



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 1, No.93, Spring 2024, pp. 1- 3
Received: 15/07/2023 Accepted: 04/09/2023

Investigating the Effects of Some Ecological Indicators of Forest Patches on the Supply of Selected Ecosystem Services (Study Area: Eastern Part of Gilan Province)

Mahdis Sadat¹, Mahmood Zoghi², Mohammad Javad Amiri³  * ³

1- Ph.D. of Environmental Planning, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
Mahdissadat74@ut.ac.ir

2- Ph.D. of Environmental Planning, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
Zighi87@ut.ac.ir

3- Assistant professor, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
mjamiri@ut.ac.ir

Abstract

In recent years, augmentation of ecosystem services has emerged as a critical concern. However, there is a dearth of information regarding ecosystem services within the realm of planning. This study sought to address this gap by assessing the influence of landscape structure on ecosystem functionality. To achieve this, we utilized InVEST software to model ecosystem services, such as carbon sequestration, soil maintenance, and flood prevention. Additionally, we employed MSPA and Fragstate software to derive 4 key ecological indicators: biomass quantity, fragmentation, core area, and ratio of environmental area to forest core area. Subsequently, we examined the relationship between these ecological indicators and the selected ecosystem services. Our findings indicated a robust and positive correlation between the presence of forested and verdant areas, as well as larger and more interconnected cores within these areas, and the provision of desired services. Notably, in forest patches, a decrease in ecosystem service provision was observed with increased fragmentation and instability, underscoring the importance of preserving and expanding the Hyrcanian forests while also prioritizing integrity and reducing isolated patches for enhancing ecological productivity in the northern provinces of the country.

Keywords: Ecosystem, Ecosystem Services, Ecological Indicators, Planning

*Corresponding Author

Sadat, M., Zoghi, M., & Amiri, M. J. (2023). Investigating the effects of some ecological indicators if forest patches on the supply of selected ecosystem services (study area, eastern part of Gilan province). *Geography and Environmental Planning*, 35 (1), 1 - 4 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/GEP.2023.138399.1595

Introduction

The decline of ecosystem services is a matter of grave concern as it has the potential to undermine the long-term resilience of ecosystems and precipitate abrupt changes that jeopardize a safe habitat for humanity. The type and intensity of land use, along with the spatial arrangement of land cover types within a region, can significantly alter its capacity to furnish ecosystem services. This is because transitioning from one land use type to another impacts crucial ecological processes, such as energy exchange, water cycle, and biogeochemical cycles, consequently influencing the provision of ecosystem services. Configuration of land use is a pivotal structural factor that influences ecosystem functionality and delivery of services. Notably, human activities, land cover, and associated changes have been identified from among the most influential factors shaping the structure, composition, and function of ecosystems that underpin their services.

Effective land use management and planning necessitate an initial phase of assessing and mapping ecosystem services. This stage yields crucial information, including identification of areas that yield high levels of service and require protection or management to sustain the services provided, as well as recognition of areas with specific ecosystem services and changes in the provision of ecosystem services over time.

Despite previous research efforts, no study has comprehensively explored the significant ecological indicators in relation to overall ecosystem services. Furthermore, optimization of ecological network elements to enhance ecosystem services has been predominantly limited to the establishment of corridors between ecological network cores (Xiao et al., 2020; Guo et al., 2018; Shi and Qin, 2018). Therefore, this study endeavored to identify and evaluate the relationships between key ecological indicators and ecosystem services.

Materials & Methods

The research area encompassed two watersheds, Lahijan Chaboksar and Astana-Kuchesfahan, situated in the eastern and central regions of Gilan Province, respectively.

The initial step of this study involved the classification of satellite images of the study area in 2020. To achieve this, Landsat 8 images captured between 01/01/2020 and 12/31/2020 with cloud cover below 10% were utilized. Subsequently, classification of land cover was conducted, employing normalized vegetation difference index products and guidelines for the four seasons, urban areas, and tree cover to identify forested areas with trees exceeding 30 meters in height. Additionally, ground-based data input by the user was utilized to classify land cover into 8 categories: forested areas, open spaces, pastures, agricultural lands, tea cultivation lands, gardens, water bodies, and man-made lands encompassing roads and urban areas.

In the subsequent phase, 3 pivotal ecosystem services—carbon storage, flood mitigation, and sediment preservation—were selected for assessment. These services represented crucial contributions of the watershed, reflecting its equilibrium. The latest iteration of the Integrated Valuation of Ecosystem Services (InVEST) model was employed to quantify these services. Following the modeling and unweighting of the targeted services, the aggregate ecosystem service value was computed from the set of unweighted services. Furthermore, 4 ecological indicators—fragmentation, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), forest core area, and ratio of environmental area to core area—were evaluated. Subsequently, 1600 samples were selected using the "Fishnet" tool to calculate the correlation coefficient of total ecosystem services with the designated indicators. The data pertaining to ecological indicators and total ecosystem services were extracted from these samples. Pearson's correlation was then utilized to ascertain the magnitude, nature, and direction of the relationship between the two variables.

Research Findings

The index of Total Ecosystem Services (TES) for the three services under scrutiny ranged from 2.67 to 0.0, representing the highest and lowest values, respectively. Notably, the lowest value of service provision within the watershed was modeled in urban and built-up areas, registering a value of 0, while the highest value was observed in areas with a slope of less than 10% within the Hyrcanian forests, reaching a peak value of 2.67. Furthermore, in the northern region where agricultural lands had expanded, they accounted for the highest level of service provision following the forests.

Calculation of NDVI revealed a range of 0.03 to 0.99 across the region. The highest NDVI values were recorded in densely populated areas in the south where the Hyrcanian forests were prevalent, while the lowest values were observed in man-made areas. Additionally, the disintegration index computed using GTB software fluctuated between 0 and 101 within the studied watershed. The lowest forest fragmentation rates were concentrated in the inner and central areas of the Hyrcanian forests in the southern half of the region, whereas the highest rates were found in isolated patches in the northern half part. Despite being fragmented, the forest edges exhibited an intermediate state owing to the high density of patches.

An examination of the correlation between the aforementioned indices and TES revealed a significant positive correlation between TES and NDVI, as well as core area, with the correlation coefficients of 0.77 and 0.70, respectively. This suggested that an increase in either of these factors could lead to an enhancement in the quantity of the ecosystem services in question. Conversely, there existed a notable negative correlation between the TES index and the ratio of environmental area to core area, as well as the fragmentation index, with the correlation coefficients of -0.63 and -0.71, respectively. This implied that an increase in forest fragmentation or a shift towards edge-like configurations would diminish the provision of the desired services.

Discussion of Results & Conclusion

The findings indicated that areas with more forest cover and greenery, as well as larger cores within these areas, were capable of providing more substantial ecosystem services. These results aligned with the findings of Situmorang et al. in 2016 and Shen et al. in 2019. Conversely, as the perimeter-to-core area ratio of forest patches increased, leading to a greater tendency for patches to become smaller and unstable, and as fragmentation within these patches intensified, the capacity of these patches to provide ecosystem services diminished significantly. These outcomes were consistent with the findings of Saeed et al. in 2019. Overall, this research underscored the influential role of secondary factors, in addition to land use, in the provision of ecosystem services. This insight can inform planning efforts aimed at enhancing the efficiency of programs and optimizing the delivery of desired ecosystem services. It is imperative to take proactive measures in this regard.

مقاله پژوهشی

بررسی اثرهای برخی از شاخص‌های اکولوژیکی لکه‌های جنگلی بر روی عرضه خدمات اکوسیستمی منتخب (منطقه مورد مطالعه: بخش شرقی استان گیلان)

مهدیس سادات، دکترای برنامه‌ریزی محیطی، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیطی، دانشکده محیطیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
mahdissadat74@ut.ac.ir

محمود ذوقی، دکترای برنامه‌ریزی محیطی، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیطی، دانشکده محیطیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
zoghi87@ut.ac.ir

محمد جواد امیری*^{id}، استادیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیطی، دانشکده محیطیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
mjamiri@ut.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر خدمات اکوسیستمی و افزایش آن با رویدادهایی همچون تغییرات اقلیمی و حوادث طبیعی غیرمترقبه به موضوعی مهم تبدیل شده است؛ با این حال اطلاعات محدودی درباره خدمات اکوسیستمی در زمینه برنامه‌ریزی وجود دارد. در پژوهش حاضر سعی شده است تا این شکاف با ارزیابی میزان تأثیر ساختار لکه‌ها بر روی عملکرد اکوسیستم بررسی شود. به همین دلیل، بخشی از استان گیلان به عنوان استانی که طی سال‌های اخیر به دلیل وجود جنگل‌های هیرکانی، دریای خزر و آب‌وهوای مطبوع دستخوش تغییرات زیادی شده است، به عنوان منطقه مطالعه شده انتخاب و سپس مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی ترسیب کربن، نگهداشت خاک و جلوگیری از سیلاب با استفاده از نرم‌افزار InVEST انجام و در ادامه، شاخص‌های اکولوژیکی مقدار زیست‌توده، ازهم‌گسیختگی، مساحت هسته‌ها و نسبت محیط به مساحت هسته‌های جنگلی به عنوان چهار شاخص اکولوژیک مهم با استفاده از نرم‌افزارهای MSPA و Fragstate استخراج شده است. در نهایت، ارتباط بین شاخص‌های اکولوژیکی با خدمات اکوسیستمی منتخب بررسی شد. نتایج نشان داد که بین وجود منطقه‌ها جنگلی و سبزتر و هسته‌های بزرگ‌تر و یکپارچه‌تر در این منطقه‌ها با ارائه خدمات مدنظر ارتباط مثبت و قوی وجود دارد. همچنین، میزان ارائه خدمات اکوسیستمی لکه‌ها با افزایش نسبت محیط به مساحت هسته در لکه‌های جنگلی و نیز با افزایش ازهم‌گسیختگی به صورت محسوسی کاهش می‌یابد؛ در نتیجه برنامه‌ریزی برای استان‌های شمالی کشور در راستای افزایش بهره‌وری اکولوژیکی این مناطق نه تنها مستلزم حفظ بقایای جنگل‌های هیرکانی و افزایش مساحت آنهاست، نیازمند توجه به یکپارچگی و کاهش لکه‌های ایزوله است.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم، خدمات اکوسیستمی، شاخص‌های اکولوژیکی، برنامه‌ریزی.

*نویسنده مسؤول

سادات، مهدیس، ذوقی، محمود، امیری، محمدجواد. (۱۴۰۲). بررسی اثرات برخی از شاخص‌های اکولوژیکی لکه‌های جنگلی بر روی عرضه خدمات اکوسیستمی منتخب (منطقه مورد مطالعه، بخش شرقی استان گیلان). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۱)، ۸۹-۱۱۰.



مقدمه

ساختار و عملکرد اکوسیستم خدمات متنوعی را ارائه می‌دهد که به‌عنوان خدمات اکوسیستمی (Ecosystem services) شناخته می‌شود. درواقع، خدمات اکوسیستمی مزایایی است که جوامع انسانی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم از اکوسیستم‌ها دریافت می‌کنند (MEA, 2005) و به چهار دسته تنظیمی، تأمینی، زیستگاهی و خدمات فرهنگی تقسیم می‌شود (TEEB, 2010). درنتیجه، خدمات اکوسیستمی نشانه‌های واقع‌بینانه از مزایای طبیعی است که پایداری جوامع انسانی را به شیوه‌ای سازگار با محیط‌زیست حفظ می‌کند (Asadolahi et al., 2018). از این رو، از دست دادن خدمات اکوسیستمی نگرانی خاصی دارد؛ زیرا ممکن است انعطاف‌پذیری آنها را در درازمدت به خطر بیندازد و منجر به تغییرات ناگهانی شود و درنهایت، فضای زیستی ایمن را برای بشریت از بین ببرد (Steffen et al., 2015).

نوع کاربری و پوشش اراضی، الگوهای مکانی چینش انواع طبقات پوشش زمین در یک منطقه و تغییرات در سیمای سرزمین می‌توانند ظرفیت ارائه خدمات اکوسیستمی منطقه را تغییر دهند؛ زیرا تغییر در هریک از این مؤلفه‌ها، فرآیندهای اکولوژیک عمده (تبادل انرژی، چرخه آب و چرخه زیست‌زمین شیمیایی و به تبع آن عرضه خدمات اکوسیستم) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Qiu, 2019; Zhu et al., 2021; Yohannes et al., 2021). درنتیجه، کاوش درباره عوامل و مکانیسم‌های تأثیرگذار بر خدمات اکوسیستمی مختلف یک نیاز اساسی برای بهبود درک تولید، تحویل، تبدیل و نگهداری خدمات اکوسیستمی، برنامه‌ریزی پایدار کاربری اراضی (Lee & Lautenbach, 2016) و مدیریت و حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی (Schwilch et al., 2016) است.

بنابراین امروزه محققان در پژوهش‌های خود درباره خدمات اکوسیستمی نفوذ خودشان را به برنامه‌ریزی و بوم‌شناسی چشم‌انداز گسترش داده‌اند؛ به‌طوری که خدمات اکوسیستمی به‌عنوان اساسی جنبش پایداری تبدیل شده است. این مهم فرصتی را برای افزایش قابلیت استفاده، سودمندی، اثربخشی و مشروعیت خدمات اکوسیستمی در برنامه‌ریزی فراهم می‌کند (Qiu et al., 2022).

همان‌گونه که اشاره شد در سال‌های اخیر مطالعات درباره خدمات اکوسیستمی در سطح دنیا گسترش یافته است (Clerici et al., 2019; Lüke & Hack, 2018; Fan et al., 2016; Zhu et al., 2021)؛ اما در تعداد کمی از مطالعات یک معیار خاص اکولوژیکی بر روی یک خدمت اکوسیستمی خاص بررسی شده است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

پیشینه پژوهش

کیو پژوهشی با عنوان «اثرات الگوی منظر بر گرده‌افشانی، کنترل آفات، کیفیت آب، تنظیم سیل و خدمات اکوسیستم فرهنگی: مروری بر ادبیات و چشم‌انداز تحقیقات آینده» انجام داد. در این مطالعه تأکید شده است که گرده‌افشانی در مناظر پیچیده و ناهمگن با زیستگاه‌های طبیعی / نیمه‌طبیعی اطراف بیشتر افزایش می‌یابد. پیکربندی فضایی پوشش‌های زمین، اتصال و اثرهای لبه در کنترل آفات اهمیت دارد. علاوه بر این، پیکربندی پوشش‌های زمین می‌تواند گاهی اوقات ترکیب را به‌عنوان محرک اصلی برای کیفیت آب برتری دهد. برای کنترل سیل، پوشش‌های

طبیعی بزرگ‌تر و کمتر تکه‌تکه‌شده اوج رواناب را کاهش می‌دهد. همچنین، این پژوهش نشان داد که خدمات فرهنگی منطری ناهمگونی دارد (Qiu, 2019).

سعید و همکاران پژوهشی با عنوان «اثر لبه جنگل بر کربن زیست‌توده در امتداد شیب‌های ارتفاعی در صنوبر چینی (*Cunninghamia lanceolata*): مطالعه‌ای از جنوب شرقی چین» انجام دادند. محققان در این مطالعه لبه‌های لکه‌های جنگلی را بر روی خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن با استفاده از داده‌های موجودی میدانی از یک اکوسیستم جنگلی *Populus alba* در جنوب شرقی چین بررسی کردند. در این مطالعه کربن در لبه جنگل و داخل جنگل در ارتفاعات مختلف اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از همبستگی مثبت و معنادار میان زیست‌توده کربن با ارتفاع بود. همچنین، نتایج نشان داد که لبه‌های جنگل به‌طور چشمگیری کربن کمتری نسبت به فضای داخلی جنگل دارد. سرانجام، این مطالعه نشان داد که نادیده گرفتن اثرهای لبه، چگالی کربن را تا ۹/۴۶ درصد بیش‌ازحد برآورد می‌کند (Saeed et al., 2019).

شن و همکاران پژوهشی با عنوان «ذخیره کربن خاک و عوامل تعیین‌کننده آن در قطعات جنگل با اندازه تکه‌های متمایز» انجام دادند. محققان در این مطالعه ذخیره کربن خاک و عوامل تعیین‌کننده آن را در قطعات جنگلی با تکه‌های متفاوت بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ذخیره کربن خاک به‌طور چشمگیری از لبه‌های جنگل نسبت به فضای داخلی به‌دلیل غلظت کربن سنگ‌دانه‌های کوچک و بزرگ در جنگل افزایش می‌یابد. همین روند نیز با افزایش اندازه تکه‌های جنگلی در سیمای سرزمین مشاهده می‌شود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که ذخیره کربن خاک در قطعات جنگلی از هم‌گسیخته به‌دلیل وجود نسبت کمتر توزیع کلان‌دانه‌های کوچک و پراکنده و نیز به‌دلیل میزان کمتر تولید ریشه ریز به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. در ایران نیز چند مطالعه درباره اندازه‌گیری خدمات اکوسیستمی و ارتباط آنها با تغییر کاربری اراضی انجام شده است (Shen et al., 2019).

اسدالهی و همکاران (۱۳۹۴) پژوهشی با عنوان «مدل سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک: مطالعه موردی: ناحیه شرقی حوزه آبخیز گرگانرود» انجام دادند. محققان در این پژوهش مدل‌سازی خدمت نگهداشت خاک را با نرم‌افزار InVEST در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگانرود بررسی کردند. نتایج نشان داد که منطقه‌ها با پتانسیل فرسایش بالا به‌طور عمده، در مسیر آبراهه‌ها و در منطقه‌ها جنگلی مرتفع با شیب زیاد قرار دارند. همچنین، زیرحوضه‌ها با پوشش غالب جنگلی و اراضی کشاورزی در منطقه‌های پایین‌دست حوضه به‌ترتیب بیشترین و کمترین خدمت نگهداشت خاک را در منطقه مطالعه شده ارائه می‌دهند. به‌علاوه، نتایج نشان داد که نرم‌افزار InVEST درباره این خدمات اکوسیستمی نتایج خوبی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

ذبیحی و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «کاربست مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب» انجام دادند. محققان در این مطالعه اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار را در استان مازندران از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب با استفاده از نرم‌افزار InVEST بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان‌دهنده افزایش هدررفت خاک از سمت جنوب به شمال حوضه است که باعث شده است تا دو زیرآبخیز آسران و قدمگاه در شرایط بحرانی فرسایش خاک قرار داشته باشند.

عادل ساردو (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان «مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی: رویکرد خدمات اکوسیستمی و لحاظ آب مجازی: نمونه موردی: حوضه آبخیز هلیل رود» انجام داد. محقق در این پژوهش در چهارچوبی مفهومی تأثیرات تغییرات کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را بر مقدار تولید سایر خدمات اکوسیستمی و روابط میان آنها در طول زمان در دشت جیرفت بررسی کردند. به این منظور خدمات اکوسیستمی مهم منطقه مانند تولید محصولات کشاورزی، تولید آب، ترسیب کربن و انتقال مواد مغذی با نرم‌افزار InVEST مدل‌سازی و سپس تأثیرات تغییرات کاربری اراضی بر روابط میان این خدمات در طول زمان بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اثرهای مستقیم تغییر کاربری اراضی بر روی خدمات اکوسیستمی در منطقه مطالعه شده بود. همچنین، این پژوهش نشان داد که روابط و بده-بستان‌های میان خدمات اکوسیستمی در طول زمان تغییر می‌کند که می‌توان به این مهم در برنامه‌ریزی‌ها و نگاه برنامه‌ریزان به خدمات اکوسیستمی توجه شود.

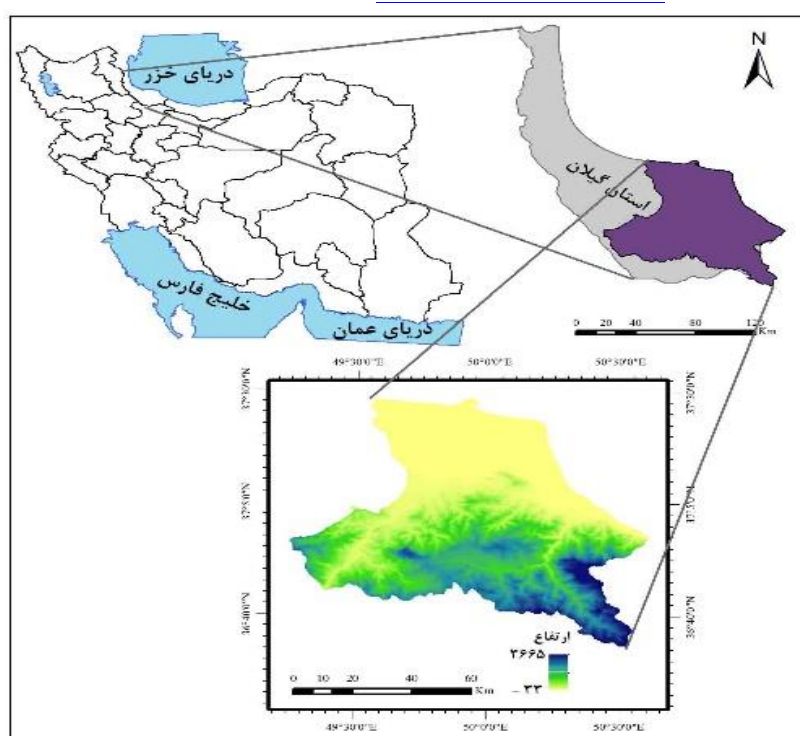
در بین پژوهش‌های انجام‌شده در هیچ مطالعه‌ای به عواملی چون ۱- شاخص اکولوژیکی ازهم‌گسیختگی جنگل به‌عنوان یک عامل مهم در سیمای سرزمین، ۲- زیست‌توده به‌عنوان متغیر نشان‌دهنده تغییر کاربری اراضی سبز، ۳- مساحت هسته و نسبت محیط به مساحت هسته به‌عنوان شاخص‌های پایداری سیمای سرزمین با خدمات اکوسیستمی ترسیب کربن، ۴- نگهداشت خاک و جلوگیری از سیلاب به‌عنوان خدمات نشان‌دهنده شرایط کاربری و پوشش زمین، شبکه اکولوژیک، وضعیت پوشش گیاهی و شرایط خاک در منطقه مطالعه شده (Shen et al., 2021; Kretz et al., 2017; Islam et al., 2019)، توجه نشده است؛ بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده است تا در راستای مطالعه عمیق‌تر درباره اثرهای تغییرات ساختاری بر خدمات اکوسیستمی ارائه شده از سوی اکوسیستم، ارتباط شاخص‌های اکولوژیکی مهم منطقه‌ها جنگلی (زیست‌توده، ازهم‌گسیختگی، مساحت هسته و نسبت محیط به مساحت هسته) بر روی خدمات منتخب ذکرشده بررسی شود.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در پژوهش حاضر تلفیق دو حوزه آبخیز لاهیجان چابکسر و آستانه-کوچصفهان است که به‌ترتیب در شرق و مرکز استان گیلان قرار دارد (شکل ۱). حوزه آستانه-کوچصفهان با مساحت ۱۱۰۰ کیلومتر مربع بر روی مخروط خزر و دلتاهای رودخانه سفیدرود تشکیل شده است. مرزهای سطحی این حوزه دریای خزر و دلتاهای رودخانه سپیدرود در قسمت شمال، جنگل‌های هیرکانی در جنوب، حوزه آبخیز لاهیجان-چابکسر در شرق و دشت فومنات در غرب است. طول جغرافیایی این حوزه از $49^{\circ} 12'$ تا $50^{\circ} 05'$ عرض شرقی و $37^{\circ} 07'$ تا $37^{\circ} 25'$ طول شمالی نوسان دارد. این حوزه دربرگیرنده بخش‌هایی از شهرستان‌های آستانه، رشت، سیاهکل، رودبار و لاهیجان است. حوزه آبخیز لاهیجان چابکسر با مساحت ۳۰ کیلومتر مربع بین $50^{\circ} 21'$ تا $50^{\circ} 26'$ عرض شرقی و $37^{\circ} 02'$ تا $37^{\circ} 06'$ طول شمالی قرار گرفته است. مرزهای این محدوده از سمت شمال به دریای خزر، از شرق و غرب به ترتیب به رودخانه‌های خشکه‌رود و پلرود و از جنوب دربرگیرنده بخشی از جنگل‌های هیرکانی است. این حوزه نیز

دربرگیرنده بخش‌هایی از شهرستان‌های لاهیجان، لنگرود، املش، رودسر، سیاهکل و بخش‌های کمی از رودبار است. مهم‌ترین رودخانه در این منطقه، رودخانه سفیدرود است که از بهم پیوست دو رودخانه قزل‌اوزن و شاهرود در پشت سد منجیل در شهرستان رودبار تشکیل می‌شود. طول رودخانه در محدوده کوهستان حدود ۵۷ کیلومتر و در محدوده جلگه حدود ۵۴ کیلومتر و دبی آن به‌طور تقریبی، برابر با ۵۰ متر مکعب بر ثانیه است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مطالعه شده در زون زمین‌شناسی گرگان‌رشت و البرز قرار دارد. از ویژگی‌های مهم این پهنه می‌توان به فعالیت‌های تکنوتیکی، فرونشینی دریای خزر و پی‌سنگ دگرگونی پرکامبرین دریای خزر اشاره کرد. همچنین، تداوم رسوب‌گذاری آهکی بین ژوراسیک و کرتاسه نیز از ویژگی‌های این پهنه است. به‌علاوه، از نظر آب‌وهوایی نیز منطقه مطالعه شده در طبقه آب‌وهوایی مرطوب قرار دارد (معصومی و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل ۱: منطقه مطالعه‌شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 1: Study area

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای چالش‌هایی از جمله اطمینان از کیفیت ابرناکی تصاویر (در برخی از منطقه‌ها مانند استان‌های شمالی به شدت فراوان است)، یافتن روشی بهینه برای تصحیح اتمسفریک و هندسی تصاویر و درنهایت، استفاده از روشی بهینه برای پردازش و طبقه‌بندی آنها را دارد. در پژوهش حاضر برای مقابله با این چالش‌ها از سامانه Google Earth Engine از جهت طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد. این سامانه یک پلتفرم مبتنی بر اینترنت است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۸ رونمایی شده است. (Gorelick et al., 2017). تصاویر دریافت‌شده در Earth

Engine برای سهولت دسترسی سریع و کارآمد از قبل پردازش می‌شود (Kumar & Mutango, 2018). برای طبقه‌بندی پوشش زمین در این مطالعه از مجموع تصاویر لند ست ۸ در بازه زمانی 2020/01/01 الی 2020/12/31 که ابرناکی زیر ۱۰ درصد داشتند، استفاده شد. سپس با استفاده از محصولات و شیوه‌نامه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) مربوط به چهار فصل، اراضی شهری، پوشش درختی (برای شناسایی منطقه‌ها جنگلی با درختان بیش از ۳۰ متر) و داده‌های تعلیمی برداشته شده از زمین و وارد شده به سامانه ازسوی کاربر، پوشش زمین به ۸ طبقه جنگل، فضای باز، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی کشت چای، باغ‌ها، بدنه آبی (دریاچه، تالاب و رودخانه) و اراضی انسان ساخت (جاده‌ها و شهرها) طبقه‌بندی و از نتایج حاصل از این بخش به عنوان پوشش زمین در بخش بعدی استفاده شد. گفتنی است که در پژوهش حاضر ضریب کاپا به عنوان معیاری برای سنجش دقت تصاویر با استفاده از مقایسه نقشه به دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با ۲۵ نقطه برداشت شده از زمین به عنوان نقاط مرجع محاسبه شد.

ارزیابی خدمات اکوسیستمی

سه خدمت اکوسیستمی شامل ترسیب کربن، کاهش سیل و حفظ رسوب در این پژوهش انتخاب شد. این خدمات از مهم‌ترین خدمات اکوسیستمی ارائه شده از سوی حوضه آبخیز است. همان‌گونه که پیشتر مطرح شد خدمات فوق نشان‌دهنده شرایط کاربری و پوشش زمین، شبکه اکولوژیک، وضعیت پوشش گیاهی و شرایط خاک در منطقه مطالعه شده (Islam et al., 2017; Shen et al., 2019; Kretz et al., 2021) است. در پژوهش حاضر برای تعیین کمیت خدمات اکوسیستمی از آخرین نسخه مدل ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستم (InVEST) استفاده شد. نرم‌افزار InVEST که روش ارزیابی را برای بیش از بیست و پنج سرویس اکوسیستمی ارائه می‌کند، یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارها برای ارزیابی و فضایی‌سازی خدمات اکوسیستمی است. این نرم‌افزار می‌تواند خدمات مختلف اکوسیستم را ارزیابی کند و سپس تجزیه و تحلیل جامعی را برای برنامه‌ریزی بازسازی اکولوژیکی، پرداخت خدمات اکوسیستم و ارزیابی اثرهای توسعه و مجوز فضایی ارائه دهد (Guo et al., 2018).

مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت رسوب

در این پژوهش برای محاسبه خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک از مدل «نسبت تحویل رسوب» و از آخرین نسخه نرم‌افزار InVEST 3.11 استفاده شد. فرمول محاسبه به شرح زیر است:

$$USLE_i = R_i \times K_i \times LS_i \times C_i \times P_i \quad (\text{فرمول ۱})$$

در فرمول ۱ $USLE_i$ میانگین هدررفت خاک، R_i فاکتور فرساینده‌گی باران، K_i عامل فرسایش‌پذیری خاک، L_i فاکتور طول شیب، S_i ضریب شیب، C_i عامل پوشش و کاربری اراضی و P_i عامل اقدام‌های مدیریتی در پیکسل i است. برای استخراج هریک از داده‌های لازم به عنوان ورودی مدل به مقاله [سادات و همکاران \(۱۴۰۱\)](#) مراجعه کنید.

مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن

در این پژوهش برای محاسبه ترسیب کربن از «مدل ذخیره و ترسیب کربن» در InVEST استفاده شد. این مدل برای تخمین مقدار کربن ذخیره شده در یک سیمای سرزمین یا مقدار کربن جدا شده در طول زمان از ذخایر در چهار استخر کربن (زیست‌توده روی زمین، زیست‌توده زیرزمینی، خاک و مواد آلی مرده) استفاده می‌کند. مقدار ترسیب کربن در طول زمان برای یک پیکسل معین X برابر است با:

$$C_i = C_{i \text{ above}} + C_{i \text{ below}} + C_{i \text{ soil}} + C_{i \text{ dead}} \quad (\text{فرمول ۲})$$

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n C_i \times S_i \quad (\text{فرمول ۳})$$

در فرمول‌های ۲ و ۳، i نشان‌دهنده نوع کاربری زمین و C_i نشان‌دهنده تراکم کربن کل خاک و موجودات از نوع زمین i است. $C_{i \text{ above}}$ به چگالی کربن موجودات کاربری نوع i ، $C_{i \text{ below}}$ به چگالی کربن موجودات زیرزمینی کاربری نوع i ، $C_{i \text{ dead}}$ به چگالی کربن ماده آلی بستر زمین نوع i ، $C_{i \text{ soil}}$ به چگالی کربن ماده آلی خاک در لایه خاک طبقه i زمین در عمق معینی (۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در این مطالعه) اشاره دارد. همچنین، C_{total} نشان‌دهنده کل ذخیره کربن، S_i نشان‌دهنده مساحت کل کاربری زمین نوع i و n نشان‌دهنده تعداد کل انواع کاربری زمین است (Zhu et al., 2021). در پژوهش حاضر به دلیل مشابهت منطقه مطالعه شده از نظر آب‌وهوایی و کاربری اراضی از مطالعه لیانگ و همکاران و وانگ و همکاران برای تعیین carbon pools استفاده شد (Liang et al., 2017; Wang et al., 2002) (جدول ۱).

جدول ۱: چگالی کربن هریک از ذخیره‌گاه‌های کربن در هر پوشش زمین

Table 1: Carbon density of each carbon storage in each land cover

کاربری اراضی	تراکم کربن در بخش مرده خاک مرده (Mg/Ha)	تراکم کربن در بخش زنده خاک (Mg/Ha)	تراکم کربن در زیرزمین (Mg/Ha)	تراکم کربن در روی زمین (Mg/Ha)
جنگل	۱۱/۷۵	۹۸۰/۰۵	۲۲/۵	۱۰۵۰/۷۵
اراضی باز	۰	۲۵۴	۰/۸۳	۰/۴
مرتع	۰/۲۲	۶۵۶/۳۳	۱/۴۳	۱/۸
کشاورزی	۱/۵	۸۳۷/۳۳	۷/۵۴	۴/۵۶
اراضی چای	۲/۵	۹۱۰/۳۳	۲	۷/۴
اراضی ساخته شده	۰	۳۸۸/۶۷	۰	۰
بدنه آبی	۰	۰	۰	۰

منبع: Liang et al., 2017; Wang et al., 2002

مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی جلوگیری از سیلاب

در پژوهش حاضر از مدل کاهش خطر سیل در نرم‌افزار InVEST استفاده شده است. در این مدل، منابع مختلف سیل مانند رودخانه، ساحلی و طوفان در نظر گرفته شده است. مدل کاهش خطر سیل، مقدار رواناب باقی‌مانده را در

هر پیکسل در مقایسه با حجم طوفان برای محاسبه این سرویس اکوسیستمی محاسبه می‌کند. رواناب Q (mm) با روش مقدار منحنی رواناب برای هر پیکسل i که با نوع کاربری زمین و ویژگی‌های خاک تعریف می‌شود، در نرم‌افزار InVEST تخمین زده می‌شود:

$$Q_{p,i} = \begin{cases} \frac{(P - \lambda S_{max,i})^2}{P + (1 - \lambda) S_{max,i}} & \text{if } P > \lambda S_{max,i} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (\text{فرمول ۴})$$

در فرمول ۴ که P عمق طوفان طراحی شده برحسب میلی‌متر است، $S_{max,i}$ میزان احتباس پتانسیل برحسب میلی‌متر و λS_{max} عمق بارندگی لازم برای شروع رواناب است ($\lambda=0.2$ برای ساده‌سازی) (Sharp et al., 2018). S_{max} (محاسبه شده برحسب میلی‌متر) تابعی از عدد منحنی (Curve number (CN) یک پارامتر تجربی است که به کاربری زمین و ویژگی‌های خاک بستگی دارد (NRCS, 2004) (فرمول ۵):

$$S_{max,i} = \frac{25400}{CN_i} - 254 \quad (\text{فرمول ۵})$$

سپس مدل احتباس رواناب را در هر پیکسل R_i به صورت فرمول ۶ محاسبه می‌کند:

$$R_i = 1 - \frac{Q_{p,i}}{P} \quad (\text{فرمول ۶})$$

و حجم نگهداری رواناب در هر پیکسل R_m3_i به صورت زیر است (فرمول ۷):

$$R - m_i^3 = R_i \cdot \text{pixel.area} \cdot 10^{-3} \quad (\text{فرمول ۷})$$

حجم رواناب که به عنوان «حجم سیل» نامیده می‌شود، در هر پیکسل Q_m3_i به صورت زیر محاسبه می‌شود (فرمول ۸):

$$Q - m_i^3 = Q_{p,i} \cdot \text{pixel.area} \cdot 10^{-3} \quad (\text{فرمول ۸})$$

جدول ۲ CNهای مربوط را برای هر نوع پوشش زمین نشان می‌دهد که در پژوهش حاضر به عنوان جدول بیوفیزیکی در مدل کاهش خطر سیل InVEST استفاده شد.

جدول ۲: عدد منحنی برای هر طبقه از پوشش زمین

Table 2: Curve number for each class of land cover

cn_A	cn_B	cn_C	cn_D	طبقه پوشش زمین
۳۰	۵۵	۷۰	۷۷	جنگل
۵۵	۷۲	۸۱	۸۶	اراضی باز
۳۹	۶۱/۵	۷۳/۵	۸۰	مرتفع
۶۰	۷۲	۸۱	۸۴	کشاورزی
۳۰	۵۸	۷۱	۷۸	اراضی چای
۷۴	۸۴	۸۸	۹۰	اراضی ساخته شده
۰	۰	۰	۰	بدنه آبی

منبع: USDA, 1986

محاسبه شاخص خدمات اکوسیستمی کل (TES) Total Ecosystem Services

در این مرحله باتوجه به واحدهای اندازه‌گیری مختلف برای انواع مختلف خدمات اکوسیستمی هر خدمت با استفاده از استاندارد سازی محدوده به مقداری بین ۰ تا ۱ استاندارد شد و سپس تمام مقادارها برای به دست آوردن شاخص خدمات اکوسیستمی کل جمع شدند. فرمول استاندارد سازی محدوده به شرح زیر بود (فرمول ۹):

$$ES_{(i,j)} = \frac{ES_{i,j} - ES_{i, \min}}{ES_{i, \max} - ES_{i, \min}} \quad (\text{فرمول ۹})$$

در فرمول ۹ $ES_{(i,j)}$ مقدار استاندارد $ES_{i,j}$ است که مقدار خام در شبکه j ام سرویس اکوسیستم i است. همچنین $ES_{i, \min}$ و $ES_{i, \max}$ به ترتیب حداقل و حداکثر مقدارهای سرویس اکوسیستم i ام هستند (Peng et al., 2017).

کمی سازی روابط میان خدمات اکوسیستمی و شاخص‌های اکولوژی مدنظر

در سال‌های گذشته تغییرات کاربری در منطقه مطالعه شده به دنبال افزایش جمعیت، تأثیرات چشمگیری را بر اکوسیستم منطقه به ویژه جنگل‌های هیرکانی گذاشته است. از آنجایی که تغییر در کاربری اراضی بر روی خدمات اکوسیستمی در مطالعات مختلف ثابت شده است (Pal et al., 2021). محققان در این بخش از مطالعه به دنبال اثرهای تغییرات شاخص‌های اکولوژیکی زیست توده و ازهم گسیختگی جنگلی بر روی خدمات اکوسیستمی هستند تا بتوان با مدیریت این شاخص‌ها گامی مؤثر بر افزایش خدمات اکوسیستمی برداشت.

شاخص زیست توده گیاهی

برای به دست آوردن شاخص زیست توده برای هر پیکسل از شاخص نرمال شده شناسایی پوشش گیاهی NDVI به عنوان یکی از متغیرهای ترجیحی از جهت مطالعه پوشش گیاهی استفاده شده است (Situmorang et al., 2016). در محدوده مطالعه شده پژوهش حاضر مقدارهای نزدیک به صفر نشان دهنده منطقه‌ها شهری و خاک‌های برهنه بوده است که با افزایش مقدار این شاخص پوشش زمین به سمت علفزارها، زمین‌های کشاورزی، درختچه‌ها و در نهایت، در بیشترین حد به طبقه جنگل‌های هیرکانی میل می‌کند. در مطالعه حاضر این شاخص از تصاویر ماهواره لندست و براساس فرمول ۱۰ در بازه زمانی چهار ماهه دوم سال ۲۰۲۰ که پوشش گیاهی در سبزترین و بالغ‌ترین حالت خود است و هنوز عملیات برداشت از زمین‌های کشاورزی انجام نشده است با کدنویسی در سامانه GEE استخراج شده است.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (\text{فرمول ۱۰})$$

شاخص ازهم گسیختگی (Fragmentation)

شاخص ازهم گسیختگی را می‌توان به عنوان ناهمگونی فضایی یا ترکیب و آرایش فضایی اجزای سیمای سرزمین مدنظر در یک تصویر دید. در پژوهش حاضر برای کمی سازی و نقشه سازی این شاخص از نرم افزار GTB استفاده شده است. در پژوهش حاضر طبقه جنگل به عنوان کلاس مدنظر برای محاسبه این شاخص و مابقی طبقات به عنوان

پس‌زمینه (Back ground) به این نرم‌افزار معرفی شد. در شاخص ازم‌گسیختگی این نرم‌افزار تعداد لکه‌ها و فاصله بین لبه آنها را می‌توان محاسبه کرد؛ از این رو می‌توان ویژگی‌های پیش‌زمینه (Fore ground) و پس‌زمینه را به‌طور همزمان نشان داد. علاوه بر این، برخلاف تعریف‌های اصطلاح ازم‌گسیختگی فعلی که فقط توصیفی است و امکان کمی کردن درجه یا تغییرات تکه‌تکه شدن را برای یک تصویر نمی‌دهد، نرم‌افزار GTB برای کمی‌سازی ازم‌گسیختگی مفاهیم مختلفی را اعمال و همه مقادارهای نرمال‌شده را در محدوده [۰-۱۰۰] ارائه می‌کند. همچنین، این نرم‌افزار امکان مقایسه میزان پراکندگی لکه‌های طبقات مختلف سیمای سرزمین، کمی‌سازی تغییرات در طول زمان و اندازه‌گیری پیشرفت در نتایج برنامه‌ریزی‌ها و شیوه‌نامه‌های سیاسی را فراهم می‌کند (Vogt, 2020).

شاخص مساحت و نسبت محیط به مساحت هسته

از آنجایی که هسته‌ها از مهم‌ترین عناصر و اجزای شبکه‌های اکولوژیک هستند و از سوی دیگر، هسته‌های بزرگ‌تر عملکرد اکولوژیکی بیشتری دارند (Shen et al., 2019)، در این مطالعه هسته‌ها به‌عنوان شاخصی برای عملکرد اکولوژیکی مهم‌ترین کاربری در ارائه TES در نظر گرفته شده‌اند. بهترین حالت برای لکه‌ها شکلی است که ناحیه هسته وسیع و مرزهای منحنی شکل داشته باشد. هرچه نسبت محیط به مساحت در سطح سیما بیشتر باشد، نشان از تخریب یا تغییر شکل لکه دارد و هرچه این مقدار کمتر باشد، می‌توان پایدار بیشتری را متصور شد (Forman, 1995). بنابراین این نسبت نیز به‌عنوان شاخصی برای عملکرد اکولوژیکی بهتر در این پژوهش در نظر گرفته شد.

همبستگی بین خدمات اکوسیستمی کل با شاخص‌های اکولوژیکی مدنظر

در تحلیل‌های چندمتغیره آماری شیوه‌های مختلف محاسباتی برای اندازه‌گیری وابستگی یا ارتباط بین دو متغیر تصادفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها ضریب همبستگی است که در آن شدت و نوع ارتباط میان متغیرها به‌خوبی اندازه‌گیری می‌شود. وجه برتری این ضریب نسبت به دیگر ضریب‌ها بی‌واحدبودن این شاخص است که محاسبه بین متغیرهای مختلف را امکان‌پذیر کرده است؛ بنابراین در پژوهش حاضر برای تعیین ارتباط میان پارامترهای مختلف از ضریب همبستگی استفاده شده است.

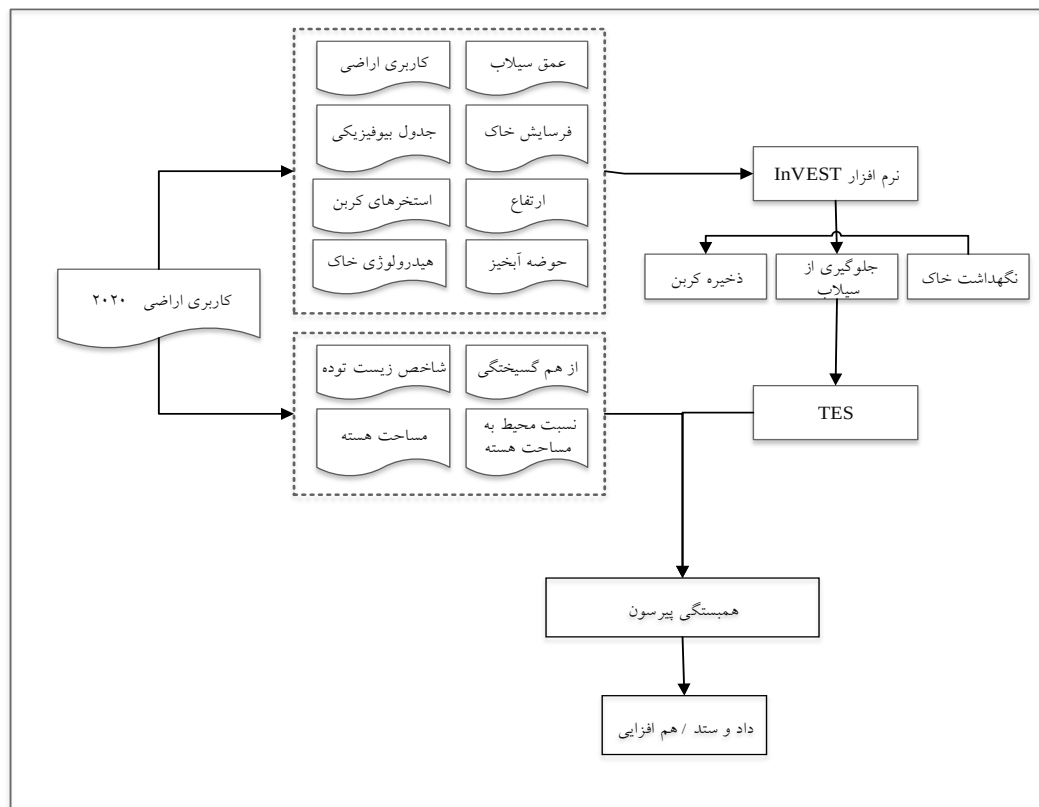
در این مرحله برای محاسبه ضریب همبستگی خدمات اکوسیستمی کل با شاخص‌های مدنظر با استفاده از ابزار «Fishnet» تعداد ۱۶۰۰ نمونه انتخاب و سپس داده‌های مربوط به شاخص‌های اکولوژیکی و TES در آنها استخراج شد. در ادامه، با استفاده از همبستگی پیرسون، میزان، نوع و جهت ارتباط بین دو متغیر اندازه‌گیری شد. ضریب همبستگی پیرسون را با فرمول ۱۱ می‌توان محاسبه کرد.

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (\text{فرمول ۱۱})$$

در این ارتباط صورت و منحنی به‌ترتیب نشان‌دهنده کوواریانس و انحراف معیار داده‌هاست. مقدار این ضریب بین +۱ تا -۱ متغیر است. +۱ به معنای همبستگی کامل مثبت و -۱ به معنای همبستگی کامل منفی میان دو متغیر است.

همچنین، ارتباط بزرگ‌تر از صفر میان پارامترهای اتخاذشده در این پژوهش به معنای ارتباط مثبت از نوع هم‌گرایی است که حالت معکوس بده‌بستان را نشان می‌دهد.

برای محاسبه ضریب همبستگی خدمات اکوسیستمی کل با نسبت محیط به مساحت هسته و نیز با در نظر گرفتن مساحت لکه‌ها و مطالعات میدانی صورت گرفته، حوضه آبخیز مطالعه شده با ترنسکت‌های ۲۵ هکتاری پوشش داده و سپس ارتباط خدمات اکوسیستمی کل با استفاده از همبستگی پیرسون در ترنسکت‌ها منتخب سنجیده شد. روش‌شناسی پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است.



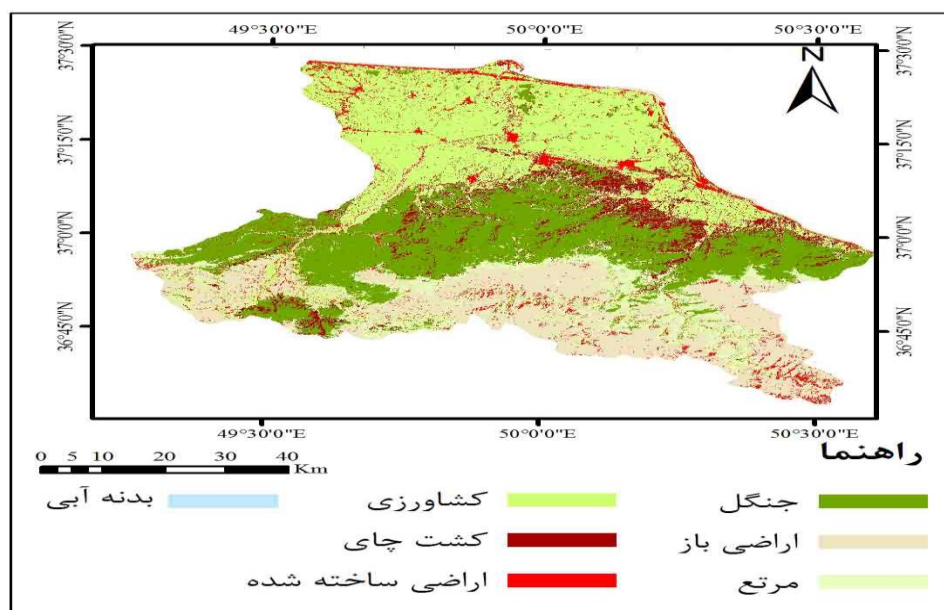
شکل ۲: فلوچارت روش‌شناسی پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 2: Research methodology flowchart

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

طبقه‌بندی پوشش زمین

طبق خروجی نقشه طبقه‌بندی شده از سوی سامانه Google Earth Engine بیشترین مساحت منطقه مطالعه شده را جنگل‌های هیرکانی و اراضی کشاورزی به ترتیب با حدود ۱۹۲۴ و ۱۹۷۱ کیلومتر مربع و دیگر اراضی ساخته شده در حدود ۱۰۷ کیلومتر مربع از منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. مدل سازی پوشش زمین در سال ۲۰۲۰ در شکل ۳ نشان داده شده است. گفتنی است که ضریب کاپا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در پژوهش حاضر برابر با ۸۶ درصد است که نشان‌دهنده قابلیت تصاویر برای استفاده در گام‌های بعدی است.

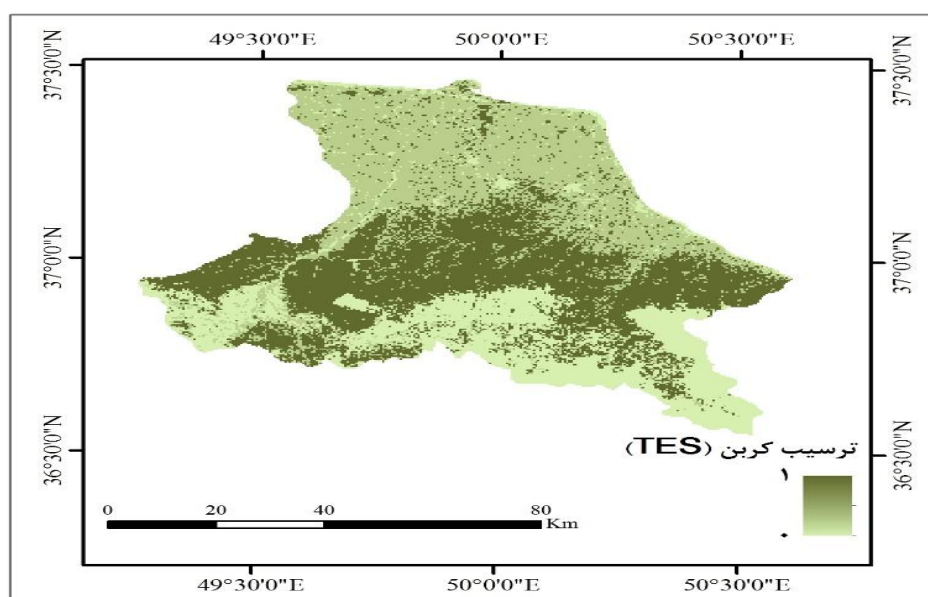


شکل ۳: پوشش منطقه مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان)

Figure 3: Land cover of case study area in 2020

مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی

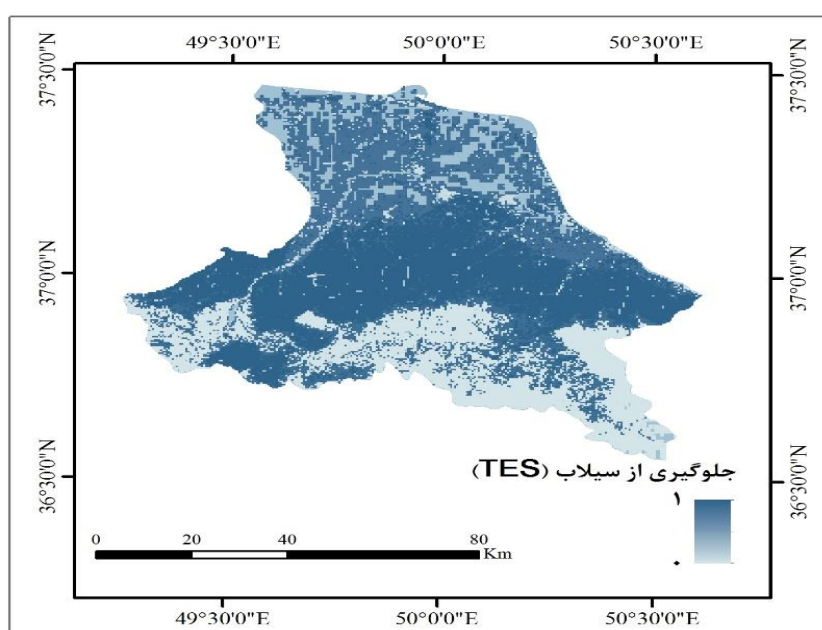
به‌طور کلی در نیمه جنوبی منطقه بیشترین غلظت ذخایر کربن دیده می‌شود که علت آن وجود پوشش متراکم جنگل‌های هیرکانی در این بخش است. سپس بیشترین ترسیب کربن به‌ترتیب در مراتع و زمین‌های کشاورزی و کمترین میزان آن در اراضی ساخته‌شده و منابع آبی موجود در منطقه برآورد شده است. میزان مجموع ترسیب کربن در سال ۲۰۲۰ برابر با ۳۹۹۵۶۶۹۷ تن است (شکل ۴).



شکل ۴: مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی ترسیب کربن در منطقه مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 4: Modeling the ecosystem service of carbon sequestration in the logic studied in 2020

بررسی میزان خدمت اکوسیستمی نگهداشت رواناب در منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد که همواره منابع آبی و بخش‌های وسیعی از جنگل‌های هیرکانی در منطقه به دلیل نوع کاربری اراضی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک در آن قسمت، بیشترین سهم را در ارائه این خدمت دارند. این در حالی است که از نظر ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک، خاک نیمه شمالی منطقه قدرت زهکشی زیادی نسبت به نیمه جنوبی دارد؛ اما از آنجایی که جنگل‌های پهن‌برگ هیرکانی توانایی بیشتری در نگهداشت و کاهش سیلاب دارد، نیمه جنوبی منطقه نیز نقش بیشتری در نگهداشت رواناب دارد. شاخص نگهداشت رواناب در سال ۲۰۲۰ در حوضه آبخیز مطالعه شده برابر با ۰/۳۵ است؛ به گونه‌ای که مجموع حجم رواناب نگهداری‌شده و پتانسیل حجم سیلاب ازسوی حوزه آبخیز به ترتیب برابر با ۳۷۱۳۷۸۶۵۶ و ۶۷۰۳۷۴۰۶۴ متر مکعب است (شکل ۵).

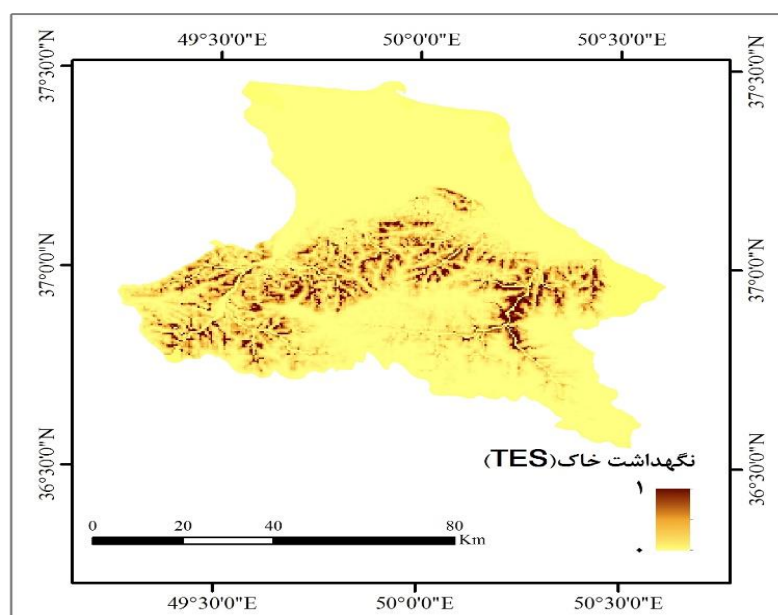


شکل ۵: مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی جلوگیری از سیلاب در منطقه مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 5: Modeling the flood prevention ecosystem service in the studied area in 2020

همچنین، براساس نتایج به دست آمده بررسی روند هدررفت خاک در منطقه مطالعه شده نشان‌دهنده کاهش آن از جنوب به شمال حوضه است که با روند کلی تغییرات عامل فرساینده‌گی باران و نقشه شیب (به عنوان مؤثرترین متغیرترین عوامل در برآورد هدررفت خاک) همخوانی دارد؛ بدین معنا که میانگین شیب زیاد و کاهش نسبی مقدارهای عامل فرساینده‌گی باران سبب ایجاد بیشترین هدررفت خاک در نیمه جنوبی منطقه شده است. برخلاف پتانسیل زیاد نیمه جنوبی در فرسایش و هدررفت خاک (باتوجه به ویژگی‌های خاک، عامل فرساینده‌گی باران و وجود جنگل‌های پهن‌برگ هیرکانی) منطقه مطالعه شده بیشترین سهم را در خدمت نگهداشت خاک دارد. بیشترین پتانسیل هدررفت خاک نیز به ۱۱۵۷۳۲۲۵۱ تن و میزان خروج رسوب از حوضه در این سال به ۸۷۸۲۴۳۱ تن بر هکتار در سال رسیده است؛ البته گفتنی است که حدود ۹۰ درصد از مناطق پتانسیلی کمتر از ۵۰ تن بر هکتار را دارند. مسیر

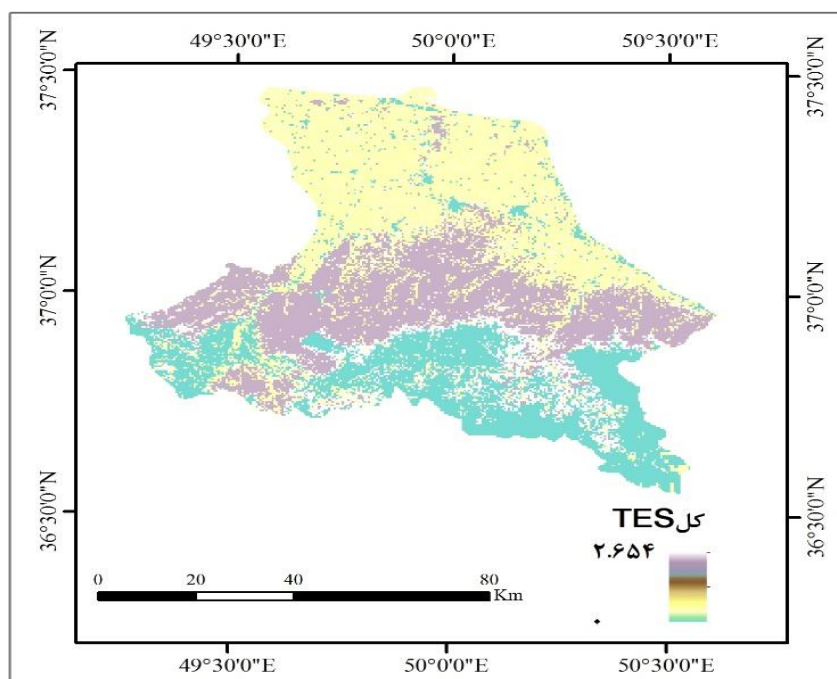
آبراهه‌ها در بخش‌های جنوبی منطقه، منطقه‌ها جنگلی با ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ و منطقه‌ها با شیب بیشتر از ۵۰ در صد بیشترین پتانسیل را برای از دست دادن خاک، فرسایش خاک و خروج رسوب دارند. شایان ذکر است که کمترین میزان پتانسیل فرسایش خاک نیز در مناطقی با شیب کمتر از ۱۰ درصد مشاهده می‌شود. در نهایت، براساس نتایج میزان نگهداشت سالانه خاک (به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی مهم) در منطقه مطالعه شده ۱۲۵۲۶۲۱۳۰۴ تن در کل حوضه آبخیز بوده است که بیشترین میزان ارائه این خدمت در منطقه‌های جنگلی با تراکم زیاد و در حاشیه آبراهه‌ها و کمترین میزان آن نیز در اراضی کشاورزی و اراضی ساخته‌شده پایین‌دست حوضه ثبت شده است (شکل ۶).



شکل ۶: مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در منطقه مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 6: Modeling the ecosystem service of soil maintenance in the studied area in 2020

شاخص TES درباره خدمات سه‌گانه مدنظر در بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب برابر با ۲/۶۷ و ۰ است. بر این اساس، کمترین ارزش ارائه خدمت در حوضه، در شهرها و اراضی ساخته‌شده با مقدار ۰ و بیشترین آن در مناطقی با شیب کمتر از ۱۰ درصد در جنگل‌های هیرکانی با ارزش ۲/۶۷ در بیشترین نقطه مدل‌سازی شده است. همچنین، بعد از جنگل‌ها قسمت شمالی منطقه که اراضی کشاورزی گسترش‌یافته‌ای دارد، بیشترین میزان ارائه خدمت را دارد. باتوجه به اینکه جنگل‌های هیرکانی مهم‌ترین کاربری در ارائه خدمات اکولوژیک مدنظر در منطقه مطالعه‌شده است، در ادامه شاخص از هم‌گسیختگی، مساحت هسته و نسبت محیط به مساحت هسته برای این کلاس محاسبه شده است (شکل ۷).



شکل ۷: مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی کل در منطقه مطالعه شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 7: Modeling the total ecosystem service in the studied area in 2020

محاسبه شاخص‌های اکولوژیکی و بررسی همبستگی آنها با TES

محاسبه شاخص NDVI نشان می‌دهد که این شاخص در منطقه مطالعه شده بین ۰/۰۲ تا ۰/۹۹ متغیر است؛ به‌طوری که بیشترین میزان آن در منطقه‌ها پرتراکم جنوبی جایی که جنگل‌های هیرکانی گسترش یافته و کمترین میزان آن در منطقه‌ها انسان ساخت به ثبت رسیده است. پراکندگی مقدارهای این شاخص در منطقه مطالعه شده برحسب مساحت و درصد در جدول ۳ آورده شده است. براساس این جدول بیشترین مساحت منطقه مطالعه شده را پوششی با شاخص NDVI بین ۰/۸ تا ۱ تشکیل می‌دهد که همان جنگل‌های هیرکانی و اراضی کشت چای در حاشیه شمالی جنگل‌هاست. در وهله بعدی اراضی کشاورزی منطقه با شاخص NDVI از ۰/۷ تا ۰/۸ بیشترین مساحت را دارد؛ بنابراین منطقه از نظر شاخص زیست‌توده بسیار غنی است.

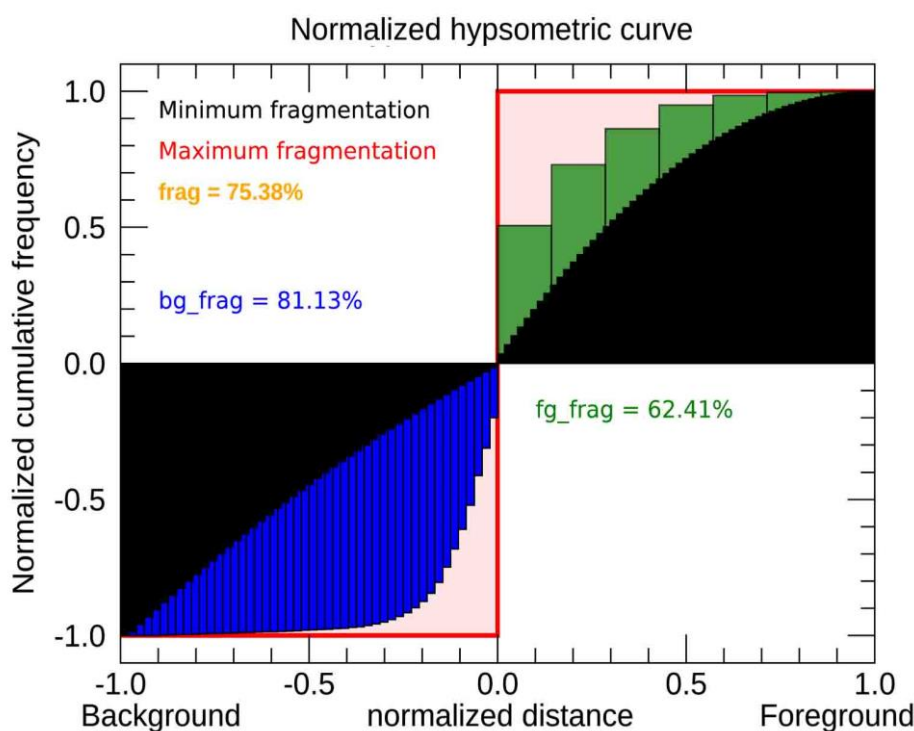
جدول ۳: طبقات NDVI و درصد سهم و مساحت هر یک در منطقه مطالعه شده

Table 3: NDVI classes and percentage share and area of each classes in the study area

مساحت (Km ²)	درصد	طبقه NDVI
۲۱۰/۱۷	۳/۳	۰/۰۲-۰/۳
۶۶۸/۷۲	۱۰/۵	۰/۳-۰/۵
۱۱۳۲/۷۵	۱۷/۸	۰/۵-۰/۷
۱۵۷۳/۰۹	۲۴/۷	۰/۷-۰/۸
۲۷۷۰/۴۲	۴۳/۵	۰/۸-۱

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

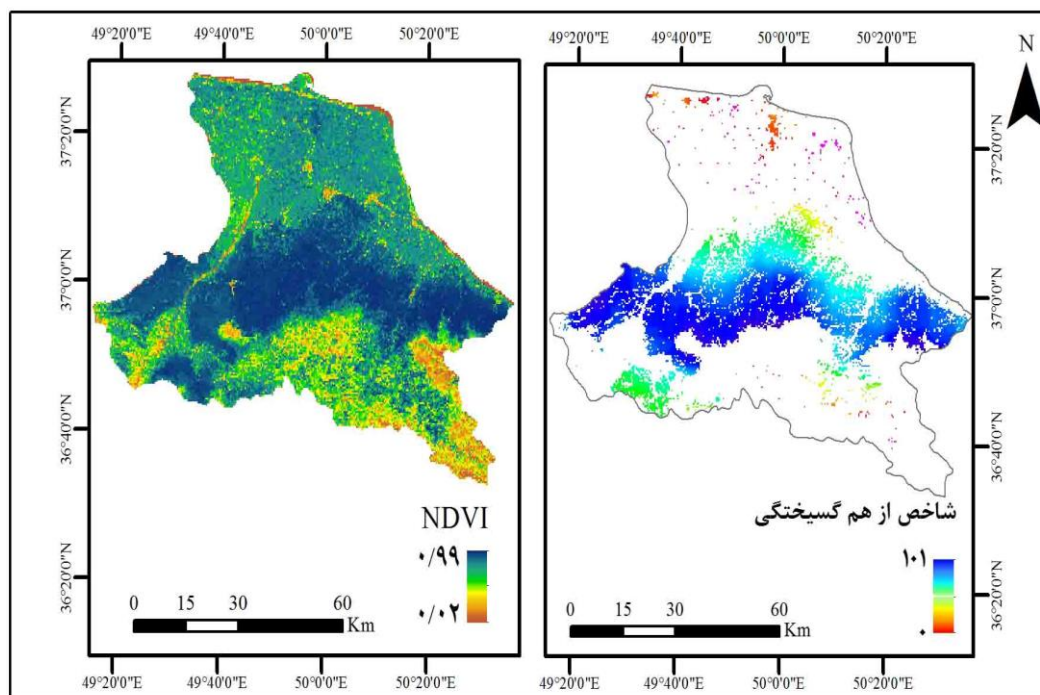
همچنین، مدل‌سازی شاخص اژه‌م‌گسیختگی حاصل از نرم‌افزار GTB نیز بیانگر این موضوع است که ارزش عددی آن در حوضه آبخیز مطالعه شده بین ۰ تا ۱۰۱ متغیر است؛ به‌طوری که کمترین میزان اژه‌م‌گسیختگی جنگل‌ها در نواحی داخلی و بطن جنگل‌های هیرکانی در نیمه جنوبی منطقه و بیشترین آن در لکه‌های منزوی و خرد در نیمه شمالی منطقه است. همچنین، لبه‌های جنگل‌ها برخلاف خردگی و اژه‌م‌گسیختگی به دلیل تراکم زیاد پیچ‌ها حالت بینابینی دارد. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است، میانگین اژه‌م‌گسیختگی در کل منطقه مطالعه شده در حدود ۷۵ درصد است که نشان‌دهنده تنوع انواع پوشش و ناهمگونی پوشش زمین در حوضه‌های آبخیز منطقه مطالعه شده است؛ اما این معیار درباره جنگل‌های هیرکانی برابر با ۶۲/۴۱ است که بیانگر میزان زیاد تکه‌تکه‌شدگی در جنگل‌هاست. باتوجه به شکل ۹ که توزیع مکانی اژه‌م‌گسیختگی را نشان می‌دهد، می‌توان نتیجه گرفت که خردشدن جنگل‌ها و ایجاد لکه‌های منزوی در لبه‌ها و بخش شمالی جنگل‌ها در منطقه مطالعه شده ایجاد شده است.



شکل ۸: نمودار اژه‌م‌گسیختگی پوشش زمین در منطقه مطالعه شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 8: Land cover fragmentation diagram in the studied area

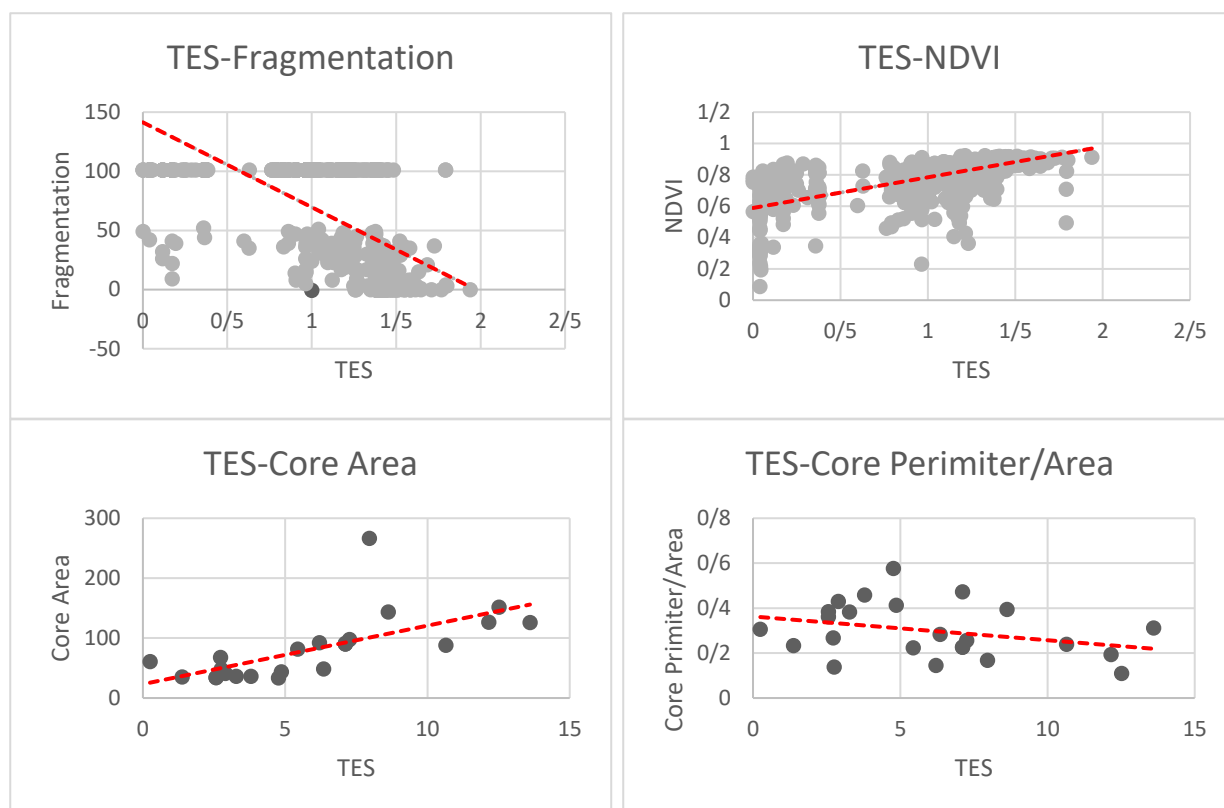
شکل ۵ توزیع شاخص‌های ازهم‌گسیختگی و NDVI را در منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد.



شکل ۹: مدل‌سازی شاخص‌های NDVI و ازهم‌گسیختگی در منطقه مطالعه شده در سال ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 9: Model of NDVI and fragmentation indices in the study area in 2020

به‌علاوه، محاسبه شاخص مساحت هسته نیز نشان می‌دهد که مساحت بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین هسته به‌ترتیب برابر با ۳۱۴۵۲ و ۰/۰۱ هکتار است. همچنین، کوچک‌ترین میزان نسبت محیط به مساحت لکه‌های جنگلی برابر با ۰/۰۱۶ که نشان‌دهنده پایداری و بیشترین آن برابر با ۴ که نشان‌دهنده ناپایداری و لبه‌داربودن لکه است. بررسی روابط همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و TES نشان می‌دهد که بین شاخص‌های TES و NDVI با مساحت هسته همبستگی مثبت معنادار به‌ترتیب با مقدارهای ۰/۷۷ و ۰/۷۰ وجود دارد؛ بدین معنا که افزایش هریک می‌تواند باعث ارتقا در کمیت خدمات اکوسیستمی مدنظر شود. همچنین، بین شاخص TES با نسبت محیط به مساحت و شاخص ازهم‌گسیختگی همبستگی منفی معنادار به‌ترتیب با مقدارهای ۰/۶۳- و ۰/۷۱- وجود دارد؛ بدین معنا که افزایش تکه‌تکه شدن جنگل‌ها یا کوچک شدن آنها و میل کردن به شکل لبه‌دار سبب کاهش میزان ارائه خدمات مدنظر می‌شود (شکل ۱۰).



شکل ۱۰: همبستگی میان مؤلفه‌های اکولوژیکی منتخب با TES در منطقه مطالعه‌شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

Figure 10: Correlation between selected ecological components and TES in the study area

نتیجه‌گیری

حفظ خدمات اکوسیستمی متعدد در منطقه‌ها مختلف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های علم اکولوژیکی و نیز به یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های برنامه‌ریزان تبدیل شده است که این امر نیاز به دانش فرآیندهای درباره نوع خدماتی که اکوسیستم‌ها ارائه می‌کنند مانند کمیت و کیفیت و عوامل اثرگذار بر روی آنها دارد. هدف از انجام دادن پژوهش حاضر بررسی ارتباط بین شاخص‌های اکولوژیک مهم جنگلی شامل NDVI، ازهم‌گسیختگی، مساحت لکه و نسبت محیط به مساحت لکه با خدمات اکوسیستمی ترسیب کربن، نگهداشت خاک و کاهش سیل به‌عنوان سه خدمت مهم در استان گیلان بود. نتایج نشان داد که منطقه‌ها جنگلی و سبزتر و هسته‌های بزرگ‌تر در این منطقه‌ها می‌توانند خدمات چشمگیر بیشتری را ارائه دهند. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج پژوهش سیتومورانگ و همکاران و شن و همکاران همخوانی دارد (Situmorang et al., 2016; Shen et al., 2019). همچنین، با افزایش نسبت محیط به مساحت هسته در لکه‌های جنگلی به دلیل میل لکه به شکل ناپایدارتر، کوچک شدن آن و افزایش ازهم‌گسیختگی در این لکه‌ها، میزان ارائه خدمات اکوسیستمی از سوی آنها به صورت محسوسی کاهش می‌یابد. نتایج این بخش از پژوهش نیز تأییدکننده نتایج پژوهش سعید و همکاران است (Saeed et al., 2019). به‌طور کلی دستاورد پژوهش حاضر می‌تواند راهنمای اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی برای کاهش رسوب‌گذاری، کنترل سیلاب و افزایش ترسیب کربن باشد؛ زیرا نتایج نشان

می‌دهد که گیاهان بالغ‌تر با تراکم بیشتر در محیط‌های وسیع‌تر قادر به ارائه خدمات بیشتری نسبت به گونه‌های نابالغ و جوان به صورت ایزوله هستند؛ از این رو پژوهش حاضر نشان‌دهنده نقش پررنگ عوامل ثانویه در کنار کاربری اراضی در ارائه خدمات اکوسیستمی است. این پژوهش به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا در کنار لحاظ کاربری بهینه برای ارتقای خدمات اکوسیستمی مدنظر بتوانند در راستای افزایش بهره‌وری برنامه‌ریزی خود گامی مؤثر بردارند. همچنین، در پژوهش حاضر نقاط حساس و پتانسیل بیشتر در امر فرسایش و به راه افتادن سیلاب در مقیاس کلی شناسایی شد که این امر نیز می‌تواند هدایتگر امر برنامه‌ریزی کاربری اراضی در منطقه باشد. برخلاف نتایج حاصل شده در این زمینه اثرها و ارتباط میان سایر خدمات اکوسیستمی که اکوسیستم ارائه کرده است با دیگر شاخص‌های اکولوژیکی و نحوه تعاملات و تغییرات آنها در طول زمان مباحثی است که باید در پژوهش‌های آینده به آنها پرداخته شود.

منابع

- اسدالهی، زهرا، سلمان ماهینی، عبدالرسول، و میرکریمی، سید حامد (۱۳۹۴). مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک (مطالعه موردی: ناحیه شرقی حوزه آبخیز گرگانرود). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۵(۳)، ۷۵-۶۱.
<https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-252-fa.html>
- ذبیحی، محسن، مرادی، حمیدرضا، خالدی درویشان، عبدالوحید، و غلامعلی فرد، مهدی (۱۴۰۰). کاربری مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب. *محیط‌زیست و مهندسی آب*، ۷(۲)، ۲۹۳-۳۰۲.
<https://doi.org/10.22034/jewe.2020.257980.1470>
- سادات، مهدیس، صالحی، اسماعیل، و امیری، محمدجواد (۱۴۰۱). مدل‌سازی کمی تغییرات زمانی-مکانی نگهداشت و پتانسیل فرسایش خاک و تولید رسوب (منطقه مورد مطالعه: حوضه‌های آبخیز لاهیجان-چابکسر و آستانه کوچصفهان). *محیط‌شناسی*، ۴۸(۴)، ۵۹۶-۵۷۷.
[10.22059/JES.2023.348202.1008357](https://doi.org/10.22059/JES.2023.348202.1008357)
- معصومی، حمیدرضا، حبیبی، علیرضا، و قدرتی، علیرضا (۱۴۰۰). مورفولوژی و فرآیندهای مؤثر در تغییرات مسیر جریان رودخانه سفیدرود برای پیش‌بینی افق ۲۰۳۰. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰(۱)، ۸۱-۹۷.
[10.22067/GEOEH.2021.68445.1012](https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.68445.1012)
- عادلی ساردو، فاطمه (۱۴۰۰). مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی: رویکرد خدمات اکوسیستمی و لحاظ آب مجازی (نمونه موردی: حوضه آبخیز هلیل رود) [پایان‌نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد]. دانشگاه تهران.

References

- Adeli Sardo, F. (2022). *Management of water resources in the agricultural sector: The approach of ecosystem services and virtual water* [Unpublished Master thesis]. University of Tehran. [In persian].
- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., & Mirkarimi, H. (2015). Modeling the supply of sediment retention ecosystem service (Case study: Eastern part of gorgan-rud watershed). *Environmental Erosion Research*, 5(3), 61-75. <https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-252-fa.html> [In persian].
- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., Sakieh, Y., Mirkarimi, S. H., Baral, H., & Azimi, M. (2018). Dynamic trade-off analysis of multiple ecosystem services under land use change scenarios: Towards putting ecosystem services into planning in Iran. *Ecological complexity*, 36(24), 250-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2018.09.003>

- Clerici, N., Cote-Navarro, F., Escobedo, F. J., Rubiano, K., & Villegas, J. C. (2019). Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the colombian andes. *Science Of The Total Environment*, 658(100), 1181-1192. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.275>
- Fan, M., Shibata, H., & Wang, Q. (2016). Optimal conservation planning of multiple hydrological ecosystem services under land use and climate changes in teshio river watershed northernmost of Japan. *Ecological Indicators*, 62(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.064>
- Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge university press.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202(3), 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guo, S., Saito, K., Yin, W., & Su, C. (2018). Landscape connectivity as a tool in green space evaluation and optimization of the haidan district beijing. *Sustainability*, 10(6), 1979-1793. <https://doi.org/10.3390/su10061979>
- Islam, M., Deb, G. P., & Rahman, M. (2017). Forest fragmentation reduced carbon storage in a moist tropical forest in Bangladesh: Implications for policy development. *Land Use Policy*, 65(3), 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.025>
- Kretz, L., Koll, K., Seele-Dilbat, C., Van der Plas, F., Weigelt, A., & Wirth, C. (2021). Plant structural diversity alters sediment retention on and underneath herbaceous vegetation in a flume experiment. *Plos One*, 16(3), e0248320. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248320>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google earth engine applications since inception: usage, trends and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Lee, H., & Lautenbach, S. (2016). A quantitative review of relationships between ecosystem services. *Ecological Indicators*, 66(32), 340-351. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.004>
- Liang, Y., Liu, L., & Huang, J. (2017). Integrating the SD-CLUE-S and InVEST models into assessment of oasis carbon storage in northwestern China. *PLoS One*, 12(2), e0172494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172494>
- Lüke, A., & Hack, J. (2018). Comparing the applicability of commonly used hydrological ecosystem services models for integrated decision-support. *Sustainability*, 10(2), 346. <https://doi.org/10.3390/su10020346>
- Masoumi, H., Habibi, A., & Gudari, A. R. (1400). Morphology and effective processes in the flow path changes of Sefidroud River for forecasting the horizon of 2030. *Geography And Environmental Hazards*, 10(1), 81-97. [10.22067/GEOEH.2021.68445.1012](https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.68445.1012) [In persian].
- Millennium ecosystem assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: scenarios: Findings of the scenarios working group* (Vol. 2). Island press.
- Natural resources conservation services. (2004). *National engineering handbook*. US department of agriculture.
- Pal, S., Singha, P., Lepcha, K., Debanshi, S., Talukdar, S., & Saha, T. K. (2021). Proposing multicriteria decision-based valuation of ecosystem services for fragmented landscape in mountainous environment. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21(14), 100454. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100454>
- Peng, J., Tian, L., Liu, Y., Zhao, M., & Wu, J. (2017). Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: Threshold's identification. *Science Of the Total Environment*, 607(69), 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.218>
- Qiu, J. (2019). Effects of landscape pattern on pollination, pest control water quality flood regulation and cultural ecosystem services: A literature review and future research prospects. *Current Landscape Ecology Reports*, 4(4), 113-124. <https://doi.org/10.1007/s40823-019-00045-5>
- Qiu, L., Dong, Y., & Liu, H. (2022). Integrating ecosystem services into planning practice: Situation challenges and inspirations. *Land*, 11(4), 545. <https://doi.org/10.3390/land11040545>
- Sadat, M., Salehi, I., & Amiri, M. J. (2022). Quantitative modeling of temporal-spatial changes in soil retention and erosion potential and sediment production. *Ecology*, 48(4), 577-596.

- [10.22059/JES.2023.348202.1008357](https://doi.org/10.22059/JES.2023.348202.1008357) [In persian].
- Saeed, S., Yujun, S., Beckline, M., Chen, L., Zhang, B., Ahmad, A., Manna, A., Khan, A. & Iqbal, A. (2019). Forest edge effect on biomass carbon along altitudinal gradients in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*): A study from southeastern China. *Carbon Management*, 10(1), 11-22. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1537517>
- Schwilch, G., Bernet, L., Fleskens, L., Giannakis, E., Leventon, J., M., & Verzandvoort, S. (2016). Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: A proposed framework. *Ecological Indicators*, 67(59), 586-597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016>
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, S. A., Wood, R., Chaplin-Kramer, E., Nelson, D., Ennaanay, S., & Wolny Olwero, N. (2018). *InVEST 3.5.0 user's guide. the natural capital project, stanford university, niversity ofminnesota, the nature conservancy and world wildlife fund*. Available from: <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html>.
- Shen, C., Ma, L., Hu, J., Huang, L., Chen, Y., & Guan, D. (2019). Soil carbon storage and its determinants in forest fragments of differentiated patch size. *Forests*, 10(11), 1044. <https://doi.org/10.3390/f10111044>
- Situmorang, J. P., Sugianto, S., & Darusman, D. (2016). Estimation of carbon stock stands using EVI and NDVI vegetation index in production forest of lembah Seulawah sub-district aceh indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(3), 126-139. <https://doi.org/10.13170/aijst.5.3.5836>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.13170/aijst.5.3.5836>
- TEEB. (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*. Earthscan.
- USDA. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. Washington DC.
- Vogt, P. (2020). *European commission. user guide of guidostoolbox*. https://ies-ows.jrc.ec.europa.eu/gtb/GTB/GuidosToolbox_Manual.pdf
- Wang, S., Zhou, C., Liu, J., Tian, H., Li, K., & Yang, X. (2002) Carbon storage in northeast china as estimated from vegetation and soil inventories. *Environmental Pollution*, 1(3), 157-165. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00269-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00269-X)
- Yohannes, H., Soromessa, T., Argaw, M., & Dewan, A. (2021). Impact of landscape pattern changes on hydrological ecosystem services in the beressa watershed of the blue Nile basin in Ethiopia. *Science Of the Total Environment*, 793(88), 148559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148559>
- Zabihi, M., Moradi, H. R., Khaledi Darvishan, A., & Gholamalifard, M. (2021). Application of invest ecosystem services model to prioritize sub-watersheds of talar in term of soil erosion, sediment retention and yield. *Environment And Water Engineering*, 7(2), 293-303. <https://doi.org/10.22034/jewe.2020.257980.1470> [In persian].
- Zhu, G., Qiu, D., Zhang, Z., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., Zhao, K., Ma, H., Xu, Y., & Wan, Q. (2021). Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region China. *Ecological Indicators*, 127, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107770>

