

Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam)

Noredin Rostami^{1*}, Maryam Rabbani²

1- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- M.Sc. student of Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

* Corresponding author: n.rostami@ilam.ac.ir

(Received: 13 June 2023

Revised: 22 July 2023

Accepted: 08 August 2023)

Extended abstract

Introduction: Soil serves as the foundation for all human productive activities, and the rise and fall of numerous great and ancient civilizations can be attributed to the fertility and preservation of soil. Some civilizations have experienced downfall due to inadequate productivity and failure to sustain natural resources. Erosion can be classified into two main categories: geological erosion, which can lead to soil formation and accelerated erosion, which causes soil degradation. The study of erosion is of great significance. For instance, Asia currently faces a concerning erosion condition, while Africa is experiencing a highly dangerous level of erosion. Erosion is a globally destructive phenomenon, particularly water erosion, which directly and indirectly impacts human life by depleting fertile agricultural soils. In order to determine appropriate protective measures, it is crucial to assess the level of erosion in a given area. Thus, evaluating the severity of erosion becomes an essential task. This study aims to examine the erosion and sedimentation status in the Golan watershed of Ilam province, as well as determining the current state of soil erosion and sediment yield.

Materials and methods: The study focuses on Golan watershed in Mehran city, Ilam Province, which spans an area of 78.87 km². To conduct this research, the following methodology was employed. First, a topographical map on a scale of 1:50000 and aerial photos of the study area were obtained. The topographic map was used to delineate the boundaries of the study area, while the aerial photos aid in understanding the natural features and assist in dividing the area into hydrological units. Next, Relevant information and statistics from previous studies related to the study area were collected. This data provide valuable insights and contribute to the analysis. Then, Base maps were prepared within a ArcGIS environment. These base maps include geological maps, soil types, vegetation cover, slope, direction, elevation classes, and other pertinent factors. To enhance accuracy, the base maps were verified in the field, and the necessary parameters for estimating erosion and sedimentation were scored through field surveys. After that, the MPSIAC model was utilized to estimate erosion and sedimentation. By inputting the collected data and factors from the base maps into the model, erosion and sedimentation rates were estimated. The model will help assess the vulnerability of the study area to erosion. Finally, Based on the estimations from the MPSIAC model, an erosion map was prepared. This map depicts the areas prone to erosion within the study area, providing valuable information for land management and erosion control strategies. By following this methodology, the research aims to evaluate erosion and sedimentation rates in the study area and generate an erosion map that can assist in effective land management and erosion prevention measures.

Results: In the Golan region, various types of erosion were observed, indicating the influence of different factors with varying intensities. These erosion factors can be categorized into two groups: natural factors and human-induced factors. The rocks in the study area were classified into five erosive groups. The geological factor score for the entire area was determined to be 6.15 based on the sensitivity map of rocks in the sub-areas. The soil factor score was calculated to be 3.71. Furthermore, the climate factor score was 17.8, the runoff factor score was 13.01, the topography factor score was 10.44, the land cover factor score was 9.62, the land use factor score was 15.67, the soil surface erosion factor score was 1.81, and the water erosion factor score was 15.41.

Discussion and Conclusion: In terms of erosion and sedimentation, the study area fell into the high erosion class, with a sediment yield of 541.26 m³/km²/year. Field surveys identified 12 types of erosion in the watershed. By understanding the erosion factors, measures can be taken to control erosion. Based on the obtained zoning map, it is recommended to implement control and protective operations in erosive areas, while avoiding any activities or projects that may lead to accelerated erosion, such as road construction. Natural erosion occurs in nature and does not necessarily result in soil loss. However, human interventions in natural resources exacerbate erosion intensity, leading to accelerated erosion. Therefore, it is crucial to assess the intensity and types of erosion in different areas and implement appropriate planning and management measures. One proposed program to control soil erosion in the region is the implementation of land uses based on their capabilities, along with soil protection programs for agricultural lands. Additionally, techniques aimed at increasing the stability of soil grains should be considered to reduce erosion. In conclusion, understanding the factors contributing to erosion and implementing appropriate management strategies are vital to erosion control and soil conservation in the study area.

Keywords: Erosion types, Sediment, Erosion intensity, Land use, MPSIAC model.

Citation: Rostami, N., & Rabbani, M. (2023). Zoning of soil erodibility and determination of affecting factors (Case study: Golan watershed, Ilam). *Integrated Watershed Management*, 3(3), 1-15. doi: 10.22034/iwm.2023.2004738.1084

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام)

نورالدین رستمی*^۱، مریم ربانی^۲

۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

*نویسنده مسئول: n.rostami@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

چکیده

فرسایش به‌عنوان یک عامل ناپایدار کننده محیط، فرآیندی است که طی آن ذرات خاک توسط عوامل فرساینده همچون آب، باد و یا یخچال از بستر اصلی خود جدا شده و به مکان دیگری حمل می‌شود. فرسایش خاک، خطرات و عواقبی مثل انتشار خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها، کاهش نفوذپذیری خاک، پر شدن مخازن سدها، کاهش کیفیت آب‌ها، افزایش بیماری‌های تنفسی و... به دنبال دارد؛ بنابراین تهدید بزرگی علیه محیط‌زیست و انسان‌ها محسوب می‌شود. بر همین اساس در این مطالعه به‌منظور بررسی وضعیت فرسایش خاک، پس از تهیه نقشه‌های موردنیاز مثل زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش گیاهی و غیره در محیط ArcGIS با استفاده از مدل MPSIAC، فرسایش و رسوب منطقه برآورد و سپس نقشه فرسایش منطقه مورد مطالعه، تهیه شد. نتایج نشان داد حوزه آبخیز گلان از نظر کلاس فرسایش و رسوب‌دهی که بر اساس مجموع نمرات ۹ فاکتور در مدل MPSIAC مشخص گردید، با تولید رسوب ویژه ۵۴۱/۲۶ مترمکعب در کیلومترمربع در سال در کلاس زیاد واقع شده است. از آنجاکه عوامل متعددی بر فرسایش تأثیرگذار است در این مطالعه عوامل زمین‌شناسی، خاک، آب‌وهوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، استفاده از زمین، فرسایش سطحی خاک و فرسایش آبراهه‌ای بررسی شد که نتایج نشان داد بیش‌ترین امتیاز مربوط به عامل آب‌وهوا با امتیاز ۱۷/۸ و کم‌ترین امتیاز مربوط به عامل فرسایش سطحی خاک با امتیاز ۱/۸۱ است. همچنین با توجه به بازدیدهای صحرایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه، ۱۲ تیپ فرسایشی شناسایی و تفکیک شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، یکی از راهکارهای کنترل فرسایش خاک منطقه، رعایت کاربری اراضی بر اساس قابلیت اراضی و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در سطح منطقه و خصوصاً اراضی کشاورزی است.

واژگان کلیدی: تیپ‌های فرسایشی؛ رسوب؛ شدت فرسایش؛ کاربری اراضی؛ مدل MPSIAC

استناد: رستمی، ن؛ و ربانی، م. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۳)، ۳، ۱۵-۱.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

خاک بستر کلیه فعالیت‌های تولیدی انسان به شمار رفته و بنیان بسیاری از تمدن‌های بزرگ و کهن جهان بر باروری و حفاظت خاک استوار و نابودی برخی از این تمدن‌ها ناشی از عدم بهره‌وری صحیح و کوتاهی در نگهداری از منابع طبیعی بوده است (Plieninger, 2008). فرسایش‌ها از نظر منشأ به دو دسته فرسایش زمین‌شناسی و فرسایش تشدید شونده تقسیم می‌شوند که فرسایش زمین‌شناسی موجب تشکیل خاک و فرسایش تشدید شونده موجب تخریب خاک می‌شود و مطالعه آن اهمیت زیادی دارد به طوری که وضعیت فرسایش در آسیا در مرحله خطر و در آفریقا در سطح خیلی خطرناک قرار دارد (FAO^۱ and ITPS^۲, 2015). هیچ پدیده‌ای در مقیاس جهانی مخرب‌تر از فرسایش خاک نیست و فرسایش آبی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم حیات بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همین امر باعث از بین رفتن خاک‌های حاصلخیز کشاورزی می‌شود (Novara et al., 2018). وضعیت کنونی فرسایش در جهان خطرناک‌تر از هر زمان دیگری در تاریخ است (Jarrah et al., 2020). از آنجایی که فرسایش در هر منطقه تابع فاکتورهای متعددی است برای تعیین اقدامات حفاظتی موردنیاز باید وضعیت منطقه از نظر عوامل فرساینده و کلاس فرسایش مشخص گردد (Das et al., 2021; Borrelli et al., 2023); بنابراین تعیین شدت فرسایش امری حیاتی است. نتایج ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوزه آبخیز الشتر نشان داد که بیش از ۵۰ درصد حوضه در معرض خطر فرسایش شدید قرار دارد (Haseli and Jalalian, 2015). پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه رودخانه بالخلوچای نشان داد که ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه دارای فرسایش خیلی زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ درصد مساحت حوضه دارای فرسایش کم و خیلی کم است (Yaghubnezhad

ASL and Abedini, 2018). پهنه‌بندی خطر فرسایش بادی در سواحل شرقی دریاچه ارومیه نشان داد از بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌ها، مهم‌ترین بخش خاک همواره در معرض فرسایش قرار دارد و در تخمین فرسایش‌پذیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و هیچ رابطه‌ای بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و فرسایش‌پذیری وجود ندارد (Chakherlou et al., 2021). فرسایش‌پذیری خاک به عوامل مختلفی بستگی دارد که به‌عنوان مثال پایداری خاکدانه‌ها یکی از عوامل مؤثر بر فرسایش و رواناب است (Barthes and Roose, 2002). پایداری خاک تحت تأثیر عوامل مختلف مثل عوامل توپوگرافی از قبیل جهت و درجه شیب دامنه و... است که این عوامل بر پوشش گیاهی و فرسایش تأثیرگذار بوده و به‌طور غیرمستقیم ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bronick and Lal, 2005). نتایج مدل‌سازی پایداری خاکدانه‌ها به‌عنوان شاخصی از فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک نشان داد که می‌توان از پارامترهای ژئومورفومتریک برای برآورد پایداری خاکدانه‌ها و همچنین برآورد میزان فرسایش‌پذیری خاک استفاده کرد (Khanifar et al., 2019). برای تخمین فرسایش و رسوب یک منطقه روش‌های متداولی وجود دارد و یکی از روش‌های قابل‌اعتماد مدل پسیاک اصلاح‌شده (MPSIC^۳) است که از این مدل در مطالعات گسترده در کشورهای مختلف استفاده شده است. البته استفاده از این مدل و بهبود کارایی آن در نقاط مختلف جهان همچنان در حال گسترش است (Casabella-González et al., 2023). طی مطالعه‌ای در کشور کویت از سه روش برای تخمین میزان فرسایش استفاده شد و نتایج نشان داد مدل MPSIAC مدل دقیق‌تری برای برآورد میزان تولید رسوب منطقه است (Abdullah et al., 2017). در ایران نیز بررسی فرسایش در حوزه آبخیز دز با

2. Intergovernmental technical panel on soil
3. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations

استفاده از مدل MPSIAC و مقایسه نتایج با مقادیر مشاهده‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که مقادیر مشاهده‌ای ۳۸ درصد بیش‌تر از مقادیر به‌دست‌آمده از مدل MPSIAC است (Noori and *et al.*, 2018). با توجه به این امر که فرسایش در نهایت گریبان‌گیر انسان خواهد بود و مشکلات متعددی را به وجود می‌آورد نیاز است میزان تولید رسوب منطقه به دست آورده شود و متناسب با آن اقدامات آبخیزداری حفاظتی مانند اقدامات بیولوژیک، اقدامات مکانیکی و یا ترکیبی از این دو، اتخاذ شود. نتایج مطالعه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز بابل‌رود با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد که حوضه از نظر رسوب‌دهی در طبقه کم قرار گرفته و علت آن وجود مراتع متراکم، سنگ‌های آهکی و سنگ‌های دارای سختی متوسط تا زیاد است (Tabarestani *et al.*, 2022).

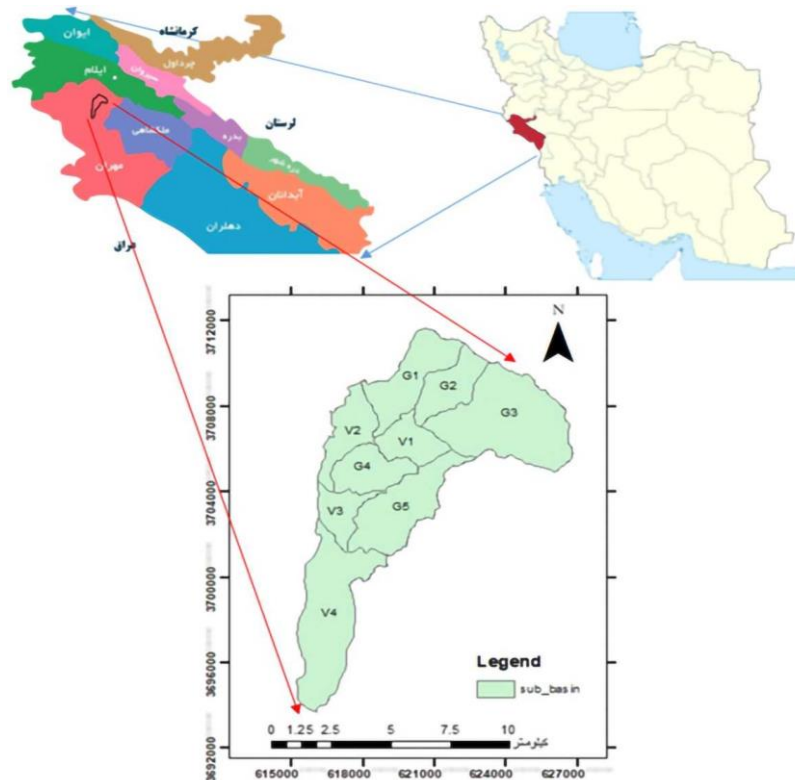
برای تخمین فرسایش و رسوب روش‌های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از مدل MPSIAC استفاده شده است زیرا مطالعات مختلف دقت این مدل را تأیید نموده است (Casabella-González *et al.*, 2023). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای به‌منظور تعیین مقدار تولید رسوب در حوزه آبخیز بیشه‌زار در جنوب غرب ایران پس از بررسی آنالیز حساسیت نتایج نشان داد از بین ۹ عامل مؤثر در روش MPSIAC عامل توپوگرافی و رواناب بیش‌ترین تأثیر را بر فرسایش منطقه مورد مطالعه داشته است (Zarei *et al.*, 2019). عوامل متعددی ممکن است بر فرسایش آبی تأثیرگذار باشند که با استفاده از مدل MPSIAC می‌توان آن‌ها را شناسایی کرد. در تحقیقی دیگر نتایج برآورد فرسایش و رسوب سالانه در حوزه آبخیز بابل‌رود با استفاده از مدل MPSIAC نشان داد حوضه مورد مطالعه از نظر شدت فرسایش در طبقه کم قرار دارد و علت آن وجود مراتع متراکم، سازندهای آهکی و سنگ‌های با سختی متوسط تا زیاد در حوضه است

همچنین بررسی میزان تأثیر آبیاری بارانی بر فرسایش خاک در حوزه آبخیز Wadi Kufranja با استفاده از روش RUSLE نشان داد میزان فرسایش در این منطقه خیلی زیاد است و مهم‌ترین عامل هدررفت خاک مرغوب، عدم مدیریت صحیح آب‌و‌خاک در تراست‌ها و گالی‌ها است (Demirci and Karaburun, 2012)؛ بنابراین به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی و همچنین محاسبه و طراحی دقیق حجم سدها ضرورت دارد حجم کل رسوب سالانه در یک حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد شود؛ بنابراین هدف از این مطالعه بررسی وضعیت فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز گلان استان ایلام و تعیین وضعیت فعلی فرسایش خاک و تولید رسوب است. لازم به ذکر است در این منطقه که در بالادست سد کنجانچم و سامانه گرمسیری واقع شده و سازندهای فرسایش‌پذیر آن حجم زیادی از رسوب را تولید می‌نماید تاکنون مطالعه جامعی صورت نگرفته است؛ بنابراین مطالعه دقیق منطقه از نظر فرسایش و رسوب و ارائه راهکار مناسب ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

روستای گلان در شهرستان مهران با مساحت ۷۸/۸۷ کیلومتر مربع در مسیر جاده اصلی ایلام-مهران واقع شده است و در موقعیت جغرافیایی $17^{\circ}46'14''$ تا $21^{\circ}46'56''$ طول شرقی و $33^{\circ}33'55''$ تا $32^{\circ}33'15''$ عرض شمالی قرار دارد. فاصله این روستا از مرکز استان حدود ۵۳ کیلومتر است. متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه حدود ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دما ۲۴ درجه و متوسط حداقل دما ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

Figure 1- Location of study area in Iran and Ilam Province

روش تحقیق
برای انجام این پژوهش ابتدا نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی منطقه تهیه شد. از نقشه‌های توپوگرافی برای مشخص کردن محدوده حوضه مورد مطالعه و از عکس‌های هوایی و برنامه گوگل ارث برای تطبیق آن با طبیعت و تقسیم‌بندی آن به واحدهای هیدرولوژیکی استفاده گردید. همچنین اطلاعات و آمار مرتبط با مطالعات قبلی جمع‌آوری شد. نقشه‌های پایه نیز در محیط GIS^۱ تهیه شد که عبارت‌اند از نقشه زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش گیاهی، شیب دامنه، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی. سپس برای کنترل نقشه‌های پایه، بازدید میدانی از منطقه صورت گرفت و فاکتورهای لازم جهت برآورد فرسایش و رسوب در مدل MPSIAC از طریق مطالعات صحرایی امتیازدهی شدند (Khalili Vavdareh et al., 2022; Daneshvar & Bagherzadeh, 2012;

در نهایت فرسایش و رسوب با استفاده از این مدل برآورد و نقشه فرسایش حوضه تهیه شد. هر حوزه آبخیز از تعدادی زیرحوضه تشکیل شده است که جهت بررسی و شناخت دقیق‌تر خصوصیات فیزیوگرافی حوضه به مطالعه آن‌ها پرداخته می‌شود. این تقسیم‌بندی با توجه به موقعیت منابع آبی، موقعیت روستاها، شبکه هیدروگرافی، خطوط توپوگرافی، بازدیدهای صحرایی و در نهایت نظر تلفیق‌گر انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که برآورد کمیت سیلاب‌ها و جریان‌های سطحی در خروجی زیرحوضه‌ها از طریق اندازه‌گیری دبی و بار رسوبی خروجی صورت می‌گیرد. برخی از زیرحوضه‌ها به صورت غیرمستقل بوده و جریان تولیدشده در آن‌ها علاوه بر خود حوضه شامل حوضه‌های بالادست نیز است. در جدول شماره (۱) مشخصات زیرحوضه‌ها در حوزه آبخیز گلان ارائه شده است.

1. Geographic Information System

جدول ۱- مشخصات زیرحوضه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

Table 1- characteristics of sub-watersheds in study area

حوضه	زیرحوضه	نوع زیرحوضه	محیط (km)	مساحت (km ²)
گلان	G1	مستقل	15.9	8.33
	G2		11.49	5.6
	G3		19.38	18.51
	G4		11.01	5.61
	G5		18.52	10.53
	V1	وابسته	9.77	4.54
	V2		14.34	5.57
	V3		11.37	3.83
	V4		3.24	35.16
	کل حوضه	-	54.33	78.87

مدل MPSIAC

از آنجایی که بهره‌گیری از محیط GIS باعث افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی فرسایش می‌گردد (Aksoy and Kavvas, 2005)، استفاده از مدل MPSIAC با توجه به لحاظ نمودن فاکتورهای بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برای برآورد فرسایش و رسوب در محیط GIS در نظر گرفته شد و همین امر باعث کاهش خطا در محاسبه میزان رسوب تولیدشده در منطقه نسبت به سایر روش‌ها می‌شود (Refahi, 2015). در مدل‌های تجربی که برای بررسی فرسایش و رسوب بکار گرفته می‌شوند سعی می‌شود رابطه معنی‌داری بین عوامل مؤثر در فرسایش و میزان فرسایش‌پذیری منطقه به دست آید. تمامی این مدل‌ها هرکدام در شرایط محلی خاصی تجربه شده‌اند، لذا قابلیت کاربردی وسیعی ندارند. به همین دلیل در این مطالعه سعی بر این است تا ضمن استفاده از این روش در حوزه آبخیز مورد بررسی، کلیه عوامل مؤثر در فرسایش خاک و پتانسیل رسوب‌دهی در مدل MPSIAC در تیپ‌های همگن و سپس واحدهای هیدرولوژیک و حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مدل MPSIAC، بیشترین و مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در محاسبات وارد می‌گردد و برای محاسبه مقدار رسوب تولیدی نیاز به ضریب خاص هیدرولوژیکی منطقه یا رسوب‌زایی نمی‌باشد. در این مدل، ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب برخلاف برخی مدل‌ها

نظیر FAO و B.L.M¹ با کمیت بیان می‌گردد که این امر مهم‌ترین عامل برای انتخاب این مدل است. برای استفاده از مدل MPSIAC در برآورد وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر یک از واحدهای کاری و نهایتاً واحد هیدرولوژیک، نه عامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب برحسب شدت و ضعف آن‌ها در فرسایش خاک و تولید رسوب باید مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرند. نمره نهایی مربوط به عوامل فوق‌الذکر در هر یک از واحدهای کاری بیانگر شدت فرسایش خاک و میزان رسوب‌زایی در آن واحد است. مدل پیشنهادی اولیه (PSIAC)، جهت هر فاکتور حدود تغییراتی را مشخص کرده است که تا حدودی انتخابی بوده و متناسب با فاکتور رسوب‌دهی نیاز به قضاوت کارشناسی دارد. در سال ۱۹۸۲ طی تحقیقی جانسون و گمبهارت (Johnson & Gembhart, 1982) فاکتورهای نه‌گانه این روش را به صورت معادلات عددی درآورده‌اند؛ بنابراین جهت برآورد فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه به روش MPSIAC باید نه فاکتور به طور جداگانه بررسی و بر اساس مجموع نمرات این فاکتورها، درجه رسوب‌دهی و با توجه به آن کلاس رسوب‌دهی مشخص گردد که به دنبال آن نقشه کلاس رسوب‌دهی در حوزه آبخیز و زیرحوضه‌های آن تهیه گردد. پس از تعیین درجه رسوب‌دهی با توجه به روابط ریاضی ارائه‌شده، میزان رسوب و فرسایش ویژه در هر واحد کاری مشخص خواهد شد. البته ذکر این نکته ضروری است که مدل MPSIAC

مؤثر روابطی ارائه شده است که در جدول (۲) به این روابط اشاره شده است (Safamanesh et al., 2006). سپس برای تعیین بار رسوبی در منطقه مورد مطالعه از آمار رسوب استفاده گردید. بدین ترتیب که پس از مشخص شدن گل‌آلودگی واحدهای هیدرولوژیکی و در نظر گرفتن تغییرات غلظت رسوب از جدول (۳) برای تعیین میزان درصد بار معلق و بار کف استفاده شد.

جدول ۲- معادلات مدل MPSIAC

Table 2- Equation of MPSIAC model

شماره رابطه	رابطه
1	$Y_1 = X_1$
2	$Y_1 = 16.67X_1$
3	$Y_2 = 0.2 X_2$
4	$Y_3 = 0.2X_3$
5	$Y_4 = 0.33X_4$
6	$Y_5 = 0.2X_5$
7	$Y_6 = 20-0.2X_6$
8	$Y_7 = 0.25X_7$
9	$Y_8 = 1.67X_8$

جدول ۳- رابطه بین بار کف و بار معلق با استفاده از روش مادوک (Mahdavi, 2006)

Table 3- Relation of bed load and suspended load using Maddock method (Mahdavi, 2006)

ردیف	غلظت رسوب معلق (ppm)	بافت مواد معلق	مواد بستر رودخانه	درصد بار کف نسبت به وزن مواد معلق
1	کمتر از 1000	ماسه	شن و ماسه	25-150
2	کمتر از 1000	درصد کم ماسه	سنگریزه، سنگ، رس	5-12
3	1000-7500	همانند مواد بستر	شن و ماسه	10-35
4	1000-7500	کمتر از 25 درصد ماسه	سنگریزه، سنگ، ماسه	5-12
5	بیشتر از 7500	همانند مواد بستر	شن و ماسه	5-15
6	بیشتر از 7500	کمتر از 25 درصد ماسه	سنگریزه، سنگ، رس	2-8

ضرب در ۰/۰۳ با دبی پیک سالانه ضرب در عدد ۵۰ است. رابطه (۵) برای تعیین امتیاز عامل توپوگرافی است که در آن $Y_4 =$ امتیاز عامل توپوگرافی و $X_4 =$ مقدار شیب برحسب درصد است که برای هر یک از واحدهای کاری به صورت شیب میانگین وزنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۶) برای تعیین امتیاز عامل پوشش زمین است که در آن $Y_5 =$ امتیاز عامل پوشش زمین و $X_5 =$ درصد زمین لخت است که در منطقه مورد مطالعه بر اساس مطالعات پوشش گیاهی تعیین و سپس این عامل برآورد گردید. رابطه (۷) برای تعیین امتیاز عامل استفاده از زمین ارائه شده است که در آن $Y_6 =$ امتیاز عامل استفاده از زمین و $X_6 =$ درصد پوشش

میزان رسوب خروجی در هر واحد هیدرولوژیک را بررسی می‌نماید. فاکتورهای مورد ارزیابی که به عنوان ورودی مدل MPSIAC هستند عبارت‌اند از زمین‌شناسی سطحی (Surface geology)، خاک (Soil)، آب‌وهوا (Climate)، رواناب (Runoff)، توپوگرافی (Topography)، پوشش زمین (Ground cover)، استفاده از زمین (Land use)، فرسایش سطحی اراضی بالادست (Upland Erosion) و فرسایش آبراهه‌ای (Channel Erosion) و خروجی این مدل، میزان فرسایش و رسوب منطقه است.

جهت تهیه نقشه اشکال فرسایش در حوزه آبخیز در ابتدا با تفسیر عکس‌های هوایی منطقه، نقشه اولیه اشکال فرسایشی تهیه شد. سپس این نقشه با نقشه ژئومورفولوژی، حساسیت واحدهای سنگی و اجزاء اراضی حوزه آبخیز تلفیق و پلی‌گون‌های همگن استخراج و طی عملیات صحرایی اقدام به تکمیل فرم‌های BLM در هر یک از واحدهای همگن گردید. در مدل MPSIAC برای تعیین امتیاز عوامل

در جدول (۲) رابطه (۱) برای به دست آوردن امتیاز زمین‌شناسی سطحی استفاده می‌شود که در آن $X_1 =$ عامل حساسیت سنگ به فرسایش و مقدار آن بین ۱۰-۰ است. رابطه (۲) برای به دست آوردن امتیاز خاک استفاده می‌شود که در آن $Y_1 =$ امتیاز رسوب‌دهی خاک و $X_1 =$ عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در فرمول جهانی فرسایش است. رابطه (۳) برای تعیین امتیاز عامل آب‌وهوا ارائه شده است که در آن $Y_2 =$ امتیاز عامل آب‌وهوا و $X_2 =$ ارتفاع بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله برحسب میلی‌متر است. رابطه (۴) برای تعیین امتیاز عامل رواناب است که در آن $Y_3 =$ امتیاز عامل رواناب و $X_3 =$ مجموع ارتفاع رواناب سالانه

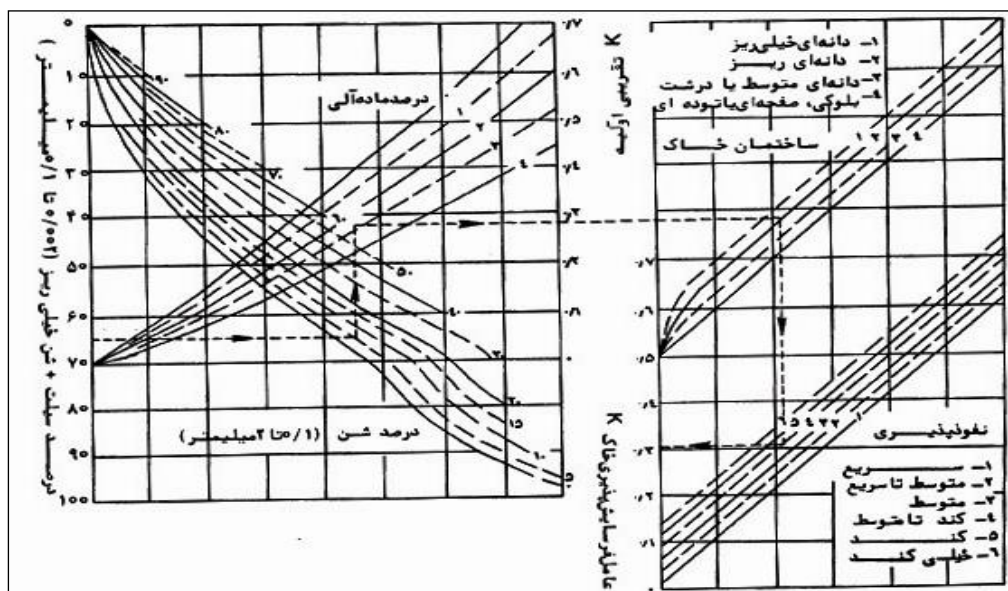
فرسایش‌پذیری) و گروه فرسایشی خیلی زیاد (سنگ‌های سست). با توجه به انطباق نقشه حساسیت سنگ‌ها بر روی نقشه زیرحوضه‌ها امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی برای کل منطقه ۶/۱۵ تعیین شده است (جدول ۴).

در منطقه مورد مطالعه نتایج حاصل از مطالعات خاکشناسی با لحاظ نمودن وضعیت خاک از نظر بافت، ساختمان، نفوذپذیری (گروه هیدرولوژیکی خاک) و مواد آلی تعیین گردید. لازم به ذکر است که برای تعیین درصد سیلت به علاوه شن خیلی ریز و درصد شن از تجزیه اندازه ذرات خاک برای تعیین بافت خاک، با این فرض که توزیع این ذرات به صورت یکنواخت و نرمال است، استفاده شده است. بدین ترتیب که درصد سیلت به علاوه شن خیلی ریز و درصد شن، به ترتیب پنج و پنجاه درصد مقدار شن به دست آمده از تجزیه‌های آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. ضریب فرسایش‌پذیری خاک، از روش‌های مختلفی به دست می‌آید که در این مطالعه از طریق نمودراف بین‌المللی به دست آمده است. شکل (۲) نمودراف تعیین ضریب فرسایش‌پذیری خاک منطقه بر اساس پنج فاکتور نفوذپذیری خاک، ساختمان خاک، مقدار ماده آلی، درصد شن (ذرات با قطر ۰/۰۵ - ۰/۰۰۲ میلی‌متر) و درصد سیلت (ذرات با قطر ۰/۰۵ - ۰/۱ میلی‌متر) را نشان می‌دهد.

گیاهی است که با توجه به نقشه پوشش گیاهی منطقه، درصد تاج پوشش گیاهی مشخص و سپس برای هر زیرحوضه و واحد هیدرولوژیک به تفکیک و به صورت وزنی عامل استفاده از زمین محاسبه و برآورد می‌شود. رابطه (۸) برای تعیین امتیاز فرسایش سطحی اراضی بالادست پس از تعیین فاکتور سطحی خاک برای هر واحد کاری استفاده می‌شود و در آن $Y_7 =$ امتیاز عامل فرسایش سطحی خاک و $X_7 =$ فاکتور سطحی خاک است که بر اساس روش BLM به دست می‌آید. رابطه (۹) برای تعیین عامل فرسایش آبراه‌های استفاده می‌شود که در آن $Y_8 =$ امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های و $X_8 =$ وضعیت فرسایش آبراه‌های است.

نتایج

در منطقه گلان انواع خاصی از فرسایش ظهور و بروز دارد که نمایانگر تأثیر فاکتورهای مختلف با شدت و ضعف‌های متفاوت در کنار تأثیر عوامل انسانی است که در کل به دو دسته عوامل طبیعی و عوامل غیرطبیعی تشدیدکننده قابل تفکیک می‌باشند. سنگ‌های موجود در منطقه را می‌توان در پنج گروه فرسایشی تقسیم کرد: گروه فرسایشی خیلی کم (سنگ‌های خیلی مقاوم)، گروه فرسایشی کم (سنگ‌های مقاوم)، گروه فرسایشی متوسط (سنگ‌های نسبتاً فرسایش‌پذیر)، گروه فرسایشی زیاد (سنگ‌های



شکل ۲- نمودراف ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)

Figure 2- Nomograph of soil erodibility factor (K)

محاسبه گردید که خلاصه محاسبات در جدول (۵) ارائه شده است. طبق محاسبات انجام شده امتیاز عامل خاک برای

بدیهی است برای این منظور ابتدا مقدار K در هر یک از اجزاء واحد اراضی و سپس برای هر یک از زیرحوضه‌ها

عامل فرسایش سطحی خاک ۱/۸۱ (جدول ۱۱) و امتیاز عامل فرسایش آبراهه‌ای ۱۵/۴۱ (جدول ۱۲) تعیین گردید. لازم به ذکر است در تمام جداول اعداد تا دو رقم اعشار محاسبه شده‌اند.

کل حوزه آبخیز ۳/۷۱ تعیین گردید. در ادامه محاسبات انجام شده امتیاز عامل آب‌وهوا ۱۷/۸ (جدول ۶)، امتیاز عامل رواناب ۱۳/۰۱ (جدول ۷)، امتیاز عامل توپوگرافی ۱۰/۴۴ (جدول ۸)، امتیاز عامل پوشش زمین ۹/۶۲ (جدول ۹)، امتیاز عامل استفاده از زمین ۱۵/۶۷ (جدول ۱۰)، امتیاز

جدول ۴- امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 4- Score of surface geology factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
6.15	7.89	8.72	7.27	6.01	7.50	7.45	3.91	3.96	4.79	عامل زمین‌شناسی

جدول ۵- امتیاز عامل خاک در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 5- Score of soil factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
0.22	0.19	0.21	0.23	0.23	0.24	0.24	0.21	0.25	0.26	X ₁
3.71	2.24	3.56	3.88	3.89	3.94	4.01	3.43	4.12	4.39	Y ₁

جدول ۶- امتیاز عامل آب‌وهوا در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 6- Score of climate factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	89.04	X ₂
17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	Y ₂

جدول ۷- امتیاز عامل رواناب در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 7- Score of runoff factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
65.05	37.81	58.70	66.94	85.91	66.31	70.25	90.91	185.14	100.40	X ₃
13.01	7.56	11.74	13.39	17.18	13.26	14.05	18.18	37.03	20.08	Y ₃

جدول ۸- امتیاز عامل توپوگرافی در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 8- Score of topography factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
31.64	20.38	17.70	41.73	39.49	33.89	30.60	31.33	24.32	34.87	X ₄
10.44	6.73	5.84	13.77	13.03	11.18	10.10	10.34	8.03	11.51	Y ₄

جدول ۹- امتیاز عامل پوشش زمین در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 9- Score of land cover factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
48.10	69.00	66.80	58.64	64.65	60.00	65.60	29.30	48.05	31.95	X ₅
9.62	13.80	13.36	11.73	12.93	13.00	13.12	5.86	9.61	6.39	Y ₅

جدول ۱۰- امتیاز عامل استفاده از زمین در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 10- Score of land use factor in study area

کل حوزه آبخیز	V4	V3	V2	V1	G5	G4	G3	G2	G1	زیرحوضه
21.65	2.55	6.30	15.35	14.40	12.90	11.85	31.55	17.95	31.45	X ₆
15.67	19.49	18.74	16.93	17.12	17.42	17.63	13.69	16.41	13.71	Y ₆

جدول ۱۱- امتیاز عامل فرسایش سطحی خاک در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 11- Score of surface erosion factor in study area

زیرحوضه	G1	G2	G3	G4	G5	V1	V2	V3	V4	کل حوزه آبخیز
X ₇	8.33	5.60	18.51	5.61	10.53	4.54	5.57	3.83	16.35	7.25
Y ₇	2.08	1.40	4.63	1.40	2.63	1.13	1.39	0.96	4.09	1.81

جدول ۱۲- امتیاز عامل فرسایش آبراه‌های در واحدهای حوزه آبخیز مورد مطالعه

Table 12- Score of river erosion factor in study area

زیرحوضه	G1	G2	G3	G4	G5	V1	V2	V3	V4	کل حوزه آبخیز
X ₈	7	7	6	14	14	14	14	14	6	9.23
Y ₈	11.69	11.69	10.02	23.38	23.38	23.38	23.38	23.38	10.02	15.41

گرفته‌اند. جدول (۱۳) حساسیت واحدهای سنگی منطقه به فرسایش را نشان می‌دهد. حوزه آبخیز مورد مطالعه از نظر کلاس فرسایش و رسوب‌دهی با تولید رسوب ۵۴۱/۲۶ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال در کلاس زیاد واقع شده است.

حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی در قالب جدولی مرکب از ۵ رده فرسایش‌پذیری (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) و ۱۰ کد حساسیت نسبت به فرسایش (هر رده شامل ۲ کد) تقسیم گردید که واحدهای سنگی و رسوبی در ۴ رده حساسیت نسبت به فرسایش (کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) و ۷ کد (۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹ و ۱۰) جای

جدول ۱۳- راهنمای نقشه حساسیت نسبت به فرسایش در منطقه مورد مطالعه به روش MPSIAC

Table 13- The guide of soil erodibility map in study area by MPSIAC model

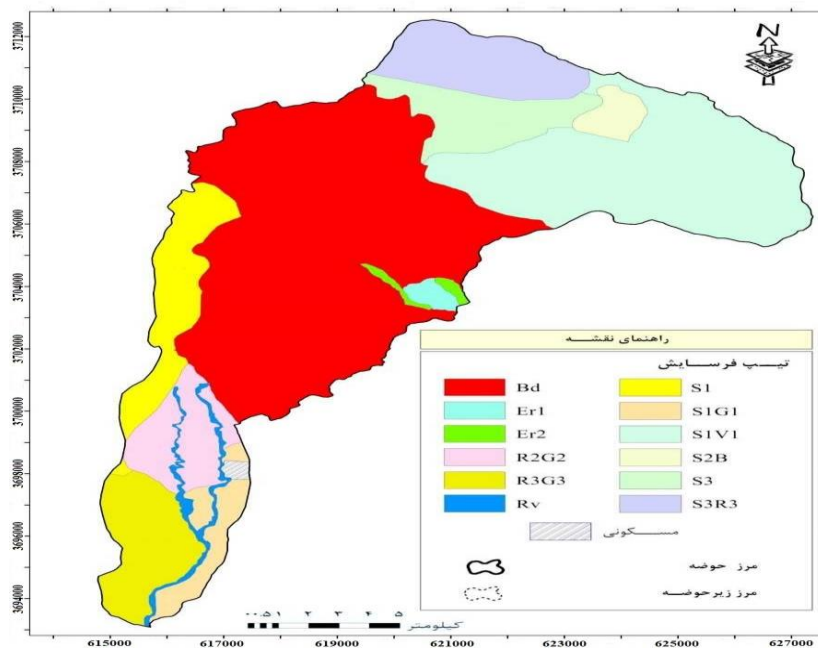
حساسیت به فرسایش	کد واحد	واحد سنگی	لیتولوژی
بسیار کم	1		-----
	2		-----
کم	3	Sv	سنگ آهک خاکستری تا سیاه توده‌ای تا نازک لایه چرت‌دار (سازند سروک)
	4	Il	سنگ آهک خاکستری تا سفیدرنگ متوسط تا نازک لایه و میان لایه‌های شیل (سازند ایلام)
متوسط	5	As-KL As	سنگ آهک نازک لایه تا توده‌ای کرم تا سفیدرنگ (سازند آسماری)
	6	Sg	شیل خاکستری تیره پیریت‌دار و لایه‌های سنگ آهک زردرنگ (سازند سروگاه)
زیاد	7	Aj, Aj-Lb	متشکل از مارن و ماسه‌سنگ (سازند آغاچاری)
	8	Q	رسوبات آبرفتی
بسیار زیاد	9	Pb, Pb-T Gu, Gu-S Gs	تناوب شیل خاکستری تا شیری و آهک مارنی و مارن (سازند پابده) تناوب شیل و آهک مارنی و مارن (سازند گورپی) ایندریت و مارن قرمز تا خاکستری (سازند گچساران)
	10	---	-----

سطحی ناچیز)، تیپ S3 (فرسایش سطحی شدید در دیم‌زارها)، تیپ S3R3 (فرسایش سطحی و شیاری شدید)، تیپ S1G1 (فرسایش سطحی کم در دیم‌زارها همراه با گالی‌های محدود)، تیپ S1V1 (فرسایش سطحی کم به همراه واریزه)، تیپ S2B (فرسایش سطحی کم به همراه واریزه)، تیپ R2G2 (تیپ فرسایش شیاری و گالی

با توجه به باز دیده‌های صحرایی در حوزه آبخیز مورد مطالعه ۱۲ تیپ فرسایشی شناسایی و تفکیک گردید که عبارت‌اند از تیپ Er1 (تخریب شیمیایی همراه با هوازدگی مکانیکی محدود)، تیپ Er2 (تخریب شیمیایی و مکانیکی همراه با واریزه‌های مختلط)، تیپ Bd بدلند (تخریب مکانیکی شدید همراه با فرسایش شیاری و خندقی)، تیپ S1 (فرسایش

۱۴ ارائه شده است. همچنین میزان فرسایش ویژه (میزان فرسایش در واحد سطح که از تقسیم میزان فرسایش کل بر مساحت حوضه به دست می‌آید) و رسوب ویژه (میزان رسوب در واحد سطح که از تقسیم میزان رسوب کل بر مساحت حوضه به دست می‌آید) و میزان فرسایش و رسوب کل حوزه آبخیز مورد مطالعه به روش MPSIAC در جدول (۱۴) آورده شده است. اکثر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه دارای فرسایش شدید هستند. شکل (۴) شدت فرسایش در حوزه آبخیز گلان را نشان می‌دهد.

متوسط)، تیپ R3G3 (تیپ فرسایش شیاری و گالی شدید)، تیپ Rv (فرسایش کنار رودخانه‌ای محدود). شکل (۳) تیپ‌های مختلف فرسایش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است تیپ فرسایشی Bd بیشترین سطح و تیپ‌های فرسایشی Er1 و Er2 کمترین سطح از منطقه مورد مطالعه را در بر گرفته است. نتایج برآورد میزان نسبت تحویل رسوب (SDR^۱) که مبین میزانی از فرسایش است که به خروجی می‌رسد و از تقسیم میزان رسوب به فرسایش حاصل می‌گردد در جدول



شکل ۳- انواع تیپ‌های فرسایش در منطقه مورد مطالعه

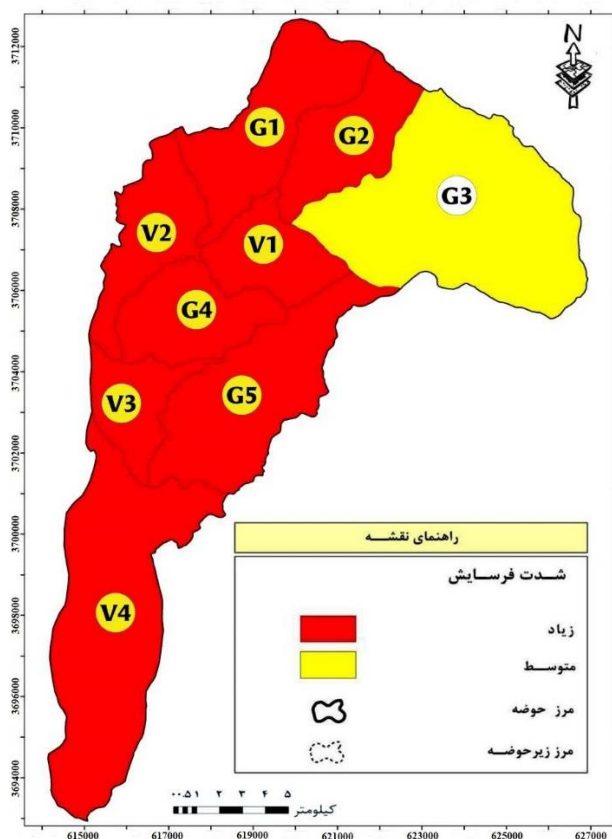
Figure 3- Erosion types in study area

جدول ۱۴- میزان SDR، فرسایش ویژه و رسوب ویژه به استفاده از مدل MPSIAC

Table 14- SDR, specific erosion and sediment by MPSIAC model

فرسایش کل (ton/y)	فرسایش ویژه (m ³ /km ² /y)	SDR (%)	رسوب کل (ton/y)	رسوب‌دهی ویژه (m ³ /km ² /y)	واحد هیدرولوژیکی
12713.27	1016.88	51	6483.77	518.61	G1
15775.93	1879.21	52	8203.48	977.19	G2
25439.82	916.17	48	12211.11	439.76	G3
15191.88	1805.82	52	7899.78	939.03	G4
30961.2	1960.09	50	15480.6	980.05	G5
13705.46	2012.71	53	7263.89	1066.73	V1
15435.47	1846.05	52	8026.44	959.95	V2
8387.11	1460.94	54	4529.4	788.91	V3
24803.09	1011.34	48	11905.48	485.44	V4
152467.13	1288.71	42	64036.2	541.26	کل حوزه آبخیز

1. Sediment Delivery Ratio



شکل ۴- نقشه شدت فرسایش در منطقه مورد مطالعه

Figure 4- Erosion intensity map of study area

بحث و نتیجه‌گیری

است و فرسایش انحلالی آهک‌های توده‌ای در آن به چشم می‌خورد؛ بنابراین به دلیل عدم وجود خاک سطحی در این تیپ فرسایشی، فرسایش خاک در آن اهمیتی نداشته و صرفاً به خاطر هوازگی مکانیکی است که شواهد آن بسیار محدود است. در تیپ Er2 تخریب مکانیکی نسبتاً شدید بخصوص در قسمت‌های برون‌زدگی سنگی آن قابل مشاهده است که منجر به تولید واریزه‌های ریز تا درشت شده است. در تیپ فرسایشی Bd، علاوه بر تخریب مکانیکی شدید که در قسمت‌های برون‌زدگی سنگی مناطق مرتفع‌تر فعال است و منجر به بروز واریزه‌های سنگی فراوان در سطح این تیپ شده، در قسمت‌های پایین‌تر دامنه‌ها فرسایش سطحی و شیاری نیز به وقوع پیوسته که شدت آن‌ها نسبتاً زیاد است. تیپ S1 دارای فرسایش سطحی ناچیز است و این تیپ فرسایشی غالباً در اراضی زراعی با شیب بسیار کم دیده می‌شود که اغلب تحت کشت گندم و جو بوده و فرسایش بسیار کمی در آن اتفاق می‌افتد. تیپ S3 دارای فرسایش سطحی شدید در دیمزارها است. این تیپ فرسایشی

در حوضه مورد مطالعه بیش‌ترین امتیاز مرتبط با عامل آب‌وهوا (۱۷/۸) و کم‌ترین امتیاز مرتبط با عامل فرسایش سطحی خاک (۱/۸۱) است. از نظر شدت فرسایش، در منطقه فرسایش متوسط تا زیاد وجود دارد. قسمتی از حوضه که دارای فرسایش‌پذیری متوسط است شامل واحدهای سنگی‌ای است که به لحاظ ترکیب لیتولوژیکی و کانیایی حالت حد واسطی دارند و میزان درز و شکاف آن‌ها نیز متعادل است. از میان واحدهای سنگی موجود در حوضه سازند آسماری، آسماری کلهر و سورگاه در این مجموعه واقع می‌گردند. مناطق با فرسایش‌پذیری زیاد نیز دارای واحدهای لیتولوژیک نامقاوم و دارای درز و شکاف فراوان هستند و معمولاً سنگ‌های این مجموعه از خاصیت انحلال‌پذیری بالایی برخوردارند. از میان واحدهای سنگی موجود در حوضه سازندهای آبرفت، پابده، پابده تله زنگ، آغاچاری، آغاچاری لهری در این مجموعه قرار می‌گیرند. از بین تیپ‌های فرسایشی منطقه مورد مطالعه، تیپ Er1 دارای تخریب شیمیایی همراه با هوازگی مکانیکی محدود

نشان‌دهنده مناطقی است که کشت دیم در اراضی با شیب بالا انجام گرفته و غالباً شخم اراضی در جهت شیب صورت گرفته است. تیپ S3R3 دارای فرسایش سطحی و شیاری شدید است و این تیپ فرسایش در شمال حوضه و بر روی سازندهای سروک و سورگاه واقع شده است. به دلیل شیب بالای این اراضی و حساسیت زیاد خاک سطحی، شدت فرسایش سطحی و شیاری در آن بالا است. تیپ S1G1 دارای فرسایش سطحی کم در دیمزارها همراه با گالی‌های محدود است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های جنوبی حوضه و غالباً در اراضی کم شیب رخ داده و به همین دلیل شدت فرسایش سطحی در آن‌ها کم است ولی به دلیل خصوصیات خاک این اراضی، تعداد محدودی گالی نیز در آن‌ها به وجود آمده‌اند. تیپ S1V1 دارای فرسایش سطحی کم به همراه واریزه است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های شمال‌شرقی حوضه و غالباً بر روی سازند ایلام واقع شده است. در این تیپ، واریزه‌های ریز به دلیل فرسایش مکانیکی و نوع سازند به وجود می‌آیند. تیپ S2B دارای فرسایش سطحی کم به همراه واریزه است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های شمال حوضه و بر روی سازند ایلام واقع شده است. در این تیپ فرسایش سطحی متوسط به همراه واریزه‌های بلوکی وجود دارند. تیپ R2G2 دارای فرسایش شیاری و گالی متوسط است. این تیپ فرسایشی در قسمت‌های جنوبی حوضه و در مجاورت روستای گلان و بر روی سازند کواترنر واقع گردیده است، شدت فرسایش شیاری در آن‌ها متوسط است و به دلیل خصوصیات خاک این اراضی، تعدادی گالی نیز در آن‌ها به وجود آمده‌اند. تیپ R3G3 که دارای فرسایش شیاری و گالی شدید است در قسمت‌های جنوبی حوضه و بر روی سازندهای آغاچاری و لهری واقع شده و به همین دلیل شدت فرسایش شیاری و گالی در آن‌ها شدید است. تیپ Rv دارای فرسایش کنار رودخانه‌ای محدود است. این تیپ فرسایشی در مناطقی که میزان دبی رودخانه زیاد می‌گردد، مخصوصاً در مواقع سیلابی و در هنگام عبور از مصالح حساس به زیرشویی اتفاق می‌افتد. این تیپ فرسایشی، حاشیه‌های رودخانه اصلی داخل حوضه را پوشش می‌دهد.

با توجه به نتایج این تحقیق مهم‌ترین عواملی که در حوزه آبخیز مورد مطالعه منجر به فرسایش می‌شوند عبارت‌اند از:

- ۱- خاک منطقه که کمبود مواد آلی آن از عوامل عمده فرسایش‌پذیری خاک است.
- ۲- بافت خاک حوضه که با توجه به بررسی انجام گرفته دارای فرسایش‌پذیری زیادی است.
- ۳- چرای مفرط مراتع منطقه با توجه به اینکه بیش از ۹۰٪ منطقه از اراضی مرتعی کم تراکم تشکیل شده است.
- ۴- تبدیل اراضی مرتعی به زراعت دیم بدون رعایت اصول حفاظت خاک.

یکی از مسائل مهم و برنامه‌های پیشنهادی برای کنترل فرسایش خاک در منطقه، رعایت کاربری اراضی بر اساس قابلیت آن‌ها و همچنین اجرای برنامه‌های حفاظت خاک در اراضی کشاورزی است (Durán Zuazo & Rodríguez, 2008; Pleguezuelo, 2008). از طرف دیگر یکی از عوامل اثرگذار بر فرسایش، پایداری خاک‌دانه‌ها است که با استفاده

با شناخت عوامل تأثیرگذار بر فرسایش می‌توان جهت کنترل فرسایش تدابیری اندیشید (Das et al., 2023; Borrelli et al., 2021). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای با ارزیابی و برآورد خطر فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کرج با استفاده از روش‌های مورفومتری و تجربی پرداخته شد. نتایج نشان داد سد امیرکبیر از سال ۱۳۸۴ تاکنون نقش قابل‌ملاحظه‌ای در کنترل آب و فرسایش در طول رودخانه کرج داشته است (Zangane asadi et al., 2019); بنابراین با عنایت به نقشه پهنه‌بندی به‌دست‌آمده می‌بایست ضمن انجام عملیات کنترلی و اصلاحی در مناطق حساس به فرسایش تا حد امکان در این مناطق از هرگونه اقدامات و پروژه‌هایی مثل راه‌سازی، ساخت‌وساز و... که منجر به افزایش فرسایش می‌شود اجتناب نمود (Chen et al., 2023). فرسایش همواره در طبیعت صورت می‌گیرد و فرسایش طبیعی باعث کاهش ضخامت خاک نمی‌شود. آنچه باعث می‌شود فرسایش به یک بحران تبدیل شود دخالت‌های انسان در منابع طبیعی است که باعث می‌گردد شدت فرسایش افزایش یافته و به عبارتی باعث ایجاد فرسایش تشدیدشونده شود (Jenny et al., 2019; Sima, 2019; Zhao & Hou, 2019); بنابراین لازم است مناطق مختلف از نظر شدت و نوع فرسایش مورد مطالعه قرار گیرند و طبق این موارد برنامه‌ریزی و اقدامات مدیریتی انجام شود.

سرزمین منطقه انجام داد و میزان فرسایش را کاهش داد (Ebabu, 2022).

از فنونی می‌توان این پایداری خاکدانه‌ها را ارزیابی کرده و جهت پیش‌تر شدن پایداری خاکدانه‌ها اقداماتی از قبیل رعایت الگوی کشت و تناسب اراضی مطابق با طرح آمایش

References

- Abdullah, M., Feagin, R. & Musawi, L. (2017). The use of spatial empirical models to estimate soil erosion in arid ecosystems. *Environ. Monit. Assess.* 189(2), 78.
- Aksoy, H. & Kavvas M. L. (2005). A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, 64, 247–271.
- Barthes, B. & Roose, E. (2002). Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion validation at several levels. *Catena*, 47, 133-149.
- Borrelli, P., Alewell, Ch., Alvarez, P., Alexandre, J., Anache, A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A.M., Gessesse, G.D., Deumlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Freppaz, M., Gentile, F., Gericke, A., Haregeweyn, N., Hu, B., Jeanneau, A., Kaffas, K., Kiani-Harchegani, M., Villuendas, I.L., Li, Ch., Lombardo, L., López-Vicente, M., Lucas-Borja, M.E., Märker, M., Matthews, F., Miao, Ch., Mikoš, M., Modugno, S., Möller, M., Naipal, V., Nearing, M., Owusu, S., Panday, D., Patault, E., Patriche, C.V., Poggio, L., Portes, R., Quijano, L., Rahdari, M.R., Renima, M., Ricci, G.F., Rodrigo-Comino, J., Saia, S., Nazari Samani, A.A., Schillaci, C., Syrris, V., Kim, H.S., Spinola, D.N., Oliveira, P.T., Teng, H., Thapa, R., Vantas, K., Vieira, D., Yang, J.E., Yin, Sh., Zema, D.A., Zhao, G., & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis, *Science of The Total Environment*, 780, 146494, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494.
- Bronick, C.J. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124 (1), 3-22.
- Casabella-González, M.J., Borselli, L. & García-Meza, J.V. (2023). Improved MPSIAC model for soil erosion rate assessment in semiarid zones, *Journal of Arid Environments*, 212, 104946, doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104946.
- Chakherlou, S., Jafarzadeh, A., Ahmadi, A., Feizizadeh, B. & Shahbazi, F. (2021). Soil Wind Erodibility Zonation of the Urmia Lake Eastern shores. *Water and Soil Science*, 31(3), 1-14. doi: 10.22034/ws.2021.12189. (In Persian).
- Chen, S., Zhu, S., Wen, X., Shao, H., He, C., Qi, J., Lv, L., Han, L. & Liu, S. (2023). Mapping Potential Soil Water Erosion and Flood Hazard Zones in the Yarlung Tsangpo River Basin, China. *Atmosphere*. 14(1), 49. <https://doi.org/10.3390/atmos14010049>.
- Daneshvar, M.R.M. & Bagherzadeh, A. (2012). Evaluation of sediment yield in PSIAC and MPSIAC models by using GIS at Toroq Watershed, Northeast of Iran. *Front. Earth Sci.* 6, 83–94. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0189-7>
- Das, S., Sangode, S.J., Kandekar, A.M., Meshram, D.C. & Tarolli, P. (2023). Interrelation between factors controlling sediment yield in the largest catchment of Peninsular India. *Journal of Hydrology*, 622, Part B, 129680. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129680.
- Demirci, A. & Karaburun, A. (2012). Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed. *northwest Turkey, Environmental Earth Sciences*, 66(3), 903-913.
- Durán Zuazo, V.H. & Rodríguez Pleguezuelo, C.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 65–86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>.
- Ebabu, K., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Adgo, E., Fenta, A.A., Meshesha, D.T., Berihun, M.L., Sultan, D., Vanmaercke, M., Panagos, P., Borrelli, P., Langendoen, E.J. & Poesen, J. (2022). Global analysis of cover management and support practice factors that control soil erosion and conservation. *International*

- Soil and Water Conservation Research*. 10(2), 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.12.002>.
- FAO & ITPS. (2015). Status of the world's soil resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Haseli, M. & Jalalian, H. (2015). "Soil Erosion Risk Assessment and Zoning in the Aleshtar". *Catchment Spatial Analysis of Risks Journal*. 1(4), 91-104. (In Persian).
- Jarrah, M. Mayel, S. Tatarko, J. Funk, R. & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *Catena*, 187.
- Jenny, J.P., Koirala, S., Gregory-Eaves, I., Francus, P., Niemann, C., Ahrens, B., Brovkin, V., Baud, A., Ojala, A.E.K., Normandeau, A., Zolitschka, B. & Carvalhais, N. (2019). Human and climate global-scale imprint on sediment transfer during the Holocene. *Environmental Sciences*, 116(46), 22972-22976. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1908179116>
- Johnson, N.W. & Gembhart, C. (1982). Predicting sediment yield from sagerbrush range lands. *USDA-SEA-ARM western series*. No.26.
- Khalili Vavdareh, S., Shahnazari, A. & Sarraf, A. (2022). Investigating Anzali Wetland Sediment Estimation Using the MPSIAC Model. *Front. Earth Sci.* 10:736125. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.736125>
- Khanifar, J. Khadim al-Rasul, A.S. & Amirikhah, H. (2019). Modeling the stability of soil grains as an indicator of soil erodibility using geomorphometric parameters. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 43(1), 48-59. (In Persian).
- Mahdavi, M. (2006). Introduction to Hydrology. *Elm va Adab Publishers, Tehran, Iran*. (In Persian).
- Noori H., Karami H., Farzin S., Siadatmousavi. S.M., Mojaradi B. & Kisi O. (2018). Investigation of RS and GIS techniques on MPSIAC model to estimate soil erosion. *Nat. Hazard.*, 91(1), 221-238. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3123-9>.
- Novara, A., Pisciotta, A., Minacapilli M., Maltese, A., Capodici F., Cerdà A. & Gristina, L. (2018). The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor. A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches. *Science of the Total Environment*, 622, 474-480.
- Plieninger, T. (2008). Running Out of Soil, *BioScience*, 58(4), 363-364. <https://doi.org/10.1641/B580417>
- Refahi H.G. (2015). Water erosion and conservation. *Tehran: University of Tehran Publication* (In Persian).
- Safamanesh, R., Sulaiman, W.N.A. & Ramli, M.F. (2006). Erosion Risk Assessment using an Empirical Model of Pacific South West Inter Agency Committee Method for Zargeh Watershed, Iran. *Journal of Spatial Hydrology*, 6, 105-120.
- Sima, R.J. (2019). A dirty truth: Humans began accelerating soil erosion 4,000 years ago. *Eos*, 100, <https://doi.org/10.1029/2019EO137634>.
- Tabarestani, E.S., Afzalimehr, H. & Sui, J. (2022). Assessment of Annual Erosion and Sediment Yield Using Empirical Methods and Validating with Field Measurements. A Case Study. *Water*, 14, 1602. <https://doi.org/10.3390/w14101602>
- Yaghubnezhad ASL, N. & Abedini, M. (2018). Assessment and Zoning of the Soil Erosion Risk in Balekhli River Watershed of Yamci dam, Using Fuzzy Model. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 137-155.
- Zangane asadi, M.A. taghavi Moghadam. E. & beramali, F. (2019). Evaluating and estimating the risk of erosion and sediment in Karaj basin using morphometric and experimental methods. *Environmental Erosion Research*, 33(9:1), 105-125.
- Zarei, A.R., Mokarram M. & Shabani A. (2019). Evaluation of sediment yield (Qs) in Bishezard watershed located southwest of Iran, using PSIAC and MPSIAC models. *Int. J. Global Environ.* 18(1), 1-23.
- Zhao, L. & Hou, R. (2019). Human causes of soil loss in rural karst environments: a case study of Guizhou, China. *Sci Rep*, 9, 3225. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35808-3>.