



Environment and Water Engineering

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)



ISSN: 2476-3683

Research Paper

## Estimation of Soil Erosion Rate in Gaushan Watershed Using RUSLE 3D Model

Seyed Dana Hesami<sup>1</sup>, Habib Nazarnejad<sup>2\*</sup>, Mahdi Erfanian<sup>3</sup>, Hiran Abghari<sup>3</sup>,  
Mohamad Ali Mahmoodi<sup>4</sup> and Mohamad Rostami Khalaj<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Alumnus, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Range and watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>4</sup>Assist. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>5</sup>Assist. Professor Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

### Article information

**Received:** October 20, 2023

**Revised:** February 02, 2024

**Accepted:** February 03, 2024

### Keywords:

Geographic Information System  
Gaushan  
NDVI  
RUSLE 3D

\*Corresponding author:

[h.nazarnejad@gau.ac.ir](mailto:h.nazarnejad@gau.ac.ir)



### Abstract

To reduce soil erosion, one of the most important issues is to quantify the amount of erosion and sediment so that planners can make correct decisions in line with the integrated management of watersheds. In this research, in order to evaluate the rate of erosion in the Gaushan watershed, we used the global equation of soil erosion in three dimensions and the geographic information system and remote sensing. The results of RUSLE 3D model were compared with the results of RUSLE model and real values. The rain erosivity factor was calculated using rainfall data and interpolation techniques. Soil erodibility was obtained using the soil map of the region. Land cover factor was calculated using NDVI index. The LS factor was also obtained using the DEM. The main difference between the RUSLE 3D model and the RUSLE model is the difference in how to calculate the LS factor in the RUSLE 3D model. The obtained results showed that the annual average erosion is 5.02 ton/ha/y. In the detailed studies of Gaushan watershed, the rate of erosion is 4.5 ton/ha/y. These results show that the RUSLE 3D model, in which the LS factor has been modified, has been able to estimate the basin erosion well.

**How to cite this paper:** Hesami, S. D., Nazarnejad, H., Erfanian, M., Abghari, H., Mahmoodi, M. A., & Rostami Khalaj, M. (2024). Estimation of soil erosion rate in Gaushan watershed using RUSLE 3D model. *Environ. Water Eng.*, 10(3), 392-407. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.421459.1898> (In Persian)



© 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/>).



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

With the ever-increasing productivity of natural resources, the amount of soil erosion in many countries has exceeded the permissible limit, and this has forced experts and officials to focus their attention on this issue. Also, determining the methods and techniques related to estimating the amount of erosion is one of the important challenges among researchers and decision makers. On the other hand, the effectiveness of the soil erosion study is determined by the way of choosing the model, which depends on the objectives, characteristics of the basin and the amount of available information. Therefore, several studies have been conducted using different methods and models in relation to the estimation of erosion rate. In Iran, the rate of erosion is much higher than the permissible limit and the global average limit, and therefore, investigating and estimating the rate of erosion in Iran is of double importance and should be given more attention. In Kurdistan province, due to various reasons such as land use changes, excessive use of land, excessive grazing, etc., the rate of erosion is increasing and this is considered a threat to the province. One of the most important basins in terms of land use changes and land value is the Gaushan watershed, which is located in the three provinces of Kurdistan, Kermanshah and Hamadan. Therefore, the purpose of this study is to investigate and estimate the amount of erosion in the Gaushan watershed, with the results of which managers and decision makers can provide important and strategic solutions to control erosion and take practical measures to control erosion.

### Material and Methods

The Gaushan watershed has an area of 206,000 ha, and the Gaushan dam lake is located in the western part of the basin. (Fig. 1). The present study estimated the erosion rate of Gaushan watershed using RUSLE 3D model. RUSLE 3D model has six factors whose values were calculated in this research. These factors include: the rate of rain erosivity, soil erodibility, slope degree and slope length, cover and protective measures. In this research, the statistics of 14 weather stations in the region were used to estimate the R factor in an 18-year period between 2005 and 2022.

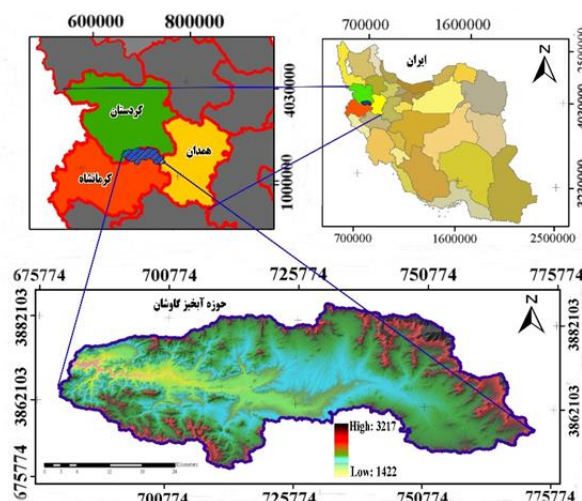


Fig. 1 Location of the Gaushan Watershed

To calculate the soil erodibility factor, a soil map was prepared and the soil erodibility map was calculated using the American classification. Slope length factor and slope degree were obtained using GIS and Mitsava formula. The coverage factor was also prepared using the GEE system of the land use map and calculated using the NDVI index. Due to the fact that no significant conservation measures have been taken in the Gaushan watershed, the protection operation factor was considered one. The most important difference between the RUSLE and RUSLE 3D models is the difference in how the LS factor is calculated, which was calculated in a modified form in the RUSLE 3D model. After calculating all the factors in the GIS environment, they were multiplied together and the erosion rate of the basin was estimated.

### Results

The obtained results show important information regarding the amount and intensity of erosion in the basin, which can solve many problems in the basin (Fig. 2). The results show that 43.2% of the basin is affected by low erosion. Usually, the amount of erosion less than 1 ton/ha/y is considered as low erosion. Areas with low erosion are mostly observed in lands with a gentle slope and rangelands with more than 40% vegetation cover. The areas with moderate erosion include 39.6% of the basin, which includes most of the areas with agricultural use and riverside lands with a low slope. The rate of erosion in these lands is between 1 and 5 ton/ha/y.

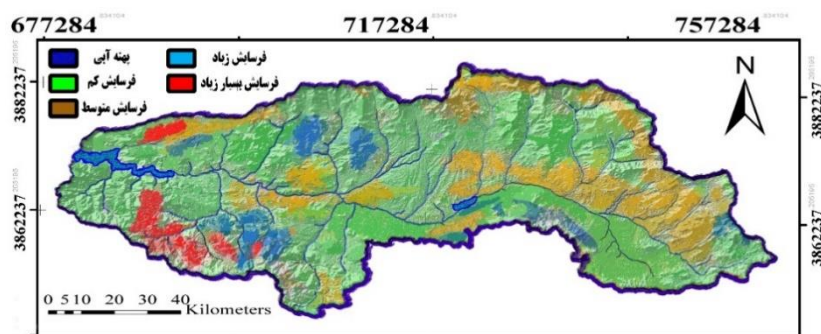


Fig. 3 Map of average annual erosion of Gaushan watershed

Nearly 11.2% of the basin is made up of areas with high erosion. Most of these areas have a high slope and are used for agriculture, and the study of old aerial photographs indicates that the use of these lands has changed over the past years and has changed from rangeland to agricultural use. The amount of erosion in these lands is between 5 and 12 ton/ha/y and on average 8 ton/ha/y. In this study, 6% of the lands had very severe erosion, which includes areas with a high slope and no cover, which was observed in the field visits.

### Conclusion

According to the implementation of the RUSLE 3D model and the field studies conducted in the region, it was concluded that:

1. The RUSLE 3D model was able to have a proper estimate of the erosion rate of the basin and this model can be used for the adjacent basins.
2. The western part of the basin has a higher erosion rate, which is caused by more rainfall, the presence of more agricultural land, the presence of the dam lake in the west of the basin, and finally, the larger population.
3. The output results of the model showed that the annual average erosion rate of the basin is equal to 5.02 ton/ha/y, which is a progressive erosion rate that can take on higher values in the following periods, because field studies showed that rangelands that They are located in the

vicinity of agricultural lands, which are heavily affected by plowing and are being converted into agricultural lands.

4. By examining two methods for measuring the LS factor, it showed that the results of the 3D method used in this research are more consistent with the reality of the region and estimated a more accurate estimate of the erosion rate.
5. By comparing the results obtained from the RUSLE 3D model and RUSLE (Mahmoodi and Naghshbandi, 2019), it was observed that the RUSLE 3D model estimated the amount of erosion in different parts more than the RUSLE model and was closer to reality.

### Acknowledgement

Hereby, we express our gratitude to the vice president of watershed management of the General Department of Natural Resources and Watershed Management of Kurdistan province for providing the data and information needed for this research, as well as their spiritual support.

### Data Availability

The data used or generated in this research are presented in the text of the article.

### Conflicts of interest

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



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## برآورد میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز گاوشان با استفاده از مدل RUSLE 3D

سید دانا حسامی<sup>۱</sup>، حبیب نظرزاد<sup>۲\*</sup>، مهدی عرفانیان<sup>۳</sup>، هیراد عبقری<sup>۴</sup>، محمدعلی محمودی<sup>۵</sup> و محمد رستمی خلج<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<sup>۲</sup>دانشیار، گروه آبخیزداری دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

<sup>۴</sup>استادیار علوم و مهندسی علوم خاک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

<sup>۵</sup>استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۷/۲۸]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۱۱/۱۳]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۱۱/۱۴]

### واژه‌های کلیدی:

سامانه اطلاعات جغرافیایی

گاوشان

NDVI

RUSLE 3D

\*نویسنده مسئول:

[h.nazarnejad@gau.ac.ir](mailto:h.nazarnejad@gau.ac.ir)



برای کاهش فرسایش خاک، یکی از مهم‌ترین مسائل، کمی کردن میزان فرسایش و رسوب است تا تصمیم‌های صحیحی در راستای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز توسط برنامه‌ریزان گرفته شود. در این پژوهش به منظور ارزیابی میزان فرسایش حوزه آبخیز گاوشان از معادله جهانی فرسایش خاک به صورت سه بعدی و سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده شد. در این پژوهش نتایج مدل RUSLE 3D با نتایج مدل RUSLE و مقادیر واقعی مقایسه شد. عامل فرسایش باران با استفاده از اطلاعات بارش و فن‌های درون‌یابی محاسبه شد. فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از نقشه خاک منطقه به دست آمد. عامل پوشش زمین با استفاده از شاخص NDVI محاسبه شد. عامل پستی و بلندی نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به دست آمد. تفاوت اصلی مدل RUSLE 3D و مدل RUSLE تفاوت در نحوه محاسبه عامل پستی و بلندی (LS) در مدل RUSLE 3D می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان داد که میانگین سالانه فرسایش  $5.02 \text{ ton/ha/y}$  است. در مطالعات تفصیلی حوزه آبخیز گاوشان میزان فرسایش  $4.5 \text{ ton/ha/y}$  است. این نتایج نشان می‌دهد مدل RUSLE 3D که عامل پستی و بلندی (LS) در آن اصلاح شده است به خوبی توانسته است فرسایش حوزه را برآورد کند.

### نحوه استناد به این مقاله:

حسامی، سید دانا، نظرزاد، حبیب، عرفانیان، مهدی، عبقری، هیراد، محمودی، محمدعلی. & رستمی خلج، محمد. (۱۴۰۳). برآورد میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز گاوشان با استفاده از مدل RUSLE 3D. محیط زیست و مهندسی آب. 10 (3) 392-407

<https://doi.org/10.22034/ewe.2024.421459.1898>





## ۱- مقدمه

مدل‌ها از لحاظ مختلف مانند پیچیدگی، نحوه محاسبات، داده‌های مورد نیاز برای کالیبره کردن مدل و کاربرد مدل، تفاوت‌های عمده‌ای با هم دارند (Merritt et al. 2003). یکی از مدل‌هایی که در سالیان اخیر مورد استفاده محققین قرار گرفته‌است، مدل RUSLE یا همان معادله جهانی فرسایش خاک می‌باشد. (Babaei et al. 2016). پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D در حوزه آبخیز کن پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق در زمینه کاربرد مدل در این منطقه دلالت بر این داشت که مدل میزان فرسایش حوضه را بسیار بیش‌تر از حد انتظار تخمین زده است. آن‌ها دریافتند که مدل RUSLE 3D برای برآورد وضعیت فرسایش حوزه آبخیز کن مناسب نیست. (Kaffas et al. 2021) به بررسی میزان فرسایش تولیدشده در حوزه آبخیز آلپین ایتالیا با استفاده از مدل RUSLE پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود میزان فرسایش بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل توانایی مناسبی در برآورد میزان رسوب داشته است. (Amini et al. 2022). به تعیین میزان فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC و سامانه GIS در حوضه خورخوره استان کردستان پرداختند. آن‌ها با جمع امتیازات عوامل، درجه‌ی رسوب‌دهی را برای هر حوضه تعیین و در نهایت مقدار رسوب و فرسایش ویژه را برای کل حوضه محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عوامل توپوگرافی و وضعیت فعلی فرسایش بیش‌ترین نقش و عامل آب‌وهوا کم‌ترین نقش را در میزان رسوب‌دهی حوضه دارند. (Damene and Satyal 2023) اقدام به بررسی میزان دقت مدل رقومی ارتفاع و تأثیر آن بر برآورد نهایی مدل RUSLE کردند. آن‌ها برای سنجش میزان تأثیر دقت مدل رقومی ارتفاع بر میزان فرسایش، دو مرتبه اقدام به اجرای مدل کردند که بار اول دقت مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر و بار دوم با ثابت نگه‌داشتن همه‌ی عوامل، مدل را با دقت مدل رقومی ارتفاعی ۲۰ m به اجرا گذاشتند. نتایج آن‌ها نشان داد که برآورد میزان فرسایش تفاوت معنی‌داری داشته و DEM با دقت ۳۰ m برآورد بسیار نزدیک‌تری به واقعیت داشته و نشان می‌دهد که دقت عوامل توپوگرافی نقش به‌سزایی در

امروزه مسئله فرسایش خاک یکی از معضلات اکثر کشورها است. بشر از زمانی که تصمیم گرفت از طبیعت برای برآورده کردن نیازهای خود استفاده کند، همواره بدون کم‌ترین توجه به مسئله مصرف بهینه و استعداد طبیعت، از منابع آن بهره‌برداری کرده است (Rahmani et al. 2006). آب و خاک از مهم‌ترین اجزای منابع طبیعی در جهان هستند اما از نظر آسیب‌پذیری، خاک یکی از حساس‌ترین اجزای منابع طبیعی به شمار می‌رود (Yesuph and Dagnew 2019). با افزایش روزافزون بهره‌وری از منابع طبیعی، میزان فرسایش خاک در بسیاری از کشورها از میزان حد مجاز خود فراتر رفته و این امر کارشناسان و مسئولین را مجاب کرده است که توجه خود را روی این مسئله معطوف کنند. همچنین تعیین روش‌ها و فن‌های مربوط به برآورد میزان فرسایش یکی از چالش‌های مهم در بین پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان به حساب می‌آید (Bedoui 2019). اگر تصمیمات نادرستی در رابطه با فرسایش و نحوه‌ی کنترل آن توسط مدیران و تصمیم‌گیرندگان اتخاذ شود، اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی نامطلوبی در حوزه آبخیز به‌جای خواهد گذاشت (Ansari Lari and Ansari 2017). از طرف دیگر، میزان اثربخشی مطالعه فرسایش خاک با توجه به نحوه‌ی انتخاب مدل تعیین می‌شود که بستگی به اهداف، خصوصیات حوضه و میزان اطلاعات در دسترس دارد (Gandhi et al. 2015). از این‌رو مطالعات متعددی با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلفی در رابطه با برآورد میزان فرسایش صورت گرفته است که می‌توان به مدل‌های تجربی نظیر <sup>۱</sup>BLM، <sup>۲</sup>FAO، <sup>۳</sup>RUSLE3D، <sup>۴</sup>MPSIAC و همچنین مدل‌های فرآیندی نظیر PESERA<sup>۴</sup> اشاره کرد. مدل‌های فیزیکی با استفاده از داده‌های فیزیوگرافی حوضه نظیر توپوگرافی، خاک، پوشش زمین، داده‌های هواشناسی و سایر داده‌های دیگر اقدام به برآورد میزان فرسایش می‌کند و بسته به اینکه چه اندازه دقت داده‌های ورودی زیاد باشد، دقت مدل نیز تغییر خواهد یافت. با این حال، تمامی این

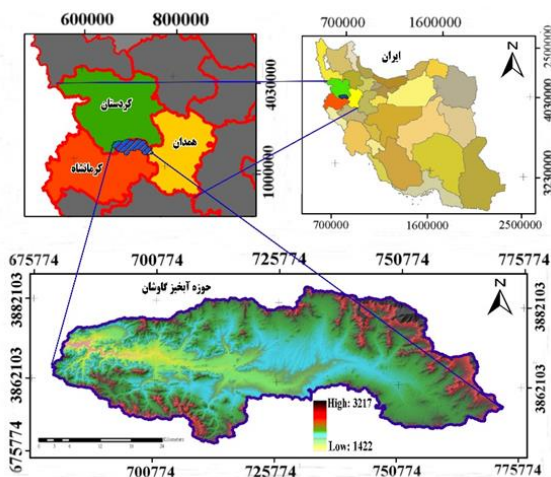
<sup>۱</sup>Bureau of Land Managment<sup>۲</sup>Food and Agriculture Organization<sup>۳</sup>Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee<sup>۴</sup>Pan- European Soil Erosion Risk Assessment

کارایی مدل **RUSLE 3D** در برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه و همچنین برآورد میزان دقیق تر فرسایش منطقه با لحاظ کردن متغیرهای مربوط به شیب منطقه است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز سد گاوشان در غرب ایران با مساحتی در حدود ۲۰۶۰۰۰ ha است، که در محدوده جغرافیایی ۴۶/۹۷° E تا ۴۷/۹۸° و ۳۴/۷۴° N تا ۳۵/۰۹° واقع شده است. بخش هایی از این حوضه به همراه دریاچه سد در جنوب استان کردستان و بخش های بیشتری از آن در شمال استان کرمانشاه واقع شده است. حدود ۵٪ از مساحت حوضه نیز در بخش شرقی در استان همدان قرار گرفته است. اراضی این منطقه عمدتاً تپه ای با شیب متوسط ۲۰٪ و شیب ۱۵٪ است که ارتفاع آن ها بین ۳۲۱۷ m در بلندترین نقطه تا ۱۴۲۲ m در خروجی حوضه متغیر است. همچنین ارتفاع میانگین حوضه ۱۹۳۸ و ارتفاع میانه آن ۱۹۲۱ m است. مقدار بارندگی سالیانه حوضه بین ۳۳۳ mm در شرق تا ۴۶۸ mm در غرب متغیر و دارای میانگین ۳۸۹ mm در کل حوضه است (Anonymous 2014). موقعیت حوضه مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز گاوشان

Fig. 1 Location of the Gaushan Watershed

### ۲-۲- پارامترهای مدل **RUSLE 3D**

مدل **RUSLE 3D**، مدل تغییر یافته مدل **RUSLE** بوده که مدلی تجربی بوده و به منظور محاسبه میانگین پتانسیل هدررفت خاک به کار گرفته می شود (Wischmeier and Smith 1978). این مدل به صورت رابطه (۱) است:

کارایی مدل **RUSLE** ایفا می کنند. (Helmi 2023) به بررسی و کمی سازی میزان رسوب خروجی برآورد شده توسط مدل **USLE** و مقادیر واقعی اندازه گیری شده در دو زیرحوضه از حوضه آبخیز سینای مصر پرداخت. نتایج نشان می دهد مدل **USLE** برآورد مناسبی از میزان رسوب حوضه داشته و مدل در اندازه گیری میزان رسوب خروجی حوضه دقت قابل قبولی ارائه کرده است. (Usman et al. 2023) با استفاده از روندیابی تغییرات کاربری اراضی، میزان تغییرات فرسایش و هدررفت خاک را در سه بازه زمانی بین سال های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۲۱ با استفاده از مدل **RUSLE** بررسی کردند. آن ها به این نتیجه رسیدند که تغییرات کاربری اراضی و از بین رفتن پوشش های مرتعی و جنگلی سبب افزایش نرخ فرسایش و هدر رفت خاک خواهد شد.

در بسیاری از مناطق ایران، به ویژه استان کردستان و کرمانشاه و حوضه آبخیز گاوشان انتخاب کاربری و مدیریت زمین بدون توجه به قابلیت و توان سرزمین انجام می شود. حوضه آبخیز گاوشان یکی از زیر حوضه های مهم و استراتژیک استان های کردستان و کرمانشاه و حتی همدان است که وجود یک سد بزرگ اهمیت استراتژیک بودن آن را چند برابر کرده است. با توجه به این که این حوضه در سه استان واقع شده است، این مسئله تا حدودی حوضه آبخیز سد گاوشان را با چالش های مدیریتی روبرو کرده است چرا که دریاچه این سد در استان کردستان واقع شده در حالی که بیشتر آب این حوضه به استان کرمانشاه انتقال داده می شود. بنابراین با توجه به این مسئله این حوضه تا حدود زیادی دچار تغییرات کاربری شده و عدم وجود نظارت کافی بر این حوضه، میزان تخریب و فرسایش آن روز به روز بیشتر می شود. همچنین در پژوهش های انجام شده قبلی در حوضه آبخیز گاوشان برآورد میزان فرسایش با استفاده از مدل **RUSLE** انجام شده اما با توجه به نیاز هرچه بیشتر پژوهشگران و برنامه ریزان به نتایج دقیق تر و قابل اطمینان تر و با توجه به این که حوضه آبخیز گاوشان یک حوضه کوهستانی بوده و مدل **RUSLE 3D** در حوضه های کوهستانی برآورد دقیق تری از فرسایش می تواند ارائه دهد (Helmi 2023)، اقدام به برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه با استفاده از مدل **RUSLE 3D** شد. هدف از انجام این پژوهش بررسی

مدل‌های  $RUSLE$  و  $3D$   $RUSLE$  استفاده می‌شود (Shahhossein et al. 2021; Allafta and Opp 2022). برای محاسبه فاکتور  $R$ ، بعد از تعیین ایستگاه‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها و در دوره زمانی مورد مطالعه بازسازی شد. در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۲) شاخص فورنیه و فاکتور  $R$  برای تمام ایستگاه‌ها به دست می‌آید. شاخص اصلاح‌شده فورنیه دارای مقبولیت مناسبی در بین فرمول‌های محاسبه  $R$  است (Alexakis et al. 2018; Nazarnejad et al. 2013). رابطه شاخص اصلاح‌شده فورنیه،  $F$  به صورت رابطه (۲) است (Renard and Freimund 1994):

$$MFI = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{12} \frac{P_{ij}^2}{P_j} \quad (2)$$

که،  $P_{ij}$  متوسط بارندگی ماهانه (mm) در ماه  $i$  و سال  $j$ ،  $P_j$  متوسط بارندگی سالیانه (mm) در سال  $j$  است و  $N$  تعداد سال‌های مورد بررسی است. در فاز بعدی مطالعه با جایگزینی شاخص اصلاح‌شده فورنیه در رابطه (۳)، که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) ارائه شده است، عامل  $R$  محاسبه شد (Renard and Freimund 1994):

$$R = (0.07397MFI^{1.847})/17.02$$

$$RR = (95.77 - 6.081MFI + 0.477MFI^2)/17.02$$

مجموع آن‌ها به دست آمد. این عملیات برای ۱۸ سال آمار بارندگی در یک ایستگاه انجام شد و میانگین این اعداد بر تعداد سال‌های آماری (۱۸ سال) تقسیم شد. بدین صورت شاخص  $MFI$  برای یک ایستگاه محاسبه شد. با استفاده از رابطه (۳) فاکتور  $R$  برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.8 فاکتور  $R$  با روش‌های درون‌یابی مختلف محاسبه شد. با بررسی و مقایسه نتایج و نقشه‌های به دست آمده، روش کریجینگ معمولی به عنوان مدل برتر انتخاب و فاکتور  $R$  برای کل منطقه محاسبه شد.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

که، مقدار  $A$  میانگین هدررفت سالانه خاک بر حسب  $ton/ha/y$  است. فاکتور  $R$  عامل فرساینده‌گی باران ( $MJ$  (mm/ha.h.y)، فاکتور  $K$  فرسایش‌پذیری خاک ( $t.ha/MJ.mm$ )،  $L$  عامل طول شیب (بی‌بعد)،  $S$  عامل درجه شیب (بی‌بعد)،  $C$  عامل مدیریت پوشش گیاهی (بی‌بعد) و  $P$  عامل عملیات حفاظت خاک (بی‌بعد) است.

## ۲-۲-۱- فاکتور فرساینده‌گی باران

فرساینده‌گی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود. معمول‌ترین شاخص فرساینده‌گی باران، فاکتور  $R$  مربوط به مدل‌های  $RUSLE$  و  $3D$  است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا فاکتور  $R$  همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد. فاکتور  $R$  برای دوره‌های مختلف، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران ( $E$ ) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای ( $I30$ ) به دست می‌آید. از آنجایی که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به‌ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود هستند (فقط در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند)، غالباً از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه و شاخص‌های زودیافت جهت برآورد فاکتور  $R$  در

$$MFI < 55 \quad (3)$$

$$MFI \geq 55$$

در این پژوهش برای برآورد فاکتور  $R$  از آمار ۱۴ ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه در یک بازه زمانی ۱۸ ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۲ استفاده شد (جدول ۱). روابط مختلفی برای به‌دست آوردن فاکتور  $R$  ارائه شده است که باتوجه به مطالعات صورت گرفته و موقعیت جغرافیایی منطقه، مناسب‌ترین رابطه انتخاب و استفاده شد. نحوه انجام محاسبات بدین گونه بود در ابتدا بارندگی سالانه از طریق مجموع بارندگی‌های ماهانه برای هر ایستگاه محاسبه شد. سپس بارندگی ماهانه یک ایستگاه را به توان ۲ رسانده و مقدار به دست آمده برای هر ماه بر میزان بارندگی سالانه تقسیم و در نهایت

جدول ۱- لیست و مشخصات ایستگاه های معرف منطقه مورد مطالعه

Table 1 List and characteristics of representative stations of the studied area

| Station         | Station code | Station coordinates |           | established year | Station height | Station type |            | Number of statistical years | Statistical years |
|-----------------|--------------|---------------------|-----------|------------------|----------------|--------------|------------|-----------------------------|-------------------|
|                 |              | Longitude           | latitude  |                  |                | Synoptic     | rain gauge |                             |                   |
| Sanandaj        | 21- 012      | 46°16' 00"          | 36°15'00" | 1338             | 1373           | *            |            | 50                          | 1338-1401         |
| Dehgolan        | 17- 402      | 47°25'00"           | 35°17'00" | 1364             | 1890           |              | *          | 23                          | 1365-1401         |
| Mochesh         | 17- 503      | 47°09'00"           | 35°03'00" | 1364             | 1640           |              | *          | 23                          | 1365- 1401        |
| Salvat Abad     | 17- 303      | 47°07'00"           | 35°17'00" | 1367             | 1720           |              | *          | 20                          | 1368- 1401        |
| Bolban Abad     | 17- 228      | 47°19' 16"          | 35°08'38" | 1367             | 2015           |              | *          | 22                          | 1367- 1401        |
| Ramesht Markazi | 21- 874      | 47°00'50"           | 35°04'16" | 1373             | 1715           |              | *          | 15                          | 1373- 1401        |
| Gavshan         | 21- 330      | 46°59'11"           | 34°58'12" | 1378             | 1378           |              | *          | 13                          | 1378- 1401        |
| Shirvane        | 21- 771      | 46°57'26"           | 34°47'30" | 1382             | 1530           |              | *          | 9                           | 1382- 1401        |
| Shilan          | 21- 021      | 46°55'32"           | 35°06'01" | 1345             | 1399           |              | *          | 40                          | 1345- 1401        |
| Danan           | 21- 359      | 47°00'12"           | 35°10'54" | 1381             | 1418           |              | *          | 9                           | 1381- 1401        |
| Bakhle          | 21- 330      | 47°56'58"           | 34°50'35" | 1379             | 1377           |              | *          | 11                          | 1379- 1401        |
| Kamyaran        | 21- 793      | 46°53'00"           | 34°48'00" | 1380             | 1404           | *            |            | 10                          | 1380- 1401        |
| Palengan        | 21- 031      | 46°36'16"           | 35°04'00" | 1354             | 1019           |              | *          | 35                          | 1354- 1401        |
| Ghale Komain    | 21- 785      | 47°09'00"           | 35°03'00" | 1372             | 1625           |              | *          | 19                          | 1372- 1401        |

## ۲-۲-۲- متغیر فرسایش پذیری خاک

آلی، نفوذپذیری ساختمان خاک رابطه دارد، اما با تیپ خاک همبستگی بالایی دارد. فاکتور فرسایش پذیری خاک در مدل Wischmeier and Smith (۴) استفاده شد (1978):

$$K = [2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]/100 \quad (۴)$$

قابل توجه در این رابطه این است که مقدار K به دست آمده بر اساس سیستم آمریکایی است که برای تبدیل آن به سیستم بین المللی بایستی مقدار نهایی K را بر ضریب ۷/۵۹ تقسیم نمود (Wischmeier and Smith 1978).

متغیر فرسایش پذیری خاک (K)، سرعت فرسایش پذیری خاک به ازای واحد شاخص فرسایش باران است که در پلات استاندارد اندازه گیری می شود و غالباً با استفاده از خصوصیات خاک تعیین می شود. اگرچه فاکتور K با بافت، میزان ماده

که، M حاصل ضرب مجموع درصد سیلت و شن ریز (که به این فاکتور درصد سیلت اصلاح شده اطلاق می شود) است، OM میزان ماده آلی خاک به درصد، p کلاس نفوذپذیری پروفیل خاک و s کلاس ساختمان خاک است. نکته



## ۳-۲-۲-۱- عملیات صحرایی و تهیه نقشه خاک

نقشه خاک با استفاده از نتایج تحقیقات گذشته Mahmoodi and Naghshbandi (2019) و بازننگری مجدد و انجام آزمایش‌های خاک با تعداد نمونه‌های بیشتر تهیه شد. (Mahmoodi and Naghshbandi (2019) برای تهیه نقشه خاک حوزه آبخیز گاوشان از پیمایش‌های صحرایی، شاخص‌های توپوگرافی و مطالعات آزمایشگاهی استفاده نمودند. آن‌ها تأثیر عوامل زمان، اقلیم و مواد مادری را بر حوضه یکنواخت فرض، و تغییرات و تنوع خاک‌ها را به تغییرات موجودات زنده و عوامل توپوگرافی نسبت دادند. برای بررسی تأثیر موجودات زنده از شاخص NDVI<sup>۱</sup> و برای بررسی اثرات توپوگرافی از شاخص خیزی توپوگرافی و جهت شیب استفاده شد. برای تهیه نقشه‌های جهت شیب و شاخص خیزی از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 و برای تهیه نقشه شاخص NDVI از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۲۲ استفاده شد. در پژوهش انجام‌شده توسط Mahmoodi and Naghshbandi (2019) نقشه NDVI در دو کلاس (مناطق با پوشش گیاهی کم و زیاد)، نقشه شاخص خیزی در دو کلاس (شیب کم و تجمع جریان زیاد) و نقشه جهت شیب نیز در دو کلاس (شیب‌های آفتاب‌گیر و سایه) طبقه‌بندی و ۵۰ عدد پروفیل خاک تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهش حاضر به منظور افزایش دقت و هم‌چنین کاهش خطا در تهیه نقشه خاک و در نهایت میزان K، نقشه NDVI در سه کلاس (مناطق با پوشش گیاهی کم، متوسط و زیاد)، نقشه شاخص خیزی در سه کلاس (شیب کم، متوسط و زیاد) و تجمع جریان زیاد) و حفر ۳۰ عدد پروفیل دیگر، تهیه شد. به منظور بررسی دقیق‌تر مطالعه قبلی، آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های خاک مجدداً بر روی نمونه‌های خاک انجام شد که برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک از روش هیدرومتری (Gyeltshen et al. 2022)، جرم مخصوص ظاهری ذرات خاک از روش استوانه (Blake and Hartge, 1986)، ضریب آب‌گذری اشباع خاک به روش بار ثابت (Klute and Dirksen, 1986) و ماده آلی خاک به روش والکلی و بلک (Puget et al. 1995) اندازه‌گیری شد. با استفاده از نتایج به دست آمده و پیمایش‌های صحرایی که در ۱۸ نوبت صورت گرفت نقشه اولیه خاک‌ها اصلاح و در نهایت نقشه نهایی اصلاح‌شده به دست آمد.

## ۳-۲-۲-۲- فاکتورهای طول شیب و درجه شیب

فاکتورهای L و S بیانگر تأثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک می‌باشند. ثابت‌شده که افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (Wu et al. 2018). با توجه به این‌که در بین فاکتورهای ذکرشده در مدل RUSLE، عامل توپوگرافی حساس‌ترین عامل به حساب می‌آید (Khosraviqdam et al. 2017)، لذا توجه هرچه بیشتر به این عامل می‌تواند دقت مدل را در برآورد میزان فرسایش به طرز چشمگیری افزایش دهد و به همین دلیل در سال‌های اخیر مطالعات زیادی بر روی عامل توپوگرافی مدل RUSLE صورت گرفته که یکی از مهم‌ترین برآوردهای مربوط به فاکتور توپوگرافی، استفاده از مدل RUSLE 3D است که در آن عامل توپوگرافی اصلاح‌شده است. روش‌های مختلفی برای محاسبه LS وجود دارد که در این پژوهش از رابطه (۵) استفاده شد (Mitasova et al. 1996).

$$LS = (m + 1) \times [A/22.13]^m \times [\sin \theta / 0.0896]^n \quad (5)$$

که A برابر است با مساحت دامنه بالادست در واحد عرض خطوط توپوگرافی ( $m^2$ )، هم‌چنین  $\theta$  برابر زاویه‌ی شیب و m و n توان‌های تجربی است که به ترتیب مقدار ۰/۶ و ۱/۳ دارند (Moore and Wilson, 1992). اصلی‌ترین تفاوت بین مدل RUSLE و RUSLE 3D نحوه محاسبه فاکتور LS است که به جای استفاده از طول شیب، از مساحت شیب بالادست استفاده می‌شود. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد استفاده از رابطه اصلاحی محاسبه LS در مقیاس حوضه و شیب‌های با توپوگرافی غیریکنواخت، نتایج واقعی‌تری را در برآورد میزان LS ارائه می‌کند (Mitasova et al. 1996).

## ۳-۲-۲-۴- فاکتور مدیریت پوشش

فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) نشان‌دهنده تأثیر کاشت در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک است. در مدل RUSLE 3D فاکتور پوشش گیاهی بر اساس معادلات تجربی تعیین می‌شود. پرکاربردترین معیار وجود پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده یا NDVI است که با استفاده از سنجش‌ازدور به دست می‌آید

<sup>۱</sup>Normalized Difference Vegetation Index

مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. نقشه خاک‌های حوضه با استفاده از نتایج حاصل از پیمایش صحرایی و نیز کمک گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های توپوگرافی تهیه شد. در مقیاس‌های کوچک می‌توان تأثیر اقلیم، مواد مادری و زمان را بر تشکیل و تحول خاک‌های یک منطقه یکنواخت فرض کرد و تغییرات و تنوع خاک‌ها را به تغییرات موجودات زنده و توپوگرافی نسبت داد.

## ۵-۲-۲- عملیات حفاظتی

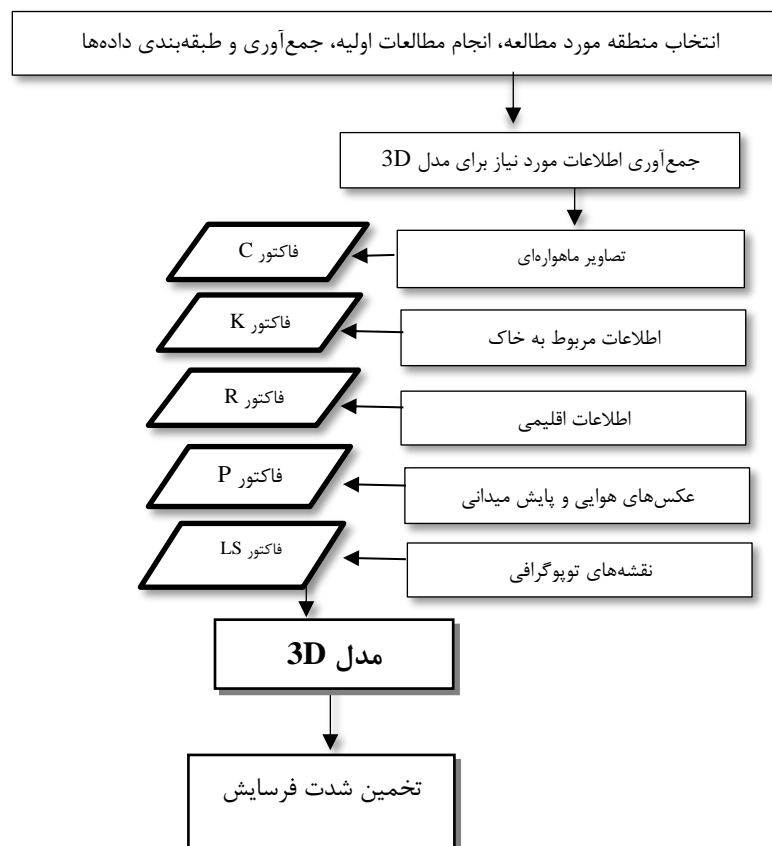
کشت و کار در اراضی شیب‌دار نیاز به عملیات حفاظتی (P) جهت حفظ آب و خاک دارد. این عملیات باعث کاهش سرعت رواناب تا زیر حد آستانه بروز فرسایش می‌شود و به این لحاظ از قدرت فرساینده‌ی آب و ظرفیت حمل آن می‌کاهد. در حوزه آبخیز گاوشان به دلیل این که اقدامات تأثیرگذاری صورت نگرفته است، مقدار این فاکتور در کل حوضه یک در نظر گرفته شد.

(Mezbani et al. 2021). برای تصویر لندست ۸ این شاخص از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Anderson et al. 1993).

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED) \quad (6)$$

مقادیر NDVI بین -۱ و +۱ در تغییر است. این شاخص برای پوشش گیاهی سبز مثبت و برای مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر بین +۰/۱ و -۰/۱ را نشان می‌دهند. وجود پوشش ابری و پهنه‌های آب مقادیر منفی یا صفر را نشان می‌دهند. شاخص NDVI برای محاسبه داده‌های طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، همبستگی بالایی با زیست‌توده سطحی زمین دارد (Cabrera et al. 2010). بعد از انجام تبدیل خطی معکوس از نمونه‌های تعلیمی، رابطه بین C و NDVI می‌تواند به صورت رابطه (۷) ایجاد شود (Anderson et al. 1993):

$$C = ((1-NDVI)/2) \quad (7)$$

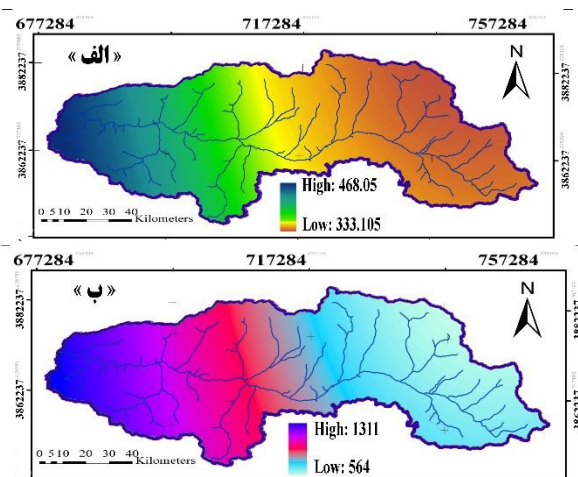


شکل ۲- فلوچارت انجام مطالعه

Fig. 2 Research flow chart

## ۳- یافته‌ها و بحث

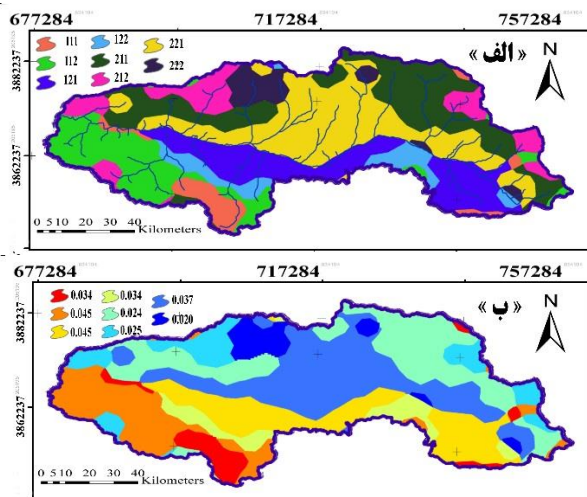
عامل فرساینده‌گی باران از رابطه (۳) به دست آمد که نتایج آن در شکل (۳) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که میزان بارندگی به سمت غرب افزایش می‌یابد. حداقل میزان بارش منطقه ۳۳۳ و حداکثر آن ۴۶۸ mm است (شکل ۳). نتایج نشان داد که عامل فرساینده‌گی باران بین ۵۶۴ تا ۱۳۱۱ Mjmm/ha/h.y متغیر بوده و این امر نشان‌دهنده تغییرات زیاد در این حوضه است. همان‌طور که اشاره شد با حرکت به سمت غرب حوضه (غرب کشور ایران) و رشته‌کوه‌های زاگرس میزان بارندگی و در نتیجه عامل R افزایش می‌یابد.



شکل ۳- نقشه: الف- میانگین بارندگی سالانه و ب- عامل فرساینده‌گی باران (R) حوضه آبخیز گاوشان

Fig. 3: a) Map of average annual rainfall and b) Map of rain erosion factor (R) of Gaushan watershed

عامل فرسایش‌پذیری خاک با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش انجام شده قبلی (Mahmoodi and Naghshbandi 2019) در حوضه و بازنگری و اصلاح آن و نقشه طبقه‌بندی خاک در شکل (۴) قابل مشاهده است.



شکل ۴- نقشه: الف- طبقه‌بندی خاک (Mahmoodi and Naghshbandi, 2019) و ب- فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) حوضه آبخیز گاوشان

Fig. 4: a) Soil classification map (Mahmoodi and Naghshbandi, 2019) and b) Map of soil erodibility factor (K) of Gaushan watershed

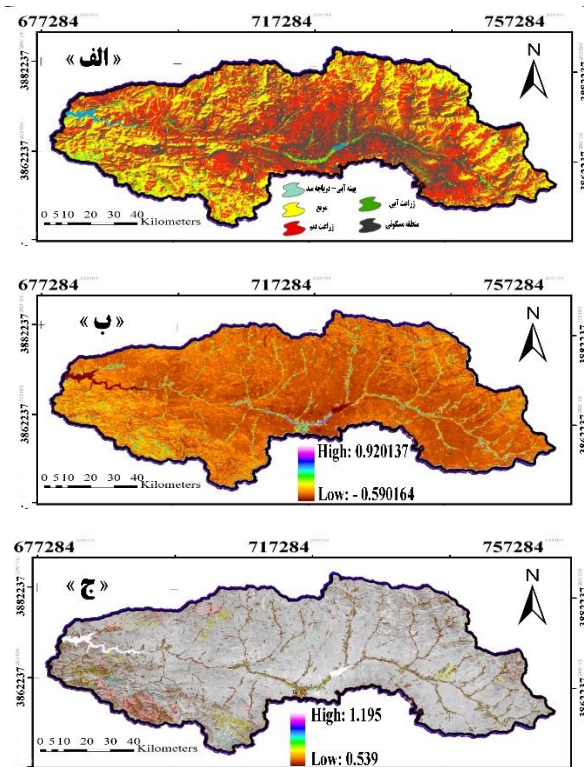
بر اساس این نتایج حوضه شامل ۸ واحد خاک است که با استفاده از سامانه جامع رده‌بندی خاک آمریکایی تا سطح فامیل طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. با بررسی طبقه‌بندی‌های انجام‌شده میانگین کلی ضریب فرسایش‌پذیری خاک برای کل حوضه ۰/۰۳ به دست آمد. همچنین خاک منطقه حیدرآباد با ضریب فرسایش‌پذیری ۰/۰۴۵ حساس‌ترین خاک به فرسایش و خاک‌های سری حسین‌آباد دهنه با ضریب فرسایش‌پذیری ۰/۰۲۰ مقاوم‌ترین خاک‌ها در برابر فرسایش است (Mahmoodi and Naghshbandi, 2019).

جدول ۲- ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K) در سیستم طبقه‌بندی آمریکایی

Table 2- Soil erodibility coefficient (K) in the American classification system

| Soil units | Dominant series    | Taxonomic classification                         | K (t.h/MJ.mm) | Area (%) |
|------------|--------------------|--|---------------|----------|
| 1          | Lanjab             | Clay Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Xerorthents   | 0.034         | 8.2      |
| 2          | Heydarabad         | Fine Silty, Mixed, Mesic, Typic Haploxerepts     | 0.045         | 12.4     |
| 3          | Agaholia           | Loamy Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts | 0.033         | 13.8     |
| 4          | Meyvaley           | Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts           | 0.034         | 8.9      |
| 5          | Sarkhom            | Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts Very      | 0.024         | 17.4     |
| 6          | Gerdekaneholia     | Fine, Mixed, Mesic, Typic Haploxerepts           | 0.025         | 8.2      |
| 7          | Kallepa            | Clay Skeletal, Mixed, Mesic, Typic Calcixerepts  | 0.037         | 22.2     |
| 8          | Hosainabaddehbaneh | Fine, Mixed, Mesic, Typic Calcixerolls           | 0.020         | 8.9      |

آبخیز گاوشان جمعیت بیشتری نسبت به شرق حوضه داشته و در نتیجه مقدار C بیشتری را به خود اختصاص می دهد. از نتایج به دست آمده مشاهده شد بیشترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به اراضی حاشیه رودخانه ای و همچنین زراعت های آبی است که دارای بیشترین مقدار NDVI و در نتیجه مقدار کم C هستند که در نهایت مقادیر پایین این عامل سبب کاهش میزان فرسایش محاسبه شده در مدل RUSLE 3D می شود.

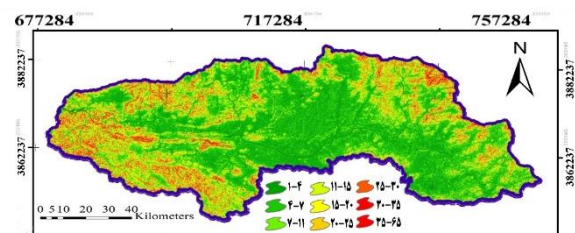


شکل ۸- نقشه الف- کاربری اراضی، ب- شاخص NDVI و ج- فاکتور C حوزه آبخیز گاوشان

Fig. 8: a) land use map, b) NDVI index and c) C factor of Gaushan watershed

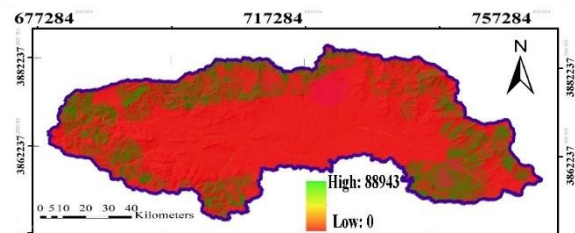
در نهایت پس از محاسبه تمامی پارامترهای مورد نیاز در معادله RUSLE 3D با استفاده از سامانه GIS، این پارامترها در یکدیگر ضرب شده و حاصل ضرب آن ها منجر به تهیه نقشه فرسایش خاک حوضه می شود (شکل ۹). نقشه به دست آمده اطلاعات مهمی را در رابطه با میزان و شدت فرسایش در حوضه نشان می دهد که این اطلاعات می تواند راه گشای بسیاری از مسائل و مشکلات موجود در حوضه باشد. نتایج نشان می دهد که  $43/2\%$  حوضه تحت تأثیر فرسایش کم قرار دارد. به طور معمول میزان فرسایش کمتر از  $1 \text{ ton/ha/y}$  را به عنوان فرسایش کم در نظر می گیرند. اغلب

همان طور که قبلاً ذکر شد برای محاسبه فاکتور LS نیاز به پارامترهای فیزیکی حوضه یعنی شیب (شکل ۵) و نقشه ی تجمعی جریان حوضه (شکل ۶) است و برای محاسبه ی آن از رابطه (۵) استفاده شد که خروجی آن در شکل (۷) نشان داده شده است. حوزه آبخیز گاوشان با توجه به این که در غرب کشور واقع شده و منطقه غالباً کوهستانی و با شیب زیاد است، لذا این شیب نسبتاً زیاد که قسمت اعظم حوضه را شامل می شود، می تواند سبب بالابردن میزان فرسایش در معادله جهانی خاک (RUSLE) شود و بنابراین بایستی توجه ویژه به فاکتور LS شود.



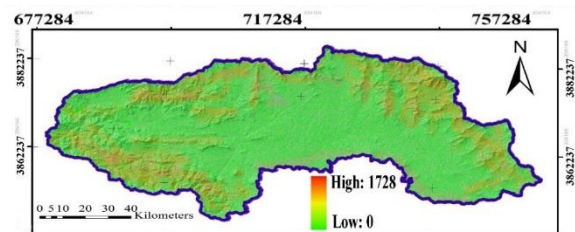
شکل ۵- نقشه شیب حوزه آبخیز گاوشان بر حسب درجه

Fig. 5 Slope map of Gaushan watershed according to degrees



شکل ۶- نقشه تجمعی جریان حوزه آبخیز گاوشان

Fig. 6 flow accumulation map of Gaushan watershed



شکل ۷- نقشه فاکتور LS حوزه آبخیز گاوشان

Fig. 7 LS factor map of Gaushan watershed

شکل ۸ (الف)، (ب) و (ج) نقشه کاربری اراضی، NDVI و در نهایت عامل C مدل RUSLE 3D حوزه آبخیز گاوشان را نشان می دهد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از سامانه GEE در ۵ کلاس کاربری مسکونی، پهنه آبی- دریاچه سد، مرتع، زراعت آبی و زراعت دیم تهیه و با استفاده از نقشه کاربری اراضی نقشه NDVI تهیه و سپس از رابطه (۷) نقشه عامل پوشش زمین C محاسبه شد. با مطالعات میدانی و همچنین شاخص NDVI مشاهده شد که قسمت غربی حوزه



توپوگرافی و اقلیمی مناسب‌تر برای کاربری‌های کشاورزی و دامداری و در کل بهره‌وری انسانی است. با مطالعات میدانی و همچنین تفسیر عکس‌های هوایی منطقه مشاهده شد که میزان فرسایش تشدید شونده در بخش غربی و جنوب غربی حوضه به‌شدت در حال افزایش است و این مسئله در سال‌های آتی این منطقه را دچار مشکلات عدیده‌ای خواهد کرد و میزان فرسایش افزایش خواهد یافت که با نتایج (Mahmoodi and Naghshbandi, 2019) تطابق دارد.

استفاده بی‌رویه از زمین، تغییر کاربری، استفاده از کشاورزی سنتی و شخم در جهت شیب و شخم اراضی با شیب زیاد همگی سبب شده است که میزان فرسایش در این حوضه در مرحله تشدید شونده قرار گیرد که این مسئله در دیگر حوضه‌های کشور نیز مشاهده شده است و با نتایج Usman et al. (2023) همخوانی دارد. قرار گرفتن حوضه در سه استان کشور اهمیت مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز را بیشتر نشان داده که بایستی مسئولین امر در این سه استان با یک دید جامع و مدیریت یکپارچه از افزایش میزان فرسایش در این حوضه جلوگیری کنند. با بررسی میزان کل فرسایش حوضه که حدود  $5/02 \text{ ton/ha/y}$  است در نگاه نخست شاید این میزان فرسایش در مقایسه با متوسط فرسایش کشور، از رقم بالایی برخوردار نباشد اما با توجه به اینکه فرسایش زیاد و تشدید شونده در بخش غربی و جنوب غربی حوضه متمرکز شده است و عدم مدیریت صحیح و نبود اقدامات حفاظتی سبب تشدید میزان فرسایش شده است، بایستی هرچه سریع‌تر اقدامات مدیریتی و حفاظتی نظیر قرق، بذرکاری، کنترفارو، بانکت بندی و پخش سیلاب در این حوضه به اجرا گذاشته شود تا در آینده میزان فرسایش در این حوضه در حالت تعادل و کنترل شونده قرار گیرد.

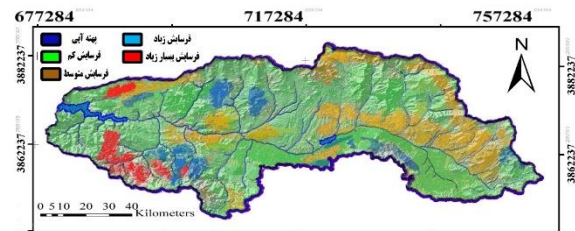
#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اجرای مدل RUSLE 3D و مطالعات میدانی صورت گرفته در منطقه نتیجه گرفته شد که:

۱- مدل RUSLE 3D توانسته است که برآورد مناسبی از میزان فرسایش حوضه داشت باشد و می‌توان از این مدل برای حوضه‌های مجاور استفاده نمود.

۲- بخش غربی حوضه از میزان فرسایش بیش‌تری برخوردار بوده که عامل بارندگی بیش‌تر، وجود زمین‌های مستعد

مناطق با فرسایش کم در اراضی با شیب ملایم و کاربری مرتع با پوشش گیاهی بیشتر از ۴۰٪ مشاهده می‌شود. مناطق با فرسایش متوسط ۳۹/۶٪ حوضه را شامل می‌شود که بیشتر مناطق با کاربری کشاورزی و اراضی حاشیه رودخانه‌ای با شیب کم را شامل می‌شود. میزان فرسایش در این اراضی بین ۱ تا  $5 \text{ ton/ha/y}$  است که بازدهی‌های میدانی مؤید این مسئله است که بیش‌ترین فشار بر روی این اراضی قرار دارد و این اراضی به‌شدت تحت تأثیر عوامل انسانی قرار گرفته‌اند.



شکل ۹- نقشه میانگین فرسایش سالانه حوضه آبخیز گاوشان

Fig. 9 Map of average annual erosion of Gaushan watershed

۱۱/۲٪ حوضه را مناطق با فرسایش زیاد تشکیل می‌دهد. عمده این مناطق دارای شیب زیاد و کاربری کشاورزی بوده که مطالعه عکس‌های هوایی قدیمی حاکی از این مسئله است که کاربری این اراضی طی سال‌های گذشته تغییر یافته و از کاربری مرتع به کاربری کشاورزی تبدیل شده است. میزان فرسایش در این اراضی بین ۵ تا  $12 \text{ ton/ha/y}$  و به‌طور متوسط  $8 \text{ ton/ha/y}$  است. در این مطالعه ۶٪ از اراضی نیز دارای فرسایش بسیار شدید بود که این اراضی شامل مناطق با شیب زیاد و بدون پوشش است که در بازدهی‌های میدانی مشاهده شد که بخشی از این اراضی هم به دلیل واقع شدن در محدوده سد تحت شخم قرار گرفته و تخریب و تصرف در این اراضی در حال انجام است. بنابراین میزان فرسایش در این اراضی که بیش‌تر از  $12 \text{ ton/ha/y}$  می‌رسد بسیار شدید و تشدید شونده است که عوامل انسانی بیش‌ترین تأثیر را در میزان فرسایش در این بخش ایفا می‌کنند.

در این مطالعه میزان فرسایش با استفاده از مدل RUSLE 3D محاسبه شد. نتایج نشان داد که میزان فرسایش متوسط حوضه  $5/02 \text{ ton/ha/y}$  است. مقایسه نتایج این پژوهش با میزان فرسایش واقعی حوضه نشان داد که مدل RUSLE 3D از کارایی مناسبی برای برآورد میزان فرسایش دارد که با نتایج Helmi (2023) مطابقت دارد. میزان فرسایش در حوضه آبخیز گاوشان در قسمت غربی بسیار بیش‌تر از بخش شرقی حوضه است که دلیل آن وجود دریاچه سد و شرایط



زمین و افزایش تغییر کاربری‌های اراضی پیشنهاد می‌شود که مطالعات بعدی به‌گونه‌ای باشد که اثرات تغییر کاربری اراضی در این حوزه بررسی و میزان فرسایش در آینده در صورت وجود همین شرایط برآورد شود تا یک دید کلی و چشم‌انداز واقعی در اختیار مسئولین امر قرار گیرد و این مسئله سبب می‌شود که مسئولین به اهمیت موضوع پی برده و در برنامه‌ریزی‌های خود تجدیدنظر کلی به عمل آورند.

### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز این پژوهش و همچنین حمایت‌های معنوی آنان کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

کشاورزی بیشتر، وجود دریاچه سد در غرب حوزه و در نهایت جمعیت زیادتر باعث این مسئله شده است.

۳- نتایج خروجی مدل نشان داد که میزان فرسایش متوسط سالانه حوزه برابر  $5/02 \text{ ton/ha/y}$  بوده که این میزان فرسایش به صورت پیش‌رونده بوده که در دوره‌های بعدی می‌تواند مقادیر بالاتری به خود بگیرد.

۴- بررسی روش برای اندازه‌گیری فاکتور LS نشان داد که نتایج روش 3D که در این پژوهش از آن استفاده شده‌است با واقعیت منطقه تطابق بیشتری دارد و برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش را برآورد کرد.

۵- با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل RUSLE 3D و RUSLE مشاهده شد که مدل RUSLE 3D میزان فرسایش را در بخش‌های مختلف بیش‌تر از مدل RUSLE برآورد کرده به واقعیت بیشتر نزدیک بود.

با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های جامع و کامل پیشنهاد می‌شود که یک بانک اطلاعاتی برای حوزه تهیه شود. همچنین با توجه به استراتژیک بودن این حوزه از لحاظ مکانی، دسترسی به بخش‌هایی از حوزه با مخالفت‌هایی همراه بود که با مشورت و گفتگو با جوامع محلی این مشکل نیز مرتفع شد. با توجه به اهمیت فوق‌العاده

## References

- Allafta, H., & Opp, C. (2022). Soil Erosion Assessment Using the RUSLE Model, Remote Sensing, and GIS in the Shatt Al-Arab Basin (Iraq-Iran). *Appl. Sci.* 12, 7776. DOI: [10.3390/app12157776](https://doi.org/10.3390/app12157776).
- Amini, A., Karami Moghadam, M., Sedri, M. H., & Kazemi, S. (2022). Determining the Erosion and Sedimentation Using MPSIAC Model and GIS System in Khorkhoreh Watershed, Kurdistan, Iran. *Iran. J. Remote Sens. GIS*, 14(4), 87-102. DOI: [10.52547/gisj.14.4.87](https://doi.org/10.52547/gisj.14.4.87). [In Persian].
- Anderson, G. L., Hanson, J. D., & Hass, R. H. (1993). Evaluating Landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sens. Environ.*, 45(2): 165-175. DOI: [10.1016/0034-4257\(93\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90040-5).
- Ansari Lari, A., & Ansari, M. (2017). Examining the Usage of GIS in Estimating Soil Erosion and Sediment Yield Using RUSLE Model (Case study: Ghale chay Basin, Iran). *J. Geogr. Region. Develop.*, 14(2), 155-173. DOI: [10.22067/geography.v14i2.54607](https://doi.org/10.22067/geography.v14i2.54607). [In Persian].
- Alexakis, D. D., Hadjimitsis, D. G. & Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of Yialias in Cyprus. *Atmos. Res.*, 131: 108-124. DOI: [10.1016/j.atmosres.2013.02.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.02.013).
- Babaei, M., Hoseini, S. Z., Nazari samani, A. & Almodaresi, S. A. (2016). Assessment of soil erosion using RUSLE 3D, case study: Kan Watershed. *J. Watershed Eng. Managet.*, 8(2), 165-181. DOI: [10.22092/ijwmse.2016.106454](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106454) [In Persian].
- Bedoui, Ch. (2019). Predicting water erosion in arid lands using the GIS-based RUSLE model: A case study of Bedour catchment, central Tunisia. *J. Water Land Develop.*, 40

- (I-III), 59-66. DOI: [10.2478/jwld-2019-0006](https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0006).
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Methods of soil analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. DOI: [10.2134/agronmonogr9.2.2ed](https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed).
- Cabrera, L., Molero, G., Stellacci, A. M., Bort, J., Nogues, S. & Araus, J. L. (2010). NDVI as a Potential Tool for Predicting Biomass, Plant Nitrogen Content and Growth in Wheat Genotypes Subjected to Different Water and Nitrogen Conditions. *Cereal Res. Comm.*, 39(1), 147-159. DOI: [10.1556/CRC.39.2011.1.15](https://doi.org/10.1556/CRC.39.2011.1.15).
- Damene, S. & Satyal, P. (2023). Soil Erosion estimation using revised universal soil loss equation integrated with geographic information system by different resolution digital elevation model Data in Weyto Sub-Basin, Southern Ethiopia. *SINET: Ethiop. J. Sci.*, 46(1). DOI: [10.4314/sinet.v46i1.1](https://doi.org/10.4314/sinet.v46i1.1)
- Gandhi, G. M., Parthiban, B. S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndv: Vegetation change detection using remote sensing and gis-A case study of Vellore District. *Procedia Comput. Sci.*, 57, 1199-1210. DOI: [10.1016/J.PROCS.2015.07.415](https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2015.07.415)
- García, J. L. & Giménez, M. C. (2012). Methodology for estimating the topographic factor LS of RUSLE3D and USPED using GIS. *Geomorph.*, 175-176: 98-106. DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.07.001](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.001)
- Gyeltshen, S., Adhikari, R., Bahadur Budha, P., Thapa, G., Kumar Subedi, K., & Kumar Singh, B. (2022). Remote Sensing and GIS based Soil Loss Estimation for Bhutan, using RUSLE model. *Geocarto Int.*, 37(21), 6331-6350. DOI: [10.1080/10106049.2021.1936210](https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1936210).
- Helmi, A. (2023). Quantifying catchments sediment release in arid regions using GIS-based Universal soil loss equation (USLE). *Ain Shams Eng. J.*, 14(8), 102038. DOI: [10.1016/j.asej.2022.102038](https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102038).
- Mezbani, M., Rezaei Moghadam, M., & Hejazi, A. (2021). Assessment of soil erosion risk in land uses using Revised Universal Soil Loss Equation (Case Study: Sikan Basin). *J. Geogra. Environ. Hazard.*, 10(1), 41-63. DOI: [10.22067/GEOEH.2021.67238.0](https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67238.0).
- Jetten, V., Govers, G. & Hessel, R. (2003). Erosion models: quality of spatial predictions. *Hydrol. Process.*, 17: 887-900. DOI: [10.1002/Hyp.5519](https://doi.org/10.1002/Hyp.5519).
- Kaffas, K., Pisinaras, V., Al Sayah, M. J., Santopietro, S., & Righetti, M. (2021). A USLE - based model with modified LS-factor combined with sediment delivery module for Alpine basins. *Catena*, 207, 105655. DOI: [10.1016/j.catena.2021.105655](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105655).
- Khosraviqdam, K., Momtaz, H. R. & Nazarnejad, H. (2019). Estimation of soil erodibility factor of USLE model and its relation to landscape features in some parts of Nazlou-Chai Basin, Iran. *Appl. Soil Res.*, 7(1):31-43. DOI: [magiran.com/p1993905](https://doi.org/magiran.com/p1993905). [In Persian].
- Klute, A., & Dirksen C. (1986). Hydraulic conductivity & diffusivity: Laboratory methods. P.687-734. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. DOI: [10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28](https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28).
- Mahmoodi, M. A. & Naqshbandi, P. (2019). Estimation of soil erosion by RUSLE and remote sensing data of Gawshan Dam Basin. *J. Water Soil.* 33(6): 845-856. DOI: [10.22067/JSW.V33I6.76446](https://doi.org/10.22067/JSW.V33I6.76446). [In Persian].
- Merritt, W., Letcher, R. & Jakeman, A. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environ. Model. Software*, 18, 761-799. DOI: [10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1).
- Mitasova, H., Hofierka, I., Zlocha, M. & Iverson, L. R. (1996). Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. J. Geogra. Inform. Sys.*, 10: 629-641. DOI: [10.1080/02693799608902101](https://doi.org/10.1080/02693799608902101).
- Moore, I. & Wilson, P. (1992). Length Slope Factor for the revised universal soil loss equation: simplified method of solution, *J. Soil Water Conser.*, 47(4): 423-428. DOI: [10.1016/j.iswcr.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001).
- Nazarnejad, H., Shahhosein, T. & Asadzade, F. (2018). Spatiotemporal Variations of the Rainfall Erosion in West Azerbaijan Province.

- Geogra. Environ. Sustain.*, 27, 89-99. DOI: <https://sid.ir/paper/221145/fa>. [In Persian].
- Puget, P., Chenu, C. & Balesdent, J. (1995). Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *Europ. J. Soil Sci.*, 46: 449-459. DOI: [10.1111/j.1365-2389.1995.tb01341.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01341.x)
- Renard K. G. & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. Hydrol.*, 157: 287-306. DOI: [10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4).
- Shahhossein, T., Nazarnejad, H., & Asadzadeh, F. (2021). Rainfall Erosivity Mapping for West Azerbaijan Province. *Appl. Soil Res.*, 9(4): 49-61. DOI: <https://sid.ir/paper/221145/en>. [In Persian].
- Rahmani, M., Hadian, M., & Molaaghajanzade, S. (2006). Using satellite data and geographic information system in estimating erosion and sedimentation using the MPSIAC model (case study: Sharafkhaneh-Shabestar watershed). National Erosion and Sedimentation Conference. DOI: <https://sid.ir/paper/813802/fa>. [In Persian].
- Usman, K., Deribew, K. T., Alemu G., & Hailu, S. (2023). Spatial modeling of soil loss as a response to land use-land cover change in Didessa sub-basin, the agricultural watershed of Ethiopia. *J. Heliyon*. Heliyon 9 e14590. DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e14590](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14590).
- Wang, X.H., & Bao, Y. H. (1999). Study on the methods of land use dynamic change research. *Prog. Geogra.*, 18: 81-87. DOI: [10.11820/dlkxjz.1999.01.012](https://doi.org/10.11820/dlkxjz.1999.01.012).
- Wischmeier, W. H., & Smith D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Science and Education Administration*, USDA.
- Wu, L., Peng, M. L., Qiao, S. S. & Ma, X. Y. (2018). Effects of rainfall intensity and slope gradient on runoff and sediment yield characteristics of bare loess soil. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25, 3480-3487. DOI: [10.1007/s11356-017-0713-8](https://doi.org/10.1007/s11356-017-0713-8).
- Yesuph, A. Y. & Dagne, A. B., (2019). Soil erosion mapping and severity analysis based on RUSLE model and local catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia. *Environ. Syst. Res.*, 8(17), 1-21. DOI: [10.1186/s40068-019-0145-1](https://doi.org/10.1186/s40068-019-0145-1).