأثیر ساختار دره مانند مناظر خیابانی اطراف ساختمان های بلند قرار دارند (۳۱)

عوامل طبیعی شامل باد، ساعات آفتابی، ارتفاع، تغییرات فصلی دما، بارندگی، عرض جغرافیایی و نوع اقلیم منطقه می باشد که تغییرات این عوامل می تواند بر دما و ایجاد جزایر حرارتی در شهر موثر باشد. البته این عوامل به تنهایی عامل اصلی و بوجود آورنده جزایر حرارتی در شهر نمی باشد و فراهم کردن زمینه برای تغییرات دما در شهرها توسط عوامل انسانی تعیین می گردد. این عوامل شامل کاربری اراضی، پوشش زمین، ساختار کالبدی شهر و نوع مصالح پوشش زمین است که نقش عمده ای در ایجاد جزایر حرارتی شهر بر عهده دارد.

نسبت کلی کاربری مسکونی، تجاری و صنعتی، جاده ها و فضاهای باز، پارک ها و تالاب ها بر شدت و توزیع جزایر حرارتی شهر تأثیر می گذارد. فقدان فضای سبز کافی - به عنوان یک ویژگی مشترک مناطق شهری - به تجمع گرما در محیط ساخته شده کمک می کند (۲۴). علاوه بر این کاربری های مختلف بیانگر فعالیت های انسانی است و این فعالیت ها مصرف کننده



شکل ۲- نقش عوامل مختلف در شکل گیری جزایر حرارتی شهر (۳۲)

Figure 2. Roles of various factors in forming of urban heat island

### روش تحقیق

محدوده مطالعاتی، میانگین مربوط به فصول چهارگانه در نرم افزار ARC GIS PRO محاسبه گردید که بر این اساس برای هر سال مورد بررسی ۴ نقشه و برای پنج سال مورد بررسی در مجموع ۲۰ نقشه مربوط به دمای سطح زمین بدست آمده است. برای تحلیل تغییرات دمای سطح و جزایر حرارتی برای اینکه تفاوت دمای سطح شهر با محیط اطراف نشان داده شود فضایی بزرگ تر از محدوده شهر در نظر گرفته شد که در تصویر ۳ نشان داده شده است.

در این تحقیق جهت اندازه گیری تغییرات دمایی سطح زمین و جزایر حرارتی شبانه شهر تهران (دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۷) از داده های سنجنده مودیس (که بر روی ماهواره ترا (Terra) قرار دارد) با نام MOD11A2 استفاده گردیده است. این داده ها دارای رزولوشن فضایی ۱ کیلومتر بوده و بصورت میانگین هشت روزه دمای سطح زمین را به تفکیک روزانه و شبانه ثبت می نمایند (۳۳). برای بدست آوردن نقشه دمای سطح زمین در محدوده مطالعاتی، لایه شماره چهار این داده که دمای سطح زمین در شب می باشد، استخراج و پس از برش داده ها بر اساس



شکل ۳- موقعیت محدوده مطالعاتی و محدوده شهر (ماخذ: نرم افزار google earth)

Figure 3. The location of the study area and the city limit (source: google earth software)

برای تحلیل دمای سطح زمین و بدست آوردن الگوی جزایر حرارتی شبانه شهر تهران از روش تحلیل نقاط داغ (Hot Spot Analysis) استفاده گردیده است. تحلیل نقاط داغ، آماره Getis-Ord Gi\* را برای کلیه عوارض یک لایه بر اساس یک

برای تحلیل دمای سطح زمین و بدست آوردن الگوی جزایر حرارتی شبانه شهر تهران از روش تحلیل نقاط داغ (Hot Spot Analysis) استفاده گردیده است. تحلیل نقاط داغ، آماره Getis-Ord Gi\* را برای کلیه عوارض یک لایه بر اساس یک

ویژگی خاص محاسبه می کند. این ابزار، ویژگی هر عارضه را نسبت به عوارض همسایه آن تحلیل می کند. ممکن است یک عارضه در ارتباط با یک ویژگی خاص به تنهایی ارزش بالایی داشته باشد ولی از نظر تحلیل نقطه داغ، نقطه قابل توجهی نباشد. برای اینکه یک نقطه نظر آماری مهم باشد، باید یک ویژگی دارای ارزش بالایی باشد و درضمن با عوارض دیگر که دارای ارزش های بالایی هستند نیز احاطه می شود.

نحوه محاسبه آماره  $Getis-Ord\ G_i^*$  بصورت زیر می باشد:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n \omega_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{i,j})^2}{n-1}}} \quad (1)$$

در این فرمول  $x_j$  مقدار ویژگی برای عارضه،  $\omega_{i,j}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  و  $n$  تعداد کل عارضه هاست. نحوه بدست آوردن  $\bar{X}$  و  $S$  نیز بصورت زیر می باشد:

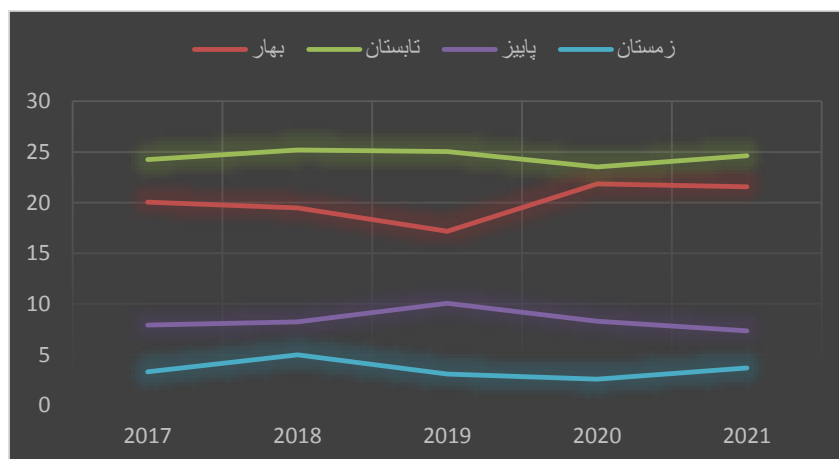
$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2)$$

از آنجا که  $G_i$  خودش نوعی  $Z$  است دیگر نیازی به محاسبه دیگر نیست (۳۴).

#### یافته ها

برای بررسی دمای شبانه سطح زمین در شهر تهران برای دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ میانگین دمای داده های اخذ شده از سنجنده مودیس برای فصلهای چهارگانه محاسبه گردید (شکل شماره ۵).

تغییرات دمای شبانه سطح زمین در محدوده شهر به تفکیک فصول چهار گانه بیانگر این است که فصل تابستان به عنوان گرم ترین (با میانگین ۲۴،۵ درجه سانتی گراد) و فصل زمستان به عنوان سردترین فصل (۳،۵ درجه سانتی گراد) در طی ۵ سال مورد بررسی می باشد. همچنین بررسی میانگین دمای شبانه سطح زمین در محدوده شهر تهران به تفکیک فصل نشان می دهد که بالاترین میانگین دمای فصل زمستان در سالهای مورد بررسی در سال ۲۰۱۸ میلادی با ۴،۹۶ درجه سانتی گراد و پایین ترین میانگین دمای فصل زمستان در سال ۲۰۲۰ میلادی با ۲،۵۶ درجه سانتی گراد به ثبت رسیده است. بررسی نمودار تغییرات میانگین دمای فصل بهار نیز بیانگر این است که در طی دوره مورد بررسی بالاترین میانگین دمای این فصل در سال ۲۰۲۰ میلادی با ۲۱،۸۵ و پایین میانگین دمای این فصل نیز در سال ۲۰۱۹ میلادی با ۱۷،۱۸ درجه سانتی گراد می باشد. در فصل تابستان نیز بالاترین میانگین دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۸ میلادی با ۲۵،۱۹ درجه سانتی گراد و پایین ترین میانگین دما نیز در سال ۲۰۲۰ میلادی با ۲۳،۵۲ درجه سانتی گراد ثبت شده است. بررسی میانگین دمای سطح زمین در فصل پاییز نیز بیانگر این می باشد که بالاترین میانگین مربوط به سال ۲۰۱۹ میلادی با ۱۰،۰۶ درجه سانتی گراد و پایین ترین میانگین مربوط به سال ۲۰۲۱ با ۷،۳۳ درجه سانتی گراد است (شکل شماره ۴).



شکل ۴- نمودار میانگین دمای شبانه سطح زمین (محدوده شهر) در سالهای مورد بررسی

Figure 4. Chart of the average nighttime temperature of the ground surface (city limit) in the studied years

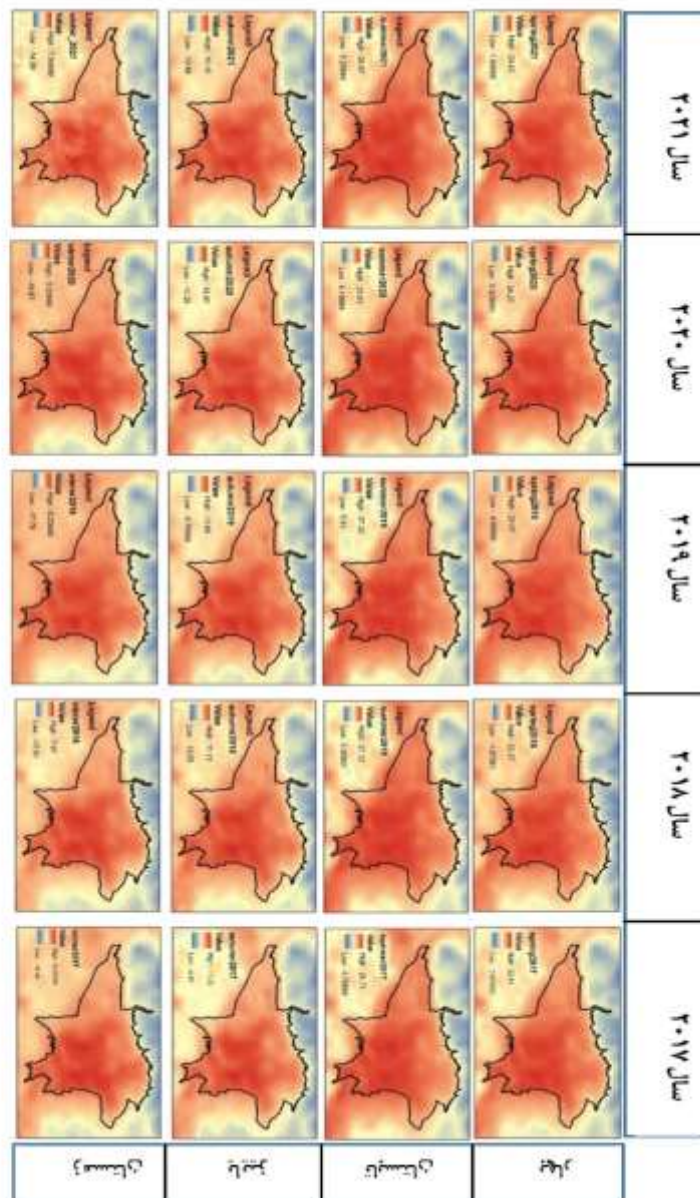
## جدول ۲- دمای سطح زمین در محدوده شهر تهران به تفکیک فصول و سالهای مورد بررسی

Table 2. The surface temperature of Tehran according to seasons and years

| سال     | ۲۰۱۷  | ۲۰۱۸  | ۲۰۱۹  | ۲۰۲۰  | ۲۰۲۱  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| بهار    | ۲۰,۰۳ | ۱۹,۴۶ | ۱۷,۱۸ | ۲۱,۸۵ | ۲۱,۵۶ |
| تابستان | ۲۴,۲۴ | ۲۵,۱۹ | ۲۵,۰۳ | ۲۳,۵۲ | ۲۴,۶۳ |
| پاییز   | ۷,۹۰  | ۸,۲۴  | ۱۰,۰۶ | ۸,۳۰  | ۷,۳۳  |
| زمستان  | ۳,۳۱  | ۴,۹۶  | ۳,۰۷  | ۲,۵۶  | ۳,۶۹  |

میانگین سالانه دمای سطح زمین در محدوده شهر تهران در سال ۲۰۱۸ میلادی با ۱۴,۵ درجه سانتی گراد به عنوان گرمترین و طی ۵ سال مورد بررسی نیز حاکی از این می باشد که سال ۲۰۱۹ با ۱۳,۸ درجه سانتی گراد به عنوان سردترین سال می باشند.

شکل ۵- تغییرات درجه حرارت سطح زمین در محدوده شهر تهران و محیط اطراف به تفکیک فصول و سالهای مورد بررسی  
Figure 5. Changes in the surface temperature of Tehran city and surrounding area according to seasons and years



از نظر فضایی نیز همانطور که در نقشه های تغییرات دمای سطح زمین مشاهده می شود در محدوده مورد بررسی، پایین ترین میانگین دما به نواحی کوهستانی شمال تهران (خارج از محدوده شهر) و بالاترین میانگین دما به داخل محدوده شهر (قسمت های مرکزی، جنوبی و جنوب شرق تهران) اختصاص یافته است. برای بررسی دقیق تر اختلاف دمای سطح زمین در محدوده مورد بررسی پس از روی هم گذاری نقشه های دمای سطح زمین (فصلها) و محاسبه میانگین ارزش پیکسل ها، برای هر سال مورد بررسی یک نقشه بدست آمد که در نهایت با روی هم گذاری ۵ نقشه (محاسبه میانگین ارزش پیکسل ها)، نقشه نهایی میانگین تغییرات دمای سطح زمین بدست آمد. برای بررسی اختلاف دمای سطح داخل شهر با فضاهای بیرونی نیز دمای پهنه های خارج از شهر بر اساس جهت قرارگیری و ساختار طبیعی- انسانی به ۶

پهنه تقسیم و میانگین دمای سطح زمین در آنها محاسبه و با میانگین دمای سطح محدوده شهر و مناطق مرکزی شهر مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی فضایی تغییرات دمای شبانه سطح زمین بر اساس نقشه بدست آمده نشان می دهد که اختلاف دمای محدوده شهر با فضاهای خارج از محدوده شهر بین ۲,۶۴ تا ۱۳,۶۴ درجه سانتی گراد است. بیشترین اختلاف دمایی محدوده شهر تهران با پهنه کوهستانی شمال و کمترین اختلاف با پهنه جنوبی (فضاهای ساخته شده محور اسلامشهر) می باشد. البته در صورتی که دمای سطح زمین در محدوده مرکزی شهر تهران (مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲) را در نظر بگیریم اختلاف با پهنه های اطراف به ۵,۶۱ تا ۱۶,۶۱ درجه سانتی گراد افزایش می یابد.

### جدول ۳- تفاوت دمای شبانه سطح زمین در محدوده شهر تهران با پهنه های اطراف

Table 3. The difference between the night surface temperature in Tehran and the surrounding areas

| میانگین دمای سطح زمین |                                                                                  |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۲,۶۹                 | کل محدوده شهر تهران                                                              |
| ۲۵,۶۶                 | محدوده مرکزی شهر تهران (مناطق ۱۰، ۱۱ و ۱۲ شهرداری)                               |
| ۹,۰۵                  | پهنه کوهستانی شمال شهر تهران (خارج از محدوده)                                    |
| ۱۷,۰۳                 | پهنه شرقی تهران- فضاهای باز (خارج از محدوده)                                     |
| ۱۷,۳۷                 | پهنه جنوبی تهران- شامل مزارع و فضاهای باز (خارج از محدوده)                       |
| ۲۰,۰۵                 | پهنه جنوبی تهران- شامل فضاهای ساخته شده محور چهاردانه -اسلامشهر (خارج از محدوده) |
| ۱۸,۲۲                 | پهنه جنوب غربی- شامل فضاهای باز و ساخته شده (خارج از محدوده)                     |
| ۱۹,۸۰                 | پهنه غربی- شامل شهرک های ساخته شده محور کرج (خارج از محدوده)                     |

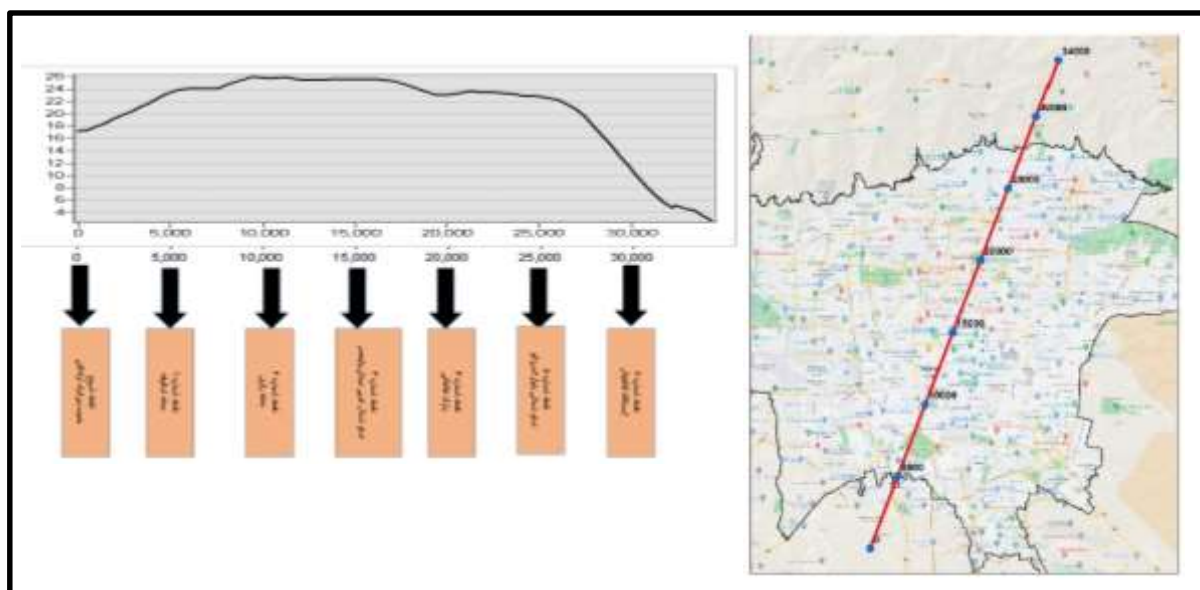
اختلاف دمای شبانه سطح زمین بین محدوده مرکزی شهر تهران با کل محدوده شهر نیز در حدود ۲,۹۷ درجه سانتی گراد می باشد که نشان می دهد این مناطق دمای بیشتری را نسبت به کل شهر تجربه می نمایند. از نکات قابل توجه دیگر در این زمینه تفاوت های میان میانگین دماهای محاسبه شده برای پهنه های مختلف می باشد، به گونه ای که کمترین دما به فضاهای کوهستانی شمال شهر (با ۹,۰۵ سانتی گراد) اختصاص دارد که دلیل این امر را می توان به ساختار طبیعی این محدوده مرتبط

دانست. پهنه های شرقی (فضاهای باز) و جنوبی تهران (فضاهای باز- مزارع و باغات) نیز با میانگین ۱۷,۰۳ و ۱۷,۳۷ درجه سانتی گراد بعد از پهنه شمالی کمترین میزان دمای سطح را به خود اختصاص داده اند که این امر نیز می تواند ناشی از وجود فضاهای باز و مزارع و باغات در این پهنه باشد. پهنه مربوط به محور چهاردانه- اسلامشهر و محور کرج دلیل بالا فضاهای ساخته شده از میانگین دمای شبانه بالاتر نسبت به سایر پهنه های خارج از شهر برخوردار بوده اند.

جدول ۴- اطلاعات مربوط به نقاط پروفیل طولی تغییرات دمای شبانه سطح زمین

Table 4. information of points in profile of nighttime surface temperature changes

| نقاط      | موقعیت                                                                                       | فاصله        | دمای نقاط (درجه سانتی گراد) |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|
| نقطه شروع | جنوب شهر تهران- خارج از محدوده<br>فاصله ۳۴۰۰ متری جنوب بزرگراه آزادگان                       | نقطه شروع خط | ۱۷,۳۶                       |
| نقطه ۱    | منطقه ۱۹ محله شکوفه مابین خیابانهای شکوفه و بخشنده                                           | ۵۰۰۰ متری    | ۲۴,۳۴                       |
| نقطه ۲    | در منطقه ۱۱، محله رازی بین خیابانهای قزوین، هلال احمر، مرادی و نواب                          | ۱۰۰۰۰ متری   | ۲۵,۸۰                       |
| نقطه ۳    | منطقه ۶، ضلع شمال غربی میدان ولیعصر بین خیابانهای فلسطین شمالی، ولیعصر، بلوار کشاورز و زرتشت | ۱۵۰۰۰ متری   | ۲۵,۶۴                       |
| نقطه ۴    | منطقه ۳، ضلع شرقی پارک طالقانی                                                               | ۲۰۰۰۰ متری   | ۲۳,۱۴                       |
| نقطه ۵    | منطقه ۱، ضلع شمالی تقاطع بلوار صبا- اندرزگو و کاوه                                           | ۲۵۰۰۰ متری   | ۲۲,۸۲                       |
| نقطه ۶    | شمال شرق تهران- خارج از محدوده فاصله ۱۰۰۰ متری شمال شرقی ایستگاه شماره ۱ کلکچال              | ۳۰۰۰۰ متری   | ۱۰,۳۴                       |



شکل ۶- مشخصات پروفیل تغییرات دمای شبانه سطح زمین

Figure 6. Characteristics of the profile of changes in the surface nighttime temperature

برای بررسی پروفیل تغییرات دمای شبانه سطح زمین در شهر تهران بصورت نمونه یک مسیر ۳۴ کیلومتری مورد مطالعه قرار گرفته است. این مسیر از جنوب شهر تهران، اطراف بزرگراه آزادگان شروع شده و با گذشتن از محدوده محلات شکوفه، رازی، میدان ولیعصر، پارک طالقانی و بلوار صبا- اندرزگو به کوهستانهای شمال شرقی تهران می رسد. پروفیل تغییرات دمای شبانه سطح زمین نشانگر این است که با حرکت از نقطه شروع به سمت مرکز شهر (نقطه شماره ۲- واقع در محله رازی) دما

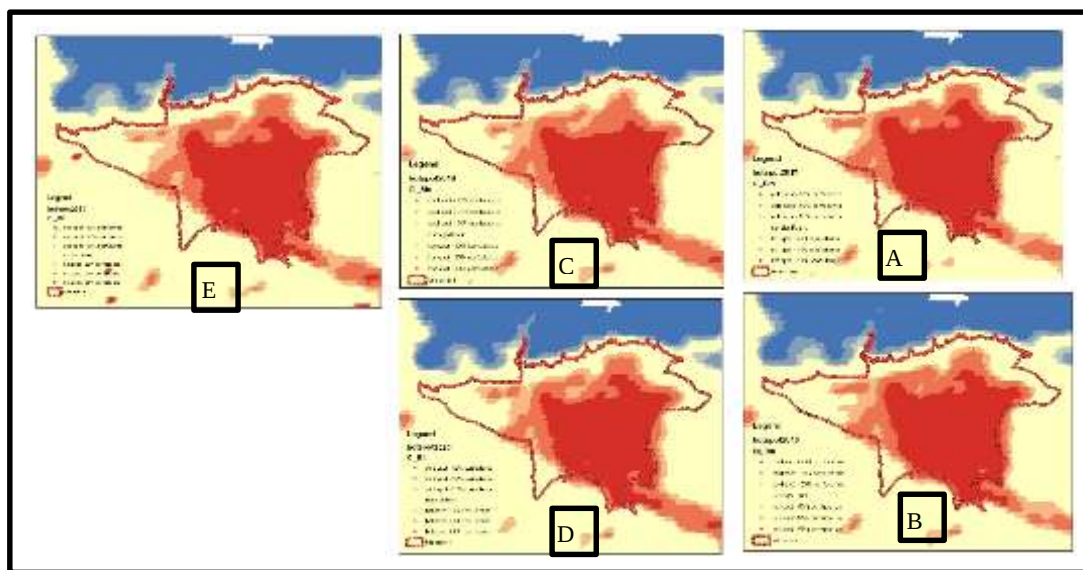
برای بررسی پروفیل تغییرات دمای شبانه سطح زمین در شهر تهران بصورت نمونه یک مسیر ۳۴ کیلومتری مورد مطالعه قرار گرفته است. این مسیر از جنوب شهر تهران، اطراف بزرگراه آزادگان شروع شده و با گذشتن از محدوده محلات شکوفه، رازی، میدان ولیعصر، پارک طالقانی و بلوار صبا- اندرزگو به کوهستانهای شمال شرقی تهران می رسد. پروفیل تغییرات دمای شبانه سطح زمین نشانگر این است که با حرکت از نقطه شروع به سمت مرکز شهر (نقطه شماره ۲- واقع در محله رازی) دما

افزایش می یابد و از این نقطه به بعد دما روند کاهشی به خود می گیرد تا در نقطه انتهایی که در پهنه کوهستانی شمال تهران می باشد به پایین ترین حد خود می رسد. از نکات قابل توجه در این پروفیل کاهش ناگهانی دما در نقطه پارک طالقانی می باشد که باعث ایجاد یک تغییر ناگهانی در شیب پروفیل گردیده است و نشانگر تاثیر مثبت فضاهای سبز در کاهش دما می باشد (شکل ۶).

در مرحله نهایی برای شناسایی الگوی جزایر حرارتی شبانه شهر تهران از تحلیل نقاط داغ استفاده شده است. به همین منظور نقشه میانگین دمای سالیانه سطح زمین (شبانه) در سالهای ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ با استفاده از روش نقاط داغ آنالیز شده که نتایج آن در شکل شماره ۷ نشان داده شده است. همانطور که در نقشه های تولید شده مشاهده می گردد پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد (دمای بالاتر از

میانگین) به رنگ قرمز تیره، پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۵ درصد به رنگ قرمز کم رنگ تر و پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۰ درصد به رنگ صورتی نمایش داده شده است. پهنه های زرد رنگ نیز در برگیرنده مناطق فاقد اهمیت از نظر تحلیل آماری می باشند. پهنه های سرد نیز با رنگ آبی مشخص گردیده اند که هر چقدر به سمت آبی تیره حرکت می کنیم سطح اطمینان آماری افزایش می یابد. در این تحقیق پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد به عنوان جزیره حرارتی شهر تهران در نظر گرفته شده است.

بر اساس یافته های بدست آمده بیشترین سطح از محدوده شهر تهران به پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد اختصاص یافته است که میزان آن بین ۴۰ تا ۴۵ درصد مساحت کل محدوده شهر از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ در نوسان می باشد.



شکل ۷- نتایج تحلیل نقاط داغ به تفکیک سالهای مورد بررسی

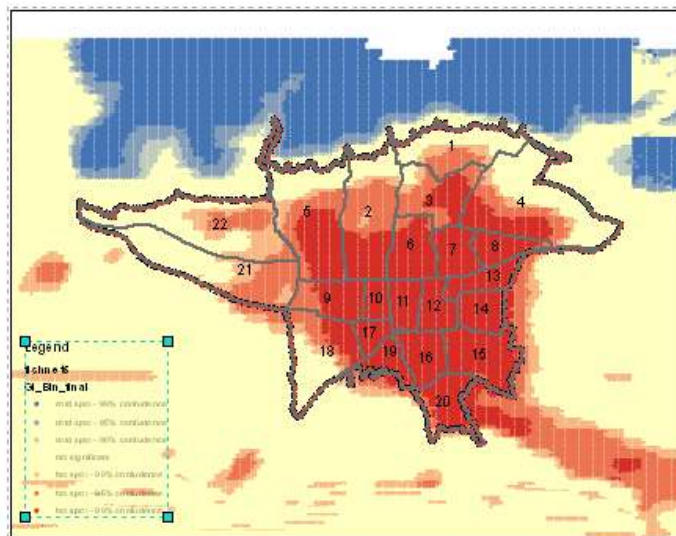
(A= سال ۲۰۱۷، B= سال ۲۰۱۸، C= سال ۲۰۱۹، D= سال ۲۰۲۰، E= سال ۲۰۲۱)

Figure 7. The results of analysis of hot spots according to the studied years

(A= 2017, B= 2018, C= 2019, D= 2020, E= 2021)

تحلیل نقاط داغ در طی ۵ سال مورد بررسی با هم تلفیق گردید که نتیجه آن در شکل ۸ نمایش داده شده است.

از نظر فضایی نیز این پهنه ها در برگیرنده مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی شهر هستند. فرم و شکل فضایی این پهنه ها در سالهای مورد بررسی نیز شباهت زیادی با هم دارند. برای شناسایی بهتر الگوی جزایر حرارتی شهر نقشه های مربوط به



شکل ۸- نقشه نهایی تحلیل نقاط داغ به تفکیک مناطق تهران (میانگین ۵ ساله)

Figure 8. The final map of analysis of hot spots by Tehran regions (5-year average)

آماري شهر تهران مي باشد. از ديگر دلايل بالا بودن دماي سطح زمين در اين مناطق ريزدانه بودن بودن بافت و عدم وجود فضاهای باز و سبز در اين مناطق مي باشد که البته بررسی اين امر نیازمند تحقیقات بیشتر در این خصوص می باشد.

از نکات دیگری که بعنوان نتیجه گیری بخش اول می توان مطرح نمود، وجود شهرها و شهرک های اطراف شهر تهران می باشد که این شهرها و شهرک ها نیز با روند رو به رشد خود در حال تبدیل شدن به پهنه ها و جزایر حرارتی در اطراف شهر تهران می باشند. این پهنه ها را می توان با شدت بیشتر در محور پاکدشت و ورامین و با شدت کمتر در محورهای اسلامشهر، کرج و شهریار مشاهده کرد.

نتایج بدست آمده از یافته های تحقیق در بخش داده ها و روشهای مورد استفاده نیز نشان می دهد که داده های مورد استفاده (داده MOD11A2 سنجنده مودیس) قابلیت خوبی در بررسی تغییرات دمای سطح زمین در مناطق شهری دارند ولی با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین (یک کیلومتر) توان نمایش جزئیات را ندارند و برای تکمیل نیازمند روشهای زمینی مثل داده های اخذ شده از ایستگاه های هواشناسی هستند. روش مورد استفاده در تحلیل داده ها (تحلیل نقاط داغ) نیز نشان داد که این روش، روش مناسبی جهت شناسایی و طبقه بندی دمای

بر اساس اطلاعات نقشه نهایی تولید شده جزایر حرارتی شهر تهران در برگیرنده کلیه مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی تهران می باشد. مناطق ۲۲، ۲۱ و ۱ مناطقی هستند که هیچ قسمتی از آنها در داخل این پهنه قرار نگرفته است و عبارتی فاقد پهنه های داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد هستند.

### بحث و نتیجه گیری

این تحقیق با هدف تحلیل دمای شبانه سطح زمین و شناسایی الگوی جزایر حرارتی شهر تهران در طی سالهای ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ انجام گردید. نتایج تحقیق را می توان در دو بخش مورد بررسی قرار داد. بخش اول نتیجه یافته های بدست آمده از تحقیق در خصوص تحلیل دمای شبانه سطح زمین در شهر تهران می باشد و بخش دوم کارایی کاربرد داده های و روشهای مورد استفاده در تحقیق است.

همانطور که یافته های تحقیق نشان داد دمای شبانه سطح زمین در شهر تهران در قسمت های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی نسبت به سایر قسمت ها بالاتر می باشد که از عمده ترین دلایل آن می توان به تراکم بالای جمعیتی در این مناطق اشاره داشت. بر اساس آمار سرشماری های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ در برخی از حوزه های آماری این مناطق تراکم جمعیتی بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ نفر در هکتار را شامل می گردد که بالاترین تراکم جمعیتی در حوزه های

5. Vaidyanathan. A., Malilay. J., Schramm. P., Saha. S. 2020. [Heat-related deaths — United States, 2004–2018](#). *Morbidity and Mortality Weekly Report* 69(24), pp.729–734.
6. Fathi, A. 2019. Iran's urban population and its future with a look at the metropolitan population, Research Institute of Statistics Publication, Research Institute of Statistics Publications
7. Rhee. Jinyoung. Park. Seonyoung. Lu. Zhenyu. 2014. Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas, *GIScience & Remote Sensing*. Vol 51:5, pp. 521-536
8. Grigoras. G., Uritescu. B. 2018. Spatial Hotspot Analysis of Bucharest's Urban Heat Island (UHI) Using Modis Data. *Annals of Valahia University of Targoviste, Geographical Series*. Vol 18, pp. 14 - 22
9. Shamsipour. A., Mahdian Mahfrozi. M., Akhwan. E., Hosseinpour. Z. 2011. Analyzing the daily behavior of the thermal island of Tehran. *Environmental Science*. Vol 38(4). (In Persian)
10. Halabian. A., Soltani. Z. 2019. Analyzing the spatial-temporal changes of urban heat islands and land use with an environmental approach in Shiraz. *Urban structure and function studies*. Vol 7(24), pp.73-97. (In Persian)
11. Mohammadpour. AS., Alijani. B., Akbari. M., Ziaian Firouzabadi. P. 2019. Spatial and temporal analysis of heat islands in urban areas of Gorgan. *Journal of Geographical Survey of Space*. Vol 10(38), pp. 157-172. (In Persian)
12. Najafian Gurji. M., Moghimi. A., Mohammadi. H. 2016. Evaluation of

سطح زمین بوده و نوسانات جزایر حرارتی سطحی را به خوبی نشان می دهد.

در پایان نتایج بدست آمده تحقیق در خصوص الگوی جزایر حرارتی سطحی با سایر تحقیقات مشابه که محدوده مطالعه شان تهران بوده مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه صورت گرفته نشان داد که نتایج این تحقیق در هماهنگی با نتایج تحقیقات شمسی پور و همکاران، هاشمی دره بادامی و همکاران، Bokaei و همکاران، Zoghi و همکاران و Zargari و همکاران می باشد. در بیشتر این تحقیقات الگوی شبانه جزایر حرارتی سطحی شهر تهران در مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی شناسایی گردیده بوده که با مناطق شناسایی شده این تحقیق تطابق دارد. در تحقیقات مشابه دیگر چون الگوی روزانه جزایر حرارتی سطحی نیز مورد مطالعه بوده است مناطق شناسایی شده با مناطق تحقیق حاضر هماهنگی ندارد.

## References

1. Xiao. R-B., Ouyang. Z-Y., Zheng. H., Li. W-F., Schienke. EW., Wang. X-K. 2007. Spatial patterns of impervious surfaces and their impact on land surface temperature in Beijing, China. *J Environ Sci*, Vol.19, pp. 250–256
2. Dousset. B., Gourmelon. F. 2003. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. *ISPRS J Photogrammetry and Remote Sens*, Vol.58, pp.43–54
3. EPA. 2021. Heat Island Effects. see information in: <https://www.epa.gov/heatislands>
4. Santamouris. M. 2020. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy and Buildings Journal*, Vol. 207, Article. 109482

- <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50757-2>
18. Haashemi. S., Qihao. W., Darvishi. A., Alavipanah. K. 2016. Seasonal Variations of the Surface Urban Heat Island in a Semi-Arid City. *Remote Sensing* Vol 8., no. 4, pp. 352
  19. Shahfahad Rihan. M., Naikoo. M.W., Ali. M.A., Usmani.T.M.,Rahman. Atiqur. 2021. Urban Heat Island Dynamics in Response to Land-Use/Land-Cover Change in the Coastal City of Mumbai. *J Indian Soc Remote Sens.* Vol 49, pp. 2227–2247
  20. Yin. C., Yuan. M., Lu. Y., Huang. Y., Liu. Y. 2018. Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Sci. Total Environ.* Vol 634, pp.696–704
  21. Li. Y., Schubert. S., Kropp. J.P. 2020. On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nat Commun.* Vol 11, 2647
  22. Sun. Y., Gao. C., Li. J., Wang. R., Liu. J. 2019. Quantifying the Effects of Urban Form on Land Surface Temperature in Subtropical High-Density Urban Areas Using Machine Learning. *Remote Sensing*, Vol 11(8), 959.
  23. Najafzadeh F, Mohammadzadeh A, Ghorbanian A, Jamali S. Spatial and Temporal Analysis of Surface Urban Heat Island and Thermal Comfort Using Landsat Satellite Images between 1989 and 2019: A Case Study in Tehran. *Remote Sensing [Internet]*. 2021 Nov 7;13(21):4469. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/rs13214469>
  24. Coutts. A. M., Tapper. N. J., Beringer. J., Loughnan. M., Demuzere. M. 2013. Watering our cities: The capacity for the trend of temperature changes, thermal island pattern and vegetation cover during hot days in Tehran. *Natural Geography*. Vol 10(38), pp. 1-18. (In Persian)
  13. Rezaei Rad, H., Rafiyan, M. Estimating the spatio-temporal intensity changes of the heat island of Tehran metropolis using LANDSAT8 and ASTER satellite images. *Regional Planning Scientific-Research Quarterly*, 2016; 7(27): 47-60.
  14. Hashemi Darebadami. S, Darvishi Boloorani, A. AlaviPanah, S K. maleki, M. Bayat, R. Investigation of changes in surface urban heat-island (SUHI) in day and night using multi-temporal MODIS sensor data products (Case Study: Tehran metropolitan). *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 2019; 19 (52) :113-128
  15. Bokaie, M. Shamsipour, A. Khatibi, P. Hosseini, A. Seasonal monitoring of urban heat island using multi-temporal Landsat and MODIS images in Tehran. *International Journal of Urban Sciences*, 2019; 23:2, 269-285, DOI: 10.1080/12265934.2018.1548942
  16. Azizi, Z., Zoghi, N . Behzadi, S. A Modeling of Urban Heat Island using Artificial Neural Network and Remote Sensing in Tehran: Artificial Neural Network and Remote Sensing. *International Journal of Next-Generation Computing*, 2023; 14(4). <https://doi.org/10.47164/ijngc.v14i4.1314>
  17. Zargari, M. Mofidi, A. Entezari, A. et al. Climatic comparison of surface urban heat island using satellite remote sensing in Tehran and suburbs. *Sci Rep*, 2024; 14, 643.

- outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba. *Fuel and Energy Abstracts*.
30. Lin. T., Matzarakis. A., Hwang. R.L. 2010. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*. Vol 45, pp.213-221.
31. Soltani. A., Sharifi. E. 2017. Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery: A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*. Vol 6(4), pp. 529-538.
32. Sharifi. E., Lehmann. S. 2014. Comparative analysis of surface urban heat island effect in central Sydney. *Sustain. Dev.* Vol 7 (3) , pp.23-34
33. Wan. Z., Hook. S., Hulley. G. 2015. MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Accessed 2022-02-17 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006>
34. Asgari. A. 2010. Spatial statistical analysis with ArcGIS, Technology and Communication Organization of Tehran Municipality. (In Persian)
- Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, Vol 37(1), pp. 2-28
25. Samuels. R., Randolph. B., Graham. P., McCormick. T., Pollard. B., Sydney. H. 2010. Micro-Urban-Climatic Thermal Emissions in a Medium-Density Residential Precinct. Sydney: University of New South Wales.
26. Karatasou. S, Santamouris. M., Geros.V.2006. Modeling and predicting building's energy use with artificial neural networks: Methods and results. *Energy and Buildings*, Vol 38, Issue 8, pp 949-958.
27. Andreou. E. 2013. Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*, Elsevier. Vol 55(C), pp.182-188.
28. Johansson. E. 2006. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*. Vol 41, pp.1326-1338.
29. Krüger. E.L., Minella. F.O., Rasia. F.B. 2011. Impact of urban geometry on