



## Research Article

### Soil erosion hazard Zonation using SLEMSA model in the Ziarat catchment

Mina Heydari<sup>1</sup>, Hoorieh Zahmatkesh Maromi<sup>2\*</sup> , Amir Karam<sup>3</sup>

1-Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Groundwater Studies Expert, Regional water of Hormozgan province, Hormozgan province, Bandar Abbas, Iran

3-Department of Physical Geographic, Faculty of Geographic Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 04 Jun 2021 Accepted: 25 Dec 2021

## Extended Abstract

### Introduction

Soil erosion is a natural process in the geographical cycle that occurs as a result of water or wind intrusion in the transport of soil particles. In addition, human intrusion causes an increase in erosion rates. Ziarat catchment has faced a drastic change in land use, from forest to agriculture fields and road/villa construction. These have caused severe soil erosion, increase in the sediment load and considerable change in river route. The average slope of this catchment is 35.5. Such a great slope plays an influential role in many occurrences such as sedimentation, different types of erosion and mass movements. These are all significant in studying and zoning a catchment in terms of erosion.

### Materials and Methods

In this study, SLEMSA model was utilized which can be used to estimate erosion in a regional scale with splash erosion. The catchment under investigation is Ziarat catchment which is a mountainous catchment in the south of Gorgan. SLEMSA model intermingles simple and fundamental data and emphasizes on some important environmental factors, vegetation and soil erosion. The numeral output of this model indicates the erosion risks and is reported as ton per hectare per year. In this model topographic, soil erosion, and vegetation coefficients are noteworthy. They are calculated using the amount of slope, slope length, erodibility, rain energy and free energy.

### Results and Discussion

In order to prepare the topographic coefficient, soil erosion map and vegetation map ARC GIS was used. The map of region slope was prepared with DEM and consequently, the length of hillside map was obtained using the amounts of m. Finally, the topographic coefficient map was generated using the amount of slope and the length of hillside in ARC GIS. Rain kinetic energy and soil erodibility are needed to obtain soil erosion map.

**Citation:** Heydari, M., Zahmatkesh Maromi, H. and Karam, A., 2021. Soil erosion hazard Zonation using SLEMSA model in the Ziarat catchment, Iran, *Res. Earth. Sci.*: 12(4), (50-67) DOI: 10.48308/esrj.2022.101824

\* Corresponding author E-mail address: Zahmatkeshhoorieh@yahoo.com





Initially, gradient map was obtained via calculating rain gradient and its application on region DEM. Then, the resulted map was used to prepare rain kinetic energy map. In the next stage, the soil erodibility map was prepared using the resultant geology and soil maps of the catchment. Then, climate factor was calculated using the rain kinetic energy. In the third stage, in order to prepare the vegetation coefficient map, the vegetation quantity (i) was extracted. Finally, the maps of all three coefficients were entered into  $Z=C.K.X$  and soil erosion zoning for Ziarat catchment was prepared.

### Conclusion

Results show that the western parts and a small area of the eastern part of Ziarat catchment have high soil erosion rate due to being located on Shemshak formation which is sensitive to erosion. These two areas, and the western area specifically, have high slopes due to the process of placing the rate curves, which are highly compacted. This factor can accelerate water flow velocity on the ground and intensify aggravation of soil erosion. In addition, slope amount in the eastern and western areas of the catchment is increasing due to elevations. Maximum topographic coefficients are located in western and eastern elevations of the catchment which might be the result of high slope amounts and slope lengths in these elevations. The climate factor is derived from rain kinetic energy amounts (E) and soil erodibility (F). The maximum of this factor is observed in the western and eastern areas of the catchment and also in the path of the river. The reason for such an amount is the existence of Shemshak formation. Also, the soil material of this area is formed by shale, sandstone, and alluvium and are very erodible. In general, considering erosion, the catchment under investigation includes the erosion range of at least 1.65 to utmost 131 ton per hectare annually. Taking the consequent high erosion rate of the catchment into account, optimization of land use is one of the appropriate strategies in order to achieve sustainable development and decrease wasting resources in Ziarat catchment.

**Keywords:** Ziarat catchment, Erosion, Rain gradient, SLEMSA model.



## پهنه‌بندی حوزه آبخیز زیارت از نظر میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل SLEMSA

مینا حیدری<sup>۱</sup>، حوریه زحمت‌کش ماری<sup>۲\*</sup>، امیر کرم<sup>۳</sup>

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- مطالعات آب‌های زیرزمینی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، بندر عباس، ایران

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۳/۱۴    تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

### چکیده

فرسایش و رسوب به عنوان پدیده‌ای جدی در ایران همواره مورد مطالعه و پژوهش بوده است. خاک از با ارزش‌ترین سرمایه‌های هر کشور محسوب می‌شود که باید با توجه به این موضوع مهم، اقداماتی در جهت حفظ و مدیریت آن از راه‌های مختلف انجام گردد. هدف از انجام این پژوهش این است که با استفاده از روش SLEMSA و همچنین بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS، میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز زیارت پیش‌بینی و نقشه کلاس‌بندی شده فرسایش تهیه گردد. برای این منظور نقشه‌های مربوط به پارامترهای موجود در مدل مذکور تهیه شد و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تلفیق گردید. با توجه به نتایج، حداقل میزان فرسایش خاک ۱/۶۵۹ و حداکثر آن ۱۳۱ تن در هکتار در سال می‌باشد. با توجه به مقدار فرسایش حاصله، لزوم اتخاذ تدابیری برای کاهش این میزان از هدررفت خاک به صورت اقدامات مختلف آبخیزداری متناسب با شرایط حوزه، ممانعت از تغییر کاربری اراضی مرتع و جنگل، کاهش چرای دام و غیره در این حوزه آبخیز به شدت احساس می‌شود و در صورت نادیده گرفتن این فرآیند، احتمال وقوع سیل و از بین رفتن خاک و منابع جنگلی و همچنین خسارات جانی برای ساکنان این حوزه و تخریب و ایجاد خسارت به تاسیسات زیربنایی و منازل مسکونی می‌تواند فقط بخشی از عواقب عدم توجه به این میزان بالا از فرسایش در حوزه مذکور باشد.

**واژه‌های کلیدی:** حوزه آبخیز زیارت، فرسایش، گرادیان بارش، مدل SLEMSA.

## مقدمه

یکی از وظایف عمده دانش ژئومورفولوژی کاربردی، بررسی موقعیت و ارزش محیط‌های انسانی آسیب پذیر در برابر انواع مخاطرات ژئومورفولوژیک است. پدیده مخاطرات در ژئومورفولوژی، ناشی از ناپایداری ویژگی‌های سطح زمین است که به دلیل دخالت انسان و زیرساخت‌های بشری به حوادثی مخاطره آمیز تبدیل می‌شوند (حیدری، ۱۳۹۵). فرسایش خاک<sup>۱</sup> از جدی‌ترین مشکلاتی است که از زمان‌های بسیار دور گریبان گیر مناطق مختلف جهان بوده است. آب و خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور به حساب می‌آید و نقش اساسی در توسعه اقتصادی و پیشرفت جوامع دارد. فرسایش خاک و در نتیجه تولید رسوب، عاملی است که این منابع با ارزش را تهدید می‌کند (عابدینی و طولابی، ۱۳۹۲). فرسایش طبیعی زمین عامل اصلی به وجود آمدن بسیاری از تمدن‌های بشری است؛ زیرا دشت‌های حاصلخیزی که مهد تمدن بشری به حساب می‌آیند، مانند جلگه بین‌النهرین، سند و گنگ همه هدیه و حاصل چنین فرآیندی در طبیعت هستند (رامشت و همکاران، ۱۳۹۴). در حالی که 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 کرده است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر نه تنها در محل وقوع خود، در حوزه‌ها 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 (نژاد افزلی و همکاران، ۱۳۹۸). فرسایش خاک به دلیل داشتن اثرات چند جانبه آشکار و پنهان زیست

محیطی و اجتماعی، به سرطان زمین شهرت یافته است و یکی از فرآیندهای پیچیده و خطر ساز محیطی است (جعفرزاده و رضائی، ۱۳۹۶). موضوع فرسایش خاک مقوله‌ای است که هم در کشورهای در حال توسعه و هم در کشورهای توسعه یافته به عنوان یک مخاطره طبیعی و انسانی مطرح است. به عبارتی این معضل می‌تواند هم ناشی از توسعه یافتگی غیر اصولی و عوامل موثر در آن، نظیر افزایش فزاینده جمعیت، جنگل زدایی و عدم توجه به ظرفیت خاک باشد و هم ناشی از عقب افتادگی نظیر چرای بی رویه دام، کشت غیر اصولی و سنتی، تخریب پوشش گیاهی و غیره؛ به همین دلیل در بسیاری جوامع از آن به عنوان یک مشکل بین‌المللی یاد می‌شود (موسوی، ۱۳۹۶). به طوری که طبق برآوردهای صورت گرفته سالانه ۲۳ میلیارد تن بیش از خاک تشکیل یافته از طریق زمین‌های زراعی از دسترس خارج می‌شود که به معنای تخلیه خاک موجود در جهان با نسبت ۷ درصد در هر دهه است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود که بیش از یک چهارم از خاک‌های جهان طی ۴۵ سال آینده حاصل خیزی خود را از دست بدهند (نصرتی و جلالی، ۱۳۹۶). تولید رسوب نیز که در نتیجه فرسایش خاک به وجود می‌آید، از طریق تجمع رسوب‌ها، سبب کاهش عمر مفید سدها و دیگر مخازن آب شده و همچنین ظرفیت آبرگیری آنها را کاهش می‌دهد. علاوه بر اینها وقوع سیل، آلودگی محیط زیست و مسدود شدن راه‌ها نیز از دیگر نتایج فرسایش خاک می‌باشد (محسنی و رزاقیان، ۱۳۹۲). این مسائل اهمیت برآورد فرسایش خاک و مقدار رسوب در سطح حوزه‌های آبخیز را تشدید می‌کند. برنامه توسعه ملل<sup>۲</sup> (UNEP) فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر نزدیک به ۲۰ تن در هکتار تخمین زده است که نسبت به ۱۰ سال گذشته ۱۰ تن در هکتار افزایش یافته است (نژاد

می‌برند. برای ارزیابی خطر فرسایش منطقه‌ای و حوزه‌ای خاک مدل‌های متنوعی وجود دارد که از این بین می‌توان به مدل‌های تجربی و مکانیکی، پویا و ایستا، جبری و تصادفی، مکانی، کمی و کیفی و مدل‌های زمانی کوتاه و بلند مدت اشاره نمود (Gitas et al, 2009). این مدل‌ها دامنه وسیعی از عوامل موثر در فرسایش خاک نظیر عوامل طبیعی و انسانی را شامل می‌شوند. معیارهای اصلی انتخاب مدل‌های مزبور شامل هدف، داده‌های موجود، زمان و هزینه آن می‌باشد. با این وجود دامنه نرخ فرسایش خاک به واسطه تباین مکانی بالای فاکتورهای موثر که باعث اختلاف در اندازه‌گیری رسوبات برون‌یابی شده در یک منطقه وسیع شده است، بسیار نامشخص است (موسوی، ۱۳۹۶). مدل‌های <sup>۳</sup>PSIAC، <sup>۴</sup>MPSIAC، <sup>۵</sup>SLEMSA، <sup>۶</sup>WEPP، <sup>۷</sup>EPM از جمله مدل‌های مورد توجه در جهت برآورد و ارزیابی میزان فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌باشند. این مدل‌های بسیار پرکاربرد، از دسته مدل‌های تجربی هستند که به وسیله محاسبه برخی ضرایب و روابط، میزان احتمالی فرسایش و بار جامد را به دست می‌دهند. مدل‌های تجربی فرسایش خاک، نسبتاً ساده هستند و به راحتی از لحاظ فیزیکی قابل تفسیر می‌باشند و همچنین به حداقل منابع نیازمندند و با ورودی‌هایی که در دسترس است به‌طور دقیق مناطق در معرض خطر فرسایش خاک زیاد را مشخص می‌کنند (Ganasri and Ramesh, 2015). از اولین مدل‌ها برای برآورد میزان فرسایش خاک، معادله <sup>۸</sup>USLE است که توسط ویشمایر<sup>۹</sup> و اسمیت<sup>۱۰</sup> توسعه یافت. این معادله برای تخمین میانگین هدررفت سالانه خاک و فرسایش در مزارع کشاورزی یکسان در شرق آمریکا توسعه یافت (Bruland, 2005) و در استفاده از آن برای مناطق دیگر، نتیجه درستی به دست نداد که منجر به

افضلی و همکاران، ۱۳۹۸). در اثر این میزان فرسایش خاک در ایران، در هر سال یک میلیون متر از ضخامت خاک کشور کاسته می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک به وسیله عوامل فرساینده از بستر خود جدا شده و به کمک یکی از عوامل انتقال دهنده به مکان دیگری حمل می‌شوند (بابلی موخر و همکاران، ۱۳۹۶). فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی در سیکل جغرافیایی است که در اثر دخالت آب یا باد در ذرات خاک و انتقال آن به مناطق دیگر ایجاد می‌شود. همچنین دخالت انسان نیز سبب افزایش نرخ فرسایش می‌شود (Gitas et al, 2009). این پدیده همچنین تاثیرات منفی بر اقتصاد دارد و علاوه بر آن می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری محصولات، کاهش کیفیت آب، کاهش ظرفیت مخازن سدها، سیل و تخریب و نابودی محیط زیست شود (Park et al, 2011). از اساسی ترین عوامل در فرآیندهای هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل دهنده آن‌هاست. عوامل مهمی بر فرسایش موثرند که از آن جمله می‌توان به پارامترهای اقلیمی، نوع خاک، پوشش گیاهی و پستی و بلندی زمین اشاره کرد. نوع و شدت فرسایش خاک نیز در یک منطقه تابع عوامل مختلفی مانند شرایط اقلیمی، پستی و بلندی، نوع خاک و کاربری اراضی می‌باشد. در این میان اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش موثر انسان در آن نسبت به دیگر عوامل بیشتر است (جلالی، ۱۳۹۳). مدل‌سازی عوامل فضایی و زمانی موثر در فرسایش خاک در تعیین عوامل تاثیرگذار درونی و بیرونی کاربری زمین اهمیت فراوان دارند. دیدگاه رایج این است که سطح زمین در حوزه آبخیز به صورت مجموعه‌ای از شبکه سلولی مجسم می‌گردد و مدل‌های جهانی فرسایش خاک را برای پیش‌بینی نرخ هدر رفت خاک در این شبکه سلولی به کار

همکاران (۱۳۹۲) به دلیل اهمیت پر شدن مخازن سدها، اقدام به برآورد مقدار فرسایش در حوزه آبخیز لردگان با مدل SLEMSA نمودند. بعد از انجام محاسبات، مشخص شد که مهم‌ترین عامل ایجاد فرسایش در این حوزه، عامل فرساینده‌گی و قابلیت فرسودگی خاک است. با توجه به اینکه پر شدن سدها از رسوب از عمر مفید آنها می‌کاهد و حوزه لردگان نیز دارای فرسایش بالایی است، ضرورت انجام عملیات آبخیزداری در این حوزه باید در اولویت کار آبخیزداران این منطقه قرار گیرد. انتظاری و غلام حیدری (۱۳۹۳) با توجه به اهمیت فراوانی رسوب و فرسایش خاک در هر حوزه آبخیز و همچنین تبعات مخرب آن، اقدام به برآورد میزان فرسایش خاک در حوزه تنگ سرخ شیراز نمودند. آنها ضمن آماده‌سازی لایه‌های موثر در هر دو مدل SLEMSA و CORINE و محاسبه مقدار رسوب با استفاده از هر کدام از دو مدل مذکور، به این نتیجه رسیدند که مدل CORINE برای تخمین میزان فرسایش خاک در این منطقه مناسب‌تر است و همچنین شیب را موثرترین عامل در شدت یافتن فرسایش این منطقه عنوان نمودند. مددی و پیروزی (۱۳۹۵) میزان فرسایش خاک را در حوزه لای چای با روش WEPP بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که روش دامنه برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوزه مذکور مناسب می‌باشد. موسوی (۱۳۹۶) با استفاده از روش SLEMSA میزان فرسایش حوزه آبخیز شاهرود-میامی را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسید که پارامترهای توپوگرافی مانند شیب و جهت شیب بیشترین تاثیر را در افزایش فرساینده‌گی خاک در حوزه مورد مطالعه دارند. نژاد افصلی و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله خود که بر فرسایش حوزه دهکهان با روش RUSLE استوار بود به این نتیجه رسیدند که فاکتور توپوگرافی بیشترین تاثیر را در

اصلاح آن به صورت مدل<sup>۱۱</sup> RUSLE شد. از دیگر مدل‌ها می‌توان به مدل SLEMSA اشاره کرد که در سال ۱۹۷۸ توسط آل ول<sup>۱۲</sup> برای ارزیابی نرخ فرسایش در کشور زیمبابوه ابداع شد و بعد از مدتی برای استفاده از آن در نقاط دیگر جهان مورد آزمایش قرار گرفت که نتیجه‌ای مثبت در پی داشت. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های پژوهشگرانی مانند ول و همکاران اشاره کرد. آنها در سال ۲۰۰۷ به برآورد مقدار هدررفت خاک با استفاده از دو مدل USLE و SLEMSA در اتیوپی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به دلیل تخمین ناچیز مقدار فرسایش و هدررفت خاک در منطقه با استفاده از مدل SLEMSA، توصیه می‌شود برای این منظور در منطقه مورد مطالعه از مدل USLE استفاده گردد. گندمکار و همکاران (۱۳۸۷) به تخمین میزان فرسایش خاک و رسوب زایی در حوزه آبخیز موسی آباد تیران، با استفاده از مدل SLEMSA و عوامل موثر در فرسایش خاک مانند عامل توپوگرافی، اقلیمی، پوشش گیاهی و عوامل مربوط به سطح زمین همت گماردند. در نهایت نیز با محاسبه عددی هر یک از عوامل و فاکتورهای مربوط به آنها، میزان حداقل و حداکثر فرسایش خاک در حوزه آبخیز مذکور را برآورد کردند و با توجه به مقدار فرسایش در حوزه ذکر شده، اجرای عملیات آبخیزداری را در اولویت کار مسئولان اجرایی لازم و ضروری دانستند. انتظاری و همکاران (۱۳۹۲) به برآورد میزان فرسایش در حوزه دستکن با مدل SLEMSA پرداختند و به این نتیجه رسیدند که علاوه بر فاکتورهای موثر در مدل SLEMSA، عوامل تکنیکی نیز در میزان فرسایش و رسوب زایی حوزه موثرند. با محاسبات صورت گرفته، در درجه اول انرژی جنبشی باران و سپس شیب و پوشش گیاهی از مهم‌ترین عوامل فرسایش در حوزه مذکور می‌باشند. رامشت و

و برآورد مقدار فرسایش خاک با تهیه لایه‌های مختلف از حوزه مذکور و استفاده از مدل SLEMSA انجام خواهد گرفت.

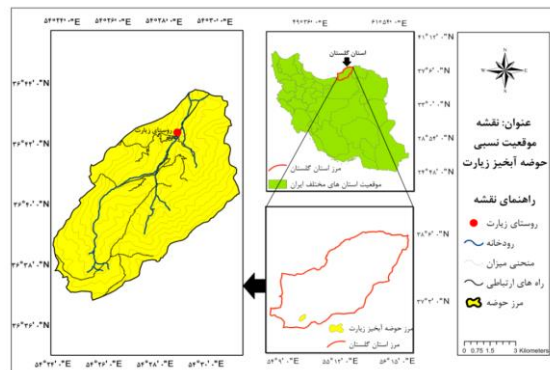
### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زیارت از حوزه‌های کوهستانی با مساحت ۷۷/۹ کیلومتر مربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر، در محدوده جغرافیایی "۵۱° ۳۶' ۳۶" تا "۵۹° ۴۳' ۵۳" عرض شمالی و "۱۱° ۳۱' ۵۴" طول شرقی واقع شده است. این حوزه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان گرگان، واقع در استان گلستان قرار گرفته و تنها نقطه شهری و روستایی واقع در آن، روستای زیارت است که شامل ۷۳۰ خانوار و ۲۲۸۰ نفر جمعیت بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران می‌باشد. سازندهای زمین‌شناسی این حوزه نیز شامل سازند خوش بیلاق، لار، دونین - کربونیفر، مبارک، شمشک و شیست گرگان است. حداکثر ارتفاع حوزه زیارت ۳۰۲۰ متر و حداقل آن ۷۵۶/۴ متر می‌باشد (نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰). همچنین میانگین بارندگی سالانه ثبت شده در ایستگاه زیارت ۵۳۱/۲۵ میلی‌متر در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ می‌باشد. این حوزه یکی از زیر حوزه‌های رودخانه قره سو به شمار می‌آید. حوزه زیارت از لحاظ ساختار زمین‌شناسی ایران در پهنه گرگان - رشت واقع شده و از لحاظ چینه‌شناسی و ساختاری از آن تبعیت می‌نماید. امتداد عمومی واحدهای زمین‌شناسی در جهت شمال شرقی - جنوب غربی گسترش یافته و شیب نیز به‌طور متنوع، در جهات مختلف متغیر می‌باشد. محدوده مورد مطالعه، تماما از بخش کوهستانی و ارتفاعات تشکیل شده است. گونه‌های گیاهی مرتعی چون *Bromus tectorum* و جانپروس سابقین گونه‌های جنگلی مانند توسکا، ممرز، بلوط، راش و انجیلی، پوشش گیاهی حوزه را

میزان فرسایش خاک این حوزه داشته است. مختاری و همکاران (۱۳۹۸) نیز در پژوهش خود که بر روی حوزه بالارود خوزستان انجام گرفته، به این نتیجه رسیدند که استفاده از عامل R درون یابی شده توسط روش جبری، میزان فرسایش را به نحو بهتری برآورد می‌کند و همچنین در برآورد میزان فرسایش با استفاده از دو روش جبری و کریجینگ، کمترین و بیشترین همبستگی را به ترتیب با عوامل بارندگی (R) و توپوگرافی (LS) دارند. مدل‌های برآورد مقادیر فرسایش و رسوب با همه مزیت‌ها و تنگناها، می‌توانند در برآورد احتمالی میزان فرسایش خاک به ما کمک کنند و البته این گونه مطالعات در ابتدا تعیین الگو و سیستم فرسایشی که در آن به وقوع می‌پیوندد حائز اهمیت است زیرا با تغییر الگوها و سیستم‌های فرسایشی، مدل‌های ارزیابی نیز تغییر کرده و نحوه برآورد توسط آن‌ها دچار تحول می‌شود. مدل SLEMSA، یک مدل برای برآورد فرسایش در مقیاس منطقه‌ای و در چهارچوب فرسایش بارانی است (رامشت و همکاران، ۱۳۹۴). حوزه آبخیز زیارت از جمله حوزه‌های آبخیز کوهستانی جنگل‌های هیرکانی واقع در استان گلستان است که در دهه اخیر با شدت زیادی دچار تغییر کاربری از جنگل به اراضی کشاورزی و احداث جاده و ویلا شده که تخریب شدید خاک، افزایش بار رسوب و تغییر مسیر رود به وضوح قابل مشاهده است (نصرتی و جلالی، ۱۳۹۶). شیب متوسط این حوزه ۳۵/۳ درصد است که بالا بودن آن در رسوب‌دهی و ایجاد انواع فرسایش و حرکات توده‌ای نقش زیادی دارد (حیدری، ۱۳۹۵). در مجموع، با توجه به اهمیت موضوع فرسایش خاک و زیان‌های ناشی از آن و همچنین شرایط شرح داده شده درباره روند فرسایش در حوزه آبخیز زیارت، پژوهش حاضر، با هدف شناسایی مهم‌ترین عوامل در هدررفت خاک

مدیترانه‌ای و معتدل دارد و در زمستان‌ها تحت تاثیر توده‌های مرطوب مدیترانه‌ای قرار گرفته و بر خلاف شهرستان گرگان کمتر از رطوبت دریای خزر بهره می‌برد (حیدری، ۱۳۹۵).

تشکیل داده‌اند و سطح حوزه آبخیز از کاربری‌های جنگلی، مرتعی، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی پوشیده شده است. این حوزه دارای پوشش گیاهی اراضی جنگلی و از نوع انبوه و متراکم است. این حوزه براساس طبقه‌بندی دومارتن، اقلیمی

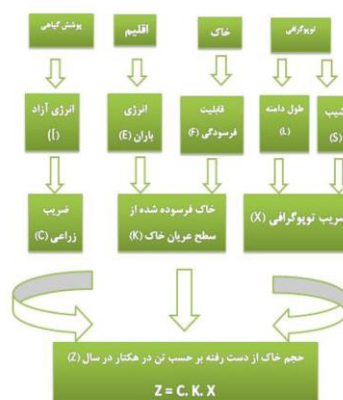


شکل ۱: نقشه موقعیت نسبی حوزه آبخیز زیارت

که توسط ال ول در سال ۱۹۷۸ برای کشور زیمبابوه انجام گرفته است. این روش ضمن تلفیق داده‌های اساسی و ساده با یکدیگر، بر پایه‌ای روابط مهم محیطی به ویژه روابط پوشش گیاهی، ریزش باران و فرساینده‌گی تاکید دارد. اعداد نهایی حاصله در این مدل مبین خطرات فرسایش است و به تن در هکتار در سال بیان می‌شود (Entezari et al, 2013). اجزای مدل SLEMSA به شرح شکل ۲ است:

## مواد و روش‌ها

برای ارزیابی میزان فرسایش خاک همواره به داده‌های توپوگرافی، خصوصیات خاک، اقلیم‌شناسی حوزه و همچنین اطلاعات نوع کاربری اراضی نیاز است. این داده‌ها در بین اکثر مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک همسان هستند. مدلی که برای تخمین نرخ فرسایش در حوزه آبخیز زیارت مورد استفاده قرار خواهد گرفت مدل SLEMSA است



شکل ۲: مدل ارزیابی خطرات فرسایشی در مدل SLEMSA



**فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)**

فاکتور فرسایش پذیری خاک (K) تاثیر خواص خاک و مشخصه‌های پروفیل آن را در هدررفت خاک نشان می‌دهد. در یک مصداق کاربردی، K یک پارامتر مهم برای نمایش میانگین جامع سالانه واکنش خاک و حساسیت پروفیل آن به فرسایش و فرآیندهای آبی است. این فرآیندها عبارت‌اند از بخش خاک و انتقال آن توسط برخورد قطره باران و جریان آب، رسوبگذاری در اثر توپوگرافی و ناهمواری‌های کشاورزی و نفوذ باران به لایه‌ها و پروفیل خاک. این فاکتور اغلب با استفاده از خصوصیات خاک تعیین می‌گردد و علی‌رغم این که با بافت خاک، میزان مواد آلی و نفوذپذیری ساختمان خاک مرتبط است، همواره با نوع تیپ خاک همبستگی بالایی دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). برای محاسبه این فاکتور نیاز به دو عامل انرژی جنبشی باران (E) و قابلیت فرسودگی (F) است. انرژی جنبشی باران بر اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک صورت می‌گیرد که با استفاده از DEM منطقه، نقشه هم باران و رابطه  $E=17/37$  به دست می‌آید (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳). قابلیت فرسودگی خاک نیز عموماً در مناطق بدون پوشش گیاهی ارزیابی می‌شود و مقدار آن برای هر واحد مکانی با میزان خاک از دست رفته ناشی از فرسایش باران بیان می‌شود (ول و همکاران، ۲۰۰۷). برای محاسبه این فاکتور با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، به انواع سنگ‌ها و رسوبات ارزش عددی داده شد و در نهایت با استفاده از رابطه ۱ مقدار این عامل محاسبه گردید. رابطه ۱)

$$K = \exp\{[(0.4661 + 0.7663F) * \ln E] + 2.884 - (8.1209F)\}$$

**فاکتور توپوگرافی (X)**

منظور از توپوگرافی، ژئومورفولوژی و پستی و بلندی زمین است که در مقدار فرسایش تاثیر بسزایی دارد.

با داشتن خطوط کنتور منطقه در محیط ArcGIS می‌توان به نقشه شیب و همینطور طول دامنه با استفاده از رابطه ۲ رسید (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳).

رابطه ۲)

$$X = L^{0.5} \left( \frac{0.076 + 0.53S + 0.076S^2}{25.65} \right)$$

نرخ هدررفت خاک در منطقه ترسیم شده مشخص، با شیب X، و مقایسه با مقدار هدررفت خاک یک منطقه با ابعاد مشخص و شیب تعیین شده، همان عامل توپوگرافی را نشان می‌دهد. مقدار طول دامنه و درجه شیب (LS) را که بیان کننده میزان تاثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک است، می‌توان از جدولی مشخص و ثابت و یا با استفاده از رابطه ۳ به دست آورد (برولند، ۲۰۰۵).

رابطه ۳)

$$LS = (X/22.13)^2 \cdot 0/065 + 0/045S + 0/0065S^2$$

افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک گردد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹).

**فاکتور پوشش گیاهی (C)**

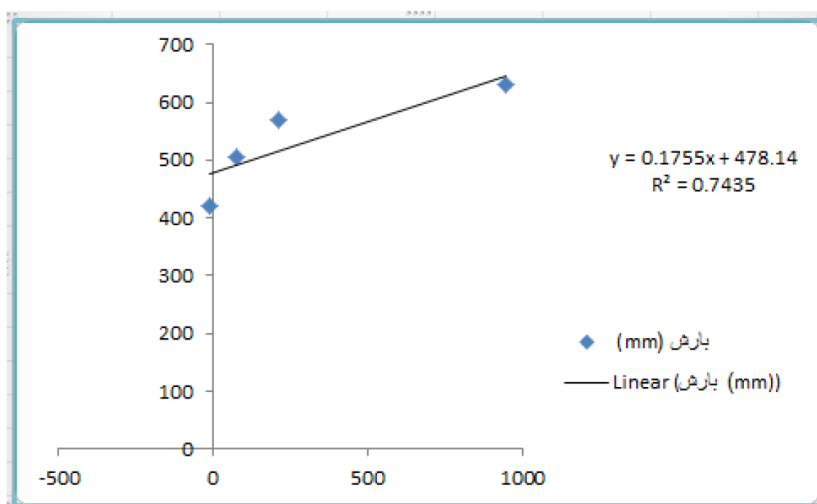
برای محاسبه و اندازه‌گیری فاکتور پوشش گیاهی، به دست آوردن مقدار عددی عامل انرژی آزاد شده، از ملزومات است. عامل C به صورت یک ضریب کمتر از یک، در معادله مدل SLEMSA به کار برده می‌شود. در این رابطه هر چه میزان فاکتور پوشش گیاهی کمتر باشد، میزان فرسایش نیز کاهش می‌یابد (انتظاری و غلام حیدری، ۱۳۹۳). برای تهیه لایه‌های مورد نیاز (لایه زمین‌شناسی، شیب و ...) براساس شکل ۲ که به آن اشاره شد، از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی حوزه مورد مطالعه استفاده شد. گام بعدی این پژوهش، مشخص کردن فاکتورهای مورد نیاز در مدل SLEMSA می‌باشد که این امر با استفاده از

دیگر مورد نیاز برای اجرای مدل SLEMSA از اکستنشن‌های Raster Calculator و Spatial Analyses در Reclassification بهره گرفته شد. با استفاده از داده‌های جدول ۱، رابطه برآورد بارش با ارتفاع در حوزه به دست آمد و نقشه هم باران حوزه به صورت شکل ۳ تهیه شد.

نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت. در ابتدا با استفاده از منحنی‌های میزان حوزه، لایه مدل رقومی ارتفاع و سپس از روی آن لایه شیب با استفاده از ابزار Spatial Analyst Tool و اکستنشن slope تهیه شد. لایه هم بارش حوزه نیز از طریق رابطه بارش و ارتفاع در ArcGIS به دست آمد. برای تهیه لایه‌های

جدول ۱: مشخصات و آمار اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مطالعاتی و مناطق همجوار سینوپتیک (منبع: سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارش سالیانه (میلی متر)	دمای سالیانه (سانتی گراد)
زیارت	۵۴° ۲۹' ۰۰"	۳۶° ۴۲' ۴۵"	۹۵۰	۵۳۱/۲۵	۱۴/۲
محوطه امور آب گرگان	۵۴° ۲۸' ۴۹"	۳۶° ۴۲' ۴۲"	۷۵	۵۶۵/۷	۱۸/۶
فاضل آباد	۵۴° ۴۴' ۲۶"	۳۶° ۵۳' ۵۰"	۲۱۰	۶۶۸/۲	۱۷/۸
آق قلا	۵۴° ۳۰' ۲۰"	۳۷° ۰۱' ۱۹"	-۱۲	۴۲۲	۱۹



شکل ۳: گرادیان بارش ایستگاه زیارت و حوزه‌های مجاور

m از طریق میزان شیب و جدول ۲ استخراج می‌گردد.

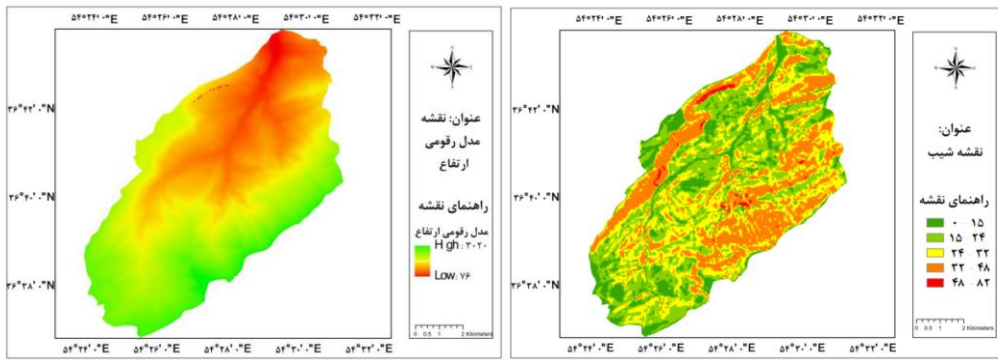
رابطه (۴)

$$L = 1/4(As/22/13)^m$$

#### مراحل انجام کار

برای تهیه نقشه شیب از ابزارهای تحلیل فضایی در نرم‌افزار ArcGIS و DEM حوزه استفاده شد که به صورت شکل ۵ نشان داده می‌شود.

نحوه محاسبه طول دامنه به شرح رابطه ۴ می‌باشد که در آن AS: مساحت حوزه به متر مربع و مقادیر



شکل ۵: نقشه شیب منتج از DEM

شکل ۴: مدل رقومی ارتفاعی حوزه

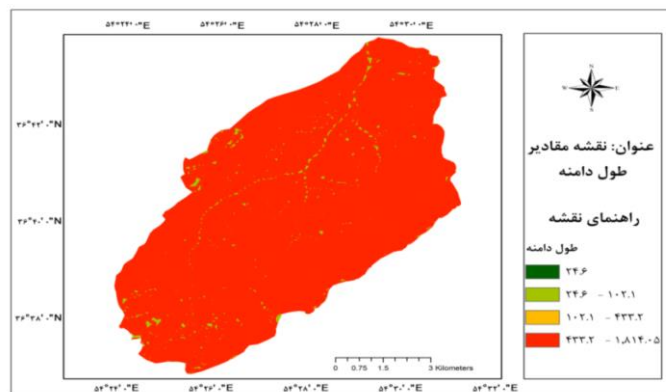
جدول ۲: مقادیر متناظر m برای شیب‌های متفاوت

شیب به درصد	شیب < 1%	1% > شیب > 3%	3% > شیب > 5%	شیب > 5%
مقدار m	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵

منبع: (استون و هیلبرن، ۲۰۰۱؛ موسوی، ۱۳۹۶)

بیشترین مقادیر طول دامنه مربوط به ارتفاعات بالا می‌باشد که این به دلیل برخوردار بودن از مقادیر بالای m براساس جدول ۲ و شیب زیاد این مناطق است.

نتایج محاسبه طول دامنه به صورت شکل ۶ نشان داده شده است. این نقشه براساس لحاظ نمودن رابطه ۴ بر روی نقشه شیب به دست آمده است. با توجه به نقشه حاصل شده مشخص می‌شود که



شکل ۶: نقشه مقادیر طول دامنه

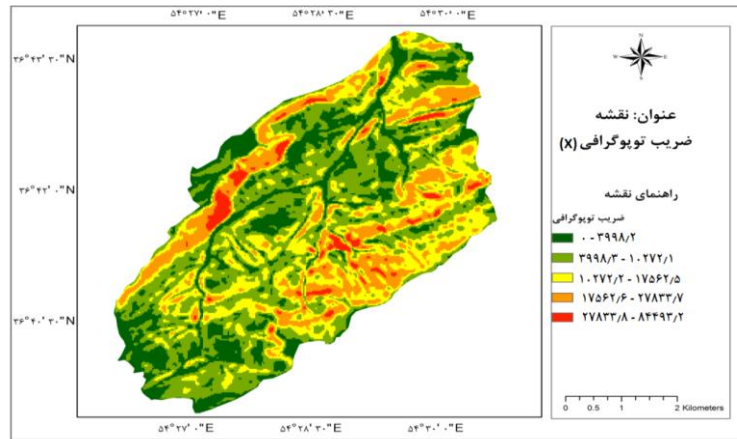
را نشان می‌دهد که براساس اعمال رابطه ۵ بر روی نقشه‌های طول دامنه و شیب، به دست آمده، بیشترین مقادیر ضریب توپوگرافی در ارتفاعات غربی و شرقی حوزه است که می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان شیب و طول دامنه در این ارتفاعات باشد.

برای به دست آوردن ضریب توپوگرافی (X) در اینجا باید از برآیند مقادیر شیب (S) و طول دامنه (L) استفاده نمود.

رابطه ۵)

$$X = L^{0.5} (0.76 + 0.53S + 0.76S^2) / 25.65$$

شکل ۷ نقشه ضریب توپوگرافی حوزه آبخیز زیارت



شکل ۷: نقشه ضریب توپوگرافی

در این جا نقشه طبقات بارش بر روی DEM حوزه در صورت شکل ۸ تهیه شد. در گام بعدی براساس رابطه ۷ نقشه انرژی جنبشی باران به صورتی که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، ترسیم گردید. قابلیت فرسایش پذیری خاک معمولاً در مناطقی که عاری از پوشش گیاهی هستند ارزیابی می‌گردد و میزان آن برای هر واحد مکانی با مقدار خاک از دست رفته ناشی از فرسایندهای باران بیان می‌شود. مقادیر قابلیت فرسایش پذیری خاک از روش تفضیلی ال ول (۱۹۷۸) که در مورد زیمباوه به کار گرفت (جدول ۳)، استخراج می‌شود (رامشت، ۱۳۷۵).

برای محاسبه مقدار  $K$  دو فاکتور انرژی جنبشی باران ( $E$ ) و قابلیت فرسایش پذیری خاک ( $F$ ) لازم است. جهت محاسبه انرژی جنبشی باران با توجه به ویژگی‌های اقلیمی و رژیم بارشی منطقه از روابط ۶ و ۷ استفاده می‌شود، که در این روابط،  $P$ ، متوسط بارندگی سالیانه به میلی‌متر می‌باشد.

رابطه ۶)

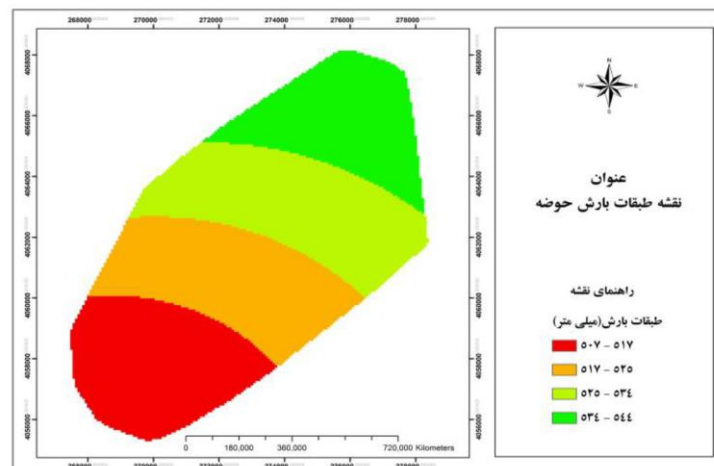
برای مناطق نفوذپذیر با باران ریزدانه:

$$E = 17/37 \times P$$

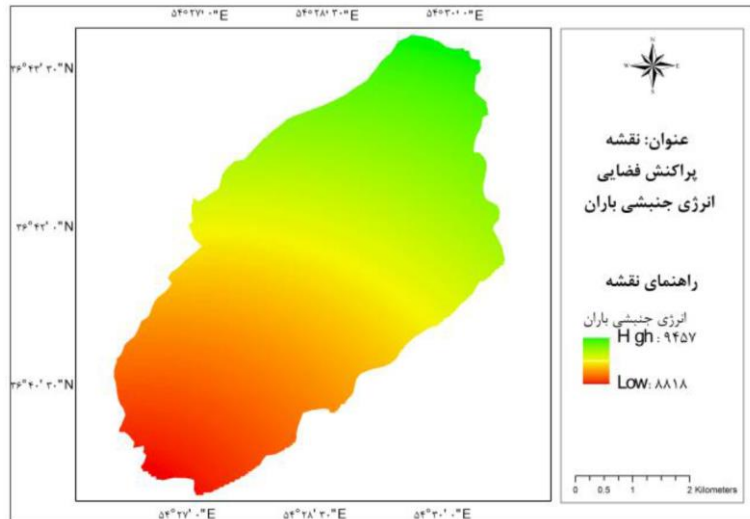
رابطه ۷)

برای اقلیم‌های رگباری:

$$E = 18/84 \times P$$



شکل ۸: نقشه طبقات بارش حوزه



شکل ۹: نقشه پراکنش فضایی انرژی جنبشی باران

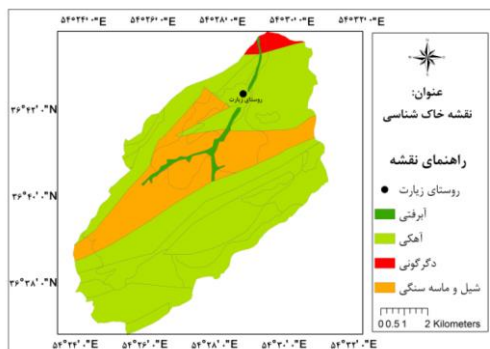
جدول ۳: مقادیر قابلیت فرسایش پذیری خاک براساس روش ال ول (۱۹۷۸)

مقدار کمی	ویژگی های خاک
۱	خاک های سودیک که از نظر شیمیایی پایداری بسیار کمی و جویبارهای متعددی دارند.
۲ تا ۶	به ترتیب خاک های حد فاصل بین موارد ۱ و ۷ می باشند.
۷	خاک هایی که به خوبی زهکش می شوند و نفوذ پذیری بالا و مقاومت خوبی دارند و دارای خاک های اورتوفراتیک هستند.
۸ تا ۱۰	خاک هایی که عامل مدیریت منجر به تغییر قابلیت فرسایش پذیری آنها شده است.

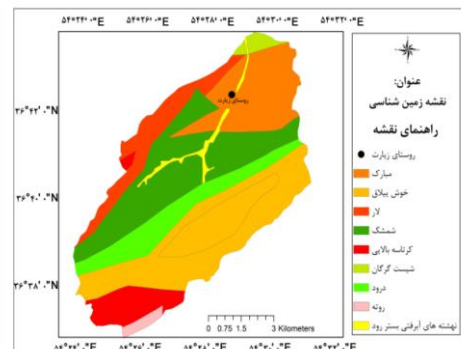
منبع: (رامشت، ۱۳۷۵)

نقشه های نهایی تهیه گردید. از برآیند این نقشه ها و همچنین با استفاده از جدول ۳، نقشه مذکور به صورت شکل ۱۲ تهیه گردید که مقادیر رقومی آن با توجه به نوع خاک و جنس مواد در منطقه، دامنه-ای از ۰ تا ۹ را به خود اختصاص داده است.

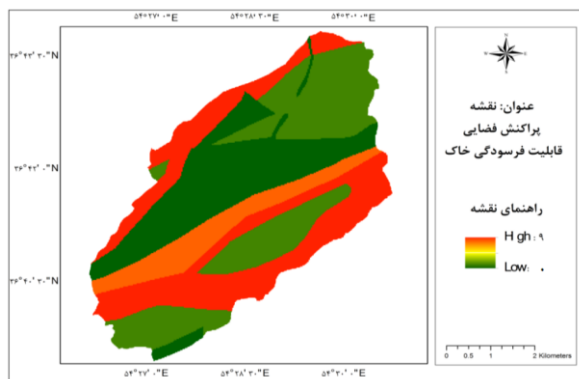
برای تهیه نقشه پراکنش مکانی عامل قابلیت فرسایش پذیری خاک به نقشه های زمین شناسی و خاک شناسی نیاز است که در شکل های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می شوند. نقشه های زمین شناسی و خاک-شناسی از سازمان زمین شناسی کشور دریافت و بعد از ژورفرنس کردن آن ها با مرز حوزه مورد مطالعه،



شکل ۱۱: نقشه خاک شناسی حوزه آبخیز زیارت



شکل ۱۰: نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز زیارت

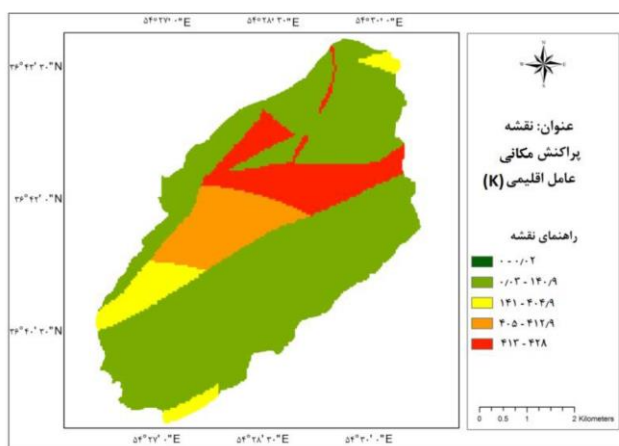


شکل ۱۲: نقشه پراکنش مکانی قابلیت فرسودگی

نتیجه این محاسبات به صورت شکل ۱۳ نشان داده شده است. این نقشه حاصل اعمال رابطه ۸ بر روی نقشه‌های انرژی جنبشی باران و قابلیت فرسایش-پذیری خاک می‌باشد.

حال با استفاده از برآیند مقادیر انرژی جنبشی باران ( $E$ )، قابلیت فرسایش‌پذیری خاک ( $F$ ) و همچنین بهره‌گیری از رابطه ۸ می‌توان عامل اقلیمی ( $K$ ) را محاسبه نمود.  
(رابطه ۸)

$$K = \exp[(0.4681 + 0.7663F) \ln E + 2.884 - 8.1209F]$$



شکل ۱۳: نقشه پراکنش فضایی عامل اقلیمی

است. این عامل دربردارنده میزان خاک از دست رفته در سطوح عریان و تاثیر پوشش گیاهی در حفاظت از خاک می‌باشد.

محاسبه پارامتر ضریب زراعی که با  $C$  نشان داده می‌شود، از طریق اندازه‌گیری کمیّت پوشش گیاهی ( $i$ ) با استفاده از جدول ۴ و روابط ۹ و ۱۰ امکان‌پذیر

جدول ۴: چگونگی محاسبه کمیّت پوشش گیاهی

مقادیر $i$ به درصد		تعداد روزهای چرا در هکتار	وضعیت مرتع از نظر چرا
بارندگی تا ۸۰۰ میلی‌متر	بارندگی تا ۶۰۰ میلی‌متر		
۹۰	۷۰	۰ تا ۱۰۰	ضعیف
۶۰	۴۰	۱۰۰ تا ۳۰۰	متوسط
۳۰	۲۰	بیشتر از ۳۰۰	قوی

منبع: (اسکاتینگ و همکاران، ۱۹۸۸؛ موسوی، ۱۳۹۶)

خاک می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر ضریب توپوگرافی در ارتفاعات غربی و شرقی حوزه است که می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان شیب و طول دامنه در این ارتفاعات باشد. عامل اقلیمی از برآیند مقادیر انرژی جنبشی باران (E) و قابلیت فرسایش‌پذیری خاک (F) حاصل می‌شود که با توجه به آن بیشترین مقدار آن در بخش غربی و شرقی حوزه و همینطور در مسیر رودخانه مشاهده می‌گردد که دلیل عمده آن وجود سازند شمشک و جنس خاک این بخش می‌باشد که از شیل، ماسه سنگ و آبرفت تشکیل شده که بسیار فرسایش پذیر هستند. به‌طور کلی از لحاظ فرسایشی، حوزه مورد مطالعه دارای دامنه فرسایشی حداقل ۱/۶۵ تا حداکثر ۱۳۱ تن در هکتار در سال را شامل می‌شود. نقشه پهنه‌بندی فرسایشی حوزه آبخیز زیارت نشان می‌دهد که پهنه‌های عمده فرسایش یافته منطبق بر مناطق غرب و شمال شرق این حوزه می‌باشد. هر دو قطب فرسایشی بر روی سازند شمشک با جنس شیل و ماسه سنگ واقع شده‌اند که از ویژگی‌های ذاتی این سازند و جنس خاک آن، فرسایش پذیری بالا است. همچنین در این دو منطقه با توجه به ضریب توپوگرافی، میزان شیب (بین ۰.۳۲٪ تا ۰.۴۸٪) و طول دامنه نسبت به دیگر نقاط ارتفاعی میزان بالاتری را نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر اهمیت پارامترهای توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی مانند عامل زمین‌شناسی، خاک-شناسی، شیب، طول دامنه، ناپایداری رسوبات در دامنه‌ها و قدرت فرساینده‌گی بارش در تخریب و فرسایش خاک است. نتایج حاصل از بررسی مقادیر رقومی فرسایش به روش SLEMSA و همچنین تلفیق لایه‌های رقومی پارامترها براساس الگوریتم مدل، در حوزه آبخیز زیارت به صورت شکل ۱۴ می‌باشد.

مقدار  $C$  را می‌توان با استخراج مقدار  $i$  از جدول ۴ و قرار دادن آن در روابط ۹ و ۱۰ به دست آورد.

رابطه ۹)

$$CI = \exp(0/06 i)$$

$50 \geq i \geq 0$  (برای اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی) و  $100 \geq i \geq 50$  (برای مراتع متراکم).

رابطه ۱۰)

$$C2 = (2/3 - 0/01 i)/30$$

$100 \geq i \geq 50$  (برای اراضی زراعی و علفزارهای طبیعی).

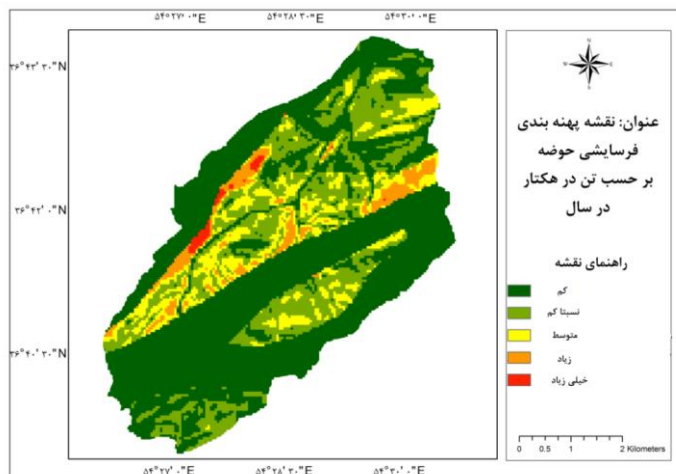
بعد از به دست آوردن پارامترهای  $X$  (ضریب توپوگرافی)،  $K$  (ضریب اقلیمی) و  $C$  (ضریب زراعی) می‌توان مقدار  $Z$  که همان میزان فرسایش خاک حوزه بر حسب تن در هکتار در سال است را از حاصل ضرب مقادیر پارامترهای مذکور به دست آورد. رابطه ۱۱ شکل کلی معادله را نشان می‌دهد.

رابطه ۱۱)

$$Z = C.K.X$$

## بحث و نتایج

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که مناطق غربی و پهنه‌ای کوچک از شرق این حوزه با توجه به قرارگیری بر روی سازند حساس به فرسایش شمشک، دارای نرخ فرسایش خاک بالایی هستند. این دو پهنه و به خصوص بخش غربی، با توجه به روند قرارگیری منحنی‌های میزان که بسیار متراکم می‌باشند، دارای شیب زیاد بوده که همین عامل می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک گردد. علاوه بر آن، میزان شیب در مناطق شرقی و غربی حوزه به دلیل وجود ارتفاعات، با افزایش روبرو است. در این میان هر چه میزان فاکتور پوشش گیاهی کمتر باشد، میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد که همین عامل می‌تواند بر سرعت جریان آب افزوده و آن‌ها را به سیل تبدیل کند که نتیجه آن فرسایش بیشتر



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی فرسایشی منطقه بر حسب تن در هکتار در سال (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

جدول ۵: طبقه‌بندی مساحت حوزه براساس میزان فرسایش خاک (منبع: نگارندگان، ۱۳۹۹)

کلاس	متوسط سالانه هدررفت خاک (تن در هکتار در سال)	درصد مساحت %
کم	۰ - ۵	۵۴
نسبتاً کم	۵ - ۱۷	۱۹
متوسط	۱۷ - ۳۵	۱۸
زیاد	۳۵ - ۶۹	۶
خیلی زیاد	۶۹ - ۱۳۱	۳

### نتیجه‌گیری

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد، زیرا در مواردی که فعالیت‌های انسانی تعادل طبیعت را بر هم می‌زند، پدیده فرسایش خاک شدت می‌گیرد (محسنی و رزاقیان، ۱۳۹۲). از طرفی فرسایش به عنوان یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی در مناطق مختلف دنیا به شمار می‌آید و در تمام نقاط زمین در حال پیشروی است و نقش اساسی در تغییر و تحول سطح زمین ایفا می‌کند. بنابراین تعیین عوامل موثر بر فرسایش و رسوب و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک، نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک می‌باشد (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). در نتیجه، فرآیندهای مختلف فرسایشی را می‌توان به

دو دسته تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از نیروهای عمل‌کننده مانند آب، باد و یخچال که به عوامل فرسایش دهنده معروفند و دسته دیگر عواملی هستند که در کیفیت عمل این نیروها نقش بسزایی دارند مانند جنس، ساختمان و شیب زمین که به عنوان عوامل فرسایش پذیر نامیده می‌شوند. به دلیل این که فرسایش علاوه بر از بین بردن خاک، تاثیرات جبران ناپذیری بر پوشش گیاهی، شبکه‌های ارتباطی، سازه‌های زیربنایی مانند سدها و بندها، مناطق مسکونی، مزارع کشاورزی و غیره دارد، اقدامات برای جلوگیری از این پدیده و کاهش خسارات آن به شدت احساس می‌گردد. فرسایش پذیری حوزه آبخیز زیارت به دلیل حساسیت بالای برخی از سازندهای تشکیل دهنده آن به فرسایش، مانند سازندهای شمشک، خوش ییلاق و شیست گرگان، پوشش گیاهی نسبتاً ضعیف و تخریب شده



یافته منطبق بر مناطق غرب و شمال شرق این حوزه می‌باشد. هر دو قطب فرسایشی بر روی سازند شمشک با جنس شیل و ماسه سنگ واقع شده‌اند که از ویژگی‌های ذاتی این سازند و جنس خاک آن، فرسایش پذیری بالا است. همچنین در این دو منطقه با توجه به ضریب توپوگرافی، میزان شیب و طول دامنه نسبت به دیگر نقاط ارتفاعی میزان بالاتری را نشان می‌دهد. این موضوع بیانگر اهمیت پارامترهای توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی مانند عامل زمین‌شناسی، خاک شناسی، شیب، طول دامنه، ناپایداری رسوبات در دامنه‌ها و قدرت فرساینده‌گی بارش در تخریب و فرساینده‌گی خاک است.

به خصوص در بخش‌های مسکونی آن، توسعه اشکال فرسایشی از جمله فرسایش سطحی، شیاری، آبراه‌های و خندقی و در بعضی مناطق نیز عدم تناسب بین توان منطقه و کاربری فعلی آن، زیاد است. عواملی مانند ساخت و ساز در حاشیه رودخانه‌ها و همچنین در جهت شیب، توسعه اراضی دیم، شخم زنی غیراصولی (شخم در جهت شیب)، چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری بیش از حد از خاک برای کشاورزی و ایجاد شبکه ارتباطی، سبب افزایش و تشدید فرسایش شده است. شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ نمونه‌هایی از دستکاری انسانی و تشدید فرسایش در حوزه را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پهنه‌های عمده فرسایش



شکل ۱۵: ایجاد یک جریان بزرگ به دلایل توپوگرافیکی شکل ۱۶: جاده سازی در میان جنگل



شکل ۱۷: ویلاسازی در حاشیه رود و کاهش مقاومت برشی شیب شکل ۱۸: چرای بی رویه دام

با توجه به مطالعات گسترده دفتر "مهندسين مشاور پژوهاب شرق" که با روش‌هایی مانند روش SDR و EMP و انواع معادلات مانند راس، بروکس،

به طور کلی از لحاظ فرسایشی، حوزه مورد مطالعه دارای دامنه فرسایشی حداقل ۱/۶۵ تا حداکثر ۱۳۱ تن در هکتار در سال را شامل می‌شود. علاوه بر این

خاک در حوزه مورد نظر این است که این روش ضمن تلفیق داده‌های اساسی و ساده با یکدیگر، بر پاره‌ای از روابط مهم محیطی به ویژه پوشش گیاهی، ریزش باران و فرساینده‌گی نیز تاکید دارد. علاوه بر آن براساس یافته‌های Attanda (۲۰۰۲) این مدل برای مناطقی با درجه حرارت نسبتاً بالا مخصوصاً در تابستان، می‌تواند نتایج دقیقی را ارائه نماید. همچنین مدل SLEMSA به دلیل بهره‌گیری از همبستگی‌های انحنایی، به کار گرفتن فاکتورهای موثر در فرسایش، تعیین میزان شرکت عوامل بر حسب اهمیت آنها با یک نسبت وزنی و نهایتاً منظور داشتن بسیاری از تأثیرات متقابل عوامل در این مدل دارای پتانسیل‌های بالقوه مطلوب می‌باشد (گندمکار و همکاران، ۱۳۸۷).

### سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از استاد گرانقدرم سرکار خانم دکتر سمیه عمادالدین، عضو هیئت علمی دانشگاه گلستان، گروه جغرافیا به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان در راستای پیشبرد هر چه بهتر این مقاله تشکر و سپاسگزاری نمایم.

لین و کالینسک برای تخمین و برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز زیارت انجام گرفته، مقدار کل متوسط سالانه فرسایش در حوزه مذکور ۴۹۱۲۰/۸۵ تن در هکتار در سال برآورد گردیده است (مهندسیین مشاور پژوهاب شرق، فصل چهارم، ص ۸۵-۸۶) که با توجه به این مقدار فرسایش که به صورت متوسط بیان شده، می‌توان به نتیجه حاصله از این پژوهش که با روش SLEMSA جهت برآورد میزان فرسایش حوزه آبخیز زیارت انجام گرفته، اطمینان نمود. با توجه به ارائه گزارش از سوی برنامه توسعه سازمان ملل (UNEP) مبنی بر افزایش ۲ برابری میزان فرسایش خاک در ایران در ۱۰ سال گذشته و با توجه به میزان بالای فرسایش خاک در حوزه مورد مطالعه، بهینه‌سازی کاربری اراضی یکی از استراتژی‌های مناسب برای دستیابی به توسعه پایدار و کاهش هدررفت منابع خاک در حوزه آبخیز زیارت می‌باشد. همین نتایج با استفاده از مدل MPSIAC توسط تاج گردان و همکاران در همین حوزه به دست آمده که نشان دهنده اعتبار مدل SLEMSA است که می‌تواند در حوزه‌هایی با شرایط تقریباً مشابه، نتایج قابل قبولی را ارائه نماید. علت انتخاب این مدل برای برآورد میزان فرسایش

### پانوش

- 1-Soil Erosion
- 2-United Nations Environment Programme
- 3-Pacific Southwest Inter- Agency Committee
- 4-Modified Pacific Southwest Inter - Agency Committee
- 5-Soil Loss Estimation Model for Southern Africa

- 6-Water Erosion Prediction Project
- 7-Erosion Potential Method
- 8-Universal Soil Loss Equation
- 9-Wischmeier
- 10-Smith
- 11-Revised Universal Soil Loss Equation
- 12-Elwell

### منابع

بالا دست سد ایلام)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۱۷ (۲)، ص ۱-۲۷.  
-انتظاری، م. و غلام حیدری، ح.، ۱۳۹۳. مقایسه مدل‌های SLEMSA و CORINE در ارزیابی

-آرخی، ص. و نیازی، ی.، ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوزه

- فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوزه تنگ سرخ شیراز)، مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا، شماره ۱۸(۳)، ص ۱-۲۸.
- بابایی، م.، حسینی، ز.، نظری سامانی، ع. و المدرسی، ع.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE 3D، مطالعه موردی: حوزه آبریز کن، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبریز، شماره ۸(۲)، ص ۱۶۵-۱۸۱.
- بابلی موخر، ح.، شیرانی، ک. و خداحلی، م.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی و برآورد کیفی فرسایش خاک در حوزه آبریز مارون با استفاده از مدل F.A.O، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۱۴(۵۶)، ص ۵۱-۶۹.
- تاج گردان، ت.، ایوبی، ش. و شتابی جویباری، ش.، ۱۳۸۷. برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت)، نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۹(۴)، شماره ۳۷-۴۵.
- جعفرزاده اسطوخ کوهی، ع. و رضائی، پ.، ۱۳۹۶. برآورد فرسایش خاک در حوزه سفید رود با تاکید بر نقش لندفرم‌ها، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۷(۴۴)، ص ۲۰۱-۲۲۱.
- جلالی، س.، ۱۳۹۳. تاثیر جاده‌سازی در تولید رسوب حوزه آبریز زیارت، استان گلستان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، رشته هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- حیدری، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی قابلیت رخداده زمین لغزش و تحلیل فاکتورهای موثر در حوزه آبریز زیارت، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، رشته هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- رامشت، م.، ۱۳۷۵. کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای و اقتصادی، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول، ۲۷۵ ص.
- رامشت، م.، انتظاری، م. و دلسوز، س.، ۱۳۹۴. ارتقاء مدل اسلمسا با ترفندی تکنیکی در سهم گذاری عوامل فرسایشی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴(۱۵)، ص ۱۱۳-۱۲۶.
- رامشت، م.، راهدان، م. و هاشمی، م.، ۱۳۹۲. محاسبه میزان خطر فرسایش در حوزه آبریز لردگان با استفاده از مدل SLEMSA، دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی، شماره ۲(۷)، ص ۲۷-۳۹.
- سازمان آب منطقه ای استان گلستان، ۱۳۹۸. -عابدینی، م. و طولابی، س.، ۱۳۹۲. مقایسه کارایی WEPP و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب دهی حوزه آبریز سولاچای، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲(۱)، شماره ۷۹-۹۶.
- غلامی، ل.، صادقی، ح. و خالدی درویشان، ع.، ۱۳۸۸. مدل‌سازی برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوزه آبریز چهل گزی براساس ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۶(۲)، ص ۱-۹.
- گندمکار، ا.، شیخی، ن. و احمدی، س.، ۱۳۸۷. فرسایش خاک در حوزه آبریز موسی آباد تیران با استفاده از مدل SLEMSA، فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، شماره ۳(۶)، ص ۹۵-۱۰۸.
- محسنی، ب. و رزاقیان، ه.، ۱۳۹۲. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه معرف کسلیان با استفاده از روش ژئومورفولوژی مبتنی بر مدل MPSIAC در محیط GIS، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۴(۱۴)، ص ۴۹-۵۷.
- مختاری، د.، ولیزاده کامرادن، خ. و مرادی مطلق، ا.، ۱۳۹۸. نقش تغییر روش‌های درون یابی برای

-مهندسين مشاور پژوهاب شرق، فصل ۴، مطالعات اوليه (فرسایش و رسوب حوضه زیارت).  
-نژاد افضلی، ک.، شاهرخی، م. و بیاتانی، ف.، ۱۳۹۸. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی موثرترین عامل آن در جنوب حوزه آبریز دهکهان (جنوب کرمان)، مجله مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۸(۲۰)، ص ۲۱-۳۷.  
-نصرتی، ک. و جلالی، س.، ۱۳۹۶. بررسی میزان تولید رسوب معلق حوزه آبریز زیارت گرگان در فصل‌های مختلف با استفاده از تکنیک منشایابی رسوب، مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۴(۳)، ص ۸۸۷-۸۹۵.

تولید عامل R در برآورد فرسایش خاک حوزه‌های آبریز به روش RUSLE (مطالعه موردی: حوزه آبریز بالا رود)، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۸(۳)، ص ۲۲۲-۲۴۱.  
-مددی، ع. و پیروزی، ا.، ۱۳۹۵. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه لای چای، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۶(۴۲)، ص ۱۷۷-۱۹۵.  
-موسوی، ح.، ۱۳۹۶. برآورد میزان فرسایش خاک در حوزه آبریز شاهرود-میامی با استفاده از مدل SLEMSA و تکنیک GIS، مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۷(۲۴)، ص ۱۵-۳۳.

-Attanda Mouinou Igue, 2002. the qualitative assessment of water erosion risk in moist savanna of Benin, 12 th ISCO conference Beijing.  
-Bruland, Greg. USLE & Other Models, 2005. Power point.  
-Entezari, M., Sharifi, R., Eizadi, Z. and Shahzeydi, S.S., 2013. Potential Erosion Assessment of Dastkan Region Using SLEMSA Model, Geography and Environmental Planning, v. 48(4), p. 29-32.  
-Ganasri, B. and Ramesh, H., 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin, Geoscience Frontiers, v. 4 (17), p. 1-9.  
-Gitas, I.Z., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G.N. and Karydas, C.G., 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. CHALKIDIKI using a modified USLE raster model. Journal of EARSeLe Proceedings, v. 8(12), p. 40-52.  
-Park, S., Oh, C., Jeon, S., Jung, H. and Choi, C., 2011. Soil erosion risk in

Korean watersheds assessed using the revised universal soil loss equation. Journal of Hydrology, v. 399(3), v. 263-273.  
-Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T. and Dabney, S.M., 2010. Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation, v. 28(3), p. 137-167.  
-Welle, S., Chantawarangul, K., Nontanandh, S. and Jantawat, S., 2007. Prediction of Soil Loss the Northern Part of Somali Region of Ethiopia Using Empirical Soil Erosion Models, Kasetsart J. (Nat. Sci.), v. 41(1), p. 109-122.  
-Stocking, M.A., Chakela, Q. and Elwell, H.A., 1988. An improved method for erosion hazard mapping, Journal of Geografiska Annaler, v. 70(3), p. 169-180.  
-Stone, R.P. and Hilborn, D., 2000. Universal soil loss equation (USLE), ministry of agricultural food and rural affairs. Agricultural Engineering, v. 25(2), p. 34-57.