



## برآورد فرسایش خاک در حوضه آبریز سد تنگ سرخ با استفاده از معادله‌ی جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده (RUSLE) و قابلیت‌های سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات مکانی

محسن آرمین\*<sup>۱</sup>، حدیث ولی‌نژاد<sup>۲</sup>، وجیهه قربان‌نیا خیبری<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷

### چکیده

شرایط رسوب‌گذاری در سدهای ایران نشان می‌دهد که در طراحی آنها غالباً بر مهندسی عمران و جنبه‌های سازه‌ای توجه شده است و به موضوع فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌ی سدها توجه خاصی نمی‌شود و همین موضوع باعث می‌شود که بعد از چند سال حجم زیادی رسوب در مخزن بسیاری از این سدها نهشته شود. تحقیق حاضر با هدف برآورد فرسایش خاک در حوضه‌ی آبریز سد مخزنی در حال احداث تنگ سرخ با مساحت ۳۹ هزار هکتار در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل RUSLE و قابلیت‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی به منظور برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی در حوضه‌ی آبریز سد انجام شده است. لایه‌ی پارامترهای مدل RUSLE شامل فرساینده‌ی باران، فرسایش‌پذیری خاک، شیب و طول دامنه، مدیریت پوشش گیاهی و عملیات حفاظت خاک به ترتیب با استفاده از داده‌های بارندگی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مدل رقومی ارتفاع و کاربری اراضی در محیط سامانه‌ی اطلاعات مکانی تهیه شده‌اند و پس از رویهم‌گذاری لایه‌ها، مقدار فرسایش به‌صورت مکانی در سطح حوضه برآورد شد. حدود ۲۵ و ۹ درصد مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه به ترتیب دارای میزان فرسایش بیش از ۱۰ و ۳۵ تن در هکتار در سال است که بیشترین مقدار آن در قسمت‌های غربی و شمال شرقی حوضه است که آن هم ناشی از مقدار زیاد فرساینده‌ی باران و فرسایش‌پذیری خاک در این منطقه است. اگر آستانه‌ی تلفات خاک ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شود، میزان فرسایش خاک حدود ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی حوضه‌ی آبریز سد بیشتر از حد قابل تحمل فرسایش خاک خواهد بود که این 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 و از این نظر باید اقدامات عاجلی حفاظت خاک در اراضی شناسایی شده در حوضه‌ی بالادست سد صورت گیرد.

**کلمات کلیدی:** برآورد فرسایش خاک، مدل RUSLE، سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی، حوضه‌ی آبریز سد تنگ سرخ، یاسوج.

## ۱- مقدمه

فرسایش خاک و تخریب منابع زمین مشکل زیست محیطی مهمی در تعداد زیادی از کشورهای دنیا است (لو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳: ۱۰۳۷؛ کیم و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵: ۸۷۲) که اغلب یک ارزیابی کمی (کوتایاری و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴: ۱۱۲۲) برای نتیجه‌گیری در خصوص وسعت و حجم مشکلات فرسایش خاک نیاز است تا بتوان استراتژی‌های مدیریتی منطقی با کمک اندازه‌گیری‌های صحرایی در یک مقیاس منطقه‌ای توسعه داد. بنابراین برآورد تلفات خاک و شناسایی مناطق برای اجرای بهترین اقدامات مدیریتی به‌منظور موفقیت برنامه‌های حفاظت خاک بسیار مهم است. روش‌های مختلفی جهت برآورد فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار وجود دارد که استفاده از هر یک از این روش‌ها بستگی به دقت روش و همچنین میزان اهمیت و نیز مدت زمان اجرای طرح دارد. تلاش‌های قابل توجهی در مورد توسعه‌ی مدل‌های فرسایش خاک صورت گرفته است (نیرینگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵: ۱۳۱). مدل‌های فرسایش خاک به سه گروه تقسیم می‌شوند (جها و پودل<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۸۹)، تجربی<sup>۶</sup>، مفهومی<sup>۷</sup> (ترکیبی، بخشی از مدل تجربی است) و فیزیک - مبنای<sup>۸</sup>. یکی از مدل‌های خیلی کاربردی برای ارزیابی فرسایش ورقه‌ای و شیاری، معادله جهانی فرسایش خاک<sup>۹</sup> (USLE) است که بوسیله‌ی ویشمایر<sup>۱۰</sup> و اسمیت<sup>۱۱</sup> (۱۹۷۸) توسعه داده شد. مدل USLE و نسخه‌های آن نمونه‌هایی از مدل‌های تجربی و مفهومی هستند. به طور کلی USLE اساساً برای برآورد فرسایش خاک در اراضی کشاورزی با شیب ملایم

- 1- Lu et al.,
- 2- Kim et al.,
- 3- Kothyari et al.,
- 4- Nearing et al.,
- 5- Jha & Paudel
- 6- Emperical
- 7- Conceptual
- 8- Physical-Based
- 9- Universal Soil Loss Equation
- 10- Wschmeier
- 11- Smith

توسعه داده شد. با وجود نسخه‌های تجدیدنظرشده<sup>۱</sup> (RUSLE) و اصلاح شده<sup>۲</sup> (MUSLE) (ویشمایر و همکاران، ۱۹۷۸: ۲۸۲؛ رمورتل و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱: ۲۷)، USLE هنوز در مطالعات زیادی که در خصوص برآورد تلفات خاک انجام می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. RUSLE در دسترس‌ترین مدل عملی پیش‌بینی فرسایش است که به سادگی در مقیاس محلی و منطقه‌ای اجرا می‌شود. مدل RUSLE می‌تواند پتانسیل فرسایش خاک را به صورت سلول به سلول پیش‌بینی کند (شنده و مانجشره<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰: ۱۳۰) که هنگام تلاش برای شناسایی الگوی مکانی تلفات خاک فعلی در یک منطقه بزرگ بسیار مفید است. علاوه بر این، بسیاری از پارامترها مثل شیب، جهت جغرافیایی و غیره که از مدل رقومی ارتفاع استخراج شده و نقشه‌ی کاربری اراضی و پوشش زمین<sup>۵</sup> (LULC) که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند، به سادگی با RUSLE ترکیب می‌شوند. استفاده از روش‌های مرسوم (سنتی) برای ارزیابی خطر فرسایش خاک هزینه‌بر و زمان‌بر است، به نظر می‌رسد ادغام مدل‌های فرسایش خاک موجود، داده‌های میدانی (صحرائی) و داده‌های فراهم شده بوسیله‌ی فناوری سنجش از دور<sup>۶</sup> (RS) بواسطه‌ی استفاده از سامانه‌ی اطلاعات مکانی<sup>۷</sup> (GIS) یک ابزار با ارزش برای مطالعات بیشتر باشد (فرناندز و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۳: ۱۲۸؛ گیتاس و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۹: ۸؛ خو و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۹: ۱۶۴۳). کشور ایران با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر در سال، جزء نقاط خشک دنیا محسوب می‌گردد. همه‌ی مسئولان صنعت آب کشور خود را موظف به بهره‌برداری و استفاده بهینه از آب‌های موجود این سرزمین می‌دانند. وزارت نیروی جمهوری اسلامی ایران با محوریت شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد بر اساس رسالت بهره‌برداری بهینه از آب و به استناد

- 1- Revised Universal Soil Loss Equation
- 2- Modified Universal Soil Loss Equation
- 3- Remortel et al.,
- 4- Shinde & Manjushree
- 5- Land Use-Land Cover
- 6- Remote Sensing
- 7- Geographical Information System
- 8- Fernandez et al.,
- 9- Gitas et al.,
- 10- Xu et al.,

اعتقادات علمی، مهار بخشی از آب رودخانه‌ی بشار و ذخیره‌ی آن را با هدف تأمین آب شرب شهرهای یاسوج و شیراز، آب مورد نیاز صنایع شهر یاسوج و آب مورد نیاز کشاورزی شهرستان بویراحمد با سطح ۵۰۰۰ هکتار به ترتیب به میزان، ۹۸، ۱۷ و ۴۲ میلیون متر مکعب را با ساخت سد تنگ سرخ در دستور کار خود قرار داد. بررسی فرسایش و رسوب در زنجیره مطالعات سدها به عنوان یکی از حلقه‌های مهم تصمیم‌گیری و موفقیت و کارآمدی سدها با هدف آگاهی از وضعیت تخریبی حوضه‌ی سد و برنامه‌ریزی جهت حفاظت خاک آن دارای اهمیت زیادی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طراحی سدها غالباً بر طراحی مهندسی عمران و جنبه‌های سازه‌ای آنها توجه شده است و به موضوع تولید رسوب در حوضه‌ی سدها و اثرات آن روی عمر مفید سد در آینده توجه خاصی نمی‌شود و همین موضوع نیز باعث می‌شود که بسیاری از این سدها بعد از چند سال به سرعت از رسوب پر شوند. اگر چه اقدامات و فعالیت‌های گوناگونی برای حفاظت خاک و کاهش اثرات فرسایش و تولید رسوب در حوضه سد تنگ سرخ می‌توان انجام داد، اما به دلیل منابع مالی و انسانی محدود نمی‌توان این فعالیت‌ها را در کل حوضه‌ی سد اجرا کرد؛ لذا این مطالعه با هدف شناسایی توزیع مکانی فرسایش خاک برای توسعه سناریوهای مدیریتی و اقدامات بیولوژیک، سازه‌ای و بیومکانی در مؤثرترین روش به منظور، حفاظت، اصلاح و احیاء حوضه‌ی سد تنگ سرخ انجام شده است. دسترنج و همکاران (۱۳۹۴) فرسایش و رسوب سالانه حوضه‌ی زیدشت طالقان را با استفاده از مدل EPM<sup>1</sup> و GIS برآورد کردند. نتایج نشان داد که زیدشت از نظر فرسایش و تولید رسوب در وضعیت متوسط قرار دارد. انصاری لاری و انصاری (۱۳۹۵) کاربرد GIS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از RUSLE را در حوضه‌ی قلعه چای بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح دشت از صفر تا ۲/۲۲ تن در هکتار در سال متغیر است و منطقه‌ی مورد مطالعه جزء طبقه‌ی فرسایشی خیلی کم تا کم قرار دارد. واعظی و همکاران (۱۳۹۶) مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی را در عرصه‌های

---

1- Erosion Potential Model

زهکش کوچک در منطقه‌ی نیمه‌خشک شمال غربی ایران ارزیابی کردند. بر اساس نتایج، میانگین هدرفت خاک برآوردی ۴۳/۶۸ تن در هکتار در سال بود که ۶/۵۸ برابر بیشتر از میانگین رسوب سالانه (۸/۶۷ تن در هکتار در سال) در عرصه‌های زهکش بود. مختاری و همکاران (۱۳۹۷) میزان فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE در حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی برآورد کردند. نتایج نشان داد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه بر حسب تن در هکتار در سال از ۸ تا ۷۵ متغیر است. عظیمی سردری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای حال و آینده مقدار فرسایش خاک را در حوضه‌ی آبریز سد استقلال میناب با بهره‌گیری از مدل RUSLE-3D و سناریوهای تغییر اقلیم ارزیابی کردند. نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش در آینده نشان‌دهنده‌ی افزایش آن از ۱۴۶/۷ میلی‌متر به ۱۷۸/۶۱ میلی‌متر در دوره‌ی آینده و به تبع آن افزایش عامل فرساینده‌ی باران (R) و در نتیجه افزایش نرخ فرسایش خاک در حوزه سد استقلال میناب است. دابرال و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) با استفاده از USLE، GIS و RS، فرسایش خاک را در یک حوضه‌ی آبریز تپه در شمال شرق هند ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که حدود ۷۵ درصد سطح حوضه در کلاس‌های متوسط تا خیلی شدید فرسایش قرار دارد که این مناطق نیازمند توجه فوری از نقطه‌نظر حفاظت خاک هستند. خانچول و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای برای پیش‌بینی جریان رسوب ورودی به مخزن سد آجریا<sup>۳</sup>، نشان دادند که در طی ۱۹ سال از عمر سد حدود ۶ × ۱۰<sup>۶</sup> مترمکعب رسوب در مخزن سد تجمع می‌یابد که این مسئله باعث کاهش ۱۷ درصدی حجم مخزن سد در هر سال خواهد شد. آجم و تراونه<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) تولید رسوب حوضه آبریز سد والا<sup>۵</sup> در اردن را با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات مکانی ارزیابی کردند. آنها بیان کردند که نتایج این مطالعه می‌تواند در کمی کردن تولید رسوب در بلند مدت و همچنین در شناسایی حساس‌ترین مناطق به فرسایش در داخل حوضه‌ی آبریز و به

1- Dabral et al.,

2- Khanchoul et al.,

3- Algeria

4- Ijam &amp; Tarawneh

5- Wala

سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های اثربخش و کارا کمک کند. آماو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) اثرات رسوب‌گذاری بر سدهای کوتاه را در ۲۲ مخزن سد کوتاه در حوضه آبریز لوتسانه<sup>۲</sup> در بوتسوانا<sup>۳</sup> ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که میزان تولید رسوب و نسبت تحویل رسوب به ترتیب ۱/۷۴ تن در هکتار در سال و ۸۱ درصد است. آنها بیان کردند که این پارامترها برای برآورد طول عمر مفید سد و برنامه‌ریزی اقدامات اصلاحی مرتبط با مشکلات رسوب‌گذاری مفید هستند. گاسناری و رامش<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) فرسایش خاک را بوسیله‌ی مدل RUSLE، RS و GIS در حوضه آبریز نترآواتی<sup>۵</sup> در هند ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کل تلفات خاک پتانسیل سالانه حدود ۴۷۳۳۳۹ تن در سال در مقایسه با رسوب اندازه‌گیری شده ۴۴۱۸۷۰ تن در سال در طی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۳ است. استفاده از GIS، RS و مدل RUSLE برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه آبخیز ناورود توسط اسدی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده و نتایج آنها نشان داد که میزان فرسایش در حوضه از صفر تا ۸۰۰ تن در هکتار در سال متغیر است. در مطالعه‌ی حاضر استفاده از GIS و RS برای برآورد پارامترهای مدل RUSLE با قابلیت به روز رسانی، نتایج حاصل از برآورد توزیع مکانی فرسایش خاک در مقیاس حوضه آبریز سد در حال احداث تنگ سرخ ابزار مؤثری در توسعه‌ی راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسئله‌ی فرسایش خاک در حوضه سد و جلوگیری از رسوب‌گذاری آینده در مخزن سد است.

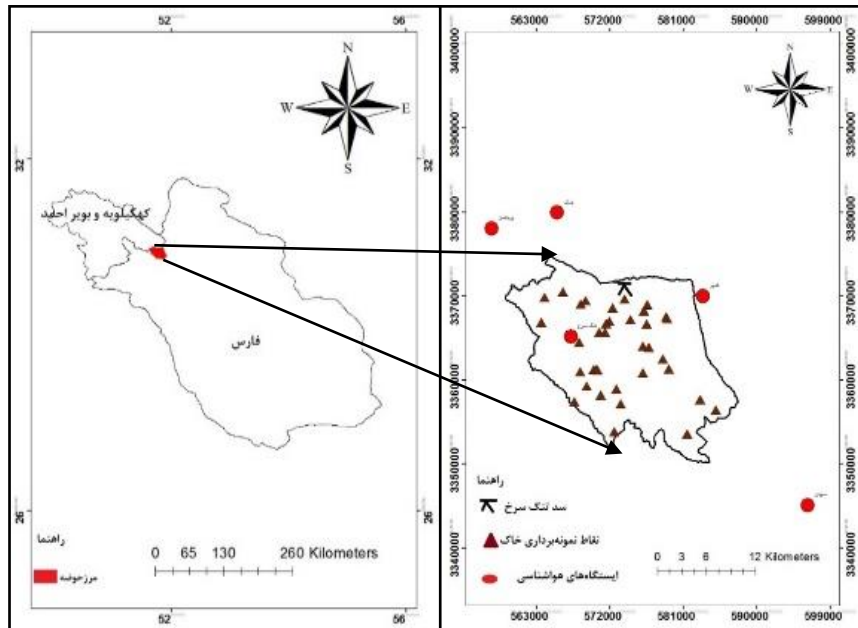
## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

---

1- Alemawe et al.,  
2- Lotsane  
3- Botswana  
4- Gasnari & Ramesh  
5- Nethravathi  
6- Asadi

منطقه‌ی مورد مطالعه حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ با مساحت ۳۹۲۲۲ هکتار از شرق و جنوب شرق شهرستان بویراحمد (مرز استان فارس) آغاز و تا حومه‌ی شهر یاسوج در موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۴ ثانیه طول شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه و ۳۲ ثانیه شمالی ادامه می‌یابد (شکل ۱). میزان تغییرات ارتفاع در منطقه‌ی مورد مطالعه از ۲۰۰۵ تا ۳۲۸۶ متر از سطح دریا است. از لحاظ شیب دامنه، بیشترین مساحت منطقه در کلاس شیب بیشتر از ۲۵ درصد با مساحت حدود ۱۸۷۱۴/۴۷ هکتار است. از لحاظ جهت جغرافیایی نیز بیشترین مساحت منطقه در جهت جنوبی با ۲۵/۵ درصد از کل منطقه است. بیشترین و کمترین واحدهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب به آهک و دولومیت (۵۰ درصد از مساحت منطقه) مربوط به سازند جهرم آسماری (OE) و قلوه‌سنگ و ریگ (۰/۲ مساحت منطقه) مربوط به سازند کنگلومرا (Qplc) اختصاص یافته است. کاربری‌ها مرتع، جنگل و زراعت به ترتیب ۸۱، ۱۳ و ۵ درصد از مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۱). بر اساس تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک (۳۶ نمونه خاک با توزیع مناسب در منطقه‌ی مورد مطالعه)، خاک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه دارای بافت لومی تا لومی رسی، غیرقلیایی، غیرشور، دارای آهک زیاد و ماده‌ی آلی متوسط هستند. متوسط بلندمدت بارندگی سالانه در منطقه‌ی تنگ سرخ حدود ۶۵۰ میلی‌متر است. مهم‌ترین راه ارتباطی جهت دسترسی به منطقه‌ی جاده‌ی اصلی یاسوج به شیراز است.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز تنگ سرخ در مرز استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد  
 Fig (1): Location of Tang-e-Sorkh basin on the border of Fars and Kohgiluyeh and Boyeahmad provinces

جدول (۱) درصد و مساحت اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی در حوضه آبریز سد تنگ سرخ  
 Table (1): Percentage and area allocated to each land use class in the basin area of Tang-e-Sorkh Dam

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	طبقه کاربری
۵/۱	۱۹۹۷/۷۳	کشاورزی
۱۳/۵	۵۲۷۲/۷۴	جنگل
۸۱/۴۰	۳۱۹۲/۳۰۰	مرتع

## ۲-۲- داده‌ها

برای برآورد تلفات خاک در حوضه آبریز تنگ سرخ از داده‌های مدل رقومی ارتفاع، بارندگی، خاک و تصویر ماهواره‌ای استفاده شده است (جدول ۲).



جدول (۲): داده‌های مورد استفاده

Table (2): Data used

نوع داده	منبع	توضیحات
مدل رقومی ارتفاع (DEM)	نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور	قدرت تفکیک پذیری ۳۰ متر
تصاویر ماهواره‌ای	وب سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) به تارنمای <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a>	سنجنده ETM <sup>+</sup> سال ۲۰۱۳ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر
خاک	مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی	حفر ۳۶ پروفیل خاک در منطقه مورد مطالعه و برداشت نمونه از خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)
بارندگی	سازمان هواشناسی	ایستگاه‌های هواشناسی تنگ سرخ، وزک، پریکدان، سپیدان و کمهر

## ۲-۳- برآورد پارامترهای مدل

در شکل (۲) نمودار جریانی انجام تحقیق نشان داده شده است که در ادامه هر گام تشریح خواهد شد.

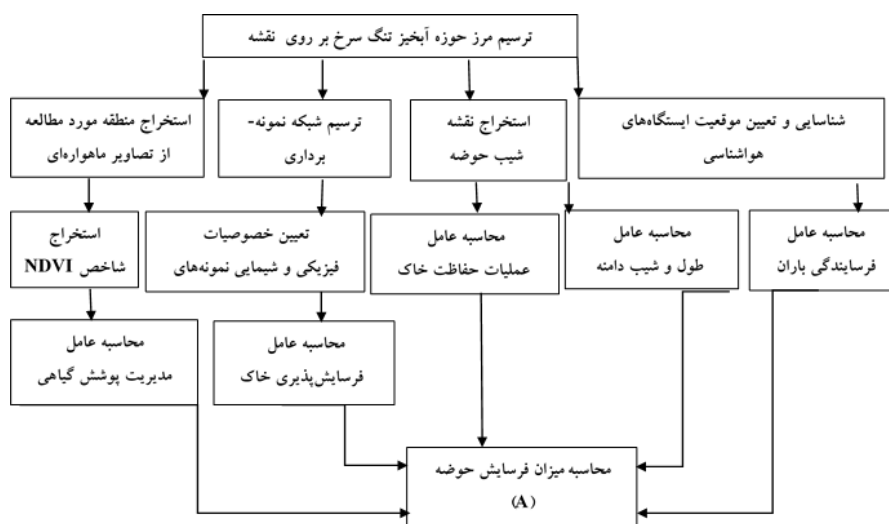
ابتدا مرز حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ بر روی نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی ترسیم شد. سپس ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوضه و اطراف آن شناسایی و روی نقشه علامت‌گذاری شدند. RUSLE میانگین فرسایش خاک سالانه مورد انتظار روی یک زمین شیب‌دار را با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌کند.

$$A=R.K.L.S.C.P$$

رابطه‌ی (۱)

که A میانگین مکانی تلفات خاک محاسبه شده و میانگین زمانی تلفات خاک هر واحد سطح که بر حسب واحدهای انتخاب شده برای K و دوره‌ی زمانی انتخاب شده برای R بیان می‌شود. در عمل، این واحدها معمولاً به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که A بر حسب تن در هکتار در سال (t ha<sup>-1</sup>/yr) بیان شود. R عامل فرسایش رواناب - باران بر حسب

مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت بر سال، K عامل فرسایش‌پذیری خاک - میزان تلفات خاک هر واحد شاخص فرسایش برای یک خاک مشخص که از اندازه‌گیری در پلات استاندارد با طول ۲۲/۱ متر، شیب ۹ درصد و آیش دائم حاصل می‌شود و به تن در هکتار در ساعت بر هکتار بر مگاژول بر میلی‌متر بیان می‌شود. L طول شیب، S درجه شیب، C فاکتور مدیریت پوشش گیاهی و P فاکتور اقدامات حفاظتی است که پس از روی هم‌گذاری لایه‌ها، مقدار فرسایش به صورت مکانی برآورد شد.



شکل (۲): نمودار جریان‌ی مراحل انجام تحقیق

Figure (2): Flowchart of research stages

### ۲-۳-۱- فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

فرساینده‌گی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود (لال<sup>۱</sup>، ۱۹۹۰: ۵۸۰). معمول‌ترین شاخص فرساینده‌گی باران، فاکتور R مربوط به مدل‌های USLE و RUSLE می‌باشد. بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، در بسیاری از نقاط دنیا، فاکتور R

همبستگی زیادی با فرسایش خاک دارد (فرو و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱: ۵۴۹؛ رنارد و فریموند<sup>۲</sup>، ۱۹۹۴: ۲۸۷؛ ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸: ۵۳۷؛ یو و روزول<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶: ۵۵۹). فاکتور R برای دوره‌های مختلف، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I30) به دست می‌آید. اغلب از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، جهت برآورد فاکتور R در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴؛ یو و روزول، ۱۹۹۶). در این تحقیق برای محاسبه‌ی فاکتور R بعد از تعیین ایستگاه‌های باران‌سنجی در داخل و اطراف منطقه‌ی مورد مطالعه شامل ایستگاه‌های تنگ سرخ، وزک، پریکدان، سپیدان و کمهر (شکل ۱)، بارندگی ماهیانه و سالیانه در هر ایستگاه و در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه بازسازی گردید. در مرحله بعد با استفاده از رابطه‌ی (۲)، شاخص فورنیر و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها به دست آمد. رابطه شاخص فورنیر، F به صورت رابطه‌ی (۲) است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

که  $p_i$  متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه  $i$  و  $P$  متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این روش با تقسیم مجموع مجذور بارندگی‌های ماهانه به متوسط بارندگی همان سال، مقدار شاخص فورنیر در هر سال به دست می‌آید. سپس برای به دست آوردن متوسط شاخص فورنیر در طول دوره‌ی آماری در هر ایستگاه، از مقادیر شاخص فورنیر سال‌ها میانگین‌گیری شده است (رنارد و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۷: ۲۱۳). محاسبه‌ی شاخص R در هر ایستگاه بر اساس روابط ۳ و ۴ است (رنارد و فری<sup>۵</sup>، ۱۹۹۳: ۴۵۸).

$$R = (0.07397 * F^{1.847}) / 17.2 \quad F < 55 \text{mm} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$R = (95.77 - 6.081 * F + 0.477 * F^2) / 17.2 \quad F \geq 55 \text{mm} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

1- Ferro et al.,  
2- Renard & Freimund  
3- Yu & Rosewell  
4- Renard  
5- Renard & Ferreira

### ۲-۳-۲- فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)

فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)، سرعت فرسایش پذیری خاک به ازای واحد شاخص فرسایش باران است که در پلات استاندارد اندازه گیری می شود و اغلب با استفاده از خصوصیات خاک تعیین می گردد. اگر چه فاکتور K با بافت، میزان ماده ی آلی، نفوذ پذیری و ساختمان خاک رابطه دارد، اما با نوع تیپ خاک همبستگی بالایی دارد (ویشمایر، ۱۹۷۱). شاخص فرسایش پذیری از رابطه ی (۵) محاسبه گردید (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

$$100K = 2.1 \times 10^{-4} (12 - Om) M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3) \quad (5)$$

که Om درصد مواد آلی خاک، S کلاس ساختمان خاک، P کلاس نفوذ پذیری خاک و M پارامتر اندازه ذرات است که محاسبه ی آن بر حسب رابطه ی (۶) است.

$$M = a(a + b) \quad (6)$$

که a درصد ذرات ۰/۰۰۲ تا ۰/۱ میلی متر (مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز) و b درصد ذرات ۰/۱ تا ۲ میلی متر است.

### ۲-۳-۳- فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S)

فاکتورهای L و S در مدل RUSLE بیانگر تأثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک می باشد. ثابت شده که افزایش طول شیب و درجه d شیب می تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود. فرسایش خالص خاک نسبت به تغییرات در درجه شیب در مقابل طول شیب حساس تر است. طول شیب فاصله ی بین نقطه ی بالایی آغاز سرراشیدی تا نقطه ای است که شیب به حداقل خود می رسد و در این نقطه رسوبات ته نشین می شوند (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). تأثیرات ویژه ی توپوگرافی روی فرسایش خاک توسط فاکتور LS (بدون واحد) بیان می گردد. برای محاسبه ی فاکتور LS از رابطه ی ۷ استفاده شد.

$$LS = \left[ \frac{\text{resolution}}{\text{normlength}} \right]^m [0.065 + 0.0456(S) + 0.00654(S)^2] \quad (7)$$

که resolution به معنی قدرت تفکیک سلول (متر)، normlength به معنی طول پلات ویشمایر (۲۲/۱ متر)، m تابع طول شیب (۰/۴) و S تندی شیب (درصد) است. در این رابطه قدرت تفکیک سلول ۳۰ متر در نظر گرفته شد.

#### ۲-۳-۴- فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C)

فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) نشان‌دهنده‌ی تأثیر کاشت در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک می‌باشد. با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد. در مدل RUSLE، فاکتور پوشش گیاهی (C)، معمولاً بر اساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸) که در این میان بیشترین ارتباط را با شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)<sup>۱</sup> دارد که با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور به دست می‌آید. شاخص NDVI برای تصویر ماهواره لندست با استفاده از رابطه‌ی (۸) به دست می‌آید.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}} \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

مقدار این شاخص از ۱ تا -۱ است. رابطه‌ی بین C و NDVI به صورت رابطه‌ی (۹) است.

$$C = ((1 - \text{NDVI}) / 2) \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

در نتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. مقدار C بین صفر و یک است که با مقدار NDVI رابطه‌ی عکس دارد.

#### ۲-۳-۵- فاکتور عملیات حفاظتی خاک (P)

کشت و کار در اراضی شیب‌دار نیازمند عملیات حفاظتی آب و خاک دارد. این عملیات باعث کاهش سرعت رواناب تا زیر حد آستانه‌ی فرسایش می‌شود که به این طریق از قدرت فرساینده‌ی آب و ظرفیت حمل آن می‌کاهد. عملیات حفاظتی شامل کشت کنتوری،

1- Normalized Difference Vegetation Index

سیستم تراس بندی، آبراهه های پوشش دار و غیره می باشد. فاکتور P، نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است (رنارد و همکاران، ۱۹۹۷) در این تحقیق، فاکتور P بر اساس نقش  $C = ((1 - NDVI) / 2)$  شیب تهیه شد که برای شیب های کمتر از ۳ و بیشتر از ۲۵ درصد مقدار یک، برای شیب بین ۳-۸ درصد مقدار ۰/۵، برای شیب های ۸-۱۲ درصد مقدار ۰/۶، برای شیب های ۱۲-۱۶ درصد مقدار ۰/۷، برای شیب های ۱۶-۲۰ درصد مقدار ۰/۸ و برای شیب های ۲۰-۲۵ درصد مقدار ۰/۹ اختصاص داده شد (درزویکی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). در این مطالعه از نرم افزارهای Arc Map 10.3 و Edrisi Selva. 17 استفاده شده است.

### ۳- یافته ها و بحث

مقادیر شاخص های F و R برای ۵ ایستگاه باران سنجی در طی دوره ی آماری ۱۴ ساله در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳): مقادیر شاخص های F و R در ایستگاه های باران سنجی مختلف  
Table (3): The values of F and R indices in different rain gauge stations

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	F	R (MJ mm ha-1 h-1 y-1)
تنگ سرخ	۵۶۷۲۳۰	۳۳۶۵۱۶۴	۸/۱۲۱	۱/۱۸۹
وزک	۵۶۵۵۴۰	۳۳۷۹۹۳۱	۸/۱۲۳	۶/۱۹۵
پریکدان	۵۵۷۵۵۷	۳۳۷۸۰۳۸	۸/۱۲۰	۱۸۶
سپیدان	۵۹۶۲۲۳	۳۳۴۵۰۶۳	۱۰۸	۳/۱۴۷
کمه	۵۸۳۳۸۸	۳۳۶۹۹۸۶	۸/۱۵۹	۷/۳۳۲

چنانچه در جدول (۳) مشاهده می شود، مقدار متوسط فاکتور R، از ۱۴۷/۳ تا ۳۳۲/۶۹ مگا ژول میلی متر بر هکتار ساعت سال متغیر بوده است.

## ۳-۱- شاخص فرسایش پذیری خاک (K)

مقادیر فاکتور K برای ۳۶ نمونه خاک مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): آماره‌های فاکتور فرسایش پذیری خاک و متغیرهای مربوط به آن

Table (4): Soil erodibility factor statistics and related variables

آماره‌ها	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماده آلی	درصد شن خیلی ریز	فرسایش پذیری خاک
میانگین	۳۸/۳۴	۳۹/۳۹	۱/۹۶	۲/۵	۰/۲۶
حداقل	۱۴	۱۴	۰/۶۱	۰/۰۶	۰/۰۸
حداکثر	۶۶	۷۰/۶۶	۳/۴۳	۷/۱۸	۰/۴۹
انحراف معیار	۱۱	۱۲/۸۷	۰/۸	۱/۳۷	۰/۰۹
ضریب تغییرات	۳۲	۳۳	۴۱	۵۴	۳۳

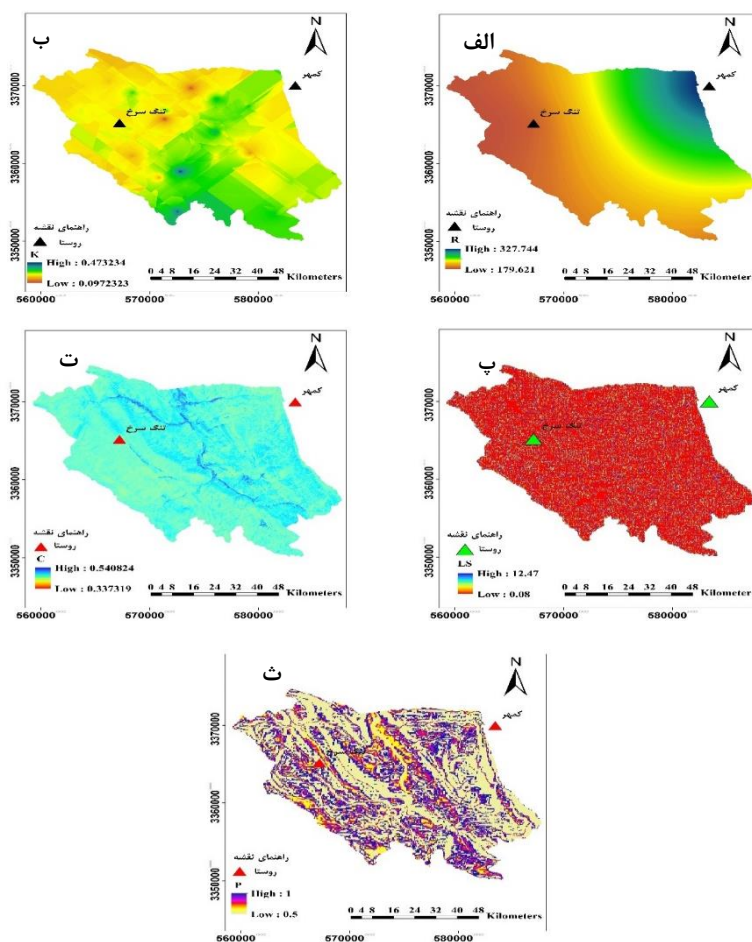
مقدار K در منطقه‌ی مورد مطالعه از ۰/۰۸ تا ۰/۴۹ با میانگین ۰/۲۵ مگا تن در هکتار در ساعت بر مگا ژول هکتار میلی‌متر متغیر بوده است. از بین پارامترهای مربوط به عامل فرسایش پذیری، درصد شن خیلی ریز متغیرترین پارامتر است. در جدول (۵) آماره‌های مربوط به فاکتورهای R، K، LS، C و P ارائه شده است.

جدول (۵): آماره‌های مربوط به پارامترهای معادله RUSLE در حوضه آبریز تنگ سرخ

Table (5): Statistics related to RUSLE equation parameters in Tang-e-Sorkh basin

آماره‌ها	R	K	LS	C	P
حداقل	۱۷۹/۶۲	۰/۲	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۵
حداکثر	۳۲۷/۷۴	۰/۵	۱۲/۴۷	۰/۵۴	۱
میانگین	۲۲/۵۵	۰/۲۶	۱/۶۷	۰/۴۶	۲/۵۷
انحراف معیار	۳۵/۷۵	۰/۰۹	۱/۲۵	۰/۰۰۹	۱/۸

در شکل (۳) نقشه پارامترهای مدل RUSLE نشان داده شده است.



شکل (۳): نقشه پارامترهای مدل RUSLE در حوضه آبریز تنگ سرخ: (الف) شاخص فرساینده‌گی باران (R)، (ب) شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)، (پ) شاخص LS، (ت) شاخص پوشش گیاهی (C)، (ث) شاخص عملیات حفاظت خاک (P)

**Figure (3):** Parameters map of RUSLE model in Tang-e-Sorkh basin; (a) Rain erosivity index (R), (b) Soil erodibility index (K), (c) LS index, (d) Vegetation cover index (C), (e) Soil conservation operations index (P)



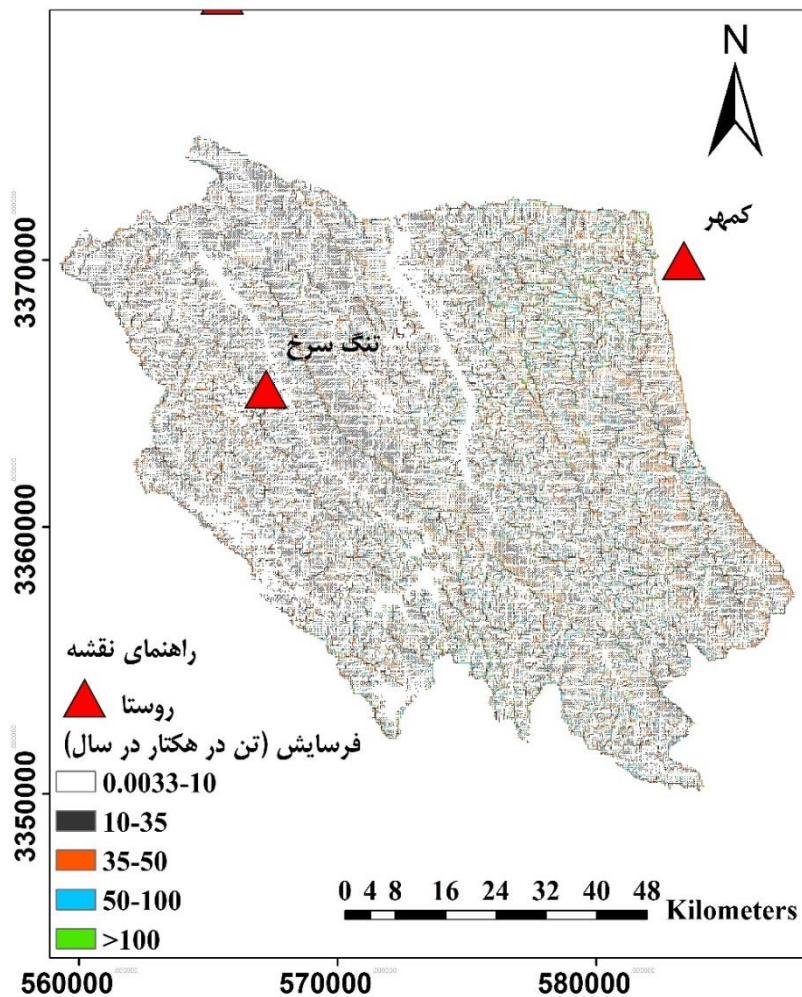
## ۳-۲- نقشه‌ی فرسایش خاک

فرسایش متوسط سالانه خاک از حاصل ضرب فاکتورهای فرساینده‌ی (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS) و عملیات حفاظتی (P) محاسبه شد. بر این اساس مقدار فرسایش خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۰/۰۰۳۳ تا بیشتر ۱۰۰ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می‌باشد. بخش عمده‌ی حوضه مورد مطالعه در کلاس فرسایش خیلی کم تا کم قرار دارد. در شکل (۴) نقشه‌ی فرسایش خاک در حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ نشان داده شده است. در جدول (۶) مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس فرسایش در حوضه‌ی آبریز سد تنگ سرخ نشان داده شده است.

جدول (۶): مساحت و درصد اختصاص یافته به هر کلاس فرسایش در حوضه‌ی آبریز سد تنگ سرخ  
Table (6): Area and percentage allocated to each erosion class in the basin area of Tang-e-Sorkh Dam

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	کلاس فرسایش
۷۵/۱	۲۹۴۵۸/۶	خیلی کم
۱۵/۶	۶۰۵۸/۷	کم
۶	۲۳۵۴/۲	متوسط
۲/۹	۱۰۰۴/۸	زیاد
۰/۷	۲۶۳/۷	خیلی زیاد

چنانچه در جدول (۶) مشاهده می‌شود، حدود ۲۵ درصد حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ (۱۰۰۰۰ هکتار) دارای میزان فرسایش بیش از ۱۰ تن در هکتار در سال و حدود ۹ درصد از آن (۳۶۰۰ هکتار) دارای میزان فرسایش خاک بیش از ۳۵ تن در هکتار در سال است که بیشترین مقدار آن در قسمت‌های غربی و شمال شرقی حوضه است که آن هم ناشی از مقدار زیاد فرساینده‌ی باران و فرسایش‌پذیری خاک در این منطقه است.



شکل (۴): نقشه‌ی فرسایش خاک در حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ  
Figure (4): Soil erosion map in Tang-e-Sorkh basin

#### ۴- نتیجه‌گیری

جمهوری اسلامی ایران بعد از کشورهای چین و ترکیه سومین کشور سدساز دنیا است. قطعاً تعدادی از سدهای احداث شده در کشور به خوبی نقش خود را ایفا کرده و با اثرگذاری از

هدر رفت آب‌ها جلوگیری کرده و علاوه بر سیراب کردن زمین‌های زراعی پایین دست خود، آب شرب میلیون‌ها انسان را نیز تأمین کرده‌اند. اما اگر سدی با مطالعات دقیق و بررسی‌های علمی ساخته نشود، نه تنها سودی نخواهد داشت بلکه موجب تلف شدن آب‌ها و خشک شدن زمین‌های پایاب سد و از بین رفتن میلیاردها تومان از منابع مالی کشور می‌شود. تفسیر فیزیکی مدل‌های تجربی فرسایش خاک، بواسطه‌ی سادگی نسبی، آسان است، این مدل‌ها به حداقل منابع نیاز دارند و می‌توان آنها را با ورودی‌های موجود در مناطقی که در معرض خطر فرسایش زیاد هستند، به طور دقیق مورد استفاده قرار داد. در بررسی شاخص‌های معادله جهانی فرسایش خاک تجدیدنظر شده مشخص شد که فاکتور فرساینده‌ی باران در سطح حوضه از  $179/62$  تا  $327/74$  مگا ژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال متغیر است که از غرب به شرق با کوهستانی شدن حوضه مقدار فرساینده‌ی باران افزایش یافته است. میزان فرسایش‌پذیری خاک منطقه از کمتر از  $0/2$  تا بیشتر از  $0/5$  تن هکتار ساعت بر مگا ژول هکتار میلی‌متر متغیر بوده است. مقدار شاخص فرسایش‌پذیری در بخش عمده‌ای از منطقه بین  $0/2$  تا  $0/3$  تن هکتار ساعت بر مگا ژول هکتار میلی‌متر و کلاس حساسیت کم به فرسایش است که این مسئله ناشی از ماده‌ی آلی زیاد و بافت رسی و لومی رسی خاک در منطقه است. منطقه‌ی مورد مطالعه در قسمت جنوب غربی دارای بیشترین فرسایش‌پذیری می‌باشد که این موضوع به‌خاطر سیلت فراوان، شن خیلی ریز زیاد، نفوذپذیری کم و ساختمان توده‌ای است. نتیجه حاصل از بررسی فاکتور پوشش گیاهی نشان داد که مقادیر این فاکتور از  $0/33$  تا  $0/54$  متغیر است که در قسمت‌های غربی و جنوب غربی کمترین مقدار این شاخص مشاهده شده است که این موضوع نیز ناشی از افزایش پوشش گیاهی و شاخص NDVI است. شاخص طول و درجه شیب از  $0/08$  تا  $12/47$  متغیر است که در شرق و جنوب شرقی به دلیل درصد شیب زیاد بیشترین مقدار و در قسمت مرکزی حوضه به دلیل درصد شیب کم دارای کمترین مقدار است. شاخص عملیات حفاظتی خاک از  $0/5$  تا  $1$  است که در قسمت‌های مرکزی حوضه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل شیب زیاد دارای بیشترین مقدار و در قسمت‌های غرب و شمال شرقی به دلیل شیب کم دارای کمترین مقدار است. نقشه‌ی فرسایش خاک حاصل

از معادله‌ی جهانی فرسایش خاک تجدید نظر شده در حوضه‌ی آبریز سد تنگ سرخ نشان داد که حدود ۲۵ درصد حوضه دارای میزان فرسایش بیش از ۱۰ تن در هکتار در سال و حدود ۹ درصد از آن (۳۶۰۰ هکتار) دارای میزان فرسایش خاک بیش از ۳۵ تن در هکتار در سال است. مقدار آستانه‌ی تلفات خاک<sup>۱</sup> به عنوان یک معیار برای قضاوت در مورد خطرات بالقوه فرسایش و به تبع آن کاهش تولید خاک و رسوب‌گذاری بیش از حد در پایاب رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این حد آستانه همچنین به عنوان معیار نهایی برای کنترل فرسایش به منظور حفظ تولید خاک و امنیت محیطی در بلندمدت مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر آستانه‌ی تلفات خاک ۲/۵ تا ۱۲/۵ تن در هکتار در سال در نظر گرفته شود (سرویس حفاظت از منابع طبیعی- وزارت کشاورزی آمریکا<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹)، میزان فرسایش خاک حدود ۱۰۰۰۰ هکتار از اراضی حوضه‌ی آبریز سد بیشتر از حد قابل تحمل فرسایش خاک خواهد بود که این میزان فرسایش و تولید رسوب ناشی از آن هم دارای اثرات درون منطقه‌ای<sup>۳</sup> و هم دارای اثرات برون منطقه‌ای<sup>۴</sup> است که مهم‌ترین آن رسوب‌گذاری در مخزن سد و کاهش عمر مفید سد تنگ سرخ در آینده خواهد بود و از این نظر باید اقدامات عاجل حفاظت خاک در اراضی شناسایی شده در حوضه بالادست سد صورت گیرد. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل RUSLE مقدار فرسایش خاک در حوضه‌ی آبریز گابریک در استان هرمزگان را از ۰/۰۰۳۳ تا ۳۲۶۹۹ تن در هکتار در سال برآورد کردند. بابایی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل RUSLE مقدار میانگین فرسایش خاک را در حوضه‌ی آبریز کن ۲۰/۲۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند. نتایج این تحقیق قابلیت بالای سیستم اطلاعات مکانی و تصاویر ماهواره‌ای را برای تهیه نقشه‌ی فاکتورهای USLE نشان داد. بنابراین GIS و تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند به صورت مؤثر، در توسعه‌ی راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسئله فرسایش خاک به کار گرفته شود. مدل RUSLE مبتنی بر GIS برای شناسایی

1- T value

2- Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service

3- On - Site Effects

4- Off - Site Effects

توزیع مکانی مناطق مختلف حساس به فرسایش در حوضه‌ی آبریز تنگ سرخ مورد استفاده قرار گرفت. می‌توان بیان کرد که در شرایط فعلی حوضه از نظر نبود آمار واقعی فرسایش خاک، بهترین روش برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب با هدف معرفی اقدامات حفاظت خاک در سطح حوضه استفاده از مدل‌های تجربی مرسوم است که مدل RUSLE، به گواه گستردگی استفاده در سایر مطالعات، نسبت به سایر مدل‌ها نتایج دقیق‌تری ارائه می‌کند. البته محطاطانه‌تر آن است که نتایج این مدل با داده‌های واقعی مقایسه و کارایی آن سنجیده شود اما متأسفانه هیچ نوع داده واقعی از فرسایش و تولید رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود ندارد. مدل RUSLE می‌تواند پتانسیل فرسایش خاک را به صورت سلول به سلول پیش‌بینی کند که هنگام تلاش برای شناسایی الکوی مکانی تلفات خاک فعلی در داخل یک منطقه بزرگ بسیار مفید است. در واقع نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک پشتیبان برای برنامه‌ریزی نگهداری سد مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این مدل می‌تواند به اجرای اقدامات حفاظتی و کاهش حجم رسوبات در سطح حوضه‌ی آبریز و نهایتاً در مخزن سد و در نتیجه افزایش عمر مفید سد کمک کند. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در توسعه سناریوهای مدیریتی و فراهم کردن گزینه‌هایی برای تصمیم‌گیران برای مدیریت خطرات فرسایش خاک در مؤثرترین روش برای اولویت‌بندی مناطق مختلف حوضه به منظور اصلاح و احیاء فراهم می‌کند.

#### ۵- منابع

- Ahmadi, A., Mohammad Nia, A., & Golshani, N. (2016). Sensitivity Analysis of Geomorphological Variables Affecting Floods Using HEC-HMS Model (Case Study: Zar Cheshmeh Hunjan - Isfahan Province), *Journal of Hydrogeomorphology*, 3, 21-42.
- Ahmadi, H., & Dadashi Rudbari, A. (2016). Rainfall-Runoff Modeling for Flood Risk Management (Case Study: Haraz Region), *Rescue Research Journal*, 4, 52-72.
- Alemawe, B.F. (2013). Assessment of Sedimentation Impacts on Small Dams—A Case of Small Reservoirs in the Lotsane Catchment. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 1127-1131.
- Ansari lari, A., & Ansari, M. (2016). Investigation of GIS application for estimating soil erosion and sediment load using RUSLE model (Case study: Qala-e-Chay basin). *Journal of Geography and Regional Development*, 14 (2), 155-173.
- Asadi, H., Honarmand, M., Vazifedoust, M., & Moussavi, A. (2017). Assessment of changes in soil erosion risk using RUSLE in Navrood watershed, Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 19(1), 231-244.
- Azimi Sardari, M.R., Bazrafshan, O.A., Panagupulus, T., & Rafiei Sardoei, E. (2019). Current and future assessment of soil erosion in the catchment area of Esteghlal Dam in Minab using RUSLE-3D model and climate change scenarios. *Desert Management*, 7 (14), 132-119.
- Babaei, M., Hoseini, S.Z.A., Nazari Samani, A.A., & Almodaresi, S.A. (2015). Soil erosion zoning using RUSLE 3D model, Case study: Can basin. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8(2), 165-181.
- Dabral, P.P., Baithuri, N., & Pandey, A. (2008). Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 22(12): 1738-1798.
- Dastranj, A., Asadi Nlivan, O., Falah, S., Salehnasab, A., & Jafari, SH. (2015). Estimation of annual erosion and sediment using EPM and GIS models (Case study: Zidasht, Taleghan). *Hydrogeomorphology*, 4, 39-55.

- Drzewiecki, W., Wezyk, P., Pierzchalski, M., & Szafranska, B. (2014). Quantitative and qualitative assessment of soil erosion risk in małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. *Pure and Applied Geophysics*, 171: 867–895.
- Fernandez, C., Wu, J.Q., & McCool, D.O. (2003). Estimating water erosion and stimated yield with GIS, RUSLE and SEDD. *Journal of Soil and Water conservation*, 58(3), 128-136.
- Ferro, V., Giordano, G., & Lovino, M. (1991). Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrological Science Journal*, 36 (6), 549-564.
- Gasnari, B.P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS- A case study of Nethravati Basin. *Geoscience Frontiers*, 7, 953-961.
- Gitas, I. (2009). Multi temporal soil erosion risk assessment in N Chalkidiki Using a modified USLE raster model. *EARSEL EProceedings*, 8.
- Hoyos, N. (2005). Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63, 85-108.
- Ijam, A.Z., & Tarawneh, E.R. (2012). Assessment of sediment yield foe Wala dam catchment area in Jordan. *European Water*, 38, 43-58.
- Jha, K., & Paudel, C. (2010). Erosion Prediction by empirical models in a mountainous watershed in Nedpal. *Journal of Spatia Hydbrology*, 10(1), 89-102.
- Khanchoul, K., Benslama, M., & Remini, B. (2010). Regressions on Monthly stream discharge to a reservoir in Algeria. *Journal of Geography and geology*, 2(1).
- Kim, J.B, Saunders, P., & Finn, P.T. (2005). Rapid assessment of soil erosion in the Rio Lempa Basin Lempa. Center America, using the universal soil loss equation and geographic information system. *Environmental Management*, 36(6), 872-885.
- Kothyari, U.U., Tewari, A.K., & Singh, R. (1994). Prediction of sediment yield. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*, 120(6), 1122-1131.
- Lal, R. (1990). *Soil Erosion in the Tropics. Principles and Management*. McGraw-Hill, New York, 580p.

- Lee, G.S., & Lee, K.H. (2006). Scaling effect for estimation soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea. *Journal of Hydrology and Earth system Sciences*, 3,135-157.
- Lu, Hua, Prosser Ian, P, Moran Chris, J, Gallant John, C, Priestley Graeme, Stevenson, Janelle, G, (2003). Predicting sheetwash and rill erosion over the Australian continent. *Australian Journal of Soil Research*, 41, 1037-1062.
- Mokhtari, L.G., Shafiei, N., & Rahmani, A. (2018). Estimation of soil erosion using RUSLE model, a case study of Noorabad Mamasani basin. *Hydrogeomorphology*, 17, 1-21.
- Nearing, M.A, Jetten, V, Baffaut, C, Cerdan, O, Couturier, A, Hernandez, M, Le Bissonnais, Y, Nichols, M.H, Nunes, J.P, Renschler, C.S, Souchre, V, & Van Oost, K. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, 61,131-154.
- Remortel Van, R., Hamilton, M., & Hickey, R. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slop length processing of digital elevation data. *Cartography*, 30(1), 27-35.
- Renard, K.G., & Ferreira, V.A. (1993). RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality*, 22(3), 458-466.
- Renard, K.G., & Freimund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *Journal Hydrological*, 157, 287-306.
- Rendard, K.C., Foster Yoder, D., & Et Maccol, D. (1997). RUSLE Revised: status, questions, answers and the future. *Journal of Soil Water Conservation*, 49, 213-220.
- Renschler, C.S., Mannaerts, C., & Diekkruger, B. (1999). Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk-rainfall erosivity and soil loss ratios Andalusia, Spain. *Catena*, 34, 209-225.
- Rezaei, P., Faridi, P., Ghorbani, M., & Kazemi, M. (2014). Estimation of soil erosion using RUSLE model and identification of its most effective factor in Gabrik watershed-southeast of Hormozgan province. *Quantitative Geomorphological Research*, 3 (1), 113-97.



- Saha, S.K. (2003). Water and Wind Induced Soil Erosion Assessment and Monitoring Using Remote Sensing and GIS. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, 315-330.
- Shinde, K.N., & Manjushree, S. (2010). Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resource and Environmental Engineering*, 2(3), 130-136.
- U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (USDA-NRCS), (1999). *National Soil Survey Handbook: Title 430-VI*. U.S. Government printing office, Washington D.C.
- Vaezi, A., Abasi, M., & Haji Maleki, KH. (2017). Evaluation of RUSLE model combined with remote sensing and GIS in small drainage areas in the semi-arid region, northwestern Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11 (38), 1-10.
- Wischmeier, W.H., & Smith, B.D. (1978). Prediction rainfall erosion losses. A Guide for Conservation Planning Agriculture, Department of Agriculture. *Agriculture Handbook*, 58,537.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., & Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil Water Conservation*, 26, 189-192.
- Wishmeier, W.H., & Smaith, D.D. (1978). Prdeicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to conservation pianning. *Agriculture Handbook*, 282 USDA-ARS. USA.
- Xu, Y.Q., Shao, X.M., & Peng, J. (2009). Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou province, chin. *Environmental Geology*, 56, 1643-1652.
- Yu, B., & Rosewell, C.J. (1996). A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans, American, Society, Agriculture, Engineering*, 39(2), 559-561.