Quantitative Geomorphological Researche

Online ISSN: 2251-9424

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

The Effect of Different Land Use Management Scenarios on Soil Erosion Using G2 Model in Givi Chay Watershed

Sayyad Asghari Saraskanroud[1], Aghil Madadi[2], Nazfar Aghazadeh[3], Raoof Mostafazadeh[4]

1. *(Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.*
Email: sayyad.asghari21@gmail.com
2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
Email: aghil48madadi@yahoo.com
3. *Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran..*
Email: naz.agh4@gmail.com
4. *Department of Watershed Managemant Faculty, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran..*
Email: raoofmostafazadeh@yahoo.com

Article Info

Article Type:
Research Article

Article History:
Received:
15 May 2025
Received in revised form:
12 July 2025
Accepted:
9 September 2025
pp.1-19

Keywords:
Soil Erosion,
Land Uses,
The G2 Model,
Givichai,
Scenarios.

A B S T R A C T

Soil erosion is a natural physical process in which soil particles are separated from their original substrate and transported and deposited to another location with the help of a transport agent; therefore, determining the factors affecting erosion and predicting the amount of soil and sediment erosion in watersheds is essential and the first step in providing soil protection solutions in order to implement soil protection programs and determine methods to combat erosion and reduce sediment production. In the present study, the aim is to determine the effect of different land use management scenarios on the amount of soil erosion using the G2 model in the Givi Chay basin of Ardabil province, which was prepared by examining 6 land use management scenarios based on land use patterns in a GIS environment. Then, input data was prepared based on ground data, land use, and observational data. Based on the model results, the amount of erosion in the scenario of converting poor to average pastures and the scenario of converting average to good pastures and establishing gardens showed a decrease in erosion, and the destruction scenario proposed in the two scenarios showed an increase in erosion in agricultural use. In this study, environmental data including land use type, slope, vegetation cover, and rainfall were first collected. Then, using the G2 model, the amount of soil erosion in each of the different uses (agriculture, pasture, forest, and residential areas) was calculated. The results showed that agricultural land uses face higher erosion than other land uses, while forest areas were identified as the best option for soil conservation and erosion prevention. These findings can help in management decisions in the field of soil conservation and sustainable development.

Cite this article: Asghari Saraskanroud, S. , Madadi, A. Aghazadeh, N. and Mostafazadeh, R. (2026). The Effect of Different Land Use Management Scenarios on Soil Erosion Using G2 Model in Givi Chay Watershed. *Quantitative Geomorphological Research*, *14*(3). 1-19.
Doi: 10.22034/gmpj.2025.482427.1525

Extended Abstract

Introduction

Soil erosion is a global problem that seriously threatens water and soil resources. It takes over 300 years to form just one centimeter of soil (Tripani, 2001). Therefore, preventing soil erosion is vital for preserving valuable natural wealth (Morgan, 1986). Soil erosion and sediment production cause numerous environmental problems. These sediments also lead to the entry of heavy metals, nutrients, and pesticides into river channels, affecting communities in various ways. Erosion and sediment production are complex functions of various factors, including geology, climate, topography, vegetation cover, and human activities. Soil erosion is a natural physical process through which soil particles detach from their original bed and are transported to another location by an agent of transport. Since millions of years ago, particularly when humans began manipulating ecosystems, the process of erosion has intensified and turned into an environmental hazard (Esmaeili & Abdollahi, 2011). The rate of soil erosion is a comprehensive assessment of the level of development and sustainability of land management programs in countries. Therefore, understanding the spatial pattern of soil erosion is key to understanding its dynamics and identifying biological and abiotic causes of soil erosion. Determining the distribution pattern of erosion intensity and sediment can help provide appropriate strategies for reducing and combating erosion and sedimentation in watersheds (Javandoust et al., 2014). Land has a fundamental impact on social value and roles in human comfort, security, beauty, welfare, and quality of life (Nasimi et al., 2005). The way land is utilized and the function it serves is referred to as land use. In fact, the response of runoff and sediment output from a watershed depends on physiographic characteristics, land use distribution patterns, soil type, intensity and duration of rainfall events, and human interventions, among which land use plays a more significant role (Talebi Khiyavi, 2017).

Methodology

The study area encompasses the Givi Chay river basin, approximately 44 kilometers long, which is one of the permanent rivers in Ardabil province. The geographical coordinates of this region are as follows: - Longitude: 48° 4' 58" to 48° 40' - Latitude: 37° 57' 48" This area is located in zone 38 and features diverse land uses, including agriculture, pasture, and forest

G2 Model The G2 model was utilized as a computational tool for assessing soil erosion. This model analyzes erosion based on climatic, topographic, and soil data

Data Collection Necessary data, including climatic information, soil characteristics, and types of land use, were collected from local sources and weather stations Considering the diversity of land use and the possibility of reducing erosion by using cover management and conservation agriculture methods, a scenario-based approach was used to compile possible land use scenarios. In the following, based on the conditions of the studied area and also the land use situation, in addition to the existing situation scenario, six other scenarios were compiled with the aim of improving the factor of plant management and soil protection against erosion. The amount of soil erosion in each of the scenarios was determined using the G2 model and the amount of erosion was calculated in each land use and in each management scenario. After preparing the map of erosion factors in the G2 model, the soil erosion map of the study area was prepared in the GIS environment. Considering the diversity of land use and the possibility of reducing erosion using cover management methods and conservation agriculture, a scenario-based approach was used to compile possible land use scenarios. In the following, the amount of soil erosion with cell dimensions of 20 x 20 meters was compiled in each of the scenarios.

Data Analysis Data analysis was conducted using GIS software and the G2 model to identify vulnerable areas. Results The results indicated that different land uses have varying impacts on soil erosion rates. Specifically, agricultural lands experienced

the highest levels of erosion, while forested areas exhibited the least erosion. Impact of Land Use Changes in land use can significantly affect soil erosion. Improper management of agricultural lands and overgrazing can lead to increased erosion. Strategies To reduce soil erosion, it is recommended to adopt sustainable agricultural practices and restore forested areasConclusion This study demonstrated that the G2 model is an effective tool for assessing soil erosion in the Givi Chai region. The results obtained can aid in management planning for soil health preservation and erosion reduction. Implementing sustainable land use management measures is essential to prevent further erosion.

Results and discussion

The results indicated that different land uses have varying impacts on soil erosion rates. Specifically, agricultural lands experienced the highest levels of erosion, while forested areas exhibited the least erosion. Impact of Land Use Changes in land use can significantly affect soil erosion. Improper management of agricultural lands and overgrazing can lead to increased erosion. Management Strategies To reduce soil erosion, it is recommended to adopt sustainable agricultural practices and restore forested areas. Based on the scenario map of the existing situation, the values of soil erosion are between zero and 70 tons per hectare. Most of the erosion is observed in agricultural lands. Based on the obtained results, the lowest amount of erosion reduction is related to dense and medium vegetation, which is presented in the form of a scenario. By analyzing the effects of the scenario in reducing erosion, it can be concluded that if it is possible to restore medium and poor pastures and turn them into good pastures according to the conditions of the region, a significant amount of soil erosion can be reduced.

Conclusion

This study demonstrated that the G2 model is an effective tool for assessingsoilerosion in theGiviChai region. The results obtained can aid in managementplanning for soil health preservation and erosion reduction. Implementing sustainable land use management measures is essential to prevent further erosion. Soil erosion using the G2 model in Givi Chai watershed shows that this model is specifically designed to evaluate and predict soil erosion and sedimentation. The erosion values were estimated in the existing situation and six management scenarios, and the analyzed results were mentioned below, some general results that may be obtained from this model. Examining the soil erosion map shows that its average amount is 3.3 tons. Using the G2 model and combined parameters, the soil erosion rate is calculated. This step includes the use of special formulas of the G2 model, which gives weight to different factors. After calculating the erosion rate, prepare the final soil erosion map in the ArcGist environment, and this map should include high, medium and low erosion risk areas. As a result, by preparing a land use map, the amount of erosion was determined for all uses, and the results of erosion in each of the uses show that the amount of erosion has increased in most of the uses. But the highest amount of erosion and sedimentation is residential areas and agricultural land respectively. The general conclusion is that the type of land use directly affects the amount of sedimentation and improper management can lead to soil erosion and pollution of water resources. It is possible to reduce the amount of significantly reduced soil erosion and basically the combined scenario provides better results. In this regard, it is suggested that urban and agricultural planning be done in a way that uses sustainable methods, such as maintaining vegetation, using conservation agriculture techniques, and designing infrastructure to control runoff. Also, educating and informing farmers and residents of urban areas about the importance of soil and water conservation can help reduce sedimentation. Finally, continuous monitoring of land use changes and assessment of its effects on the environment is necessary to help preserve natural resources and prevent environmental damage.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution
Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments
We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجلــه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی

شاپا الکترونیکی: ۹۴۲۴-۲۲۵۱

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل G2 در حوزه آبخیز گیوی چای

صیاد اصغری سراسکانرود[۱]، عقیل مددی[۲]، نازفر آقازاده[۳]، رئوف مصطفی‌زاده[۴]

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه sayyad.asghari21@gmail.com

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aghil48madadi@yahoo.com

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: naz.agh4@gmail.com

۳- گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: raoofmostafazadeh@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۲/۲۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۶/۱۸
صص. ۱۹-۱

واژگان کلیدی:
فرسایش خاک،
کاربری زمین،
سناریو،
مدل G2 ،
حوزه آبخیز گیوی چای

چکیده

فرسایش خاک فرایند طبیعی فیزیکی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل و رسوب‌گذاری می‌شود؛ بنابراین، تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت از خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری و نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک است. در مطالعه حاضر، هدف تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل G2 در حوزه گیوی چای استان اردبیل است که با بررسی ۶ سناریوی مدیریت کاربری اراضی بر اساس الگوی استفاده از اراضی در محیط GIS تهیه شد. سپس داده‌های ورودی بر اساس داده‌های زمینی، کاربری اراضی و داده‌های مشاهداتی تهیه شد. بر اساس نتایج مدل، مقدار فرسایش در سناریوی تبدیل مراتع ضعیف به متوسط و سناریو تبدیل مراتع متوسط به خوب و احداث باغ کاهش فرسایش را نشان داد و سناریو تخریب که در دو سناریو مطرح شد باعث افزایش فرسایش در کاربری زراعی را نشان می‌دهد. در این تحقیق، ابتدا داده‌های محیطی شامل نوع کاربری زمین، شیب، پوشش گیاهی و بارندگی جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از مدلG2 ، میزان فرسایش خاک در هر یک از کاربری‌های مختلف (کشاورزی، مرتع، جنگل و مناطق مسکونی) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که کاربری‌های کشاورزی با فرسایش بالاتری نسبت به دیگر کاربری‌ها مواجه هستند، درحالی‌که مناطق جنگلی به‌عنوان بهترین گزینه برای حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش شناخته شدند. این یافته‌ها می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در زمینه حفاظت از خاک و توسعه پایدار کمک کند.

استناد: اصغری سراسکانرود, صیاد , مددی, عقیل، آقازاده، نازفر و مصطفوی, رئوف . (۱۴۰۵). *تاثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل G2 در حوزه آبخیز گیوی چای، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۴(۳)، ۱۹-۱.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.482427.1525

مقدمه

فرسایش و تولید رسوب تابع پیچیده‌ای از عوامل مختلف از جمله، زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و انسان است. فرسایش خاک فرایند طبیعی فیزیکی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل و رسوب‌گذاری می‌شود. تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت از خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری و نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک است (حاجی و همکاران،۱۳۹۴). نرخ فرسایش خاک یک ارزیابی جامع برای درجه توسعه‌یافتگی و پایداری برنامه‌های مدیریتی سرزمینی کشورها است، در نتیجه شناخت الگوی فضایی فرسایش خاک، یک کلید برای درک دینامیک و شناسایی دلایل زیستی و غیرزیستی فرسایش خاک است و تعیین الگوی پراکنش شدت فرسایش و رسوب می‌تواند به ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش و مقابله با فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کمک کند (جوان دوست و همکاران، ۱۳۹۳). زمین از نظر ارزش و نقش اجتماعی در آسایش، امنیت، زیبایی، رفاه و کیفیت زندگی بشری تأثیر اساسی دارد (نسیمی و همکاران، ۲۰۰۵). نحوه استفاده از زمین و کارکردی که به آن تعلق می‌گیرد را کاربری زمین می‌گویند. در واقع واکنش رواناب و رسوب خروجی حوزه آبخیز به ویژگی‌های فیزیوگرافی، الگوی پراکنش کاربری اراضی، نوع خاک، شدت و مدت وقوع بارندگی و دخالت‌های انسانی بستگی دارد که در میان آن‌ها نقش کاربری اراضی دارای اهمیت بیشتری است این واکنش‌های ژئومورفیکی، تشدید فرسایش خاک و افزایش تعداد مناطق آسیب‌پذیر را در بردارد واکنش‌های ژئومورفیکی به تغییرات فیزیکی و شیمیایی در سطح زمین اشاره دارند که به دلیل فرایندهای طبیعی یا انسانی رخ می‌دهند. این واکنش‌ها می‌توانند شامل فرسایش، رسوب‌گذاری، و تغییر در شکل زمین باشند و تأثیر زیادی بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی دارند (آسیست[1] و همکاران،۲۰۲۰؛ ژئن[2] و همکاران،۲۰۲۰). عوامل مختلفی مانند اقلیم، زمین شناسی، کاربری پوشش اراضی و فعالیت‌های مدیریتی بر فرآیندفرسایش و مؤلفه‌هایی رواناب و رسوب در یک حوزه آبخیز مؤثر هستند (مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳). ازآنجایی‌که کاربری اراضی در میزان رواناب و فرسایش خاک نقش عمده‌ای داشته و امروزه به دلیل گسترش جوامع انسانی، تغییراتی در الگو و سیمای سرزمین ایجاد کرده است (مصطفی‌زاده و طالبی خیاوی،۲۰۲۴). بنابراین تشخیص مشارکت کاربری‌های پوشش‌های مختلف اراضی در فرسایش خاک و اولویت‌بندی آنها برای شناخت مناطق بحرانی و مستعد به فرسایش خاک ضروری است. کاربری اراضی بازتاب کنش‌های میان انسان و محیط‌زیست و نیز توصیف‌کننده شیوه بهره‌برداری گوناگون انسان در سیمای سرزمین است (رئن[3] و همکاران، ۲۰۱۹). شیوه‌های بهره‌برداری ناپایدار مانند شخم‌زدن در جهت شیب، چرای بی‌رویه، جنگل‌زدایی، تغییرات کاربری اراضی و... باعث افزایش فرسایش خاک می‌شوند، درحالی‌که روش‌های پایدار مانند کشت حفاظتی، مدیریت چرا، جنگل‌کاری و سایر اقدامات مؤثر می‌تواند نقش قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش فرسایش خاک داشته باشد. بااطلاع از روند تغییرات کاربری زمین می‌توان در راستای جلوگیری از فرسایش خاک و هدایت اکوسیستم، به سمت تعادل و پایداری قدم برداشت (ژانگ[4] همکاران، ۲۰۲۰). مدل نمادی از واقعیت است که مهم‌ترین ویژگی‌های دنیای واقعی را به‌صورت ساده کلی بیان می‌کند. مدل G2 قادر است هدررفت خاک حاصل از فرسایش سطحی و بین‌شیاری ناشی از انرژی قطرات باران و رواناب را در مقیاس ماهانه، سالانه محاسبه کند. (پژوهش و همکاران،۱۳۹۰). اثر کاربری اراضی مختلف در فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS را در حوزه سد زاینده رودعلیا مطالعه نمودند. نتایج حاصل از پژوهش ایشان نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه موردمطالعه، در کاربری‌های مرتع متراکم و بوته‌زارها صورت‌گرفته است. این

[1]. Assist
[2]. Zhen
[3]. Ren
[4]. Zhang

افزایش تولید رسوب در این دو نوع کاربری، ناشی از تأثیر متقابل دو عامل، شیب و چرای بی‌رویه دام در اوایل فصل بهار است. پاناگوس و همکاران در سال ۲۰۱۲ از مدل G2 برای محاسبه متوسط نرخ فرسایش و مقدار هدررفت سالانه خاک در جزیره (کرت) استفاده کرده‌اند. به‌طورکلی وقوع فرسایش یک پدیده طبیعی است؛ ولی فعالیت‌های انسانی در تشدید یا کاهش آن می‌تواند نقش مهمی ایفا نماید (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲). امروزه عدم استفاده از اراضی و تغییرات کاربری اراضی از قبیل تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی، چرای مفرط، عدم استفاده صحیح از اراضی کشاورزی، شخم روی شیب‌های تند، باعث افزایش میزان فرسایش خاک و رسوب شده است (کلارستاقی[1] و همکاران، ۱۳۸۷). فرسایش خاک از معضلات مهم آبخیزهای کشور به‌حساب می‌آید که می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی از آن نام برد. رسوبات ناشی از فرسایش حوضه‌های آبخیز معمولاً پس از بارندگی به رودخانه رسیده و با رسوبات ناشی از فرسایش دیواره و بستر رودخانه همراه می‌شوند و تأسیسات آبی موجود در مسیر رودخانه‌ها را تحت‌تأثیر قرار داده و عمر مفید مخازن سدها را کاهش می‌دهند.

پژوهش‌ها و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف حوزه‌های آبخیز در سراسر جهان صورت‌گرفته است. پژوهش‌های متعدد در استفاده از مدل‌های فرسایش خاک برای تعیین مناطق حساس به فرسایش و تعیین نقش عوامل مؤثر در میزان فرسایش خاک انجام شده است. در این راستا براث و همکاران در بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش سالانه، بر آسیب‌پذیری مناطق بالادست تأکید نمودند (آقا رضی و قدوسی، ۲۰۰۱). با بررسی کاربری اراضی و شیب با فرسایش خاک و تولید رسوب در ایستگاه تحقیقات خسبیجان به این نتیجه رسیده‌اند که در هر کلاس شیب، کاربری مرتع کمترین فرسایش و کاربری شخم رها شده بیشترین فرسایش و کاربری زراعت حد واسط فرسایش را به خود اختصاص داده‌اند. محمدی و همکاران (۲۰۲۱)، جزء اولین پژوهشگرانی هستند که پایش مکانی و زمانی فرسایش خاک برای کل کشور ایران را با استفاده از مدل G2 مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین فرسایش خاک سالانه در ایران برابر با ۱۶/۵ تن بر هکتار است. همچنین از نظر مکانی بالاترین مقادیر فرسایش خاک در مناطق شمالی، غرب و جنوب غربی ایران، در دامنه‌های پرشیب کوه‌های البرز و زاگرس است. در نتیجه از نظر زمانی، بیشترین و کمترین مقادیر فرسایش خاک برابر با ۲/۳ و ۰/۰۹ تن بر هکتار به ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و ژوئیه به دست آمد. اصغری و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر واقع در استان اردبیل و تأثیر آن بر فرسایش خاک بین سال‌های (۲۰۱۶-۲۰۰۰) با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که به طور عمده مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در هر دو دوره زمانی در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی – باغات قرار دارند. (اصغری و همکاران، ۲۰۱۹). به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیءگرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی پرداختند. باتوجه‌به نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۹/۰۸ و ۱۵/۸۸ درصد و باتوجه‌به پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۱۷ به ترتیب ۱۳/۶۶ و ۲۹/۷۶ درصد از مساحت شهرستان در دوطبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در دوره یادشده، ضمن افزایش کاربری باغات متراکم، باغات کم‌تراکم، مسکونی و صنعتی، تخریب و تبدیل‌شدن اراضی مرتعی و اراضی دیم در سطح قابل‌توجهی صورت‌گرفته است که نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری منطقه موردمطالعه در مقابل فرسایش خاک دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیءگرا، در صورت رعایت‌کردن تمامی پارامترها نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد (خالدی درویشان و همکاران، ۲۰۱۹) . فرسایش خاک، رسوب بازده و بیشینه خروجی، با استفاده از مدل IntErO را ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه

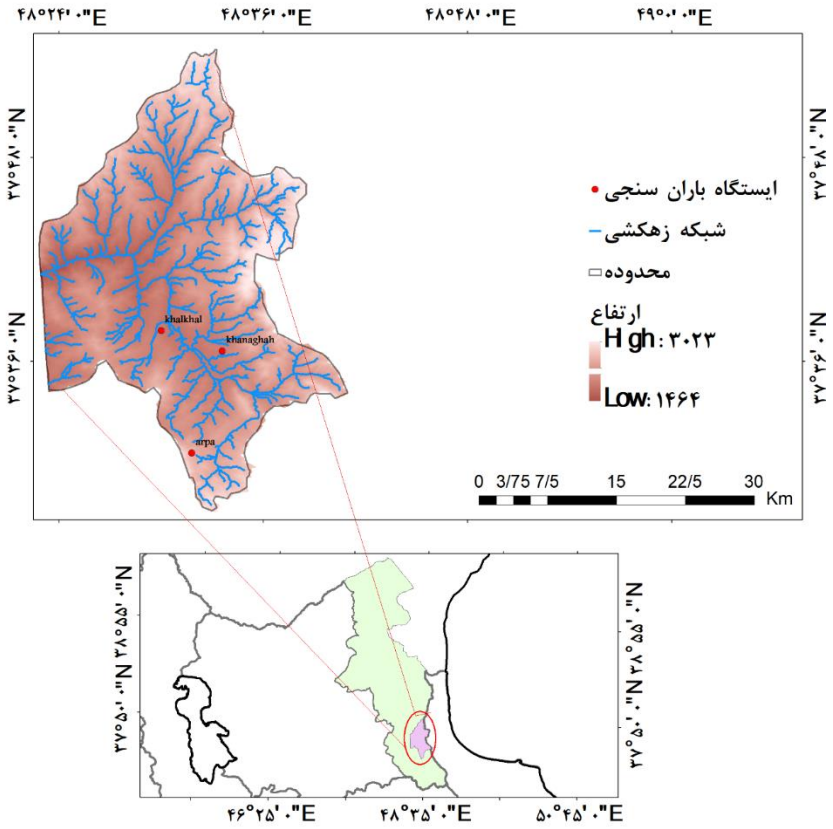
[1]. Klarstaghi

فرسـایش، متوسط و از سـطحی بود و اوج آبدهی ۱۳/۵۱ مترمکعب بر ثانیه با دوره بازگشـت ۱۰۰ساله در ایـن آبخیز بود (نصـیری و همکاران،۱۴۰۰). به تحقیقی با موضـوع ارزیابی فرسـایش خاک و تولید رسـوب با به‌کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و GIS در حوزه عشق‌آباد – سوله حوزه جنوب باختر قوچان پرداختند. نتایج مدل پسیاک اصلاحی نشان می‌دهد که ٪۷۹,۴۶ معادل ۱۷,۳۸۰۷ هکتار در رده IV بارده بندی فرسایش با رسوب‌زایی زیاد و ٪۲,۵۳ معادل ۳۲,۴۳۲۹ هکتار در رده III با میانگین رسوب‌زایی طبقه‌بندی می شود. تولید رسوب بر اساس مدل پسیاک به ترتیب ۴۰,۵ تن در هکتار و ۸۴,۲ تن در هکتار محاسـبه شـد (مددی و همکاران، ۱۴۰۱). به ارزیابی تغییرات کاربری اراضـی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوزه بالاست سد یا مچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره آراس پرداختند. نتایج این پژوهش، نشان داده است، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به مراتع خوب و متوسط و در سال،۲۰۲۱ مربوط به مراتع ضعیف و خوب است. به‌طورکلی، عمده دلیل افزایش مقدار فرسایش در سطح حوزه موردمطالعه، افزایش اراضی زراعی دیم و آبی اراضی بایر، مراتع ضعیف و نواحی انسان‌ساخت و کاهش سطح مراتع خوب و متوسط است (بابور[1] و همکاران ، ۲۰۲۱). به بررسـی خصـوصـیات فیزیکی، شـیمیایی خاک تحت‌تأثیر کاربری زمین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خاک‌های مرتعی به دلیل وجود مقدار زیاد رس در مقایسه با مناطق ساحلی که فرسایش بیشتری دارند، در برابر فرسایش مقاوم هستند (امان‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). تحقیقی با عنوان بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسـوب در حوزه رامهرمز با اسـتفاده از طبقه‌بندی شـیءگرا و مدل (RUSLE) انجام داده‌اند. نتایج پژوهش نشـان داد که مناطق مسـکونی، اراضـی بایر و زراعت دیم به ترتیب به میزان،۸۶,۳۵۲۰ ۷۲,۷۰۴۱ و ۲۹,۵۲۸۱ هکتار افزایش مساحت داشته و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب،۴۳,۱۷۶۰ ۲۰,۱۲۳۲۳ و ۴۳,۱۷۶۰ هکتار از مساحت خود را از دست‌داده‌اند. نتیجه تغییر این مساحت‌ها کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش فرسایش در منطقه بوده است. حوضه آبخیز گیوی چای یکی از حوضه‌های مهم و بحرانی از نظر تغییر کاربری فرسایش و سیل‌خیزی در استان اردبیل است و به همین دلیل برای بررسی بیشتر، موردتوجه بخش‌های تحقیقاتی قرار گرفته است. عوامل طبیعی مانند شیب زیاد، سـیل‌خیزی و سـازندهای حسـاس به فرسـایش و انسـانی مانند تغییر کاربری اراضـی جنگلی و تبدیل آن به زمین کشاورزی، استفاده نادرست از زمین و کشاورزی، چرای بی‌رویه دام، موجب بروز فرسایش در سطح حوضه گردیده است؛ بنابراین آگاهی از میزان تأثیر تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی بر روی رسوب‌زایی حوضه برای تصمیم‌گیری صحیح و انجام اقدامات مدیریتی در راستای حفاظت و بهره‌برداری مناسب از منابع آب سطحی حوضه آبخیز ضرورت دارد. باتوجه‌به این‌که کاربری اراضی در میزان فرسایش خاک نقش عمده‌ای داشته امروزه به دلیل گسترش جوامع انسانی، تغییراتی در الگو و ساختار محیط‌زیست به وجود آمده است؛ بنابراین با به‌کارگیری سناریوهای مختلف کاربری اراضی می‌توان ارتباط پراکنش، درصـد و نوع کاربری و تأثیر آن در کاهش تولید رسـوب و فرسـایش با اسـتفاده از مدل G2 در آبخیزها را کمی نمود. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی سناریوهای تغییراتی کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز گیوی چای اردبیل با استفاده از مدل G2 برنامه‌ریزی‌شده است. در این راستا مقدار فرسایش حاصل از سناریوهای مختلف شبیه سازی شده و با یکدیگر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته و همچنین مشخص‌کردن حساس‌ترین کاربری اراضی و اولویت‌بندی آن‌ها برای انجام عملیات حفاظتی است تا با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده مناطق بحرانی و مستعد به فرسایش خاک مشخص تا برنامه حفاظتی بهینه ارائه شود.

[1]. Babur

مواد و روش ها

حوضهٔ گیوی چای در جنوب استان اردبیل با مساحت ۱۵۵۴ کیلومترمربع، از زیر حوضه‌های سفیدرود است که در مختصات جغرافیایی طول شرقی ۴۸ درجه و ۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه تا ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. بیشترین ارتفاع،۳۰۲۳ و حداقل ارتفاع آن ۱۰۲۲ متر است. این حوزه از بخش شمالی به قره‌سو، از شرق به قرنقو، از جنوب به پایاب قزل‌اوزن و از غرب به دریای خزر محدود می‌شود. سه رودخانهٔ دایمی این حوزه بفراجرد، آرپا چایو گیوی چای است. شیب متوسط حوزه نیز ۴۸/۲ درصد است. این حوزه آبخیز به سه زیر حوزه سنگور چای، گیوی چای و گز از چای تقسیم می‌شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه (حوزه گیوی چای)

در این تحقیق به دلیل ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و فرسایش خاک از لایه‌های اطلاعاتی زیر استفاده‌شده است، داده‌های اقلیمی سینوپتیک ایستگاه‌های (خانقاه، خلخال، آرپا)، نقشه بافت خاک به کمک استخراج از پایگاه‌داده خاک جهان (*HWSD*) استخراج لایه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۷*ETM*+ و لندست*OLI8* نقشه رقومی ارتفاع (*DEM*) سنجنده استر، لایه پوشش گیاهی منطقه مورد بررسی، نقشه توپوگرافی ۵۰۰۰۰: ۱ سازمان نقشه‌برداری کشور، داده‌های سازمان هواشناسی کشور (بارندگی روزانه، ماهانه، سالانه)، نرم‌افزارهای ۱۰,۵ *ArcGIS* و۵,۳ *Envi* می‌باشد. در این پژوهش از نرم‌افزار ۱۰,۵ *ArcGIS* جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط به آن و ۳. ۵ *ENVI* جهت استخراج و پردازش تصاویر ماهواره‌ای بهره‌گیری شده است.

مدل *G2* یک روش برای تولید نقشه‌های فصلی و ماهانه، فرسایش سطحی و بین شیاری ناشی از تأثیر قطره باران و رواناب در اندازه سلول ۳۰۰ متر است. همچنین تأکید بر عوامل فرسایش دینامیکی یعنی الگوهای بارش و الگوهای پوشش گیاهی و درنتیجه منجر به تهیه نقشه فرسایش در طول یک ماه می‌شود. مدل G2 از یک روش داده‌محور پیروی می‌کند. در کنار فرمول‌های موجود فاکتور فرسایش که از USLE به‌ارث‌رسیده است. مدل G2 جایگزین‌هایی را ارائه می‌دهد که الزامات داده‌های متوسط را دارند این مدل پس از اولین کاربرد در حوزه رودخانه مورد بازبینی قرار گرفت. این موردنیاز به داده‌های متوسطی دارد و از همان اصول معادله جهانی خسارت خاک (USLE) پیروی می‌کند (ویشمار[1] و اسمیت، ۱۹۹۲) مدل G2 از فرمول زیر استفاده می‌کند.

$$E = \left(\frac{R}{V}\right) \times S \times \left(\frac{T}{I}\right) \qquad (۱)$$

که در آن E مقدار خاک پیش‌بینی‌شده در طی یک دوره زمانی خاص که از آن منطقه برداشته‌شده است R، عامل فرسایش بارندگی- رواناب برای یک دوره زمانی خاص است که تأثیر قطره باران و انرژی رواناب را کمی می‌کند و *S* عامل‌فرسایش‌پذیری خاک است که یکسان با عامل USLE'sK-factor که منعکس‌کننده سهولت جدا شدن خاک توسط ذرات قطره باران یا جریان سطحی، T عامل توپوگرافی (بدون بعد و مشابه با ضریب *LS-factor of the USLE*) است که تأثیر طول شیب و شیب را بررسی می‌کند (ویشمار و اسمیت، ۱۹۸۷) .*V*عامل حفظ پوشش گیاهی (بدون بعد و مشابه عامل C-factor) که اثرات همه متغیرهای وابسته و به‌هم‌پیوسته است (رینارد همکاران، ۱۹۹۷). V در اصل بر اساس استفاده از دو پارامتر بیوفیزیکی است، یعنی بخش پوشش گیاهی (fcover) و شاخص سطح برگ (LAI) هر دو از تصاویر ماهواره‌ای گرفته شده‌اند با این‌حال در نسخه بازبینی‌شده (LAI) دیگر در فرمول گنجانده نشده است زیرا ثابت شده است که این دو متغییر به‌شدت وابسته هستند.

عوامل فرسایش

عامل فرسایندگی باران *(R)* : رابطه بین میزان بارش و عملکرد رسوب آورده شده است، یا رابطه بین بارش باران و رسوب حاصل از بارش باران است. در اکثر مطالعات فرسایش خاک، محاسبه بارش باران به دلیل فقدان داده‌های سرس زمانی محدود است. فقط تنها چند مطالعه در اروپا عامل *R* را مستقیماً تعیین کرده‌اند. از داده‌هایی که وضوح زمانی بالایی دارند (کوتینیو و همکاران، ۲۰۰۱).

در اینجا معادله اصلی RUSLE(Revised-USLE)R-factor برابر است برای ایجاد یک پایگاه اطلاعاتی از رویداد فرسایشی مورداستفاده قرار گرفته است ضریب *R* نشان‌دهنده انرژی جنبشی یک رویداد بارش و حداکثر ۳۰ دقیقه است (برون و فوستر ، ۱۹۸۷).

$$R = \frac{۱}{n} \sum_{j=۱}^{n} \sum_{K=۱}^{mj} (EI_{۳۰})_k \qquad (۲)$$

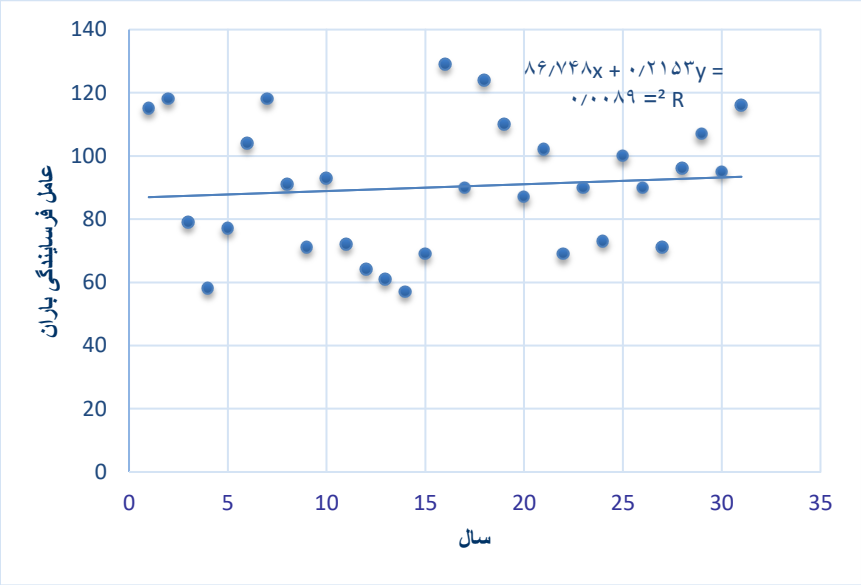
که در آن *R* متوسط فرسایش‌پذیری ماهانه است .

*N*تعداد سال‌های ثبت شده است *mj* تعداد حوادث فرسایشی طی یک ماه مشخص است و *J:*شاخص فرسایش بارش یک رویداد واحد *K* است. به این صورت تعریف می شود. به دلیل عدم وجود دستگاه باران نگار در ایستگاه‌ها، عامل فرسایندگی باران از معادله ای که توسط رنارد و فریموند در سال ۱۹۹۴ ارائه‌شده محاسبه گردید. با توجه به نبود ایستگاه باران سنجی در داخل حوضه از آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک- گیوی چای استفاده و سپس مقدار *(R)* برای ایستگاه‌ها

[1]. Wischmeier and smith

براساس شاخص اصلاح شده فورنیه(MFI)بدست آمده که از رابطه ۵ بدست آمده برآورد گردید(نارد و فریماند، ۱۹۹۴).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \quad (۳)$$



شکل (۲). رابطه بین بارندگی و عامل فرسایندگی باران در ایستگاههای اطراف حوضه گیوی چای

فرسایش‌پذیری خاک:*(S)* فرسایش‌پذیری خاک یک پارامتر کلان است که نشان‌دهنده یک مقدار سالانه ترکیبی از واکنش پروفیل خاک نسبت به فرایند جداسازی خاک و حمل از طریق قطره باران و جریان سطحی است (رینارد و همکاران، ۱۹۷۷)فرسایش‌پذیری خاک (که به‌عنوان ضریب K در فاکتور $USLE$ و فاکتور S در مدل $G2$ نشان داده می‌شود) از اندازه‌گیری‌های مستقیم نمودارهای طبیعی برآورد می‌شود (کینن، ۲۰۱۰)

$$S = k = \left[\frac{2/1\times10^{-4}\ M^{1/14}(12-0M)+3/25(s-2)+2/5(p-3)}{100}\right]\times 0/1317 \quad (۴)$$

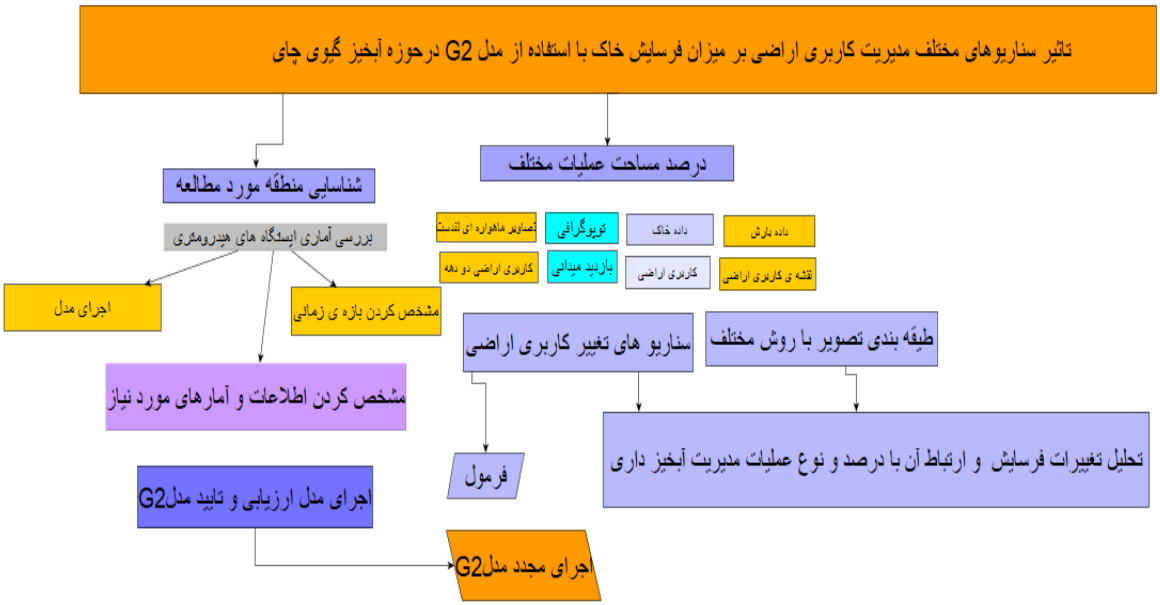
که در آن M فاکتور، فاکتور بافتی است که به‌عنوان درصد از گل‌ولای تعریف می‌شود (رس −۱۰۰) OM محتوای ماده آلی $S(\%)$ کلاس ساختار خاک است $s=1$.دانه‌ای و درشت $S=2$ دانه‌ریز $S=3$ دانه‌ای $S=4$ بلوکی یا مکعبی عظیم

P:کلاس نفوذپذیر است $p=1$ بسیار سریع $p=6$ بسیار کند

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک منطقه موردمطالعه و با دردست‌داشتن تمام زیر عامل‌های مربوط به عامل فرسایش‌پذیری S،میزان فرسایش‌پذیری حاصل از روش $G2$ باتوجه‌به کد ساختمان خاک و نفوذپذیری محاسبه می‌گردد. باتوجه‌به پارامترهای محاسبه شده، نتایج مربوط به عامل فرسایش‌پذیری با استفاده از رابطه جهانی فرسایش خاک برای حوزه گیوی چای به‌صورت جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. میزان فرسایش‌پذیری و نفوذپذیری خاک حوضه گیوی چای

پروفیل خاک	بافت خاک	ساختمان خاک	نفوذپذیری خاک
۱	اینسپتی‌سول	۲	۳
۲	مولی سول	۱	۶
۳	برون‌زدگی سنگ‌های آنتی سول	۳	۴



شکل (۳). فلوچارت تحقیق

نتایج

عامل پوشش گیاهی V: عامل مدیریت پوشش گیاهی به مجموعه اقداماتی اشاره دارد که به‌منظور حفظ، توسعه و بهبود کیفیت پوشش گیاهی در یک منطقه انجام می‌شود. این عامل می‌تواند شامل استراتژی‌ها و روش‌های مختلفی باشد که هدف آن‌ها افزایش کارایی اکوسیستم، حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از تخریب محیطزیست است. عامل حفظ پوشش گیاهی (مشابه با USLES c factor) درجه‌ای است که پوشش گیاهی و مدیریت از خاک در برابر فرسایش محافظت کند (ویچمیر[1] و اسمیت، ۱۹۸۷) مقادیر عامل C را می‌توان در جداول تجربی یافت و یا اینکه می‌توان هنگام استفاده از نقشه‌های زمینی یا تصاویر ماهواره‌ای برآورد کرد، در زمانی که مدیریت کاربری زمین موجود نیست (وریلینگ[2]، ۲۰۰۶) در مدل V G2 یک فاکتور پویا است که ورودی از سری‌های زمانی لایه‌های پوشش گیاهی و یک پارامتر استفاده از زمین را ترکیب می‌کند.

[1]. Wischmeier and Smith
[2]. Vrieling

جدول ۲. عامل پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز گیوی چای

کاربری اراضی	مساحت هکتار	عامل پوشش گیاهی
پوشش گیاهی انبوه	۴۰۴۲۱,۲۶۶۴	۰,۰۸۶
باغ	۲۳۹۷۲۶,۱۰۸۷	۰,۰۳۴
پوشش گیاهی متوسط	۸۷,۹۸۲۱,۵۷۲۳	۰,۰۱۶
پوشش گیاهی ضعیف	۵۲۰۲۱۹,۵۶۳۱	۰,۰۶۳
زمین بایر و مناطق کوهستانی	۱۳۴۱۸,۰۷۱۵۱	۰,۰۰۷
زمین کشاورزی	۹۸۲۳۴۸,۱۴۰۵	۰,۰۶۵
مناطق مسکونی	۸۸۹۵۴,۲۶۸۲۴	۰,۰۰۳

عامل شیب و طول شیب L: لایه L با استفاده از یک فیلتر (۳ × ۳ سوفل) یک فیلتر تشخیص لبه غیر جهت که بر روی باند مادون‌قرمز نزدیک (NIR)یک تصویر با وضوح مشابه یا بالاتر با DEM در حال استفاده اعمال می‌شود، محاسبه می‌شود. ویژگی‌های منظره‌ای که به طور بالقوه شیب را رهگیری می‌کنند و درعین‌حال می‌توانند توسط یک فیلتر فضایی جذب شوند، ممکن است شامل جاده‌ها، مسیرها و نوارهای آسفالت شده بین مزارع، حصارها، پرچین‌های طبیعی، تراس‌ها و غیره باشد. تأثیر تغییرات احتمالی سیمای سرزمین با نسبت مقدار فیلتر محاسبه شده بر حداکثر مقدار نظری تصویر کمی می‌شود. باتوجه‌به روش فوق، فرمول زیر برای محاسبه لایه L مناسب تشخیص داده شد:

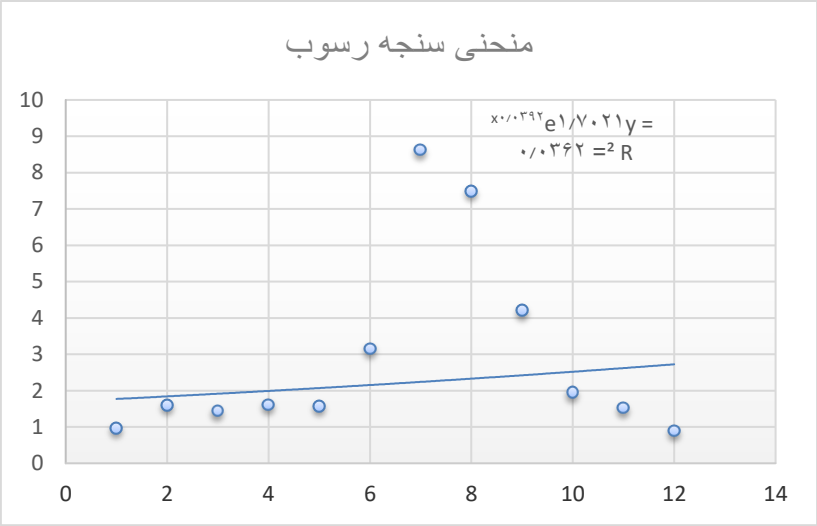
$$L = 1 + \sqrt{S_f / DN_{\max}} \qquad (۵)$$

تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه فرسایش:

پس از تهیه لایه‌ها و طبقه‌بندی هر کدام از آنها، نقشه نهایی فرسایش خاک با روی‌هم گذاری لایه‌های مذکور تهیه و به کلاس‌های مختلف فرسایش طبقه‌بندی شدند. تعیین مقادیر مشاهدهای میزان رسوب با استفاده از ایستگاه رسوب سنجی: به دلیل ناقص بودن داده‌های دبی مدیریت منابع آب ایران و جهت تطویل آمار از داده‌های دبی ثبت شده در گزارش‌های شرکت مهاب قدس استفاده شد. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته در طرح مطالعات یکپارچه قزل‌اوزن – سفیدرود، سری زمانی آبدهی طبیعی ورودی بر سدهای بفراجرد بالادست سد گیوی چای و از سال ۱۳۸۵–۱۳۸۶ تا سال آبی ۱۳۹۴–۱۳۹۵ داده‌های مدیریت منابع آب ایران مورداستفاده قرار گرفت میانگین متوسط فرسایش خاک در جدول (۳) محاسبه شده است. سپس با استفاده از رابطه SDR متوسط فرسایش حوزه ۳,۳ تن در هکتار در سال برآورد شد (جدول ۳).

جدول ۳. مقادیر رسوب و فرسایش اندازه‌گیری‌شده ایستگاه آبگرم حوزه گیوی چای

متوسط فرسایش خاک سالانه	مساحت	نسبت تحویل رسوب	متوسط سالانه
۳,۳	۲۶۶۴	۰,۱	۰,۱۱۸



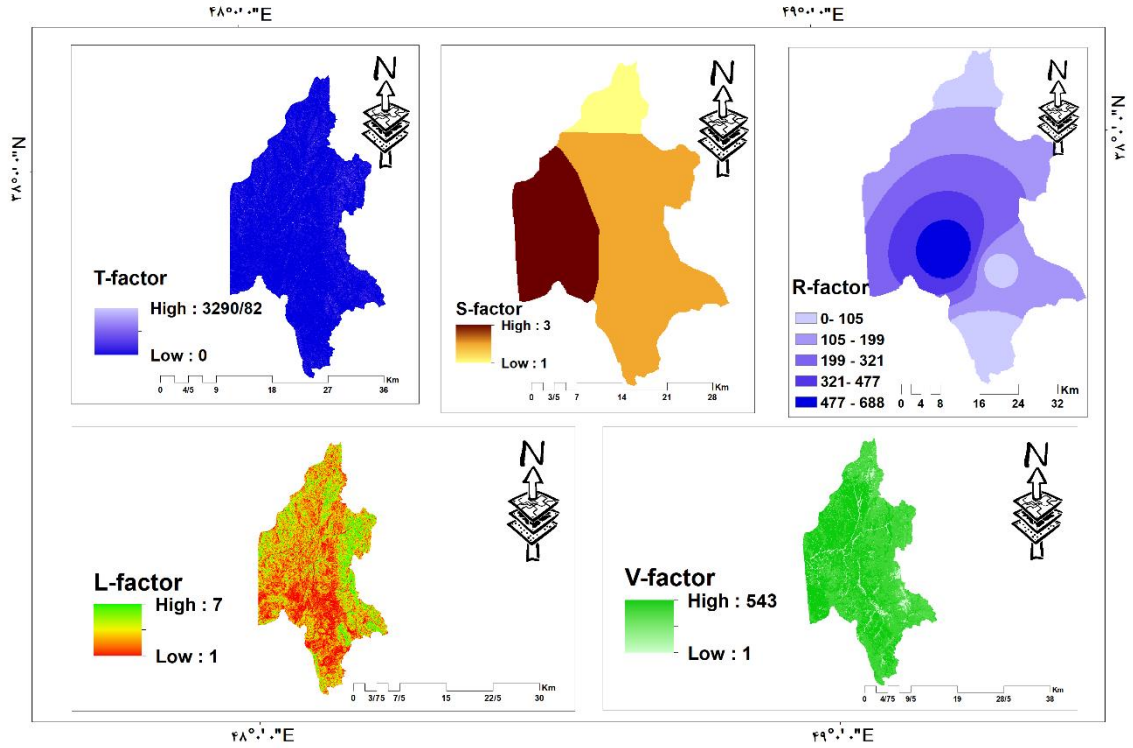
شکل۴. منحنی سنجه رسوب ایستگاه آبگرم حوزه گیوی چای

جدول ارائه‌شده اطلاعاتی درباره فرسایش خاک و رسوب در ایستگاه آبگرم حوزه گیوی چای را نشان می‌دهد. این اطلاعات به تحلیل وضعیت فرسایش خاک و مدیریت منابع آب‌وخاک کمک می‌کند. در ادامه به توضیح هر یک از مقادیر اشاره‌شده در جدول (۳) پرداخته می‌شود: متوسط فرسایش خاک سالانه (۳/۳ تن در هکتار): این مقدار نشان‌دهنده میانگین میزان فرسایش خاک در هر هکتار زمین در سال است. عدد ۳,۳ تن در هکتار به این معناست که به طور متوسط، ۳/۳ تن خاک از هر هکتار در سال دچار فرسایش می‌شود. این مقدار می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت سلامت خاک و میزان پایداری آن باشد. مساحت (۲۶۶۴ هکتار): این عدد نشان‌دهنده مساحت کل منطقه‌ای است که مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه‌به اینکه مساحت ۲۶۶۴ هکتار است، می‌توان محاسبات کلی‌تری درباره کل فرسایش خاک در این منطقه انجام داد. نسبت تحویل رسوب (۰/۱): این نسبت نشان‌دهنده میزان رسوبی است که از منطقه به آبراهه‌ها و منابع آبی منتقل می‌شود. نسبت ۰/۱ به این معناست که تنها ۱۰ درصد از فرسایش خاک به‌صورت رسوب به آبراهه‌ها منتقل می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به ارزیابی کیفیت آب و تأثیرات زیست‌محیطی کمک کند. متوسط سالانه (۰/۱۱۸ تن در هکتار): این مقدار نشان‌دهنده میانگین رسوبی است که به آبراهه‌ها تحویل داده می‌شود، بر اساس مساحت کل و نسبت تحویل رسوب محاسبه شده است. عدد ۰/۱۱۸ تن در هکتار به ما می‌گوید که به طور متوسط، ۰/۱۱۸ تن رسوب از هر هکتار در سال به آبراهه‌ها منتقل می‌شود.

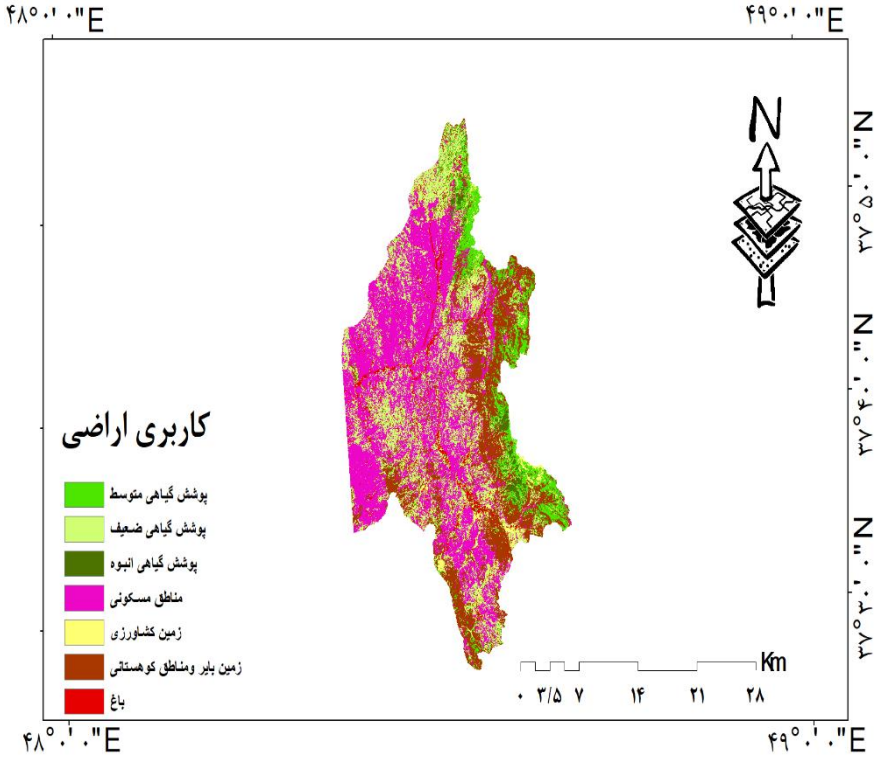
جدول ۴. سناریو کاربری اراضی در حوزه گیوی چای استان اردبیل

سناریوی مدیریتی	توضیحات	عامل	پوشش گیاهی انبوه	باغ	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی ضعیف	زمین بایر	زمین کشاورزی	مناطق مسکونی
سناریو ۱	احیای مرتع ضعیف	C L	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۱	۰,۱	۰,۳	۰,۳
سناریو ۲	احیای مراتع متوسط	C L	۰,۰۳	۰,۱	۰,۱۳	-	۰,۱	۰,۳	-
سناریو ۳	احیای مرتع ضعیف و متوسط	C L	۰,۰۳	۰,۱	-	-	-	۰,۳	-
سناریو ۴ (تخریب)	گسترش اراضی کشاورزی	C L	-	-	-	-	۰,۱	۰,۳	-
سناریو ۵(تخریب)	گسترش اراضی کشاورزی درشیب کمتر از ۲۰	C L	-	-	-	-	۰,۱	۰,۳	-
سناریو ۶	احداث باغ	C L	۰,۰۳	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۱	-	-	-

با درنظرگرفتن تنوع کاربری اراضی و امکان کاهش فرسایش با استفاده از روش‌های مدیریت پوشش و کشاورزی حفاظتی، از رویکرد مبتنی بر سناریو برای تدوین سناریوهای ممکن کاربری اراضی بهره برده شد. در ادامه بر اساس شرایط منطقه موردمطالعه و همچنین وضعیت کاربری اراضی، علاوه بر سناریوی وضعیت موجود، تعداد شش سناریوی دیگر باهدف بهبود عامل مدیریت گیاهی و حفاظت خاک در برابر فرسایش تدوین شد. باتوجه‌به اینکه مقدار پارامترهای (Sفرسایش‌پذیری خاک) (T عامل طول شیب و درجه شیب) در یک منطقه مشخص در مدل G2 در کوتاه‌مدت تغییر نمی‌کنند و نیز پارامتر R تحت‌تأثیر خصوصیات بارندگی است، لذا می‌توان برای ارزیابی اثرات فعالیت‌های کشاورزی و حفاظت خاک، از تغییر پارامترهای C و L استفاده نمود؛ لذا بر اساس کاربری اراضی منطقه و نیز استفاده از جدول ترکیبی، مقادیر C و Lبرای هر نوع کاربری اراضی استخراج و در محاسبه فرسایش با مدل G2 مورداستفاده قرار گرفت .مشخصات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی و کاربری اراضی باهدف حفاظت خاک در آبخیز گیوی چای در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار فرسایش خاک در هر یک از سناریوها با استفاده از مدل G2 تعیین شد و مقدار فرسایش در هر کاربری اراضی و نیز در هر سناریوی مدیریتی محاسبه شد. پس از تهیه نقشه عوامل فرسایش در مدلG2 ، در محیط GIS نقشه فرسایش خاک منطقه مطالعاتی تهیه شد. باتوجه‌به تنوع کاربری اراضی و امکان کاهش فرسایش با استفاده از روش‌های مدیریت پوشش و کشاورزی حفاظتی، از رویکرد مبتنی بر سناریو برای تدوین سناریوهای ممکن کاربری اراضی استفاده شد. در ادامه مقدار فرسایش خاک با ابعاد سلولی ۲۰ در ۲۰ متر در هر یک از سناریوها تدوین شد.

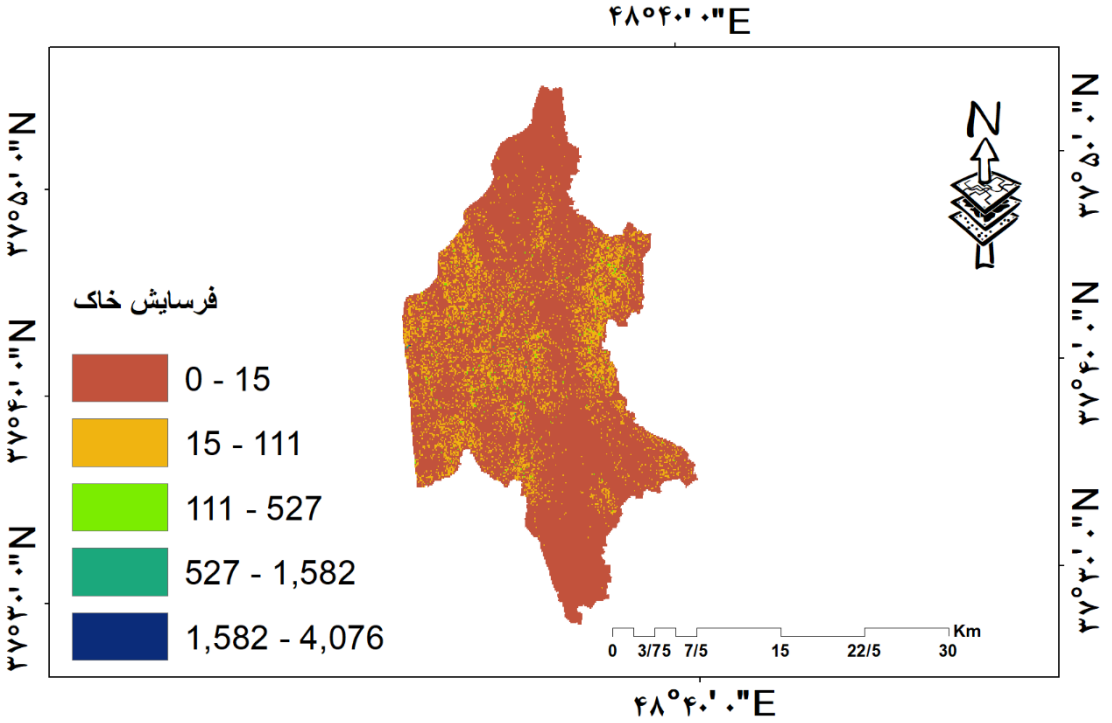


شکل ۵. عامل اجرایی مدل G2

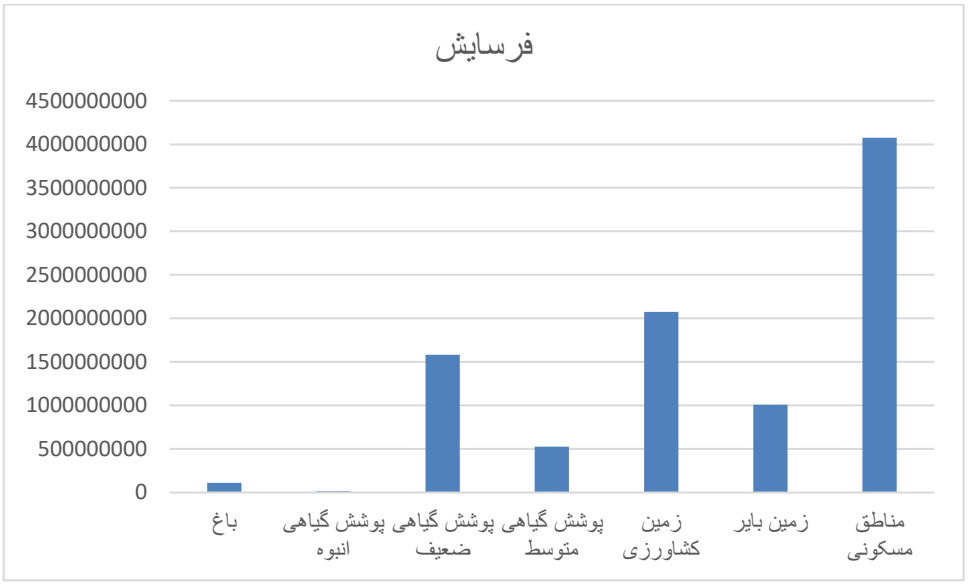


شکل ۶. نقشه کاربری اراضی حوزه گیوی چای

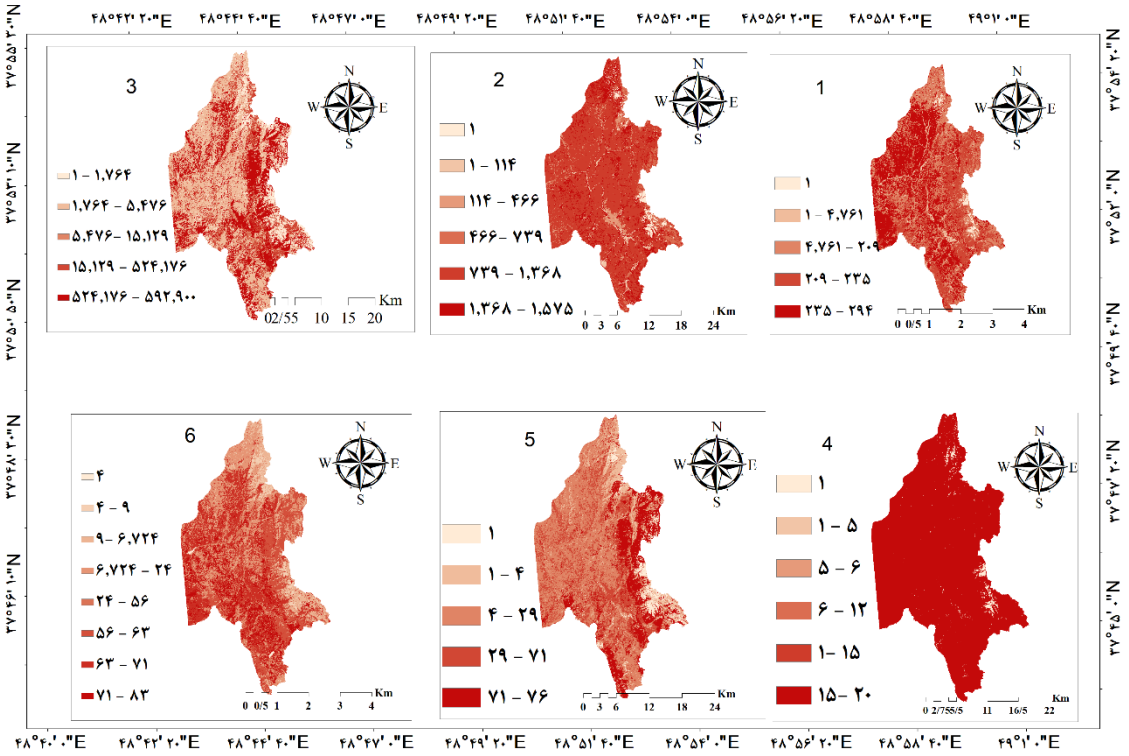
در شکل (۶) میزان فرسایش در سطح کاربری‌های مختلف نشان‌داده‌شده است. با درنظرگرفتن تغییرات مساحت کاربری‌ها و تغییرات فرسایش می‌توان گفت به‌طورکلی، مناطق مسکونی معمولاً بیشترین میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را دارد، به‌ویژه اگر مدیریت مناسبی نداشته باشد. مطابق شکل (۷) و شکل (۸) پس از آن، زمین کشاورزی و سپس پوشش گیاهی ضعیف در رتبه‌های بعدی قرار دارند. پوشش گیاهی انبوه بهترین وضعیت را از نظر حفاظت خاک دارد. رسوب‌گذاری به‌شدت تحت‌تأثیر نوع کاربری زمین و مدیریت آن قرار دارد. کاربری‌های کشاورزی و مسکونی بیشتر در معرض خطر رسوب‌گذاری هستند، درحالی‌که مناطق با پوشش گیاهی انبوه بهترین وضعیت را دارند. مدیریت صحیح و پایدار می‌تواند به کاهش اثرات منفی و حفظ کیفیت خاک و منابع آبی کمک کند.



شکل ۷. نقشه متوسط فرسایش سالانه حوزه آبخیز گیوی چای



شکل ۸. مقادیر فرسایش (هزار تن) حوزه آبخیز گیوی چای



شکل (۹) نقشه‌های مقدار فرسایش خاک (تن بر هکتار در سال) در سناریوهای مختلف حوزه گیوی چای

بحث

کلاس خطر فرسایش طبقه‌بندی شده و در شکل (۹) ارائه شـده است. بر اساس نقشـه سـناریوی وضـعیت موجـود در شـکل (۸) مقادیر به‌دست‌آمده فرسایش خاک بین صفر تا ۷۰ تن بر هکتار است. بیش‌تر فرسایش در زمین‌های کشاورزی مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شکل (۹) کمترین مقدار کاهش فرسایش مربوط به پوشش گیاهی انبوه و متوسط است که در قالب سناریو شکل (۹) ارائه شده است. با تحلیل اثرات سناریو در کاهش فرسایش می‌توان به این نتیجه رسید که در صورت امکان احیای مراتع متوسط و ضعیف و تبدیل آن به مراتع خوب متناسب با شرایط منطقه می‌توان از مقدار قابل‌توجهی از فرسایش خاک کاست. تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک در حوزه گیوی چای اردبیل که در کاربری کشاورزی مشاهده می‌شود که کاربری‌های کشاورزی به دلیل فعالیت‌های خاک‌ورزی و تغییرات در پوشش گیاهی، بیشتر در معرض فرسایش قرار دارند. این نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالای این نوع اراضی است و نیاز به مدیریت دقیق‌تر و استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار را نمایان می‌کند. کاربری‌های مسکونی در زمین‌های مسکونی نیز فرسایش خاک به چشم می‌خورد که ممکن است ناشی از ساخت‌وسازها و کاهش پوشش گیاهی باشد. این امر نشان‌دهنده اهمیت نقش‌پوشش گیاهی در کاهش فرسایش برنامه‌ریزی شهری و حفظ فضاهای سبز در کاهش فرسایش است. نتایج نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی انبوه می‌تواند به طور قابل‌توجهی از فرسایش خاک جلوگیری کند. ریشه‌های گیاهان به تثبیت خاک کمک کرده و مانع از شسته شدن آن می‌شوند. این نکته تأکید بر اهمیت حفظ و توسعه فضای سبز دارد. اهمیت مدیریت پایدار یافته‌ها نشان می‌دهد که اجرای شیوه‌های مدیریت پایدار، مانند احیای مراتع و استفاده از تکنیک‌های کشاورزی سازگار با محیط‌زیست، می‌تواند به کاهش فرسایش خاک کمک کند. این موضوع به ما یادآوری می‌کند که باید به دنبال راهکارهایی برای حفظ منابع طبیعی و افزایش بهره‌وری در کشاورزی باشیم. تأثیرات اجتماعی و اقتصادی فرسایش خاک نه‌تنها بر محیط‌زیست تأثیر منفی دارد، بلکه می‌تواند معیشت جوامع محلی را تحت‌تأثیر قرار دهد. کاهش کیفیت خاک می‌تواند منجر به کاهش تولیدات کشاورزی و افزایش فقر در مناطق روستایی شود؛ بنابراین، توجه به این موضوع از نظر اجتماعی و اقتصادی نیز ضروری است. بر اساس تحلیل‌های کیفی، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان در زمینه مدیریت پایدار خاک ایجاد شود. همچنین، طرح‌های احیای مراتع و حفاظت از پوشش گیاهی باید در اولویت قرار گیرد تا از فرسایش خاک جلوگیری شود در نهایت، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت توجه به کاربری‌های مختلف اراضی و تأثیر آن‌ها بر فرسایش خاک است. برای حفظ منابع طبیعی و بهبود کیفیت خاک، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و اجرای شیوه‌های مدیریت پایدار داریم.

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک با استفاده از مدل G2 در حوزه آبخیز گیوی چای نشان می‌دهد که این مدل به طور خاص برای ارزیابی و پیش‌بینی فرسایش خاک و رسوب‌گذاری طراحی شده است. مقادیر فرسـایش در وضـعیت موجـود و نیـز شش سـناریوی مدیریتی برآورد شد و نتایج مورد تحلیـل قـرار گرفـت در زیر برخی از نتایج کلی که ممکن است از این مدل به دست آید اشاره کرد. بررسی نقشه فرسایش خاک‌نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن در سطح حوزه ۳,۳ تن است. با اسـتفاده از مدل G2 و پارامترهای ترکیبی، نرخ فرسـایش خاک را محاسـبه می‌شـود. این مرحله شـامل اسـتفاده از فرمول‌های خاص مدل G2 است که به عوامل مختلف وزن می‌دهد پس از محاسبه نرخ فرسایش، نقشه نهایی فرسایش خاک را در محیط ArcGis تهیه و این نقشه باید شامل مناطق با خطر بالا، متوسط و پایین فرسایش باشد. در نتیجه با تهیه نقشه کاربری اراضی میزان فرسایش برای تمام کاربری‌ها مشخص شد و نتایج حاصل از فرسایش در هر یک از کاربری‌ها نشان می‌دهد که در اکثر کاربری‌ها میزان فرسایش افزایش‌یافته است. اما بیشترین مقدار فرسایش و رسوب آن

به ترتیب مناطق مسکونی و زمین کشاورزی است. نتیجه‌گیری کلی این است که نوع کاربری زمین به طور مستقیم بر میزان رسوب‌گذاری تأثیر می‌گذارد و مدیریت نادرست می‌تواند منجر به فرسایش خاک و آلودگی منابع آبی شود. می‌توان تنها با اجرای سناریو احیای مراتع ضعیف و سناریو احداث باغ و سناریو تبدیل مراتع متوسط به خوب از مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از فرسایش خاک کاهش داد و اصولاً سناریو ترکیبی نتایج بهتری ارائه می‌دهد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود که برنامه‌ریزی‌های شهری و کشاورزی به‌گونه‌ای انجام شود که از روش‌های پایدار استفاده کند، مانند حفظ پوشش گیاهی، استفاده از تکنیک‌های کشاورزی حفاظتی و طراحی زیرساخت‌ها به‌منظور کنترل رواناب. همچنین، آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و ساکنین مناطق شهری دربارهٔ اهمیت حفظ خاک و آب می‌تواند به کاهش رسوب‌گذاری کمک کند. در نهایت، نظارت مداوم بر تغییرات کاربری زمین و ارزیابی تأثیرات آن بر محیط‌زیست ضروری است تا به حفظ منابع طبیعی و جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی کمک شود. نتایج این تحقیق رهیافت ترویجی زیر جهت جلوگیری از فرسایش خاک و حفاظت از منابع طبیعی را پیشنهاد می‌کند. آموزش و کارگاه‌های عملی، برگزاری دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های عملی برای کشاورزان و ساکنان مناطق شهری به‌منظور آشنایی با تکنیک‌های پایدار و روش‌های مدیریت منابع. توسعه محتوای آموزشی تولید و توزیع بروشورها، کتابچه‌ها و محتوای دیجیتال درباره اهمیت حفاظت از خاک و آب و روش‌های مؤثر در کاهش رسوب‌گذاری. استفاده از رسانه‌ها بهره‌گیری از رسانه‌های محلی، شبکه‌های اجتماعی و برنامه‌های تلویزیونی برای ترویج آگاهی عمومی در مورد مسائل زیست‌محیطی. تشکیل گروه‌های محلی: ایجاد گروه‌ها و انجمن‌های محلی برای تبادل تجربه، دانش و همکاری در زمینه حفاظت از منابع طبیعی. توسعه مدل‌های مشارکتی تشویق به مشارکت جامعه در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه در مناطق روستایی. ارزیابی و نظارت ایجاد سیستم‌های نظارتی برای ارزیابی تأثیرات برنامه‌های ترویجی و اصلاح آن‌ها بر اساس بازخوردها. تشویق به استفاده از فناوری: معرفی فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های آبیاری هوشمند یا نرم‌افزارهای مدیریت منابع به کشاورزان. ایجاد مشوق‌های اقتصادی: ارائه تسهیلات مالی یا مشوق‌های اقتصادی برای کشاورزان و فعالان محیط‌زیست که به روش‌های پایدار روی می‌آورند. این رهیافت‌ها می‌توانند به بهبود وضعیت منابع طبیعی و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی کمک کنند.

منابع

آقا رضی، ح.، و قدوسی، ج.،۱۳۸۰. بررسی رابطه کاربری اراضی و شیب با فرسایش خاک و تولید رسوب. مجموعه چکیده مقالات همایش ملی مدیریت اراضی فرسایش و توسعه پایدار، اراک، ۲تا ۴ بهمن ۱۳۸۰.

اصغری سراسکانرود، ص، محمدنژاد آروق، و. امامی، ه.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیءگرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک؛ مطالعهٔ موردی: شهرستان مراغه. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸ (۱): ۱۷۸-۱۶۰.

اصغری سراسکانرود، ص.، آقایاری، ل.، و پیروزی، ا.، ۱۳۹۶. بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش در با استفاده از RS و GIS مطالعه موردی در شهرستان نیر، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۴)۸: ۶۲-۴۹.

امان‌پور، س.، عبیات، م.، عبیات، م.، و عبیات، م.، ۱۴۰۰. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شیءگرا و مدل RUSLE ، مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران (مجله علوم کشاورزی، ایران)، ۵۲ (۳): ۶۴۹ -۶۳۵.

پژوهش، م.، گرجی، م.، طاهری، م.، سرمدیان، ف.، محمدی، ج.، و صمدی، ح.، ۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی مختلف حوزه سد زاینده‌رود علیا در تولید رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نشریه پژوهش ایران، ۸ (۱): ۴۱۶-۴۳.

جوان دوست، ه.، اونق، م.، حسنعلی‌زاده، م.، و سکوتی، ر. ۱۳۹۳. برآورد فاکتور فرسایندگی با استفاده از الگوریتم‌های زمین‌آمار برای برآورد فرسایش در مدل WaTEM/SEDEM در حوزه روضه چای. پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، دانشگاه ارومیه: ۱-۱۱.

حاجی، خ.، اسمعلی عوری، ا.، مصطفی‌زاده، ر.، و نظرنژاد، ح.، ۱۳۹۴. تهیه و ارزیابی نقشه فرسایش خاک حوزه آبخیز روضه چای ارومیه با استفاده از GIS و مدل RUSLE ، دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیطزیست، ۱۲ و ۱۳ اسفند، دانشگاه محقق اردبیلی، ۶-۱.

خالدیان، ح، و نیک کامی، د .، ۱۳۹۶. نقش بهینه سازی کاربری اراضی بر کاهش پتانسیل فرسایش و رسوب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی در مطالعه موردی: حوزه چهل گزی سنندج، علوم آب و خاک ،(علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۱(۱): ۹۵-۱۱۱.

طالبی خیاوی، ح، ذبیحی، م، مصطفی‌زاده، ر .، ۱۳۹۶. تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل GIS و USLE در آبخیز سد یامچی اردبیل علوم آب‌وخاک علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۱، (۲): ۲۲۱-۲۳۴.

طالبی خیاوی، ح.، و مصطفی‌زاده، ر.، ۱۴۰۲. وابستگی مکانی و زمانی شاخص‌های زمین با خاک. مشخصات در منطقه کوهستانی شیب‌دار تپه. مجله علوم زمین عربی، ۱۵ (۱): ۱-۱۸.

کلار ستاقی، ع.، احمدی ح؛ جعفری، م.، و قدو سی، ج.، ۱۳۸۷. پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری جنگل به دیم‌کاری با استفاده از مدل‌سازی احتمالاتی در حوزه آبخیز فریم صحرا استان مازندران. پژوهش و سازندگی. ۲۱ (۱): ۵۲-۶۲.

محمدی، م.، خالدی درویشی، ا.، اسپالویچ، ا.، و دودیک، ب.، ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر شدت فرسایش خاک و عملکرد رسوب با استفاده از مدل IntEro در سوله آب تالار. آب ایران، ۱۳(۶): ۱-۱۵.

مصطفی‌زاده، ر.،صادقی، س.، ح. ر.، و سعدالدین، ا .، ۱۳۹۳. تحلیل رسوب نمود و حلقه‌های سنجه رسوب‌نگار در حوزه آبخیز گلاز اشنویه، آذربایجان غربی. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، ۲۱(۵):۱۷۵-۱۹۱.

مقصودی، مهران، گورابی، ا، و دارابی شاهماری، س.، ۱۳۹۲. بررسی تأثیر عامل پوشش گیاهی بر فرسایش آبی در حوزه آبخیز زرین. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۹): ۹۷-۸۳.

مددی، ع.، فعال نذیری، م.، و پیروزی، الف.، ۱۴۰۱ ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوزه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS روش‌های نوین سنجش‌ازدور، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۱۲ (۱): ۷۰-۵۲.

نصیری، ی.، تقدیسی، س.، محمودی قرایی، م.، محبوبی، ا.، خانه باد، م.، صداقت‌نیا، م.، و پاسبان، ع.، ۱۴۰۰. ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب با به‌کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و GIS در حوزه آبریز عشق‌آباد - سوله جنوب باختر قوچان. ۹ (۱۷): ۸۲-۶۵.

Asist, A., Castellarin, A., Montanari, A. (2021). Assessing the effect of land-use changes on annual average gross erosion, Hydrol Earth Sys. Sci. 6(2): 255-265.

Borselli, L., Torri, D., Poesen, J. Iaquinta, P. (2012). A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates. Catena, 97: 85–94. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.012

Babur, P. Marker, M., Panagos, P., Schutt, B. (2014). Modeling soil erosion and river sediment yield for an intermountain drainage basin of the Central Apennines, Italy. Catena, 114: 45–58. https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.007

Borrelli, P., Paustian, K., Panagos, P., Jones, A., Schütt, B., Lugato, E. (2016). Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: a national case study. Land Use Policy, 50: 408–421. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.033

Brown, L.C., Foster, G.R. (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. Trans. ASAE, 30 (1): 379–386.

Cardei, P. (2010). The dimensional analysis of the USLE - MUSLE soil erosion model. Proc. Rom. Acad. Ser. B (3): 249–253. https://www.researchgate.net/publication/236647358

Curzio, P., Magliulo, P. (2009). Soil erosion assessment using geomorphological remote sensing techniques: an example from Southern Italy, Earth Surface Processes and Landforms 53 (3): 262-271. https://doi.org/10.1002/esp.1905

De Vente, J., Poesen, J. (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. Earth Sci. Rev. 71: 95–125. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.02.002

Garcia-Ruiz, J.M. (2010). Eff. Land Uses Soil Eros. Spain.: A Rev. Catena 81, 1–11. Gavrilovic Z. 1988. The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) For Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential Streams, International Conference on River Regime: Wallingford, England.

Giordano, A., Bonfils, P., Briggs, D.J., Menezes de Sequeira, E., Roquero de Laburu, C., Yassoglou, N. (1991). The methodological approach to soil erosion and important land resources evaluation of the European Community. Soil Technol. 4: 65–77. https://doi.org/10.1016/0933-3630(91)90040-T

Karydas, C.G., Zdruli, P., Koci, S., Sallaku, F. (2015a). Monthly time-step erosion risk monitoring of Ishmi-Erzeni watershed, Albania using the G2 model. Environ. Model. Assess. 20 (6): 657–671. https://doi.org/10.1007/s10666-015-9455-5

Karydas, C.G., Tzoraki, O., Panagos, P. (2015b). A new spatiotemporal risk index for heavy metals: application in Cyprus. Water, 7 (8): 4323–4342.

Meusburger, K., Steel, A., Panagos, P., Montanarella, L., Alewell, C. (2012). Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. Hydrol. Earth Syst. Sci. 16: 167–177. https://hess.copernicus.org/articles/16/167/2012/hess-16-167-2012.html

Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. (2014a). Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. Sci. Total Environ. 479–480: 189–200. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010

Panagos, P., Karydas, C., Ballabio, C., Gitas, I. (2014b). Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: an application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 27 (B): 147–155. https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.012

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. (2015a). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. Land Use Policy 48: 38–50. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. (2015b). New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water. Geosciences, (5): 117–126. https://www.mdpi.com/2076-3263/5/2/117

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A. (2015c). Rainfall erosivity in Europe. Sci. Total Environ. 511: 801–814. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008

Panagos, P., Imeson, A., Meusburger, K., Borrelli, P., Poesen, J., Alewell, C. (2016). Soil conservation in Europe: wish or reality? Land Degrad. Dev. 27 (6): 1547–155. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ldr.2538

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K.J., Yang, J.E., Ni, J., Miao, C., et al. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Sci. Rep. 7 (1) (art. no. 4175). https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8

Renard, K.G., Freimund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the -factor in the revised USLE. J. Hydrol. 157 (1): 287–306.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). In: Agriculture Handbook, No. 703. U.S. Department of Agriculture. p. 404. https://www.tucson.ars.ag.gov

Rojas, R. ,Velleux, M., Julien, P., Johnson, B. (2008). Grid scale effects on watershed soil erosion models. J. Hydrol. Eng, 1: 793–802.

Sarapatka, B., Bednar, M. (2015). Assessment of potential soil degradation on agricultural land in the Czech Republic. J. Environ. Qual. 44 (1): 154–161. https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2014.05.0233

Sonneveld, B.G.J.S,. Nearing, M.A. (2003). A non-parametric/parametric analysis of the universal soil loss equation. Catena 52, 9e21. Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. Geol. Soc. Am. Bull. 63 (11): (1117–114). https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2029726

Tantasirin, C., Nagai, M.,Tipdecho, T., Tripathi, N. (2016). Reducing hillslope size in C.G. Karydas, P. Panagos Environmental Research 161 (2018) 256–267 266digital elevation models at various scales and the effects on slope gradient estimation. Geocarto Int. 31.

Tolk, A. (2015). Learning something right from models that are wrong – epistemology of simulation. In: Yilmaz, L. (Ed.) , Concepts and Methodologies in Modeling and Simulation. Springer–Verlag, 1: 87–106. https://www.researchgate.net/publication/275033949_

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (1999). Soil erosion risk assessment in Italy (JRC Scientific and Technical Report, EUR 19044 EN). European Soil Bureau, European Commission, pp. 52.
https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/serae/GRIMM/italia/eritaly.pdf

Verger, A., Baret, F., Weiss, M., Filella, I., Penuelas, J. (2015). GEOCLIM: a global climatology of LAI, FAPAR, and FCOVER from VEGETATION observations for 1999–2010. Remote Sens. Environ. 166, 126–137 (1 September 2015). Verhoef, W. 1985. Earth observation modeling based on layer scattering matrices. Remote Sens. Environ. 17: 165–178.

Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. Catena, 65: 2–18. https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.10.005

Watson, D.J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Ann. Bot. 11: 41–76.

Wilhelm, W.W., Ruwe, K., Schlemmer, M.R. (2000). Comparisons of three Leaf Area Index Meters in a Corn Canopy. Crop Sci. 40: 1179–1183. https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2135/cropsci2000.4041179x

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1965). Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook, 282. US Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Washington DC.

Zen, Ch., Wang, Sh., Bai, X., Li, Y., Tian, Y., Li, Y., Wu, L., Luo, G. (2021). Soil erosion evolution and spatial correlation analysis in a typical karst geomorphology, using RUSLE with GIS, Solid Earth Discuss, 1-27.

Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., et al. (2017) An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the revised universal soil loss equation for large watersheds. Geoderma, 308:36-45. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.006