

Application of Statistical Models and Satellite Imagery in the Evolution of Heat Island in Hamedan City

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Maryanaji Z.* PhD,
Darvishi M.¹ MS,
Abbasi H.² PhD

How to cite this article

Maryanaji Z, Darvishi M, Abbasi H. Application of Statistical Models and Satellite Imagery in the Evolution of Heat Island in Hamedan City. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):124-136.

ABSTRACT

Introduction and Background The growth of cities and the increase in the population and the diverse use of urban lands have caused problems for urban communities. One of these is the phenomenon of heat islands, which is the result of an unusual temperature increase of the city relative to the surrounding countryside.

Aims This research tries to achieve a general view on the heat island mechanism, air temperature changes and urban temperature changes in parts of Hamadan city by using TIRS (Landsat 8 satellite images) and comparing it with actual ground level data by statistical methods.

Methodology The temperature difference of different points from satellite images based on the spectral radiance method and the degree of gray value of pixels in the thermal band was made using the photo of the Planck equation. Based on the relationship between real data on ground surface temperature at the meteorological station and data extracted from satellite images, according to different regression models, the highest determination coefficient was obtained for three linear, quadratic and cubic correlation methods. Among them, the cubic regression method with the least error was meaningful at 95% confidence level.

Conclusion The high explanatory factor (70% and above) indicates that there is an acceptable coordination between satellite image information and weather station information. The maximum difference between the data taken with the actual ground station data is related to the blanket and minimum temperature of 5.5 and the minimum difference of the green area is 0.5°C. The difference in temperature in different parts of the city is more closely related to the minimum temperature. While the temperature difference in areas covered by green space in Hamadan city with real data is higher at maximum temperature. The results showed that the Hamadan heat islands have a direct relationship with the construction and land use. The temperature changes in different parts of the city of Hamedan are indicative of the creation of heat islands in the non-used building and ground areas. The results of this research can be applied in the management and urban planning and land use of Hamedan.

Keywords TIRS Sensor; Statistical Models; Heat Island; Cubic Regression Model

*Department of Geography, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Hamadan, Iran

¹Department of Geomatics Engineering, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Hamadan, Iran

²Department of Geography, Lorestan University, Lorestan, Iran

*Correspondence

Address: Department of Geography, Sayyed Jamaledin Asadabadi University, Asadabad, Hamadan, Iran
Phone: -
Fax: -
z.maryanaji@gmail.com

Article History

Received: August 07, 2018

Accepted: November 05, 2018

ePublished: December 09, 2018

CITATION LINKS

[Alhossiani Almodaresi, et al.; 2015] Extraction of thermal islands in Tehran using ASTR ...; [Alijani, et al.; 2017] Calculation of thermal island intensity based on the geometry ...; [Asghari Sareskanrood & Zeinali; 2015] Study on climate effects of urban development ...; [Bokaie, et al; 2016] Assessment of urban heat island based on the relationship ...; [Chander & Markham; 2003] Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures ...; [Dhalluin & Bozonnet; 2015] Urban heat islands and sensitive building design ...; [Ezber, et al.; 2007] Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical ...; [Kaviyani; 2005] Microclimatology ...; [Meshkati; 1985] Introductory of ...; [Moharami; 2014] Investigating the role of land use in the production ...; [Montávez, et al.; 2000] A study of the urban heat island of ...; [Nakata, et al.; 2015] A GIS extension model to calculate urban heat ...; [Porkhabaz, et al.; 2015] Analysis of thermal islets in urban areas of ...; [Ramezani & Dokhtmohammad; 2010] Recognition of the spatial boundaries of the formation of the thermal ...; [Ranjbar Sadatabbadi, et al.; 2006] The effects of thermal island and urbanization on the ...; [Tereshchenko & Filonov; 2001] Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 ...; [Theeuwes, et al.; 2017] A diagnostic equation for the daily maximum urban ...; [Xunqiang, et al.; 2011] Study on temporal and spatial variation of the urban ...; [Zhou, et al.; 2004] Evidence for a significant urbanization effect on climate

کاربرد مدل‌های آماری و تصاویر ماهواره‌ای در واکاوی جزیره حرارتی در شهر همدان

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۵/۱۶

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۸/۱۴

DOI: 10.29252/geores.33.3.124

چکیده

مقدمه: رشد و توسعه شهرها و ازدیاد جمعیت و کاربری‌های متنوع اراضی شهری موجب بروز معضلاتی برای جوامع شهری شده است. یکی از این معضلات پدیده جزایر حرارتی است که نتیجه افزایش دمای غیرعادی شهر نسبت به حومه اطراف آن است.

اهداف: این تحقیق سعی دارد جهت دستیابی به یک نگرش کلی راجع به مکانیسم جزیره حرارتی، تغییرات دمای هوا و تغییرات دمای نقاط شهری را در مناطقی از شهر همدان با استفاده از تصاویر سنجنده TIRS (ماهواره لندست ۸) و مقایسه آن با داده‌های واقعی سطح زمین از طریق روش‌های آماری بررسی کند.

مواد و روش‌ها: تلفیق روش‌های آماری و روش آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در این تحقیق موردنظر بوده است لذا برداشت دمای نقاط مختلف از تصاویر ماهواره‌ای بر اساس روش رادیانس طیفی و مقدار درجه خاکستری پیکسل‌ها در باند حرارتی و با استفاده از عکس معادله پلانک انجام شد. بر اساس رابطه حاکم بر داده‌های واقعی دمای سطح زمین در ایستگاه هواشناسی و داده‌های برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای طبق مدل‌های متفاوت رگرسیون مشخص شد. بالاترین ضریب تعیین مربوط به سه روش همبستگی خطی، درجه دو و مکعبی بوده است؛ که از بین آن‌ها روش رگرسیون مکعبی با کمترین خطا در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بوده است.

نتیجه‌گیری: ضریب تبیین بالا (۷۰ درصد و بالاتر) نشان از وجود هماهنگی قابل قبولی بین اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات ایستگاه هواشناسی است. حداکثر اختلاف داده‌های برداشت‌شده با داده‌های واقعی ایستگاه سطح زمین در دمای حداقل و مربوط به سطوح بایر به مقدار ۵/۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل اختلاف مربوط به فضای سبز با ۰/۵ درجه سانتی‌گراد است. اختلاف دما در مناطق مختلف شهر بیشتر مربوط به حداقل دما است. درحالی‌که اختلاف درجه حرارت در مناطق با پوشش فضای سبز در شهر همدان با داده‌های واقعی بیشتر در حداکثر دما دیده می‌شود. نتایج نشان داد که جزایر حرارتی همدان با ساخت‌وساز و کاربری اراضی رابطه مستقیم دارد. تغییرات دمای نقاط مختلف شهر همدان نشان از ایجاد جزایر حرارتی در کاربری‌های ساختمان و زمین بایر است. نتایج این تحقیق در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های شهری و کاربری اراضی شهر همدان می‌تواند به کاربرده شود.

واژگان کلیدی: سنجنده TIRS، مدل‌های آماری، جزیره حرارتی، مدل رگرسیون مکعبی

مقدمه

انسان همواره به دنبال استفاده و بهره‌گیری از طبیعت جهت رفاه حال خود بوده است اما اغلب این استفاده‌ها موجب تخریب محیط طبیعی اطراف وی شده است. رشد و توسعه شهرنشینی و ساخت‌وسازهای غیراصولی، منجر به ایجاد تغییراتی در اقلیم شهر شده است.

افزایش درجه حرارت شهرها نسبت به اطراف، یکی از اثراتی است که به دخالت مستقیم انسان‌ها مرتبط است. گرمایش ساختمان‌ها، آلودگی هوا و استفاده از مصالح نامناسب در کف‌سازی خیابان‌ها و کوچه‌ها مانند آسفالت خیابان‌ها به واسطه رنگ تیره در جذب انرژی از عوامل تأثیرگذار بر پدیده جزایر حرارتی شهری به حساب می‌آید. جزیره حرارتی شهری به تفاوت درجه حرارت بین مناطق شهری نسبت به مناطق حومه گفته می‌شود (Dhalluin & Bozonnet, 2015). جزیره حرارتی شهر ناشی از ویژگی‌های شهرسازی، آلودگی هوا، گرمای انسانی، وجود سطوح نفوذناپذیر در سطح شهر، خواص حرارتی مواد شهری می‌باشد، آثار مزبور حاصل دخالت و تعارض انسان در عملکرد سیستم طبیعی است. غالباً دست‌کاری و تغییر در چرخه طبیعی آب و انرژی باعث پیامدهای پیچیده‌ای در نظام سیستم طبیعی شده و پس‌خورهای متفاوتی را به دنبال خود به وجود می‌آورد. حذف و دفع پوشش گیاهی از سطح زمین به هر دلیل که انجام گیرد، باعث تغییر خصوصیات سطح آن شده و از این‌رو در تراز انرژی و جرم آن تغییراتی به وجود می‌آورد (Kaviyani, 2005).

بر اساس شواهد و یافته‌های آماری، اقلیم کره زمین به‌ویژه در مناطق شهری رو به تغییر می‌رود. این تغییرات که در بیشتر ویژگی‌های محیط زندگی انسان اثر دارد موجب ایجاد و تشدید پدیده جزیره گرمایی شهر می‌شود. شدت گرمای حادث‌شده ناشی از جزایر حرارتی در شهر نه تنها بر محیط‌زیست، کیفیت زندگی و نیازهای روحی و جسمانی شهروندان اثرگذار است، بلکه بر میزان مصرف انرژی جهت سرمایش، انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای اثرات منفی قابل‌ملاحظه‌ای می‌گذارد (Porkhabaz, Ahmadizadeh, Naseri, & Parvian, 2015).

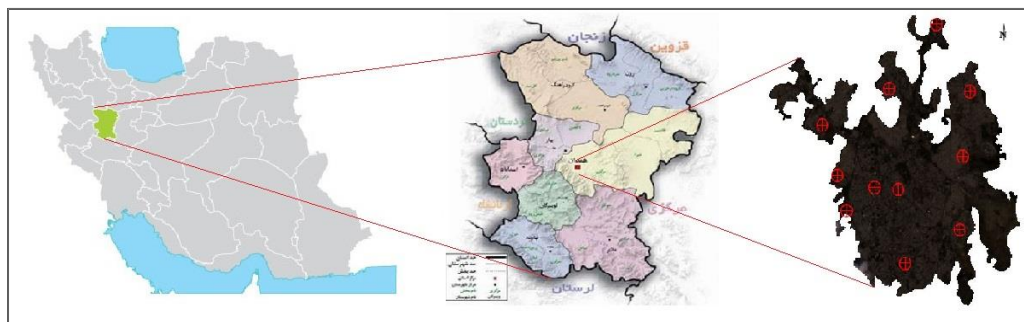
به نظر می‌رسد استفاده هم‌زمان از داده‌های سطح زمین (ایستگاه‌های هواشناسی) و داده‌های سنجش‌ازدور می‌تواند در شناخت پدیده جزیره حرارتی بسیار سودمند باشد. در این راستا و به دلیل اهمیت و کاربرد فراوان اقلیم شهری در برنامه‌ریزی‌های شهری و کاربری اراضی در تحقیق حاضر سعی شده تغییرات دمای مناطقی از شهر همدان با استفاده از تصاویر سنجنده TIRS، ماهواره لندست ۸ و رابطه آن با داده‌های واقعی سطح زمین بر اساس مدل‌های مختلف رگرسیونی بررسی گردد؛ و نقاط دارای درجه حرارت بالا در مناطق شهری شناسایی و صحت داده‌های برداشت‌شده با مدل‌های آماری مشخص گردد. محققین بسیاری مطالعات وسیعی را در این زمینه به انجام رسانیده‌اند که می‌تواند به موارد زیر اشاره کرد: مونتاوز و همکاران (Montávez, Rodríguez, & Jiménez, 2000)، ترشچنکو و فیلونوف (Tereshchenko & Filonov, 2001)، زوهو و همکاران (Zhou et al., 2004)، به آنالیز دمای ثبت‌شده از شهر و ایستگاه‌های نزدیک در مطالعه‌ی جزیره حرارتی شهری پرداختند. ازبر و همکاران تأثیرات اقلیمی توسعه شهری را در استانبول با استفاده از تحلیل آماری مطالعه و وجود گرمایش در اتمسفر مناطق شهری را نشان داده‌اند (Ezber, Lutfi Sen, Kindap, & Karaca, 2007). ژونگ یانگ و همکاران برای شناسایی تغییرات فضایی-زمانی جزایر حرارتی از روش‌های آماری کلاسیک استفاده کردند (Xunqiang, Chen, Fuqun, & Hongyuan, 2011). ناکاتا و همکاران در مقاله‌ای با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی که در یک سیستم اطلاعات جغرافیایی گنجانده شده بود، به محاسبه حداکثر شدت جزایر حرارت شهری پرداخته است. وی پس از مطالعه و انتخاب ابزار GIS موجود، اقدام به شبیه‌سازی جزیره حرارتی شهر در حالات مختلف شهری نموده است (Nakata, Souza, & Rodrigues, 2015). دهالین و بوزونت در تحقیقی در فرانسه به ارائه راهکارهایی در کاهش مقدار جزیره حرارتی شهر پرداختند (Dhalluin & Bozonnet, 2015). در تحقیقی دیگر بکایی و همکاران، به بررسی رابطه بین سطح زمین و پوشش زمین در تهران و حومه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست پرداختند. نتایج نشان داد که بین دمای سطح زمین و پوشش زمین یک همبستگی منفی وجود دارد که این عامل به پوشش زمین در شهر تهران برمی‌گردد (Bokaie, Zarkesh, Arasteh, & Hosseini, 2016). تیووست و همکاران با استفاده از یک مدل ابداعی ساده، مقدار جزیره گرمایی شهر را برای ۱۴ شهرستان در سراسر شمال غربی اروپا محاسبه کرده و دریافتند که بین دره عمیق و باریک در منطقه شهری و مناطق روستایی اختلاف درجه حرارت وجود دارد (Theeuwes, Steeneveld, Ronda, & Holtslag, 2017).

از مطالعاتی که در ایران در زمینه جزیره حرارتی انجام شده می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: رنجبر سعادت‌آبادی و همکاران، با مطالعه بر روی آثار جزیره حرارتی در کلان‌شهر تهران نشان دادند که افزایش قابل‌ملاحظه روند دمای کمینه تهران بیش از دمای بیشینه است (Ranjbar Sadatabbadi, Ali Akbari Bidokhti, & Sadeghi Hosseini, 2006). رضانی و دخت محمد، به‌منظور شناخت محدوده مکانی تشکیل جزیره حرارتی در شهر رشت از ۹ ایستگاه سینوپتیک استفاده کردند. نتایج نشان داد که اختلاف دمایی معادل ۵ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد بین مرکز جزیره حرارتی با نواحی اطراف در شرایط حداقل دمایی و اختلاف دمایی معادل ۳ الی ۵/۶ سانتی‌گراد در شرایط دمایی بیشینه به وجود می‌آید (Ramezani & Dokht Mohammad, 2010).

اصغری و زینعلی در مطالعه‌ای به بررسی تأثیرات اقلیمی توسعه شهری در شهرستان تهران پرداختند. نتایج آنان نشان داد رفتار فصلی پدیده جزیره حرارتی شهری در ایستگاه تهران چیتگر در فصول تابستان و زمستان و در ایستگاه ژئوفیزیک چیتگر در تابستان، پاییز و بعد زمستان بارز است (Asghari Sareskanrood & Zeinali, 2015). پورخباز و همکاران، با بررسی جزایر حرارتی در مناطق شهری مشهد دریافتند که بیشترین میانگین دما در زمین بایر شامل مناطق شهری مسکونی، رفاهی، حمل‌ونقل و کمترین دما در زمین‌های کشاورزی و فضای سبز مشاهده گردید (Porkhabaz et al., 2015). الحسینی المدرسی و همکاران، به استخراج جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از تصاویر ASTER پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در مکان‌هایی که دارای پوشش گیاهی بیشتری هستند نسبت به مکان‌هایی که فاقد پوشش گیاهی هستند از دمای پایین‌تری برخوردارند (Alhossiani Almodaresi, Saati, & Ebrahimi, 2015). علیجانی و همکاران به محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه در محله کوچه‌باغ شهر تبریز پرداختند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان داد که در محله کوچه‌باغ تبریز هر چه بناها بلندمرتبه‌تر و عرض معابر کمتر باشد میزان شدت جزیره حرارتی بیش‌تر و هر قدر عکس این شرایط حاکم باشد شدت آن کمتر خواهد بود (Alijani, Tolabinejad, & Sayadi, 2017). روش‌های سنتی مطالعه جزیره گرمایی شهری بیشتر بر اساس داده‌های دمای ایستگاه‌های هواشناسی انجام شده است. ایستگاه‌های هواشناسی با وجود ارائه دقت مطلوب در اندازه‌گیری دما در کنار قدرت تفکیک زمانی بسیار مناسب، به دلیل هزینه‌بر بودن احداث و نگهداری در هر منطقه به تعداد محدود قابل احداث و بهره‌برداری هستند. سنجش‌ازدور یک ابزار سنجش جامع و کم‌هزینه در بررسی یک منطقه وسیع محسوب می‌شود، بر پایه اطلاعات استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان اطلاعات یک منطقه در سطح گسترده و به‌صورت پیوسته، بدون نیاز به دسترسی مستقیم به نقاط را استخراج نمود، لذا سنجش‌ازدور به‌عنوان ابزاری به‌روز و کارآمد جهت سنجش دمای سطحی زمین مطرح می‌شود. داده‌های سنجش‌ازدور نیز با وجود کوتاه بودن دوره ثبت و قدرت تفکیک زمانی محدودی که دارند، دارای قدرت تفکیک مکانی بالا و سطح دید گسترده‌ای هستند (Moharami, 2014).

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی شهر همدان در استان همدان در عرض‌های جغرافیایی شمالی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۱ دقیقه و طول‌های جغرافیایی شرقی ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه را شامل می‌شود. ۱۱ نقطه از شهر همدان مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت تقریبی منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، شهر همدان واقع در مرکز استان همدان

روش و مراحل تحقیق

در این تحقیق از تلفیق روش‌های آماری و روش‌های آنالیز تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

۱- بررسی داده‌های واقعی دمای سطح زمین: به منظور انجام این تحقیق از داده‌های ساعتی ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استفاده گردید. داده‌هایی که با برداشت داده‌های تصاویر ماهواره‌ای هم‌زمان بود استخراج گردید، به گونه‌ای که داده‌هایی از ایستگاه سینوپتیکی مورد استفاده قرار گرفت که دقیقاً با ساعت گذر ماهواره از بالای منطقه (۷:۲۰ جهانی) یکسان باشد. قبل از انجام هرگونه محاسبه، بر روی داده‌های واقعی دمای سطح زمین به صورت ساعتی آزمون همگنی انجام گردید. داده‌های ماهواره‌ای در یک دوره سه ساله در ساعت ۷:۲۰ دقیقه به وقت گرینویچ و ساعت ۱۱:۵۰ به وقت محلی برداشت شده است (جدول ۱).

۲- داده‌های برداشت شده از تصاویر ماهواره‌ای: در این تحقیق از تصاویر سنجنده TIRS از ماهواره لندست ۸ که در ناحیه مادون قرمز حرارتی فعالیت می‌کند، استفاده شده است. در این سنجنده دو باند برداشت شامل باند ۱ در طول موج ۱۰/۶ الی ۱۱/۱۹ میکرومتر و باند ۲ در طول موج ۱۱/۵۰ الی ۱۲/۵۱ میکرومتر با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر ارائه می‌شود. این پروژه مقاطع زمانی چهار فصل، از ابتدای سال ۲۰۱۵ تا انتهای سال ۲۰۱۶ طی یک بازه دو ساله را شامل می‌شود. این ماهواره قابلیت تصویربرداری از نقطه مورد مطالعه را در هر ۱۶ روز یک بار دارد. مقطعی که به دلیل وجود بسیار بالای ابر در آسمان دید نسبت به منطقه مختل شده است از مطالعه حذف شده‌اند. جدول ۱ نشان‌دهنده زمان‌های اخذ تصویربرداری از منطقه است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۳- محاسبه دمای درخشندگی عوارض سطحی زمین: جهت تبدیل درجه خاکستری ثبت شده برای هر پیکسل تصویر نیازمند اعمال برخی تصحیحات هندسی و رادیومتری بر تصاویر می‌باشد که با توجه به اینکه همه تصاویر از یک سنجنده با تصاویر زمین مرجع شده استفاده شده است. بنابراین تصاویر از نظر هندسی نسبت به یکدیگر توجیه بوده و تصحیح هندسی در این تحقیق نیاز نیست. ولی تصحیحات رادیومتریکی با تبدیل مقادیر پیکسل به رادیانس آغاز خواهد شد. رابطه ۱ این فرآیند را ارائه می‌کند:

$$L_{\lambda} = \text{Gain} * \text{Pixel value} + \text{Offset} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن L_{λ} رادیانس طیفی بر حسب $\text{W}/\text{m}^2 * \text{sr} * \mu\text{m}$ ، Pixel value مقدار درجه خاکستری پیکسل در باند حرارتی، Gain و Offset نیز مقادیر ثابت باند مربوطه می‌باشند که در کنار سایر اطلاعات سنجنده ارائه می‌شوند.

جدول ۱ - زمان‌های اخذ تصاویر ماهواره‌ای

شماره تصویر	زمان اخذ	ساعت جهانی گذر ماهواره
۱	۲۰۱۵/۰۱/۲۳	۷:۲۰ am
۲	۲۰۱۵/۰۲/۲۴	۷:۲۰ am
۳	۲۰۱۵/۰۳/۱۲	۷:۲۰ am
۴	۲۰۱۵/۰۴/۲۹	۷:۲۰ am

شماره تصویر	زمان اخذ	ساعت جهانی گذر ماهواره
۵	۲۰۱۵/۰۵/۳۱	۷:۲۰ am
۶	۲۰۱۵/۰۶/۱۶	۷:۲۰ am
۷	۲۰۱۵/۰۷/۰۲	۷:۲۰ am
۸	۲۰۱۵/۰۸/۰۳	۷:۲۰ am
۹	۲۰۱۵/۰۸/۱۹	۷:۲۰ am
۱۰	۲۰۱۵/۰۹/۰۴	۷:۲۰ am
۱۱	۲۰۱۵/۰۹/۲۰	۷:۲۰ am
۱۲	۲۰۱۵/۱۰/۰۶	۷:۲۰ am
۱۳	۲۰۱۵/۱۱/۲۳	۷:۲۰ am
۱۴	۲۰۱۵/۱۲/۰۹	۷:۲۰ am
۱۵	۲۰۱۶/۰۱/۱۰	۷:۲۰ am
۱۶	۲۰۱۶/۰۲/۲۷	۷:۲۰ am
۱۷	۲۰۱۶/۰۳/۳۰	۷:۲۰ am
۱۸	۲۰۱۶/۰۴/۱۵	۷:۲۰ am
۱۹	۲۰۱۶/۰۵/۰۱	۷:۲۰ am
۲۰	۲۰۱۶/۰۵/۱۷	۷:۲۰ am
۲۱	۲۰۱۶/۰۶/۰۲	۷:۲۰ am
۲۲	۲۰۱۶/۰۶/۱۸	۷:۲۰ am
۲۳	۲۰۱۶/۰۷/۰۴	۷:۲۰ am
۲۴	۲۰۱۶/۰۷/۲۰	۷:۲۰ am
۲۵	۲۰۱۶/۰۸/۰۵	۷:۲۰ am
۲۶	۲۰۱۶/۰۸/۲۱	۷:۲۰ am
۲۷	۲۰۱۶/۰۹/۰۶	۷:۲۰ am
۲۸	۲۰۱۶/۰۹/۲۲	۷:۲۰ am
۲۹	۲۰۱۶/۱۰/۰۸	۷:۲۰ am
۳۰	۲۰۱۶/۱۰/۲۴	۷:۲۰ am
۳۱	۲۰۱۶/۱۱/۰۹	۷:۲۰ am
۳۲	۲۰۱۶/۱۱/۲۵	۷:۲۰ am
۳۳	۲۰۱۶/۱۲/۱۱	۷:۲۰ am

پس از محاسبه رادیانس برای هر پیکسل می‌توان با استفاده از معکوس معادله پلانک دمای درخشندگی هر پیکسل در باند حرارتی را با استفاده از رابطه ۲ محاسبه نمود (Chander & Markham, 2003).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن K_1 و K_2 ضرایب هر باند هستند که در فایل کالیبراسیون سنجنده موجود است. L_λ رادیانس محاسبه شده برای هر پیکسل و T دمای درخشندگی محاسبه شده برحسب کلین می‌باشد.

۴- بررسی مدل‌های متفاوت رگرسیون جهت مطالعه روابط حاکم بر دمای شهری و دمای سطح زمین در ایستگاه هواشناسی: از آنجا که دمای نقاط مختلف شهری تابع دمای هوا است، ابتدا روابط موجود بین داده‌های واقعی سطح زمین و داده‌های برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای بر اساس مدل‌های متفاوت رگرسیون بررسی شد. این روش‌ها به شرح ذیل است: اگر $y = \alpha + \beta x$ معادله خط مجهول فرض شود آنگاه با کمک روش کمترین مربعات مقدار α, β به دست می‌آیند (رابطه ۳):

$$\beta = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \beta \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

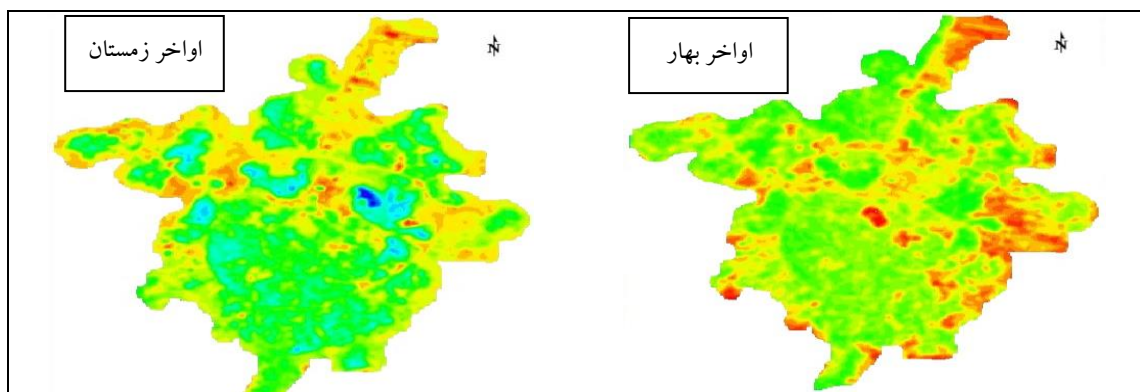
ثابت می‌شود که شیب خط رگرسیون مذکور با رابطه (۴) به دست می‌آید (Meshkati, 1985).

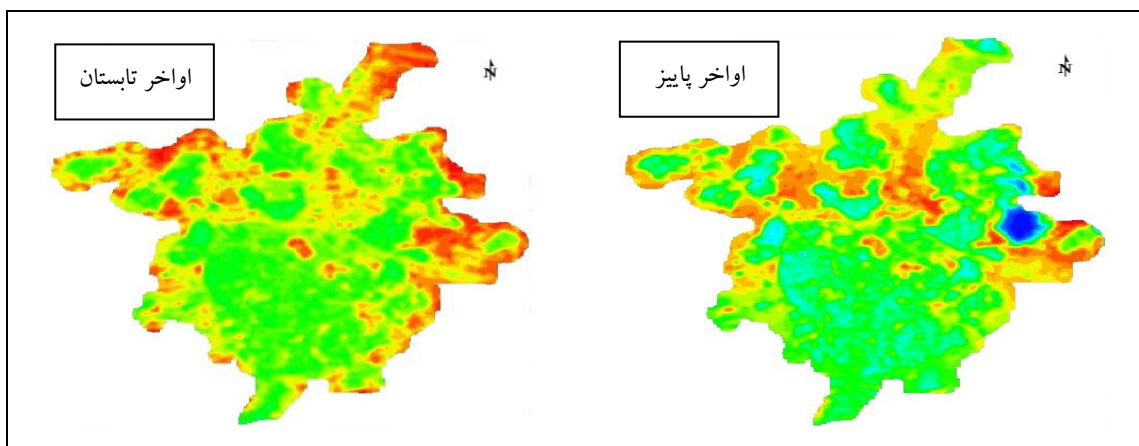
$$\beta = r \frac{S_y}{S_x} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن r ضریب همبستگی مابین Y, X بوده S_y, S_x به ترتیب انحراف معیار Y, X هستند. همان‌طور که از مقادیر بالاترین ضریب تبیین مشخص است، متغیرهای به دست آمده توسط روش‌های خطی، درجه دو و مکعبی رفتار مشابه‌تری با مقادیر دمای نقاط شهری دارد.

یافته‌های تحقیق

دما و پایش تغییرات آن یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های شناسایی وضعیت آب‌وهوایی در مناطق شهری محسوب می‌شود. سنجش‌ازدور یک ابزار سنجش جامع و کم‌هزینه در بررسی ویژگی‌های طبیعی یک منطقه محسوب می‌شود، در این تحقیق با استفاده هم‌زمان از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه آن‌ها مناطق مختلف شهر همدان از نظر ویژگی‌های حرارتی شناسایی شد. در این پژوهش از دودسته داده استفاده شده است. نخست داده‌های حداقل، حداکثر دما و داده‌های دمای سطح زمین در ایستگاه سینوپتیک همدان و دوم داده‌های برداشت‌شده از آخرین تصاویر سنجنده TIRS از ماهواره لندست ۸ در بخش داده‌های ماهواره‌ای پوشش سطح زمین به تفکیک زمانی ۱۶ روز یک‌بار در سه سال متوالی در سطوح مختلف با ویژگی‌های هدایت گرمایی، گرمای ویژه و آلودگی متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. برداشت داده‌های حرارت نقاط بر اساس رادپانس طیفی و سطح درخشندگی صورت گرفت. سطوح مورد برداشت در کاربری‌های متفاوت از جمله زمین بایر، ساختمان و فضای سبز در شهر همدان است و جهت مطالعه دقیق‌تر دما در شهر همدان سعی شد سطوح مورد برداشت در ارتفاع یکسانی باشد. با توجه به اینکه پوشش ابری و ابرناکی آسمان و گردوغبار می‌تواند برداشت داده‌ها را با خطا مواجه کند سعی گردید روزهای همراه با پدیده ابرناکی از مطالعه حذف گردد. شکل ۲ تصاویر ماهواره‌ای منطقه را به عنوان نمونه در اواخر چهار فصل در سال ۲۰۱۶ در هنگام برداشت داده نمایش می‌دهد.





شکل ۲ - تصاویر ماهواره‌ای منطقه، اواخر چهار فصل در سال ۲۰۱۶ در هنگام برداشت داده

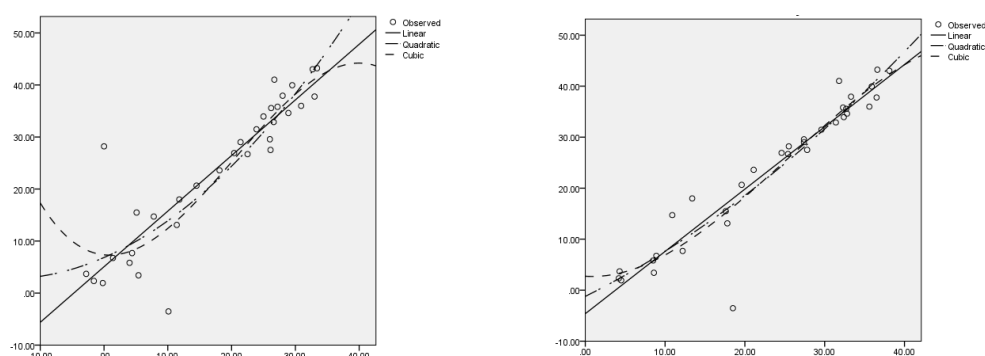
همچنین ممکن است به دلیل مشکلات فنی، ماهواره اطلاعات برداشت نکرده باشد اما نقص داده‌ها بیشتر به دلایل جوی بوده لذا جهت مشخص نمودن تمامی این موارد داده‌های برداشت‌شده با داده‌های واقعی روی زمین که توسط ایستگاه هواشناسی برداشت‌شده موردسنجش قرار گرفته است. جهت این راستی آزمایی از روش‌های مختلف رگرسیونی و ضریب تبیین استفاده گردید که با هماهنگی نسبتاً بالا بین اطلاعات تصاویر ماهواره و اطلاعات ایستگاه هواشناسی مشخص شد که داده‌های برداشت‌شده از تصاویر در مورد دمای شهر همدان قابل‌اعتماد است. در بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف شهری بر دما و اختلاف آن با دمای هوای ثبت‌شده در ایستگاه همدان فرودگاه مشخص گردید که در شهر همدان زمین بایر در مناطق مختلف شهر اختلاف بیشتری را با دمای ایستگاه هواشناسی دارد. با توجه به اینکه دمای ثبت‌شده در ایستگاه در شرایط سایه ثبت می‌گردد سعی گردید از دمای سطح زمین در شرایط آفتاب نیز استفاده گردد. در بررسی میزان اختلاف سطوح مختلف شهر با دما معلوم گردید که فضای سبز به‌عنوان عامل تعدیل‌کننده دما است. اراضی فضای سبز که دستخوش تغییرات کاربری قرار نگرفته است دارای کمترین تغییرات دما در شهر همدان است. چنانچه که اختلاف فضای سبز با حداقل دما $+0/5$ درجه است و اختلاف آن با حداکثر دما $-1/6$ می‌باشد. یعنی فضای سبز به‌عنوان عامل خنک‌کننده در فصل تابستان و عامل بازدارنده در ایجاد جزیره حرارتی در شهر همدان محسوب می‌شود.

اختلاف دما در زمین‌های بایر در حداقل دما به $5/6$ درجه سانتی‌گراد و در حداکثر به $2/42$ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (جدول ۲). یعنی زمین‌های بایر و ساختمان‌ها نقش عمده‌ای در نگهداشت گرما، به تله افتادن درجه حرارت و عدم پس داد آن به محیط در نتیجه افزایش دما در سطح شهر و ایجاد جزیره حرارتی دارند.

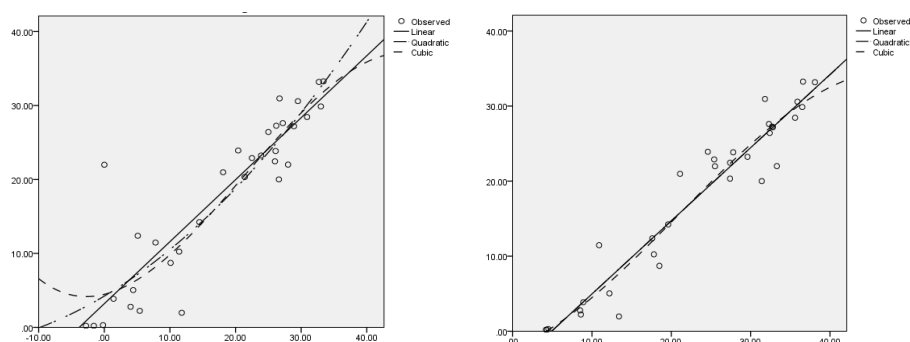
جدول ۲- اختلاف دمای برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه هواشناسی

ردیف	نوع کاربری	میانگین دمای برداشت‌شده از تصاویر	مقدار اختلاف با حداقل دمای ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی	مقدار اختلاف با حداکثر دمای ایستگاه هواشناسی
۱	زمین بایر	۲۳/۷	۵/۶	۲/۴۲
۲	ساختمان	۲۳/۶	۵/۵	۲/۳
۳	فضای سبز	۱۸/۶	۰/۵	-۱/۶

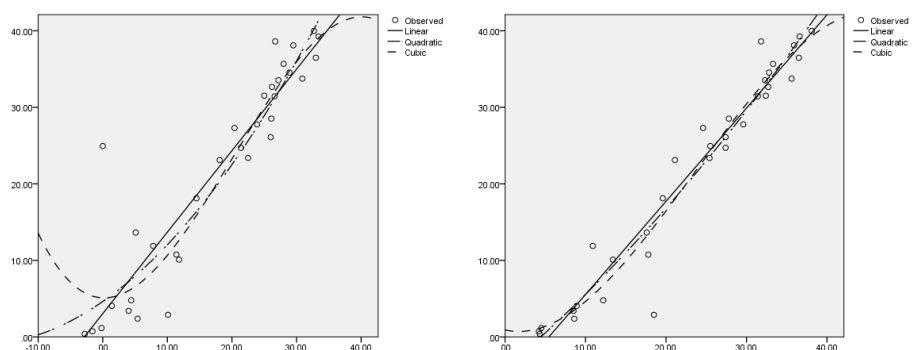
به نظر می‌رسد آلودگی نسبتاً پایین این سطوح و جذب تشعشع خورشید توسط آن‌ها باعث اختلاف دما در این سطوح باشد. جهت برآورد میزان همبستگی درجه حرارت برداشت‌شده و دمای واقعی در ایستگاه هواشناسی از مدل‌های متفاوت رگرسیون و ضریب تبیین استفاده گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید مدل رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو بهترین برآورد را بر داده‌های سطوح مختلف دارند. شکل ۳ تا ۵ رابطه دمای برداشت‌شده در زمین‌های بایر، فضای سبز و ساختمان‌های شهر همدان در تصاویر سنجنده TIRS با دمای ایستگاه هواشناسی همدان فرودگاه بر اساس مدل‌های رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو را نشان می‌دهد.



شکل ۳- رابطه دمای برداشت‌شده در زمین‌های بایر شهر همدان در تصاویر سنجنده TIR با دمای ایستگاه هواشناسی همدان فرودگاه بر اساس مدل‌های رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو



شکل ۴- رابطه دمای برداشت‌شده در سطوح فضای سبز شهر همدان در تصاویر سنجنده TIR با دمای ایستگاه هواشناسی همدان فرودگاه بر اساس مدل‌های رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو



شکل ۵- رابطه دمای برداشت‌شده در ساختمان‌های شهر همدان در تصاویر سنجنده TIR با دمای ایستگاه هواشناسی همدان فرودگاه بر اساس مدل‌های رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو

یافته‌ها میزان همبستگی بالا بین داده‌های واقعی و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد و ثابت می‌کند دمای سطح شهر همدان بیشتر تابع هوای منطقه و سیستم‌های هواشناسی وارد شده به شهر است که سطوحی مانند ساختمان‌ها منجر به افزایش میزان دمای شهر و ایجاد جزیره حرارتی در سطح شهر همدان می‌گردد. همچنین مشخص شد از بین سه مدل رگرسیون خطی، مکعبی و درجه‌دو بهترین مدل جهت برآورد دمای شهر همدان مدل رگرسیونی مکعبی است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد و با ضریب تبیین بالای ۷۰ درصد می‌باشد.

جداول ۳ تا ۵ میزان ضریب همبستگی دمای برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های واقعی در ایستگاه هواشناسی همدان فرودگاه در سطوح بایر، فضای سبز و ساختمان را نشان می‌دهد. با توجه به جداول فوق مشخص گردید که در تمامی سطوح همبستگی قابل‌اعتمادی با دمای هوا دیده می‌شود. از بین داده‌های حداقل، حداکثر و داده‌های سطح زمین ابتدا داده‌های سطح زمین سپس داده‌های

حداکثر و درنهایت داده‌های حداقل دما بهترین ضریب همبستگی را ارائه داده‌اند؛ یعنی داده‌های برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای به داده‌های حداکثر سطح زمین نزدیک‌تر است.

جدول ۳- میزان ضریب همبستگی دمای برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های واقعی در ایستگاه هواشناسی همدان در سطوح بایر

نام منطقه	مقدار همبستگی با حداقل دما			مقدار همبستگی با دمای سطح زمین			مقدار همبستگی با حداکثر دما		
	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner
اعتمادیه	۰/۸۰۹	۰/۸۳۲	۰/۸۲۴	۰/۸۹۵	۰/۹۱۰	۰/۹۰۳	۰/۸۹۲	۰/۹	۰/۸۹۷
خضر	۰/۸۳۶	۰/۸۴۴	۰/۸۳۹	۰/۹۴۲	۰/۹۴۶	۰/۹۴۳	۰/۹۴۸	۰/۹۴۹	۰/۹۴۸
شهرک الوند	۰/۶۵۰	۰/۷۳	۰/۶۷۳	۰/۷۳۶	۰/۷۴۴	۰/۷۴۴	۰/۷۹۳	۰/۸۰۱	۰/۸۰۱
شهرک شهیدبهرشتی	۰/۸۴۰	۰/۸۶۲	۰/۸۵۶	۰/۹۴۲	۰/۹۵۸	۰/۹۵۲	۰/۹۴۴	۰/۹۵۰	۰/۹۴۷
شهرک فرهنگیان	۰/۶۸۹	۰/۷۰۴	۰/۷۰۴	۰/۷۷۶	۰/۷۸۲	۰/۷۸۲	۰/۸۱۳	۰/۸۲۱	۰/۸۲۰
شهرک مدرس	۰/۷۹۳	۰/۸۱۴	۰/۸۰۵	۰/۹۰۱	۰/۹۱۶	۰/۹۰۵	۰/۹۱۷	۰/۹۲۵	۰/۹۱۷
شهرک شهیدمدنی	۰/۸۷۹	۰/۸۸۵	۰/۸۸۱	۰/۹۷۳	۰/۹۸۰	۰/۹۷۴	۰/۹۵۸	۰/۹۵۹	۰/۹۵۸
محله کاشانی	۰/۸۵۹	۰/۸۶۸	۰/۸۶۴	۰/۹۶۵	۰/۹۷۲	۰/۹۶۶	۰/۹۵۰	۰/۹۵۲	۰/۹۵۰

جدول ۴- میزان ضریب همبستگی دمای برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های واقعی در ایستگاه هواشناسی همدان در سطوح ساختمان

نام منطقه	مقدار همبستگی با حداقل دما			مقدار همبستگی با دمای سطح زمین			مقدار همبستگی با حداکثر دما		
	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner
اعتمادیه	۰/۸۲۳	۰/۸۴۴	۰/۸۳۴	۰/۸۹۶	۰/۹۱۴	۰/۹۰۴	۰/۸۸	۰/۸۸۸	۰/۸۸۴
خضر	۰/۸۷۸	۰/۸۹۲	۰/۸۸۶	۰/۹۵۸	۰/۹۷۳	۰/۹۶۳	۰/۹۵	۰/۹۵۸	۰/۹۵۵
شهرک الوند	۰/۷۳۷	۰/۷۶۰	۰/۷۵۹	۰/۸۱۷	۰/۸۲۸	۰/۸۲۸	۰/۸۵	۰/۸۶۴	۰/۸۶۳
شهرک شهیدبهرشتی	۰/۸۵۲	۰/۸۷۰	۰/۸۶۳	۰/۹۴۴	۰/۹۵۹	۰/۹۵۱	۰/۹۴	۰/۹۴۸	۰/۹۴۴
شهرک فرهنگیان	۰/۷۶۷	۰/۷۸۴	۰/۷۸۴	۰/۸۴۷	۰/۸۵۷	۰/۸۵۷	۰/۸۷	۰/۸۷۹	۰/۸۷۹
شهرک مدرس	۰/۸۷۰	۰/۸۷۸	۰/۸۷۵	۰/۹۶۲	۰/۹۷۰	۰/۹۶۴	۰/۹۴	۰/۹۴۶	۰/۹۴۵
شهرک شهیدمدنی	۰/۸۷۵	۰/۸۸۳	۰/۸۸۰	۰/۹۷۰	۰/۹۷۷	۰/۹۷۳	۰/۹۵	۰/۹۵۴	۰/۹۵۳
محله کاشانی	۰/۸۶۶	۰/۸۷۵	۰/۸۷۰	۰/۹۶۱	۰/۹۷۰	۰/۹۶۲	۰/۹۴	۰/۹۴۸	۰/۹۴۶
میدان امام	۰/۸۷۳	۰/۸۷۷	۰/۸۷۵	۰/۹۶۰	۰/۹۶۴	۰/۹۶۰	۰/۹۵	۰/۹۵۱	۰/۹۵۰

جدول ۵- میزان ضریب همبستگی دمای برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های واقعی در ایستگاه هواشناسی همدان در سطوح فضای سبز

نام منطقه	مقدار همبستگی با حداقل دما			مقدار همبستگی با دمای سطح زمین			مقدار همبستگی با حداکثر دما		
	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner	quadratic	cubic	liner
اعتمادیه	۰/۷۹۵	۰/۸۱۶	۰/۸۱۰	۰/۸۸۰	۰/۸۹۲	۰/۸۸۸	۰/۸۷۸	۰/۸۸۳	۰/۸۸۴
پارک مردم	۰/۸۳۶	۰/۸۴۵	۰/۸۴۱	۰/۹۲۴	۰/۹۳۲	۰/۹۲۵	۰/۹۵۴	۰/۹۵۶	۰/۹۵۴
خضر	۰/۸۰۵	۰/۸۱۸	۰/۸۱۲	۰/۹۲۴	۰/۹۳۲	۰/۹۲۵	۰/۹۳۵	۰/۸۳۷	۰/۹۳۵
شهرک الوند	۰/۶۹۶	۰/۷۲۰	۰/۷۱۹	۰/۷۷۹	۰/۷۹۱	۰/۷۹۰	۰/۸۲۰	۰/۸۲۹	۰/۸۲۸
شهرک شهیدبهرشتی	۰/۷۷۶	۰/۸۰۲	۰/۷۹۸	۰/۸۸۹	۰/۹۰۱	۰/۸۹۷	۰/۹۱۶	۰/۸۲۳	۰/۹۲۱
شهرک فرهنگیان	۰/۷۴۷	۰/۷۵۸	۰/۷۵۸	۰/۸۳۲	۰/۸۳۶	۰/۸۳۶	۰/۸۵۲	۰/۸۵۶	۰/۸۵۵
شهرک مدرس	۰/۸۵۱	۰/۸۶۰	۰/۸۵۷	۰/۹۶۱	۰/۹۶۸	۰/۹۶۲	۰/۹۶۰	۰/۸۶۲	۰/۹۶۰
شهرک شهیدمدنی	۰/۸۷۰	۰/۸۷۳	۰/۸۷۰	۰/۹۷۴	۰/۹۷۷	۰/۹۷۴	۰/۹۵۸	۰/۹۵۹	۰/۹۵۹
محله کاشانی	۰/۸۶۹	۰/۸۷۶	۰/۸۷۲	۰/۹۶۰	۰/۹۶۷	۰/۹۶۱	۰/۹۴۶	۰/۹۴۶	۰/۹۴۶

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری

منطقه مورد مطالعه شهر توریستی همدان واقع شده در دامنه کوهستان الوند است و به علت ارتفاع بالا از سطح دریا به عنوان یکی از شهرهای سردسیر با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً خنک است. به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی - تاریخی دارای قابلیت‌های فراوان در زمینه گردشگری می‌باشد؛ اما رشد روزافزون جمعیت در دهه‌های اخیر در شهر تاریخی همدان باعث رشد و توسعه، ساخت و ساز در این شهر بوده است؛ که زمینه‌های ایجاد جزیره حرارتی و مخاطرات ناشی از آن را باعث شده است. آلودگی‌های ناشی از حمل و نقل شهری، صنعت و فعالیت‌های انسانی در روزهای آرام و پایدار خصوصاً افزایش چشم‌گیر مسافران در فصلی مانند تابستان در حالی است که سیستم اقلیم جهانی با پدیده گرمایش جهانی روبه‌روست و عوامل یادشده خود تشدیدکننده این عامل است لذا تحلیل اقلیم شهری و جزیره حرارتی می‌تواند مسئولان و برنامه‌ریزان شهری را جهت مکان‌یابی بهینه و تصمیم‌گیری مناسب در اجرای پروژه‌های شهری کمک نماید.

در این تحقیق با استفاده هم‌زمان از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای، جزیره حرارتی شهر بررسی شد. روش‌های مختلف رگرسیونی و ضریب تبیین بالا نشان از هماهنگی بالا بین اطلاعات تصاویر ماهواره و اطلاعات ایستگاه هواشناسی دارد. تأثیر کاربری‌های زمین بایر با آلودگی نسبتاً پایین در ایجاد جزایر حرارتی به مراتب بیشتر از سایر کاربری‌ها در شهر همدان است. کاربری فضای سبز به عنوان عامل تعدیل‌کننده دما در شهر است. پوشش گیاهی دارای کمترین تغییرات دما در شهر همدان است. در بررسی میزان همبستگی دمای برداشت شده و دمای واقعی مشخص گردید مدل رگرسیون مکعبی سطح اطمینان ۹۵ درصد و با ضریب تبیین بالای ۷۰ درصد بهترین برآورد را بر داده‌های سطوح مختلف دارند. داده‌های سطح زمین بهترین ضریب تبیین را با داده‌های برداشت شده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه داده‌اند.

نتایج به دست آمده در تحقیق فوق همانند نتایج تحقیق رضایی و دخت محمد نشان‌دهنده اختلاف دما در مناطق مختلف شهر با حداقل و حداکثر دمای ایستگاه است، اختلاف بیشتر نیز مربوط به حداقل دما است. در این تحقیق علاوه بر نمایش این اختلاف میزان همبستگی داده‌ای برداشت شده تصاویر ماهواره‌ای را با حداقل و حداکثر دما نشان می‌دهد (Ramezani & Dokhtmohammad, 2010).

نتایج این تحقیق نشان داد که فضای سبز دارای دمای پایین‌تری نسبت به مکان‌های اطراف است که با نتایج الحسینی المدرسی و همکاران هم‌راستا می‌باشد (Alhossiani Almodaresi et al., 2015). با این تفاوت که اختلاف درجه حرارت در مناطق با پوشش فضای سبز در شهر همدان با داده‌های ایستگاه هواشناسی بیشتر در حداکثر دما دیده می‌شود؛ و ثابت می‌کند که پوشش گیاهی در واقع نقش تعدیل‌کننده جزیره حرارتی را در شهر همدان دارد. افزایش دمای شهر ایجاد جزیره حرارتی موجب کاهش آسایش انسان و نابودی زیرساخت‌های زیست‌محیطی شده که بررسی آن مطالعات وسیع‌تر و به کارگیری سایر مدل‌های اقلیمی در آینده‌نگری وضعیت اقلیم شهر همدان را می‌طلبد.

سهم نویسندگان: زهره مریانجی (نویسنده اول) پژوهشگر اصلی، (۵۰٪)، مسلم درویشی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی، (۳۰٪)، حامد عباسی (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی، (۲۰٪)

منابع و مآخذ

- Alhossiani Almodaresi, A., Saati, M., & Ebrahimi, S. A. (2015). *Extraction of thermal islands in Tehran using ASTER images*. Paper presented at the First National Conference on Information Technology Engineering, Tehran. (Persian)
- Alijani, B., Tolabinejad, M., & Sayadi, F. (2017). Calculation of thermal island intensity based on the geometry of the study area: Koushebagh neighborhood of Tabriz city. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4(3), 99-112. (Persian)

- Asghari Sareskanrood, S & Zeinali, B. (2015). Study on climate effects of urban development in Tehran city. *Geographical sciences of Journal*, 11(22), 58-70. (Persian)
- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/ land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104. [DOI:10.1016/j.scs.2016.03.009]
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(11), 2674-2677. [DOI:10.1109/TGRS.2003.818464]
- Dhalluin, A., & Bozonnet, E. (2015). Urban heat islands and sensitive building design – A study in some French cities' context. *Sustainable Cities and Society*, 19, 292-299. [DOI:10.1016/j.scs.2015.06.009]
- Ezber, Y., Lutfi Sen, O., Kindap, T., & Karaca, M. (2007). Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(5), 667-679. [DOI:10.1002/joc.1420]
- Kaviyani, M. (2005). *Microclimatology*. Tehran: Samt. (Persian)
- Meshkati, M. (1985). *Introductory of statistics*. Tehran: Tehran University. (Persian)
- Moharami, J. (2014). *Investigating the role of land use in the production of urban thermal city (Case study: Tabriz city)*. (Master's thesis), Tabriz University. (Persian)
- Montávez, J. P., Rodríguez, A., & Jiménez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20(8), 899-911 .
- Nakata, C., Souza, L. C. L., & Rodrigues, D. S. (2015). *A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry*. Paper presented at the The 14th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management.
- Porkhabaz, A., Ahmadizadeh, S., Naseri, A., & Parvian, N. (2015). *Analysis of thermal islets in urban areas of Mashhad*. Paper presented at the The First International Conference on Architecture, Urbanization, Engineering, Art and Environment, Tehran. (Persian)
- Ramezani, B., & Dokhtmohammad, S. (2010). Recognition of the spatial boundaries of the formation of the thermal island in Rasht. *Journal of Urban Planning and Research*, 1(1), 49-64. (Persian)
- Ranjbar Sadatabbadi, A., Ali Akbari Bidokhti, A., & Sadeghi Hosseini, S. (2006). The effects of thermal island and urbanization on the air and local climate in the city of Tehran based on the data of Mehrabad and Varamin. *Journal of Ecology*, 32(39), 59-68. (Persian)
- Tereshchenko, I., & Filonov, A. (2001). Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology*, 21(4), 483-494. [DOI:10.1002: joc.602]
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G. J., Ronda, R. J., & Holtslag, A. A. (2017). A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *International Journal of Climatology*, 37(1), 443-454 .
- Xunqiang, M., Chen, C., Fuqun, Z., & Hongyuan, L. (2011). *Study on temporal and spatial variation of the urban heat island based on Landsat TM/ETM+ in central city and Binhai New Area of Tianjin*. Paper presented at the 2011 International Conference on Multimedia Technology, Hangzhou, China.
- Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R. K., . . . Myneni, R. B. (2004). Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9540-9544. [DOI:10.1073/pnas.0400357101]