Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Prediction of the most suitable areas for forestry, pasture and agriculture land uses using the multi-criteria evaluation (MCE) method

Masoomeh Yaghoobi Bayekolaee[1], Alireza Vafaeenejad[2]*, Hamidreza Moradi[3], Hossein Hashemi[4]

[1] Ph.D. Student, Department of Water Resources Management Engineering, Faculty of Civil,Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Geotechnical and Transportation Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[3] Associate Professor, Department of Watershed Management and Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering and Center for Advanced Middle Eastern Studies, Lund University, Lund, Sweden

Abstract

Introduction

In recent decades, the change in most land uses, regardless of the capabilities and limitations of the environment, has led to many problems such as soil degradation and pollution of aquatic ecosystems. Therefore, this study has been conducted to investigate how to reduce the effects of possible future land use changes in the Gorganrood watershed by examining the potential of lands as a solution to protect natural resources. Land management and appropriate use of natural resources in the region and the country in accordance with environmental characteristics are the basic and important principles of sustainable development. One of the basic points in land use planning is to observe the suitability of existing land uses for future utilizations. The meaning of land suitability is to match the characteristics of the land according to the type of use and activities. If the characteristics of the land can meet the needs and requirements of its use, that land will be suitable for its use. Assessing and determining land suitability involves comparing the requirements of each land use type based on the specifications and quality of each land unit. The study of ecological potential determines the appropriate type of land use for a region that can be considered as a base for sound land management. Several studies have been conducted in the field of assessing the ecological potential of the lands using geographical information system and multi-criteria evaluation methods, While, no study has been done to evaluate the ecological potential of future uses, which is an innovation of the present study. Predicting and locating potential areas can provide useful managers and tools for sustainable land management. As a result, the ineffectiveness of the one-dimensional approach and the need for comprehensiveness in adopting the best decisions and management methods, the use of different expertise, and the presentation of different management options and scenarios are necessary to choose the best scenario for land use changes in the future.

Materials and methods

The primary step in this study is to investigate how to reduce the effects of possible future land use changes in the Gorganrood watershed by examining the potential of lands as a solution to protect natural resources. Therefore, the Land Change Model (LCM) was used to investigate the possible changes in future land use, and then, using the Geographic Information System (GIS) and multi-criteria evaluation method (weighted linear composition), the most desirable areas for agricultural use, forests and pastures were determined. Land change modeling provides the possibility of analyzing changes to plan and experimentally model future land use changes and land cover. The main stages of land change modeling in order to model and land use changes are as follows: 1) preparation of land use maps; 2) Analysis and identification of changes in land use classes (analysis of changes);3) Modeling the transfer potential of land uses; 4) Predicting land cover changes; 5) Assessment of modeling accuracy (validation); 6) Modeling transmission potential and predicting future changes. Assessing the most suitable areas for future forestry, rangeland, and agricultural uses and preparing a map of the suitability of the area for these three uses using the multi-criteria evaluation method in several stages is described according to

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

the following steps: 1) Goal setting and determining the effective criteria, 2) Standardization of criteria (factor and limitation); 3) Weighting of factors, 4) Integration using linear combination method.

Results and discussion

The results showed that during the study period (1990 to 2020), deforestation (279.53 km^2), reduction of rangelands (542.598 km^2), and agricultural development (413 km^2) occurred in the Gorganrood watershed. According to the projected land use plan for 2040, the area of forest, agriculture, and rangeland will reach 1364.98, 2396.09, and 3481.1881 km^2 based on the current changes. Meanwhile, based on the ecological potential (Makhdoom model), the area of forest, agriculture, and rangeland will reach 1427.54, 2258.55, and 3567.549 km^2. According to the projected land use plan for 2040 under two management scenarios, the area of forest, agriculture, and rangeland in the first scenario (based on the current trend of change) by a change of -5.37, 35.8, and 8.28 km^2 to 1364.98, 2396.09, and 3481.18 km^2 will be reached. In this regard, reducing the area of forest lands and increasing the area of agricultural lands, rangelands and residential areas indicate that the human factor will play an important role in changing the land use of the Gorganrood watershed. Forest conservation such as afforestation, conservation of irrigated lands as well as rangelands, or limiting agricultural development in sloping lands or creating gardens in upstream rangelands and as a result sustainable watershed management should be adopted. Meanwhile, in the second scenario (based on ecological potential), the area of forest, agriculture, and rangeland changed by 4.27, -100.86, and 96.58 km^2 to 1427.54, 2258.55, and 3567.49 km^2 will be reached.

Conclusion

According to the results obtained during the study period, there was deforestation, loss of pastures, development of agricultural lands, and development of residential areas in the Gorganrood watershed. The assessment of land cover changes in the Gergunrood watershed showed that during the study period, the most changes were in forest cover and pasture destruction, and the largest increase was related to agricultural use, which was concentrated in the northeastern part of the watershed. The restoration arias with high priority should be determined according to changes in land cover use and in areas where changes in land cover change scenarios are predicted, preventive and protective measures should be taken considering the conditions of land use in the second scenario. Reducing the area of forest lands and increasing the area of agricultural lands, rangelands and residential areas indicate that the human factor will play an important role in changing the use of Gorganrood watershed lands. Preservation of irrigated lands as well as rangelands or limiting agricultural development in sloping lands or creating gardens in upstream rangelands and as a result sustainable watershed management should be adopted.

Keywords: Gorganrood watershed, Ecological potential, Multi-criteria evaluation, Land suitability

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: a_vafaei@sbu.ac.ir

Citation: Yaghoobi Bayekolaee, M., Vafaeenejad, A., Moradi, H.R., Hashemi, H. (2023). Prediction of the most suitable areas for forestry, pasture and agriculture landuse using the multi-criteria evaluation (MCE) method. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(3), 135-149.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11495.1134
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.9.1

Received: 10 September 2022, Received in revised form: 26 October 2022, Accepted: 26 October 2022, Published online: 31 October 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 3, pp. 135-149

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili
© Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۵٤٦-۲۷۸۳

پیش‌بینی مناسب‌ترین مناطق برای کاربری‌های جنگل‌داری، مرتع و کشاورزی با روش ارزیابی چندمعیاره (MCE)

معصومه یعقوبی بایعکلایی[۱]، علیرضا وفایی‌نژاد[۲*]، حمیدرضا مرادی دارابکلایی[۳]، حسین هاشمی[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی ژئوتکنیک و حمل و نقل، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[۳] دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[۴] استادیار، مرکز مطالعات خاورمیانه و مهندسی منابع آب، دانشگاه لوند، لوند، سوئد

چکیده

در چند دههٔ اخیر تغییر اکثر کاربری‌ها بدون در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های محیط زیستی، مشکلات بسیاری مانند تخریب خاک و آلودگی اکوسیستم‌های آبی را به دنبال داشته است؛ بنابراین، ضرورت پژوهش حاضر، بررسی چگونگی کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی احتمالی آینده در حوزهٔ آبخیز گرگانرود با بررسی توانایی بالقوهٔ اراضی به‌عنوان راهکاری برای حفاظت از منابع طبیعی است. این پژوهش شامل دو مرحلهٔ کلی است. ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی در دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) و دورهٔ آتی (۲۰۴۰) با استفاده از مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM) تولید شد (سناریوی اول). سپس با بهره‌گیری از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش ارزیابی چندمعیاره (ترکیب خطی وزنی)، پتانسیل بوم‌شناختی مناطق برای تغییرات احتمالی آتی حوزهٔ آبخیز گرگانرود تعیین و سپس مناسب‌ترین مناطق جنگلی، مرتعی و کشاورزی انتخاب شدند و این مناطق به نقشهٔ کاربری سال ۲۰۲۰ افزوده شدند و نقشهٔ کاربری اراضی ۲۰۴۰ تولید شد (سناریوی دوم). به‌طور کلی نتایج، روند کاهش مستمر پوشش جنگلی و اراضی مرتعی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که طی دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)، کاربری‌های جنگل و مرتع به‌ترتیب در حدود ۲۷۹/۵۳ و ۴۱۳ کیلومترمربع تغییر کاهشی و کاربری کشاورزی و مسکونی به‌ترتیب به‌میزان ۵۴۳ و۱۳۳/۸۱ کیلومترمربع تغییر افزایشی در حوزهٔ آبخیز گرگانرود داشته است. جنگل‌زدایی (۲۷۹/۵۳ کیلومترمربع)، کاهش اراضی مرتعی (۴۱۳ کیلومترمربع)، افزایش اراضی کشاورزی (۵۴۳ کیلومترمربع) و توسعهٔ مناطق مسکونی (۱۳۳/۸۱ کیلومترمربع) رخ داده است. در بخش دوم نتایج، بر اساس نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری اراضی در سناریوی اول، برای سال ۲۰۴۰ مساحت کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع به ۱۳۶۴/۹۸، ۲۳۹۶/۰۹ و ۳۴۸۱/۱۸ کیلومترمربع خواهد رسید. این در حالی است که در نقشهٔ کاربری اراضی تولید شدهٔ ۲۰۴۰ بر اساس سناریوی دوم، مساحت کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع به ۱۴۲۷/۵۴، ۲۲۵۸/۵۵ و ۳۵۶۷/۴۹ کیلومترمربع خواهد رسید. در انتها پیشنهاد می‌شود در مناطقی که تغییر پوشش زمین در آن‌ها پیش‌بینی شد، با در نظر گرفتن شرایط آمایش سرزمین (سناریوی دوم) اقدام‌های پیش‌گیرانه و حفاظتی تعیین و انجام شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چندمعیاره، تناسب اراضی، توان بوم‌شناختی، حوزهٔ آبخیز گرگانرود

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a_vafaei@sbu.ac.ir

استناد: یعقوبی بایعکلایی، معصومه، وفایی‌نژاد، علیرضا، مرادی دارابکلایی، حمیدرضا، و هاشمی، حسین (۱۴۰۲). پیش‌بینی مناسب‌ترین مناطق برای کاربری‌های جنگل‌داری، مرتع و کشاورزی با روش ارزیابی چندمعیاره (MCE). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۳)، ۱۴۹-۱۳۵.

DOI:10.22098/mmws.2022.11495.1134

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.3.9.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۳، صفحه ۱۳۵ تا ۱۴۹

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

آمایش سرزمین و استفادهٔ صحیح و متناسب با ویژگی‌های محیطی از منابع و داده‌های طبیعی در سطح منطقه و کشور، از اصول اولیه و مهم توسعهٔ پایدار به شمار می‌رود (Hataminejad et al., 2013). یکی از نکات اساسی در برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، رعایت تناسب کاربری‌های وضع موجود با بهره‌برداری‌های آتی است. منظور از تناسب اراضی، تطبیق مشخصات زمین با نوع استفاده‌ای است که از آن به عمل می‌آید. به سخن دیگر، اگر ویژگی‌های زمین بتواند ضروریات و نیازهای نوع استفاده از آن را پاسخ دهد، آن زمین با نوع استفاده‌ای که از آن می‌شود یا نوع کاربری خود، تناسب خواهد داشت (Zhan et al., 2003). بررسی و تعیین تناسب اراضی شامل مقایسهٔ نیازمندی‌های هر یک از انواع کاربری‌ها با مشخصات و کیفیت موجود در هر یک از واحدهای اراضی است (Wang et al., 2018). مطالعهٔ توان بوم‌شناختی، نوع کاربری مناسب برای یک محدوده از سرزمین را تعیین می‌کند و با این روش می‌توان کاربری اراضی مناسب برای یک ناحیه، منطقه و بخش را پیشنهاد نمود.

توسعهٔ غیرمجاز بر اراضی کشاورزی، جنگل‌ها و مراتع در سطح کشور، موجب نابودی اکوسیستم‌ها شده است. بنابراین کنترل و اعمال محدودیت‌ها بر فعالیت‌های انسانی ضروری به نظر می‌رسد، اما از دیدگاه اقتصادی-اجتماعی اعمال محدودیت‌های سخت‌گیرانه پذیرفتنی نیست. در نتیجه، ناکارآمدبودن نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی، بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف و ارائهٔ گزینه‌ها و سناریوهای مختلف مدیریتی را برای انتخاب بهترین سناریوی تغییرات کاربری اراضی در آینده ضروری کرده است (Shahi Moridi et al., 2017). از طرف دیگر، اتکا به وضعیت کاربری گذشته به تنهایی نمی‌تواند در طراحی برنامه‌ها و مدیریت اراضی به‌کار گرفته شود بلکه شناخت کامل وضعیت کاربری اراضی، تغییرات گذشتهٔ آن و پیش‌بینی تغییرات در آینده می‌تواند نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع داشته باشد. به همین منظور، مدل‌های مختلفی برای بررسی پیش‌بینی کاربری اراضی آینده شامل مدل‌های احتمالاتی[1]، مدل‌های بهینه‌سازی شبکهٔ خودکار[2]، مدل‌های تجربی[3] و غیره طراحی شده است (Eastman, 2006).

در مطالعاتی که اخیراً انجام گرفته است، مدل‌ساز تغییر سرزمین[4] با توجه به دارا بودن سه رویهٔ مدل‌سازی، ظرفیت انتقال شامل شبکهٔ عصبی پرسپترون چندلایه، رگرسیون لجستیک و یادگیری بر مبنای نمونهٔ وزنی مشابهت[5] بیش‌تر به‌کار گرفته شده است (Kotha et al., 2013; Roy et al., 2014). با توجه به بحران روند کاهش جنگل‌ها در حوزهٔ آبخیز گرگانرود، در پژوهش حاضر شناسایی مناسب‌ترین مناطق برای اجرای توسعه‌های آینده بر اساس رویکرد ارزیابی چندمعیاره[6] و معیارهایی مانند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر مدل‌سازی پویایی کاربری اراضی بر اساس عوامل طبیعی و عوامل انسانی برنامه‌ریزی شد. هم‌چنین، مجموعهٔ ابزارهایی را برای تحلیل تغییرات پوشش کاربری اراضی حوزهٔ آبخیزگرگانرود و پیش‌بینی آن معرفی می‌کند که می‌توان با به‌کارگیری آن‌ها توانایی بالقوهٔ اراضی در حوزهٔ آبخیز گرگانرود را بررسی کرد. با نگاهی به پژوهش‌های مرتبط با تغییرات کاربری اراضی، می‌توان بیان کرد که حفاظت از جنگل‌های هیرکانی در راستای کاهش آثار محیط‌زیستی می‌تواند به پیش‌گیری از روند غیرعادی تغییرات غیراصولی کاربری اراضی در دورهٔ آتی منطقه کمک کند. بنابراین، ضرورت پژوهش حاضر، نیاز به بررسی چگونگی کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی احتمالی آتی جنگل‌های هیرکانی، اراضی مرتعی و زمین‌های کشاورزی حوزهٔ آبخیز گرگانرود با بررسی توانایی بالقوهٔ اراضی است (Yohannes et al., 2018). در سال‌های اخیر نیز مطالعات زیادی به‌صورت موردی برای شناسایی توان‌های بوم‌شناختی هر منطقه انجام گرفته است. برای نمونه، Makhdoum (2012) در پژوهشی به ارزیابی توان اکولوژیکی منطقهٔ گیلان و مازندران برای توسعهٔ شهری، صنعتی، روستایی و گردش‌گری پرداخت که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، بیش‌تر سطح منطقه برای توسعهٔ شهری، صنعتی و روستایی نامناسب است. نواحی با توان درجهٔ یک برای این کاربری سطح نسبتاً کمی را نسبت به سرزمین‌هایی با توان درجهٔ ۲ و ۳ در ناحیه اشغال نموده است. علاوه بر این، Motiee Langroudi et al. (2012) در پژوهشی به مدل‌سازی توان بوم‌شناختی سرزمین از منظر کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری در محدودهٔ مرودشت فارس پرداختند. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل ارزیابی توان بوم‌شناختی مخدوم با منطق فازی در شهرستان مرودشت حاکی از وجود هر هفت طبقه مدل کشاورزی ایران در منطقهٔ مورد مطالعه بوده است. هم‌چنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت این پژوهش نشان می‌دهد که برای افزایش دقت در تعیین کاربری‌های مناطق کشاورزی می‌توان از روش‌های فازی پایه استفاده نمود. در همین راستا، Karami et al. (2014) با به‌کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[7] سامانهٔ

[1] Probabilistic models
[2] Optimal models of automatic network optimization
[3] Experimental models
[4] Land change modeler (LCM)
[5] A similarity-weighted instance-based machine learning tool (SimWeight)
[6] Multi-criteria evaluation (MCE)
[7] Analytical Hierarchy Process

اطلاعات جغرافیایی (GIS)، توان و ظرفیت حوزهٔ آبخیز بابل‌رود در استان مازندران برای انواع کاربری‌های مرسوم و سپس با به‌کارگیری تکنیک تخصیص زمین چندهدفه[1]کاربری‌ها را در سطح حوزهٔ آبخیز اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۱/۷۸، ۵/۸۲، ۱۱/۶۴ و ۳۸/۳ درصد از منطقهٔ مورد مطالعه به‌ترتیب دارای توان عالی، خوب، متوسط و ضعیف است و ۴۲/۴۴ درصد از سطح منطقه فاقد توان برای این کاربری است.

Tajbakhsh et al. (2022) در پژوهشی برای بررسی ارزیابی اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری از روش فازی-تاپسیس در حوزهٔ آبخیز فریزی و ریگسفید (شهرستان چناران خراسان رضوی) استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از طریق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و پیشنهاد بهترین مکان با درنظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی می‌توان اطلاعات باارزشی را در زمینهٔ اولویت‌بندی عملیات اجرایی مدیریت جامع حوزهٔ آبخیز ارائه کرد. هم‌چنین، Jahandari et al. (2022) در پژوهشی اثرات تغییر کاربری اراضی و توسعهٔ شهری و ارزش‌گذاری آن بر خدمات اکوسیستمی ترسیب و ذخیرهٔ کربن را در حوزهٔ آبخیز آبخیزی در بندرعباس مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از مدل ذخیره‌سازی Invest، توزیع فضایی و تغییرات در ذخیره‌سازی و ارزش اقتصادی کربن محاسبه شد. به این نتیجه رسیدند که کمی‌سازی میزان تغییرات خدمات اکوسیستم اطلاعات مفیدی را در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهد و اولویت دادن به توسعهٔ محیط زیستی در طراحی و شهرسازی پایدار با ادغام مفهوم خدمات اکوسیستم ضرورت دارد. Wang et al. (2018) ارزیابی توان منطقهٔ پکن چین را با استفاده از GIS و RS انجام دادند. این محققان بر اساس وزن متغیرها محدوده را به چهار منطقهٔ مناسب، نسبتاً مناسب، نامناسب، و بسیار مناسب تقسیم‌بندی کردند. در ادامه، Dehghan and Falsafian (2018) شناسایی عوامل مؤثر بر حفظ کاربری اراضی کشاورزی به‌منظور کشاورزی پایدار در شهرستان بستان‌آباد را انجام دادند. نتایج نشان داد عوامل اقتصادی نظیر درآمد پیش‌بینی‌شده از تغییر کاربری جدید، افزایش ارزش زمین، افزایش فرصت تحرک اجتماعی تغییر کاربری‌دهندگان، افزایش درآمد حاصل از فعالیت‌های غیرکشاورزی، و نحوهٔ تصاحب زمین تأثیر مثبتی بر تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی دارند. Yohannes et al. (2018) در پژوهش خود به بررسی و ارزیابی تناسب زمین محصولات کشاورزی اصلی (گندم و جو) با رویکرد چندمعیاره در حوزهٔ آبخیز در کشور اتیوپی پرداختند. تحلیل ارزیابی زمین برای محصولات کشاورزی (گندم و جو) نشان داد بین محصول کشت در حال حاضر و نتایج ارزیابی زمین، تناسب مناسبی وجود ندارد.

در پژوهشی، Faraji and Sahneh (2020) به ارزیابی توان بوم‌شناختی سرزمین در استان گلستان به‌منظور توسعهٔ کاربری‌های کشاورزی با رویکرد آمایش سرزمین پرداختند. ابتدا عوامل و شاخص‌های مؤثر شامل آب و هوا، بارندگی، دما و درجهٔ حرارت، تبخیر، توپوگرافی (ارتفاع)، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، منابع آبی، پهنه‌های سیلاب، تیپ اراضی، فرسایش و خاک شناسایی شدند و در مرحلهٔ بعد مکان‌یابی بهینه و مناسب کشت گندم با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و آزمون‌های آن، به‌منظور پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم، در چهار مرحله صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که بهترین نواحی کشت قلمرو میانی استان و نواحی جنوبی استان، به‌دلیل دارا بودن خاک عمیق زراعی با کیفیت نسبتاً مطلوب و بارندگی مناسب، است. Hasani et al. (2021) به ارزیابی توان بوم‌شناختی، بهینه‌سازی رشد شهری و توسعهٔ صنعتی با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهرستان گنبدکاووس (استان گلستان) پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد از کل مساحت شهرستان گنبدکاووس، ۲۴۱۰۷ هکتار می‌تواند به طبقهٔ تناسب خوب در کاربری توسعهٔ شهری و ۵۳۶۲/۶ هکتار به طبقهٔ تناسب خوب برای کاربری توسعهٔ صنعتی اختصاص یابد.

همان‌طور که مرور منابع نشان می‌دهد، مطالعات مختلفی در زمینهٔ ارزیابی توان بوم‌شناختی سرزمین با سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های ارزیابی چندمعیاره برای کاربری‌های مختلف در حال حاضر انجام گرفته است، اما مطالعه‌ای در زمینهٔ ارزیابی توان بوم‌شناختی کاربری‌های دورهٔ آینده و نیز پیش‌بینی نقشهٔ کاربری اراضی با توجه به توان اکولوژیک سرزمین انجام نگرفته است که از نوآوری پژوهش حاضر است. پژوهش‌هایی از این قبیل برای پیش‌بینی و مکان‌یابی مناطق مستعد می‌تواند برای مدیران مفید و ابزار مناسبی برای مدیریت پایدار منطقه فراهم کند.

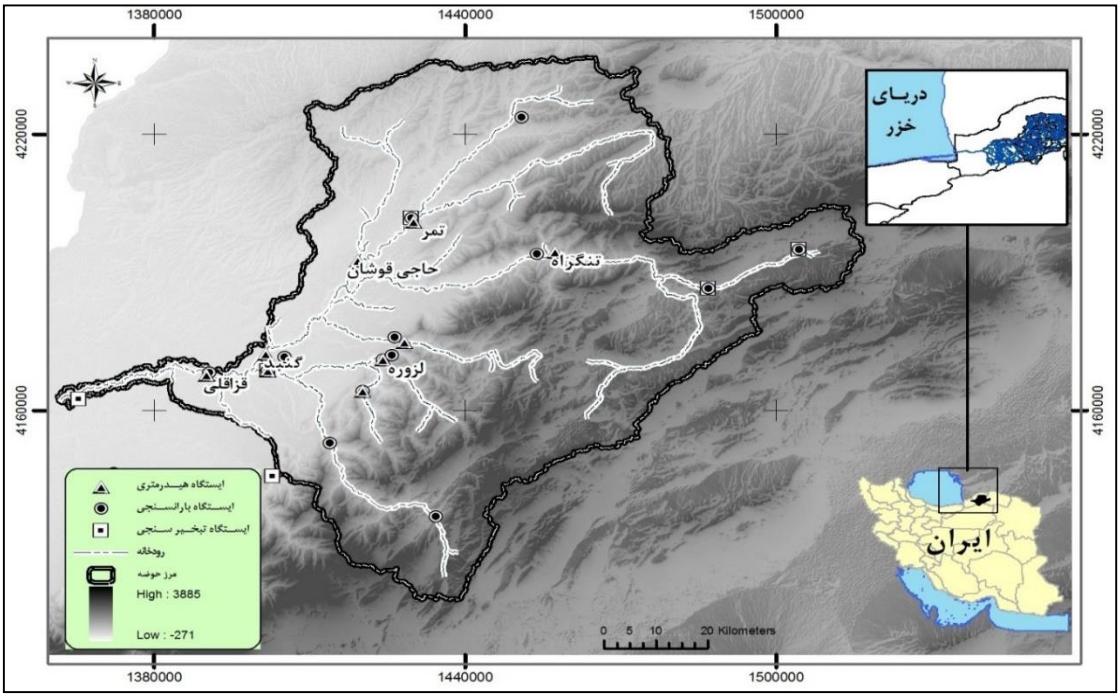
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ پژوهش، حوزهٔ آبخیز گرگانرود تا ورودی سد وشمگیر به مساحت ۷۱۳۸ کیلومترمربع است که در شمال ایران در حد فاصل طول جغرافیایی ´۴۲ °۵۴ تا ´۲۸ °۵۶ و عرض جغرافیایی ´۴۳ °۳۶ تا ´۴۹ °۳۷ واقع شده است. رودخانه‌های خرمالو، نرماب، چهل‌چای، اوغان، دوغ و حاجی در این حوزهٔ آبخیز واقع شده‌اند. قسمت عمدهٔ اراضی حوزهٔ آبخیز در استان گلستان و بخش کوچکی در استان‌های سمنان و خراسان شمالی واقع شده

[1] Multi Objective Land Allocation

است. در این نواحی رشته‌کوه البرز راستای شمال شرقی-جنوب غربی داشته و به‌تدریج در شرق محدوده در مجاورت رشته‌کوه کپه‌داغ و بینالود قرار می‌گیرد. طبق تقسیمات کشوری شهرستان‌های گنبد کاووس، کلاله، مینودشت و قسمتی از شهرستان‌های آزادشهر، شاهرود و بجنورد در این حوزهٔ آبخیز واقع شده‌اند (Azari et al., 2013) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبخیز گرگانرود در ایران

Figure 1- Location of Gorganrood Watershed in Iran

۲-۲-روش پژوهش

این پژوهش شامل دو مرحلهٔ کلی است. ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ تهیه شد که برای آن از تصویرهای سنجنده‌های TM و OLI ماهوارهٔ لندست در ماه ژوئن برای سال‌های عنوان‌شده، از وبگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا استفاده شد. تصحیحات اتمسفری و رادیومتری تصاویر ماهواره‌ای به‌ترتیب با استفاده از روش‌های کاهش ارزش عددی نقطه‌های (پیسکل‌های) تیره[1] و فلاش[2](FLAASH) و در نرم‌افزار ENVI انجام شد. در پیمایش‌های صحرایی و با استفاده از ترکیب‌های رنگی حقیقی و کاذب، نمونه‌های آموزشی (حداقل ۵۰ نمونه برای هر طبقه) برداشت شد. برای تعیین صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای، از روش نمونه‌برداری تصادفی استفاده شد. در روی زمین موقعیت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) با دقت بالا برداشت و نوع پوشش زمینی در محل نمونه‌ها مشخص شد. پنج کلاس شامل جنگل، کشاورزی، مرتع، مسکونی و پهنهٔ آبی مشخص شد.

سپس نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ با به‌کارگیری مدل‌ساز تغییر سرزمین بر اساس روند تغییرات در گذشته، تولید شد (سناریوی اول). در ادامه با بهره‌گیری از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش ارزیابی چندمعیاره (ترکیب خطی وزنی)[3]، پتانسیل بوم‌شناختی مناطق برای تغییرات احتمالی آتی حوزهٔ آبخیز گرگانرود تعیین و سپس مستعدترین مناطق جنگلی، مرتعی و کشاورزی انتخاب شدند و این مناطق به نقشهٔ کاربری سال ۲۰۲۰ افزوده شدند و نقشهٔ کاربری اراضی ۲۰۴۰ تولید شد (سناریوی دوم). این سناریو مبتنی بر مدلی بوم‌شناختی است که بر اساس تلفیق، یا همان همپوشانی معیارها است که بر مبنای روش آمایش سرزمین مخدوم طراحی شد. برای تلفیق معیارها روش ترکیب خطی وزنی به‌کار گرفته شد. در ادامه، مراحل کار به تفکیک شرح داده می‌شود. فلوچارت مراحل پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

[1] Dark-Object Subtraction

[2] Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

[3] Wieghted Linear Combination (WLC)

۲-۳- پیش‌بینی نقشهٔ کاربری اراضی آیندهٔ حوزهٔ آبخیز گرگانرود به‌کارگیری مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM)

شکل۲- فلوچارت مراحل پژوهش
Figure 2- Flowchart of research steps

مدل‌ساز تغییر سرزمین، شرایطی را فراهم می‌کند که بتوان پس از بارزسازی و تجزیه و تحلیل تغییرات، به طرح‌ریزی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری‌ها و پوشش اراضی در آینده پرداخت. مراحل اصلی مدل‌ساز تغییر سرزمین به‌منظور مدل‌سازی و بررسی تغییرات کاربری‌ها به این شرح است: ۱) تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی؛ ۲) تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات (تحلیل تغییرات)؛ ۳) مدل‌سازی ظرفیت انتقال کاربری‌ها؛ ۴) پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی؛ ۵) ارزیابی صحت مدل‌سازی (صحت‌سنجی)؛ ۶) مدل‌سازی ظرفیت انتقال و پیش‌بینی تغییرات آینده (Alimohammadi et al., 2010). مراحل چگونگی پیش‌بینی مناسب‌ترین مناطق برای کاربری‌های کلان جنگل‌داری، مرتع و کشاورزی با به‌کارگیری روش ارزیابی چندمعیاره در چند مرحله بیان می‌شود: ۱) تعیین هدف، تعیین و شناسایی معیارهای مؤثر؛ ۲) استانداردسازی معیارها (عامل و محدودیت)؛ ۳) وزن‌دهی عوامل؛ ۴) تلفیق به کمک روش ترکیب خطی (WLC).

۲-۴- تهیهٔ نقشه محدودیت‌ها و استانداردسازی و وزن‌دهی معیارها

اولین مرحله در فرآیند ارزیابی چندمعیاره شناسایی و توسعهٔ معیارها تحت عنوان محدودیت و عامل است. محدودیت‌ها به‌صورت لایه‌های بولین و عامل‌ها به‌صورت لایه‌های فازی تهیه می‌شوند و با توجه به معیارها می‌توان آن‌ها را به روش‌های مختلف استاندارد کرد (Aghaei et al., 2020). انتخاب معیارها بر اساس نظر اساتید پژوهش حاضر و کتاب آمایش سرزمین مخدوم است (Makhduom, 2012). فازی‌سازی در نرم‌افزار Terrset توسط دستور فازی انجام گرفت. در این پژوهش توابع خطی و در برخی موارد از توابع تعریف‌شده توسط کاربر به‌کار گرفته شده است. استانداردسازی طبقات بافت خاک و زمین‌شناسی در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- اولویت‌بندی طبقات زمین‌شناسی برای کاربری‌های مختلف (Makhduom, 2012)
Table 1- Prioritization of geological classes for different land use (Makhduom, 2012)

واحدهای زمین‌شناسی	وزن	واحدهای زمین‌شناسی	وزن	واحدهای زمین‌شناسی	وزن	واحدهای زمین‌شناسی	وزن
Cm	0.5	Jmz	0.5	Murc	0.4	Pz1av	0.2
DCkh	0.1	Jsc	0.4	Murm	0.1	Qal	0.4
Dp	0.1	K	0.3	Murmg	0.1	Qft1	0.5
E1c	0.2	Kad-ab	0.1	P	0.0	Qft2	0.5
E1m	0.1	Kat	0.3	pC-C	0.0	Qm	0.1
Ekh	0.2	Kl	0.0	Pd	0.3	Qs,d	0.1
Jbash	0.3	Ksn	0.3	Plc	0.4	Qsw	0.1
Jch	0.1	Ksr	0.5	PlQc	0.4	Sn	0.5
Jd	0.4	Ku	0.0	Pr	0.2	TRe	0.6
Jl	0.4	Mur	0.4	Pz	0.2	TRJs	0.4

جدول ۲- اولویت‌بندی طبقات خاک برای کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع (Makhduom, 2012)
Table 2- Prioritization of soil classes for forest, agriculture and pasture land use (Makhduom, 2012)

نوع خاک	وزن
خاک‌های استپی قهوه‌ای	0.9
خاک‌های شور	0.1
خاک‌های لیتوسل مرطوب	0.7

خاک‌های لیتوسل نیمه‌مرطوب	0.6

عوامل مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری جنگل شامل: زمین‌شناسی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۵)، خاک، فرسایش، منابع آبی، کاربری اراضی (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۲)، اقلیم (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۵)، تراکم جنگل، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از روستا، جاده و شهر (تهیه شده توسط محقق از نقشهٔ کاربری اخذ شده)، ارتفاع (ماهواره Aster) و شیب و جهت (تهیه شده توسط محقق از ارتفاع) است.

لایهٔ محدودیت برای کاربری جنگل‌داری شامل: ۶۰ متری آبراهه، کانال و سایر منابع آب، ۳۰ متری سد، ۶۰ متری مناطق مسکونی، ۳۰ متری جادهٔ اصلی و فرعی، کاربری‌های مسکونی، منابع آب، مناطق صنعتی، جاده‌ها، آبراهه‌ها، کشاورزی، مرتع، بایر، ۱۲۰ متری مناطق تحت حفاظت و تالاب بین‌المللی و ذخیره‌گاه‌های جنگلی است. عوامل مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری جنگل و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- عوامل و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در کاربری جنگل (Makhduom, 2012)

Table 3- Factors and how to make them fuzzy in forest land use (Makhduom, 2012)

نام لایه	روش فازی سازی	وزن لایه
زمین‌شناسی	مطابق جدول ۱ فازی شد	0.08
خاک	مطابق جدول ۲ فازی شد	0.16
حساسیت به فرسایش	تعریف شده توسط کاربر	0.05
کاربری اراضی	تعریف شده توسط کاربر	0.07
دما	۱ تا ۱۴: افزایشی، ۱۴ تا ۱۸: ثابت، ۱۸ تا ۲۰: کاهشی	0.07
بارندگی	۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر: صفر، ۱۰۰ میلی‌متر و بیش‌تر: افزایشی	0.12
فاصله تا آبراهه	۰ تا ۶۰ متر: صفر، ۶۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.03
فاصله تا سد	۰ تا ۱۰۰ متر: صفر، ۶۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.01
تراکم پوشش گیاهی	فاقد پوشش: صفر، خطی افزایشی	0.1
ارتفاع	کم‌ترین ارتفاع تا ۵۰۰ متر: افزایشی، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰: ثابت، ۱۰۰۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.06
شیب	صفر درصد: ۱ (بیش‌ترین امتیاز)، از شیب صفر بیش‌تر: خطی کاهشی	0.14
جهت	دشت: ۱، شمال:۱، شرق و غرب: ۰/۶، جنوب: ۰/۴	0.02
فاصله تا مناطق مسکونی	۰ تا ۱۰۰: صفر، بیش‌تر از ۱۰۰ متر: خطی کاهشی	0.04
فاصله تا جاده	۰ تا ۳۰ متر: صفر، ۳۰ متر بیش‌تر از ۳۰ متر: خطی کاهشی	0.04

عوامل مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری کشاورزی شامل: لایه‌های مرتع، زمین‌شناسی، خاک، فرسایش، اقلیم، منابع آب، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از روستا، فاصله تا جاده و فاصله تا شهر است. لایهٔ محدودیت برای کاربری مرتع‌داری شامل مناطقی با شیب بیش‌تر از ۳۰ درصد، ۱۰۰ متری روستاها، ۶۰ متری جاده‌ها، ۶۰ متری منابع آب، ۳۰۰ متری مناطق شهری، ۳۰۰ متری سد، کاربری‌های مسکونی، پارک ملی و مناطق حفاظت‌شده است. عوامل مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری مرتع و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

عوامل مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری کشاورزی شامل زمین‌شناسی، خاک، فرسایش، اقلیم، منابع آب، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از روستا، فاصله تا جاده و فاصله تا شهر است. لایه‌های محدودیت برای کاربری کشاورزی شامل مناطقی است با شیب بیش‌تر از ۱۲ درصد، ارتفاع بیش‌تر از ۳۰۰۰ متر، بارندگی کم‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر، ۱۰۰ متری روستاها، ۶۰ متری جاده‌ها، ۶۰ متری منابع آب، ۳۰ متری مناطق شهری، ۳۰۰ متری سد، کاربری اراضی مسکونی، پارک ملی و مناطق حفاظت‌شده است. فاکتورهای مورد استفاده برای ارزیابی توان کاربری کشاورزی و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

۲-۵- تلفیق معیارها به روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

مرحلهٔ بعد در روش ارزیابی چندمعیاره ادغام لایه‌ها است. در ارزیابی حاضر روش ترکیب خطی وزن‌دار به‌منظور ادغام لایه‌ها به‌کار گرفته شده است. در این روش معیارها در یک محدودهٔ عددی پیوسته استاندارد شده و سپس، بر اساس میانگین‌گیری وزنی ترکیب می‌شوند. ابتدا، عامل‌ها بر اساس وزنی که به آن‌ها داده می‌شود، با هم جمع می‌شوند. سپس، لایهٔ به‌دست‌آمده در لایه‌های محدودیت ضرب می‌شود و یک لایهٔ فازی که نشان‌دهندهٔ مطلوبیت کل منطقه است، به‌دست می‌آید. روش

ترکیب خطی وزن‌دار بر اساس رابطهٔ (۱) محاسبه می‌شود (Sepehr et al., 2018).

$$S=\sum (Wi \times Xi)\times Cj \quad (۱)$$

S: تناسب برای هر کاربری مورد نظر؛ Wi: وزن هر یک از لایه‌ها؛ Xi: لایه‌های فازی (عامل)؛ Cj: لایهٔ بولین (محدودیت).

این روش از طریق دستور MCE در نرم‌افزار Terrset اجرا شد. نتایج این روش نقشه‌های ارزیابی توان بوم‌شناختی برای کاربری کشاورزی، مرتع و جنگل‌داری است. در انتها ۱۰ درصد از مستعدترین مناطق برای این سه کاربری که قرار است در سال ۲۰۴۰ تغییر یابد، انتخاب و به کاربری سال ۲۰۲۰ افزوده شد.

جدول ۴- عوامل و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در کاربری مرتع (Makhduom, 2012)

Table 4- Factors and how to make them fuzzy in pasture land use (Makhduom, 2012)

نام لایه	روش فازی‌سازی	وزن لایه
زمین‌شناسی	مطابق جدول ۱ فازی شد	0.019
خاک	مطابق جدول ۲ فازی شد	0.062
وضعیت مرتع	تعریف شده توسط کاربر	0.18
کاربری اراضی	تعریف شده توسط کاربر	0.05
تراکم پوشش گیاهی	فاقد پوشش: صفر، خطی افزایشی	0.036
حساسیت به فرسایش	تعریف شده توسط کاربر	0.11
دما	۱ تا ۱۴: افزایشی، ۱۴ تا ۱۷: ثابت، ۱۷ تا ۲۰: کاهشی	0.16
بارندگی	۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر: صفر، ۱۰۰ میلی‌متر و بیش‌تر: افزایشی	0.35
فاصله تا آبراهه	۰ تا ۶۰ متر: صفر، ۶۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.11
فاصله تا سد	۰ تا ۳۰۰ متر: صفر، ۳۰۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.06
ارتفاع	کم‌ترین ارتفاع تا ۵۰۰ متر: افزایشی، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰: ثابت، ۱۰۰۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.005
شیب	صفر درصد: ۱ (بیش‌ترین امتیاز)، از شیب صفر بیش‌تر: خطی کاهشی	0.13
فاصله تا مناطق مسکونی	۰ تا ۱۰۰: صفر، بیش‌تر از ۱۰۰ متر: خطی کاهشی	0.11
فاصله تا جاده	۰ تا ۶۰ متر: صفر، ۶۰ متر بیش‌تر از ۳۰ متر: خطی کاهشی	0.08

جدول ۵- عوامل و نحوهٔ فازی کردن آن‌ها در کاربری کشاورزی (Makhduom, 2012)

Table 5- Factors and how to make them fuzzy in agricultural land use (Makhduom, 2012)

نام لایه	روش فازی‌سازی	وزن لایه
زمین‌شناسی	مطابق جدول ۱ فازی شد	0.06
خاک	مطابق جدول ۲ فازی شد	0.01
وضعیت مرتع	تعریف شده توسط کاربر	0.025
حساسیت به فرسایش	تعریف شده توسط کاربر	0.07
کاربری اراضی	تعریف شده توسط کاربر	0.03
تراکم پوشش گیاهی	فاقد پوشش: صفر، خطی افزایشی	0.16
دما	۱ تا ۱۴: افزایشی، ۱۴ تا ۱۷: ثابت، ۱۷ تا ۲۰: کاهشی	0.04
بارندگی	۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر: صفر، ۱۰۰ میلی‌متر و بیش‌تر: افزایشی	0.08
فاصله تا آبراهه	۰ تا ۶۰ متر: صفر، ۶۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.12
فاصله تا سد	۰ تا ۳۰۰ متر: صفر، ۳۰۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.09
ارتفاع	کم‌ترین ارتفاع تا ۱۰۰ متر: افزایشی، ۱۰۰ تا ۳۰۰: ثابت، ۳۰۰ و بیش‌تر: کاهشی	0.003
شیب	صفر درصد: ۱ (بیش‌ترین امتیاز)، از شیب صفر بیش‌تر: خطی کاهشی	0.26
جهت	دشت: ۱، شمال:۱، شرق و غرب: ۰/۶، جنوب: ۰/۴	0.001
فاصله تا مناطق مسکونی	۰ تا ۱۰۰: صفر، بیش‌تر از ۱۰۰ متر: خطی کاهشی	0.01
فاصله تا جاده	۰ تا ۶۰ متر: صفر، ۶۰ متر بیش‌تر از ۳۰ متر: خطی کاهشی	0.02

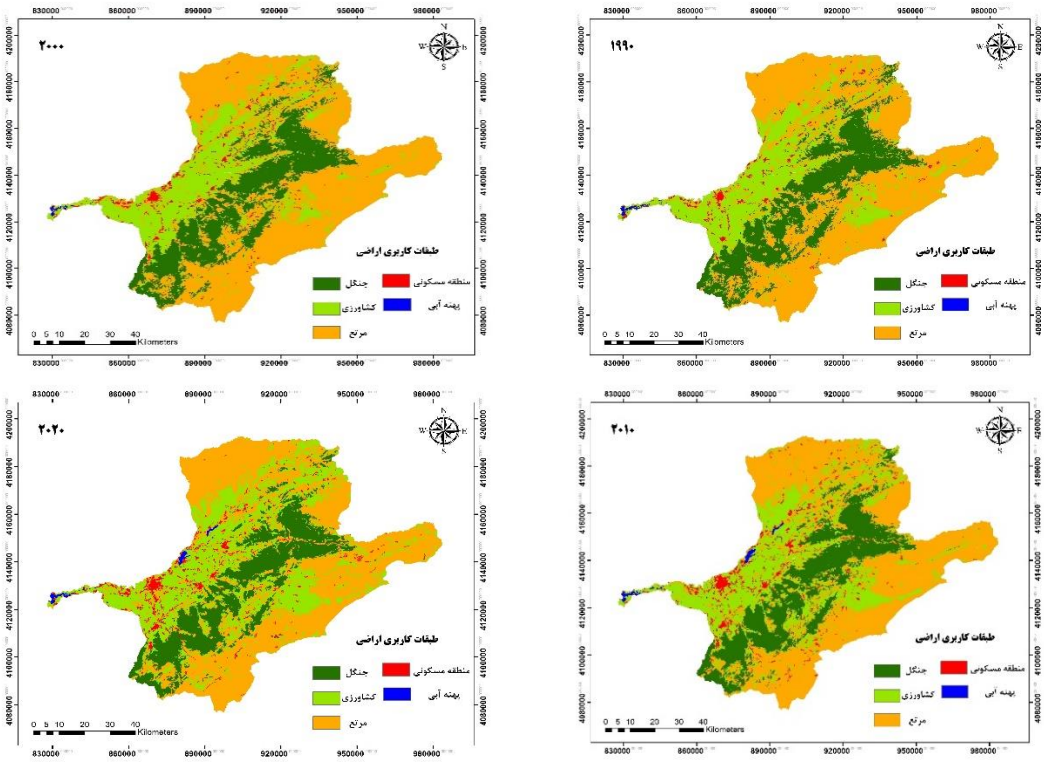
۳- نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی تغییر سرزمین نشان می‌دهد، تغییرات مهمی بین سه کاربری عمدهٔ کشاورزی، مرتع و جنگل‌داری طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به وجود آمده است. یافته‌های حاصل از تحلیل تغییرات کاربری اراضی در قالب کاهش و افزایش سطح طبقات نیز در جدول ۷ آورده شده است. در شکل ۳ نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده در سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ نمایش داده شده است.

یافته‌های حاصل از پژوهش در خصوص ارزیابی روش پرسپترون چندلایه (MLP) به‌منظور مدل‌سازی توانایی انتقال

حاکی از میزان صحت (درصد)، RMS آموزش، RMS آزمایش و Skill Measure، برای دورهٔ واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۶ ارائه شده است. هم‌چنین، نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری اراضی حوزهٔ آبخیز گرگانرود بر اساس تداوم روند فعلی تغییر برای سال ۲۰۴۰ در شکل ۴ نشان داده شده است.

تجزیه و تحلیل تغییر کاربری در حوزهٔ آبخیز مطالعاتی در دورهٔ آتی یک روند کاهشی مداوم در پوشش جنگلی را نشان داد؛ به‌طوری‌که در طی دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰)، جنگل‌زدایی (۲۷۹/۵۳ کیلومترمربع)، کاهش اراضی مرتعی (۵۴۲/۹۸ کیلومترمربع)، توسعهٔ کشاورزی (۴۱۳ کیلومترمربع) و توسعهٔ مناطق مسکونی (۱۳۳/۸۱ کیلومترمربع) در آبخیز گرگانرود اتفاق افتاده است. بر اساس نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ بر اساس روند تغییرات فعلی، مساحت کاربری‌های جنگل، کشاورزی و مرتع به ۱۳۶۴/۹۸، ۲۳۹۶/۰۹ و ۳۴۸۱/۱۸ کیلومترمربع خواهد رسید.



شکل ۳- نقشه‌های کاربری اراضی آبخیز گرگانرود طی سال‌های مطالعاتی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

Figure 3- Land use maps of Gorganrood watershed during the study years 1990-2020

جدول ۶- یافته‌های حاصل از پژوهش در خصوص ارزیابی روش پرسپترون چندلایه (MLP)

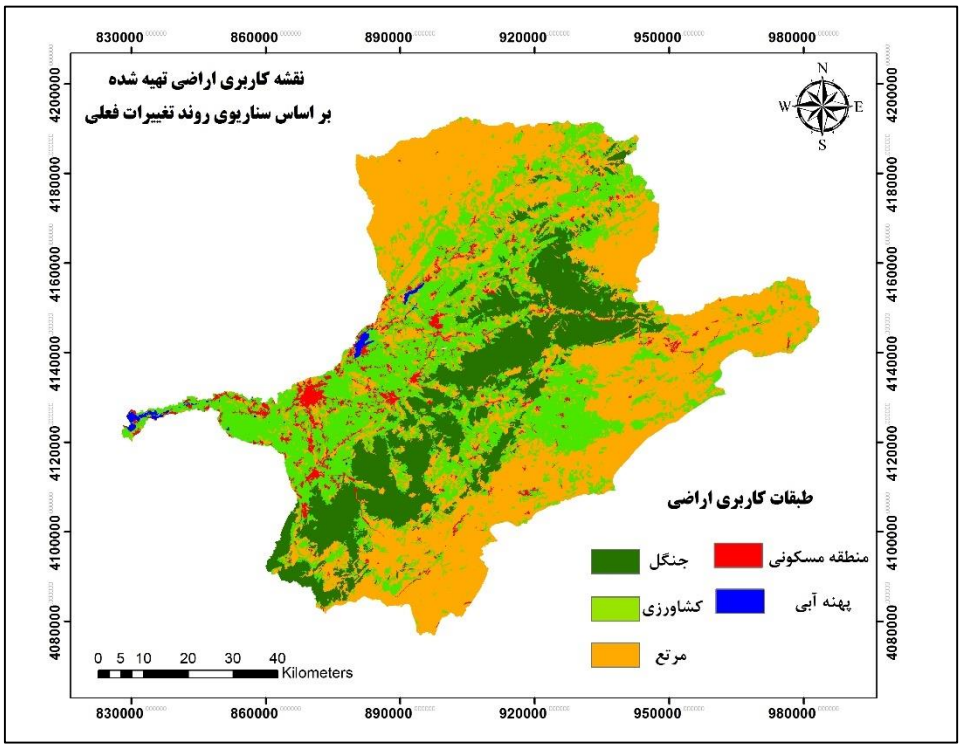
Table 6- The findings of the research regarding the evaluation of the multilayer perceptron (MLP) method

دوره	مقادیر			
	Accuracy (درصد)	RMS آموزش	RMS آزمایش	Skill Measure
واسنجی	79.29	0.333	0.337	0.63
صحت‌سنجی	76.36	0.25	0.22	0.59

جدول ۷- مساحت طبقات کاربری اراضی (کیلومترمربع) آبخیز گرگانرود طی سال‌های مطالعاتی

Table 7- Area of land use classes (Km^2) of Gorganrood watershed during the study years

کاربری اراضی	1990	2000	2010	2020	2040 (روند تغییرات فعلی)	2040 (مدل مخدوم)
	مساحت	مساحت	مساحت	مساحت	مساحت	مساحت
جنگل	1702.9	1679.2	1589.0	1423.4	1365.0	1427.5
کشاورزی	1817.2	1750.8	2124.2	2360.2	2396.1	2258.6
مرتع	3885.9	4739.5	3529.7	3472.9	3481.2	3567.5
مسکونی	127.4	160.3	272.1	261.5	272.1	261.9



شکل ۴- نقشهٔ کاربری اراضی آبخیز گرگانرود در سال ۲۰۴۰ (بر اساس سناریوی روند تغییرات فعلی)

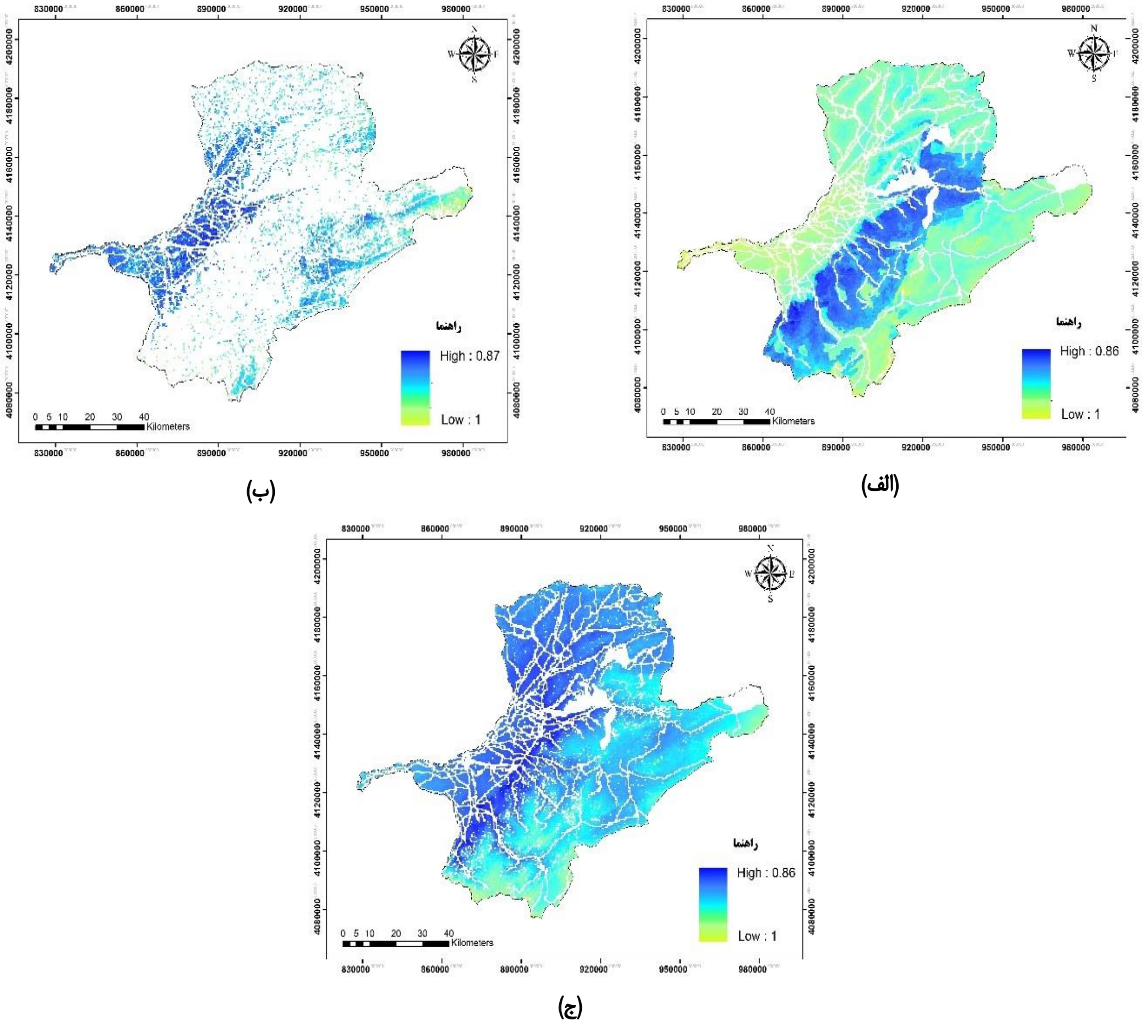
Figure 4- Gorganrood watershed land use map in 2040 (Based on trend of current changes scenario)

در مرحلهٔ دوم پژوهش، همان‌طورکه بیان شد، در گام‌های اول معیارها و محدودیت‌های مؤثر منطقه شناسایی و نقشه‌سازی شدند و پس از فازی کردن نقشه‌ها در گام بعدی، به‌منظور اجرای روش ارزیابی چندمعیاره برای هر عامل باید وزنی در نظر گرفته شود. عامل‌های شیب، بافت خاک، فاصله از منابع آبی و میزان بارندگی به‌ترتیب، بیش‌ترین وزن را دارند. در گام بعد، با به‌کارگیری روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) نقشه‌های استانداردشدهٔ معیارها با در نظر گرفتن وزن‌های متناظر آن‌ها و لایه‌های محدودیت در نرم‌افزار Terrset تلفیق شد. نقشهٔ رستری نهایی، نقشهٔ مطلوبیت برای کاربری کشاورزی، مرتع و جنگل‌داری است و با افزایش ارزش از صفر تا یک تناسب افزایش می‌یابد. نقشه‌های تهیه‌شدهٔ فوق جهت ادغام در مرحلهٔ بعد و تعیین توان برای هر کاربری استفاده شد. نقشه‌های نهایی ارزیابی توان هر کاربری در شکل ۵ ارائه شده است.

نقشه‌های تناسب نهایی سرزمین هر کاربری، با ادغام نقشه‌های ارزیابی توان بوم‌شناختی هر کاربری به‌دست آمد. سپس به گزینی ۱۰ درصد از مستعدترین مناطق برای هر کاربری که در سال ۲۰۴۰ مد نظر است تغییر یابد انتخاب شد و به نقشهٔ کاربری سال ۲۰۲۰ اضافه گردیده است و نقشهٔ نهایی سناریوی ترکیبی طبق مدل مخدوم در شکل ۶ ارائه شده است. مساحت سه کاربری عمده در طی دورهٔ مطالعاتی ۱۹۹۰ تا ۲۰۴۰ در جدول ۸ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج مشاهده‌شده، در نقشهٔ کاربری اراضی تهیه‌شده بر اساس توان بوم‌شناختی سرزمین، مساحت کاربرهای جنگل، کشاورزی و مرتع به ۱۴۲۷/۵۴، ۲۲۵۸/۵۵ و ۳۵۶۷/۴۹ کیلومترمربع خواهد رسید.

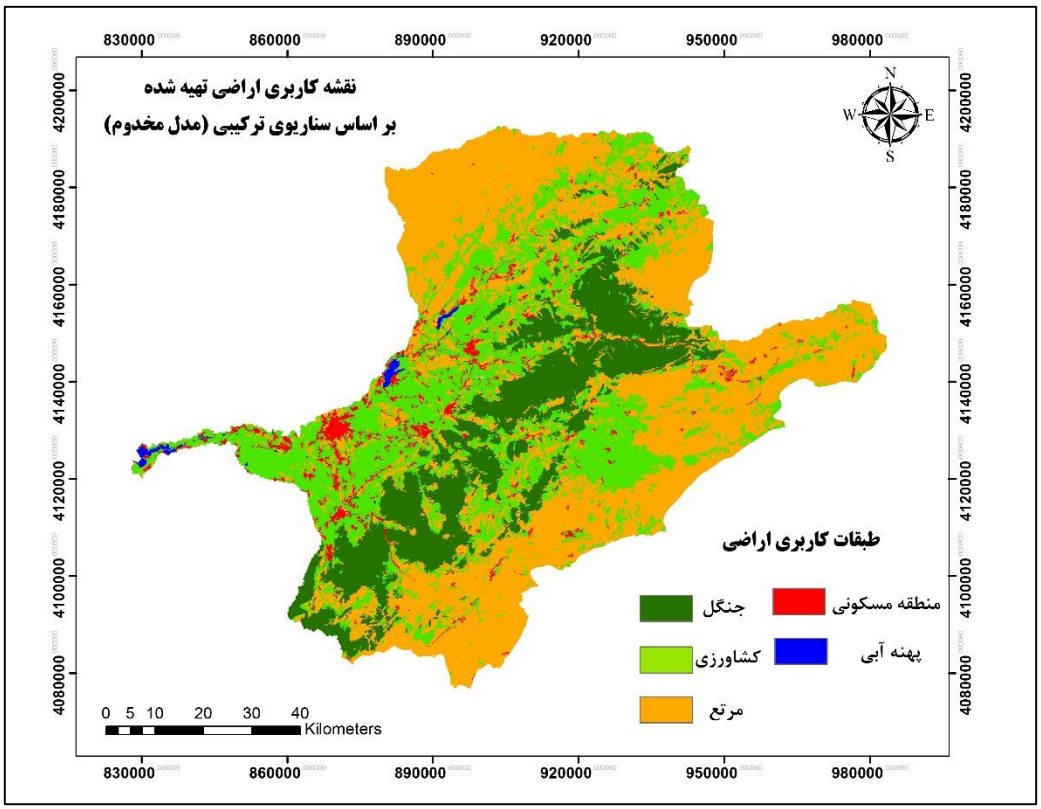
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده طی دورهٔ مورد مطالعه، جنگل‌زدایی، کاهش اراضی مرتعی، توسعهٔ اراضی کشاورزی و توسعهٔ مناطق مسکونی در آبخیز گرگانرود اتفاق افتاده است. بررسی تغییرات پوشش سرزمین حوزهٔ آبخیز گرگانرود نشان داد در طول دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) بیش‌ترین میزان تغییرات در زمینهٔ تخریب پوشش جنگلی و مرتع (۴۱۲/۶ و ۲۷۹/۵۳ کیلومترمربع) صورت گرفته است و بیش‌ترین میزان افزایش مربوط به کاربری کشاورزی (۵۴۲/۹۸ کیلومترمربع) است و تخریب جنگل طی این سال‌ها بیش‌تر متوجه بخش شمال‌شرقی حوزهٔ آبخیز است. این مناطق عموماً کوه‌های مرتفعی هستند که خاک آن‌ها کم‌عمق و بافت آن سنگین است. فرسایش شدید خاک در اراضی لسی و در نتیجه بروز سیلاب‌های مخرب در این منطقه از مهم‌ترین دلایل تخریب جنگل در بخش شمال‌شرقی حوزهٔ آبخیز است. هم‌چنین یکی از معضلاتی که به شدت دامن‌گیر جنگل‌های گلستان شده و سیمای سرزمین آن را تخریب نموده، رشد بی‌وقفهٔ اراضی کشاورزی است که هدف این پدیده تأمین نیاز غذایی افراد جامعه و تأمین نیازهای معیشتی

کشاورزان است. در همین راستا یکی از سیاست‌هایی که بر اساس نتایج این مطالعه می‌تواند در بخش کشاورزی مطرح شود، با یک مدیریت جامع، علمی و اصولی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی، بدون افزایش سطح زیر کشت و تنها از طریق اصلاح روش آبیاری، کشت و استفاده از شیوه‌های نوین تولید محصولات کشاورزی است. نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری اراضی می‌تواند در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و در معرض خطر تخریب به‌کار گرفته شود و بر این اساس مناطق مذکور از طریق اتخاذ تمهیدات مدیریتی هم‌چون ایجاد قرق، حصارکشی و فنس‌کشی از خطر تخریب نجات یافته و پوشش جنگلی در آن‌ها حفظ و احیا شود. یافته‌های Statuto et al. (2016) در منطقهٔ Basilicata در جنوب ایتالیا در خصوص روند کاهشی اراضی جنگلی و نیز گسترش اراضی تحت کشت با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.



شکل ۵- نقشه‌های نهایی ارزیابی توان سه کاربری جنگل، کشاورزی و مرتع، (الف) نقشهٔ ارزیابی توان بوم‌شناختی برای کاربری جنگل، (ب) نقشهٔ ارزیابی توان بوم‌شناختی برای کاربری کشاورزی، (ج) نقشهٔ ارزیابی توان بوم‌شناختی برای کاربری مرتع

Figure 5- The final maps of evaluation of the potential of the three land use of forest, agriculture and pasture, (a) ecological potential evaluation map for forest land use, (b) ecological potential evaluation map for agricultural land use, (c) ecological potential evaluation map for Pasture land use



شکل ۶- نقشهٔ نهایی حاصل از سناریو ترکیبی (مدل مخدوم)

Figure 6- The final map resulting from the combined scenario (Makhdoom model)

جدول ۸- مساحت (کیلومترمربع) سه کاربری عمده در طی دورهٔ مطالعاتی ۱۹۹۰ تا ۲۰۴۰

Table 8- Area (Km^2) of three major land uses during the study period from 1990 to 2040

طبقات کاربری	1990		2000		1990-2000	2010		2000-2010	2020		2010-2020
	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت تغییرات	مساحت	درصد	مساحت تغییرات	مساحت	درصد	مساحت تغییرات
جنگل	1702.9	22.6	1679.2	22.2	-50.6	1589.0	21.3	-90.2	1423.4	18.9	-165.7
کشاورزی	1817.2	24.1	1750.8	23.2	59.3	2124.2	28.5	373.4	2360.2	31.3	236.0
مرتع	3885.9	51.5	4739.5	52.3	853.6	3529.7	47.4	-1209.8	3472.9	46.0	-56.8

بر اساس نقشهٔ پیش‌بینی‌شدهٔ کاربری اراضی برای سال ۲۰۴۰ تحت دو سناریوی مدیریتی، مساحت کاربرهای جنگل، کشاورزی و مرتع در سناریوی اول (بر اساس روند تغییرات فعلی) با تغییر ۵۸/۳۷-، ۳۵/۸ و ۸/۲۸ کیلومترمربع به ۱۳۶۴/۹۸، ۲۳۹۶/۰۹ و ۳۴۸۱/۱۸ کیلومترمربع خواهد رسید. در همین ارتباط، کاهش مساحت اراضی جنگلی و افزایش مساحت اراضی کشاورزی، مرتعی و منطقهٔ مسکونی بیان‌گر آن است که عامل انسانی در تغییر کاربری اراضی آبخیز گرگانرود نقش به‌سزایی خواهد داشت که لازم است تصمیمات لازم در خصوص مدیریت کاربری اراضی با اقدامات مختلف از جمله حفظ جنگل مانند جنگل‌کاری، حفظ اراضی آبی و هم‌چنین اراضی مرتعی و یا محدود نمودن توسعهٔ کشاورزی در اراضی شیب‌دار و یا ایجاد باغ در اراضی مرتعی بالادست و در نتیجه مدیریت پایدار آبخیز اتخاذ شود. این در حالی است که در سناریوی دوم (بر اساس توان بوم‌شناختی) مساحت کاربرهای جنگل، کشاورزی و مرتع با تغییر ۴/۲۷، ۱۰۰/۸۶- و ۹۶/۵۸ کیلومترمربع به ۱۴۲۷/۵۴، ۲۲۵۸/۵۵ و ۳۵۶۷/۴۹ کیلومترمربع خواهد رسید.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در طول دورهٔ مطالعه، جنگل‌زدایی، از بین رفتن مراتع، توسعهٔ اراضی کشاورزی و توسعهٔ مناطق مسکونی در حوزهٔ آبخیز گرگانرود وجود داشت. بررسی تغییرات پوشش اراضی حوزهٔ آبخیز گرگانرود نشان داد که در طول دورهٔ مورد مطالعه بیش‌ترین تغییرات در بخش پوشش جنگلی و تخریب مراتع و بیش‌ترین افزایش مربوط به کاربری کشاورزی بوده است که در بخش شمال‌شرقی حوزهٔ آبخیز متمرکز شده است. مناطق مختلف نیازمند احیا با توجه به تغییرات کاربری پوشش ناصحیح اولویت‌بندی شوند و در مناطقی که تغییر در

سناریوهای تغییر پوشش زمین در آن‌ها پیش‌بینی شد، با در نظر گرفتن شرایط آمایش سرزمین (سناریوی دوم) اقدام‌های پیش‌گیرانه و حفاظتی تعیین و انجام شود.

منابع

آذری مرادی، محمود، مرادی، حمیدرضا، ثقفیان، بهرام، و فرامرزی، منیره (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود. *آب و خاک*، ۲۷(۳)، ۵۳۷-۵۴۷. doi:10.22067/jsw.v0i0.26051

آقایی، مریم، خاوریان، حسن، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۹). پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA مارکوف و LCM در آبخیز کوزه‌تپراقی استان اردبیل. *پژوهش های آبخیزداری*، ۳۳(۳)، ۹۱-۱۰۷. doi:10.22092/wmej.2019.128009.1267

تاج‌بخش، سیدمحمد، گوهری، زهرا، و محمودزاده وزیری، اسداله (۱۴۰۱). اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز فریزی و ریگ سفید با استفاده از روش فازی-تاپسیس. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۶۴-۷۶. doi:10.22098/mmws.2022.10465.1084

جهانداری، جاوید، حجازی، رخشاد، جوزی، سیدعلی، و مرادی، عباس (۱۴۰۱). اثرات توسعهٔ شهری بر الگوهای مکانی، زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن در حوزهٔ آبخیز بندرعباس با نرم‌افزار InVES. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۴)، ۹۱-۱۰۶. doi:10.22098/mmws.2022.11069.1097

حاتمی‌نژاد، حسین، رجایی، سیدعباس، سالاروندیان، فاطمه، و تیموری، ایرج (۱۳۹۲). ارزیابی تناسب کاربری اراضی از طریق مدل توان اکولوژیک در استان اردبیل با هدف آمایش سرزمین. *آمایش سرزمین*، ۵(۱)، ۲۶-۵. doi:10.22059/jtcp.2013.35469

حسنی، محمد، میکائیلی تبریزی، علیرضا، سلمان ماهینی، عبدالرسول، و دلیری، حسین (۱۴۰۰). ارزیابی توان اکولوژیک، بهینه‌سازی رشد شهری و توسعهٔ صنعتی با استفاده از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری چندمعیاری (مطالعهٔ موردی: شهرستان گنبدکاووس، استان گلستان). *محیط زیست طبیعی*. ۷۴(۲)، ۳۷۲-۳۸۵. doi:10.22059/jne.2021.320570.2189

دهقان، حوریه، و فلسفیان، آزاده (۱۳۹۷). شناسایی عوامل مؤثر بر حفظ کاربری اراضی کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار مطالعهٔ موردی: شهرستان بستان‌آباد. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۸(۱)، ۱۵۱-۱۶۸.

سپهر، مرتضی، جمالزادفلاح، فریبرز، جمال زاده، حمیدرضا، شعبانی کسبخی، رکسانا، و کرمی‌راد، شراره (۱۳۹۷). پهنه بندی و تعیین حساسیت اکولوژیک منطقه ساحلی شهرستان رودسر به منظور شناسایی مناطق حساس ساحلی-دریایی. *اکوبیولوژی تالاب (تالاب)*، ۱۰(۳۷)، ۱۳-۳۶.

شاهی مریدی، راضیه، کاظمی، حسین، و کامکار، بهنام (۱۳۹۶). ارزیابی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در استان گلستان. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۷(۱)، ۱۹۷-۲۱۵.

علی‌محمدی، عباس، موسیوند، علی جعفر، و شایان، سیاوش (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای مارکوف. *برنامه‌ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی)*، ۱۴(۳)، ۱۱۷-۱۳۰.

فرجی، امین، و صحنه، فریبا (۱۳۹۹). ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین در استان گلستان به‌منظور توسعهٔ کاربری‌های کشاورزی با رویکرد آمایش سرزمین. *آمایش سرزمین*، ۱۲(۲)، ۲۵۳-۲۷۴. doi:10.22059/jtcp.2020.294811.670053

کرمی، اُمید، حسینی نصر، سیدمحمد، جلیلوند، حمید، و میریعقوب‌زاده، میرحسین (۱۳۹۳). ارزیابی توان اکولوژیکی حوضه بابل‌رود برای کاربری کشاورزی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *اکوسیستم‌های طبیعی ایران*، ۵(۱)، ۳۷-۴۸.

مخدوم، مجید (۱۳۹۲). شالودهٔ آمایش سرزمین (جلد ۱). چاپ چهاردهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ صفحه.

مطیعی لنگرودی، سیدحسن، نصیری، حسین، عزیزی، علی، و مصطفایی، ابوالفضل (۱۳۹۱). مدل‌سازی توان اکولوژیک سرزمین از منظر کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری با استفاده از روش Fuzzy AHP در محیط GIS، (مطالعهٔ موردی شهرستان مرودشت). *آمایش سرزمین*، ۴(۶)، ۱۰۱-۱۲۴. doi:10.22059/jtcp.2012.28792

References

Aghaei, M., Khavarian, H., & Mostafazadeh, R. (2020). Prediction of land use changes using the CA-Markov and LCM models in the Kozehtopraghi Watershed in the Province of Ardabil. *Watershed Management Research Journal*, 33(3), 91-107. dor: 10.22092/wmej.2019.128009.1267 [In Persian]

Azari Moradi, M., Moradi, H.R., Saghafian, B., & Faramarzi, M. (2013). Assessment of hydrological effects of climate change in Gourganroud River Basin. *Water and Soil*, 27(3), 537-547. doi:10.22067/jsw.v0i0.26051 [In Persian]

Alimohammadi, A., Mousivand, A., & Shayan, S. (2010). prediction of land use and land cover changes by using multi-temporal satellite imagery and markov chain model. *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 14(3), 117-130. [In Persian]

Dehghan, H., & Falsafian, A. (2018). Identifying factors affecting the preserve of agricultural land use to achieve sustainable agriculture. *Journal*

of Agricultural Science and Sustainable Production, 28(1), 151-168. [In Persian]

Eastman, J.R. (2006). *IDRISI Andes: Guide to GIS and Image Processing*, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.

Faraji, A., & Sahneh, F. (2020). The ecologic capability evaluation of Golestan province lands through a land use approach to develop agricultural uses. *Town and Country Planning*, 12(2), 253-274. doi: 10.22059/jtcp.2020.294811.670053 [In Persian]

Hasani, M., Mikaeili Tabrizi, A., Salman Mahiny, A., & Daliri, H. (2021). Ecological potential evaluation, urban growth optimization, and industrial development using the What if? Multi-criteria decision support system (Case study: Gonbad Kavous Township, Golestan Province, Iran). *Journal of Natural Environment*, 74(2), 372-385. doi: 10.22059/jne.2021.320570.2189 [In Persian]

Hataminejad, H., Rajaei, S., Salarvandian, F., & Teimouri, I. (2013). The evaluating of land use suitability by the method of ecological potential in the Ardebil province toward land use planning. *Town and Country Planning*, 5(1), 5-26. doi:10.22059/jtcp.2013.35469 [In Persian]

Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S.A., & Moradi, A. (2022). Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem services in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 91-106. doi: 10.22098/mmws.2022.11069.1097 [In Persian]

Karami, O., Hosseini Naseri, S., Jalilvand, H., & Miryaghubzadeh, M. (2014). Evaluation of ecological capability of babolrood basin for agriculture land use using analytical hierarchy process (ahp). *Natural Ecosystems of Iran*, 5(1), 37-48. [In Persian]

Kotha, M., & Kunte, P.D. (2013). Land-cover change in Goa-An Integrated RS-GIS Approach. *International Journal of Geoinformatics*, 9(2), 37-43.

Makhduom, M. (2012). *The foundation of the study of the land* (volume 1). 14th edition, Tehran University Press, 300 pages. [In Persian]

Motiee Langroudi, S., Nasiri, H., Azizi, A., & Mostafaie, A. (2012). modeling the ecological capability for agricultural and rangeland land use using fuzzy ahp in gis environment (case study: marvdasht county). *Town and Country Planning*, 4(6), 101-124. doi: 10.22059/jtcp.2012.28792 [In Persian]

Roy, H.G., Fox, D.M., & Emsellem, K. (2014). Predicting land cover change in a Mediterranean catchment at different time scales. In international conference on computational science and its applications, Springer, Cham. Pp. 315-330. doi:10.1007/978-3-319-09147-1_23

Sepehr, M., Jamalzad Fallah, F., Jamalzadeh, H., Shabani kasbakhi, R., & Karami rad, S. (2018). Zoning and determining ecological sensitivity of coastal zones in rudsar for identifying sensitive coastal-marine areas. *journal of Wetland Ecobiology*, 10(37), 13-36. [In Persian]

Shahi Moridi, R., Kazemi, H., & Kamkar, B. (2017). Evaluation of Sustainable Agricultural Development in Golestan Province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 197-215. [In Persian]

Statuto, D., Cillis, G., & Picuno, P. (2016). Analysis of the effects of agricultural land use change on rural environment and landscape through historical cartography and GIS tools. *Journal of Agricultural Engineering*, 47(1), 28-39. doi:10.4081/jae.2016.468

Tajbakhsh, S.M., Gohari, Z., & Mahmoodzadeh Vaziri, A. (2022). Prioritizing watershed management practices in the Ferizi and Rig-Sefid watersheds using Fuzzy-TOPSIS Method. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(4), 64-76. doi: 10.22098/mmws.2022.10465.1084 [In Persian]

Wang, J., He, T., & Lin, Y. (2018). Changes in ecological, agricultural, and urban land space in 1984–2012 in China: Land policies and regional social-economical drivers. *Habitat International*, 71, 1-13. doi:10.1016/j.habitatint.2017.10.010

Yohannes, H., & Soromessa, T. (2018). Land suitability assessment for major crops by using GIS-based multi-criteria approach in Andit Tid watershed, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 4(1), 1470481. doi:10.1080/23311932.2018.1470481

Zhan, Q. (2003). *A hierarchical object-based approach for urban land-use classification from remote sensing data*. Wageningen University and Research.