

Economic Assessment of Land Cover Changes Across Three Temporal Periods (Case Study: Taleqan Watershed)

Nafiseh Fakharzidi ¹, Mehdi Ghorbani ^{2*}, Hossein Azarnivand ², Mohammad Jafari ², Hamid Amirnejad ³, Hossein Azadi ⁴

1. PhD student of Rangeland Science, Department of Reclamation of Arid and Mountainous, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

4. Professor, Department of Economics and Rural Development, Gamblox Agro-Biotech, University of Liège, Gamblox, Belgium.

*Corresponding author: mehghorbani@ut.ac.ir

Received date: 14/07/2025

Accepted date: 09/11/2025



[10.22034/jdmal.2025.2065589.1506](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2065589.1506)

Abstract

Land cover reflects the reciprocal relationship between humans and the natural environment and illustrates the way humans utilize land to achieve specific objectives. Changes in land cover—whether in the form of shifts between different land-use types or alterations in their spatial patterns—constitute a key component of natural resource studies. In the present research, Satellite images were classified using the Support Vector Machine (SVM) machine-learning algorithm within the Google Earth Engine platform to examine temporal changes in land cover. Analyses were conducted across three distinct time periods. The results showed that rangelands, with an area of 71,350 ha, had the largest extent among all land-use classes; however, they exhibited a declining trend over time. In contrast, bare lands, which covered 40,451 ha in 1990, showed a continuous increase, rising from 31% in 1990 to 52% in 2020. The findings indicated that the sharp decline in rangelands and forests—driven by rising land prices and the lack of economic viability in agriculture—has led to an expansion of residential and villa developments. These changes have resulted in the loss of considerable ecosystem service value, which is both economically and environmentally detrimental. Given that the average annual value of each hectare of rangeland, in terms of ecosystem services and the societal costs associated with their degradation, is estimated at approximately 4,007,717,893 Rials, the short-term profitability of certain land uses cannot justify the long-term and irreversible destruction of natural resources. Therefore, the conversion of rangelands is not economically justifiable under any circumstances. This study employed a static modeling approach; however, it is recommended that future research consider dynamic models to analyze the economic implications of land-use change.

How to cite this article

Akharizdi, n. Ghorbani, m. Azarnivand, H. Jafari, M. Amirnejad, H and Azadi, H. (2025). Economic Assessment of Land Cover Changes Across Three Temporal Periods (Case Study: Taleqan Watershed). *Desert Management*, 13(3), 1-18. DOI: [10.22034/jdmal.2025.2065589.1506](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2065589.1506)



Extended Abstract

Introduction

Land cover reflects the complex interactions between human and natural environments and indicates the specific purposes for which land is exploited. It not only represents the visible biophysical surface of the Earth but also mirrors the socio-economic relationships between people and ecosystems (23, 29). Land-cover changes are mainly driven by human needs and benefits, particularly for agriculture, settlement, and economic development (21). Therefore, understanding land-use and land-cover (LULC) dynamics is essential for assessing sustainability and managing natural resources, especially in ecologically sensitive regions. Land-use change, involving both spatial and temporal transformations, is one of the key indicators in environmental studies. It provides a scientific basis for detecting land degradation, monitoring human impacts, and designing sustainable land-management strategies. In Iran—particularly in mountainous and semi-arid regions such as Taleghan County (Fig. 1)—land-use change has accelerated in recent decades due to population growth, infrastructure expansion, and socio-economic transitions. Rapid urbanization, dam construction, and tourism development have substantially altered ecological conditions and traditional livelihoods.

In this study, satellite image classification was performed using Google Earth Engine (GEE) and the Support Vector Machine (SVM) algorithm for three time periods: 1990–2000, 2000–2010, and 2010–2020. The results showed that rangelands, covering approximately 71,350 ha, had the largest share among all land-use categories. Over time, their area decreased from 57% in 1990 to about 40% in 2020, whereas barren lands increased from 31% to 52%. These results indicate a substantial shift from productive ecosystems to degraded or economically exploitative land types.

The reduction in forest and rangeland areas was primarily driven by rising land prices, the growing demand for residential development, and declining profitability in agriculture. Consequently, valuable ecosystem services—such as soil retention, water regulation, and biodiversity conservation—have been severely disrupted. The estimated economic loss resulting from the decline of rangeland ecosystem goods and services amounts to approximately 4007717893 billion Rials. Despite the short-term gains from land conversion, these changes are economically unjustified and ecologically irreversible over the long term. Because this study employed a static evaluation model, it is recommended that future studies apply dynamic economic–environmental models to better capture feedback mechanisms and temporal interactions between human activities and ecosystem processes.

Materials and Methods

To prepare detailed land use and land cover maps of Taleghan County, satellite data from Landsat 5 (TM) and Landsat 8 (OLI) sensors were used, covering the years 1990 to 2020 (Table 1). Images with minimal cloud coverage and high spectral quality were selected from the Google Earth Engine (GEE) platform during June to September, when vegetation cover is at its peak and land cover classes are most distinguishable. The Support Vector Machine classification algorithm was selected due to its strong performance with limited training samples, high accuracy, and ability to handle complex and nonlinear relationships among spectral data (16). The methodological steps included: Data retrieval and preprocessing (atmospheric correction, geometric alignment, and masking of irrelevant pixels); Definition of the study area boundary and extraction of the area of interest, Selection and definition of training and validation samples for each land use class; Implementation of the SVM algorithm for supervised classification; and Accuracy assessment using confusion matrix, overall accuracy, and Kappa coefficient (8). Five major land use classes were defined: rangeland, forest, barren land, agricultural land, irrigated land,. For each class, 30 training samples were identified through visual interpretation and ground validation. The classification results were cross-checked with high-resolution Google Earth imagery and available land-use data from local organizations. This methodological approach provided a solid basis for detecting spatial–temporal land use changes and assessing their associated economic and environmental impacts.

Results

The results revealed substantial transformations in the land–cover pattern of Taleghan County over the three–decade period from 1990 to 2020. As presented in Table 2, rangeland areas decreased markedly from 64.57% to 39.5%, while forest areas declined from 1.16% to 0.5%. In contrast, barren lands expanded significantly—from 31.69% to 52.95% during the same period—as illustrated in Figures 3. The economic–environmental analysis indicated that the conversion of rangelands and forests led to an estimated annual loss

of at least 4,007 billion Rials in ecosystem service values. The principal drivers of these changes included rural out-migration, rising agricultural input costs, the construction of the Taleghan Dam, the expansion of tourism activities, and the rapid growth of villa and residential developments. Collectively, these factors highlight the strong influence of socio-economic pressures on ecological transformation within the region. Although the conversion of land for residential or commercial purposes may appear economically profitable in the short term, Table 3 demonstrates that the long-term value of ecosystem services—such as carbon sequestration, biodiversity maintenance, microclimate regulation, and soil-erosion control—far exceeds the temporary financial gains from land conversion. Therefore, prioritizing ecosystem conservation protects natural capital while simultaneously sustaining local livelihoods that depend on ecosystem goods and services.

Discussion and Conclusions

This study systematically analyzed land use and land cover changes in the Taleghan region from 1990 to 2020 using multi-temporal satellite imagery and the SVM classification approach. The results indicated a continuous decrease in rangelands and forests, especially during the 2010s, primarily due to economic factors such as increased land value, reduced profitability of agriculture, and infrastructure development following the construction of the Taleghan Dam. The findings highlight that land degradation and conversion not only cause ecological imbalance but also generate substantial hidden economic costs through the loss of ecosystem services. The estimated annual damage approximately 4007 billion Rials emphasizes the necessity of integrating environmental economics into land management and policy formulation (17). In conclusion, while land conversion for residential or commercial use may yield short-term financial benefits, it ultimately results in irreversible ecological degradation, loss of biodiversity, and a decline in the resilience of natural systems. Sustainable management of land resources in Taleghan therefore requires policies grounded in dynamic modeling, scenario planning, and resilience-based assessment. Future studies should integrate economic, ecological, and spatial data to develop comprehensive models capable of balancing development needs with the preservation of ecosystem services. Such integrative approaches will provide decision-makers with a clearer understanding of trade-offs between economic growth and environmental sustainability, ensuring that the unique ecological and social values of the Taleghan region are maintained for future generations.

Keywords: Change detection; Google Earth Engine; Cost-benefit analysis.

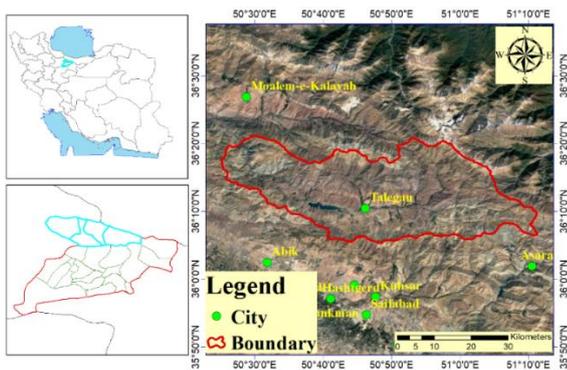


Fig 1. Geographical location of the study area

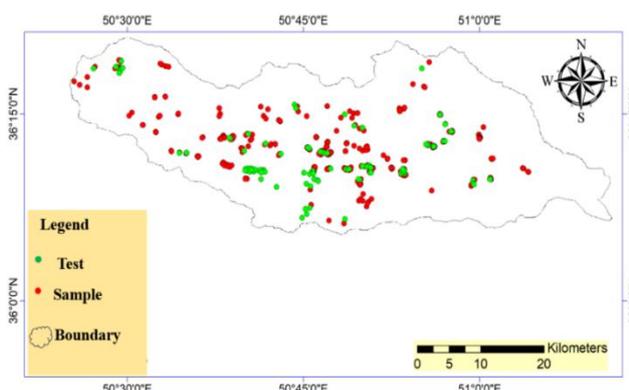


Fig 2. Distribution of the training points in the study area

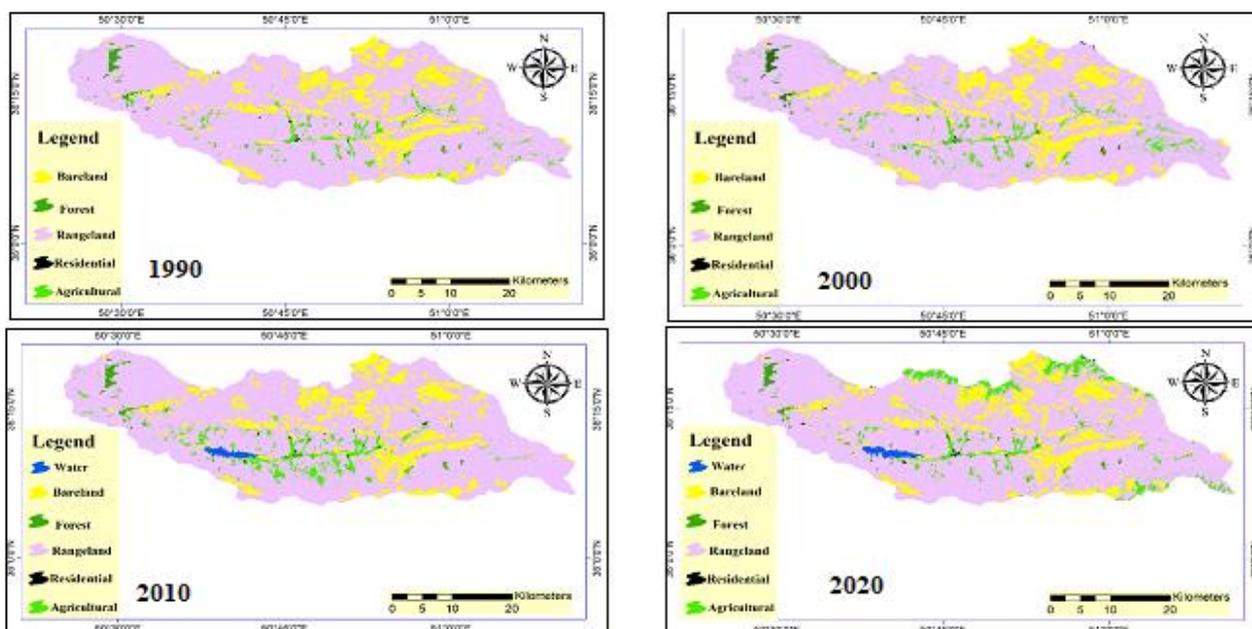


Fig3. Land cover map of the study area

Table 1. Specifications of Landsat 5 and Landsat 8 Satellite imagies used in the study

Year	Satellite	Sensor	Acquisition Date	Spatial Resolution (m)	Number of Bands	Spectral Range (μm)	Temporal Resolution
1990	Landsat 5	TM	15/07/1990	30/120	7	0.45–12.5	16 days
2000	Landsat 5	TM	21/08/2000	30/120	7	0.45–12.5	16 days
2010	Landsat 5	TM	11/06/2010	30/120	7	0.45–12.5	16 days
2020	Landsat 8	OLI/TIRS	09/07/2020	15/30/100	11	0.43–12.5	16 days

Table 2. Land use changes in the Taleghan study area over different time periods (ha)

Land cover	1993	2003	2013	2023
rangeland	95411.37	89,913.37	82,291.70	80,083.34
Agriculture	6,468.57	7,393.87	8,105.15	9,018.10
Residential	2,724.95	3,177.34	3,871.80	4,551.68
Forest	6,615.34	5,147.98	4,378.90	5,064.13
Bare land	15,358.59	20,530.87	55,669.70	19,412.58
Water	0.00	0.00	1,145.90	1,164.00

Table 3. Total Economic Value of Rangeland Ecosystem Services per Hectare (USD), 1993–2023

Type of Value	1993	2003	2013	2023
Direct Values				
Fodder	344.52	476.63	1200.14	4777.33
Raw and Mineral Materials	23.79	32.91	82.88	329.86
Medicinal Plants	4.17	5.76	14.52	57.80
Recreational and Tourism	13.07	18.08	45.54	181.25
Indirect Values				
a. Water Regulation	63.01	87.13	219.5	873.65
b. Soil Protection	65.33	90.37	227.57	905.78
c. Gas Regulation	41.15	56.92	143.33	570.49
– Carbon Sequestration	23.02	31.85	80.19	319.18
– Oxygen Supply	18.13	25.07	63.14	251.31
d. Biodiversity and Genetic Value	110.11	152.33	383.57	1527.20
e. Climate Regulation	50.04	69.20	174.31	693.56
f. Waste Purification	43.86	60.56	152.78	608.10
g. Soil Formation	300.2	415.32	1045.76	4162.39
Conservation Values				
Existence and Heritage Value	3674	415.32	18090.57	80164.66
Total Economic Value	4974.40	1937.35	21923.8	94522.56



ارزیابی اقتصادی تغییرات پوشش اراضی در سه دوره زمانی مختلف در حوزه آبخیز طالقان

نقیسه فخارایزدی^۱، مهدی قربانی^{۲*}، حسین آذرنیوند^۳، محمد جعفری^۴، حمید امیرنژاد^۵، حسین آزادی^۶

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴. استاد، گروه اقتصاد و توسعه روستایی، گمبلوکس آگروبیو تک، دانشگاه لیژ، گمبلوکس، بلژیک.

* نویسنده مسئول: mehghorbani@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

doi

[10.22034/jdmal.2025.2065589.1506](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2065589.1506)

چکیده

پوشش زمین بازتابی از رابطه متقابل میان انسان و محیط طبیعی هستند و نوع بهره‌برداری انسان از زمین را در راستای اهداف مشخصی به تصویر می‌کشد. تغییر در پوشش، چه به معنای جابجایی میان انواع مختلف استفاده از زمین و چه تغییر در الگوی مکانی آن یکی از مؤلفه‌های اصلی در بررسی‌های منابع طبیعی است. در پژوهش حاضر، به منظور بررسی تغییرات زمانی پوشش اراضی، از روش یادگیری ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در محیط سامانه گوگل ارث انجین بهره‌گیری شد در سه بازه زمانی انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که کاربری مرتع در بین کاربری‌های مختلف با داشتن سطح 71350 ha دارای بیشترین مساحت است، اما با گذشت زمان روند کاهشی داشته است. در مقابل، اراضی بدون پوشش که در سال ۱۹۹۰ دارای مساحت 40451 ha بوده، طی سال‌های مختلف روند افزایشی داشته و از ۳۱٪ در سال ۱۹۹۰ به ۵۲٪ در سال ۲۰۲۰ رسیده است. نتایج نشان داد که کاهش چشمگیر مراتع به دلیل، افزایش قیمت زمین و نبود صرفه اقتصادی در کشاورزی، منجر به افزایش کاربری‌های مسکونی و ویلاسازی شده است. این تغییرات موجب از بین رفتن ارزش قابل توجهی از خدمات بوم‌سازگان شده که از نظر اقتصادی و محیط زیستی زیان بار است. با توجه به میانگین ارزش سالانه هر هکتار از عرصه‌های مرتعی از نظر تولید و خدمات بوم‌سازگان و خسارت ناشی از هدررفت آن برای جامعه، حدود 407717893 میلیارد ریال برآورد شد و با وجود سودآوری کوتاه‌مدت برخی کاربری‌ها دیگر، تخریب منابع طبیعی در بلندمدت غیرقابل جبران و فاقد توجیه است. بنابراین، تغییر مراتع به هیچ وجه از جنبه‌های مختلف اقتصادی قابل توجیه نیست. در پژوهش حاضر به بررسی مدل ایستا پرداخته شد اما پیشنهاد می‌شود که در بررسی‌های آینده از مدل پویا تحلیل اقتصادی تغییر کاربری اراضی بهره‌گیری شود.

واژگان کلیدی: تحلیل هزینه منفعت، خدمات بوم‌سازگان، گوگل ارث انجین، ماهواره لندست، ماشین بردار پشتیبان.

استناد به این مقاله

فخارایزدی، نقیسه، قربانی، مهدی، آذرنیوند، حسین، جعفری، محمد، امیرنژاد، حمید و آزادی، حسین. (۱۴۰۴). ارزیابی اقتصادی تغییرات پوشش اراضی در سه دوره زمانی مختلف در حوزه آبخیز طالقان. مدیریت بیابان، ۱۳(۳)، ۱-۱۸. DOI: [10.22034/jdmal.2025.2065589.1506](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2065589.1506)

■ مقدمه

داده‌های ماهواره‌ای ابزاری سریع و مقرون‌به‌صرفه برای نقشه‌برداری کاربری اراضی و تحلیل تغییرات آن هستند. طبقه‌بندی تصاویر، به‌ویژه چندطیفی، اطلاعات متنوعی درباره سطح زمین ارائه می‌دهد، اما دقت آن به عواملی مانند نوع خوارزمیک، ویژگی‌های منطقه و کیفیت نمونه‌های آموزشی بستگی دارد و تغییر هر یک می‌تواند بر نتایج نهایی اثرگذار باشد (۲۳، ۲۹).

بهره‌گیری از سنجش از دور به دلیل دقت و سرعت زیاد در جداسازی پوشش‌های زمین مورد توجه پژوهشگران است. سامانه ارث انجین نیز پلتفرمی آبری و رایگان است که با پردازش داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی بدون نیاز به سخت‌افزار، ابزار مؤثری برای مطالعات زیست‌محیطی و تغییرات کاربری زمین محسوب می‌شود. (۹، ۲۲، ۲۸).

پژوهش‌های زیاد داخلی و خارجی به منظور ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی و پیش‌بینی آن این تغییرات انجام شده است. در ابتدا به تحقیقات داخلی اشاره می‌شود. مقایسه کاربری‌های مختلف با استفاده از سامانه ارث انجین در دشت ارومیه نشان داد که زمینهای بایر، اراضی ساخته شده باغات و پهنه‌های آبی در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش مساحت را نشان می‌دهد (۲۷).

مدلسازی تغییرات کاربری اراضی نشان داد که در استان گلستان مساحت مراتع و جنگل‌ها کاهش یافته و بخش زیادی از مراتع به اراضی زراعی تبدیل شده است که ناشی از رشد جمعیت و گسترش کشاورزی است. در چین نیز تغییرات کاربری زمین باعث افت کیفیت زیستگاه و تنوع زیستی در استان هبی شده، در حالی که در منطقه دینگکو افزایش اراضی زراعی موجب بهبود خالص خدمات بوم‌سازگان شده است (۲۴، ۳۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان داد در اردبیل مناطق ساخته‌شده روند کاهش داشته و تا سال ۲۰۳۸ ادامه خواهد یافت. در طالقان نیز اراضی کشاورزی، مرتع و جنگل کاهش و اراضی بایر و سکونتگاهی افزایش یافته‌اند. شبیه‌سازی‌ها سناریوی توسعه پایدار را مناسب‌ترین گزینه برای توازن میان بهره‌برداری، حفاظت منابع طبیعی و رشد اقتصادی معرفی کردند (۲۷).

تغییرات کاربری اراضی زیرتأثیر عوامل اقتصادی،

جمعیتی و جغرافیایی است و می‌تواند موجب کاهش کیفیت زیستگاه، احیای جنگل‌ها یا فشار بر مناطق کوهستانی شود. همچنین بررسی‌هایی در زمینه ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات بوم‌سازگان‌های مرتعی انجام شده است (۲۱). ارزیابی اقتصادی تبدیل کاربری زراعت دیم به باغات بادام در منطقه دژکرد شهرستان اقلید حاکی از آن است که نسبت فایده به هزینه در پروژه بادام‌کاری، ۴ تا ۷ برابر بیشتر از زراعت گندم دیم *Triticum aestivum* L. است. بر این اساس، اجرای پروژه بادام‌کاری دیم می‌تواند موجب افزایش توان مالی روستاییان شود (۲۷).

استفاده از روش هزینه جایگزین به منظور محاسبه ارزش کارکرد تنظیمی عرضه اکسیژن و همچنین روش بازاری برای محاسبه کارکردهای تولیدی مراتع شهرستان بویراحمد نشان داد که کارکرد تولید علوفه بیشترین درصد ارزش اقتصادی کل را به خود اختصاص داده است (۹).

بررسی‌ها نشان می‌دهد تغییر کاربری اراضی پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است و در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌طور گسترده بررسی شده است. نتایج بیشتر پژوهش‌ها حاکی از کاهش مراتع و جنگل‌ها، افزایش اراضی بایر و تأثیر منفی بر زیستگاه‌هاست. همچنین، خدمات بوم‌سازگان ارزش اقتصادی بالایی دارند؛ تخریب آن‌ها موجب زیان اقتصادی و حفظ‌شان زمینه‌ساز منافع پایدار است.

در مورد نوآوری این تحقیق می‌توان به این مورد اشاره کرد که این پژوهش با ادغام رویکردهای سنجش از دور و ارزیابی اقتصادی، نوآوری مهمی در تحلیل تغییرات کاربری اراضی ارائه می‌دهد. در گام نخست، تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی در سه دوره زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با بهره‌گیری از روش یادگیری ماشین بردار پشتیبان^۱ و در محیط گوگل ارث انجین^۲ شناسایی و تحلیل شد. سپس، پیامدهای اقتصادی این تغییرات با تمرکز بر برآورد خسارت ناشی از کاهش خدمات بوم‌سازگانی مراتع کمی‌سازی گردید. این ترکیب رویکردی، امکان سنجش هم‌زمان روندهای بلندمدت

¹ Support Vector Machine

² Google Earth Engine

خاک منطقه نیز بیشتر در رده آنتی سول و اینسپتی سول قرار دارد (۳، ۱۲، ۱۵، ۱۸).

■ روش پژوهش

نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سامانه گوگل ارث انجین تهیه شد. تصاویر تصحیح شده به صورت بازتاب زمینی نمایان شد و نیازی به تصحیحات اتمسفری نبود. برای اطمینان از دقت، بازه زمانی یکسان، تصاویر با وضوح بالا، ابرناکی کم و دوره اوج رشد پوشش گیاهی در ماه خرداد تا شهریور (ژوئن تا سپتامبر) انتخاب شدند.

در آغاز برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی از تصاویر ماهواره ای لندست استفاده شد که این تصاویر مذکور در محیط سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شد و مورد پردازش قرار گرفت. با توجه به این امر نیازی به انجام تصحیحات اتمسفری تصاویر نیست. چراکه این سامانه تصاویر تصحیح شده را به صورت بازتاب زمینی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در انتخاب زمان تصاویر بازه زمانی یکسان در نظر گرفته شد. تصاویر به گونه ای انتخاب شدند که بیشترین وضوح و کمترین ابرناکی در منطقه مشاهده شود، یعنی از تصاویر مربوط به ماه خرداد تا ماه شهریور (ژوئن تا سپتامبر) که پوشش گیاهی به بیشترین رشد رویشی رسیده است، استفاده شد.

برای تهیه نقشه پوشش اراضی، از روش طبقه بندی نظارت نشده ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. این روش نسبت به روش‌های دیگر طبقه بندی دارای دقت بیشتری است (۱۰، ۱۱، ۱۴، ۲۶). ماشین بردار پشتیبان در واقع یک طبقه بندی کننده دودویی است (۱۶). ماشین بردار پشتیبان الگوریتمی است که به وسیله یک ابرصفحه جداکننده که روی داده‌های آموزشی تعریف میشود، دو کلاس خاص از هم جدا و مشخص می‌شوند. از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان توانایی غلبه بر مشکل توزیع کرنل، داده‌ها به فضایی به بعد بزرگتر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک پذیری بهتر انجام می‌شود و ابر صفحه جدا کننده در آن فضا تعیین می‌شود. در سنجش از دور کاربردی، کرنل تابع پایه شعاعی گوسی از نظر کارایی و زمان پردازش مناسب با ارزش است (۴، ۲۳، ۳۱) تابع

تغییرات پوشش اراضی و ارزیابی زیان‌های اقتصادی آن را فراهم ساخته است.

هدف پژوهش حاضر بررسی و تحلیل تغییرات زمانی پوشش و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و خوارزمیک یادگیری ماشین بردار پشتیبان در محیط گوگل ارث انجین، و ارزیابی آثار اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از این تغییرات بود. لذا با این رویکرد، ارزیابی اقتصادی تغییرات پوشش اراضی در سه دوره زمانی مختلف در حوزه آبخیز طالقان انجام شد. این حوضه، به‌عنوان یک منطقه کوهستانی با اهمیت بوم‌شناختی و اقتصادی زیاد، طی دهه‌های اخیر شاهد تغییرات چشمگیری در الگوهای بهره‌برداری از زمین بوده که بررسی و تحلیل آن‌ها می‌تواند مبنای تدوین سیاست‌های کارآمد مدیریتی قرار گیرد.

■ مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد بررسی

شهرستان طالقان با مساحتی حدود 1400 Km^2 در استان البرز قرار دارد و دارای تنوع زیادی در شکل‌های زمین‌ریخت‌شناسی مانند ارتفاعات، دره‌ها و دامنه‌های پرشیب است. پوشش اراضی آن شامل مراتع، چراگاه‌ها، علفزارها، اراضی کشاورزی آبی و دیم، باغات، فضاهای شهری و روستایی و برخی نواحی صنعتی است (۲۵) مساحت این منطقه حدود 1400 Km^2 یکی از شهرستان‌های تابعه استان البرز است. منطقه طالقان از لحاظ موقعیت جغرافیایی در محدوده طول جغرافیایی $31^{\circ}54'19''$ تا $20^{\circ}54'55''$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ}30'55''$ تا $31^{\circ}42'55''$ واقع شده است (شکل ۱).

طالقان با حدود ۸۰ روستای کوهستانی در غرب تهران و در فاصله هوایی 100 km کیلومتری از آن واقع شده است. این منطقه دارای توپوگرافی متنوع و صعب‌العبور با بلندترین ارتفاعات بیش از 4300 m و میانگین ارتفاع 2465 m است. اقلیم آن براساس روش دومارتن فراسرد مرتفع است، میانگین دما $5/4^{\circ}\text{C}$ و بارندگی سالانه از 5 mm در مرداد تا $72/5 \text{ mm}$ در فروردین متغیر است.

۵ برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و از داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ برای سال ۲۰۲۰ استفاده شد (جدول ۱). این سنجنده‌ها با باندهای طیفی و دقت مکانی متفاوت، امکان پایش تغییرات کاربری، پوشش گیاهی و منابع آب را فراهم کرده و به افزایش دقت و قابلیت اطمینان تحلیل تغییرات کاربری اراضی کمک کردند (۳۱، ۳۳).

در پژوهش حاضر، به منظور تحلیل تغییرات استفاده از اراضی در منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ استفاده شد و همچنین روش ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی تصاویر به کار گرفته شد که در ادامه مراحل تهیه تصاویر ذکر شده است. که ابتدا طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود و مرحله بعد سپس ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر و خروجی گرفتن از نتایج می‌باشد.

در مرحله اول تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ برای منطقه مورد مطالعه فراخوانی شد که برای سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲ از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و برای سال‌های ۱۴۰۲ از لندست ۸ استفاده شد و با به کارگیری فیلتر تاریخ و محدوده مورد بررسی پوشش ابری کمتر از ۵٪، تصاویر پایانی موردنظر انتخاب شد. سپس با اعمال ترکیب باندی مناسب اقدام به تعریف نمونه‌های آموزشی شد (شکل ۲).

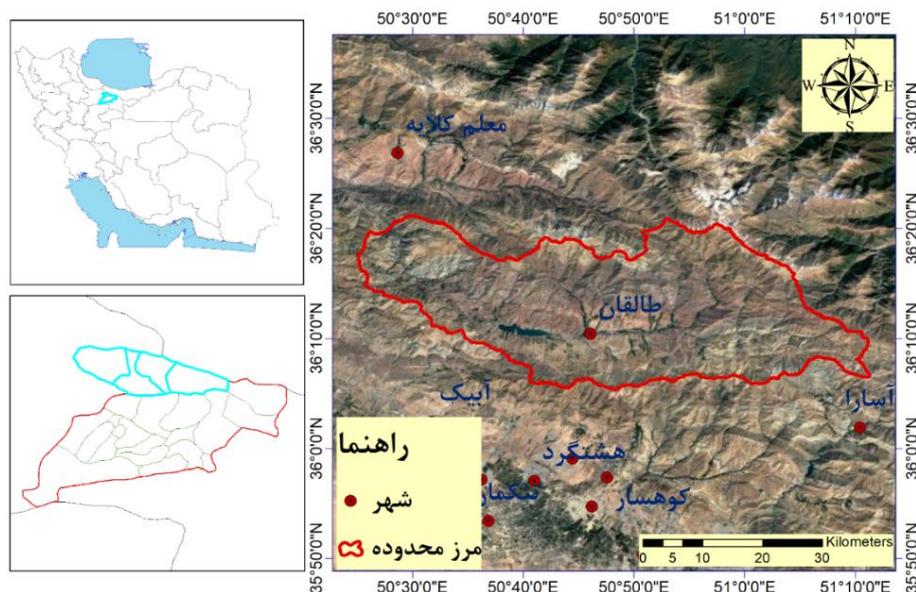
کرنل پایه شعاعی گوسی به صورت زیر تعریف شد:

$$K(x_i, x) = \exp(-g|x_i - x|^2) \quad (1)$$

در تابع کرنل پایه شعاعی گوسی، عبارت $K(x_i, x)$ مقدار شباهت بین دو بردار یا نمونه داده، یعنی x_i, x را نشان می‌دهد. تابع نمایی $\exp(\cdot)$ تضمین می‌کند که مقدار کرنل همواره بین صفر و یک بماند. پارامتر g (گاما) عاملی مثبت است که میزان گستره یا پهنای تابع گوسی را تعیین می‌کند؛ هرچه مقدار آن بزرگتر باشد، تأثیر نقاط نزدیک بیشتر و محدوده تأثیر تابع محدودتر می‌شود. جمله $|x_i - x|^2$ نیز نشان‌دهنده مربع فاصله اقلیدسی بین دو نقطه است که بیانگر میزان اختلاف یا ناپیوستگی میان آنها است. در مجموع، این تابع میزان شباهت بین داده‌ها را بر اساس فاصله آنها در فضای ویژگی‌ها با وزنی نمایی تعیین می‌کند.

این روش طبقه‌بندی روش آماری غیر پارامتریک نظارت شده است (۲۰، ۲۷). روش بیشینه احتمال و شبکه عصبی نیز جز روش‌های نظارت نشده است (۲۳). روش طبقه‌بندی دیگری وجود دارد که طبقه بندی نظارت نامیده می‌شود که K-Means یکی از این روش‌ها است.

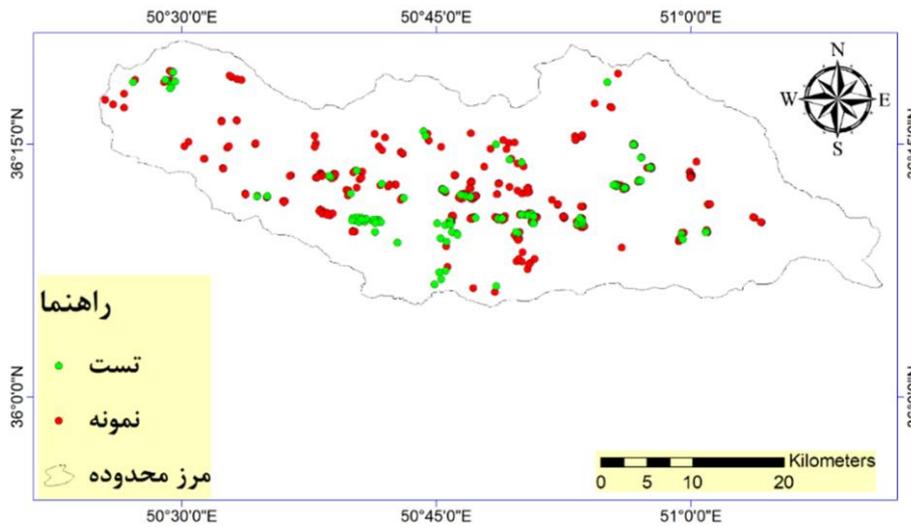
برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ (۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰) در سامانه گوگل ارث انجین کدهای اسکریپتی توسعه داده شد. در پژوهش حاضر از داده‌های سنجنده TM لندست



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ مورد استفاده

سال	ماهواره	سنجده	تاریخ تصویربرداری	تفکیک مکانی (متر)	تعداد باندها	محدوده طیفی (μm)	تفکیک زمانی
۱۹۹۰			۱۹۹۰/۰۷/۱۵				
۲۰۰۰	لندست ۵	TM ^۱	۲۰۰۰/۸/۲۱	۳۰/۱۲۰	۷	۰/۱۲-۴۵/۵	۱۶ روز
۲۰۱۰			۲۰۱۰/۶/۱۱				
۲۰۲۰	لندست ۸	OLI ^۱ /TIRS ^۱	۲۰۲۰/۷/۹	۳۰/۱۵/۱۰۰	۱۱	۰/۱۲-۴۳/۵	



شکل ۲. موقعیت پراکنش نقاط آموزشی

موجود از منطقه استفاده شد (شکل ۲).

صحت طبقه بندی

در پژوهش حاضر از ضرایب صحت کلی، ضریب کاپا، و خطای اومیژن صحت تولید کننده، صحت کاربر، خطای کامیژن جهت بررسی صحت طبقه بندی استفاده شد (۸). برای برآورد صحت و دقت تصاویر طبقه بندی شده، ماتریس صحت تهیه و ضرایب کاپا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی (رابطه ۳) تصاویر محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت. ضریب کاپا برابر با ۸۵/۹۶٪ است (رابطه ۲). صحت کل ۹۲/۳۱٪، صحت تولیدکننده ۹۲/۰۲٪ و صحت کاربر ۹۱/۹۶٪ است.

$$K = \frac{P_0 - P_C}{1 - P_C} \quad (۸)(۲)$$

$$OA = \frac{\sum P_{ij}}{N} \quad (۸)(۳)$$

در روابط (۲) و (۳) و OA دقت کلی، N تعداد کل نمونه ها، $\sum P_{ij}$ مجموع قطر اصلی ماتریس صحت، P_0 درستی

سپس با توسعه کد مربوط به طبقه بندی تصاویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، اقدام به طبقه بندی تصاویر سال‌های ۱۳۷۲، ۱۳۸۲، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۲ شد. نقشه ها براساس پنج کاربری مرتع، جنگل، اراضی بایر، اراضی کشاورزی و اراضی آبی طبقه بندی شده‌اند. برای هر طبقه ۳۰ نمونه آموزشی تعیین شد و مرحله بعد ارزیابی طبقه بندی تصاویر می‌باشد. برای اعتبار سنجی نتایج طبقه بندی تصاویر روش‌های مختلفی وجود دارد.

ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

با اعمال ۳۰ نقطه تعلیمی در هر کلاس کاربری بر روی تصویر گوگل ارث و برداشت میدانی توسط دستگاه صحت نقشه تهیه شده سال ۲۰۲۰ (GPS^۱) موقعیت یاب زمینی با واقعیت زمینی، ارزیابی گردید. به منظور تولید نقشه‌های کاربری اراضی صحیح در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲، با محاسبه ضرایب کاپای به‌دست آمده و تطابق با نقشه‌های

^۱ Global Positioning System

(۴)

$$1) \text{Benefit Cost Ratio} = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} \Rightarrow \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

که در رابطه بالا B_t و C_t به ترتیب برابر با منافع و هزینه ها در دوره زمانی مشخص و i نیز برابر با نرخ تنزیل یا بازدهی می باشد که می توان در سرمایه گذاری های جایگزین به دست آورد t شاخص زمان (مثلاً سال، دوره یا مرحله) از ۱ تا n تغییر می کند و n تعداد کل دوره ها یا سال های مورد بررسی است.

(۵)

$$NPV \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

نتایج

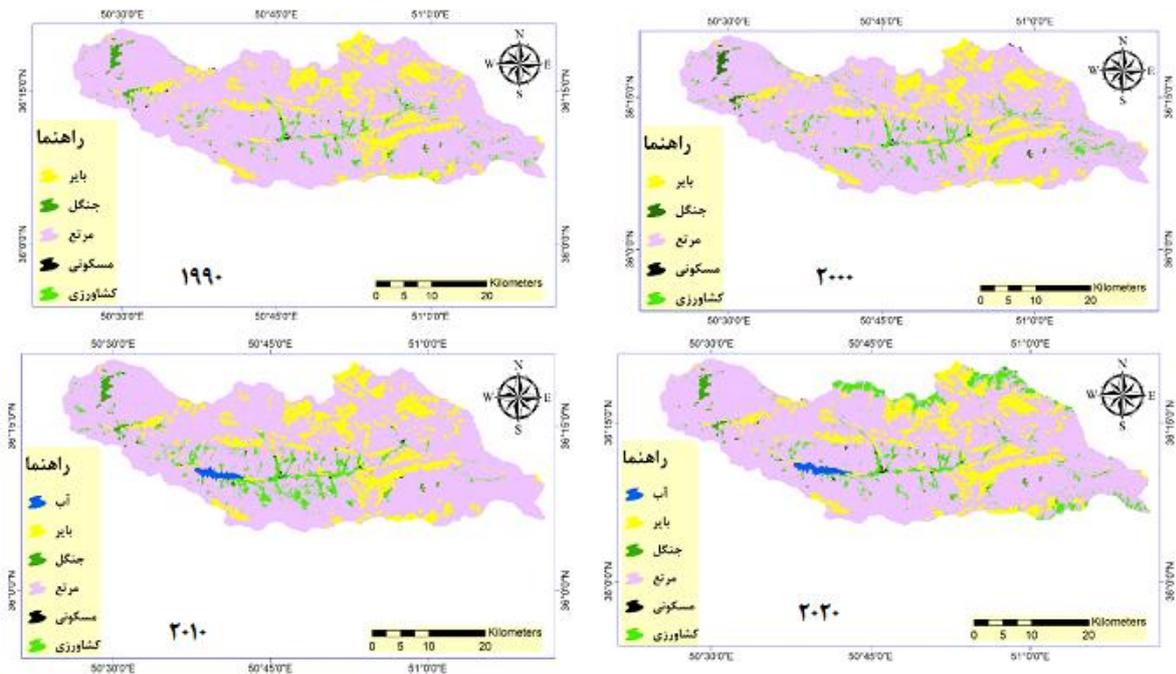
برای ارزیابی دقت طبقه بندی تصاویر، شاخص هایی چون ضریب کاپا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی محاسبه شد. تغییر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال های مختلف ارائه شده است (شکل ۳). مقایسه مساحت طبقات کاربری اراضی سه دوره زمانی (جدول ۲) نشان دهنده تغییرات گسترده کاربری ها از ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ است.

مشاهده شده، P_C توافق مورد انتظار و K ضریب کاپا می باشد (۸).

ارزشگذاری اقتصادی کارکردها و خدمات بومسازگان

در پژوهش حاضر، برای ارزشگذاری خدمات بومسازگان از روش انتقال منافع استفاده شد. این روش با بهره گیری از نتایج بررسی های پیشین در یک منطقه، امکان برآورد ارزش اقتصادی خدمات محیط زیستی در منطقه یا شرایط دیگر را فراهم می کند (۱). در تحلیل توجیه پذیری اقتصادی، هزینه ها شامل هزینه های ثابت، متغیر، فرصت از دست رفته و محیط زیستی و منافع شامل درآمد و هزینه نگهداری هر هکتار اراضی مرتعی در نظر گرفته می شود. ارزیابی بر اساس مدل ایستا و مقدار سال جاری انجام شد و شاخص های اقتصادی NPV و BCR برای سنجش صرفه جویی و بازده مالی مورد استفاده قرار گرفت (۱۷). و در ادامه فرمول های مربوط به شاخص ها ارائه شده است.

در روابط (۴) و (۵)، نماد B_t بیانگر منافع حاصل در دوره زمانی t و C_t نمایانگر هزینه ها در همان دوره زمانی است. همچنین، i به عنوان نرخ تنزیل یا نرخ بازده مورد انتظار در نظر گرفته شده که می تواند معرف بازدهی سرمایه در فرصت های جایگزین سرمایه گذاری باشد (۱۷).



شکل ۳. نقشه پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۲. مساحت (هکتار) کاربری اراضی در منطقه طالقان در دوره‌های زمانی بررسی شده

کاربری	۱۳۷۲	۱۳۸۲	۱۳۹۲	۱۴۰۲
مرتع	۹۵۴۱۱/۳۷	۸۹۹۱۳/۳۷	۸۲۲۹۱/۷	۸۰۰۸۳/۳۴
کشاورزی	۶۴۶۸/۵۷	۷۳۹۳/۸۷	۸۱۰۵/۱۵	۹۰۱۸/۱
مسکونی	۲۷۲۴/۹۵	۳۱۷۷/۳۴	۳۸۷۱/۸	۴۵۵۱/۶۸
جنگل	۶۶۱۵/۳۴	۵۱۴۷/۹۸	۴۳۷۸/۹	۵۰۶۴/۱۳
بایر	۱۵۳۵۸/۵۹	۲۰۵۳۰/۸۷	۵۵۶۶۹/۷	۱۹۴۱۲/۵۸
آب	.	.	۱۱۴۵/۹	۱۱۶۴

جدول ۳. ارزش اقتصادی کل خدمات بوم‌سازگان مرتع در هکتار از سال ۱۳۷۲-۱۴۰۲ (ریال)

نوع ارزش	۱۳۷۲	۱۳۸۲	۱۳۹۲	۱۴۰۲
ارزش‌های مستقیم				
علوفه (۲۸، ۱۳)	۵۶۸۴۵۵	۳۹۵۵۹۹۶	۲۲۲۲۳۰۲۱	۲۰۰۶۲۷۹۷۹
مواد معدنی و خام (۲۸)	۳۹۲۵۵	۲۷۳۱۸۱	۱۵۳۴۶۱۱	۱۳۸۵۴۳۶۴
گیاهان دارویی (۷، ۱۳)	۶۸۷۸	۴۷۸۶۷	۲۶۸۸۹۷	۲۴۲۷۵۸۹
تفرجگاهی و گردشگری (۳۱، ۲)	۲۱۵۶۹	۱۵۰۱۰۱	۸۴۳۱۹۸	۷۶۱۲۳۳۹
ارزش‌های غیرمستقیم				
الف- حفاظت آب (۳۱، ۲۰، ۷)	۱۰۳۹۶۶	۷۲۳۵۱۸	۴۰۶۴۴۰۰	۳۶۶۹۳۱۴۰
ب- حفاظت خاک (۱۳، ۳۱)	۱۰۷۷۹۰	۷۵۰۱۳۱	۴۲۱۳۹۰۰	۳۸۰۴۲۸۱۶
ج- تنظیم گاز (۳۱، ۲۴، ۱۳)	۶۷۸۹۰	۴۷۲۴۵۸	۲۶۵۴۰۶۱	۲۳۹۶۰۶۸۵
- تثبیت کربن	۳۷۹۸۳	۲۶۴۳۳۲	۱۴۸۴۹۰۰	۱۳۴۰۵۵۷۶
- عرضه اکسیژن	۲۹۹۰۷	۲۰۸۱۲۶	۱۱۶۹۱۶۱	۱۰۵۵۵۱۰۹
د- تنوع زیستی و ژنتیکی (۲۸، ۷)	۱۸۱۶۸۳	۱۲۶۴۳۶۸	۷۱۰۲۶۵۶	۶۴۱۲۲۳۱۴
ه- تنظیم اقلیم (۱۳، ۲۸)	۸۲۵۶۳	۵۷۴۵۷۴	۳۲۲۷۷۰۳	۲۹۱۳۹۴۹۰
م- تصفیه زباله (۳۱، ۲۴، ۱۳)	۷۲۳۶۵	۵۰۳۶۰۵	۲۸۲۹۰۲۸	۲۵۵۴۰۲۸۳
و- خاکزائی (۱۳، ۷)	۴۹۵۳۳۳	۳۴۴۷۱۲۴	۱۹۳۶۴۴۰۵	۱۷۴۸۲۰۵۷۹
ارزش‌های حفاظتی (ارزش وجودی و میراثی)	۶۰۶۳۱۹۵	۴۳۵۴۷۸۰۹	۳۳۴۹۸۳۱۴۹	۳۶۶۹۱۵۶۳۳
مجموع ارزش‌های اقتصادی	۷۲۴۲۶۷۵	۵۶۱۸۳۱۹۰	۴۰۵۹۶۳۰۹۰	۴۰۰۷۷۱۷۸۹۳

نتایج نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ مساحت مراتع و جنگل‌های منطقه به‌طور قابل توجهی کاهش یافته، در حالی که اراضی مسکونی، کشاورزی و بایر افزایش داشته‌اند. این روند بیانگر رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی در منطقه مورد مطالعه است (جدول ۲).

زیانی معادل این رقم و بیانگر منافع ازدست‌رفته ناشی از حذف یا تغییر عملکرد طبیعی اراضی است که به‌عنوان شاخصی کلیدی در برآورد هزینه‌های تغییر کاربری به کار می‌رود (جدول ۲).

متوسط هزینه ثابت و متغیر کاربری های هدف

متوسط هزینه ثابت و متغیر بخش مسکن

در سال‌های اخیر ساخت‌وساز مسکونی در منطقه افزایش یافته است. برای تحلیل اقتصادی تغییر کاربری، میانگین هزینه احداث واحد مسکونی مبنا قرار گرفت. طبق داده‌های بنیاد مسکن، حدود ۲۰٪ از هر هکتار زمین به زیرساخت‌ها اختصاص می‌یابد و در باقی زمین، بسته به مترآژ واحدها، امکان ساخت ۱۶ تا ۸۰ واحد مسکونی وجود

ارزش کالا و خدمات بوم‌سازگانی مرتع

در این بخش ارزش‌های مستقیم، غیر مستقیم و ارزش حفاظتی هر هکتار مرتع به تفکیک به‌طور سالانه مورد محاسبه قرارگرفت که به روش انتقال منافع فراطحلی براساس مطالعات متعدد، گردآوری و برآورد شد. (جدول ۳). بر پایه نتایج، حداقل ارزش سالانه خدمات هر هکتار مرتع در طالقان در سال ۱۴۰۲ معادل ۴۰۰۷۷۱۷۸۹۳ ریال برآورد شد. بنابراین تغییر کاربری هر هکتار مرتع به معنای

بهار و تابستان و ایام تعطیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر این اساس، با توجه به تعداد فرضی واحدهای مسکونی ارائه‌شده در بخش پیشین و با در نظر گرفتن متوسط سرانه تولید فاضلاب روزانه برای هر نفر معادل $120L$ ، برآورد می‌شود که تولید سالانه فاضلاب خانگی برای هر واحد مسکونی در حدود $90000L$ باشد. این رقم برای هر هکتار از اراضی زراعی که به کاربری مسکونی تغییر یافته‌اند، حدود $2250000L$ تخمین زده می‌شود. بر اساس داده‌های منتشر شده توسط شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، هزینه تصفیه فاضلاب خانگی، بسته به سطح آلاینده‌ها، بین ۵۲ تا ۸۷ میلیون ریال به‌ازای هر m^3 برآورد می‌شود (۷، ۳۵).

منافع حاصله از تغییر کاربری اراضی

در ارزیابی اقتصادی تغییر کاربری اراضی، علاوه بر محاسبه هزینه‌ها، سود یا منفعت خالص حاصل از تغییر کاربری نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، میانگین درآمد ناشی از تغییر کاربری اراضی با توجه به دو سناریوی پیشنهادی تبدیل به کاربری کشاورزی و مسکونی بررسی شده‌است (جدول ۴). همچنین، هزینه سالانه نگهداری هر هکتار از اراضی مرتعی نیز به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در بخش هزینه‌ها لحاظ شده‌است.

متوسط درآمد بخش کشاورزی و مسکن

در بخش درآمدها، بخش مسکن 51543 میلیارد ریال و در بخش کشاورزی متوسط درآمد محصولات یونجه، لوبیا، سیب، گردو و گیلاس به ترتیب 100 ، 110 ، 230 ، 400 و 280 میلیون ریال است.

هزینه نگهداری سالانه

یکی دیگر از مؤلفه‌های مرتبط با برآورد منافع از دست‌رفته ناشی از تغییر کاربری اراضی منابع طبیعی، هزینه‌های سالانه مربوط به نگهداری و حفاظت از مراتع است. این هزینه‌ها به‌صورت سالانه توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز با هدف حفاظت و صیانت از عرصه‌های مرتعی و جنگلی پرداخت می‌شود.

دارد. هزینه ساخت هر مترمربع واحد ویلایی در سال 1402 بین 80 تا 150 میلیون ریال برآورد شده‌است.

متوسط هزینه‌های محیط زیستی بخش کشاورزی

عمده زمین‌های کشاورزی ناشی از تغییر کاربری زیر کشت محصولات زراعی و باغی مانند یونجه *Medicago sativa L*، لوبیا *Phaseolus vulgaris L*، سیب *Malus domestica Borkh*، گیلاس *Prunus avium L* و گردو *Juglans regia L* می‌رود. بیشتر تبدیل اراضی زراعی دیم به باغ و ویلاسازی است و بخشی نیز تبدیل به دیمزارهای رها شده است. با در نظر گرفتن نیاز آبی متوسط هر هکتار یونجه $8770m^3$ ، لوبیا $5300m^3$ ، گردو $5320m^3$ ، سیب درختی $4940m^3$ و گیلاس $5830m^3/ha$ در سال است. مطالعات نشان می‌دهد حدود 30% از آب مصرفی کشاورزی به‌صورت نفوذ عمقی و رواناب سطحی به طبیعت بازمی‌گردد که حاوی آلاینده‌هایی مانند کود و آفت‌کش بوده و منابع آب را آلوده می‌سازد. بر اساس آمار ملی، هزینه تصفیه هر مترمکعب از این پساب به‌طور میانگین حدود 14 میلیون ریال برآورد شده‌است (۱۶، ۳۴).

متوسط هزینه‌های تولید بخش کشاورزی

در بخش کشاورزی نیز شایان توجه است که بر اساس گزارش‌های ارائه‌شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، بخش عمده‌ای از تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد بررسی، به سمت کشت و توسعه محصولات باغی سوق یافته است. این محصولات زراعی و باغی شامل یونجه، لوبیا، سیب، گردو و گیلاس می‌باشد. متوسط هزینه تولید در هر هکتار واحد زراعی در دوره مورد مطالعه به ترتیب 200 ، 300 ، 700 ، 250 و 450 میلیون ریال است.

متوسط هزینه‌های زیست محیطی بخش مسکن

با بررسی وضعیت سکونت در واحدهای مسکونی منطقه مورد بررسی که بیشتر شامل ویلاها و اقامتگاه‌های فصلی هستند، مشخص شد که این واحدها در اغلب ایام سال بدون سکونت است و تنها در حدود پنج ماه از سال، بیشتر در فصل

جدول ۴. نتایج نهایی تحلیل هزینه منفعت تغییر کاربری اراضی

NPV	BCR	سناریو
-۴۰۹۱۹۹۷۸۷۶۳	۰/۰۰۳۰	تبدیل مرتع به یک واحد کشاورزی زراعی یونجه
-۲۵۴۴۵۹۷۸۷۶۳	۰/۰۴۲۲	تبدیل مرتع به یک واحد کشاورزی زراعی لوبیا
۲۱۱۲۳۶۰۰۰۰۰۰	۰/۰۰۱۱	تبدیل مرتع به یک واحد کشاورزی باغی سیب
-۲۶۱۷۱۹۷۸۷۶۳	۰/۰۹۷۳	تبدیل مرتع به یک واحد کشاورزی باغی گیلاس
-۲۳۸۲۹۹۷۸۷۶۳	۰/۱۷۴۰	تبدیل مرتع به یک واحد کشاورزی باغی گردو
۱۲۲۸۴۲۵۵۷	۱/۰۲۴۳۱	تبدیل مرتع به یک واحد مسکونی

برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر، شاخص‌هایی چون ضریب کاپا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی محاسبه شد که نتایج ضریب کاپا ۸۵/۹۶٪ و صحت کلی ۹۲/۳۱٪ بیانگر تطابق مطلوب نقشه‌ها با کاربری‌های واقعی زمین است.

تحلیل نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که منطقه طالقان در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ تغییرات قابل توجهی در کاربری اراضی خود داشته است یکی از نکات مهمی که می‌توان در بررسی نتایج مشاهده کرد، این است که کاهش مساحت مراتع به‌عنوان یکی از کاربری‌های اصلی اراضی، امری نگران‌کننده است که نشان‌دهنده تخریب محیط زیست و کاهش استفاده از این اراضی می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات دیگران مطابقت دارد (۸، ۲۶، ۳۲).

یکی از عوامل اصلی کاهش کاربری کشاورزی، افزایش قیمت نهاده‌های اولیه کشاورزی و به صرفه نبودن تولیدات کشاورزی، عدم حمایت مالی دولت و افزایش مهاجرت مردم به شهرها است. این مهاجرت‌ها موجب کاهش کاربری زمین‌های زراعی و افزایش کاربری باغ و ویلا شده است. این بخش از نتایج با پژوهش دیگران هم‌رست است (۴، ۷، ۱۲، ۲۱). از عوامل دیگری که در تغییر کاربری اراضی در این منطقه تاثیرگذار بوده است می‌توان به احداث سد طالقان و استفاده از آب آن در منطقه اشاره کرد که موجب افزایش قیمت زمین شده‌است و منطقه طالقان را به یک مرکز گردشگری تبدیل کرده‌است. بعد از کاربری اراضی کشاورزی، کاهش مساحت کاربری جنگل نیز نشان‌دهنده این موضوع هست که نیاز به تعیین سیاست‌های مؤثر برای حفاظت و نگهداری از جنگل‌ها است، زیرا جنگل‌ها منابع حیاتی از لحاظ اکولوژیکی و

بر اساس اطلاعات موجود، این اداره‌کل مدیریت حدود ۹۵۰۰۰ ha از اراضی مرتعی استان را بر عهده دارد و مجموع اعتبارات تخصیصی برای اجرای عملیات حفاظتی در این اراضی، معادل ۲۱۷۳۹۱۳۰ ریال به ازای هر هکتار در سال برآورد شده است.

مدل ایستای تحلیل هزینه منفعت تغییر کاربری

در این پژوهش، برای ارزیابی اقتصادی تغییر کاربری اراضی، از مدل ایستای تحلیل هزینه-منفعت (BCR) استفاده شده است. با توجه به نوع اراضی مورد بررسی (مراتع) و چند گزینه جایگزین شامل سه محصول کشاورزی و باغی یونجه، لوبیا، سیب، گردو و گیلاس، سناریوهای متعددی برای تحلیل هزینه-منفعت تعریف شده‌اند. در این تحلیل، از معادلات استاندارد ارزیابی اقتصادی استفاده شده است. همچنین وضعیت‌های مختلف با دو شاخص نسبت هزینه-منفعت و ارزش حال خالص مورد ارزیابی قرار گرفت.

■ بحث و نتیجه‌گیری

کاربری اراضی یکی از مهمترین جنبه‌های بررسی مدیریت منابع طبیعی و بازنگری تغییرات محیطی است. در پژوهش حاضر با استفاده از قابلیت فناوری سنجش از دور تغییرات کاربری اراضی منطقه طالقان در بازه زمانی ۱۳۷۲-۱۴۰۲ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد پایش قرار گرفت. پس از تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و با توجه به بیشترین تغییرات، ۱۱ روستا با پراکنش مناسب در کل منطقه انتخاب شدند. مشاهدات میدانی نشان داد روستاهای بالاطالقان مراتع بهتر و منابع آبی مناسب‌تری دارند.

است. کاربری اراضی بایر از حدود ۱۵۳۵۸ha در سال ۱۳۷۲ به ۱۹۴۱۲ha در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است که نشان‌دهنده تشدید پدیده تخریب و کاهش بهره‌وری اراضی کشاورزی و مرتعی در اثر تخریب خاک، کمبود منابع آبی و تغییرات اقلیمی است.

به‌طورکلی، نتایج نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات کاربری اراضی در شهرستان طالقان طی سه دهه اخیر، به سمت کاهش پوشش‌های طبیعی مانند مرتع و جنگل و افزایش کاربری‌های انسانی مانند مسکونی و بایر پیش رفته است. این روند بیانگر فشار فزاینده انسانی بر منابع طبیعی و ضرورت مدیریت پایدار اراضی و برنامه‌ریزی فضایی هوشمندانه برای حفظ تاب‌آوری بوم‌نظام منطقه است.

آنچه در اینجا حائز اهمیت است، تمرکز بر کارکردهای از دست‌رفته منابع طبیعی در نتیجه تغییر کاربری است، نه صرفاً حذف دارایی‌های فیزیکی مانند پوشش گیاهی یا خاک. در ادامه، این مقدار به‌عنوان معیاری برای سنجش هزینه فرصت از دست‌رفته به ازای هر هکتار اراضی طبیعی لحاظ شده‌است؛ بدین معنا که از بین رفتن هر هکتار از عرصه‌های منابع طبیعی معادل از دست رفتن منفعی است که در قالب خدمات بوم‌سازگانی، جامعه می‌توانست از آن بهره‌مند شود. به عبارتی دیگر، ارزش هر هکتار زمین نشان‌دهنده هزینه‌ای است که جامعه به دلیل تخریب یا تغییر کاربری آن، سالانه متحمل می‌شود.

بر اساس برآوردهای انجام‌شده در سال ۱۴۰۲، ارزش کالاها و خدمات بوم‌سازگان یک هکتار مرتع در شهرستان طالقان - شامل ارزش‌های مستقیم مانند تولید علوفه، گیاهان دارویی، آب و خاک، غیرمستقیم مانند تنظیم اقلیم، و حفظ تنوع زیستی و حفاظتی معادل ۴۰۰۷۷۱۷۸۹۳ ریال محاسبه گردید. این مقدار با در نظر گرفتن شاخص قیمت مصرف‌کننده به‌روز شده و بیانگر ارزش واقعی خدمات بوم‌سازگانی مراتع در شرایط اقتصادی کنونی کشور است. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات مشابه (۱۷) نشان می‌دهد که نسبت ارزش خدمات بوم‌سازگانی مراتع طالقان به بالا بوده است. این امر ناشی از توپوگرافی کوهستانی، نقش حفاظتی مراتع در کنترل فرسایش خاک و تأمین منابع آب سد طالقان است که از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب استان البرز و بخشی از

زیستی محسوب می‌شوند. با توجه به اهمیت اراضی طبیعی از نظر اقتصادی و تولید کالا و خدمات مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند که در ادامه به تفصیل بیان می‌شوند.

در دوره مورد بررسی، کاربری مرتع که در سال ۱۳۷۲ بیشترین سطح را در میان کاربری‌ها به خود اختصاص داده بود که حدود ۹۵۴۱۱ha می‌باشد، در طی سال‌های بعد روندی کاهشی را تجربه کرده و تا سال ۱۴۰۲ به حدود ۸۰۰۸۳ha رسیده است. این کاهش بیانگر کاهش حدود ۱۵۳۲۸ha از مراتع در طول سه دهه است که عمدتاً در نتیجه توسعه فعالیت‌های کشاورزی، گسترش سکونتگاه‌های انسانی و تبدیل اراضی به کاربری بایر رخ داده است. افزایش سطح اراضی کشاورزی در طالقان عمدتاً در حاشیه دشت‌ها، مناطق قابل آبیاری و بخش‌های کم‌شیب رخ داده است. این امر از یک سو نشان‌دهنده افزایش وابستگی معیشت محلی به کشاورزی است، اما از سوی دیگر به معنای کاهش سطح مراتع و فشار بر منابع آب و خاک نیز می‌باشد. در واقع، بخشی از این افزایش به قیمت تبدیل مراتع و اراضی بایر به زمین‌های زراعی حاصل شده است؛ تغییری که در کوتاه‌مدت ممکن است از منظر اقتصادی مطلوب به نظر برسد، اما در بلندمدت موجب فرسایش خاک، کاهش ظرفیت جذب رواناب و کاهش تاب‌آوری بوم‌سازگان منطقه خواهد شد.

کاربری مسکونی طی دوره مورد بررسی روندی پیوسته افزایشی داشته‌است؛ به‌طوری‌که از حدود ۲۷۲۴ha در سال ۱۳۷۲ به ۴۵۵۱۱ha در سال ۱۴۰۲ رسیده است. افزایش بیش از ۶۶٪ این کاربری در طول سه دهه گذشته، بیانگر توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها و گسترش ویلاسازی و اقامتگاه‌های فصلی در منطقه است که عمدتاً در اراضی کشاورزی و مرتعی اتفاق افتاده است. کاربری جنگل در ابتدا در سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲ افزایش نسبی داشته اما در ادامه تا سال ۱۴۰۲ روندی نوسانی و در مجموع کاهشی را نشان می‌دهد. سطح جنگل‌ها از حدود ۶۶۱۵ha در سال ۱۳۷۲ به ۵۰۶۴ha در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است. این کاهش به‌طور عمده ناشی از تخریب تدریجی پوشش جنگلی در اثر فعالیت‌های انسانی، برداشت بی‌رویه چوب، چرای دام و توسعه ساخت‌وساز در حاشیه جنگل‌ها

تهران است.

تحلیل تغییرات کاربری اراضی طی دوره ۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲ نشان داد که مساحت اراضی کشاورزی و مسکونی افزایش یافته، در حالی که سهم مراتع و جنگل‌ها کاهش داشته است. رشد کاربری کشاورزی عمدتاً در اراضی شیب‌دار و کم‌عمق رخ داده که برای فعالیت‌های زراعی مناسب نبوده و در بسیاری از موارد از اراضی مرتعی تبدیل شده‌اند. این موضوع علاوه بر کاهش پوشش گیاهی طبیعی و افزایش فرسایش خاک، موجب افزایش بار رسوبی ورودی به مخزن سد طالقان شده است. در مقابل، توسعه کاربری مسکونی در مناطق مرکزی و روستاهای اطراف شهر طالقان عمدتاً با انگیزه‌های سرمایه‌گذاری و سکونت موقت شکل گرفته و فشار قابل‌توجهی بر منابع آب و خاک منطقه وارد کرده‌است.

نتایج ارزیابی اقتصادی نشان داد که در بیشتر سناریوهای تغییر کاربری، نسبت هزینه به فایده (B/C) کمتر از یک و ارزش خالص فعلی (NPV) منفی است، که نشان‌دهنده عدم توجیه اقتصادی تبدیل مراتع به کاربری‌های جایگزین است. تنها در سناریوی تبدیل مرتع به کاربری مسکونی، نسبت هزینه به فایده در برخی حالت‌ها به عدد یک نزدیک شده یا اندکی از آن فراتر رفته است؛ موضوعی که با روند افزایش ساخت‌وساز در طالقان و تمایل سرمایه‌گذاران به این بخش هم‌خوانی دارد. با این حال، وقتی هزینه‌های زیست‌محیطی

بلندمدت مانند کاهش ذخیره آب زیرزمینی، از بین رفتن تنوع زیستی لحاظ می‌شود، این کاربری نیز فاقد توجیه اقتصادی پایدار است. مراتع طالقان علاوه بر ارزش‌های اقتصادی مستقیم، نقش مهمی در پایداری نظام اجتماعی-اکولوژیک منطقه دارند و در تأمین علوفه، تنظیم آب، حفظ خاک و معیشت روستایی مؤثرند. نتایج نشان می‌دهد تغییر کاربری آن‌ها به سایر کاربری‌ها نه از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی توجیه‌پذیر نیست. با توجه به ارزش زیاد خدمات بوم‌سازگانی، توصیه می‌شود سیاست‌گذاران با تدوین طرح‌های مبتنی بر تاب‌آوری، از گسترش کاربری‌های ناسازگار جلوگیری کرده و بر احیای مراتع و کشاورزی پایدار تمرکز کنند.

از آنجا که در پژوهش حاضر، تحلیل اقتصادی با مدل ایستا انجام شده است، پیشنهاد می‌شود در بررسی‌های آینده از مدل‌های پویا برای تحلیل اثرهای تجمعی و زمانی تغییر کاربری استفاده شود تا بتوان پویایی‌های اقتصادی، اجتماعی و بوم‌شناختی منطقه را به‌صورت جامع‌تر بررسی کرد.

■ سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های علمی و معنوی آقای دکتر مجید رحیمی و نیز همکاری تمامی افرادی که در گردآوری داده‌ها و انجام این تحقیق نقش داشتند، صمیمانه تشکر کنند.

■ References

1. Abbasi, M., Jafari, M., & Rafiei, H. (2023). Estimation of recreational value of rangeland ecosystem using contingent valuation method: A case study of Eastern Alamut rangelands. *Ecosystem Management Journal*, 1(2), 1-14. doi.org/10.22034/hmsp.2023.14755. [In Persian].
2. Afifi, M, E. (2020). Modeling land use changes using Markov chain model and LCM model. *Journal of Geographical Sciences*, 20(56), 141-158. [In Persian].
3. Athollahi roudbary S, Nasirahmadi K, & khanmohamadi M. (2018). Land use change modeling using LCM module (Case study: NEKA region). *Journal of Natural Ecosystem of Iran*, 9(1): 53-69. doi.org/10.1016/j.rsase.2015.05.001. [In Persian].
4. Battsengel V, Tsolmon D, Byambakhuu G, Myagmartseren P, Otgonbayar L, & Falin W. (2020). Spatiotemporal monitoring and prediction of land use/land cover changes using CA-Markov chain model: a case study in Orkhon Province, Mongolia. Proc. SPIE 11535, *Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments*, 11535(5). doi.org/10.1117/12.2574032.
5. Bazrafshan, J., Khalili, A., Zad-Parsa, S., Sepaskhah, A., Alizadeh, A. & Farhoodi, J. (2021). Documentary Study of the Situation of Agricultural Water Resources and Uses in Iran: Analysis of the Current Situation,

- Pathology and Solutions to the Challenges. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(1), 35-50. doi.org/10.22047/srjasnr.2021.128740. [In Persian].
6. Brander, L. M., de Groot, R., & others. (2024). Economic values for ecosystem services: A global synthesis and way forward. *Ecosystem Services*, 66, Article 101606. doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101606.
 7. Burges CJ. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2): 121-167. doi.org/10.1023/A:1009715923555.
 8. Cervantes, J., García, F., Rodríguez-Mazahua, L., & Lopez-Chau, A. (2020). A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. *Neurocomputing*, 408, 189-215. doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.118.
 9. Congalton, R., & Green, K. (Eds.). (2020). *Assessing the accuracy of remotely sensed data*. Taylor & Francis. doi.org/10.1201/9780429052729.
 10. Ghaderi S, Zare Chahouki M, Azarnivand H, Tavili A, & Raygani B.(2020). Land use Change Prediction using CA-Markov model (Case Study: Eshtehard). *Pasture*; 14 (1):147-160. [In Persian].
 11. Ghaffari Kohnehforood, Y., Farzad Mehr, J., Haghiyan, I., & Sangoony, H. (2023). Economic evaluation of medicinal and forage functions in Jalambadan rangeland, Joveyn County. *Journal of Rangeland*, 17(3), 347-366. [In Persian]
 12. Ghodousi, V., Nazm-far, H., & Rahmati, M. (2025). Land use changes and simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil City). *Quarterly Journal of Urban and Regional Development Studies*, 6(3), 168–185. [In Persian]
 13. Goldblatt R, You W, Hanson G, & Khandelwal AK. (2016). Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing*, 8(8): 634. doi.org/10.3390/rs8080634.
 14. Heydari, S., Mehrabi, A. A., Mohseni Saravi, M., & Saedi, S. (2015). Analysis of land use changes impacts and demographic changes (Case study: Taleghan barrier surrounding villages). *Journal of Range and Watershed Management*, 68(4), 767-778. doi.org/10.22059/jrwm.2015.56958. [In Persian].
 15. Herold M, Scepán J, & Clarke KC. 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and planning A: Economy and Space*, 34(8): 1443-1458. doi.org/10.1068/a3496.
 16. Hopkins, P. F., A. L. Maclean & T. M. Lillesand. (1988). Assessment of thematic mapper imagery for forestry application under lake states conditions, *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 54 (1): 61-68. [doi/full/10.5555/19880624467](https://doi.org/10.5555/19880624467).
 17. Jahanifar, K., Amirnejad, H., Abedi, Z., & Vafaenejad, A. (2017). Economic and environmental feasibility of rangeland conversion to other land uses in East of Mazandaran province. *Rangeland*, 11(2), 207-221. [In Persian].
 18. Jozdani SE, Johnson BA, & Chen D. (2019). Comparing Deep Neural Networks, Ensemble Classifiers, and Support Vector Machine Algorithms for Object-Based Urban Land Use/Land Cover Classification. *Remote Sensing*. 11(14):1713. doi.org/10.3390/rs11141713
 19. Karimzadegan, H., Rahmatian, M., Dehghani Salmasi, M., Jalali, R., & Shahkarami, A., (2007). Valuing Forests and Rangelands-Ecosystem Services, *International journal of environmental research*, 1(4): 368-377. doi.org/10.22059/ijer.2010.149. [In Persian].
 20. Khodakarami, L., Soffianian, A. R., Mohamadi Towfigh, E., & Mirghafari, N. A. (2011). Study of heavy metals concentration copper, zinc and arsenic soil using GIS and RS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin-Talkhab catchment in Hamedan province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science)*, 2(1), 79–88. [In Persian].
 21. Kiani, V., Fegghi, J., Nazari Samani, A., & Alizadeh Shabani, A. (2013). Detecting vegetation and land use changes using remote sensing Case study: Taleqan district. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(87), 29-31.[In Persian].
 22. Liu, H., Hou, L., Kang, N., Nan, Z., & Huang, J. (2022). A meta-regression analysis of the economic value of grassland ecosystem services in China. *Ecological Indicators*, 138, Article 108793. doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108793.
 23. Mombeni, M., & Asgari, H. (2018). Monitoring, Assessment and Prediction of Spatial Changes of Land

- Use /Cover Using Markov Chain Model (Case Study: Shushtar-Khanges of Land- Khuzestan). *Geographical Data*, 27(105), 5-6. doi.org/10.22131/sepehr.2018.31471. [In Persian].
24. Mokhtari M, & Najafi A. (2015). Comparison of Support Vector Machine and Neural Network Classification Methods in Land Use Information Extraction through Landsat TM Data. *jwss*; 19 (72) :35-45. doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.4. [In Persian].
25. Mountrakis G, Im J, & Ogole C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3): 247-259. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001 Get rights and content.
26. Minervino Amodio A, Gioia D, Danese M, Masini N, & Sabia CA. (2023). Land-Use Change Effects on Soil Erosion: The Case of Roman “Via Herculia” (Southern Italy)—Combining Historical Maps, Aerial Images and Soil Erosion Model. *Sustainability*. 15(12):9479. doi.org/10.3390/su15129479.
27. Olivencia, Y., Ibanez-Jimenez, A., Porcel-Rodríguez, L., & Zimmerer, K. (2021). Land use change dynamics in Euro-mediterranean mountain regions: Driving forces and consequences for the landscape. *Land Use Policy*, 109, 105721. doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105721.
28. Pal, M., & Mather, P. M. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. *International journal of remote sensing*, 26(5), 1007-1011. doi.org/10.1080/01431160512331314083.
29. Saroi, S. (1378). Investigating the possibility of forest classification in terms of density in Zagros forests using satellite data, Master's Thesis, University of Tehran. [In Persian].
30. Sharifi, S. , mohamadzade, F. , Karimian, A. & Mirghaderi, S. H. (2016). Economic Evaluation of Converting Non- Irrigation Farms to Amygdalus Gardens and its Impact on Soil Properties (Case Study: Dezhkord Village, Eqlid District). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(2), 411-425. doi.org/10.22059/jrwm.2016.61692. [In Persian].
31. Soltani., N, & Mohammadnejad, V. (2021). Efficiency of Google Earth Engine (GEE) system in land use change assessment and predicting it using CA-Markov model (Case study of Urmia plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*. 12(3 (44), 23-26. [In Persian].
32. Samani, A, Heravi, H, Panahi, M, Jafari, A. & Shalamzar, M. (2013). Effect of Land-Use and Precipitation Changes on Sediment Yield (Case Study: Taleghan Watershed). *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resouces)*, 66(1), 157-165. [In Persian].
33. Szuster, B. W., Chen, Q., & Borger, M. (2011). A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*, 31(2), 525-532. doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.007.
34. Yazdani, S. , Hasanvand, M. , Rafiei, H. & Saleh, I. (2022). Determining the optimal tariff for Treated wastewater in the agricultural sector in the south of Tehran province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 53(1), 91-108. doi.org/10.22059/ijaedr.2021.314897.668981. [In Persian].
35. Yousefi, M, Mikaniki, J, Ashrafi, A. & Neysani S, N. (2018). Land Use Change Detection and Modeling, Using Remote Sensing Data, Markov Chains and Cellular Automata (Csae study: city of Bojnord). *geographical planing of space*, 7(26), 1-16. [In Persian].
36. Zafari-Koloukhi, H., Akbarzadeh, A., & Tafazzoli, S. M. (2021). Sewage treatment method and its role on wastewater price: Case comparison of sewage treatment plants no. 4 and 5 in Mashhad. *Journal of Water and Sustainable Development*, 7(4), 1-10. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i4.85580>. [In Persian].
37. Zhang, W., Li, G., Uddin, M. K., & Guo, S. (2020). Environmental regulation, foreign investment behavior, and carbon emissions for 30 provinces in China. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119-208. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119208.
38. Zhang, M., Wang, S., Fu, B., Liu, Y., & Wu, X. (2021). Study on social-ecological network method: Progress and prospect. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 8309-8319.

