



Assessment of Impacts Controllable Factors on Urban Heat Islands Using Multiple Regression Analysis (Case Study: Tabriz Metropolis)

Mojtaba Azmoon¹, Ghader Ahmadi^{2*}

1. MSc student of Urban Planning, Faculty of Architecture, Urban Planning and Art, Urmia University, Urmia, Iran.

2. Associate Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Architecture, Urban Planning and Art, Urmia University, Urmia, Iran.

Received Date: 02 September 2024 Accepted Date: 04 December 2024

Abstract

Background and Aim: Urban heat islands have become one of the most challenging issues in urban studies. In addition to their primary impact on average temperature, heat islands can also have secondary effects on local meteorology. Urban heat islands are primarily caused by excessive surface heating and heat storage, pollution emissions, human heating, wind circulation barriers, and reduced evapotranspiration.

Methods and Material: In this study, the split-window algorithm of Landsat 8 sensor with a combination of thermal bands 10 and 11 was used to obtain land surface temperature during the day, and the MODIS sensor was used to obtain land surface temperature at night. To determine the heat island region in the city, global and local Moran's I autocorrelation analyses and Getis-Ord Gi hotspot analysis, both performed in ArcMap software, were used. Multiple linear regression analysis in SPSS software was used to obtain the maximum impact of indices.

Results and Discussion: The results indicate that the hottest points during the day were in Region 6 around Tabriz Airport with a temperature of 27.27 degrees Celsius, and at night, the temperature was 17.07 degrees in Region 3. According to spatial Moran's I analysis, both heat islands had a clustered pattern. According to regression results, open spaces and soil texture, with a score of 0.700, had the greatest impact on urban heat islands due to their high heat capacity and were the coolest surfaces at night. The least impact was from built spaces with reflective roofs, with a score of -0.192, which had a cooling effect. Building height with shading and random density had a negative effect on increasing heat. However, the influential index on nighttime heat islands was in conditions where the building density was moderate and the orientation was appropriate, but the height-to-width ratio of the passageway was 1.31 and 0.825, respectively, which caused heat retention.

Key words: Urban heat islands, urban morphology, Arc GIS, multiple regression, Tabriz.

* Corresponding Author Email: : gh.ahmadi@urmia.ac.ir

Cite this article: Azmoon, M., & Ahmadi, G. (2024). Assessment of Impacts Controllable Factors on Urban Heat Islands Using Multiple Regression Analysis (Case Study: Tabriz Metropolis). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 5(4), 14-27.



شاپا: ۰۷۶۴-۲۷۸۳

دوره ۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۸، زمستان ۱۴۰۲

Journal Homepage <https://www.srds.ir/>
https://www.srds.ir/article_202038.html

ارزیابی تأثیرات عوامل قابل کنترل بر جزایر شهری به روش رگرسیون چندگانه (نمونه موردی: کلانشهر تبریز)

مجتبی آزمون^۱، قادر احمدی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: جزایر حرارتی شهری به یکی از چالش برانگیزترین موضوعات در مطالعات شهری شده و علاوه بر تأثیر اصلی در میانگین دما، جزایر گرمایی می‌توانند تأثیرات فرعی بر هواشناسی محلی را نیز داشته باشند. جزایر حرارتی شهری عمدتاً ناشی از گرمایش بیش از حد سطح و ذخیره گرما، انتشار آلودگی، گرمایش انسانی، مانع از گردش باد و تبخیر و تعرق کمتر است.

روش بررسی: در پژوهش حاضر، با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا از سنجنده لندست ۸ با ترکیب باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ برای بدست آوردن دمای سطح زمین در روز و از سنجنده مودیس برای بدست آوردن دمای سطح زمین در شب استفاده شده است. برای تعیین منطقه جزایر حرارتی در شهر از تحلیل‌های خودهمبستگی فضای جهانی و محلی موران و دومی تحلیل کانون داغ گتیس که هردو در نرم افزار آرک مپ انجام شده، برای بدست آوردن بیشترین تاثیر شاخص‌ها از تحلیل رگرسیون چندگانه خطی در نرم افزار اسپاس اس استفاده شده است.

یافته ها و نتیجه گیری: نتایج حاصله این چنین است که بیشترین نقاط داغ در زمان روز در منطقه شش اطراف فرودگاه تبریز با دمای ۲۷/۲۷ درجه و در شب دما ۱۷/۰۷ در منطقه سه بود با توجه به تحلیل فضایی موران هردو جزایر حرارتی دارای الگوی خوشه‌ای بوده، با توجه به نتایج رگرسیون به صورت تک به تک بیشترین تاثیر در جزایر حرارتی شهری با امتیاز ۰/۷۰۰ فضای باز و بافت خاکی به دلیل ظرفیت حرارتی بالا بوده و در شب خنک ترین سطح بود و کمترین تاثیر فضای ساخته شده با بام‌های بازتابنده با امتیاز منفی ۰/۱۹۲ بود و اثر خنک کنندگی دارد و ارتفاع ساختمان‌ها با سایه اندازی و تراکم تصادفی اثر منفی در افزایش گرما داشتند. ولی شاخص تاثیر گذار بر جزایر حرارتی شبانه در شرایطی بود که تراکم ساختمانی متوسط و جهت گیری مناسب بوده ولی نسبت ارتفاع به عرض معبر یکی ۱/۳۱ و دیگری ۰/۸۲۵ بود که موجب احتباس گرما می‌شود.

کلید واژه‌ها: جزایر حرارتی شهری، مورفولوژی شهری، Arc Gis، رگرسیون چندگانه، تبریز.

* نویسنده مسئول: gh.ahmadi@urmia.ac.ir

ارجاع به این مقاله: آزمون، مجتبی، احمدی، قادر. (۱۴۰۳). ارزیابی تأثیرات عوامل قابل کنترل بر جزایر شهری به روش رگرسیون چندگانه (نمونه موردی: کلانشهر تبریز). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۵(۴)، ۱۴-۲۷.

مقدمه و بیان مسأله

پدیده‌های که به موجب آن مناطق شهری درجه حرارت گرم‌تر از محیط اطراف خود را تجربه می‌کنند (عبدی، ۱۳۹۶: ۲). جزایر حرارتی شهری به یکی از چالش برانگیزترین موضوعات در مطالعات شهری تبدیل شد. دو نوع اصلی جزایر حرارتی شهری (SFÎCĂ) استفاده از حسگرهای درجا نصب شده بر روی ایستگاه‌های آب‌وهوای ثابت یا روی وسایل نقلیه‌ای که اندازه‌گیری‌های متحرک را انجام می‌دهند اندازه‌گیری می‌شود. ثانیاً، دمای جزایر حرارتی شهری نشان‌دهنده تفاوت دمای تابشی بین سطوح شهری و غیر شهری است که معمولاً با استفاده از دمای سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود (SFÎCĂ et al, 2023: 1).

جزایر گرمایی می‌توانند تأثیرات فرعی بر هواشناسی محلی را نیز داشته باشند. جزیره گرمای شهری (UHI) معمولاً به عنوان گرمای جوی نسبی یک شهر در مقایسه با حومه اطراف تعریف می‌شود، این مطالعات نه تنها به دلیل علاقه علمی، بلکه با فوریت برای رسیدگی به معضل گرمایشی و مصرف انرژی بالا برای خنک‌سازی فضا که می‌تواند در شهرهای واقع در عرض‌های جغرافیایی پایین و متوسط در طول ماه‌های گرم‌تر غالب شود انجام شده است (Martilli et al, 2020: 2)، که این گرما نیز بر آسایش حرارتی تأثیر می‌گذارد (Marando et al, 2019).

افزایش دادن فضای سبز و پوشش گیاهی یکی از راه حل‌های موثر در جهت کاهش دادن جزیره حرارتی شهری است اثر خنک‌کنندگی دارد (Yan et al, ۲۰۲۰).

این پدیده به طور مثبت با میزان جمعیت شهر و هندسه دره‌های باریک شهری (خیابان) در ناحیه مرکز شهر مرتبط است. افزودن یک دره شهری، توانایی سطح را برای رهاکردن گرما توسط تابش خورشید را محدود می‌کند، زیرا آسمان با دیوارهایی که بخشی از تابش طول موج خروجی را مسدود می‌کند، جایگزین می‌شود. قرار گرفتن در راستای آسمان را می‌توان با استفاده از ضریب دید به آسمان نشان داد و با نسبت ارتفاع به عرض دره شهری تخمین زده می‌شود، همچنین مصالح شهری که رنگ تیره و متراکم و نفوذ ناپذیر موجب کاهش بازتابش نور خورشید می‌شود و موجب می‌شود که این گرما را در طول شب آزاد کند (Roth, 2013).

مبانی نظری

اولین شواهد معتبر از اثر جزیره گرمایی شهری (UHI) توسط لاک هوارد ارائه شد: دما در مرکز شهر بالاتر از دمای حومه شهر است. در پاسخ به این پدیده تحقیقات گسترده‌ای در آزمایشگاه لورنس واقع در برکلی صورت گرفت که ایجاد سطوح سرد شهری و بام‌های سرد از نتایج این آزمایشات بود (حاجی فتحعلی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۹۷).

تغییرات آب و هوایی منطقه‌ای ناشی از اثر جزیره حرارتی شهری بوده که می‌تواند منجر به افراط‌هایی مانند امواج گرما و سیل شود (Ul lah et al, ۲۰۲۳). در عین حال، اثر جزیره حرارتی شهری با افزایش مصرف انرژی و آب، انتشار کربن دی‌اکسید، آسایش حرارتی و آلودگی هوا، سلامت و آسایش ساکنان شهری را مختل خواهد کرد (Sant anouris, ۲۰۱۴).

پدیده جزیره گرمای شهری که به عنوان تفاوت دمایی بین شهرها و مناطق اطراف تعریف می‌شود، در چند سال گذشته به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است تا مکانیسم آن را آشکار کند و استراتژی‌های کاهش را توسعه دهد. با این وجود، دو نوع متمایز دما را می‌توان برای اندازه‌گیری استفاده کرد:

(۱) دما که به دمای هوا در لایه سایبان (CUHI) اشاره دارد.

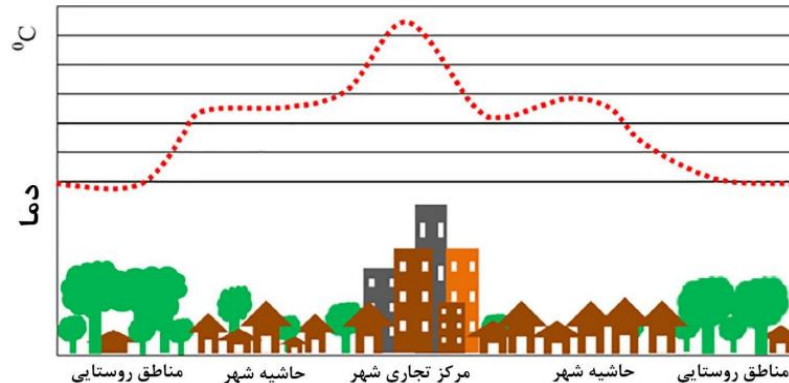
(۲) دمای سطح که به دمای لایه سطحی (SUHI) اشاره دارد.

¹ Canopy urban heat island

² Surface urban heat island

دو نوع جزیره گرمای شهری می‌توانند مکانیسم‌های استخراج متفاوتی داشته باشند و هر استراتژی کاهش مؤثر باید بتواند هر دو را به طور همزمان کاهش دهد.

اصلی‌ترین عامل بروز پدیده جزایر گرمایی سطح در مناطق شهری تغییر سطح زمین ناشی از توسعه شهری است. با گسترش مراکز پرجمعیت، تغییرات در ساختار فیزیکی منطقه به وجود می‌آید که منجر به ایجاد سطوح بزرگتر جزایر گرمایی می‌شود. این تغییرات تعامل مستقیم با میانگین دما در مناطق مورد نظر دارد. به‌صورتی که چگونگی ساختار شهری تأثیر گذار بر ایجاد و گسترش جزایر حرارتی در شهرها باشد. از مولفه‌های مهم دیگر که در تشدید جزایر حرارتی مؤثر است شکل هندسی شهر می‌باشد (محرم پور، ۱۳۹۹: ۱۹).



شکل ۱. پروفیل حرارتی شهری (نعیم جعبی، ۱۴۰۰).

تأثیرات مورفولوژی شهر بر جزایر حرارتی

یکی از مهمترین دلایلی که در شدت یافتن پدیده جزیره حرارتی شهری تأثیر دارد، هندسه و مورفولوژی شهر است. این پدیده به طور مثبت با تعداد جمعیت شهر و شکل دره‌های شهری در ناحیه مرکز شهر مرتبط است. افزودن یک دره شهری، توانایی از دست دادن گرمای جذب شده از سطح را محدود می‌کند، زیرا آسمان با دیوارهایی که بخشی از تابش طول موج خروجی را مسدود می‌کند، جایگزین می‌شود. قرار گرفتن در معرض آسمان را می‌توان با استفاده از ضریب دید به آسمان (SVF) نشان داد و گاهی اوقات با نسبت ارتفاع به عرض تنگه (H/W) تخمین زده می‌شود (Roth, 2013). هندسه و شکل شهری در جذب انرژی و تغییرات در گرمایش محیط شهری از طریق نسبت فضاهای داخلی، خارجی و قرارگیری مسیرها، بسیار مؤثر هستند (arsiya & Mazloomi, 2015).

اجزای مورفولوژی شهری

تراکم ساختمانی: ساختمان‌ها از دو جهت بر جزایر حرارتی تأثیر می‌گذارد. سایه اندازی ساختمان‌ها: ساختمان‌ها در اقلیم مرطوب و معتدل علاوه بر سایه در تهویه هوا نیز نقش مؤثری دارد بافت متراکم با تراکم ساختمان زیاد باعث حبس گرما می‌شود و آسایش حرارتی نامطلوبی شکل می‌گیرد (Ali et al, ۲۰۱۷). تراکم ساختمانی‌ها به صورت گام به گام افزایش پیدا کند هم سایه اندازی مطلوبی داشته وهم تهویه هوا در همه سایت انجام می‌پذیرد (Lim and Jamei, Rajagopalan ۲۰۱۴). **نسبت ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معابر H/W :** این شاخص بر تهویه هوا تأثیر می‌گذارد اگر جریان هوا به صورت مستقیم باشد جریان باد با سرعت بالای در کانیون‌های شهری می‌شود و طبق مطالعات آکی نسبت ارتفاع ساختمان نسبت به عرض معابر ۰/۶۵ باشد (Oke, ۱۹۸۸).

¹ Sky View Factor

جهت گیری ساختمان ها: جهت گیری ساختمان به شاخص مهمی مثل باد تاثیر دارد باید به گونه ای باشد که سد راه جریان باد نباشند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲). بادهای پرفشار جزایر حرارتی را از بین می برد (اطری، ۱۳۹۹)؛ به شرطی که جهت گیری ساختمان ها سد راهش نباشند.

جنس نما و بام ساختمان: مصالح ساختمانی استفاده شده در بام، تاثیر گذاری گسترده ای در جذب و بازتابش نور خورشید دارند بامها هرچقدر بازتابش بیشتری داشته باشد بهتر است برعکس نما دمای کمتری دارند (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۲).

سرانه فضای باز: وجود فضای باز (بایر) باعث افزایش دمای سطح زمین می شود ولی وجود فضای باز بین ساختمان در طول خیابان باعث تهویه بیشتر هوا می گردد (Ali et al, 2017).

پیشینه تحقیق

از پژوهش های داخلی که در این حوزه صورت گرفته است می توان به پژوهش های زیر اشاره نمود:

سعیده ناصحی و همکاران در سال ۱۴۰۱ در مقاله ای تحت عنوان (بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران) تاثیر الگوهای مختلف توسعه زمین را بر تغییرات حرارتی، درون محیط ناهمگن شهری ارزیابی و از ۱۸ تصویر ماهواره ای لندست برای سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ (میانگین تصاویر بدون ابر برای هر سال) استفاده نمود. ابتدا الگوهای مختلف توسعه زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست در نرم افزار ساگا جی آی اس بر اساس روش استوارت و اوک تولید شد. در مرحله دوم دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک کانال برای سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ استخراج شد. در مرحله سوم ارتباط بین میانگین دمای سطح زمین و فرم ناهمگن شهر تهران مورد بحث قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان دمای ثبت شده برای میانگین دما برای سال ۱۹۹۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ در رده ها مربوط به رده صنایع سنگین به ترتیب دمای ۳۲/۴۵، ۱۸/۴۸ و ۸۷/۵۱ درجه سانتی گراد است.

خدا کرمی و ونوری (۱۳۹۹)، در پژوهشی با عنوان (تأثیر عملکرد حرارتی مصالح غالب مورد استفاده در نمای ساختمان بر شرایط آسایش حرارتی در معابر شهری اقلیم گرم و خشک) به بررسی تغییرات سطح آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در اثر تغییر مصالح جداره های عمودی دره شهری است. شهر اصفهان به عنوان نمونه شرایط اقلیمی گرم، انتخاب شده است. نتایج این پژوهش، نشان می دهد، تغییر مصالح جداره عمودی از آجر به گرانیت در نسبت وجوه ۵/۰ و خیابان شرقی- غربی سبب کاهش ۱ تا ۱/۱ درجه سانتیگراد دمای هوا، ۱۴/۱ تا ۱۷/۹ درجه سانتیگراد میانگین دمای تشعشعی و ۸ تا ۸/۳ درجه سانتیگراد شاخص PET می شود.

المارکبی و الکاادی در سال ۲۰۲۴ پژوهشی با موضوع «تأثیر مورفولوژی شهری در جزیره گرمای شهری در توسعه ترانزیت محور منچستر». رابطه بین مورفولوژی شهری و جزایر حرارتی شهری در توسعه حمل و نقل محور منچستر بررسی کردند، که این تحقیق با روش تحلیلی مختلف از جمله تحلیل زمینه ای سنجش از راه دور، همبستگی SPSS و تحلیل سانکی، داده های روزهای هفته و آخر هفته منچستر پیکادیلی و دیدزبری شرقی را بررسی می کند. عواملی مانند تراکم جمعیت بالا و درصد بالای کارگران، اثر جزیره حرارتی شهری را در توسعه حمل و نقل محور ها تشدید می کنند. رابطه بین ارتفاع ساختمان و جزیره حرارتی شهری فرض مرسوم یک همبستگی مثبت بین نسبت تعداد طبقه و جزیره حرارتی شهری را به چالش می کشد این مقاله درک ارتباطات پیچیده بین مورفولوژی شهری و جزیره حرارتی شهری را افزایش می دهد و توسعه حمل و نقل محور سازگار با محیط زیست را تسهیل می کند.

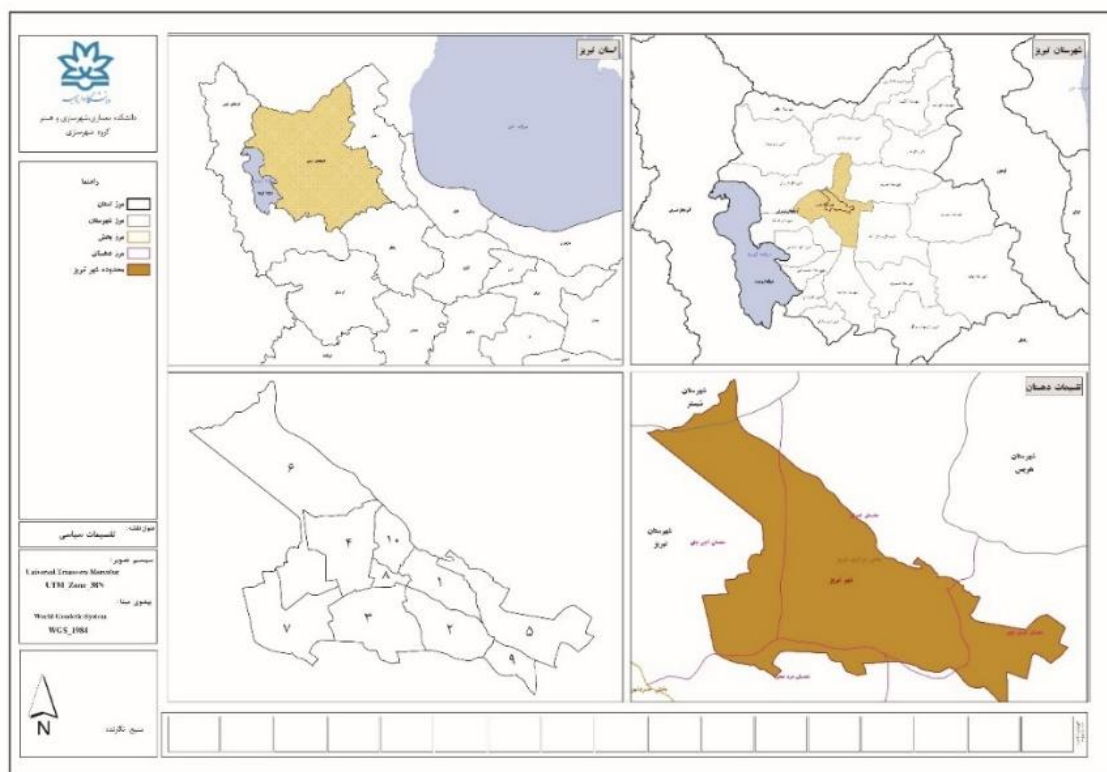
در پژوهشی که توسط (علی و همکاران) در سال ۲۰۱۷ با موضوع «مقایسه جزایر حرارتی شهری سطحی بین لندن و بغداد و راه حل های احتمالی مهندسی برای کاهش» انجام گرفته که از تصاویر ماهواره لندست ۸ و استر به مقایسه دو اقلیم متفاوت استفاده کردند، در پژوهش آنها اثراتی که متریاها بر دمای سطح زمین می گذارد متفاوت بوده یعنی با تغییر کردن اقلیم تاثیرات متریاها نیز تغییر می کند، برای مثال پوشش خاکی در شهر بغداد که اقلیم خشک و نیمه خشک است منجر به افزایش دما می شود در حالی که لندن در اقلیم معتدل و مرطوب قرار دارد پوشش خاکی با اثر خنک کنندگی جلوه می کند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که در

بغداد با پوشاندن خاک با ساخت و ساز باعث کاهش جزایر حرارتی می‌شود ولی این راهکار در لندن با اقلیم معتدل و مرطوب باعث افزایش شدت جزیره حرارتی می‌شود (Ali et al, 2017).

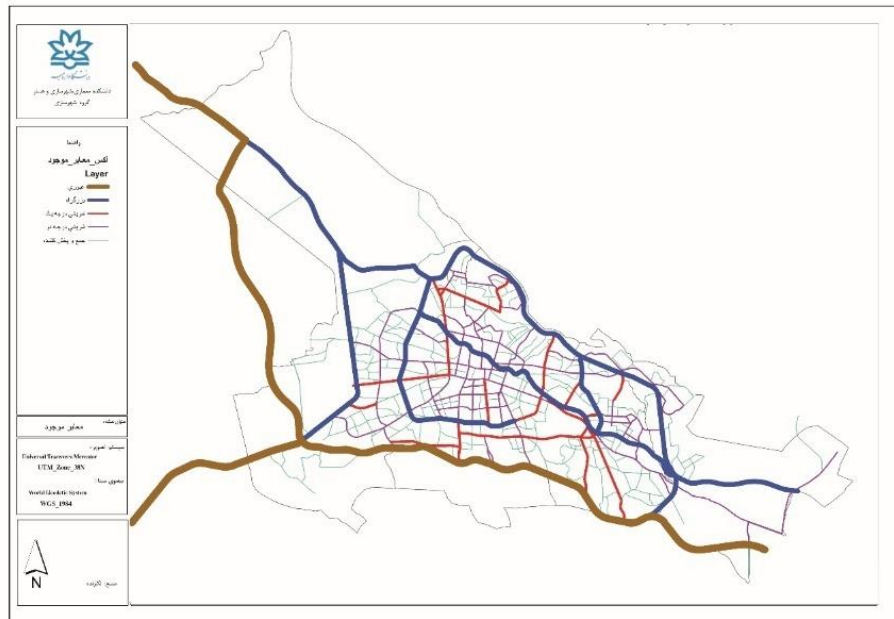
مواد و روش

کلانشهر تبریز

کلانشهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار در ۳۸ درجه و یک دقیقه تا ۳۸ درجه و هشت دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و پنج دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. متوسط ارتفاع این کلانشهر از سطح دریا حدود ۱۴۶۰ متر است. تقسیمات کشوری و جایگاه کلانشهر تبریز در شمال غربی کشور ایران و در امتداد محور بین‌المللی تهران - بازرگان که ایران را به اروپا متصل می‌کند قرار دارد. این کلانشهر دارای موقعیتی کوهپایه‌ای و دشتی است. دشت‌ها و کوهپایه‌ها به دلیل مساعدت‌های بیشتر محیط از گذشته مورد استقبال جامعه بشری بوده و به‌عنوان کانون‌های جاذب برای جمعیت و استقرار سکونتگاه‌ها از اهمیت فوق‌العاده برخوردارند (آزمون و محمدنژاد، ۱۴۰۲). چهارراهی بودن تبریز در بین شهرستان‌های دیگر به عنوان قوی‌ترین عامل شکل‌گیری بافت شهری عمل کرده و استخوان بندی این کلانشهر با توجه به شکل ۳ به صورت شعاعی و نطفه اولیه این کلانشهر از منطقه هشت امروزی است. از مرکز شهر که به سمت شرق و غرب دور شویم استخوان بندی از حالت شعاعی به صورت خطی تغییر می‌کند.

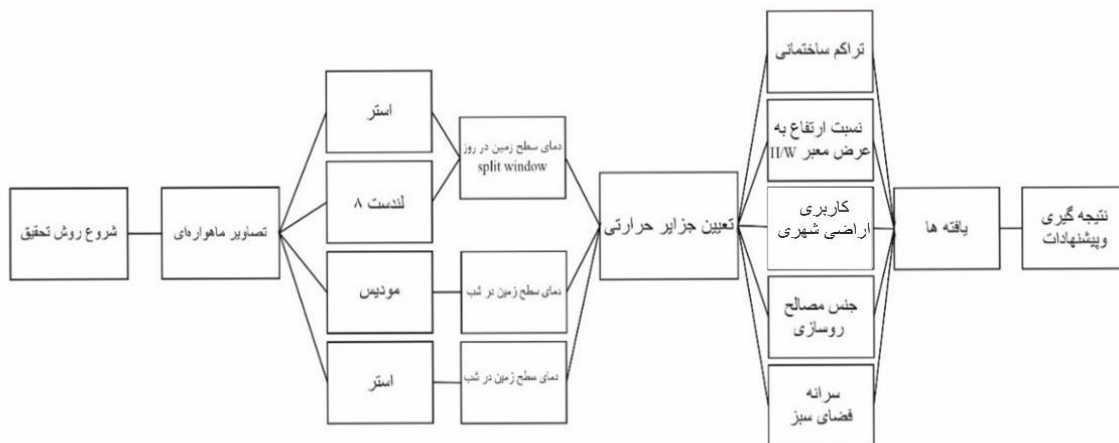


شکل ۲. تقسیمات سیاسی کلانشهر تبریز



شکل ۳. نقشه معابر موجود

با توجه به شکل ۴ اطلاعات پایه این این پژوهش از ماهواره‌های بدست می‌آید که غالباً اطلاعات این ماهواره مربوط به جزایر حرارتی هستند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی پوشش زمین و تشخیص جزایر حرارتی استفاده شده است. با استفاده از سنجنده‌های لندست ۸ باند ۱۰ و ۱۱ حرارتی با روش پنجره مجزا به محاسبه دمای سطح زمین در ساعات روزانه انجام می‌شود و همچنین از سنجنده مودیس برای محاسبه دمای سطح زمین در ساعات شبانه استخراج شده. تصاویر بدست آمده از ماهواره‌ها با نرم افزارهای انوی و آرک مپ به صورت یک لایه اطلاعاتی قرار می‌گیرند تا نقشه‌های دمای سطح زمین بدست آید. در این پژوهش به شناسایی پدیده جزایر حرارتی در سطح شهر و تحلیل الگوهای رفتاری سپس به منطقه بندی با دستور فیشنت در آرک مپ و تحلیل لکه های داغ برای یافتن محل دقیق جزایر حرارتی همچنین از تحلیل رگرسیون چند گانه برای یافتن شاخصی که تاثیر گذاری بیشتری داشته انجام می‌گیرد.



شکل ۴. نمودار فرآیند کار

الگوریتم پنجره مجزا

این الگوریتم یکی از روش‌های بدست آوردن دمای سطح زمین به حساب می‌آید. مطابق **Error! Reference source not found.** ضرایب C جهانی از طریق شبیه سازی از شرایط مختلف اتمسفر و سطح بدست آمده است.

جدول ۱. ضرایب جهانی الگوریتم پنجره مجزا

جدول ۱ مقادیر	ضرایب الگوریتم Garcia Haro						
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
ضریب	-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳۰۰	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰۰	۱۶/۴۰۰

$$TOA(L\lambda) = Ml * Qcal + Al - Oi$$

$L\lambda$ = تابش طیفی، Ml = ضریب درخشندگی «در لندست ۸ عدد ثابت ۰/۰۰۰۳۳۴۲ می‌باشد»، $Qcal$ = باند ۱، Al = افزونه باند درخشندگی «در لندست ۸ عدد ثابت ۰/۱۰۰۰۰ می‌باشد»، Oi = مقدار تصحیح باند ۱۰ «در لندست ۸ عدد ثابت ۰/۲۹ می‌باشد» (Zhang et al, 2022).

$$BT = \frac{K2}{LN\left(\frac{K1}{L\lambda}\right)} - 273.15$$

BT = دمای روشنایی بالایی سطح جو، $K2$ و $K1$ اعداد ثابتی هستند که از متادیتا استخراج شدند «در لندست ۸ عدد ثابتی هستند $K2=1321.0789$ & $K1= 774.8853$ »، $L\lambda$ = تابش طیفی» (Najah et al, 2023).

برای بدست آوردن بخار آب موجود در جو هم می‌توان از فرآورده‌های سنجنده مادیس به صورت میانگین گیری و هم از ایستگاه‌های سینوپتیک گرفت که گزینه دوم دقیق تر و راحت تر است.

برای دستیابی به اطلاعات اولیه از سایت <https://www.ogimet.com/ranking.phtml.en> استفاده می‌شود همچنین با تاریخ دقیق عکس‌های ماهواره‌ای باشد. و در فرمول (۲) جایگذاری می‌شود.

فرمول (۲)

$$w_i = 0.0984 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp\left[\frac{17.27 \times (T - 273.15)}{237.3 + (T - 273.15)}\right] \times RH \right\} + 0.1697$$

T = دمای میانگین روز عکس برداری

RH = رطوبت هوا روز عکس برداری (Lin Liu and Yuanzhi Zhang, 2011)

برای محاسبه m یا LSE با استفاده از فرمول (۳) بدست می‌آید.

فرمول (۳)

$$m = \varepsilon_s \times (1 - FVC) + \varepsilon_v \times FVC$$

$$\Delta m = \frac{LSE_{B10} + LSE_{B11}}{2}$$

ε_v و ε_s = گسیل مندی (جدول ۲ مقادیر جهانی هستند)

$$FVC = \left[\frac{NDVI - NDVI(soil)}{NDVI(vegetation) - NDVI(soil)} \right]$$

$$FVC = NDVI - 0.15 \cdot 0.48 - 0.15$$

$$FVC = \left[\frac{NDVI - 0.15}{0.48 - 0.15} \right]$$

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

NDVI = شاخص پوشش گیاهی، NIR = باند مادون قرمز (باند ۵)، RED = باند قرمز (باند ۴) (Rongali et al, 2018).

جدول ۲ ضرایب جهانی گسیل مندی

جدول ۲	B10	B11
ϵ_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ϵ_v	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

رگرسیون چندگانه خطی

مدل رگرسیون چندگانه خطی، بسط داده شده‌ی منطقی رگرسیون ساده می‌باشد. در رگرسیون چندگانه به جای اینکه متغیر وابسته تنها با یک متغیر مستقل تشریح شود، با چند متغیر مستقل سرو کار دارد. در رگرسیون ساده، گرایش‌ها نقاط با استفاده از یک خط تخمین زده می‌شود ولی در رگرسیون چند متغیره چون پراکندگی نقاط بر روی یک صفحه حجمی صورت می‌گیرد، برای نشان دادن موقعیت‌های نقاط از یک سطح هموار کمک گرفته می‌شود. در این صورت انتظار می‌رود که بعضی از نقاط بالای سطح و برخی دیگر زیر سطح قرار گیرند؛ ولی موقعیت سطح، زمیانی بهترین حالت ممکن را خواهد داشت که مجموع مربع فواصل نقاط تا آن سطح، کمترین مقدار را داشته باشد (فرج زاده، ۱۳۸۹) روابط زیر، معادله‌ی رگرسیون چندگانه را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Y: متغیر وابسته

X₁: متغیر مستقل اول

X₂: متغیر مستقل دوم

X_n: متغیر مستقل چندم

a: عرض از مبدا

فرمول‌های رگرسیون چندگانه:

$$b_1 = \frac{[(\sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2)^2 (\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1) (y_1 - \bar{y})) - (\sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2) (x_1 - \bar{x}_1) (\sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2) (y_1 - \bar{y})))]}{[\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2)^2] - [(\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1) (x_{i2} - \bar{x}_2))^2]}$$

$$b_2 = \frac{[(\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 (\sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2) (y_1 - \bar{y})) - (\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1) (x_2 - \bar{x}_2) (\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1) (y_1 - \bar{y})))]}{[\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{i2} - \bar{x}_2)^2] - [(\sum_{i=1}^n (x_{i1} - \bar{x}_1) (x_{i2} - \bar{x}_2))^2]}$$

b₁: شیب خط رگرسیون برای متغیر مستقل اول

b₂: شیب خط رگرسیون برای متغیر مستقل دوم

یافته ها

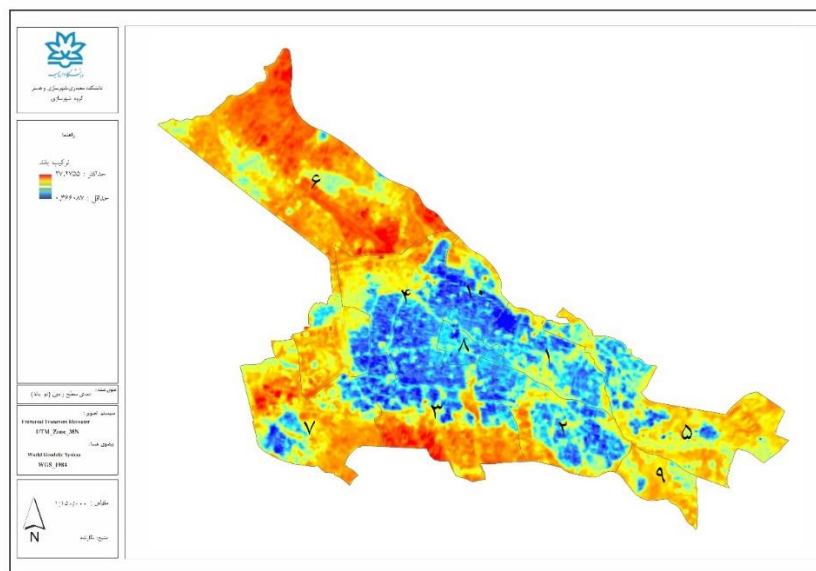
یکی از شاخص‌های مهم در تجزیه و تحلیل داده‌ها دستیابی به داده‌های با دقت و معتبر می‌باشد، چراکه اگر این داده‌ها با دقت نباشد نتایج درستی به دست نمی‌آید. ابتدا پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای نوبت به تجزیه و تحلیل عکس‌های ماهواره‌ای برای بدست آوردن نقشه جزایر حرارتی در نرم افزار انوی و آرک مپ انجام می‌پذیرد.

شکل ۵ دمای سطح زمین به روش ترکیب باندی است که کمترین دما منفی ۰/۳۶ در منطقه یک و بیشترین دما ۲۷/۲۷ درجه

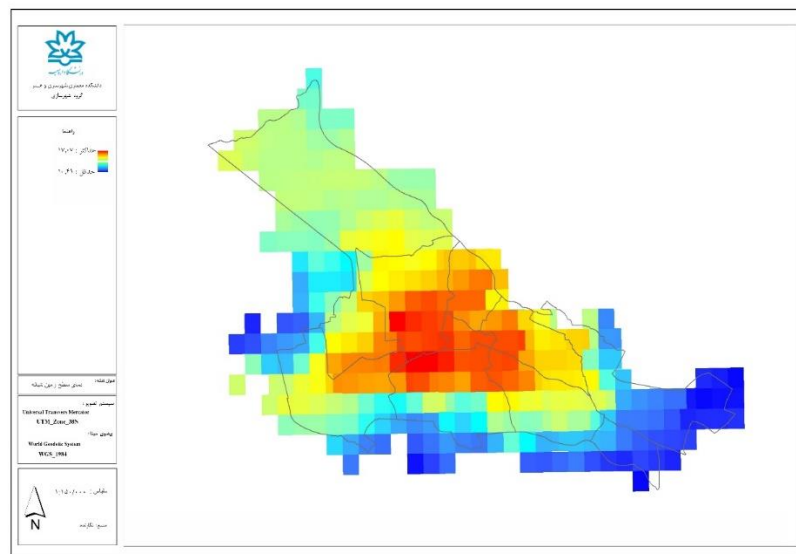
سلسیوس منطقه شش می‌باشد. در شکل ۶ نقشه دمای سطح شبانه بیشترین دمای ثبت شده مربوط به مناطق ساخته شده با حداکثر

دوره ۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۸، زمستان ۱۴۰۳

دمای ۱۷/۰۷ در منطقه سه و حداقل دمای ثبت شده مربوط به اراضی بایر و بافت خاکی و بعد پوشش گیاهی می‌باشد که مقدار آن ۱۱/۴۱ درجه سلسیوس برای منطقه نه است، اگر به شکل ۵ و شکل ۶ دقت کنیم تغییرات فضایی و مکانی دما تغییر کرده یعنی جزایر حرارتی موجود که بیشتر دما به دلیل وجود خاک است که ظرفیت حرارتی بیشتری دارد دمای خود را به سرعت از دست داده و جزایر حرارتی به مناطق ساخته شده (مرکز شهر) جابجا شده است.



شکل ۵. دمای سطح زمین به صورت ترکیب باندی

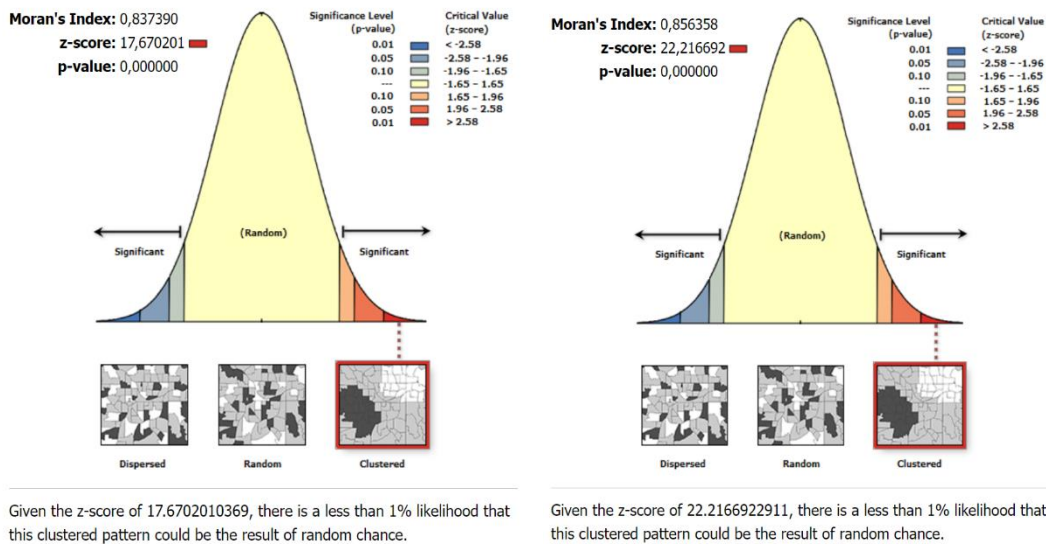


شکل ۶. دمای سطح زمین شبانه

تحلیل خودهمبستگی فضایی جهانی (موران)

شکل ۷ مقدار شاخص موران برابر است با ۰/۸۷۳ که این بیانگر آن است که جزایر حرارتی در کلانشهر تبریز الگو خوشه‌ای بوده و علاوه بر آن آماره Z برابر است با ۱۷/۶۷ بنابراین براساس تحلیل خودهمبستگی فضایی می‌توان استنباط نمود که جزایر حرارتی موجود در روز تبریز به صورت خوشه‌ای هست.

در **Error! Reference source not found.** ۸ خودهمبستگی فضایی در شب شاخص موران برابر است با ۰/۸۵۶ که این عدد نیز بیانگر آن است که جزایر حرارتی در سطح زمین در ساعات شبانه نیز الگوی خوشه‌ای دارد و همانطور آماره Z برابر است با ۲۲/۲۱ پس می‌توان استنباط کرد که جزایر حرارتی موجود در سطح شهر در ساعات شبانه نیز از الگو خوشه‌ای تبعیت می‌کند.



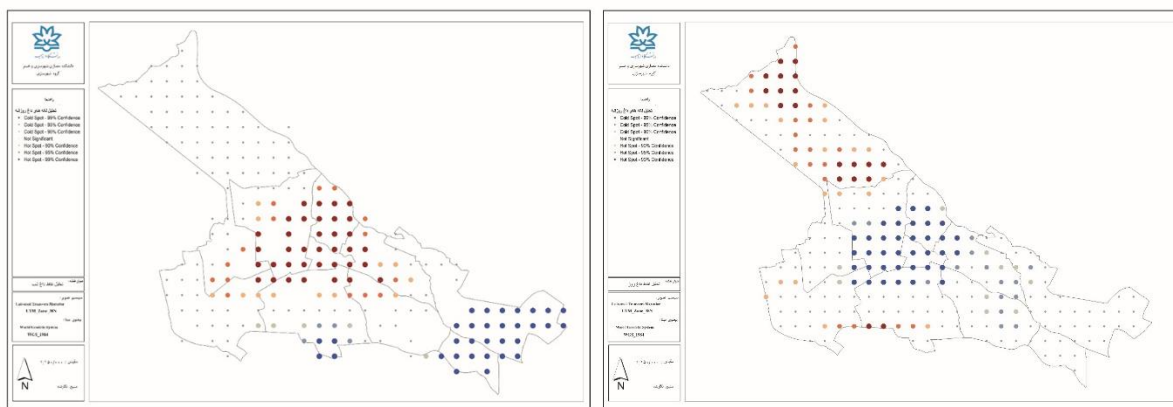
شکل ۷. الگو تحلیل خودهمبستگی فضایی موران شکل ۸. الگو تحلیل خودهمبستگی فضایی موران

جهانی در شب

جهانی در روز

تحلیل نقاط داغ

لکه‌های داغ در زمان روز به ترتیب با اطمینان ۹۹ درصد و بعد ۹۵ درصد و ۹۰ درصد با بیشترین مساحت در منطقه شش و بعد در اطراف شهر در منطقه سه و هفت مشخص شده است و در شب لکه‌های داغ در مرکز شهر تمامی منطقه هشت، منطقه چهار و منطقه ده را در بر دارد تشکیل شده‌اند که کاملاً مشابه تحلیل خودهمبستگی فضایی می‌باشد با حرکت به سمت مرکز شهر جزایر حرارتی شدت می‌یابد.



شکل ۹. تحلیل لکه‌های داغ کلانشهر تبریز در زمان روز / شکل ۱۰. تحلیل لکه‌های داغ کلانشهر تبریز در زمان شب

تحلیل رگرسیون چندگانه خطی برای تاثیر شاخص‌های مورفولوژی شهری بر جزایر حرارتی (R Square Adjusted) آماره ضریب تعیین تعدیل شده در جدول ۳ می باشد، که قدرت پیش بینی رگرسیون با ۹۹۶/۰ است به درصد ۶/۹۹٪ می باشد، (durbn watson) باید این مقدار بین ۵/۱ تا ۵/۲ باشد که در این تحلیل ۶۰۹/۱ بوده که این شرط برقرار است. خطاها دارای خودهستگی سریالی نیستند.

جدول ۳. تفسیر نتایج رگرسیون

Model Summary ^b										
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics			Sig. F Change	Durbin-Watson	
					R Square Change	F Change	df1			df2
1	,999 ^a	,999	,996	,17581	,999	400,224	6	3	<,001	1,609

a. Predictors: (Constant), فضای باز, صنعتی, فضای ساختمانی, ارتفاع ساختمانی, فضای سبز, ارتفاع ساختمانی, فضای باز, صنعتی

b. Dependent Variable: دما

جدول ۳ تحلیل واریانس است که به معنای تحلیل تغییرات است. با توجه به اینکه آماره فیشر در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی دار است (Sig) کمتر از ۰۵/۰ باشد می توان سطح معنی دار بیان کرد. یعنی حداقل یکی از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته تاثیر معنی داری دارد، عبارتی می توان گفت مدل از وضعیت برآزش مناسبی برخوردار می باشد.

جدول ۳. تحلیل واریانس

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	74,221	6	12,370	400,224	<,001 ^b
	Residual	,093	3	,031		
	Total	74,314	9			

a. Dependent Variable: دما

b. Predictors: (Constant), فضای ساختمانی, فضای سبز, ارتفاع ساختمانی, فضای باز, صنعتی, فضای باز, صنعتی

ضرایب رگرسیونی استاندارد و غیراستاندارد در

جدول ۴ معنی داری متغیرها را نشان می دهد. از ضرایب استاندارد برای تعیین شدت و جهت رابطه و از سطح معنی داری برای تایید معنی داری ضریب رگرسیون استفاده می شود. (Sig) کمتر از ۰۵/۰ به معنی متغیرها دارای رابطه معنی داری هستند که همه متغیرها کمتر از عدد تعیین شده هستند، ضرایب استاندارد بتا برای متغیر فضای باز مقدار ۷۰۰/۰ با بیشترین تاثیر در جزایر حرارتی مشخص شد. بعد از آن کاربری صنعتی با مقدار ۶۴/۰ دومین متغیر موثر و تراکم ساختمانی سومین متغیر با ضریب ۱۶/۰ و چهارمین متغیر فضای سبز با ضریب ۱۴/۰ کمترین تاثیر را در افزایش دمای سطح زمین دارد. علاوه بر آن علامت منفی در ضریب ارتفاع ساختمان و فضای ساخته شده به این معنی می باشد که رابطه معکوسی دارد، یعنی چهار متغیر قبلی نامبرده تاثیر گرمایشی داشته ولی متغیر ارتفاع ساختمانی با ضریب منفی ۰۹/۰ و فضای ساخته شده با ضریب ۱۹/۰ بیشترین تاثیر در خنک سازی و کاهش جزایر حرارتی را داراست.

. ضرایب رگرسیونی جدول ۴

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2,516	1,045		-2,408	,095
	فضای باز	,731	,028	,700	26,567	<,001
	صنعتی	,405	,025	,645	16,234	<,001
	تراکم ساختمانی	,117	,017	,168	6,923	,006
	ارتفاع ساختمانی	-,072	,018	-,093	-3,979	,028
	فضای سبز	,131	,026	,140	5,118	,014
	ساخته شده	-,479	,088	-,192	-5,447	,012

a. Dependent Variable: دما

جمع بندی نتایج نقشه دمای سطح زمین، رگرسیون چندگانه و نقشه کاربری اراضی شهری می باشد که تاثیر هر کاربری با دمای حداکثر و حداقل آورده شده است.

جدول ۵. جدول جمع بندی مناطق دهگانه

مناطق	کمترین دما	بیشترین دما	عامل تاثیر گذار
منطقه ۱	۱/۵۰۲۲	۲۲/۵۸	زمین فوتبال به رنگ تیره و فضاهای خاکی
منطقه ۲	۳/۰۳۴	۲۴/۲۱	کاربری بایر
منطقه ۳	۳/۱۹	۲۶/۴۷	فضای باز وسیع کاربری پادگان
منطقه ۴	۳/۲۰	۲۶/۲۶	کاربری حمل و نقل
منطقه ۵	۳/۷۷	۲۳/۱۵	فضاهای باز و کاربری صنعتی

منطقه ۶	۳/۲۰۲	۲۷/۲۷۵	فضای باز خاکی
منطقه ۷	۲/۸۳	۲۷/۰۴	کاربری صنعتی
منطقه ۸	۰/۳۶	۱۷/۸۶	فضاهای باز شهری
منطقه ۹	۶/۸۴	۲۲/۴۳	فضای باز
منطقه ۱۰	۲/۵۶	۲۴/۸۱	فضاهای باز پوشش گیاهی با تراکم کم

نتیجه گیری و پیشنهادها

با نتایج به دست آمده از تحلیل خودهستگی فضایی موران و محلی موران جزایر حرارتی شهری موجود در کلانشهر تبریز از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کند. تحلیل لکه‌های داغ گرم‌ترین نقاط را با اطمینان ۹۹ درصدی در زمان روز منطقه شش با دمای حداکثر ۲۷/۲۷ درجه سلسیوس و در زمان شب منطقه سه رو گرم‌ترین نقطه با دمای حداکثری ۱۷/۰۷ درجه سلسیوس مشخص کرد. و خنک‌ترین مناطق در زمان روز مربوط به مناطق ساخته شده و فضای سبز شهری می‌باشد. با ملاحظه رفتارهای خوشه‌ای جزایر حرارتی سه نوع رفتار به دست آمد. رفتار گرمایشی مربوط به فضاهای باز و بافت خاکی، رفتار معتدل برای ساختمان‌های اطراف معابر و فضاهای سبز شهری با تراکم پایین تر و آخرین رفتار حرارتی مربوط به نقاط خنک است که هم در زمان روز و هم در زمان شب خنک بوده مربوط به بازار سرپوشیده تبریز می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده قدرت تحلیل و پیش بینی این رگرسیون ۹۹/۶ درصد بود، و رابطه بین شاخص‌های مورفولوژی شهری و جزایر حرارتی شهری در کلانشهر تبریز ۰/۹۹۹ بود و خطاهای موجود دارای خودهستگی سریالی نبودند همچنین تمام شاخص‌ها دارای رابطه معنی دار با متغیر وابسته (دمای سطح زمین) داشتند. در حالت کلی شاخص فضای باز با بافت خاکی با ضریب تاثیر ۰/۷۰۰ موثرترین عامل در افزایش گرما اثبات شد بعد از آن به ترتیب ضریب تاثیر گذاری این چنین است، کاربری صنعتی با ضریب تاثیر ۰/۶۴۵ دومین شاخص، تراکم ساختمانی با ضریب ۰/۱۶۸ سومین شاخص، سرانه فضای سبز ۰/۱۴ چهارمین شاخص در این میان در برخی از شاخص‌ها علامت منفی وجود دارد که نتیجه معکوسی دارند مناطق ساخته شده با ضریب ۰/۱۹۲- اثر خنک کنندگی در روز را داشته و ارتفاع ساختمان‌ها نسبت به عرض معبر در سطح کلان علامت منفی داشته و اثر خنک کنندگی داشته اما با کمترین ضریب تاثیر ۰/۰۹ بود. ولی در زمان شب بیشترین دلیل از میان شاخص‌های مورفولوژی شهری نسبت ارتفاع ساختمانی به عرض معبر موجب احتباس گرما خارج شده از مصالح ساختمانی که در طول روز جذب شده است می‌شود. مصالح شهری که رنگ تیره و متراکم و نفوذ ناپذیر موجب کاهش بازتابش نور خورشید می‌شود و موجب می‌شود که این گرما را در طول شب آزاد کند.

۱- استفاده از پوشش گیاهی مناسب در فضاهای خالی که در طول روز سایه اندازی و همچنین رطوبت فضا را بیشتر می‌کند هرچه ارتفاع درختان بیشتر از ۱/۵ متر باشد سایه اندازی بیشتری خواهد داشت. و در کنار درختان از آبناها برای افزایش رطوبت و کاهش چشم گیر دما کمک می‌کند. به صورت مکمل از بوته‌ها کوچک برای هدایت باد در ارتفاع کمتر از چتری درخت استفاده شود.

۲- در برنامه ریزی شهری برای کاربری‌های صنعتی سیاست‌های خرد به کار رود. زیرا این فضاها تاثیر بیشتری در گرم شدن دما دارد از متریاال‌های که نور و گرما را انعکاس دهد همچنین فضاهای صنعتی با در اختیار گرفتن سطوح بیشتری موجب بیشتر شدن فضای باز خاکی و آسفالتی می‌شود با افزایش میزان سرانه فضای سبز در کاربری‌های صنعتی بزرگ مانع آن باشد.

منابع و مأخذ

اعطری، معین (۱۳۹۹). تبیین پدیده جزایر حرارتی شهری (UHI) از منظر مولفه‌های برنامه ریزی کاربری زمین و ارائه راهکارهای برنامه ریزانه مواجهه، مورد پژوهشی: کلانشهر تهران، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

آزمون، مجتبی و محمدنژاد، محمد، (۱۴۰۲)، ارزیابی تاثیر نواحی صنعتی در آلودگی هوای شهر (نمونه موردی: کلان شهر تبریز)،

حاجی فتحعلی، مهسا؛ فیضی، محسن؛ دهقان، عاطفه (۱۳۹۸). راهبرد های کوتاه مدت برای کاهش اثرات مخرب جزایر گرمایی در مناطق شهری، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، سال دهم، شماره ۲، صص ۱۹۵-۲۱۴.

خداکرمی، جمال، نوری، شهلا. (۱۳۹۹). تأثیر عملکرد حرارتی مصالح غالب مورد استفاده در نمای ساختمان بر شرایط آسایش حرارتی در معابر شهری اقلیم گرم و خشک. معماری و شهرسازی پایدار

عابدینی، اصغر؛ آزمون، مجتبی؛ آذرکیش، کیارش؛ مشتاقی، سینا (۱۴۰۲). کاهش اثرات جزایر گرمایشی شهر از طریق مصالح رو سازی خنک (نمونه مطالعاتی: منطقه ۸ کلانشهر تبریز)، فصلنامه توسعه پایدار شهری، سال پنجم، شماره ۱۱، تابستان ۱۴۰۲.

محرّم پور، عرفان (۱۳۹۹)، تأثیر مورفولوژی شهری بر شکل گیری جزایر حرارتی در کلانشهرها نمونه موردی: شهر تبریز (بازه زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد.

ناصحی، سعیده، یآوری، احمدرضا، صالحی، اسماعیل (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)، فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، ۱۲(۴۴)، ۱۰۷-۱۳۰.

نعیم چعی، مهشاد (۱۴۰۰). تأثیر هندسه فضای سبز شهری بر سرمایش شهری و جزایر حرارتی خرد اقلیم های مجاور؛ نمونه موردی باغ ها و پارک های شهر شیراز، پایان نامه کارشناسی ارشد.

Ali, J. M., Marsh, S. H. and Smith, M. J. (2017) 'A comparison between London and Baghdad surface urban heat islands and possible engineering mitigation solutions', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 29, pp. 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.010>

Arsiya, Ravari and Mazloomi. M. (2015). " A Framework for Urban Morphology with Respect to the Form." *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 8(14), 91-103.

Elmarakby, E., Elkadi, H. (2024) 'Impact of urban morphology on Urban Heat Island in Manchester's transit-oriented development', *Journal of Cleaner Production*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140009>

Liu L, Zhang Y. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*. 2011; 3(7):1535-1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>.

Marando, F., et al. (2019). "Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy." *Ecological Modelling* 392: 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.11.011>

Martilli, A., et al (2020). "Is the Urban Heat Island intensity relevant for heat mitigation studies?". *Urban Climate* 31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100541>

Najah, F., et al. (2023). "Urban land use changes: effect of green urban spaces transformation on urban heat islands in Baghdad", *Alexandria Engineering Journal Volume 66*, 1 March 2023, Pages 555-571. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.11.005>.

Oke, T. R. (1988) 'Street design and urban canopy layer climate', *Energy and Buildings*, 11(1-3), pp. 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)

Pena Acosta, M., Vahdatikhaki, F., Santos, J., & Dorée, A. G. (2023). A comparative analysis of surface and canopy layer urban heat island at the micro level using a data-driven approach. *Sustainable Cities and Society*, 99, Article 104944. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104944>

Rongali, G., Keshari, A.K., Gosain, A.K. et al. Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *J geovis spat anal* 2, 14 (2018). <https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021-y>

Roth, M. (2013). "Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two, edited by Harindra Joseph Sermal Fernando." ISBN: 978-1-4665-5601-0. *matology* 38: e303-e322

Santamouris, M.(2014). "On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings". *Energ.Buildings* 82, 100-113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.022>

SFÎCĂ, L., et al. (2023). "Surface urban heat island of Iași city (Romania) and its differences from in situ screen-level air temperature measurements." *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104568>

Ullah, S., et al. (2023). "Climate change will exacerbate population exposure to future heat waves in the China-Pakistan economic corridor". *Weather Clim. Extremes* 40, 100570. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100570>

Yan, C., et al. (2020). "Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method: A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity". *Building and Environment* 169. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106541>

Zhang, W., et al. (2022). "Improved combined system and application to precipitation forecasting model", *Alexandria Engineering Journal Volume 61*, Issue 12, December 2022, Pages 12739-12757. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.050>