



A review of some studies, methods and estimates of soil erosion and sediment yield in Iran

Omid Rahmati¹ | Fariba Ahmadi Dehrashid² | Seyed Masoud Soleimanpour³ | Bahram Choubin⁴

1. Corresponding Author, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran. E-mail: o.rahmati@areeo.ac.ir

2. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Sanandaj, Iran. E-mail: fariba.ahmadi@areeo.ac.ir

3. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran. E-mail: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

4. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran. E-mail: b.choubin@areeo.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Review Article	Soil erosion and sediment yield are significant environmental challenges in Iran, substantially impacting agriculture, natural resources, and ecosystems. Lack of sufficient information about the results of different methods of estimating and measuring soil erosion is a serious challenge in soil erosion studies in the country. This research examines some of the most important studies conducted on soil erosion and sedimentation in Iran. Initially, water erosion studies conducted within the country between 1972 and 1984 were searched and collected in various scientific databases such as the Scientific Information Center of the Academic Jihad, the National Publications Database, and Google Scholar. These scientific sources were classified and analyzed from different aspects and perspectives. Then, various methods for measuring and estimating soil erosion, including mathematical and experimental models, as well as existing estimates of soil erosion and sedimentation rates in Iran, were presented and introduced. The results of the reviewed studies show that the rate of soil erosion in different watersheds of Iran varies significantly and has been reported to average between 5 and 68 tons per hectare per year. The differences are influenced by climatic and local factors, including geographical features, soil type, vegetation cover, roughness, and human activities. The spatial distribution of the use of RUSLE, MPSIAC, EPM, WEPP, ICONA, and SLEMSA models in Iran was presented. Some soil erosion studies in the country have used models to estimate soil erosion without considering the assumptions and scope of application of the models. Findings based on comparative analyses of soil erosion studies on a national scale can identify research gaps and opportunities and can improve soil management programs and natural resource conservation in Iran.
Article history:	
Received: Jan. 4, 2025	
Revised: Feb. 27, 2025	
Accepted: March. 15, 2025	
Published online: July. 2025	
Keywords: Watershed, Soil Erosion, Empirical Models, Prediction.	

Cite this article: Rahmati, O., Ahmadi Dehrashid, F., Soleimanpour, S.M., & Choubin, B. (2025) A review of some studies, methods and estimates of soil erosion and sediment yield in Iran, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 56 (5), 1119-1145.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.388015.669866>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.388015.669866>



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Soil erosion and sediment yield represent critical environmental challenges in Iran, with profound implications for agriculture, natural resources, and ecosystems. This phenomenon not only threatens food security but also leads to the degradation of vital ecosystems and biodiversity. Understanding the multifaceted nature of soil erosion in Iran is essential for developing effective management strategies. This review paper aims to provide a comprehensive overview of some recent existing studies on soil erosion in Iran, examining the types, causes, and consequences of erosion, as well as identifying gaps in current research and proposing future directions.

Method

To gather relevant information, a systematic review of existing literature on soil erosion in Iran was conducted. This involved analyzing peer-reviewed articles, reports, and studies published over the last two decades. The review focused on water erosion, and its influencing factors such as climate change, human activities (like deforestation and agricultural practices), and geological characteristics. Additionally, the study evaluated different assessment methods employed in the literature, including mathematical models (e.g., Universal Soil Loss Equation, RUSLE) and empirical approaches. The effectiveness of these methods in measuring soil erosion across diverse Iranian landscapes was assessed. The review also considered the socio-economic impacts of soil erosion on local communities, emphasizing the necessity for sustainable resource management practices.

Results

The findings of the review indicate that soil erosion rates in Iran vary significantly across different regions, influenced by a combination of climatic, geological, and anthropogenic factors. For instance, arid and semi-arid regions, which constitute a substantial part of Iran, exhibit higher erosion rates due to limited vegetation cover and intense rainfall events. The analysis highlighted that water erosion is the predominant type, particularly in hilly and mountainous areas. The review also revealed that many studies employed mathematical models to quantify soil erosion, with varying degrees of success. While some models provided reliable estimates, others were limited by inadequate data or oversimplified assumptions. The results of the reviewed studies show that the rate of soil erosion in different watersheds of Iran varies significantly and has been reported to average between 5 and 68 tons per hectare per year. The differences are influenced by climatic and local factors, including geographical features, soil type, vegetation cover, roughness, and human activities. The spatial distribution of the use of RUSLE, MPSIAC, EPM, WEPP, ICONA, and SLEMSA models in the country is presented. Some soil erosion studies in the country have used models to estimate soil erosion without considering the assumptions and scope of application of the models. Findings based on comparative analyses of soil erosion studies on a national scale can identify research gaps and opportunities and can improve soil management programs and natural resource conservation in Iran.

Conclusions

This comprehensive review of soil erosion in Iran underscores the urgent need for effective management strategies to address this pressing environmental issue. The significant rates of soil erosion, coupled with its detrimental impacts on agriculture and ecosystems, highlight the necessity for targeted research and intervention. There are notable gaps in the current literature, particularly concerning localized assessment methods and the long-term socio-economic effects of soil erosion. Future research should focus on developing region-specific models that accurately reflect the diverse climatic and geological conditions across Iran. Additionally, interdisciplinary approaches that integrate ecological, social, and economic perspectives will be crucial for formulating comprehensive soil management strategies. Policymakers must prioritize sustainable resource management practices to combat soil erosion, ensuring the preservation of natural resources for future generations. In conclusion, addressing soil erosion in Iran requires a collaborative effort among researchers, policymakers, and local communities. By identifying and addressing the underlying causes of soil erosion, implementing effective management practices, and fostering community engagement, it is possible to mitigate the impacts of this environmental challenge and promote sustainable land use in Iran.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

“Not applicable”.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

مروری بر برخی مطالعات، روش‌ها و برآوردهای فرسایش خاک و رسوبدهی در ایران

امید رحمتی^۱ | فریبا احمدی دهرشید^۲ | سید مسعود سلیمان‌پور^۳ | بهرام چوبین^۴

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: o.rahmati@areeo.ac.ir

۲. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: fariba.ahmadi@areeo.ac.ir

۳. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، شیراز، ایران. رایانامه: m.soleimanpour@areeo.ac.ir

۴. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: b.choubin@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله مروری	فرسایش خاک و تولید رسوب از جمله تهدیدهای جدی محیط‌زیستی در جهان به شمار می‌رود که تأثیرات منفی زیادی بر کشاورزی، منابع طبیعی و بوم‌سازگان دارد. عدم اطلاع کافی از نتایج روش‌های مختلف برآورد و اندازه‌گیری فرسایش خاک به عنوان یک چالش جدی در مطالعات فرسایش خاک کشور مطرح است. این پژوهش برخی از مهمترین مطالعات انجام‌شده در زمینه فرسایش خاک و رسوبدهی در ایران را بررسی می‌نماید. در ابتدا، مطالعات فرسایش آبی انجام گرفته در داخل کشور در بین سال‌های ۱۳۵۱ و ۱۴۰۳ در پایگاه‌های مختلف علمی مانند پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، بانک اطلاعات نشریات کشور و Google Scholar جست‌وجو و جمع‌آوری شد. منابع علمی مزبور از جوانب و دیدگاه‌های مختلف طبقه‌بندی شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. سپس روش‌های مختلف اندازه‌گیری و برآورد فرسایش خاک، از جمله مدل‌های ریاضی و تجربی و همچنین برآوردهای موجود از میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در ایران ارائه و معرفی شدند. نتایج مطالعات بررسی شده نشان می‌دهند که میزان فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز مختلف ایران به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است و به طور متوسط بین ۵ تا ۶۸ تن در هکتار در سال گزارش شده است. این تفاوت‌ها تحت تأثیر عوامل اقلیمی و محلی از جمله ویژگی‌های جغرافیایی، نوع خاک، پوشش گیاهی، ناهمواری و فعالیت‌های انسانی قرار دارند. توزیع مکانی استفاده از مدل‌های MPSIAC، RUSLE، WEPP، EPM و ICONA در کشور ارائه شده است. برخی از مطالعات فرسایش خاک در کشور بدون در نظر گرفتن فرضیات و دامنه کاربرد مدل‌ها، از مدل‌ها برای تخمین فرسایش خاک پرداخته‌اند. یافته‌های مبتنی بر تحلیل‌های مقایسه‌ای مطالعات فرسایش خاک در مقیاس کشوری، ضمن شناسایی خلاها و فرصت‌های تحقیقاتی می‌تواند موجب بهبود برنامه‌های مدیریت خاک و حفظ منابع طبیعی در ایران شود.
واژه‌های کلیدی:	
حوزه آبخیز،	
فرسایش خاک،	
مدل‌های تجربی،	
پیش‌بینی.	
استناد: رحمتی؛ امید، احمدی دهرشید؛ فریبا، سلیمان‌پور؛ سید مسعود، چوبین؛ بهرام، (۱۴۰۴) مروری بر برخی مطالعات، روش‌ها و برآوردهای فرسایش خاک و رسوبدهی در ایران، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۶ (۵)، ۱۱۴۵-۱۱۱۹. https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.388015.669866	
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.	© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2025.388015.669866	



مقدمه

فرسایش خاک همواره به عنوان یکی از پدیده‌های مؤثر بر تخریب زمین مطرح بوده و اثرات زیان‌بار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی گسترده در حوزه آبخیز ایجاد می‌نماید (Keesstra et al., 2016). با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی مانند خاک‌ورزی موجب تشدید فرایند فرسایش خاک شده‌اند، اهتمام به مطالعات فرسایش خاک ضروری است (سیدالعلماء و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات متنوعی در داخل کشور در زمینه فرسایش خاک و با استفاده از روش‌های مختلف انجام گرفته است. ماهیت روش‌های مورد استفاده، مقیاس مطالعه و عوامل محیطی موردنظر در بررسی وضعیت فرسایش از مهم‌ترین جنبه‌های تفاوت مطالعات صورت گرفته‌اند. از جمله مطالعات جامع می‌توان به پژوهش انجام گرفته توسط عرب‌خدیری (۱۴۰۰) اشاره کرد که با اتکا به داده‌های اندازه‌گیری شده و پژوهش‌های گذشته، وضعیت فرسایش و تولید رسوب ایران را مورد بررسی قرار داده و باور غالب مبنی بر فرونی فرسایش خاک و رسوبدهی رودخانه‌های ایران، نسبت به آسیا و جهان، را نقد کرد. ایشان در این پژوهش بیان کردند که وضعیت فرسایش خاک در ایران مشابه وضعیت کشورهای همجوار است و منطقه‌هایی با وضعیت بحرانی‌تر از ایران در سطح جهان وجود دارند. همچنین با در نظر گرفتن برآوردهای مختلف از یکسو و قیاس کیفی وضعیت ایران در نقشه‌های جهانی فرسایش و تولید رسوب ایران، مقدار فرسایش خاک در ایران را حدود یک میلیارد تن در سال گزارش کردند (عرب‌خدیری، ۱۴۰۰). عوامل کلیدی نظیر شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، توپوگرافی نامساعد، مدیریت نامناسب سرزمین و وضعیت ضعیف و نامناسب زیست‌بوم، همراه با فقدان اقدامات حفاظتی خاک، نقش بسزایی در تشدید این پدیده داشته‌اند (اسدی، ۱۴۰۱). همچنین در کشورهای در حال توسعه، گسترش زمین‌های کشاورزی و فعالیت‌های کشاورزی اغلب عامل افزایش نرخ فرسایش خاک (حدود ۲۰ تا ۲۶ تن در هکتار در سال در مناطق با کشاورزی ناپایدار) است (Borrelli et al., 2017; کیانی و همکاران، ۱۳۹۶). به‌ویژه در اراضی کشاورزی آبی، برداشت محصول می‌تواند به فرسایش قابل توجهی منجر شود که ممکن است در شرایط خاص و تحت کشت برخی از محصولات (به‌ویژه محصولات غده‌ای)، از دیگر انواع فرسایش نیز فراتر رود (اسدی، ۱۴۰۱; Faraji et al., 2017). بر اساس نتایج پژوهش Faraji et al., (2017)، متوسط سالانه فرسایش خاک ناشی از برداشت محصول برای محصولات غده‌ای مانند تربچه، چغندرقد، سیر و سیب‌زمینی حدود ۴٫۴۲ میلی گرم در هکتار می‌باشد. با توجه به اینکه استفاده از اقدامات مدیریتی مناسب در اراضی کشاورزی می‌تواند در حفظ خاک و کاهش فرسایش نقش مهمی داشته باشد (Auerswald & Fiener, 2003)، امروزه از نظام کشاورزی حفاظتی جهت حفظ بقایا در سطح خاک، کمترین دست‌ورزی خاک و رعایت تناوب زراعی استفاده می‌شود (اسدی و صادقی، ۱۳۹۹; موشانی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج مطالعه موشانی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که میزان فرسایش خاک در اراضی با نظام حفاظتی، بیش از ۵۰ درصد کمتر از نظام کشاورزی مرسوم است. از طرفی با افزایش فشار بر منابع طبیعی و تغییرات مداوم در سیمای سرزمین، پیش‌بینی و مدل‌سازی اثرات فرسایش خاک اهمیت بیشتری یافته است (Shougang et al., 2014). مدل‌های فرسایش خاک ابزاری ارزشمند برای تخمین میزان فرسایش، برنامه‌ریزی استراتژی‌های مدیریت سرزمین و هدایت سیاست‌های حفاظت از خاک و آب به شمار می‌روند (Smith, 1999). همچنین مدل‌سازی مؤثر می‌تواند اطلاعاتی در مورد مقدار فرسایش فعلی، روند پیشرفت آن و سناریوهای تحلیلی ارائه دهد (Ganasri & Ramesh, 2016). پیش‌بینی فرسایش خاک بیش از هفت دهه پیش آغاز شد و توسعه معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۶۵ نقطه عطفی در این حوضه به شمار می‌رود (Lafren & Flanagan, 2013). از آن زمان تاکنون مدل‌های متعددی جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایند فرسایش خاک توسعه یافته‌اند که عوامل اصلی فرسایش نظیر بارش، شیب، پوشش گیاهی و خصوصیات خاک و روش‌های کنترل فرسایش را در نظر می‌گیرند (Batista et al., 2019; Borrelli et al., 2021; Igwe et al., 2021).

مدل‌های فرسایش خاک از عوامل مختلفی که بر فرسایش مؤثر هستند جهت شبیه‌سازی فرایندهای فرسایش به منظور پیش‌بینی سطوح فرسایش در یک منطقه استفاده می‌کنند (Anejionu et al., 2013). این مدل‌ها شامل سه دسته تجربی، مفهومی و فیزیکی هستند که هرکدام بسته به شرایط و داده‌های موجود، کاربردهای خاصی دارند (Merritt et al., 2003). در نهایت، درک عمیق از انواع فرسایش خاک، عوامل مؤثر بر آن و روش‌های اندازه‌گیری و برآورد آن می‌تواند به تدوین استراتژی‌های مؤثر برای مدیریت خاک و حفاظت از منابع طبیعی کمک کند. این اطلاعات به‌ویژه در زمینه کشاورزی و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارند و می‌توانند به بهبود شرایط زیست‌محیطی و اقتصادی کمک کنند. در این مطالعه، با مرور برخی از مطالعات اخیر انجام شده در ایران، برآوردهای موجود از میزان فرسایش خاک و

تولید رسوب در ایران ارائه و به انواع روش‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک و مدل‌های موجود پرداخته می‌شود. همچنین کاربرد مدل‌های مختلف در پیش‌بینی و مدیریت این پدیده در کشور مورد بحث قرار خواهد گرفت.

وضعیت فرسایش آبی خاک در ایران

برآورد مقدار کل فرسایش خاک کشور مورد توجه بسیاری از افراد و سازمان‌های اجرایی است و ارائه آن در برخی از اسناد و گزارش‌های ملی و بین‌المللی ضرورت دارد. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی (خشک تا مرطوب و خیلی گرم تا خیلی سرد)، و تنوع توپوگرافی با مسئله فرسایش شدید خاک روبه‌رو است. مهمترین عوامل محرک فرسایش خاک در ایران شامل آسیب‌پذیری خاک، تغییر کاربری اراضی، توسعه غیرضروری و نامناسب زیرساخت‌ها و بهره‌برداری غیرقانونی از منابع طبیعی است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳؛ طاهری‌بابادی و همکاران، ۱۴۰۱).

باختر (۱۳۵۲) به نقل از اسدی (۱۴۰۱) بیان کرد که در اواخر دهه ۱۳۴۰ و اوایل دهه ۱۳۵۰، کارشناسان معتقد بودند که مقدار فرسایش خاک در کشور بین ۶۰۰ میلیون تا یک میلیارد تن در سال است. پژوهش‌کننده حفاظت خاک و آبخیزداری با اجرای چندین طرح تحقیقاتی در عرصه‌های مختلف اقدام به اندازه‌گیری مستقیم هدررفت خاک از طریق ایجاد کرت‌های فرسایش و رسوب کرده است. نتایج این تحقیقات نشان داد که میزان فرسایش در عرصه‌های طبیعی کمتر از یک تن در هکتار و در اراضی دیم حدود ۲/۵ تن در هکتار بوده است (نیک‌کامی، ۱۳۸۸). اما به دلیل عدم اندازه‌گیری فرسایش‌های آب‌کندی و کناری رودخانه‌ها و همچنین کوتاه بودن دوره اندازه‌گیری در این کرت‌ها، به‌طور قطع مقدار فرسایش ثبت‌شده کمتر از میزان واقعی است. درباره مقدار فرسایش خاک آمار متفاوتی ارائه شده است. بررسی مستندها و گزارش‌های موجود بیانگر پراکندگی زیاد در بین برآوردهای فرسایش خاک کشور می‌باشد که برخی از آنها به صورت موردی در جدول (۱) ارائه شده است. مهم‌ترین علت تفاوت در برآوردهای موجود، ضعف روش‌های به کار رفته است. این ناکارآمدی ناشی از اتکای بیش از حد به ارزیابی‌های کارشناسی، تعمیم اندازه‌گیری‌ها از نواحی نسبتاً کوچک کشور به سایر مناطق و استفاده از روش‌ها و مدل‌های واسنجی نشده، مانند مدل جهانی فرسایش خاک^۱ و پتانسیل فرسایش خاک^۲ می‌باشد. براساس مطالعه عرب‌خدری (۱۴۰۰) که روش‌های متعددی از جمله سزیم ۱۳۷، کرت فرسایش، رسوب سنجی رودخانه‌ها و مخازن سدها در سراسر کشور برای ارزیابی وضعیت فرسایش و رسوب را بررسی کرده‌اند، میزان فرسایش سالانه کشور نزدیک به ۹۰۰ میلیون تن در سال تخمین زده شده است. همچنین بر اساس اندازه‌گیری‌های مستقیم در کرت‌های فرسایش، هدررفت خاک از سطح اراضی مرتعی، جنگلی و دیم‌زارها بسیار کمتر از یک تن در هکتار در سال است و در اراضی ماری که از سازندهای حساس به فرسایش محسوب می‌شوند، هدررفت خاک تا ۳۴ تن در هکتار در سال برآورد شده است. در اراضی شخم‌خورده دیم کشور نیز مقدار فرسایش خاک بیشتر از ۱۰ تن در هکتار در سال ثبت شده است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳؛ اسدی و گرجی، ۱۴۰۱).

نیک‌کامی و شادفر (۱۴۰۰) برای تهیه نقشه فرسایش خاک با استفاده از مدل EPM، از آمار رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه جهت تعیین درصد بار بستر استفاده کردند. این محققین میانگین رسوبدهی ویژه و متوسط وزنی فرسایش خاک حوضه‌های مشرف به ایستگاه‌های رسوب‌سنجی را به ترتیب ۳/۳ و ۱۶ تن در هکتار در سال برآورد کردند. همچنین در این پژوهش، با تعمیم نتایج به سطح ۱۰۰ میلیون هکتار دارای فرسایش آبی، میزان فرسایش آبی کشور دو میلیارد تن در سال محاسبه شد. (Mohammadi et al., 2021) با استفاده از مدل G2 (که بر اساس الگوریتم و ورودی‌های مدل RUSLE توسعه یافته است) و با تکیه بر اطلاعات ورودی دورسنجی‌شده، میانگین سالانه فرسایش خاک در ایران را ۱۶/۵ تن در هکتار (معادل ۲/۷ میلیارد تن تلفات سالانه کل) تخمین زدند. اسدی (۱۴۰۱) با اشاره به عدم توافق درباره مقدار دقیق فرسایش آبی در کشور، بیان کرد ارقام بیش از ۵-۶ تن در هکتار در سال به‌عنوان متوسط بلندمدت فرسایش آبی در کشور چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. این امر به این دلیل است که بیش از نیمی از کشور شامل مناطق بیابانی و خشک می‌شود و نشانه‌های فرسایش شدید در بسیاری از مناطق مشاهده نمی‌شود. علاوه بر این، در بخش‌های زیادی از کشور، مانند جنگل‌های طبیعی دست‌نخورده، مراتع با پوشش گیاهی مناسب، باغات و اراضی آبی مسطح، سطوح سنگی و مناطق مسکونی، و همچنین در نواحی آبی و شن‌زارها، میزان فرسایش آبی تقریباً صفر یا بسیار کم است.

1 USLE

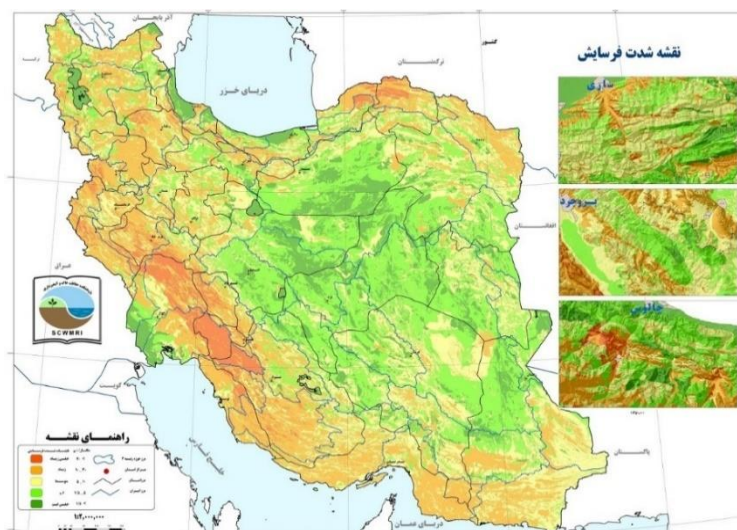
2 EPM

جدول ۱- تعدادی از برآوردهای فرسایش خاک در کشور (اصلاح و اقتباس از عرب‌خدری (۱۴۰۰): اسدی و گرجی (۱۴۰۱))

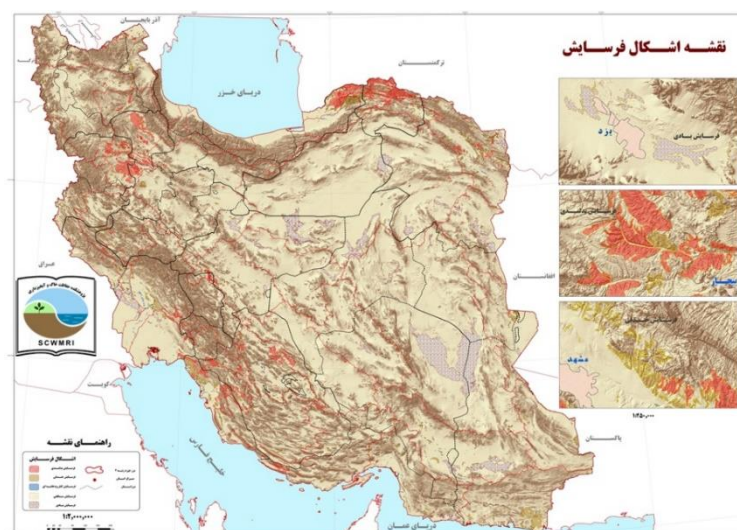
پژوهش	مقدار برآورد فرسایش در ایران	روش برآورد	ملاحظات
باختر (۱۳۵۲)	۰/۶ تا یک میلیارد تن در سال	نامشخص	متوسط فرسایش در سطح کشور بین ۳/۶ تا ۶ تن در هکتار در سال
شاهویی (۱۳۶۸)	سه تا چهار میلیارد تن در سال	استفاده از USLE ساده شده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰	براساس نتایج پژوهش مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، به نقل از برآورد یونسکو با همکاری فائو و برنامه عمران سازمان ملل (۱۹۸۰)
جلالیان و همکاران (۱۳۷۳)	۲۵ تن در هکتار در سال از ۲۴ زیرحوزه با مساحتی بالغ بر ۷۳ میلیون هکتار	رسوب سنجی ۲۴ زیرحوزه با مساحت بالغ بر ۷۳ میلیون هکتار	تحلیل آمار و داده‌ها بر مبنای سال‌های کم باران و پرباران میانه رسوبدهی ویژه ۲/۱۴ تن در هکتار در سال و متوسط فرسایش خاک ۶ تن در هکتار در سال
عرب‌خدری (۱۳۸۴)	یک میلیارد تن در سال	رسوبدهی معلق ۲۰۹ ایستگاه در سطح کشور	یافته‌های این طرح حدود یک چهارم سطح کشور را تشکیل داده و سپس به ۱۲۵ میلیون هکتار از سطح حوزه‌های آبخیز کشور تعمیم داده شده است.
نیک‌کامی (۱۳۸۸)	دو میلیارد تن در سال	تدقیق رسوب معلق ویژه برآوردی با اضافه کردن متوسط ۱۷/۵ درصد از مقدار بارکف به بار معلق	سهم یک‌سومی فرسایش سطحی در تولید رسوب متوسط فرسایش سالانه خاک در کشور حدود ۲۴ تن در هکتار در سال
عرب‌خدری (۱۳۹۳)	۳/۶ میلیارد تن در سال	بررسی داده‌های کرت، سزیم-۱۳۷ و رسوب‌سنجی	اکثر مطالعات در مناطق اقلیمی نیمه‌خشک و خشک در ایران انجام شده بودند.
محمدی و همکاران (۱۳۹۷)	۴ میلیارد تن در سال	استفاده از مدل GIS، RUSLE و سنجش از دور	متوسط رسوبدهی کل ۳/۵۴ تن در هکتار در سال و متوسط فرسایش خاک ۵/۵ تن در هکتار در سال
Hosseinalizadeh et al. (2020)	۴ تن در هکتار در سال	استفاده از نتایج حدود ۶۰ مطالعه موردی فرسایش آب‌کندی در ایران	کمترین میزان فرسایش ۹ تن در هکتار در سال متعلق به زاگرس میانی
عرب‌خدری (۱۴۰۰)	۸۹۵ میلیون تن در سال	تدقیق مقدار رسوبدهی معلق برآوردی و برآورد بارکف	بیشترین مقدار فرسایش ۳۲/۴ تن در هکتار در سال مربوط به زاگرس جنوبی
نیک‌کامی و شادفر (۱۴۰۰)	۲ میلیارد تن در سال	مدل EPM	برای اولین بار در مقیاس یک کشور از مدل G2 استفاده شده است.
Mohammadi et al. (2021)	۲/۷ میلیارد تن در سال	مدل G2 در سطح کشور بر مبنای اطلاعات عمده‌تا دورسنجی شده	

مطالعات فرسایش خاک در مقیاس کلان کشوری از نظر تدوین و ارائه برنامه‌های عملیاتی و مدیریتی به تفکیک حوزه‌های آبخیز کشور از اهمیت بالایی برخوردارند. در این راستا، مطالعات بسیار محدودی در کشور صورت گرفته است. شریفی و همکاران (۱۳۹۵) در یک پروژه تحقیقاتی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وضعیت اشکال و شدت فرسایش کشور را تهیه نمودند (شکل‌های ۱ و ۲). این محققین به منظور استخراج نقشه اشکال فرسایشی علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های پردازش آنها، از کلیه لایه‌های اطلاعاتی نظیر

کاربری اراضی، واحدهای اراضی، شبکه آبراهه‌ها، لایه سه‌بعدی (HillShade) و مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده کردند. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است شدت فرسایش در نواحی کوهستانی غرب کشور بیشتر از سایر نواحی است.



شکل ۱- نقشه شدت فرسایش (اقتباس از اطلس فرسایش خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)



شکل ۲- نقشه اشکال فرسایش (اقتباس از اطلس فرسایش خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری)

روش‌های مختلف اندازه‌گیری و برآورد فرسایش خاک و مطالعات مربوطه

به طور کلی برای برآورد متوسط میزان فرسایش و تولید رسوب در یک منطقه، روش‌های مختلفی شامل، روش‌های مستقیم و غیرمستقیم وجود دارد. روش‌های مستقیم شامل روش سزیم-۱۳۷، کرت‌های فرسایش، ارقام رسوب بندها، سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری و روش‌های غیرمستقیم شامل استفاده از مدل‌های تجربی، مدل‌های بر مبنای شاخص و مدل‌های فرایندی می‌باشد (Morgan, 2009)؛ عرب‌خدری، ۱۳۹۳). در روش اندازه‌گیری میدانی (زمینی)، فرسایش خاک با استفاده از پلات‌های آزمایشی و همچنین اندازه‌گیری رسوبات ته‌نشین شده در رودخانه‌ها و یا مخازن سدها برای تخمین نرخ فرسایش خاک در مناطق بالادست، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از طرفی می‌توان جهت برآورد و تحلیل الگوهای فرسایش و تغییرات خاک، از سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای و تصاویر هوایی استفاده کرد. همچنین می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تلفیق داده‌های مکانی و زمانی برای تحلیل و مدل‌سازی فرآیندهای فرسایش، از ردیاب‌ها و ایزوتوپ‌های پایدار (مانند سزیم-۱۳۷) برای بررسی مسیر و منشأ رسوبات و تعیین سرعت فرسایش، از فناوری‌های نوین مانند فناوری لیزری LiDAR و پهپاد برای اندازه‌گیری دقیق پستی و بلندی (زبری) و شناسایی تغییرات ناشی از فرسایش، بهره برد. این روش‌ها بر اساس مقیاس، دقت، و نوع داده‌های مورد نیاز انتخاب می‌شوند (حسینعلی‌زاده و سیدعلیپور، ۱۳۹۱؛ سیدعلیپور و همکاران، ۱۳۹۳؛

حسینعلی‌زاده و علی‌نژاد، ۱۳۹۹).

عباس‌زاده افشار و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی میزان فرسایش و رسوب در منطقه اردل چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش سزیم-۱۳۷، نشان دادند که روش هسته‌ای اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ در برآورد فرسایش خاک، روشی کمی و دقیق است که امکان محاسبه شدت فرسایش خاک و مقدار فرسایش خالص را در دوره‌های چندین ساله می‌سازد. خواجه‌وی و همکاران (۱۳۹۴) دو روش سزیم-۱۳۷ و روش پلات آزمایشی از ارقام اندازه‌گیری‌شده در ایران را در برآورد فرسایش و تلفات خاک در کاربری و شیب‌های مختلف مقایسه نموده و بیان کردند که کمترین مقدار فرسایش در اراضی جنگلی و پس از آن در اراضی مرتعی و دیمزارها می‌باشد. این محققین بیشترین میزان فرسایش و تلفات خاک را در شیب ۱/۵-۱۲ درصد گزارش کردند. Gharibreza et al. (2020) استفاده از فناوری‌های رادیونوکلئیدها را به عنوان روشی قابل اعتماد در اندازه‌گیری برخی از اثرات جانبی جنگل‌زدایی به‌خصوص در رسوبات لسی توصیه کرده‌اند. عباس‌زاده افشار (۱۴۰۰) به بررسی رادیونوکلئیدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ برای ارزیابی فرسایش خاک و مقایسه آنها پرداخت. این محقق بیان کرد که تمرکز بیشتر مطالعات در ایران بر کاربرد سزیم-۱۳۷ و تا حدودی سرب-۲۱۰ بوده است، و از آنجا که برلیوم-۷ پتانسیل خوبی در ارزیابی فرسایش و توزیع مجدد خاک در ارتباط با رویدادهای ناگهانی یا دوره‌های کوتاه‌مدت با بارندگی شدید، اثرات تغییر کاربری اراضی و اقدامات خاص برای حفاظت خاک را داراست، به مطالعه و کار بیشتر در ارتباط با استفاده از برلیوم-۷، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان نیاز است.

فضلی و نور (۱۳۹۶) جهت شبیه‌سازی و ارزیابی اثرپذیری فرسایش خاک از سناریوهای پوشش گیاهی در مقیاس دامنه استفاده کردند. این محققین از مدل فرسایش دامنه‌ای (HEM) برای تخمین رسوب ۶۱ رگبار در مراتع ایستگاه تحقیقات منابع طبیعی یونسی در استان مرکزی استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، با واسنجی عامل فرسایش‌پذیری کارایی مدل فرسایش دامنه‌ای در تخمین مقدار فرسایش، با خطای تخمین و ضریب کارایی به ترتیب ۴۴ و ۸۸ درصد قابل قبول می‌باشد. همچنین این محققین بیان کردند که با کاهش پوشش گیاهی، فرسایش خاک در منطقه افزایش می‌یابد. کریمی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) از شبیه‌ساز آزمایشگاهی لندپلنر برای تحلیل اندازه‌ی اثرگذاری اقدامات آبخیزداری بر فرسایش خاک در زیرحوزه نمونه و مقایسه‌ی آن با زیرحوزه شاهد در گوربند سیستان و بلوچستان استفاده کرده و منطقه‌های حساس به فرسایش در این زیرحوزه‌ها را شناسایی نمودند. نتایج شاخص فرسایشی لندپلنر در زیرحوزه شاهد و نمونه با در نظر گرفتن بیشینه بارش روزانه (معادل ۶۰ میلی‌متر) نشان داد که فرسایش خاک در زیرحوزه شاهد (۰/۵۴۸۲۱) بیشتر از نمونه (۰/۱۵۵۹۳) است. همچنین این محققین با ارزیابی شبیه‌ساز لندپلنر بیان کردند که مقدار فرسایش خاک با افزایش بارش افزایش می‌یابد. همچنین، موشانی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک، میزان فرسایش در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان را در ۳۸ مزرعه سویا با نظام کشت مرسوم و ۱۰ مزرعه تحت نظام کشت حفاظتی برآورد کرده و نقشه فرسایش را تهیه نمودند. نتایج نشان داد که، میزان فرسایش در اراضی تحت نظام حفاظتی با میانگین ۵۵/۰۲۴ کیلوگرم بر هکتار در سال و تحت نظام مرسوم با میانگین ۱۳۱/۳۱ کیلوگرم بر هکتار در سال زراعی می‌باشد. از این رو تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بین این دو نظام کشت بر اساس آزمون تی وجود دارد. این محققین بیان کردند که با اجرای کشاورزی حفاظتی در اثر حفظ بقایا در سطح خاک و کاهش خاکورزی، فرسایش خاک کاهش یافته و با حفاظت از خاک به‌عنوان یک خدمت بوم‌سازگانی، می‌توان اثرات ناشی از فرسایش را به‌طور معنی‌دار در مزارع کاهش داد. نور و همکاران (۱۴۰۲) تاثیر اقدامات آبخیزداری را بر فرسایش خاک و تولید رواناب در مقیاس کرت و آبخیز زوجی کاخک مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این تحقیق در مقیاس کرت نشان داد که متوسط سالانه هدررفت خاک در دو زیرحوزه نمونه و شاهد به ترتیب ۰/۵ و ۰/۲۷ تن بر هکتار در سال است. این نتایج نشان‌دهنده این است که میزان هدررفت خاک در زیرحوزه شاهد ۵۳۶ درصد بیشتر از زیرحوزه نمونه است. در مقیاس حوضه‌ای، نتایج حاکی از آن است که مقدار کل رسوب معلق خروجی از حوضه‌های شاهد و نمونه در دوره مورد بررسی به ترتیب ۳۷۹ و ۸۵ تن بوده است. همچنین، با وجود تفاوت در هدررفت خاک بین زیرحوزه‌های نمونه و شاهد، تاثیر وقایع حداکثری بر فرسایش خاک و تولید رواناب در هر دو زیرحوزه بسیار قابل توجه است؛ به‌طوری‌که یک تا سه واقعه فرساینده در هر دو زیرحوزه مسئول بیش از ۸۰ درصد هدررفت خاک در دامنه‌ها و تولید رواناب و رسوب‌دهی در حوضه‌ها هستند. Hosseinalizadeh et al. (2024) به منظور مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی، پیش‌بینی اثرات تغییرات فیزیکی در حوضه و اجرای بهترین شیوه‌های مدیریتی در حوزه آبخیز دهگین استان هرمزگان، از مدل OpenLISEM در دو زیرحوزه شاهد و نمونه استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین فرسایش خاک در زیرحوزه شاهد برای رخدادهای ۲۰/۱۸/۱۰، برابر ۲/۳۸ تن در هکتار و برای زیرحوزه نمونه ۱/۰۳ تن در هکتار برآورد شد. همچنین فرسایش کل خاک در زیرحوزه شاهد ۱۴۵/۵۴ تن در هکتار و برای زیرحوزه

نمونه ۸۹/۵۹ تن در هکتار محاسبه شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که زیرحوزه نمونه به دلیل پایداری بهتر خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی بیشتر و پوشش گیاهی مناسب‌تر، نفوذپذیری بهتری دارد و در نتیجه، رواناب و فرسایش خاک کمتری نسبت به زیرحوزه کنترل داراست.

کاربرد مدل‌های فرسایش خاک در ایران و مقایسه دقت آن‌ها

در ایران، مدل‌های فرسایش خاک به‌طور گسترده برای مطالعه و مدیریت منابع خاک، ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی، و برنامه‌ریزی برای کنترل فرسایش و کاهش خسارات ناشی از آن استفاده شده‌اند. به طور کلی مدل‌های فرسایش به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: الف) مدل‌هایی که بر اساس یک سری روابط تجربی بنا شده و سعی در ارتباط دادن برخی ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری، با سرعت هدر رفت خاک دارند، ب) مدل‌های فیزیکی که با تحلیل جزء به جزء عوامل مؤثر در پاشمان ذرات خاک و انتقال آنها میزان هدررفت خاک را محاسبه می‌کنند. این مدل‌ها به دلیل شرایط اقلیمی خاص و چالش‌های مدیریتی، اهمیت ویژه‌ای در کشور پیدا کرده‌اند و بر اساس رویکردها و پیچیدگی فرایندهای شبیه‌سازی، به سه دسته تجربی، مفهومی و فیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های تجربی مانند معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) و مشتقات آن (معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده، RUSLE و معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح‌شده، MUSLE) به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر، در ایران بسیار محبوب هستند، اما دقت آن‌ها در شبیه‌سازی فرایندهای محلی و شرایط خاص محدود است (Luvai et al., 2022; Al-hasn et al., 2024; Gao et al., 2024). این مدل‌ها به‌ویژه برای تخمین خطر فرسایش در اراضی کشاورزی و مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مدل‌های مفهومی، فاکتورهای تولید رسوب مانند بارندگی و رواناب به عنوان ورودی و تولید رسوب به عنوان خروجی در سیستم در نظر گرفته می‌شود (Chandromohan et al., 2015). مدل‌هایی مانند SWAT و AGNPS که در سال ۱۹۸۵ برای ارزیابی مشکلات بالقوه در حوزه‌های آبخیز کشاورزی توسعه یافت، نمونه‌هایی مهم از مدل‌های مفهومی هستند (Jaramilo, 2007). این مدل‌ها برای ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی و مدیریت حوزه‌های آبخیز در ایران به کار رفته‌اند. مدل‌های مذکور به دلیل ترکیب داده‌های تجربی و مفهومی، دقت متوسطی دارند. با این حال، نیاز به داده‌های باکیفیت و گسترده، گاهی کاربرد آن‌ها را در مناطق با دسترسی کم به داده محدود می‌کند. مدل‌های فیزیکی، مبتنی بر فرایندهای تولید رسوب بوده و قابلیت دسترسی به تغییرات زمانی و مکانی فرایندهای انتقال و رسوب‌گذاری را دارند (Borrelli et al., 2021; Straffelini et al., 2022). این مدل‌ها با استفاده از معادلات ریاضی بر پایه قوانین بقای انرژی و جرم، فرایندهای فرسایش و انتقال رسوب را شبیه‌سازی می‌کنند (Morgan, 2009). مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP) یک نمونه مهم و پرکاربرد از مدل‌های فیزیکی است و در ایران برای شبیه‌سازی دقیق فرایندهای فرسایش خاک در مقیاس‌های کوچک و متوسط (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ عابدینی و صفری، ۱۴۰۳) استفاده شده است.

مدل‌ها در کاربرد، الزامات، استفاده مورد نظر و نوع اطلاعاتی که ارائه می‌کنند، بسیار متفاوت هستند (Merritt et al., 2003). در ایران، انتخاب مدل مناسب به مقیاس، نوع داده‌ها و هدف تحقیق بستگی دارد. در حالی که مدل‌های تجربی برای تخمین‌های اولیه کاربرد بیشتری دارند، مدل‌های مفهومی و فیزیکی برای تحقیقات دقیق‌تر و مدیریت منابع موثرتر هستند (جدول ۲). تلفیق مدل‌های مختلف و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، مانند هوش مصنوعی، پهپاد، لیزر، تجهیزات سنجش قابل حمل نظیر طیف سنج و غیره می‌تواند کارایی این مدل‌ها را افزایش دهد (Abdulraheem et al., 2023; Wang et al., 2024; Li et al., 2024). Merritt et al. (2003) بیان کردند که هر مدل، هدف خاصی را دنبال می‌کند و هیچ مدل خاصی نمی‌تواند به طور قطعی در تمامی شرایط مناسب‌تر از سایر مدل‌ها در نظر گرفته شود. در این راستا، این محققین مدل‌های مختلف فرسایش خاک و انتقال رسوب را بررسی و به صورت جدول (۳) خلاصه کرده‌اند.

مطالعات بسیاری از مدل‌های پرکاربرد مختلف مانند مدل RUSLE (احمدآبادی و صدیقی‌فر، ۱۳۹۶؛ حبشی و همکاران، ۱۳۹۷؛ گلی‌مختاری و همکاران، ۱۳۹۷؛ نژادافضلی و همکاران، ۱۳۹۸؛ آرمین و همکاران، ۱۳۹۹؛ مزبانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ عبیات و همکاران، ۱۴۰۰؛ ارخی و همکاران، ۱۴۰۱؛ اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۱؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۴۰۱؛ معتمدی‌راد و همکاران، ۱۴۰۲؛ ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۳)، مدل WEPP (صادقزاده ریحان و یاراحمدی، ۱۳۹۲؛ مددی و پیروزی، ۱۳۹۵؛ اسفندیاری درآباد و جسارتی، ۱۳۹۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶)، مدل EPM (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ انصاری‌لاری و انصاری، ۱۳۹۶؛ حجازی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اسمعیلی عوری و کاتب، ۱۳۹۹)، مدل MPSIAC (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰؛ مددی و نیک‌پور، ۱۳۹۳؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۴؛ رنجبر و شایگان، ۱۳۹۶؛ بیات و همکاران، ۱۳۹۹؛ نصیری و همکاران، ۱۴۰۰؛ عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱) و سایر مدل‌ها جهت تخمین میزان فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز مختلف در ایران استفاده

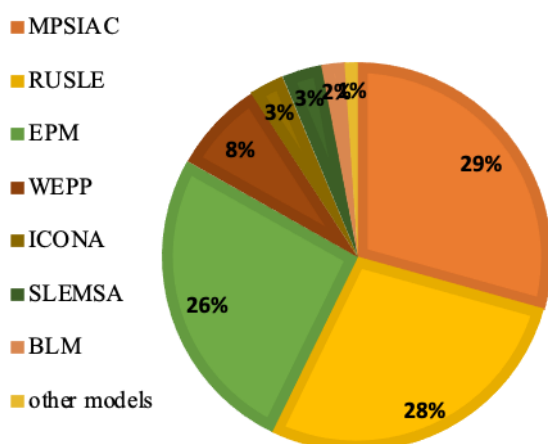
کرده‌اند که تعدادی از این پژوهش‌ها به صورت خلاصه در جدول (۴) ارائه گردیده است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود که مدل‌های EPM، RUSLE، MPSIAC و به ترتیب با ۲۹، ۲۸ و ۲۶ درصد، پرکاربردترین مدل‌ها در برآورد فرسایش خاک در ایران هستند. این نشان‌دهنده‌ی محبوبیت و کاربرد گسترده این مدل‌ها در مطالعات مربوط به فرسایش خاک است. مدل MPSIAC به دلیل توانایی در شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و ارزیابی تأثیرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، به طور ویژه‌ای توسط محققین ایرانی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲- جدول مقایسه‌ای مدل‌های پیش‌بینی فرسایش خاک

ویژگی‌ها	مدل‌های تجربی	مدل‌های مفهومی	مدل‌های فیزیکی
پیچیدگی	کم	متوسط	زیاد
نیاز به داده‌ها	کم	متوسط	زیاد
دقت پیش‌بینی	کم تا متوسط	متوسط	بالا
کاربرد	تحلیل مناطق وسیع	پیش‌بینی تغییرات	شبیه‌سازی دقیق در مناطق کوچک
چالش‌ها	سادگی بیش‌ازحد	نیاز به داده‌های جامع	پیچیدگی و هزینه بالا
مثال	SLEMS, RUSLE, USLE, AUSLE, USLEM	SWRRB, HSPF, ACRU, AGNPS, IQQM	ANSWER, WEPP, CREAMS, TOPOG, LISEM

جدول ۳- مدل‌های فرسایش خاک و انتقال رسوب

مدل	نوع مدل	مقیاس کاربرد
AGNPS	مفهومی	حوزه‌های آبخیز کوچک
ANSWERS	فیزیکی	حوزه‌های آبخیز کوچک
CREAMS	فیزیکی	مزرعه (۴۰ تا ۴۰۰ هکتار)
EMSS	مفهومی	حوزه آبخیز
HSPF	مفهومی	حوزه آبخیز
IHACRES-WQ	تجربی/مفهومی	حوزه آبخیز
IQQM	مفهومی	حوزه آبخیز
LASCAM	مفهومی	حوزه آبخیز
SWRRB	مفهومی	حوزه آبخیز
Erosion GUEST	فیزیکی	مقیاس پلات
LISEM	فیزیکی	حوزه‌های آبخیز کوچک
PERFECT	فیزیکی	مزرعه
SEDNET	تجربی/مفهومی	حوزه آبخیز
TOPOG	فیزیکی	مقیاس دامنه
USLE	تجربی	مقیاس دامنه
WEPP	فیزیکی	مقیاس دامنه/حوضه
transport In-stream MIKE-11	فیزیکی	حوزه آبخیز
EGEM	مفهومی	حوزه آبخیز
WATEM/SEDEM	فیزیکی/مفهومی	حوزه آبخیز
Big Data models	تجربی	مقیاس حوضه



شکل ۳- توزیع فراوانی مدل‌های تخمین فرسایش خاک در ایران بر حسب میزان استفاده در پژوهش‌های انجام‌شده

انصاری‌لاری و انصاری (۱۳۹۵) میزان فرسایش خاک در دشت مرودشت (استان فارس) را با استفاده از مدل تجربی RUSLE برآورد نمودند. این محققین با استفاده از نقشه خطر فرسایش خاک بدست آمده، بیان کردند که میزان خطر فرسایش خاک در سطح دشت از صفر تا ۵۰ تن در هکتار در سال متغیر است. بیشترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق با شیب زیاد دشت قرار دارند. احمدی و همکاران (۱۳۹۶) از دو مدل WEPP و هیدروفیزیکی برای تخمین میزان فرسایش خاک و رسوب در حوضه چرداول شهرستان چرداول در استان ایلام استفاده کردند. این محققین میزان فرسایش و رسوب در حوضه رودخانه چرداول را به سه روش دامنه، حوزه آبخیز و مسیر جریان با استفاده از نرم‌افزار WEPP، به ترتیب برابر با ۷/۶۴، ۶/۰۱ و ۱۱/۸۷ تن در هکتار برآورد کردند. همچنین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق برای بررسی توان رسوبدهی و فرسایش خاک در مدل هیدروفیزیکی در حوضه چرداول، بیانگر میزان تولید رسوب ۸/۰۶۶ تن در هکتار بوده است. این محققین همچنین بیان کردند که نتایج به دست آمده از برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز چرداول نشان داد که مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب دقت بیشتری دارد. در این مدل، روش مسیر جریان برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب به عدد مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری نزدیک است. احمدآبادی و صدیقی‌فر (۱۳۹۶) میزان فرسایش و تولید رسوب را با کمک معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) در حوضه آبریز حبله‌رود در محیط نرم افزار ArcGIS مورد بررسی قرار دادند. این محققین بیان کردند که مدل RUSLE در تلفیق با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور پرکاربردترین مدل در برآورد فرسایش و تولید رسوب به صورت اطلاعات مکانی می‌باشد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بخش‌های مرکزی حوضه بدلیل نزدیک بودن به آبراهه‌ها و رودخانه اصلی و تشکیل رسوب‌های آبرفتی تحت تأثیر عامل فرساینده باران بیشتر در معرض فرسایش قرار می‌گیرد که این میزان برابر ۴۵۹ مگاژول/میلیمتر/هکتار/ساعت در سال است که نیازمند انجام طرح‌های کنترل فرسایش خاک می‌باشد. آرمین و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از یک مدل تجربی ویژه تولید رسوب حوضه آبخیز سد کوه برد در شهرستان کهگیلویه را برآورد کرده و همچنین با استفاده از یکسری شاخص‌های ساده که در مناطق مختلف دنیا توسعه یافته‌اند، به ارزیابی فنی سد در حال احداث در خروجی حوضه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان رسوب تولیدی در حوضه سد کوه برد ۸/۱۳ تن بر هکتار در سال است که با احتساب نسبت تحویل رسوب ۰/۱۸ هکتار در سال، میزان فرسایش خاک حوضه معادل ۴۵/۱۶ تن بر هکتار در سال است. این محققین بر اساس نتایج بدست آمده پیش بینی کردند که بعد از ۲۰ سال (عمر مفید سد)، حدود ۲۷ درصد از ظرفیت ذخیره اولیه سد از دست برود. بیات و همکاران (۱۳۹۹) کارایی مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM در تعیین وضعیت فرسایش حوضه آبخیز شهریار شهرستان خاتم استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج فرسایش حاصل از این مدل‌ها نشان داد که میانگین شدت فرسایش در مدل MPSIAC، ۵۸۹ و در مدل EPM، ۲۸۷ مترمکعب بر کیلومترمربع در سال برآورد شده که وضعیت فرسایش حوضه با کمک مدل MPSIAC، زیاد و با مدل EPM، مقدار فرسایش در شرایط متوسط برآورد شده است. همچنین این محققین با بررسی شاخص‌های آماری فوق‌الذکر، بیان کردند که میزان تطابق طبقات فرسایش مدل MPSIAC با خروجی BLM (به عنوان نقشه واقعیت زمینی) بیشتر از مدل EPM است. همچنین نتایج ارزیابی صحت مدل‌های MPSIAC و EPM نیز نشان داد که مقدار ضریب کاپا در مدل MPSIAC بیشتر از مدل EPM است. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱) با هدف تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی

برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوزه آبخیز عموقین اردبیل از مدل RUSLE استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه در دامنه بین ۱/۲۱ تا ۵/۵۳ تن در هکتار در سال متغیر است. همچنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) دارای ارتباط کمی با میزان فرسایش سالانه خاک به وسیله مدل RUSLE دارد. همچنین نتایج این محققین نشان داد که عامل پوشش گیاهی با ضریب تعیین ۰/۴۷ نسبت به سایر شاخص‌های مورد مطالعه دارای همبستگی بیشتری است، شاخص قدرت جریان نیز با ضریب تعیین ۰/۰۷ دارای کمترین همبستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه است. کاظمی و همکاران (۱۴۰۲) مولفه‌های فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کهورستان را با استفاده از مدل IntErO برآورد کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب فرسایش آبخیز کهورستان ۰/۹۱۸ و مقدار فرسایش خاک واقعی و فرسایش خاک واقعی ویژه در حوزه آبخیز مطالعاتی به ترتیب ۶۳۱۱۵۲/۵۳ مترمکعب در سال و ۱۵۰/۱۴ مترمکعب بر کیلومترمربع در سال است. ضریب ته نشست مجدد رسوبات حاصل از فرسایش به مقدار ۰/۱۸۳ و مقدار رسوب تولیدی ناشی از فرسایش در سطح آبخیز مطالعاتی ۳۴۵۶۶۳/۷۲ متر مکعب در سال بدست آمد. نتایج بدست آمده بیانگر غالب بودن فرسایش شیاری در منطقه و انتقال رسوبات به خروجی حوضه است. این محققین در نهایت اظهار داشتند که با توجه به نتایج حاصله، این مدل در برآورد مقدار فرسایش در حوضه مطالعاتی دقت کافی نداشته، اما در برآورد مقدار حداکثر جریان خروجی از حوضه بر اساس آمار موجود نتایج خوبی دارد؛ به عبارتی، توصیه کردند که از این مدل در برآورد مقدار جریان خروجی و سایر ویژگی‌ها استفاده شود، ولی برای برآورد مقدار فرسایش در مناطق با شرایط حوزه آبخیز کهورستان (که در آن رگبارهایی با شدت زیاد و مدت کم وجود دارد) پیشنهاد نمی‌شود؛ زیرا نمی‌تواند نتایج مناسبی را ارائه دهد. پیروزی و مددی (۱۴۰۲) با استفاده از روش MABAC فرسایش خاک در حوزه آبخیز گیوی‌چای را پهنه‌بندی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که به ترتیب ۲۸۳/۸۹ و ۴۱۴/۹۳ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، دارای پتانسیل خطر بسیار زیاد و زیاد، می‌باشد و مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در سازندهایی نامقاوم و فرسایش‌پذیر، کاربری‌های زراعی و شیب‌های ۱۵-۴۰ درصد قرار دارند. همچنین صحت‌سنجی نتایج این مطالعه نشان داد که با نظر به مقادیر تراکم فرسایش (SCIA) بدست آمده (۰/۸۱) در مناطق بسیار پرخطر و ۰/۹۹ در مناطق پرخطر)، استفاده از روش MABAC، از دقت بالایی جهت مطالعه خطر فرسایش خاک برخوردار است. ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۴۰۳) میانگین سالانه فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبریز دیزگران را با استفاده از مدل RUSLE برآورد کرده و همبستگی عوامل مختلف RUSLE با نرخ فرسایش را برای درک بهتر تاثیر هر یک از عوامل موثر بر این پدیده، بررسی نمودند. این محققین جهت تخمین نرخ تولید رسوب بر اساس نرخ فرسایش خاک حاصل از مدل RUSLE، از نسبت تحویل رسوب (SDR) استفاده کردند. همچنین فاکتور فرسایش‌گری باران از روش رگرسیون خطی WTLS براساس مدل ارتفاعی رقومی ایجاد کردند. نتایج بازدید میدانی این محققان از حوضه مذکور نشان داد که حضور اشکال مختلف فرسایش در حوضه بیانگر فرسایش شدید می‌باشد. همچنین نتایج مدل RUSLE/SDR، نشان داد که نرخ متوسط فرسایش خاک در منطقه ۴۵/۰۹ تن در هکتار در سال و نرخ متوسط تولید رسوب ۱۹/۴۲ تن در هکتار در سال می‌باشد. همچنین به ترتیب ۱/۳٪ و ۴/۶۶٪ از مساحت حوضه در کلاس‌های فرسایش خیلی کم و کم قرار دارد. ۱۶/۱۸٪ از منطقه در کلاس فرسایش متوسط و به ترتیب ۳۶/۱۸٪ و ۴۱/۶۸٪ از سطح منطقه در کلاس‌های فرسایش شدید و بسیار شدید قرار دارد. همچنین نتایج حاکی از این بود که دو عامل توپوگرافی (با ضریب همبستگی ۷۹ درصد) و پوشش گیاهی (با ضریب همبستگی ۴۷ درصد) به ترتیب بیشترین همبستگی را با نرخ فرسایش خاک داشته و بنابراین به ترتیب مهم‌ترین نقش را در تغییر نرخ فرسایش در منطقه دارند.

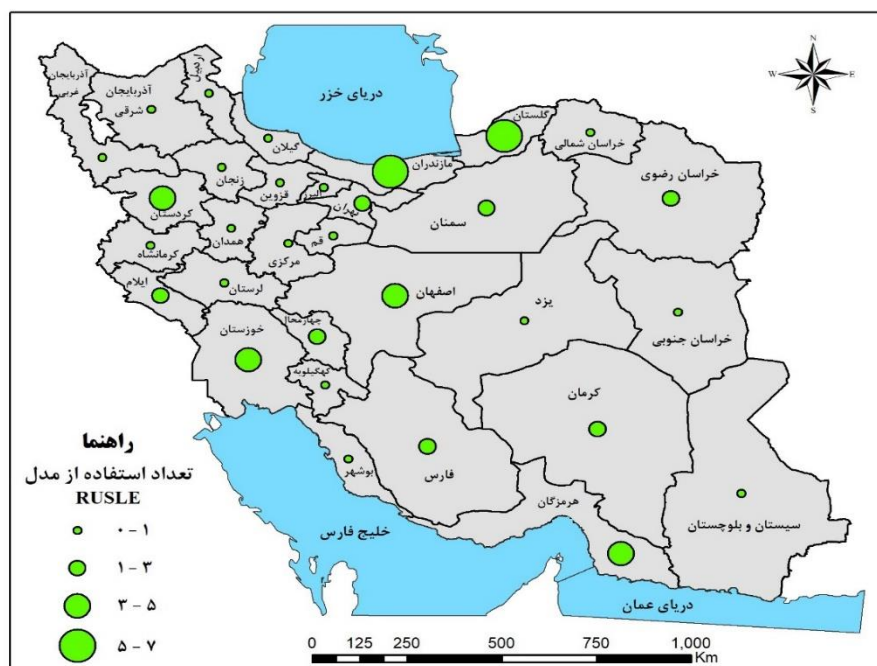
پراکنش جغرافیایی استفاده از مدل‌های فرسایش خاک در کشور

توزیع مکانی استفاده از مدل‌های RUSLE، EPM، WEPP، ICONA و SLEMSA در کشور به ترتیب در شکل‌های شماره ۴ تا ۹ ارائه شده است. همانگونه که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود، مدل RUSLE در استان‌های گلستان و مازندران به ترتیب در ۷ و ۶ مطالعه مورد استفاده قرار گرفته و از نظر کاربرد این مدل در جایگاه‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند. این مدل در استان‌های خوزستان و همدان در ۵ پژوهش مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. استان‌های کردستان و اصفهان نیز با تعداد ۴ پژوهش، از نظر استفاده از مدل RUSLE در جایگاه بعدی قرار دارند. در استان‌های سمنان، ایلام، خراسان رضوی، فارس و تهران ۳ بار و در استان‌های کرمان و چهارمحال و بختیاری نیز ۲ بار از این مدل استفاده شده است. استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، زنجان، مرکزی، قزوین، کرمانشاه، اردبیل، گیلان، همدان و کهگیلویه و بویر احمد فقط ۱ بار این مدل را تجربه کرده‌اند. در پژوهش‌های دیگر استان‌های کشور این مدل مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، نه تنها این مدل در پژوهش‌های مختلف در مقیاس استانی و سطح کشور به اندازه کافی مورد پژوهش قرار نگرفته است، پژوهش‌های محدودی به بومی‌سازی این مدل برای شرایط محیطی کشور ایران و همچنین مناطق مختلف آن پرداخته‌اند.



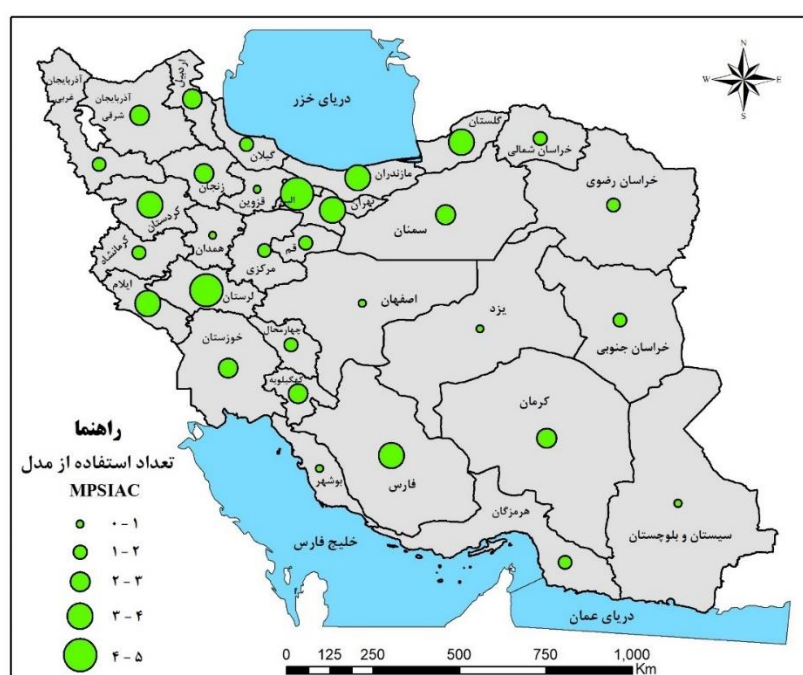
جدول ۴- برخی مطالعات برآورد فرسایش خاک با استفاده مدل‌های مختلف در ایران

نویسندگان	مدل مورد استفاده	حوزه مورد مطالعه	استان	مقدار فرسایش برآورد شده	نتایج کلی پژوهش
ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۴۰۳)	RUSLE	حوزه آبخیز دیزگران	مرز استانهای کردستان و کرمانشاه	۴۵/۰۹ تن در هکتار در سال	- منطقه مورد مطالعه درگیر فرسایش شدید است. - دو عامل توپوگرافی و پوشش گیاهی بیشترین همبستگی را با نرخ فرسایش خاک دارند، از این رو بیشترین نقش را در تغییر نرخ فرسایش خاک در منطقه دارند.
کاظمی و همکاران (۱۴۰۲)	IntErO	حوزه آبخیز کهورستان	هرمزگان	۶۳۱۱۵۲/۵۳ مترمکعب در سال	- مدل در برآورد مقدار فرسایش در حوضه مطالعاتی دقت کافی نداشت، اما در برآورد مقدار حداکثر جریان خروجی از حوضه بر اساس آمار موجود نتایج خوبی داشت. - نتایج یدست آمده بیانگر غالب بودن فرسایش شیاری در منطقه و انتقال رسوبات به خروجی حوضه است.
ارخی و همکاران (۱۴۰۱)	RUSLE	حوزه آبخیز چم گردلان	ایلام	۱۶/۳۷ تن در هکتار در سال	- فاکتور توپوگرافی بیشترین تاثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE را دارد. - ۲۰ درصد حوضه مورد مطالعه در کلاس فرسایشی زیاد تا خیلی زیاد قرار دارد.
عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)	MPSIAC	زیرحوضه‌های آبخیز کوزه توپراقی	اردبیل	۵۷/۶۲ تن در هکتار در سال	- بر اساس نتایج به دست آمده از مدل MPSIAC، میزان فرسایش در اراضی دیم و رها شده به میزان قابل توجهی زیاد است.
رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۱)	RUSLE	حوزه آبخیز سراب سیکان	ایلام	۲۲/۳ تن در هکتار در سال	- در بین فاکتورهای مدل، فاکتور شیب و طول شیب (LS) با ضریب همبستگی $R^2 = ۰/۹۲$ بیشترین تاثیرگذاری در فرسایش خاک را نشان داد.
آرمین و همکاران (۱۳۹۹)	RUSLE	حوزه آبخیز سد تنگ سرخ	کهگیلویه و بویراحمد	حدود ۹ درصد از منطقه دارای فرسایش بیش از ۳۵ تن در هکتار در سال	- میزان فرسایش و تولید رسوب ناشی از آن هم دارای اثرات درون منطقه‌ای و هم دارای اثرات برون منطقه‌ای است، که مهمترین آن رسوبگذاری در مخزن سد و کاهش عمر مفید سد تنگ سرخ در آینده خواهد بود.
حجازی و همکاران (۱۳۹۷)	EPM	حوزه آبخیز کنگان	ایلام	۱۲/۵ تن در هکتار در سال	- نتایج تحقیق نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری متوسط حوزه آبخیز بود.
رنجبر و شایگان (۱۳۹۶)	MPSIAC	حوزه آبخیز رودخانه افجه	تهران	۱۵/۶ تن در هکتار در سال	- حداکثر فرسایش ویژه مربوط به زیرحوضه شماره ۱ با میزان $۱۵/۶۰۱$ تن در هکتار در سال و حداقل آن مربوط به زیرحوضه شماره ۳ با $۶/۸۹۲$ تن در هکتار در سال است.
موسوی (۱۳۹۶)	SLEMSA	حوزه آبخیز شاهرود - میامی	سمنان	۶۷/۱۸ تن در هکتار در سال	- پارامتر قابلیت فرسودگی خاک وابسته به جنس زمین، نوع خاک و درصد پوشش گیاهی بوده و عملکرد آن مستقل از دیگر مؤلفه‌ها است. - از منظر فرسایش خاک منطقه مطالعاتی دامنه فرسایشی حداقل کمتر از $۲/۳۷۱$ تا حداکثر $۶۷/۱۸۵$ تن در هکتار در سال را شامل می‌شود.
احمدی و همکاران (۱۳۹۶)	WEPP	حوزه آبخیز چرداول	ایلام	۱۱/۸۷ تن در هکتار در سال	- مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب دقت بیشتری دارد. - روش مسیر جریان در مدل WEPP برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب به عدد مشاهده‌ای در ایستگاه هیدرومتری نزدیک‌تر است.
اسفندیاری درآباد و جسارتی (۱۳۹۶)	WEPP	حوزه آبخیز آلاذیزگه	اردبیل	۰/۶۲۳ تن در هکتار در سال بر اساس روش دامنه	- مدل WEPP قابلیت بالایی در برآورد رسوبدهی در مناطق کوهستانی داراست.
رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵)	EPM Fournier	حوزه آبخیز شهرچای	میانه	۲۲/۳ تن در هکتار در سال	- مدل EPM با خطای نسبی $۹/۹$ درصد همخوانی نزدیکی با وزن رسوب مشاهداتی دارد. - مدل فورنییه بسیار کمتر از حد، وزن رسوب تولیدی را نشان می‌دهد. - مدل CORINE دارای دقت بیشتر نسبت به مدل SLEMSA می‌باشد.
انتظاری و غلام‌حیدری (۱۳۹۳)	CORINE SLEMSA	حوزه آبخیز تنگ سرخ	شیراز	۲۴/۹ تن در هکتار در سال	- نواحی که دارای بیشترین فرسایش هستند، بیشترین بارش و شیب و کمترین میزان پوشش گیاهی را دارند.
ثروتی و همکاران (۱۳۹۰)	STEHLIK EPM	حوزه آبخیز زیدشت - فشنک	طالقان	۴۷۲/۱۳ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال	- مدل EPM از دقت قابل قبولی در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه برخوردار بوده است. - استفاده از روش STEHLIK تنها در زمین‌های با شیب کم و مساحت‌های محدود قابل اجراست.
عسگری و همکاران (۱۳۸۷)	MPSIAC	حوزه آبخیز سد ایلام	ایلام	۱۴/۹۸ تن در هکتار در سال	- مدل MPSIAC در حوضه مورد مطالعه کارایی خوبی دارد. - از نظر کلاس‌های فرسایشی و شدت رسوبدهی حوضه مورد مطالعه به سه کلاس کم، متوسط، و زیاد تفکیک شده است.



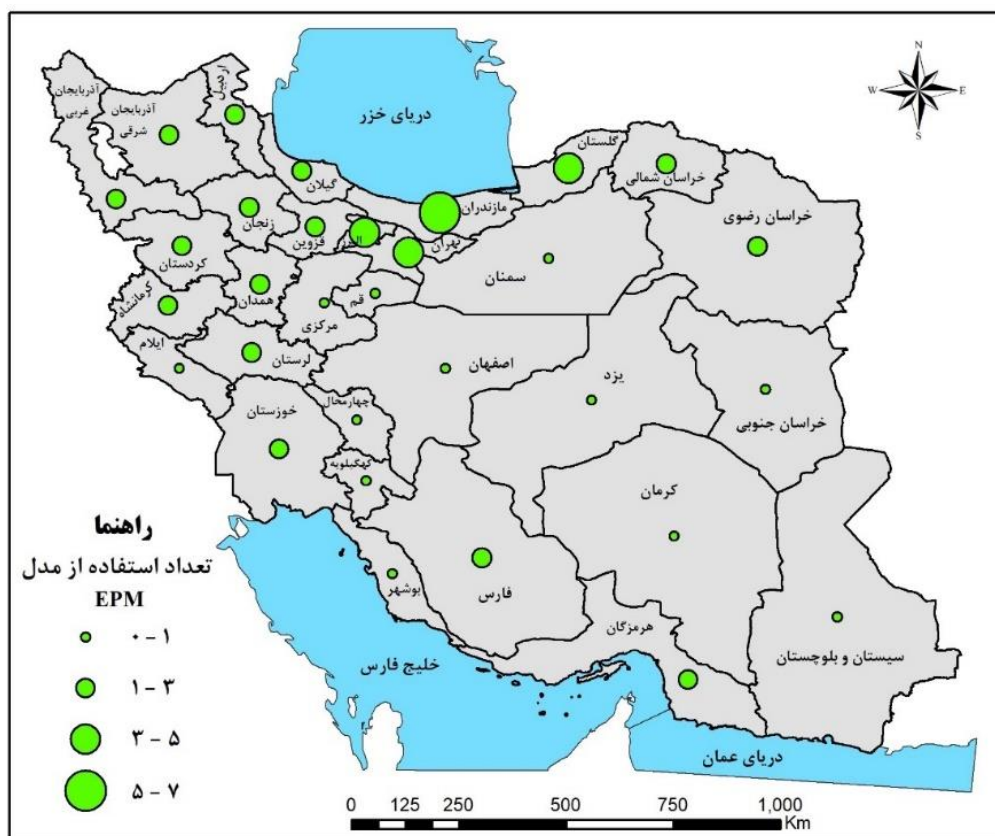
شکل ۴- توزیع مکانی استفاده از مدل RUSLE در کشور

نقشه توزیع مکانی استفاده از مدل MPSIAC در استان‌های مختلف کشور در شکل ذیل نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، در مطالعات استان‌های لرستان و البرز ۵ بار از این مدل استفاده شده است که بیشترین فراوانی نیز به این استان‌ها تعلق دارد. همچنین استان‌های کردستان، مازندران، ایلام، فارس، گلستان و تهران دارای فراوانی ۴ دفعه و برای استان‌های زنجان، سمنان، کرمان، خوزستان، اردبیل، آذربایجان شرقی و کهگیلویه و بویر احمد نیز ۳ دفعه ثبت شده است. این مدل در استان‌های آذربایجان غربی، مرکزی، قم، کرمانشاه، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی، چهارمحال و بختیاری، گیلان و هرمزگان ۲ دفعه مورد استفاده قرار گرفته است. این درحالی است که این مدل در مطالعات استان‌های یزد، قزوین، اصفهان، بوشهر، سیستان و بلوچستان و همدان تنها یکبار استفاده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، مدل MPSIAC در استان‌های مختلف کشور مورد استفاده قرار گرفته اما بومی‌سازی این مدل براساس شرایط محیطی مناطق مختلف کشور همچنان نیازمند انجام پژوهش‌های جدید است.



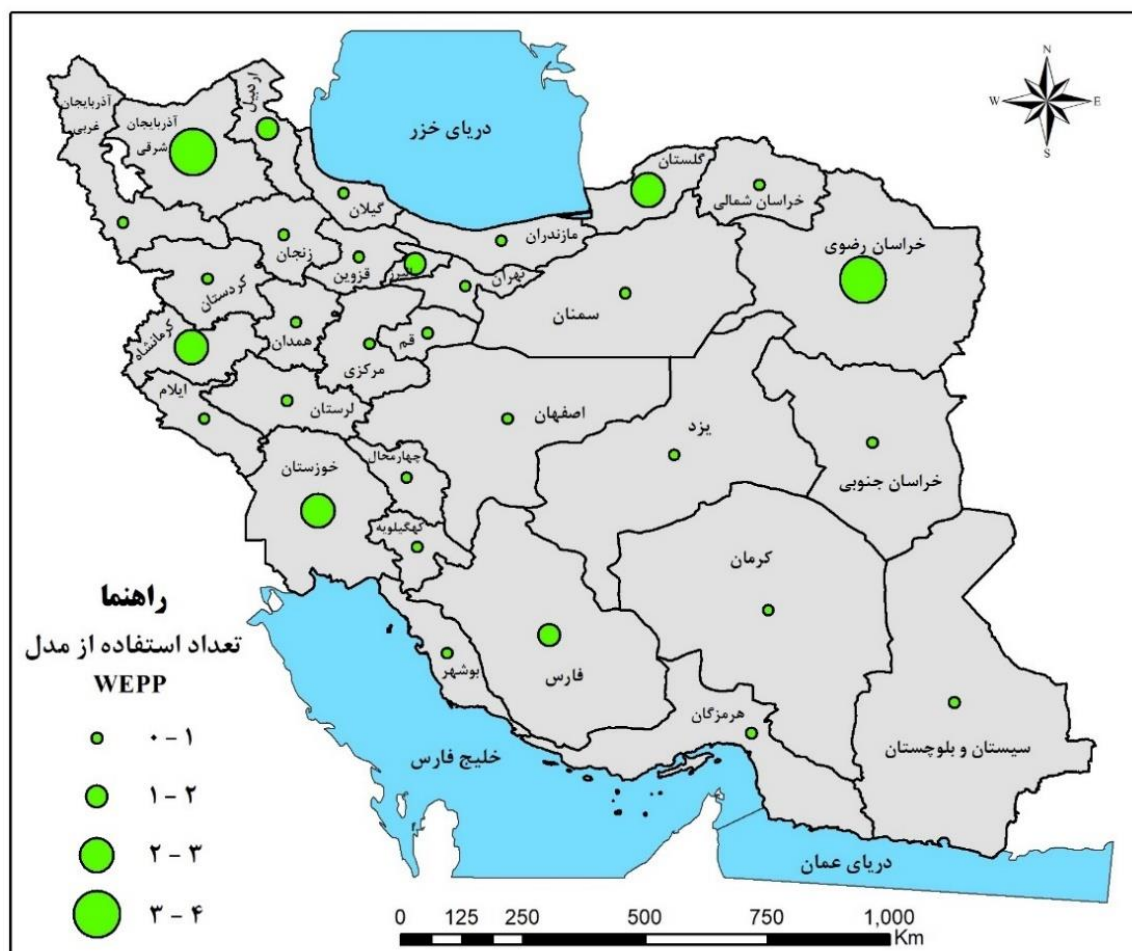
شکل ۵- توزیع مکانی استفاده از مدل MPSIAC در کشور

نقشه توزیع مکانی کاربرد مدل EPM در سطح کشور در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده، استان مازندران بیشترین استفاده (۷ مورد مطالعاتی) از این مدل را تجربه کرده است. استان تهران با ۵ مورد در رتبه دوم و استان‌های گلستان و البرز با ۴ مورد مطالعاتی در رتبه سوم از نظر فراوانی استفاده از مدل EPM قرار گرفته‌اند. این مدل در استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی، خوزستان، گیلان و هرمزگان ۳ دفعه مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین، برای استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، زنجان، کردستان، لرستان، قزوین، کرمانشاه، اردبیل، فارس و همدان ۲ مورد استفاده از این مدل گزارش شده است. در مطالعات دیگر استان‌های کشور، یکبار استفاده از این مدل ثبت شده است. از اینرو، مدل EPM در تمامی استان‌های کشور مورد استفاده قرار گرفته است. مدل EPM نیز نیازمند بومی‌سازی براساس شرایط محیطی استان‌ها یا مناطق مختلف کشور بوده که در پژوهش‌های آتی باید مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۶- توزیع مکانی استفاده از مدل EPM در کشور

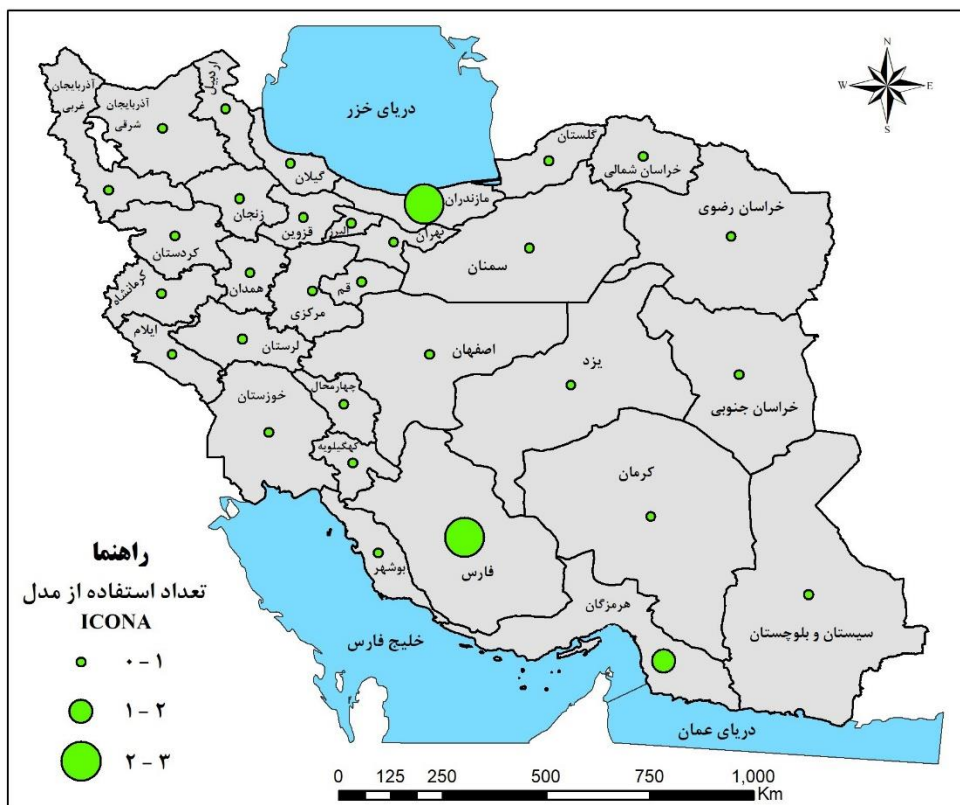
نقشه توزیع جغرافیایی استفاده از مدل WEPP در سطح کشور در شکل شماره ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که این مدل در استان‌های خراسان رضوی و آذربایجان شرقی با تکرار ۴ مورد مطالعاتی، بیشترین کاربرد را داشته است. در پژوهش‌های انجام شده در استان‌های کرمانشاه، خوزستان و گلستان فراوانی ۳ بار برای هر کدام ثبت شده است. مدل WEPP در مطالعات استان‌های اردبیل، فارس و البرز ۲ دفعه مورد استفاده قرار گرفته است. استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، سمنان، ایلام، چهارمحال و بختیاری و تهران یکبار استفاده از این مدل ثبت شده است. این درحالی است که در ۱۷ استان دیگر کشور این مدل مورد استفاده قرار نگرفته است. برخلاف سادگی مدل‌های تجربی، نصب رایانه‌ای مدل WEPP و همچنین داده‌های موردنیاز برای اجرای آن می‌تواند از دلایل اصلی عدم کاربرد وسیع این مدل در کشور باشد.



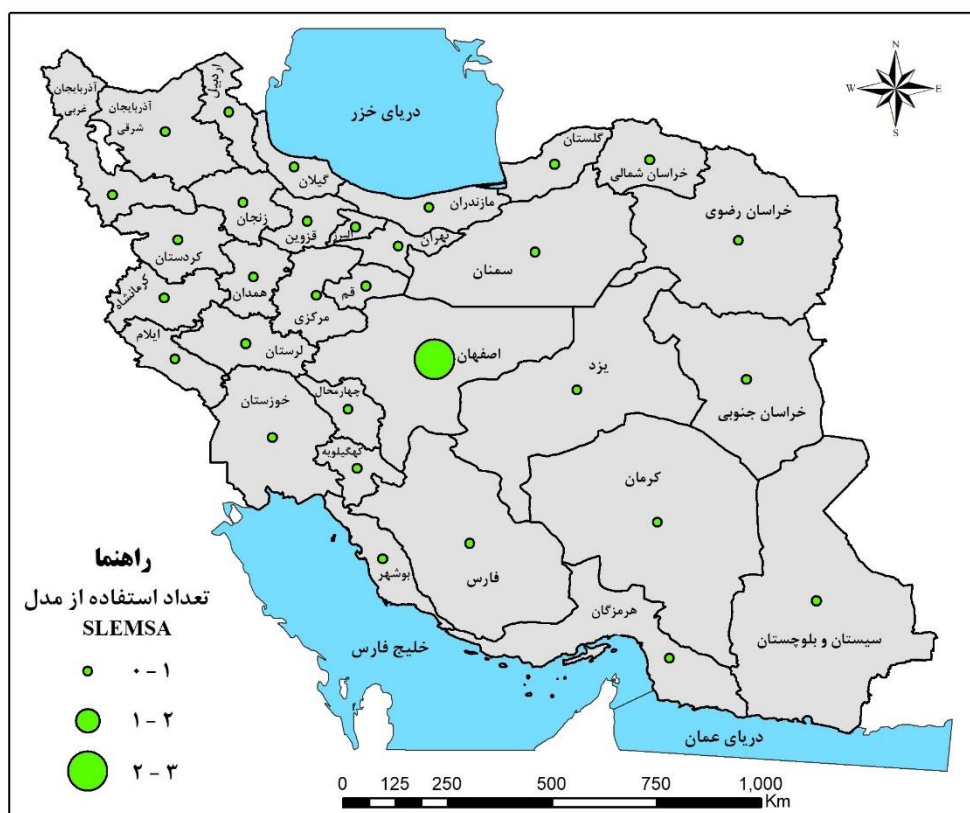
شکل ۷- توزیع مکانی استفاده از مدل WEPP در کشور

توزیع فراوانی استفاده از مدل ICONA در استان‌های مختلف کشور در شکل شماره ۸ ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده، استان‌های مازندران و فارس با فراوانی ۳ مطالعه در جایگاه اول کشور از نظر استفاده از این مدل قرار گرفته‌اند. استان‌های هرمزگان و خراسان رضوی به ترتیب با فراوانی ۲ و ۱ مطالعه در جایگاه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. این مدل در یک مطالعه در استان البرز نیز مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، مدل ICONA هنوز در ۲۶ استان کشور مورد استفاده قرار نگرفته است. نتایج نشان داد که کاربرد این مدل در سطح کشور از فراوانی محدودی برخوردار بوده و ارزیابی کارایی و همچنین بومی‌سازی آن در پژوهش‌های آتی فرسایش و رسوب باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

نقشه توزیع مکانی کاربرد مدل SLEMSA در کشور در شکل شماره ۹ ارائه شده است. نتایج نشان داد که استان اصفهان با فراوانی ۳ مطالعه از نظر کاربرد این مدل در جایگاه اول در کشور قرار گرفته است. همچنین، مدل SLEMSA در استان‌های لرستان، سمنان، کرمانشاه و گلستان یکبار اجرا شده است. براساس یافته‌های این پژوهش، این مدل در ۲۶ استان دیگر کشور مورد استفاده قرار نگرفته است. از اینرو، ارزیابی مدل SLEMSA در دیگر استان‌های کشور و همچنین بومی‌سازی آن برای مناطق مختلف کشور باید در اولویت پژوهشی مطالعات فرسایش و رسوب قرار گیرد.



شکل ۸- توزیع مکانی استفاده از مدل ICONA در کشور



شکل ۹- توزیع مکانی استفاده از مدل SLEMSA در کشور

محدودیت استفاده از مدل‌ها

بررسی‌ها نشان داد که برخی از مطالعات فرسایش خاک در ایران بدون توجه به شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه، از مدل‌ها استفاده نموده‌اند. قبل از بکارگیری مدل‌ها، پژوهشگران باید فرضیات و همچنین دامنه کاربرد آن‌ها را در نظر بگیرند. به عنوان مثال، مدل جهانی

فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیزی که از نظر توپوگرافی و زمین‌ریخت‌شناسی پیچیده هستند و همچنین کاربری‌های غیرزراعی دارند، دارای محدودیت است (قویمی پناه و همکاران، ۱۴۰۱). در نسخه بازنگری شده مدل جهانی فرسایش خاک^۱، کاربری‌های مختلف در نظر گرفته شده اما محدودیت مدل قبلی در زمینه توپوگرافی و زمین‌ریخت‌شناسی همچنان پابرجاست. از این‌رو، مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش خاک در حوزه‌های کوهستانی ایران که از شیب تند و زمین‌ریخت‌شناسی پیچیده برخوردارند، برآورد اشتباه از فرسایش ارائه می‌دهند. یکی از محدودیت مدل‌های تجربی این است که براساس رخداد‌های بارندگی، فرسایش و رسوب در کشورهای دیگر طراحی شده و در برخی موارد تخمین صحیحی از وضعیت فرسایش خاک ایران ارائه نمی‌دهند. تنوع اقلیمی و زمین‌ریخت‌شناسی کشور وسیع ایران نیازمند توسعه مدل‌های بومی بوده که بتوانند به‌طور مجزا برای مناطق مختلف کشور استفاده شوند.

الزام تکمیل و توسعه مطالعات فرسایش خاک برای حفاظت خاک کشور

چالش‌های زیادی در مسیر مدیریت منابع پایه و مخصوصاً حفاظت خاک وجود دارد که برای رفع آن‌ها، برنامه‌ریزی‌های مناسب و جامع موردنیاز است. این برنامه‌ها باید شامل تدوین سیاست‌های مؤثر برای مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، توجه به آمایش سرزمین، حفاظت از خاک، تعادل دام و مرتع، مدیریت و سامان‌دهی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، ارتقاء روش‌های کشاورزی پایدار، ترویج تکنیک‌های نوین و غیره است. مطالعات فرسایش خاک کشور، اطلاعات ارزشمندی از وضعیت حوزه‌های آبخیز و نقش عوامل محیطی و انسانی فراهم نموده که دستیابی به اهداف فوق را میسر می‌نماید. پژوهش حاضر نیز با هدف شفاف‌سازی وضعیت پژوهش‌های فرسایش خاک، روش‌ها و رویکردهای رایج و همچنین آینده پژوهشی موردنیاز در این عرصه علمی صورت گرفت. علی‌رغم انجام تحقیقات در حوزه‌های آبخیز کشور به صورت لکه‌ای و بدون وجود یک برنامه جامع پژوهشی برای توزیع پژوهش‌ها در قسمت‌های مختلف کشور با اهداف مشخص، پاسخ بسیاری از سوالات در زمینه کارکرد مدل‌ها و روش‌های برآورد و اندازه‌گیری فرسایش خاک و همچنین اثرگذاری عوامل محیطی داده نشده است. در این پژوهش بخش‌های زیادی از خلاءهای موجود مشخص شده تا روند تحقیقات آتی برای دستیابی به پاسخ این سؤالات سمت و سوی مناسب داشته باشد. از سویی دیگر، همکاری بین دانشگاه‌ها، پژوهشکده‌ها، مراکز علمی و دستگاه‌های اجرایی دولتی، سازمان‌های غیردولتی و جوامع محلی در تدوین برنامه‌های پژوهشی تخصصی کشور در زمینه فرسایش خاک و برزورسانی و انطباق برنامه‌های اجرایی مدیریت منابع خاک، می‌تواند به کاهش فرسایش خاک و بهبود کیفیت زندگی در جوامع محلی منجر شود. توجه به ابعاد اقتصادی و اجتماعی فرسایش خاک و اتخاذ تدابیر مؤثر، می‌تواند به حفظ منابع طبیعی و ارتقای پایداری اجتماعی و اقتصادی در کشور کمک کند. همچنین برای تحقیقات آینده در زمینه مدیریت فرسایش خاک در ایران، لازم است رویکردهای چندبعدی و بین‌رشته‌ای اتخاذ شود. پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌ها به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر فرسایش خاک و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر متمرکز شوند. همچنین، توسعه مدل‌های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به تحلیل دقیق‌تر این پدیده کمک کند. علاوه بر این، تحقیق در زمینه تکنیک‌های مدیریت پایدار مانند کشاورزی حفاظتی و ارگانیک و ارزیابی اثربخشی آن‌ها در کاهش فرسایش خاک ضروری است. مدیریت مشارکتی و تشویق جوامع محلی به مشارکت در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌ها، به همراه تدوین سیاست‌های حمایتی و مشوق‌های مالی، می‌تواند به بهبود وضعیت موجود کمک کند. در نهایت، برگزاری دوره‌های آموزشی و برنامه‌های آگاهی‌بخشی عمومی برای افزایش شناخت جامعه از اهمیت حفظ خاک و منابع طبیعی، می‌تواند به پایداری اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی منجر شود.

نتیجه‌گیری کلی

فرسایش خاک به عنوان یک پدیده طبیعی، به ویژه در ایران که تحت تأثیر عوامل اقلیمی و انسانی قرار دارد، تأثیرات اقتصادی و اجتماعی عمیقی بر جوامع محلی دارد. کاهش کیفیت خاک به دلیل فرسایش، منجر به افت تولیدات کشاورزی و کاهش درآمد کشاورزان می‌شود. این امر به ویژه در مناطق روستایی که معیشت آن‌ها به کشاورزی وابسته است، می‌تواند به بیکاری و افزایش فقر منجر شود. فرسایش خاک همچنین می‌تواند به تخریب زیرساخت‌های کشاورزی و کاهش توانایی تولید غذا در کشور منجر شود. علاوه بر این، کاهش تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌ها به دلیل فرسایش خاک، می‌تواند به ایجاد ناپایداری‌های اجتماعی و اقتصادی و افزایش مهاجرت‌های داخلی از مناطق آسیب‌دیده به شهرها منجر شود. براساس مرور منابع دقیق و تحلیل‌های مبتنی بر مقایسه یافته‌های پژوهشگران داخل کشور، موارد ذیل به عنوان نتیجه‌گیری مطرح می‌شود. مدل‌های فرسایش خاک RUSLE، MPSIAC و EPM به ترتیب با فراوانی ۲۹، ۲۸ و ۲۶ درصد،

پرکاربردترین مدل‌ها در برآورد فرسایش خاک در ایران هستند. همچنین، برخی از مطالعات فرسایش خاک در ایران بدون توجه به شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه، از مدل‌ها استفاده نموده‌اند. برخی از پژوهشگران فرضیات و همچنین دامنه کاربرد مدل‌ها را در نظر نگرفته که می‌تواند منجر به تخمین اشتباه میزان فرسایش خاک گردد. تعیین سهم فرسایش خاک کاربری‌های مختلف از حوزه‌های آبخیز کشور به عنوان یک خلاء تحقیقاتی باقی مانده است. وضعیت فرسایش خاک به تفکیک نوع کاربری‌های اراضی برای تمامی حوزه‌های آبخیز کشور یک موضوع ضروری بوده و پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، یافتن دلیل عدم همکاری نهادهای علمی و اجرایی در کشور در زمینه مطالعات فرسایش خاک نیازمند انجام یک پژوهش مستقل و مجزا است که پژوهشگران می‌توانند در پژوهش‌های پیش‌رو به این مسئله مهم نیز بپردازند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- آرمین، محسن؛ بازگیر، معصومه و ولایتی‌نژاد، سید علی صالح. (۱۳۹۷). استفاده از یک مدل تجربی ویژه در برآورد تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز سد کوه‌برد در شهرستان کهگیلویه. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۲۸(۲)، ۴۱-۲۳.
- آرمین، محسن؛ ولی‌نژاد، حدیث و قربان‌نیا خیبری، وجیهه. (۱۳۹۹). برآورد فرسایش خاک در حوضه آبریز سد تنگ سرخ با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک تجدید نظر شده (RUSLE) و قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی. *هیدروژئومورفولوژی*، ۷(۲۳)، ۱۵۹-۱۸۳.
- ابراهیم‌زاده، سمیه؛ ارگانی، میثم و میردار هریجانی، فرشاد. (۱۴۰۳). مدلسازی نرخ فرسایش خاک و تولید رسوب با مدل RUSLE/SDR در حوضه آبریز دیزگران. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱۳(۳۹)، ۲۴-۱.
- احمدآبادی، علی و صدیقی‌فر، زهرا. (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب با کمک معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) در حوضه آبریز حبله رود. *جغرافیای طبیعی*، ۱۰(۳۷ (پیاپی ۳۷))، ۸۳-۱۰۳.
- احمدی، مهدی؛ مختاری، داوود؛ حیدری، سید اسداله و نیک‌سرشت، مهدی. (۱۳۹۶). مقایسه مدل‌های WEPP و هیدروفیزیکی برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چرداول). *تحقیقات مهندسی محیط زیست*، ۷(۳)، ۲۴-۱.
- ارخی، صالح؛ بارانی، شهرام و عمادالدین، سمیه. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر فرسایش و برآورد رسوب در حوضه چم‌گردلان (استان ایلام) با استفاده از مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک RUSLE. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱۱(۳۴)، ۳۵-۵۶.
- اسدی، اسماعیل؛ صادقی، سعیده. (۱۳۹۹). خاک‌های سالم با کشاورزی حفاظتی. *انتشارات نوروزی*. ۱۳۵ صفحه.
- اسدی، حسین؛ بشارتی، حسین و گرجی، منوچهر. (۱۴۰۱). چالش‌ها و محدودیت‌های منابع خاک و اراضی در ایران. *مدیریت اراضی*، ۱۰(۱)، ۱۱۱-۱۳۴.
- اسدی، حسین. (۱۴۰۱). واکاوی تاریخچه فعالیت دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و سازمان‌های اجرایی مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک در ایران. *تحقیقات آب و خاک ایران*. ۵۳(۲)، ۴۱۱-۴۳۳.
- اسفندیاری، مهرداد؛ معینی، ابوالفضل و مقدسی، راحله. (۱۳۹۳). بررسی تاثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر اشکال فرسایش و میزان تولید رسوب (مطالعه موردی حوزه آبخیز رود ورس استان قزوین). *جغرافیای سرزمین*، ۴۲(۱۱)، ۵۱-۶۲.
- اسفندیاری‌درآباد، دکتر فریبا و جسارتی، علی. (۱۳۹۶). برآورد رسوب‌دهی حوضه آبخیز آلاذیزگه با استفاده از مدل WEPP در محیط GIS. *جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای*، ۷(۲۳)، ۱۰۱-۱۱۲.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ پاسبان، امیرحسام و نضافت تکه، بهروز. (۱۴۰۱). تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز عموقین اردبیل. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۷۷-۹۶.
- اسمعیلی‌عوری، ابازر و کاتب، فاطمه. (۱۳۹۹). بررسی پتانسیل فرسایش خاک با دخالت سنج‌های سیمای سرزمین، مطالعه موردی: حوضه شریف‌بیگلر، استان اردبیل. *هیدروژئومورفولوژی*، ۷(۲۴)، ۱۴۵-۱۶۴.
- انتظاری، مژگان و غلام‌حیدری، حمیده. (۱۳۹۳). مقایسه مدل‌های CORINE و SLEMSA در تخمین فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه تنگ سرخ شیراز). *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۱۸(۳)، ۲۸-۱.
- انصاری‌لاری، احمد و انصاری، مریم. (۱۳۹۵). برآورد میزان فرسایش خاک در دشت مرودشت (استان فارس) با استفاده از مدل تجربی RUSLE. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۴(۴)، ۱۳۴-۱۴۹.
- انصاری‌لاری، احمد و انصاری، مریم. (۱۳۹۶). ارزیابی خطر فرسایش خاک و پتانسیل رسوب‌دهی حوضه آبریز گابریک استان هرمزگان با استفاده از

- مدل EPM. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۶(۱)، ۱-۱۴.
- باختر، ب. (۱۳۵۲). شیوه‌های حفاظت از خاک و آب. اولین کنفرانس در مورد مشکلات حفاظت از خاک و مدیریت حوزه‌های آبخیز، ۲۵-۳۱ شهریور ۱۳۵۲، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
- بیات‌رضا، عرب‌خدری، محمود؛ بهنام، نجمه و گرامی، زهرا. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در تعیین وضعیت فرسایش حوزه آبخیز شهریار. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷(۳)، ۱-۱۶.
- پیروزی، الناز و مددی، عقیل. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از روش MABAC، مطالعه موردی: حوضه آبریز گیوی‌چای. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰(۳۶)، ۷۳-۹۳.
- ثروتی، محمدرضا؛ احمدی، حسن؛ میرباقری، بابک و بهرامی‌فرد، هدی. (۱۳۹۰). برآورد فرسایش حوضه آبخیز زیدشت-فشدک (طالقان). *جغرافیای طبیعی*، ۴(۱۲)، ۲-۱۷.
- جلالیان، ا.، غساره، ا.م. و کریم‌زاده، ح.ر. (۱۳۷۳). فرسایش خاک و تولید رسوب، و عوامل مؤثر در حوزه‌های آبخیز کشور، و نتایج موردی برای برخی از حوزه‌های آبخیز در ایران. چهارمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۹-۳۱ شهریور ۱۳۷۳، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- حبشی، خلیل؛ محمدی، شاهین؛ کریم‌زاده، حمیدرضا و پورمنافی، سعید. (۱۳۹۷). ارزیابی خطر فرسایش خاک در دشت کوهپایه - سگری با استفاده از مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک RUSLE. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۵)، ۱۶۳-۱۸۰.
- حجازی، سید اسداله؛ احمدی، مهدی و شهابی، هیمین. (۱۳۹۷). برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز کنگیر در استان ایلام با استفاده از مدل E.P.M. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۶)، ۱-۲۲.
- حسینعلی‌زاده، محسن و سید علیپور، حسین. (۱۳۹۱). کاربرد رادیونوکلئیدهای ریزشی (^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pb) در جابه‌جایی ذرات خاک در لس‌های مراوه‌تپه استان گلستان. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۳(۷)، ۸۳-۱۰۱.
- حسینعلی‌زاده، محسن و علی‌نژاد، محمد. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مدل WaTEM/SEDEM جهت برآورد فرسایش آبی و خاک‌ورزی (مطالعه موردی: زیر حوضه نمونه کچیک؛ مراوه‌تپه - استان گلستان). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۲)، ۱۶۳-۱۷۸.
- خواجه‌ای، الیاس؛ عرب‌خدری، محمود؛ مهدیان، محمد حسین و شادفر، صمد. (۱۳۹۴). بررسی مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور با استفاده از ارقام اندازه‌گیری شده روش سزیم ۱۳۷ و پلات‌های آزمایشی. *نشریه مدیریت منابع آب*، ۶: ۱۱-۱۳۷.
- رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ اندریانی، صغری؛ نیکجو، محمدرضا و مختاری‌اصل، ابوالفضل. (۱۳۹۵). ارزیابی برآورد رسوب حوضه آبریز شهرچای میانه با استفاده از مدل‌های EPM و Fournier در محیط GIS. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۷(۲۳)، ۸۲-۹۵.
- رضایی‌مقدم، محمد حسین؛ حجازی، اسدالله و مزیانی، مهدی. (۱۴۰۱). برآورد فرسایش-رسوب حوضه آبریز سراب سیکان با استفاده از مدل RUSLE. *هیدروژئومورفولوژی*، ۹(۳۲)، ۱-۲۳.
- رنجبر، محسن و شایگان، مصطفی. (۱۳۹۶). بررسی فرسایش‌پذیری و تولید رسوب حوضه آبخیز رودخانه افجه و تاثیر آن بر سد لتیان. *فصلنامه پژوهش‌های علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی*، ۱(۴).
- سیدالعلماء، سیده‌نساء؛ اسدی، حسین و زواره، محسن. (۱۳۹۴). اثر فرسایش شخم بر میزان جابجایی و توان تولید خاک (مطالعه موردی: تنکابن در استان گیلان). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴(۴)، ۱۳۹-۱۵۶.
- سیدعلیپور، حسین؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن؛ زارع، محمدرضا و حسینعلی‌زاده، محسن. (۱۳۹۳). مقایسه فرسایش خاک به روش سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق‌امام). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱(۵)، ۳۷-۴۷.
- شاهویی، س. (۱۳۶۸). بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقاتی حفاظت از خاک و آب در کوئین و تعمیم نتایج برای تهیه نقشه فرسایش خاک حوزه آبخیز مالرود. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه).
- صادق‌زاده‌ریحان، محمدابراهیم و یاراحمدی، جمشید. (۱۳۹۷). ارزیابی مدل WEPP در برآورد میزان فرسایش و رسوب در اراضی مارنی منطقه خواجه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲(۱)، ۹۷-۱۱۲.
- طاهری‌بابادی، زینب؛ متشفع، بهزاد و روشن، سید حسین. (۱۴۰۱). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از GIS و سنجش از دور بر مبنای مدل RUSLE (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان). *خشک بوم*، ۱۲(۱)، ۷۷-۹۲.
- عابدینی، موسی؛ شبرنگ، شنو و اسمعیلی، اباذر. (۱۳۹۲). ارزیابی فرسایش خاک و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مشکین چای با استفاده از روش EPM. *مجله جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۳۰)، ۸۷-۱۰۰.
- عابدینی، موسی؛ جوادی‌علی‌بابالو، سجاده؛ مصطفی‌زاده، رفوف و پاسبان، امیرحسام. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی بر اساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح‌شده (MPSIAC) در محیط GIS. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۳(۴۹)، ۳۹-۴۹.

- عابدینی، موسی و صفری، سید احد. (۱۴۰۳). بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل WEPP مطالعه موردی: حوضه آبریز قنبرلو. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۲)، ۸۵۴۸-۸۵۳۱.
- عباس‌زاده افشار، فریده؛ ایوبی، شمس‌اله؛ جلالیان، احمد؛ خلقی، حسین و اصغری‌زاده، فرید. (۱۳۸۹). مقایسه مدل‌های نسبی و توازن جرمی در برآورد فرسایش و رسوب به روش رادیونوکلئوید سزیم-۱۳۷ در منطقه اردل چهارمحال و بختیاری. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۱(۱).
- عباس‌زاده افشار، فریده. (۱۴۰۰). مقایسه برتری‌ها و کاستی‌های رادیونوکلئویدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و برلیوم-۷ برای ارزیابی فرسایش خاک. *مدیریت اراضی*، ۹(۲)، ۲۷۵-۲۹۰.
- عبیات، محمد؛ عبیات، مصطفی و عبیات، مرتضی. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE. *محیط شناسی*، ۴۷(۱)، ۸۹-۱۱۰.
- عرب‌خدری، محمود. (۱۳۸۴). بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱(۲)، ۵۱-۶۰.
- عرب‌خدری، محمود. (۱۳۹۳). مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۲(۴)، ۲۳-۳۰.
- عرب‌خدری، محمود. (۱۴۰۰). وضعیت فرسایش آبی و رسوبدهی ایران، واکاوی آماری و مقایسه‌ای. *مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۶(۲)، ۱۳۹-۱۵۶.
- عسگری، شمس‌اله؛ ثروتی، محمدرضا و جعفری، سیدمحمدرضا. (۱۳۸۷). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه سد ایلام با استفاده از مدل MPSIAC. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۴۰(۶۴)، ۳۵-۲۹.
- فضلی، سمیه و نور، حمزه. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی و ارزیابی اثر سناریوهای مختلف درصد پوشش گیاهی بر فرسایش خاک. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۱(۴)، ۵۶۲-۵۷۱.
- فتحی، رستم؛ آسودار، محمد امین و قاسمی‌نژاد رائینی، محمود. (۱۴۰۰). مروری بر وضعیت کشاورزی حفاظتی در جهان با تمرکز بر یکی از کشورهای موفق. *مدیریت اراضی*، ۹(۱)، ۸۷-۱۰۱.
- قویمی‌پناه، محمدحسین؛ غلامی، لیل و قویمی‌پناه، محمدرضا. (۱۴۰۱). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و تعیین خسارت مستقیم و غیرمستقیم در حوزه آبخیز کن. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۶(۵۶)، ۴۲-۵۲.
- کاظمی، محمد؛ ذبیحی سیلابی، مصطفی؛ جعفرپور، عاطفه؛ قره‌محمودلی، سودابه و محمدی، فریبرز. (۱۴۰۲). برآورد مؤلفه‌های فرسایش و رسوب با استفاده از مدل InterEO (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کهورستان). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۳(۲)، ۱۷۷-۱۹۱.
- کریمی‌نژاد، نرگس؛ گلی‌جیرنده، عباس؛ علیزاده، هادی؛ حسینعلی‌زاده، محسن و پورقاسمی، حمیدرضا. (۱۴۰۰). تأثیر اقدام‌های آبخیزداری بر امکان فرسایش خاک با شبیه‌ساز آزمایشگاهی در گوربند، سیستان و بلوچستان. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۳۴(۳)، ۱۹-۳۹.
- کیانی، فرشاد؛ بهتری نژاد، بهروز؛ نجفی نژاد، علی؛ کابلی، عبدالرضا. (۱۳۹۶). ارزیابی نرخ فرسایش و رسوب در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز تمر استان گلستان با استفاده از مدل SWAT. *آب و خاک*، ۳۱(۵)، ۱۳۸۳-۱۳۹۵.
- محسنی‌بهروز، قدوسی‌جمال، احمدی‌حسن و طهماسبی‌رمضان. (۱۳۹۰). ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه معرف کسلیان استان مازندران. *جغرافیا و توسعه*، ۹(۲۲)، ۱۰۷-۱۲۷.
- محمدی، شاهین؛ کریم‌زاده، حمیدرضا و علیزاده، میثم. (۱۳۹۷). برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE. *مجله اکوهیدرولوژی*، ۵(۲)، ۵۵۱-۵۶۹.
- مختاری، لیل؛ شفیع، نجمه رحمانی و ابوالفضل. (۱۳۹۷). برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE، مطالعه موردی حوضه آبریز نورآباد ممسنی. *هیدروژئومورفولوژی*، ۵(۱۷)، ۱-۲۱.
- مددی‌عقیل، پیروزی، الناز. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه لای چای. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۳۹۵؛ ۱۶(۴۲): ۱۹۵-۱۷۷.
- مددی، عقیل و نیکپور، شهرام. (۱۳۹۳). برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز رودخانه زال با استفاده از روش‌های پسیاک، پسیاک اصلاح شده و GIS. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲(۱)، ۱۳۳-۱۵۴.
- مزبانی، مهدی، رضایی مقدم، محمد حسین و حجازی، اسد اله. (۱۴۰۰). ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰(۱)، ۴۱-۶۳.
- معمدی راد، محمد، زنگنه اسدی، محمد علی و عجم، حسین. (۱۴۰۲). بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل (RUSLE) و روش پسیاک اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۴)، ۱۴۷-۱۶۵.
- موسوی، سید حجت. (۱۳۹۶). برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز شاهرود - میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS. *مجله*

آمایش جغرافیایی فضا، ۷(۲۴)، ۳۴-۱۵.

- موشانی، سعید؛ کاظمی، حسین؛ سلطانی، افشین؛ اسدی، محمد اسماعیل؛ حسینعلیزاده، محسن. (۱۴۰۰). برآورد و مقایسه میزان فرسایش خاک در نظام‌های کشاورزی حفاظتی و مرسوم (مطالعه موردی: مزارع سویای شهرستان گرگان). *تحقیقات کاربردی خاک*. ۹(۲)، ۶۱-۷۲.
- نژاد افصلی، کرامت؛ شاه‌رخ، محمدرضا و بیاتانی، فاطمه. (۱۳۹۸). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکهان (جنوب کرمان). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۸(۲۰)، ۳۸-۲۱.
- نصیری، یعقوب؛ تقدیسی، سمیرا؛ محمودی‌قراپی، محمد حسین؛ محبوبی، اسداله؛ خانه‌باد، محمد و صداقت‌نیا، مصطفی. (۱۴۰۰). ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب با به کارگیری مدل پسیاک اصلاحی و GIS در حوضه آبریز عشق‌آباد- سوله (جنوب باختر قوچان). *دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی*. ۹(۱۷)، ۸۲-۶۵.
- نیک‌کامی، داوود. (۱۳۸۸). طرح استراتژیک حفاظت خاک. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- نیک‌کامی، داود و شادفر، صمد. (۱۴۰۰). تهیه نقشه فرسایش خاک در حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی کشور. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. ۱۳(۲)، ۴۷۹-۴۹۶.
- نور، حمزه؛ عرب‌خداری، محمود و دسترنج، علی. (۱۴۰۲). ارزیابی اثر قرق مرتع بر فرسایش خاک در مقیاس کرت (مطالعه موردی: پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه). *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*. ۳(۲)، ۶۶-۷۷.

REFERENCES

- Abbaszadeh Afshar, F., Ayoubi, S., Jalalian, A., Kholghi, H., and Asgharizadeh, F. (2010). A Comparison of Proportional and Mass Balance Model to Predict Soil Erosion and Deposition Rates Using Cs-137 Technique in Ardal District, Charmahal and Bakhtiari Province. Iran. *J. Soil Water Res.* 41: 1. 131-137. (In Persian)
- Abbaszadeh Afshar, F. (2022). Comparison of the advantages and limitations of ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, and ⁷Be fallout radionuclides in soil erosion assessments. *Land Management Journal*, 9(2), 275-290. (In Persian)
- Abdulraheem, M. I., Zhang, W., Li, S., Moshayedi, A. J., Farooque, A. A., & Hu, J. (2023). Advancement of remote sensing for soil measurements and applications: A comprehensive review. *Sustainability*, 15(21), 15444.
- Abedini, M., Shabrang, S., & Esmaeili, A. (2013). Assessment of soil erosion and sediment yield in the Moshkin Chay watershed using the EPM method. *Journal of Geography and Development*, 11(30), 87-100. <https://doi.org/10.22111/gdij.2014.245> (In Persian)
- Abedini, M., Javadi Alibabalu, S., Mostafazadeh, R., & Pasban, A. H. (2022). Prioritization of sub-watersheds in the Kouzeh Topraqi watershed based on soil erosion and sediment production using the modified PSYAC (MPSIAC) in a GIS environment. *Geographical Studies of Arid Regions*, 13(49), 18-39. <https://doi.org/10.22034/jargs.2023.373965.0> (In Persian)
- Abedini, M. and Safary, S. A. (2024). Investigating of the soil erosion and sediment production using the WEPP model Case study: Ghanbarlo watershed. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8548-8531. doi: 10.22034/jess.2023.413752.2110. (In Persian)
- Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2021). Investigation of Land-Use Changes and their Impacts on Soil Erosion in Baghmalek Basin using Artificial Neural Network and RUSLE Model. *Environmental Sciences*, 47(1), 89-110. <https://sid.ir/paper/411873/fa> (In Persian)
- Ahmadabadi, A., & Sediqifar, Z. (2017). Estimation of soil erosion and sediment production using the modified universal soil loss equation (RUSLE) in the Hableh River watershed. *Natural Geography*, 10(3), 83-103. <https://sid.ir/paper/515199/fa> (In Persian)
- Ahmadi, M., Mokhtari, D., Hejazi, A. A., & Nikseresht, M. (2017). Comparing WEPP and hydro-physical models to estimate soil erosion and sediment production: A case study of Chardavol watershed. *Environmental Engineering Research*, 7(3), 1-24. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-381-fa.html> (In Persian)
- Al-hasn, R., Alghamaz, F., Dikkeh, M., & Idriss, Y. (2024). Water soil erosion modeling with RUSLE, GIS & remote sensing: A case study of the AL-Sanaoubar River basin (Syria). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(7), 474-484.
- Anejionu, O. C., Nwilo, P. C., & Ebinne, E. S. (2013). Long term assessment and mapping of erosion hotspots in South East Nigeria. In *FIG Working Week* (pp. 1-19).
- Ansari Lari, A., & Ansari, M. (2017). Assessment of soil erosion risk and sediment yield potential in the Gabrek watershed of Hormozgan province using the EPM model. *Natural Environmental Hazards*, 6(11),

- 1-14. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.2965>(In Persian)
- Ansari Lari, A., & Ansari, M. (2016). Estimate the amount of soil erosion in Marvdasht plain (Iran, Fars) by RUSLE Model. *Quantitative Geomorphological Research*, 4(4), 134-149. (In Persian)
- Arabkhedari, M. (2005). Investigation of suspended sediment yield in Iran's watersheds. *Iranian Journal of Water Resources Research*, 1(2), 51-60. (In Persian)
- Arabkhedri, M. (2014). A review on the Water erosion and sediment yield rate in Iran. *Extension and Development of Watershed Management* 2(4), 23-30. (In Persian)
- Arabkhedri, M. (2021). Water erosion and sediment production status in Iran: Statistical and comparative analyses. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 6(2), 139-156. (In Persian)
- Arkhai, S., Barani, Sh., & Emadeddin, S. (2022). Hazard mapping of erosion and sediment estimation in the Cham-Gardalan watershed (Ilam Province) using the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Natural Environmental Hazards*, 11(34), 35-56. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.39063.1822>(In Persian)
- Armin M, Bazgir M, Velayatinejad S A. (2018) Using a special empirical model to estimate sediment yield of Koohbord dam watershed in Kohgilouyeh County. *E.E.R.* 8 (2) :23-41. (In Persian)
- Armin, M., Vali Nejad, H., & Ghorbaniya Kheybari, J. (2020). Estimation of soil erosion in the Tang Sarakh dam watershed using the revised universal soil loss equation (RUSLE) and remote sensing capabilities with GIS. *Hydrogeomorphology*, 7(23), 159-183. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.11157>(In Persian)
- Asadi M.E., and Sadeghi S. (2017). Healthy soils with conservation agriculture systems. Nowrouzi Press, 135p. (In Persian)
- Asadi, A. (2022). A Critical Report on Several Decades' Activities in the Universities, Research Institutes and Executive Organizations in the Field of Soil Erosion and Conservation in Iran. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 53(2), 411-433. (In Persian)
- Asadi, H. and Gorji, M. (2022). Challenges and Limitations of Soil and Land Resources in Iran. *Land Management Journal*, 10(1), 111-134. doi: 10.22092/lmj.2022.358760.309. (In Persian)
- Asgari, Sh. A., Servati, M. R., & Jafari, M. R. (2008). Estimation of soil erosion and sediment production in the Ilam dam watershed using the MPSIAC model. *Natural Geography Research*, 0(63). (In Persian)
- Auerswald K., Kainz M., and Fiener P. (2003). Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. *Soil Use and Management*, 19(4): 305-311.
- Bakhtar, B. (1973). Soil and water conservation practices. The First Cnoference on the Problems of Soil Conservation and Watershed Management, August 25-31, 1973, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj (The Conference Book Published on August 1975). (In Persian)
- Bayat, R., Arabkhedri, M., Behnam, N., & Gerami, Z. (2020). Performance evaluation of EPM and MPSIAC models for determination of erosion status of Shahriari watershed. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(3), 1-16. (In Persian)
- Batista, P. V., Davies, J., Silva, M. L., & Quinton, J. N. (2019). On the evaluation of soil erosion models: Are we doing enough?. *Earth-Science Reviews*, 197, 102898.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8(1), 1-13.
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J. A. A., Baartman, J., Ballabio, C., ... & Panagos, P. (2021). Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, 780, 146494.
- Chandramohan, T., Venkatesh, B., and Balchand, A.N. (2015). Evaluation of Three Soil Erosion Models for Small Watershed. *International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE) Aquatic Procedia*, 4:1227- 1234.
- Ebrahimizadeh, S., Organi, M., & Meydard Harijani, F. (2024). Modeling soil erosion rate and sediment production using the RUSLE/SDR model in the Dizgaran watershed. *Natural Environmental Hazards*, 13(39), 1-24. <https://doi.org/10.22111/jneh.2024.39109.1823>(In Persian)
- Entazari, M., Heydari, G., & Hamideh. (2014). Comparison of SLEMSA and CORINE models in estimating soil erosion (Case study: Tang-e-Sarakh watershed, Shiraz). *Spatial Planning and Geomatics*, 18(3), 1-28. (In Persian)
- Esfandiari, M., Moeini, A., & Moghadassi, R. (2014). Investigating the impact of land use and vegetation cover on erosion forms and sediment production: A case study of the Vares River watershed in Qazvin

- province. *Geography of the Land*, 42(11), 51–62. (In Persian)
- Esfandiari Darabad, F., & Jassarti, A. (2017). Estimation of sediment yield in the Aladizgah watershed using the WEPP model in a GIS environment. *Regional Urban Planning and Geography*, 7(23), 101–112. <https://doi.org/10.22111/gaij.2017.3227> (In Persian)
- Esfandiari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Pasban, A. H., & Behrouz Nezafat Takleh, B. (2022). Integrating terrain and vegetation indices to estimate and identify the soil erosion risk in the Amoughin watershed, Ardabil. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9(1), 77–96. (In Persian)
- Esmaeili Oori, A., & Kateb, F. (2020). Assessment of soil erosion potential considering landscape metrics: A case study of the Sharif Beiglu watershed, Ardabil province. *Hydrogeomorphology*, 7(24), 145–164. <https://doi.org/10.22034/hyd.2020.41552.1543> (In Persian)
- Faraji, M., Amirian Chakan, A., Jafarizadeh, M., & Mohammadian Behbahani, A. (2017). Soil and nutrient losses due to root crops harvesting: a case study from southwestern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(11), 1523–1534.
- Fathi, R., Asoodar, M. A. and ghasemi nejad, M. (2021). A Survey of Conservation Agriculture in the World with Focus on Argentina as a Successful Case. *Land Management Journal*, 9(1), 87–101. doi: 10.22092/lmj.2021.124395. (In Persian)
- Fazli, N., & Noor. (2017). Simulation and evaluation of the effects of different vegetation cover scenarios on soil erosion. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(4), 562–571. (In Persian)
- Gao, G., Liang, Y., Liu, J., Dunkerley, D., & Fu, B. (2024). A modified RUSLE model to simulate soil erosion under different ecological restoration types in the loess hilly area. *International Soil and Water Conservation Research*, 12(2), 258–266.
- Ghavimippanah M H, Gholami L, Ghavimippanah M R. (2022) Estimation of Soil Erosion Using RUSLE Model and Determination of Direct and Indirect Damages in Kan Watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 16(56), 42–53. (In Persian)
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953–961.
- Gharibreza, M.R., M. Zaman, P. Porto, E. Fulajtar, L. Parsaei and H. Eisaei. (2020). Assessment of deforestation impact on soil erosion in loess formation using ¹³⁷Cs method (case study: Golestan Province, Iran). *International Soil and Water Conservation Research*. 8(4): 393–405.
- Habashi, K., Mohammadi, S., Karimzadeh, H. R., & Pourmanafi, S. (2018). Assessment of soil erosion risk in the Kouhpaye-Sagzi plain using the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Natural Environmental Hazards*, 7(15), 163–180. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3216> (In Persian)
- Hejazi, S. A., Ahmadi, M., & Shahabi, H. (2018). Estimation of soil erosion and sediment production in the Kengir watershed in Ilam province using the EPM model. *Natural Environmental Hazards*, 7(16), 1–22. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.17056.1073> (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., Seyed Alipour, H. (2012). Application of fallout radionuclides (¹³⁷Cs, ⁷Be, ²¹⁰Pbex) in the movement of soil particles in the loess of Maraveh Tepeh, Golestan Province. *Geographical Studies of Arid Regions*, 3(7), 83–101. (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., Alinejad, M., Mohammadian Behbahani, A., Khormali, F., Kariminejad, N., & Pourghasemi, H. R. (2020). A review on the gully erosion and land degradation in Iran. *Gully erosion studies from India and surrounding regions*, 393–403.
- Hosseinalizadeh, M. and Alinejad, M. (2020). Assessment of WaTEM/SEDEM model for water and tillage induced soil erosion (Case study: Sample sub catchment of Kachik-, Golestan Province). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(2), 163–178. doi: 10.22069/jwsc.2020.16632.3194. (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., Pourjavad, H., Kariminejad, N., & Pourghasemi, H. R. (2024). Event-based soil erosion estimation in a tropical watershed using OpenLISEM. In *Advanced Tools for Studying Soil Erosion Processes* (pp. 213–227). Elsevier.
- Igwe, P. U., Onuigbo, A. A., Chinedu, O. C., Ezeaku, I. I., & Muoneke, M. M. (2017). Soil erosion: A review of models and applications. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 4(12), 237341.
- Jalalian, A., Ghahsareh, A.M., and Karimzadeh, H.R. (1994). Soil erosion and sediment yield, and the effecting factors in the country watersheds, and case results for some watersheds in Iran. 4th Soil Science Congress of Iran, 29–31 August 1994, Isfahan University of Technology, Isfahan. (In Persian)
- Jaramillo, F. (2007). Estimating and Modelling Soil Loss and Sediment Yield in the Maracas-St. Joseph River Catchment with Empirical Models (RUSLE and MUSLE) and a Physically Based Model (Erosion 3D).



M.Sc. Thesis, McGill University, Montreal.

- Kariminejad, N., Goli Jirandeh, A., Alizadeh, H., Hosseinalizadeh, M. and Pourghasemi, H. R. (2021). An Assessment of Watershed Management Activities on the Soil Erosion Potential Using the Physical LANDPLANER Model in the Treated and Control Sub-catchment of the Goorband in Sistan and Baluchestan. *Watershed Management Research*, 34(3), 19-39. doi: 10.22092/wmej.2021.351438.1357. (In Persian)
- Kazemi, M., Zabihi Silabi, M., Jafarpour, A., Gharemahmudli, S., & Mohammadi, F. (2023). Estimation of erosion and sediment components using the IntErO model: A case study of the Kahouristan watershed. *E.E.R.*, 13(2), 177–191. Retrieved from <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-732-fa.html> (In Persian)
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E. C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., ... & Cerdà, A. (2016). Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of the Total Environment*, 551, 357-366.
- Khajavi, E., ArabKhedri, M., Mahdian, M.H., and Shadfar, S. 2015. Investigation of Water Erosion and Soil Loss Values with using the Measured Data from Cs-137 Method and Experimental Plots in Iran. *J. Water. Manage. Res.* 6: 11. 137-151. (In Persian)
- Kiani F., Behtarinejhad B., Najafinejhad A., and Kaboli R. (2017). Evaluation the erosion and sediment in different land uses of Tamer watershed, Golestan Province using SWAT model. *Water and Soil*, 31(5): 1383-1395. (In Persian)
- Lafren, J. M., & Flanagan, D. C. (2013). The development of US soil erosion prediction and modeling. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 1-11.
- Li, S., Hu, S., Wang, L., Zhang, F., Wang, N., Wu, S., ... & Jiang, Z. (2024). Quantifying the Geomorphological Susceptibility of the Piping Erosion in Loess Using LiDAR-Derived DEM and Machine Learning Methods. *Remote Sensing*, 16(22), 4203.
- Luvai, A., Obiero, J., & Omuto, C. (2022). Soil loss assessment using the revised universal soil loss equation (RUSLE) model. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 2122554.
- Madadi, A., & Nikpour, S. (2014). Estimation of soil erosion and sediment production in the Zāl River watershed using PSYAC, modified PSYAC, and GIS methods. *Quantitative Geomorphology Research*, 2(1), 133–154. (In Persian)
- Madadi, A., & Pirooz, E. (2016). Estimation of soil erosion and sediment yield in the Lay Chay basin. *Journal of Geographical Sciences*, 16(42), 177–195. <https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2694-fa.html> (In Persian)
- Mazbani, M., Rezaei Moghadam, M. H., & Hajazi, A. (2021). Assessment of soil erosion risk in land uses using the modified universal soil loss equation (Case study: Seikan watershed). *Geography and Environmental Hazards*, 10(1), 41–63. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.67238.0> (In Persian)
- Merriitt, W. S., Letcher, R. A., & Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental modelling & software*, 18(8-9), 761-799.
- Mohammadi, S., Karimzadeh, & Alizadeh. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using the RUSLE model. *Ecohydrology*, 5(2), 551-569. (In Persian)
- Mohammadi, S., Balouei, F., Haji, K., Khaledi Darvishan, A., & Karydas, C. G. (2021). Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. *International Journal of Digital Earth*, 14(8), 1019-1039.
- Mohseni Behrouz, Ghadousi Jamal, Ahmadi Hasan, & Tahmasbi Ramadan. (2011). Evaluation of the accuracy and efficiency of EPM, MPSIAC, geomorphological, and hydro-physical models in estimating erosion and sediment in the Kasilian watershed of Mazandaran province. (In Persian)
- Mokhtari, L., Shafiei, N., & Rahmani, A. (2018). Estimation of soil erosion using the RUSLE model: A case study of the Nourabad Mamassani watershed. *Hydrogeomorphology*, 5(17), 1–21. (In Persian)
- Morgan, R. P. C. (2009). Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons.
- Motamedi Rad, M., Zangeneh Asadi, M. A., & Ajam, H. (2023). Assessment of soil erosion and sediment production using the RUSLE model and modified Pasyak method (Case study: Kal Esmail Dar watershed in Shahroud County, Semnan Province). *Quantitative Geomorphology Research*, 11(4), 147–165. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.360813.1374> (In Persian)
- Mousavi, S. H. (2017). Estimation of soil erosion in the Shahroud-Meyami watershed using the SLEMSA model and GIS technique. *Geographical Spatial Planning Journal*, 7(24), 15-34. (In Persian)
- Moushani, S., Soltani, A., Asadi, M. E., & Hosseinalizadeh, M. (2021). Estimation and Comparison of Soil Erosion in Conservation and Conventional Agricultural Systems (Case study: Soybean Agricultural Lands in Gorgan County). *Applied Soil Research*, 9(2), 61-72. (In Persian)

- Nasiri, Y., Taghdisi, S., Mahmoudi Gharaei, M. H., Mahboobi, A., Khaneh Bad, M., Sadaqat Nia, M., & Pasban, A. (2021). Assessment of soil erosion and sediment production using the modified PSYAC model and GIS in the Ashkezar-Soleh watershed (southwest of Quchan). *Applied Sedimentology Quarterly*, 9(17), 65–82. <https://doi.org/10.22084/psj.2020.22856.1260>(In Persian)
- Nejad Afzali, K., Shahrokhi, M. R., & Biatani, F. (2019). Estimation of soil erosion using the RUSLE model and identification of its most effective factor in the Dehkuhan watershed (South Kerman). *Natural Environmental Hazards*, 8(20), 21–38. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.21894.1316>(In Persian)
- Nikkami, D. (2009). Strategic plan for soil conservation. Final report of the research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian)
- Nikkami, D., & Shadfar, S. (2021). Soil erosion mapping in sediment gauged watersheds of Iran. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 479-496. (In Persian)
- Noor, H., Arabkhehri, M., & Dastranj, A. (2023). Evaluation of the effect of range enclosure on soil erosion at plots scale (Case study: Sanganeh Soil Conservation Research Site). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 66-77. DOI: 10.22098/mmws.2022.11286.111. (In Persian)
- Piroozi, E; Madadi, M. (2023). Zoning of soil erosion potential using the MABAC method Case study: Givi Chay watershed. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 73–93. (In Persian)
- Ranjbar, M., & Shayegan, M. (2017). Assessment of erosion susceptibility and sediment production in the Afjeh River watershed and its impact on the Latian Dam. Retrieved from <https://civilica.com/doc/707399>(In Persian)
- Rezaei Moghadam, M. H., Anderyani, S., Nikjou, M. R., & Mokhtari Asal, A. (2016). Assessment of sediment yield estimation in the Shahrchay watershed using EPM and Fournier models in a GIS environment. *Geographical Studies of Arid Regions*, 7(23), 82–95. (In Persian)
- Rezaei Moghadam, M. H., Hajazi, A., & Mazbani, M. (2022). Estimation of erosion-sediment in the Sarab Seikan watershed using the RUSLE model. *Hydrogeomorphology*, 9(32), 1–23. <https://doi.org/10.22034/hyd.2021.40330.1555>(In Persian)
- Sadeghzadeh Reyhan, M. E., & Yarahmadi, J. (2018). Evaluation of the WEPP model for estimating soil erosion and sediment in marly lands of the Khajeh region. *Quantitative Geomorphology Research*, 2(1), 97–112. (In Persian)
- Servati, M. R., Ahmadi, H., Mirbagheri, B., & Bahrami Fard, H. (2011). Estimation of erosion in the Zeydasht-Fashendak watershed (Taleqan). *Natural Geography*, 4(12), 17-28. SID. <https://sid.ir/paper/184947/fa>(In Persian)
- Seyed-Olama, S.N., Asadi, H., Zavareh, M. (2016). Effect of Tillage Erosion on Soil Displacement and Productivity (Case Study: Tutkabon, Guilan). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(4), 769-780. (In Persian)
- Seyedalipour, H., Feiznia, S., Ahmadi, H., Zare, M.R., Hosseinalizadeh, M. (2014). Comparison of Soil Erosion by 137CS and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study Area: Aghemam Catchment). *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), 27-47. (In Persian)
- Shahoei, S. (1989). Investigation of factors affecting soil erosion at the Soil and Water Conservation Research Station in Kooein and generalization of results for preparing a soil erosion map of the Malroud watershed. (Master's thesis, University of Tehran, 170 pages). (In Persian)
- Shougang, Z., & Ruishe, Q. (2014). The application and study of GIS in soil Erosion model. *Advances in Sciences and Engineering*, 6(2), 31-34.
- Smith, H. J. (1999). Application of empirical soil loss models in southern Africa: A review. *South African Journal of Plant and Soil*, 16(3), 158-163.
- Straffelini, E., Pijl, A., Otto, S., Marchesini, E., Pitacco, A., & Tarolli, P. (2022). A high-resolution physical modelling approach to assess runoff and soil erosion in vineyards under different soil managements. *Soil and Tillage Research*, 222, 105418.
- Taheri Babadi, Z., Motesaffeh, B. and Roshaan, S. H. (2022). Assessment The Impact of Land use Changes on Soil Erosion using GIS and Remote Sensing Based on The RUSLE Model (Case Study: Behbahan County). *Journal of Arid Biome*, 12(1), 77-92. doi: 10.29252/aridbiom.2023.19670.1924 (In Persian)
- Wang, J., Yang, J., Li, Z., Ke, L., Li, Q., Fan, J., & Wang, X. (2024). Research on Soil Erosion Based on Remote Sensing Technology: A Review. *Agriculture*, 15(1), 18.