



Analyzing the effects of land use change on vegetation and surface temperature of the city and the response of urban managers to this trend (Case study: Mashhad city)

Rostam Saberifar *¹

1. Associate Professor, Department of Urban and Geography, Faculty of Social Science, University of Payame Noor, Tehran, Iran

Received Date: 13 October 2024 Accepted Date: 16 December 2024

Abstract

Background and Aim: Urbanization has triggered massive development activities which led to significant changes in land use and land cover (LULC). Fundamentally, the changes in LULC have to be monitored to detect the presence of regional environmental changes and impacts. Reducing the suburban area of arable lands, destruction of vegetation, and increase of land surface temperature in urban areas, and the effects of rising temperatures are some negative consequences of urban development, building street and other malicious activities within cities. This research aims to use remote sensing to assess the consequences of destruction, and changes in land use in the city of Mashhad, was performed, and this project is trying to focus on determination and comparison of its negative effects on vegetation loss and increase of temperature and the response of city management to these changes.

Methods: The methodological framework adopted in this study involved different analytical processes of Landsat imagery to examine the effects of the LULC changes on land surface temperature. Satellite images for 1979 from Landsat 5 Thematic Mapper (TM) and Landsat 8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS) for 2009 and 2023 were obtained and were used to analyze the changes in LULC in Mashhad. All the images were selected based on the clarity of the images with less cloud coverage; moreover, the images were all captured in the month of May for the corresponding years.

Findings and Conclusion: The results showed that Based on the classified the uneven distribution of LULC in Mashhad varied by year. The built-up areas expanded tremendously in almost every part of city within 36 years. This pattern was also associated with the loss of vegetation cover as the built-up category took over the green space on a large scale. However, the land use pattern in 2009 displayed an exceptional fluctuate trend of vegetation and built-up areas dispersion. From the map roughly, there was a conversion of built-up area into vegetation land from 1979 to 2009. But in 2023, it appeared plausible that the previous barren lands which was categorized as built-up areas had turned into green space for urban agriculture or urban park

Key words: Vegetation, Land Use Change, Remote Sensing, temperature rise, Mashhad.

* Corresponding Author Email: r_saberifar@pnu.ac.ir

© This article Saberifar, R. (2025). Analyzing the effects of land use change on vegetation and surface temperature of the city and the response of urban managers to this trend (Case study: Mashhad city). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(1), 68-83.



واکاوی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر پوشش گیاهی و دمای سطحی شهر و واکنش مدیران شهری به این روند (نمونه موردی: شهر مشهد)

رستم صابری فر^{۱*}

۱- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: شهرنشینی تحولات گسترده‌ای را زمینه‌سازی نموده و منجر به تغییرات قابل توجهی در کاربری و پوشش زمین شده است. کاهش اراضی زراعی حومه‌ها و حذف پوشش گیاهی به همراه افزایش دمای سطحی خاک، تنها بخشی از پیامدهای منفی توسعه شهری و ازدیاد مناطقی که به زیر ساخت و ساز شهری می‌روند، قلمداد می‌گردد. به همین منظور، این تحقیق با هدف بکارگیری سنجش از دور در بررسی پیامدهای تغییر کاربری اراضی در شهر مشهد انجام شده و به تعیین و مقایسه آثار منفی آن روی کاهش پوشش گیاهی و افزایش درجه حرارت انجام شد. بدین منظور، از تصاویر ماهواره لندست، سنجنده TM مربوط به سال ۱۹۷۹ و سنجنده ETM+ مربوط به سال ۲۰۰۹ و سنجنده‌های OLI و TIRS مربوط به سال ۲۰۲۳ میلادی استفاده شده‌است.

روش بررسی: بررسی تغییرات پوشش گیاهی، با شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) انجام شده و کلاس‌های مختلف سرسبزی (بدون پوشش، ضعیف، متوسط و خوب) تعریف و در سه سال مذکور مورد مقایسه قرار گرفته است. در این مدت، مساحت وضعیت پوشش خوب از ۸/۳ درصد در ۱۹۸۷ به ۵/۲ درصد در ۲۰۲۳ رسیده‌است.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: مقایسه تغییرات دمای سطحی به کمک باندهای حرارتی نشان داد که تخریب پوشش گیاهی، باغات و مزارع واقع در محدوده شهر مشهد و تغییر کاربری آن در طی ۳۶ سال، منجر به افزایش نسبی دمای محیط شده و میزان حرارت از ۲۴/۷ به ۳۳/۸ درصد افزایش پیدا نموده‌است. با این وجود، به دلیل توسعه فضاهای سبز، روند تخریب در طی سال‌های اخیر کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، سنجش از دور، افزایش دما، مشهد.

^۱ نویسنده مسئول r_saberifar@pnu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: صابری فر، رستم. (۱۴۰۴). واکاوی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر پوشش گیاهی و دمای سطحی شهر و واکنش مدیران شهری به این روند (نمونه موردی: شهر مشهد). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۶(۱)، ۶۸-۸۳.

مقدمه و بیان مسأله

با وجود آن که همه مشکلات مناطق شهری را نمی‌توان به افزایش جمعیت آنها نسبت داد، اما بخش قابل ملاحظه‌ای از این موارد، ناشی از افزایش جمعیت است و سایر عوامل در این بین، نقش کمتری به خود اختصاص می‌دهند. این در حالی است که جمعیت نقاط شهری به سرعت در حال افزایش می‌باشد. به طوری که برآوردهای جدید نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تا سال ۲۰۳۰ این میزان به بیش از ۷۰ درصد خواهد رسید (سازمان ملل، ۲۰۱۸؛ اسمال و بلاستد، ۱۹۹۹: ۶۳). این افزایش جمعیت موجب شده تا علاوه بر توسعه مرزهای فیزیکی شهرها، بافت درونی این مناطق نیز دگرگون شده و مشکلات موجود را تشدید کرده و معضلات تازه‌ای را باعث شود.

به دنبال بسیاری از تغییراتی که تمرکز و تراکم جمعیت در شهرها به همراه دارند، تغییر نوع پوشش سطح و کاربری اراضی، تغییر در ضریب آبیده و مقدار انرژی دریافتی، از جمله تحولاتی است که خود زمینه‌ساز بروز و یا تشدید سایر تغییرات شده و تنگناهای اساسی را برای زندگی و فعالیت انسان به همراه می‌آورد. به عنوان نمونه، روند دمای سطح زمین^۱ تو صیفی از جواست و می‌تواند برای ارتباط بین تغییرات آب و هوایی استفاده شود (ژائو، حاسب، وانگ، ژنگ، ۲۰۲۴).

در بین تغییرات مورد اشاره در فوق، تبدیل و تغییر اراضی و کاربری‌های مرتبط با آن، از دامنه و شدت بالاتری برخوردار بوده و در حقیقت همین تغییر و تبدیل است که بسیاری از مخاطرات محیطی را به همراه می‌آورد. به خصوص در سال‌های اخیر که افزایش ارزش اقتصادی زمین‌های شهری در بالاترین حد خود مطرح شده است، تأثیر این تغییرات بیشتر مشهود بوده و پیامدهای شدیدتری را به همراه داشته است. تحقیق کنونی با این فرض آغاز گردید که تمرکز و تجمع جمعیت و فعالیت در شهرها، تغییرات شدید کاربری اراضی را در پی داشته و این روند، افزایش درجه حرارت و شکل‌گیری جزایر گرمایی را باعث خواهد شد. روندی که در نهایت مصرف انرژی را افزایش داده و توسعه پایدار شهر را غیرممکن می‌سازد. منطقه مورد مطالعه، کلان شهر مشهد در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این شهر آن است که جمعیت و وسعت مشهد در طی صد سال اخیر به بیش از ده برابر رسیده است (صابری‌فر، شکری و محمدنژاد، ۲۰۱۳). علاوه بر آن، این شهر سالانه قریب به ۳۰ میلیون نفر زائر و مسافر را در خود جای داده و به دلیل موقعیت استقرار و جایگاه سیاسی و اجتماعی، جمعیتی قریب به ۳۰ میلیون نفر را در حوزه نفوذ خود در داخل و خارج ایران خدمات رسانی می‌کند. به همین دلیل، نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند زندگی و فعالیت بخش قابل ملاحظه‌ای از افراد را تحت تأثیر قرار داده و در سایر مناطق هم قابل استفاده باشد.

مبانی نظری

هر نوع دخالتی در محیط طبیعی، پیامدهایی به همراه دارد. تا زمانی که این پیامدها در حد و اندازه‌ای باشد که طبیعت بتواند با قدرت خود پالایندگی خویش آنها را کنترل نماید، مشکل چندانی ایجاد نمی‌شود. اما از زمانی که این دخالت‌ها جنبه بیمارگونه گرفته و به شکل استیلای بر طبیعت درآید، کنترل آنها به راحتی امکان‌پذیر نبوده و یا هزینه‌هایی به همراه دارد که تناسبی با منافع حاصل از چنین دخالت‌هایی ندارد. در شرایط کنونی، چنین وضعیتی را در همه جای دنیا شاهد هستیم. اما مناطق شهری و به خصوص کلانشهرها، شرایط بسیار نگران‌کننده‌تری دارند. روندهای تخریبی در مورد همه اجزا و عناصر محیط طبیعی قابل تصور می‌باشد. با توجه به هدف این بررسی که عمدتاً به مسئله پوشش سطحی زمین و پیامدهای ناشی از آن اختصاص دارد، بایستی عنوان نمود که پوشش گیاهی نیز همانند هر عنصر طبیعی دیگر، در طی تاریخ دچار تحولات زیادی شده و از این طریق، عملکرد و وضعیت اکوسیستم‌های طبیعی را دچار تغییرات گسترده‌ای کرده است (پتورلی، ویک، میسترود، گیلارد، تاکر و استنست، ۲۰۰۵). تحقیقات

¹. UN

². Small & Balstad

¹. Land Surface Temperature (LST)

². Zhao, Haseeb, Wang & Zheng

³. Pettorelli, Vik, Mysterud, Gaillard, Tucker & Stenseth

صورت گرفته در این زمینه، نشانگر آن است که اصلی‌ترین عامل تاثیرگذار بر این تحول، جمعیت و تراکم بیش از حد آن در یک نقطه خاص از سرزمین می‌باشد (رامانکوتی، فولی و اولینیچک، ۲۰۰۲). اساسا، ویژگی‌های کالبدی و فیزیکی هر شهر، در شمار اصلی‌ترین پارامترهای معین کننده شرایط آب و هوای شهری و محلی است. در نتیجه، زمانی که پوشش سطحی زمین از بین رفته و جای آن را آسفالت، سنگ، آجر و ... می‌گیرد، تبخیر افزایش یافته و سطوح غیرقابل نفوذ بیشتری ایجاد می‌گردد. همین عوامل، باعث می‌شود که انرژی دریافتی سطح زمین بیش از اندازه معمول گردد. گرم شدن فضاهای شهری نه تنها مشکلات مربوط به آلودگی، سلامتی و ... را بیشتر کرده و مخاطرات متعددی را به همراه می‌آورد، بلکه مصرف انرژی را به شکل غیرقابل باوری افزایش می‌دهد. برای تامین انرژی مورد اشاره، بخش بیشتری از منابع طبیعی مورد مصرف قرار می‌گیرد. منابعی که در این زمینه به مصرف می‌رسند نیز عمدتا از نوع ذخایر غیرقابل تجدید می‌باشند. این روند نامطلوب، همان است که در تضاد کامل با توسعه پایدار قرار دارد. این مسئله، وقتی نگران کننده تر خواهد شد که بدانیم در طی چند دهه اخیر، دمای کره زمین دائما در حال افزایش بوده (مه‌دیوان، زینلی، صلاحی، ۱۳۹۱) و وضعیت سایر عناصر اقلیمی به خصوص بارش نیز دچار آشفتگی گسترده‌ای گردیده است (صابری فر، ۲۰۲۲). از همین رو، برای آن که ادامه حیات بر روی سطح زمین امکان پذیر باشد و نسل‌های آینده و در نهایت کل موجودات بتوانند بهترین بهره را از طبیعت به دست آورند، ضرورت دارد که شرایط استفاده بهینه از قابلیت‌های موجود فراهم آید. این شرایط هم ایجاد نمی‌شود مگر این که اطلاعات دقیق و هدفمندی در ارتباط با وضعیت منابع طبیعی و نحوه بهره‌برداری از آنها گردآوری شده و مورد استفاده قرار گیرد. به این منظور، بهترین روش، تهیه و ترسیم نقشه‌هایی است که تحولات پوشش گیاهی و کاربری اراضی را مشخص سازد. چنین ابزاری، اطلاعات و آگاهی لازم را به منظور دخالت در اوضاع اکوسیستم طبیعی و محیط زیست در اختیار قرار می‌دهد. معمولا برای نیل به این هدف، از شاخص‌های مربوط به تحولات پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف از سطح محلی تا جهانی در طی دوره‌های زمانی طولانی و یا مقاطع خاصی از این دوره‌ها، استفاده می‌شود (بندری، کومار، و سینگ، ۲۰۱۲). اهمیت چنین مطالعاتی از آن روست که تعیین تغییرات پوشش گیاهی معیار مناسبی برای آشکارسازی ناهمگونی سیمای سرزمین و تنوع زیستی موجود و همین‌طور مشخص ساختن نواحی دارای اولویت برای حفاظت می‌باشد (کر و استروفسکی، ۲۰۰۳).

سری‌های زمانی سنجش از راه دور یا همان داده‌های ماهواره‌ای، بهترین و سریع‌ترین و البته کم‌هزینه‌ترین ابزاری است که در اختیار محققین قرار دارد و آنها از این طریق می‌توانند به سرعت تغییرات و پویایی‌های محیطی را مشخص نمایند (برتین، ۲۰۰۸). از همین رو، اکنون بهره‌گیری از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به خصوص در برخورد با داده‌های متعدد و فراوان جغرافیایی و تفسیر و تحلیل منطقی در مناطق بسیار بزرگی از سطح زمین، رواج گسترده و تاملی پیدا نموده است (امیرین و حسندی، ۲۰۱۰). در چنین مطالعاتی، عمده‌ترین معیار بهره‌گیری از شاخص‌های پوشش گیاهی می‌باشد که می‌تواند با سرعت و دقت وضعیت و تغییرات پوشش اراضی به خصوص در محیط‌هایی که سرعت تغییرات در آنها زیاد است را مشخص و عرضه نماید (مگی، رینگولد و بولمن، ۲۰۰۸). معروف‌ترین شاخص مورد استفاده در این مطالعات، شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده^۴ است (ژو، ژان، هو و ژائو، ۲۰۱۰). این شاخص، بر اساس بازتاب‌های مشخصی از طول موج‌های طیف الکترومغناطی سی (باند‌های انعکاسی در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک) تعیین شده و اختصاصا برای تعیین وضعیت پوشش گیاهی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (هرب، یانکه، محسنی و استفان، ۲۰۰۸). پرواضح است که توزیع فضایی پوشش گیاهی پیوند نزدیکی با شرایط آب و هوایی دارد. بررسی

4. Ramankutty, Foley & Olejniczak

1. Bandari, Kummur & Singh

2. Kerr & Ostrovsky

3. Bertin

4. Geographic information system

5. Amirin & Hasmadi

6. Magee, Ringold & Bollman

7. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

8. Zhou Zhan, Hu & Zhao

9. Herb, Janke, Mohseni Stefan

دگرگونی و تحول پوشش گیاهی این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان وضعیت دما و گرمایش را در سطوح محلی و جهانی مشخص کرد (پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵). همان‌طور که قبل از این بیان شد، هم‌اکنون، یکی از چالش‌های عظیم دنیا، تغییرات آب و هوایی است که به دلیل گرمایش جهانی بروز و ظهور پیدا نموده و در حال گسترش می‌باشد. گرم شدن زمین در سطوح جهانی، منطقه‌ای و محلی، سیستم‌های فیزیکی و زیست‌محیطی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است (چن، بی، وانگ، هوانگ، ژو و لو، ۲۰۱۵). معیاری که به‌عنوان یکی از حساس‌ترین شاخص‌های زیستی برای ارزیابی و تعیین گرمایش جهانی معرفی شده است، افزایش دمای کره زمین می‌باشد که موضوع تحقیقات متعددی بوده است (برتین، ۲۰۰۸). این وضعیت در شهرها معمولاً با بروز و ظهور جزایر حرارتی و ضرب گسیل سطح زمین، پیگیری و تحلیل می‌شود. چنین معیاری در بین محققان به‌عنوان اصلی‌ترین شاخص در بررسی و مطالعه مدل‌های تراز انرژی در سطح زمین و ارزیابی فعل و انفعالات حادث شده در مقیاس‌های مختلف از سطوح منطقه‌ای تا جهانی مدنظر می‌باشد (زند، سلمانی و رکی، ۱۳۹۲). اصولاً در صورتی که میزان دمای سطح زمین تغییر فاحشی نماید، اشباع غیر متوازن مکان سبب می‌شود که پوشش گیاهی ضعیف شده و یا کلاً از بین برود و در این صورت، تحولات گسترده‌ای از جمله بارش‌های غیر طبیعی بروز نموده و در نهایت تغییر اقلیم و ناهنجاری‌های مترتب بر آن را به همراه آورد (قربان‌نیا، میرسنجری، لیاقتی و آرمین، ۱۳۹۶). بررسی‌های قبلی نشانگر آن است که وضعیت پوشش گیاهی و دمای روی زمین تا حد زیادی به هم مربوط می‌باشند. در حقیقت، گرمای سطح زمین، یکی از مولفه‌های اصلی است که می‌تواند تغییرات و پوشش هر منطقه را تعیین کند (نتلر، ۲۰۱۰). در حال حاضر، به سبب تحول و تغییر سطح پوشش گیاهی، افزایش دما به شکل غیرقابل باوری به وقوع پیوسته است. به همین دلیل، مطالعات زیادی در این حوزه در حال انجام می‌باشد. علاوه بر اهمیت این موضوع، در اختیار بودن داده‌های حاصل از سنسور از دور چنین مطالعاتی را آسان و البته ضروری ساخته است. همین موضوع در کنار توجه و تأکید بر مقوله توسعه پایدار و حفظ منابع طبیعی، انجام مطالعات مختلف و در دوره‌های زمانی متفاوت را توجیه می‌نماید. در واقع، با استفاده از این مطالعات، این امکان در اختیار مدیران و سیاستگذاران قرار می‌گیرد تا پیامد اقدامات و برنامه‌ریزی‌های خود را به راحتی مورد ارزیابی قرار داده و جهت‌گیری دقیق‌تری برای رفع چالش‌های موجود را مدنظر قرار دهند.

پیشینه پژوهش

پیشینه تحقیقات مربوط به موضوع تغییرات پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین بسیار گسترده و دائماً نیز در حال گسترش است. به‌عنوان نمونه در یکی از آخرین تحقیقات که توسط ژائو و همکاران (۲۰۲۴)، به انجام رسیده است، عنوان شده است که تغییرات کاربری زمین و پوشش آن، یکی از اصلی‌ترین عوامل تخریب خاک بوده و مهم‌ترین مانعی است که از حفظ کیفیت خاک جلوگیری به عمل آورده و پایداری اکوسیستم‌ها را متزلزل می‌سازد.

کمارو و ایبوی (۲۰۲۳)، اثر این تحول را در تغییرات آب و هوایی خاطر نشان کردند. آشوینی و سیل (۲۰۲۲)، به اثر حذف پوشش گیاهی و فضاهای سبز در این روند تأکید ویژه‌ای داشته و اعتقاد دارند، با تمرکز جمعیت و ترافیک، روز به روز وضعیت نقاط حرارتی شهرها بدتر می‌شود.

عمران، حسبن، اسلام، رحمان، بهویان و پائول (۲۰۲۱) نیز در تحقیقات خود دریافتند که حذف فضاهای سبز شهری و شکل‌گیری جزایر حرارتی در بخش‌های اشباع شده شهر، بسیار خطرناک بوده و بایستی برای آن چاره‌اندیشی شود.

¹. Chen, He, Wang, Huang, Zhu & Lv

². Neteler

³ Kemarau & Eboy

⁴ Ashwini & Sil

⁵ Imran, Hossain, Islam, Rahman, Bhuiyan & Paul

احمد، کامروزامن، ژئو و رحمان (۲۰۱۳) در طی تحقیقی در منطقه داکای بنگلادش، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر دمای سطحی زمین پرداختند (یوچیدا، ۱۹۹۷). نتایج آنها نشان داد که در صورت ادامه روند فعلی تخریب اراضی در این منطقه، به ترتیب حدود ۵۶ و ۸۷ درصد از سطح منطقه مطالعاتی در سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۹ میلادی دارای دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و بالاتر خواهند بود. در کارهای روت، اوکه و امری^۳ (۱۹۸۷)، نقش پوشش گیاهی بسیار برجسته شده است.

بر اساس مطالعات گوارد، کویک شانکس و هوپ^۴ (۱۹۸۵)، پوشش گیاهی در مناطق شهری از این جهت حائز اهمیت است که می‌تواند شرایط محیطی و تبادلات انرژی را با سیله انعکاس انتخابی و جذب تشعشعات خورشیدی کنترل نماید. به طوری که این گروه معتقدند که پوشش گیاهی با کنترل بسیاری از عوامل خطرزا به خصوص در زمینه تشعشعات خورشیدی به عنوان عاملی موثر در کنترل آلودگی هوا و تاثیرگذار بر سلامت انسانها قلمداد می‌شود. در تحقیقات واگروفسکی و هیتس^۵ (۱۹۹۷) و یوچیدا (۱۹۹۷)، مشخص شد که تغییرات زمانی کاربری اراضی کشاورزی در مناطق مختلف با استفاده از اطلاعات ماهواره ای قابل مطالعه و بررسی می‌باشد.

اما تحقیقات مربوط به تغییرات کاربری اراضی و افزایش دما و شکل‌گیری جزایر گرمایی در ایران، عمدتاً در سال‌های اخیر به انجام رسیده و اغلب نتایج متفاوتی را به دست داده‌اند. به عنوان مثال، خدائی و زندی^۶ (۱۴۰۳)، دریافتند که مهم‌ترین عامل تغییرات تراکم پوشش گیاهی در منطقه، فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، ساخت و ساز و راه‌سازی، موجب تغییرات بسیاری در پوشش سطح زمین شده است، تجزیه و تحلیل مساحت این کاربری‌ها نشان داد که سطح اراضی کشاورزی و مراتع افزایش چشمگیری پیدا کرده که عمدتاً این افزایش نتیجه تبدیل تراکم پوشش گیاهی انبوه به خصوص جنگل‌ها به کشاورزی می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند مورد استفاده سازمان‌های جهاد کشاورزی، منابع طبیعی و وزارت کشور قرار گیرد.

زندى، زهیری عبدو و امامی^۱ (۱۴۰۳) نیز، در مطالعه استان خوزستان نتیجه‌گیری نمودند که جزایر حرارتی در خارج از محدوده شهری و در مناطق بایر متمرکز شده‌اند و دمای مناطق شهری نسبت به مناطق بیرون از شهر پایین‌تر است. منصوری، صفرزاده و روده^۲ (۱۴۰۳)، در بررسی شهر ساری دریافتند که دما در کاربری‌های متراکم، بایر و صنعتی بالا بوده و در قسمت‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، پایین‌تر است. در طول ۳۰ سال در ساری میزان دمای سطحی افزایش پیدا کرده و تعداد نقاط گرم هم در طی این دوره زیاد شده است.

اصغری سراسکانرود و فعال‌نذیری^۳ (۱۴۰۳)، نشان دادند که رابطه قوی بین کاربری اراضی و دما وجود دارد. نتایج حاصل از تحلیل خودهمبستگی فضایی با شاخص‌های موران نیز مشخص ساخت که داده‌های دمای سطح زمین شهرستان کرج دارای ساختار فضایی بوده و به شکل خوشه‌ای توزیع شده است. در واقع، رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر بر افزایش دمای هوا در نواحی شهری است که موجب ایجاد جزیره حرارتی بر روی این مناطق در مقایسه با محیط اطراف می‌شود و اثرات ناشی از آن می‌تواند نقش اساسی و مهمی در کاهش کیفیت هوا و به تبع آن، به مخاطره افتادن سلامت عمومی شود. سجادزاده و قربانی^۴ (۱۴۰۲)، در مطالعه شهر کرج اعلام کردند که فضاهاى سبز و پوشش گیاهی در شهرها به طور چشم‌گیری سبب تعدیل جزایر حرارتی شهری شده‌اند.

روکی، محمدی و زندی^۵ (۱۴۰۲)، در پژوهش خود دریافتند که گسترش دمای سطح زمین در دوره مطالعاتی (۱۳۶۵ تا ۱۴۰۱) در شهر اصفهان افزایش یافته است.

^۱ Ahmed, Kamruzzaman, Zhu, & Rahman

^۲ Uchida

^۳ Roth, Oke, & Emery

^۴ Goward, Cruickshanks & Hope

^۵ Wagrowski & Hites

^۶ Information Remote Sensing

سبحانی و منصوری (۱۴۰۲)، در بررسی کاربری اراضی شهر آمل نشان دادند که دما در کاربری‌های متراکم و صنعتی بالا و در قسمت‌هایی که دارای پوشش گیاهی هستند، پایین‌تر است.

گلاستانی، محمدی، برنا و اسدیان (۱۴۰۱)، در مطالعه شهر اصفهان، مشخص ساختند که شدت جزایر گرمایی با توجه به سطح کمینه و بیشینه و میانگین دما در اراضی شهری بیش از بقیه کاربری‌هاست و با افزایش مساحت کاربری‌های مسکونی و توسعه شهری، شدت جزایر گرمایی بیشتر می‌شود.

آزاد، قربانی، اصغری، سراسکانرود و غفاری (۱۳۹۹)، دریافتند که نوع کاربری و تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی تأثیر محسوسی در تغییرات دمای سطح زمین دارد؛ هرچند نواحی عاری از پوشش گیاهی دارای دمای سطحی بالاتری نسبت به نواحی است که دارای پوشش گیاهی هستند.

رمضانی و نقیبی (۱۳۹۹) با مطالعه شهر ارومیه به این نتیجه رسیدند که شاخص پوشش گیاهی کاهش یافته است. به گونه‌ای که در مناطق بایر پوشش گیاهی از ۰/۲۳ به ۰/۵۱- رسیده است. شاهسون، سلیمان و رشیدپور (۱۳۹۶)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندن ۵ و ۹ در بازه زمانی ۷ سال مربوط به سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ به کمک مدل شبکه عصبی نشان دادند که بین تغییرات جزایر حرارتی حاشیه زاینده رود اصفهان و تغییرات کاربری اراضی رابطه وجود دارد.

دلپسته، دوستان و کریمی (۱۳۹۷) نیز نشان دادند که مدل الگوی فضایی دمای سطحی شهر مشهد، افزایش دمای سطحی از مرکز به حاشیه شهر در زمان گذر ماهواره است؛ به طوری که مناطق مرکزی و قدیمی شهر (سناباد، آبکوه، سعدآباد، ملک‌آباد)، دمای سطحی پایین‌تری نسبت به حومه شهر دارند. قیصری (۱۳۹۲) در همین راستا، نتیجه‌گیری نمود که افزایش دما به م صرف بیشتر انرژی برای تعدیل آن در درون ساختمان‌ها منجر شده و این موضوع زمانی اهمیت خود را بیشتر نشان می‌دهد که بدانیم دمای هوا در شهر به طور معمول از نواحی اطراف آن بیشتر است. اشرف، فریدحسین و میان‌آبادی (۱۳۹۱)، در پژوهشی در ارتباط با شهر مشهد نتیجه‌گیری کردند که دمای تابشی سطح مشهد به طور کلی در طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است و این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر بوده است. مطابق بررسی صابری‌فر و مرزعاوی (۱۳۹۱)، در حال حاضر، تحقیقات مربوط به تغییر و تحول کاربری اراضی و آثار و پیامدهای آن در قالب مطالعات آمایش سرزمین انجام می‌شود.

محمودی (۱۳۹۱) با استفاده از آزمون من‌کندال با بررسی تغییرات دمایی نشان داد که ۲۸ ایستگاه در گستره ایران دارای تغییرات افزایشی در میانگین دما بوده‌اند. در همین سال، قهرمان (۱۳۹۱) مشخص کرد که در ایستگاه هواشناسی مشهد سری‌های زمانی حاصل از دمای حداقل روزانه از روند افزایشی معنی‌داری در همه صدک‌ها تبعیت می‌کنند. در تحقیقات معروف‌نژاد (۱۳۹۱) هم تأکید شد که در طی تابستان در کنار فرایند جذب پرتو فرابنفش و انعکاس اشعه مادون قرمز در هر منطقه، سقف ساختمان‌ها، خیابان‌ها و سطوح تیره رنگ، گرما را جذب نموده و آن را در هوا منتشر می‌کنند.

مطابق تحقیقات موسوی بیگی و میان‌آبادی (۱۳۹۰)، جزایر حرارتی هنگامی شکل می‌گیرند که در صد زیادی از پوشش طبیعی سطحی از بین برود. عبدالهی و رحیمیان (۱۳۸۷)، اعلام کردند کاهش مساحت زمین‌های زراعی حومه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطحی زمین مشکلات متعددی را به وجود می‌آورد.

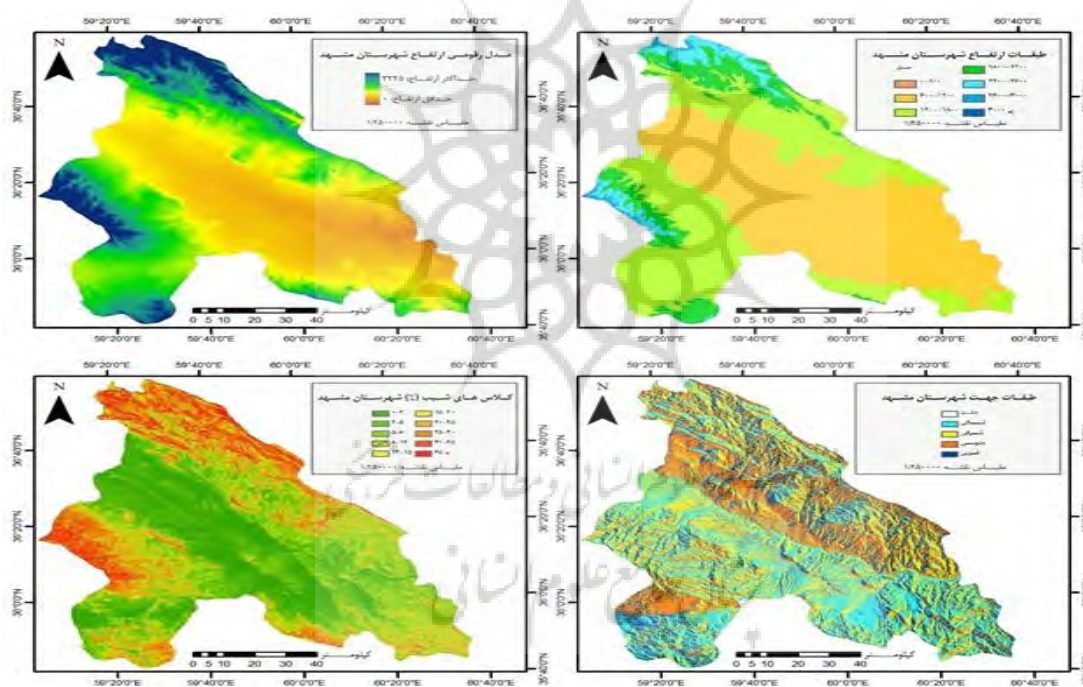
حبیبی و نظری (۱۳۸۶) بیشتر به تغییرات و تحولات کاربری اراضی در حوزه‌های غیر شهری و به خصوص کشاورزی و منابع اراضی تأکید نمودند.

ابراهیمی (۱۳۸۴) با مقایسه تفاوت دمای سالانه دشت مشهد در طول دوره آماری با میانگین درازمدت ۵۰ ساله نشان داد که تغییرات درجه حرارت روند افزایشی داشته است.

شیرغلامی (۱۳۸۴) هم اعلام کرد که تغییر کاربری در حومه شهرها در طول زمان از کشاورزی و مرتع به مسکونی دلیل عمده افزایش دما بوده است. با توجه به مطالب عنوان شده، می‌توان اذعان کرد که علی‌رغم وجود تحقیقات متعدد در این زمینه و حتی منطقه مورد بررسی این تحقیق، ضرورت دارد که هر چند مدت یک‌بار، و وضعیت موجود با تصاویر جدیدتر مورد پژوهش قرارگیرد تا تحولات صورت گرفته به خوبی قابل مدیریت باشد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی این مطالعه شهر مشهد در استان خراسان رضوی در شرق ایران بود. در واقع، شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع است. ارتفاع شهر از سطح دریا ۹۸۵ متر و فاصله آن از تهران ۹۶۶ کیلومتر است. مشهد در قلب دشتی قرار دارد که وضعیت شیب و ساختار فیزیکی آن تنگناهای زیادی بر آن وارد ساخته است (شکل ۱). گرچه مطالعه کل شهر، یافته‌های بهتر و بیشتری را در اختیار قرار می‌داد اما در این بررسی تنها بخشی از این شهر بررسی و مطالعه گردید. این موقعیت، بخشی از بافت شهری مشهد با ۱۹۸۸۱ هکتار مساحت، در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۰۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه بود. آب و هوای مشهد معتدل و متغیر است و وزش بادها در آن بیشتر در جهت جنوب شرقی به شمال غربی است. حداکثر درجه حرارت در تابستان‌ها ۴۳ درجه بالای صفر و کمترین آن در زمستان‌ها ۲۳ درجه زیر صفر است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ خورشیدی، جمعیت شهر مشهد در این سال، بالغ بر سه میلیون نفر بوده است که طبق آخرین برآوردها به سه میلیون و ششصد هزار نفر رسیده است. تعداد نواحی شهری مشهد ۴۲ ناحیه و شمار محلات آن نیز ۱۵۰ محله است.



شکل ۱. جایگاه مشهد در دشت و شهرستان مشهد

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و بر مبنای روش توصیفی - تحلیلی است. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز تحقیق از طریق منابع اسنادی و میدانی به دست آمد. در روش اسنادی و نرم‌افزاری از دستورالعمل‌های مربوط به اخذ و تحلیل اطلاعات حاصل از دورسنجی بهره‌برداری شد. با توجه به توانایی بالای سنسورهای ماهواره‌ای در جمع‌آوری بازتاب‌های طیف الکترومغناطیسی از پدیده‌های زمینی از جمله طیف مادون قرمز حرارتی، امکان بررسی وضعیت دمای سطوح و کاربری‌های متعدد در مناطق گوناگون از جمله مناطق شهری وجود دارد. اصولاً یکی از روش‌های ثبت تغییرات مشخصه‌های تشکیل‌دهنده سطح زمین برای به دست آوردن

اطلاعات، بدون انجام عملیات صحرایی و صرف وقت و هزینه زیاد، سنجش از دور است. به همین منظور، برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات درجه حرارت ناشی از تغییرات کاربری اراضی از تکنیک سنجش از دور بهره‌گیری شد. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست، سنجنده تی‌ام^۱ مربوط به سال ۱۹۷۹ و سنجنده ای‌تی‌ام پلاس^۲ مربوط به سال ۲۰۰۹ و سنجنده‌های اول، ای^۳ و تی‌آی‌آراس^۴ مربوط به سال ۲۰۲۳ میلادی استفاده گردید (جدول ۱ تا ۳). سنجنده‌های ماهواره لندست دارای قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسبی است که در بیشتر تحقیقات مشابه مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه سنجنده‌های این ماهواره برای مطالعه ساختار محیط شهری دارای محدودیت است، برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی و درجه حرارت سطحی در این مناطق، قابلیت‌های مناسبی دارند اسمال و بلاستید، ۱۹۹۹. در این تحقیق، تصحیح هندسی تصاویر سال ۱۹۸۷ با تصاویر سال ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ منطقه مورد مطالعه که دارای سیستم هماهنگ جغرافیایی بود، در محیط نرم افزاری آی‌ال‌ویز^۵ با استفاده از روش افاین^۶ صورت پذیرفت (متیوس، ۱۹۹۵). سپس با بکارگیری نمونه‌گیری مجدد^۷ روی باندهای مربوط به سال ۱۹۸۷، اندازه آنها با سایر موارد یکسان‌سازی شد (متیوس، ۱۳۹۵).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM (استفاده شده برای تصویر سال ۱۹۸۷ میلادی)

نام باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
باند ۱	۰/۴۵-۰/۵۲	۳۰
باند ۲	۰/۵۲-۰/۶۰	۳۰
باند ۳	۰/۶۳-۰/۶۹	۳۰
باند ۴	۰/۷۶-۰/۹۰	۳۰
باند ۵	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰
باند ۶	۱۰/۴۰-۱۲/۵۰	۱۲۰
باند ۷	۲/۰۸-۲/۳۵	۳۰

جدول ۲. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ (استفاده شده برای تصویر سال ۲۰۰۹ میلادی)

نام باند	طول موج	قدرت تفکیک مکانی
باند ۱	۰/۴۵-۰/۵۲	۳۰
باند ۲	۰/۵۲-۰/۶۰	۳۰
باند ۳	۰/۶۳-۰/۶۹	۳۰
باند ۴	۰/۷۷-۰/۹۰	۳۰
باند ۵	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰
باند ۶	۱۰/۴۰-۱۲/۵۰	۶۰
باند ۷	۲/۰۹-۲/۳۵	۳۰
باند ۸	۰/۵۲-۰/۹۰	۱۵

۱. TM
 ۱. ETM+
 ۲. OLI
 ۳. TIRS
 ۴. ILWIS
 ۵. Affine
 ۶. Maathuis
 ۷. Resampling

جدول ۳. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ سنجنده‌های OLI و TIRS (استفاده شده برای تصویر سال ۲۰۲۳ میلادی)

نام باند	طول موج	قدرت تفکیک مکانی
باند ۱ - آتروسول ساحلی	۰/۴۳-۰/۴۵	۳۰
باند ۲ - آبی	۰/۴۵-۰/۵۱	۳۰
باند ۳ - سبز	۰/۵۳-۰/۵۹	۳۰
باند ۴ - قرمز	۰/۶۴-۰/۶۷	۳۰
باند ۵ - مادون قرمز نزدیک (NIR)	۰/۸۵-۰/۸۸	۳۰
باند ۶ - SWIR 1	۱/۵۷-۱/۶۵	۳۰
باند ۷ - SWIR 2	۲/۱۱-۲/۲۹	۳۰
باند ۸ - پانکروماتیک	۰/۵۰-۰/۶۸	۱۵
باند ۹ - سیروس	۱/۳۶-۱/۳۸	۳۰
باند ۱۰ - مادون قرمز حرارتی (TIRS) 1	۱۰/۶۰-۱۱/۱۹	۳۰
باند ۱۰ - مادون قرمز حرارتی (TIRS) 2	۱۱/۵۰-۱۲/۵۱	۳۰

نقشه پوشش گیاهی محل مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور تهیه گردید. برای این منظور از شاخص معروف پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده استفاده شد که نحوه محاسبه آن مطابق رابطه ۱ است.

$$\text{رابطه (۱)} \quad (NIR-RED)/(NIR+RED) = NDVI$$

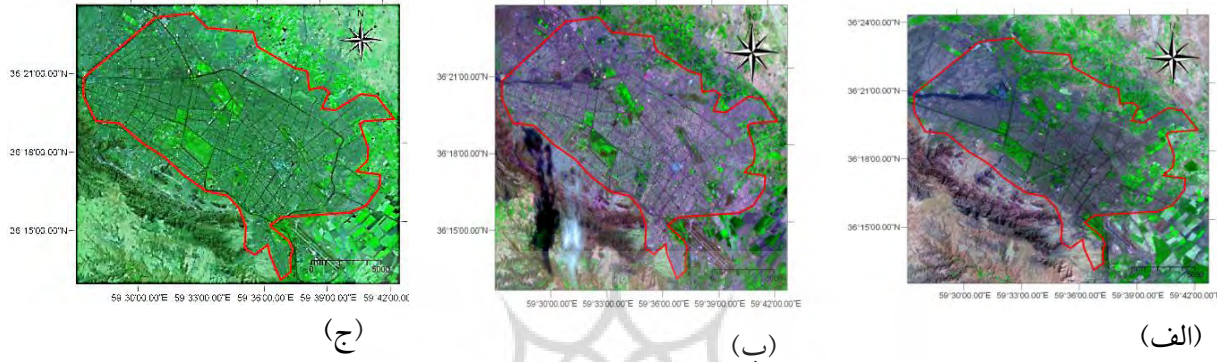
منظور از NIR در این فرمول، باند نزدیک مادون قرمز (باند شماره ۴ ماهواره لندست ۵ و ۷ و باند شماره ۵ ماهواره لندست ۹) و منظور از RED، باند قرمز (باند شماره ۳ ماهواره لندست ۵ و ۷ و باند شماره ۴ ماهواره لندست ۹) می‌باشد. پس از اعمال فرمول، حد آستانه پوشش گیاهی برای هر سه دوره تعیین و نقشه پوشش گیاهی آنها با قدرت تفکیک مکانی ۹۰۰ متر مربع (۳۰ متر در ۳۰ متر) ساخته شد. سپس با تعیین مساحت پوشش گیاهی، درصدی از مساحت منطقه مطالعاتی که دارای پوشش گیاهی بود، تعیین و مقادیر آنها در سه سال ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ با همدیگر مقایسه گردید. همچنین برای بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی، کلاس‌های مختلف سرسبزی (بدون پوشش، ضعیف، متوسط و خوب) تعریف و در صدی از پوشش گیاهی که در هر کلاس وجود داشت، محاسبه شد و مقایسه نتایج در سه سال ۱۹۸۷ و ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ انجام گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

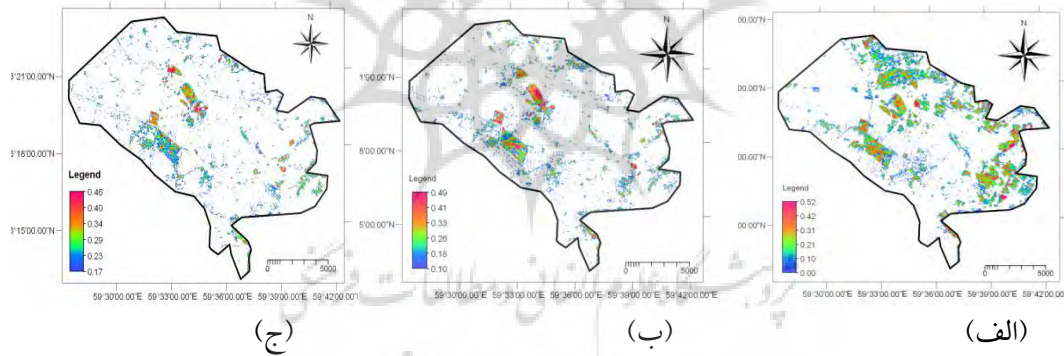
برای به دست دادن تغییرات کاربری اراضی در شهر مشهد و همچنین تعیین میزان افزایش حرارت و شکل‌گیری جزایر گرمایی در این شهر، مطابق روش تحقیق مورد استفاده، ابتدا نقشه‌های ترکیب رنگی منطقه مطالعاتی در سال‌های مختلف تهیه گردید (شکل ۲). همان‌طور که در این شکل مشخص شده‌است، در طی سه دوره مورد اشاره در این بررسی تحولات بسیار گسترده و مشهودی در شهر مشهد حادث شده‌است. تحولاتی که نه تنها زمینه‌های تولیدی و اقتصادی شهر را به شکل گسترده‌ای محدود نموده‌است، بلکه مشکلات اجتماعی، بهداشتی و حتی زیست‌محیطی زیادی را برای آن ایجاد کرده‌است. به همین دلیل، بررسی و تحلیل این تغییرات

^۱. NDVI

می‌تواند در برنامه‌ریزی و تدوین سیاست‌های مورد نیاز، نقش غیرقابل انکاری در پی داشته‌باشد. برای دسترسی به این هدف، در ابتدا نسبت به تعیین شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده اقدام شد تا امکان ارزیابی تحولات مورد نظر فراهم گردد. با تعیین شاخص مورد اشاره در فوق به کمک اطلاعات ماهواره‌ای و تعیین حد آستانه برای نمایش حداقل‌های پوشش گیاهی مربوط به سه دوره مورد نظر، نقشه معرف پوشش گیاهی منطقه در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ میلادی ایجاد شد (شکل ۳). بعد از تعیین نقشه معرف پوشش گیاهی (متیوس، ۱۳۹۵)، اطلاعات این سطوح به طور دقیق محاسبه و اندازه‌گیری شد که در جدول ۴ و شکل ۳ و ۴، ارائه شده‌است.



شکل ۲. نقشه‌های ترکیب رنگی منطقه در سال‌های (الف) ۱۹۸۷، (ب) ۲۰۰۹ میلادی و (ج) ۲۰۲۳ میلادی

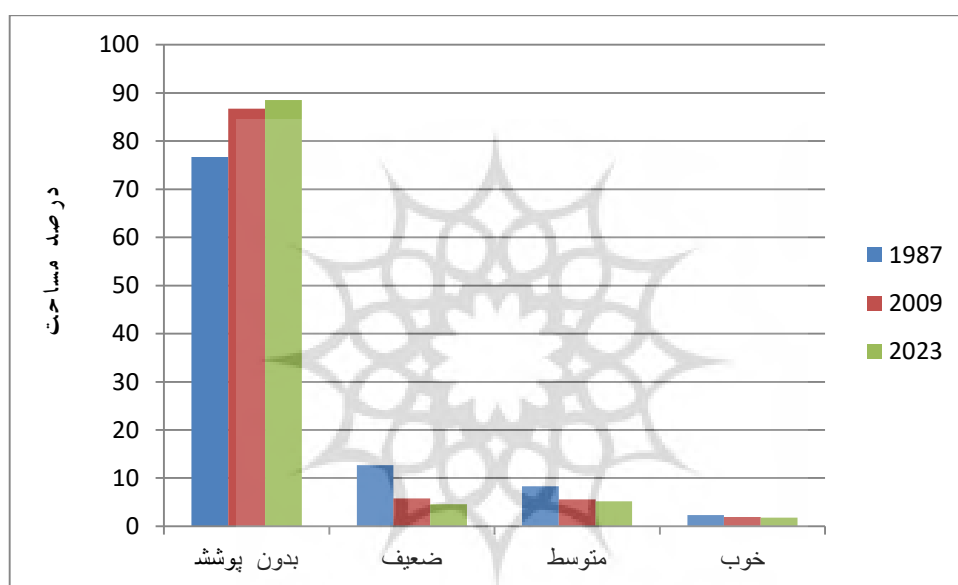


شکل ۳. پوشش گیاهی منطقه در سال‌های (الف) ۱۹۸۷ میلادی، (ب) ۲۰۰۹ میلادی و (ج) ۲۰۲۳ میلادی

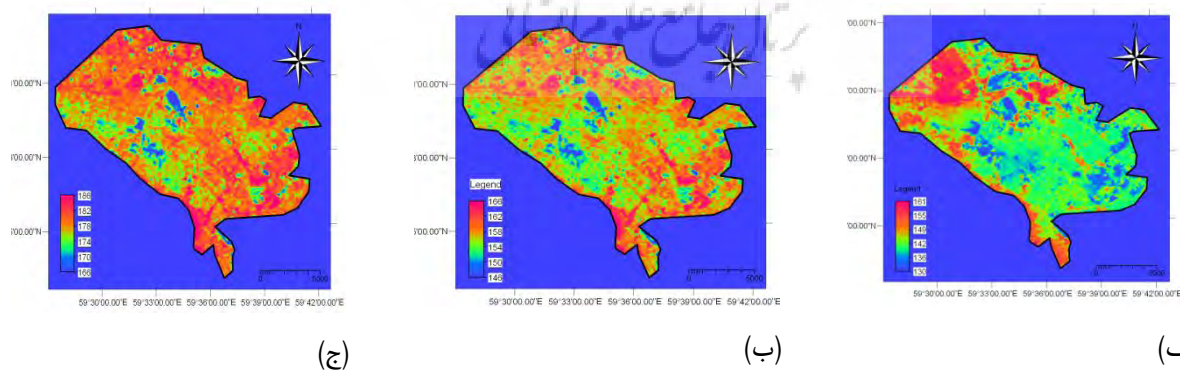
جدول ۴. نتایج مقایسه کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی در سال‌های مورد مطالعه

کلاس	سال ۱۹۸۷			سال ۲۰۰۹			سال ۲۰۲۳		
	پیکسل	مساحت (هکتار)	درصد	تعداد پیکسل	مساحت (هکتار)	درصد	پیکسل	مساحت (هکتار)	درصد
بدون پوشش	۱۶۹۵۳۱	۱۵۲۵۸	۷۶/۷	۱۹۱۴۲۵	۱۷۲۲۸	۸۶/۷	۱۹۵۴۰۶	۱۷۵۸۷	۸۸/۵
ضعیف	۲۷۹۵۹	۲۵۱۶	۱۲/۷	۱۲۸۸۰	۱۱۵۹	۵/۸	۱۰۱۳۸	۹۱۲	۴/۶
متوسط	۱۸۳۰۵	۱۶۴۷	۸/۳	۱۲۴۷۷	۱۱۲۳	۵/۶	۱۱۴۱۷	۱۰۲۸	۵/۲
خوب	۵۱۰۹	۴۶۰	۲/۳	۴۱۲۲	۳۷۱	۱/۹	۳۹۴۳	۳۵۵	۱/۸
جمع کل	۲۲۰۹۰۴	۱۹۸۸۱	۱۰۰	۲۲۰۹۰۴	۱۹۸۸۱	۱۰۰	۲۲۰۹۰۴	۱۹۸۸۱	۱۰۰

شکل ۵ مقایسه درصد مساحت اختصاص یافته به هر کلاس و میزان سرسبزی را در مناطق شهری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توزیع پوشش گیاهی در این مناطق به گونه‌ای است که با صرف نظر کردن از محل‌های بدون پوشش، کلاس ضعیف، بیشترین مقدار پوشش را به خود اختصاص داده‌است. همچنین با مقایسه درصد پوشش گیاهی کلاس‌ها، مشاهده می‌شود که در طی ۳۶ سال از مساحت پوشش گیاهی در همه کلاس‌های سرسبزی کاسته شده و به مساحت مناطق فاقد پوشش گیاهی افزوده شده‌است. در مرحله بعد، با استفاده از اطلاعات باندهای حرارتی (باند ۶ لندست ۵ و ۷ و ۱۰ و ۱۱ لندست ۹) نقشه توزیع مکانی درجه حرارت سطحی ساطع شده از پوشش‌های مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه در تابستان سه سال ۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ میلادی تهیه شد. تغییر در طیف رنگی موجود در این نقشه نشان دهنده تغییر نسبی دمای محیط از یک نقطه به نقطه دیگر است. این تغییرات به صورت کلاس‌های مختلف حرارتی مشخص شده‌اند و درصد مساحت هر یک از آنها تعیین گردیده‌است (جدول ۵).



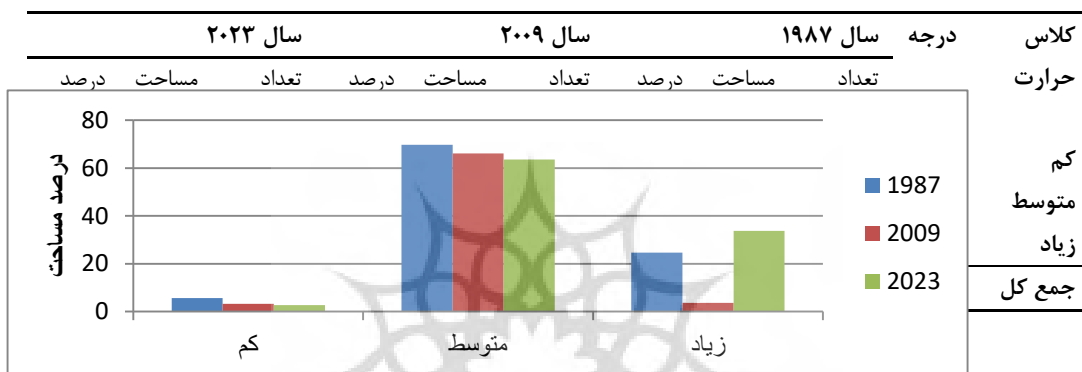
شکل ۴. مقایسه درصد مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ میلادی



شکل ۵. باند حرارتی (Band 6) منطقه مطالعاتی در سال‌های (الف) ۱۹۸۷ میلادی، (ب) ۲۰۰۹ میلادی و (ج) ۲۰۲۳ میلادی

با مقایسه درصد مساحت کلاس‌های درجه حرارت سال‌های مورد مطالعه، همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، از درصد مساحت کلاس‌های درجه حرارت کم و متوسط کاسته شده و به درصد مساحت کلاس حرارتی زیاد افزوده گردیده‌است. در واقع، در این مدت درصد مساحت درجات حرارت کم از حدود ۵/۷ در سال ۱۹۸۷ به ۳/۲ در سال ۲۰۰۹ و در نهایت به ۲/۷ درصد در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته‌است. این در حالی است که در همین مدت، کلاس درجه حرارت زیاد از ۲۴/۷ درصد در ابتدای دوره به ۳۳/۸ درصد در سال‌های انتهای بررسی رسیده‌است. این نکته بیانگر تغییر نوع پوشش سطحی (تبدیل پوشش گیاهی به پوشش‌های مصنوعی مانند ساختمان، آسفالت و سنگفرش و غیره) و در نتیجه، افزایش نسبی دمای هوای محیط شهری مشهود در یک دوره ۳۶ ساله است که می‌تواند به عنوان پیامد منفی تغییر کاربری اراضی در این شهر مطرح باشد.

جدول ۵. نتایج مقایسه کلاس‌های مختلف درجه حرارت سطحی در سال‌های مورد مطالعه



شکل ۶. مقایسه درصد مساحت کلاس‌های درجه حرارت (باند ۶) در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳ میلادی

شواهد و اطلاعات محلی، نشان دهنده آن است که در طی مدت بررسی، تغییرات پوشش گیاهی و در نتیجه دمای سطح زمین دچار تحولات اساسی شده‌است. به طوری که در مناطقی از شهر که در گذشته به عنوان مناطق بی‌بلاقی معرفی می‌شدند و در تابستان جهت استفاده از هوای خنک و مطلوب توسط مردم مورد توجه بود، اکنون با تغییر کاربری اراضی منطقه و افزایش دمای محسوس آن، از استفاده تفرجگاهی خارج گشته‌است. سایر محققین نیز به اثرات منفی افزایش دما در محدوده‌های شهری اشاره کرده‌اند. به عنوان مثال، معروف‌نژاد (۱۳۹۰) عنوان نموده‌است که گرمای محدوده شهری نه تنها باعث افزایش مصرف انرژی برای خنک کردن ساختمانها و افزایش سرانه بار مالی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال می‌شود، بلکه باعث ایجاد آلودگی در جو از جمله تولید گاز منواکسیدکربن و آوزون و افزایش ترکیبات زیانبار کربنی، گوگردی و دیگر آلاینده‌های آسیب‌رسان در سطح زمین می‌شود (معروف‌نژاد، ۱۳۹۰: ۶۵). همچنین بالا رفتن درجه حرارت باعث تخریب آسفالت خیابان‌ها، کاهش عمر مفید تاسیسات ساختمانی و شهری و تحمیل هزینه نگهداری وسایل و تجهیزات بر شهرداریها و سازمان‌های شهری شده و موجب تغییر در ساخت اماکن مسکونی جدید می‌شود که احتیاج به تبادل حرارتی بین اجزای مختلف ساختمان زمینه‌ساز آن می‌باشد (ژائو و همکاران، ۲۰۲۴: ۲). نکته بسیار مهم آن است که مقایسه روند تغییرات کلاس‌های مختلف درجه حرارت سطحی نشانگر آن است که سرانه سالیانه میزان تغییرات بین سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۳ بسیار کمتر از همین میزان برای سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۹ می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که سرعت تغییرات، اندکی تعدیل شده‌است. این ادعا وقتی بهتر مشخص می‌گردد که بدانیم، تغییرات مورد اشاره در شهرهایی چون ساری (منصوری و همکاران، ۱۴۰۳)، آمل (سبحانی و منصوری، ۱۴۰۲)، کرج (سجادزاده و ربانی، ۱۴۰۲)، اصفهان (گلستانی و همکاران، ۱۴۰۱) و ارومیه (رمضانی و نقیبی، ۱۳۹۹) هر چه به دوره اخیر نزدیک‌تر شده، شدت بیشتری پیدا نموده‌است.

به نظر می‌رسد که برای مطالعه دمای هوای لایه سطحی زمین استفاده از درجه حرارت ساطع شده اجسام بهتر از درجه حرارت درونی همین مواد، در سطح زمین باشد. زیرا دمای درونی یک جسم یکی از خواص آن بوده و به جنس مواد تشکیل دهنده و سایر

خصوصیات آن بستگی دارد. در تحقیقات مشابهی درجه حرارت درونی اجسام نیز به کمک اطلاعات سنجش از دور محاسبه شده است. روش رایج در این زمینه، شامل تبدیل داده‌های خام ماهواره‌ای به تشعشع طیفی و سپس محاسبه درجه حرارت ساطع شده از جسم و در نهایت محاسبه درجه حرارت درونی آن می‌باشد (عبداللهی و رحیمیان، ۱۳۸۷: ۸۷). این روش به اطلاعات کمکی نظیر وضعیت پوشش زمین و میزان تشعشع ساطع شده از آنها، زاویه میل خورشیدی با توجه به عرض جغرافیایی و زمان دقیق اخذ تصویر و نیز انجام تصحیحات اتمسفری دقیق نیازمند است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق با هدف بکارگیری سنجش از دور در بررسی پیامدهای تغییر کاربری اراضی در شهر مشهد انجام شده و از این طریق اقدام به تعیین و مقایسه آثار کاهش پوشش گیاهی و افزایش درجه حرارت نمود. اطلاعات گردآوری شده برای سه سال مختلف (۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳) نشان داد که در طی این مدت دائماً از مساحت پهنه‌های با پوشش خوب کاسته شده و به وسعت مناطق فاقد پوشش اضافه شده است. به عنوان مثال، در حالی که مجموع پهنه‌های با پوشش مناسب در سال ۱۹۸۷ بالغ بر ۴۶۰ هکتار بوده است، این میزان در سال ۲۰۱۳ به کمتر از ۳۶۶ هکتار رسیده است. این در حالی است که در همین مدت، پهنه‌های بدون پوشش از ۱۵۲۵۸ هکتار در ابتدای دوره، به ۱۷۵۸۷ هکتار افزایش یافته است. این شرایط برای بخش‌های ضعیف و متوسط نیز روند مشابهی را طی کرده است. به طوری که پهنه‌های با پوشش گیاهی ضعیف از ۲۵۱۶ هکتار در سال ۱۹۸۷ به ۹۱۲ هکتار در سال ۲۰۲۳ تقلیل پیدا نموده است. در ارتباط با پهنه‌های با پوشش متوسط این مقادیر به ترتیب برای سالهای ۱۹۸۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۲۳، ۱۶۴۷، ۱۱۲۳ و ۱۰۲۸ هکتار بوده است.

بر اساس کاهش وضعیت پوشش گیاهی مناسب و افزایش وسعت اراضی فاقد پوشش، وضعیت حرارتی شهر مشهد هم تحولات قابل ملاحظه‌ای را شاهد بوده است. به طوری که در طی سالهای مورد بررسی پهنه‌هایی از شهر که در سال ۱۹۸۷ با درجه حرارت کم مشخص شده بودند از ۱۱۳۳ هکتار در سال ۱۹۸۷ ابتدا به ۶۳۴ هکتار در سال ۲۰۰۹ و در نهایت به کمتر از ۵۴۰ هکتار در سال ۲۰۲۶ کاهش یافته است. این در حالی است که در همین مدت، وسعت اراضی با حرارت زیاد از ۴۹۰۱ هکتار در سال ۱۹۸۷، به حدود ۶۱۰۰ هکتار در سال ۲۰۰۹ و بالاخره در سال ۲۰۲۳ به بالای ۶۷۱۲ هکتار افزایش یافته است. به طور کلی، در طی ۳۶ سال از درصد مساحت کلاس‌های درجه حرارت کم و متوسط کاسته شده و به درصد مساحت کلاس حرارتی زیاد افزوده شده است. این نکته بیانگر افزایش نسبی دمای هوای محیط شهر مشهد در نتیجه تغییر پوشش گیاهی می‌باشد که می‌تواند به عنوان پیامد منفی تغییر کاربری اراضی در این شهر مطرح باشد.

با وجود آن که تغییر پوشش گیاهی پیامدهای متعددی را در پی دارد، با توجه به محدودیت‌های مختلف در این تحقیق تنها به تغییرات مربوط به حرارت سطح زمین توجه شده است. بدون شک اگر اثرات این تغییرات بر سایر پارامترها مورد توجه قرار گیرد، نتایج کاربردی‌تر و دقیق‌تری به دست خواهد آمد. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی، سایر پیامدهای ناشی از این روند نیز مورد توجه نظر قرار گیرد. اما آنچه مسلم است این که همین نتیجه هم می‌تواند برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران را ترغیب و تشویق نماید تا برنامه‌ها و پروژه‌های عمرانی را به نحوی تدوین و اجرا نمایند که بتوانند مهم‌ترین اصول توسعه پایدار که همانا کاهش میزان بهره‌مندی از منابع موجود و همچنین تامین سلامت ساکنین شهر و ... می‌باشد را در دستور کار قرار داده و با توجه به اطلاعات دقیق و کامل دست به اقدام بزنند.

اگرچه حفظ و توسعه فضاهای سبز و طبیعی، برای تمامی شهرها و سکونتگاه‌های انسانی، بسیار ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد، این شرایط برای شهرها و مناطقی که بخش قابل ملاحظه‌ای از درآمد و ثروت خود را از طریق گردشگری در انواع مختلف آن به دست می‌آورند، بسیار جدی‌تر و اساسی‌تر به نظر می‌رسد. این نکته به خصوص در ارتباط با کلان شهر مذهبی مشهد که سالیانه

قریب به ۳۰ میلیون زائر و مسافر را به سوی خود جلب کرده و از شرایط اقلیمی نسبتاً خشنی نیز برخوردار است، اولویت بیشتری خواهد داشت.

References

- Abdulahi, J., & Rahimian, A.M. (2008). Comparison of the environmental effects of land use change on the change of vegetation cover and surface temperature in urban and non-urban areas by using remote sensing. *Mohitshenasi*, 45, 96-85. (Persian)
- Ahmed, B., Kamruzzaman, Md., Zhu, X., & Rahman, K. (2013). Simulating Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature in Dhaka. *Bangladesh, Remote Sens.*, 5, 5969-5998.
- Amirin, M. K. & Hasmadi, I. M. (2010). Land use changes in Perak catchment zone using remote sensing and GIS technique. *Paper Information*, 15-19. (In Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., & Faal Naziri, M. (2024). Analysis of land use and its effects on surface temperature changes, case study: Karaj city. *Urban Ecology Research*, 34, 99-80. (Persian)
- Ashraf, B., Faridhosseini, A., & Mianabadi, A. (2012). The Investigation of Mashhad's Heat Island Using Satellite Images and Applying Fractal Theory. *Geography and Environmental Hazard*, 1(1), 35-48.
- Ashwini, K., & Sil, B. (2022). Impacts of Land Use and Land Cover Changes on Land Surface Temperature over Cachar Region, Northeast India-A Case Study. *Sustainability*, 14(21), 1-14 .
- Asnawi, N.H., Choy, L., Rose, R., Widiawaty, M., & Alavi-Panah, S.K. (2003). *Application of remote sensing in earth sciences (soil sciences)*. Tehran: University of Tehran. (Persian)
- Atwater M. A. (1974). Thermal changes induced by urbanization pollutants. *Appl. Meteor*, 14, 1061-1071.
- Azad, K., Ghurbani, O., Asghari Saraskanroud, S., Qala, E. & Ghafari, S. (2019). Investigating the relationship between land use changes and vegetation cover with surface temperature in Nemin city. *Remote sensing and geographic information system in natural resources (application of remote sensing and GIS in natural resources sciences)*, 11(2), 27-48. (Persian)
- Bandari, A., Kummar, A. & Singh, G.K. 2012. Feature extraction using normalized difference vegetation index (NDVI), a case study of Jabalpur city. *Procedia Technogy*, 6, 612- 621.
- Bertin, R.I. (2008). Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 135(1), 126-146.
- Chen, A., He, B., Wang, H., Huang, L., Zhu, Y., Lv, A. (2015). Notable shifting in the responses of vegetation activity to climate change in China. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*, 87, 60-66.
- Dede, M. & Muhammad, F. (2024). Impacts of urban land use and land cover changes on land surface temperature in Kuala Lumpur, Malaysia. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*, 20 (1), (99-120). <https://doi.org/10.17576/geo-2024-2001-07>
- Delbasteh, S., Doostan, R., & Karimi, N. (2018). Evaluation of Spatial Variations of Surface Temperature in Mashhad Metropolis. *Geography and Territorial Arrangement*, 8(27), 19-36. (Persian) <https://doi.org/10.22111/gajj.2018.4088>
- Ebrahimi, H. (2005). Investigating the presence of temperature change in the Mashhad Plain as an index of climate change in the region. *Geographical Research*, 20(4), 5-18. (Persian)
- Ghahreman, N. (2011). Investigating the change trend of minimum, maximum and daily average values in some climatic samples of Iran. *Physics of Earth and Space*, 37(1), 179-169. (Persian)
- Ghaysari, M., Shafayoun, E., Majidi, M. M. & Abedikopaei, J. (2012). Investigating the effect of type of surface cover on average, maximum and minimum temperature in Isfahan city. *Water and Irrigation Management*, 3(1), 109-97. (Persian)
- Golestani, Z., Mohammadi, H., Borna, R. & Assadian, F. (2022). Analysis of Earth's and Vegetable Coating Relationship in the formation of thermal island and its risks (Case Study: Isfahan Metropolitan). *Environmental Hazard Management*, 9 (4), 354-341. (Persian)

Ghorbannia, V., Mirsanjari, M., Liaghati, H., Armin, M. (2017). Estimating land surface temperature of land use and land cover in Dena County using single window algorithm and landsat 8 satellite data. *Environmental Sciences*, 15(2), 55-74. (In Persian)

Golestani, Z., Mohammadi, H., Borna, R. & Assadian, F. (2022). Analysis of Earth's and Vegetable Coating Relationship in the formation of thermal island and its risks (Case Study: Isfahan Metropolitan). *Environmental Hazard Management*, 9 (4), 354-341. (Persian)

Goward, S. N., Cruickshanks, G. D. & Hope, A. S. (1985). Observed relation between thermal emission and reflected spectral radiance of a complex vegetated landscape. *Remote Sensing of Environment*, 18, 137-146.

Habibi, K. & Nazari Adli, S. (2007). Implementation of neighborhood matrices in the spatial information system in order to determine or change urban uses. *Geomatic Conference*, Tehran: Country Mapping Organization. (Persian)

Herb, W. R., Janke, B., Mohseni, O., Stefan, H. G. (2008). Ground surface temperature simulation for different land covers. *Journal of Hydrology*, 356(3-4), 327-343.

Imran, H. M., Hossain, A., Islam, A. K. M. S., Rahman, A., Bhuiyan, M. A. E., Paul, S., & Alam, A. (2021). Impact of land cover changes on land surface temperature and human thermal comfort in Dhaka, Earth Sys. & Env., 5 (3), 667-693.

Jihad Daneshgahi of Mashhad. (2011). *Mashhad Metropolis Project (Social and Cultural Studies)*. Mashhad: Mashhad Municipality. (Persian)

Kerr, J.T. & Ostrovsky, M., 2003. From space to Species: ecological application for remote sensing. *Trend in Ecology and Evolution*, 18(6), 299-305.

Khodaie, A., & Zandi, R. (2024). Monitoring changes in vegetation cover and its relationship with surface temperature and land use in Khodaafarin and Kalibar cities using Remote sensing technology. *Jpurnal of Natural Environment*, 77(1). 59-73. (Persian)

Maathuis, B. H. P. (1995). *Remote sensing and image processing*. ITC: Lecture notes.

Magee, T.K., Ringold, P. L., Bollman, M.A. (2008). Alien species importance in native vegetation along wadeable streams, John Day River Basin, Oregon. USA. *Plant Ecology*, 195(2), 287-307.

Mahdavian, S., Zeinali, B., Salahi, B. (2022). Monitoring land use changes and its relationship with land surface temperature and vegetation index in the southern areas of Ardabil province (Case study: Kiwi Chay catchment). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 13(4), 21-48. (Persian)

Mahmoudi, P., Alijani, B., Saligheh, M. & Rigichahi, A. (2011). Investigating the Minimum and Maximum Changes of Iran. *Geographical Res.*, 26 (3), 122-101. (Persian)

Mansouri, M., Safarzadeh, Z. & Rodeh, H. (2024). The impact of urban expansion on the spatial changes of the heat island of Sari. *Structure and Function of Urban Function*, 38, 240-218. (Persian)

Marofianjad, A. (2011). The Impact of Urban Users on Creating thermal islands (Case Study of Ahvaz City). *Environmental Preparation*, 4 (14), 65-90. (Persian)

Mashhad Municipality. (2023). *Statistics of Mashhad city*. Mashhad: Deputy of Planning and Development of Mashhad Municipality. (Persian)

Mousavi-Baygi M., & Miyanabady, A. (2010). The Investigation of Tehran's Heat Island by using the Surface Ozone and Temperature Data. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 5(2), 189-200.

Neteler, M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. *Remote Sensing*. 2(1), 333-351.

Oke T. R. (1982). The energetic basis of urban heat island. *Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24, 1982.

Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C. J., Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(9), 503-510.

Ramankutty, N., Foley, J.A., Olejniczak, N.J., 2002. People on the land: Changes in Global Population and Croplands During the 20th century. *Ambio*, 31(3), 251-257.

- Ramezani, S. & Nagibi, F. (2019). Analyzing changes in vegetation index in the formation of urban thermal islands (case study: Urmia city). *Urban Research and Planning*, 11(42), 206-195. (Persian)
- Roth, M., Oke, T. R. & Emery, W. J. (1989). Saterllite derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 19(3), 12-24.
- Ruki, Z., Mohammadi, H. & Zandi, R. (2023). The role of land use changes on the formation of ground surface temperature in cities, a case study: Isfahan city. *Natural Geography Research*, 55(3), 1-17. (Persian)
- Saberifar, R. (2022). Climate Change and Water Crisis (Case Study, Mashhad in Northeastern Iran). *Polish Journal of Environmental Studies*, 32 (1):705-716.
- Saberifar, R., Shokri, H. & Mohammadnejad, M. (2013). *Sustainable urban development, planning, management and policymaking*. Mashhad: Omid Mehr. (Persian)
- Sabrifar, R. & Mazraavi, E. (2011). *An introduction to sustainable urban development: Ahvaz, Katiba Sabz*. (Persian)
- Sajjadzadeh H. & Ghorbani, F. (2023). The effect of vegetation changes on the intensity of urban surface heat island (case example: Karaj metropolis). *Urban Studies Quarterly*, under publication. (Persian)
- Shahsavand, M., Soleimani, K. & Rashidpour, M. (2016). Investigation of land use changes on surface temperature of the urban environment of Isfahan. *5th National Conference of Geographical Sciences*, Shahin Shahr: Payam Noor University. (Persian)
- Shirgholami, H. & Gharaman, B. (2005). Investigating the trend of annual average temperature changes in Iran. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 9(1), 179-169. (Persian)
- Shrestha, D. P. (1994). *Remote sensing techniques and digital image processing*. ITC: lecture notes.
- Small, R. & Balstad, M. (1999). *Monitoring the Urban Environment from Space, Lamont Doherty Earth Observatory*. USA: Columbia University, and Palisades.
- Sobhani; B. & Mansouri, M. (2023). Analyzing the role of temperature changes in urban land uses using Landsat satellite images (Amel city case study). *Environmental Sciences Studies*, 8(4), 7448-7437. (Persian)
- Tumanov S., Stan-Sion, A., lupu, A., Soci, C. & Oprea, C. (1999). Influences of the city of Bucharest on weather and climate parameters. *Atmospheric Environment*, 33, 4173-4183.
- Uchida, S. (1997). *Temporal Analysis of Agricultural Land Use in the Semi-Arid Trophics of India Using IRS Data, Environmental Resources Division*. Japan: International Research Center for agricultural Sciences (JIRCAS).
- UN (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division). (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations.
- Wagrowski, D. M. & Hites, R. A. (1997). Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban and rural vegetation. *Environmental Science & Tec.*, 31(1), 279-282.
- Zandi, R., Zahiri Abdo, Z. & Emami, S. (2024). Earth surface temperature measurement and its relationship with spectral indices of a case study: Khuzestan province. *Geography and Development*, 76, 64-39. (Persian)
- Zandi, R., Salmani Mohammad, M., Roki, Z. (2023). Measuring the degree of spatial autocorrelation of land surface temperature with land use, study sample: Isfahan city. *Geography and Environmental Planning*, 34(1), 61-76. (In Persian)
- Zhao, Q., Haseeb, M., Wang, X. & Zheng, X. (2024). Evaluation of Land Use Land Cover Changes in Response to Land Surface Temperature With Satellite Indices and Remote Sensing Data. *Rangeland Ecology & Management*, 19(10), 1-18.
- Zhou, J., Zhan, W., Hu, D., Zhao, X. (2010). Improvement of mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from HJ-1B satellite data. *Chinese Geographical Science*. 20, 123-131.