



Investigating the Trend of Changes in the Severity of Soil Erosion Risk around Yasouj City Using the SL 190-2007 Standard

Mohsen Armin^{1*} | Vajihe Ghorbannia Kheybari¹ | Roya Ghahremani¹

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, University of Yasouj, Yasouj, Iran.

Correspond E-mail: m.armin@yu.ac.ir

Article Info

Abstract

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 19 Mar. 2026

Revised: 21 Jun. 2026

Accepted: 28 Jun. 2026

Published online: 01 Oct. 2026

Keywords:

Soil erosion risk,
Remote sensing,
Vegetation,
Land use.

Soil erosion is one of the most important environmental challenges in mountainous and developing regions, where it is intensified by both natural and anthropogenic factors. This study aimed to investigate changes in soil erosion risk severity within the Yasuj urban area from 1992 to 2025 using the SL 190-2007 standard and remote sensing data within a Geographic Information System (GIS) environment. Slope angle, land use, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Vegetation Fractional Cover (VFC) were used to generate soil erosion risk maps. The results showed that the proportion of the study area classified as having severe, very severe, and extremely severe erosion risk increased from 36% to 62% over the study period. This increase was primarily associated with the decline in natural vegetation cover and the expansion of agricultural land and residential areas, particularly on sloping terrain. These findings highlight the need for improved land-use management, vegetation conservation and restoration, and the implementation of watershed management measures to reduce soil erosion risk and promote sustainable development in the Yasuj urban area.

Cite this article: Armin, A., Ghorbannia Kheybari, V., Ghahremani, R. (2026). Investigating the trend of changes in the severity of soil erosion risk around Yasouj City using the SL 190-2007 standard. *Journal of Range & Watershed Management*, 79 (3), 383-398. DOI: <http://doi.org/0000000000000000>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Soil erosion is one of the most important processes of land degradation and one of the fundamental challenges of sustainable management of natural resources, especially in mountainous areas. This phenomenon is intensified under the simultaneous influence of natural factors such as land slope, climatic conditions and vegetation cover, as well as human factors such as land use change, agricultural development and urban settlement expansion. In recent decades, increasing human pressures on mountainous lands have caused widespread transfer of lands from low-risk classes to higher risk classes, resulting in consequences such as reduced soil fertility, increased sedimentation and threats to ecosystem stability. Yasouj City around is considered one of the areas susceptible to soil erosion in southwestern Iran due to its mountainous topography, relatively significant rainfall and extensive land use changes. Despite the importance of this issue, comprehensive and long-term studies on the trend of changes in the severity of soil erosion risk in this region are limited. Accordingly, the aim of the present study is to investigate the trend of changes in the severity of soil erosion risk in the area of Yasouj City during the period 1992 to 2025 using the SL 190-2007 standard and remote sensing data in the geographic information system environment.

Methodology: In this study, in order to assess the risk of soil erosion, a combination of slope angle, vegetation cover and land use parameters was used. The slope angle was extracted from the digital elevation model. Land use maps were prepared and validated using Landsat TM satellite images for 1992 and ETM+ for 2025 and using the supervised classification method using the maximum likelihood method. In order to quantify the vegetation cover, the normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated and the vegetation fraction (VFC) was extracted using the dual pixel model (DPM). Finally, based on the SL 190-2007 standard, soil erosion risk maps were prepared in six classes: very low, low, moderate, severe, very severe, and extremely severe, and their spatial-temporal changes were analyzed.

Results and Discussion: The results showed that during the period 1992 to 2025, the soil erosion risk pattern in Yasouj City around has undergone significant changes. The area of severe, very severe, and extremely severe risk classes has increased from a total of 36% in 1992 to 62% in 2025, while the share of very low and low risk classes, which included more than half of the area of the region at the beginning of the period, has decreased significantly. The study of vegetation cover changes indicates a significant decrease in dense vegetation cover and an increase in the area of land with weak vegetation cover during the study period; such that this change in the pattern has significantly reduced the protective capacity of the soil against the impact of raindrops and surface runoff. Also, the results of land use changes indicate an increase in agricultural lands and residential areas and a decrease in the area of forests and pastures. These changes, especially in sloping lands, have disrupted the soil structure, increased the runoff coefficient, and intensified the risk of erosion. Although more than half of the region is located on slopes higher than 15 degrees, and this factor provides a natural background for erosion, the results show that the human factor, through the destruction of vegetation and land use change, has played a more decisive role than the slope factor in increasing the severity of the risk of soil erosion.

Conclusion: In general, the results of this study show that the increasing trend of soil erosion risk in the Yasouj City area is a serious alarm for the sustainability of soil resources and the environment of the region. The use of the SL 190-2007 standard, along with remote sensing data, has a high ability to identify critical erosion areas and analyze their spatial-temporal changes. Accordingly, controlling land use change on high slopes, restoring vegetation, and implementing biological and mechanical watershed management operations can play an effective role in reducing the risk of soil erosion and improving land sustainability within the Yasouj City.

Keywords: Soil erosion risk, remote sensing, vegetation, land use.

Article Type: Research Article

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



دوره ۷۹ (۳)

شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۵-۲۴۲۳

نشریه مرتع و آبخیزداری



بررسی روند تغییرات شدت خطر فرسایش خاک در پیرامون شهر یاسوج با استفاده از استاندارد SL 190-2007

محسن آرمین^{۱*} | وجیهه قربان نیا خیبری^۱ | رویا قهرمانی^۱

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

رایانامه: m.armin@yu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق کوهستانی و در حال توسعه به‌شمار می‌رود که تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی تشدید می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات شدت خطر فرسایش خاک در محدوده شهر یاسوج طی دوره زمانی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵ با استفاده از استاندارد SL 190-2007 و داده‌های سنجش از دور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در این مطالعه، پارامترهای زاویه شیب، کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و کسری پوشش گیاهی (VFC) به‌منظور تهیه نقشه‌های خطر فرسایش به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که در بازه زمانی مورد بررسی، درصد مساحت کلاس‌های خطر فرسایش شدید، خیلی شدید و فوق‌العاده شدید از ۳۶ درصد به ۶۲ درصد افزایش یافته است که این موضوع عمدتاً به دلیل کاهش پوشش گیاهی طبیعی و گسترش اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی به‌ویژه در اراضی شیب‌دار در منطقه است. یافته‌های این پژوهش بر ضرورت مدیریت کاربری اراضی، حفاظت و احیای پوشش گیاهی و اجرای اقدامات آبخیزداری به‌منظور کاهش خطر فرسایش خاک و دستیابی به توسعه پایدار در محدوده شهر یاسوج تأکید دارد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۹

کلیدواژه‌ها:

پوشش گیاهی،
خطر فرسایش خاک،
سنجش از دور،
شهر یاسوج،
کاربری اراضی.

استناد: آرمین؛ محسن، قربان نیا خیبری؛ وجیهه، قهرمانی؛ رویا (۱۴۰۵). بررسی روند تغییرات شدت خطر فرسایش خاک در پیرامون شهر یاسوج با استفاده از استاندارد SL 190-2007. نشریه

مرتع و آبخیزداری، ۷۹ (۳)، ۳۸۳-۳۹۸. DOI: <http://doi.org/000000000000>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

خاک به عنوان یکی از اساسی ترین منابع تجدیدپذیر طبیعی، نقش بنیادین در تأمین امنیت غذایی و پایداری زیست محیطی ایفا می کند. در حال حاضر، فرسایش خاک به عنوان تهدیدی جدی برای رفاه و حتی بقای انسان مطرح بوده و یکی از مهم ترین مخاطرات زیست محیطی جوامع بشری به شمار می رود. فرسایش خاک فرایندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به وسیله عوامل انتقال دهنده ای نظیر آب یا باد به مکان های دیگر منتقل می شوند (Parlak et al, 2007). بر اساس مطالعات انجام شده در سطح جهانی، حدود ۵۸ درصد از اراضی تخریب شده جهان ناشی از فرسایش و هدررفت خاک است که این امر کاهش حدود ۱۷ درصدی تولید محصولات کشاورزی و بروز پیامدهای گسترده زیست محیطی را به دنبال داشته است (Bruce et al., 1995). فرسایش خاک یکی از مهم ترین عوامل تخریب اراضی است که با ایجاد پیامدهای نامطلوب اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، موجب کاهش پایداری منابع طبیعی، به ویژه در حوزه های آبخیز می شود. این پدیده با کاهش حاصل خیزی خاک و افزایش رسوب گذاری، عملکرد طبیعی اکوسیستم ها و منابع آب را تحت تأثیر قرار می دهد (Keesstra et al, 2016). امروزه فرسایش خاک، اعم از فرسایش آبی و بادی، به عنوان یکی از مهم ترین فرایندهای تخریب اراضی در مناطق مختلف جهان شناخته می شود (احمدی، ۲۰۰۸). این پدیده با ایجاد پیامدهای گسترده زیست محیطی و خسارات اقتصادی قابل توجه، به ویژه در بخش کشاورزی و کاهش ظرفیت ذخیره مخازن سدها، نقش مهمی ایفا می کند. فرسایش خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم موجب افت کیفیت منابع آب و افزایش آلودگی آن ها می شود (Pimentel et al, 1995; Park et al, 2011). شدت و الگوی فرایند فرسایش خاک تابعی از مجموعه ای از عوامل طبیعی و انسانی است که بسته به شرایط هر منطقه، یک یا چند عامل می توانند نقش غالب و تعیین کننده داشته باشند (نوحه گر و کاظمی، ۲۰۱۳).

از جمله عوامل طبیعی مؤثر بر فرسایش خاک می توان به شرایط اقلیمی، توپوگرافی، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع و تراکم پوشش گیاهی اشاره کرد (Lafren & Roose, 1998). در مقابل، فعالیت های انسانی نظیر بهره برداری ناپایدار از اراضی، استفاده از روش های نامناسب کشاورزی، تغییر کاربری زمین به ویژه تخریب جنگل ها و تبدیل آن ها به اراضی کشاورزی و گسترش ساخت و سازهای عمرانی نیز نقش مهمی در تشدید فرسایش خاک ایفا می کنند (Montgomery, 2007). این عوامل منجر به تخریب پوشش خاک به عنوان یکی از ارزشمندترین سرمایه های زیست محیطی شده و از مهم ترین چالش ها و موانع در مسیر دستیابی به توسعه پایدار در بخش کشاورزی و منابع طبیعی به شمار می روند (عرفانیان و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین، برای جلوگیری از پیامدهای زیان بار فرسایش خاک، لازم است عوامل مؤثر بر این پدیده و همچنین میزان آن مورد بررسی قرار گیرند تا امکان انجام ارزیابی دقیق فراهم شود. اندازه گیری میزان هدررفت خاک با بهره گیری از روش های مختلف محاسباتی امکان پذیر بوده و انتخاب مناسب ترین شیوه برای سنجش آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Mirchouli et al., 2014).

در راستای برآورد میزان فرسایش خاک و تدوین راهبردهای مدیریتی و حفاظتی، مدل های متعددی توسعه یافته اند. از مهم ترین این مدل ها می توان به معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)^۱، مدل پیش بینی فرسایش خاک (WEPP)^۲، مدل فرسایش خاک و آب (SWAT)^۳ و مدل ارزیابی فرسایش خاک (EUROSEM)^۴ اشاره کرد (Arnold; Yu & Rosewell, 1996; Flanagan & Nearing, 1995; Morgan et al., 1998; et al., 1998). با وجود توسعه و کاربرد گسترده مدل های مختلف برآورد فرسایش خاک، نتایج حاصل از این مدل ها به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی، توپوگرافی و الگوی کاربری اراضی هر منطقه قرار دارد. از این رو، استفاده از مدل ها و استانداردهای ساده تر و عمومی تر که قابلیت انطباق بیشتری با شرایط محیطی داشته باشند، می تواند دقت ارزیابی خطر فرسایش را به طور

¹ Universal Soil Loss Equation

² Water Erosion Prediction Project

³ Soil and Water Assessment Tool

⁴ European Soil Erosion Model

قابل توجهی افزایش دهد. بنابراین در پژوهش حاضر، از استاندارد SL 190-2007 که توسط وزارت منابع آب چین^۱ ارائه شده است، در ارزیابی تغییرات خطر فرسایش خاک در محدوده شهر یاسوج استفاده شده است.

در رابطه با استفاده از مدل های فرسایش و رسوب تاکنون مطالعات زیادی در ایران و جهان صورت گرفته است. در پژوهشی با بهره گیری از مدل RUSLE و داده های سنجش از دور، میانگین فرسایش خاک سالانه ۲/۳۵ تن در هکتار برآورد شد و شیب زمین به عنوان مهم ترین عامل محدودکننده شدت هدررفت خاک معرفی شد (محمودی و نقش بند، ۲۰۲۰). پاورسون^۲ (۲۰۲۰) در پژوهشی، با به کارگیری نسخه اصلاح شده مدل^۱ RUSLE، روند فرسایش خاک و تولید رسوب ناشی از تغییرات اقلیمی و دگرگونی های کاربری اراضی را در رودخانه لانگانگ - مکونگ برآورد کردند. یافته ها نشان داد که دو عامل R و C همواره در حال تغییر بوده و به همین دلیل بر میزان هدررفت خاک و کارایی انتقال رسوب اثر می گذارند. بیشترین میزان فرسایش در دو سال مورد بررسی به ترتیب حدود ۲۱۰۰۰ و ۲۱۷۲۵ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد. علاوه بر این، عامل C به دلیل تأثیر مستقیم تغییرات کاربری اراضی ناشی از توسعه اجتماعی - اقتصادی، به عنوان یکی از مؤثرترین عوامل در فرسایش خاک در حوضه رودخانه لانگانگ - مکونگ شناخته شد.

خانچولا^۳ و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش خود درباره هدررفت خاک در آبخیز ملگی واقع در شمال شرق الجزایر نشان دادند که زیرحوضه های چابرو و بخش های پایین دست ملگو در مقایسه با زیرحوضه مسکینا بیشترین میزان خطر فرسایش خاک را دارند؛ به طوری که سهم آن ها به ترتیب ۲۰/۱۴ درصد و ۱۲/۹ درصد برآورد شده است. این وضعیت بیشتر به عوامل طبیعی و نیز فعالیت های انسانی بدون به کارگیری اقدامات مناسب حفاظتی در اراضی کشاورزی نسبت داده می شود. سیدی ال مختار^۴ (2021) در پژوهشی برای برآورد هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در جنوب مرکزی نیجر نشان داد که مناطق دارای پوشش طبیعی جنگلی در نواحی بالادست کمترین میزان فرسایش خاک را با ۱۴/۸۲ تن در سال دارند، در حالی که نواحی تحت تأثیر فعالیت های انسانی با ۹/۹۴۴ تن در سال بیشترین مقدار هدررفت خاک را تجربه می کنند. کریمی سنگ چینی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی تأثیر اقدامات آبخیزداری بر میزان فرسایش و تولید رسوب پرداختند. نتایج نشان داد که در وضعیت فعلی، در مقایسه با دوره پیش از اجرای طرح های حفاظتی آبخیزداری، مقدار فرسایش سالانه به طور متوسط ۶۷۹۳ مترمکعب و حجم رسوب سالانه حدود ۵۷۱۲ مترمکعب کاهش یافته است. برابریان و محسنی (۲۰۲۵) در مطالعه ای به مدل سازی توزیع زمانی و مکانی فرسایش خاک با بهره گیری از مدل RUSLE و داده های ماهواره ای در یک دوره ۲۰ ساله در دامنه های آلا داغ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۹۰ درصد از مساحت منطقه در کلاس فرسایش شدید با میزان تلفات خاک بین ۲۰ تا ۴۰ تن در هکتار در سال قرار دارد، در حالی که کلاس های فرسایشی با تلفات کمتر و در بازه ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در سال، تنها حدود ۸ درصد از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده اند. ژانگ^۵ (۲۰۲۵) در پژوهشی با استفاده از داده های بلندمدت^۶ RTK، فرسایش خندقی را به صورت حجمی و مکانی در منطقه خاک های سیاه شمال شرق چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که فرسایش خندقی در اغلب خندق های مورد مطالعه شدید بوده و عواملی مانند شیب دامنه، وسعت حوزه آبریز و نوع کاربری اراضی نقش تعیین کننده ای در نرخ فرسایش دارند. همچنین این مطالعه بر کارایی بالاتر اقدامات زیستی نسبت به سازه های مهندسی در کنترل و پایداری فرسایش خندقی تأکید دارد. یانگ^۷ (۲۰۲۵) نشان دادند که فرسایش بادی خاک در اکوتون رشته کوه های خینگان بزرگ و چمنزار هولون بوئیر مناطق خشک و نیمه خشک تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت های انسانی است و شدت آن با شیب و پوشش گیاهی

¹ -Ministry of Water Resources of China

² Powerson

³ Khanchula

⁴ Sidi El-Mukhtar

⁵ Zhang

⁶ Real Time Kinematic

⁷ Yang

متفاوت می‌باشد. آنها با استفاده از مدل^۱ RWEQ، داده‌های سنجش از دور و اقلیمی و PLS-SEM^۲، دینامیک‌های مکانی- زمانی فرسایش و مکانیسم‌های محرک آن را تحلیل کردند. نتایج بیانگر افزایش فرسایش تا سال ۲۰۰۰ و کاهش پس از آن است و احیاء پوشش گیاهی نقش کلیدی در مهار فرسایش دارد. این مطالعه بر اهمیت طراحی استراتژی‌های بازسازی اکولوژیکی متناسب با شرایط محلی و مدیریت پایدار منابع خاک و آب تأکید می‌کند. مناطق اطراف شهر یاسوج به دلیل شرایط خاص اقلیمی، توپوگرافی کوهستانی، بارش‌های نسبتاً شدید و تغییرات گسترده کاربری اراضی در دهه‌های اخیر، از مناطق مستعد فرسایش خاک به‌شمار می‌رود. گسترش سکونتگاه‌های انسانی، توسعه اراضی کشاورزی و کاهش پوشش گیاهی طبیعی، خطر فرسایش خاک را در این منطقه تشدید کرده و پیامدهای نامطلوبی نظیر کاهش حاصل‌خیزی خاک، افزایش رسوب‌گذاری و تخریب منابع طبیعی را به‌دنبال داشته است. با این حال، مطالعات جامع و مقایسه‌ای در زمینه بررسی روند تغییرات خطر فرسایش خاک در این منطقه، در بازه‌های زمانی بلندمدت، محدود است. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش بررسی روند تغییرات شدت خطر فرسایش خاک در محدوده شهر یاسوج طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵ با استفاده از استاندارد SL 190-2007 و تصاویر ماهواره‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه محدوده شهر یاسوج از شمال به پارک جنگلی یاسوج و دامنه‌های کوه دنا تا ده برآفتاب، از جنوب به گردنه مله‌شوره تا دشتروم، از غرب به راه‌مالی و فیروزآباد و از شرق به گردنه ماپرویز و قلات محدود است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی ۵۱°۲۰′۴۰″ تا ۵۱°۵۱′۰۰″ طول شرقی و ۳۰°۲۲′۰۰″ تا ۳۰°۴۸′۳۰″ عرض شمالی واقع شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۳۲۶۳ و ۱۶۲۲ متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی در منطقه مورد مطالعه حدود ۸۲۳/۹ میلی‌متر محاسبه شده است. موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان کهگیلویه و بویراحمد در شکل ۱ نشان داده شده است.

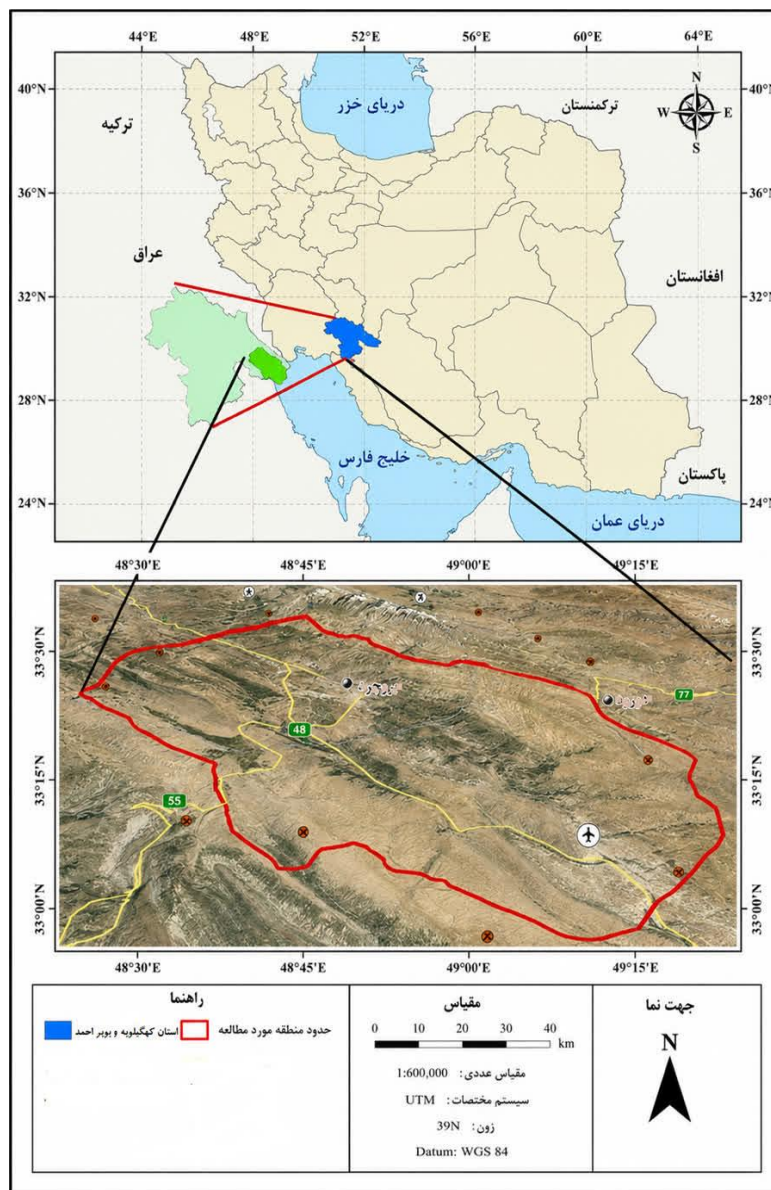
۲-۱. روش تحقیق

خطر فرسایش معمولاً تعیین‌کننده احتمال نسبی وقوع فرسایش در یک محل در مقایسه با محل‌های دیگر است. در مطالعات فرسایش خاک، خطر فرسایش در یک منطقه مشخص را می‌توان از طریق عوامل اثرگذار به‌صورت کیفی ارزیابی کرد؛ به‌عنوان مثال وقتی که پوشش گیاهی کم باشد و شیب زیاد باشد، خطر فرسایش زیاد خواهد بود. نرخ و مقدار فرسایش خاک تحت تأثیر عوامل توپوگرافی، پوشش گیاهی، شدت باران و رواناب، فرسایش‌پذیری خاک و پوشش زمین است (Wang et al., 2013). شدت، مدت و فراوانی باران عوامل مهمی در تلفات خاک هستند که تحت تأثیر اقلیم هستند درحالی‌که پوشش گیاهی و شیب زمین عوامل تعیین‌کننده مقاومت خاک به خطر فرسایش هستند؛ بنابراین خطر فرسایش خاک را می‌توان بر اساس عکس‌العمل بین زاویه شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی ارزیابی کرد (Zhang et al., 2010). نمودار جریانی روش تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. روش تحقیق مورد استفاده برای ارزیابی خطر فرسایش در این مطالعه نیازمند تهیه سه پارامتر زاویه شیب، کاربری اراضی و کسری پوشش گیاهی (VFC)^{۱۴} است. زاویه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره لندست TM در سال ۱۹۹۲ و لندست ETM⁺ در سال ۲۰۲۵ تهیه شد. در تهیه نقشه کاربری اراضی به منظور آماده‌سازی تصاویر جهت پردازش‌های رقومی، عملیات بهبود و بارزسازی تصاویر از جمله بهبود کنتراست، تهیه شاخص‌های گیاهی، شاخص بهترین ترکیب باندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ساخت تصاویر رنگی مجازی، بر روی تصاویر اعمال شد. سپس طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای با روش حداکثر احتمال انجام و صحت آن نیز بررسی شد.

¹ Revised Wind Erosion Equation

² Partial Least Squares Structural Equation Modeling

¹⁴ Vegetation Fraction Cover



شکل ۱. موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد و کشور ایران

کسری پوشش گیاهی مهم‌ترین نقش را در کنترل فرسایش بازی می‌کند (Vrieling et al., 2008; Mahmoudzadeh, 2007). گیاه و پوشش باقیمانده گیاهی، خاک را از ضربه قطره‌های باران، تگرگ و غیره محافظت می‌کند، همچنین منجر به کاهش حرکت رولناب سطحی و افزایش نفوذپذیری جریان سطحی خواهد شد. مقدار انرژی رادیان منتشرشده از هر پیکسل سطح زمین را می‌توان به دو بخش خاک لخت و پوشش گیاهی تقسیم کرد؛ بنابراین نسبت انرژی پوشش گیاهی به کل انرژی می‌تواند بیانگر پوشش گیاهی هر پیکسل باشد. اگرچه شاخص‌های پوشش گیاهی جدید زیادی با هدف کاهش حساسیت به شرایط اتمسفری و انعکاس بستر محیط ارائه شده است، در این تحقیق از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) به دلیل کاربرد مرسوم آن در استخراج متغیرهای پوشش استفاده شده است؛ بنابراین برای کمی کردن پوشش گیاهی از NDVI، Dimidiate Pixel Model (DPM) استفاده شده است.

NDVI از باند مادون قرمز (۰/۷ تا ۱/۱ میکرون) و باند قرمز (۰/۴ تا ۰/۷ میکرون) داده‌های ماهواره‌ای استخراج می‌شود.

$$A = \left(\frac{NIR-R}{NIR+R} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

NIR: باند مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای

R: باند قرمز تصاویر ماهواره‌ای

کسری پوشش گیاهی یا (VFC) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شده است.

$$VFC = \left(\frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

VFC: پوشش گیاهی کسری

NDVIsoil: مقدار NDVI پیکسل خالص خاک لخت

NDVIveg: مقدار NDVI پیکسل خالص پوشش گیاهی

روش‌های زیادی برای استخراج مقادیر NDVIveg و NDVIsoil از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. در این تحقیق از روش انتخاب مقادیر حداقل و حداکثر NDVI به ترتیب برای NDVIsoil و NDVIveg استفاده شده است. نقشه کسری پوشش گیاهی (VFC) در محیط نرم‌افزار ARC GIS و از روی نقشه NDVI تهیه شد. پس از تهیه نقشه‌های مذکور، بر اساس استاندارد تخصصی SL 190-2007 (WMRS, 2008)، خطر فرسایش خاک به ۶ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، شدید، خیلی شدید و بی‌نهایت شدید تفکیک شد (جدول ۱) و در نهایت با مقایسه نقشه خطر فرسایش تهیه شده در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۲۵ روند شدت فرسایش تجزیه و تحلیل شد.

۲-۲. معرفی استاندارد SL 190-2007

استاندارد SL 190-2007 توسط وزارت منابع آب کشور چین (MWRC) در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است، بر اساس این استاندارد، طبقه‌بندی و درجه‌بندی فرسایش خاک مطابق جدول ۱ صورت می‌گیرد.

جدول ۱. استاندارد طبقه‌بندی و رتبه‌بندی خطر فرسایش خاک

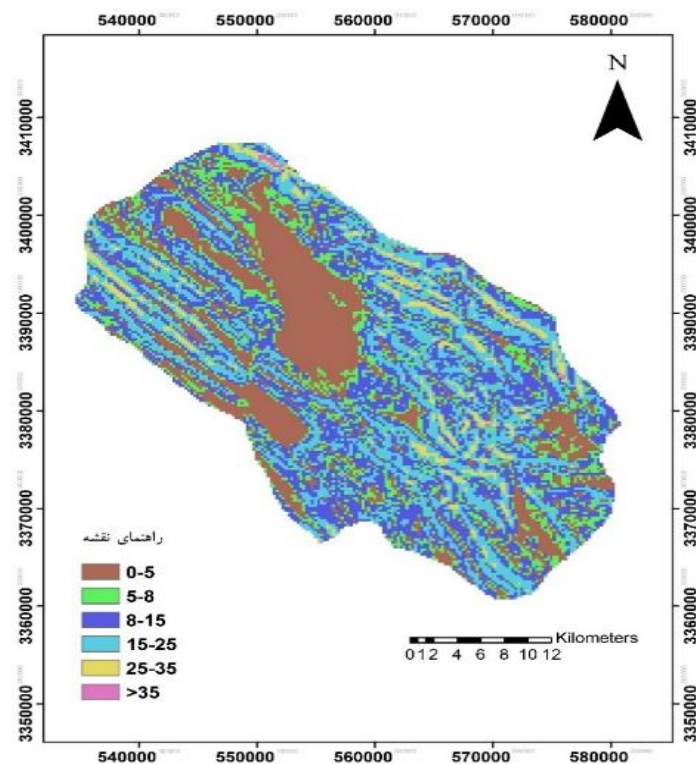
پوشش زمین	پوشش گیاهی	زاویه شیب				
		<۵	۵-۸	۸-۱۵	۱۵-۲۵	۲۵-۳۵
غیر زراعت	<۷۵٪	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم
	۶۰-۷۵٪	خیلی کم	کم	کم	کم	متوسط
	۴۵-۶۰٪	خیلی کم	کم	کم	متوسط	متوسط
	۳۰-۴۵٪	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط	خیلی شدید
	<۳۰٪	خیلی کم	متوسط	متوسط	شدید	خیلی شدید
زراعت		خیلی کم	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید

۳. یافته‌های پژوهش

در شکل ۲ کلاسه‌بندی شیب منطقه مورد مطالعه بر اساس استاندارد تخصصی SL 190 - 2007 نشان داده شده است.

در جدول ۲، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس شیب در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

در شکل ۳ (الف)، نقشه پوشش گیاهی (VC) منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲ و شکل (ب) نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.



شکل ۲. کلاسه‌بندی شیب منطقه مورد مطالعه بر اساس استاندارد تخصصی SL 190 – 2007

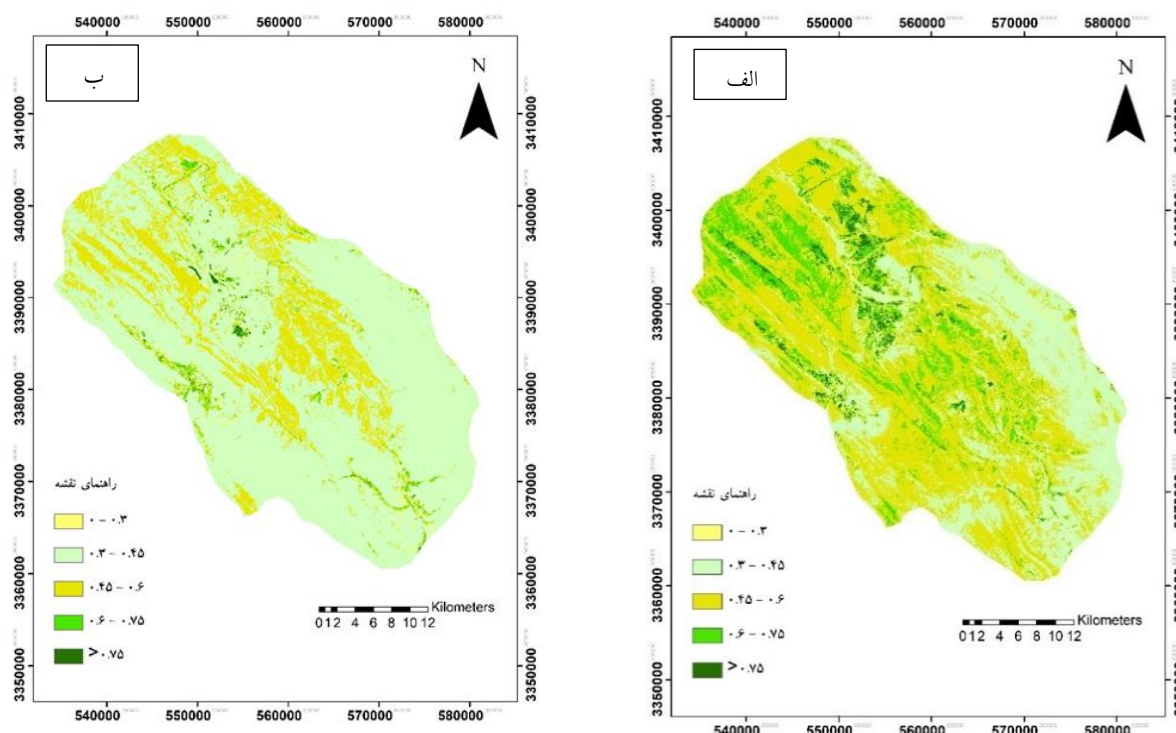
جدول ۲. مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس شیب در منطقه مورد مطالعه

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	کلاس شیب (درجه)
۲۵/۹	۳۲۱۰۰	۰-۵
۱۵/۶	۱۹۴۱۰/۵	۵-۸
۳۰/۸	۳۸۲۴۳/۷۵	۸-۱۵
۲۲/۷	۲۸۱۹۳/۷۵	۱۵-۲۵
۴/۸	۵۹۵۶/۲۵	۲۵-۳۵
۰/۲	۱۹۵/۷۵	۳۵<
۱۰۰	۱۲۴۱۰۰	مجموع

در جدول ۳، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲ نشان داده شده است.

در جدول ۴، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.

در شکل ۴ (الف) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲ و شکل ۴ (ب) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.



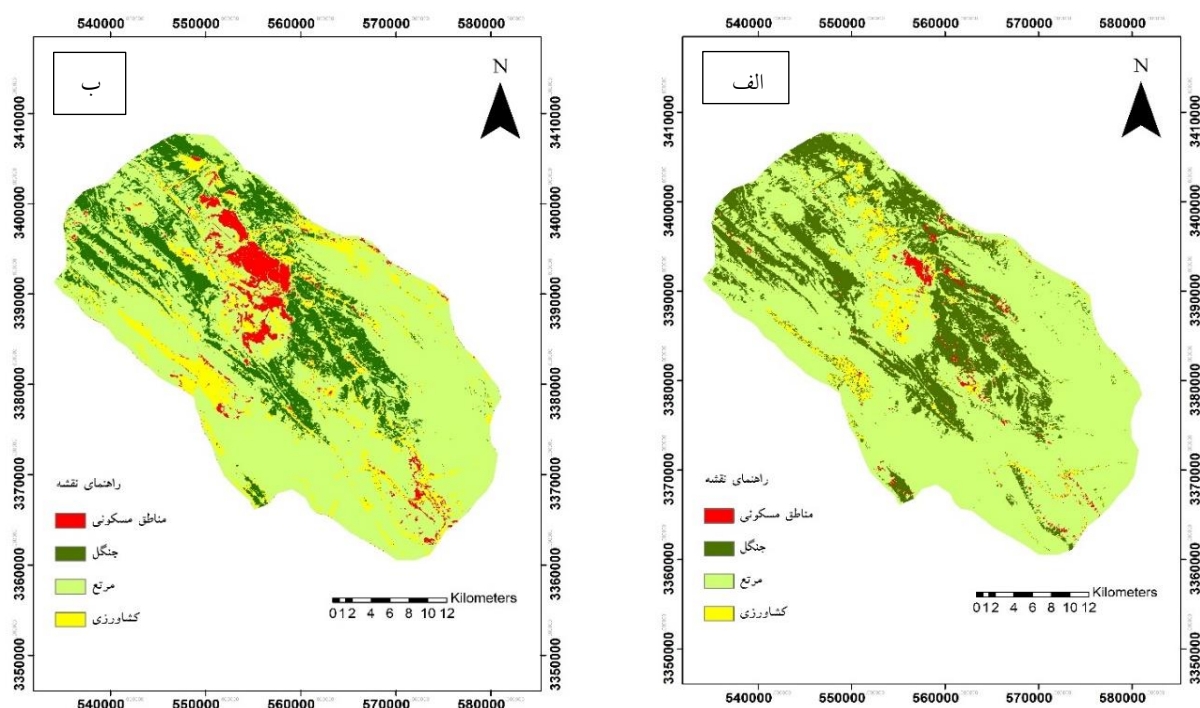
شکل ۳. الف) نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲، ب) نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

جدول ۳. مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲

کلاس پوشش گیاهی (درصد)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
>۳۰	۴۶۵/۰۳	۰/۴
۳۰-۴۵	۳۸۸۸۶	۳۱
۴۵-۶۰	۶۴۲۱۵/۲	۵۱/۸
۶۰-۷۵	۱۷۸۶۸/۲۴	۱۴/۴
<۷۵	۲۶۶۵/۵۳	۲
مجموع	۱۲۴۱۰۰	۱۰۰

جدول ۴. مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

کلاس پوشش گیاهی (درصد)	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
>۳۰	۶۳۵/۳۱	۰/۵۱
۳۰-۴۵	۹۴۴۹۴/۵۱	۷۶/۱۴
۴۵-۶۰	۲۶۵۵۴/۵	۲۱/۳۹
۶۰-۷۵	۱۹۶۵/۶۹	۱/۵۸
<۷۵	۴۵۲/۹۷	۰/۳۶
مجموع	۱۲۴۱۰۰	۱۰۰



شکل ۴. الف) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲، ب) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

در جدول ۵، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲ نشان داده شده است.

جدول ۵. مساحت و درصد اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۲

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	طبقه کاربری اراضی
۱/۴	۱۶۹۸/۹۳	مناطق مسکونی
۲۳	۲۸۴۰۲/۱۸	جنگل
۷۰/۱	۸۷۹۷۶	مرتع
۵/۸	۶۰۲۲/۸۹	کشاورزی
۱۰۰	۱۲۴۱۰۰	مجموع

در جدول ۶، مساحت و درصد اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.

جدول ۶. مساحت و درصد اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۵

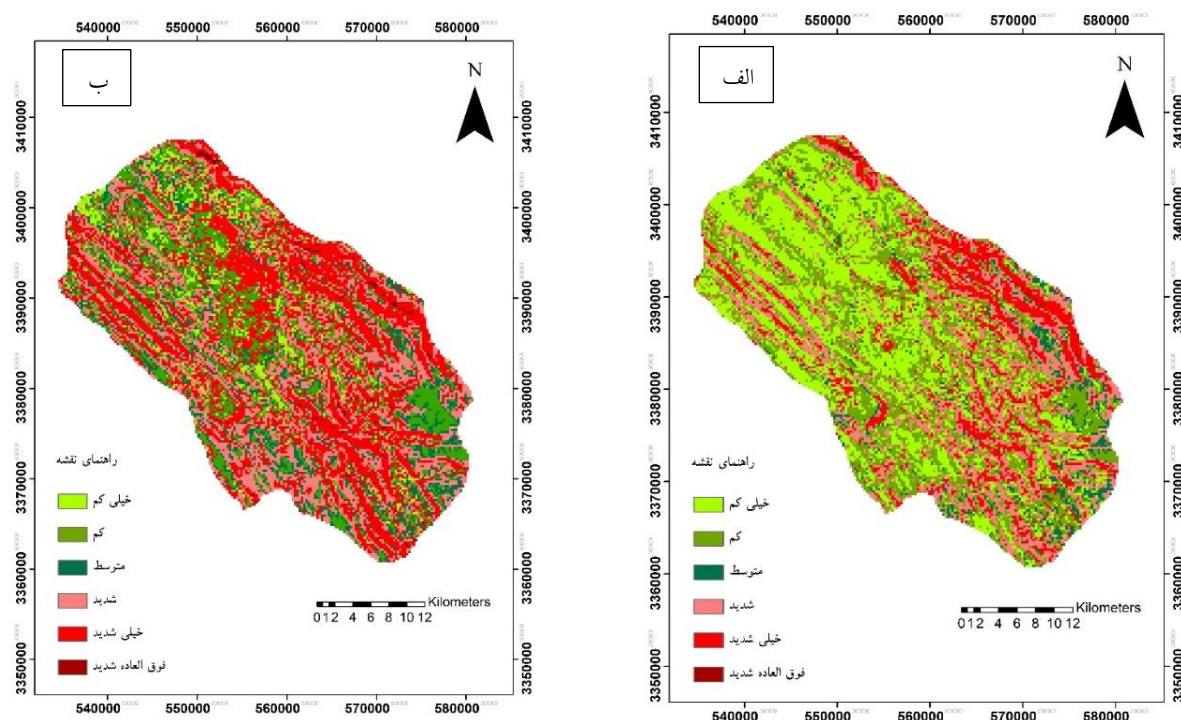
درصد مساحت	مساحت (هکتار)	طبقه کاربری اراضی
۴/۸	۵۹۰۴/۱۸	مناطق مسکونی
۱۸	۲۲۶۱۴/۲	جنگل
۶۴	۷۹۴۹۰/۳۴	مرتع
۱۳	۱۶۰۹۱/۲۸	کشاورزی
۱۰۰	۱۲۴۱۰۰	مجموع

در جدول ۷، تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵ نشان داده شده است.

جدول ۷. تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵

کلاس کاربری	سال ۱۹۹۲		سال ۲۰۲۵		درصد تغییرات	رشد تغییرات
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد		
مناطق مسکونی	۱۶۹۸/۹۳	۱/۴	۵۹۰۴/۱۸	۴/۸	۴۲۰۵/۲۵	۳/۴ افزایشی
جنگل	۲۸۴۰۲/۱۸	۲۳	۲۲۶۱۴/۲	۱۸	۵۷۸۷/۹۸	۵ کاهش
مرتفع	۸۷۹۷۶	۷۰/۱	۷۹۴۹۰/۳۴	۶۴	۸۴۸۵/۶۶	۶/۱ کاهش
کشاورزی	۶۰۲۲/۸۹	۵/۸	۱۶۰۹۱/۲۸	۱۳	۱۰۰۶۸/۳۹	۷/۲ افزایشی

در شکل ۵ (الف)، نقشه خطر فرسایش در سال ۱۹۹۲ و در شکل ۵ (ب) نقشه خطر فرسایش در سال ۲۰۲۵ در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۵. الف) نقشه خطر فرسایش در سال ۱۹۹۲ در منطقه مورد مطالعه، ب) نقشه خطر فرسایش در سال ۲۰۲۵ در منطقه مورد مطالعه

در جدول ۸، مساحت کلاس‌های خطر فرسایش در سال ۱۹۹۲ در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

در جدول ۹، مساحت کلاس‌های خطر فرسایش در سال ۲۰۲۵ در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

در جدول ۱۰، روند تغییرات کلاس خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵ نشان داده شده است.

جدول ۸. مساحت کلاس‌های خطر فرسایش در سال ۱۹۹۲ در منطقه مورد مطالعه

درجه خطر فرسایش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
خیلی کم	۳۷۰۲۵	۲۵/۸
کم	۳۵۸۱۸/۷۵	۲۸/۹
متوسط	۶۴۵۰	۵/۲
شدید	۲۷۵۶۸/۷۵	۲۲
خیلی شدید	۱۶۹۵۰	۱۳/۷
فوق العاده شدید	۲۸۷/۵	۰/۲
مجموع	۱۲۴۱۰۰	۱۰۰

جدول ۹. مساحت کلاس‌های خطر فرسایش در سال ۲۰۲۵ در منطقه مورد مطالعه

درجه خطر فرسایش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
خیلی کم	۷۷۸۷/۵	۶/۳
کم	۲۵۸۵۶/۲۵	۲۰/۸
متوسط	۱۳۴۵۶/۲۵	۱۰/۸
شدید	۳۴۸۳۷/۵	۲۸/۱
خیلی شدید	۴۱۳۰۶/۲۵	۳۳/۳
فوق العاده شدید	۸۵۶/۲۵	۰/۷
مجموع	۱۲۴۱۰۰	۱۰۰

جدول ۱۰. روند تغییرات کلاس خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵

کلاس خطر فرسایش	سال ۱۹۹۲		سال ۲۰۲۵		مساحت تغییرات	درصد تغییرات	روند تغییرات
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد			
خیلی کم	۳۷۰۲۵	۲۵/۸	۷۷۸۷/۵	۶/۳	۲۹۲۳۷/۵	۱۹/۵	کاهش
کم	۳۵۸۱۸/۷۵	۲۸/۹	۲۵۸۵۶/۲۵	۲۰/۸	۹۹۶۲/۵	۸/۱	کاهش
متوسط	۶۴۵۰	۵/۲	۱۳۴۵۶/۲۵	۱۰/۸	۷۰۰۶/۲۵	۵/۶	افزایش
شدید	۲۷۵۶۸/۷۵	۲۲	۳۴۸۳۷/۵	۲۸/۱	۷۲۶۸/۷۵	۶/۱	افزایش
خیلی شدید	۱۶۹۵۰	۱۳/۷	۴۱۳۰۶/۲۵	۳۳/۳	۲۴۳۵۶/۲۵	۱۹/۲	افزایش
فوق العاده شدید	۲۸۷/۵	۰/۲	۸۵۶/۲۵	۰/۷	۵۶۸/۷۵	۰/۵	افزایش

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل روند تغییرات در بازه زمانی ۳۳ ساله (۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵) نشان داد که وضعیت پایداری خاک در محدوده شهر یاسوج دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است و شدت فرسایش خاک از وضعیتی نسبتاً کنترل شده به سمت شرایطی با خطر بالاتر حرکت کرده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مساحت کلاس‌های خطر متوسط تا فوق‌العاده شدید در سال ۲۰۲۵ نسبت به سال ۱۹۹۲ افزایش شدیدی یافته است که نمایانگر تضعیف پایداری منابع خاک در منطقه است.

بر اساس نتایج جدول ۲، بیش از ۵۷ درصد از مساحت منطقه در شیب‌های بالاتر از ۱۵ درجه قرار دارد. این شرایط توپوگرافیک، منطقه را ذاتاً مستعد فرسایش خاک می‌سازد؛ با این حال، یافته‌ها نشان می‌دهد که شیب به‌تنهایی عامل اصلی تشدید فرسایش خاک نبوده است. مقایسه جدول‌های ۳ و ۴ حاکی از کاهش محسوس پوشش گیاهی در طی دوره مطالعه است، به‌طوری‌که سهم اراضی با پوشش گیاهی متراکم (بیش از ۷۵ درصد) از ۲ درصد در سال ۱۹۹۲ به ۰/۳ درصد در سال ۲۰۲۵ کاهش یافته است. در مقابل، اراضی با پوشش گیاهی ضعیف (۳۰ تا ۴۵ درصد) از ۳۱ درصد به ۷۶ درصد افزایش یافته‌اند. این تغییر الگوی پوشش گیاهی موجب کاهش توان حفاظتی خاک در برابر ضربه قطرات باران و رواناب سطحی شده و زمینه تشدید فرسایش را فراهم کرده است. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های بورلی^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۲) و سانتوس^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر نقش کلیدی پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک در مناطق کوهستانی و نیمه‌کوهستانی همخوانی دارد. بررسی تغییرات کاربری اراضی در جدول ۷ نشان‌دهنده افزایش ۷/۲ درصدی اراضی کشاورزی و ۳/۴ درصدی مناطق مسکونی طی دوره مورد مطالعه است. این توسعه عمدتاً به بهای کاهش سطح جنگل‌ها (۵۷۸۷ هکتار) و مراتع (۸۴۸۵ هکتار) صورت گرفته است. گسترش فیزیکی شهر یاسوج و توسعه فعالیت‌های کشاورزی در اراضی شیب‌دار موجب برهم خوردن ساختار خاک، کاهش زبری سطح زمین و افزایش ضریب رواناب شده است. این نتایج با مطالعات بیرو^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۵) و میسیگو^{۱۸} و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد که نشان می‌دهند تغییر کاربری غیراصولی اراضی، به‌ویژه در حاشیه شهرها، یکی از عوامل اصلی افزایش نرخ فرسایش خاک محسوب می‌شود. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که طی بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۵، مساحت کلاس‌های شدید، خیلی شدید و فوق‌العاده شدید فرسایش خاک در محدوده شهر یاسوج به‌طور محسوسی افزایش یافته است، در حالی که سهم کلاس‌های خیلی کم و کم که در سال ۱۹۹۲ بیش از نیمی از مساحت منطقه را شامل می‌شدند، کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. این تغییر کلاس‌های خطر فرسایش بیانگر کاهش پایداری اکولوژیک اراضی و افزایش آسیب‌پذیری خاک در منطقه است. بررسی تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی نشان می‌دهد که کاهش پوشش‌های طبیعی و گسترش کاربری‌های کشاورزی و مسکونی، به‌ویژه در اراضی شیب‌دار، نقش اصلی در تشدید فرسایش خاک داشته است. مطالعات اخیر نیز تأیید می‌کنند که تغییر کاربری اراضی و افت پوشش گیاهی می‌تواند منجر به انتقال اراضی از کلاس‌های خطر پایین به کلاس‌های خطر بالاتر به‌خصوص در مناطق کوهستانی و نیمه‌کوهستانی شود، (Prashanth et al., 2023; Luo et al., 2024). به‌کارگیری استاندارد SL 190-2007 در این پژوهش امکان شناسایی و تفکیک مناسب سطوح خطر فرسایش را فراهم کرده و نشان داده است که بخش قابل توجهی از اراضی پیرامون شهر یاسوج در وضعیت هشدار فرسایشی قرار دارند. در مجموع، نتایج حاکی از آن است که اگرچه شیب زمین به‌عنوان یک عامل طبیعی بستر فرسایش خاک را فراهم می‌کند، اما عامل انسانی از طریق تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی، نقش تعیین‌کننده‌تری در تشدید خطر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه داشته است. بر این اساس، مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی برای کاهش روند افزایش فرسایش خاک در منطقه پیشنهاد می‌شود:

در نواحی با شیب زیاد و فرسایش بسیار شدید، اقدامات مکانیکی و سازه‌ای مانند احداث بندهای کنترل رسوب، گابیون و چک‌دم اجرا شود؛ در نواحی با شیب متوسط و پوشش ضعیف، اقدامات بیومکانیکی و بیولوژیک مانند نهال‌کاری، بذرپاشی و بانک‌بندی مناسب‌تر است؛ و در مناطق با خطر کمتر، مدیریت حفاظتی، کنترل چرای دام و جلوگیری از تغییر کاربری باید در اولویت قرار گیرد. این رویکردهای مدیریتی می‌توانند به بهبود پایداری منابع خاک، کاهش دفع رسوبات به پایین‌دست و ارتقای کیفیت محیط‌زیست شهری و پیرامونی یاسوج کمک کنند.

¹⁵ Borrelli

¹⁶ Santos

¹⁷ Biru

¹⁸ Misigo

References

- Ahmadi, H. (2008). *Applied Geomorphology – Wind Erosion*. Volume 2. Tehran University Press. 706.
- Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., & Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development I, Wiley Online Library.
- Babarian, A., & Mohseni, N., (2025). Spatial-temporal modeling of soil erosion using the RUSLE model and its effects on soil quality. *Geography and Environmental Planning*, 36(2), 113-140. [10.22108/gep.2025.145683.1732](https://doi.org/10.22108/gep.2025.145683.1732) (In Persian).
- Biru, M. K., Gadisa, C. W., Dirbaba, N. B., & Nunes, M. R. (2025). Land use changes and their impacts on soil erosion in a fragile ecosystem of the Ethiopian highlands. *Land*, 14(7): 1473. [10.3390/land14071473](https://doi.org/10.3390/land14071473).
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36): 21994-22001. [10.1073/pnas.2001403117](https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117).
- Bruce, R.R., Langdale, G.W., East, L.J., & Miller, W.P. (1995). Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3): 654–660. [10.2136/sssaj1995.03615995005900030003x](https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900030003x).
- Erfanian, M., Ghahremani, P., & Saadat, H. (2013). Preparing a soil erosion risk map using fuzzy logic in the Golestan Qornaveh watershed, *Iranian Watershed Science and Engineering*, 7(23): 43-52. <http://jwmsei.ir/article-۲۸۰۰-۱-fa.html>. (In Persian).
- Flanagan, D., & Nearing, M. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and watershed model documentation, NSERL Report.
- Karimi Sangchini, E., Arami, A., & Yousefi Mobarhan, E. (1400). Application of Geographic Information System and Remote Sensing in Evaluating the Effects of Watershed Management Plans Implemented in Rimleh Watershed of Khorramabad County. *Application of Geographic Information System and Remote Sensing in Planning*, 12(4): 78-86. <https://www.magiran.com/p2479155>. (In Persian).
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., & Cerdà, A. (2016). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551, 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.182>.
- Khanchoul, K., Selmi, K., & Benmarce, K. (2020). Assessment of soil erosion by RUSLE model in the mellegue watershed, northeast of Algeria. *Environment & Ecosystem Science*, 4(1): 15–22. [10.26480/ees.01.2020.15.22](https://doi.org/10.26480/ees.01.2020.15.22).
- Laflen, J.M., & Roose, E.J. (1998). Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. *Methods for assessment of soil degradation*, 31-55.
- Luo, C., Pu, S., & Yu, G. (2024). Investigating the impact of climate and land use changes on soil erosion in the Anning River basin in China. *Frontiers in Earth Science*, 12:1416387. [10.3389/feart.2024.1416387](https://doi.org/10.3389/feart.2024.1416387).
- Mahmoudi, M., & Naqshbandi, P. (2018). Estimating the amount of soil erosion using the RUSLE model and remote sensing data in the watershed of Gavshan Dam. *Water and Soil Journal* (Agricultural Sciences and Industries), 33(6): 845–856. [10.22067/jsw.v33i6.76446](https://doi.org/10.22067/jsw.v33i6.76446). (In Persian).
- Mahmoudzadeh, A. (2007). Vegetation cover plays the most important role in soil erosion control. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3: 388–392. (In Persian).
- Ministry of Water Resources of China (MWRC). 2008. SL190–2007: Standards for Classification and Gradation of Soil Erosion (in Chinese); *Water Resources & Hydropower Press of China*: Beijing, China.
- Mirchouli, F., Sadeghi, S. H. R., & Khaleli Darvishan, A. V. (2014). Comparative analysis of the effect of different computational methods for estimating the topographic factor on the rate and spatial distribution of soil loss in the Shazand watershed. *Watershed Engineering and Management*, 14(2): 232-242. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.341236.1753>. (In Persian).
- Misigo, S., & Wilberforce, A. (2023). Spatial-Temporal Pre-Assessment Framework for Ungauged Catchment in Pursuit to Evaluate Land Use Impact on Water Resource.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33): 13268-13272.
- Morgan, R., Quinton, J., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., & Styczen, M. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth surface processes and landforms*, 23(6), pp. 527-544.

- Nohegar, A., SHirgahi, F., & Afshar, T. (2013). Feasibility of the impact of watershed management on improving the condition of groundwater resources (case study: Isin Basin, Hormozgan Province). *Geography*, 10(35): 211-228. (In Persian).
- Park, S., Oh, C., Jeon, S., Jung, H., & Choi, C. (2011). Soil erosion risk in Korean watersheds assessed using the revised universal soil loss equation. *Journal of Hydrology*, 399 (3): 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.004>.
- Parlak, M., Dincsoy, Y., & Seyrek, K. (2007). Determination of erosion risk according to CORINE methodology (a case study: Kurtbogazi Dam). *In International Congress River Basin Management*, 1:844-859.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., & Sinclair, K. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267 (5201): 1117-1123. <https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>.
- Prashanth, M., Kumar, A., Dhar, S., Verma, O., Rai, S. K., & Kouser, B. (2023). Land use/land cover change and its implication on soil erosion in an ecologically sensitive Himachal Himalayan watershed, Northern India. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1124677. [10.3389/ffgc.2023.1124677](https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1124677).
- Santos, I. R., Chen, X., Lecher, A. L., Sawyer, A. H., Moosdorf, N., Rodellas, V., & Li, L. (2021). Submarine groundwater discharge impacts on coastal nutrient biogeochemistry. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(15): 307-323. DOI:10.1038/s43017-021-00152-0.
- Sidi Almouctar, M.A., Wu, Y., Zhao, F., & Dossou, J.F. (2021). Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model and Geospatial Techniques (Remote Sensing and GIS) in South-Central Niger (Maradi Region). *Water*, 13(24): 3511–3523. [10.3390/w13243511](https://doi.org/10.3390/w13243511).
- Vrieling, A., de Jong, S.M., Sterk, G., & Rodrigues, S.C. (2008). Timing of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 10(3): 267–281. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.10.009>.
- Wang, L., Huang, J., Du, Y., Hu, Y., & Han, P. (2013). Dynamic Assessment of Soil Erosion Risk Using Landsat TM and HJ Satellite Data in Danjiangkou Reservoir Area, China. *Remote Sensing*, 5(8): 3826-3848. [10.3390/rs5083826](https://doi.org/10.3390/rs5083826).
- Yang, Q., Jia, Z., Wang, X., Zhou, P., Zhong, M., & Zhaorigetu, H. (2025). Spatiotemporal dynamics and heterogeneous driving mechanisms of soil wind erosion in the forest-grassland ecotone: Responses to climate change and vegetation dynamics across aridity types. *Journal of Environmental Management*, 396, 128202. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128202>.
- Yu, B., & Rosewell, C. (1996). Technical Notes: A Robust Estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 39(2): 559-561.
- Zhang, X., WU, B., Zeng, Y., Yan, N., & Yuan, C. (2010). Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena*, 83: 76–86. [10.1016/j.catena.2010.06.012](https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.06.012).
- Zhang, Z., Feng, Y., Xu, R., Xu, T., Luo, J., Chen, B., & Wu, Y. (2025). Quantifying gully erosion in the black soil region of Northeast China by long-term RTK GPS survey. *International Soil and Water Conservation Research*, 100579, [10.1016/j.iswcr.2025.09.011](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.09.011).