

Evaluating the soil retention ecosystem service using the InVEST model in Northeastern Iran

Mohadese Namazi ¹, Morteza Akbari ^{2*}, Hadi Memarian ³, Zahra Asadolahi ⁴, Naser Parviyan ⁵

¹ MSc in Desert Management and Control, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor, Department of Desert and Arid Zones Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

³ Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Environment and Fisheries, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

⁵ MSc in Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Extended Abstract

Introduction

Soil retention as an ecosystem service refers to the ability of an ecosystem to maintain soil and prevent erosion. This service is crucial as soil plays a vital role in providing essential goods for humans and other organisms, as well as a range of ecosystem services. Effective soil and water conservation management practices, particularly in enhancing vegetation cover for soil stabilization, are key. Therefore, safeguarding soil function against natural and human-induced threats is a critical regulatory function of ecosystems. In arid and semi-arid regions of Iran, ongoing degradation and significant changes in climate have impacted land cover, especially rangelands, thereby affecting water conservation and ecosystem services. The Food and Agriculture Organization of the United Nations highlights that sustainable soil management can help prevent land degradation. By implementing measures such as conservation agriculture, reducing soil erosion, and enhancing water management, the risk of land degradation can be significantly reduced. Soil erosion and the consequent depletion of soil resources pose serious ecological and environmental challenges globally, hindering sustainable human development. The InVEST sediment delivery ratio model, built on the RUSLE erosion model, is a valuable tool for evaluating soil erosion, sediment export, and soil conservation across various spatial and temporal scales, widely used on an international scale.

Materials and Methods

Sarakhs Township, covering an area of approximately 5,471 square kilometers, is a small part of the vast Qaraqom Basin. Due to its proximity to the Qaraqom desert, this region has the potential for desert development based on its natural conditions. The cold and dry climate, low rainfall, minimal land use changes, and soil erosion have led to critical conditions for land degradation in the area. In this study, soil retention and erosion were quantified using the Sediment Retention model in the InVEST software. The necessary inputs for the model, including digital elevation model maps, land use data, rainfall erosivity, soil erodibility, and a biophysical table in raster format, were prepared in the ArcGIS 10.8 environment and entered into the model. The DEM map of the study area was downloaded from Iran's weather and climatology website and extracted in ArcGIS version 10.8. The R factor was calculated using equation (5) based on index stations, and the R index was interpolated for the entire study area using the IDW method to create a rain erosion spatial layer in GIS. Data on the percentage of sand, silt, and clay were obtained from global soil information, converted to percentages, and used to calculate the soil erodibility index in the Raster calculator tool of the GIS environment. The NDVI index was calculated from Landsat satellite images in the Google Earth Engine platform. The P coefficient was determined using the slope-based Wenner method. A CSV table with integer codes for each land use class in the land use map was required to run the model.

Results and Discussion

The findings indicated a wide range of soil retention levels, ranging from 0.47 to 0.53 tons per pixel per year, across different land uses. Pasture lands exhibited the highest soil retention rate at 5.98 tons per hectare per year, while residential areas had the lowest rate at 0.08 tons per pixel per year. The southwest region of the study area demonstrated the highest sediment retention capacity, likely due to the superior condition and quality of pastures in that area compared to other regions in the basin. Conversely, the central and eastern areas experienced increased erosion rates due to frequent land use changes and reduced vegetation cover. Developing a model to assess the

ecosystem service of soil retention is crucial for effective ecosystem management. By utilizing spatial modeling, land managers can strategically plan to reduce sediment load at the watershed level by identifying conservation-worthy areas with high sediment retention capacity and optimizing land use practices.

Conclusion

To sum up, soil erosion and sediment production are significant issues in developing countries, leading to the destruction of agricultural lands, dam reservoir filling, and water pollution. This study highlights the importance of rangeland cover in soil conservation, with areas of low vegetation cover experiencing higher rates of erosion. The decline in sediment conservation in rangeland lands is attributed to reduced vegetation cover, caused by factors such as population growth, excessive livestock grazing, and prolonged land use. Land use change emerges as the primary factor influencing erosion rates and sediment conservation values. Given Sarakhs Township's potential for desertification and its cold, arid climate with minimal rainfall, future studies should also assess wind erosion alongside water erosion.

Keywords: Soil erosion, Sediment retention capacity, LULC, Land degradation

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors are grateful to all those who helped in conducting this research. The authors also thank the anonymous referees for their helpful suggestions. The project was funded by Ferdowsi University of Mashhad (No. 57092).

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Morteza Akbari: Writing-original draft preparation; **Mohadese Namazi and Zahra Asadolahi:** Methodology, writing, software; **Morteza Akbari, Hadi Memarian, and Zahra Asadolahi:** Conceptualization, writing, manuscript editing, methodology and investigation; **Naser Parviyan:** Resources, Software

*Corresponding Author, E-mail: m-akbari@um.ac.ir

Citation: Namazi, M., Akbari, M., Memarian, H., Asadolahi, Z., & Parviyan, N. (2025). Evaluating the soil retention ecosystem service using the InVEST model in Northeastern Iran. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(3), 277-295.

doi: 10.22098/mmws.2025.17666.1612

Received: 13 June 2025, Received in revised form: 07 July 2025, Accepted: 07 July 2025, Published online: 23 September 2025.

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 3, pp. 277-295.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی خدمت بوم‌سازگان نگهداشت خاک با استفاده از مدل InVEST در شمال شرقی ایران

محدثه نمازی^۱، مرتضی اکبری^{۲*}، هادی معماریان^۳، زهرا اسدالهی^۴، ناصر پرویان^۵

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^{۲*} دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۳ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۴ استادیار گروه محیط زیست و شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۵ کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

خدمت بوم‌سازگان نگهداشت خاک، به پتانسیل محیط در حفاظت خاک و کنترل فرسایش اشاره داشته و به دلیل نقش مؤثر خاک در تأمین رفاه انسان و نیاز موجودات زنده، حائز اهمیت است. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی خدمت نگهداشت خاک در شهرستان سرخس در بازه زمانی ۲۱ سال از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی انجام شد. در این راستا، به منظور کمی‌سازی نگهداشت خاک، از مدل SR در نرم‌افزار InVEST 3.0.1 استفاده شد. در این مدل برای محاسبه نگهداشت خاک از معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) استفاده می‌شود. ورودی‌های مورد نیاز شامل مدل رقمی ارتفاع، کاربری و پوشش اراضی، فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک و جدول بیوفیزیکی در قالب رستری در محیط GIS تهیه و به مدل معرفی شدند. نتایج پژوهش نشان داد که پتانسیل فرسایش خاک بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۳ تن در پیکسل در سال متغیر بوده است. میزان نگهداشت خاک نیز به طور متوسط ۱/۰۶ تن در پیکسل در سال بوده و بیشترین میزان نگهداشت خاک مربوط به کاربری مرتعی با مقدار ۵/۹۸ و کمترین میزان نیز مربوط به کاربری مسکونی با مقدار ۰/۰۸ تن در پیکسل بوده است. نتایج بیانگر آن است که قابلیت نگهداشت خاک در جنوب غربی منطقه مطالعاتی بیشترین میزان را داشته است که علت آن می‌تواند وضعیت و کیفیت بهتر مراتع در این منطقه نسبت به سایر مناطق باشد. مناطق مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه به علت تغییر کاربری و به تبع آن کاهش پوشش گیاهی، از شدت بالای میزان فرسایش خاک برخوردار بودند که نیازمند برنامه‌ریزی جامع برای کنترل و کاهش این نوع مخاطره است. نتایج این پژوهش می‌تواند در توسعه برنامه مدیریتی خدمات اکوسیستم برای مدیران سرزمین مفید باشد، تا از طریق شناسایی نواحی دارای ارزش حفاظتی به دلیل عرضه زیاد نگهداشت خاک و نیز توجه به کاربری اراضی، برنامه‌ریزی مکانی مؤثرتری داشته باشند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، قابلیت نگهداشت خاک، کاربری و پوشش اراضی، تخریب سرزمین

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m-akbari@um.ac.ir

استناد: نمازی، محدثه، اکبری، مرتضی، معماریان، هادی، اسدالهی، زهرا، پرویان، ناصر (۱۴۰۴). ارزیابی خدمت بوم‌سازگان نگهداشت خاک با استفاده از مدل InVEST در شمال شرقی ایران. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۳)، ۲۷۷-۲۹۵.

doi: 10.22098/mmws.2025.17666.1612

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۲۷۷ تا ۲۹۵.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

خاک نقش مهمی در تأمین خدمات ضروری مورد نیاز انسان و سایر موجودات داشته و ارائه‌دهنده خدمات بوم‌سازگانی متنوعی است (Zarandian et al., 2023). خدمات بوم‌سازگان، منافع متعددی است که انسان‌ها از اکوسیستم به‌دست آورده و شامل انواع خدمات از جمله فراهم‌سازی، تنظیمی، حمایت‌کننده و فرهنگی هستند (Rajbanshi and Das, 2021). خدمات بوم‌سازگان نگهداشت خاک، بخشی از خدمات تنظیمی است که سبب حفظ خاک و کنترل فرسایش می‌شود. تعیین میزان نگهداشت خاک در بخش‌های مختلف سرزمین، از برای کمک به‌تصمیم‌گیری مدیران مؤثر است (Zolfaghari et al., 2024). امروزه، نقش مؤثر عملیات مدیریتی حفاظت آب و خاک، به‌ویژه در افزایش پوشش گیاهی برای تأثیر در کاهش فرسایش خاک و جلوگیری از گسترش بیابان‌زایی حائز اهمیت است (Akbari et al., 2020b). پوشش گیاهی به‌صورت یک حائل میان سطح اراضی و قطرات باران عمل نموده و با جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک، از متلاشی شدن ذرات خاک جلوگیری می‌کند (Jafari Footemi et al., 2017; Shahkarami et al., 2025).

در این میان، حفاظت خاک در برابر مخاطرات طبیعی و انسانی، از کارکردهای تنظیمی مهم در بوم‌سازگان‌ها به‌شمار می‌آید. کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد، فرسایش خاک را از دلایل اصلی تخریب سرزمین می‌داند که به‌نوبه خود از طریق تأثیرات منفی بر کشاورزی، امنیت غذایی و برهم زدن تعادل بوم‌سازگان منجر به افزایش فقر و نابرابری می‌شود (Robinson et al., 2017; UNCCD, 2019). شخم زدن اراضی، شیوه‌های نامناسب مدیریت کشاورزی، جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد دام و به‌ویژه تغییرات غیراصولی کاربری اراضی از دلایل اصلی فرسایش خاک ناشی از فعالیت‌های انسانی است (Akbari et al., 2019; Nabati et al., 2020). نوع سازند زمین شناسی، بافت خاک، نوع بهره‌وری از اراضی و وضعیت پوشش گیاهی از جمله عوامل مؤثر در فرسایش خاک هستند که بر میزان شدت و نوع فرسایش نیز می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی اثرگذار باشند (Masoudi and Shirghir, 2021; Akbari et al., 2020a). برخی فعالیت‌های بشر از جمله تبدیل مراتع به‌اراضی کشاورزی، خاک را به‌شدت در معرض فرسایش، به‌ویژه فرسایش آبی قرار داده است (Akbari et al., 2022; Memarian and Akbari, 2021). گسترش کشت محصولات زراعی و از بین

رفتن پوشش گیاهی در نتیجه آن، باعث افزایش فرسایش خاک است (Belay and Mengistu, 2021). همچنین بسیاری از مطالعات، رابطه منفی میان پوشش گیاهی و رواناب یا عملکرد رسوب را به‌اثبات رسانده‌اند (Memarian et al., 2016; Bautista et al., 2007). در حقیقت هرچه پوشش سطح زمین بیش‌تر و خاک لخت‌کم‌تر، میزان نگهداری رسوب بیش‌تری رخ خواهد داد (Jokar, 2017). در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، تخریب‌های مکرر و تغییرات شدید در شرایط اقلیمی به‌خصوص استمرار خشکسالی (Namazi et al., 2024)، پوشش اراضی به‌ویژه مراتع را تحت فشار قرار داده و بر حفظ آب و ارائه خدمات بوم‌سازگان تأثیر گذاشته است. سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد^۱ تأکید می‌کند که مدیریت پایدار خاک می‌تواند منجر به‌جلوگیری از تخریب سرزمین شود (FAO, 2015). اقدامات پیشنهادی از جمله کشاورزی حفاظت‌شده، کاهش فرسایش خاک و بهبود مدیریت آب می‌توان تا حدود زیادی بر افزایش میزان تخریب اراضی غلبه نمود. بر این اساس، ارزیابی به‌موقع و کارآمد تأثیر وضعیت یا شرایط پوشش اراضی بر حفظ آب در مدیریت بهینه و پایدار اراضی حائز اهمیت است (Azimi et al., 2020; Jahani et al., 2024).

پروژه سرمایه طبیعی^۲ که توسط دانشگاه استنفورد^۳ توسعه یافته، به‌منظور ارزیابی و کمی‌سازی ارزش خدمات بوم‌سازگان، مدل‌هایی مانند InVEST^۴ و RIOS^۵ را توسعه داده است. هدف از توسعه نرم‌افزار InVEST، نقشه‌سازی توزیع مکانی خدمات بوم‌سازگان و تغییرات آن‌ها در اثر تغییرات کاربری اراضی و یا تغییرات اقلیم است. این مدل‌ها با هدف برآورد موجودی خدمات بوم‌سازگان در مناطقی با داده‌های پایه ضعیف یا عدم وجود داده، مناسب هستند (Sharp et al., 2014). با وجود اهمیت خاک در ارائه خدمات حیاتی برای زندگی بشر، در قرن گذشته تاکنون، متأسفانه به‌طور فزاینده‌ای در نتیجه تشدید و گسترش فعالیت‌های انسانی تحت فشار قرار گرفته که این منجر به‌پیامدهای بالقوه مضر در عرضه خدمات بوم‌سازگان می‌شود (Li et al., 2023). فرسایش خاک و در نتیجه آن، تخریب منابع خاک از معضلات جدی بوم‌شناختی و محیط زیستی پیش روی جهان به‌شمار می‌رود که توسعه پایدار جوامع انسانی را محدود خواهد کرد (Qiao et al., 2023). در این راستا، کاربری اراضی مجموعه‌ای از پدیده‌های طبیعی و فرآیندهای بوم‌شناختی همچون نوع پوشش گیاهی سطح زمین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز میزان رواناب را تغییر داده که بر پویایی

4 Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs
5 Resource InVESTment Optimization System

1 <https://www.fao.org/soils-portal>
2 Natural Capital Project
3 Stanford

سطح پیکسل متغیر است. (Mashizi et al., 2019) با کمی‌سازی خدمات اکوسیستم، خدمات فراهمی (آب و تولید علوفه)، خدمات حمایتی (تشکیل خاک و تنوع زیستی)، خدمات تنظیمی (تنظیم فرسایش و اقلیم) را در حوزه آبخیز باغیزم شهرستان بردسیر مطالعه و مقدار نگهداشت خاک را در این منطقه ۰ تا ۶۶۸/۵ تن در هکتار برآورد کردند. ارزیابی فرسایش فعلی و آتی خاک تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر اساس مدل‌های InVEST- SDR و FLUS در حوضه رودخانه Yihe در شمال چین (Qiao et al., 2023)، پویایی مکانی- زمانی هدررفت خاک و رسوب خروجی در حوضه آبریز رودخانه بیلات دره ریفیت مرکزی اتیوپی (Tamire et al., 2022) و مدل‌سازی خدمت بوم‌سازگان نگهداشت خاک در حوضه آبریز میچل در شمال استرالیا (McMahon et al., 2022)، مطالعه هدررفت و حفظ رسوب پوشش زمین در حفظ رسوب حوزه آبخیز کلونگ یو- تاپائو در تایلند (Srichaichana et al., 2019) از دیگر مطالعاتی است که در سایر نقاط جهان انجام شده است. از آنجا که فرسایش خاک به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر تخریب اراضی است، مدیریت پایدار خاک و جلوگیری از فرسایش، بنابر تاکید سازمان‌های بین‌المللی مانند FAO، UNCCD و IPCC، منجر به حفاظت از خاک و بازایی زمین‌های تخریب‌شده می‌شود و به‌پایداری بوم‌سازگان‌ها کمک می‌کند. بنابراین، از آنجا که تخریب زمین ناشی از کاهش بهره‌وری از خدمات بوم‌سازگان است، اجرای سیاست‌های جامع برای حفظ نگهداشت خاک به‌عنوان یکی از خدمات بوم‌سازگان حائز اهمیت در این راستا، ابزار کلیدی برای کاهش تخریب زمین محسوب می‌شود.

این پژوهش با توجه به کارایی مدل InVEST در مناطقی با داده‌های پایه کم و همچنین استفاده کم‌تر از مدل نگهداشت خاک در مناطق خشک ایران، به‌خصوص مناطق شرقی استان خراسان رضوی مانند شهرستان سرخس انجام شد. علاوه بر آن، شدت فرسایش و تخریب بالای خاک در شهرستان سرخس و اینکه اکثر پژوهش‌ها با هدف نگهداشت خاک در یک بازه زمانی کوتاه انجام شده است، این پژوهش به‌صورت بررسی زمانی- مکانی و در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی (۲۱ سال) انجام شد. شهرستان سرخس به‌عنوان یکی از کانون‌های بحرانی فرسایش خاک در استان خراسان رضوی (Emamian et al., 2021)، با هدف شناسایی و درک بهتری از این خدمت بوم‌سازگان و اثر کنترل فرسایش بر تخریب سرزمین انجام شد.

فرسایش خاک و میزان مقاومت در برابر فرسایش تأثیر می‌گذارد و در نهایت سبب تغییر حالت و شدت فرسایش خاک شده که تأثیرات مهمی در مقیاس‌های مختلف دارد (Borrelli et al., 2017). در کشور ایران به‌علت عدم توجه کافی به قابلیت و تناسب کاربری اراضی، سرزمین به‌طور نامعقول مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که این استفاده نادرست بر خدمت نگهداشت خاک اثر می‌گذارد (Asadolahi et al., 2015). (Balouei et al., 2022) تغییرات کاربری اراضی/ پوشش را موجب افزایش میانگین هدررفت خاک دانسته، به‌طوری که میانگین هدررفت از ۷۷/۰۴ تن بر هکتار در سال ۱۹۹۵ به ۱۰۸/۵۱ تن بر هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده است.

مدل ساز InVEST یکی از نرم‌افزارهای مدل‌سازی خدمات بوم‌سازگان است که در برگیرنده مجموعه‌ای از مدل‌های مجزا است که در هریک از مدل‌ها به‌بررسی الگوی مکانی خدمات بوم‌سازگانی و تغییرات آنها با توجه به تغییرات کاربری اراضی پرداخته می‌شود. از مزایای نرم‌افزار InVEST قابل استفاده بودن برای کل دنیا، مقیاس انعطاف پذیر، رایگان بودن، توان ارزیابی خدمات متعدد و مستقل بودن آن قابل اشاره است. از محدودیت‌های آن، محدودیت در داده‌های ورودی و نیز محدودیت در واسنجی و اعتبارسنجی نسبت به سایر مدل‌ها است. بر این اساس، به‌منظور نتیجه‌گیری بهتر از مدل‌ها، پایش اطلاعات پوشش گیاهی، خاک و نیز داده‌های اقلیم شناسی، تهیه نقشه‌های خاک و پوشش اراضی در این‌گونه مطالعات نیز توصیه می‌شود.

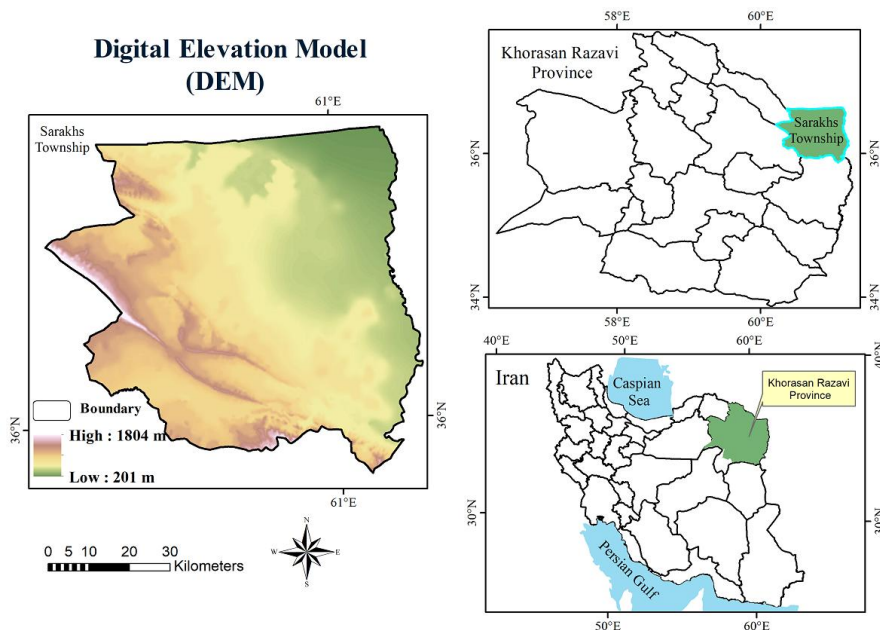
مدل نگهداشت خاک InVEST که بر پایه مدل $RUSLE^1$ توسعه یافته است، به‌ابزاری مهم برای ارزیابی فرسایش خاک، حفظ خاک در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف تبدیل شده است و به‌طور گسترده‌ای در سطح بین‌الملل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Marques et al., 2021). از پژوهش‌های انجام شده در ایران که از این مدل در کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک استفاده کرده‌اند می‌توان به مطالعات (Zarandian et al., 2023) در استان سمنان، (Mohammadiyari and Tavakoli, 2024) در حوزه آبخیز سد ایلام، (Asadolahi and Nazar Norouzi, 2020) در حوزه آبخیز گرگانرود، (Salarvand et al., 2019) در استان لرستان و مطالعه (Kamyab and Shabani, 2019) در استان گلستان اشاره کرد. در این راستا، (Asadolahi et al., 2015) با مدل‌سازی خدمت نگهداشت خاک با استفاده از مدل ساز InVEST در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان رود به این نتیجه رسیدند که مقادیر هدررفت خاک از ۰ تا ۷۵ تن در سال در

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان سرخس در شمال شرقی ایران و در موقعیت جغرافیایی 36° و $15'$ تا 61° و $10'$ طول شرقی و 35° و $50'$ تا 36° عرض شمالی قرار گرفته است. این شهرستان، با وسعت تقریبی 5471 کیلومتر مربع بخش کوچکی از حوضه بزرگ قره قوم در استان خراسان رضوی بوده و حد طبیعی شهرستان را در جنوب، رودخانه کشف رود، در شرق رودخانه تجن و در غرب و جنوب غربی آخرین امتدادهای ارتفاعات کپه داغ تشکیل می دهند (Darmany et al., 2022). ارتفاع منطقه از سطح دریا 235 متر،

میانگین بارندگی سالانه در حدود 185 میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالانه $17/7$ درجه سانتی گراد است (Emamian et al., 2021). این منطقه از نظر شرایط طبیعی به سبب همجواری با صحرای قره قوم استعداد توسعه بیابان را دارا است. اقلیم خشک، بارندگی اندک، تغییرات کاربری اراضی غیراصولی، خاک نرم و حساس به فرسایش موجب ایجاد شرایط بحرانی در تخریب سرزمین شده است (Sarbazi et al., 2020). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان خراسان رضوی نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سرخس در استان خراسان رضوی، ایران

Figure 1. Geographical location of Sarakhs Watershed in Khorasan Razavi province, Iran

۲-۲- روش تحقیق

این پژوهش با هدف ارزیابی خدمت بوم سازگان نگهداشت خاک در بازه زمانی ۲۱ سال و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی انجام شد. برای رسیدن به این هدف، از بسته نرم افزاری InVEST3.0.1 استفاده شد. در مدل نگهداشت خاک، (SR) مقدار تلفات سالیانه خاک در هر پیکسل در واحد تن در هکتار و براساس معادله جهانی تلفات خاک (USLE) محاسبه می شود (رابطه ۱). از مدل تجربی USLE برای برآورد پتانسیل از دست دادن خاک توسط آب از دامنه تپه ها در مناطق وسیعی از زمین استفاده می شود.

$$USLE = R * K * LS * C * p \quad (1)$$

رابطه ۱، متوسط سالانه تلفات خاک را نشان می دهد که شامل پارمترهای زیر است:

R، عامل فرساینده باران-رواناب ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ y}^{-1} \text{ h}^{-1}$)
 K، فرسایش پذیری خاک ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)
 L، طول شیب، S، درجه شیب، C، پوشش گیاهی، P، عملیات حفاظتی خاک (Wischmeier and Smith, 1978).

۲-۳- مدل نگهداشت خاک

مدل نگهداشت خاک در نرم افزار InVEST ظرفیت بوم سازگان در حفظ خاک^۱ (SR) را با در نظر گرفتن حداکثر میزان هدررفت خاک طبق رابطه ۲ محاسبه می کند (Sharp et al., 2014).

$$SR = SL_{max} - SL_j \quad (2)$$

پژوهش از لایه DEM ۳۰ متری استفاده شد که مدل، خود پارامتر LS را از این لایه استخراج می‌کند.

فاکتور فرساینده‌گی باران (R): فاکتور R به شدت و مدت بارندگی در منطقه مورد نظر بستگی دارد. هرچه شدت و مدت طوفان باران بیش‌تر باشد، پتانسیل فرساینده‌گی بیش‌تر است. با توجه به مقادیر بارش در منطقه مطالعاتی و محدودیت‌های موجود در به‌کارگیری سایر روابط محاسباتی فاکتور فرساینده‌گی باران در منطقه مورد مطالعه، فاکتور R با استفاده از رابطه ۵ براساس ایستگاه‌های شاخص محاسبه شد (Renard and Freimund, 1994). جدول ۱ مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی و مقادیر متوسط بارش را نشان می‌دهد. در نهایت، با درون‌یابی شاخص R با روش درونیابی IDW (Akbari et al., 2023) برای کل منطقه مطالعاتی، لایه مکانی فرساینده‌گی باران در محیط ArcGIS10.8 تهیه شد (شکل ۲). مقادیر شاخص فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مطالعاتی منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نیز در جدول ۲ نشان داده می‌شود.

$$R = 0.04830 P^{1.610} \quad p < 850 \text{ mm} \quad (5)$$

$$SL_{max} = R * K * LS \quad (3)$$

$$SL_j = R * K * LS * C * P \quad (4)$$

در این رابطه، SL_{max} حداکثر هدررفت خاک بدون در نظر گرفتن عامل پوشش گیاهی است و از رابطه ۳ بدست آمد. SL_j هدررفت واقعی خاک است که براساس رابطه ۴ از معادله جهانی هدررفت خاک (RUSLE) قابل تخمین است (Wischmeier and Smith, 1978; Akbari et al., 2023). در رابطه ۴، R، عامل فرساینده‌گی باران، K، عامل فرسایش‌پذیری خاک، LS، عامل گرادیان طول شیب، C، عامل نوع پوشش و کاربری اراضی و P، عامل اقدامات مدیریتی است. داده‌های پایه مورد نیاز به‌منظور اجرای مدل در نرم‌افزار شامل؛ مدل رقومی ارتفاع، فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش زمین و کاربری اراضی و جدول بیوفیزیکی است که در قالب رستری ارائه می‌شوند.

۲-۴- داده‌های پایه در اجرای مدل نگهداشت خاک

مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM): برای دانلود نقشه DEM منطقه مورد مطالعه، ابتدا تصویر مورد نیاز از وب سایت جامع هوا و اقلیم شناسی ایران^۲ دانلود شد و سپس در محیط ArcGIS نسخه ۱۰.۸، این نقشه در محدوده مورد مطالعه استخراج شد. در این

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی حوزه آبخیز سرخس در دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰ میلادی)

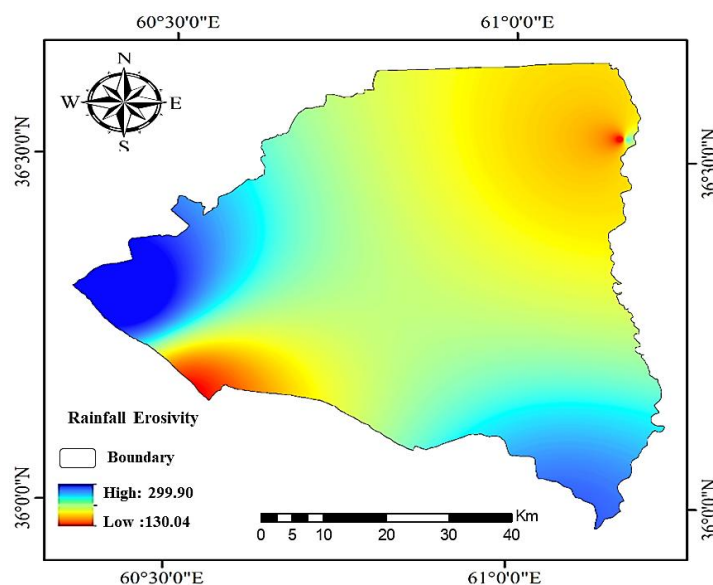
Table 1. Climatic characteristics of study stations at Sarakhs Watershed over the 21-year statistical period (2000-2020)

Stations	Station type	Longitude	Latitude	Station elevation (m)	5-year mean precipitation (mm)
Sarakhs	Synoptic	10 ° 61'	32 ° 36'	235	187.14
Bazangan	Evaporometry	26 ° 60'	18 ° 36'	1003	210.90
Polkhatoon	Evaporometry	06 ° 61'	58 ° 35'	401	198.10
Mozdooran	Evaporometry	32 ° 60'	09 ° 36'	913	152.00
Sarakhs	Evaporometry	10 ° 61'	32 ° 36'	235	128.58

جدول ۲- مقادیر فاکتور R به ازای ایستگاه‌های حوزه آبخیز سرخس

Table 2. Erosion factor for the studied stations at the Sarakhs Watershed

Station	Year					21-year mean station (mm)
	2000	2005	2010	2015	2020	
Bazangan	143.37	205.58	199.16	832.85	118.52	299.90
Mozdooran	75.68	123.04	78.23	377.93	47.76	140.53
Polkhatoon	157.29	205.58	171.69	671.74	124.57	266.17
Sarakhs	88.04	123.65	80.80	306.42	50.98	129.98
Sarakhs(Synoptic)	107.15	188.35	191.96	215.48	442.90	229.17



شکل ۲- نقشه فرساینده‌گی باران حوزه آبخیز سرخس
Figure 2. Rainfall erosivity map of the Sarakhs Watershed

$$\times \left[1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \\ \times \left[1 - \frac{0.7SN}{SN + \exp(-5.51 + 22.9 SN)} \right]$$

فاکتور مدیریت زمین (C): برای برآورد فاکتور C، شاخص NDVI بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست و در محیط Google earth engine محاسبه شد (شکل ۴). سپس بر اساس فرمول ارائه شده در پژوهش (Lin et al. (2002)، عامل C برآورد شده است.

$$C = (71 - NDVI)/2 \quad (۷)$$

فاکتور عملیات حفاظتی (P): برای برآورد فاکتور P، از روش Wener (1981) مبتنی بر شیب برای محاسبه ضریب P استفاده شد. رابطه مورد استفاده در این روش به صورت ذیل است:

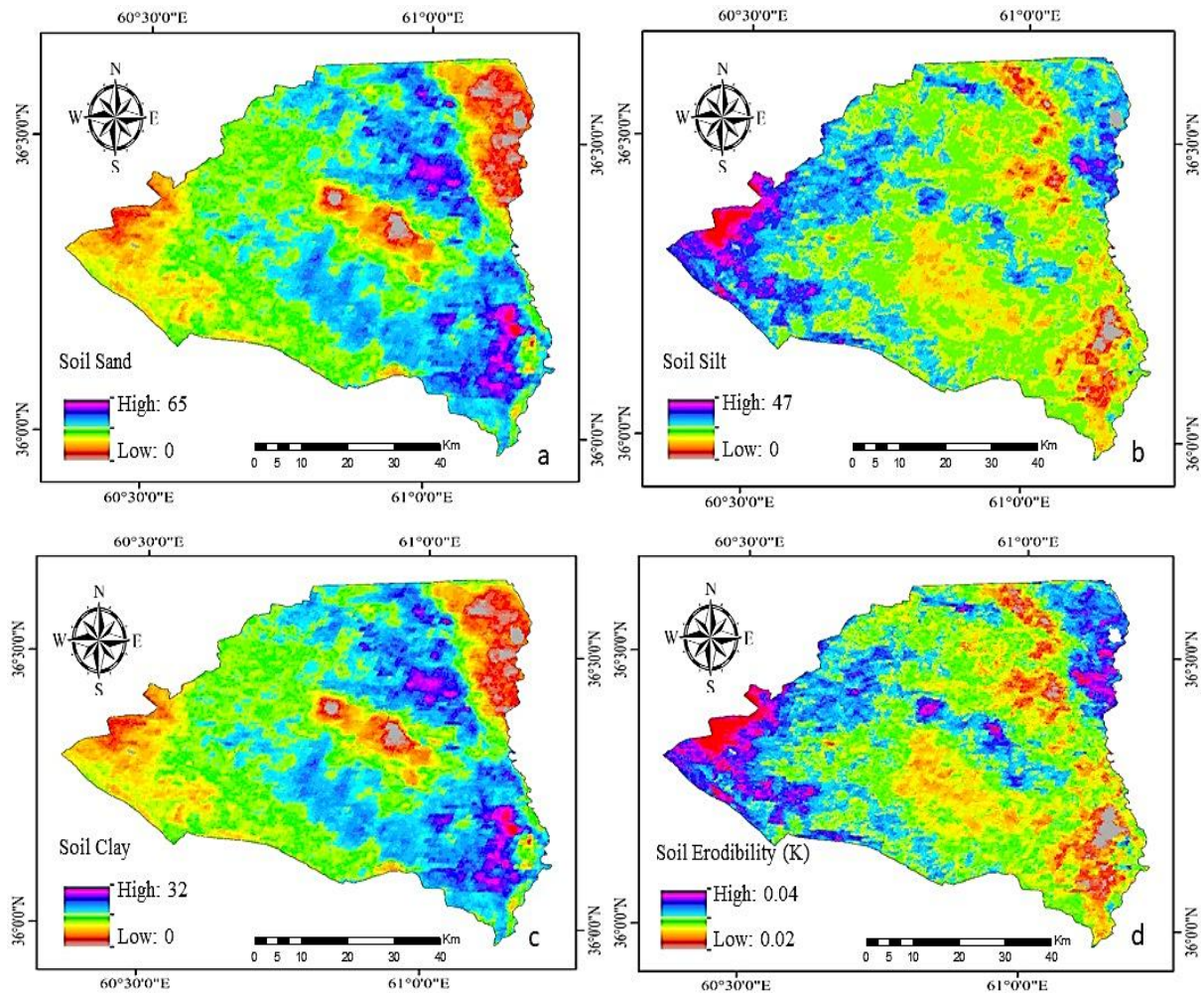
در رابطه ۸، S درجه شیب و برحسب درصد (%) است.

$$P = 0.2 + 0.03 * S \quad (۸)$$

کاربری/پوشش اراضی (LULC) سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی: برای این لایه، از نقشه‌های کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. نقشه کاربری اراضی که شامل اراضی کشاورزی، مراتع، سطوح آبی، مناطق مسکونی، اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای است (شکل ۵). لازم به توضیح است که برای داده‌های ورودی مانند نقشه‌های کاربری اراضی و فرسایش‌پذیری خاک که از منابع تهیه شده‌اند، ارزیابی دقت (مثلاً خطای نقشه‌ها) ارائه نشده است. این مورد از محدودیت‌های پژوهش است.

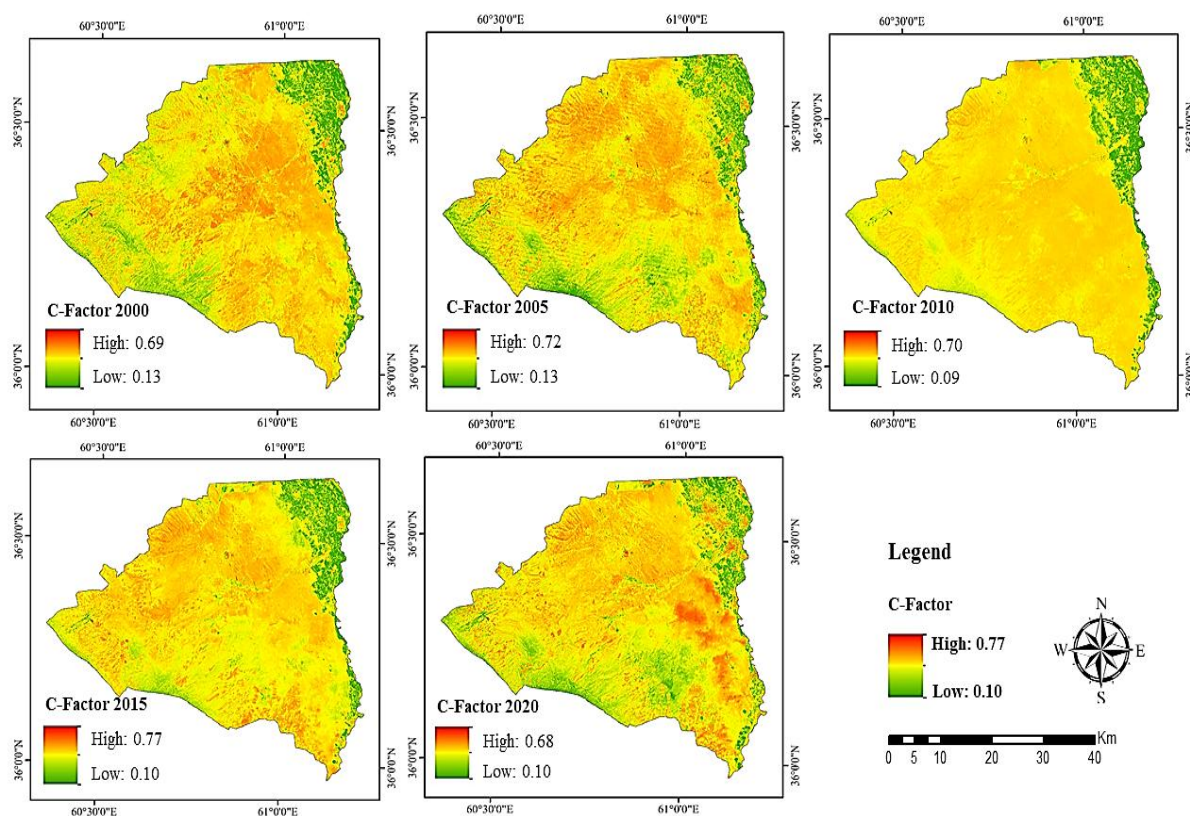
فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): فاکتور K برای سنجش حساسیت ذرات خاک به جدا شدن و انتقال توسط بارندگی و رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۶ استفاده شد (Sharply and Williams, 1990). از آنجا که فرسایش‌پذیری خاک به عنوان یکی از پارامترهای تاثیرگذار در پتانسیل فرسایش خاک یک منطقه است اما تغییرات خاک در واحد زمان آنقدر کند بوده که جزو منابع اکولوژیک پایدار در نظر گرفته می‌شود (Makhdoom, 2002). بنابراین ارزیابی فرسایش‌پذیری خاک و تهیه نقشه مربوط به آن در بازه زمانی ۲۱ ساله مورد بررسی، به ازای یک نقشه واحد در نظر گرفته می‌شود. برای برآورد فاکتور K به داده‌های مربوط به درصد شن، سیلت و رس نیاز است (شکل ۳-۳، a-۳، b-۳ و c-۳). داده‌های مربوط به این متغیرها با استفاده از اطلاعات جهانی خاک در مقیاس مناسب تهیه شد و پس از تبدیل واحد لازم به صورت درصد، در رابطه مربوطه قرار داده شد تا در نهایت شاخص فرسایش‌پذیری خاک در محیط ArcGIS10.8 تهیه شود (شکل ۳-د).

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 S_d \left(1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \times \left(\frac{S_i}{Cl + S_i} \right)^{0.3} \quad (۶)$$



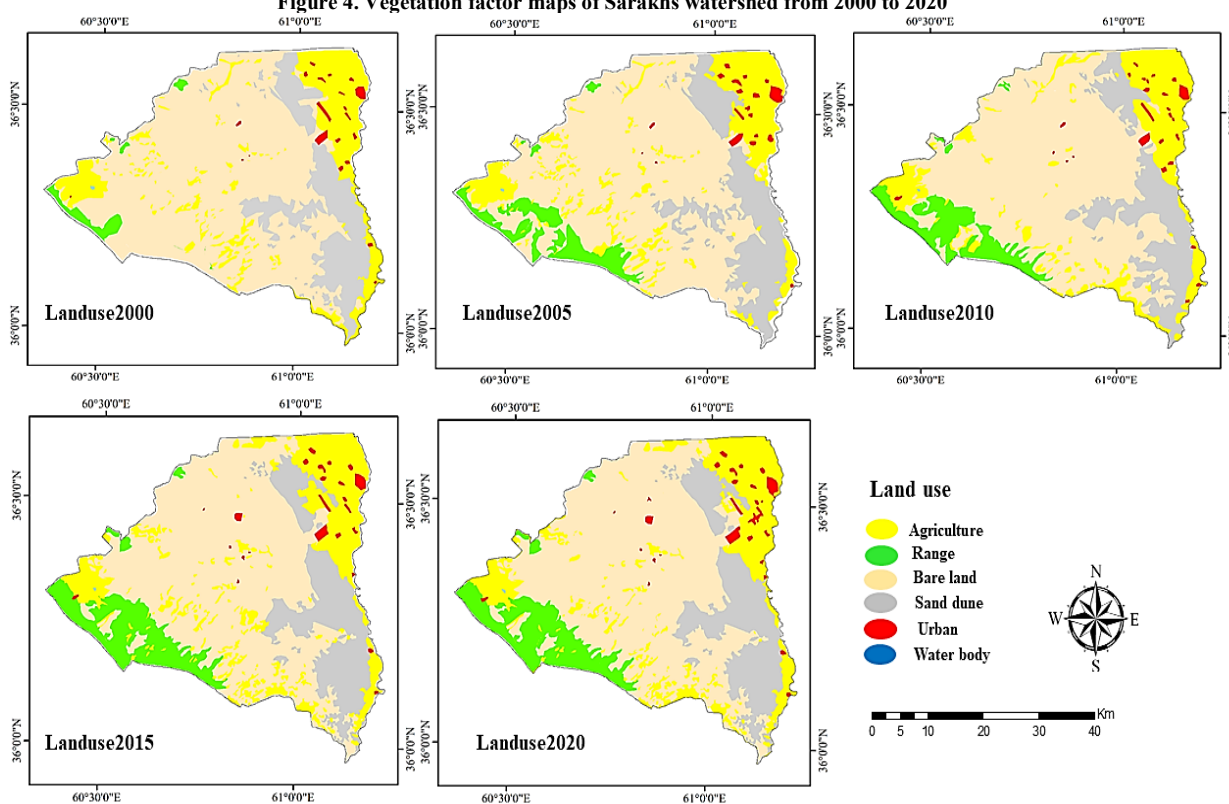
شکل ۳- نقشه درصد شن (a)، نقشه درصد سیلت (b)، نقشه درصد رس خاک (c)، نقشه فرسایش پذیری خاک (d)

Figure 3. a) Soil Sand, b) Soil Silt, c) Soil Clay, and d) Soil Erodibility



شکل ۴- نقشه های فاکتور C حوزه آبخیز سرخس مربوط به سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰

Figure 4. Vegetation factor maps of Sarakhs watershed from 2000 to 2020



شکل ۵ - نقشه کاربری / پوشش اراضی مربوط به حوزه سرخس در سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰

Figure 5. Land use/land cover map of the Sarakhs Watershed from 2000 to 2020

مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد عمدتاً در نواحی مرتفع و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارند. می‌توان به اثر فرساینده‌گی باران در این نواحی که مقادیر فرسایش بالایی دارند اشاره کرد. جدول ۴ مقادیر پتانسیل هدررفت خاک به ازای هر کاربری زمین را نشان می‌دهد.

باید توجه داشت خروجی مدل پیکسل پایه بوده و آنچه به طبقات کاربری و پوشش اراضی تعمیم داده شده است حاصل پردازش پسین با تابع Zonal statistics و برآورد میانگین پیکسل‌ها به ازای هر طبقه کاربری و پوشش اراضی است. در محدوده پیکسل‌های منابع آبی فاکتورهای R، K و LS صفر نبوده است. همچنین ضریب P بر پایه شیب محاسبه شده و دو پارامتر C (۱) و P (۰/۲۵) در محاسبات وارد شده است (جدول ۲). به این برای حاصل ضرب فاکتورهای R، K، LS، C و P در محدوده طبقه منابع آبی دارای ارزش شده است. در بسیاری از مطالعات در جدول CSV فاکتورهای C و P برای منابع آب (۱) در نظر گرفته می‌شود تا در نهایت در رابطه $RKLS-RKLSCP$ ، اثر $RKLS$ در این طبقه خنثی شود. اما چون در این مطالعه تأکید بر منابع آب نبوده است پردازش پسین روی خروجی این طبقه انجام نشده است.

نگهداشت خاک اثر دو فاکتور C و P را نشان می‌دهد. در حالی که پتانسیل فرسایش خاک از حاصل ضرب فاکتورهای R، K، LS، C و P حاصل شده است. بالا بودن میزان پتانسیل فرسایش خاک در طبقه مراتع، به طور همزمان به تمامی فاکتورهای بالا نسبت داده می‌شود در حالی که نگهداشت خاک، نقش پوشش گیاهی در حفظ خاک را روشن می‌کند.

چنین شرایطی را حتی در مناطق جنگلی زاگرس یا هیرکانی نیز می‌توان مشاهده کرد. مناطق با شیب زیاد و بارش بیش‌تر، پتانسیل فرسایش خاک بالاتری دارند اما وجود پوشش متراکم موجب حفظ خاک می‌شود.

جدول زیست فیزیکی^{۱۰}: برای اجرای مدل، جدول زیست فیزیکی با فرمت csv دارای ستون‌های کاربری/پوشش اراضی، کد طبقات کاربری/پوشش اراضی، فاکتور C و فاکتور P تهیه شد (جدول ۳).

جدول ۳- جدول زیست فیزیکی مورد استفاده در تحقیق حاضر
(منبع نگارندگان)

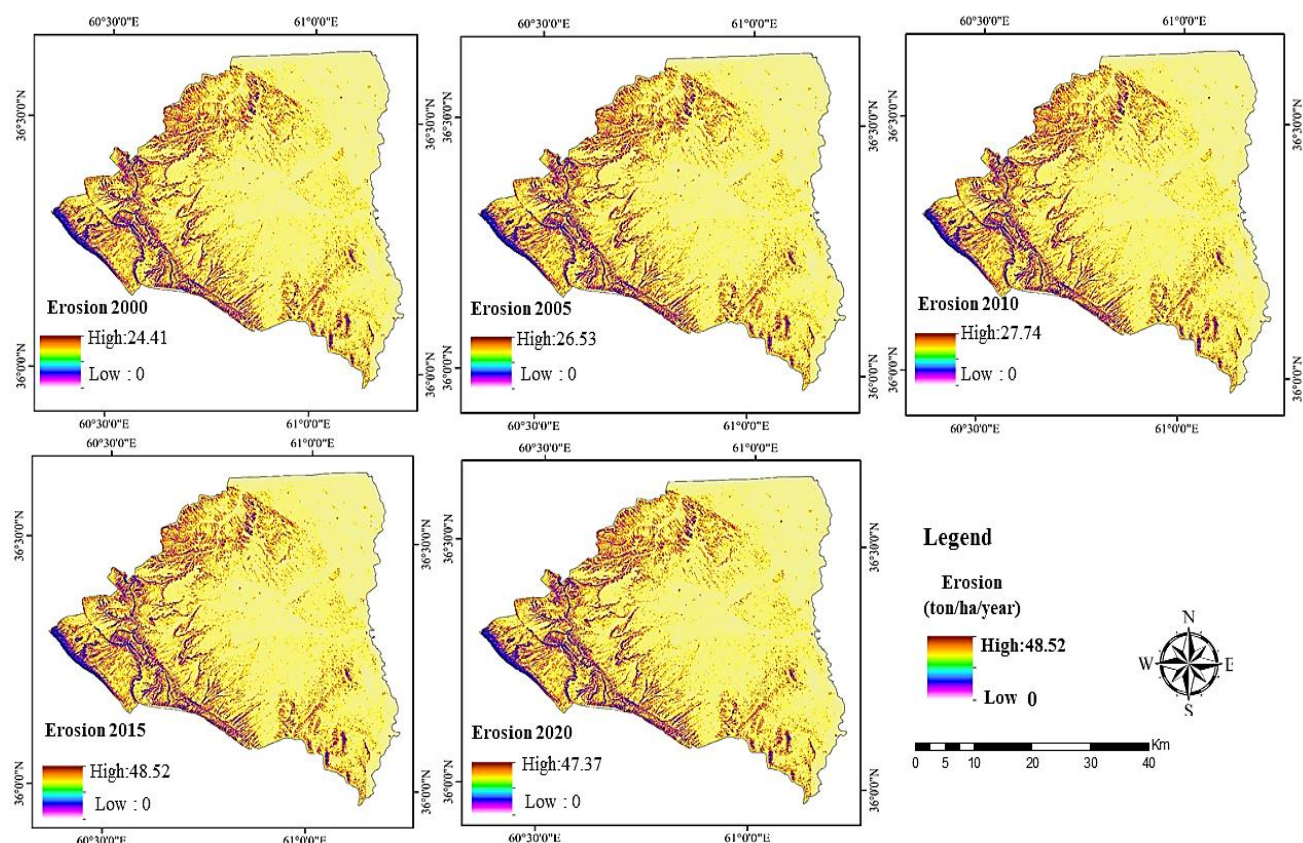
Land use/Land cover	LUcode	USLE c	USLE p
Agriculture	1	0.40	0.28
Range	2	0.41	0.22
Bare land	3	0.43	0.25
Sand dune	4	0.43	0.29
Urban	5	1.00	0.48
Water body	6	1.00	0.25

۳- نتایج و بحث

با اجرای مدل SDR در محدوده مورد مطالعه، خروجی‌های ذیل حاصل شد. نقشه‌های خروجی آن در این قسمت نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با اجرای مدل، نقشه پتانسیل هدررفت خاک سالانه تهیه شد. مقادیر آن بین ۰ تا ۴۸/۵۲ تن در هکتار در سال متغیر است.

جدول ۴ - میانگین پتانسیل فرسایش خاک به تفکیک هر کاربری اراضی حوزه سرخس در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Code	Land use/Land cover	Mean soil erosion potential (ton/ha/yr)				
		2000	2005	2010	2015	2020
1	Agriculture	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2	Range	0.23	0.13	0.13	0.12	0.11
3	Bare land	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04
4	Sand dune	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
5	Urban	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04
6	Water body	0.16	0.08	0.23	0.23	0.14



شکل ۶- نقشه‌های پتانسیل فرسایش خاک حوزه آبخیز سرخس با استفاده از مدل USLE در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰

Figure 6. Soil erosion potential maps of the Sarakhs Watershed using the USLE model from 2000 to 2020

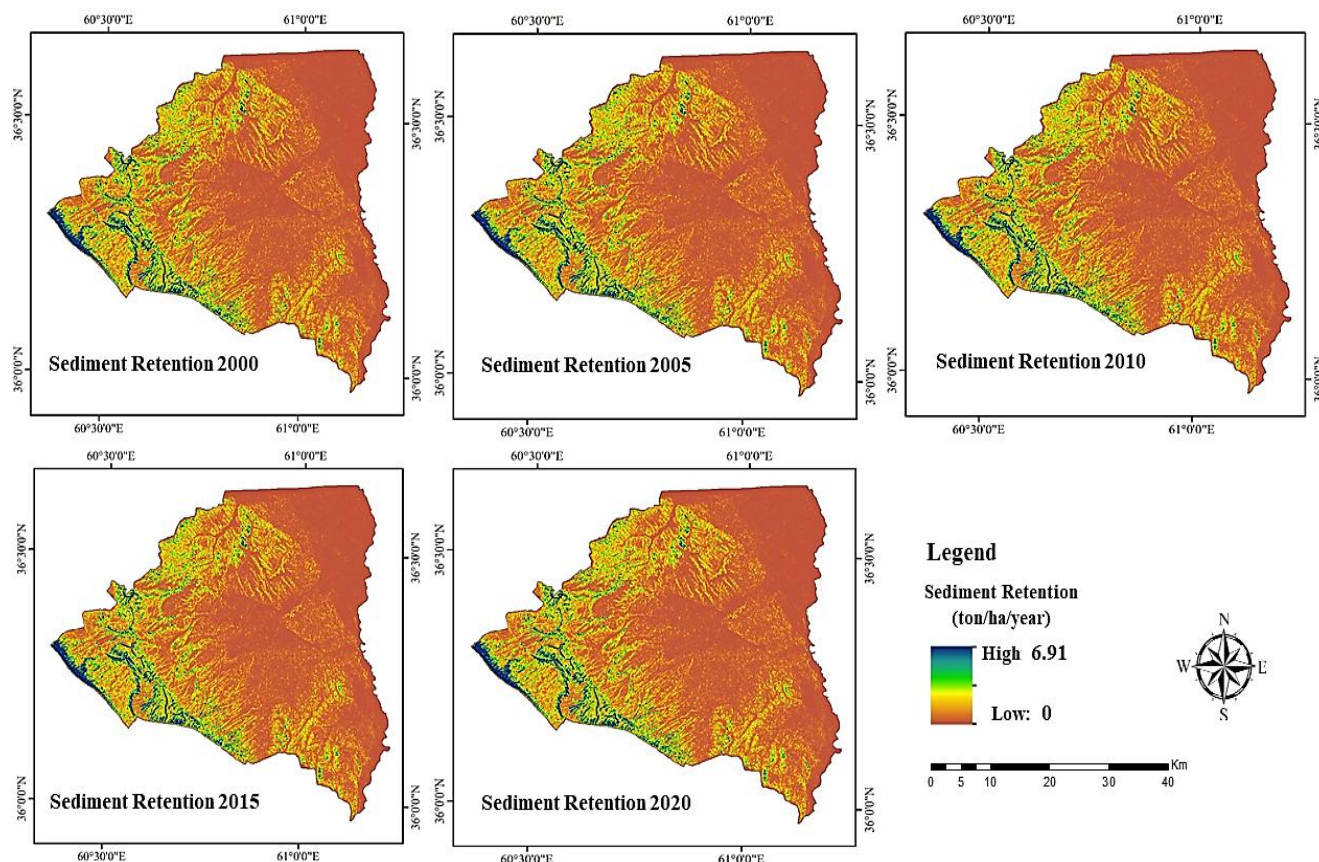
بین ۰ تا ۶/۹۱ تن در هکتار در سال متغیر است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، کاربری مرتع بیش‌ترین میزان نگهداشت را با مقدار ۰/۵۳ تن در هکتار در سال به خود اختصاص داده است و کم‌ترین میزان نگهداشت خاک به مناطق مسکونی اختصاص دارد.

برای درک ملموس‌تر نقش کاربری اراضی در انواع کالاها و خدمات بوم‌سازگان، خروجی‌های مدل با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS مورد پردازش قرار گرفت. جدول ۵ مقادیر خدمت بوم‌سازگانی نگهداشت خاک براساس انواع کاربری زمین را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. میزان نگهداشت سالانه خاک در منطقه مورد مطالعه

جدول ۵- میانگین نگهداشت خاک به تفکیک هر کاربری اراضی حوزه سرخس در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰

Table 5. Mean soil retention by land use of the Sarakhs Watershed from 2000 to 2020

Code	Land use/Land cover	Mean soil retention (ton/ha/yr)				
		2000	2005	2010	2015	2020
1	Agriculture	0.041	0.044	0.050	0.045	0.040
2	Range	0.53	0.39	0.37	0.35	0.35
3	Bare land	0.11	0.09	0.09	0.09	0.08
4	Sand dune	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
5	Urban	0.007	0.007	0.01	0.01	0.01
6	Water body	0.16	0.08	0.16	0.16	0.11



شکل ۷- نگهداشت خاک حوزه آبخیز سرخس (تن در هکتار در سال) مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Figure 7. Soil conservation map of the Sarakhs Watershed (tons per pixel per year) from 2000 to 2020

مؤثری در قابلیت نگهداشت خاک دارد که این نتایج با مطالعات (Asadolahi et al., 2015) مطابقت داشت. آن‌ها بیان داشتند تغییرات رواناب و هدررفت خاک به طور معناداری تحت اثرات حاصل از تغییر کاربری و پوشش اراضی قرار دارد. Akbari et al. (2023) اثرات ترکیبی تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی را موجب افزایش فرسایش خاک دانستند. آن‌ها بیان داشتند تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه توسعه کشاورزی از عامل‌های اصلی تخریب اراضی است. آسیب‌پذیرترین کاربری‌ها در برابر فرسایش شامل اراضی زراعی، مراتع و جنگل‌های با پوشش کم تا متوسط بودند. این نتایج همچنین با نتایج (Teymouri et al., 2019) مطابقت داشت. نتایج آنان نشان داد فاکتور فرسایش باران و عامل پوشش گیاهی تحت تأثیر مستقیم تغییرات اقلیمی و نیز تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی قرار دارد. در میان مؤلفه‌های اثرگذار بر اقلیم، بارش و دما از مؤلفه‌های اصلی تعیین کننده در فرآیندهای بوم‌سازگانی همچون تولید اولیه خالص و فرسایش خاک هستند (McGuire et al., 2001).

به‌طورکلی قابلیت نگهداشت خاک در جنوب غربی منطقه مطالعاتی بیش‌ترین میزان را داشت. علت این موضوع، وضعیت و کیفیت مراتع در این منطقه نسبت به سایر مناطق حوزه است. وجود تاج پوشش گیاهانی همچون تاغ و آتریپلکس و ریشه‌های عمیق آن‌ها سبب افزایش مواد آلی خاک شده و نیز به بهبود خصوصیات فیزیکی خاک منجر می‌شود که سبب کاهش فرسایش و رواناب است (Mashizi et al., 2019).

نتایج ارزیابی نگهداشت سالانه خاک نشان داد بیش‌ترین میزان نگهداشت خاک به‌اراضی مرتعی و کم‌ترین میزان به مناطق مسکونی اختصاص داشت. علت آن را می‌توان به قابلیت متفاوت نگهداشت خاک در کاربری‌های مختلف نسبت داد. نتایج مطالعات (Zarandian et al., 2023) نیز نشان داد بیش‌ترین قابلیت نگهداشت خاک در کاربری‌های جنگل و مرتع بوده و کم‌ترین میزان مربوط به اراضی بایر و مناطق مسکونی انسان ساخت است که نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی در حذف یا کاهش پوشش گیاهی است. نتایج همچنین نشان داد نوع کاربری اراضی نقش

با توجه به اینکه بیش تر نواحی در منطقه مطالعاتی سرخس به اراضی زراعی اختصاص داده شده، بنابراین تغییر کاربری سبب افزایش رواناب در این مناطق شده است. افزایش رواناب نشان دهنده تخریب بیش تر خاک، هدررفت بیش تر آب قابل دسترس گیاه و در نتیجه خطر ایجاد سیل در منطقه است (Azimi et al., 2020). وضعیت مراتع نیز نقش مؤثری را در قابلیت نگهداشت خاک دارا است، به طوری که این میزان در مراتع خوب نسبت به مراتع فقیر و اراضی بایر بیش تر است اما در مراتع فقیر و اراضی بایر به دلیل کاهش میزان پوشش گیاهی و وجود فضای خالی زیاد میان گیاهان، میزان فرسایش بسیار زیاد و از اراضی زراعی نیز بیش تر است. این نتایج نیز با نتایج حاصل از مطالعه Jokar, (2017) در حوضه دلیچای حبله رود که به این نتیجه رسید در بین کاربری ها، اراضی بایر، تپه های ماسه ای، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی کم ترین نقش را در نگهداشت خاک داشته و بیش ترین میزان فرسایش در آن ها دیده شد، مطابقت دارد. با توجه به اینکه مدیریت خاک در بهره برداری مطلوب و کاهش تخریب اراضی، ضرورت دارد تا از عواملی همچون کاهش کیفیت آب، کاهش حاصلخیزی خاک ها و در نهایت تخریب خاک جلوگیری شود؛ بنابراین، ضروریست تا به منظور اهمیت مدیریت خاک و کاهش تخریب اراضی به ارزیابی نگهداشت خاک پرداخته شود.

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که پوشش غالب مرتع بیش ترین نقش را در نگهداشت خاک و عرضه این خدمت بوم سازگان داشته است. مراتع نقش بسزایی در نگهداشت و حفظ خاک دارند به طوری که در مناطقی با پوشش گیاهی کم و پراکنده به علت کاهش پوشش و فضای خالی زیاد در بین گیاهان میزان فرسایش خاک بالا است. با وجود خاک حساس رسی، پوشش گیاهی ضعیف و چرای بیش از حد، اراضی بایر فراوان و غیره که همگی از دلایل قابل ذکر برای توان بالای فرسایشی در منطقه است، اما میزان فرسایش آبی در سطح بالایی قرار ندارد که از دلایل آن می توان به پستی و بلندی کمتر و به شیب پایین منطقه و مهم تر از آن، میزان بارندگی اندک و پراکنده منطقه اشاره کرد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت علت کاهش نگهداشت خاک به ویژه در اراضی مرتعی، به دلیل کاهش پوشش گیاهی بوده است. از دلایل کاهش و تخریب پوشش گیاهی نیز می توان به افزایش جمعیت و فزونی نیازهای غذایی انسان، در نتیجه تغییر کاربری های اراضی و افزایش شرایط بحرانی فرسایش خاک اشاره کرد. همچنین چرای مفرط و بیش از

حد دام ها، مدت بهره برداری زیاد می توانند از دلایل کاهش پوشش گیاهی در منطقه باشند. به طوری که وجود دام مازاد، چرای بی رویه و خارج از حد ظرفیت مراتع، بهره برداری بی رویه از اراضی، از مهم ترین دلایل کاهش پوشش در اراضی هستند. به طور کلی با توجه به مولفه های مورد بررسی در این مطالعه، می توان نتیجه گرفت تغییر کاربری و پوشش اراضی مؤلفه ای با بیش ترین اثرگذاری بر میزان فرسایش بوده و مقادیر نگهداشت خاک را تحت تاثیر قرار داده است. اما از آنجا که شهرستان سرخس از نظر شرایط طبیعی به دلیل همجواری با صحرای قره قوم، استعداد توسعه بیابان را داراست همچنین اقلیم خشک و بارندگی اندکی را در بر می گیرد، بنابراین توصیه می شود علاوه بر فرسایش آبی به ارزیابی فرسایش بادی منطقه نیز پرداخته شود. پیشنهاد می شود اجرای پروژه های احیای بیابان در ارتباط با کنترل فرسایش و حفظ نقش مؤثر مرتع که منجر به کاهش فرسایش به ویژه فرسایش بادی، افزایش پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک و تغذیه آب های زیرزمینی است، در اولویت برنامه های اجرایی مسئولین و مدیران سرزمین قرار گرفته شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش کمک نموده اند، سپاسگزارند. همچنین از داوران برای پیشنهادات مفیدشان تشکر می نمایند. بودجه این پروژه توسط دانشگاه فردوسی مشهد (شماره طرح ۵۷۰۹۲) تأمین شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارد.

دسترسی به داده ها

تمامی اطلاعات و نتایج مورد نیاز در متن ارائه شده است. در صورت درخواست داده ها، از طریق ارتباط با نویسنده مسئول، ارسال خواهد شد.

مشارکت نویسندگان

محدثه نمازی و مرتضی اکبری: نگارش، تهیه پیش نویس مقاله؛ محدثه نمازی و زهرا اسدالهی: روش شناسی، نگارش و نرم افزار. مرتضی اکبری، هادی معماریان و زهرا اسدالهی: مفهوم سازی،

ذوالفقاری، مریم، سلمان ماهینی، عبدالرسول، و کامیاب، حمیدرضا (۱۴۰۳). ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در استان گلستان. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷(۲).
doi: 10.22059/jne.2024.372662.2650. ۲۲۵-۲۰۳

رحیمیانی ایرانشاهی، حمید، مرادی، حمیدرضا و جلیلی، خلیل (۱۴۰۱). روند تغییرات بارش و دما در مقیاس‌های زمانی مختلف در حوزه آبخیز کرخه. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۳)، ۱-۱۲. doi: 10.22098/mmws.2022.9520.1048

زرنندیان، اردوان، محمدیاری، فاطمه، موسی زاده، رویا، رضائی مهریان، مجید، و بادم فیروز، جلیل (۱۴۰۲). ارزیابی نقش کاربری اراضی در عرضه خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک (مطالعه موردی: استان سمنان). *محیط زیست و توسعه فرابخشی*، ۸(۸۱)، ۱۱۹-۱۰۷. doi: 10.22034/envj.2024.432019.1331

زرین آبادی، احسان و واعظی، علیرضا (۱۳۹۵). رواناب و از دست دادن خاک تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی و جهت شخم در مراتع پوشش گیاهی ضعیف. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۷(۱)، ۸۷-۹۸. doi: 10.22059/ijswr.2016.57981

سالاروند، جواد، قاسمی آقباش، فرهاد، و اسدالهی، زهرا (۱۳۹۸). بررسی نقش پوشش جنگلی در نگهداشت خاک به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی (مطالعه موردی: استان لرستان). *فضای جغرافیایی*، ۱۹(۶۷)، ۶۱-۷۸.

سربازی، محبوبه، اونق، مجید، محمدیان بهبهانی، علی، و اکبری، مرتضی (۱۳۹۹). ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی در گسترش شدت بیابان‌زایی مناطق خشک شمال شرق ایران (سرخس). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۲)، ۱-۱۸. doi: 10.22067/geo.v9i2.85890

شاه کرمی، عزیزاله، عالی نژادیان بیدآبادی، افسانه، ملکی، عباس، و فیضیان، محمد (۱۴۰۴). ارزیابی اثرات عملیات حفاظت خاک و آب بر ویژگی‌های خاک، فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز ریمله استان لرستان. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۵(۱)، ۱۵-۲۸. doi: 10.22098/mmws.2024.14122.1392

کامیاب، حمیدرضا، و شعبانی، نسیم (۱۳۹۸). تأثیر تغییر کاربری/پوشش زمین بر خدمات اکوسیستم در استان گلستان. *علوم محیطی*، ۱۷(۲)، ۴۳-۵۶. doi: 10.29252/envs.17.2.43

محمدی، شاهین، کریم‌زاده، حمیدرضا و علیزاده، میثم (۱۳۹۷). برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE *اکوهیدرولوژی*، ۵(۲)، ۵۵۱-۵۶۹. doi: 10.22059/ije.2018.239777.706

محمدیاری، فاطمه، و توکلی، محسن (۱۴۰۲). ارزیابی توزیع فضایی خدمات اکوسیستم فرهنگی حوزه آبخیز شهر ایلام: مدل‌سازی ارزش زیبایی‌شناختی. *محیط زیست و توسعه فرابخشی*، ۸(۸۲)، ۳-۶۳. doi: 10.22034/envj.2024.429187.1324. ۷۵

نگارش، ویرایش نسخه‌های خطی، روش‌شناسی و بررسی نهایی مقاله. ناصر پرویان: تهیه داده، نرم‌افزار

منابع

اسدالهی، زهرا، و نوروزی نظر، محمدصادق (۱۳۹۹). کمی‌سازی خدمات اکوسیستمی کنترل فرسایش خاک تحت تأثیر تغییرات اقلیمی در حوزه آبخیز گرگانرود. *پژوهش‌های محیطی*، ۱۱(۲۱)، ۳-۱۶. doi: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.6.6

اسدالهی، زهرا، و کشتکار، مصطفی (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی ابزارهای مدل‌سازی خدمات هیدرولوژیکی اکوسیستم. *آب و توسعه پایدار*، ۶(۲)، ۴۴-۴۷. doi: 10.22067/jwsd.v6i2.81066

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)، ۶۱-۷۵. doi: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.6.6

بالویی، فاطمه، محمدی، شاهین، و سلطانی کوپائی، سعید (۱۴۰۱). شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوضه دوبرج استان ایلام. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۰(۳۱)، ۵۹-۷۰. doi: 10.22052/deej.2021.10.31.39

تیموری، فاطمه، بذرافشان، ام البنین و رفیعی ساردویی، الهام (۱۳۹۸). ارزیابی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کندران). *اکوهیدرولوژی*، ۲(۲)، ۳۵۳-۳۶۸. doi: 10.22059/ije.2019.274886.1038

جعفری فوتمی، عیسی، نیک نهاد قرماخر، حمید، اکبرلو، موسی، و بهره مند، عبدالرضا (۱۳۹۶). مطالعه اثرات عملیات بیومکانیکی حفاظت خاک و آب بر برخی خصوصیات خاک (مطالعه موردی: ارتفاعات بالادست حوزه آبخیز گرگان رود). *مدیریت حوزه آبخیز*، ۸(۱۵)، ۲۳۴-۲۲۵. doi: 10.29252/jwmmr.8.15.225

جوکار، حمید (۱۳۹۶). ارزیابی خدمات اکوسیستم حفظ رسوب با استفاده از نرم‌افزار InVEST (مطالعه موردی: حوضه دلیچای در حوضه شمالی حبله رود). پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت مرتع، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

جهانی، محمد، طالقانی، سجاده، اکبری، مرتضی (۱۴۰۳). ارزیابی کمی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از مدل SLEMSA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه استان لرستان، ایران). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۴(۲)، ۱۶۱-۱۷۹. doi: 10.61186/jeer.14.2.10

درمانی، معصومه، راشکی، علیرضا، آرا، هاید، و مافی، آبرادات (۱۴۰۱). ژئوشیمی واحدهای زمین شناسی شهرستان سرخس با نگرش بر پتانسیل ایجاد گرد و غبار. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱(۳۲)، ۱۹-۳۶. doi: 10.22111/jneh.2022.36242.1718

های جهانی GloSEM / اکوهیدرولوژی، ۸(۲)، ۵۱۳-۵۳۴. doi: 10.22059/ije.2021.320754.1482
 نمازی، محدثه، اکبری، مرتضی، معماریان، هادی، اسدالهی، زهرا (۱۴۰۳).
 ارزیابی روند خشکسالی و تأثیر آن بر تغییرات پوشش گیاهی
 شهرستان سرخس. *سامانه های سطوح آبگیر باران*، ۱۲ (۲)، ۵۹-
 dor: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0.۷۸

References

- Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., & Zakeri, D. (2021). Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM-DPSIR approach in northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2503-2523. doi.org/10.1007/s10668-020-00684-3
- Akbari, M., Neamatollahi, E., & Neamatollahi, P. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological indicators*, 98, 587-598. doi: 10.1016/j.ecoli.2018.11.035
- Akbari, M., Neamatollahi, E., Memarian, H., & Alizadeh Noughani, M. (2023). Assessing impacts of floods disaster on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Natural Hazards*, 117(2), 1689-1710. doi:10.1007/s11069-023-05925-y
- Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M.A., & Memarian, H. (2022). Spatial Distribution of Soil Erosion Risk and Its Economic Impacts Using an Integrated CORINE-GIS Approach. *Environmental Earth Sciences*, 81, 287. doi:10.1007/s12665-022-10405-w
- Akbari, M., Shalamzari, M. J., Memarian, H., & Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological indicators*, 111, 106011. doi:10.1016/j.ecolind.2019.106011
- Asadolahi, Z., & Norouzi Nazar, M.S. (2020). Quantifying the Soil Erosion Control Ecosystem Service Under Climate Change in Gorgan roud Watershed. *Environmental Researches*, 11(21), 3-16. dor: 20.1001.1.22517812.1394.5.3.6.6 [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 Journal*, 5(3), 61-75.
- مخدوم، مجید (۱۳۸۱). شالوده آمایش سرزمین. تهران، انتشارات دانشگاه تهران
- مسعودی، مسعود، و شیرگیر، سمیه (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل بیابانزایی IMDPA در تعیین فرسایش های آبی و بادی. مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲ (۲۳)، ۲۵-۱۲. doi:10.52547/jwmr.12.23.12.۱۲-۲۵
- معماریان، هادی، و اکبری، مرتضی (۱۴۰۰). پیش بینی اثر ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در ایران با استفاده از داده
 dor:20.1001.1.22517812.1394.5.3.6.6 [In Persian]
- Asadolahi, Z., & Keshtkar, M. (2019). A comparative study of modeling tools for hydrological ecosystem services. *Water and Sustainable Development*, 6(2), 47-54. doi: 10.22067/jwsd.v6i2.81066 [In Persian]
- Azimi, M., Barzali, M., Abdolhosseini, M., & Lotfi, A. (2021). Examining the impact of rangeland condition on water conservation by using an integrated modelling approach. *Land Degradation & Development*, 32(13), 3711-3719. doi:10.1002/ldr.3830
- Balouei, F., Mohammadi, S., & Soltani kopaei, S. (2022). Effect of Vegetation and Conservation Factor on Soil Erosion Using RUSLE Model in Doiraj Basin of Ilam Province. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(31), 59-70. doi: 10.22052/deej.2021.10.31.39 [In Persian]
- Bautista, S., Mayor, A. G., Bourakhouadar, J., & Bellot, J. (2007). Plant spatial pattern predicts hillslope runoff and erosion in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecosystems*, 10, 987-998. doi:10.1007/s10021-007-9074-3
- Belay, T., & Mengistu, D. A. (2021). Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. *Ecological Processes*, 10, 1-23. doi: 10.1186/s13717-021-00339-9
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 2013.
- Darmay, M., Rashki, A., Ara, H., & Mafi, A. (2022). Sediments geochemistry of geological units of Sarakhs region: implications to the dust emission. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(32), 19-36. doi: 10.22111/jneh.2022.36242.1718 [In Persian]
- Emamian, A., Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Gholami, A., Opp, C., & Middleton, N. (2021). Assessing vegetation restoration potential under different land uses and climatic classes in northeast Iran.

- Ecological Indicators*, 122, 107325. doi:10.1016/j.ecolind.2020.107325
- FAO. (2015). "Status of the World's Soil Resources Report," 2015. www.fao.org/soils-portal.
- Jafari Footemi, I., Niknahad Gharamakher, H., Akbalou, M., & Bahremanh, A. (2017). Investigation on the Effects of Biomechanical Water and Soil Conservation Practices on some Soil Properties (Case study: Upstream Mountains of Gorgan-roud catchment). *Journal Water Management Resources*, 8(15), 225- 234. doi:10.29252/jwmr.8.15.225. [In Persian]
- Jahani, M., Taleghani, S., & Akbari, M. (2024). Quantitative evaluation of soil erodibility potential using SLEMSA model (Case study: Karkheh watershed, Lorestan province, Iran). *Environmental Erosion Research*, 14 (2) ,161-179. doi: 10.61186/jeer.14.2.10 [In Persian]
- Jokar, H. (2017). Evaluation of sediment conservation ecosystem services using InVEST software (Case study: Delichay basin in the northern Hableh Rud basin). Master's thesis in Rangeland Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 87. [In Persian]
- Joorabian Shooshtari, S., Ardakani, T., & Beik Khormizi, H. (2025). Modeling future sediment retention service in the Bagh-e-Shadi Forest protected area using InVEST and the ACCESS-ESM1-5 climate model. *Scientific Reports*, 15(1), 3435. doi:10.1038/s41598-025-88169-z
- Kamyab, H., & Shabani, N. (2019). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in Golestan province. *Environmental Sciences*, 17(2), 43-56. doi: 10.29252/envs.17.2.43 [In Persian]
- Lal, R., Safriel, U., & Boer, B. (2012, May). Zero net land degradation: A new sustainable development goal for Rio+ 20. In *United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)*.
- Li, N., Zhang, Y., Wang, T., Li, J., Yang, J., & Luo, M. (2022). Have anthropogenic factors mitigated or intensified soil erosion over the past three decades in South China? *Journal of Environmental Management*, 302, 114093. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114093
- Li, T., Cui, L., Xu, Z., Liu, H., Cui, X., & Fantke, P. (2023). Micro-and nanoplastics in soil: Linking sources to damage on soil ecosystem services in life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 904, 166925. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166925
- Lin, C. Y., Lin, W. T., & Chou, W. C. (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: The Taiwan experience. *Soil and Tillage Research*, 68(2), 143-152. doi:10.1016/S0167-1987 (02)00114-9
- Makhdoom, M. (2002). The Foundation of Land Planning. Tehran, Tehran University Press.
- Marques, S. M., Campos, F. S., David, J., & Cabral, P. (2021). Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: a spatio-temporal approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 262. doi:10.3390/ijgi10040262
- Mashizi, A. K., Heshmati, G. A., Mahini, A. R. S., & Escobedo, F. J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98, 794-803. doi.: 10.1016/j.ecolind.2018.11.065
- Masoudi, M., & Shirghir, S. (2021). Efficiency Assessment of Desertification Model of IMDPA for Evaluating of Water and Wind Erosions. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), 12-25. doi:10.52547/jwmr.12.23.12 [In Persian]
- McGuire, A. D., Sitch, S., Klein, J. S., Dargaville, R., Esser, G., Foley, J., ... & Wittenberg, U. (2001). Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global biogeochemical cycles*, 15(1), 183-206. doi:10.1029/2000GB001298
- McMahon, J. M., Hasan, S., Brooks, A., Curwen, G., Dyke, J., Saint Ange, C., & Smart, J. C. (2022). Challenges in modelling the sediment retention ecosystem service to inform an ecosystem account—Examples from the Mitchell catchment in northern Australia. *Journal of Environmental Management*, 314, 115102. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115102
- Memarian, H., & Akbari, M. (2021). Prediction the combined effect of climate and land use changes on soil erosion in Iran using GloSEM data. *Journal of Ecohydrology*, 8(2), 513-534. doi: 10.22059/ije.2021.320754.1482. [In Persian]
- Memarian, H., Hossein Nia, A., Tavasoli, A., Komeh, Z., Tajbakhsh, S. M., Abbasi, A. A., & Parsayi, L. (2016). Health and environmental considerations of rooftop catchment systems (Case study: Aq Ghala, Golestan Province, Iran). *Water Harvesting Research*, 1(1), 1-11. doi:10.22077/JWHR.2017.372
- Mohammadi, S., Karimzadeh, H., & Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Journal of Ecohydrology*, 5(2), 551-569. doi: 10.22059/ije.2018.239777.706 [In Persian]

- Mohammadiyari, F., & Tavakoli, M. (2024). Cultural Ecosystem Services of Ilam Urban Watershed: Modeling Aesthetic Value. *Environment and Interdisciplinary Development*, 8(82), 63-75. doi: 10.22034/envj.2024.429187.1324 [In Persian]
- Nabati, J., Nezami, A., Neamatollahi, E., & Akbari, M. (2020). GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions. *Ecological indicators*, 117, 106646. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106646
- Namazi, M., Akbari, M., Memarian, H., & Asadolahi, Z. (2024). Drought trend evaluation and its impact on vegetation cover changes of Sarakhs county. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12 (2), 59-78. doi: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.5.0 [In Persian]
- Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S., & Yang, S. (2024). Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(2), 298-312. doi: 10.1016/j.iswcr.2023.07.001
- Rahimiani Iranshahi, H., Moradi, H. R. and Jalili, K. (2022). Trend of precipitation and temperature changes at different time scales in the Karkheh Watershed. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 1-12. doi: 10.22098/mmws.2022.9520.1048 [In Persian]
- Rahimiani Iranshahi, H., Moradi, H.R., & Jalili, Kh. (2022). Trend of precipitation and temperature changes at different time scales in the Karkheh Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 1-12. doi: 10.22098/mmws.2022.9520.1048 [In Persian]
- Rajbanshi, J., & Das, S. (2021). Changes in carbon stocks and its economic valuation under a changing land use pattern—A multi-temporal study in Konar catchment, India. *Land Degradation & Development*, 32(13), 3573-3587. doi: 10.1002/ldr.3959
- Renard, K.G., & Freimund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157(1), 287-306. doi:10.1016/0022-1694(94)90110-4
- Robinson, D. A., Panagos, P., Borrelli, P., Jones, A., Montanarella, L., Tye, A., & Obst, C. G. (2017). Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. *Scientific reports*, 7(1), 6706. doi: 10.1038/s41598-017-06819-3
- Salarvand, J., Ghasemi-Aqbash, F., & Asadolahi, Z. (2019). Investigating the role of forest cover in soil conservation as an ecosystem service. (Case study: Lorestan province). *Geographical Space*, 19 (67), 61-78. [In Persian]
- Sarbazi, M., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., & Akbari, M. (2020). Evaluation and Modeling Temporal-Spatial Changes of Land Use in Expansion of Desertification Intensity in the Arid Regions of Northeast Iran (Sarakhs). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9 (2), 1-18. doi: 10.22067/geo.v9i2.85890 [In Persian]
- Shahkarami, A., Alinejadian-Bidabadi, A., Maleki, A., & Feizian, M. (2025). Evaluation of the effects of soil and water protection operations on soil characteristics, erosion and sedimentation in the Rimele watershed of Lorestan province. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(1), 15-28. doi: 10.22098/mmws.2024.14122.1392 [In Persian]
- Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A. D., Tallis, H. T., Taylor, R. (2014). InVEST 3.0.0 Users Guide. The Natural Capital Project.
- Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H., & Taylor, R. (2014). InVEST User's Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (Stanford, CA: The Natural Capital Project), 321.
- Sharply, A., & Williams, J. (1990). EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator 1. Model Documentation. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin Number 1768. USDA-ARS, Washington D.C
- Srichaichana, J., Trisurat, Y., & Ongsomwang, S. (2019). Land use and land cover scenarios for optimum water yield and sediment retention ecosystem services in Klong U-Tapao Watershed, Songkhla, Thailand. *Sustainability*, 11(10), 2895. doi: 10.3390/su11102895
- Tamire, C., Elias, E., & Argaw, M. (2022). Spatiotemporal dynamics of soil loss and sediment export in Upper Bilate River Catchment (UBRC), Central Rift Valley of Ethiopia. *Heliyon*, 8(11). doi: 10.1016/j.heliyon. 2022.e11220
- Teymouri, F., Bazrafshan, A., & Rafiei Sardavii, A. (2019). Assessment of Climate Change and Land Use Change on Soil Erosion (Case study: Kondaran watershed). *Journal of Ecohydrology*, 6(2), 353-368. doi: 10.22059/ije.2019.274886.1038 [In Persian]
- UNCCD. (2019). Land degradation, poverty and inequality. <https://www.unccd.int/publications/landdegradati-on-poverty-and-inequality>.
- Wenner, C. G., & Kenya Soil Conservation Extension Unit. (1981). *Soil conservation in Kenya, especially in small-scale farming in high potential*

- areas using labour intensive methods* (7th rev. ed). Soil Conservation Extension Unit, Ministry of Agriculture.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. *The USDA Agricultural Handbook No. 537*.
- Zarandian, A., Mohammadiari, F., Musazadeh, R., Ramezani Mehran, M., & Badam Firuz, J. (2023). Evaluating the role of land use in provision of soil retention ecosystem service (Case study: Semnan Province). *Environment and Interdisciplinary Development*, 8(81), 107-119.
- doi: 10.22034/envj.2024.432019.1331 [In Persian]
- Zarrinabadi, E., & Vaezi, A.R. (2016). Runoff and soil loss as affected by land use change and plough direction in poor vegetation cover pastures. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1), 87-98. doi: 10.22059/ijswr.2016.57981 [In Persian]
- Zolfaghari, M., Salmanmahiny, A., & Kamyab, H. (2024). Evaluation of the effects of land use changes on sediment retention ecosystem service in Golestan Province. *Journal of Natural Environment*, 77(2), 203-225. doi:10.22059/jne.2024.372662.2650 [In Persian]