

## Original Article



## Investigating Land Use Changes in Herat City Using Satellite Images during 2015 and 2022

Mohammad Karim Sirat<sup>1\*</sup> and Masoomeh Gomroki<sup>2</sup>

### Affiliation

1. Dep. of Geodesy, Faculty of Geosciences, Bamyan University, Bamyan, Afghanistan
2. College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

### ABSTRACT

**Introduction:** In recent years, land use changes, especially in urban areas, have been recognized as one of the major challenges in the field of urban planning, natural resource management, and sustainable development. With the increase in population, expansion of construction, and the growing demand for urban land, the need for accurate monitoring and analysis of land use changes is felt more than ever before in order to optimally manage resources and formulate efficient urban development policies. In this regard, the present study aimed to investigate the trend of land use changes in Herat city during the years 2015 to 2022. For this purpose, Landsat 8 satellite images from the OLI sensor were used, which, due to their suitable spectral and spatial characteristics, have a high capability in analyzing land use changes.

**Materials and Methods:** First, the satellite images collected for the two mentioned years were subjected to the necessary pre-processing, including radiometric correction, geometric correction, and atmospheric correction, in order to increase the accuracy of subsequent analyses. After preprocessing, four land use classes including soil, vegetation, residential areas, and water areas were identified in the study area. In order to classify these images and extract information related to land use changes, two widely used classification algorithms including Maximum Likelihood Classification and Artificial Neural Network were used, and the accuracy of the results of these two methods was evaluated and compared.

**Results and Discussion:** The results of the analyses showed that the Maximum Likelihood method performed better in classifying satellite images than the Artificial Neural Network method. The values of the Kappa coefficient and overall accuracy used to evaluate the classification accuracy were 0.75 and 85 percent for 2015 and 0.96 and 97 percent for 2022. These values indicate the high accuracy and reliability of the Maximum Likelihood method in separating different land use classes in the study area. Analysis of the classification results in the period 2015 to 2022 indicates significant changes in the spatial structure of land use in Herat city. According to the results, during this period, the land area has decreased by 4.0 square kilometers. Also, the water area has decreased by 1.62 square kilometers. On the other hand, the land area related to residential areas has increased by 1.39 square kilometers and the vegetation area has increased by 4.59 square kilometers.

**Conclusion:** These changes indicate the trend of urban development in Herat city during this period and indicate an increase in human interventions in land use, especially in the form of the development of residential areas and the increase in green space or vegetation. In summary, the findings of this study indicate that urban development in Herat city has caused a decrease in natural lands such as land and water resources, and on the contrary, uses with human interventions such as residential areas and vegetation have increased. Given the decrease in water resources and natural lands, it is essential that future planning of the city focuses on sustainable development, protection of natural resources, and especially effective management of water resources. This management can be achieved through precise policies, imposing restrictions on excessive urban development, and raising public awareness of the importance of natural resources. This research, using remote sensing data and scientific analysis of land use changes, has provided valuable information for decision-makers and urban planners. The results of this study can be used as a basis for developing scientific solutions in the field of urban land management, natural resource conservation, and sustainable development in Herat city. Therefore, the use of modern technologies in monitoring and evaluating land use changes should be considered as one of the basic requirements in the decision-making process and urban policies, and it is suggested that urban development should proceed with better management of water resources.

**Keywords:** Satellite images, Remote sensing, Maximum likelihood, Artificial neural network, Land use.

### Citation:

Sirat, M.K., Gomroki, M., Investigating Land Use Changes in Herat City Using Satellite Images during 2015 and 2022, *Iran J Remote Sens GIS*. 17(2):21-36.

\* Corresponding Author: karim.sirat@bu.edu.af  
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234087.1192>

Received: 2023.12.09  
Accepted: 2024.01.29



**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



## بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر هرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲

محمدکریم سیرت<sup>۱\*</sup> و معصومه گمرکی<sup>۲</sup>

سمت

۱. دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه بامیان، بامیان، افغانستان
۲. دانشکده مهندسی نقشه‌برداری فتوگرامتری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

### چکیده

**سابقه و هدف:** در سال‌های اخیر، تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه در مناطق شهری، از چالش‌های مهم در حوزه برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع طبیعی و توسعه پایدار شناخته شده است. با افزایش جمعیت، گسترش ساخت‌وسازها و رشد فزاینده تقاضا برای اراضی شهری، نیاز بیش‌ازپیش به پایش و تحلیل دقیق تغییرات کاربری اراضی، به‌منظور مدیریت بهینه منابع و تدوین سیاست‌های کارآمد توسعه شهری، احساس می‌شود. در این راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در شهر هرات، طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ انجام شده است. برای این منظور، از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ مربوط به سنجنده OLI استفاده شد که با توجه به ویژگی‌های طیفی و مکانی مناسب، قابلیت بالایی در تحلیل تغییرات کاربری اراضی دارد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم، ازجمله تصحیح رادیومتریکی، تصحیح هندسی و تصحیح اتمسفری، درمورد تصاویر ماهواره‌ای جمع‌آوری‌شده متعلق به دو سال مورد نظر انجام شد تا دقت تحلیل‌های بعدی افزایش یابد. پس‌از مراحل پیش‌پردازش، چهار کلاس کاربری اراضی شامل اراضی خاکی، پوشش گیاهی، مناطق مسکونی و اراضی آبی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد. به‌منظور طبقه‌بندی این تصاویر و استخراج اطلاعات در زمینه تغییرات کاربری، از دو الگوریتم طبقه‌بندی پرکاربرد، یعنی روش حداکثر احتمال (Maximum Likelihood Classification) و شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)، استفاده شد و دقت نتایج حاصل از این دو روش مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

**نتایج و بحث:** نتایج تحلیل‌ها نشان داد که روش حداکثر احتمال، در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، عملکردی بهتر از روش شبکه عصبی مصنوعی داشته است. مقادیر ضریب کاپا و دقت کلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی به کار می‌روند، درمورد سال ۲۰۱۵، برابر با ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و برای سال ۲۰۲۲، برابر با ۰/۹۶ و ۰/۹۷ به دست آمدند. این مقادیر حاکی از دقت بالا و قابلیت اعتماد روش حداکثر احتمال، در تفکیک کلاس‌های متفاوت کاربری اراضی، در منطقه مورد مطالعه است. تحلیل نتایج طبقه‌بندی در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ نشان‌دهنده تغییرات شایان توجه در ساختار فضایی کاربری اراضی شهر هرات است. براساس نتایج، طی این دوره زمانی، سطح اراضی خاکی به‌میزان ۴/۰ کیلومترمربع کاهش یافته و سطح اراضی آبی نیز با کاهش ۱/۶۲ کیلومترمربعی مواجه بوده است. ازسوی دیگر، سطح اراضی مناطق مسکونی به‌میزان ۱/۳۹ کیلومترمربع و سطح پوشش گیاهی ۴/۵۹ کیلومترمربع افزایش داشته است.

**نتیجه‌گیری:** این تغییرات نشان‌دهنده روند توسعه شهری، در شهر هرات، طی این دوره زمانی است و به افزایش مداخلات انسانی در کاربری اراضی، به‌ویژه در قالب توسعه مناطق مسکونی و افزایش فضای سبز یا پوشش گیاهی، اشاره دارد. درمجموع، یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که توسعه شهری در شهر هرات باعث کاهش اراضی طبیعی، همانند زمین‌های خاکی و منابع آبی، شده و درمقابل، کاربری‌هایی با مداخلات انسانی، مانند مناطق مسکونی و پوشش گیاهی، افزایش یافته است. با توجه به کاهش منابع آبی و اراضی طبیعی، برنامه‌ریزی‌های آتی شهر باید با تمرکز بر توسعه پایدار، حفاظت از منابع طبیعی و به‌ویژه مدیریت مؤثر منابع آبی همراه باشد. این مدیریت می‌تواند از طریق سیاست‌گذاری‌های دقیق، اعمال محدودیت در توسعه بی‌رویه شهری و ارتقای آگاهی عمومی درباره اهمیت منابع طبیعی تحقق یابد. این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور و تحلیل علمی تغییرات کاربری اراضی، اطلاعات ارزشمندی برای تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان شهری فراهم کرده است. نتایج این مطالعه را می‌توان به‌منزله مبنایی برای تدوین راهکارهای علمی در زمینه مدیریت اراضی شهری، حفظ منابع طبیعی و توسعه پایدار در شهر هرات به کار برد؛ بنابراین استفاده از فناوری‌های نوین در پایش و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی باید از الزامات اساسی در فرایند تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های شهری به شمار رود و پیشنهاد می‌شود توسعه شهری با مدیریت بهتر منابع آبی همراه باشد.

### استناد:

سیرت، م.ک، گمرکی، م.، بررسی تغییرات کاربری اراضی شهر هرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴: ۳۶-۲۱.

**واژه‌های کلیدی:** تصاویر ماهواره‌ای لندست، حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، کاربری اراضی.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: karim.sirat@bu.edu.af

شناسه دیجیتال مقالات: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234087.1192>

## ۱- مقدمه

افزایش تغییرات سطح زمین و کاربری اراضی، در سال های اخیر، بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته و این تغییرات نشان دهنده رابطه مستقیم فعالیت های انسانی با روند محیط زیستی در طول زمان و مکان است. تغییرات کاربری باعث ایجاد تأثیرات نامطلوب در منابع اکولوژی و کاهش منابع اقتصادی، اجتماعی و سطح جنگل ها می شود (Jafarian et al., 2020).

تغییرات کاربری اراضی و افزایش پوشش زمین فرایندی است که در محیط زیست بسیار تأثیر می گذارد اما پیش بینی علل، روند و نتایج تغییرات کاربری اراضی به مشکلی بزرگ در دنیا مبدل شده است. در عصر حاضر، برای شناسایی میزان تغییرات کاربری اراضی، از تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت دقیق استفاده می شود (Shanai & Zarei, 2016). با افزایش رشد جمعیت، بهره گیری بیش از حد از منابع طبیعی افزایش یافته که باعث به وجود آمدن تغییرات کاربری اراضی و تغییرات اقلیم مناطق شده است؛ این تغییرات سبب پدید آمدن خشکسالی، آتش سوزی و سیلاب می شود (Delgarm et al., 2023). افزایش بی رویه مناطق شهری باعث کاهش فضای سبز و به دنبال آن، تغییرات نابجا در کاربری اراضی شده که نتیجه آن بر هم خوردن تعادل های منطقه ای است. علاوه بر این افزایش جمعیت سبب افزایش فعالیت های اقتصادی می شود که نقطه آغاز تغییرات کاربری اراضی به حساب می آید (Pakhosai et al., 2021). کاربری اراضی و پوشش زمین نکته ای مهم برای زمین است که با فعالیت های انسانی و فیزیکی رابطه ای نزدیک دارد. پوشش زمین، به دلیل این فعالیت ها، به سرعت در حال تغییر است (Dehghani et al., 2023).

از نیمه دوم قرن بیستم، برآثر فعالیت های شهرنشینی سازمان دهی نشده در کشورهای در حال توسعه، نابسامانی هایی در کاربری اراضی به وجود آمده است. در حال حاضر روند توسعه شهرها از مهم ترین مسائلی است که پیش روی پژوهشگران قرار دارد

(Danesh & Ilanlou, 2020). امروزه و در دوران تکنولوژی، سنجش از دور بهترین ابزار برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی است. این ابزار با کمترین هزینه، در اسرع وقت و با دقت مورد قبول می تواند کاربری های اراضی را استخراج و با مقایسه آن در دوره های زمانی گوناگون، نسبت تغییرات را ارزیابی کند. به طور کلی می توان گفت طبقه بندی از طریق تصاویر ماهواره ای با دو روش پیکسل مبنا و شیء مبنا انجام می شود (Arkhi, 2015).

ارزیابی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره ای در حوزه های جنگل داری، مانند جنگل زدایی، ریزش برگ و خسارات جنگلی و حوزه های شهری، مانند تغییرات شهری و حوزه های کشاورزی، همچون بررسی تغییرات محصولات کشاورزی، کاربرد دارد (Ahani et al., 2010). اگر این تغییرات بدون برنامه ریزی رخ دهد، چالش بزرگی پدید می آید که عواقبی همچون تخریب زیست محیطی (Arkhi & Fathizad, 2010)، افزایش مناطق خشک و نیمه خشک، همراه با رشد جمعیت (Karimian et al., 2020)، افزایش آلودگی هوا و کاهش منابع ارزشمند، مانند منابع آبی را در پی خواهد داشت (Hersini et al., 2014).

نقشه های کاربری اراضی سطح زمین می تواند درک ما را از مداخلات انسانی بر سطح زمین افزایش دهد. نقشه های کاربری اراضی کمک می کند داده های مهمی را برای مدل سازی زیست محیطی و مدیریت منابع آب های زیرزمینی، در اختیار داشته باشیم (Saadian & Shafizadeh-Moghadam, 2021). برای آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی، مجموعه داده های چندزمانه به کار می رود که هدف آن تشخیص مناطقی است که کاربری آنها، در فصل های گوناگون تصویربرداری، تغییراتی داشته است. این تغییرات ممکن است کوتاه مدت باشد؛ مانند برف، سیلاب و یا تغییرات کاربری همچون توسعه شهری و یا تبدیل اراضی کشاورزی به کاربری های مسکونی و صنعتی را شامل شود (Arkhi et al., 2022). تغییرات معمولاً به دو شیوه طبیعی و انسانی، برآثر بهره برداری نادرست از منابع

(۲۰۱۲)، برای مدیریت منابع طبیعی و تغییرات محیطی، تغییرات اراضی را آشکارسازی کردند. منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق، شهر ویجایاوادا<sup>۵</sup> و داده مورد استفاده تصاویر لندست TM و ETM+ بود. این محققان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و غیرنظارت‌شده را روی تصاویر استفاده کردند تا تصاویر را به پنج کلاس، شامل مناطق مسکونی، پهنه آبی، کشاورزی، زمین بایر و پوشش گیاهی، طبقه‌بندی کنند. بانزهاف<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات شهری را در رویارویی با تبدیلات شهری ادغام کردند. در این تحقیق، تحلیل تغییرات شهری براساس دو استراتژی بررسی شد؛ نخست، رشد یا کاهش مناطق شهری و دیگری تلفیق و تصویر کردن روش‌ها برای بررسی تغییرات شهری. عبدالعلی‌زاده<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۹) الگویی را در تغییرات منطقه محافظت‌شده مراکان ایران یافتند. روش مورد استفاده آنها، برای آشکارسازی تغییرات، مقایسه پس از طبقه‌بندی بود. در این روش، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای پردازش شدند و سپس امضای طیفی آنها استخراج شد و در نهایت هریک از تصاویر به‌صورت جداگانه طبقه‌بندی شد و نتایج طبقه‌بندی با هم مقایسه شدند. چن<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۰) گسترش مناطق شهری در منطقه اقتصادی-اجتماعی چین را تصویر کردند. تحقیق آنها به گسترش مناطق شهری و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۴۰ می‌پردازد. در روش آنها، کلاس‌های اراضی جنگلی، مناطق جلگه‌ای، زمین بایر و مناطق کشاورزی تغییرات، برای پنج منطقه مورد مطالعه، بررسی شدند. همچنین کاهش برخی محصولات غذایی، مانند برنج، تا سال ۲۱۰۰ مطالعه شد.

طبیعی، ایجاد می‌شود. مهم‌ترین عوامل طبیعی شامل سیل، آتش‌سوزی و زلزله است که سبب ازبین رفتن منابع آبی و تغییر در پوشش اراضی می‌شود (Mousavi et al., 2016). در کشورهای در حال توسعه، شهرها گسترشی روزافزون دارند و این روند دلایل متعددی دارد. رشد سریع و بدون مدیریت درست باعث ایجاد الگویی نامنظم برای شهرها می‌شود (Mojarad & Kamanroudi, 2019). در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین کاربری، پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (Karimian et al., 2020).

در پژوهشی دیگر تأثیرات تغییر کاربری اراضی در حوضه آبخیز با تلفیق آزمون‌های آماری و مدل‌سازی هیدرولوژی، منطقه‌ای در زیمبابوه ارزیابی شد و مدل مفهومی NAM، در شش حوضه با مساحت ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومترمربع، استفاده شد (Khalighi et al., 2005). در پژوهشی دیگر، تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، آشکارسازی شد (Changiz et al., 2020). آقای<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ETM+، TM و OLI، تغییرات کاربری زمین در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی در استان اردبیل را بررسی کردند. پیانوسکی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) از یک مدل تبدیل زمین که ترکیبی از GIS و شبکه عصبی مصنوعی بود، برای پیش‌بینی تغییرات استفاده کردند. آنها عوامل محیطی، سیاسی و اجتماعی را برای تغییرات مدل پیش‌بینی در نظر گرفتند. شبکه عصبی مصنوعی آموزش دید تا بتواند به مدلی دست یابد که قدرت پیش‌بینی الگوی تغییرات را داشته باشد. روش مورد مطالعه، در این تحقیق، مدل CA مارکوف بود. آلوشی<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) تغییرات شهری نیجریه را با استفاده از داده‌های سنجش از دور بررسی و نیز، با استفاده از مدل مارکوف، تغییرات آبی منطقه مورد مطالعه تا سال ۲۰۲۳ را پیش‌بینی کرد. سونداراکومار<sup>۴</sup> و همکاران

1. Aghaei
2. Pijanowski
3. Oluseyi
4. Sundarakumar
5. Vijayawada
6. Banzhaf
7. Abdolalizadeh
8. Chen

حاصل از طبقه‌بندی، به کار رفت. در این تحقیق، اراضی به چهار کلاس مسکونی، مراتع، کوهستانی، پوشش گیاهی و مناطق آبی تقسیم شدند. هو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات زمینی را آشکارسازی کردند و بدین‌منظور، شاخص پوشش گیاهی را به کار بردند. منطقه مورد مطالعه آنها جنوب پنجاب، واقع در کشور پاکستان بود. داده مورد مطالعه، در این تحقیق، محصولات ماهواره است.

در پژوهش حاضر، تغییرات کاربری اراضی شهر هرات، یکی از شهرهای بزرگ کشور افغانستان، بررسی شده است. اراضی این شهر در سال‌های اخیر دستخوش تغییرات فراوانی بوده و با رشد جمعیت در این شهر، در جایگاه دومین شهر بزرگ افغانستان، کاربری آنها تغییر کرده است. بسیاری از زمین‌ها، با کاربری آبی، به مناطق مسکونی تغییر کاربری دادند. اگر این تغییرات بدون برنامه‌ریزی و داشتن نقشه‌ای مناسب ادامه یابد، اراضی آبی و خاکی از بین خواهد رفت. بنابراین داشتن نقشه‌ای جامع از تغییرات و تحولات این منطقه استراتژیک، برای برنامه‌ریزی طرح‌های توسعه شهری، الزامی است. علاوه بر این تا کنون تحقیقی جامع و کاربردی در حوزه تغییرات کاربری اراضی این شهر انجام نشده و از این‌رو، در این پژوهش، بر آن بوده‌ایم که نقشه جامع این تغییرات در منطقه مورد نظر را ارائه کنیم.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر هرات در بخش غربی کشور افغانستان و در مجاورت کشور ایران قرار دارد. این شهر دومین شهر بزرگ افغانستان و دارای جمعیتی بالغ بر ۳۷۸۰۰۰۰ نفر است.

ارقندوال<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی، با استفاده از داده‌ها و روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup>، تغییرات شهر احمدشاهی در استان قندهار را بررسی کردند. در این تحقیق، از نرم‌افزار ArcGIS و داده‌های ثانویه و روش‌های دیجیتالی کردن نقشه‌های اولیه و نقشه‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در سال ۲۰۱۱ استفاده شد. طالبی خیای<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات منطقه مشگین شرقی، واقع در استان اردبیل را بررسی کردند. آنها از تصاویر لندست در سه بازه زمانی بهره بردند. همچنین تأثیر تغییرات این منطقه در مسائل اقتصادی را مطالعه کردند. گمرکی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود، با استفاده از شبکه یادگیری عمیق U-net، تغییرات مناطق شمالی ایران آشکارسازی کردند. گمرکی و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقاتی دیگر با استفاده از شبکه‌های رمزنگار رمزگشا<sup>۵</sup>، تغییرات دویعدی و سه‌بعدی مناطق شهری شمال ایران، مشهد و تهران را آشکارسازی کردند. علوی و تاناکا<sup>۶</sup> (۲۰۲۳)، در تحقیقی درمورد شهر هرات، نقشه‌المان‌ها و ویژگی‌ها را در شکل‌دهی معماری جدید شهر هرات بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که معماری جدید شهر هرات متأثر از عوامل متعددی است؛ از جمله اهمیت تاریخی، فرهنگی، مواد سازنده، شرایط محیطی اطراف، و تغییرات سیاسی. حکمت<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل الگوی را برای گسترش شهری کابل ارائه دادند. آنها اراضی را به پنج کلاس گوناگون کاربری آبی، مناطق مسکونی، پوشش گیاهی، زمین‌های بایر و مناطق صخره‌ای تقسیم‌بندی کردند. آشکارسازی تغییرات در محیط نرم‌افزار ArcGIS و ERDAS انجام شد و تغییرات چشمگیری در این پنج کلاس مشاهده شد. شهو<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۳) رشد و توسعه شهری در نیجریه را مدل‌سازی کردند و برای این کار، داده‌های GIS و تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۵ TM، لندست- ۷ ETM+ و لندست- ۸ ETM+ را به کار بردند. تصاویر طبقه‌بندی شدند و سپس نرم‌افزار ArcGIS، برای نمایش نقشه‌های

1. Arghandwal
2. Geographic Information System (GIS)
3. Talebi Khiavi
4. Gomroki
5. Encoder-Decoder Network
6. Alavi & Tanaka
7. Hekmat
8. Shehu
9. Hu

کاهش می‌دهد (Statistical Yearbook of Afghanistan, 2020). توپوگرافی هرات شامل ۵۳/۳٪ اراضی هموار، ۲۵/۵٪ اراضی کوهستانی، ۱۳/۶٪ اراضی نیمه‌کوهستانی و ۷/۶٪ اراضی نیمه‌هموار است. در شکل ۱، منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

## ۲-۲- داده‌های مورد مطالعه

ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست، در دو دوره زمانی مناسب، انتخاب و دانلود شد. تصاویر انتخابی به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ متعلق است که به علت توان طیفی و مکانی مناسب و دارا بودن سری‌های زمانی، در این تحقیق به کار رفت. جزئیات این تصاویر در جدول ۱ نمایش داده شده است.

هرات در منطقه نسبتاً هموار جغرافیایی و بین خطوط ۶۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۴۰ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه عرض شمالی قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۹۶۴ متر است. این شهر از جنوب با ولسوالی گزره، از شرق با ولسوالی کرخ و از شمال با ولسوالی کشک همسایه است. مرکز شهر پانزده ناحیه دارد و دارای نوزده ولسوالی است. هرات با کوه‌ها احاطه شده و به این دلیل، آب‌وهوای آن معتدل است. در فصل زمستان، هوای آن نسبتاً سرد و با بارش برف و باران همراه است. در ده سال اخیر، شهر هرات کمترین میزان بارش را داشته و برای نمونه، در سال ۲۰۱۸، میزان بارش در آن ۷۸/۵ میلی‌متر بوده است. هوای آن در تابستان‌ها گرم است اما وزش بادهای مشهور ۱۲۰ روزه، از اول خرداد تا پایان شهریور، گرمی هوا را



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: شهر هرات

جدول ۱. مشخصات مجموعه داده استخراج شده برای این تحقیق

| تاریخ اخذ داده | ماهواره  | سنجنده | اندازه پیکسل |
|----------------|----------|--------|--------------|
| ۲۰۱۵/۷/۱۴      | لندست- ۸ | OLI    | ۳۰           |
| ۲۰۲۲/۷/۲۳      | لندست- ۸ | OLI    | ۳۰           |

### ۳-۲- روش تحقیق

در این پژوهش، ابتدا اطلاعات مورد نیاز برای منطقه مورد مطالعه جمع آوری شده است. سپس استخراج و تحلیل اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. ابتدا خطاهای هندسی، رادیومتریکی و اتمسفریک در تصاویر مورد استفاده رفع شدند؛ تصحیح هندسی که با نرم افزار ENVI انجام شد، شامل زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای و نمونه برداری مجدد است. همچنین در این نرم افزار برای انجام دادن تصحیحات رادیومتریکی، از روش های رادیانس، بازتابش و بازتاب سطح استفاده شد و برای تصحیح اتمسفریک، الگوریتم QUAC به کار گرفته شد. طبقه بندی تصاویر با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (Lippmann, 1987; Padget et al., 2022) و حداکثر احتمال (Bolstad & Lillesand, 1991; Tarko, 2023) اجرا شد و نقشه طبقه بندی شده کاربری اراضی در هر دو دوره زمانی به دست آمد و پس از تهیه نقشه، صحت نتایج روش ها بررسی شد. سپس با روش مقایسه پس از طبقه بندی، تغییرات کاربری اراضی در دو دوره زمانی بررسی شد. در تحقیق حاضر، چهار نوع کاربری برای اراضی در نظر گرفته شده است: ۱) کاربری اراضی آبی، شامل تمامی رودخانه ها رودها و حوضه های آبخیز منطقه؛ ۲) کاربری اراضی مناطق مسکونی، شامل ساختمان ها؛ ۳) کاربری اراضی خاکی، شامل زمین های بایر و کوهستانی و از این دست؛ ۴) کاربری اراضی گیاهی، شامل درختان، مراتع، پوشش گیاهی شهری و زمین های زراعی.

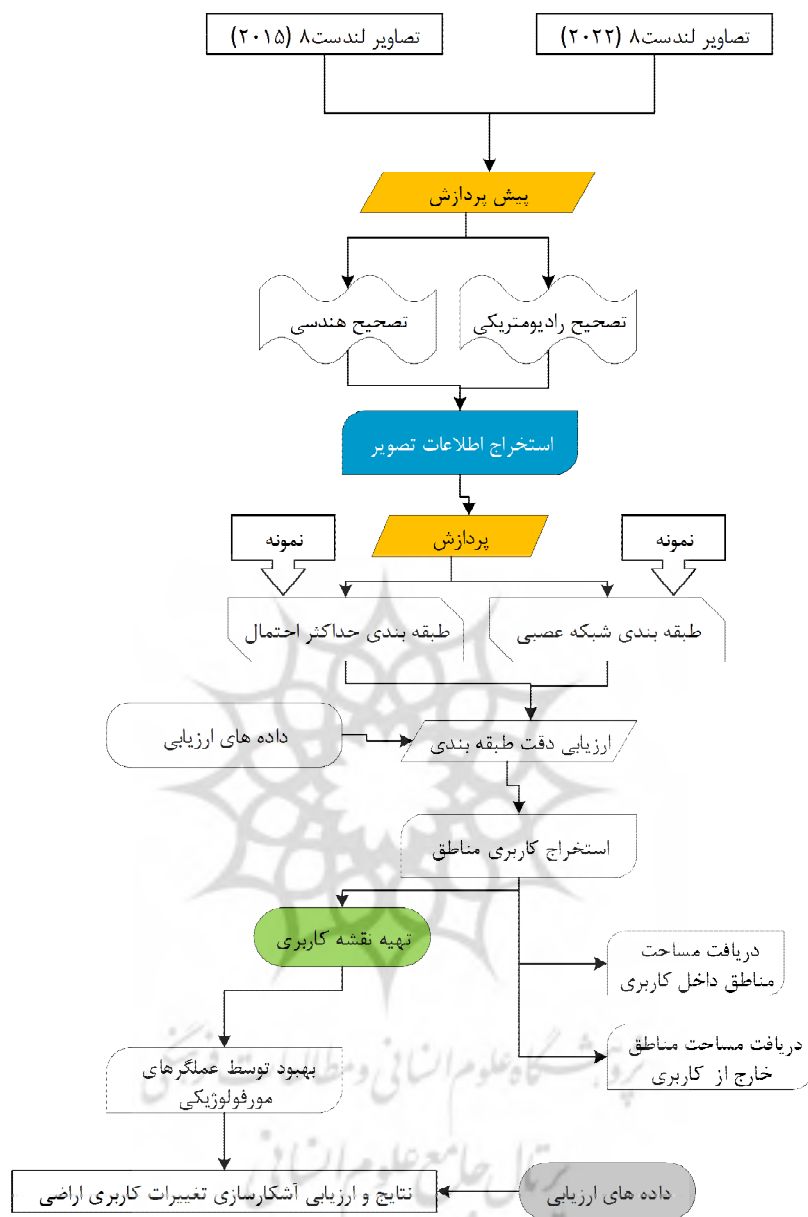
### پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر اولیه ماهواره‌ای بنابه دلایل گوناگون، مانند گردش زمین و تغییر در ارتفاع ماهواره، نیازمند

تصحیحات هندسی است و نمی توان تصاویر خام ماهواره‌ای دو زمان را با یکدیگر مقایسه کرد. از جمله عواملی که باعث ایجاد این خطاهای هندسی می شود، می توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین، جابه جایی ارتفاعی و توپوگرافی منطقه اشاره کرد. منظور از تصحیح هندسی جبران این خطاهاست (Karimian et al., 2020). تصحیح رادیومتریکی روی درجات خاکستری اعمال می شود. تصحیحات رادیومتریکی به دلیل تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوی و نویز سنجنده باید اعمال شود (Karimian et al., 2020). تصاویر چندزمانه فصل های گوناگون اغلب نیازمند دو نوع تصحیح رادیومتریکی نسبی و مطلق اند. در داده های برداشت شده در این تحقیق، تصاویر تصحیح رادیومتریکی شامل رادیانس، بازتابش و بازتاب سطح است. برای این تصحیحات، محیط نرم افزاری ENVI استفاده شد. تصحیح اتمسفریک نیز با استفاده از تکنیک های کاهش پیکسل های تاریک و با این فرض انجام شد که پیکسل های تاریک، با حداکثر احتمال، کمترین میزان انعکاس طیفی را داشته اند (Jafarian et al., 2020). تصحیح اتمسفری مهم ترین بخش از پیش پردازش ها در تصاویر ماهواره ای است (Karimian et al., 2020). امکان ایجاد تصحیح اتمسفری نیز در نرم افزار ENVI فراهم شده است.

### طبقه بندی تصاویر

به برداشت نمونه های تحقیقاتی برای جداسازی مجموعه های طیفی مشابه و تقسیم بندی طبقات آنها که رفتار طیفی یکسانی دارند، طبقه بندی اطلاعات ماهواره ای گفته می شود (Shanai & Zarei, 2016). برای طبقه بندی کاربری اراضی نظارت شده پس از رفع خطاهای انجام شده روی تصاویر، نخست، مناطقی به منزله داده آموزشی مدل انتخاب شد (Karimian et al., 2020). پس از نمونه برداری با استفاده از دو الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال، تصاویر طبقه بندی شدند که در ادامه، این روش ها توضیح داده می شود.



شکل ۲. نمودار جریانی مراحل تحقیق

### الف) روش حداکثر احتمال

بلستاد و لیلساند<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) اولین بار روش حداکثر احتمال را برای طبقه بندی روی تصاویر بزرگ استفاده کردند. این روش روی تصاویر ماهواره ای لندست TM برای طبقه بندی اجرا شد. در پژوهشی دیگر، به منظور شناسایی سطوح برفی، از تصاویر ماهواره ای لندست و

روش حد اکثر احتمال استفاده شد (Sharafat et al., 2024). روش حداکثر احتمال دقیق تر از دیگر روش های طبقه بندی تصاویر است و واریانس و کوواریانس همه کلاس ها را ارزیابی می کند. برای این کار، فرض می شود که تمامی مناطق دارای توزیع نرمال اند. تا حد امکان،

1. Bolstad & Lillesand

مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر در سنجش از دور است (Shanai & Zarei, 2016). المان‌های اصلی شبکه عصبی مصنوعی عصب‌ها با نورون‌های مصنوعی‌اند. الگوی ورودی به گره مشابه سلولی عصبی است که می‌توان آن را با برداری با  $n$  المان، به صورت  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  نشان داد. مجموع حاصل ضرب ورودی‌ها در وزن‌های نظیرشان، مطابق رابطه (۲)، با کمیت اسکالر  $s$  نمایش داده می‌شود.

$$S = \sum_{n=1}^N w_n \cdot x_n = w^T \cdot x \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله،  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  بردار وزن‌هاست. کمیت  $s$  پس از محاسبه، وارد تابع غیرخطی  $f$  می‌شود تا خروجی را نتیجه دهد (Delgarm et al., 2023).

#### ارزیابی صحت طبقه‌بندی

در روند طبقه‌بندی تصاویر، دقت مورد نظر با پارامترهایی ارزیابی می‌شود. در این تحقیق، دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا از طریق ماتریس خطا محاسبه شد. دقت کلی تعداد پیکسل‌هایی را که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، نشان می‌دهد و از مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید؛ در نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، این مقدار باید بیشتر از ۸۵٪ باشد. دقت کلی طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ij} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این معادله،  $OA$  دقت کلی،  $N$  تعداد کل پیکسل‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی و  $P_{ij}$  جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. ضریب کاپا نیز تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی را نشان می‌دهد که از طریق رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$kappa = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

$Po$  بیانگر درستی مشاهده شده و  $Pc$  بیانگر توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل، برای مقدار ضریب کاپا، عدد یک است؛ چنانچه این مقدار برابر صفر باشد،

از نمونه‌های زیادتری استفاده می‌شود که بتوان طبقه‌بندی را با دقت مناسب‌تر و با بهره‌گیری حداکثری ویژگی‌های طیفی انجام داد (Karimian et al., 2020). بهترین روش، برای طبقه‌بندی پوشش زمین، روش حداکثر احتمال است. الگوریتم این روش بر مبنای احتمال اختصاص یک پیکسل به کلاس هدف صورت می‌گیرد. در معادله اصلی، فرض شده است که همه طبقات، از لحاظ این احتمال، مشابه‌اند و توزیع تمامی باندها نرمال است. روش حداکثر احتمال طبق رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$g_i(x) = [\ln a] - [0.5 \ln |\text{covc}|] - [0.5(\text{covc} - 1)(x - M_c)(x - M_c)^T] \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله،  $c$  کلاس مورد نظر،  $a_c$  احتمال اختصاص یک پیکسل به کلاس  $c$  و  $x$  متغیر چندبعدی ( $n$  تعداد باند) است.  $\text{cov}_c$  و  $M_c$  ماتریس کوواریانس و بردار میانگین نمونه تعلیمی کلاس  $c$  را نشان می‌دهند و تابع  $\ln$  لگاریتم طبیعی و  $T$  تابع انتقال است (Mahdizadeh-Karizaki et al., 2019).

#### ب) شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی روشی مناسب برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی به شمار می‌رود (Shanai & Zarei, 2016). شبکه‌های عصبی از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته شده‌اند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند؛ این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی گرفته شده‌اند. در طبیعت، عملکرد شبکه‌های عصبی از طریق نحوه اتصال بین اجزای آن تعیین می‌شود؛ بنابراین می‌توان، به تبعیت از شبکه‌های عصبی، ساختاری مصنوعی ایجاد کرد و یا با تنظیم مقادیر هریک از اتصال‌ها، با عنوان وزن اتصال، نحوه ارتباط بین اجزای آن را تعیین کرد (Delgarm et al., 2023). انواع گوناگون روش‌های شبکه مصنوعی در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی به کار می‌رود و در بین آنها، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه معمول‌ترین مدل

**جدول ۲.** ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده در دوره‌های زمانی گوناگون با روش‌های متفاوت

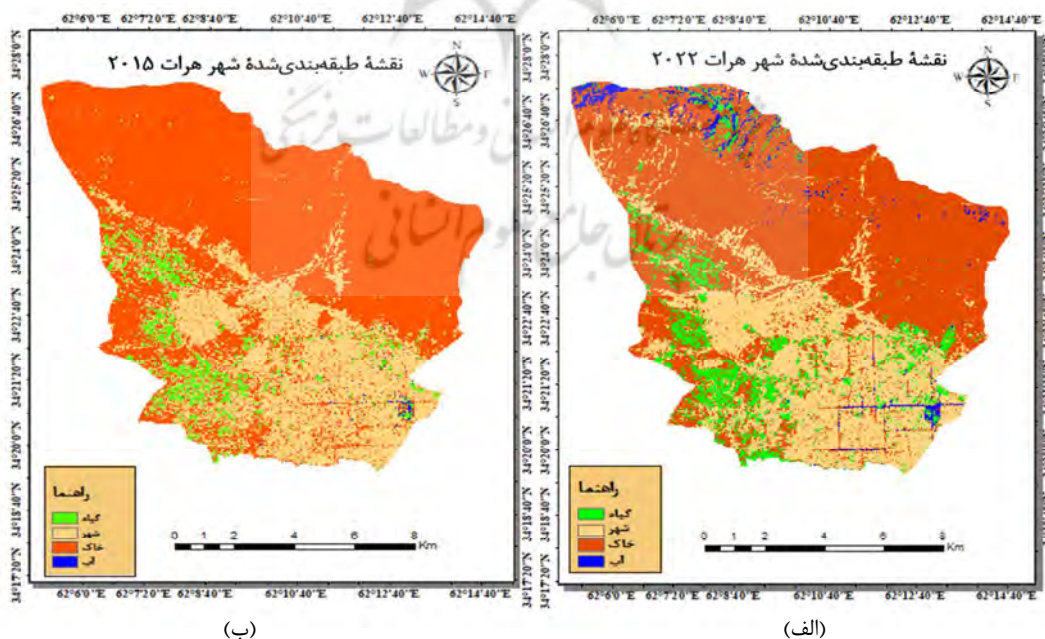
| سال  | روش طبقه‌بندی    | ضریب کاپا | صحت کلی |
|------|------------------|-----------|---------|
| ۲۰۱۵ | حداکثر احتمال    | ۰/۷۵      | ۸۶٪     |
|      | شبکه عصبی مصنوعی | ۰/۷۲      | ۸۴٪     |
| ۲۰۲۲ | حداکثر احتمال    | ۰/۹۶      | ۹۷٪     |
|      | شبکه عصبی مصنوعی | ۰/۶۲      | ۷۶٪     |

نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده و شبکه عصبی مصنوعی در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ تهیه شد که در شکل ۳، می‌توان آن را مشاهده کرد. نتایج طبقه‌بندی کاربری در سال ۲۰۱۵ نشان داد کمترین کاربری به آب و گیاه تعلق دارد اما بیشترین مساحت را کاربری اراضی خاک و مناطق مسکونی داشته است. همچنین، در سال ۲۰۲۲، کاربری اراضی آب، گیاه و مناطق مسکونی دچار افزایش شده و کاربری اراضی خاکی کاهش یافته است. طبق نتایج، دقت طبقه‌بندی به‌روشنی شبکه عصبی مصنوعی از روش حداکثر احتمال کمتر است. نتایج طبقه‌بندی به‌روشنی حداکثر احتمال در شکل ۴ آمده است.

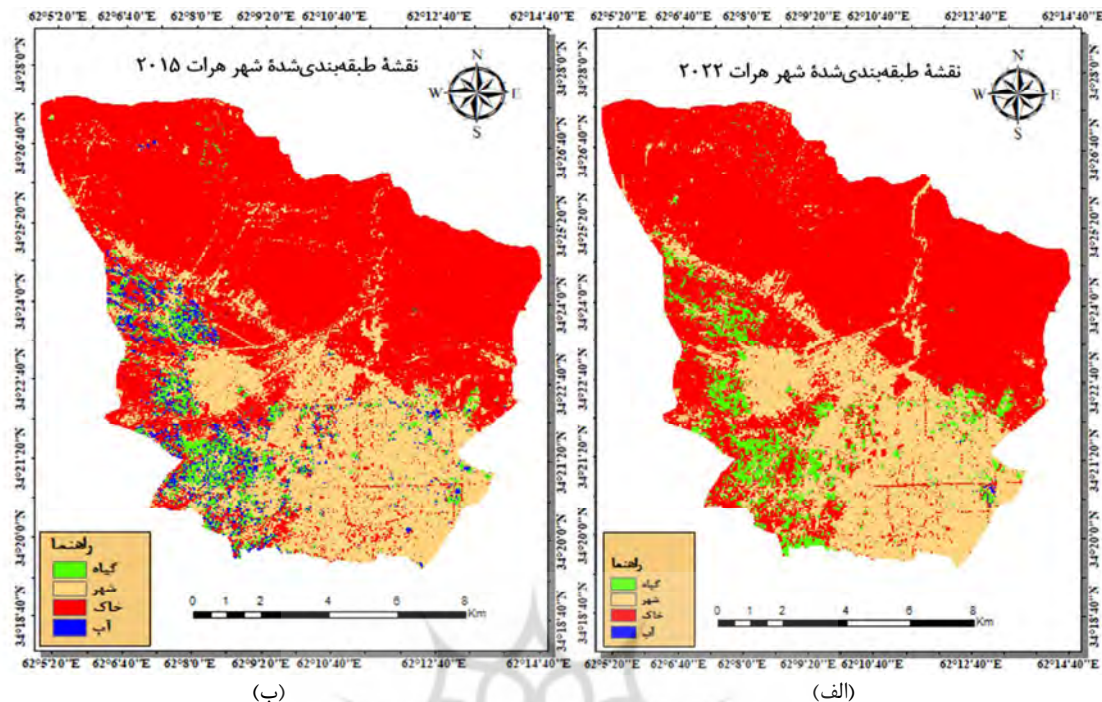
طبقه‌بندی کاملاً تصادفی خواهد بود و اگر مقدار منفی به دست بیاید، گویای خطا در طبقه‌بندی است (Rezaei et al., 2020). تمامی محاسبات در زمینه طبقه‌بندی روش‌ها و ارزیابی دقت‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شده است.

### ۳- نتایج طبقه‌بندی تصاویر هر دو زمان منطقه مورد مطالعه

پس از اعمال روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نمونه‌های آموزشی انجام شد. طبق این طبقه‌بندی، کاربری اراضی متعلق به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ در چهار کلاس، شامل کاربری اراضی گیاهی، کاربری اراضی آبی، کاربری اراضی مناطق مسکونی و کاربری اراضی خاکی، قرار گرفت. سپس نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی در هر دوره زمانی به دست آمد. نتایج بررسی صحت کلی و ضریب کاپا نشان داده شده و براساس آنها، ضریب کاپا و صحت کلی در روش حداکثر احتمال، طی دو بازه زمانی مورد نظر، بهتر بوده است.



شکل ۳. تصاویر طبقه‌بندی‌شده با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی: سال ۲۰۲۲ (الف)؛ سال ۲۰۱۵ (ب)



شکل ۴. تصاویر طبقه‌بندی شده با استفاده از روش حداکثر احتمال: سال ۲۰۲۲ (الف)؛ سال ۲۰۱۵ (ب)

#### آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

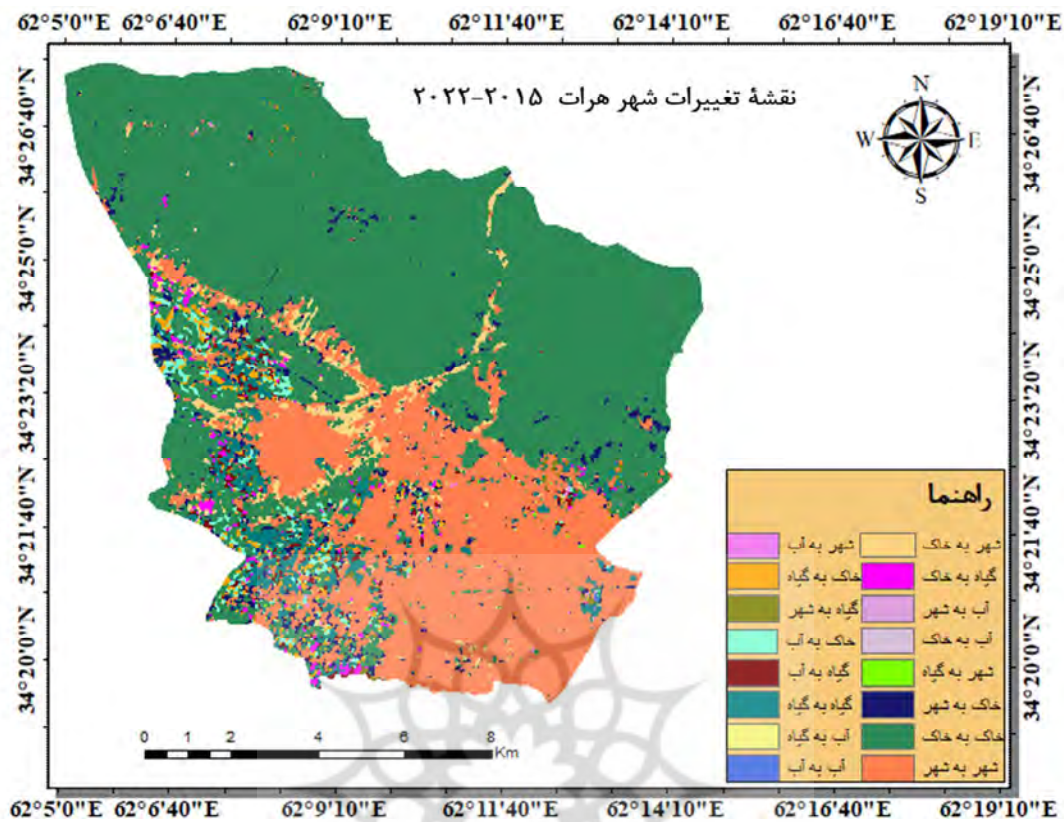
در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای بین دو بازه زمانی استفاده شده است. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی برای هر دو زمان، مقدار تغییرات کاربری استخراج شد. این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های سنجش از دور توانایی بالایی در استخراج داده‌های کاربری اراضی و همچنین ارزیابی مقدار تغییرات دارند؛ مقدار ضرایب و صحت استخراج شده بیانگر دقت فراوان در طبقه‌بندی است. همچنین در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، پیشنهاد می‌شود از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا و بدون ابر استفاده شود. برای دریافت مقدار تغییرات، از تصاویر طبقه‌بندی شده به روش حداکثر احتمال استفاده شده که صحت آن از روش شبکه عصبی بیشتر است.

نتایج این پژوهش نشان داد که طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۵، تغییرات کاربری خاک ۴/۰۰ کیلومترمربع و تغییرات کاربری آبی ۱/۶۲ کیلومترمربع کاهش یافته و نیز تغییرات کاربری مناطق مسکونی ۱/۴۰ کیلومترمربع و تغییرات کاربری گیاهی ۴/۵۹ کیلومترمربع افزایش داشته است.

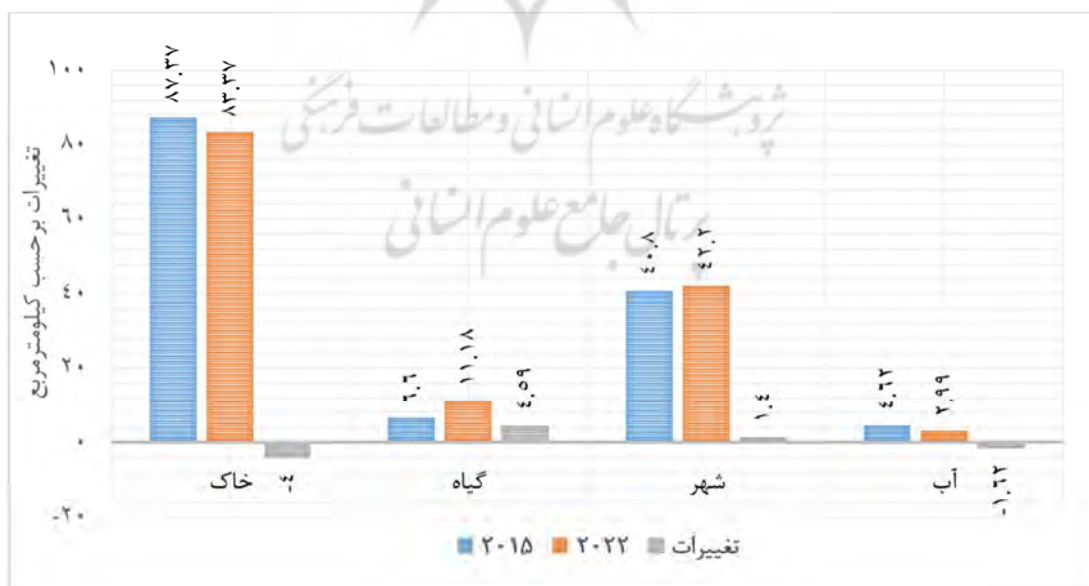
طبق نتایج، در سال ۲۰۱۵، ۸۷/۳۷ کیلومترمربع (معادل ۶۲/۵۲٪) مساحت منطقه را خاک، ۴۰/۸۰ کیلومترمربع (برابر ۲۹/۲۰٪) آن را کاربری مناطق مسکونی، ۶/۹۶ کیلومترمربع (معادل ۴/۹۸٪) را پوشش گیاهی و ۴/۶۱ کیلومترمربع (معادل ۳/۳۰٪) را کاربری آبی تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۲۲، ۱۱/۱۸ کیلومترمربع (معادل ۸٪) را کاربری پوشش گیاهی، ۴۲/۲۰ کیلومترمربع (برابر با ۳۰/۲۰٪) را کاربری مناطق مسکونی، ۸۳/۳۷ کیلومترمربع (معادل ۵۹/۶۶٪) را کاربری خاکی و ۲/۹۹ کیلومترمربع (برابر ۲/۱۴٪) را کاربری آبی تشکیل می‌دهد.

جدول ۳. مساحت کاربری اراضی در دوره مطالعه

| نوع کاربری                | ۲۰۱۵                 | ۲۰۲۲                 |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
|                           | مساحت به کیلومترمربع | مساحت به کیلومترمربع |
| کاربری اراضی مناطق مسکونی | ۴۰/۸۰                | ۴۲/۲۰                |
| کاربری اراضی گیاهی        | ۶/۹۶                 | ۱۱/۱۸                |
| کاربری اراضی خاکی         | ۸۷/۳۷                | ۸۳/۳۷                |
| کاربری اراضی آبی          | ۴/۶۱                 | ۲/۹۹                 |



شکل ۵. نقشه تغییرات کاربری در دوره‌های مورد مطالعه (۲۰۱۵-۲۰۲۲)



شکل ۶. گراف تغییرات پوشش کاربری اراضی شهر هرات (۲۰۱۵-۲۰۲۲)

توسعه‌ای است. با توجه به برتری‌ها و قابلیت‌های داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان این تکنولوژی را ابزاری مؤثر در شناسایی و کشف تغییرات در نظر گرفت. هدف اصلی این تحقیق بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و همچنین وضعیت تغییر کاربری اراضی، طی بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، در شهر هرات است. نتایج این پژوهش گویای پدید آمدن تغییرات متفاوتی در کاربری‌های شهر هرات، برآثر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است. مشخص شده است که نقشه‌های کاربری اراضی، در این تحقیق، دقت مطلوبی دارند و این نکته بیانگر مناسب بودن تصاویر ماهواره‌ای لندست در آشکارسازی تغییرات مناطق شهری است. همچنین مشخص شد که در طبقه‌بندی تصاویر برای تهیه نقشه کاربری اراضی، دقت کلی و ضریب کاپای روش حداکثر احتمال بهتر از روش شبکه عصبی مصنوعی است؛ میزان تغییرات به‌دست‌آمده بر مبنای این روش به واقعیت زمینی نزدیک‌تر است. از بین روش‌های کاربردی در طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی از دقیق‌ترین و پرکاربردترین شیوه‌ها به شمار می‌رود که برپایه احتمالات استوار است.

نتایج این تحقیق بیان می‌کند که طی سال ۲۰۲۲، در قیاس با سال ۲۰۱۵، سطح اراضی گیاهی و مناطق مسکونی افزایش و کاربری اراضی آب و خاک کاهش یافته است. افزایش مناطق مسکونی به‌علت افزایش نفوس در شهر هرات، ساخت‌وساز مسکن و ساختمان‌های صنعتی رخ داده و علت افزایش مناطق پوشش گیاهی رشد زراعت در هرات بوده است؛ از مهم‌ترین محصولات زراعی، زعفران فارم‌های بادرنگ را می‌توان نام برد. علت کاهش مناطق آبی، طی چندین سال، کاهش میزان بارش است که سبب کاهش آب‌های زیرزمینی و پایین رفتن آب‌های سطح زمین شده است. در نهایت، علت کاهش کاربری خاک تبدیل شدن آن به اراضی زراعتی و مناطق مسکونی بوده است. با جمع‌بندی تغییرات کاربری اراضی، می‌توان نتیجه

نتایج حاصل از تغییرات کاربری کلاس‌های متفاوت، طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲، در شکل ۶ ارائه شده است. بیشترین تغییرات در کاربری‌های اراضی خاک و پوشش گیاهی رخ داده؛ کاربری خاک ۴/۰۰ کیلومترمربع کاهش و کاربری گیاه ۴/۵۹ کیلومترمربع افزایش داشته است. علاوه بر اینها کاربری اراضی مناطق مسکونی، با افزایش ۱/۴۰ کیلومترمربع و آب، با ۱/۶۲ کیلومترمربع کاهش، دچار کمترین تغییرات شده‌اند. روند کاهش کاربری اراضی آبی خطرناک است و عواقبی همچون خشکسالی را در پی خواهد داشت. به‌طور کلی با توجه به اینکه تابه‌حال تحقیقاتی جامع و شامل در زمینه کاربری اراضی شهر هرات انجام نشده است، تحقیق حاضر را می‌توان منبع مناسبی برای ارائه نقشه کاربری اراضی برشمرد؛ این پژوهش می‌تواند تغییرات در این منطقه و بررسی رشد و توسعه شهری را به‌درستی انعکاس دهد. همچنین با توجه به افزایش جمعیت و گسترش شهر هرات، وجود نقشه‌ای جامع از تغییرات کاربری این شهر، که میزان افزایش یا کاهش هریک از کاربری اراضی را مشخص نماید، ضروری است. با در نظر گرفتن کاهش میزان کاربری اراضی خاکی که شامل زمین‌های بایر و کوهستانی و غیره می‌شود، می‌توان برای استفاده بهینه از این کاربری و جلوگیری از هدررفت آن برنامه‌ریزی‌هایی انجام داد. اطلاع از میزان کاهش کاربری آب می‌تواند، در برنامه‌ریزی‌هایی در حوزه مدیریت منابع آبی و سدها و ذخیره‌های آبی، نقش مؤثری داشته باشد. اطلاع از میزان تغییرات کاربری مناطق مسکونی در طرح برنامه‌های توسعه شهری و چشم‌اندازهای آتی بسیار تأثیرگذار است. در نهایت، آگاهی از میزان تغییرات کاربری پوشش گیاهی را نیز می‌توان داده‌ای مفید با هدف حفظ و نگهداری و برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع طبیعی، به‌منزله سرمایه‌ای ملی، محسوب کرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری اراضی، برآثر فعالیت‌های انسانی، از مسائل بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و

- Arghandwal, N.A., 2021, **The Land Use Change Analysis of the Walled City in Afghanistan**, Urban, Planning and Transport Research, 9, PP. 306-318, <https://doi.org/10.1080/21650020.2021.1943511>.
- Arkhi, S., 2015, **Detecting Land Cover/Land Use Changes by Object-Oriented Processing of Satellite Images Using IdrisiSelva Software (Case Study: Abdanan Region)**, Geographical Data (SEPEHR), 24(95), PP. 51-62.
- Arkhi, S. & Fathizad, H., 2010, **Evaluation of Desertification Trends and Spatial Modeling of Land Use Change Patterns in the Dehloran Desert Region, Ilam Province, Using Landsat Satellite Images**, First National Conference on Desert (Science, Technology, and Sustainable Development), PP. 46-68.
- Arkhi, S., Shahkouei, E. & Ata, B., 2022, **Evaluation of Land Cover/Use Change Detection Techniques Using Satellite Imagery and GIS (Case Study: Gorganrud Basin)**, Physical Development Planning, (2), PP. 41-60.
- Banzhaf, E., Kabisch, S., Knapp, S., Rink, D., Wolff, M. & Kindler, A., 2017, **Integrated Research on Land-Use Changes in the Face of Urban Transformations—an Analytic Framework for Further Studies**, Land Use Policy, 60, PP. 403-407, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.11.012>.
- Bolstad, P. & Lillesand, T.M., 1991, **Rapid Maximum Likelihood Classification**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57, PP. 67-74.
- Changiz, M., Savari, A., Dashti, S., Orak, N. & Karimi-Orghani, F., 2020, **Detection of Natural Land Use Changes in Shadegan Wetland before and after Flooding Using Satellite Images and GIS**, Wetland Ecology, (50), PP. 19-32.
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qiu, Y. & Wu, Q., 2020, **Global Projections of Future Urban Land Expansion under Shared Socioeconomic Pathways**, Nature Communications, 11, P. 537.
- Danesh, A. & Ilanlou, M., 2020, **Land Use Change Assessment and Urban Area Horizontal Expansion Using Satellite Images (Case Study: Mahshahr, 1956–2016)**, Environmental Planning, (49), PP. 135-153.
- گرفت که میزان تغییرات، در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، در شهر هرات شایان ملاحظه است. به عبارت دیگر، این شهر دستخوش تحولاتی طبیعی بوده است؛ از جمله خشکسالی، کاهش بارش و تحولات انسانی، مانند افزایش جمعیت و گسترش مناطق مسکونی. از این رو داشتن نقشه جامع کاربری اراضی این منطقه، برای برنامه‌ریزی‌های آتی این شهر، بسیار ضروری خواهد بود. با توجه به کاربرد این تحقیق در سند طرح توسعه شهری هرات پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، تغییرات و تحولات این شهر، در جایگاه یکی از شهرهای استراتژیک کشور افغانستان، در بازه زمانی بیشتری مطالعه شود. علاوه بر آن خوب است، با استفاده از سری‌های زمانی، میزان تغییرات کاربری اراضی این منطقه برای سال‌های آینده نیز پیش‌بینی شود تا با مدیریت درست بتوان منابع این منطقه را به‌منزله سرمایه ملی، حفظ و حراست کرد.

##### ۵- منابع

- Abdolalizadeh, Z., Ebrahimi, A. & Mostafazadeh, R., 2019, **Landscape Pattern Change in Marakan Protected Area, Iran**, Regional Environmental Change, 19, PP. 1683-1699, <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01504-9>.
- Aghaei, M., Khavarian, H. & Mostafazadeh, Z., 2022, **Prediction and Detection of Land Use Changes Using CA-Markov and LCM Models in Kouzeh-Tepraqi Watershed, Ardabil Province**, Watershed Research, 33(3), PP. 91-107, <https://doi.org/10.22092/wmej.2019.128009.1267>.
- Ahani, H., Ghorbani, A., Rostegarmoghadam, M., Fallahshamsi, S.R. & Bagharnajad, M., 2010, **Land Use Change Assessment Using Satellite Images: A Case Study of Tang-Sorkh Watershed, Shiraz**, Agricultural and Natural Resources Sciences, (2), PP. 242-252.
- Alavi, S.F. & Tanaka, T., 2023, **Analyzing the Role of Identity Elements and Features of Housing in Historical and Modern Architecture in Shaping Architectural Identity: The Case of Herat City**, Architecture, 3, 548-577, <https://doi.org/10.3390/architecture3030030>.

- Dehghani, T., Ahmadpari, H. & Amini, A., 2023, **Land Use Change Assessment Using Multispectral Satellite Images and Artificial Neural Networks**, Water and Soil Modeling and Management, (2), PP. 18-35, <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.11279.1114>.
- Delgarm, S., Ganjalikhani, M. & Bakhtiari, B., 2023, **Land Use Change Detection Using Satellite Images in Zarand-Kerman County**, Agricultural Meteorology, (1), PP. 64-72, <https://doi.org/10.22125/agmj.2023.320893.1128>.
- Gomroki, M., Hasanlou, M. & Reinartz, P., 2022, **IUNet-UCD: Improved U-Net with Weighted Binary Cross-Entropy Loss Function for Urban Change Detection of Sentinel-2 Satellite Images**, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1668171/v1>.
- Gomroki, M., Hasanlou, M. & Chanussot, J., 2023a, **Automatic 3D Multiple Building Change Detection Model Based on Encoder-Decoder Network Using Highly Unbalanced Remote Sensing Datasets**, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2023.3328561>.
- Gomroki, M., Hasanlou, M. & Reinartz, P., 2023b, **STCD-EffV2T Unet: Semi Transfer Learning EfficientNetV2 T-Unet Network for Urban/Land Cover Change Detection Using Sentinel-2 Satellite Images**, Remote Sensing, 15, P. 1232, <https://doi.org/10.3390/rs15051232>.
- Hekmat, H., Ahmad, T., Singh, S.K., Kanga, S., Meraj, G. & Kumar, P., 2023, **Land Use and Land Cover Changes in Kabul, Afghanistan Focusing on the Drivers Impacting Urban Dynamics during Five Decades 1973-2020**, Geomatics, 3, PP. 447-464, <https://doi.org/10.3390/geomatics3030024>.
- Hersini, I., Kaboli, M., Faghihi, J., Taherzadeh, A. & Asadi, A., 2014, **Land Use/Cover Change Trends in Hamadan Province over the Past Three Decades Using Satellite Images**, Natural Environment and Natural Resources of Iran, (1), PP. 1-12.
- Hu, Y., Raza, A., Syed, N.R., Acharki, S., Ray, R.L., Hussain, S., Dehghanisanij, H., Zubair, M. & Elbeltagi, A., 2023, **Land Use/Land Cover Change Detection and NDVI Estimation in Pakistan's Southern Punjab Province**, Sustainability, 15, P. 3572, <https://doi.org/10.3390/su15043572>.
- Jafarian, N., Mirzaei, J. & Karami, O., 2020, **Land Use Change Trends in Manesht and Qalarang Protected Area Using Satellite Images**, Iranian Journal of Forest and Rangeland Protection Research, (1), PP. 14-30.
- Karimian, K., Amini, A., Bagheri-Abadi, M. & Ghayoumi-Mohammadi, H., 2020, **Monitoring Land Use Changes Using Landsat Satellite Images (Case Study: Khan Mirza Plain)**, Human Geography, (2), PP. 419-436.
- Khalighi, S., Mahdavi, M. & Sagafian, B., 2005, **Investigating the Effect of Land Use on Flood Potential Using the NRCS Model: A Case Study of Barandoozchai Watershed, West Azerbaijan**, Natural Environment, (4), PP. 733-742.
- Lippmann, R., 1987, **An Introduction to Computing with Neural Nets**, IEEE Assp Magazine, 4, PP. 4-22, <https://doi.org/10.1145/44571.44572>.
- Mahdizadeh-Karizaki, M., Alizadeh, A. & Ansari, H., 2019, **Land Use Change Analysis in the Karde Dam Basin Using Intensity Analysis**, Geography and Environmental Hazards, (30), PP. 75-95.
- Mojarad, K. & Kamanroudi, M., 2018, **Land Use and Land Cover Change Detection Using Satellite Images and GIS (Case Study: Mazandaran Province)**, Applied GIS and Remote Sensing in Planning, (1), PP. 66-73.
- Mousavi, S.H., Ranjbar, A. & Haseli, M., 2016, **Monitoring and Trending of Land Use Changes in Abarkooh Basin using Satellite Images (1976-2014)**, Geographical Data (SEPEHR), 25(97), PP. 129-146, <https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.20141>.
- Oluseyi, O.F., 2006, **Urban Land Use Change Analysis of a Traditional City from Remote Sensing Data: The Case of Ibadan Metropolitan Area, Nigeria**, Humanity & Social Sciences Journal, 1, PP. 42-64.
- Padgett, C. & Cottrell, G.W., 2022, **A Simple Neural Network Models Categorical Perception of Facial Expressions**, Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society, Routledge, PP. 806-811.
- Pakhosol, E., Ghadikolaie, J., Jalilvand, H. & Akbari, H., 2021, **Land Use Change Detection Using Remote Sensing Data (Case Study: Tehran)**, Geography and Regional Planning, (4), PP. 287-298, <https://doi.org/10.22034/jgeoq.2021.136722>.

- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A. & Manik, G.A., 2002, **Using Neural Networks and GIS to Forecast Land Use Changes: A Land Transformation Model**, Computers, Environment and Urban Systems, 26, PP. 553-575, [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1).
- Rezaei, R., Ghadousi, J., Hosseini, A.H., Arjamandi, R. & Vafainejad, A., 2020, **Classification and Evaluation of Land Use Changes Using Landsat Images (Case Study: Qazvin Plain Aquifer)**, Geographical Space, (72), PP. 185-204.
- Saadian, A. & Shafizadeh-Moghadam, H., 2021, **Land Use Change Assessment in the Karkheh Watershed from 1990 to 2020 Using Google Earth Engine and Landsat Imagery**, Iranian Journal of Water and Soil Research, (10), PP. 2569-2580.
- Shanai, H.S.M. & Zarei, H., 2016, **Land Use Change Analysis over Two Decades (Case Study: Abolabbas Watershed)**, Watershed Management, (14), PP. 237-244.
- Sharafat, A., Toghiani, N. & Sirat, M.K., 2024, **Investigating Changes in Snow Cover in the Center of Bamyan Province Using Satellite Images**, Sprin Multidisciplinary Journal in Pashto, Persian & English, 2(01), PP. 5-11, <https://doi.org/10.55559/smjpppe.v2i01.222>.
- Shehu, P., Rikko, L.S. & Azi, M.B., 2023, **Monitoring Urban Growth and Changes in Land Use and Land Cover: A Strategy for Sustainable Urban Development**, Int. J. Hum. Cap. Urban Manag., 8, PP. 111-126.
- Statistical Yearbook of Afghanistan**, 2022.
- Sundarakumar, K., Harika, M., Begum, S.A., Yamini, S. & Balakrishna, K., 2012, **Land Use and Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis of Vijayawada City Using Multitemporal Landsat Data**, International Journal of Engineering Science and Technology, 4, PP. 170-178.
- Talebi Khiavi, H., Mostafazadeh, R., Asaadi, M.A. & Asbaghian Namini, S.K., 2022, **Temporal Land Use Change and Its Economic Values under Competing Driving Forces in a Diverse Land Use Configuration**, Arabian Journal of Geosciences, 15, P. 1597.
- Tarko, A.P., 2023, **Maximum Likelihood Method of Estimating the Conflict-Crash Relationship**, Accident Analysis & Prevention, 179, P. 10687, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106875>.