



Research Paper

Determination of Soil Erosion and Sediment Estimation of Khorkhoreh Basin using Sediment Rating Curves

Mohammad Hossein Sedri^{1*}, Mehdi Karami Moghadam² and Ata Amini³

¹Assist. Professor, Soil and Water Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

²Assoc. Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

³Assoc. Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

Article information

Received: December 03, 2021

Revised: January 18, 2022

Accepted: January 20, 2022

Keywords:

Erosion

Kurdistan

Sedimentation

Soil protection

Watershed

*Corresponding author:

mh.sedri@areeo.ac.ir



Abstract

In order to plan and recognize the destructive condition of the watershed, it is indispensable to know the extent of erosion and sedimentation produced from each basin. In this study, the soil erosion and sediment estimation of the Khorkhoreh basin using Sediment Rating Curves were investigated. By integrating geological and geomorphological layers in GIS and removing polygons under 6 ha, 24 working units and 68 sub-basins were attained. To identify the erosion type through field visits, the Bureau of Land Management (BLM) scoring was carried out in each work unit. Using the sediment curve, the amount of total suspended load in the basin was obtained as 2990 ton/yr. With the calculations performed, the amount of specific sediment yield in the Khorkhoreh basin was found to be 25.3 ton/km². All types of erosion were seen in the portions of the basin, while most of the basin area belongs to the “sensitive” and “very sensitive” to erosion classes. Examination of erosion types showed that in most of the basin’s working units, all types of erosion such as Sheet erosion, Rill erosion, Gully erosion, Channel erosion, and Stream Bank erosion can be observed.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Since the early twentieth century, with the escalation of human exploitation of nature, erosion and its consequences have had adverse effects on life ecosystems. Accelerated soil erosion has been globally recognized as a serious problem since people took up agriculture. Soil erosion affects soil productivity by changing soil properties and particularly by destroying topsoil

structure, reducing soil volume and water holding capacity, reducing infiltration, increasing run-off, and washing away plant nutrients, such as nitrogen, phosphorous, and organic matter. In order to plan and recognize the destructive condition of the watershed, it is indispensable to know the extent of erosion and sedimentation produced from each basin. Controlling erosion requires information on relative erosion rates, spatial extents, vulnerable areas, current sources,



relative contributions from different sources and likely effects on water resources. This requires quantitative data to identify critical areas where urgent conservation is needed.

The soil loss caused by water erosion is particularly severe in Iran. With high erosion rates in many parts of Iran, efforts should be directed toward curtailing its hazard. In recent years, the Khorkhoreh basin in Kurdistan province has tackled severe water erosion. A review of previous studies shows that neither research nor estimation has been performed so far on the erosion type and its amount in the basin. The purpose of this study was to determine soil erosion and sediment estimation of the Khorkhoreh basin using Sediment Rating Curves.

Material and Methods

This study was accomplished on the Khorkhoreh watershed spanning an area of 42769.8 ha. Since there is no hydrometric station within the study area, so the data of hydrometric stations adjacent to the study area were used to study the discharge regime of the area. There are seven hydrometric stations around the study area, of which only two stations, Qabqablo and Sonteh, have long-term statistics. Data homogeneity analysis indicated that the sediment statistics of the Qabqablo station had good homogeneity, hence this station was used. Topographic and geological maps and aerial photographs of the study area were collected from the reference sites and maps. Then, by integrating geological and geomorphological layers in GIS and removing polygons under 6 ha, 24 working units and 68 sub-basins were attained. To identify the erosion type through field visits, the Bureau of Land Management (BLM) scoring was carried out in each work unit. To prioritize different basins in terms of erosion types, the map of hydrological units was combined with that of basin erosion types in the ArcView environment, and accordingly, the area of different erosion types was determined for each sub-basin.

The amount of basin erosion was estimated using spatial and field data. Then, by combining the results of spatial data at the sub-basin level, the

erosion types in the whole basin were determined and the quantitative results of sediment production were presented.

Results

Using the sediment curve, the amount of total suspended load in the basin was obtained as 2990 ton/yr. One of the parameters used in comparison among different basins in terms of erosion rate is specific sediment yield. This parameter equals the total load of the river per unit area of the basin and is expressed in $\text{ton}/\text{km}^2.\text{yr}$. The total load of the river is obtained by the sum of the bed load and suspended load (Fig. 1). With the calculations performed, the amount of specific sediment yield in the Khorkhoreh basin was found to be $25.3 \text{ ton}/\text{km}^2$. Units 1 and 21 with 152.2 and 8.9 ton/yr, respectively, have the highest and lowest amount of total load. Due to climatic conditions, type of geological formations, slope, and human interventions, two types of natural and intensified erosion can be observed in the Khorkhoreh watershed. Natural erosion includes mechanical erosion and intensified erosion includes Sheet erosion, Rill erosion, Gully erosion, Channel erosion, and Stream Bank erosion.

All types of erosion can be seen in many portions of the basin, while most of the basin area belongs to the sensitive and very sensitive erosion classes. The most important factors influencing the development of various erosion types and sediment yield in the Khorkhoreh basin include geological formations, climate and precipitation, topographic conditions, soil status, and land use. The existence of various formations with different sensitivity to erosion has caused the development of different erosion types in the basin. In order to control erosion and protect the soil of the Khorkhoreh basin, action can be taken against any type of erosion. Carrying out management operations such as agricultural control on slopes above 12%, performing biological operations, and establishing a balance between livestock and pasture can help control Sheet and Rill-type erosions. Moreover, mechanical operations can be performed to protect the soil of the basin from Gully, Channel and Bank erosion Stream.

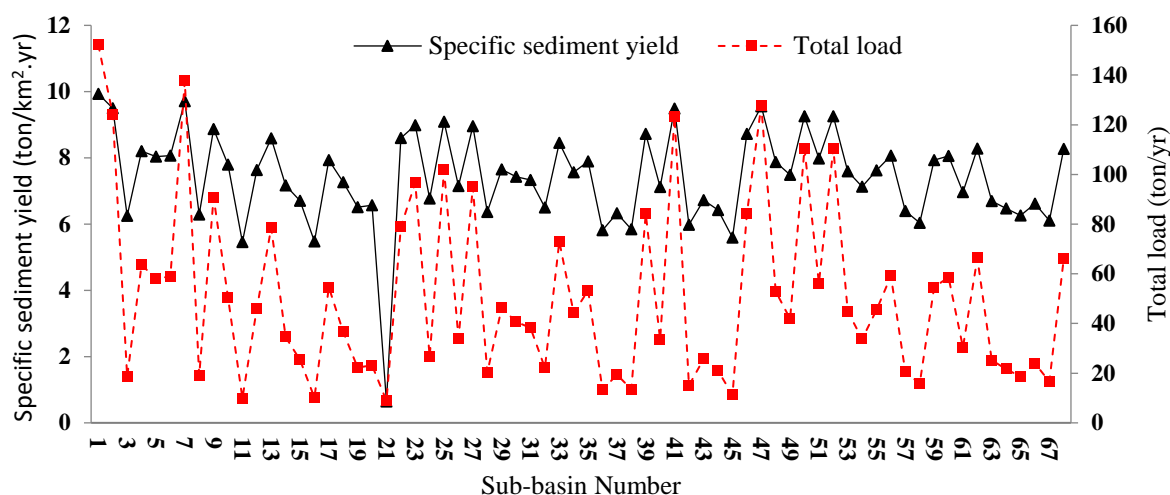


Fig. 1 Specific sediment yield and annual total load in sub-basins

Conclusion

In this study, by examining spatial data and field visits, the amount of sediment and different forms of erosion of Khorkhoreh watershed in Kurdistan province were investigated. To estimate the sediment of the basin, the sediment Rating Curves was used. To study the types of erosion, topographic maps, geology and aerial photographs of the study area were collected and by integrating geological and geomorphological layers in GIS environment, 68 sub-basins were defined. Through field visit, the Bureau of Land Management (BLM) method was scored in each work unit to determine the shape of erosion. The most important results of this research are as follows:

- The suspended load in the whole basin is 2990 ton/yr with regard to the Sediment Rating Curves. Also, the bed load is about 15% of the suspended load.
- The specific sediment yield in the basin was estimated as 25.3 ton/km².yr.

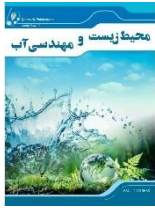
- Examination of erosion types showed that in most of the basin's working units, all types of erosion such as Sheet erosion, Rill erosion, Gully erosion, Channel erosion, and Stream Bank erosion can be observed.
- Units 1 and 21 with 152.2 and 8.9 ton/yr, respectively, have the highest and lowest amount of total load.

Conflicts of interest

The author (s) of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability

The data of this research were prepared in the Kurdistan Rangeland and Watershed Management Organization and were provided to the authors of the article based on the contract No. 26895-78-94. The data is available from the above office.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

تعیین اشکال فرسایش خاک و برآورد رسوب حوضه خورخوره با استفاده از منحنی سنجه رسوب

محمدحسین سدري^{۱*}، مهدی کرمی مقدم^۲ و عطا امینی^۳

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران
 دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
 دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۹/۱۲]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۱۰/۲۸]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۱۰/۳۰]

واژه‌های کلیدی:

کردستان
 رسوب‌گذاری
 فرسایش
 حفاظت خاک
 حوزه آبخیز

به‌منظور جلوگیری از تشدید فرسایش خاک در مدیریت حوزه‌های آبخیز، برآورد فرسایش، تعیین منبع تولید و اشکال فرسایش، ضروری است. در این پژوهش با بررسی داده‌های مکانی و بازدیدهای صحرایی، میزان رسوب و اشکال مختلف فرسایش حوزه آبخیز خورخوره در استان کردستان موردبررسی قرار گرفت. جهت برآورد رسوب حوضه از روش منحنی سنجه رسوب استفاده شد. همچنین برای بررسی انواع فرسایش، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه، جمع‌آوری و در سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد آنالیز قرار گرفتند. با این اطلاعات و برهم‌نهی لایه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، تعداد ۶۸ زیرحوضه به‌عنوان واحدهای کاری تعیین شد. سپس با بازدید صحرایی، نسبت به امتیازدهی به روش BLM در هر واحد کاری جهت تعیین شکل فرسایش اقدام شد. نتایج نشان داد مقدار رسوب معلق کل حوضه برابر ۲۹۹۰ ton/yr و مقدار بار کف حدود ۱۵٪ بار معلق می‌باشد. مقدار تولید رسوب ویژه حوضه ۲۵/۳ ton/km².yr برآورد شد. نتایج نشان داد در تعدادی از زیرحوضه‌ها تمامی اشکال فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای و رودخانه‌ای در حال رخ دادن است. همچنین غالب مساحت حوضه در کلاس حساس و خیلی حساس به فرسایش قرار دارند.

*نویسنده مسئول:

mh.sedri@areeo.ac.ir

۱- مقدمه

فرسایش خاک، به دلیل داشتن اثرات چندجانبه آشکار و پنهان محیط‌زیستی و اجتماعی، یکی از فرآیندهای پیچیده و

خطرناک محیطی است (Amini et al. 2021). فرسایش و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت



al. (2010) با استفاده از نمونه فیزیکی جهانی فرسایش خاک (USLE)، میزان فرسایش خاک را در حوضه لیاو چین، به کمک GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان متوسط بار رسوب حوضه ۱/۳ میلیون تن در سال برآورد شده که ۲۰٪ از رسوب مشاهداتی بیشتر است. De Baets and Poesen (2010) به منظور پیش‌بینی فرسایش و بررسی اثرات گیاهان در کاهش فرسایش از مدل‌های تجربی استفاده و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های تجربی دارای بیش‌تخمینی نسبت به داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند. (Bagarello et al. (2011 با استفاده از مدل‌های تجربی به برآورد هدرفت خاک در شیبه‌های متوسط پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که رواناب به‌عنوان یک متغیر اولیه مستقل در مدل‌سازی فرسایش رگبار نقش داشته، به‌نحوی که غلظت رسوب با توان رواناب افزایش می‌یابد. (Landi et al. (2011 در مطالعات خود بر روی ارزیابی تلفات خاک با استفاده از مدل WEPP^۱ و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اظهار نمودند که تلفات خاک برآورد شده توسط این مدل به میزان زیادی با داده‌های برآورد شده توسط مدل MPSIAC^۲ همبستگی دارد. Furlan et al. (2012) گزینه‌های مدیریتی را برای کاهش رواناب و تولید رسوب در جنوب شرقی فرانسه با استفاده از روش شبیه‌سازی هیدرولوژی و فرسایش مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند با تقسیم منطقه به دو قسمت، این روش برای اراضی کشاورزی نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. (Noori et al. (2017) با به‌کارگیری فن سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، میانگین فرسایش و رسوب ویژه و همچنین نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش در دو زیرحوضه بالادست سد دز به‌وسیله نمونه فیزیکی EPM^۳ را محاسبه کردند. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی، مناطق واقع در قسمت میانی و جنوبی منطقه، به‌دلیل داشتن پوشش گیاهی فقیر و ساختار زمین‌شناسی سست، دارای نرخ فرسایش بالایی می‌باشند.

حوضه خورخوره در استان کردستان در سال‌های اخیر با فرسایش آبی شدید مواجه بوده است. بررسی پژوهش‌های پیشین بیانگر این موضوع است که تاکنون پژوهشی که نوع و اشکال فرسایش و همچنین مقدار آن را در این حوضه برآورد

از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر بوم‌سازگان حیاتی وارد ساخته است (Lu et al. 2003). جهت برنامه‌ریزی و آگاهی از وضعیت تخریبی حوضه آبخیز، دانستن میزان فرسایش و رسوب تولیدی از هر حوضه لازم و ضروری می‌باشد. پیش‌بینی فرسایش خاک، همواره یکی از متداول‌ترین روش‌ها در مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است (Morgan and Nearing 2001).

فرسایش خاک بر اثر عامل آب بیش از ۵۶٪ از کل فرسایش در بیشتر حوضه‌ها را شامل می‌شود (Elirehema 2001). (Kokh-Shrestha (2002 با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام به پهنه‌بندی فرسایش و کاربری اراضی در حوضه خولا در کشور نپال نمود. ایشان مقدار فرسایش خاک را به میزان ۰/۱ تا ۰/۴ ton/ha در سال در اراضی با کاربری کشاورزی و آبی برآورد کرد. (Tajbakhsh and Memarian (2003 زیرحوضه کردیان با استفاده از مدل MPSIAC و GIS به ارزیابی فرسایش و رسوب پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که کل حوضه از نظر تولید رسوب به سه کلاس متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد طبقه‌بندی می‌شود. (De Vente et al. (2005 میزان فرسایش خاک در مخازن سدها در اسپانیا را با روش‌های نیمه کمی مطالعه و به این نتیجه رسیدند که این روش‌ها و به‌ویژه روش PSIAC، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند. (Tangestani (2006 برای دستیابی و آگاهی از وضعیت فرسایش حوضه افزار در استان فارس، به دو طریق استفاده از آمار رسوب‌سنجی و استفاده از مدل‌های تجربی اقدام نمود. (De vente and Poesen (2005 با مطالعه به‌منظور پیش‌بینی تولید رسوب در مقیاس حوضه آبخیز به این نتیجه رسیدند که برای برآورد نزدیک به واقعیت تولید رسوب در هر حوضه آبخیز، علاوه بر استفاده از مدل‌های شبه کمی، لازم است در استفاده از این مدل‌ها، از داده‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای نیز جهت کاربردی بودن نتایج استفاده شود. (Tajgardan et al. (2008) در طبقه‌بندی کیفی تلفات خاک در حوضه آبخیز زیارت نشان دادند که براساس مدل MPSIAC، وسعت زیادی از مساحت حوضه در کلاس فرسایشی متوسط طبقه‌بندی می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از مدل مورد بررسی با نتایج ضبط‌شده در ایستگاه هیدرومتری نشان داد که با استفاده از برخی مشاهدات صحرائی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان مقدار رسوب را در حوضه مورد مطالعه با دقت بالایی برآورد نمود. (Hui et

¹Water Erosion Prediction Project

²Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

³Erosion Potential Model

کوه‌های ناله خوشه، بردرش و گلوران و از غرب به کوه‌های چهل چشمه (کانی میر و دوزخدره) محدود شده است. در این پژوهش، این حوضه به ۶۸ واحد هیدرولوژیکی (زیرحوضه) تقسیم شد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و نقشه واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز خورخوره را نشان می‌دهد.

۲-۲- برآورد رسوب

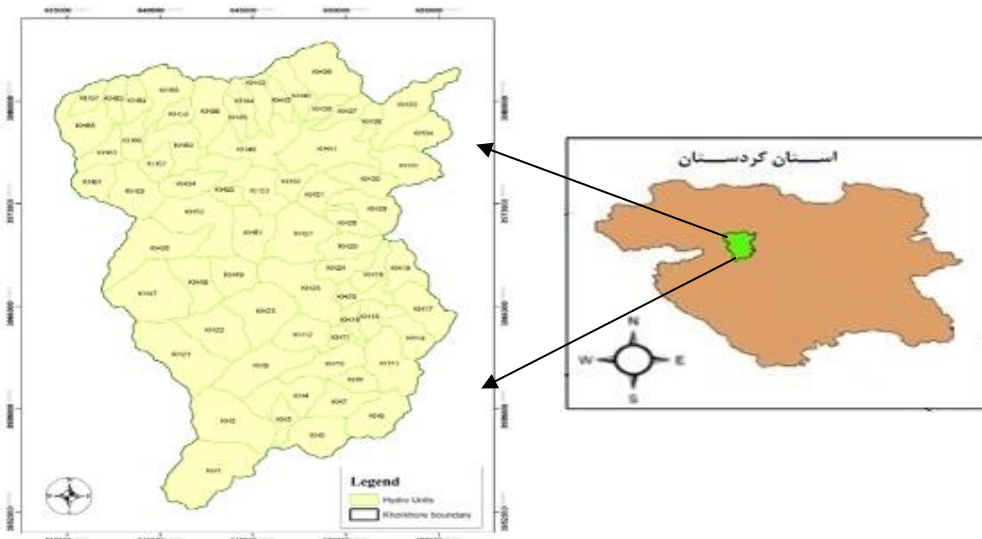
از آنجاکه در داخل محدوده مطالعاتی ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، لذا برای بررسی رژیم آبدی منطقه از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری مجاور منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در اطراف محدوده مطالعاتی تعداد هفت ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که صرفاً دو ایستگاه قبیلو و سنته، دارای آمار طولانی مدت می‌باشند.

کرده باشد، انجام نشده است. ضمن اینکه نتایج تحلیل اطلاعات مکانی با بازدیدهای صحرائی صحت سنجی و مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، میزان فرسایش حوضه برآورد شد. سپس با تلفیق نتایج داده‌های مکانی در سطح زیرحوضه، انواع فرسایش در کل حوضه مشخص و نتایج کمی تولید رسوب ارائه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز خورخوره با وسعت ۴۲۷۶۹/۸ ha در مختصات جغرافیایی ۲۹° ۴۶' تا ۴۳° ۴۶' طول شرقی و ۳۵° ۴۲' تا ۳۵° ۵۹' عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه از جنوب به کوه‌های درویشان، سورحال و سلطان اغزتو، از شمال به کوه‌های سرتزین، بردروازه و شاخ چناران، از شرق به



شکل ۱- موقعیت حوضه خورخوره

Fig. 1 Location of basin in Khorkhoreh Watershed

مساحتی به وسعت 660 km^2 از حوضه مورد مطالعه را پوشش می‌دهد.

۲-۲-۲- دبی مشاهداتی رسوبات

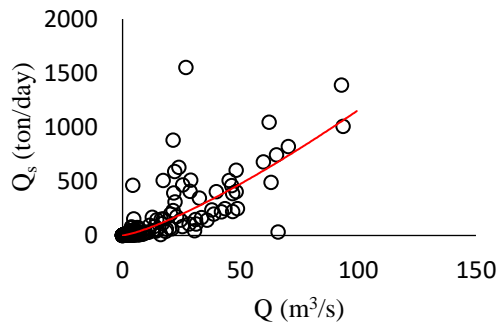
پس از اطمینان از همگنی داده‌های ایستگاه معرف، با استفاده از روش ترسیمی منحنی سنج رسوب، دبی متوسط مواد معلق در زیرحوضه‌های خورخوره، محاسبه شد. در این پژوهش با توجه به محدود بودن تعداد نمونه‌ها، ابتدا غلظت نمونه در حجم آب عبوری از ایستگاه در همان روز ضرب و رسوب روزانه به دست آمد. سپس با استفاده از دبی متوسط و

۲-۲-۲-۱- آزمون همگنی داده‌ها

قبل از استفاده از داده‌های یک ایستگاه، باید از همگن بودن داده‌ها اطمینان حاصل کرد (Amini 2020). همگنی داده‌های دو ایستگاه قبیلو و سنته با استفاده از آزمون توالی^۱ بررسی شدند. بررسی‌ها نشان داد آمار رسوب ایستگاه سنته همگنی مناسبی نداشته ولی آمار رسوب ایستگاه قبیلو دارای همگنی مناسب می‌باشد. لذا از آمار این ایستگاه استفاده شد. این ایستگاه با ارتفاع ۱۵۰۰ m از سطح دریا،

^۱Run Test

رسوب تهيه و منحنی سنجه رسوب رسم شد. نتایج در شکل (۲) نشان داده شده است.



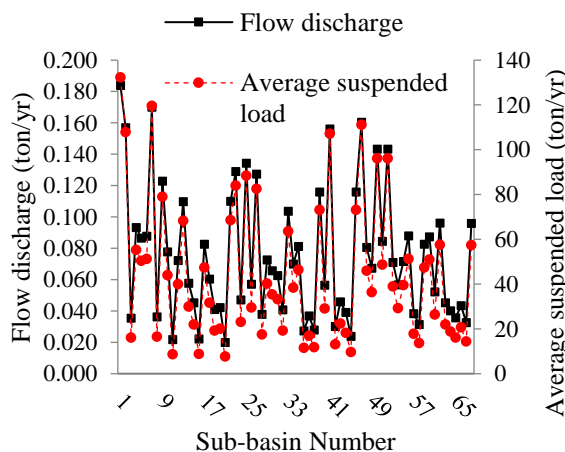
شکل ۲- منحنی سنجه رسوب ایستگاه قبقبلو

Fig. 2 Sediment rating curve in Ghabghabloo station

بهترین منحنی برازش داده شده داده‌ها با ضریب تبیین ۸۵ به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$Q_s = 3.172 Q^{1.2813} \quad (1)$$

که Q_s رسوب معلق برحسب ton/day و Q دبی جریان برحسب m^3/s می‌باشند. با استفاده از رابطه (۱) و مقادیر دبی در هر زیر حوضه، دبی رسوب معلق سالانه در تمام زیرحوضه‌ها تعیین شد. شکل (۳) نمونه دبی رسوب معلق سالانه برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با جمع رسوب متوسط سالانه کل زیرحوضه‌ها، مقدار رسوب معلق کل حوضه به میزان ۲۹۹۰ ton/yr حاصل شد.



شکل ۳- دبی جریان و رسوب در واحدهای هیدرولوژیکی

Fig. 3 Flow and sediment discharge in sub-basins

۳-۲- تعیین نسبت بار کف به مواد معلق

ذرات رسوبی در کف رودخانه به سه شکل لغزش، غلتیدن و جهش حرکت می‌کنند. در پژوهش حاضر با استفاده از روش مادوک (Hudson 1993) و با توجه به غلظت مواد معلق در آب، بافت مواد معلق و بار بستر، درصد بار کف تعیین شد.

رسوب روزانه، منحنی سنجه رسوب رسم شد. با انتقال دبی-های متوسط روزانه روی منحنی سنجه رسوب، وزن رسوب مربوط به آن روز را محاسبه و با جمع نمودن آن‌ها وزن کل مواد معلق تعیین شد.

۳-۲- نقشه‌های تیپ و اشکال فرسایش

نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه از سایت‌ها و نقشه‌های مرجع جمع‌آوری شد. به این منظور نقشه‌های توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌های سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. سپس با ادغام لایه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و حذف پلی‌گون‌های زیر ۶ ha، تعداد ۲۴ واحد کاری و ۶۸ زیرحوضه حاصل شد. هر تعداد زیرحوضه که همگن و دارای خصوصیات مشابه بودند، به عنوان یک واحد کاری در نظر گرفته شد. جهت بررسی درجه حساسیت به فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی حوضه، نقشه واحدهای کاری حوضه و نقشه‌های زمین‌شناسی در محیط ArcView تلفیق شده و مساحت هر سازند در هر واحد کاری تعیین شد. سپس با توجه به جنس سازندها، شاخص یا درجه حساسیت به فرسایش برای هر واحد تعیین شد. جهت تعیین تیپ فرسایش با بازدید صحرایی، امتیازدهی به روش BLM^۱ در هر واحد کاری انجام شد. برای تعیین اولویت حوضه‌های مختلف از نظر اشکال فرسایش، نقشه واحدهای هیدرولوژیک با نقشه اشکال فرسایش حوضه در محیط ArcView تلفیق و براین اساس، مساحت اشکال مختلف فرسایشی در هر زیر حوضه مشخص شد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- منحنی سنجه رسوب

با استفاده از دبی متوسط جریان و رسوب روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری قبقبلو، داده‌های دبی متناظر آب و

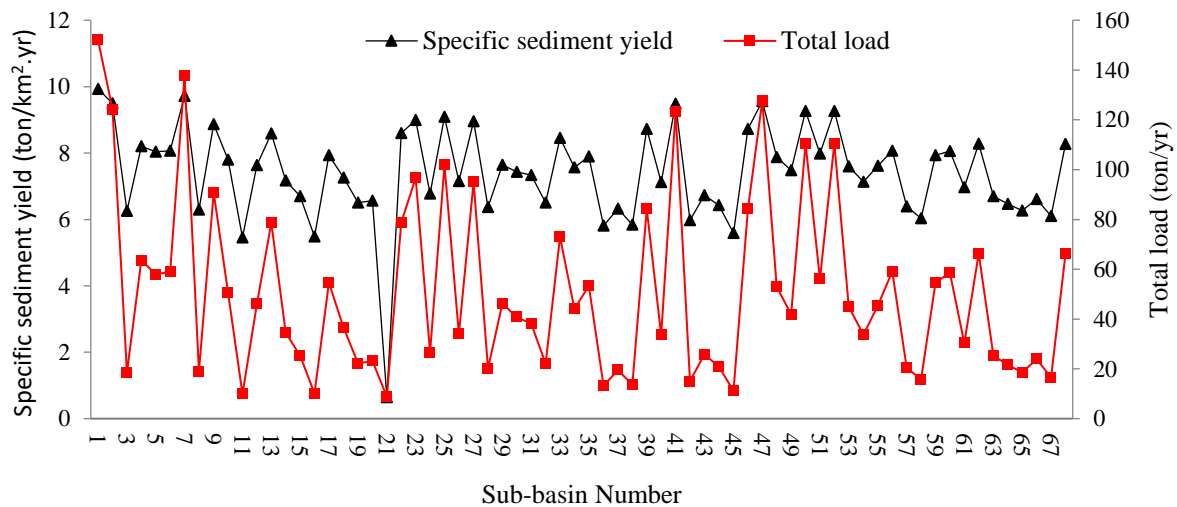
^۱Bureau of Land Management

کلاس‌بندی مادوک جهت تخمین بار بستر در جدول (۱) میزان بار کف به میزان ۱۵٪ را برآورد نمود.

جدول ۱- کلاس‌بندی مادوک برای تخمین بار بستر (Hudson 1993)

Table 1 Maddock's classification for estimation of the bed load (Hudson 1993)

Suspended Sediment Concentration (ppm)	River Bed Material	Suspended Elements Texture	Bed load discharge (% of suspended load)
<1000	Sand	Similar to the river bed	25-150
<1000	Gravel, Rocks, Hard clay	Low sand content	5-12
1000-7500	Sand	Similar to the river bed	10-35
1000-7500	Gravel, Rocks, Hard clay	25% Sand or less	5-12
>7500	Sand	Similar to the river bed	5-15
>7500	Gravel, Rocks, Hard clay	25% Sand or less	2-8



شکل ۴- تولید رسوب ویژه و رسوب کل سالانه زیرحوضه‌ها

Fig. 4 Specific sediment yield and annual total load in sub-basins

۳-۳- رسوب ویژه

یکی از پارامترهایی که برای مقایسه حوضه‌های مختلف از لحاظ میزان فرسایش و تخریب استفاده می‌شود، تولید رسوب ویژه است. تولید رسوب ویژه^۱ برابر میزان بار کل رسوب رودخانه در واحد سطح حوضه است که برحسب تن بر کیلومترمربع در سال بیان می‌شود (Chuenchum et al., 2020). بار کل رودخانه از جمع بار کف و بار معلق حاصل می‌شود. تولید رسوب ویژه زیرحوضه‌های موردبررسی در شکل (۴) نشان داده شده است. با محاسبات انجام شده، میزان تولید رسوب ویژه حوضه خورخوره $25/3 \text{ ton/km}^2.\text{yr}$ حاصل شد.

۴-۳- اشکال و تیپ فرسایش‌های حوضه

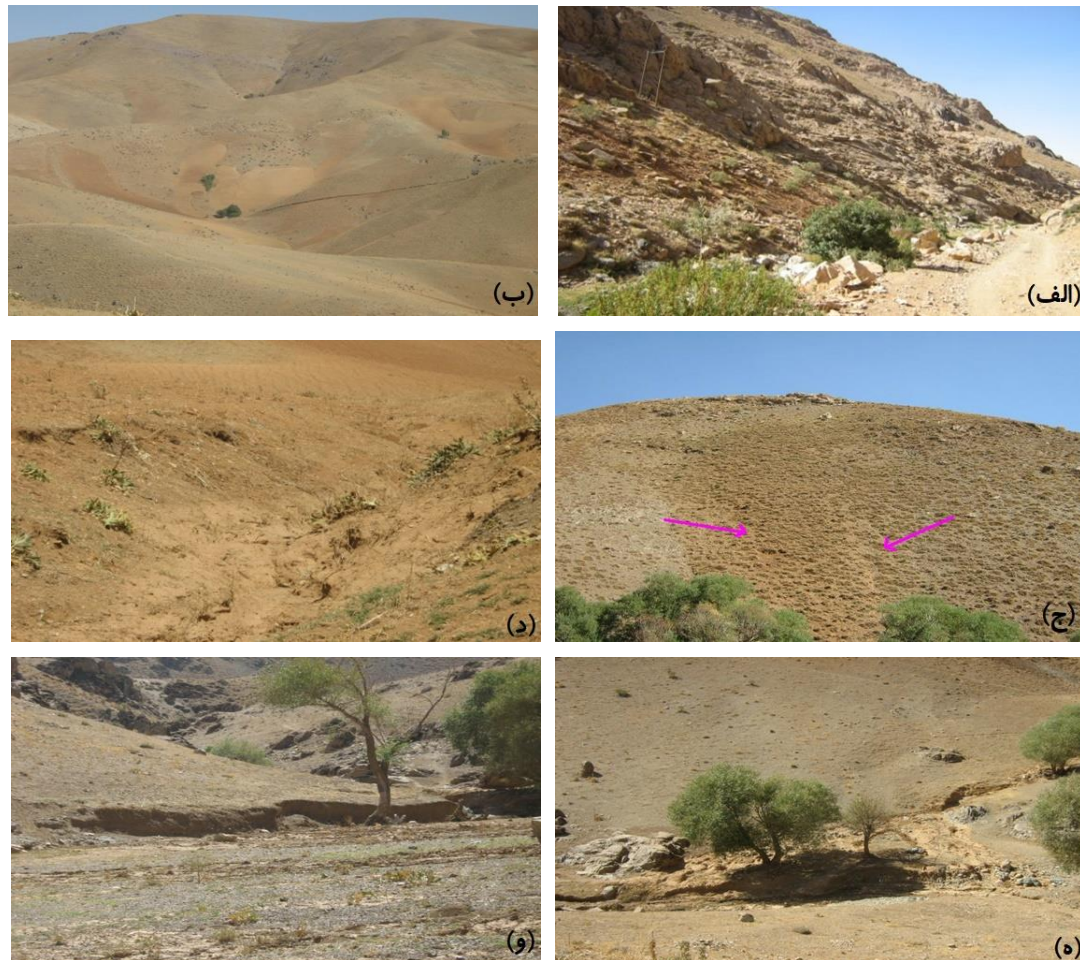
در حوزه آبخیز خورخوره به دلیل شرایط آب و هوایی، نوع سازندهای زمین‌شناسی، شیب و دخالت‌های انسان، دو نوع فرسایش طبیعی و تشدیددی قابل‌مشاهده می‌باشد. فرسایش

طبیعی شامل فرسایش مکانیکی و فرسایش تشدیددی شامل فرسایش‌های سطحی، شیاری، خندقی، آبراه‌ای و رودخانه-ای می‌باشند.

۳-۴-۱- فرسایش مکانیکی و سطحی

عوامل اصلی ایجاد و تشدید فرسایش مکانیکی (M) عوامل طبیعی است که با شدت‌های متوسط (M_2) و زیاد (M_3) در این حوضه دیده می‌شود. این فرسایش در ارتفاعات و روی قسمت‌های میانی دامنه زیر حوضه‌ها با شدت متوسط تا زیاد قابل‌مشاهده می‌باشند. فرسایش سطحی (S) جدا شدن لایه-ای نازک از مواد موجود در سطح خاک در اثر باران، باد و سائیدگی می‌باشد. این فرسایش در قسمت اعظم مناطق خاک‌دار حوضه خورخوره که مربوط به دامنه‌ها می‌باشد، با شدت کم (S_1)، متوسط (S_2) تا زیاد (S_3) دیده می‌شود. شکل (۵-الف و ۵-ب) نمایی از فرسایش مکانیکی و سطحی حوزه آبخیز خورخوره را نشان می‌دهد.

¹Specific Sediment Yield



شکل ۵- انواع فرسایش مشاهده شده در حوضه مورد مطالعه: الف) مکانیکی، ب) سطحی، ج) شیاری، د) خندقی، ه) آبراهه‌ای، و) رودخانه-ای

Fig. 5 Types of erosion observed in the study area: a) mechanical, b) sheet, c) rill, d) gully, e) channel, and f) bank

اشاره نمود. شکل (۵-ج و ۵-د) نمایی از فرسایش شیاری و خندقی حوضه آبخیز خورخوره را نشان می‌دهد.

۳-۴-۳- فرسایش آبراهه‌ای و رودخانه‌ای

فرسایش آبراهه‌ای (Ch) حالت پیشرفته‌تر فرسایش شیاری و خندقی می‌باشد و معمولاً به‌طور دائم در انتقال رسوب نقش دارد. این فرسایش در سطح این حوضه در آبراهه‌ها، قسمت‌های خروجی واحدهای هیدرولوژیک و آبراهه اصلی حوضه با شدت‌های کم (Ch_1) و متوسط (Ch_2) دیده می‌شود. فرسایش رودخانه‌ای (Sb) در مناطق مختلف و در دیواره‌های آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به‌وسیله نیروی برشی آب شکل می‌گیرد. این نوع فرسایش در این حوضه در کناره رودخانه اصلی (خورخوره) با شدت کم (Sb_1) و متوسط (Sb_2) قابل مشاهده است. وقوع این نوع فرسایش باعث تخریب اراضی و جاده‌های کنار آبراهه شکل‌گیری فرسایش و خارج شدن رسوب نسبتاً زیادی از حوضه گردیده است. نمایی از

۳-۴-۲- فرسایش شیاری و خندقی

فرسایش شیاری (R) در اثر حرکت آب در شیب از بالا به پایین در داخل شیارها و فرورفتگی‌های خاک ایجاد می‌شود. این نوع فرسایش در این حوضه با شدت‌های کم (R_1) و متوسط (R_2) دیده می‌شود. مهم‌ترین عامل در ایجاد این فرسایش در سطح حوضه، سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش (آهک و شیل‌های حوضه) و رگبارهای شدید در این حوضه می‌باشند. فرسایش خندقی یا آبکندی (G) بر اثر حمل خاک به‌وسیله آب‌های جاری ایجاد می‌شود. با توجه به وجود زمین‌های با بافت سفت در حوضه مورد مطالعه، این فرسایش به‌صورت V شکل بوده و دارای عمق‌های کم تا متوسط می‌باشند. خندق‌ها در حوضه آبخیز خورخوره در مناطق با شیب کم تا متوسط، با شدت‌های کم (G_1) و متوسط (G_2) دیده می‌شوند. از عواملی که باعث بروز تشدید این نوع فرسایش می‌شود می‌توان به زراعت دیم در شیب‌های بالای ۱۲ و ۲۰٪

فرسایش‌های آبراهه‌ای و رودخانه‌ای مورد بررسی در این پژوهش در شکل (۵-ه و ۵-و) آورده شده است.

۳-۵- پهنه‌بندی شدت و پتانسیل فرسایش

جدول ۲- فرم BLM و عوامل مؤثر در فرسایش برای واحدهای کاری

Table 2 BLM form and effective erosion factors in sub-basins

Sub-basin	The mass movement of soil	Litter covering	Rocky cover of ground	Consolidated rock fragments	Surface rills	Form of waterways	Development of gully erosion	Total scores
1	8	8	5	8	4	3	2	38
2	12	8	6	9	9	10	4	58
3	11	9	6	6	8	7	3	50
4	11	11	7	9	11	10	7	66
5	12	10	9	10	11	11	7	70
6	12	11	6	10	12	10	8	69
7	10	9	6	7	11	11	7	61
8	12	11	8	10	11	11	5	68
9	12	11	7	8	11	11	8	68
10	7	7	3	4	4	4	0	29
11	10	9	6	6	10	9	1	51
12	11	11	10	9	11	10	7	69
13	10	9	5	8	10	9	0	51
14	10	10	6	8	10	11	3	58
15	10	10	9	9	11	10	6	65
16	10	9	6	8	11	10	6	60
17	11	11	7	8	11	11	4	63
18	12	11	9	9	12	11	8	72
19	9	9	5	7	10	9	2	51
20	7	7	8	5	5	5	1	38
21	11	10	9	10	11	10	5	66
22	10	9	7	9	10	11	2	58
23	11	10	5	7	10	10	5	58
24	11	11	5	9	11	12	7	66
Erosion Index	11.3	10.6	7.8	8.5	11.1	10.5	6	65.5

خاک و وضعیت کاربری اراضی می‌باشند. وجود سازندهای مختلف با حساسیت متفاوت به فرسایش، باعث شکل‌گیری اشکال مختلف فرسایش در سطح حوضه شده است. همچنین وقوع بارندگی‌های شدید و یخبندان‌های طولانی، شیب‌های تند، چرای بی‌رویه و تبدیل مراتع به دیم‌زار از عوامل تشدیدکننده فرسایش بوده‌اند. علیرغم اینکه عوامل مختلف ایجاد فرسایش دارای تأثیر متفاوتی در میزان رسوب‌دهی در حوضه هستند، به نظر می‌رسد اثر پارامترهایی تشدیدکننده فرسایش با عوامل ایجادکننده آن دارای تفاوت‌هایی باشد. به‌عنوان مثال در بازدیدهای صحرائی مشاهده شد که پوشش گیاهی به‌شدت در حال تغییر و اراضی در راستای تشدید فرسایش در حال تغییر کاربری می‌باشند. این موضوع در پژوهش (Amini (2018 نیز اشاره شده است. همچنین این

همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهند، واحد کاری ۱۸ که ۴۰٪ مساحت حوضه را در برمی‌گیرد، تمام اشکال فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، آبراهه‌ای و رودخانه‌ای با درجه متوسط را شامل می‌شود. همچنین در اکثر واحدهای کاری، همه انواع فرسایش دیده می‌شود. شکل (۶) پتانسیل فرسایش خاک واحدهای زمین‌شناسی حوضه خورخوره را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل (۶) نشان می‌دهد، بیشتر مساحت حوضه در کلاس حساس و خیلی حساس به فرسایش قرار دارند. در اکثر بخش‌های حوضه، همه انواع فرسایش دیده می‌شود. ضمن اینکه غالب مساحت حوضه در کلاس حساس و خیلی حساس به فرسایش قرار دارند. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در روند شکل‌گیری اشکال مختلف فرسایش و تولید رسوب در حوضه خورخوره شامل سازندهای زمین‌شناسی، اقلیم و بارش، وضعیت توپوگرافی، وضعیت

نتیجه با یافته‌های (Bayat and Rostami (2016) در خصوص نقش عوامل مختلف در فرسایش هم‌خوانی دارد.

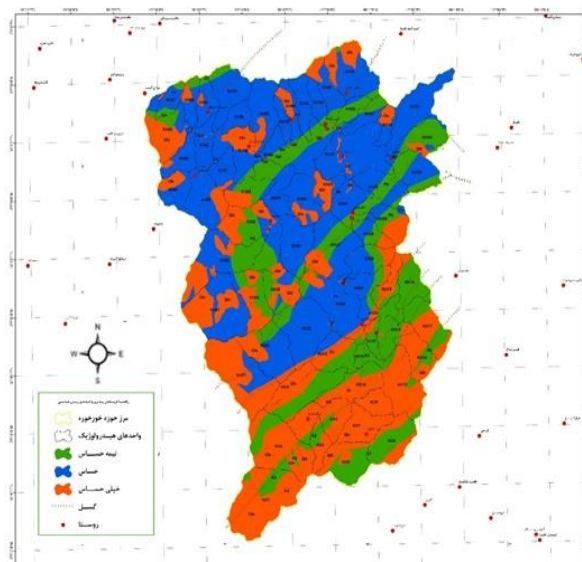
جدول ۳- نوع فرسایش هرکدام از واحدهای کاری و درصد مساحت مربوطه
Table 3 Erosion type of each unit and percentage of relevant area

Units	Area (ha)	Area (%)	Geomorphology facies	Geological	Sum of points	Erosion type
1	54.5	0.1	Ls	Ev	38	S2+R1+M2
2	250	0.6	Ls	K1	58	S3+R2+Sb1+Ch2+M2
3	70.4	0.2	Ls	K3	50	S3+R1+Ch1+M2+Ls1
4	1459.5	3.4	Ls	K4	66	S3+R2+G1+Ch2+Sb2+M3
5	293.4	0.7	Ls	K6	70	S3+R2+G2+Ch2+Sb2+M2
6	56.5	0.1	Ls	K7	69	S3+R2+G2+Ch2+M2+D1
7	271.8	0.6	Ls	Klv	61	S3+R2+Ch1+D1
8	1304.2	3.0	Ls	Pd	68	S3+R2+G1+Ch2+M2+Ls2
9	4114.6	9.6	Ls	Ps	68	S3+R2+G2+Ch1+Sb1+M2
10	468.9	1.1	mIc	Ev	29	S1+M3
11	1563.5	3.7	mIc	K1	51	S2+R2+Ch2
12	2974.2	7.0	mIc	K3	69	S3+R2+G1+Ch2+Sb1
13	3575.9	8.4	mIc	K4	51	S3+R1+M2+D1
14	338.6	0.8	mIc	K6	58	S3+R2+Ch1+M1
15	860.0	2.0	mIc	K7	65	S3+R1+G1+Ch2+M2+D1
16	166.4	0.4	mIc	Klv	60	S3+R1+Ch1+Sb1
17	4581.7	10.7	mIc	Pd	63	S3+R2+Ch1+M1
18	17114.4	40.0	mIc	Ps	72	S3+R2+G2+Ch2+Sb2
19	322.7	0.8	mIo	K1	51	S3+R2+Ch1+Sb1+M1
20	92.0	0.2	mIo	K3	38	S2+Sb1+M2+D2
21	1206.5	2.8	mIo	K4	66	S3+R2+G1+Ch1+M2
22	381.7	0.9	mIo	K6	58	S3+R1+Ch1+M2
23	434.6	1.0	mIo	Pd	58	S3+R1+Ch1+M2+D1
24	814.2	1.9	mIo	Ps	66	S3+R2+Ch2+Sb2

بالای ۱۲٪، انجام عملیات بیولوژیکی و برقراری تعادل بین دام و مرتع می‌تواند به کنترل فرسایش‌های نوع سطحی و شیاری کمک کند. برای حفاظت خاک حوضه از فرسایش‌های خندقی، آبراه‌های و رودخانه‌ای، می‌توان عملیات مکانیکی همچون احداث سدهای خشکه‌چین، گابیون و دیوارهای طولی در کناره‌های آبراه‌های اصلی را در دستور کار قرار داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان رسوب و اشکال فرسایش حوزه آبخیز خورخوره مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری در محدوده طرح، جهت برآورد رسوب حوضه، داده‌های ایستگاه‌های مجاور منطقه مورد مطالعه به لحاظ همگنی و کفایت داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت ایستگاه قبقلو جهت تهیه منحنی سنج رسوب و برآورد رسوب معلق سالانه انتخاب شد. همچنین با بررسی‌های میدانی و تکمیل فرم BLM، اشکال فرسایش و شدت آن‌ها تعیین گردید. مهم‌ترین نتایج این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۶- پتانسیل فرسایش خاک واحدهای زمین‌شناسی حوضه خورخوره

Fig. 6 Soil erosion potential in geological units of Khorkhoreh Watershed

جهت کنترل فرسایش و حفاظت خاک حوزه خورخوره، برای هر نوع فرسایش می‌توان اقدامی را در دستور کار قرار داد. انجام عملیات مدیریتی از نوع کنترل زراعت در شیب‌های

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش در اداره کل مرتع و آبخیزداری استان کردستان تهیه و به استناد قرارداد شماره ۹۴-۷۸-۲۶۸۹۵ مورخ ۱۳۹۴/۱۲/۲۶ در اختیار نویسندگان مقاله قرار داده شده است. این داده‌ها از اداره فوق‌الذکر قابل دسترسی می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۱- اکثر واحدهای کاری حوضه، همه انواع فرسایش سطحی، شیاری، خندقی، آبراه‌های و رودخانه‌های دیده می‌شود. مقدار رسوب معلق کل حوضه با استفاده از منحنی رسوب سنج، ۲۹۹۰ ton/yr است.

۲- مقدار تولید رسوب ویژه حوضه مورد مطالعه برابر ۲۵/۳ ton/km².yr برآورد شد. این مقدار در واحدهای کاری مختلف متفاوت به دست آمد.

۳- مقدار بار کف محاسبه شده در کل حوضه معادل ۱۵٪ بار معلق برآورد شد.

۴- واحدهای ۱ و ۲۱ با ۱۵۲/۲ و ۸/۹ ton/yr به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بار کل را در حوضه داشتند.

References

- Amini, A. (2018). Introductory Chapter: Sustainable development and sediment engineering. *Sedimentation Engineering*, 1. DOI. 10.5772/intechopen.74683.
- Amini, A. (2020). The role of climate parameters variation in the intensification of dust phenomenon. *Nat. Hazard.*, 102(1), 445-468. DOI.10.1007/s11069-020-03933-w
- Amini, A., Khaledian, H. and Shafaei, H. (2021). Field evaluation of soil erosion yield and the FSM model efficiency in Zarivar lake basin, Kurdistan, Iran. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 21(4), 584-594. DOI. 10.1016/j.ecohyd.2021.04.002
- Bagarello, V., Di Stefano, C., Ferro, V., Kinnell, P. I. A., Pampalona, V., Porto, P. and Todisco, F. (2011). Predicting soil loss on moderate slopes using an empirical model for sediment concentration. *J. Hydrol.*, 400(1-2), 267-273. DOI. 10.1016/j.jhydrol.2011.01.029
- Bayat, R. and Rostami, M. (2016). Assessment of soil erosion and watershed prioritization using empirical models EPM and MPSIAC (Case Study: Aro watershed). *Nat. Ecosyst. Iran*, 7(1), 19-32 [In Persian].
- Chuenchum, P., Xu, M. and Tang, W. (2020). Estimation of soil erosion and sediment yield in the Lancang-Mekong river using the modified revised universal soil loss equation and GIS techniques. *Water*, 12(1), 135. DOI. 10.3390/w12010135
- De Baets, S. and Poesen, J. (2010). Empirical models for predicting the erosion-reducing effects of plant roots during concentrated flow erosion. *Geomorph.*, 118(3-4), 425-432. DOI. 10.1016/j.geomorph.2010.02.011
- De Vente, J. and Poesen, J. (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. *Earth Sci. Rev.*, 71(1-2), 95-125. DOI.10.1016/j.earscirev.2005.02.002
- De Vente, J., Poesen, J. and Verstraeten, G. (2005). The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *J. Hydrol.*, 305(1-4), 63-86. DOI. 10.1016/j.jhydrol.2004.08.030
- Elirehema, Y. S. (2001). Soil water erosion modeling in selected watersheds in Southern Spain. IFA, ITC, Enschede.
- Furlan, A., Poussin, J. C., Mailhol, J. C., Le Bissonnais, Y. and Gumiere, S. J. (2012). Designing management options to reduce surface runoff and sediment yield with farmers: An experiment in south-western France. *J. Environ. Manage.*, 96(1), 74-85. DOI. 10.1016/j.jenvman.2011.11.001
- Hudson, N. (1993). Field measurement of soil erosion and runoff (Vol. 68). Chapter 5: Sediment transport, Food and Agriculture Organization of the United Nations (Food & Agriculture Org.), Rome, Italy
- Hui, L., Xiaoling, C., Lim, K. J., Xiaobin, C. and Sagong, M. (2010). Assessment of soil erosion and sediment yield in Liao watershed, Jiangxi Province, China, Using USLE, GIS,

- and R S. J. Earth Sci., 21(6), 941-953. DOI. 10.1007/s12583-010-0147-4
- Kokh-Shrestha, M. (2002). Soil erosion modeling using remote sensing and GIS: A case study of JHIKHU KHOLA watershed, Nepal. In Asian Conference on Remote Sensing. http://www.a-a-rs.org/acrs/proceeding/ACRS2002/Papers/SA_G02-7.pdf
- Landi, A., Barzegar, A. R., Sayadi, J. and Khademalrasoul, A. (2011). Assessment of soil loss using WEPP model and geographical information system. J. Spat. Hydrol., 11(1), 40-51 [In Persian].
- Lu, H., Prosser, I. P., Moran, C. J., Gallant, J. C., Priestley, G. and Stevenson, J. G. (2003). Predicting sheetwash and rill erosion over the Australian continent. Soil Res., 41(6), 1037-1062. DOI. 10.1071/SR02157
- Morgan, R.P.C. and Nearing, M.A. (2001). The future role of information technology in erosion modeling. Handbook of erosion Modeling, Chapter 1, DOI. 10.1002/9781444328455.ch1
- Noori, H., Siadatmousavi, S. M. and Mojaradi, B. (2017). Estimation of soil erosion and sediment yield based on satellite imagery using the GIS technique and employing erosion potential method (EPM) on watersheds (Case study: the Dez Watershed). J. Manage. Syst., 10(32), 45-54 [In Persian].
- Tajbakhsh, S.M. and Memarian, H. (2003). The Sediment yield potential estimation of Friabad and Kordian urban watershed using MPSIAC Model in the GIS Framework, Map Asia, 2nd Annual Asian Conference, Malaysia, Kuala Lumpur.
- Tajgardan, T., Ayoubi, S. A. and Shataei, J. S. (2008). Soil erosion and sediment yield assessment using MPSIAC model, remote sensing and geographic information systems (Case study: Ziarrat watershed). Pajouhesh and Sazandegi, 21(2), 37-45. [In Persian]
- Tangestani, M. H. (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. J. Asian Earth Sci., 27(5), 585-597. DOI. 10.1016/j.jseaes.2005.06.002

How to cite this paper:

Sedri, N., Karami Moghadam, M. and Amini, A. (2022). Determination of soil erosion and sediment estimation of Khorkhoreh basin using sediment rating curves. Environ. Water Eng, 8(3), 698-710. DOI: 10.22034/JEWE.2022.318097.1688