



Analysis of the relationship between land use changes and land cover metrics (The Case of Barandozchay Watershed)

Mohammad Koohani^a, Javad Behmanesh^{b*}

^a Ph.D. Student in Water Engineering , Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.

^b Professor in Water Engineering, Department of Water Engineering, University of Urmia, Urmia, Iran.

Received: 5 January 2024

Revised: 27 April 2024

Accepted: 12 May 2024

Abstract

This study analyzes the relationship between land use changes over different time periods and land cover metrics using data from the Barandozchay watershed in West Azerbaijan Province, Iran. To achieve this goal, Sentinel-2 satellite images for the years 2016 and 2022 were obtained from the European Union's Copernicus website. Pre-processing techniques were applied using various software tools, and the images were classified through knowledge-based and object-oriented methods in the eCognition software environment. Land use maps were generated, and land cover metrics were quantified and calculated at landscape and class levels using Fragstats 8.2 software.

The results at the class level showed that the split index (SPLIT) had the highest value for the blue area, while the cohesion index (COHESION) had the lowest value in both years. The grassland class exhibited the highest SHAPE-MN and LSI indices, indicating patch disorder. If protective measures are not implemented, further degradation of grasslands in the Barandozchay watershed could occur in the coming years.

At the landscape level, the results revealed a decreasing trend in most indices related to watershed connectivity. The ENN_MN index, representing the mean Euclidean distance between nearest neighbors, the CONTAG index, representing contagion, and the COHESION index, representing patch cohesion, all showed a decline from 2016 to 2022. Conversely, the LSI and NP indices displayed an increasing trend, indicating greater irregularity within the area. The findings also showed that the blue area experienced the highest level of fragmentation, whereas dry farming exhibited the least. Additionally, grassland patches demonstrated the highest connectivity, while dry farming patches had the lowest. At the landscape level, the results indicated a uniform distribution of patches in the Barandozchay watershed. The increasing number of patches, extended margins, and reduced patch size led to fragmentation and the formation of smaller, isolated patches. These outcomes highlight the ongoing land use changes and their impact on the structure and connectivity of the landscape. They provide valuable insights for land use management and conservation efforts in the study area, ensuring the sustainability of natural resources for future generations.

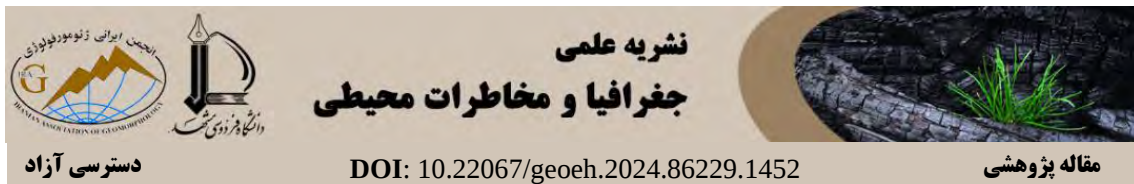
Keywords: Land Use Change, Landscape Metrics, Sentinel-2 Satellite Imagery, Object-Oriented Classification, Fragmentation Analysis, Ecosystem Degradation.

* .Corresponding author: Javad Behmanesh Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir Tel:+989141460272

How to cite this Article: Koohani, M., & Behmanesh, J. (2024). Analysis of the Relationship between Land Use Changes and Landscape Metrics (Case study: Barandozchai Watershed, Subbasin of Urmia lake watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 367-392.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز باراندوزچای، زیر حوضه آبخیز دریاچه ارومیه)

محمد کوهانی - دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

جواد بهمنش^۱ - استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۳

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوضه آبریز باراندوزچای در آذربایجان غربی است. بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (Sentinel2) مربوط به سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ از سایت کپورنیک اتحادیه اروپا دریافت گردید. سپس روش‌های پیش‌پردازش در محیط نرم‌افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم‌افزار eCognition ارسال شد. برای سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 8.2 در دو سطح سیما (۲۲ سنجه) و کلاس (۱۳ سنجه) کمی‌سازی و محاسبه شدند. در سطح کلاس پهنه‌آبی، نتایج نشان می‌دهند در هر دو سال، بیشترین مقدار سنجه تکه‌شدگی (SPLIT) و کمترین مقدار سنجه یکپارچگی (COHESION) به دست آمده است. کلاس مرتع دارای بیشترین مقدار در شاخص (SHAPE-MN) و (LSI) داشته است که این نشان‌دهنده بی‌نظمی در لکه‌های مرتع است. شاخص‌های (ENN_MN)، (CONTAG) و (COHESION) که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی، شاخص سرایت و شاخص پیوستگی لکه روند کاهشی را از سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۴۰۱ تجربه کرده است. شاخص‌های شاخص شکل لکه (LSI)، تعداد لکه (NP) بی‌نظمی را نشان می‌دهد که روند افزایشی داشته است و نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از سطح سیما نشان داد که پراکنش لکه‌ها در حوزه آبخیز باراندوزچای یکنواخت است و افزایش تعداد لکه‌ها، افزایش حاشیه و کوچک شدن لکه‌ها باعث تکه‌شدگی و در نتیجه ایجاد لکه‌های جدا از هم در حوزه آبخیز باراندوزچای می‌شود. این نتایج می‌تواند در مدیریت کاربری اراضی و حفاظت منطقه مورد مطالعه برای نسل‌های آتی مفید باشد.

کلیدواژه‌ها: تغییر کاربری اراضی، شاخص‌های چشم‌انداز، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲، طبقه‌بندی شیء‌گرا، تحلیل تکه‌تکه‌شدگی، تخریب اکوسیستم.

۱- مقدمه

تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عوامل برای درک تغییر محیطی در تمام مقیاس‌های زمانی-مکانی است (Kumar, Bhaskar & Padmakumari, 2015). تغییر کاربری زمین با عامل‌هایی مانند افزایش ارتفاع در حوضه‌های آبریز، افزایش ارتفاع آب بر حجم رواناب در رودخانه و افزایش ظرفیت سیلابی رودخانه‌ها تأثیر خواهد داشت (Idham et al., 2017). یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای آگاهی از تغییر کاربری زمین است. پیشرفت در درک حالت‌های ممکن تغییر کاربری زمین می‌تواند در شناسایی و تشخیص فرآیندهای زمین (سیلاب و ...) در آینده مناسب باشد (Armenteras, Murcia, González, Barón & Arias, 2019).

مهم است که چنین تغییراتی به‌طور دقیق ثبت شود تا فرآیندهای انسانی در کار بهتر درک شود. کاربری اراضی و پوشش اراضی ازجمله فرآیندهایی طبیعی و انسانی است که تغییرات در آن خیلی سریع است (Dezhbani, Mustafazadeh, Esmailiouri & Nazila, 2023). فناوری سنجش از راه دور راهکاری ارزشمند در تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی است که امروزه در جهت شناسایی، پایش، تشخیص و پهنه‌بندی منابع طبیعی، به‌ویژه در مورد روند تهیه نقشه کاربری اراضی، استفاده می‌شود. این روش، به دلیل هزینه‌بر و زمان‌بر بودن عملیات زمینی، جایگزین مناسبی برای تهیه اطلاعات دقیق و در سطح وسیع می‌باشد (Nazar Neghad, Hosseine & Mostafazadeh, 2020). برای استخراج اطلاعات کاربردی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود (Blaschke, 2010).

در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش پیکسل‌پایه، شیء‌گرا و آموزش‌گرای انجام می‌شود (Ghafari, Moradi & Modares, 2018). اخیراً روش جدید شیء‌گرا برای تجزیه و تحلیل تصویر استفاده می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین و بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید از طریق نرم‌افزار eCognition، که شامل محیطی شیء‌گرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود، طراحی گردید (Tzotsos & Argialas, 2008). در روش

طبقه‌بندی شیء‌گرا اطلاعات طیفی، شکل و بافت‌ها را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌شوند. در این روش، خطاهای متعددی نسبت به روش‌های پیکسلی قابل‌انتظار است. در روش شیء‌گرا مجموعه‌ای پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی و سپس عملیات طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی اعمال می‌شوند (Nazar Neghad et al., 2020). در تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری زمین، از عوامل طبیعی و اجتماعی-اقتصادی نیز استفاده می‌شود (Aunap, Uuema, Roosaare & Mander, 2006). تأثیرات کاربری‌های مختلف زمین بر خدمات بوم‌سازگان‌ها (ES) از طریق سه روش اصلی شامل الگوهای کاربری زمین، شیوه‌های استفاده از زمین و شدت‌های مختلف استفاده از زمین نمود پیدا می‌کنند (Uuema, Antrop, Roosaare, Marja & Mander, 2009). مطالعه تغییرات کاربری اراضی زمینه اصلی پژوهش‌های سیمای سرزمین است که یکی از مسائل مهم در تغییرات بوم‌شناختی جهانی است (Dezhbani et al., 2023). نرم‌افزار Fragstats یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، می‌باشد (McGarigal, 2002). برای ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی می‌توان از سنجه‌های سیمای سرزمین که یک رویکرد تلفیقی با سنجش‌ازدور است، استفاده کرد. این سنجه‌ها درواقع شاخص‌هایی هستند که ویژگی‌های اجزای ساختار فضایی سیمای سرزمین مثل هندسه، شکل، ماهیت پراکنش و توزیع این اجزا را به‌صورت کمی قابل‌مقایسه می‌سازند (Kakehmami, Moamari, Qurbani & Ghaffari, 2020). سیمای سرزمین شامل محدوده‌ای است که عناصر زیست‌شناختی و فیزیکی، لکه‌ها و زیستگاه‌ها را در بر می‌گیرد. سنجه‌های سیمای سرزمین در سه سطح کلاس، سیما و لکه محاسبه می‌شوند. سنجه‌های سطح کلاس برای یک نوع کاربری، سنجه‌های سطح لکه ویژگی مکانی لکه‌ها و سنجه‌های سیمای سرزمین برآیند ویژگی‌های لکه‌ها و طبقه‌ها هستند (Nasiri & Darvishsefat, 2018). بسیاری از معیارهای الگوی سیمای سرزمین نسبت به تغییرات فضایی وضوح داده‌ها یا مساحت (وسعت) سیمای سرزمین حساس هستند و همبستگی‌های متعددی بین شاخص‌های سیمای سرزمین رخ می‌دهد (Uuema et al., 2009). لام و همکاران (Lam, Cheng, Zou & Cai, 2018) به بررسی اثر تکه‌شدگی (SPLIT) سیمای سرزمین بر از دست دادن زمین در ساحل Louisiana در ایالت جنوبی آمریکا پرداختند. در این پژوهش از تصاویر لندست TM+، سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ و از ابعاد فراکتال منطقه و همبستگی فضایی^۱ استفاده شد. نتایج نشان داد که

¹. Spatial autocorrelation

تکه‌شدگی سیمای سرزمین منجر به از دست دادن بیش‌تر زمین می‌شود. برلیا و ایسوفی (Berila & Isufi, 2021) در مطالعه‌ای در منطقه کوزوو پراکندگی شهرها با استفاده از GIS، سنجش‌ازدور و سنجه‌های سیمای سرزمین را بررسی نمودند. نتایج نشان داد در طول دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۰ در شهر پریشیتینا^۱ مساحت مناطق شهری به میزان ۱۶/۴۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. در ایران نیز غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2018) در دشت‌های اصفهان- برخوار، نجف‌آباد و چادگان با استفاده از تصاویر لندست TM سال ۱۹۸۵ و OLI سال ۲۰۱۵، تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا و پیکسل پایه مقایسه کرد. نتایج نشان داد طبقه‌بندی شیء‌گرا با دقت بالای ۹۰ درصد نسبت به طبقه‌بندی پیکسل پایه، دقیق‌تر بوده است. نظرنژاد و همکاران (Nazar Neghad et al., 2020) به ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز زولاچای، سلماس پرداختند. نتایج نشان‌دهنده افزایش سنجه تعداد لکه (NP) و افزایش تراکم لکه (PD) بود که این امر افزایش ناهمگنی در کاربری اراضی را نشان می‌دهد. همچنین اسفندیاری و همکاران (Esfandiari darabad, Hamzaei, Alaei & Mostafazadeh, 2021) در ارزیابی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین در پوشش گیاهی جوامع حاشیه متأثر از نوع کاربری اراضی در رودخانه قره‌سو استان اردبیل نتیجه گرفتند که تفاوت معنی‌داری بین کاربری باغ با سایر کاربری‌ها در سطح لکه و سیما وجود دارد. در مطالعه‌ی کیانی و فقهی (Kiyani & Fegghi, 2015) بررسی ساختار کاربری اراضی حوزه آبخیز سفیدرود با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی سیمای سرزمین بررسی شد. در این پژوهش، از نرم‌افزار ArcGIS برای طبقه‌بندی مجدد نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سفیدرود استفاده شد. سپس لایه‌ها به فرمت Grid تبدیل و با استفاده از نرم‌افزار Fragstats، سنجه‌های مربوطه استخراج شدند. نتایج نشان داد که بیشترین گسستگی مربوط به کاربری کشاورزی بوده و کمترین گسستگی مربوط به کاربری آب است. در مطالعه‌ی دژبانی و همکاران (Dezhbani et al., 2023) ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی در آبریز کوزه‌تپراقی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی مختلف بررسی شد. این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۰ استفاده کرد. سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح سیما و کلاس محاسبه شدند. نتایج نشان داد که در سطح کلاس، زراعت دیم و زراعت آبی در

¹ Prishtina

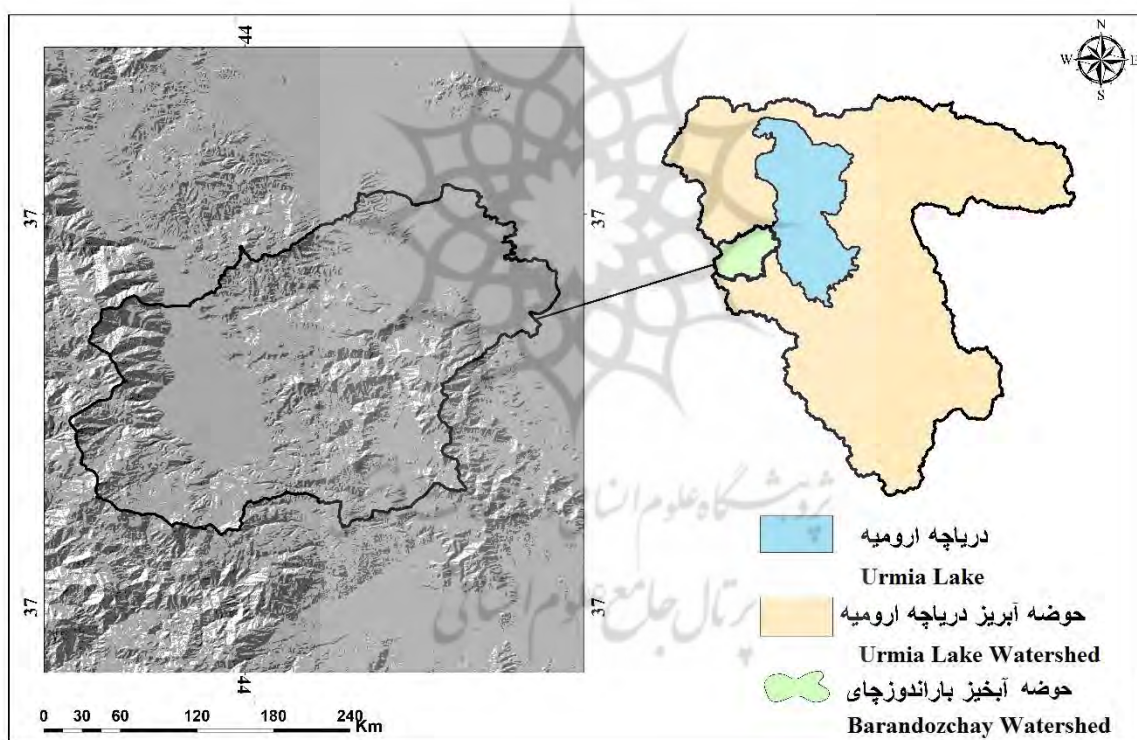
سنجه‌های مختلف بیشترین مقدار را داشته‌اند. در سطح سیما، شاخص تکه‌شدگی در سال ۱۳۸۹ کاهش جزئی داشته و سپس در سال ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است. شاخص بزرگ‌ترین لکه نیز در سال ۱۴۰۰ کاهش قابل توجهی داشته است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده و تأکید بر لزوم انجام مطالعات گسترده‌تر و جامع‌تر در زمینه ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و نیز تحلیل ارتباط بین آن‌ها و تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین دارد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین برای حوزه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی انجام شد تا با اطلاع داشتن از تغییرات هر یک از کاربری‌ها، اقدامات و تصمیمات مدیریتی مناسبی برای استفاده درست از صورت گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز باراندوزچای واقع در استان آذربایجان غربی است. گستردگی جغرافیایی این حوضه از $37^{\circ}06'$ تا $39^{\circ}37'$ عرض‌های شمالی و $44^{\circ}45'$ تا $44^{\circ}55'$ طول‌های شرقی واقع گردیده است. رودخانه باراندوزچای از دو رشته ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه و ایران و عراق به نام‌های جمال‌الدین و ارتفاعات ککوداغ و الوق سرچشمه می‌گیرد و در بستر عمیقی با شیب تند حرکت کرده، پس از دریافت شاخه‌هایی چند و طی مسافتی وارد جلگه شده دشت بیل را آبیاری می‌کند و سپس از آبادی زیوه گذشته به روستای هفتوان باراندوز می‌رسد و از این ناحیه به بعد به نام باراندوزچای نامیده می‌شود. رودخانه باراندوز پس از طی مسافتی و آبیاری کردن زمین‌های متعدد روستایی، در چندین شاخه که شعبه اصلی آن بابارود است به دریاچه ارومیه می‌ریزد. این حوضه در محدوده شهرستان‌های ارومیه و نقده قرار دارد. مساحت حوضه مذکور، $1361/54$ کیلومترمربع است. آب‌های حاصل از این حوضه با جهت غربی - شرقی، در نهایت وارد دریاچه ارومیه می‌شوند. حوضه مذکور اغلب کوهستانی بوده و تنها بخش‌های شمال شرقی و مرکزی دارای ارتفاع پایین بوده و عمدتاً از دشت‌های حاصلخیز تشکیل شده است. این امر سبب شده تا در این قسمت‌ها، پوشش گیاهی وسیعی باغات کشاورزی وجود داشته باشد. این حوضه عمدتاً از سنگ‌های آهکی، دولومیت‌ها، شیل‌ها، کنگلومراها و در

دشت‌ها از رسوبات کواترنری تشکیل شده است. شرایط ناهمواری، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، فعالیت‌های انسانی و پوشش گیاهی شرایط مناسبی را برای وقوع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مختلف ایجاد کرده است. از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیکی حوضه باراندوزچای، دارای ۴ واحد کاری بابارود، قاسملو، دیزج و هاشم‌آباد می‌باشد. بابارود با مساحت ۱۱۴۹/۱۵ کیلومترمربع، بیشترین وسعت و قاسملو با مساحت ۳۳۱/۷۴ کیلومترمربع کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. بیشترین شیب متوسط وزنی با مقدار ۳۲/۶۷ درصد مربوط به واحدکاری قاسملو و کمترین با مقدار ۲۷/۱۷ درصد مربوط به واحد کاری بابارود می‌باشد (Irani, Abghari & Rasouli, 2024). شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز باراندوزچای را در سطح کشور و استان آذربایجان غربی نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز باراندوزچای - دریاچه ارومیه

Fig.1. Geographical location of the Barandozchay Watershed - Urmia Lake

۲-۲- روش تحقیق

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع (۱۳ باند برای Sentinel2) استفاده گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات ماهواره Sentinel2

Table 1- Sentinel 2 satellite information

باند	وضوح	طول موج مرکزی	شرح
band	Resolution	Central wavelength	Description
B1	60m	443 nm	آبی فوق العاده (ساحلی و آتروسل)
B2	10 m	490 nm	Ultra Blue (Coastal and Aerosol) آبی
B3	10 m	560 nm	Blue سبز
B4	10 m	665 nm	Green قرمز
B5	20 m	705 nm	Red مادون قرمز مرئی و نزدیک (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible and Near Infrared (VNIR) مادون قرمز مرئی و نزدیک (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible and Near Infrared (VNIR) مادون قرمز مرئی و نزدیک (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible and Near Infrared (VNIR) مادون قرمز مرئی و نزدیک (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible and Near Infrared (VNIR) مادون قرمز مرئی و نزدیک (VNIR)
B9	60m	940 nm	Visible and Near Infrared (VNIR) موج کوتاه مادون قرمز (SWIR)
B10	60m	1375 nm	Short Wave Infrared (SWIR) Short Wave Infrared (SWIR) موج کوتاه مادون قرمز (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	موج کوتاه مادون قرمز (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Short Wave Infrared (SWIR) موج کوتاه مادون قرمز (SWIR)
			Short Wave Infrared (SWIR)

جدول ۲- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table 2- Information of satellite images used in the study of change and prediction of land use

نام سنجنده	تاریخ کسب داده	قدرت تفکیک مکانی
The name of the gauge	Date of data acquisition	Spatial resolution
سنتینل ۲	2016.04.26 معادل 2016.07.16	چندطیفی 10، 20 و 60 متر
Sentinel2	2016.04.26 Equivalent 2016.07.16	Multispectral 10, 20 and 60 meters
سنتینل ۲	2022.06.20 معادل 1401.03.30	چندطیفی 10، 20 و 60 متر
Sentinel2	2022.06.20 Equivalent 1401.03.30	Multispectral 10, 20 and 60 meters

۲-۲-۱- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای: در مرحله پیش‌پردازش تبدیل فرمت تصاویر، برش تصاویر و موزائیک‌سازی در محیط نرم‌افزارهای (ERDAS Imagine and ENVI) انجام گردید.

۲-۲-۲- در مرحله پردازش: ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد پروژه‌های مورد نیاز، سگمنت‌سازی چند متغیره، ویراستاری شی‌های تصویری، طبقه‌بندی اراضی زمین، تولید شاخص‌های طیفی، برآورد دقت و صحت نتایج، فیلترگذاری و ویراستاری، ارسال لایه‌های رقومی و طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش‌های NNC تولید نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام گردید. در ادامه بعد از فراخوانی تصویر و ایجاد ترکیبی بانندی مناسب، لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر از باندهای ۲،۳،۴،۸ و ۱۱ استفاده گردید. بعد از ایجاد ترکیب بانندی سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی) انجام شد. سگمنت‌سازی به مفهوم جداسازی پیکسل‌های تصویری در باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای و یک پارچه‌سازی مجدد آن بر مبنای پارامترهای مختلف نظیر شباهت‌های بازتابشی، هندسی، تراکمی، فشردگی، ارتباط ذاتی آن‌ها باهمدیگر از طریق اعمال الگوریتم‌های تقسیم‌بندی متعدد تعریف می‌گردد (Nazar Neghad et al., 2020). نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 جهت طبقه‌بندی راه‌های مختلفی در پیش روی کاربر قرار می‌دهد. طبقه‌بندی‌هایی که غالباً در این زمینه و با استفاده از این نرم‌افزار انجام گرفته به‌صورت مراحل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی است. از آنجایی که در مرحله طبقه‌بندی شیء‌گرا تعریف شی‌ها یا سگمنت‌ها است، به همین منظور برای سگمنت‌سازی، مقدار ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و

فشرده‌گی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. جهت تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص $(NDWI^1)$ و $(NDVI^2)$ استفاده شد. رابطه شاخص‌ها برای ماهواره Sentinel2 در روابط ۱ و ۲ نشان داده شده است (Moharrami & Derafshi, 2015).

$$NDVI \text{ Sentinel2} = (Near \text{ Infraredb8} - REDb4) / (Near \text{ Infraredb8} + REDb4) \quad (۱)$$

$$NDWI \text{ Sentinel2} = (Greenb3 - Near \text{ Infraredb8}) / (Greenb3 + Near \text{ Infraredb8}) \quad (۲)$$

پس از ایجاد شاخص‌ها، با توجه به هدف پژوهش که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، کلاس‌های کاربری در نظر گرفته شده شامل کاربری پهنه‌آبی، مسکونی، مرتع، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک است. در طبقه‌بندی تصویر با روش شیء‌گرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری و به کمک شاخص‌ها نمونه برای هرکدام از کلاس‌ها انتخاب و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای ۲ دوره با روش شیء‌گرا استخراج گردید و مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید.

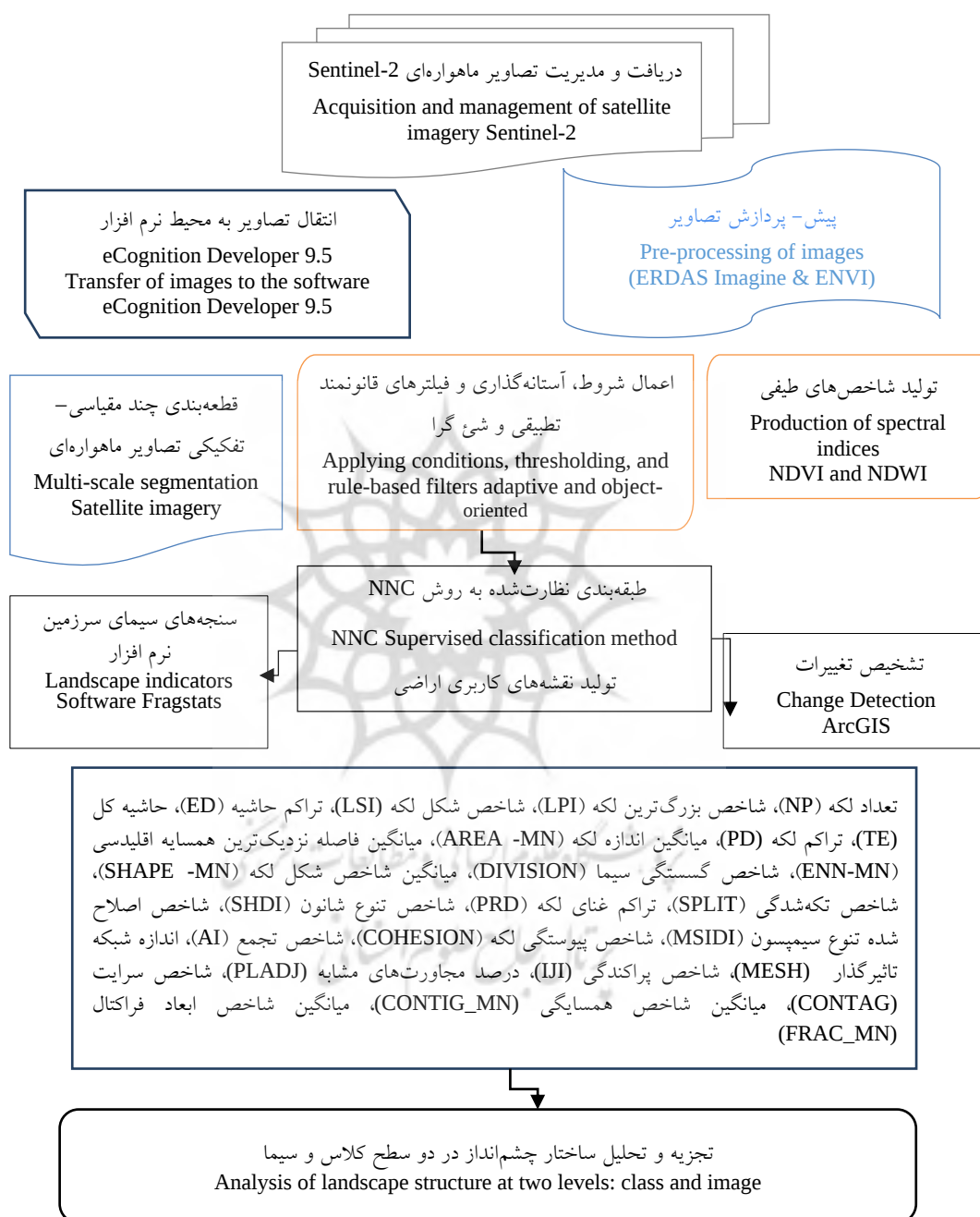
۲-۲-۳- محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، نرم‌افزار Fragstats می‌باشد که استفاده از آن به دلیل قابلیت بیش‌تر و محاسبه تعداد بیش‌تری از سنجه‌های سیمای سرزمین معمول‌تر است (McGarigal, 2002). نرم‌افزار Fragstats مجموعه کاملی از سنجه‌های سیمای سرزمین می‌باشد. این برنامه محدودیتی در مقیاس (پهنه و بزرگ‌نمایی) نداشته و برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و سنجه‌های مختلف لکه‌های تشکیل دهنده سیمای سرزمین در محیط‌های ناهمگن و شرایط متفاوت مناسب است. به‌ازای هر ورودی در نرم‌افزار Fragstats، سه فایل خروجی Patch، Class و Landscape در محیط Excel ذخیره شده و قابل مشاهده و تجزیه و تحلیل است. آنچه که سنجه‌های سیمای سرزمین را کاربردی‌تر ساخته است، امکان مقایسه سیمای سرزمین‌های مختلف با استفاده از یک روش مشابه، ارزیابی در یک سیمای سرزمین خاص برای دفعات متعدد

¹ Normalized Difference Water Index

² Normalized Difference Vegetation Index

و مقایسه سیمای سرزمین‌های مشخص با گزینه‌های متفاوت است (McGarigal, Cushman, & Ene, 2012) در شکل (۲) فرآیند کلی انجام پژوهش ارائه شده است.

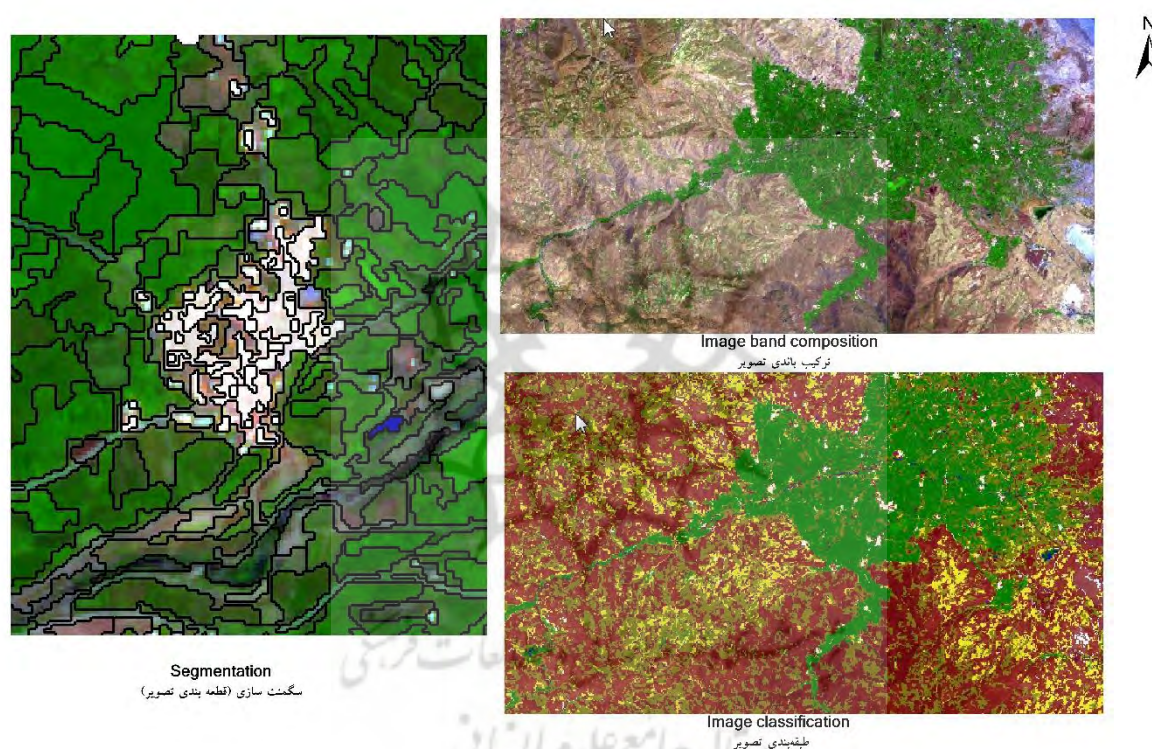


شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش

Fig. 2. Flow chart of research steps

۳- نتایج و بحث

پردازش تصاویر به روش‌های شیء‌گرا پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای (تشکیل‌دهنده باندهای تصویری) با اعمال الگوریتم‌های سگمنت‌سازی (Segmentation) و با توجه به میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های زمین-آماری به شیء‌های تصویری تبدیل گردید با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. در این پژوهش از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۱ تصویر Sentinel2 استفاده شده است. نتایج ترکیب باندی تصویر، سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصویر در شکل (۳) ارائه شده است.

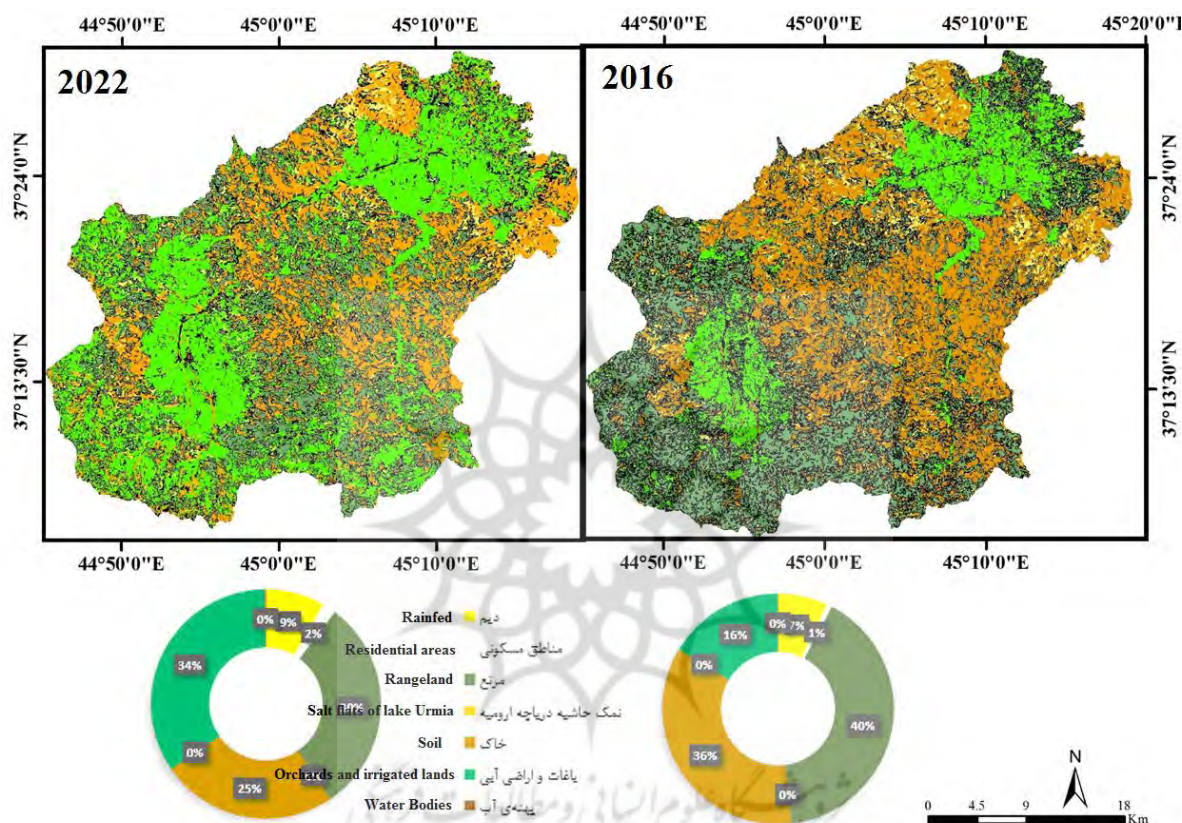


شکل ۳- ترکیب باندی، سگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصویر

Fig. 3. Band composition, segmentation and image classification

بعد از طبقه‌بندی تصاویر به روش NNC در هفت کاربری پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ تهیه گردید و مساحت هر کاربری محاسبه شد. شکل (۴) نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ نمایش می‌دهند. طبق نتایج برای سال ۲۰۱۶ مساحت پهنه‌آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه

ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۱/۳۵، ۴۸۲/۷۴، ۲۲۱/۱۴، ۹۵/۵۱، ۰/۰۱، ۵۵۰/۷۳ و ۱۰/۰۶ کیلومترمربع به دست آمد. همچنین در سال ۲۰۲۲ تغییرات مساحت برای کاربری‌های پهنه آب، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۲/۷۰، ۳۳۸/۷۴، ۴۶۷/۴۸، ۱۱۴/۱۸، ۰/۰۵، ۴۱۲/۹۱ و ۲۵/۵۰ کیلومترمربع بود.



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های موردبررسی در حوزه آبخیز باراندوزچای-دریاچه ارومیه

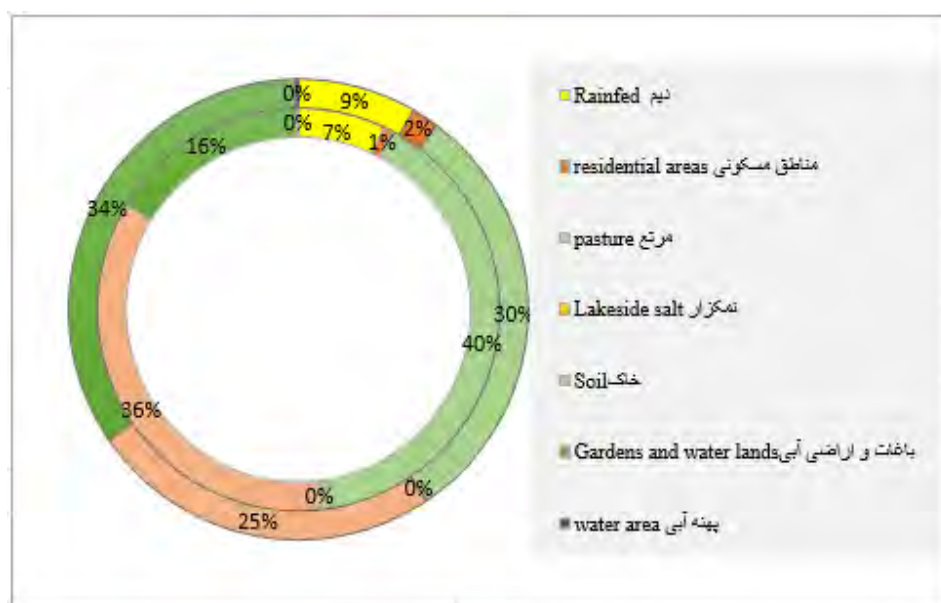
Fig. 4. Land use map for the studied years in the Baranduzchay catchment area

بعد از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ به کیلومترمربع و درصد در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- مساحت کاربری اراضی به کیلومتر مربع و درصد

Table 3- land use area in square kilometers and percentage

2022		2016		سال
درصد		درصد		Year
Percent	کیلومتر مربع square kilometer	Percent	کیلومتر مربع square kilometer	کاربری اراضی Land Use
8.39	114.18	7.02	95.51	دیم Rainfed
1.87	25.50	0.74	10.06	مناطق مسکونی Residential areas
30.33	412.91	40.45	550.73	مرتع pasture
0	0.05	0	0.01	نمک حاشیه دریاچه ارومیه Salt on the edge of Lake Urmia
24.88	338.74	35.46	482.74	خاک Soil
34.33	467.48	16.24	221.14	باغات و اراضی آبی Gardens and water lands
0.2	2.7	0.1	1.35	پهنه‌ی آب water area



شکل ۵- روند تغییرات کاربری اراضی به روش شی گرا

Fig. 5. The trend of land use changes by object-oriented method

بر اساس نتایج حاصل از روند تغییرات شکل (۵) در این پژوهش، بیش‌ترین تغییرات کاربری مربوط به تبدیل کاربری مرتع و خاک به کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی را نشان می‌دهد که با نتایج ((Birhanu, Masih, van der Zaag, Nyssen & Cai, 2019) در پژوهش بر روی حوضه آبریز گومارا^۱ اتیوپی نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت مراتع کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی کشت شده افزایش یافته و همین امر باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است مطابقت دارد.

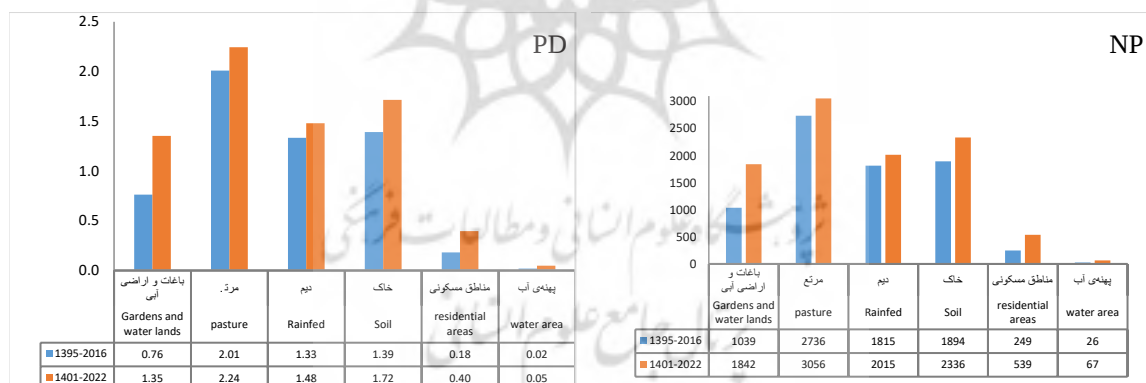
تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در سطح کلاس

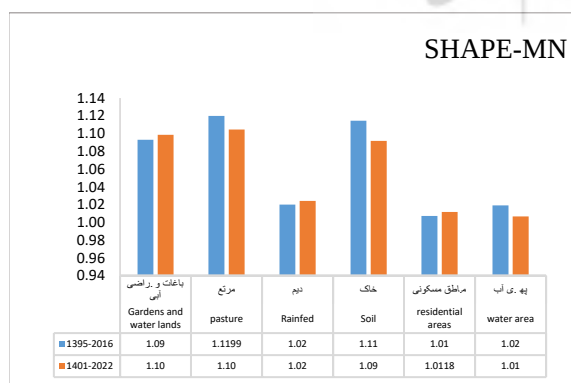
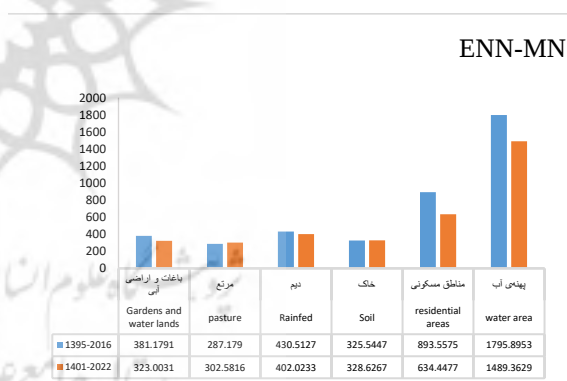
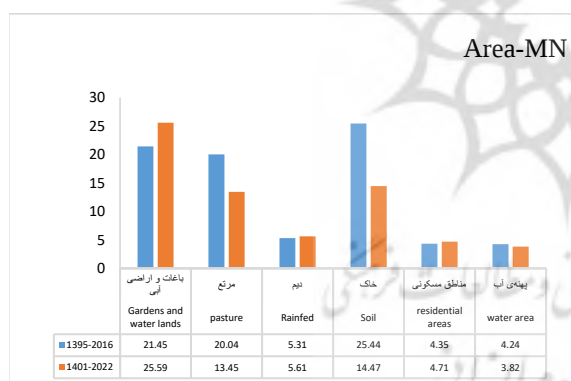
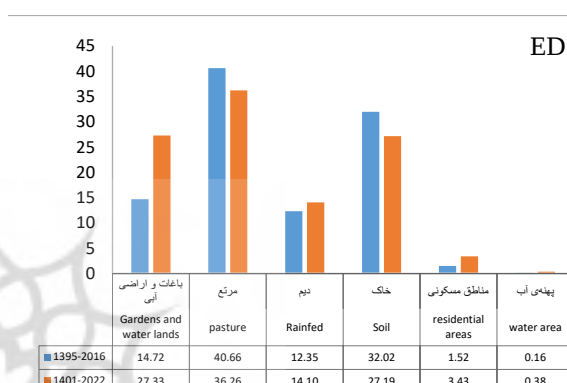
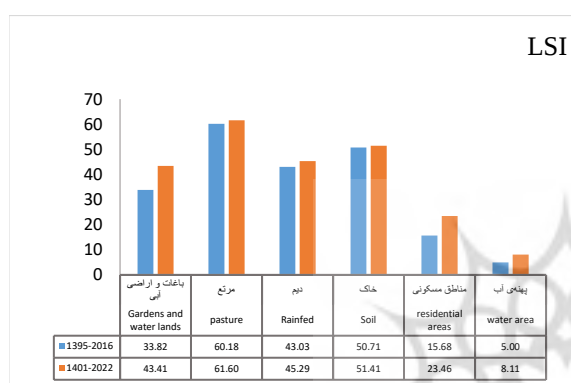
نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین حوزه آبخیز باراندوزچای در شکل (۶) نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری میزان گسستگی سیمای سرزمین تعداد لکه (NP) به کار می‌رود و تعداد لکه‌های یک کلاس معین را نشان می‌دهد. مقدار آن بزرگ‌تر یا مساوی یک است. وقتی سیمای سرزمین فقط از یک لکه تشکیل شده باشد این مقدار برابر واحد است (Kiyani & Fegghi, 2015). برای حوضه مورد مطالعه بیش‌ترین تعداد لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۲۷۳۶) و کم‌ترین آن برای پهنه آبی (۲۶) و برای سال ۱۴۰۱

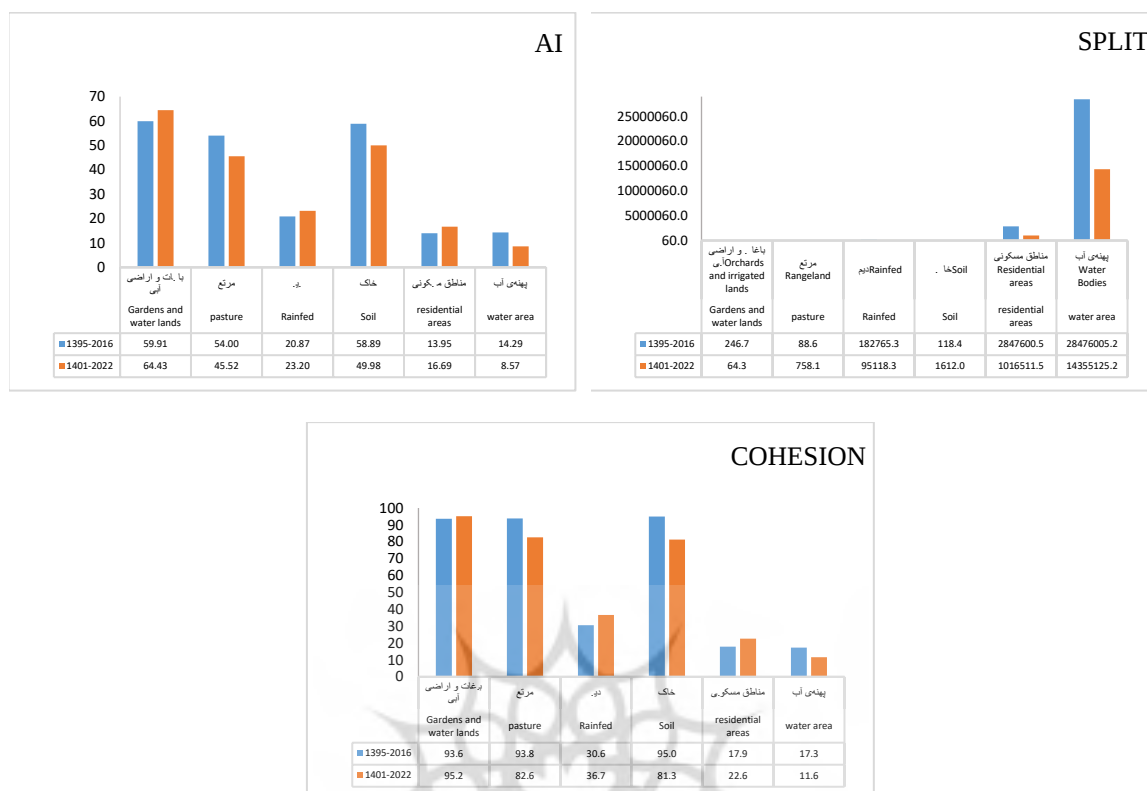
¹. Gomara

بیشترین تعداد لکه (NP) مربوط به مرتع (۳۰۵۶) و کمترین آن برای پهنه آبی (۶۷) به دست آمد.

سنجه تراکم لکه (PD) برای اندازه‌گیری پیوستگی کاربری‌ها و میزان اتصال کاربرد دارد. پیوستگی بین لکه‌ها (Cohesion) به صورت معکوس با سنجه تراکم لکه ارتباط دارد. به این ترتیب با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک‌تر می‌شوند (Nazar Neghad et al., 2020). بیشترین تراکم لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۲/۰۱) و کمترین آن مربوط به پهنه آبی (۰/۰۲) است. برای سال ۱۴۰۱ بیشترین تراکم لکه مربوط به مرتع (۲/۲۴) و کمترین آن مربوط به پهنه آبی (۰/۰۵) به دست آمد. نتایج پژوهش در ارزیابی الگوی کاربری اراضی و تغییرات پیوستگی نشان‌دهنده افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها بود. این نتیجه با یافته‌های نظرثناد و همکاران (Nazar Neghad et al., 2020)، مبنی بر این که افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها، افزایش ناهمگنی در کاربری اراضی را نشان می‌دهد، مطابقت دارد. حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۹/۶) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه آبی (۰/۰۱) است و در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۹/۱) و حداقل مقدار آب مربوط به پهنه آبی (۰/۰۱) به دست آمده است.







شکل ۶- مقادیر سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس در سال‌های مورد بررسی

Fig. 6. Values of land surface parameters at the class level in the years under review

در سطح سیمای سرزمین حاشیه کل (TE)، اندازه مطلق مجموع حاشیه از طول حاشیه کل یک نوع لکه خاص است (McGarigal et al., 2012). با افزایش حاشیه کل، پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک و منظم‌تر می‌شوند. اگر هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد مقدار عددی این شاخص زمانی برابر صفر خواهد بود. یعنی زمانی که کل سیمای سرزمین و مرز آن دارای یک لکه باشد (McGarigal, 2002). در سطح سیمای سرزمین رابطه بین تکه‌شدگی (SPLIT) و تراکم حاشیه (ED) مثبت است، و با افزایش تراکم حاشیه (ED)، تکه‌شدگی در آن زیرحوضه افزایش می‌یابد. مقدار عددی این شاخص برابر صفر خواهد بود. زمانی که هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد. یعنی زمانی که کل سیمای سرزمین و مرز سیمای سرزمین، شامل یک لکه باشد (McGarigal, 2002). بیش‌ترین تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۴۰/۶۶) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به کاربری پهنه آبی (۰/۱۶) است. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار

تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۴۰۱ مربوط به کاربری مرتع (۶۱/۶) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی برابر با (۰/۳۸) به دست آمد.

حداکثر مقدار شاخص شکل لکه (LSI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۱/۱۲) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۱/۰۱) و حداکثر مقدار شاخص شکل لکه در سال ۱۴۰۱ مربوط به کاربری‌های باغات و اراضی آبی و مرتع (۱/۱) و حداقل مقدار شاخص شکل لکه به ترتیب مربوط به کاربری‌های مسکونی و پهنه آبی (۱/۰۱) است.

میانگین اندازه لکه (AREA-MN) یک نوع ماتریس سیمای سرزمین است که بر اساس ویژگی میانگین لکه ارائه شده است (McGarigal, 2002). حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه در هر سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری خاک (۲۵/۴۴) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۴/۲۴) است و در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۲۵/۵۹) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه آبی (۳/۸۲) است. معیار نزدیک‌ترین فاصله همسایگی (ENN_MN) با استفاده از هندسه ساده اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین نزدیک‌ترین همسایه و لکه مرکزی آن کلاس تعریف شده است (McGarigal, 2012). این معیار با افزایش بی‌نظمی شکل، بزرگ‌تر می‌شود و برای یک لکه مربع شکل برابر با یک است (Kiyani & Fegghi, 2015). حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به پهنه‌آبی (با مقدار عددی ۱۷۹۵/۹) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مرتع (با مقدار عددی ۲۸۷/۱۸) است. همچنین حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال‌های ۱۴۰۱ مربوط به کاربری پهنه آبی (۱۴۸۹/۳۶) و حداقل آن مربوط به کاربری مرتع (۳۰۲/۵۸) است. حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه (SHAPE-MN) برای حوزه آبخیز باراندوزچای در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۱/۱۲) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۱/۰۱) است. برای سال ۱۴۰۱ نیز حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی و مرتع (۱/۱) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری پهنه آبی و مسکونی (۱/۰۱) است. معیارهای تکه‌شدگی (SPLIT) و گسستگی سیما (DIVISION) به توصیف دخالت انسان‌ها و میزان انسجام اشاره دارند (McGarigal, 2002). تکه‌شدگی (SPLIT) بر اساس توزیع لکه‌های تجمعی است و به‌عنوان تعداد لکه‌هایی با اندازه ثابت زمانی یا شبکه مؤثر تفسیر می‌شود.

(McGarigal et al., 2012). این معیار حداکثر مقدار را دارد؛ وقتی که سیمای سرزمین به لکه‌های کوچک تقسیم می‌شود، یعنی زمانی که هر سلول یک لکه جداگانه باشد (McGarigal, 2002). حداکثر مقدار تکه‌شدگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به پهنه‌آبی (۲/۲۸۴۷۶۰۰۵) و حداقل آن مربوط به کاربری مرتع (۶/۸۸) است. همچنین، برای سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار تکه‌شدگی مربوط به پهنه‌آبی (۲/۱۴۳۵۵۱۲۵) و حداقل آن مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۳/۶۴) به دست آمد (Su, Naqui, Mata-Contreras & Martín, 2014). در بررسی تکه‌شدگی (SPLIT) سیمای سرزمین از سنجه‌های حاشیه کل (TE)، تعداد لکه (NP)، شکل سیمای سرزمین، میانگین سطح لکه (AREA - MN)، بزرگ‌ترین لکه (LPI)، میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE - MN) استفاده شد. نتایج نشان داد که زراعت می‌تواند انجام شود. مقدار گسستگی سیمای (DIVISION) در حوزه آبخیز باراندوزچای در سال ۱۳۹۵ بین ۱-۰/۹۹ و در سال ۱۴۰۱ بین ۱-۰/۹۸ متغیر بوده است. این نتایج با نظرنژاد و همکاران (Nazar Neghad et al., 2020) که در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۲۰۰۲ به این نتیجه رسیدند تنوع در سیمای سرزمین کاهش یافته و نواحی علفزار، شهری، مرتع و شالیزار در داخل لکه‌های بزرگ متمرکز شده‌اند و جداسازی مربوط به پهنه آبی بوده است، مطابقت دارد. حداکثر مقدار شاخص تجمع (AI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۹۱/۵۹) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مسکونی (۹۵/۱۳) است. در سال ۱۴۰۱ نیز حداکثر مقدار شاخص تجمع مربوط به باغات و اراضی آبی (۴۳/۶۴) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۵۷/۸) به دست آمد. شاخص پیوستگی لکه (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را بیان می‌کند. مقدار این شاخص با افزایش پیوستگی لکه‌ها نیز افزایش خواهد یافت. (Alaei, Mustafazadeh, Esmaaliouri, Sharari & Hazbavi, 2020) حداکثر مقدار شاخص پیوستگی لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری خاک (۹۵) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۳/۱۷) است. در سال ۱۴۰۱ حداکثر مقدار این شاخص مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۲/۹۵) و حداقل مقدار آن مربوط به پهنه‌آبی (۶/۱۱) به دست آمد.

تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در سطح سیمای

نتایج حاصل از ۲۲ سنجه حوزه آبخیز باراندوزچای جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج مشخصه‌های آماری این سنجه‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حداکثر تراکم لکه مربوط به سال ۱۴۰۱ و حداقل مقدار

مربوط به سال ۱۳۹۵ بوده است. وجود تراکم بالای لکه در حوزه آبخیز نشان‌دهنده تخریب کاربری اراضی است که باعث افزایش تکه‌شدگی نیز شده است. پایین بودن سنجه میانگین اندازه لکه و بزرگ‌ترین اندازه لکه، به معنی تکه‌شدگی بیش‌تر سیمای سرزمین است. مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه در سال ۱۳۹۵ با مقدار عددی $9/6$ و کم‌ترین آن در سال ۱۴۰۱ با مقدار $9/1$ به دست آمد. با افزایش و کاهش مقدار عددی شاخص بزرگ‌ترین لکه به ترتیب میزان تکه‌شدگی سیمای سرزمین کاهش و افزایش می‌یابد. از این‌رو، در سال ۱۳۹۵ میزان تکه‌شدگی کم‌ترین مقدار و در سال ۱۴۰۱ بیش‌ترین مقدار می‌باشد. هر چه تراکم حاشیه (ED) بیش‌تر باشد اتصال و پیوستگی سیمای سرزمین بیش‌تر می‌شود؛ بنابراین با توجه به جدول (۳)، حداکثر اتصال بین لکه‌ها در سال ۱۴۰۱ بوده و در سال ۱۳۹۵ حداقل تراکم حاشیه (ED) و در نتیجه بیش‌ترین تکه‌شدگی مشاهده می‌شود. سنجه شکل لکه (LSI)، نسبت محیط لکه به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع را نشان می‌دهد، زمانی که مقدار عدد آن برابر یک باشد، یعنی سیمای سرزمین شامل یک لکه با حداکثر فشردگی و تقریباً مربع شکل است، وقتی که لکه پراکنده‌تر، شکل آن پیچیده‌تر و مرز بی‌نظم‌تر شود مقادیر آن بدون محدودیت افزایش می‌یابد. با توجه به جدول (۳)، چون در اکثر زیر حوضه‌های آبریز بیش‌تر از یک می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت شکل لکه‌ها در تمامی سال‌های موردبررسی نامنظم می‌باشد. میانگین شاخص شکل لکه (SHAPE_MN) از نسبت محیط لکه به بیش‌ترین فشردگی یا کم‌ترین محیط ممکن برای لکه به دست می‌آید. این سنجه برای لکه مربع شکل برابر یک است و با نامنظم شدن شکل، بیش‌تر می‌شود. با توجه به جدول (۳)، روند تغییرات SHAPE_MN برای سال‌های موردبررسی روند کاهشی کمی داشته است، به‌طوری‌که از مقدار عددی $1/09$ در سال ۱۳۹۵ به مقدار $1/08$ در سال ۱۴۰۱ رسیده است. حداکثر کل حاشیه (TE) 6904800 برای سال ۱۳۹۵ و برای سال ۱۴۰۱ مقدار 7399260 ارزیابی شد. طبق تغییرات این سنجه روند به‌صورت افزایشی بوده است. با افزایش حاشیه کل، پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک می‌شوند (McGarigal et al., 2012). شاخص پیوستگی لکه‌ها (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به کاربری‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به نتایج جدول (۴)، مقادیر به دست آمده برای تمام بخش‌های حوزه آبخیز کاهشی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیوستگی لکه‌ها در تمامی سال‌های

مورد بررسی روند کاهشی دارد. سنجه‌های شانون و سیمپسون از مهم‌ترین سنجه‌ها برای مطالعه تنوع اجزای تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین هستند. شاخص شانون، تنوع را در هر لکه به‌طور نسبی محاسبه می‌کند. این سنجه‌ها زمانی برابر با صفر هستند که در سیمای سرزمین فقط یک لکه وجود داشته باشد، و زمانی مقدار آن‌ها یک خواهد بود که تعداد لکه افزایش می‌یابد و توزیع منطقه متناسب با انواع لکه بیش‌تر شود (McGarigal et al., 2012). سنجه شانون (SHDI) نسبت به نادرترین لکه‌ها حساس است. زمانی میزان تنوع افزایش می‌یابد که میزان سنجه‌های تنوع به یک نزدیک شود، هرچه این مقدار به صفر نزدیک شود از میزان تنوع کاسته می‌شود.

جدول ۴- مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح سیما در سال‌های مورد بررسی

Table 4- The values of land surface measurements at the surface level in the years under review

روند تغییرات	2022	2016	اختصار Abbreviated	نام فارسی سنجه The Persian name of Sanjeh
Trend of changes				
افزایشی increasing	9858	7762	NP	تعداد لکه Number of Patches
افزایشی increasing	7.24	5.7	PD	تراکم لکه Patch Density
کاهشی decreasing	9.1	9.6	LPI	شاخص بزرگ‌ترین لکه largest patch index
افزایشی increasing	7399260	6904800	TE	حاشیه کل Total Edge
افزایشی increasing	54.35	50.72	ED	تراکم حاشیه Edge Density
افزایشی increasing	51.88	48.52	LSI	شاخص شکل لکه Landscape Shape Index
کاهشی decreasing	13.81	54.17	AREA_MN	میانگین اندازه لکه Mean patch area
کاهشی	1.08	1.09	SHAPE_MN	میانگین شاخص شکل لکه

decreasing				Mean patch shape index
ثابت	1.01	1.01	FRAC_MN	میانگین شاخص ابعاد فراکتال
constant				Fractal Dimension Index
ثابت	0.16	0.16	CONTIG_MN	میانگین شاخص همسایگی
constant				Contiguity Index
کاهشی	361.07	371.53	ENN_MN	میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی
decreasing				Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance
کاهشی	37.83	39.61	CONTAG	شاخص سرایت
decreasing				Contagion index
کاهشی	50.23	53.50	PLADJ	درصد مجاورت‌های مشابه
decreasing				Percentage of similar adjacencies
افزایشی	56.82	51.28	IJI	شاخص پراکندگی
increasing				dispersion index
کاهشی	88.19	93.36	COHESION	شاخص پیوستگی لکه
decreasing				Patch Cohesion Index
ثابت	0.98	0.98	DIVISION	شاخص گسستگی سیما
constant				Landscape Division Index
کاهشی	2383.13	3238.48	MESH	اندازه شبکه تأثیرگذار
decreasing				
افزایشی	57.13	42.04	SPLIT	شاخص تکه‌شدگی
increasing				Splitting Index
ثابت	0.01	0.01	PRD	تراکم غنای لکه
constant				Patch Richness Density
افزایشی	1.37	1.26	SHDI	شاخص تنوع شانون
increasing				Shannon's Diversity Index
افزایشی	1.27	0.14	MSIDI	شاخص اصلاح شده تنوع سیمپسون
increasing				Modified Simpson's Diversity Index
کاهشی	50.71	54	AI	شاخص تجمع
decreasing				Aggregation index

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز باراندوزچای با لحاظ معیارهای مؤثر بر آن شامل ۲۲ سنجه در سطح سیما و ۱۳ سنجه در سطح کلاس محاسبه شد. سنجه تکه‌شدگی نشان داد که کاربری پهنه‌آبی حداکثر تکه‌شدگی و زراعت دیم حداقل تکه‌شدگی را دارا می‌باشند. نتایج نشان داد که با توجه به سنجه‌های تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، تراکم حاشیه و شاخص شکل لکه کاربری مرتع حداکثر و کاربری زراعت دیم حداقل پیوستگی بین لکه‌ها را دارند. در این پژوهش با توجه به نتایج حاصل از سنجه‌های تنوع شانون و سیمپسون در سطح سیما مشاهده شد که اگر مقدار این نسبت بیش‌تر از ۱ باشد، پراکنش کپه‌ای و اگر برابر یک باشد، تصادفی و در صورتی که کم‌تر از یک باشد به صورت یکنواخت توزیع یافته‌اند، بنابراین همان‌گونه که مشاهده شد، این مقدار برای بازه زمانی ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ بیش از یک به دست آمد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در حوزه آبخیز باراندوزچای پراکنش لکه‌ها به صورت یکنواخت می‌باشد. نتایج نشان داد که افزایش تعداد لکه‌ها، افزایش حاشیه و کوچک شدن لکه‌ها باعث تکه‌شدگی و در نتیجه ایجاد لکه‌های جدا از هم در حوزه آبخیز باراندوزچای می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت کاربری اراضی، جلوگیری از بهره‌برداری بیش‌ازحد در منطقه مورد مطالعه و حفاظت از آن برای نسل‌های آتی مفید باشد.

References

- Alaei, N., Mustafazadeh, R., Esmaaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and Comparison of Landscape Connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8(4), 19-34. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.47176/ijae.8.4.2572>
- Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, Ó. J., & Arias, J. E. (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>
- Aunap, R., Uuemaa, E., Roosaare, J., & Mander, Ü. (2006). Spatial correlograms and landscape metrics as indicators of land use changes. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 89. <http://dx.doi.org/10.2495/GEO060311>
- Berila, A., & Isufi, F. (2021). Two decades (2000–2020) measuring urban sprawl using GIS, RS and landscape metrics: a case study of Municipality of Prishtina (Kosovo). *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 114-125. <https://doi.org/10.12911/22998993/137078>

- Birhanu, A., Masih, I., van der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X., (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 112, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006>
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Dezhbani, H., Mustafazadeh, R., Esmaaliouri, A., & Nazila, A. (2023). Analysis of the relationship between spatial and temporal changes in land use and landscape metric in the Kozetaparaghi watershed. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 12(45), 82-99. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087845.1402.12.45.5.7>
- Esfandiari darabad, F., Hamzaei, M., Alaei, N., & Mostafazadeh, R. (2021). Spatial Variations of Landscape Metrics in Riparian Area Vegetation of Gharehou River Reaches under the Effect of Different Land Uses, Ardabil Province. *Geographical Planning of Space*, 10(38), 219-234. [In Persian] <https://www.doi.org/10.30488/gps.2020.197834.3091>
- Ghafari, S., Moradi, H. R., & Modares, R. (2018). Comparison of object-oriented and pixel-based classification methods for land use mapping (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(1), 40-57. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1397.9.1.3.3>
- Idham, R. M., Nurul, F. J., Mohammad, F., Keiko, U., So, K., & Shunichi, K. (2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 11(2), 99-105. <https://doi.org/10.3178/hrl.11.99>
- Irani, T., Abghari, H., & Rasouli, A. (2024). Analysis of the Relationship between Landuse Changes and Landuse Metrics: the Case Study of Godarchai Watershed. *Geographical Planning of Space*, 14(1), 165-188. [In Persian] <https://www.doi.org/10.30488/GPS.2024.406033.3661>
- Kakehmami, A., Moamari, M., Qurbani, A., & Ghaffari, S. (2020). Analysis of land use/cover changes in Ardabil province using landscape metric. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11, 68-86. [In Persian] <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674952>
- Kiyani, V., & Fegghi, J. (2015). Investigating of cover/land use structure of Sefidroud watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(2), 131-141. [In Persian] <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jest/Article/839655>
- Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(1), 773-783.
- Lam, N. S. N., Cheng, W., Zou, L., & Cai, H. (2018). Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment*, 209, 253-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.034>
- McGarigal, K. (2002). FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.

- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- Moharrami, M., & Derafshi, A. (2015). Signifying of the urmia lake changes using objected-oriented image processing techniques. *Journal of Applied Hydrology*, 2(2), 13-23.
- Nasiri, V., & Darvishsefat, A. A. (2018). Analysis of land use and land cover using ecological landscape metrics (case study: Arasbaran region). *Environmental Sciences*, 16(3), 101-118. [In Persian] https://envs.sbu.ac.ir/article_97954.html
- Nazar Neghad, H., Hosseine, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas. *Geographical Planning of Space*, 9(34), 53-66. [In Persian] <https://doi.org/10.30488/gps.2020.95381.2570>
- Su, L., Naqui, J., Mata-Contreras, J., & Martín, F. (2014). Modeling metamaterial transmission lines loaded with pairs of coupled split-ring resonators. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 68-71. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2355035>
- Tzotsos, A., & Argialas, D. (2008). Support vector machine classification for object-based image analysis. *Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven Remote Sensing Applications*, 663-677. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_36
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research*, 3(1), 1-28. <http://hdl.handle.net/1854/LU-695518>