



The Relationship between Erosion Intensity and Geologic Units using Two Models with Different Structures (Case Study: Akhtarabad Watershed)

Baharak Motamedvaziri^{a*}, Sadegh Valeh^b, Hassan Ahmadi^c

^a Associate Professor, Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^b PhD Graduated in Watershed Management, Department of Nature Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

^c Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 20 July 2022

Revised: 11 September 2022

Accepted: 27 September 2022

Abstract

Erosion is primarily caused by precipitation and runoff, while erodibility results from the type of the formations at the catchment scale, which is subject of this study. The objective of this study was to investigate the relationship between geologic units and erosion intensity. Initially, two models of MPSIAC and Fargas were used to study erosion intensity. The Fargas model was presented based on the theoretical principles of two erosion and the erodibility factors, while MPSIAC model was based on 9 factors. BLM method was used to separate the intensities of a type of erosion according to the S.S.F table. RUSLE model was used to estimate soil erosion in the studied sub-basins. To determine the risk of erosion using the value coefficient, Fargas model was used. In the MPSIAC model, coefficients were considered for each of the nine factors. Based on the results of MPSIAC model, 79% of the basin surface had high erosion intensity and 21% had very high erosion intensity, while according to Fargas model, 0.3% had moderate erosion intensity, 10% had high erosion intensity, and 4.7% and 85% were characterized with severe erosion and very severe erosion, respectively. Moreover, in both models, 18% corresponded to very high erosion intensity (very severe), while 7.2% had high erosion intensity. In Fargas model, E1t1, E1t2, E2ig3, Q2f, Qt1, and Qt2 had very strong erosion intensity, whereas, in MPSIAC model, E1t1, Qt1, and Qt2 had high erosion intensity on their surfaces. One reason for this phenomenon could be the erodibility of the formations. Most of E1t2 and Q2t are highly eroded, which contributes to a large amount of drainage in addition to the erodibility of the formations.

Keywords: Erodibility, Erosion, Runoff, Formation, Catchment

*Corresponding author: Baharak Motamedvaziri Email: bmvaziri@gmail.com Tel:+989124836636

How to cite this Article: Motamedvaziri, B., Valeh, S., & Ahmadi, H. (2023). The relationship between erosion intensity and geologic units using two models with different structures (Case study: Akhtarabad watershed). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3), 41-59.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.78329.1269



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 3 - Number 47, Fall 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>


 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78329.1269> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و هفتم، پاییز ۱۴۰۲، صص ۵۹-۴۱

مقاله پژوهشی

بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش به کمک دو مدل با ساختار متفاوت

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز اخترآباد)

 بهارک معتمدوزیری^۱ - دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. صادق واله - دانش‌آموخته دکتری آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. حسن احمدی - استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۷/۵

چکیده

فرآیند فرسایش شامل دو بخش اصلی فرساینده‌گی و فرسایش‌پذیری است. عامل اصلی فرساینده‌گی، شدت بارش و رواناب بوده و عامل اصلی فرسایش‌پذیری، نوع سازندهای موجود در سطح حوضه است که موضوع مورد تحقیق در منطقه مورد مطالعه است. هدف از مطالعه حاضر بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش است. لذا جهت نیل به این هدف در ابتدا به بررسی شدت فرسایش با استفاده از دو مدل پسیاک اصلاح شده و فارگاس پرداخته شد. مدل فارگاس بر پایه اصول نظری دو عامل فرساینده‌گی و عامل فرسایش‌پذیری ارائه شده است؛ در صورتی که مدل پسیاک اصلاح شده بر اساس ۹ عامل است. در این تحقیق برای تفکیک شدت‌های یک نوع فرسایش با توجه به جدول S.S.F روش BLM انجام گرفت. برای برآورد فرسایش خاک در زیرحوضه‌های مورد مطالعه از مدل RUSLE استفاده گردید. برای تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارائه شده از مدل فارگاس به دست

Email: bm vaziri@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۴۸۳۶۶۳۶

نحوه ارجاع به این مقاله:

معتمدوزیری، بهارک؛ واله، صادق؛ احمدی، حسن؛ ۱۴۰۲. بررسی رابطه واحدهای زمین‌شناسی با شدت فرسایش به کمک دو مدل با ساختار متفاوت (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اخترآباد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۳). صص ۵۹-۴۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78329.1269>

آمد. و در مدل پسیاک اصلاح شده، برای هریک از عوامل نه‌گانه ضرابی در نظر گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد که در مدل پسیاک اصلاح شده ۷۹٪ از سطح حوضه دارای شدت فرسایش زیاد و ۲۱٪ دارای شدت فرسایش خیلی زیاد بوده است و در مدل فارگاس ۳٪ شدت فرسایش متوسط، ۱۰٪ زیاد، ۴۷٪ شدید و ۸۵٪ بسیار شدید بوده است که از این بین ۱۸٪ دارای تطابق با شدت فرسایش بسیار زیاد (بسیار شدید) و ۷۲٪ دارای تطابق با شدت فرسایش زیاد در هر دو مدل بوده است. بررسی سازندها در مدل فارگاس نشان داده است که واحدهای سنگ چینه‌ای Qt_1 , Qt_2 , $E1t_1$, $E1t_2$, $E2ig_3$, $Q2f$ و Qt_2 دارای شدت فرسایش بسیار شدید بوده‌اند؛ در حالی که در مدل پسیاک اصلاح شده واحدهای سنگ چینه‌ای Qt_1 , Qt_2 و $E1t_1$ دارای شدت فرسایش زیاد هستند که دلیل آن فرسایش‌پذیری سازندها است، همچنین واحدهای سنگ چینه‌ای $E1t_2$ و $Q2t$ دارای شدت فرسایش خیلی زیاد هستند که دلیل آن علاوه بر فرسایش‌پذیر بودن سازندها، تراکم بالای زهکشی در آن‌ها نیز هست.

کلیدواژه‌ها: فرسایندهی، فرسایش، رواناب، سازند، حوزه آبخیز.

۱-مقدمه

فرسایش، به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۹). فرسایش خاک به عوامل مختلفی از جمله جنس سنگ‌بستر، نوع خاک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، میزان بارندگی، شیب و ... بستگی دارد (احمدی، ۱۳۸۵). فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن، با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر نه تنها در محل وقوع خود، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌کند، بلکه در محل خارج از وقوع آن نیز به صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری بیش از هر زمان دیگر مشهود است (لیا، ۱۹۹۸). برآورد و بررسی قابل اطمینان مقدار و پتانسیل تخریب خاک به علت افزایش نیاز روزافزون بشر به منابع خاک جهت تولید غذا و همچنین افزایش آگاهی عمومی از عوامل تخریب و افزایش خاک روزبه‌روز در حال توسعه است. اطلاعات در مورد حمل و انتقال رسوب و مواد مغذی از حوزه آبخیز و فرآیندهای فرسایش دهنده آن از جمله ضروریاتی است که جهت مدیریت آبخیز نیاز است. برای کنترل فرسایش خاک عملیات انتزاعی و مقطعی جوابگو نبوده و لازم است که استراتژی و عزم ملی آحاد مردم را در اجرای برنامه‌های آبخیزداری و حفاظت خاک مدنظر قرار داد. شناخت منابع موجود در عرصه‌های آبخیز توسط مسئولین و تعیین مناطق بحرانی از دیدگاه منابع آب و خاک برای کنترل فرسایش خاک در کشور به‌عنوان یک اصل بشمار می‌آید

و ترغیب نمودن مردم به اجرای برنامه‌های حفاظت خاک به‌عنوان یک امر مهم تلقی می‌شود. با توجه به چنین نگرش و تفکری بوده است که لزوم آگاهی از مقدار و شدت فرسایش برای تعیین استراتژی‌های کارآمد و بهینه حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش و تولید رسوب مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته تا بر اساس آن بتوان موقعیت مکانی و میزان خطر فرسایش را پیش‌بینی نمود (مورگان^۱، ۱۹۹۵). فارگاس^۲ و همکاران (۱۹۹۷) روشی را ارائه نمودند که در آن با استفاده از دو عامل فرسایش‌پذیری نوع سنگ و تراکم زهکشی سعی در شناخت منابع منطقه‌ای رسوب (شدت فرسایش) در سطح منطقه‌ای نمودند. محققین مذکور روش خود را در حوزه آبخیز Joaquin Costa در شمال شرقی اسپانیا آزمودند که دارای درست‌نمایی ۷۸/۵٪ بود. استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینه در زمینه بررسی فرسایش، تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۷). در مدل‌های مختلف فرسایش خاک، شاخص‌های متفاوتی برای فرسایش‌پذیری توسعه داده شده است. استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینه در زمینه بررسی فرسایش، تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود. مدل‌های فرسایشی می‌توانند به‌عنوان ابزارهای پیش‌بینی برای ارزیابی هدررفت خاک، برنامه‌ریزی حفاظت، موجودی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی پروژه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای درک فرآیندهای فرسایش و تأثیر آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند (موشه^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه فرسایش با مدل‌های مختلف در داخل و خارج کشور انجام گردیده است که می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد (پژوهش و همکاران، ۱۳۹۰). اثر کاربری اراضی مختلف در فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS را در حوضه سد زاینده‌رود علیا مطالعه نمودند، نتایج نشان داد بیشترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب در کاربری‌های مرتع متراکم و بوته‌زارها صورت گرفته است. (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵) مقدار میانگین سالانه فرسایش حوزه آبخیز کن سولقان را ۲۰/۲۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند و نشان دادند عامل LS با ضریب همبستگی ۰/۶۸ درصد بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک داشته است. (فیضی زاده، ۱۳۹۶) تغییرات کاربری اراضی و نقش آن را در حوضه علویان بررسی کرد که نشان داد تبدیل اراضی مرتعی پرتراکم به مراتع کم تراکم و زراعت دیم، مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از مدل RUSLE میانگین فرسایش در مقیاس کشور ایران ۲۴ تن در هکتار در سال برآورد نمود و نقش عامل توپوگرافی را بیش از سایر عوامل مشخص نمودند. (مختاری و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از مدل RUSLE میزان فرسایش خاک در سطح حوضه آبریز نورآباد ممسنی از ۸ تا ۷۵ تن در هکتار در سال برآورد کردند و نشان دادند که عامل LS نقش بیشتری در فرسایش نسبت به سایر عوامل دارد. (مزابانی و همکاران، ۱۴۰۰) به ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های

1 Morgan

2 Fargas

3 Mushe

اراضی در حوضه آبریز سیکان پرداختند، که نتایج نشان داد در بین کاربری‌ها، مراتع متوسط با میانگین فرسایش ۲۷/۹۸ تن در هکتار در سال بیشترین و مناطق کشاورزی آبی و مسکونی به ترتیب با میانگین فرسایش ۰/۴۳ و ۰/۴۴ تن در هکتار در سال، کمترین فرسایش را نشان دادند. (زنگنه اسدی و همکاران، ۱۴۰۰) به بررسی پتانسیل مناطق مستعد فرسایش با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در حوضه گناباد پرداختند، نتایج نشان داد پارامترهای شیب، سازند زمین‌شناسی، کاربری اراضی، خاک، فاصله از آبراهه‌ها و شاخص رطوبت توپوگرافی حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیشتری دارند. (سانتوس^۱ و همکاران، ۲۰۱۷) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش خاک پرداختند، نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع در این مناطق کاهش یافته و میزان فرسایش ۱۰ برابر افزایش یافته است. (کومار^۲ و همکاران، ۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان بررسی مقایسه‌ای مدل‌های مختلف فرسایش خاک و عملکرد رسوب در حوضه چاتیسگر هند به این نتایج دست یافتند که مدل RUSLE برای فرسایش خاک و مدل MUSLE برای عملکرد رسوب قابل اطمینان‌تر است. (آرشاد اشرف^۳، ۲۰۲۰) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی خطر فرسایش خاک در شرایط مختلف کاربری اراضی و بارندگی در حوضه رودخانه سان به این نتایج دست یافت که عوامل تأثیرگذار منجر به نرخ فرسایش بالاتر تحت سناریوهای متغیر تغییر محیطی است. حوزه آبخیز اخترآباد دارای عرصه‌ای پهناور و گسترده است که به لحاظ بافت طبیعی و جغرافیایی عمدتاً از بیابان پوشیده شده است. طبق مطالعات کارشناسی انجام شده، یکی از کانون‌های اصلی فرسایش خاک و تولید گردوغبار و ریزگرد، معطوف به منطقه مذکور است و این منطقه از مناطق اصلی بروز ریزگرد در شهر تهران به شمار آمده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

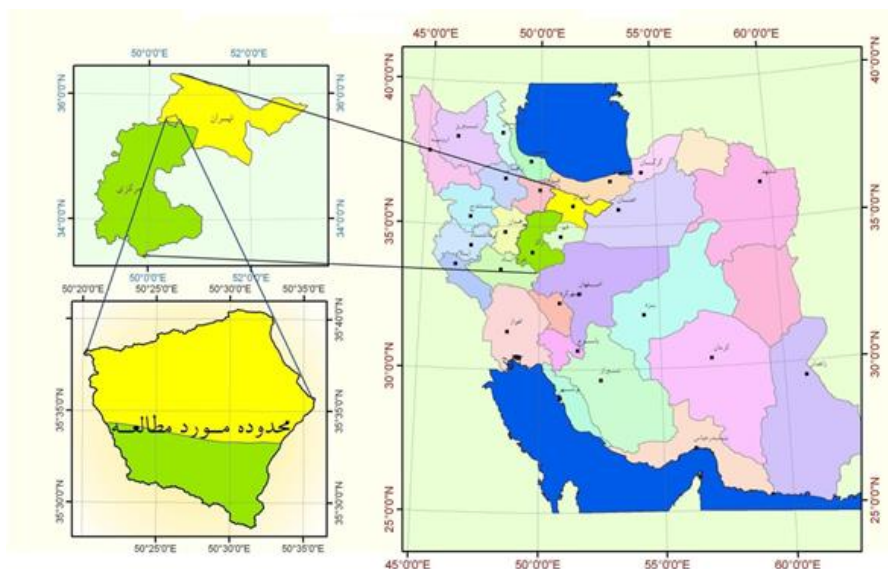
منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز اخترآباد با مساحت ۳۰۷۸۶۷۸۹ هکتار در بخش جنوب غربی استان تهران و شمال استان مرکزی (حدوداً ۶۹ درصد در استان تهران و ۳۱ درصد در استان مرکزی) قرار گرفته است و در محدوده جغرافیایی ۳۵° ۲۸' ۳۸" الی ۳۵° ۴۰' ۳۱" عرض شمالی و ۵۰° ۲۰' ۰۵" الی ۵۰° ۳۵' ۴۴" طول شرقی واقع شده است. حوزه آبخیز اخترآباد از شمال توسط حوزه آبخیز اشتهارد، از شرق به حوزه آبخیز تهران - کرج و از غرب و جنوب به حوزه آبخیز زرنند ساوه محصور شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۱۱۶۹ متر و حداقل ارتفاع ۱۱۵۲ متر است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۱۹۰ میلی‌متر در سال است و اقلیم منطقه، آب‌وهوای مدیترانه‌ای با تابستان گرم

1 Santos

2 Kumar

3 Ashraf

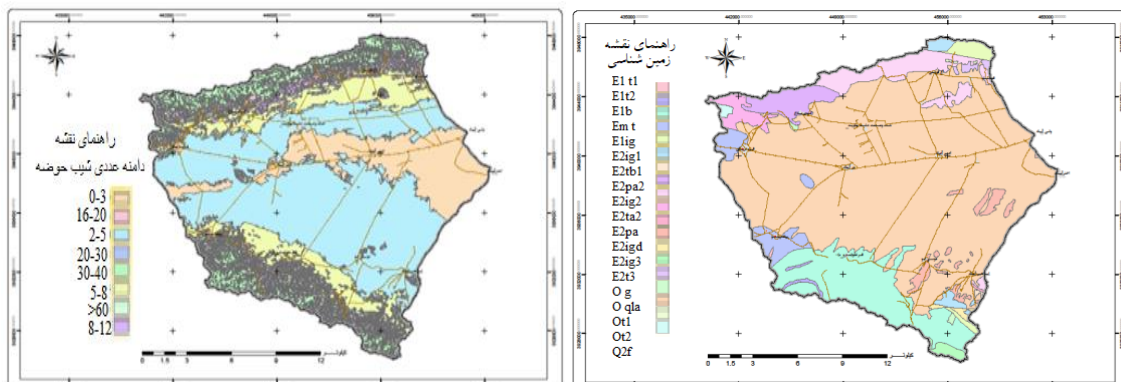
است. میانگین درجه حرارت حوضه ۲۶ درجه سانتی گراد است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نسبت به استان، شهرستان و کشور را نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

مراحل جمع آوری داده های مورد نیاز در سه مرحله، ستادی، پیمایش صحرائی و نتیجه گیری صورت گرفت. جهت اجرای مدل پسیاک اصلاح شده، با استفاده از نقشه نهایی اشکال فرسایش خاک و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، نقشه های زمین شناسی، فرسایش پذیری خاک، فرسایش پذیری باران، میزان رواناب، شیب حوضه، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه ای تهیه گردید. همچنین تهیه نقشه زمین شناسی، آبراهه های حوضه و تراکم زهکشی جهت اجرای مدل فارگاس تهیه گردید. شکل ۲ و ۳ زمین شناسی حوضه و شیب حوضه را نشان می دهد.

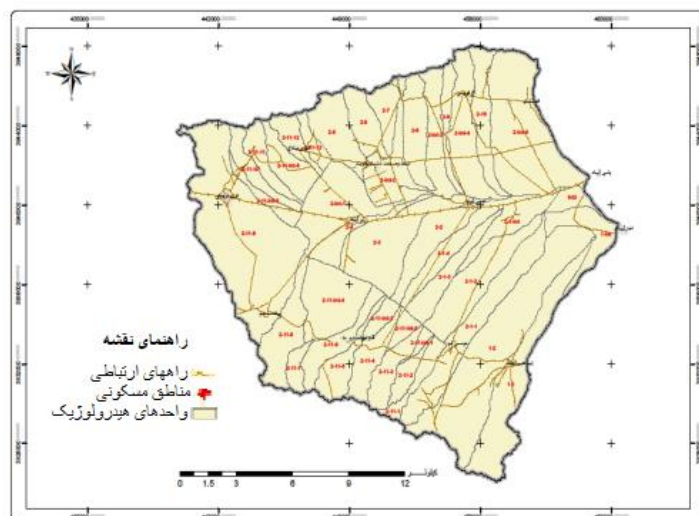


شکل ۲- زمین شناسی حوضه

شکل ۳- شیب حوضه

۲-۲-۱- تقسیم‌بندی محدوده مطالعاتی به واحدهای هیدرولوژیکی

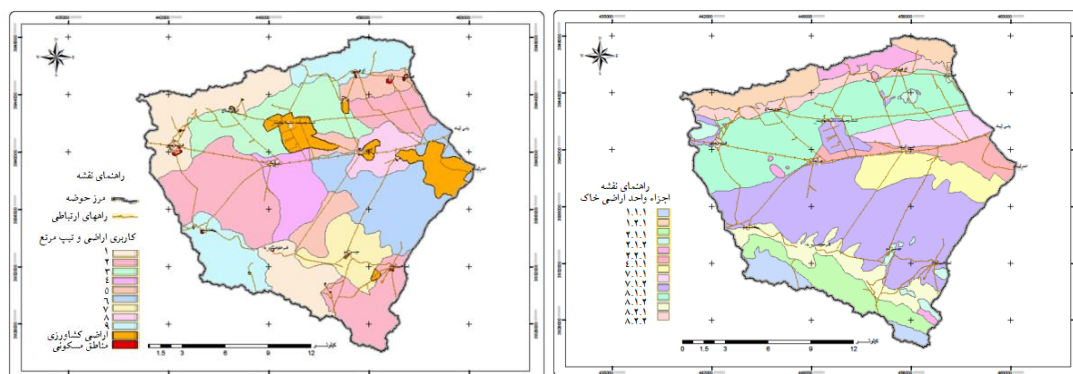
بدون شک یکی از مراحل اساسی در انجام مطالعات آبخیزداری، تقسیم‌بندی پهنه مطالعاتی به زیرحوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیک (کاری) است. واحد هیدرولوژیک عبارت است از «محدوده‌ای از سطح حوزه آبخیز که زهکش بالقوه طبیعی آن را یک رودخانه یا آبراهه مشخص، تشکیل می‌دهد». در شناخت واحدهای فیزیوگرافی یک حوزه آبخیز، ابتدا محدوده حوضه را باید تعیین نمود و خط تقسیم آب را مشخص کرد. سپس می‌توان بر اساس شبکه آبراهه‌ها و تراکم آن‌ها واحدهای فیزیوگرافی را از یکدیگر تفکیک نمود. برای این منظور از نقشه‌های نتایج حاصله در مطالعات بزرگ‌مقیاس، با کارمیدانی، کنترل و اصلاح نهایی صورت می‌گیرد. توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده با ترسیم مرز جداکننده واحدهای فیزیوگرافی محل ورودی‌های شبکه آبراهه و خروجی هر واحد در نقشه مشخص می‌گردد. بر این اساس منطقه مورد مطالعه به دو زیر حوضه با شماره ۱ و ۲ تقسیم گردید. زیرحوضه شماره ۱ به ۲ واحد هیدرولوژیک و زیر حوضه شماره ۲ به ۱۱ واحد هیدرولوژیکی تقسیم گردیده است. شکل ۴ تقسیم‌بندی واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اختراآباد را نشان می‌دهد.



شکل ۴- واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز اخترآباد

۲-۲-۲- خاک

خاک به عنوان یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک مورد بررسی قرار می گیرد. و به فاکتورهایی همچون ساختمان، بافت، درصد مواد آلی، قابلیت نفوذپذیری و غیره بستگی دارد. هرچه ذرات خاک از حد معینی ریزتر باشند میزان نفوذپذیری خاک کاهش می یابد و میزان بارندگی بر روی اراضی به صورت جریانات گل آلود مقدار قابل توجهی از خاک را کنده و با خود حمل می کند. درصد مواد آلی خاک نیز فاکتور مهمی است که در انسجام خاکدانه ها مؤثر است و باعث می شود که ذرات پایداری بیشتری در برابر فرسایش داشته باشند. منظور از فرسایش پذیری خاک، حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است که برای تعیین مقدار این حساسیت از عامل فرسایش پذیری خاک (K) استفاده می گردد. شکل ۵ و ۶ اجزاء واحد اراضی خاک و کاربری اراضی را نشان می دهد.



شکل ۶- کاربری اراضی و تپه های پوشش گیاهی

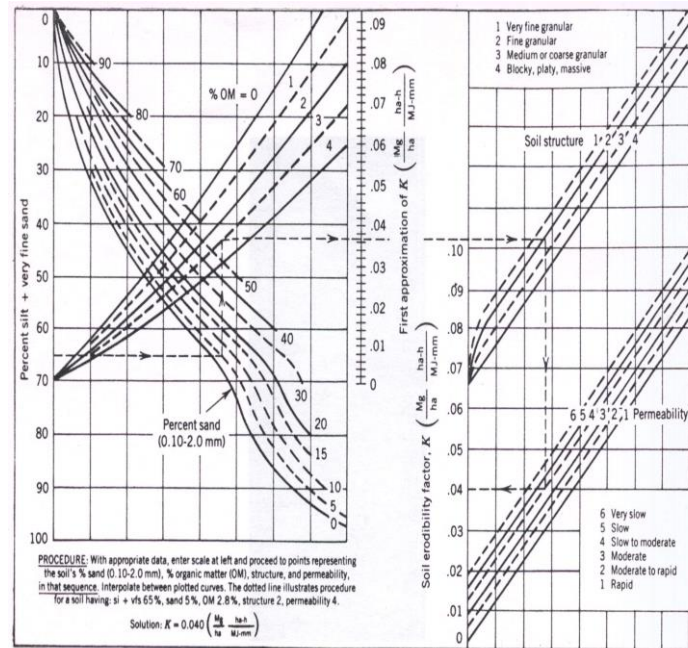
شکل ۵- اجزاء واحد اراضی خاک

از دید خاک‌شناسان، فرسایش فرآیندی است که موجب از بین رفتن پوشش سطح زمین یعنی خاک و کاهش حاصلخیزی آن می‌گردد. با این دیدگاه بعد وسیع‌تری به واژه فرسایش داده شده و کاهش حاصلخیزی خاک نیز جزء پدیده فرسایش قلمداد می‌گردد.

دقیق‌ترین مقدار K در کرت استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. کرت استاندارد کرتی است به مساحت $۰/۰۱$ ایکر، با طول ۲۲.۱ متر، عرض ۱۸۳ متر، شیب یکنواخت ۹ درصد که در جهت شیب شخم‌خورده و همیشه بدون پوشش گیاهی و علف هرز بوده و زیر آیش قرار داشته باشد. در این حالت مقدار K برابر نسبت میزان فرسایش به عامل بارندگی است.

$$K = \frac{A}{R}$$

اما این روش تعیین K همیشه عملی نیست و باید بر اساس عوامل مؤثر بر آن تخمین زده شود. خصوصیات مختلفی از خاک در میزان فرسایش‌پذیری آن تأثیر می‌گذارد. اندازه و نوع خاکدانه‌ها در فرسایش‌پذیری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. رس به دلیل چسبندگی زیاد و شن به علت سنگینی ذرات و نفوذپذیری زیاد، در مقابل فرسایش مقاومت دارند. بین مقدار سیلت خاک و میزان فرسایش، رابطه‌ای وجود دارد که هر چه مقدار سیلت بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری بالاتر است. همچنین هر چه ساختمان خاک با ثبات‌تر و درشت‌تر باشد، مقاومت آن در مقابل فرسایش افزایش می‌یابد. با افزایش نفوذپذیری خاک میزان فرسایش‌پذیری آن کاهش می‌یابد. افزایش مقدار ماده آلی خاک، مقاومت آن در مقابل فرسایش را افزایش می‌دهد. از نظر کانی‌شناسی نیز کانی‌های $۲:۱$ مناطق سردسیر مانند کانی مونت موریلونیت، کمترین مقاومت و کانی‌های $۱:۱$ مناطق حاره مانند کائولینیت، بیشترین مقاومت را در مقابل فرسایش دارند و کانی‌هایی مانند ایلیت از مقاومت متوسطی برخوردار هستند. یک روش تخمین عامل فرسایش‌پذیری (K)، روش ترسیمی برای محاسبه K است. در این روش فرسایش‌پذیری خاک به عواملی چون، درصد سیلت (ذرات با قطر $۰.۰۵ - ۰.۰۲$ میلی‌متر) + شن خیلی ریز (ذرات با قطر $۰.۰۵ - ۰.۰۱$ میلی‌متر)، درصد شن (ذرات با قطر $۱ - ۲$ میلی‌متر)، مقدار ماده آلی خاک، ساختمان خاک، نفوذپذیری خاک بستگی دارد. براین اساس نموداری از این ۵ خاصیت عرضه شد که در شکل ۷ نشان داده شده است. برای استفاده از این شکل، ابتدا باید ضرایب پنجگانه مذکور در بالا را تعیین نمود و سپس عامل فرسایش‌پذیری خاک را تخمین زد. بین این ۵ عامل، درصد سیلت، شن خیلی ریز، درصد شن، مقدار ماده آلی و ساختمان خاک در لایه سطحی ($۱۵ - ۲۰$ سانتی‌متری) و مقدار نفوذپذیری در تمامی نیمرخ خاک اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۷- تعیین ضریب فرسایش پذیری خاک (K)

۲-۳- روش تهیه نقشه اشکال فرسایش موجود در حوضه و تشریح تیپ‌های فرسایشی

برای تفکیک شدت‌های یک نوع فرسایش روش استاندارد وجود ندارد و تنها با تقسیم‌بندی و در نظر گرفتن یکسری فاکتورها این عمل در مناطق مختلف به صورت‌های متفاوت انجام می‌گیرد. در این تحقیق سعی گردیده تا این تقسیم‌بندی با توجه به جدول S.S.F روش BLM انجام پذیرد.

۲-۴- اندازه‌گیری فرسایش در واحدهای منتخب پهنه‌های همگن با استفاده از مدل کمی RUSLE

اندازه‌گیری مستقیم میزان فرسایش و رسوب در هر واحد مطالعاتی به دلیل پرهزینه بودن احداث ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، وقت‌گیر بودن و فقدان افراد کارآزموده در همهی واحدهای مطالعاتی امکان‌پذیر نیست و استفاده از روش‌های تجربی برای برآورد فرسایش و رسوب مناطق فاقد ایستگاه‌های رسوب‌سنجی رایج شده است. این مدل‌ها قادرند میزان فرسایش و رسوب را به‌صورت کمی برآورد نمایند. در این مطالعه فاکتورهای مؤثر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های اقلیمی، خاک، کاربری و عملیات صحرایی به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های اقلیمی، خاک، کاربری و عملیات صحرایی به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS و ARCHYDRO، نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آن‌ها تهیه گردید. در شکل ۸ گردش اطلاعات روش فرسایشی به کار رفته در این مطالعه نشان داده شده است. برای برآورد فرسایش خاک در زیر حوضه‌های مورد مطالعه می‌توان از مدل RUSLE مدل تجدید نظر شده جهانی فرسایش خاک، برای برآورد فرسایش خاک از اراضی دست‌نخورده، اراضی دست‌خورده و ارزیابی میزان موفقیت عملیات حفاظت آب‌وخاک استفاده کرد. لذا معادله اصلی

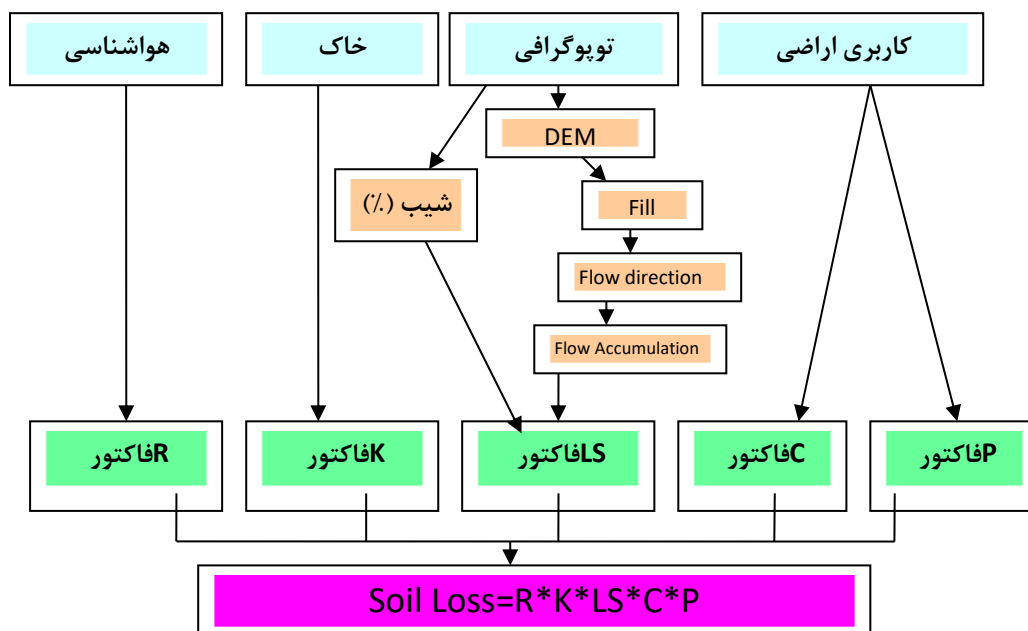
همان معادله جهانی فرسایش خاک است و باید عوامل مورد استفاده در آن معادله برای محدوده مطالعاتی مورد محاسبه قرار گیرد. معادله **RUSLE** به صورت زیر است:

$$A=R \times K \times (L \times S) \times (C \times P)$$

A: مقدار متوسط فرسایش خاک بر حسب تن بر هکتار در سال، R: عامل فرساینده باران و روان آب بر حسب

(کیلو ژول بر متر مربع ضربدر میلی متر بر ساعت) یا نیوتن بر ساعت، K: عامل فرسایش پذیری خاک، L: عامل طول

شیب، S: تندی شیب، C: عامل زراعی، P: عامل حفاظت خاک



شکل ۸- گردش اطلاعات مدل فرسایشی **RUSLE**

۲-۳- مدل **B.L.M**

این روش توسط دفتر مدیریت اراضی آمریکا ابداع شده است و مراحل اجرای آن به شرح زیر است. تهیه نقشه تیپ فرسایش با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرائی، تعیین امتیاز عامل فرسایش سطحی، وجود لاشبرگ سطحی در خاک، پوشش سنگی سطح زمین، آثار تخریب در سطح زمین، فرسایش شیاری، با دامنه عددی (۰-۱۴) و عامل آثار رسوب گذاری حاصل از جریان و فرسایش خندقی با دامنه عددی (۰-۱۵). سازمان مدیریت اراضی آمریکا (**B.L.M**) وضعیت فرسایش را بر حسب جمع نمرات عوامل هفتگانه بدین ترتیب، (فرسایش جزئی ۰-۲۰، کم ۲۱-۴۰، متوسط ۴۱-۶۰، زیاد ۶۱-۸۰ و فرسایش خیلی زیاد ۸۱-۱۰۰) عرضه کرده است.

۲-۴- مدل فارگاس

این روش در سال ۱۹۹۷ توسط فارگاس و همکاران ابداع شده است. اجرای این مدل شامل، تعیین شاخص فرسایش پذیری، رویهم اندازی نقشه آبراهه‌ها و نقشه واحدهای سنگی و ارزش گذاری میزان تراکم زهکشی در هر واحد سنگی، و در نهایت تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارائه شده بر اساس حاصلضرب ارزش گذاری شده برای مقاومت سنگ به فرسایش و تراکم زهکشی در هر واحد سنگی به دست آمده است.

۲-۵- مدل MPSIAC

این روش در سال ۱۹۶۸ توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا جهت محاسبه فرسایش خاک مورد استفاده قرار گرفت، این روش در سال ۱۹۸۲ توسط پژوهشگران این کمیته (جانسون و گمبهارت^۱) مورد بازنگری قرار گرفت و برای هر یک از عوامل نه گانه در این روش ضرایبی در نظر گرفته شده است. این روش در حال حاضر مناسبترین روش مطالعه برای حوزه‌های آبخیز کشور شناخته شده و در این مطالعه نیز برای اندازه گیری فرسایش و رسوب از همین روش استفاده شده است.

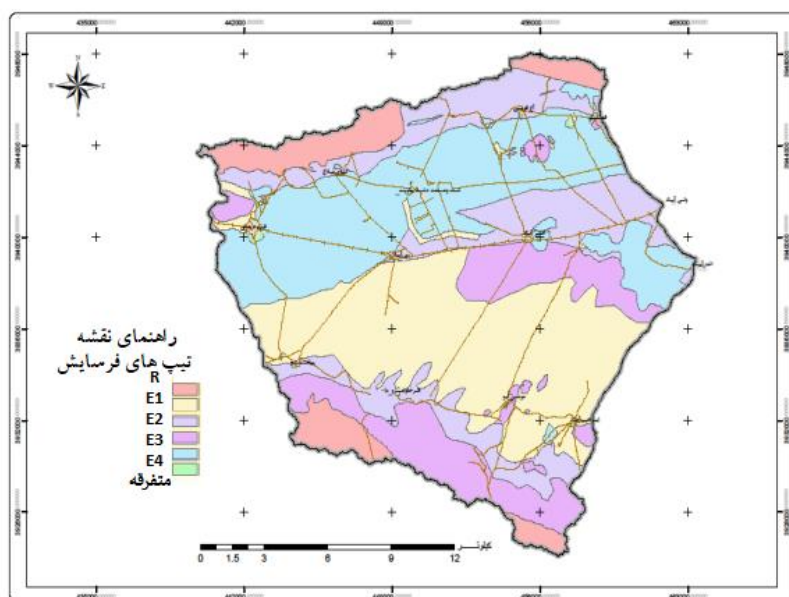
در سال ۱۹۸۲ در فاکتورهای مورد ارزیابی در روش پسیاک تغییراتی صورت گرفت که آن را بیشتر و بهتر با شرایط فیزیکی زمین منطبق می‌سازد. همچنین معادلاتی نیز جهت برآورد هر یک از فاکتورهای مورد ارزیابی پیشنهاد شده است که برآورد کمی هر یک از فاکتورها را آسان تر می‌سازد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تیپ های فرسایش موجود در منطقه

با توجه به بازدیدهای صحرائی در این حوضه ۵ تیپ فرسایشی شناسایی و تفکیک گردید (شکل ۹)، تیپ فرسایشی R شامل مناطقی است که به صورت توده سنگی بوده (مناطقی که بیش از ۷۵ درصد سطح آن را سطوح سنگی و فاقد خاک در برگرفته و مناطق خاکدار به صورت پراکنده و کمتر از ۲۵ درصد سطح آن را پوشش داده باشد)، در شکل با علامت R تفکیک شده است و با توجه به اینکه غالباً فاقد خاک است، در نتیجه فرسایش قابل ملاحظه‌ای ندارد، و فقط قسمتی از آن تحت تأثیر پدیده انحلال قرار دارد، همچنین در بخش‌هایی از این محدوده واریزه‌هایی مشاهده می‌شود که نتیجه تخریب مکانیکی سنگ‌هاست. حدود ۲۶۴۷/۸ هکتار معادل ۸/۶ درصد سطح حوزه اخترا‌آباد را مناطق توده سنگی در برگرفته که غالباً از ارتفاعات فوقانی و خط الراس‌های حوضه و مناطق صعب العبور حوضه را تشکیل داده است. تیپ فرسایشی E1 (S2R1)، مساحت این تیپ ۹۱۲۰/۶ هکتار برابر ۲۹/۶ درصد از سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی E2 (S3R2G1)، مساحت این تیپ ۵۸۹۶ هکتار برابر ۱۵/۱۹ درصد از

سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی E3(S4R3CH1)، مساحت این تیپ هکتار برابر ۴۶۱۲ درصد ۱۴/۹۸ از سطح حوضه را در بر می‌گیرد. تیپ فرسایشی: E4(S4R3CH2)، مساحت این تیپ ۸۳۳۴/۷ هکتار برابر ۲۷ درصد از سطح حوضه را در بر گرفته است. سازندهای تشکیل دهنده سطح حوضه در جدول ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۹- تیپ‌های فرسایشی حوزه آبخیز

جدول ۱- سازندهای تشکیل دهنده سطح حوضه

سطح (هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۳۷۱۶.۱۹۳	کریستال توف، کریستال ویتریک و لینیک کریستال توف	E1 t1	مجموعه ائوسن میانی	ائوسن میانی	سنوزوئیک (سوم)
۹۱۶.۱۳۱	ریولیت و کریستال توف ریولیتی	E1t2			
۱۲.۴۶۶	بازالت	E1b			
۱۸۷.۷۷	توف با ترکیب اسیدی همراه با میان لایه گدازه‌ای	Em t			
۸۳.۲۴۴	ایگنمبریت ریولیتی تا داسیتی و داسیت	E1ig			

سطح (هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۳۹۱.۹۳	ایگنمبریت و برش ریودامیتی	E2ig1	بخش پایینی ائوسن فوقانی	ائوسن فوقانی	سنوزوئیک (سوم)
۸۴.۲۷۲	تراکی بازالت مگاپورفیری و تراکی آندزیت پیروکسن دار	E2tb1			

سطح (هکتار)	جنس سنگ	نماد سنگ چینه	سازند	دوره	دوران
۵۰۲.۲۰۲	پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، توف و داسیت	E2pa2	بخش میانی ائوسن فوقانی	الیگوسن	کواترنر (چهارم)
۳۰۲.۱۲۵	توف ریولیتی تا تراکیتی، برش و ایگنمبریت تراکیتی	E2ig2			
۵۳۶.۴۶۳	تراکی آندزیت، آفانتیک تا مگاپورفیری و آندزیت	E2ta2			
۱۵۷۲.۸۸۵	پیروکسن آندزیت پورفیری، بازالت، ماسه سنگ ولکانولوژیک	E2pa	بخش بالایی ائوسن فوقانی		
۸۵۱.۸۴۶	ایگنمبریت داسیتی	E2igd			
۱۸.۷۴۶	ایگنمبریت های ریولیتی تا کوارتز تراکیتی	E2ig3			
۱۵.۱۲۴	کریستال توف داسیتی سفید	E2t3			
۶۵.۴۸۱	گرانیت (تا اندازه‌های دگرگون شده)	O g	مجموعه الیگوسن		
۱۴.۴۴۶	کوارتز لایت	O q1a			
۴۷.۹۱۶	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	Ot1	مجموعه کواترنری	عهد حاضر	
۲۱۳۶۸.۱۶	رسوبات و پادگانه‌های آبرفتی جوان	Ot2			
۹۸.۲۶۱	مخروط افکنه های جوان	Q2f			

۳-۲- تعیین میزان رسوب در حوضه و واحدهای هیدرولوژیک

پس از بررسی عوامل ۹ گانه مؤثر در تولید رسوب در روش پسیاک. از جمع این ۹ لایه برای هر پیکسل عدد رسوب دهی R به دست می‌آید که با توجه به آن عدد، میزان فرسایش کیفی برای هر زیر حوضه و پس از کلاسبندی آنها با توجه به رنج اعداد **جدول ۲**، تهیه گردید. پس از تعیین درجه رسوب دهی (R) با استفاده از رابطه زیر، میزان رسوب ویژه برحسب $m^3.ha.year$ تعیین و نقشه کلاس بندی شده تهیه گردید.

جدول ۲- تعیین میزان تولید رسوب سالانه و کلاس فرسایش خاک در روش MPSIAC

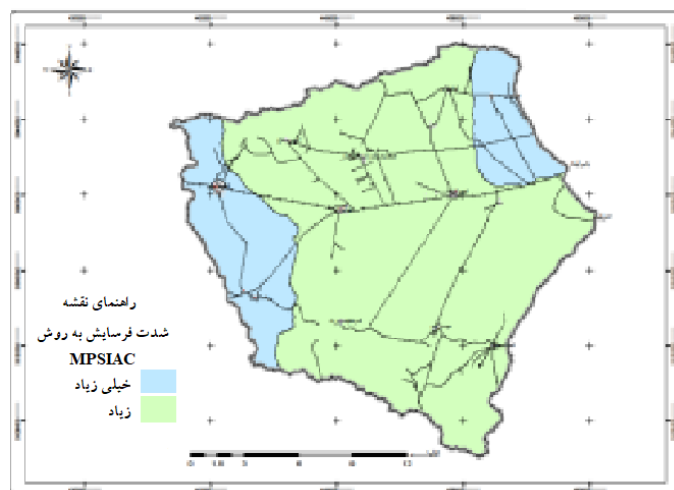
کلاس رسوب دهی و فرسایش	شدت رسوب دهی	مترمکعب در کیلومتر مربع	نمرات نشان دهنده شدت رسوب دهی
V	خیلی زیاد	>۶۵۰	>۱۰۰
IV	زیاد	۶۵۰-۲۷۶	۱۰۰-۷۵
III	متوسط	۱۱۲-۲۷۶	۷۵-۵۰
II	کم	۴۵-۱۱۲	۵۰-۲۵
I	خیلی کم یا جزئی	<۴۵	۲۵-۰

در روش‌های مختلف تجربی، پارامترهای خاصی بکار رفته است و به همین علت یک مدل کامل را نمی‌توان برای آن در نظر گرفت. برای حوضه مورد مطالعه با توجه به مساحت کم حوضه‌ها، از فرمول زیر استفاده شد.

$$SDR = 43.4 A - 0.1753$$

$$\%SDR = \frac{\text{رسوب ویژه}}{\text{فرسایش ویژه}} \times 100$$

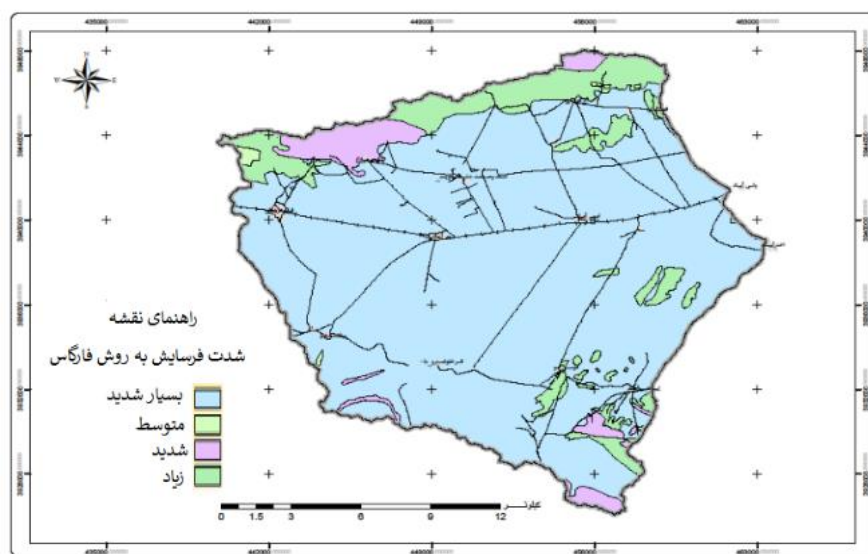
حوزه آبخیز اخترآباد دارای ۲ کلاس رسوب‌دهی است، کلاس رسوب‌دهی متوسط (III)، این کلاس شامل بخش‌هایی از حوضه است که رسوب تولیدی آن در حد متوسط می‌باشد ($2/76 m^3/hect - 1/12$) عوامل مؤثر تولید رسوب در این تیپ به ترتیب، کاربری نادرست، عامل پوشش زمین و فرسایش در مناطق بالادست حوضه می‌باشند. این کلاس ۷۸۹۲/۹ هکتار مساحت معادل ۳۳/۹۵ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده است. کلاس رسوب‌دهی زیاد (IV) این کلاس شامل بخش‌هایی از حوضه است که رسوب زیادی تولید می‌نماید. این کلاس دارای ۵۲۲۹۵/۲ هکتار مساحت معادل ۶۵/۵۱ درصد است. میزان انتقال خاک زیاد بوده و استفاده از اراضی کاملاً محدود می‌شود. فاکتورهای توپوگرافی، کاربری زمین و آب‌وهوا، فرسایش در مناطق بالادست، کاربری اراضی و فرسایش آبراهه‌ای مؤثرترین عوامل رسوب‌زا در این کلاس می‌باشند. اجرای عملیات حفاظت خاک و اصلاح اراضی معمولاً هزینه زیادی دارد. کنترل فرسایش خاک و اقداماتی برای حفاظت آب در چارچوب طرح‌های حفاظتی اولویت داشته و ضروری است. شکل ۱۰ شدت فرسایش در مدل MPSIAC را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- شدت فرسایش مدل MPSIAC

۳-۳- فرسایش در روش فارگاس

در نهایت تعیین خطر فرسایش با استفاده از ضریب ارزشی ارائه شده توسط فارگاس و همکاران بر اساس حاصلضرب ارزش گذاری شده برای مقاومت سنگ به فرسایش، تراکم زهکشی و نتایج حاصله از شدت فرسایش در هر واحد سنگی به دست آمده است (شکل ۱۱). جهت تعیین سطح شدت فرسایش مدل‌های پسیاک اصلاح شده و فارگاس نسبت به همدیگر، جدول ۳ به دست آمد.



شکل ۱۱- شدت فرسایش مدل فارگاس

جدول ۳- توزیع سطح شدت فرسایش مدل‌های پسیاک اصلاح شده و فارگاس نسبت به همدیگر (به هکتار)

تلفیق شدت فرسایش از دو روش مورد مطالعه		شدت فرسایش به روش فارگاس				سطح (هکتار)
		بسیار شدید	متوسط	شدید	زیاد	
شدت فرسایش به روش پسیاک اصلاح شده	خیلی زیاد	۵۵۶۳.۲۷۵	۸۵.۷۵۱	۴۲.۹۱۲	۸۶۸.۵۰۸	۶۵۶۰.۴۴۷
	زیاد	۲۰۶۰۲.۰۶۷	۶۶۴۱	۱۳۹۷.۱۹۶	۲۲۱۹.۲۳۴	۲۴۲۲۵.۱۳۸
	سطح (هکتار)	۲۶۱۶۵.۳۴۲	۹۲.۳۹۳	۱۴۴۰.۱۰۹	۳۰۸۷.۷۴۲	۳۰۷۸۵.۵۸۵

با توجه به موارد ذکر شده، مدل فارگاس و همکاران بر پایه اصول نظری دو عامل فرساینده (عامل تراکم زهکشی) و عامل فرسایش پذیری (عامل حساسیت سنگ به فرسایش) ارائه شده است؛ در صورتی که مدل پسیاک اصلاح شده بر اساس ۹ عامل، زمین شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش زمین، استفاده از اراضی، فرسایش مناطق بالادست، فرسایش رودخانه‌ای می‌باشد. لذا در تحقیق حاضر با به دست آوردن شدت

فرسایش از طریق دو مدل فوق (فارگاس و پسیاک اصلاح شده) به بررسی رفتار سازندها از نظر شدت فرسایش پرداخته شد. نتایج به دست آمده از مدل فارگاس بدین صورت بوده است که حدود ۲۶۱۶۵/۳۴ هکتار (۸۴/۹٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش بسیار شدید، در حدود ۱۴۴۰/۱۱ هکتار (۴/۶٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش شدید، حدود ۳۰۸۷/۷۴ هکتار (۱۰/۰۲٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش زیاد و در حدود ۹۲/۳۹ هکتار (۰/۳٪) از سطح اراضی دارای شدت فرسایش متوسط بوده است. این در حالی است که بر اساس تحقیق فرسایش صورت گرفته به روش MPSIAC حدود ۶۵۶۰/۴۴ هکتار (۲۱/۳٪) از سطح حوضه دارای شدت فرسایش خیلی زیاد و حدود ۲۴۲۲۵/۱۳ هکتار (۷۷/۷٪) از سطح حوضه دارای شدت فرسایش زیاد بوده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در حدود ۷۷۸۲/۵۰ هکتار (۲۵/۲۷٪) از اراضی در این دو مدل از نظر شدت فرسایش باهم همخوانی دارند بدین ترتیب که دو مدل در حدود ۵۵۶۳/۲۷ هکتار (۱۸/۰۷٪) از اراضی دارای شدت فرسایش بسیار شدید (یا خیلی زیاد)، دو مدل در حدود ۲۲۱۹/۲۳ هکتار (۷/۲٪) از اراضی دارای شدت فرسایش زیاد است. در تحقیقات انجام شده در زمینه فرسایش پذیری می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط فیض‌نیا (۱۳۷۴) اشاره کرد که بر اساس اقلیم‌های مختلف ایران، روشی را به منظور تعیین حساسیت سنگ‌ها به فرسایش ارائه نموده است. دامنه عددی که در این تحقیق برای مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته‌اند ۱۵-۰/۷ بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۸۹) برای اجرای مدل‌های EPM و PSIAC به این نتیجه رسیدند که در ابتدا باید حوزه آبخیز به واحد، تیپ، رخساره و واحدکاری تقسیم شود و عوامل مدل‌ها را نیز در زیر حوضه‌های هیدرولوژی یک حوزه آبخیز ارزیابی نمود و میزان فرسایش و ضریب فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌ها و کل حوزه آبخیز را محاسبه نمود تا دقت و اطمینان کار در استفاده از مدل‌های تجربی به‌دست آید. در تحقیق حاضر از دو مدل Fargas و MPSIAC به‌صورت مقایسه‌ای در کشور استفاده شده است. از مزایای مدل فارگاس، می‌توان به کم بودن عوامل و در دسترس بودن نقشه‌های مورد نیاز اشاره کرد. بنابراین در صورتی که مطالعات در مرحله مقدماتی و توجیهی باشد می‌توان از روش فارگاس استفاده نمود، اما در مراحل تفصیلی و دقیق‌تر می‌توان از مدل‌های MPSIAC و BLM استفاده نمود.

۴- جمع‌بندی

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان نتیجه گرفت با اجرای مدل فارگاس نتایج بهتری حاصل شده و شناخت بهتری از منطقه مورد مطالعه جهت اجرای عملیات مختلف حاصل می‌گردد. با توجه به جداول و موارد ذکر شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در سازندهای E2tb1, E2pa و E2ta2 در هر دو مدل مورد بررسی دارای شدت فرسایش زیاد می‌باشند. سازندهای E1t2 و Q2f دارای شدت فرسایش بسیار شدید (در مدل فارگاس) و خیلی زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) هستند. سازندهای Qt1 و Qt2 دارای شدت فرسایش بسیار شدید (در مدل فارگاس) و زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند. سازند E2pa2 دارای شدت فرسایش زیاد (در مدل فارگاس) و خیلی زیاد (در

مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند، و سازند Emt دارای شدت فرسایش شدید (در مدل فارگاس، که دلیل آن علاوه بر فرسایش‌پذیری سازند، وجود تراکم بالای زهکشی و عدم پوشش گیاهی مناسب بوده است) و زیاد (در مدل پسیاک اصلاح شده) می‌باشند و در سایر سازندهای موجود در حوزه آبخیز تطابق شدت فرسایش مشاهده نشده است. از آنجاکه اولین مرحله در فرسایش، ضربه قطرات باران (فرساینده‌گی) به سطح زمین (فرسایش‌پذیری) است، شناخت دقیق هر یک از این عوامل در جهت کاهش از شدت تخریب فرسایش بسیار مهم است. در تحقیق حاضر به بخش فرسایش‌پذیری (سازندهای زمین‌شناسی) در شدت فرسایش پرداخته شد. لذا با توجه به نتایج حاصله از این تحقیق پیشنهاد می‌شود از مدل‌های دیگری به بررسی شدت فرسایش‌پذیری سازندها پرداخته شود. عوامل خاص در هر سازند زمین‌شناسی (از جمله: درز و شکاف، گسل و...) نیز در نظر گرفته شود. از آنجایی که با توجه به شرایط طبیعی موجود در کشور مدل خاصی برای برآورد فرسایش و رسوب به‌صورت کمی وجود ندارد و اگر هم از مدلی استفاده شود، یا بیشتر جنبه کیفی داشته و یا جزء مدل‌های وارداتی محسوب می‌شود، لذا لازم است و پیشنهاد می‌شود با مطالعه مدل‌های مختلف و با در نظر گرفتن عوامل مختلف مؤثر در فرسایش به دنبال ایجاد مدل‌های متناسب با شرایط طبیعی کشور باشیم. همچنین در رابطه با مشکلات مربوط به کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز مدل‌های مورد بررسی، در پژوهش‌های صورت گرفته که به ارزیابی مدل‌های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی داشته‌اند، با توجه به کمبود آمار و اطلاعات مورد نیاز از روش MPSIAC استفاده نشده است و در مقابل با تهیه نقشه ژئومورفولوژی و تعیین رخساره‌های ژئومورفولوژی برای تکمیل مدل PSIAC بهره گرفته شد. لذا تحقیق حاضر مجدداً دلیلی بر اهمیت مدل‌های کمکی چون فارگاس و عوامل ژئومورفولوژی جهت تکمیل کمبودهای موجود، در رابطه با عوامل مورد نیاز مدل‌هاست.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ محمدی، علی اصغر؛ ۱۳۸۹. بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های PSIAC و EPM با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهنمک). تحقیقات مرتع و بیابان. شماره ۳ جلد ۱۷.

https://ijdr.areeo.ac.ir/article_102929.html

احمدی، حسن. ۱۳۸۵. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.

بابایی، مهناز؛ حسینی، سید زین العابدین؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ المدرسی، سیدعلی؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کن. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸ (۲): ۱۶۵-۱۸

<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106454>

پژوهش، مهدی؛ گرجی، منوچهر؛ طاهری، محمود؛ سرمیدیان، فریدون؛ محمدی، جهانگرد؛ صمدی، حسین؛ ۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی.

نشریه پژوهش آب ایران، ۸، صص ۱۵۲-۱۴۳. https://iwrj.sku.ac.ir/article_10835.html

رضازاده، محمد سهیل؛ بختیاری، بهرام؛ عباس پور، کریم؛ احمدی، محمد؛ ۱۳۹۷. شبیه سازی رواناب، رسوب و تبخیر تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. نشریه علوم و

مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۴۱. ۵۱-۴۰. <http://jwmsei.ir/article-1-492-fa.html>

رفاهی، حسینقلی. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.

زنگنه اسدی، محمد علی؛ ناعمی تبار، مهناز؛ زندی، رحمان؛ ۱۴۰۰. بررسی پتانسیل مناطق مستعد با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه گناباد). جغرافیا و مخاطرات

محیطی. شماره ۴۰. ۹۳-۱۱۲. <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.71162.1080>

فیض نیا، سادات. ۱۳۷۴. مقاومت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقالیم مختلف ایران. منابع طبیعی ایران. شماره ۴۷.

<https://www.sid.ir/paper/421172/fa>

فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹۶. مدلسازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و GIS. هیدروژئومورفولوژی. ۳ (۱۱): ۳۸-۲۱. GIS

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6712.html

محمدی، شاهین؛ کریم زاده، حمیدرضا؛ علیزاده، میثم؛ ۱۳۹۷. برآورد مکانی فرسایش خاک ایران با استفاده از مدل

RUSLE. اکوهیدرولوژی، ۵ (۲): ۵۶۹-۵۵۱. <https://doi.org/10.22059/IJE.2018.239777.706>

مختاری، لیلا گلی؛ شفیع، نجمه؛ رحمانی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۷. برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RESLE: مطالعه موردی حوضه آبریز نورآباد ممسنی. هیدروژئومورفولوژی، ۱۷، صص ۲۱-

https://journals.tabrizu.ac.ir/article_8601_bdcae205e0711afa44105744d1bf14fc.pdf

مزیانی، مهدی؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ 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. شماره ۳۷. ۶۳-۴۱. <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67238.0>

Ashraf, A., 2020. Risk modeling of soil erosion under different land use and rainfall conditions in Soan river basin. Sub-Himalayan region and mitigation options. Modeling Earth Systems and Environment, 6: 417-428. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00689-6>

Fargas, D., Martinez, J.A., Poch, R.M., 1997. Identification Of Critical Sediment Source Area At Regional Level. Physics & Chemistry of the earth, 22 (3-4).

[https://doi.org/10.1016/S0079-1946\(97\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0079-1946(97)00158-4)

Kumar, T., jahria, D.C., Pandey, H.K., 2019. Comparative study of different models for soil erosion and sediment yield in Pairi watershed, Chhattisgarh, India. Journal Geocarto internathinal, 9:112- 124. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1576779>

Lai, R., Bium, W.H., Valentie, C., and Stewart, B.A., 1998. Methods for assessment of soil degradation. Advances in soil Sciences. 558PP 42. <https://www.routledge.com/Methods-for-Assessment-of-Soil-Degradation/Lal-Blum-Valentin-Stewart/p/book/9780367448097>

Morgan, R.P.C., 1995. "Soil erosion and conservation". Second edition. Silsoe College, Cranfield University. 198pp. <https://www.amazon.co.uk/Soil-Erosion-Conservation-R-Morgan/dp/0582244927>

Muche ,H., Temesgen ,M., Yimer ,F., 2013. Soil loss prediction using USLE and MUSLE under conservation tillage integrated with 'fanya juus' in Choke Mountain, Ethiopia. International ournal of Agricultural Sciences 3: 046-052.

<https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/soil-loss-prediction-using-usle-and-musle-under-conservation-tillage-integrated-with-fanya-juus-in-choke-mountain-ethiop.pdf>

Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Medeiros, P. H. A., Joao, M., 2017. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. Revista Ciencia Agronomica. 48(2): 251-260.<https://www.scielo.br/j/rca/a/kYpYkhdmPvbX6VvFXHGLnTF/?lang=en>