

Assessment of the Effects of the Urban Built Environment on Energy and Air Pollution in the Urban Environment (Case Study: Sari City)

Manizheh Teymoori¹, Mehrdad Ramezanipour^{2*} and Ameneh Haghazad³

1. PhD Candidate in Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran

2. Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran

3. Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Chalous Branch, Iran

* Corresponding Author, Mehr5490@yahoo.com

Received Date:
29/03/2025

Revise Date:
10/05/2025

Accepted Date:
20/06/2025

Published Date:
09/08/2026

Article Info Abstract

Articles extracted from Thesis
Volume 7, Issue 24, Summer 2026
Pages 18-34

Sari as one of the most populous cities in Iran is experiencing a growing presence of industrial and man-made structures, which has led to the degradation of its natural environment. The present study aims to evaluate the impact of built environments on energy consumption and air pollution in the urban ecosystem of Sari. This research is descriptive-analytical in nature and applied in purpose. Given that the study investigates the comparative impacts of the built environment on the natural environment of Sari across three time intervals (1999, 2009, and 2019), the study area includes both artificial and natural landscapes of Sari city. The data used in this research regarding air pollutants were obtained from Landsat and Sentinel satellite imagery. The analysis of the data was conducted using remote sensing techniques through ArcGIS and Terset software. The findings reveal that over the three time periods, land surface temperature (LST) increased in parallel with the decline in vegetation cover in Sari. In 1999, LST ranged from 19°C to 32°C, which rose to between 23°C and 41°C by 2019. The reduction in vegetation, driven by construction and urban physical expansion, has significantly increased surface temperatures. Moreover, the spatial correlation analysis of surface temperature across Sari shows a point-to-point spatial correlation of 0.47 between 1999 and 2019, indicating that approximately 5.3% of the city's area has experienced changes in its surface temperature pattern over the past two decades.

Keywords: Urban Built Environment, Energy, Air Pollution, Urban Environment, Sari City

Cite this article:

Teymoori, M., Ramezanipour, M., & Haghazad, A. (2026). Assessment of the effects of the urban built environment on energy and air pollution in the urban environment (Case study: Sari City). *Journal of Economic Geography Research*, 7(24), 18-34.

 <https://doi.org/10.30470/jegr.2025.2056821.1283>



2821-2266 © University of Zanjan.

This is an open access article under the CC BY-NC/4.0/License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Extended Abstract

Introduction

Urbanization, while considered a vital indicator of development, brings with it considerable environmental challenges. Cities like Sari, located in the northern region of Iran near the Caspian Sea, have witnessed significant expansion in recent decades. This growth, often unplanned, has led to increased land consumption, destruction of natural vegetation, loss of agricultural lands, and alteration of the hydrological cycle. As a result, environmental degradation—manifested in forms such as increased land surface temperature, reduced green space, and fragmentation of ecosystems—has become a growing concern. The use of geospatial technologies such as GIS and remote sensing offers a powerful means of detecting, monitoring, and analyzing these changes over time.

Methodology

In this study, satellite imagery from the Landsat series (TM, ETM+, and OLI) was used to assess land use/land cover (LULC) changes and their environmental implications in Sari from 1990 to 2020. The data was preprocessed, and supervised classification was performed using the maximum likelihood algorithm. Accuracy assessment was conducted using confusion matrices and Kappa coefficients. Land Surface Temperature (LST) was extracted using the thermal bands and correlated with urban expansion trends. Additionally, spatial metrics were calculated to evaluate landscape fragmentation. The classified maps were further analyzed within a GIS environment to identify patterns of urban sprawl and quantify the environmental transformation over time.

Results and discussion

The results indicated a significant increase in built-up areas, mainly at the expense of agricultural and forest lands. Between 1990 and 2020, the urban footprint in Sari nearly doubled, with corresponding increases in LST and surface imperviousness. Fragmentation indices revealed increasing landscape disintegration, particularly in peri-urban areas. The NDVI trend showed a declining pattern, highlighting the loss of vegetation cover.

Spatial analysis demonstrated that urban expansion followed a linear and scattered pattern along transportation corridors, contributing to inefficient land use and greater environmental pressure. These findings underscore the direct relationship between urban growth and environmental degradation in the region.

Conclusion

The study illustrates the critical environmental impacts of unchecked urban growth in Sari. Through the integration of remote sensing and GIS techniques, it is evident that the city's expansion has led to increased surface temperatures, reduced vegetation, and fragmented landscapes. These changes call for the implementation of sustainable urban planning strategies that prioritize ecological integrity, protect green spaces, and guide future growth in a more compact and environmentally responsible manner.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر انرژی و آلودگی هوای محیط زیست شهری (مطالعه موردی: شهر ساری)

منیژه تیموری^۱، مهرداد رضمانی پور^{۲*} و آمنه حقزاد^۳

۱. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

۲. استادیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران.

۳. استادیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۳/۳۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۲/۲۰

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۱/۰۹

اطلاعات مقاله چکیده

شهر ساری به عنوان یکی از شهرهای پرجمعیت ایران از جمله شهرهایی است که مکانهای صنعتی و ساخته دست بشر در آن رو به افزایش است و موجب تخریب بخش طبیعی آن شده است. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی تأثیر محیط‌های مصنوع بر مصرف انرژی و آلودگی هوای محیط زیست شهرساری است. پژوهش حاضر از نظر روش به لحاظ ماهیت و روش توصیفی تحلیلی و به لحاظ هدف کاربردی می‌باشد. با توجه به اینکه تحقیق حاضر به بررسی تطبیقی تأثیرات محیط مصنوع بر محیط زیست در شهر ساری در سه مقطع زمانی از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ پرداخته است، میتوان گفت جامعه مورد بررسی در این تحقیق وضعیت محلی (مصنوع و طبیعی) شهر ساری بوده است. همچنین داده‌های پژوهش حاضر در زمینه آلاینده‌های هوا مشتمل بر داده‌های لندست و سنتینل است. تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش حاضر مبتنی بر پردازش داده‌های ماهواره لندست و سنتینل با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS و Terset صورت گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در سه مقطع زمانی فوق دمای سطح زمین به موازات کاهش پوشش گیاهی در شهر ساری افزایش یافته است و در سال ۱۳۷۸ با کمترین درجه سلسیوس ۱۹ تا ۳۲ به میزان ۲۳ تا ۴۱ درجه سلسیوس در سال ۱۳۹۸ رسیده است و کاهش میزان پوشش گیاهی براساس ساخت و سازها و گسترش فیزیکی شهر درجه حرارت به میزان قابل توجه افزایش یافته است و نتایج محاسبه همبستگی بین حرارت سطح نواحی شهر ساری نشان می‌دهد بین میزان انرژی گرمایی سطح نواحی شهر ساری در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۸ به مقدار ۰,۴۷ همبستگی فضایی (نقطه به نقطه) وجود دارد این بدان معناست که ۰/۰۵۳ از مساحت شهر ساری در طی دو دهه‌ی اخیر الگوی میزان حرارت خود را تغییر داده است.

مقاله برگرفته از رساله دکتری
دوره ۷، شماره ۲۴، تابستان ۱۴۰۵
صص ۲۴-۱۸

کلید واژه‌ها: محیط مصنوع شهری، انرژی و آلودگی هوای، محیط زیست شهری، شهر ساری.

Mehr5490@yahoo.com

*نویسنده مسئول:

ارجاع به این مقاله: تیموری، منیژه؛ رمضان‌پور، مهرداد؛ و حقزاد، آمنه. (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر انرژی و آلودگی هوای محیط زیست شهری (مطالعه موردی: شهر ساری)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی، ۷(۲۴)، ۱۸-۳۴.

 <https://doi.org/10.30470/jegr.2025.2056821.1283>



2821-2266 © University of Zanjan.

This is an open access article under the CC BY-NC/4.0/License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

بیان مساله

جهان همچنان افزایش جمعیت شهری را تجربه می‌کند و نرخ شهرنشینی در بسیاری از مناطق شهری از دهه‌های گذشته افزایش یافته است. انتظار می‌رود که مناطق شهری تقریباً تمام رشد آینده جمعیت جهان را جذب کنند (Habitat, 2020). در زمان تصویب دستور کار توسعه پایدار ۲۰۳۰ در سال ۲۰۱۵، ۵۴ درصد (۴ میلیارد) از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کردند، انتظار می‌رود تا پایان دوره ۲۰ ساله که برنامه شهری جدید را در سال ۲۰۳۶ پوشش می‌دهد، ۶۲ درصد (۵٫۴ میلیارد) از جمعیت جهان در مناطق شهری سکونت داشته باشند (United Nations, 2018) و ۹۶ درصد از رشد شهری در مناطق کم‌تر توسعه یافته شرق آسیا، جنوب آسیا و آفریقا با سه کشور - هند، چین و نیجریه - رخ خواهد داد که ۳۵ درصد از کل افزایش جمعیت شهری جهانی از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۵۰ را شامل می‌شود (Habitat, 2020). رشد فزاینده شهرنشینی با تغییرات پوشش زمین که گرمای اضافی را به جو آزاد می‌کند و با انتشار آلاینده‌های هوا، که با ابرها و تابش در تعامل هستند، بر چرخه آب و هوا و هیدرولوژیکی تاثیر می‌گذارد (Deilami et al, 2018; Kotharkar et al, 2018; Li et al, 2017; Liang et al, 2020; Yao et al, 2018). این رشد فزاینده باعث می‌شود که شهرها انرژی بیشتری مصرف کنند و بخشی از این انرژی به شکل گرما آزاد می‌شود، که با تابش خورشید تشدید می‌شود (Manoli et al., 2019) از این رو شهرها به دلیل تراکم جمعیت و فشردگی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، مهمترین مراکز مصرف منابع و تولیدکننده مواد زائد و آلودگی به شمار می‌روند (xing et al, 2009). افزایش ۳۵ درصدی غلظت گاز دی اکسید کربن نسبت به ۱۵ سال پیش در سال ۲۰۰۵، تاییدی بر مسئله است (Reinaud, 2008). در عین حال، گسترش فیزیکی شهرها، خواص ترمودینامیکی سطح را تا حد زیادی تغییر می‌دهد و تغییر ظرفیت گرمای ویژه، منجر به افزایش دما در نواحی شهری نسبت نواحی حومه شهر می‌شود (Huang & Wang, 2019; Oke, 1973). فرم و شکل شهری، ویژگی‌های فیزیکی که نواحی ساخته شده شهری را تشکیل می‌دهند، از جمله شکل، اندازه، تراکم و پیکربندی سکونتگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف: منطقه‌ای، شهری، واحدهای همسایگی، بلوک و خیابان، نشان داده شده است که اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر روی سلامت زیستی شهروندان می‌گذارد (Ahfeldt & Pietrostefani, 2017; Cairnes, 1996; Giridharan et al, 2004; Hathway & harples, 2012; Masmoudi & Mazouz, 2004).

عدم توجه کافی به مسائل محیط زیستی در شهرسازی امروزی آثار تخریبی وسیع و گاهی جبران ناپذیر را بر محیط زیست شهرها برجای گذاشته است و انواع آلودگیها از جمله آلودگیها مانند آلودگی هوا، آلودگی آب، آلودگی صوت، آلودگی خاک را به دنبال خود داشته است. با تخریب شهر و ایجاد محیط‌های انسانساخت، سیمای کلی شهرها را عواملی همچون تراکم جمعیت، انواع آلودگیها، انباشت زباله و فقدان هویت شهری شکل داده است (حسین آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). در دهه‌های اخیر نواحی شهری تنها ۲ درصد از مساحت زمین را شامل می‌شد اما امروزه مناطق شهری جزو چشم‌اندازهای غالب هستند و نقش مهمی بر اکوسیستم محلی و جهانی دارند (فتحی و همکاران، ۱۴۰۰). هم انسان به شکل دادن محیط می‌پردازد و هم محیط طبیعی (با ویژگیهایی که دارد) بر انسان، فرهنگ و رفتار او تاثیر می‌گذارد (Honga et al, 2019).

محیط زیست پیرامون این محدوده‌های انسان ساخت را با چالش‌هایی نظیر تعارض و تخریب اراضی کشاورزی، آلودگی منابع آب منطقه و فاضلاب‌های شهری و صنعتی به سفره‌های ذخیره آب سطحی و زیرسطحی، آلودگی و کاهش کیفیت هوا و بویژه تغییرات دمایی و ایجاد جزیر حرارتی (عادلی و همکاران، ۱۳۹۶) که در پیرامون مراکز شهری و جمعیتی این ناحیه شکل می‌گیرد رو به رو کرده است که گاهی اتخاذ سیاست‌هایی که بتواند پایداری محیط زیست را تأمین نماید را با مشکل مواجه می‌کند (عابدینی و داغستانی، ۱۳۹۹). اما آنچه اهمیت مشکلات و نارسایی‌ها را بیشتر نمایان می‌سازد این است که این مشکلات تک‌بعدی نبوده و گاهی به صورت طیفی و چندبعدی بر هم اثر گذار بوده و روند آسیب‌زایی به محیط زیست را تشدید می‌کند (Newman & Jennings, 2009; Cobbinah, 2015).

پایش فضای جغرافیایی و جمعیتی شهر ساری براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که در این ناحیه، رشد جمعیتی قابل توجهی مشاهده می‌گردد و جمعیت ساکن در این شهر به ۵۰۴۲۹۸ نفر رسیده است. از یک سو افزایش جمعیت و تراکم ساختمانی و رشد لجام گسیخته آن، زمینه تحرکات اقتصادی و فعالیت ساکنان این نواحی را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است و مشکلات ناشی از این دگرگونی‌ها محسوس می‌باشد. از سویی دیگر توسعه محیط‌های مصنوع و رشد کالبدی مراکز سکونتگاهی بر افزایش آلودگی و مصرف انرژی در شهر ساری موثر واقع شد و در این تحقیق تلاش گردیده است با استفاده از قابلیت‌های منحصر به فرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور اثرگذاری دگرگونی‌های محیط مصنوع شهر ساری در مقاطع زمانی اشاره شده بر ایجاد و گسترش آلودگی هوا که خود اثرات زیادیر سلامت و محیط زیست شهروندان در نهایت خواهد داشت و از نظر اقتصادی و افزایش هزینه‌های اقتصادی ناشی از آن نیز مؤثر است مورد بررسی علمی قرار گیرد. منابع بررسی‌شده در مقیاس جهانی به خوبی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از بازتاب‌های توسعه محیط مصنوع در ایجاد آلودگی در شهرها، نمود ظاهری می‌یابد و موضوعی که خود بیانگر تغییرات گسترده اقلیمی ناشی از توسعه‌های ناسنجیده در فرم و ساختار کالبدی و حتی اجتماعی شهرها نیز می‌باشد.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

قبل از دهه آخر قرن بیستم به ندرت بحثی از شهرنشینی در زمینه پایداری می‌شد و تنها به عنوان عاملی مؤثر در مسائل زیست محیطی جهان مطرح بود. ردپای اکولوژیک شهرها اثری فوق العاده بر مناطق پیرامونی آن‌ها داشته است و علی‌رغم مرکزیت شهرها در فرایند توسعه، بحث‌های مربوط به شهرنشینی و پایداری، تا حد زیادی به صورت دو موضوع جدا از هم شکل گرفته‌اند. از طرف دیگر به خاطر نقش کلیدی که برای شهرها در رشد پایدار اقتصادی انتظار می‌رفته است، از نظر برخی، این رشد آن قدر با پایداری ارتباط نزدیکی داشته که شهرها باید به آن برسند (موسی کاظمی محمدی، ۱۳۸۱). حرکت‌های جهانی از کنفرانس استکهلم آغاز شد و در آن مسائلی چون شهر سالم، توسعه کالبدی سریع، تخریب سرزمین، گسترش و افزایش شهرها و غیره به میان آمد. درواقع این کنفرانس عرصه تحولات فکری تازه در برخورد با مسائل زیست محیطی بود. در چین، بایرن و همکاران بامطالعه بر روی پنج شهر آن و از جمله پکن، به این نتیجه رسیده‌اند که با تغییر نگرش به توسعه با هدف پایداری در راهبردهای سنتی که رشد صنعتی را تعقیب می‌کنند، می‌توان کیفیت زیست محیطی شهرها را بهتر کرد. در این بررسی اقتصاد، فن‌آوری، انرژی و محیط زیست چارچوب مفهومی را تشکیل می‌دهند (Byrne et al, 1993). در سال‌های اخیر روش‌های گوناگون از جمله استفاده از شاخص‌های محیط زیستی برای ارزیابی چرخه‌ی زندگی شهرها، صنایع و کانون‌های انسان ساخت به کاربرده می‌شود، محققان کانادا در سال ۲۰۱۱ به بررسی سلامتی محیط زیست در تورنتو پرداختند (Toronto, 2011). طی تحقیقی دیگر که در دانشگاه کیوتو و لندن صورت گرفته، ۱۳ سری شاخص برای ارزیابی پایداری شهرها توسعه داده شده است (Mori and Christodoulou, 2012). در ایران نیز محققان مدل ارزیابی کیفیت محیط زیست شهری را تهیه کردند (بحرینی و طیبیان، ۱۳۷۷). همچنین تحقیقات متعددی در زمینه محیط زیست شهری و تغییرات کاربری ارضی (طهماسبی مقدم و همکاران، ۱۴۰۴؛ احدنژاد روشتی، ۱۳۹۸) و تحلیل مقایسه‌ای شاخص‌های آن توسط فریادی (۱۳۸۷) طی سال‌های متعدد صورت گرفته است.

ارزیابی پایداری زیست محیطی نشانگر اقدامات مادی و غیرمادی است که اطلاعاتی کلیدی در مورد تأثیرات محیط زیست، رعایت مقررات، روابط ذی‌نفعان و سیستم‌های سازمانی فراهم می‌آورد و نشانگر تعاریفی از اثربخشی و بهره‌وری اقدامات انجام گرفته در محیط زیست می‌باشند (Henri & Journeault, 2008). این نوع، ارزیابی آثار مثبت و منفی طرح بر محیط را مورد تأکید قرار می‌دهد و شیوه‌ای است که متخصصان برای توصیف و تحلیل آثار عمده فعالیت‌های محیطی به کار می‌گیرند تا از طریق شناخت عوامل مؤثر در اثرگذاری محیطی به ویژه آثار منفی را به حداقل برسانند. موضوع مورد تأکید در این زمینه ظرفیت نگه‌داشت منطقه‌ای برای جامعه انسانی است که به صورت حداکثر میزان مصرف منابع و خروج و تصفیه پسماندی به طور مشخص در یک منطقه، برنامه‌ریزی

ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر... / تیموری و همکاران ...

معین بدون لطمه زدن، آسیب رساندن تصاعدی بر یکپارچگی، وحدت اکولوژیکی و بهره‌وری زیستی، پایدار می‌ماند (بدری و افتخاری، ۱۹:۱۳۸۲). ارزیابی پایداری زیست محیطی شامل ارزیابی تأثیرات مستقیم از پروژه در محیط زیست با توجه به جایگزین‌ها و تلاش برای کاهش اثرات زیان‌بار زیست محیطی می‌باشد (Sutcliffe et al, 2009). ارزیابی پایداری به‌طور فزاینده‌ای تحت تأثیر مجموعه‌ای از ابزارهای ارزیابی می‌باشد (Nessa, 2007). این ابزارها در قالب، چارچوب‌های ارزیابی توسعه پایدار قابل استفاده می‌باشند. چارچوب‌های ارزیابی در انتخاب ابزارهای مناسب و کارآمد و سهولت استفاده از آن‌ها مؤثر و مفید می‌باشند.

در رابطه با ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر انرژی و آلودگی هوای محیط زیست شهری طیف وسیعی از مطالعات در سطح جهان و ایران وجود دارد. از نمونه کارهای قابل ملاحظه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بالت، توماس و سن در سال ۲۰۱۸ پژوهشی با عنوان استفاده از رسوبات دریاچه‌های مصنوعی (سدها) به عنوان شواهد زیست محیطی ورودی‌های حوضه آبریز و آلاینده جوی انجام دادند. دریاچه‌های طبیعی و مخازن مصنوعی (سدها) به عنوان چاله‌هایی برای نگاهداشت آب حوضه آبخیز و همچنین برای تجمع رسوبات و ریزش‌ها از جو محسوب می‌شود. این ذخایر در مجاورت با شهرها و آلاینده‌های صنعتی قرار گرفته‌اند و رسوبات سریعاً و هم‌زمان با انتشار آلودگی انباشته می‌شوند. این در حالی است که داده‌های این پژوهش نشان می‌دهند که ذخایر مصنوعی قادرند داده‌های رسوبی ذخایر مصنوعی قادرند داده‌های مهمی را برای فهم و بازسازی آلودگی‌های جوی و حوضه آبخیز این منابع، مهیا نمایند.

ناردینو و لوراکیا در سال ۲۰۱۹ ضمن کار تحقیق خود با عنوان اثرات تغییرات کاربری اراضی در نواحی پیرامون شهری ایجاد جزایر حرارتی در شهرها به این نتیجه رسیدند که تغییرات کاربری اراضی در تغییرات دمایی در سطح شهرها نسبت به نواحی پیرامونی آن‌ها تأثیر مستقیمی دارد. این محققین با رصد تغییرات دمایی بین نواحی شهری و نواحی روستایی پیرامون آن‌ها در دره پو در کشور ایتالیا به این نتیجه رسیدند که در نواحی شهری به علت تراکم بیشتر جمعیت، نیاز بیشتری به مصرف انرژی برای ایجاد شرایط مطلوب آسایشی در روز و شب می‌باشد. این محققین جهت دستیابی به اهداف، از قابلیت نرم‌افزاری ENVI Met استفاده کرده و به بررسی موضوع پرداختند و مقایسه سطح تعادل انرژی (تابش ورودی و خروجی) در منطقه شهری یا مناطق روستایی موید یافته‌های اولیه محققین می‌باشد.

پاراوینا، چیمما و گائ در سال ۲۰۱۹ در یک بررسی جامع به نقش شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی به عنوان یک آلاینده در حال ظهور در محیط زیست پرداختند که مناظر و چشم‌اندازها را به خطر می‌اندازد. به‌طور کلی، از این شیرین‌کننده‌ها به‌طور گسترده‌ای به عنوان جایگزین قند در موارد مختلف استفاده می‌شود. متأسفانه شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی اکنون به عنوان آلاینده‌های در حال ظهور شناخته می‌شوند و با ماندگاری زیاد آب و از نظر شیمیایی در محیط پایدار هستند با این حال تأثیرات بالقوه آنها بر محیط زیست و سلامت انسان مبهم است. بنابراین، این مطالعه برای ارائه بینش جامع‌تری در مورد اثر شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی در محیط انجام شد تا نگرانی‌هایی در مورد سلامت انسان، و خطرات زیست محیطی را روشن سازد. در حال حاضر، ۲۴ مطالعه شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی در مورد سراسر اروپا، کانادا، آمریکا و آسیا انجام شده است. به‌طور کلی، یافته‌های کمی نشان می‌دهد که وقوع شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی در آبهای سطحی، آب لوله‌کشی، آبهای زیرزمینی، آب دریا، دریاچه‌ها و جو وجود دارد. در میان این ماتریسهای محیطی، آبهای سطحی به عنوان بیشترین ماتریس مورد مطالعه درگیر شیرین‌کننده‌های مصنوعی غیر خوراکی شدند. این مطالعه به عنوان چارچوبی برای برنامه‌های نظارتی آینده و قانونگذاری محیط زیست برای کنترل بهتر عمل می‌کند.

حسین‌آبادی، یعقوب‌زاده و فروزان‌مهر در سال ۱۳۹۹ در مطالعه‌ای به شناسایی گرد و غبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس (مطالعه موردی: شهرستان زابل) پرداختند. در این خصوص از تصاویر ماهواره‌های سنجنده مودیس استفاده شد و پس از اعمال دو شاخص گرد و غبار آکرمن و TDI روی این تصاویر مقایسه‌ای بین نتایج آنها با یکدیگر و همچنین با نتایج شاخص پوشش گیاهی

انجام گرفت. یافته‌های تحقیق نشان داد که در هر چهار رویداد پر گرد و غبار، بهترین کارایی مربوط به شاخص TDI بوده است و این شاخص نتایج بهتر و قابل قبول‌تری را در منطقه مورد مطالعه با توجه به میزان واقعی گرد و غبار ارائه داده است. همچنین نقشه NDVI نیز حاکی از رابطه مستقیم پوشش گیاهی منطقه با پدیده گرد و غبار و ضعف پوشش گیاهی در نواحی دارای شدت بالای گرد و غبار قرار دارد.

پاکدامن و همکاران در سال ۱۳۹۹ در مطالعه خود به تبیین رابطه الگوی پراکنش شهری با توسعه پایدار (مطالعه موردی: شهر ساری) پرداختند. بر اساس نتایج، گسترش شهر به صورت افقی و توزیع نامناسب خدمات اتفاق می‌افتد. تحلیل‌ها توزیع نامناسب کاربری‌ها را در شهر ساری تأیید می‌کند. علاوه بر این ضریب اسپیرمن به دست آمده ۰/۱۵ بود که نشان‌دهنده ارتباط ضعیف بین پراکنش جمعیت و توزیع خدمات در سطح نواحی ساری است. رشد عمودی نیز در بعضی نواحی و رشد پراکنده در غالب نواحی در طی زمان باعث توزیع نامناسب خدمات در سطح شهر و ساخت و سازهای بی رویه در حاشیه این شهر شده است.

غلامی و همکاران در سال ۱۳۹۹ به بررسی سرمایه فرهنگی و رفتار زیست محیطی در مطالعه موردی شهر ساری پرداختند. بدین منظور از نظریات بورديو و تومه به عنوان چارچوب تئوریک استفاده شد. روش تحقیق، پیمایشی و شیوه نمونه‌گیری، خوشه‌ای چندمرحله‌ای می‌باشد. حجم نمونه طبق فرمول کوکران ۴۰۰ نفر به دست آمد و ابزار گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته بود. نتایج حاکی از آن است که میانگین رفتار زیست محیطی در بین افراد نسبتاً بالا بوده و میانگین آن از عدد ۵ برابر با ۳/۷۸ می‌باشد. بین متغیرهای سرمایه فرهنگی و رفتار زیست محیطی رابطه معنادار مثبت وجود دارد. در بیشتر منابع تحقیقی که تا کنون در سطح کشور در زمینه تحقیق حاضر و بررسی اثرات محیط مصنوع بر محیط زیست (با تأکید بر اقلیم) صورت گرفته است نشان می‌دهد که عمده این تحقیقات به بررسی توصیفی موضوع بسنده کرده و تلاش شده است که جنبه‌های مختلف این موضوع مورد اشاره قرار گیرد؛ این در حالی است که کمتر محققین به بررسی تحلیلی و یا تطبیقی این موضوع پرداخته‌اند. اما در مطالعات خارجی بویژه در سالیان اخیر توجه بسیار زیادی به تغییرات خرد اقلیم شهری شده است. موضوعی که نتایج آن می‌تواند به اشکال مختلف به سلامت شهروندان و نیز بر کیفیت محیط زیست اثر مستقیم بگذارد.

روش پژوهش

روش پژوهش حاضر به لحاظ ماهیت و روش توصیفی تحلیلی و به لحاظ هدف کاربردی می‌باشد و شیوه گردآوری اطلاعات از طریق کتابخانه‌ای و اسنادی مبتنی بر تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۵ برای بازه زمانی ۱۳۷۸، ۱۳۹۸ و برای تجزیه و تحلیل از نرم افزارهای TerrSet و GIS استفاده شده است. به منظور استخراج دامنه‌های دمایی شهر ساری، از تصاویر ماهواره لندست ۸، ۵ استفاده شده است. برای استخراج دمای سطح زمین (LST) شهر ساری از باند ۱۰ حسگر TIRS استفاده شد. از مهم ترین موارد آنالیز در این مطالعه، تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به رادیانس طیفی با تابع تبدیل ذیل می‌باشد (Chander and Groeneveld, 2009)

L_{λ} : بیان کننده میزان رادیانس طیفی؛ Q_{cat} نشان دهنده میزان رقومی سازی شده DN کالیبره شده؛ $Q_{cal min}$ نشان دهنده مینیمم مقدار Q_{cat} متناظر با L_{MIN} ؛ و $Q_{cal max}$ بیان کننده ماکزیمم مقدار Q_{cat} متناظر با L_{MAX} می‌باشد.

L_{MIN} و L_{MAX} : نشان دهنده کم‌ترین و بیش‌ترین تابش طیفی می‌باشند که مقادیر آنها به ترتیب ۰ و ۲۵۵ بر حسب WM^{-2} $(SR^{-1}\mu M^{-1})$ می‌باشد. در تصحیحات اتمسفری بر روی تصویر اصلی، معمولاً فضای اتمسفری به شکل یکنواخت در نظر گرفته می‌شود (Sobrino et al, 2004)؛ بنابراین تصحیحات اتمسفری، تأثیر چندانی بر روی آنالیز این مطالعه نخواهد داشت.

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده که از باند مادون قرمز نزدیک و کانال قرمز استفاده می‌کند، نتیجه تفاضل باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز تقسیم بر مجموع این دو باند است. بدین صورت که در فرمول زیر مشاهده می‌شود شاخص NDVI را می‌توان محاسبه نمود.

ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر... / تیموری و همکاران ...

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

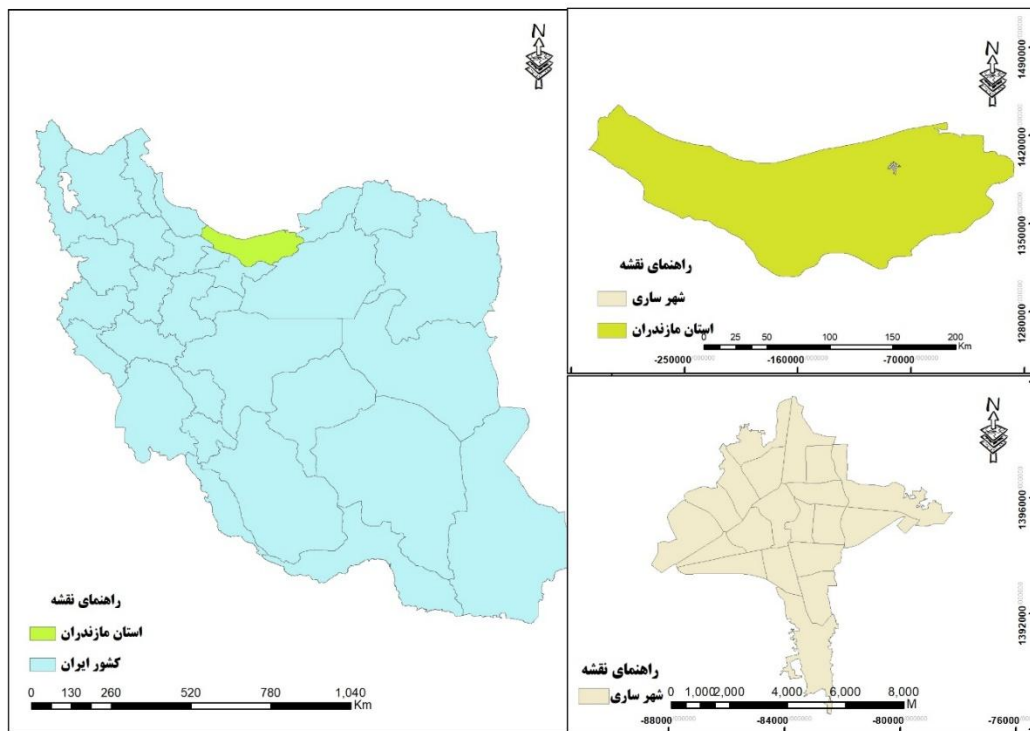
بدین صورت که در این فرمول NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده است، Red باند قرمز، NIR باند مادون قرمز نزدیک یا Near-Infrared می‌باشد. پوشش گیاهی سالم (که دارای کلروفیل است مقدار بیشتری از نور در طیف مادون قرمز نزدیک و سبز را به نسبت سایر طول موج‌ها انعکاس می‌دهد اما مقدار بیشتری در باند قرمز و آبی روشن جذب می‌کند. به همین دلیل است که چشم‌های ما پوشش گیاهی را به رنگ سبز مشاهده می‌کند. سنسورهای ماهواره‌ها همچون ماهواره‌های لندست و سنتینل-۲ هر دو دارای باندهای NIR و Red برای به دست آوردن و محاسبه NDVI هستند.

نتیجه فرمول NDVI که در بالا بدان اشاره شد، مقادیری بین ۱ تا +۱ ایجاد می‌نماید. در صورتی که مقدار انعکاس در کانال قرمز کم باشد، و مقدار انعکاس در کانال مادون قرمز نزدیک بالا باشد، این وضعیت منتهی به مقادیر بالای NDVI خواهد شد. در هر صورت NDVI یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری سلامت پوشش گیاهی نیز می‌باشد. در صورتی که مقدار NDVI بالا است، پوشش گیاهی وضعیت سالم‌تری را دارا است و در صورتی که مقدار NDVI پائین بیاید، معمولاً پوشش گیاهی ضعیف و یا از بین می‌رود. به طور کلی در صورتی که بخواهید تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان را مشاهده کنید، در این صورت بایستی تصحیحات اتمسفری را اعمال کنید. به طور نمونه شاخص NDVI را بر روی یک تصویر ماهواره لندست ۸ اعمال می‌کنیم. در تصویر زیر یک تصویر از ماهواره لندست ۸ مشاهده می‌کنید که با ترکیب رنگی ۴-۶-۷ و ۳-۴-۵ نمایش داده شده است.

به طوری که مشاهده می‌شود مقدار NDVI بین ۱- و +۱ نوسان دارد. لازم به توضیح است که برای محاسبه NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۴ تا ۷ از باند ۴ به عنوان باند NIR و از باند ۳ به عنوان باند Red استفاده می‌شود و برای تصاویر ماهواره لندست ۸ از باند ۵ به عنوان NIR و از باند ۴ به عنوان Red استفاده می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

شهر ساری با مساحتی معادل ۴۰۲۸/۶ هکتار در جنوب شرقی دریای مازندران قرار گرفته که قسمت اعظم آن را مناطق جنگلی پهن برگ تشکیل می‌دهد. موقعیت جغرافیایی آن به شرح زیر می‌باشد: شهر ساری در ۵۳ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی، ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع شهر از سطح دریاهای آزاد ۱۸/۵ متر و اختلاف مسافت آن تا ساحل دریای مازندران ۲۴ کیلومتر است (لطفی و همکاران، ۱۳۹۴). از شمال به دریای مازندران، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از غرب به شهرستان قائم‌شهر، از شرق به شهرستان بهشهر محدود است. دارای آب و هوای نیمه‌معتدل بوده و در قسمت‌های دشتی زمین‌ها به کشت برنج، باغات مرکبات، پنبه و گندم اختصاص یافته و در قسمت جنگلی بهره‌وری از چوب‌های جنگلی و طرح-های جنگل‌داری به شیوه سنتی نیز رایج است. با گسترش ارتباطات و جاده درون جنگل‌ها، بافت و ساخت در روستاها نسبت به دوری و نزدیکی به شهر، تغییرات کلی و کیفی یافته‌اند. رود تجن یکی از رودهای مهم مازندران از کوه‌های این شهرستان سرچشمه گرفته که پس از بهم پیوستن سه رود اصلی زارم‌رود، سفیدرود و گرماب‌رود به وجود آمده است و ضمن سیراب نمودن زمین‌های تشنه کشاورزی، قسمتی از آن در زیر زمین انباشته و قسمتی از آن به دریای مازندران می‌ریزد (مهرآبادی، ۱۴۰۰). موقعیت محدوده شهر ساری در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه ماخذ: نویسندگان، ۱۴۰۰

یافته‌ها و بحث

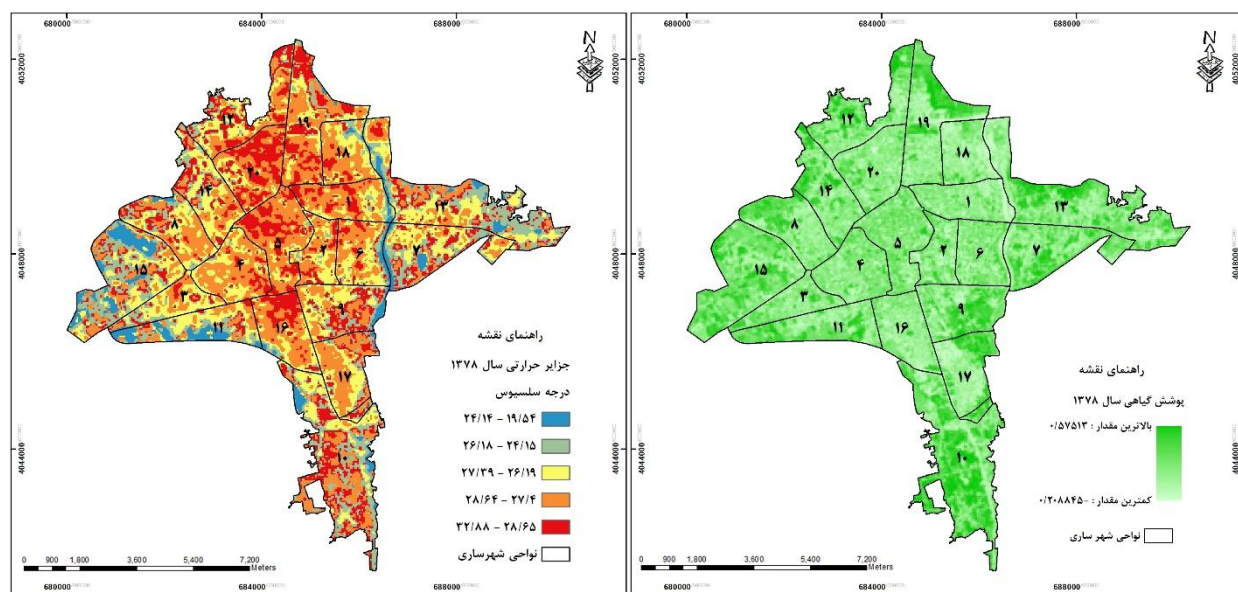
برای سنجش الگوی حرارتی شهر ساری از تصاویر لندست ۵ در سال ۱۳۷۸ استفاده شد و این تصاویر بدون پوشش ابری و صاف یا به اصطلاح پاک و از باند ۶ حرارتی برای استخراج الگو و جزایر حرارتی شهر ساری در سال ۱۳۷۸ با استفاده از تصویر پایه شاخص پوشش گیاهی در نرم افزار TerrSet و تکنیک‌های سنجش از دور اخذ شد. اولین گام در تبدیل اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای به مقیاس فیزیکی تابش محاسبه میزان درخشندگی طیفی است بعد از محاسبه درخشندگی طیفی برای نرمالایز کردن خروجی مرحله قبل بر پایه Emissivity ابتدا این مقدار بر پایه NDVI محاسبه شد و سپس لایه درخشندگی طیفی براساس متغیر DN تهیه شد این متغیر، یک متغیر اختصاص یافته به یک پیکسل است که در یک بازه ۰ تا ۲۵۵ طیفی تعریف شده است و انرژی تعیین شده در سیستم سنجش از راه دور بین ۲۵۶ بخش تقسیم شده است و امکان دارد که برای یک پیکسل چند DN متفاوت مربوط به باندهای مختلف ثبت شده است و سنسورهای درخشندگی طیفی مقدار انرژی طیفی دریافت شده توسط سنسورهای ماهواره‌ای نشان می‌دهد در انتها با نرمالایز کردن باندهای حرارتی بر پایه‌ی مقدار ارزش Emissivity برای هر باند میزان شدت حرارت سطح شهر ساری به صورت نقشه‌ی فضایی تولید شده است (شکل ۳).

براساس شکل ۲ وضعیت پوشش گیاهی نواحی شهر ساری در سال ۱۳۷۸ به گونه‌ای است که این میزان بین ۰/۲۰ و ۰/۵۸ متغیر می باشد. اکثر نواحی که میزان وضعیت پوشش گیاهی آن‌ها ۱+ یا نزدیک به ۱+ می باشد، مربوط به فضای سبز شهری متراکم و سالم است که تاثیر بسزایی در میزان سطح دمای شهر و محیط زیست آن دارد با کاهش میزان وضعیت پوشش گیاهی به سمت صفر از میزان فضای سبز کاسته آن می‌شود در شکل ۲ تیره شدن رنگ سبز با افزایش میزان پوشش گیاهی و کاهش طیف رنگ سبز به معنای پایین بودن مقدار این شاخص در موقعیت فضایی مکانی است. با توجه به نتایج حاصل از این شاخص، در لبه های بیرونی حریم شهر ساری مقدار آن را افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۲).

در نواحی شهر ساری نشان می‌دهد در سال ۱۳۷۸ ناحیه ۱۳ با دمای ۱۹/۸۴ کمترین درجه حرارت، ناحیه ۱۹ با ۳۲/۸۸ درجه و ناحیه ۲۰ با ۳۲/۰۳ درجه بیشترین درجه حرارت را در شهر ساری داشته است که بیشتر ناشی از ترکم ساختمانی و کمبود فضای سبز

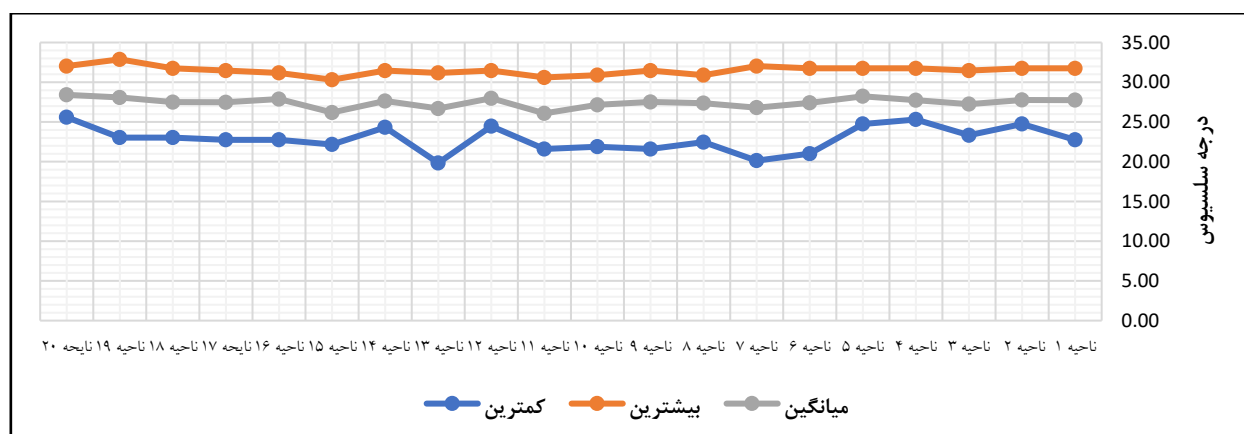
ارزیابی اثرات محیط مصنوع شهری بر... / تیموری و همکاران ...

در این نواحی می باشد و اختلاف دما در سال ۱۳۷۸ در بین نواحی شهر بین ۱۲ درجه بوده است (شکل ۳).



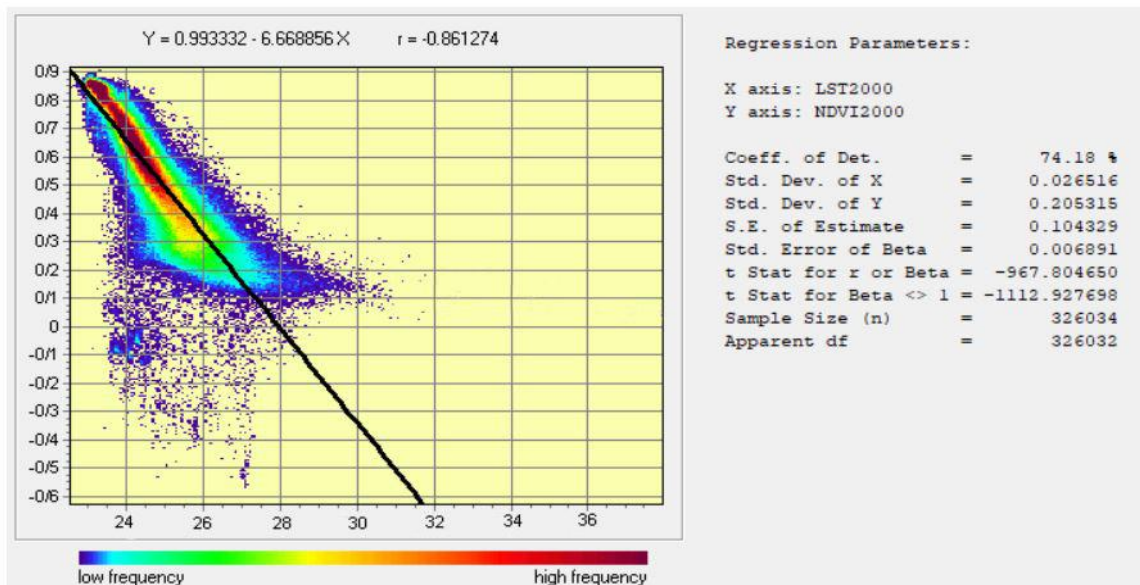
شکل ۳. شدت انرژی حرارتی شهرساری در سال ۱۳۷۸

شکل ۲. وضعیت پوشش گیاهی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۷۸



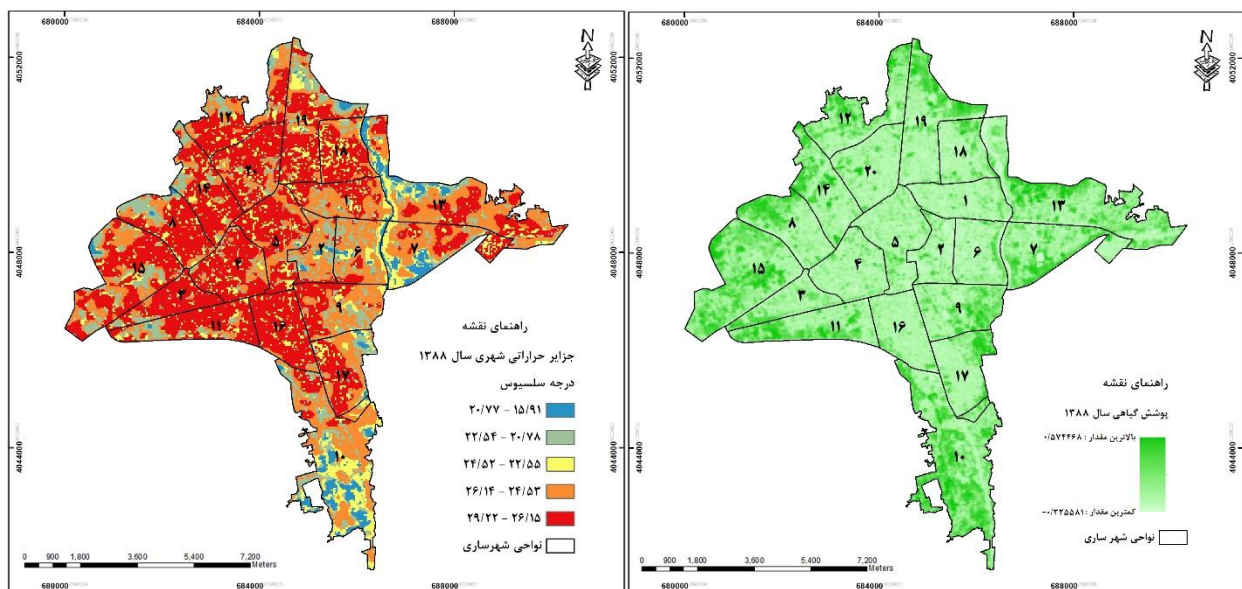
شکل ۴. میزان شدت جریان حرارتی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۸۷

شکل ۵. همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۸ نشان می‌دهد که این ارتباط از یک تابع نرمال که دارای چولگی شدید بوده، پیروی می‌کند به طور محسوس واضح می باشد که میزان ارتباط بین دما و پوشش گیاهی سطوح نواحی شهرساری در سال ۱۳۷۸ نزدیک به ۷۴/۱۸ درصد و از نوع رابطه معکوس می باشد چرا که با افزایش پوشش گیاهی از میزان دما کاسته می‌شود و از این شکل کاملاً مشخص است که در سال ۱۳۷۸ بیشینه دما مربوط به نواحی است که دارای فقدان پوشش گیاهی یا میزان آن صفر یا در همسایگی صفر است. مقایسه‌ی این مقدار همبستگی نسبت به سایر پژوهش‌هایی که در خارج از کشور انجام شده نه تنها بر درستی آنها صحه می‌گذارد، بلکه از مقدار بالاتری از همبستگی هم برخوردار می‌باشد. اگر محور پوشش گیاهی را مدنظر قرار دهیم در دمای ۱۹ تا ۲۸ درجه پوشش گیاهی قوی وجود دارد که همین عامل می‌تواند در کاهش دما دخیل باشد.



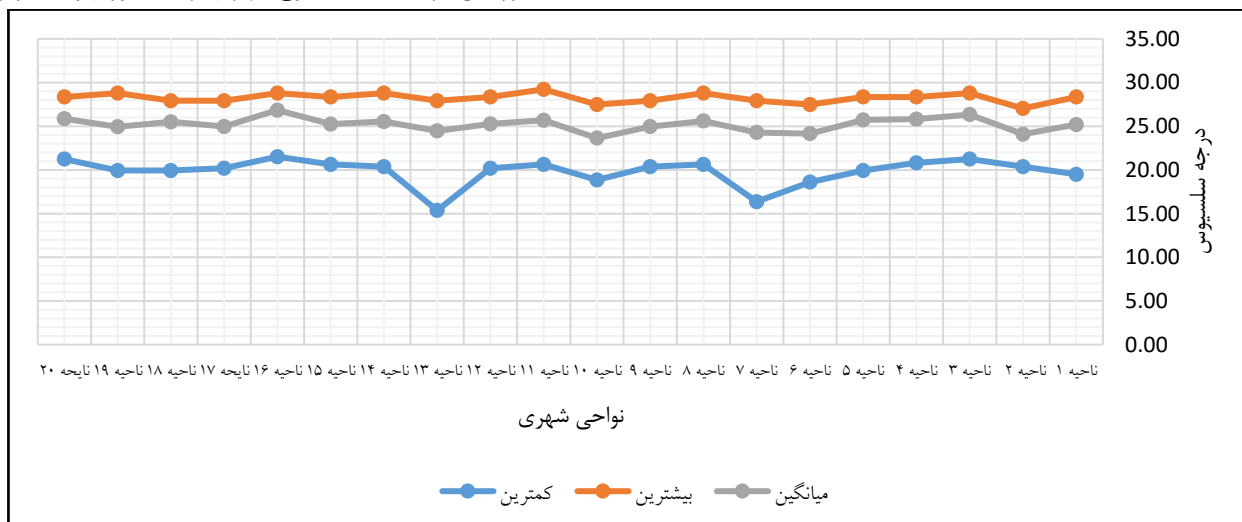
شکل ۵. برآورد همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در سال ۱۳۷۸

جهت سنجش و برآورد انرژی حرارتی سطوح نواحی در سال ۱۳۸۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در اواخر مرداد سال ۱۳۸۸ با وضعیت بدون پوشش ابرناکی و هوای صاف بهره گرفته شده است. بعد از طی مراحل استخراج، نقشه شدت انرژی حرارتی شهر ساری تهیه شد. نتایج آن نشان می‌دهد از غرب و مرکز شهر به شرق و جنوب آن از شدت درجه حرارت کاسته می‌شود (شکل ۷). همانطور که پیش‌تر در توضیحی در ارتباط با برآورد شاخص پوشش گیاهی به تفصیل بیان شد، سال ۱۳۷۸ نسبت به سال ۱۳۸۸ میزان آن روند کاهشی شدید داشته است و همانطور که شکل ۶ نشان می‌دهد با افزایش تیرگی رنگ سبز، شاخص نرمال شده و پوشش گیاهی افزایش و با کاهش تیرگی این مقدار کاهش یافته است. از جمله تفاوت‌هایی که این شاخص نسبت به یک دهه اخیر پیدا کرده است، افزایش مقدار این شاخص در نواحی حاشیه‌ای شهر ساری و کاهش در بافت و هسته مرکزی آن است. از جمله اقداماتی که باعث افزایش شاخص سبزی‌نگی شهری در برخی از نواحی شهری ساری نسبت به یک دهه اخیر شده می‌توان به احیاء رودهای شهری، احیاء پارکهای بزرگ و جنگلی شهری و حتی روند افزایش بهره‌بری از پوشش گیاهی در حاشیه‌ی معابر اصلی و بزرگراهی داخل شهری اشاره نمود این در حالی است که در بافت مرکزی به علت فشردگی بافت شهری از میزان آن کاسته شده است



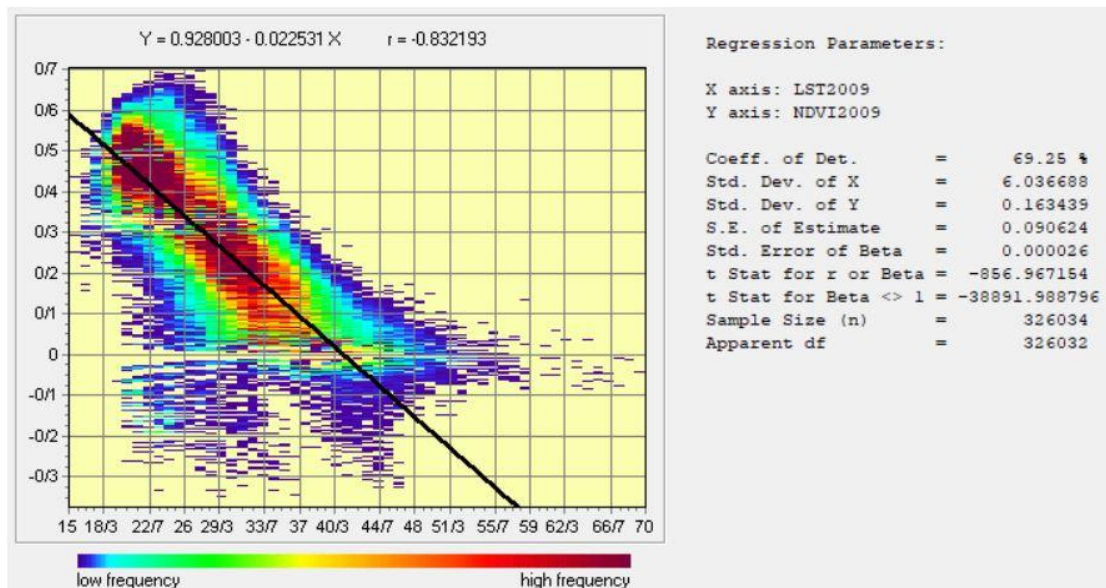
شکل ۷. شدت انرژی حرارتی شهرساری در سال ۱۳۸۸

شکل ۶. وضعیت پوشش گیاهی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۸۸



شکل ۸. میزان شدت جریان حرارتی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۸۷

شکل ۹. همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد طبق برآوردی که در شکل فوق هم مشخص شده، میزان ارتباط بین انرژی حرارتی سطوح نواحی در شهر ساری با مقدار شاخص نرمال شده پوشش گیاهی نزدیک به ۰/۷۰ بوده و نوع ارتباط همچنان معکوس می باشد. این بدین معناست که در اقلیم و مورفولوژی خاص هم با افزایش پوشش گیاهی، انرژی حرارتی سطوح کاهش می یابد و در واقع میزان دمای محیط نواحی شهری ارتباط بالا ولی معکوسی با مقدار پوشش گیاهی شهری در یک دهه اخیر داشته است. نکته ای که حائز اهمیت است در مقایسه‌ی این دو معادله رگرسیونی در بازه‌های زمانی سال ۱۳۸۸ و سال ۱۳۷۸ نشان از کاهش میانگین حرارت سطح، افزایش میانگین شاخص پوشش گیاهی و کاهش همبستگی بین حرارت سطح با مقدار شاخص مذکور در هر بازه‌ی زمانی دارد بنابراین شاید بتوان این نکته را گواهی بر تایید اثرگذاری ابعاد و شاخص‌های دیگر بر تغییرات مقدار حرارت سطوح شهری دانست.



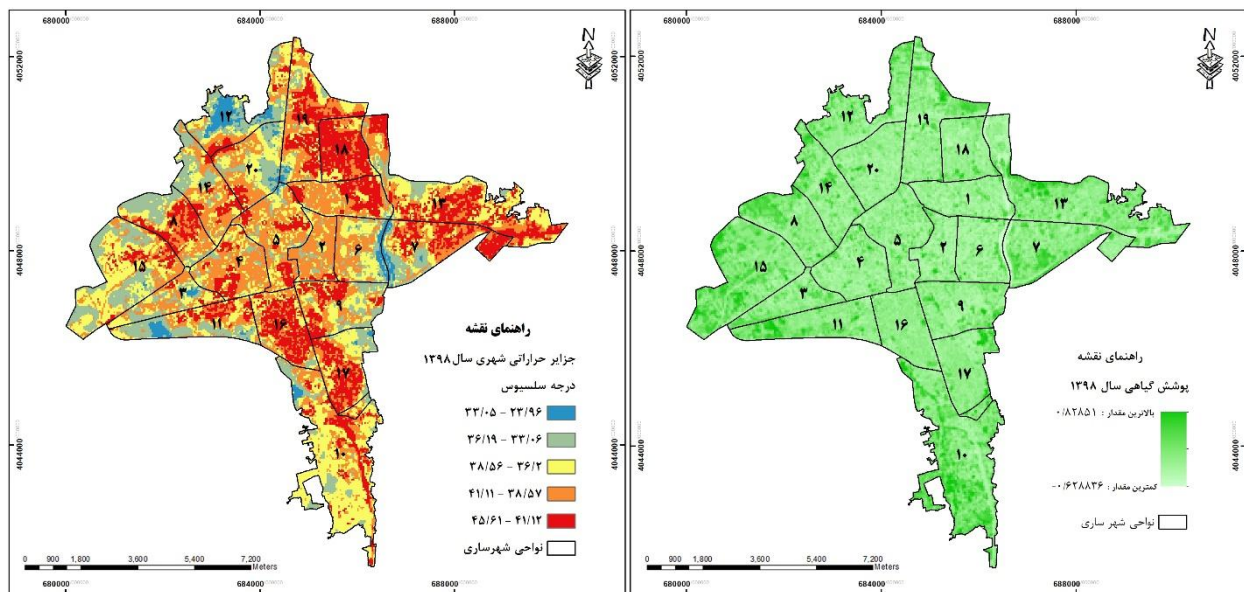
شکل ۹. برآورد همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۸

شکل ۱۱ شدت جریان درجه حرارت در نواحی شهر ساری را نشان می‌دهد نتایج آن گویای شدت جریان حرارت در ناحیه ۸ با بیشترین دمای ۴۴،۴۱ درجه سلسیوس، ناحیه ۱۸ با بیشترین دمای ۴۴،۴۷ درجه سلسیوس، ناحیه ۱۳ با بیشترین دمای ۴۵،۱۳ درجه سلسیوس، ناحیه ۱۹ با بیشترین دمای ۴۵،۵۲ درجه سلسیوس می باشد که در شکل ۴-۸ با رنگ قرمز در طبقه ۴۱ تا ۴۵ درجه

پژوهش‌های جغرافیای اقتصادی، دوره ۷، شماره ۲۴، ۱۸-۳۴، تابستان ۱۴۰۵

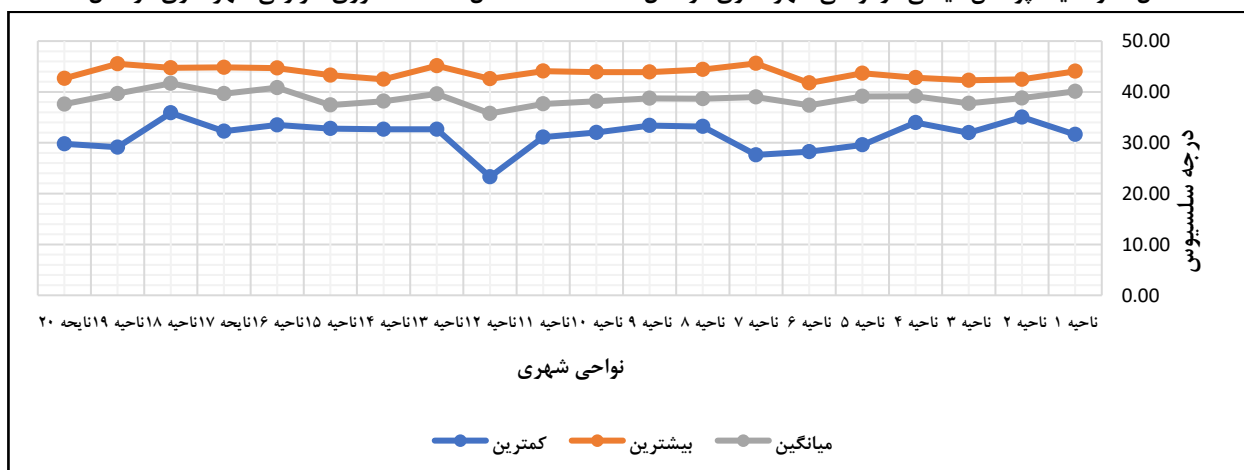
سلسیوس نشان داده شده است و کمترین شدت جریان حرارت در این شکل در ناحیه ۱۲ با کمترین دمای ۲۳،۳۰ درجه سلسیوس می باشد که به رنگ آبی در ۲۳،۹۶ تا ۳۳،۰۵ نشان داده شده است (شکل ۱۱).

همان طور که پیش‌تر اشاره شد بعد از پردازش‌های اولیه نقشه پوشش گیاهی NDVI برای سال ۱۳۹۸ استخراج شد، با توجه به اینکه دامنه تغییرات این شاخص بین ۱- و ۱+ می باشد محدوده تغییرات این شاخص برای سال ۱۳۹۸ بین کمترین مقدار ۰/۶۲- و بیشترین مقدار ۰/۸۲+ است با توجه به این که مرکز شهر شامل بافت مسکونی متراکم است میزان این شاخص در این محدوده به حداقل می رسد که با رنگ سبز روشن نشان داده شده است این درحالی است که لبه حاشیه‌ای شهر ساری دارای بافت مسکونی کم است به رنگ سبز تیره نشان داده شده است میزان آن به ۰/۸۲ می رسد (شکل ۱۰).



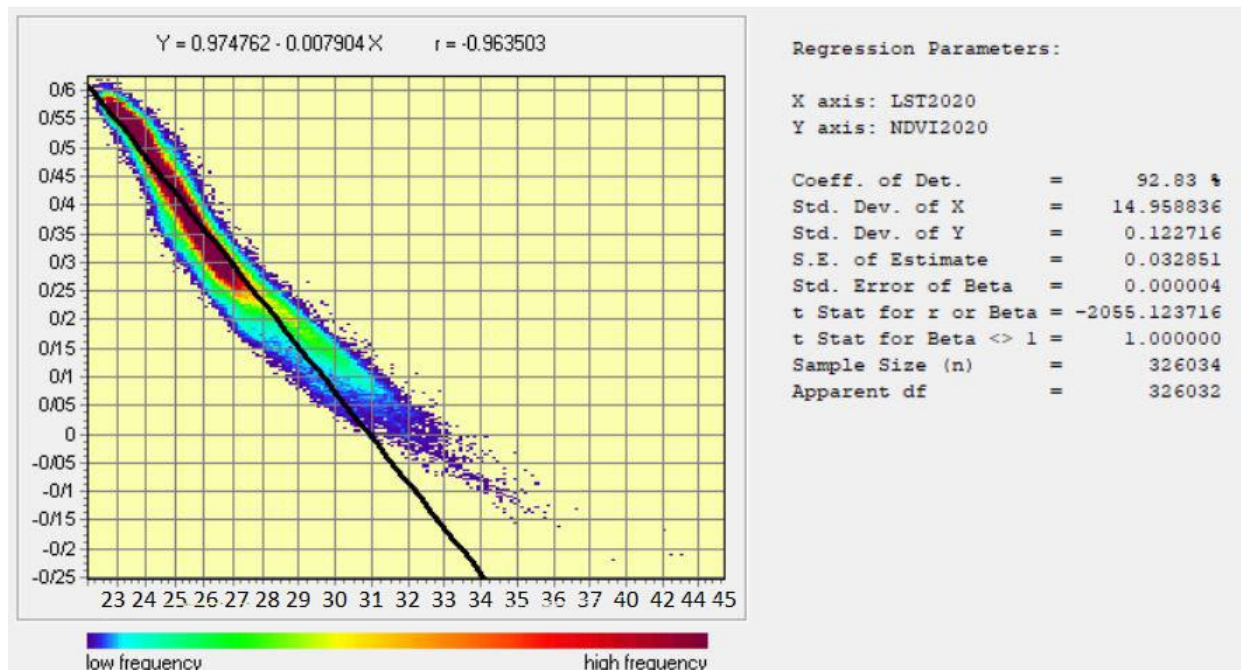
شکل ۱۰. وضعیت پوشش گیاهی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۹۸

شکل ۱۱. شدت انرژی حرارتی شهر ساری در سال ۱۳۹۸



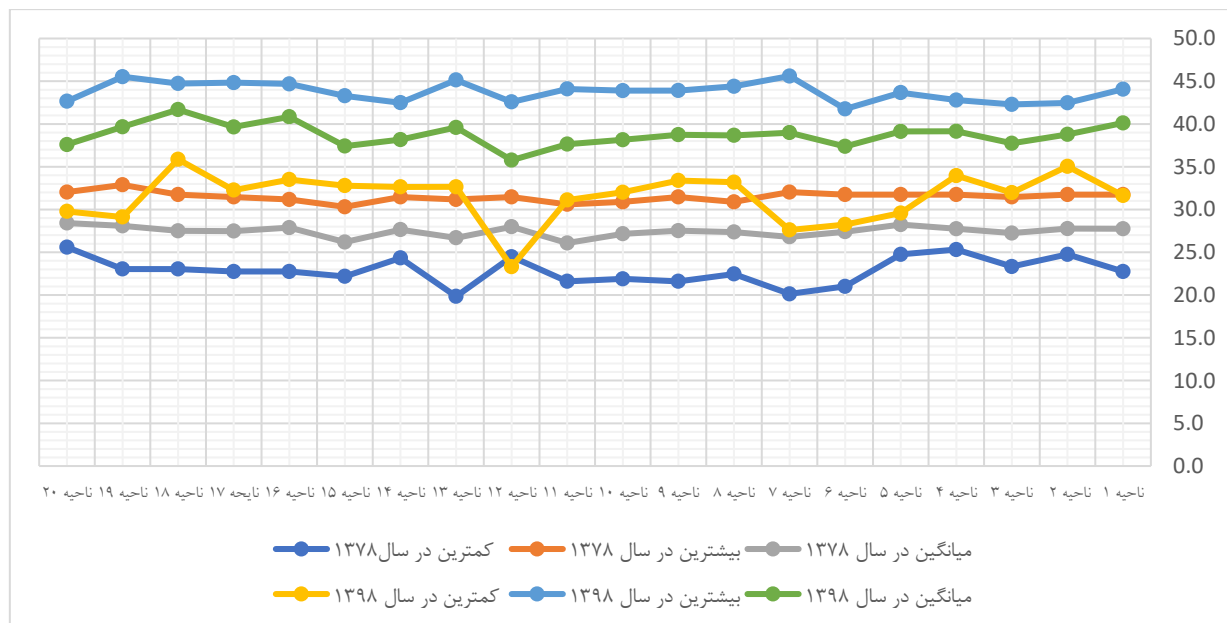
شکل ۱۲. میزان شدت جریان حرارتی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۹۸

شکل ۱۳ همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در نواحی شهر ساری در سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد طبق برآوردی که در شکل فوق هم مشخص شده، میزان ارتباط بین انرژی حرارتی سطوح نواحی در شهر ساری با مقدار شاخص نرمال شده پوشش گیاهی نزدیک به ۹۲،۸۳ درصد بوده و نوع ارتباط همچنان معکوس می باشد. به طوری که با افزایش پوشش گیاهی از میزان دما کاسته می شود این بدین معناست که در هسته مرکزی این شدت به مراتب بیشتر از لبه‌ها و نواحی نزدیک به لبه‌های محدوده شهر است به عبارت دیگر جریان دما با حرکت از مرکز به حاشیه شهر کاسته می شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. برآورد همبستگی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۸

بعد از سنجش و تهیه نقشه‌های انرژی حرارتی در سه دهه متفاوت، برای ارزیابی تغییرات انرژی در این نواحی در طی تحولات یک دهه اخیر که بخش اعظم آن نتیجه تحولات و تغییرات در سیاست‌های مختلف مدیریت شهری و کالبدی بوده است، از تغییرات زمانی- مکانی انرژی حرارتی سطوح شهر بهره گرفته شد که ادامه این فرایند به صورت تحلیل همبستگی روندی- فضایی ارائه شده است. همانطور که پیش‌تر نحوه برآورد لایه‌ی فضایی- مکانی انرژی حرارتی سطوح زمین به طور مفصل بیان شد، خروجی‌های آن برای برآورد دمای سطح و انرژی حرارتی در سطوح نواحی شهر ساری در قالب شکل ۱۴ جهت مقایسه‌ی مشخصات آماری برای سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۸ نشان داده شده است. کمینه حرارت در سال ۱۳۹۸ برابر با ۱۹٫۸ درجه سلسیوس کمتر از سال ۱۳۷۸ با ۲۳٫۳ درجه سلسیوس است. همچنین میانگین حرارت سطوح نواحی شهر ساری در سال ۱۳۷۸ از ۲۸٫۴ به ۴۱٫۷ در سال ۱۳۹۸ درجه سلسیوس رسیده است این مقادیر نشان می‌دهد از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ میزان شدت حرارت در نواحی شهر ساری افزایش یافته است توسعه‌ی کالبدی شهر و فشردگی بافت مسکونی در هسته مرکزی شهر، رشد عمودی و تکمیل ساخت و ساز در نواحی مرکزی، کاهش پارک‌های بزرگ مقیاس شهری و بزرگراهی از جمله عوامل اصلی افزایش میانگین حرارت در سطح کل شهر در دهه‌های اخیر بوده است.



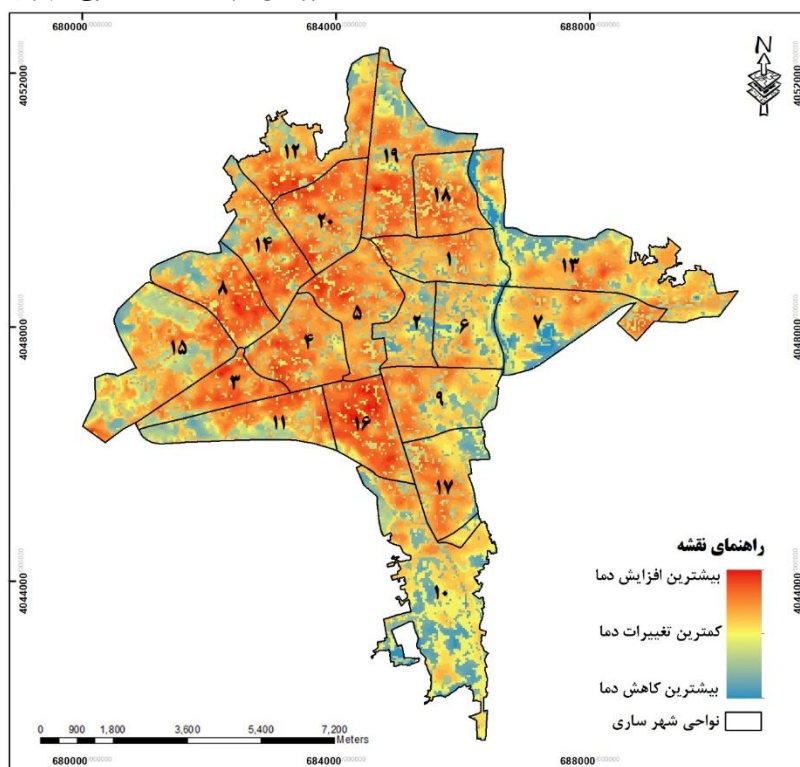
شکل ۱۴. مقایسه میزان شدت حرارت در نواحی شهر

بعد از تهیه خروجی‌های آماری از نقشه‌های جزایر حرارتی با استفاده از ابزار در محیط ArcGIS و انتقال نتایج آن به نرم افزار اکسل اقدام به محاسبه همبستگی بین حرارت سطح نواحی شهر ساری شد همانگونه که جدول ۱ نشان می دهد بین میزان انرژی گرمایی سطح نواحی شهر ساری در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۸ به مقدار ۰,۴۷ همبستگی فضایی (نقطه به نقطه) وجود دارد این بدان معناست که ۰/۰۵۳ از مساحت شهر ساری در طی دو دهه‌ی اخیر الگوی میزان حرارت خود را تغییر داده است.

جدول ۱. همبستگی فضایی بین حرارت سطح شهر ساری بین سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸

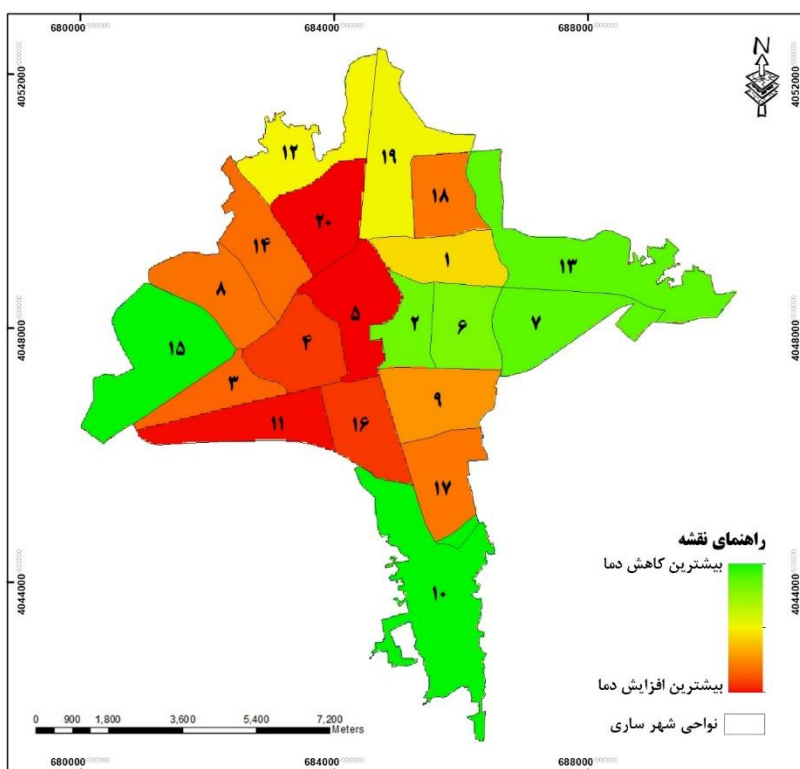
حرارت سطوح نواحی در سال ۱۳۷۸		۱	۰/۱۵	حرارت سطوح نواحی در سال ۱۳۹۸
۱		۰/۱۵	۱	۱

سیاست‌های فیزیکی و کالبدی شهری اصلی‌ترین عامل تغییر الگوی حرارتی شهر ساری است چرا که اتخاذ سیاست‌های مختلف در این حوزه منجر به تغییر الگوهای حرکتی، فعالیتی و زیستی در نواحی شهر ساری می گردد. در نتیجه با تغییر هر یک از این الگوها مقدار حرارت سطوح و در نتیجه شدت انرژی حرارتی و نهایتاً میزان تعادل انرژی در سطح دستخوش تغییرات خواهد شد. همچنین در راستای تحلیل روند تغییرات حرارتی در سطح شهر ساری از روش من کندال و در محیط ArcGIS لایه های رستری برای سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۸ مورد سنجش قرار گرفت. نقشه حاصل از آن نشان می‌دهد که شدت جریان حرارت در نواحی غربی شهر ساری به مراتب نسبت به شرق آن بیشتر است. با توجه به نقشه‌ی که مقدار آزمون من-کندال را به صورت فضایی نشان می‌دهد، هر چه طیف رنگ به سمت آبی پیش می‌رود مقدار آزمون به ۱- نزدیک و هر چه طیف رنگ به سمت قرمز حرکت کند مقدار آزمون ۱+ است. با توجه به تغییرات کالبدی و همچنین سیاست‌های شهرسازانه در حوزه‌ی جنوبی و شرقی شهر ساری بویژه در نواحی ۷، ۱۰ و ۱۳ و همچنین قسمت غربی ناحیه ۱۵ مقدار آزمون من-کندال منفی بوده و کاهش حرارت سطوح را در طی یک دهه‌ی اخیر به همراه داشته است. همچنین از قسمت دیگر هم بافت‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده‌ی تغییرات در الگوی کارکردی و فعالیتی در بخش‌هایی از نواحی ۸، ۳، ۱۶، ۱۴ و ۵ است که در طول یک دهه‌ی اخیر باعث افزایش در حرارت سطوح و مثبت شدن آزمون من-کندال در حوزه‌های غربی و جنوبی شهر شده است.



شکل ۱۵. طیف میزان تغییرات انرژی حرارتی سطوح نواحی شهر ساری در دو دهه اخیر

در ادامه در قالب نقشه‌ی میانگین میزان تغییرات حرارتی در سطح نواحی شهر ساری را برای سه دهه اخیر شهر ساری بر حسب درجه سلسیوس نشان داده شده است (شکل ۱۶). نواحی ۲۰، ۵ و ۱۱ بیشترین افزایش حرارت و نواحی ۱۵ و ۱۰ بیشترین کاهش حرارت را داشته‌اند به عبارتی دیگر نواحی سبز رنگ بیشترین کاهش دما و نواحی تیره و قرمز بیشتر افزایش دما را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶. میانگین میزان تغییرات انرژی حرارتی سطوح در نواحی شهری در سه دهه اخیر

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر محیط مصنوع شهری در مصرف انرژی و آلودگی هوای محیط زیست شهر ساری انجام شد. منظور از مصرف انرژی در این مطالعه، میزان مصرف صنایع مصنوع بود. در این راستا میتوان گفت اثر جزایر حرارتی شهری پدیده‌ای است که به موجب آن، یک منطقه شهری بطور قابل توجهی گرمتر از مناطق اطراف می باشد. دمای شهر ساری به دلیل پدیده جزایر حرارتی و نیز تغییر اقلیم به طور مداوم در حال افزایش است و باعث افزایش مصرف انرژی برای سیستم‌های سرمایشی میشود. از این رو کاهش اثرات پدیده جزایر حرارتی شهری به یک مسئله مهم جهانی تبدیل شده است. دلایل متعددی برای ایجاد جزایر حرارتی شهری وجود دارد؛ به طور مثال، سطوح تیره از قبیل پیاده‌روها و نمای ساختمان‌ها جاذب درصد زیادی از انرژی خورشیدی می باشند، سطوحی مانند انواع بتن و آسفالت به دلیل ماهیت و جنسی که دارند از ظرفیت گرمایی و تابش سطحی بیشتری در مقایسه با مناطق حاشیه شهرها برخوردار هستند. این مواد باعث تغییر در بیان انرژی مناطق شهری می شوند. دلیل اصلی دیگر پدیده جزایر حرارتی شهری کمبود تبخیر و تعرق، به عنوان مثال به دلیل کمبود و فقدان پوشش گیاهی در مناطق شهری می باشد. فقدان یا کمبود پوشش گیاهی مناطق شهری، نبود عواملی چون سایه و گردش هوای خنک را موجب می گردد. بمصرف انرژی برای برقرار کردن شرایط آسایش در محیط‌های مصنوع زیاد می‌باشد. بنابراین بررسی راه‌های کاهش مصرف انرژی و یا ذخیره آن ضروری است. با اضافه شدن محلات جدید به محدوده شهرها، تقاضا برای خدمات و تسهیلات شهری بیشتر شده و از طرف دیگر بر اثر تراکم جمعیت در شهرها و نیز رواج مبادلات اقتصادی در آنها، قیمت زمین به شدت افزایش یافته است.

در مطالعه حاضر با رویکرد پردازش تصاویر ماهواره‌ای، پوشش گیاهی مناسب که موجب تعدیل هوا و کاهش اثرات جزایر حرارتی شهر ساری شده است چرا که در سال ۱۳۷۸ میزان پوشش گیاهی در بیشتر نواحی شهر ساری با مقدار ۰/۵۸ از وضعیت بهتری برخوردار است که با مقدار دمای شهر رابطه معکوس دارد که با افزایش فضای سبز میزان دما کاسته می شود بنابراین در سال ۱۳۷۸ میزان دما با کمترین میزان ۱۹ تا ۳۲ درجه سلسیوس از وضعیت بهتری نسبت به سال ۱۳۹۸ با میزان ۲۳ تا ۴۵ درجه سلسیوس برخوردار است و مشخص گردید که مناطق ساخته‌شده شهری میتوانند موجب تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری شوند. ساخت و شهری جدید سازه‌های بر گسترش افقی و عمودی شهر تأثیر بسیار زیادی داشته است و این مسئله باعث از بین رفتن مراتع و منابع طبیعی شده است. در این مطالعه سعی گردید اثرات گسترش فیزیکی شهر و نیز تراکم و افزایش جمعیت نیز مورد بررسی قرار گیرد. بدون شک توسعه هر کشور در گرو داشتن صنعتی پاک و عاری از آلودگی است. این در حالی است که تغییر اقلیم همه بخشهای اقتصادی را تا اندازه ای تحت تأثیر قرار می دهد و پیامدهای ناشناخته و گسترده‌ای بر اکوسیستم‌های طبیعی دارد.

حامی مالی

بنا به اظهار نظر نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

با توجه اینکه مقاله حاضر مستخرج از پایانامه می باشد، سهم و نقش نویسنده اول، به عنوان دانشجوی پایان نامه، نویسنده دوم به عنوان راهنما و نویسنده سوم به عنوان استاد مشاور بود.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه افراد، به دلیل مشاوره و راهنمایی علمی و مشارکت آنها در این مقاله تشکر و قدرانی می نمایند.

منابع

- احدنژاد روشتی، محسن؛ طهماسبی مقدم، حسین؛ شامی، فاطمه؛ و محرمی، سعید. (۱۳۹۸). [تبیین فضایی پدیدهٔ پراکنده رویی شهری \(مطالعهٔ موردی: شهر قائم شهر\)](#). *جغرافیای اجتماعی شهری*، ۱(۱)، ۱-۱۳.
- بحرینی، حسین؛ طبیبیان، محسن (۱۳۷۷)، «[مدل ارزیابی کیفیت محیط زیست شهری](#)»، *مجله محیط شناسی*، ۵۶-۴۱.
- بدری، سید علی و رکن الدین افتخاری، عبدالرضا. (۱۳۸۲)، [ارزیابی پایداری: مفهوم و روش](#)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۹.
- حسین آبادی، سعیده؛ یعقوب زاده، مصطفی؛ و فروزان مهر، مهدیه. (۱۳۹۹). [شناسایی گردوغبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس \(مطالعه موردی: شهرستان زابل\)](#). *کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱(۱۸)، ۱۶۷-۱۸۶.
- طهماسبی مقدم، حسین؛ بیگدلی، اعظم؛ و جوادی، محمد امین. (۱۴۰۴). [تحلیل اثرات دگردیسی مکانی-فضایی کاربری اراضی پیرامون کلانشهر اصفهان با تأکید بر پایداری اکولوژیکی](#). *توسعه فضاهای پیراشهری*، ۲(۷)، ۷۹-۱۰۴.
- عابدینی، آرش؛ داغستانی، مریم. (۱۳۹۹)، [بررسی تأثیر پوشش گیاهی مصنوعی و طبیعی در دیوارهای سبز بر آلودگی صوتی \(مطالعه موردی: خیابان ولیعصر ابر\)](#). *فصلنامه مطالعات محیط زیست، منابع طبیعی و توسعه پایدار*، ۴(۴)، ۲۵-۱۳.
- عادل ساردو، فاطمه؛ صالحی، اسماعیل؛ و صالحی، رضا. (۱۳۹۶). [تحلیل مقایسه‌ای گزارش وضعیت محیط‌زیستی \(SOER\) شهر تهران و لندن برای رسیدن به مولفه های پایداری محیط شهری](#). *محیط شناسی*، ۴۳(۴)، ۶۶۵-۶۸۲.
- غلامی، علی اصغر؛ عباسی، علی اصغر و حیدرآبادی، ابوالقاسم. (۱۳۹۹)، [سرمایه فرهنگی و رفتار زیست‌محیطی \(مطالعه موردی: شهر ساری\)](#)، فصلنامه پژوهش اجتماعی، سال ۱۲، شماره ۴۸، صص ۱۲۳-۱۰۳.
- فتحی، رقیه؛ شفق، سیروس؛ و بیک محمدی، حسن. (۱۴۰۰). [تحلیل ساختارکالبدی بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد توسعه پایدار \(نمونه موردی: بافت فرسوده شهر امل\)](#). *آمایش محیط*، ۱۴(۵۲)، ۸۳-۱۰۰.
- لطفی، صدیقه؛ قدمی، مصطفی و درخشنده، سارا. (۱۳۹۴)، [ارزیابی و رتبه بندی عوامل مؤثر بر پایداری محیط زیست شهرهای شمال ایران \(مطالعه موردی: شهر ساری\)](#)، نشریه شهر پایدار، سال ۲، شماره ۱، صص ۴۸-۲۴.
- مهرآبادی، سمیه. (۱۴۰۰)، [مدلسازی هوشمند منفرد و ترکیبی تخریب جنگل \(محدوده: شهرستان ساری\)](#)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۱، شماره ۶۰، صص ۳۱۳-۲۹۷.
- Ahfeldt, G. M., & Pietrostefani, E. (2017). [The compact city in empirical research: A quantitative literature review](#). Serc discussion papers (pp. 1-36).
- Byrne, y. A., Brandet, R., and Port, O. (1993). [The Virtual corporation Business week](#), February &, 36-41.
- Cairnes, L. (1996). [The compact city: A sustainable urban form](#). *Urban Design International*, 1, 293-294.
- Cobbinah, P. B., & Korah, P. I. (2016). [Religion gnaws urban planning: the geography of places of worship in Kumasi, Ghana](#). *International Journal of urban sustainable development*, 8(2), 93-109.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). [Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures](#). *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30-42.
- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. S. Y. (2004). [Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong](#). *Energy and Buildings*, 36, 525-534.
- Habitat, U. N. (2020). *World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization*. Nairobi, Kenya.
- Hathway, E. A., & Sharples, S. (2012). [The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study](#). *Building and Environment*, 58, 14-22.
- Henri, J & Journeault, M., (2008). [Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms](#), *Journal of Environmental Management*, 87, pp.165-176.
- Hong, J. W., Hong, J., Kwon, E. E., & Yoon, D. (2019). [Temporal dynamics of urban heat island correlated with the socio-economic development over the past half-century in Seoul, Korea](#). *Environmental Pollution*, 254, 112934.
- Huang, X., & Wang, Y. (2019). [Investigating the effects of 3D urban morphology on the surface urban eat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: A case study of Wuhan, Central China](#). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 119-131.
- Reinaud, J. (2008). [Issues behind competitiveness and carbon leakage. Focus on Heavy Industry](#). Paris: IEA. IEA Information Paper, 2.
- Kotharkar, R., Ramesh, A., & Bagade, A. (2018). [Urban heat island studies in South Asia: A critical review](#). *Urban Climate*, 24, 1011-1026.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). [The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States](#). *Science of the Total Environment*, 605, 426-435.
- Liang, Z., Wu, S., Wang, Y., Wei, F., Huang, J., Shen, J., & Li, S. (2020). [The relationship between urban form and heat island intensity along the urban development gradients](#). *Science of the Total Environment*, 708, 135011.

- Manoli, G., Fatichi, S., Schlöpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., & Bou-Zeid, E. (2019). [Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population](#). *Nature*, 573(7772), 55-60.
- Masmoudi, S., & Mazouz, S. (2004). [Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions](#). *Energy and Buildings*, 36(7), 710-719.
- Mori, k. and Christodoulou, A. (2012). [Review of sustainability indices and indicators: Towards a new city sustainability Index \(CSI\)](#). *Environmental Impact Assessment Review*, (32):44-106.
- Nardino, Marianna & Laruccia, Nicola. (2019). [Land Use Changes in a Peri-Urban Area and Consequences on the Urban Heat Island](#), *Climate* 2019, 7, 133.
- Nessa, B., (2007). [Categorizing tools for sustainability assessment](#), *Ecological Economics*, 60, PP. 498 – 508.
- Newman, P., & Jennings, I. (2012). [Cities as sustainable ecosystems: principles and practices](#). Island press.
- Oke, T. R. (1973). [City size and the urban heat island](#). *Atmospheric Environment* (1967), 7(8), 769-779.
- SutcliffeL et al, (2009), [Development of a framework for assessing sustainability in new product development](#), [International conference on engineering design](#), Stanford University, Stanford, CA, USA.
- Toronto, G. G. (2011). [The Living City Report Card, An assessment of the environment health of the Greater Toronto Area](#). Toronto: Toronto & region conservation.
- Xing, Y., Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Bebbington, J. (2009, September). [A framework model for assessing sustainability impacts of urban development](#). In *accounting forum* (Vol. 33, No. 3, pp. 209-224). No longer published by Elsevier.
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Zhang, W., Li, J., & Niu, Z. (2018). [Interannual variations in surface urban heat island intensity and associated drivers in China](#). *Journal of Environmental Management*, 222, 86-94.