



## Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

journal homepage: <http://www.gsma.lu.ac.ir>  
Online ISSN: 2717-2325



# Analysis of the Vegetation Cover Degradation Trend Caused by the Physical Expansion of Mashhad Metropolis Using RS and GIS

Tayebeh Ghollasi <sup>1</sup>, Gholamreza Miri <sup>2</sup>, Hossein Mollashahi <sup>3</sup>

1., Department of Geography and Urban Planning, Zh.C., Islamic Azad University, Zahedan, Iran. Email: [t.ghollasi@iau.ir](mailto:t.ghollasi@iau.ir)

2. Corresponding author, Department of Geography and Urban Planning, Zh.C., Islamic Azad University, Zahedan, Iran. Email: [gh.r.miri@iau.ac.ir](mailto:gh.r.miri@iau.ac.ir)

3. Department of Geography and Urban Planning, Zh.C., Islamic Azad University, Zahedan, Iran. Email: [h.mollashahi@iau.ir](mailto:h.mollashahi@iau.ir)

### ARTICLE INFO

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 16 November 2025;

Received in revised form: 31 January 2026;

Accepted: 22 February 2026

Available online: 03 August 2026

#### Keywords:

vegetation, physical development, RS and GIS, Mashhad metropolis

### ABSTRACT

**Objective:** The rapid and unplanned growth of metropolises in recent decades has been one of the most important factors in the destruction of vegetation cover and land use change. Mashhad metropolis, as Iran's second most expansive metropolis, has witnessed increasing physical expansion that has undoubtedly had significant environmental consequences. This research was conducted with the aim of quantitatively analyzing the trend of vegetation degradation resulting from this urban expansion by utilizing modern remote sensing and GIS technologies in the Mashhad metropolis.

**Method:** In terms of purpose, this research is applied and has a descriptive-analytical nature; methodologically, it falls into the category of quantitative research. For data analysis, ENVI and ArcGIS software along with FLAASH, NDVI, NDBI algorithms and the combined ACO-SVM model were used for preprocessing, index extraction, and image classification.

**Results:** The results of the study indicate that over a 34-year period, the residential areas of Mashhad increased by 138% to 18,862 hectares, while rangelands and barren lands decreased by 47% to 9,847 hectares. Rainfed and irrigated agricultural lands also decreased by 43% and 36% respectively. These changes reflect an unsustainable development pattern and pose a serious threat to food security and environmental resilience. The validation with a Kappa coefficient of 0.91 confirms the accuracy of the research methodology.

**Conclusions:** Mashhad's urban development over the past 34 years has been unsustainable; the expansion of settlements has come at the cost of destroying rangelands and agricultural lands, threatening food security and environmental sustainability.

### 1. Introduction

The rapid and unplanned growth of metropolises in recent decades has been one of the most important factors in the destruction of vegetation cover and land use change. The metropolis of Mashhad, as the world's second most important religious metropolis and the main development hub in eastern Iran, has

experienced accelerated physical and population growth in recent decades. Although this rapid development has aimed to address demographic and economic needs, the lack of integrated planning has led to extensive environmental consequences, with one of the most prominent and

**Cite this article:** Ghollasi, T., Miri, Gh., Mollashahi, H., (2026). Analysis of the Vegetation Cover Degradation Trend Caused by the Physical Expansion of Mashhad Metropolis Using RS and GIS . *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 7 (26), 151-168. <http://doi.org/10.22034/gsma.2026.2078047.1138>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

**Publisher:** Lorestan University.



**DOI:** <http://doi.org/10.22034/gsma.2026.2078047.1138>

concerning being the destruction of vegetation cover and the reduction of green spaces.

The main issue of this research is to examine the trend and extent of this destruction and its direct connection with the city's physical expansion. Although governance challenges in urban environmental management (such as the dispersion of decision-making institutions, weak stakeholder participation, and the absence of a continuous monitoring system) are generally recognized, there is a lack of precise quantitative and spatial evidence regarding the impact of this development on the objective destruction of vegetation cover at the scale of Mashhad metropolis.

The central question is: To what extent and in what manner has the physical expansion of Mashhad metropolis during the period [1990-2024] caused the destruction of vegetation cover and the change of green land uses? This research specifically aims to utilize Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) technologies to provide a quantitative and spatial picture of these changes, identify the areas that have experienced the most destruction, and accurately analyze the correlation between urban growth and the loss of vegetation cover.

Therefore, by addressing this knowledge gap, the present study not only provides a precise perspective on one of the most serious consequences of urban development in Mashhad but also supplies the necessary baseline data and spatial analyses for integrated planning and management, environmental protection, and moving towards sustainable development in this vital metropolis.

## 2. Methodology

This research, in terms of purpose, is classified as applied research with a descriptive-analytical nature, and methodologically, falls into the category of quantitative research. For data analysis, ENVI and ArcGIS software along with FLAASH, NDVI, NDBI algorithms and the combined ACO-SVM model were used for preprocessing, index extraction, and image classification.

## 3. Results

The results of the study indicate that over a 34-year period, the residential areas of Mashhad increased by 138% to 18,862 hectares, while rangelands and barren lands decreased by 47% to 9,847 hectares. Rainfed and irrigated agricultural lands also decreased by 43% and 36% respectively. These changes reflect an unsustainable development pattern and pose a serious threat to food security and environmental resilience. The validation with

a Kappa coefficient of 0.91 confirms the accuracy of the research methodology.

## 4. Discussion

The analysis of land use changes in the Mashhad metropolis over a 34-year period (1990-2024) presents an alarming picture of unsustainable development patterns and their environmental consequences. According to the findings of this research, residential areas have experienced a remarkable 138% growth, expanding from 7,929 hectares to 18,862 hectares. This rapid urban expansion has imposed heavy costs on the region's environment and natural resources, resulting in a catastrophic decline in vegetation cover and natural areas. Rangelands and barren lands have decreased by 47%, from 18,629 hectares to 9,847 hectares. This has not only weakened the region's ecosystem resilience against climate change but has also seriously compromised its natural regenerative capacity.

Furthermore, the agricultural sector, as one of the main pillars of the region's food security and economy, has suffered significant damage. Rainfed agricultural lands have decreased by 43% to 1,671 hectares, while irrigated farmlands and orchards have been reduced by 36% to 1,588 hectares. This declining trend has not only led to adverse economic and social consequences but also indicates that the region's productive and ecological capacities have been overlooked in the urban development process.

## 5. Conclusion

The results of this study clearly demonstrate that the urban development pattern in the Mashhad metropolis over the past three decades has been based on the consumption of natural resources and the disregard for environmental considerations. This unsustainable trend has posed serious challenges to the long-term sustainability of the city and makes the need to revise urban development policies more evident than ever.

## Author Contributions

In the preparation and writing of this article, all authors (first, second, and third) have contributed equally and jointly. All stages of the research, from study design and data collection to analysis of results and final writing of the article, are the result of collaboration and collective agreement of all authors.

## Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

### **Acknowledgements**

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research.

### **Ethical Considerations**

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

### **Funding**

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

### **Conflict of Interest**

The authors declare no conflict of interest



## تحلیل روند تخریب پوشش گیاهی ناشی از گسترش کالبدی کلانشهر مشهد با استفاده از RS و GIS

طیبه قلاسی<sup>۱</sup>؛ غلامرضا میری<sup>۲</sup>؛ حسین ملاشاهی<sup>۳</sup>

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران. رایانامه: [t.ghollasi@iau.ac.ir](mailto:t.ghollasi@iau.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران. رایانامه: [gh.r.miri@iau.ac.ir](mailto:gh.r.miri@iau.ac.ir)

۳. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران. رایانامه: [h.mollashahi@iau.ac.ir](mailto:h.mollashahi@iau.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۴/۰۸/۲۵

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۱۱/۱۱

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۱۲/۰۳

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۵/۱۲

واژگان کلیدی:

پوشش گیاهی، گسترش

کالبدی، RS و GIS،

کلانشهر مشهد.

### چکیده

**هدف:** رشد سریع و بی‌رویه کلانشهرها در دهه‌های اخیر، یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب سطوح پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی بوده است. کلانشهر مشهد نیز به عنوان دومین کلانشهر پهناور ایران، شاهد گسترش کالبدی فزاینده‌ای بوده که بدون شک پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی در پی داشته است. این پژوهش با هدف تحلیل کمی روند تخریب پوشش گیاهی ناشی از این گسترش شهری و با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین سنجش از دور و GIS در کلانشهر مشهد انجام شده است.

**روش:** این پژوهش، از نظر هدف، جزء پژوهش‌های کاربردی و دارای ماهیتی توصیفی-تحلیلی، همچنین از نظر روش، در گروه پژوهش‌های کمی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI و الگوریتم‌های NDVI، NDWI، FLAASH و مدل ترکیبی ACO-SVM برای پیش‌پردازش، استخراج شاخص‌ها و طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد.

**نتایج:** نتایج پژوهش نشان می‌دهد در بازه ۳۴ ساله، مناطق مسکونی مشهد با رشد ۱۳۸ درصدی به ۱۸۸۶۲ هکتار رسیده، در حالی که مراتع و اراضی بایر ۴۷ درصد کاهش یافته و به ۹۸۴۷ هکتار رسیده است. اراضی کشاورزی دیم و آبی نیز به ترتیب ۴۳ و ۳۶ درصد کاهش نشان می‌دهند. این تغییرات بیانگر الگوی توسعه ناپایدار و تهدید جدی برای امنیت غذایی و تاب‌آوری زیست‌محیطی است. دقت سنجی با ضریب کاپای ۰٫۹۱، صحت روش شناسی پژوهش را تأیید می‌کند.

**نتیجه‌گیری:** توسعه شهری مشهد در ۳۴ سال گذشته ناپایدار بوده و گسترش سکونتگاه‌ها به قیمت نابودی مراتع و اراضی کشاورزی تمام شده و امنیت غذایی و پایداری زیست‌محیطی را تهدید کرده است.

### ۱. مقدمه

جمعیت جهان (بیش از ۵۰ درصد) در نواحی شهری زندگی می‌کند (Yang and Li., 2013, 68). طبق آمار سازمان ملل

شهرنشینی پایدار یکی از اساسی‌ترین چالش‌هایی است که جامعه جهانی در قرن ۲۱ با آن مواجه می‌باشد. امروزه نسبت بالایی از

**استناد:** قلاسی، طیبه؛ میری، غلامرضا و ملاشاهی، حسین (۱۴۰۵). تحلیل روند تخریب پوشش گیاهی ناشی از گسترش کالبدی کلانشهر مشهد با استفاده

از RS و GIS. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۷ (۲۶)، ۱۵۱-۱۶۸. <http://doi.org/10.22034/gsma.2026.2078047.1138>



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2026.2078047.1138>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه لرستان.

غیربیولوژیکی است، محیط زیست یک سیستم کل نگر با روابط اکولوژیکی پیچیده است. امروزه کیفیت محیط زیست شهری نقش مهمی را در فرآیندهای زیست محیطی شهری، تغییرات اقلیمی، کاربری زمین و سلامت انسان ایفا می کند. در حالی که شهرنشینی سریع با رونق اقتصادی همراه است، اثرات منفی آن که توسعه پایدار شهری را تهدید می کند را نمی توان نادیده گرفت، از تخریب زمین تا گرم شدن آب و هوا، چگونگی تعیین علمی وضعیت کیفیت محیط زیست شهری و همچنین ارائه تحلیل کمی از اولویت های اصلی است و مورد توجه روزافزون قرار گرفته است.

ارزیابی اثرات زیست محیطی روشی است که در آن اثرات ناشی از انجام پروژه و یا عملیات آن بر محیط زیست بررسی و پیش بینی می گردد تا با توجه به شناخت وضعیت موجود و تنوع اثرات عملیات بصورتی انجام پذیرد تا کمترین اثر بر محیط زیست آن منطقه وارد گردد. فناوری های مکانی (RS & GIS)، از جمله ابزاری پر قدرت و مقرون به صرفه برای ارزیابی پیامدهای زیست-محیطی می باشند که با گذشت زمان و تکامل خود نیاز به گسترش مرزهای خود به سمت مرزهای جدید که در آن دقت، جمع-آوری، تجزیه و تحلیل، پیش بینی، نمایش و مدیریت داده های مورد استفاده خود را بیش از پیش حس می کند.

در راستای موضوع مورد بررسی، پژوهش های در داخل و خارج کشور صورت گرفته که در ذیل به آنها اشاره خواهد شد: [Sattari \(2023\)](#)، در پژوهشی به تحلیل و ارزیابی اثرات زیست محیطی تغییرات کاربری اراضی شهری در منطقه کلانشهر تهران، پرداخته اند. نتایج نشان می دهد تغییر کاربری طبیعی به کاربری های ساخته شده روند رو به گسترشی داشته، به طوری که این اراضی در سال ۱۳۵۲ از ۹ درصد به ۵۴ درصد در سال ۱۳۹۷ افزایش یافته است و با توجه پیش بینی در سال ۱۴۱۰، اراضی ساخته شده به ۶۲ درصد از کل مساحت می رسد که شدت بحران زیست محیطی را نشان می دهد. [Motesaddi Zarandi et al \(2022\)](#)، در پژوهشی به ارزیابی اثرات زیست محیطی توسعه سیستم حمل و نقل عمومی برقی در شهر تهران، پرداخته اند. نتایج نشان داد که بیشترین گسترش در بخش های جنوبی و همچنین جنوب غربی و شرقی بوده است یعنی درست بخش هایی از شهر که دارای زمین های مرغوب کشاورزی و پوشش گیاهی قابل توجهی می باشد. [Hajati Ziabari \(2021\)](#)، در پژوهشی به

متحد در سال ۲۰۱۹ میلادی، انتظار می رود تا سال ۲۰۵۰، ۶۸ درصد جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی کنند ([Noorani jadaghia & Farnam., 2024:2](#)). با توجه به اثرات منفی که یک برنامه ریزی اشتباه به ویژه در زمینه رشد و توسعه شهری به دلیل دار بودن شدت و گستردگی زمانی و مکانی زیاد می تواند بر کاهش کیفیت یا تخریب ساختارهای اکولوژیک طبیعی و شبه طبیعی در درون و مجاورت شهرها و در نتیجه کاهش تنوع زیستی و پایداری فرایندهای اکولوژیک منطقه داشته باشد، توجه به اکولوژی و محیط زیست در فرایند برنامه ریزی این نوع توسعه امری ضروری است ([Barati & Saberi., 2022:173](#)). از این رو، توجه به اصول محیط زیست در برنامه ریزی شهری در سال های اخیر به صورت الگوواره های مختلفی مانند باغ شهرها، رد پای اکولوژیک، متابولیسم شهری، برنامه ریزی فضایی با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی، کاربرد اصول اکولوژی سیمای سرزمین، مطرح شده است. برنامه ریزی و توسعه شهرها اگر چه در دنیا به دلیل ناکامی در دستیابی به اهداف مورد نظر کنار گذاشته شد ولیکن در ایران همچنان دنبال می شود. بنابراین بحث محیط زیست یکی از اصلی ترین و مهم ترین نگرانی ها و دغدغه های جوامع بشری است ([Salatin & Ghaffari somea., 2016:4](#))

رشد فیزیکی شهرها می تواند پیامدهای زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی متعددی بدنبال داشته باشد. رشد شهری به خصوص در شکل نامطلوب آن یعنی پراکنده رویی شهری به سبب اثرات منفی بر محیط، سلامت انسان و مسائل اجتماعی و اقتصادی مورد نكوهش قرار گرفته است. به طور مثال، میزان اراضی کشاورزی، جنگل ها، مراتع، فضا های باز به شدت کاهش یافته و اکوسیستم ها و سکونتگاه های جانوری با آهنگ هشدار دهنده ای درهم گسیخته اند و کیفیت هوا و آب و به دنبال آنها سلامت انسانی و کیفیت زندگی کاهش یافته است. این فرآیند سبب رویارویی شهرها با اختلالات اکولوژیکی چون آلودگی آب، خاک، هوا و دیگر فاکتورهای زیست محیطی شده است.

محیط زیست به عنوان «کمیت و کیفیت کل منابع آب، منابع زمین، منابع بیولوژیکی و منابع آب و هوایی که بر بقا و توسعه انسان تأثیر می گذارد» تعریف می شود. این یک سیستم ترکیبی اجتماعی-اقتصادی-طبیعی و یک عنصر ضروری برای امرار معاش انسان است. بر خلاف محیط، که فقط شامل عوامل

برای تدوین راهبردهای مدیریت سرزمین هدفمند و پایداری شهری در مناطق شهری با فشار توسعه بالا فراهم می‌سازد. امروزه محیط‌های زیست شهری با مشکلات گوناگونی مواجه‌اند. شهرک‌ها و شهرها از لحاظ وسعت و جمعیت مرتب در حال رشد هستند و با رشد خود مناطق با ارزش طبیعی و زمین‌های کشاورزی را از بین می‌برند. فعالان محیط‌زیست در گذشته معمولاً توجه خود را بر سرزمین‌های غیر مسکونی متمرکز می‌کردند اما در آینده تمرکز بر روی شهرها و شهرک‌ها اهمیت بیشتری خواهد داشت و باید به آنها بعنوان محیط‌های مناسب قابل زیست توجه نمود و بین فعالیت‌های صنعتی، تجاری و کیفیت محیط زیست شهری هماهنگی بوجود آورد (Ji et al., 2021:70).

در حال حاضر فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، بهترین وسیله برای پایش تغییرات محیطی و استخراج کاربری اراضی است که بیشترین سرعت و دقت را دارند. با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجش از دور، با کمترین هزینه می‌توان برای استخراج کاربری‌های اراضی اقدام و سپس با مقایسه آن در دوره‌های زمانی مختلف نسبت تغییرات را ارزیابی کرد؛ سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند و ابزارهای مقرون به صرفه برای نظارت بر پویایی مکانی و زمانی تغییرات پوشش کاربری زمین در سطح جهانی هستند (Huang et al., 2021:17; Liping et al., 2018:5). بنابراین به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و پردازش رقومی آنها با الگوریتم‌های مناسب ضمن به حداقل رساندن خطای انسانی، موجب شناسایی و تفکیک جزئیات پدیده‌هایی می‌شود که چشم انسان قادر به تمایز آنها نیست. در دهه‌های گذشته، پیشرفت‌های بزرگی در نقشه‌برداری در مقیاس بزرگ از تغییرات زمین بر اساس داده‌های سنجش از دور، به دلیل افزایش سریع مقادیر ماهواره‌های رصد زمین صورت گرفته است (Ustin and Middleton, 2021: 18; Belward and Skoien., 2015:121) و خط مشی داده باز (Zhu et al., 2019:138)، قالب داده‌های آماده تحلیل (Dwyer et al., 2018:183)، وضعیت پلت فرم محاسبات ابری هنر که نه تنها قابلیت محاسبات موازی عظیم را فراهم می‌کند، بلکه حجم عظیمی از مجموعه داده‌های آنلاین را نیز فراهم می‌کند (Gorelick et al., 2017:27). علاوه بر این، اکنون می‌توان اطلاعات تغییر زمین را تقریباً در زمان واقعی پایش کرد، که

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی خزش شهری در روند توسعه شهر (مطالعه موردی: شهر رشت)، پرداخته‌اند. تحلیل ماتریس ارزیابی اثرات سریع نشان داد که ۸۳/۸۷ درصد از عوامل دارای اثرات منفی و تنها ۱۶/۱۳ درصد دارای اثرات مثبت بودند. Lotfi (2014)، در پژوهشی با عنوان "تحلیلی بر روند گسترش کالبدی شهر و اثرات آن بر کیفیت محیط زیست شهری مورد پژوهش: شهر بابلسر"، نشان دادند که در کنار تأیید رابطه معنی‌دار بین گسترش کالبدی و کیفیت سه گویه دیگر (خدمات رفاهی- اجتماعی، خدمات تجاری و خدمات تفریحی)، محلات سه، دو و چهار دارای شرایط بسیار بهتری از حیث کیفیت زیست محیطی نسبت به سایر محله‌ها هستند که در واقع با پایگاه اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی ساکنین محله‌های مذکور، ارتباط مستقیم دارد. Alqurashi (2025)، در پژوهشی با استفاده از داده‌های حرارتی اثر جزایر حرارتی در ریاض را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق با تراکم ساختمانی بالا تا ۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از مناطق سبز حاشیه شهر هستند. Teck et al (2023)، در پژوهشی با عنوان "پیامدهای تغییر کاربری و پوشش زمین بر کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی کوآ نهیک، استان موندولکیری، کامبوج" پیشنهاد می‌کند مدیران، اقدامات (عملکردهای خوب کشاورزی، کشاورزی هوشمند آب و هوایی، برنامه‌ریزی جامع کاربری اراضی و آگرو فارستری) را برای تعادل و مدیریت کاربری‌های زمین به عنوان کلیدی برای پایداری انجام دهند. Cigna & Tapete (2022)، به بررسی رشد شهر نشینی و گسترش پیامد زیست محیطی افزایش فرونشست زمین با استفاده از سنجش از دور پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که شهرنشینی بی‌رویه و گسترش آن باعث فرونشست زمین در این ناحیه شده است.

پژوهش حاضر در چارچوب مطالعات محیط زیست شهری، خلاء پژوهشی موجود را با تمرکز منحصربه‌فرد بر پایش کمی و زمانی تخریب پوشش گیاهی به عنوان شاخص اصلی آسیب‌پذیری اکولوژیکی در کلانشهر مشهد پر می‌کند، این مطالعه با بهره‌گیری از توانمندی‌های تحلیلی هم‌زمان سنجش از دور (RS) برای استخراج اطلاعات طبقه‌بندی شده و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای تجزیه و تحلیل مکانی-زمانی، امکان شناسایی دقیق نرخ و الگوی زوال پوشش گیاهی در طول دوره‌های زمانی متوالی را فراهم می‌آورد؛ این رویکرد، ابزاری قوی و مبتنی بر شواهد

این پژوهش، از نظر هدف، جزء پژوهش‌های کاربردی و دارای ماهیتی توصیفی-تحلیلی، همچنین از نظر روش، در گروه پژوهش‌های کمی قرار گرفت. پژوهش حاضر از چارچوبی تلفیقی متشکل از سنجش از دور، هوش مصنوعی فراابتکاری و تحلیل مکانی بهره می‌برد. این چارچوب در چهار فاز متوالی اجرا شد: فاز اول به پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها اختصاص یافت. در فاز دوم، استخراج اطلاعات و طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی با الگوریتم‌های بهینه‌شده فراابتکاری انجام شد. فاز سوم به تحلیل تغییرات پرداخت و فاز پایانی به اعتبارسنجی نتایج اختصاص یافت. این روند برای یک بازه زمانی ۳۴ ساله (۲۰۲۴-۱۹۹۰) طراحی شد. تحلیل‌ها در بازه‌های ۵ ساله صورت پذیرفت. در نهایت، این روش امکان ارزیابی دقیق و پویایی از تغییرات محیطی را فراهم آورد.

برای دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۵، ۷، ۸ و ۹) با وضوح ۳۰ و ۱۵ متر به عنوان داده‌های اصلی استفاده شد. همچنین داده‌های مدل رقومی ارتفاع و لایه‌های مکانی پایه برای تحلیل توپوگرافی و زمینه مورد استفاده قرار گرفتند. کلیه داده‌های یادشده تحت پیش‌پردازش شامل تصحیح اتمسفری و هندسی قرار گرفتند که جزئیات آن در جدول (۱)، ارائه شده است. پیش‌پردازش داده‌های تصاویر شامل تصحیح اتمسفری (FLAASH) و هندسی بود و سپس برای افزایش قابلیت تفکیک‌پذیری، شاخص‌هایی مانند NDVI (برای پوشش گیاهی) و NDBI (برای سطوح ساخته‌شده) محاسبه شدند که فرمول‌های آن‌ها بر اساس باندهای طیفی (قرمز، NIR، SWIR) تعریف شده‌اند. در نهایت، برای طبقه‌بندی دقیق تصاویر، از یک روش ترکیبی استفاده شد که در آن الگوریتم فراابتکاری کولونی مورچگان (ACO) برای بهینه‌سازی پارامترهای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) به کار رفت؛ این فرآیند شامل جستجوی هوشمند مورچه‌ها بر اساس دقت طبقه‌بندی (تابع هدف) و به‌روزرسانی فرومون‌ها بود تا بهترین پارامترهای SVM برای دستیابی به بالاترین دقت کلی (OA) و ضریب کاپا در تحلیل تغییرات و اعتبارسنجی نهایی به دست آید.

ارزش آن را برای مدیران منابع و سیاست‌گذاران بسیار بهبود می‌بخشد (Ye et al., 2021:27).

کلانشهر مشهد، به عنوان دومین کلانشهر مذهبی جهان و قطب اصلی توسعه در شرق کشور، در دهه‌های اخیر شاهد رشد شتابان کالبدی و جمعیتی بوده است. این توسعه سریع، اگرچه در پی پاسخگویی به نیازهای جمعیتی و اقتصادی بوده، اما بدون برنامه‌ریزی یکپارچه، پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای را به همراه داشته است که یکی از بارزترین و نگران‌کننده‌ترین آنها، تخریب پوشش گیاهی و کاهش فضای سبز است.

مسئله اصلی این پژوهش، بررسی روند و میزان این تخریب و ارتباط مستقیم آن با گسترش فیزیکی شهر است. اگرچه چالش‌های حکمروایی در مدیریت محیط زیست شهری (مانند پراکندگی نهادهای تصمیم‌گیر، ضعف مشارکت ذی‌نفعان و نبود نظام پایش مستمر) به طور کلی شناخته شده‌اند، اما شواهد کمی و مکانی دقیقی از تأثیر این توسعه بر تخریب عینی پوشش گیاهی در مقیاس کلانشهر مشهد وجود ندارد.

سؤال محوری این است: گسترش کالبدی کلانشهر مشهد در بازه زمانی [۱۳۷۰-۱۴۰۳] به چه میزان و با چه روندی باعث تخریب سطوح پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی سبز شده است؟ این پژوهش به طور مشخص در پی آن است تا با به کارگیری فناوری‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصویری کمی و فضامند از این تغییرات ارائه دهد، مناطقی را که بیشترین تخریب را تجربه کرده‌اند شناسایی کند و میزان همبستگی بین رشد شهری و نابودی پوشش گیاهی را به دقت تحلیل نماید.

از این رو، پژوهش حاضر با پر کردن این شکاف دانشی، نه تنها چشم‌اندازی دقیق از یکی از جدی‌ترین تبعات توسعه شهری در مشهد ارائه می‌دهد، بلکه داده‌های پایه و تحلیل‌های مکانی لازم را برای برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه، حفاظت از محیط زیست و حرکت به سمت توسعه پایدار در این کلانشهر حیاتی فراهم می‌سازد.

## ۲. روش تحقیق

جدول ۱. انواع داده‌های مورد استفاده و مشخصات آن‌ها

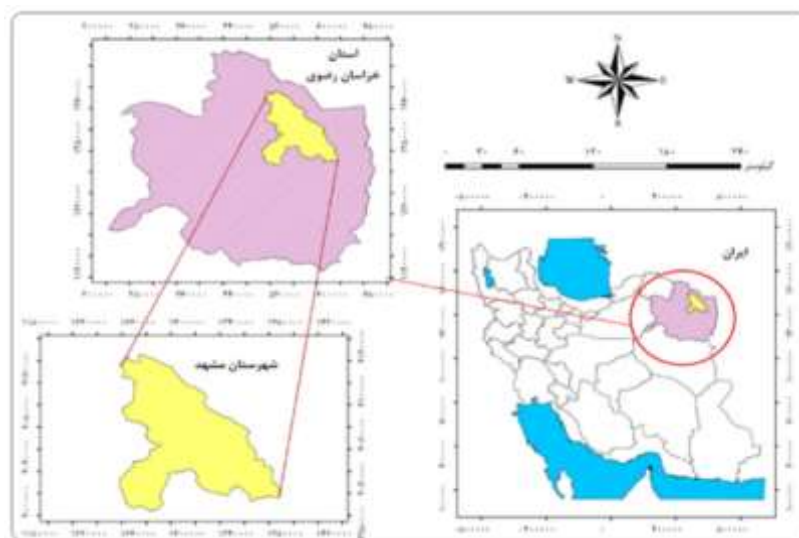
| وضوح مکانی | کاربرد اصلی         | سال‌های مورد استفاده | منبع/اسکو              | نوع داده                  |
|------------|---------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| ۳۰ متر     | طبقه‌بندی پوشش زمین | 1990, 1995           | Landsat 5 TM           | تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی |
| ۱۵ متر     | طبقه‌بندی پوشش زمین | 2000, 2005, 2010     | Landsat 7 ETM+         | تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی |
| ۱۵ متر     | طبقه‌بندی پوشش زمین | 2015, 2020           | Landsat 8 OLI/TIRS     | تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی |
| ۱۵ متر     | طبقه‌بندی پوشش زمین | 2024                 | Landsat 9 OLI-2/TIRS-2 | تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی |
| ۱۲٫۵ متر   | تحلیل توپوگرافی     | -                    | ALOS PALSAR            | مدل رقومی ارتفاع (DEM)    |
| -          | راه‌ها، رودخانه‌ها  | -                    | OpenStreetMap          | داده‌های مکانی پایه       |

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

## ۲٫۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

مشهد کلان‌شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ این شهر با ۳٬۰۵۷٬۶۷۹ نفر جمعیت دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران است. شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۲ با احتساب نواحی منفصل توس و قرقی با ۳۲۸

کیلومتر مربع مساحت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۷ دقیقه و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزارمسجد واقع است، ارتفاع شهر از سطح دریا ۹۹۹ متر و فاصله آن از تهران ۹۶۶ کیلومتر است.



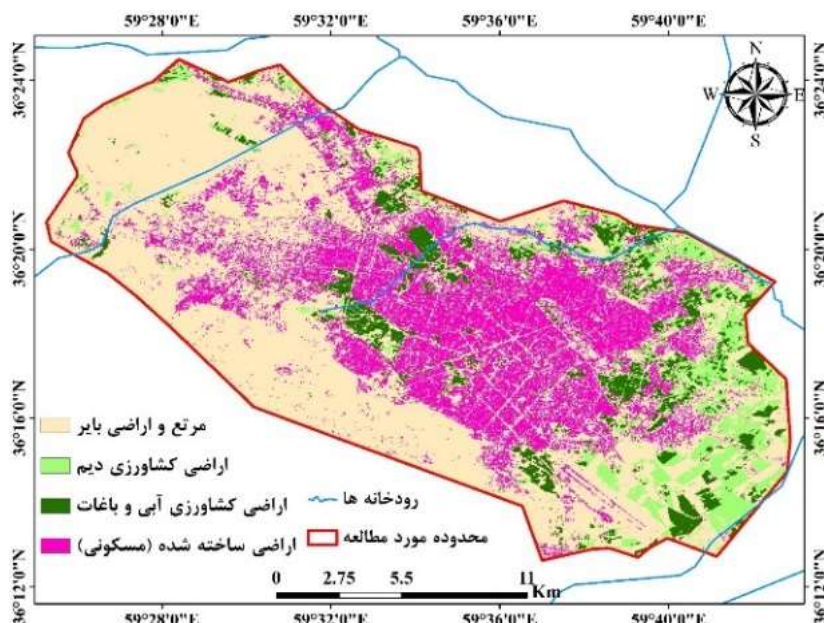
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

## ۳. یافته‌های تحقیق

### بررسی تغییرات کاربری اراضی

در آغاز این دوره، چهره غالب اراضی دهستان‌های مشهد را عرصه‌های طبیعی و کشاورزی تشکیل می‌داد. مرتع و اراضی بایر با ۱۸٬۶۲۹ هکتار، سهم عمده‌ای از منطقه را در اختیار داشتند که نشان از یک محیط نسبتاً بکر و دست‌نخورده داشت. در مقابل، مناطق مسکونی با ۷٬۹۲۹ هکتار، تنها بخش کوچکی

از این عرصه را به خود اختصاص داده بودند و نقش کم‌رنگ‌تری در اقتصاد فضایی ایفا می‌کردند. اراضی کشاورزی، هم به صورت دیم (۲٬۹۴۶ هکتار) و هم به صورت آبی و باغات (۲٬۴۶۴ هکتار)، پایه‌های اصلی معیشت و اقتصاد روستایی را تشکیل می‌دادند و حاکی از وابستگی جامعه محلی به منابع زمین و آب بودند. این توازن نسبی بین انسان و محیط زیست، در آستانه تغییرات گسترده‌ای قرار داشت.



شکل ۲. کاربری اراضی سال ۱۹۹۰ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

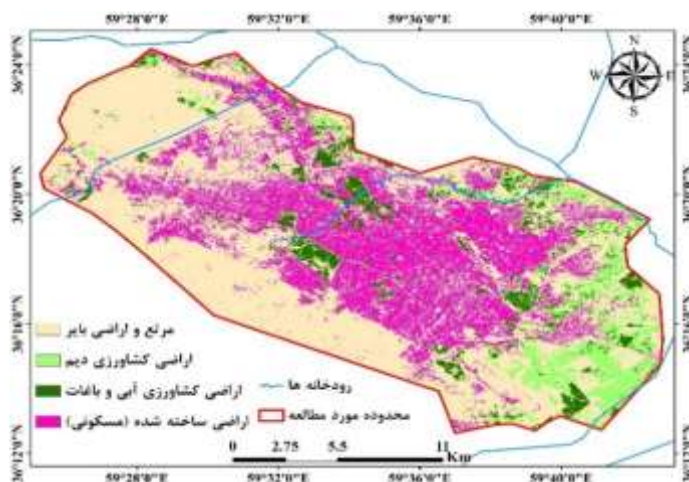
جدول ۲. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۱۹۹۰

| سال  | مناطق مسکونی<br>(مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به<br>هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات<br>(مساحت به هکتار) | مرتع و اراضی بایر<br>(مساحت به هکتار) |
|------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| ۱۹۹۰ | ۷۹۲۱                             | ۲۹۴۶                                  | ۲۴۶۴                                          | ۱۸۶۲۹                                 |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

این روند، زنگ خطری برای امنیت غذایی محلی و وابستگی‌های اقتصادی سنتی بود. مرتع و اراضی بایر نیز با کاهشی محسوس به ۱۷،۵۲۴ هکتار رسیدند که نشان می‌داد نه تنها زمین‌های کشاورزی، بلکه عرصه‌های طبیعی نیز در معرض پیشروی ساخت‌وساز قرار گرفته‌اند و تعادل بوم‌شناختی منطقه شروع به تغییر کرده است.

در فاصله پنج‌ساله نخست، نخستین نشانه‌های تغییر چشمگیر در الگوی کاربری اراضی ظاهر شد. مساحت مناطق مسکونی با رشد محسوسی از ۷،۹۲۹ به ۹،۰۲۱ هکتار رسید که از گسترش کالبدی سکونتگاه‌ها و افزایش مهاجرت‌پذیری منطقه حکایت داشت. این توسعه، به بهای کاهش تدریجی عرصه‌های مولد صورت گرفت؛ به طوری که اراضی کشاورزی دیم به ۲،۷۷۴ هکتار و اراضی آبی و باغات به ۲،۴۱۳ هکتار کاهش یافت.



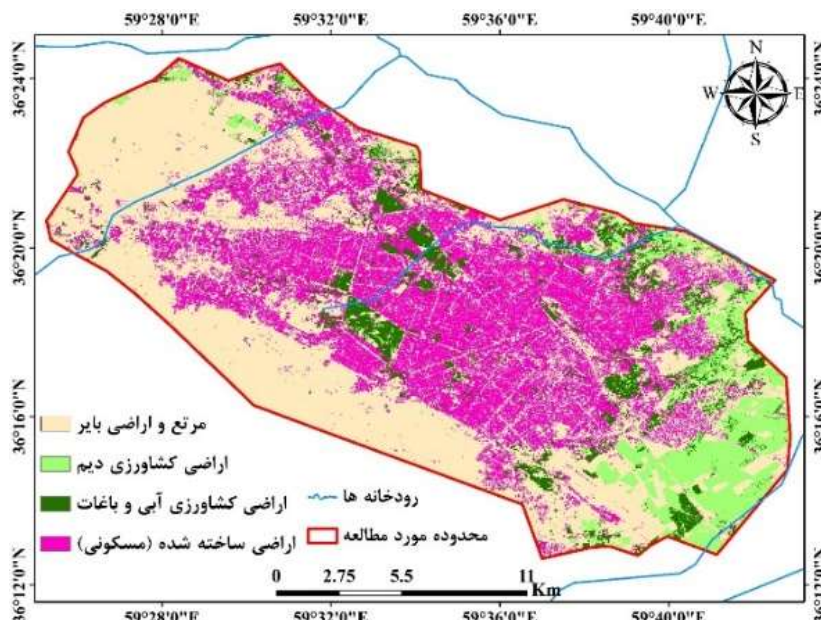
شکل ۳. کاربری اراضی سال ۱۹۹۵ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

جدول ۳. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۱۹۹۵

| سال  | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | مرتفع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) |
|------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| ۱۹۹۵ | ۹۰۲۱                          | ۲۷۷۴                               | ۲۴۱۳                                       | ۱۷۵۲۴                               |

بهای از دست رفتن زمین‌های کشاورزی بارز و تهدید پایه‌های تولید محصولات استراتژیک صورت می‌گیرد. مرتع و اراضی بایر نیز با کاهشی چشمگیر به ۱۶،۴۱۹ هکتار رسیدند که پیامدهای ناگواری مانند تشدید فرسایش خاک و کاهش ظرفیت مرتعداری را به دنبال داشت و هشدار جدی برای مدیریت پایدار اراضی محسوب می‌شد.

با ورود به هزاره جدید، شتاب تغییرات به وضوح افزایش یافت. مساحت مناطق مسکونی با جهشی قابل توجه از ۹،۰۲۱ به ۱۰،۱۱۳ هکتار رسید که حاکی از سیاست‌های توسعه‌گرایانه و رشد اقتصادی مبتنی بر ساخت‌وساز بود. کاهش مساحت اراضی کشاورزی نیز با سرعت بیشتری ادامه یافت؛ اراضی دیم به ۲،۶۰۲ هکتار و اراضی آبی و باغات به ۲،۳۶۲ هکتار تقلیل یافتند. این امر به وضوح نشان می‌داد که توسعه کالبدی شهر به



شکل ۴. کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

جدول ۴. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۰۰

| سال  | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | مرتفع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) |
|------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| ۲۰۰۰ | ۱۰۱۱۳                         | ۲۶۰۲                               | ۲۳۶۲                                       | ۱۶۴۱۹                               |

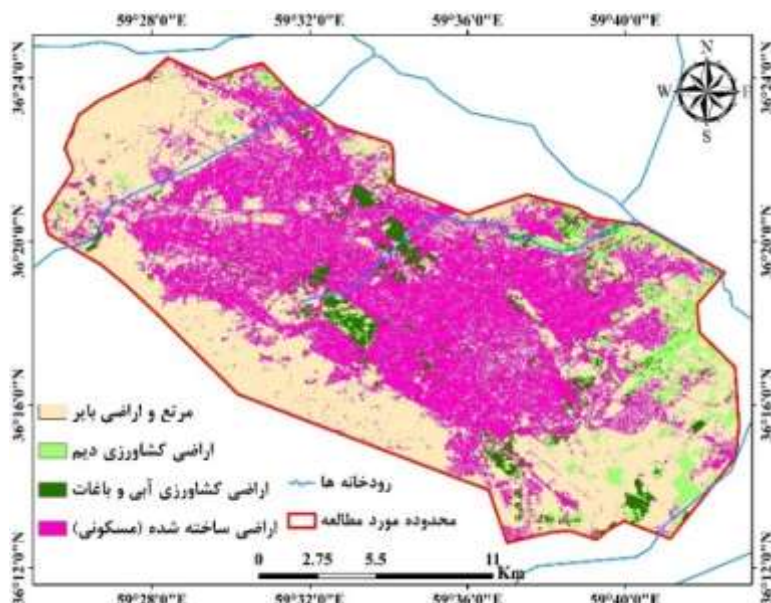
منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

اراضی کشاورزی دیم به ۲،۴۳۰ هکتار و اراضی آبی و باغات به ۲،۳۱۱ هکتار کاهش یافت. این کاهش مستمر در اراضی زراعی، زنجیره تأمین محصولات کشاورزی تازه و محلی را با مخاطره مواجه ساخته و وابستگی به واردات را افزایش می‌داد.

در میانه دهه اول قرن، روندهای قبلی نه تنها تداوم یافت، بلکه تشدید شد. گسترش شتابان مناطق مسکونی بدون وقفه ادامه داشت و مساحت آن به ۱۱،۲۰۵ هکتار رسید. این توسعه شهری سریع، فشار بیشتری بر منابع زمین وارد کرد، به طوری که

آینده در حال نابودی هستند و این موضوع، آینده محیط زیست منطقه را در هاله‌ای از ابهام قرار می‌داد.

مرتفع و اراضی بایر نیز با سقوط به ۱۵،۳۱۴ هکتار، نشان می‌داد که عرصه‌های طبیعی به عنوان ذخیره گاه زمین برای توسعه



شکل ۵. کاربری اراضی سال ۲۰۰۵ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

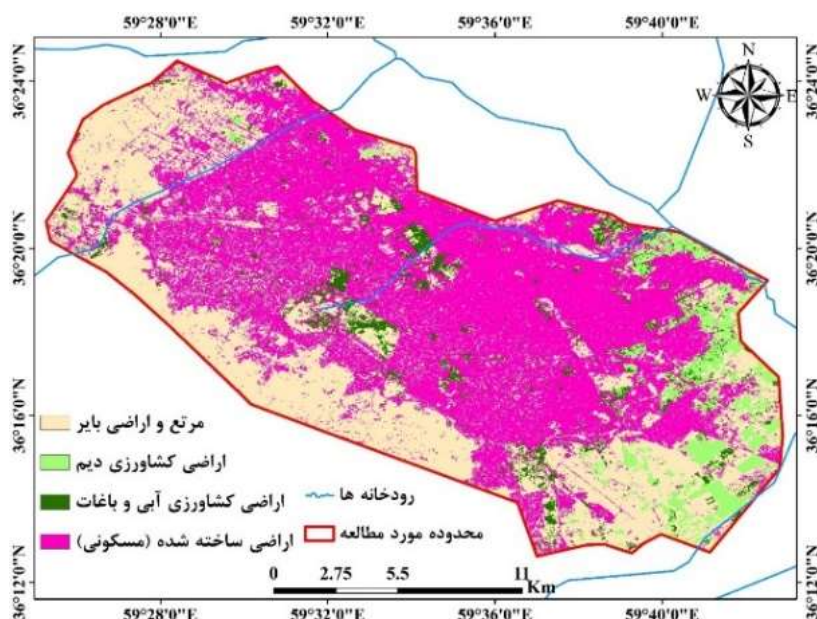
جدول ۵. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۰۵

| مرتفع و اراضی بایر<br>(مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات<br>(مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | سال  |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------|
| ۱۵۳۱۴                                  | ۲۳۱۱                                          | ۲۴۳۰                               | ۱۱۲۰۵                         | ۲۰۰۵ |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

کشاورزی به حاشیه رانده شده و نقش آن در اقتصاد محلی به شدت تضعیف شده است. مرتفع و اراضی بایر نیز با کاهشی شدید به ۱۴،۲۰۹ هکتار رسیدند که نه تنها تنوع زیستی، بلکه توان تجدیدپذیری اکوسیستم را نیز به شدت تحت تأثیر قرار داده و تاب‌آوری محیطی منطقه را در برابر تغییرات اقلیمی کاهش داده بود.

در این دوره، تقابل بین توسعه شهری و حفظ محیط زیست به اوج خود نزدیک شد. مناطق مسکونی با رشد قارچ گونه به ۱۲،۲۹۷ هکتار رسیدند و این به معنای دو برابر شدن سطح شهرها در مقایسه با چهار دهه قبل بود. این توسعه لجام گسیخته، آخرین باقیمانده‌های اراضی کشاورزی را نیز بلعید؛ به طوری که اراضی دیم به ۲،۲۵۸ هکتار و اراضی آبی و باغات به ۲،۲۶۰ هکتار کاهش یافت. این ارقام به وضوح نشان می‌داد که



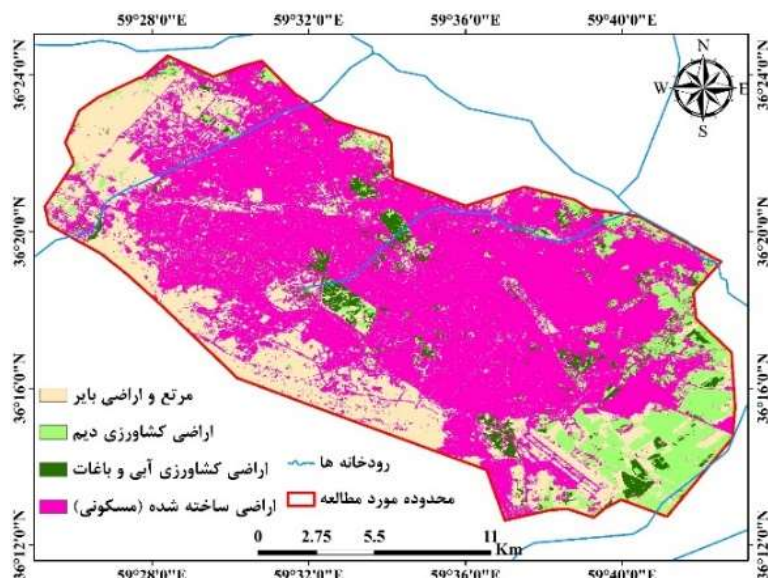
شکل ۶. کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

جدول ۶. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۱۰

| سال  | مرتفع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) |
|------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| ۲۰۱۰ | ۱۴۲۰۹                               | ۲۲۶۰                               | ۲۲۵۸                                       | ۱۲۲۹۷                         |

زیرساخت محیطی داشت. در این میان، اراضی کشاورزی به شدت تحلیل رفته بودند؛ اراضی دیم به ۲۰۸۶ هکتار و اراضی آبی و باغات به ۲۰۲۰۹ هکتار کاهش یافته بودند. این امر نه تنها باعث از بین رفتن مشاغل سنتی و گسست نسل‌ها از زمین شده بود، بلکه آسیب‌پذیری جامعه را در برابر نوسانات بازار جهانی افزایش می‌داد و امنیت غذایی را به چالشی جدی تبدیل می‌کرد.

این سال را می‌توان نقطه عطفی در تغییر چهره زمین‌شناسی اجتماعی منطقه دانست. برای نخستین بار، مساحت مناطق مسکونی (۱۳۰۳۸۹ هکتار) از مرتفع و اراضی بایر (۱۳۰۱۰۴ هکتار) پیشی گرفت و این یک گذار تاریخی از یک جامعه عمدتاً روستایی و طبیعی به یک جامعه شهری بود. این تغییر، پیامدهای ژرفی بر سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی و



شکل ۷. کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

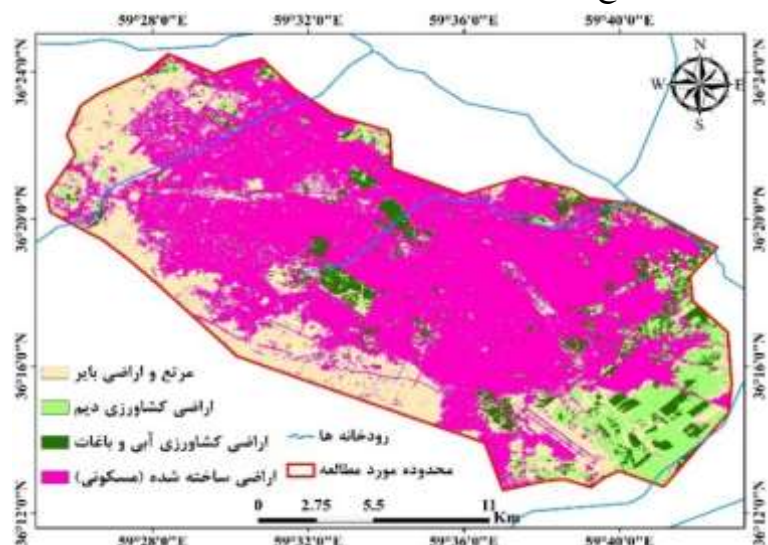
جدول ۷. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۱۵

| سال  | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | مرتفع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) |
|------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| ۲۰۱۵ | ۱۳۳۸۹                         | ۲۰۸۶                               | ۲۲۰۹                                       | ۱۳۱۰۴                               |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

عنوان یک عامل محدودکننده دیگر آشکار می‌ساخت. مرتع و اراضی بایر با کاهش به ۱۰,۹۹۹ هکتار، دیگر قادر به ارائه خدمات اکوسیستمی حیاتی نبودند. این چشمانداز، نیاز فوری به بازنگری در مدل توسعه و اتخاذ راهبردهای هوشمندانه برای تلفیق توسعه شهری با حفاظت از منابع طبیعی را بیش از پیش آشکار می‌ساخت.

در آستانه دهه حاضر، روندهای گذشته به شکل بی‌سابقه‌ای تداوم یافت. مناطق مسکونی با رسیدن به ۱۵,۴۸۱ هکتار، تقریباً تمام فضای قابل دسترس را اشغال کرده بودند. اراضی کشاورزی دیم با سقوط به ۱,۹۱۴ هکتار، نشان می‌داد که کشاورزی مبتنی بر بارش به عنوان یک سیستم پایدار تولید، عملاً در حال ناپدید شدن است. اراضی آبی و باغات نیز به ۲,۱۵۸ هکتار کاهش یافته بود که این موضوع، بحران آب را به



شکل ۸. کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

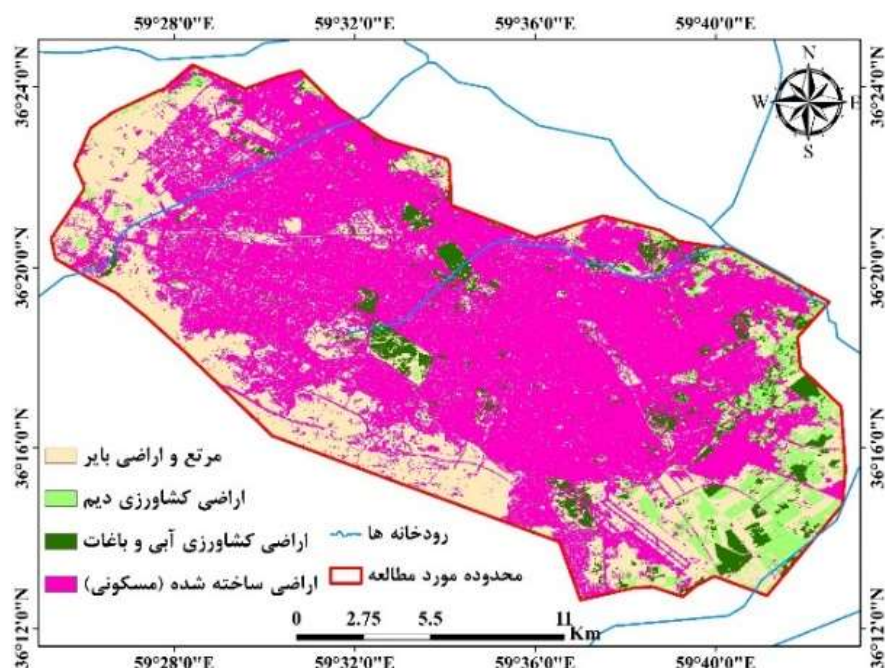
جدول ۸. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۲۰

| مرتع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | سال  |
|------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------|
| ۱۰۹۹۹                              | ۲۱۵۸                                       | ۱۹۱۴                               | ۱۵۴۸۱                         | ۲۰۲۰ |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

می‌دهد که در آن، رشد کمی بر پایه نابودی سرمایه‌های طبیعی و تولیدی استوار شده است. این روند، هشدار جدی برای برنامه‌ریزان و سیاستگذاران است تا با اتخاذ رویکردهای پایدار و یکپارچه، مانع از تخریب بیشتر شده و توازن بین توسعه و حفظ محیط زیست برقرار نمایند.

در پایان این دوره ۳۴ ساله، چهره منطقه دگرگون شده است. مناطق مسکونی با رسیدن به ۱۸،۸۶۲ هکتار، بیش از دو برابر شده و به کاربری مسلط تبدیل شده‌اند. در مقابل، مرتع و اراضی بایر با کاهش به ۹،۸۴۷ هکتار، بیش از ۴۷ درصد از مساحت خود را از دست داده‌اند که فاجعه‌ای زیست‌محیطی محسوب می‌شود. اراضی کشاورزی دیم با کاهش ۴۳ درصدی به ۱،۶۷۱ هکتار و اراضی آبی و باغات نیز با کاهش ۳۶ درصدی به ۱،۵۸۸ هکتار رسیده‌اند. این تحولات، الگویی ناپایدار از توسعه را نشان



شکل ۹. کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ شهر مشهد، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

جدول ۹. کاربری اراضی دهستان‌های شهر مشهد سال ۲۰۲۴

| مرتع و اراضی بایر (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی آبی و باغات (مساحت به هکتار) | اراضی کشاورزی دیم (مساحت به هکتار) | مناطق مسکونی (مساحت به هکتار) | سال  |
|------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------|
| ۹۸۴۷                               | ۱۵۸۸                                       | ۱۶۷۱                               | ۱۸۸۶۲                         | ۲۰۲۴ |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

نگران‌کننده مشاهده می‌شود. در این دوره ۳۴ ساله، مناطق مسکونی با رشد بی‌سابقه ۱۳۸ درصدی مواجه شده و از ۷۹۲۹

در یک نگاه کلی به روند تغییرات کاربری اراضی دهستان‌های مشهد از سال ۱۳۶۹ تا ۱۴۰۳، یک دگرگونی شگفت‌انگیز و

فوری به بازنگری در سیاست‌های توسعه و اتخاذ راهبردهای یکپارچه برای تلفیق رشد شهری با حفظ سرمایه‌های طبیعی را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

### ارزیابی دقت

دقت‌سنجی نتایج حاصل از الگوریتم فراابتکاری با استفاده از ماتریس خطا (Confusion Matrix) و نمونه‌های مرجع واقعیت میدانی انجام شده است. داده‌های واقعیت زمینی از طریق GPS دقیق و باز دیده‌های میدانی سیستماتیک در ۲۵۰ نقطه کنترل جمع‌آوری گردید. مقایسه خروجی الگوریتم با این داده‌های مرجع، شاخص‌های دقت را با اطمینان بالایی محاسبه نموده است. مقدار ضریب کاپای ۰,۹۱ نشان‌دهنده توافق بسیار قوی بین نتایج الگوریتم و واقعیت زمینی است که صحت روش فراابتکاری مورد استفاده را تأیید می‌کند.

به ۱۸۸۶۲ هکتار رسیده است. این گسترش قارچ گونه و شتابان شهری، بهای سنگینی بر محیط زیست و کشاورزی منطقه تحمیل کرده است. در مقابل، مرتع و اراضی بایر با کاهشی فاجعه‌بار به میزان ۴۷ درصد، از ۱۸۶۲۹ به ۹۸۴۷ هکتار تنزل یافته که نشان از نابودی گسترده عرصه‌های طبیعی دارد. همچنین، بخش کشاورزی با آسیب‌های جدی مواجه شده؛ به طوری که اراضی دیم ۴۳ درصد و اراضی آبی و باغات ۳۶ درصد از مساحت خود را از دست داده‌اند. این آمارها به وضوح نشان می‌دهد که الگوی توسعه در این منطقه بر پایه مصرف منابع طبیعی و نادیده گرفتن ظرفیت‌های بوم‌شناختی شکل گرفته است. نابودی زمین‌های کشاورزی، امنیت غذایی را تهدید می‌کند و تخریب مراتع، تاب‌آوری محیط زیست در برابر تغییرات اقلیمی را کاهش داده است. این روند ناپایدار، نیاز

جدول ۱۰. میزان دقت سنجی

| شاخص دقت سنجی            | مقدار مطلوب (درصد) | نتایج مطالعه حاضر (درصد) |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| Overall Accuracy         | >۸۵                | ۹۲,۲                     |
| Kappa Coefficient        | >۰,۸               | ۰,۹۱                     |
| Producer's Accuracy      | >۸۵                | ۹۴,۸                     |
| User's Accuracy          | >۸۵                | ۹۱,۷                     |
| F1-Score                 | >۰,۹               | ۰,۹۴                     |
| Mean Squared Error (MSE) | نزدیک به صفر       | ۰,۰۲۰                    |

منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۴

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی کلانشهر مشهد طی بازه ۳۴ ساله (۱۴۰۳-۱۳۶۹) تصویری هشداردهنده از الگوی توسعه ناپایدار و پیامدهای زیست‌محیطی آن ارائه می‌دهد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، مناطق مسکونی با رشد چشمگیر ۱۳۸ درصدی مواجه شده و از ۷،۹۲۹ هکتار به ۱۸،۸۶۲ هکتار رسیده‌اند. این گسترش شتابان شهری، هزینه سنگینی بر محیط زیست و منابع طبیعی منطقه تحمیل کرده است، به‌طوری‌که سطوح پوشش گیاهی و عرصه‌های طبیعی کاهشی فاجعه‌بار را تجربه کرده‌اند. مرتع و اراضی بایر با کاهش ۴۷ درصدی، از ۱۸،۶۲۹ هکتار به ۹،۸۴۷ هکتار رسیده‌اند. این امر نه تنها تاب‌آوری زیست‌بوم منطقه را در برابر تغییرات اقلیمی تضعیف کرده، بلکه ظرفیت تجدیدپذیری طبیعی آن را نیز به‌طور جدی تحت تأثیر قرار داده است.

همچنین، بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از ارکان اصلی امنیت غذایی و اقتصاد منطقه، با آسیب‌های قابل‌توجهی مواجه شده است. اراضی کشاورزی دیم با کاهش ۴۳ درصدی به ۱،۶۷۱ هکتار و اراضی آبی و باغات نیز با کاهش ۳۶ درصدی به ۱،۵۸۸ هکتار رسیده‌اند. این روند نزولی، نه تنها پیامدهای اقتصادی و اجتماعی نامطلوبی در پی داشته، بلکه نشان‌دهنده نادیده گرفته شدن ظرفیت‌های تولیدی و بوم‌شناختی منطقه در فرآیند توسعه شهری است.

نتایج این مطالعه به وضوح نشان می‌دهد که الگوی توسعه شهری در کلانشهر مشهد در طول سه دهه گذشته، بر پایه مصرف منابع طبیعی و نادیده گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی استوار بوده است. این روند ناپایدار، پایداری بلندمدت شهر را با چالش‌های جدی مواجه ساخته و ضرورت بازنگری در سیاست‌های توسعه شهری را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

یافته‌های پژوهش حاضر درباره روند تخریب پوشش گیاهی و گسترش کالبدی کلانشهر مشهد با نتایج پژوهش‌های متعددی در سایر مناطق همسو است. (Sattari (2023 و Cigna & Tapete (2022 نیز به ترتیب در تهران و موریلا

نشان دادند که توسعه شهری بی‌رویه مستقیماً منجر به کاهش شدید اراضی طبیعی و بروز پیامدهایی مانند فرونشست زمین شده است. این موضوع در پژوهش (Motesaddi (2022 و Zarandi و (Alqurashi (2025 با محوریت تهران و ریاض تایید شد، جایی که جایگزینی سطوح نفوذپذیر با سطوح مصنوعی، به شکل‌گیری "جزایر حرارتی" و گرمایش موضعی دامن زده است. همچنین، مطالعات (Hajati (2021 و Ziabari در رشت و (Teck et al (2023 در کامبوج بر آثار منفی گسترش شهری بر کشاورزی و تنوع زیستی تأکید دارند، که همگی گواهی بر الگوی توسعه ناپایدار و فراگیر در کلانشهرها هستند و لزوم برنامه‌ریزی یکپارچه کاربری اراضی را بیش از پیش آشکار می‌سازند.

در نهایت با توجه به نتایج پیشنهادات ذیل ارائه می‌گردد

- اجرای سیاست توسعه درون‌زا و بازآفرینی شهری به‌جای توسعه بی‌رویه اراضی طبیعی و کشاورزی.
- تعیین و حفاظت از کمربند سبز پیرامونی شهر با استفاده از سازوکارهای قانونی الزام‌آور.
- ایجاد نظام تشویقی و حمایتی برای حفظ و احیای باغات و اراضی کشاورزی در محدوده و حریم شهر، پیاده‌سازی نظام پایش مستمر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فناوری

سنجش از دور و GIS.

#### ۵. محدودیت‌های پژوهش

جمع‌آوری نمونه‌های مرجع تنها در ۲۵۰ نقطه کنترل و از طریق بازدیدهای میدانی محدود انجام شده که ممکن است برای تعمیم‌پذیری کامل به کل منطقه کافی نباشد. محدودیت بازه زمانی و مقطعی بودن داده‌ها؛ تحقیق تنها در مقاطع زمانی مشخص (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴) تغییرات را بررسی کرده و ممکن است نوسانات کوتاه‌مدت یا تغییرات میانی را به‌طور کامل نشان ندهد. پژوهش بیشتر بر تحلیل مکانی-زمانی کاربری اراضی متمرکز بوده و تأثیر مستقیم متغیرهایی مانند سیاست‌های دولتی، مهاجرت، قیمت زمین و بازار را به‌صورت کمی مدلسازی نکرده است.

## References

- Alqurashi, A. F. (2025). An integrated ML-powered geospatial analysis of surface urban heat island and its mitigation in Riyadh City, Saudi Arabia. *Urban Climate*, Volume 64, December 2025, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102642>
- Barati, E. and Saberi, H. (2022). The Necessity of Creating the Ecologic Cities, Challenges and Obstacles in Iran. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 3(3), 170-190. [https://www.srds.ir/article\\_163846.html?lang=en](https://www.srds.ir/article_163846.html?lang=en). (In persian)
- Belward, A.S. Skoien. J.O. (2015). Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 103 (2015), 115-128. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.03.009>
- Cigna, F., & Tapete, D. (2022). Urban growth and land subsidence: Multi-decadal investigation using human settlement data and satellite InSAR in Morelia, Mexico. *Science of the Total Environment*, 811, 152211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152211>
- Dwyer, J. Roy, D. Sauer, B. Jenkerson, C. Zhang, H. Lymburner, L. (2018). Analysis Ready Data: Enabling Analysis of the Landsat Archive, *Remote Sens.*, 10 (2018), p. 1363. <https://doi.org/10.3390/rs10091363>
- Frantz, D. (2019). FORCE Landsat+ Sentinel-2 analysis ready data and beyond, *Remote Sens.*, 11 (2019), p. 1124. <https://doi.org/10.3390/rs11091124>
- Gorelick, N. Hancher, M. Dixon, M. Ilyushchenko, S. Thau, D. Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sens. Environ.*, 202 (2017), pp. 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hajati Ziabari, N., Samadzadeh, R., & Nazmfar, H. (2021). Evaluation of Environmental Impact of Urban Sprawl in the Urban Development Trend (Case study: Rasht city). *Urban Structure and Function Studies*, 8(26), 30-55. doi: 10.22080/usfs.2021.3117. (In persian)
- Huang, S, Tang, L, Hupy, J.P. Wang, Y. Shao, G. (2021). a commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing, *J. For. Res.*, 32 (Issue 1). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Ji, T., Chen, J. H., Wei, H. H., & Su, Y. C. (2021). Towards people-centric smart city development: Investigating the citizens' preferences and perceptions about smart-city services in Taiwan. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102691>
- Liping, C. Yujun, S. Saeed, S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—a case study of a hilly area, Jiangle, China, *PLoS One*, 13 (7), 1-12. doi: 10.1371/journal.pone.0200493
- Lotfi, S. Mahdian Bahnamiri, M. and Mahdi, A. (2014). Analyzing the Physical Expansion of City and Its Impact on the Quality of Urban Environment (Case Study: Babolsar City). *Journal of Geography and Regional Development*, 12(1), 1-12. doi: 10.22067/geography.v12i22.23116. (In persian)
- Motesaddi Zarandi, S. , Nasiri, R. and Ahmadi, M. (2022). Environmental Impact Assessment of Electric Public Transportation System Development in Tehran city. *Journal of Research in Environmental Health*, 8(2), 193-210. doi: 10.22038/jreh.2022.63008.1474. (In persian)
- Noorani jadaghia, E., & Farnam, A. (2024). A comparative study of the experiences of eco-cities and the pathology of new eco-cities. *Monthly Expert Reports of the Parliament Research Center*, 32(6), 1-12. [https://report.mrc.ir/article\\_10350.html](https://report.mrc.ir/article_10350.html). (In persian).
- Salatin, P, Ghaffari somea, N. (2016). Impact of human capital on environmental quality. *Human & Environment*, 14(2), 1-12. <https://sanad.iau.ir/en/Journal/he/Article/848183>. (In persian)
- Sattari, M. H. , Sarvar, R. and Mahdavi, M. (2023). Analysis and evaluation of the environmental effects of urban land use changes in the metropolitan area of Tehran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 14(51), 81-60. doi: 10.22034/jargs.2023.376032.1001. (In persian)
- Teck, V., Poortinga, A., Riano, C., Dahal, K., Legaspi, R.M.B., Ann, V., Chea, R. (2023). Land use and land cover change implications on agriculture and natural resource management of Koah Nheak, Mondulkiri province, Cambodia, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* Volume 29, January 2023, Article number 100895. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100895>
- Ustin, S.L. Middleton, E.M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications, *Ecol. Process.*, 10

- (2021), pp. 1-57.  
<https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-020-00255-4>
- Yang, X., Li, J, (2013) Advances in mapping from remote sensor imagery: techniques and applications, CRC Press, Taylor & Francis Group, 414 p.  
<https://www.routledge.com/Advances-in-Mapping-from-Remote-Sensor-Imagery-Techniques-and-Applications/YANG-Li/p/book/9781138072947>
- Ye, S. Rogan, J, Zhu, Z., Eastman, J.R. (2021). A near-real-time approach for monitoring forest disturbance using Landsat time series: Stochastic continuous change detection, Remote Sens. Environ., 252 (2021), Article 112167.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112167>
- Zhu, Z. Wulder, M.A. Roy, D.P. Woodcock, C.E. Hansen, M.C. Radeloff, V.C. Healey, S.P. Schaaf, C. Hostert, P. Strobl, P. Pekel, J.F. Lymburner, L. Pahlevan, N, Scambos, T.A. (2019). Benefits of the free and open Landsat data policy, Remote Sens. Environ., 224 (2019), 382-385. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.016>