



Journal of Environmental Research

Vol. 13, No. 26, Autumn & Winter 2023

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Ecological Security Index in the KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province

Document Type
Research Paper

Raof Mostafazadeh¹, Layla Babaei², Nazila Alaei², Zeinab Hazbavi^{3*}

Received
2021/12/25

1 Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Accepted
2023/04/15

2 Ph.D. Student Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran

3 Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.169991

Abstract

The present study aims to analyze the ecological security in the KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province, based on the pattern and process-related criteria that cover both land use class and sub-watershed levels. Towards this, firstly, the comprehensive indicator of landscape pattern was calculated via integrating criteria of the splitting index (SPLIT), largest patch index (LPI), edge density (ED), and patch density (PD), and the comprehensive indicator of landscape process was calculated according to the criteria of division (DIVISION), mean patch area (AREA-MN), aggregation index (AI), fractal dimension (FRACTAL), and coefficient of soil erosion intensity (Z). Then, the landscape ecological security index (LSI) was calculated and assessed based on a combination of two main indicators at two levels of class and landscape for 36 sub-watersheds. Finally, the status of LSI was classified into five categories very low, low, medium, high, and very high. It was found that the study watershed has a low level of LSI. Besides, the values of comprehensive indicators of landscape pattern and process were equal to 0.28 and 0.37, respectively. The mean LSI was 0.25. The maximum LSI was equal to 0.78 for sub-watershed 14 (southern part) and its minimum value was calculated at 0.03 for sub-watershed 33 (northern part). Overall, the southern and southwestern parts of the watershed were classified in the high and medium security categories, and the northern parts were classified as very low security. The present results can be used for land use planning, ecological impact assessment, and watershed resource management.

Keywords: Ecological Cohesion, Environmental Change, Human Interventions, Landscape Metrics, Watershed Ecology.

* Corresponding author

Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Ecological security has been proposed as a new issue in the direction of sustainable development of human society in the 21st century and it expresses a situation of ecosystems in which the needs of economic development are met in a sustainable manner (Bobylev and Gadai, 2021). The assessment of ecological security is the basis of regional environmental governance and prevention; because in this process, a comprehensive assessment of the ecological situation and the vulnerability of natural, economic, and social levels is considered in the process of changing the landscape of the land, and the integrity of ecosystems is taken into account (Guo and Wang, 2019; Wen and Hou, 2021). Due to the size and variety of land use and the presence of various human activities in addition to the natural and pristine areas, the KoozehTopraghi watershed was considered to evaluate the ecological situation, and in this regard, the soil erosion factor was used as the result of the impact of human activities. For this purpose, the present study was planned with the aim of evaluating the ecological security in the KoozehTopraghi watershed located in the southern part of Ardabil province. The obtained results can be used in prioritizing the ecological security of the country's watersheds.

Methodology

The study area in the present research is Figure (1), KoozehTopraghi watershed located in Ardabil province. KoozehTopraghi watershed has an area of 805.70 km² and a perimeter of 148.98 km, located in the southern part of Ardabil and the northern part of Kosar city, and includes a large part of Nir city. Towards this, firstly, the comprehensive indicator of landscape pattern was calculated via integrating criteria of the splitting index (SPLIT), largest patch index (LPI), edge density (ED), and patch density (PD), and the comprehensive indicator of landscape process was calculated according to the criteria of division (DIVISION), mean patch area (AREA-MN), aggregation index (AI), fractal dimension (FRACTAL) and coefficient of soil erosion intensity (Z). Then, the landscape ecological security index (LSI) was calculated and assessed based on a combination of two main indicators at two levels of class and landscape for 36 sub-watersheds. Finally, the status of LSI was classified into five categories very low, low, medium, high, and very high (Zhang et al., 2010).

Results and discussion

The results of the preparation of the land use map shows that the KoozehTopraghi watershed is covered by rangeland, agriculture, outcrops, and residential areas, respectively, with 29.13, 64.77, 3.50, and 0.80 %. The largest area belongs to the rock outcrop that forms the northern and central parts of the watershed. However, residential areas are observed in most of the sub-watersheds and indicate the geographical distribution of human interventions. In other research (Hazbavi et al., 2020), the changes in the land use level in this watershed have also been reported in such a way that it adversely affects the health of the watershed, along with other important factors such as population density, changes in the land use level, and erosion cause disturbances. In the function of the watershed, there has been a spread and a decline in health.

In connection with the ecological security index of the entire watershed, which is obtained from the geometric mean of the comprehensive indicators of the landscape pattern and the comprehensive process of the landscape, it can be said that the value of this index is equal to 0.18 in the KoozehTopraghi watershed. Also, according to the zoning maps, the KoozehTopraghi watershed was evaluated in a relatively low condition in terms of ecological security. That is, the security classes in this watershed include very low, low, medium, and high, and most of the sub-watersheds (about 44%) belong to the very low class. So that the maximum value of the ecological security index with a value of 0.78 corresponds to 14 sub-watersheds and the minimum value of this index with a value of 0.03 corresponds to the 33 sub-watersheds. The status of ecological security in the south and southeast parts of the watershed is very high and moderate, and it is in a better state than the ecological security of the watershed in the northwest and north parts. In general, 39 % (309.42 km²), 9 % (72.84 km²) and 8 % (65.58 km²) of the area were in low, medium, and high ecological security status, respectively. In addition, the values of comprehensive indicators of landscape pattern and process were equal to 0.28 and 0.37, respectively. The average of the LSI was 0.25. The maximum value of the LSI was equal to 0.78 for sub-watershed 14 (southern part) and its minimum value was calculated at 0.03

for sub-watershed 33 (northern part) (Figure 2). Overall, the southern and southwestern parts of the watershed were classified in the high and medium security categories, and the northern parts were classified as very low security. The present results can be used for land use planning, ecological impact assessment, and watershed resource management.

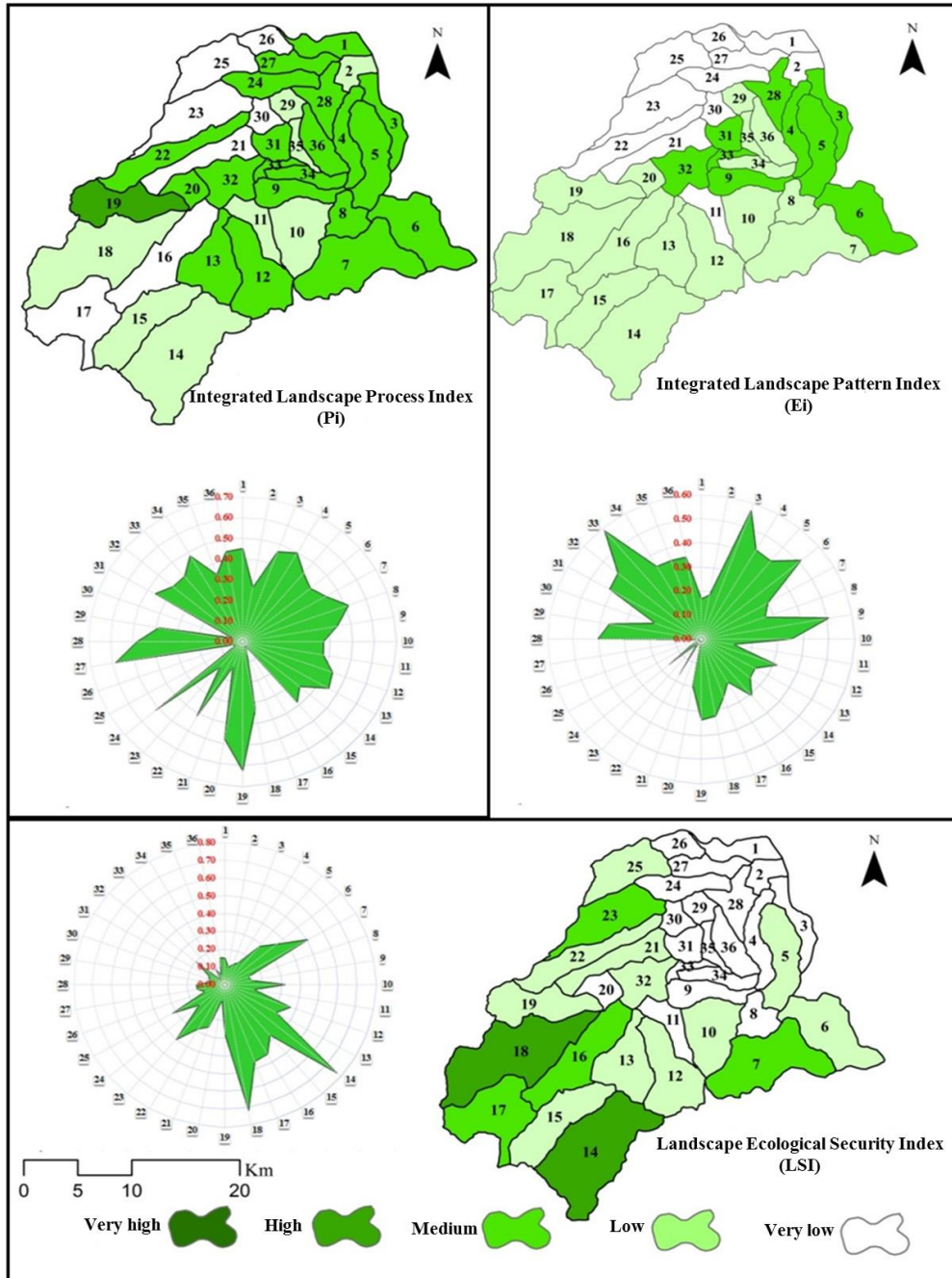


Figure (2): Values of investigated indicators and ecological security in the watershed sub-watersheds of KoozehTopraghi

Conclusion

According to the results analyzed at the class level, the most and least fragmentation in land use was assigned to residential and dry farming, respectively. It can be concluded that although residential constitutes only 0.75% of the studied watershed, it needs more attention in its management, because it can lead to the most destruction and threat in the watershed. The results of the ecological security index in the watershed

sub-watersheds of KoozehTopraghi show very little ecological security in these sub-watersheds. Since the largest area of the studied watershed is agriculture, therefore it has very little ecological security. These sub-watersheds are located in areas with an altitude of less than 1732 m and are almost affected by dry farming. The present results provide a clear point for considering design features and best management practices in the future. If human activities are within the limits of ecological security, the development and exploitation of ecological resources will not inevitably lead to destruction. Therefore, carrying out studies related to ecological security leads to the protection of the fragile environment and local sustainable development of the environment. Also, the present results can be used in various topics such as land use planning, ecological effects assessment and natural resource management. The present results can be taken into consideration in prioritizing vegetation restoration measures with the aim of strengthening the ecological status of the region. Considering the specific conditions of the region in the upstream areas and the need to preserve biodiversity in pasture ecosystems, the results of the research can help prevent the destruction of vegetation and maintain the integrity of the watershed.

References

- Bobylev, N. & Gadal, S. 2021. Environmental security via sustainable development goals: Localization in the Arctic Region. EUGEO 2021, 8th Congress on the Geography of Europe, Charles University, Jun 2021, Prague, Czech Republic. pp.87.
- Guo, Sh. & Wang, X. 2019. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Hulunbeir Grassland, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 4805.
- Hazbavi, Z.; Parchami, N.; Alaei, N. & Babaei, L. 2020. Assessment and analysis of the Koozeh Topraghi Watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(3), 121-142. (in Persian)
- Wen, J. & Hou, K. 2021. Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations. *Ecological Indicators*, 127, 107797.
- Zhang, Z.; Liu, Sh. & Dong, Sh. 2010. Ecological security assessment of Yuan River Watershed based on landscape pattern and soil erosion. *Procardia Environmental Sciences*, 2, 613-618.

شاخص امنیت بوم‌شناختی در حوضه کوزه‌تپراقی، استان اردبیل

رئوف مصطفی‌زاده^۱، لایلا بابایی^۲، نازیلا علایی^۲، زینب حزباوی^{۳*}

۱ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران
۲ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران
۳ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

پژوهش حاضر با هدف تحلیل امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی استان اردبیل بر اساس معیارهای مرتبط با الگو و فرآیندهای سیمای سرزمین در دو سطح کلاس کاربری اراضی و زیرحوضه انجام شد. بدین صورت که ابتدا شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین با استفاده از تلفیق معیارهای تکه‌شدگی (SPLIT)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، تراکم حاشیه (ED) و تراکم لکه (PD)، و شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین بر اساس معیارهای گسستگی (DIVISION)، شاخص میانگین شکل لکه (AREA-MN)، شاخص تجمع (AI)، بعد فرکتال (FRACTAL) و ضریب شدت فرسایش خاک (Z) محاسبه شدند. سپس، شاخص امنیت بوم‌شناختی بر اساس تلفیق دو شاخص جامع نام‌برده در دو سطح کلاس و سیما برای ۳۶ زیرحوضه مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. در نهایت، درجه امنیت بوم‌شناختی در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی و پهنه‌بندی شد. بر اساس نتایج مشخص شد که حوضه کوزه‌تپراقی از نظر کلی دارای سطح پایینی از امنیت بوم‌شناختی است. همچنین مقدار شاخص‌های جامع الگو و فرآیند سیمای سرزمین به ترتیب برابر با ۰/۲۸ و ۰/۳۷ و میانگین شاخص ارزیابی جامع امنیت بوم‌شناختی آبخیز برابر با ۰/۲۵ به دست آمد. حداکثر مقدار شاخص امنیت بوم‌شناختی برابر با ۰/۷۸ مربوط به زیرحوضه ۱۴ (بخش جنوبی حوضه) و حداقل مقدار این شاخص برابر ۰/۰۳ مربوط به زیرحوضه ۳۳ (بخش شمالی حوضه) محاسبه شد. در مجموع، بخش‌های جنوبی و جنوب غربی حوضه در وضعیت امنیت زیاد و متوسط و بخش‌های شمالی در وضعیت امنیت خیلی کم قرار گرفته‌اند. نتایج حاضر می‌تواند در برنامه‌ریزی کاربری اراضی، ارزیابی اثرات بوم‌شناختی و مدیریت منابع حوضه کاربرد داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: بوم‌شناسی آبخیز، پیوستگی بوم‌شناختی، تغییرات محیطی، دخالت‌های انسانی، سنجش‌های سیمای سرزمین

سرآغاز

امنیت بوم‌شناختی^(۱) به‌عنوان یک موضوع جدید در راستای تامین توسعه پایدار جامعه بشری در قرن بیست و یکم مطرح شده و بیان‌گر وضعیتی از بوم‌سازگان است که در آن نیازهای توسعه اقتصادی به‌صورت پایدار برآورده می‌شود (Bobylev & Gadal, 2021). به‌معنای گسترده، امنیت بوم‌شناختی در برگیرنده امنیت طبیعت، جامعه و اقتصاد است. برای توسعه جامعه انسانی باید بوم‌سازگان امن و پایدار ایجاد نمود و برای توسعه پایدار اجتماعی و اقتصادی به منابع پایدار و پشتیبان از محیط زیست نیاز است (Guo & Wang, 2019; Wang & Gu, 2021; Wen & Hou, 2020). بر همین اساس، تأمین امنیت بوم‌شناختی نه‌تنها پایه مادی برای بقای انسان، بلکه پیش‌نیاز توسعه پایدار اقتصادی-اجتماعی منطقه‌ای نیز می‌باشد (McDonald, 2018; Elmqvist et al., 2013). لذا، ارزیابی امنیت بوم‌شناختی، پایه و اساس حکمرانی و پیش‌گیری از محیط زیست منطقه‌ای به‌شمار می‌رود؛ زیرا در این فرآیند، یک ارزیابی جامع از وضعیت بوم‌شناختی و آسیب‌پذیری سطوح طبیعی، اقتصادی و اجتماعی در روند تغییر الگوی سیمای سرزمین در نظر گرفته می‌شود و یکپارچگی بوم‌سازگان مورد توجه قرار می‌گیرد (Liu et al., 2018). ارزیابی امنیت بوم‌شناختی نیز با هدف شناسایی پایداری بوم‌سازگان و به رسمیت شناختن توانایی حفظ سلامت آن تحت سناریوهای مختلف ریسک صورت می‌پذیرد (Zhao et al., 2018; Su et al., 2010, 2011).

در توسعه پایدار، توسعه همه‌جانبه در همه ابعاد مطرح است که محور آن، برنامه‌ریزی نهادی میان سازمان‌های مردمی و چارچوب‌های نظارتی است (Bobylev & Gadal, 2021). در توسعه پایدار اندیشه محوری فرایند توسعه بر اساس ایجاد و ارزیابی چارچوب‌های قانونی، توانمندسازی، تفویض قدرت، مشوق همکاری‌ها و فعالیت‌های نهادهای مردمی استوار است. در این چارچوب نوع فن‌آوری قابل کاربرد با توجه به پایداری بوم‌شناختی انتخاب شده و در آن منابع طبیعی بستر حیات و توسعه در نظر گرفته می‌شوند. لذا، امنیت بوم‌شناختی برگرفته شده از شاخص‌های توسعه پایدار است که بسیاری از اهداف توسعه پایدار (SDGs)^(۲) را در بر می‌گیرد (Bobylev & Gadal, 2021). امروزه، افزایش نگرانی‌ها در مورد امنیت بوم‌شناختی شهری، ضرورت داشتن دستورالعمل‌هایی برای طراحی مجدد شهرها و مدل‌های توسعه را

مورد تأکید قرار می‌دهد. در همین راستا، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به مجموعه‌ای از داده‌ها و دانش عملی جدید در زمینه بوم‌شناختی زمین شهری نیاز دارند که نشان‌دهنده اهمیت تبیین روش‌های ارزیابی جدید در برنامه‌ریزی و مدیریت قانونمند حوضه‌ها به‌ویژه از نوع شهری است (Xu et al., 2014). در حالت کلی امنیت محیطی را می‌توان به‌عنوان یک وضعیت محیط زیستی ضروری برای توسعه جامعه بشر توصیف کرد که در حالت امن یا تقریباً بی‌خطر از تهدید و تخریب قرار دارد (Zhang et al., 2010).

فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی منجر به تغییرات پیچیده‌ای در بوم‌سازگان در مقیاس منطقه‌ای می‌شوند که خسارات قابل‌توجه و تأثیرات شدیدی بر جامعه بشری وارد می‌کند. بدون تردید تمامی فعالیت‌های انسانی در طبیعت در نهایت منجر به تغییر کاربری اراضی می‌شوند (Ghorbani et al., 2020; Zali & Shahedi, 2021). تغییر کاربری اراضی عامل اصلی تغییر در عملکرد و توزیع خدمات بوم‌سازگان نیز می‌باشد (Hasan et al., 2020; Kang et al., 2013). به‌طور معمول، رشد شهرنشینی بر بوم‌سازگان‌های داخل و خارج مناطق شهری تأثیر می‌گذارد (Kiyani & Fegghi, 2015). این تغییرات موجب افت کیفیت شدید در محیط زندگی انسان شده، همچنین به توسعه پایدار جامعه انسانی آسیب رسانده و به این‌ترتیب امنیت محیطی، امنیت عمومی و پایداری توسعه اجتماعی را در معرض خطر قرار می‌دهند. گسترش جمعیت و شهرنشینی در اثر رشد سریع ابعاد مختلف فعالیت‌های انسانی، تأثیر زیادی بر سیمای سرزمین داشته است. در نتیجه، ساختار و عملکرد بوم‌سازگان به‌تدریج تحت تأثیر قرار گرفته و سیمای سرزمین سیاره زمین، زیبا و غنای زیستی و فرهنگی خود را از دست داده‌اند (Hasan et al., 2020; Gao et al., 2012). مطالعات بوم‌شناختی شکاف بین وابستگی انسان به طبیعت و ظرفیت زیستی بوم‌سازگان را از طریق اندازه‌گیری کمی، شکل و نوع خواسته‌های انسانی تجزیه و تحلیل می‌کنند (Xu et al., 2014). اثرات فعلی بوم‌شناختی نشان‌گر تأثیر زیاد و مخرب فعالیت‌های ناشی از انسان بر شرایط محیطی است (Wen & Hou, 2021; Hazbavi et al., 2021). موضوع امنیت بوم‌شناختی و ارزیابی آن یکی از اجزای مطالعات ارزیابی ریسک و شکنندگی بوم‌شناختی نیز محسوب می‌شود که اخیراً در سراسر جهان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در

پژوهش‌های تجربی در مورد تغییرات محیطی و امنیتی، انجام مطالعات یکپارچه در مورد تغییرات محیطی و امنیتی و در نهایت، بررسی روابط درونی بین تغییرات محیطی و امنیتی تقسیم کرده است. Liu et al., (2018) به ارایه یک زنجیره پردازش برای الگوی منظر و ارزیابی وضعیت امنیتی و بوم‌شناختی و پیش‌بینی مبتنی بر مدل‌های خودکار سلولی مارکوف (CA-Markov)^(۴) و الگوی پاسخ به وضعیت فشار (PSRP)^(۵) با استفاده از داده‌های سنجش از دور (RSD)^(۶) در سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۶ در شهر چین پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که تغییر چشم‌گیر سیمای سرزمین، به‌ویژه در اراضی مسکونی وجود دارد. هم‌چنین، مساحت اراضی انسان‌ساخت افزایش یافته، ناهمگونی سیمای سرزمین در حال افزایش بوده و تنوع چشم‌انداز بیش‌تر و پیچیده‌تر شده است. نتایج پیش‌بینی شده با مدل مارکوف نشان می‌دهد که سطح امنیت بوم‌شناختی در حد متوسط قرار دارد. Yu et al., (2018) نیز به بررسی امنیت بوم‌شناختی مناطق شهری پرداختند. در پژوهش ایشان از معیارهای تراکم لکه، تراکم حاشیه، بعد فرکتال و گسستگی سیمای سرزمین استفاده شد. نتایج نشان داد که دخالت انسان و افزایش زمین‌های کشاورزی در منطقه باعث کاهش امنیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین می‌شود. اخیراً، Wu et al., (2019) به ارزیابی امنیت بوم‌شناختی بر اساس مدل عنصر- ماده آنتروپی^(۷) در جنوب غرب چین پرداختند. در این پژوهش سیستم شاخص ارزیابی با توجه به فشار و میزان تحمل آن در شهرستان کونمینگ به‌عنوان یک مرکز اجتماعی-اقتصادی واقع در جنوب غرب چین استفاده شد. نتایج نشان داد که منطقه دارای وضعیت بوم‌شناختی مناسب، ۸۹/۱۰ درصد از کل مساحت را به خود اختصاص می‌دهد. Wang et al., (2019) به بررسی تحول امنیت بوم‌شناختی در پکن تحت تاثیر سیاست‌های مختلف در دهه‌های اخیر پرداختند. در پژوهش مذکور، بر اساس مدل چارچوب فشار-حالت-پاسخ (PSR) یک سیستم شاخص برای ارزیابی امنیت بوم‌شناختی پکن از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ ارایه کردند. این شاخص‌ها از طریق تلفیق یک مدل بوم‌شناختی سنجش از دور داده‌هایی مانند تصاویر ETM و Landsat ایجاد شده است. نتایج نشان داد از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰، به‌دلیل تاثیر مشترک ساخت مکان‌های المپیک ۲۰۰۸، سیاست‌های اصلاح محیط زیست شهری و سیاست‌های املاک و مستغلات، سطح کلی ایمنی در شهر مرکزی بهتر بود، اما حومه شهر روند متضاد را نشان داد. علاوه

حالت کلی ارزیابی و تحلیل امنیت بوم‌شناختی دارای اصول و چارچوب مشخص از طریق به‌کارگیری انواع مختلفی از روش‌ها از جمله تحلیل بوم‌شناسی سیمای سرزمین، سنجش از دور (RS)، تجزیه و تحلیل سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، چارچوب فشار-حالت-پاسخ (PSR) و برخی دیگر از مدل‌های توسعه‌یافته PSR است (Zhang et al., 2010; Liu et al., 2018). با استفاده از این روش‌ها می‌توان تغییرات محیط بوم‌شناختی را از طریق تجزیه و تحلیل حساسیت بوم‌شناختی، انتخاب شاخص‌های بوم‌شناختی یا زیستی مطالعه کرد و اقدامات مدیریتی مناسب را پیشنهاد نمود (Gao et al., 2012; Tian & Gang, 2012). سامانه بوم‌شناختی زمین یک مؤلفه مهم از بوم‌سازگان‌های خشکی است که در واقع تداعی‌کننده یک سیستم بسیار پیچیده و به‌سرعت در حال تغییر می‌باشد. قابل ذکر است که بوم‌سازگان‌های زمین نیز به‌صورت مداوم تغییرات طبیعی، اجتماعی و اقتصادی مختلفی را متحمل شده است (McDonald, 2018).

در مطالعات متعددی پیشنهاد شده است که بوم‌شناختی زمین در ارتباط با امنیت به‌منظور حصول اطمینان از مدیریت مناسب بوم‌سازگان‌ها مورد بررسی قرار گیرد. برای نمونه، Dai et al., (2010) به ارزیابی امنیت محیط زیستی منطقه‌ای بر اساس اثرات بوم‌شناختی در شهر چانگینگ چین پرداختند. در این پژوهش محاسبات مصرف، تولید و ظرفیت بوم‌شناختی شهر چانگینگ از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۷ بر اساس یک رویکرد پایه بوم‌شناختی انجام شد. شاخص امنیت و عوامل مؤثر بر آن با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که زوال امنیت بوم‌شناختی عمدتاً وابسته به عوامل اجتماعی-اقتصادی و صنعتی و در اصل تغییر کاربری اراضی بوده است. هم‌چنین، Zhang et al., (2010) بر اساس شاخص‌های الگوی سیمای سرزمین، تکه‌شدگی و فرسایش خاک، با استفاده از GIS و RS به ارزیابی امنیت بوم‌شناختی حوضه رودخانه یوان پرداختند. نتایج نشان داد که زمین‌های مسکونی، اراضی بایر و پهنه‌های آبی دارای شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین^(۳) بالاتر بوده است. از آنجایی که میزان فرسایش خاک در زمین‌های جنگلی و زراعی نسبتاً بالاتر بود و دلالت بر هدررفت خاک داشته است، وضعیت شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین نامناسب ارزیابی شد. در ادامه، Yu et al., (2014) مطالعات مربوط به امنیت بوم‌شناختی را به چهار مرحله شامل معرفی مفهوم امنیت بوم‌شناختی، انجام

ویژگی‌های این زیرحوضه است که منجر به قرار گرفتن این زیرحوضه در وضعیت ناامن شده است.

بنابراین بهینه‌سازی ساختارها و فرآیندهای بوم‌سازگان در مقیاس حوضه به‌عنوان واحد مدیریتی و تصمیم‌گیری سیاست‌های کلان ضروری است و از طریق اقدامات اساسی و محتوایی بر مشکلات حاکم بر محیط مورد مطالعه قابل دستیابی است. حوضه کوزه‌تپراقی با توجه به وسعت و تنوع کاربری اراضی و نیز وجود فعالیت‌های مختلف انسانی در کنار مناطق طبیعی و بکر برای ارزیابی وضعیت بوم‌شناختی در نظر گرفته شد و در این راستا از عامل فرسایش خاک به‌عنوان برآیند تاثیر فعالیت‌های انسانی استفاده شد. به‌همین منظور، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی امنیت بوم‌شناختی در حوضه کوزه‌تپراقی واقع در بخش جنوبی استان اردبیل برنامه‌ریزی شد. نتایج به‌دست آمده می‌تواند در اولویت‌بندی امنیت بوم‌شناختی حوضه‌های کشور مورد استفاده قرار گیرد.

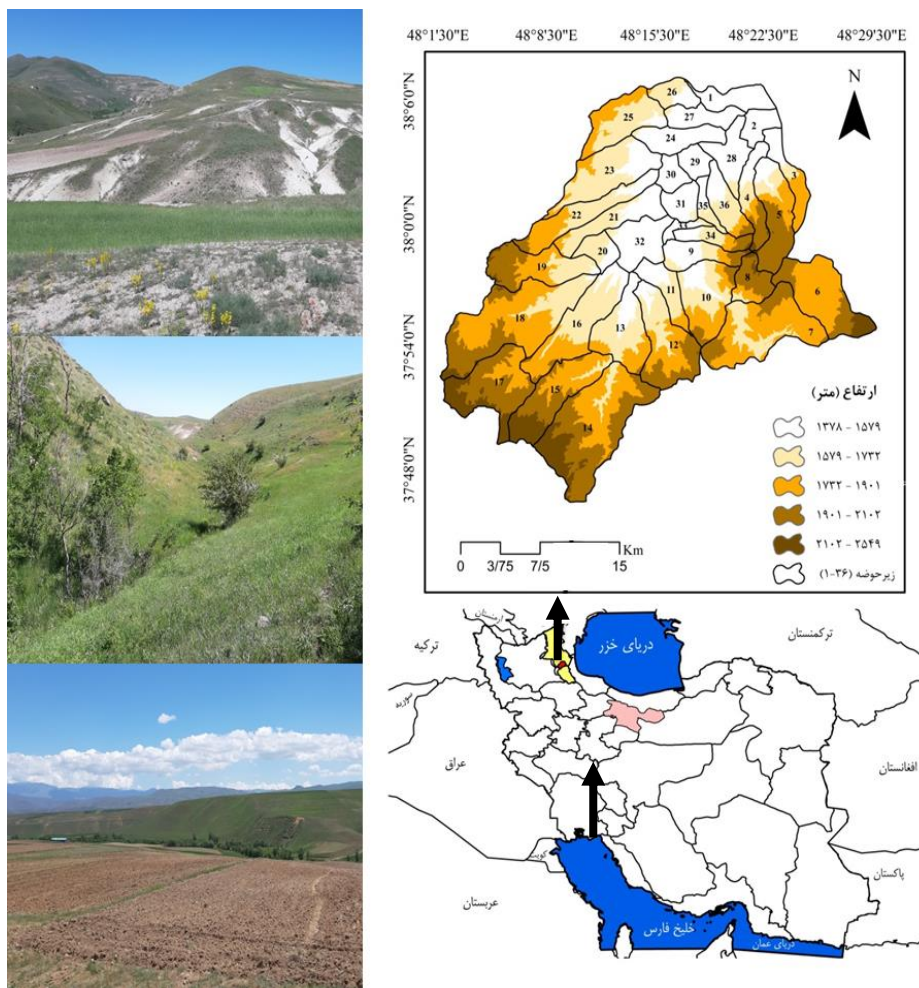
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوضه کوزه‌تپراقی واقع استان اردبیل است. حوضه کوزه‌تپراقی دارای مساحت ۸۰۵/۷۰ کیلومتر مربع و محیط ۱۴۸/۹۸ کیلومتر در قسمت جنوبی اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر واقع شده است و بخش زیادی از شهرستان نیر را در برمی‌گیرد. ضریب فشردگی برای حوضه کوزه‌تپراقی ۱/۴۷ می‌باشد که نشان‌دهنده کشیده بودن حوضه است. مناطق مسکونی حوضه کوزه‌تپراقی را ۶۵ روستا از جمله قلعه‌جوق، خان‌قشلاقی، جعفرلو و مولان شامل می‌شوند. قابل ذکر است که شهر کورائیم نیز به‌عنوان یکی از مراکز مهم جمعیتی در این حوضه قرار دارد. پایین‌ترین و بالاترین ارتفاع حوضه به‌ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۲۵۴۹ متر نسبت به سطح دریا گزارش شده است. همچنین، حداکثر و حداقل بارش در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب ۵۸۰ و ۳۱۸ میلی‌متر و حداکثر دما نیز برابر با ۹/۴ و ۴/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است. تراکم جمعیت ۹/۵۷ نفر بر کیلومتر مربع گزارش شده است (Alaei et al., 2020). در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

بر این بین نمودند که در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۵، املاک و مستغلات در پکن به‌شدت توسعه یافته است.

Guo & Wang (2019) به ارزیابی پایداری بوم‌شناختی جزیره تحت تاثیر شهرنشینی با استفاده از مدل فشار-پاسخ که شامل ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی است، پرداختند. نتایج پژوهش مذکور منجر به ارایه یک سیستم ارزیابی جدید مبتنی بر کاتاستروف، مجموعه شاخص‌های مصنوعی و شاخص‌های مدل کاتاستروف شد. Gu و Wang (۲۰۲۰) نیز به بررسی اثر امنیت اکولوژیکی بر پایداری شهری در غرب چین منطقه Xi'an با استفاده از مدل PSR پرداختند. نتایج نشان داد که امنیت اکولوژیکی اساساً پایدار و وضعیت کلی نزدیک به وضعیت امن است. با توجه به نتایج ارزیابی مشخص شد که اثر امنیت اکولوژیکی بر پایداری منطقه مورد مطالعه عمدتاً مربوط به تراکم بالای جمعیت، مصرف آب زیاد، سرانه مصرف انرژی زیاد، پوشش گیاهی کم و تراکم کم رودخانه‌هاست. اخیراً، Wen et al., (2021) به ارزیابی امنیت محیط زیستی سرزمین و تحلیل عوامل تاثیرگذار در حوضه دریاچه Chaohu واقع در چین از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان داد که گسترش مداوم اراضی شهری منجر به کاهش امنیت بوم‌شناختی می‌شود. در مقیاس منطقه اجرایی، سطح امنیت اکولوژیکی در طول دوره مطالعه متفاوت به‌دست آمد. در ایران نیز (Kavianirad 2011) به پردازش مفهوم امنیت محیط زیستی پرداختند. ایشان در پژوهش خود اذعان کردند که طرح مفاهیم امنیت انسانی و امنیت محیط زیستی با توجه به نقش فزاینده مخرب انسان در کره زمین و پیامدهای فضایی آن در قالب بحران‌های اجتماعی-سیاسی توجه پژوهش‌گران را به خود معطوف کرده است. همچنین، Hazbavi et al., (2021) به بررسی ناهمگونی فضایی امنیت بوم‌شناختی حوضه سامیان، استان اردبیل پرداختند. در این پژوهش یک روش ارزیابی جامع مبتنی بر تحلیل ابعاد مختلف امنیت مادی و معنوی حاکم بر ۲۷ زیرحوضه مطالعاتی مفهوم‌سازی و پیاده‌سازی شد. بدین‌منظور، اثرگذاری توسعه‌های شهری، صنعتی و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت و نیز ضرایب تامین، تقاضا و مشارکت فن‌آوری برای ارزیابی امنیت بوم‌شناختی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد حداقل مقدار این شاخص (۰/۴۳-) مربوط به زیرحوضه ۲۷ واقع در شمال غربی است. شهر اردبیل مرکز استان اردبیل در این زیرحوضه قرار دارد و شهری بودن و نبود کاربری زراعت، جنگل و باغ از جمله



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

روش پژوهش

– مفهوم‌سازی و تبیین روش ارزیابی امنیت بوم‌شناختی

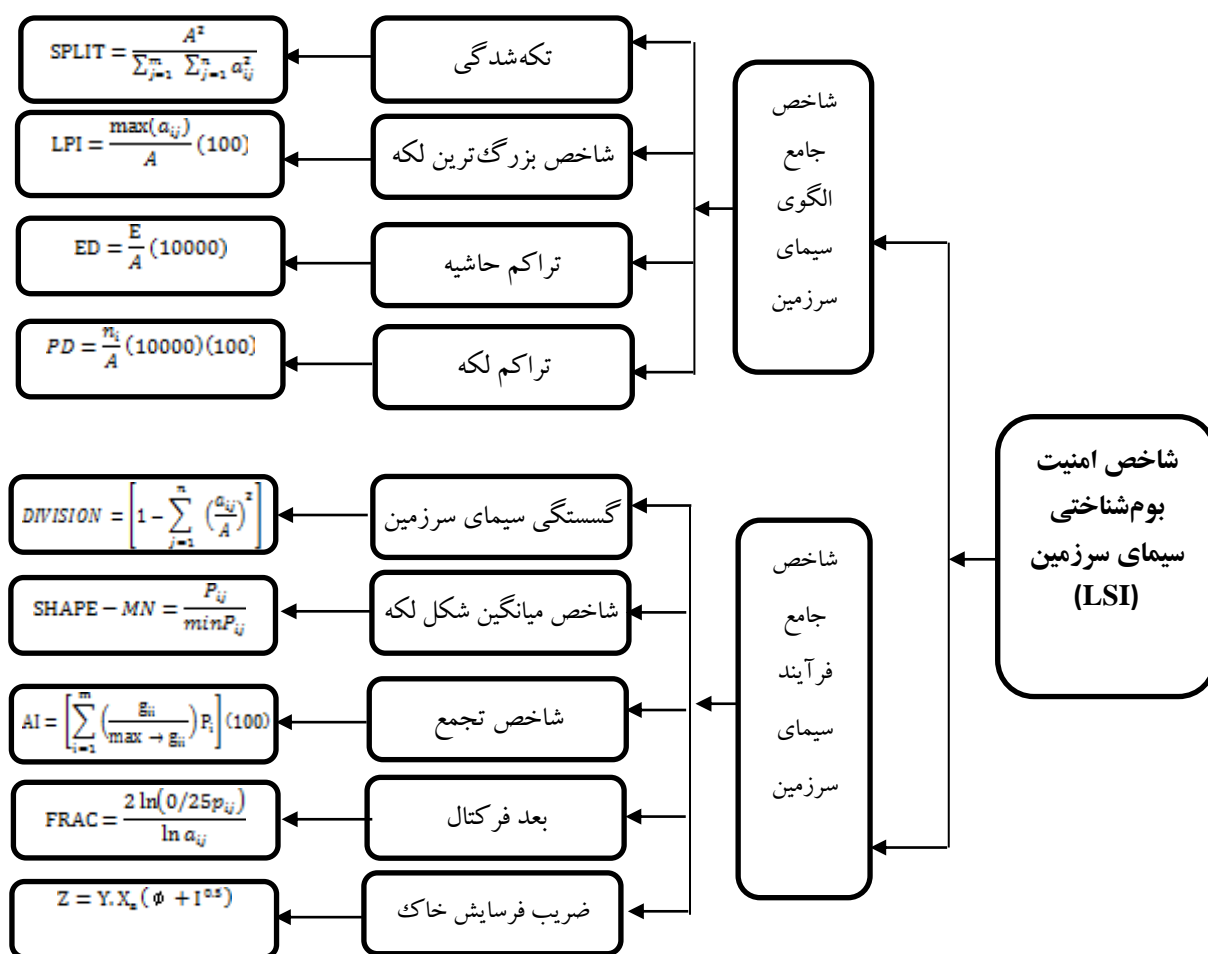
در این پژوهش امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی با استفاده از روش پیشنهادی Zhang et al., (2010) و مبتنی بر دو شاخص مهم و جامع الگو و فرآیند سیمای سرزمین مورد ارزیابی قرار گرفت. جامعیت و چندبعدی بودن سنج‌های سیمای سرزمین در بیان وضعیت آشفستگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌ویژه در قالب تغییر کاربری اراضی از الزامات اصلی انتخاب آن‌هاست (De Montis et al., 2017; Lam et al., 2018; Ghorbani et al., 2020). به‌همین منظور، ابتدا محاسبه شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین با استفاده از معیارهای تکه‌شدگی (SPLIT)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، تراکم حاشیه (ED) و تراکم لکه (PD) مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۲). در واقع این شاخص اثر آشفستگی‌های انسانی بر الگوی

سیمای سرزمین را منعکس می‌نماید. معیار تکه‌شدگی به تغییرات سیمای سرزمین برای استفاده انسان اشاره دارد. افزایش آن، اثر منفی بر تنوع زیستی دارد و یکی از دلایل عمده تخریب زمین به‌سبب کاهش پیوستگی حاکم بر سیمای سرزمین محسوب می‌شود (De Montis et al., 2017). بنابراین، تحلیل تکه‌شدگی سیمای سرزمین می‌تواند به منجر ارایه راهبردهای مؤثر در زمینه بهبود و حفاظت از سیمای سرزمین شود (Lam et al., 2018). شاخص بزرگ‌ترین لکه اشاره به نسبت بین مساحت بزرگ‌ترین لکه‌های هر طبقه به مجموع مساحت سیمای سرزمین دارد و هر چه مقدار آن بیش‌تر نشان‌دهنده امنیت بوم‌شناختی پایین‌تر است. تراکم حاشیه نشان‌دهنده این است که در صورت نبود حاشیه در سیمای سرزمین، مقدار عددی آن برابر صفر خواهد بود و زمانی اتفاق می‌افتد که کل سیمای سرزمین و مرز سیمای سرزمین، صرفاً شامل یک لکه باشد (McGarigal

نمایشی از پیچیدگی شکل ساختار سیما مورد استفاده قرار می‌گیرد (Uemaa et al., 2011). شاخص شکل لکه یک معادله سنجه تجمعی با ویژگی مکانی پراکندگی است (McGarigal, 2001). شاخص تجمع بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است، که هر چه مقدار عددی این شاخص به ۱۰۰ نزدیک شود نشان‌دهنده افزایش پیوستگی می‌باشد (McGarigal, 2001; McGarigal et al., 2002). هم‌چنین، بعد فراکتال نشان‌دهنده پیچیدگی شکل در طیف وسیعی از مقیاس‌های مکانی (اندازه لکه) است. ابعاد فراکتال بزرگ‌تر از یک برای لکه دوبعدی نشان‌دهنده خروج از هندسه اقلیدسی است (McGarigal, 2001; Alaei et al., 2020). در نهایت، ضریب شدت فرسایش قابل محاسبه از روش پتانسیل فرسایش (EPM)^(۸) محاسبه شد که به‌عنوان یک معیار چندعملکردی از مجموعه فعالیت‌های مخرب منابع آب و خاک حوضه در نظر گرفته می‌شود (Ghorbani et al., 2020).

برای اندازه‌گیری میزان اتصال و پیوستگی کاربری‌ها، می‌توان از سنجه تراکم لکه استفاده کرد. بدین ترتیب که اتصال بین لکه‌ها به‌صورت معکوس با سنجه تراکم لکه ارتباط دارد. یعنی با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک‌تر و منظم‌تر می‌شوند (Kang et al., 2013).

هم‌چنین شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین^(۸) برای ارزیابی اثر دخالت‌ها و آشفتگی‌ها بر فرآیندهای سیمای سرزمین را نشان می‌دهد که بر اساس معیارهای گسستگی (DIVISION)، شاخص میانگین شکل لکه (AREA-MN)، شاخص تجمع (AI)، بعد فراکتال (FRACTAL) و ضریب شدت فرسایش خاک (Z) محاسبه شد (شکل ۲). معیار گسستگی سیما اشاره به توصیف دخالت انسان‌ها و میزان انسجام سیمای سرزمین بر اساس عملکرد توزیع اندازه‌های باقی‌مانده دارد (McGarigal et al., 2002). شاخص میانگین شکل لکه نیز به‌عنوان سنجهای



شکل (۲): مراحل ارزیابی امنیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین حوضه کوزه‌تپراقی، استان اردبیل (منبع رابطه‌های محاسبه سنج‌های سیمای سرزمین: McGarigal, 2001; McGarigal et al., 2002)

در نرم‌افزار Fragstats، سه فایل خروجی به صورت متنی شامل لکه^(۱۱)، کلاس^(۱۲) و سیما^(۱۳) به دست می‌آید که در پژوهش حاضر فقط از دو خروجی آن شامل کلاس و سیما برای هر یک از زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی استفاده شد. هم‌چنین، برای کمی کردن ضریب شدت فرسایش خاک از EPM استفاده شد (Esmali & Abdollahi, 2011). در این روش ضریب شدت فرسایش بر اساس تلفیق ریاضیاتی ضریب فرسایش حوضه (ϕ)، ضریب استفاده از زمین (X_a)، ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوضه به شرح رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$Z = Y \cdot X_a (\phi + I^{0.5}) \quad (2)$$

برای محاسبه چهار ویژگی مورد استفاده در رابطه (۲) از داده‌های موجود (Hazbavi et al., 2021; Alaei et al., 2020) استفاده شد.

نتایج و بحث

– تحلیل الگوی مکانی کاربری اراضی

نتایج حاصل از تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه کوزه‌تپراقی در شکل (۳) نشان داده شده است که نشان می‌دهد سیمای سرزمین حوضه کوزه‌تپراقی را مراتع، زراعت، برونزد سنگی و مسکونی به ترتیب با مقدار ۲۹/۱۳، ۶۴/۷۷، ۳/۵۰ و ۰/۸۰ درصد تشکیل داده است. بیش‌ترین مساحت متعلق به برونزد سنگی که بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه را تشکیل داده است. هر چند مناطق مسکونی در اکثر زیرحوضه‌ها مشاهده می‌شوند و نشان‌دهنده توزیع جغرافیایی دخالت‌های انسانی می‌باشد. در سایر پژوهش‌ها (Hazbavi et al., 2020) تغییرات سطح کاربری اراضی در این حوضه نیز گزارش شده است به نحوی که بر سلامت حوضه به‌طور معکوس اثر گذاشته و در کنار سایر عوامل مهمی از جمله تراکم جمعیت تغییرات سطح کاربری اراضی و فرسایش موجب ایجاد اختلال در عملکرد حوضه کوزه‌تپراقی و افت سلامت شده است. طبق پیش‌بینی‌ها و سناریوهای مختلف بررسی شده توسط (Aghaei et al., 2020) و (Khavarian et al., 2020) شواهدی از تغییر کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ گزارش شده که بر فرآیندهای هیدرولوژیکی بی‌تاثیر نبوده است و نیز تا سال ۲۰۳۶ این تغییرات کاربری اراضی ادامه خواهد داشت. تمام این یافته‌ها مؤید ضرورت توجه به مسائل

کلیه مقادیر معیارهای ارزیابی امنیت بوم‌شناختی بر حسب ارتباط مثبت و منفی هر کدام از آن‌ها با مفهوم امنیت بوم‌شناختی استاندارد شدند (Hazbavi et al., 2020, 2021). سپس دو شاخص جامع الگو و فرآیند سیمای سرزمین به صورت جداگانه با استفاده از میانگین هندسی معیارها به دست آمدند. در نهایت، به محاسبه شاخص امنیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین^(۱۰) طبق رابطه (۱) برای کل حوضه کوزه‌تپراقی و زیرحوضه‌های آن پرداخته شد (Zhang et al., 2010).

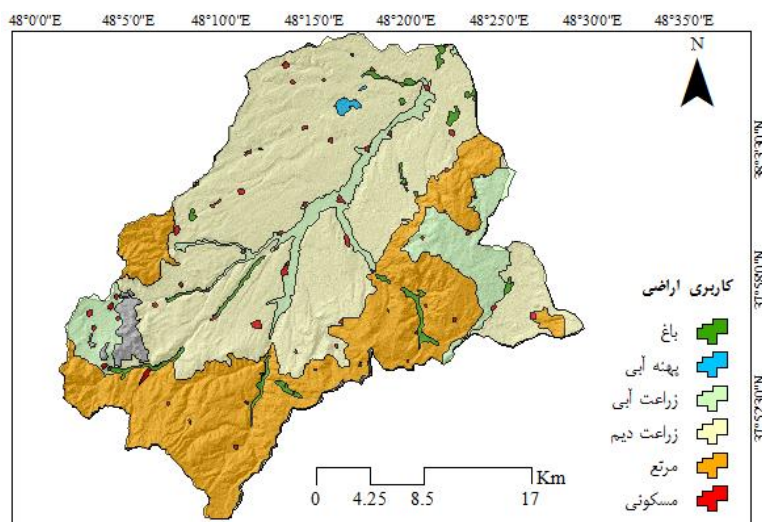
$$LSI = \sum_{i=1}^N \frac{A_{ki}}{A_k} (1 - 10E_i \times P_i)$$

در این رابطه، LSI ، A_{ki} ، A_k ، E_i و P_i به ترتیب بیان‌گر شاخص امنیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین، مساحت هر زیرحوضه، مساحت کل حوضه، شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین و شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین هستند. در ادامه، درجه امنیت بوم‌شناختی در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی و پهنه‌بندی شد و وضعیت امنیت بوم‌شناختی با لحاظ تغییرات مکانی و نیز عوامل مؤثر در ۳۶ زیرحوضه مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت.

– نحوه محاسبه معیارهای ارزیابی امنیت بوم‌شناختی

همان‌گونه قبلاً اشاره شد امنیت بوم‌شناختی در پژوهش حاضر مبتنی بر محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین و ضریب شدت فرسایش خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. از آنجایی که نقشه کاربری اراضی مبنای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین است، لذا در ابتدا نسبت به به‌روز رسانی نقشه کاربری اراضی حوضه کوزه‌تپراقی تهیه شده در مطالعات پیشین (Alaei et al., 2020; Hazbavi et al., 2020) با بهره‌گیری از نرم‌افزار Google Earth و ArcGIS 10.8 اقدام شد. سپس، نقشه کاربری اراضی تهیه شده به فرمت رستری تبدیل و وارد نرم‌افزار Fragstats به منظور محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین شد. تمام سنجه‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و رابطه محاسباتی آن‌ها در این نرم‌افزار در شکل (۲) ارائه شده است. قابلیت این نرم‌افزار در محاسبه طیف وسیعی از سنجه‌ها سیمای سرزمین در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است (McGarigal, 2002; Ghorbani et al., 2002; Ene, 2013; Alaei et al., 2020). به‌زای هر ورودی

امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی و سایر مناطق دارای شرایط مشابه هستند.



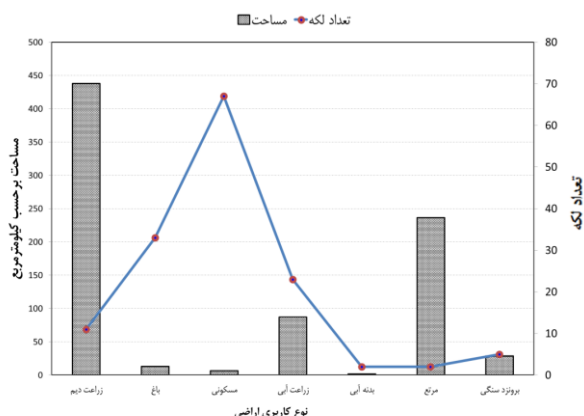
شکل (۳): نقشه کاربری اراضی حوضه کوزه‌تپراقی، سال ۱۳۹۹ (Alaei et al., 2022)

الگوی سیمای سرزمین را دارد که نشان‌دهنده تخریب این کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه است. نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر مطابق یافته‌های Zhang et al., (2010) است که بیان کرده‌اند شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در کاربری که دخالت‌های انسانی در آن زیاد بوده، بیش‌تر است. همچنین، Khavarian et al., (2020) به لزوم احیاء مراتع در یکی از سناریوهای مدیریت منابع حوضه کوزه‌تپراقی اشاره کردند که با نتایج حاضر مبنی بر پایین بودن مقدار شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در این کاربری اراضی و نیز امنیت بالای آن نسبت به سایر کاربری‌ها همخوانی دارد.

– شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در سطح کلاس نتایج به‌دست آمده از محاسبه معیارهای تکه‌شدگی، شاخص بزرگ‌ترین لکه، تراکم حاشیه و تراکم لکه مورد استفاده در تحلیل شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در جدول (۱) ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر مقدار شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین برابر با ۰/۴۵ متعلق به کاربری زراعت دیم و حداقل مقدار آن که حدود صفر است، متعلق به کاربری مرتع است. از آنجایی که این شاخص، آشفتگی سیمای سرزمین را در اثر دخالت‌های انسانی نشان می‌دهد، بالا بودن مقدار آن برای کاربری زراعت دیم نشان از دخالت انسانی دارد. پس از کاربری زراعت دیم، کاربری زراعت آبی بیش‌ترین شاخص جامع

جدول (۱): معیارهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در سطح کلاس

شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین	تراکم لکه (PD)	تراکم حاشیه (ED)	شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)	شاخص تکه‌شدگی (SPLIT)	مساحت (هکتار)	سنجه	کاربری اراضی
۰/۴۵	۰/۰۱	۴/۶۵	۵۰/۳۶	۳/۹۲	۴۳۸۲۱/۰۰		زراعت دیم
۰/۰۲	۰/۰۴	۱/۶۴	۰/۲۷	۵۸۲۶۶/۰۹	۱۲۸۰/۲۵		باغ
۰/۰۰	۰/۰۸	۱/۰۷	۰/۰۶	۵۵۶۹۵/۹۱	۶۴۸/۰۰		مسکونی
۰/۱۴	۰/۰۳	۲/۹۱	۴/۹۰	۲۶۲/۵۳	۸۶۹۸/۵۰		زراعت آبی
۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۲۰	۲۴۲۰۸۹/۳۸	۱۷۷/۷۵		بدنه آبی
۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۳۵	۲۸/۶۹	۱۲/۱۵	۲۳۶۲۲/۷۵		مرتع
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۶۳	۲/۲۸	۱۵۴۵/۴۰	۲۸۳۹/۵۰		برونزد سنگی



شکل (۴): تعداد لکه‌ها و مقادیر مساحت کاربری‌های اراضی در حوضه کوزه‌تپراقی

– شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین در سطح کلاس – نتایج به‌دست آمده از محاسبه معیارهای گسستگی سیما، میانگین شکل لکه، شاخص تجمع و بعد فرکتال مورد استفاده در تحلیل شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین در جدول (۲) ارائه شده است. مقدار متوسط گسستگی سیما در کاربری‌های مختلف بین ۰/۷۵ تا ۱/۰۰ متغیر است که هر چه گسستگی در سیمای سرزمین بیش‌تر باشد نشان‌دهنده کاهش میزان پیوستگی بوده و در نتیجه امنیت بوم‌شناختی کاهش می‌یابد (Nazarnejad et al., 2019)، در همین راستا، مراتع و زراعت دیم در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی نسبت به سایر کاربری‌های اراضی از نظر گسستگی از اتصال و پیوستگی کم‌تری برخوردار هستند. میانگین شکل لکه در کل کاربری‌های حوضه مورد مطالعه بیش‌تر از یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده بی‌نظمی بالای شکل لکه‌های سیمای سرزمین در کل حوضه مورد مطالعه است. میانگین و انحراف معیار میانگین شکل لکه به‌ترتیب برابر با ۰/۷۸ و ۰/۷۳ محاسبه شد. بهترین وضعیت میانگین شکل لکه در مسکونی (۱/۰۲) و بدترین شرایط برای مراتع خوب (۲/۷۵) به‌دست آمد. با توجه به جدول (۲)، نتایج نشان می‌دهد که در همه کاربری‌های مورد بررسی شکل لکه‌ها پیچیده هستند. اگر شاخص میانگین شکل لکه بزرگ‌تر از یک باشد، پیچیدگی شکل چشم‌انداز منطقه بیش‌تر می‌شود و امنیت سیمای سرزمین کاهش می‌یابد (Gao et al., 2012). دامنه تغییرات شاخص تجمع در سطح کل کاربری‌ها محدود و بین ۹۰/۰۰ تا ۹۶/۸۲ بوده است و بعد فرکتال نیز دارای شرایط مشابه و دامنه تغییرات ۱/۰۳ تا ۱/۰۹ است.

حداقل و حداکثر تکه‌شدگی مربوطه در زراعت دیم در حدود ۳/۹۳ و در مسکونی برابر با ۵۵۶۹۵۰/۹۱ است. وجود تراکم بالای لکه در حوضه نشان‌دهنده تخریب کاربری اراضی است که باعث افزایش تکه‌شدگی نیز شده است. پایین بودن سنجه بزرگ‌ترین لکه به‌معنی تکه‌شدگی بیش‌تر سیمای سرزمین است (Alaei et al., 2020). هم‌چنین سنجه شاخص بزرگ‌ترین لکه نشان داد که اگرچه زراعت دیم از نظر شاخص بزرگ‌ترین لکه در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی غالب است، اما مراتع نیز با مقدار (۲۸/۶۹) از وضعیت خوب شاخص بزرگ‌ترین لکه برخوردار است. این نشان می‌دهد که ارتباط و انسجام نسبتاً خوبی از نظر کاربری مراتع در حوضه مورد مطالعه وجود دارد. در سطح کلاس، هرچه لکه بزرگ‌تر باشد، تراکم حاشیه نیز بیش‌تر خواهد بود. نتایج نشان داد که کاربری زراعت دیم دارای بالاترین تراکم حاشیه است. این نتیجه تأیید می‌کند که لکه‌های دارای زراعت دیم (۴/۶۵ متر در هکتار) و در ادامه زراعت آبی و مراتع در حوضه مورد مطالعه از مقادیر بالاتری از تراکم حاشیه تشکیل شده‌اند. شکل ۴، تغییرات تعداد لکه‌ها در مساحت انواع کاربری اراضی را نشان می‌دهد. این نتایج ضرورت تبیین راهبردهای مدیریتی مناسب با نوع کاربری اراضی را مورد تأکید قرار می‌دهد، بدین‌صورت که مناطق مسکونی علی‌رغم داشتن مساحت بسیار کم‌تر نسبت به سایر کاربری‌ها، دارای حداکثر تعداد لکه‌هاست. لذا اتخاذ بهترین اقدامات مدیریتی با تأکید بر حوضه‌های شهری یکی از ضرورت‌های مدیریت و برنامه‌ریزی منطقه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد.

تعداد لکه برای اندازه‌گیری میزان گسستگی سیمای سرزمین به‌کار می‌رود و حداقل مقدار آن یک است که نشان‌دهنده این است که محدوده مورد مطالعه فقط دارای یک لکه یکپارچه است (Kiyani and Fegghi, 2015). تعداد لکه‌ها اغلب محدودیت تفسیری دارد، زیرا هیچ اطلاعاتی درباره منطقه، توزیع یا تراکم لکه‌ها ارائه نمی‌دهند. البته، اگر سطح کل سیمای سرزمین ثابت نگه داشته شود، تعداد لکه‌ها اطلاعات مشابه با تراکم یا اندازه لکه را بیان می‌کند و ممکن است شاخص مفیدی برای تفسیر باشد (McGarigal and Ene, 2013). با توجه به نتایج شکل (۴) بیش‌ترین تعداد لکه‌ها برای مسکونی و کم‌ترین آن برای بدنه‌های آبی به‌دست آمد.

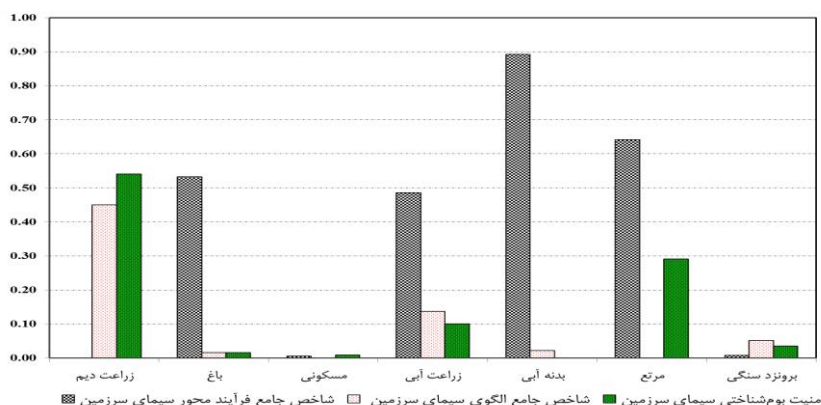
جدول (۲): نتایج معیارهای مورد استفاده در تجزیه و تحلیل شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین در سطح کلاس

کاربری اراضی	سنجه	گسستگی سیما	میانگین شکل لکه	شاخص تجمع بعد فرکتال	ضریب شدت فرسایش خاک (Z)	شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین
زراعت دیم	۰/۷۵	۱/۵۱	۹۶/۸۲	۱/۰۳	۱/۱۷	۰/۰۰
باغ	۱/۰۰	۱/۵۳	۶۳/۰۳	۱/۰۶	۱/۰۵	۵۳/۰
مسکونی	۱/۰۰	۱/۰۶	۵۲/۵۸	۱/۰۲	۱/۱۴	۰/۰۰
زراعت آبی	۱/۰۰	۱/۵۶	۹۰/۰۱	۱/۰۵	۱/۰۷	۰/۴۹
بدنه‌های آبی	۱/۰۰	۱/۳۹	۹۰/۰۰	۱/۰۶	۰/۳۰	۰/۸۹
مرتع	۰/۹۲	۲/۷۵	۹۶/۷۲	۱/۰۹	۰/۷۴	۰/۶۴
برونزد سنگی	۱/۰۰	۱/۵۷	۹۴/۳۷	۱/۰۶	۰/۸۳	۰/۰۱

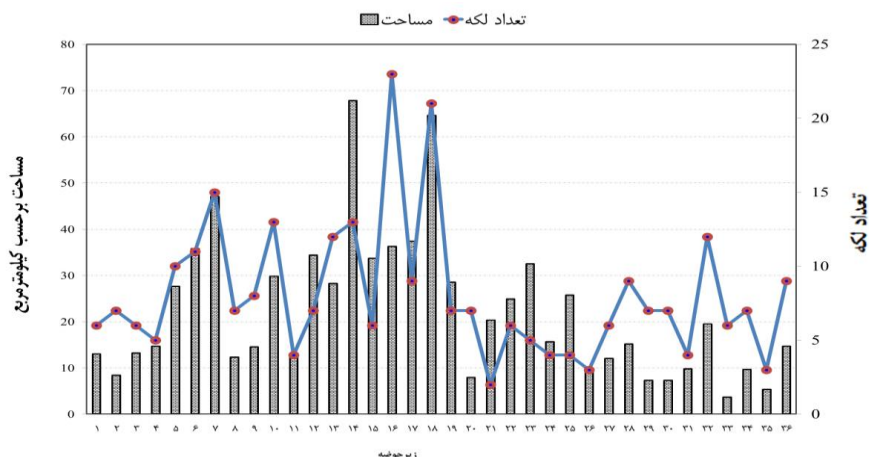
– درجه امنیت بوم‌شناختی در سطح کلاس

با توجه به شکل (۵)، بیش‌ترین امنیت بوم‌شناختی در کاربری زراعت دیم (۰/۵۴) و کم‌ترین مقدار مربوط به بدنه آبی و برونزد سنگی با مقدار عددی (۰/۰۲) اختصاص داده شد. این در حالی است که مرتع (۰/۲۹) در اولویت دوم از لحاظ امنیت بوم‌شناختی قرار گرفت. همچنین شاخص امنیت بوم‌شناختی برای زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی با توجه به معیارهای مورد بررسی در تحلیل شاخص‌های جامع الگو و فرآیند سیمای سرزمین مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۶) ارایه شده است. با توجه به همین شکل، بیش‌ترین تعداد لکه در زیرحوضه ۱۶ و کم‌ترین آن در زیرحوضه ۲۱ است. همچنین برای اندازه‌گیری میزان اتصال و پیوستگی کاربری‌ها، از سنجه تراکم لکه استفاده شد. بدین ترتیب که پیوستگی بین لکه‌ها به صورت معکوس با سنجه تراکم لکه ارتباط دارد. یعنی با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک‌تر و منظم‌تر می‌شوند (Kang et al., 2013).

هر چه مقدار عددی ابعاد فرکتال افزایش یابد، پیچیدگی بین لکه‌ها افزایش یافته و در نتیجه پیوستگی کم شده و امنیت بوم‌شناختی کاهش می‌یابد (Yu et al., 2018). همچنین، برای تمامی کاربری‌های اراضی مورد بررسی بعد فرکتال بیش‌تر از یک است که نشان‌دهنده بی‌نظمی متوسط در شکل لکه‌های کاربری اراضی است. در پژوهش (Alaei et al., 2020) نیز شاخص فرکتال به‌عنوان یکی از سنجه‌های مناسب ارزیابی و مقایسه پیوستگی سیمای سرزمین حوزه کوزه تپراقی معرفی شده است. همچنین نتایج ایشان نشان داد که در تمام زیرحوضه‌های دارای لکه‌های سبز (باغ و مرتع) مقدار شاخص فرکتال در دامنه ۱/۰۳ تا ۱/۰۸ به‌دست آمد که نشان می‌دهد در تمام زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی، لکه‌های سبز (باغ و مرتع) شکل‌های پیچیده‌ای داشته، و تقریباً می‌توان گفت دارای پیوستگی متوسط هستند. همچنین میانگین و انحراف معیار ضریب شدت فرسایش خاک در حوضه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۰/۹۰ و ۰/۳۱ به‌دست آمد و دامنه تغییرات بسیار بالایی را در سطح حوضه نشان می‌دهد.



شکل (۵): تغییرات شاخص‌های ارزیابی امنیت بوم‌شناختی سیمای سرزمین در سطح کلاس



شکل (۶): تعداد لکه‌ها و مقادیر مساحت در هر یک از زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی

از طرف دیگر چون تمام زیرحوضه از یک لکه کشاورزی تشکیل شده مبنی بر سالم بودن این حوضه از لحاظ بوم‌شناختی نیست. زیرا که مقدار متوسط شاخص سلامت در این زیرحوضه برابر با ۰/۰۹ به‌دست آمد که نشان از امنیت بوم‌شناختی کم آن است. در حالت کلی نتایج بررسی معیارهای شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین حاکی از تخریب بیش‌تر در پایین‌دست حوضه کوزه‌تپراقی است که با نتایج (Hazbavi et al., 2020) مبنی بر بالا بودن میزان فشار در مناطق پایین‌دست حوضه کوزه‌تپراقی نسبت به مناطق بالادست هم‌خوانی دارد.

شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین در مقیاس زیرحوضه
طبق نتایج به‌دست آمده برای محاسبه شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین مشخص شد که حداکثر و حداقل شاخص گسستگی حوضه کوزه‌تپراقی در زیرحوضه‌های ۹ و ۲۶ به‌ترتیب با مقدار عددی ۰/۷۵ و ۰/۰۱ به‌دست آمد. هم‌چنین میانگین شاخص گسستگی برای حوضه مورد مطالعه ۰/۳۹ محاسبه شد. هر چه مقادیر شاخص‌های میانگین شکل لکه و بعد فرکتال که هر دو بی‌نظمی را نشان می‌دهند، بیش‌تر از یک باشند، نشان‌دهنده تخریب بیش‌تر در آن سیمای سرزمین است (Alaei et al., 2020). حداکثر و حداقل مجموع میانگین شکل لکه به‌ترتیب در زیرحوضه‌های ۳۱ و ۳۰ با مقدار ۲/۰۷ و ۱/۲۶ برآورد شد. حداکثر بعد فرکتال در زیرحوضه ۲۱ با مقدار عددی ۱/۱۱ و حداقل آن با مقدار ۱/۰۴ در زیرحوضه ۲۶ قرار گرفت. شاخص تجمع در زیرحوضه ۲۶ (۹۹/۷۹) حداکثر و در زیرحوضه ۱۶ (۹۷/۶۴) حداقل مقدار را به خود اختصاص داد. حداکثر و حداقل مقدار ضریب

شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین در مقیاس زیرحوضه
طبق نتایج به‌دست آمده برای محاسبه شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین مشخص شد که حداکثر و حداقل تراکم لکه حوضه کوزه‌تپراقی در زیرحوضه‌های ۳۳ و ۲۱ به‌ترتیب با مقدار عددی ۱/۶۴ و ۰/۱۰ متر در هر ۱۰۰ هکتار به‌دست آمد. هم‌چنین میانگین تراکم لکه برای حوضه مورد مطالعه ۰/۴۷ به‌دست آمد. تراکم بالای لکه در زیرحوضه ۳۳، نشان‌دهنده افزایش تخریب زمین است که ۱۰۰ درصد مساحت این زیرحوضه را زمین کشاورزی تشکیل داده و این امر منجر به افزایش تکه‌شدگی شده است. شاخص بزرگ‌ترین لکه در حوضه کوزه‌تپراقی با میانگین و انحراف معیار $۶۹/۶۸ \pm ۲۱/۹۶$ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین حداکثر و حداقل مجموع شاخص بزرگ‌ترین لکه به‌ترتیب در زیرحوضه‌های ۲۱ و ۳۱ با مقدار ۹۹/۳۵ و ۳۳/۷۰ درصد برآورد شد (جدول ۱).

حداکثر تراکم حاشیه در زیرحوضه ۲۷ با مقدار عددی ۱۳/۸۵ متر در هر ۱۰۰ هکتار و حداقل با مقدار ۰/۸۳ متر در هر ۱۰۰ هکتار در زیرحوضه ۲۱ قرار گرفت. تکه‌شدگی در زیرحوضه ۹ (۴/۰۵) حداکثر و در زیرحوضه ۲۱ (۱/۰۱) حداقل مقدار را به خود اختصاص داد که ۱۰۰ درصد مساحت زیرحوضه ۲۱ را کاربری زراعت دیم تشکیل داده است. در راستای نتایج پژوهش حاضر، (Hazbavi et al., 2020) در ارزیابی سلامت حوضه کوزه‌تپراقی اذعان کردند که در حالت کلی زیرحوضه‌هایی که در طبقه خیلی کم تکه‌شدگی قرار گرفتند دارای بیش‌ترین مساحت کاربری زراعت دیم بوده‌اند. از این رو می‌توان گفت که زراعت در شرایطی می‌تواند انجام شود که موجب تخریب بوم‌سازگان نشود.

شدت فرسایش خاک در زیرحوضه‌های ۶ و ۱۷ واقع در قسمت جنوبی حوضه به ترتیب با مقدار عددی ۱/۷ و ۰/۵ برآورد شد.

– درجه امنیت بوم‌شناختی در مقیاس زیرحوضه

در شکل (۷)، تغییرات مکانی شاخص‌های جامع الگوی سیمای سرزمین و فرآیند سیمای سرزمین و شاخص امنیت بوم‌شناختی در هر یک از زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی ارایه شده است. نتایج حاصل از ارزیابی و پهنه‌بندی امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی (جدول ۳ و شکل ۷) نشان داد که مقدار متوسط و انحراف معیار شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین به ترتیب برابر با ۰/۲۸ و ۰/۱۶ است. این شاخص در بخش شرقی و شمال شرقی حوضه بیش‌ترین مقدار را دارد. همچنین توزیع مکانی شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین (شکل ۷) برای حوضه کوزه‌تپراقی ۴۴ درصد (۳۵۲/۷۵ کیلومترمربع) در طبقه خیلی کم، ۳۸ درصد (۳۰۱/۲۳ کیلومترمربع) در طبقه کم و ۱۸ درصد (۱۴۷/۴۲ کیلومترمربع) طبقه متوسط قرار گرفتند. در حالت کلی بر اساس شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین نتایج حاکی از تخریب در زیرحوضه‌هایی که دارای کاربری کشاورزی بودند و همچنین مساحت آن کاربری کشاورزی است، بیش‌تر بود. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج (Alaei et al., 2020) مبنی بر این‌که تعدد کاربری در زیرحوضه‌ها امنیت بوم‌شناختی آن را کاهش می‌دهد، مطابقت دارد. با توجه به نتایج (شکل ۸)، در زیرحوضه ۳۳ (۰/۵۹) حداکثر و در زیرحوضه ۲۱ (صفر) حداقل مقدار این شاخص محاسبه شد. در ارتباط با شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین، حوضه کوزه‌تپراقی دارای میانگین و انحراف معیار به ترتیب برابر با ۰/۳۷ و ۰/۱۶ است. توزیع مکانی شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین (شکل ۶) برای حوضه کوزه‌تپراقی به این صورت بود که ۳۰ درصد (۲۳۹/۹۲ کیلومترمربع) در طبقه خیلی کم، ۲۵ درصد (۲۰۰/۹۵ کیلومترمربع) در طبقه کم، ۴۳ درصد (۳۴۷/۴۶ کیلومترمربع) در طبقه متوسط و ۲ درصد (۱۲/۰۷ کیلومترمربع) در طبقه زیاد، که مربوط به زیرحوضه ۱۹ (در بخش جنوب غربی) است، قرار گرفت. باتوجه به نتایج (شکل

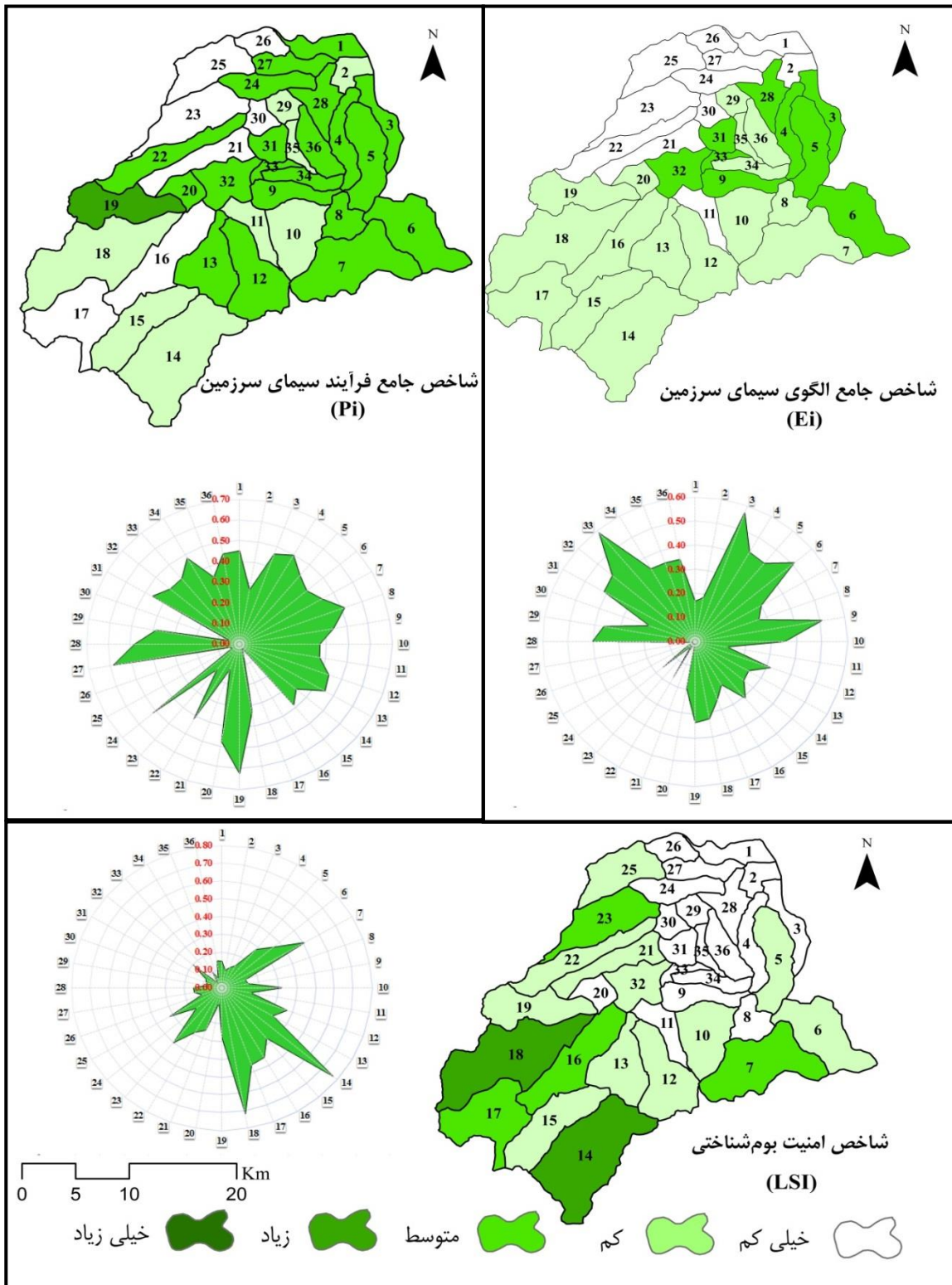
۸)، در زیرحوضه ۱۹ (۰/۶۳) حداکثر و در زیرحوضه ۱۶ (۰/۰۲) حداقل مقدار را به خود اختصاص داد.

در ارتباط با شاخص امنیت بوم‌شناختی کل حوضه که از میانگین هندسی شاخص‌های جامع الگوی سیمای سرزمین و جامع فرآیند سیمای سرزمین به دست آمده است می‌توان گفت که در حوضه کوزه‌تپراقی مقدار این شاخص برابر با ۰/۱۸ است. همچنین با توجه به نتایج پهنه‌بندی، حوضه کوزه‌تپراقی در وضعیت نسبتاً کم از لحاظ امنیت بوم‌شناختی ارزیابی شد. یعنی طبقات امنیت در این حوضه شامل خیلی کم، کم، متوسط و زیاد بوده و عمده زیرحوضه‌ها (حدود ۴۴ درصد) مربوط به طبقه خیلی کم است. به طوری که حداکثر مقدار شاخص امنیت بوم‌شناختی با مقدار ۰/۷۸ مربوط به زیرحوضه‌های ۱۴ و حداقل مقدار این شاخص با مقدار ۰/۰۳ مربوط به زیرحوضه ۳۳ است. وضعیت امنیت بوم‌شناختی در قسمت جنوب و جنوب شرقی حوضه در وضعیت خیلی زیاد و متوسط قرار گرفته است و وضعیت بهتری از امنیت بوم‌شناختی حوضه در قسمت‌های شمال غربی و شمالی دارد. در حالت کلی برای حوضه کوزه‌تپراقی، ۳۹ درصد (۳۰۹/۴۲ کیلومترمربع)، نه درصد (۷۲/۸۴ کیلومترمربع) و هشت درصد (۶۵/۵۸ کیلومترمربع) از منطقه به ترتیب در وضعیت‌های امنیت بوم‌شناختی کم، متوسط و زیاد قرار گرفتند.

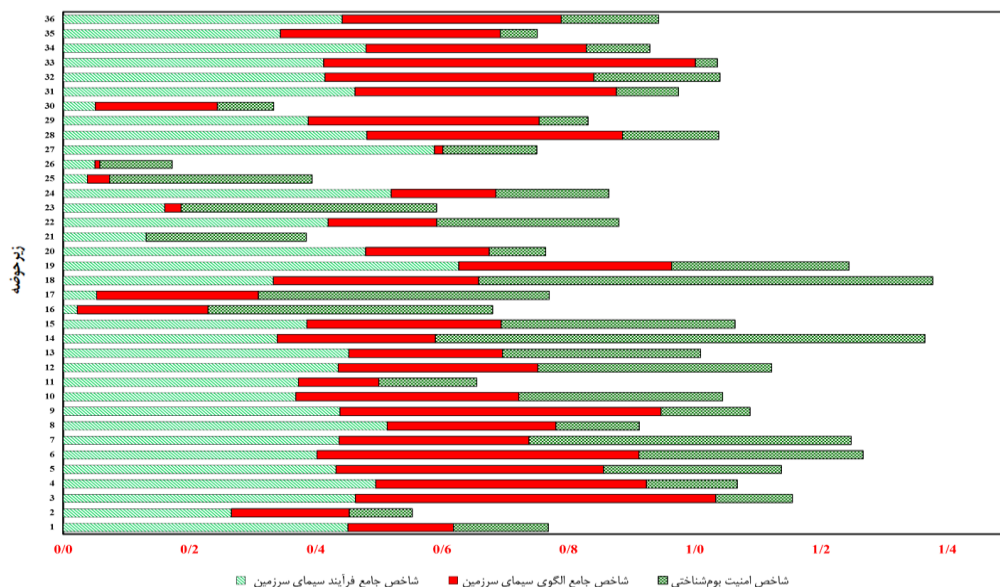
در حالت کلی نتایج نشان داد کم‌ترین امنیت در زیرحوضه‌هایی است که تمام مساحت آن را کاربری کشاورزی تشکیل داده است که این نتیجه با نتایج (Dai et al., 2010) مبنی بر اینکه زوال امنیت بوم‌شناختی عمدتاً وابسته به عوامل اجتماعی-اقتصادی و صنعتی و در اصل تغییر کاربری بوده است، مطابقت دارد. همچنین، (Wen et al., 2021) گسترش مداوم اراضی شهری را عامل کاهش امنیت بوم‌شناختی ذکر کرده‌اند. (Hazbavi et al., 2021) در پژوهش خود روی حوضه سامیان واقع در بخش مرکزی استان اردبیل ادعان کردند که شهری بودن و نبود کاربری جنگل و باغ از جمله ویژگی‌های است که منجر به قرار گرفتن حوضه در وضعیت ناامن بوم‌شناختی می‌شود.

جدول (۳): ویژگی‌های توصیفی شاخص‌های ارزیابی امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی

شاخص‌ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شاخص جامع الگوی سیمای سرزمین	۰/۰۰	۰/۵۹	۰/۲۸	۰/۱۶
شاخص جامع فرآیند سیمای سرزمین	۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۳۷	۰/۱۶
شاخص امنیت بوم‌شناختی	۰/۰۳	۰/۷۸	۰/۲۵	۰/۱۸



شکل (۷): مقادیر شاخص‌های مورد بررسی و امنیت بوم‌شناختی در زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی



شکل (۸): تغییرات مقادیر شاخص‌های مورد بررسی و امنیت بوم‌شناختی در زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی

نتیجه‌گیری

می‌دهد. در صورتی که فعالیت‌های انسانی در حد مجاز امنیت بوم‌شناختی باشند، توسعه و بهره‌برداری از منابع بوم‌شناختی به‌طور ناگزیر منجر به تخریب نخواهند شد. بنابراین انجام مطالعات مربوط به امنیت بوم‌شناختی منجر به حفاظت از محیط‌زیست شکننده و توسعه پایدار محلی محیط‌زیست می‌شود. همچنین نتایج حاضر می‌توانند در موضوعات مختلف مانند برنامه‌ریزی کاربری اراضی، ارزیابی اثرات بوم‌شناختی و مدیریت منابع طبیعی قابل کاربرد باشند. نتایج حاضر می‌تواند در اولویت‌بندی انجام اقدامات احیاء پوشش گیاهی با هدف تقویت وضعیت بوم‌شناختی منطقه مورد توجه قرار گیرد. با توجه به شرایط خاص منطقه در مناطق بالادست و لزوم حفظ تنوع‌زیستی در بوم‌سازگان‌های مرتعی، نتایج پژوهش می‌تواند در جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و حفظ یکپارچگی حوضه کمک نماید.

یادداشت‌ها

1. Ecological Security (ES)
2. Sustainable Development Goals
3. Integrated Landscape Pattern Index
4. Cellular Automata Markov
5. Pressure Status Response Pattern
6. Remotely Sensed Data
7. Entropy Matter-Element Model
8. Integrated Landscape Process Index
9. Erosion Potential Method
10. Landscape Ecological Security Index
11. Patch

پژوهش حاضر با هدف مطالعه و تحلیل امنیت بوم‌شناختی حوضه کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل با در نظر گرفتن دو شاخص جامع الگو و فرآیند سیمای سرزمین انجام شد. برای این منظور معیارهای تکه‌شدگی، تراکم حاشیه و تراکم لکه، گسستگی سیمای سرزمین، شاخص میانگین شکل لکه و شاخص تجمع، بعد فرکتال و ضریب فرسایش خاک با استفاده از نرم‌افزار Fragstats 4.2.1 در دو سطح لکه و سیما محاسبه شدند. طبق نتایج بررسی شده در سطح کلاس، بیش‌ترین و کم‌ترین تکه‌شدگی در کاربری اراضی به‌ترتیب به کاربری مسکونی و زراعت دیم اختصاص داده شد. می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه کاربری مسکونی تنها ۰/۷۵ درصد از حوضه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد، اما نیاز به توجه بیش‌تر در بخش مدیریت آن دارد، زیرا می‌تواند به بیش‌ترین تخریب و تهدید در حوضه منجر شود. نتایج شاخص امنیت بوم‌شناختی در زیرحوضه‌های کوزه‌تپراقی نشان از امنیت بوم‌شناختی خیلی کم در این زیرحوضه‌هاست. از آنجایی که بیش‌ترین مساحت حوضه مورد مطالعه را زراعت تشکیل داده، بنابراین دارای امنیت بوم‌شناختی خیلی کمی است. این زیرحوضه‌ها در مناطقی با ارتفاع کم‌تر از ۱۷۳۲ متر واقع شده‌اند و تقریباً تحت تاثیر کاربری اراضی دیم قرار گرفته است. نتایج حاضر نکته روشنی را برای در نظر گرفتن ویژگی‌های طراحی و بهترین شیوه‌های مدیریت در آینده نشان

13. Landscape

12. Class

فهرست منابع

- 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. (in Persian)
- Alaei, N.; Mostafazadeh, R.; Esmaili-Ouri, A.; Hazbavi, Z.; Sharari, M. & Huang G. 2022. Spatial comparative analysis of landscape fragmentation metrics in a watershed with diverse land uses in Iran. *Sustainability*, 14, 14876. <https://doi.org/10.3390/su142214876>
- Alaei, N.; Mostafazadeh, R.; Esmaliouri, A.; Sharari, M. & Hazbavi, Z. 2020. Assessment and comparison of landscape connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Journal of Applied Ecology*, 8(4), 19-34. (in Persian)
- Bobylev, N. & Gadai, S. 2021. Environmental security via sustainable development goals: Localization in the Arctic Region. *EUGEO 2021, 8th Congress on the Geography of Europe*, Charles University, Jun 2021, Prague, Czech Republic. pp.87.
- Dai, F.; Nan, L. & Liu, G. 2010. Assessment of regional ecological security based on ecological footprint and influential factors analysis: A case study of Chongqing Municipality, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 390-400.
- De Montis, A.; Martin, B.; Ortega, E. & Ledda, A. 2017. Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*, 64: 83-94.
- Elmqvist, T.; Fragkias, M.; Goodness, J.; Güneralp, B.; Marcotullio, P. J.; McDonald, R. I.; Parnell, S.; Schewenius, M.; Sendstad, M. & Seto, K. C. 2013. *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities*. Springer: Dordrecht, The Netherlands, ISBN 978-94-007-7088-1.
- Esmali, A. & Abdollahi, Kh. 2011. *Watershed management & soil conservation*. University of Mohaghegh Ardabili, 574 p. (in Persian)
- Gao, Y.; Wu, Z.; Lou, Q.; Huang, H.; Cheng, J. & Chen, Z. 2012. Landscape ecological security assessment based on projection pursuit in Pearl River Delta. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184: 2307–2319.
- Ghorbani, A.; Hazbavi, Z.; Mostafazadeh, R. & Alaei, N. 2020. Analysis the relationship between landscape metrics and soil erosion of KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(4), 65-91. (in Persian)
- Guo, Sh. & Wang, X. 2019. Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Hulunbeir Grassland, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 4805.
- Hasan, S. S.; Zhen, L.; Miah, M.G.; Ahamed, T. & Samie, A. 2020. Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34, 100527.
- Hazbavi, Z.; Babaei, L.; Zareie, S.; Alaei, N. & Malekian, R. 2021. Spatial heterogeneity of ecological security of Samian Watershed, Ardabil Province. *Regional Planning*. (in Persian)
- Hazbavi, Z.; Parchami, N.; Alaei, N. & Babaei, L. 2020. Assessment and analysis of the KoozehTopraghi Watershed health status, Ardabil Province, Iran. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(3), 121-142. (in Persian)
- Kang, N.; Sakamoto, T.; Imanishi, J.; Fukamachi, K.; Shibata, S. & Morimoto, Y. 2013. Characterizing the historical changes in land use and landscape spatial pattern on the Oguraike floodplain after the Meiji Period. *Intercultural Understanding*, 1, 11-16.
- Kavianirad, M. 2011. Processing the concept of environmental security (the relationship of security and ecology). *Geopolitics Quarterly*, 7(3). (in Persian)

- Khavarian, H.; Aghaie, M. & Mostafazadeh, R. 2020. Predicting the effects of land use changes on the monthly flow using hydrological model and Remote Sensing in the Kouzetopraghi watershed, Ardabil. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 19-39. (in Persian)
- Kiyani, V. & Feghhi, J. 2015. Investigation of cover/land use structure of Sefidrod Watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(2), 131-141. (in Persian)
- Lam, N. S.; Cheng, W.; Zou, L. & Cai, H. 2018. Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment*, 209, 253–262.
- Liu, P.; Jia, Sh.; Han, R. & Zhang, H. 2018. Landscape pattern and ecological security assessment and prediction using remote sensing approach. *Journal of Sensors*, 2018, 14 p.
- McDonald, M. 2018. Climate change and security: towards ecological security?. *International Theory*, 10(2): 153-180.
- McGarigal, K. & Ene, E. 2013. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McGarigal, K. 2001. Landscape metrics for categorical map patterns. http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf
- McGarigal, K.; Cushman, S. A. & Neel, E. N. 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, 691-703.
- Nazarnejad, H.; Hosseine, M. & Mostafazadeh, R. 2019. Analysis of land use change in Balanjchai Watershed (Urmia) using landscape metrics. *Geography and Development*, 17(54), 75-90. (in Persian)
- Su, S.; Chen, X.; DeGloria, S. D. & Wu, J. 2010. Integrative fuzzy set pair model for land ecological security assessment: A case study of Xiaolangdi Reservoir Region, China. *Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, 24, 639-647.
- Su, Sh.; Li, D.; Yu, X.; Zhang, Z.; Zhang, Q.; Xiao, R.; Zhi, J. & Wu, J. 2011. Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25: 737–746.
- Tian, G. & Gang, G. 2012. Research on regional ecological security assessment. *Energy Procedia*, 16, 1180-1186.
- Uuemaa, E.; Roosaare, J.; Oja, T. & Mander, U. 2011. Analysing the spatial structure of the Estonian landscapes: which landscape metrics are the most suitable for comparing different landscapes?. *Estonian Journal of Ecology*, 60, 70-80
- Wang, F. & Gu, N. 2020. Impact of ecological security on urban sustainability in Western China-A case study of Xi'an. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 239980832093186.
- Wang, Sh.; Zhang, X. & Yang, Y. 2019. The Evolution of landscape ecological security in Beijing under the influence of different policies in recent decades. *Science of the Total Environment*, 646, 49–57.
- Wen, J. & Hou, K. 2021. Research on the progress of regional ecological security evaluation and optimization of its common limitations. *Ecological Indicators*, 127, 107797.
- Wen, M.; Zhang, T.; Li, L.; Chen, L.; Hu, S.; Wang, J.; Liu, W.; Zhang, Y. & Yuan, L. 2021. Assessment of land ecological security and analysis of influencing factors in Chaohu Lake basin, China from 1998–2018. *Sustainability*, 13(1), pp: 1-1.
- Wu, X.; Liua, Sh.; Suna, Y.; Ana, Y.; Donga, Sh. & Liu, G. 2019. Ecological security evaluation based on entropy matter-element model: A case study of Kunming City, southwest China. *Ecological Indicators*, 102, 469-478.

- Xu, L.; Yin, H.; Li, Z. & Li, Sh. 2014. Land ecological security evaluation of Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 10537-10558.
- Yu, D.; Wang, D.; Li, W.; Liu, Sh.; Zhu, Y.; Wu, W. & Zhou, Y. 2018. Decreased landscape ecological security of peri-urban cultivated land following rapid urbanization: An impediment to sustainable agriculture. *Sustainability*, 10(394), 1-16.
- Yu, G. M.; Zhang, S.; Yu, Q. W.; Fan, Y.; Zeng, Q.; Wu, L.; Zhou, R. R.; Nan, N. & Zhao, P. J. 2014. Assessing ecological security at the watershed scale based on RS/GIS: A case study from the Hanjiang River Basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28, 307-318.
- Zali, M. & Shahedi, K. 2021. Landslide sensitivity assessment using fuzzy logic approach and GIS in Neka Watershed. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(1), 67-80. (in Persian)
- Zhang, Z.; Liu, Sh. & Dong, Sh. 2010. Ecological security assessment of Yuan River Watershed based on landscape pattern and soil erosion. *Procardia Environmental Sciences*, 2, 613-618.
- Zhao, C.; Wang, Ch.; Yan, Y.; Shan, P.; Li, J. & Chen, J. 2018. Ecological security patterns assessment of Liao River Basin. *Sustainability*, 10, 2401.