

مقایسه مدل‌های SLEMSA و CORINE در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه تنگ سرخ شیراز)

مژگان انتظاری^{1*}، حمیده غلام حیدری²

1- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

دریافت: 92/5/16 پذیرش: 93/2/6

چکیده

یکی از مشکلاتی که محققان رشته‌های ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، کشاورزی و... با آن مواجه هستند، برآورد میزان رسوب در سیستم‌های آبی است که میزان آن می‌تواند به سازه‌های آبی همچون سدها خسارت‌های زیادی وارد کند. هدف این تحقیق، بررسی شدت فرسایش و عوامل مؤثر در آن و مقایسه دو مدل SLEMSA و CORINE در حوضه آب‌خیز تنگ سرخ شیراز است. جهت مقایسه و ارزیابی این دو مدل، ابتدا نقشه‌ها و مقادیر پارامترهای اصلی در مدل اسلمسا، شامل داده‌های توپوگرافی، فرساینده‌های باران، و فرسودگی خاک و پوشش گیاهی تهیه شد؛ سپس میزان فرسایش، کانون‌های فرسایشی و مهم‌ترین عامل مؤثر در این مدل با استفاده از نرم‌افزارهای ARC MAP (تابع raster calculator) محاسبه شد؛ سرانجام با محاسبه شاخص‌های اصلی در مدل کورین مانند فرسایش‌دهندگی، فرسایش‌پذیری، شیب و پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از نظر میزان فرسایش طبقه‌بندی شد. مقایسه این دو مدل نشان می‌دهد مدل کرین با توجه به این‌که به جزئیات بیشتری می‌پردازد، از دقت بیشتری نیز برخوردار است و شیب مهم‌ترین عامل در افزایش میزان فرسایش در حوضه است.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، فرسایش خاک، مدل SLEMSA، مدل CORINE، تنگ سرخ شیراز.

1- مقدمه

واژه فرسایش از ریشه لاتین erodere به معنای ساییدگی، و عبارت است از فرسودگی و از بین رفتن مداوم خاک سطح زمین توسط آب یا باد که در انگلیسی و فرانسه به آن اروژن

و آروزیون (erosion) و در آلمانی abtreg می‌گویند (کردوانی، 1380: 97). یکی از عوامل اساسی در فرایندهای هوازدگی و فرسایش سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل‌دهنده آنهاست. آثار منفی فرسایش خاک در خارج از محل وقوع از راه آلودگی فیزیکی و شیمیایی منابع آب، رسوب مواد فرسایش‌یافته در اراضی کشاورزی، صدمه به بسیاری از سازه‌ها و تأسیسات ذخیره و انتقال آب، کاهش ظرفیت مخازن و سدها و کاهش ظرفیت عبور آب آب‌راه‌ها، کانال‌ها و زهکش‌ها مشهود است. بنابراین، به‌منظور برنامه‌ریزی و نگهداری منابع خاک، مدل‌های مختلفی طراحی و پیش‌نهاد شده است. اولین مدلی که برای ارزیابی میزان فرسایش استفاده شد، مدل جهانی تلفات خاک (USLE)¹ بود که برای پیش‌بینی متوسط سالیانه تلفات خاک حاصل از فرسایش ورقه‌ای و شیار در یک قطعه زمین یا دامنه طراحی شد. این مدل را ویشمایر و اسمیت² (1978) با جمع‌آوری اطلاعات فرسایش خاک از 36 ایستگاه تحقیقاتی در 26 ایالت آمریکا به‌دست آوردند. مدل USLE فرسایش خاک را به‌صورت ترکیبی از شش عامل که نشان‌دهنده نیروی فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب، سیستم کشت و عملیات مدیریتی است، تخمین می‌زند و جهت پیش‌بینی تلفات خاک در اراضی کشاورزی به‌کار می‌رود. اما به‌دلیل نارسایی‌های این مدل، مانند عدم استفاده آن در اراضی مرتعی و حوزه‌های آب‌خیز، اصلاحاتی در آن صورت گرفت. مدل‌هایی مانند RUSLE که مدلی تجربی است یا مدل SWAT 2000 نتیجه اصلاح و تغییراتی هستند که در مدل USLE ایجاد شده‌اند. از دیگر مدل‌هایی که برای ارزیابی خطرهای فرسایشی کاربرد دارند، می‌توان Wischmeir, IRIFER, EPM, PSIAC, FAO, Musgrave, Douglas, WEPP, CORINE و SLEMSA را نام برد. با توجه به اینکه برخی از این مدل‌ها کمی و بعضی کیفی هستند و به‌منظور مقایسه این دو گروه از مدل‌ها در ارزیابی میزان فرسایش، در این پژوهش از دو مدل SLEMSA³ و CORINE⁴ استفاده شده است.

1. Universal Soil Loos Equation

2. Wischmeir & Smith

3. Soil Loss Estimation Model for Southern Africa

4. Coordination of Information on the Environment

2- پیشینه تحقیق

مدل اسلمسا را اولین بار ال ول¹ (1978) برای نواحی جنوبی آفریقا طراحی کرد. این مدل در واقع اصلاحی بر مدل USLE است که به منظور سازگار کردن آن با شرایط آگرواقلیمی جنوب آفریقا صورت گرفته است. ال ول به این نتیجه رسید که پارامترهای مدل USLE برای شرایط آمریکا طراحی شده و اقتباس آن‌ها برای نواحی جنوب آفریقا نیازمند پاره‌ای آزمایش‌های گسترده و دست‌کم سی سال داده مزرعه‌ای است که هزینه جمع‌آوری آن بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین، ال ول مدل جدیدی طراحی کرد که در آن فرسایش خاک تابع سیستم‌های فیزیکی نظیر اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی است. پس از آن پژوهشگران زیادی این مدل را در نواحی مختلف به کار گرفتند؛ از جمله کیان ارثی در سال 1378 با بررسی آثار شدت و مدت بارش در حوضه پانزده خرداد، به این نتیجه رسید که مهم‌ترین عامل فرسایش در این حوضه، فرساینده‌گی و قابلیت فرسودگی خاک و پس از آن عامل پوشش گیاهی است. شیخی و همکاران در سال 1387 با استفاده از مدل اسلمسا میزان فرسایش حوضه موسی‌آباد تیران را تخمین زدند. اسکندری در سال 1380 با بررسی مدل اسلمسا در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه سد زاینده‌رود به این نتیجه رسید که مهم‌ترین عامل در مناطق دارای پتانسیل فرسایشی، نزدیک بودن آن به دریاچه سد است. خیراندیش در سال 1380 با مطالعه فیزیوگرافی حوضه بارکیلی با تأکید بر فرسایش و رسوب دریافت که شیب تند دامنه‌ها در بالادست منطقه از یک سو و بارندگی زیاد و تغییر اراضی جنگلی به باغات چای از سوی دیگر، در فرسایش خاک به صورت شیاری، گالی، لغزش و سولیفلوکسیون در سطح حوضه نقش مهمی دارند. شاه‌زیدی (2012) در مطالعه‌ای در حوضه ورمیشگان با بهره‌گیری از مدل اسلمسا، شیب را مهم‌ترین عامل فرسایش خاک منطقه معرفی کرد. انتظاری و همکاران در سال 1390 اصلی‌ترین عوامل فرسایش در کانون‌های پرخطر منطقه دستکن را نخست انرژی جنبشی دانستند و سپس شیب و پوشش گیاهی را عامل مؤثر دیگر نام بردند.

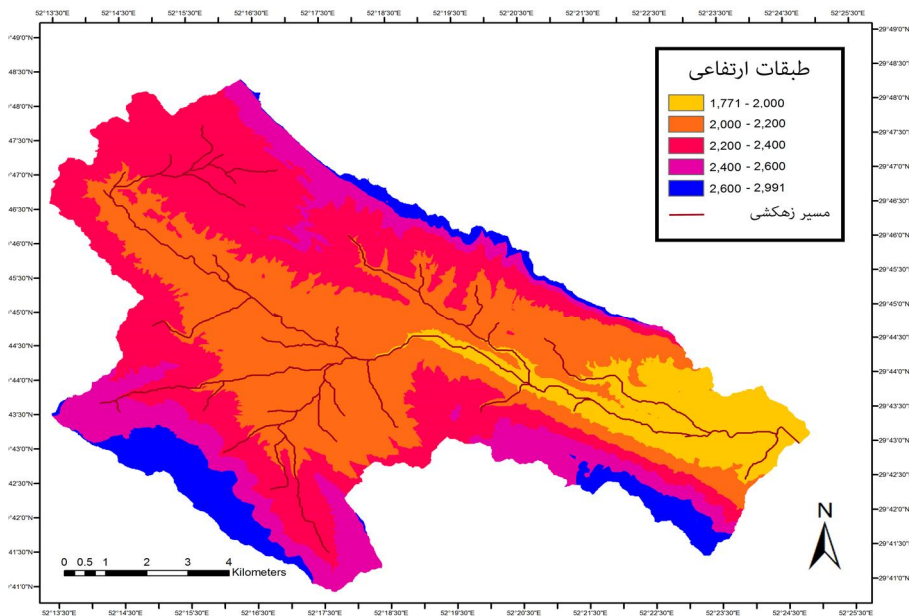
1. El Well

کرین نیز از مدل‌هایی است که برای ارزیابی خطرهای فرسایشی به کار گرفته و بر پایه مدل USLE توسعه داده شده است. دینگیز¹ و همکاران در سال 2004م خطر فرسایش خاک را در شهر گلوباسی در جنوب آنکارا با استفاده از مدل کرین تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که 79/2 درصد از مناطق مورد مطالعه با خطر فرسایش کم، 23/8 درصد متوسط و 1 درصد با خطر فرسایش بالایی روبه‌رویند. در پژوهشی دیگر بایرمین² و همکاران با کمک تصاویر ماهواره‌ای طی پنج دوره مختلف از سال 1958-2003م مطالعه‌ای در آنکارا انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که فرسایش خاک در آنکارا در دوره آخر به بیشترین حد خود رسیده است. حسین باریس در سال 2010م فرسایش خاک حوضه مالی دام را به کمک مدل کرین انجام داد. او شیب را یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان فرسایش دانست و با بررسی میزان پوشش گیاهی منطقه و تلفیق تأثیر بازدارندگی آن با تأثیر شیب بر فرسایش حوضه، شاهد افزایش پتانسیل فرسایش در حوضه با کاهش پوشش گیاهی بود. سعیده هنرمندنژاد در بررسی حوضه آب‌خیز جهرم با استفاده از مدل کرین به این نتیجه رسید که 76 درصد حوضه جهرم در محدوده فرسایش کم و 0/69 درصد منطقه در محدوده فرسایش زیاد قرار دارد.

3- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آب‌خیز تنگ سرخ شیراز با موقعیت جغرافیایی 52 درجه و 12 دقیقه تا 52 درجه و 26 دقیقه طول شرقی و 29 درجه و 40 دقیقه تا 29 درجه و 50 دقیقه عرض شمالی در محدوده تقریبی شمال غرب استان فارس واقع شده و در تقسیم‌بندی کلان هیدرولوژی ایران، یکی از زیرحوضه‌های ایران مرکزی است. مساحت حوضه 124/67 کیلومترمربع است که 87/84 درصد آن را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل داده است. حداکثر ارتفاع حوضه 2991 و حداقل آن 1771 متر از سطح دریاست. از نظر زمین‌ساخت، این منطقه جزء زاگرس چین‌خورده است.

1. Dinges
2. Bayramün



شکل 1 طبقات ارتفاعی و مسیر زهکشی حوضه تنگ‌سرخ شیراز

4- مواد و روش‌ها

هر دو پژوهش به روش توصیفی - تحلیلی انجام شده است. پس از تعیین مرز حوضه روی نقشه توپوگرافی 1:50000، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه زمین‌شناسی، کاربری اراضی، داده‌های هواشناسی شامل بارش و دما و تبخیر، نقشه‌های بافت خاک و عمق خاک موارد زیر برای هر کدام از مدل‌ها استخراج شد.

4-1- مدل SLEMSA

1. نقشه هم باران با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و رابطه بین بارش و ارتفاع؛
2. محاسبه طول دامنه و نقشه شیب در محیط ARC GIS؛
3. محاسبه میزان انرژی باران با استفاده از متوسط باران سالانه و میزان انرژی جنبشی؛
4. تهیه نقشه قابلیت فرسودگی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی و ارزش‌دهی به هر کدام از سازندها براساس میزان مقاومت در برابر فرسایش؛

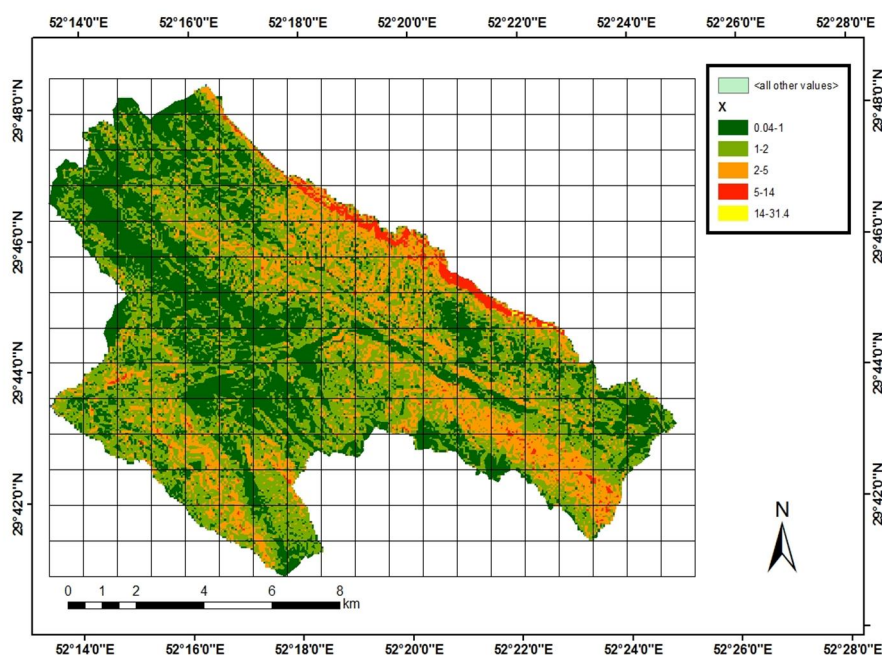
5. عامل پوشش گیاهی براساس نقشه کاربری اراضی؛

6. تهیه نقشه نهایی میزان فرسایش.

مراحل انجام مدل اسلمسا به این شکل است:

4-1-1- عامل توپوگرافی (X)

برای محاسبه میزان فرسایش به روش اسلمسا طبق معادله $Z=K.C.X$ ابتدا عامل توپوگرافی (X) که منظور از آن پستی و بلندی و شکل زمین است که در میزان میزان فرسایش تأثیر دارد، نقشه شیب حوضه در محیط ARC MAP توسط مدل ارتفاعی-رقومی ایران¹ و طول دامنه نیز از همان مدل و روابط مثلثاتی در نرم‌افزار ARC MAP به دست آمد. پس از تهیه نقشه شیب و طول دامنه با استفاده از رابطه $X=L^{0.5} \left(\frac{0.076+0.53S+0.076S^2}{25.65} \right)$ نقشه عامل توپوگرافی تهیه شد (شکل 2).



شکل 2 نقشه عامل توپوگرافی حوضه تنگسرخ شیراز

4-1-2- عامل قابلیت فرسایش K^1

برای دستیابی به این عامل، دو عامل انرژی جنبشی (E) و قابلیت فرسودگی (F) ضروری است: انرژی جنبشی باران (E): بر اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک به نوعی فرسایش خاک صورت می‌گیرد. با استفاده از مدل ارتفاعی - رقومی ایران، نقش هم‌بارش، و با استفاده از رابطه $E=17/37 P$ نقشه انرژی جنبشی حوضه تهیه شد. در این زمینه، از یک دوره آماری 15 ساله 1375-1390 ایستگاه‌های باران‌سنجی، سینوپتیک و تبخیرسنجی اطراف منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (جدول 1).

جدول 1 مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مورد مطالعه

| ایستگاه | نوع ایستگاه | ارتفاع (متر) | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | بارش به میلی‌متر |
|-----------|-------------|--------------|---------------|---------------|------------------|
| شیراز | سینوپتیک | 1488 | 29/36 | 52/32 | 342/8 |
| قلات | تبخیرسنجی | 2080 | 29/48 | 52/19 | 582 |
| دونبه | تبخیرسنجی | 1520 | 29/21 | 52/49 | 415/3 |
| مه‌ارلو | باران‌سنجی | 1500 | 29/36 | 52/32 | 372/3 |
| چنار | باران‌سنجی | 1650 | 29/37 | 52/24 | 421 |
| گنستن | باران‌سنجی | 1900 | 29/54 | 52/19 | 533/1 |
| حسین‌آباد | باران‌سنجی | 1680 | 29/57 | 52/17 | 422/6 |
| خان زنیان | باران‌سنجی | 1940 | 29/40 | 52/09 | 474/3 |

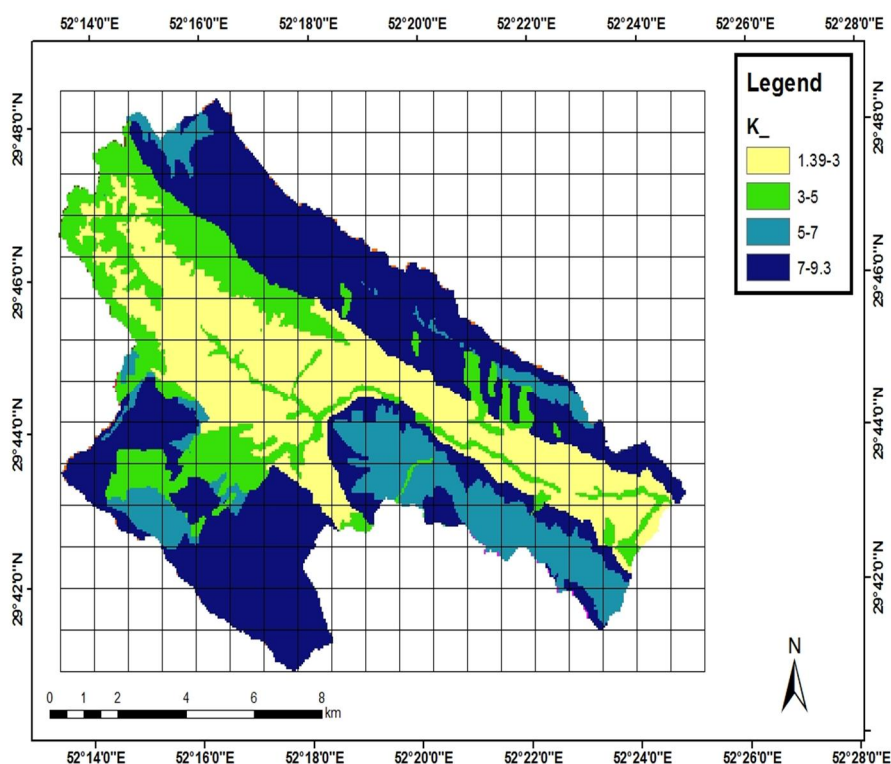
قابلیت فرسودگی خاک: قابلیت فرسودگی خاک را معمولاً در مناطق عاری از پوشش گیاهی ارزیابی می‌کنند و مقدار آن برای هر واحد مکانی با میزان خاک از دست‌رفته ناشی از فرسایش باران بیان می‌شود. برای محاسبه قابلیت فرسودگی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی

1. erodibility factor

حوضه به رسوبات آبرفتی کواترنری ارزش 1، ماسه سنگ 2، واریزه‌های کوهی 3، شیل 4، کنگلومرا و ماسه سنگ آهکی 5، دولومیت 6 و آهک ارزش 7 داده شد (شکل 9). پس از تهیه این نقشه‌ها، قابلیت فرسودگی از رابطه زیر به دست آمد (شکل 3):

رابطه 1

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

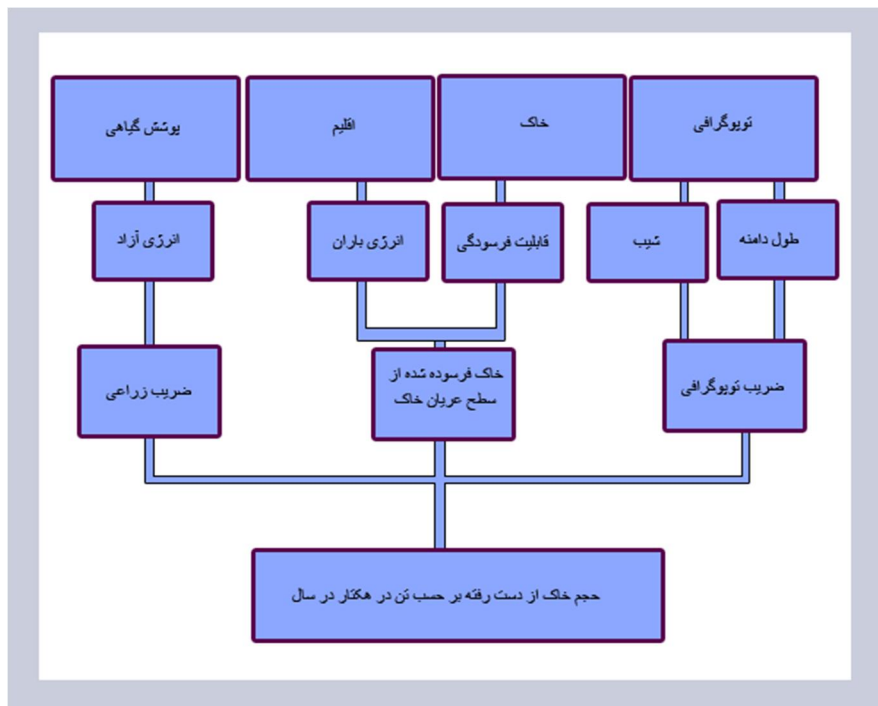


شکل 3 نقشه فرسایندگی و قابلیت فرسودگی خاک حوضه تنگ سرخ

4-1-3- عامل پوشش گیاهی

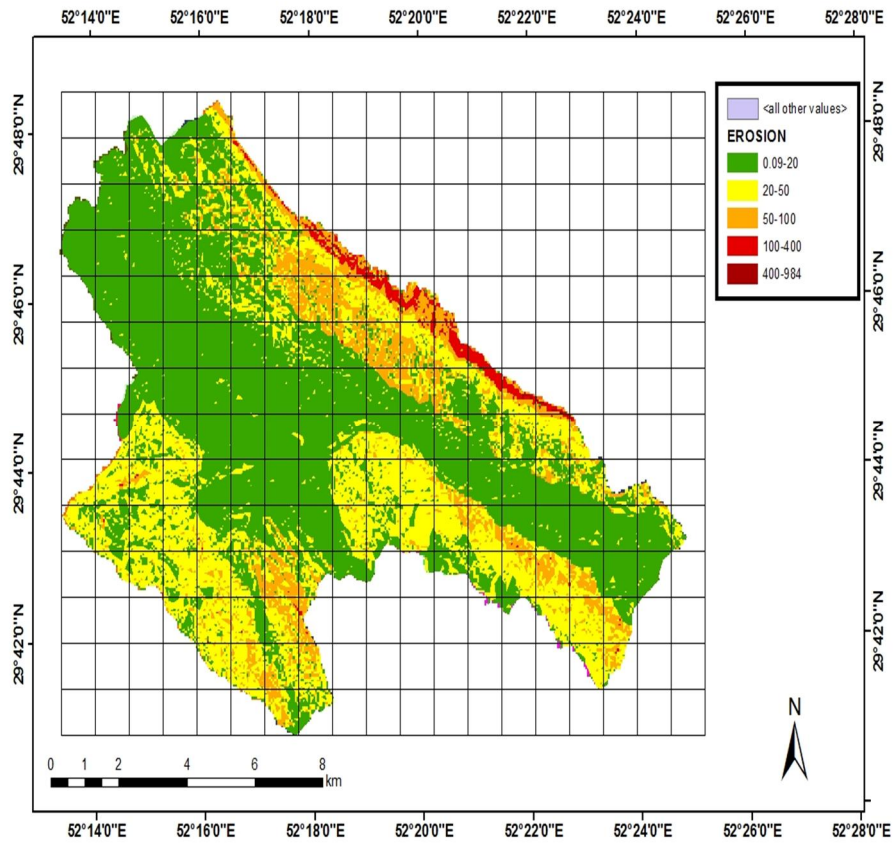
برای ارزیابی و اندازه‌گیری عامل پوشش گیاهی (C) که به صورت یک ضریب کمتر از یک در معادله ارزیابی خطرهای فرسایشی مدل به کار گرفته می‌شود، محاسبه عامل انرژی آزاد شده لازم

است. هرچه میزان C کمتر باشد، میزان فرسایش نیز کاهش می‌یابد. با استفاده از نقشه کاربری اراضی، به قسمت زراعی ارزش 0/3، مرتعی 0/17 و جنگلی 0/054 و برای قسمت‌های مسکونی و صخره‌ای ارزش 0/004 داده شده است (شکل 17).



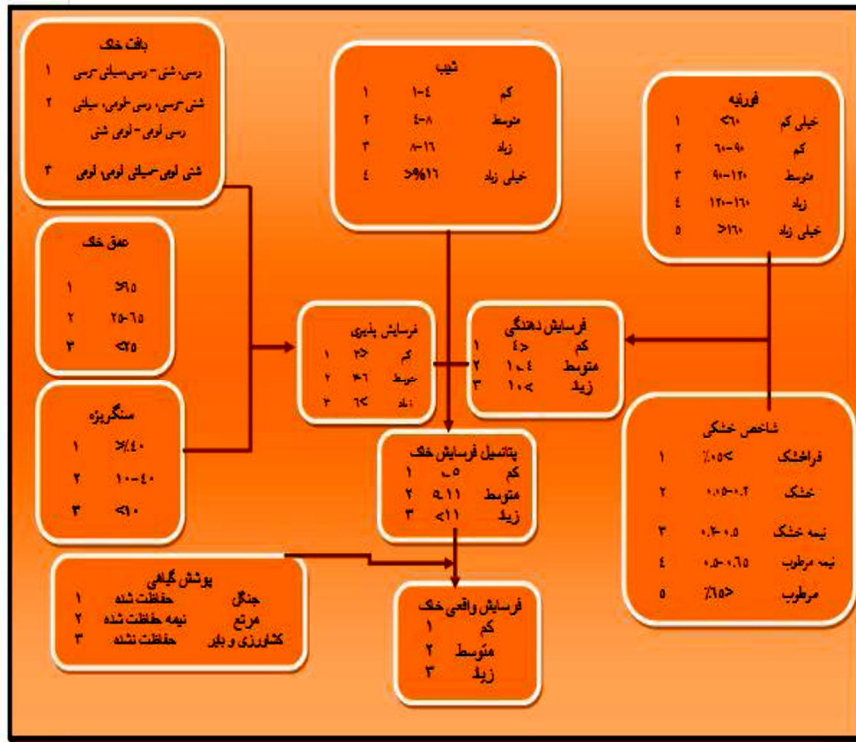
شکل 4 الگوریتم 1 مدل SLEMSA

طبق الگوریتم یک پس از ضرب نقشه‌های توپوگرافی، خاک فرسوده‌شده و ضریب زراعی در یکدیگر توسط تابع RASTER CALCULATOR، میزان خطر فرسایش حوضه تنگ‌سرخ حداقل 0/09 تن در هکتار، حداکثر 948/9 تن در هکتار و میانگین آن 24/9 تن در هکتار تخمین زده شد. پس از محاسبه میزان نهایی فرسایش طبق نظر کارشناسی و حداقل و حداکثر نرخ فرسایش محاسبه‌شده، نقشه مورد نظر در پنج کلاس تهیه شد و در نهایت، شیب حوضه و انرژی جنبشی مؤثرترین عامل در میزان فرسایش بیان شد.



شکل 5 نقشه میزان خطر فرسایش در حوضه تنگسرخ (مدل SLEMSA)

برای محاسبه میزان فرسایش خاک در مدل کرین همان‌طور که ذکر شد، از عواملی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی، سنگلاخی، عمق و بافت خاک و اقلیم استفاده شده است. الگوریتم زیر روش و مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.



شکل 6 الگوریتم 2 مدل CORINE
(منبع: هنرمندزاد، 1390)

2-4- مدل CORINE

1. تهیه نقشه شیب به وسیله نرم افزار ARC GIS؛
2. تهیه نقشه فرسایش پذیری با تلفیق سه عامل عمق خاک، بافت خاک و سنگلاخی؛
3. تهیه نقشه فرسایش دهندگی با استفاده از شاخص خشکی و شاخص فورنیه؛
4. تهیه نقشه پوشش گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای؛
5. طبقه‌بندی منطقه براساس میزان فرسایش طبق الگوریتم کرین.

1-2-4- فرسایش پذیری

جهت تهیه نقشه فرسایش پذیری از سه عامل بافت خاک، عمق خاک و سنگلاخی استفاده شده است. منظور از بافت خاک نسبت ذرات شن، رس و سیلت در نمونه خاک است. هرچه مقدار

سیلت خاک بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری آن افزایش می‌یابد؛ زیرا سیلت چسبندگی ندارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد 88/9 درصد از خاک‌های حوضه تنگ‌سرخ دارای بافت سیلتی - لومی (C.L) و 11/1 درصد رسی - لومی (Ci.L) هستند (شکل 11). عمق خاک یکی دیگر از عوامل مؤثر در مقدار فرسایش خاک است؛ به طوری که با افزایش عمق خاک میزان فرسایش افزایش پیدا می‌کند. با توجه به الگوریتم کرین، مناطقی از حوضه که دارای عمق کمتر از 25 سانتی‌متر بودند، در کلاس 1 و مناطقی که دارای عمق 25-65 بودند، در کلاس 2 قرار گرفتند (شکل 10). عامل دیگری که در تهیه نقشه فرسایش‌پذیری تأثیر دارد، درجه سنگلاخی آن است؛ به گونه‌ای که با افزایش میزان سنگلاخی، مقدار فرسایش کم می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد 77 درصد از حوضه تنگ‌سرخ در کلاس 1 یعنی سنگلاخی بیش از 40 درصد، 15 درصد در کلاس 2 یعنی سنگلاخی بین 10-40 درصد و 8 درصد از حوضه در کلاس 3 یعنی سنگلاخی زیر 10 درصد قرار گرفته است (شکل 12). با ضرب این سه نقشه در محیط GIS نقشه فرسایش‌پذیری تهیه شده است (شکل 13).

4-2-2- عامل فرسایش‌دهندگی

برای به دست آوردن عامل فرسایش‌دهندگی، تهیه شاخص فورنیه و شاخص خشکی الزامی است:

شاخص فورنیه¹: شاخص فورنیه به عنوان یکی از پارامترهای مهم جهت تهیه نقشه فرسایش‌دهندگی از رابطه زیر به دست می‌آید (هنرمندنژاد، 1391):

رابطه 2

$$FI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

FI = شاخص فورنیه؛

p_i = متوسط بارش ماهیانه (mm)؛

i = ماه مربوطه؛

P = میانگین بارش سالیانه (mm).

1. fornier

برای محاسبه شاخص فورنیه از آمار بارش ایستگاه‌های هواشناسی (سینوپتیک و باران‌سنجی) اطراف حوضه استفاده شده و عدد فورنیه منطقه توسط نرم‌افزار ARC GIS و تابع SPILINE 40/53 محاسبه شده است. بنابراین، منطقه مورد مطالعه در کلاس 1 جای گرفته است.

جدول 2 مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مطالعاتی و شاخص فورنیه مربوط به هر ایستگاه

| ایستگاه | ارتفاع (متر) | x | y | شاخص فورنیه |
|-----------|--------------|-------|-------|-------------|
| شیراز | 1484 | 52.36 | 29.32 | 77.9 |
| زرقان | 1596 | 52.43 | 29.47 | 80.4 |
| امیرآباد | 2267 | 52.15 | 29.43 | 122.59 |
| خان زنیان | 1940 | 52.08 | 29.41 | 117.669 |
| حیدرآباد | 2280 | 52.16 | 29.47 | 98.16 |
| علی آباد | 2035 | 52.18 | 29.44 | 115 |
| قائدی | 1680 | 52.1 | 30.2 | 114.8 |
| تخت جمشید | 1605 | 52.54 | 29.56 | 62.5 |
| دروذن | 1650 | 52.17 | 30.11 | 132 |
| چنارسوخته | 1650 | 52.24 | 29.37 | 108 |
| ارسنجان | 1703 | 53.16 | 29.56 | 60.8 |
| اقلید | 2300 | 52.38 | 30.54 | 69.5 |
| نیریز | 1632 | 54.2 | 29.12 | 49 |
| بوانات | 2231 | 53.4 | 30.28 | 10 |
| استهبان | 1690 | 54.02 | 29.05 | 64.9 |

شاخص خشکی (فائو- یونپ): شاخص خشکی بیانگر عمل کرد تبخیر و بارش در فرسایش‌دهندگی منطقه است (Mustafa Parlak, 1983). جهت محاسبه شاخص خشکی از آمار بارش ایستگاه‌های سینوپتیک اداره هواشناسی استان فارس استفاده شده و طبق رابطه 3

- که برحسب متوسط بارش سالیانه به متوسط تبخیر و تعرق سالیانه است - شاخص خشکی منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار ARC GIS و تابع SPILINE، 0/17 محاسبه شده است.

$$\frac{P}{ETP}$$

رابطه 3: شاخص خشکی

=P = متوسط بارش سالیانه؛

=ETP = متوسط تبخیر و تعرق.

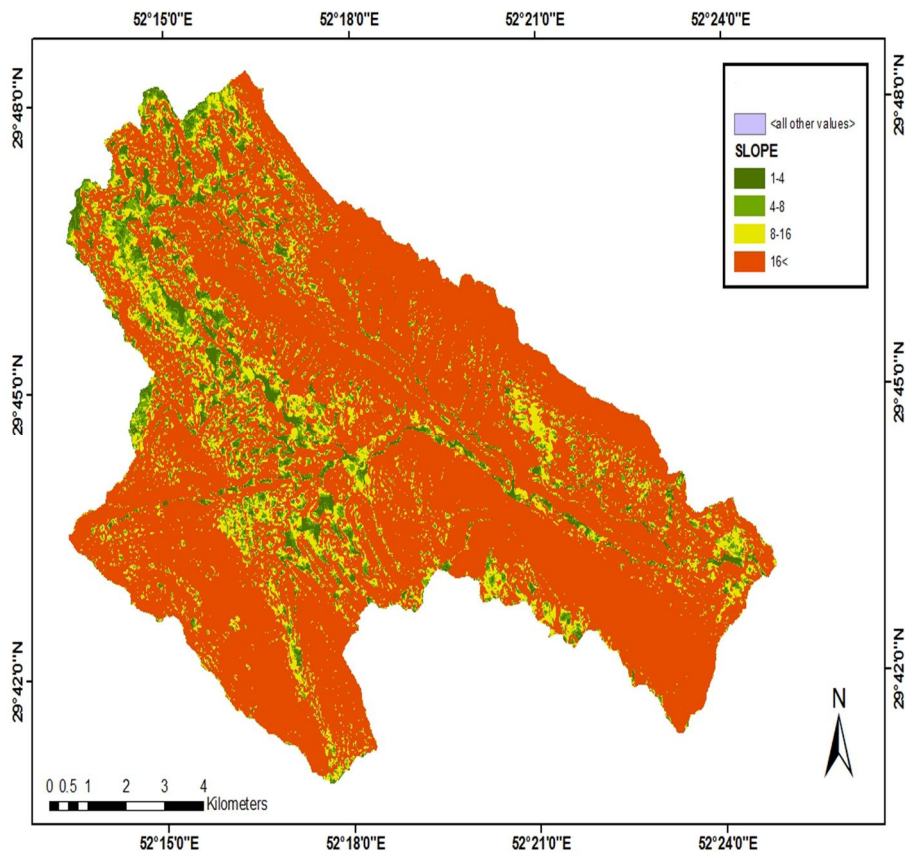
جدول 3 مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه مطالعاتی و شاخص فورنیة مربوط به هر ایستگاه

| شاخص خشکی | y | x | ارتفاع | ایستگاه |
|-----------|-------|-------|--------|------------|
| 0.059 | 29.32 | 52.36 | 1484 | شیراز |
| 0.08 | 25.28 | 53.03 | 746 | قیر کارزین |
| 0.33 | 30.14 | 52 | 2201 | سپیدان |
| 0.08 | 28.48 | 52.06 | 782 | فراشند |
| 0.07 | 29.56 | 53.16 | 1703 | ارسنجان |
| 0.06 | 28.21 | 54.25 | 1029 | زرین دشت |
| 0.1 | 29.47 | 52.43 | 1596 | زرقان |
| 0.09 | 29.05 | 54.02 | 1690 | استهبان |
| 0.14 | 28.53 | 52.33 | 1362 | فیروزآباد |
| 0.09 | 29.36 | 51.39 | 860 | کازرون |
| 0.14 | 31.11 | 52.4 | 2030 | آباده |
| 0.15 | 30.54 | 52.38 | 2300 | اقلید |
| 0.07 | 29.12 | 54.12 | 1632 | نیریز |
| 0.15 | 29.56 | 52.54 | 1605 | تخت جمشید |
| 0.2 | 30.11 | 52.17 | 1650 | درودزن |
| 0.19 | 30.4 | 51.32 | 972 | نورآباد |
| 0.08 | 30.28 | 53.4 | 2231 | بوانات |
| 0.9 | 30.35 | 53.09 | 2251 | صفاشهر |
| 0.08 | 28.47 | 54.17 | 1098 | داراب |
| 0.2 | 28.29 | 53.32 | 1082 | جهرم |

با ترکیب این دو شاخص، نقشه فرسایش‌دهندگی به‌دست می‌آید. نقشه فرسایش‌دهندگی حوضه تنگ‌سرخ نشان می‌دهد این ضریب برای کل حوضه کمتر از 4 است.

4-2-3- شیب¹

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه، نقشه شیب حوضه به‌دست آمد (شکل 7).

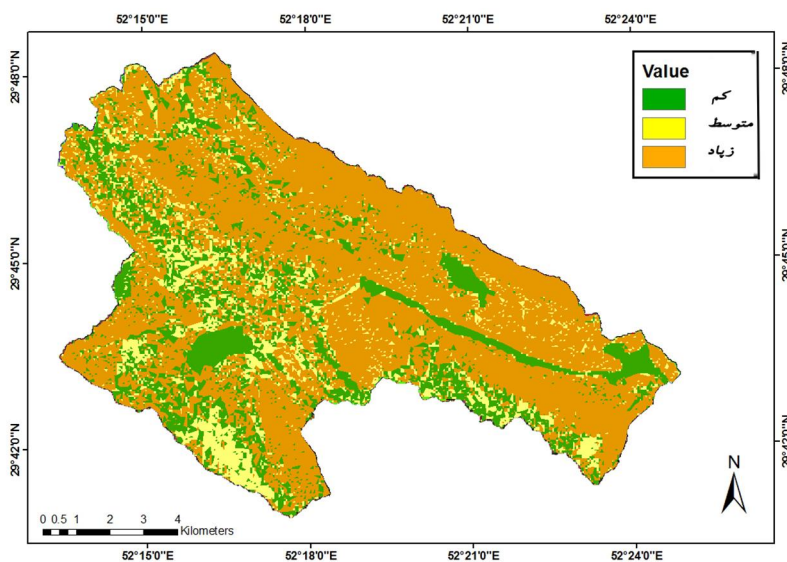


شکل 7 نقشه میزان شیب

1. slope

4-2-4- پوشش گیاهی

پس از تهیه نقشه پوشش گیاهی حوضه تنگ سرخ شیراز از تصاویر سنجنده ETM ماهواره لندست (شکل 16) و ترکیب نقشه رستری آن با نقشه پتانسیل، نقشه زیر به دست آمده که بیانگر میزان فرسایش خاک در حوضه تنگ سرخ شیراز به روش کرین است که البته، کلاس بندی آن برخلاف روش اسلمسا، به صورت کیفی در سه کلاس کم، متوسط و زیاد است.



شکل 8 نقشه میزان خطر فرسایش در حوضه تنگ سرخ (مدل CORINE)

این نقشه نشان می‌دهد 22 درصد از مساحت حوضه در کلاس 1 (فرسایش کم)، 13 درصد در کلاس 2 (فرسایش متوسط) و 64 درصد در کلاس 3 (فرسایش زیاد) قرار دارد. این تقسیم بندی براساس الگوریتم مدل کرین انجام شده است.

5- نتایج و یافته‌های تحقیق

جداول زیر یکی از نتایج حاصل از دو مدل فوق هستند.

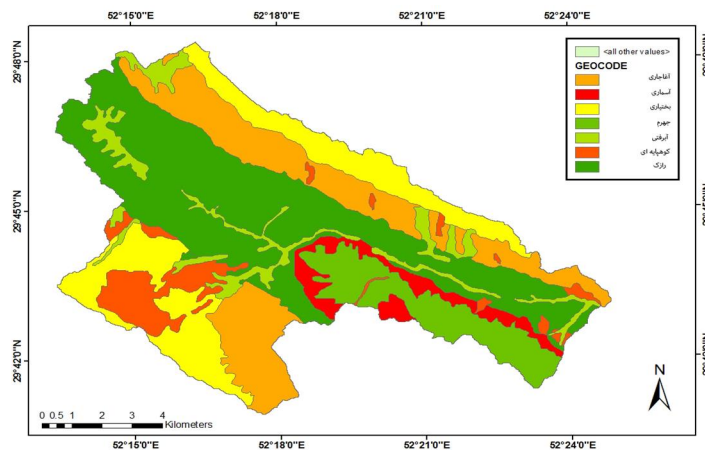
جدول 4 مساحت کلاس‌های فرسایش در حوضه تنگ‌سرخ (مدل SLEMSA)

| کلاس 5 (400-984) | کلاس 4 (100-400) | کلاس 3 (50-100) | کلاس 2 (20-50) | کلاس 1 (20-0/09) | مدل اسلمسا ton/year |
|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------------|
| %0.05 | %1.95 | %13 | %28 | %57 | مساحت (درصد) |

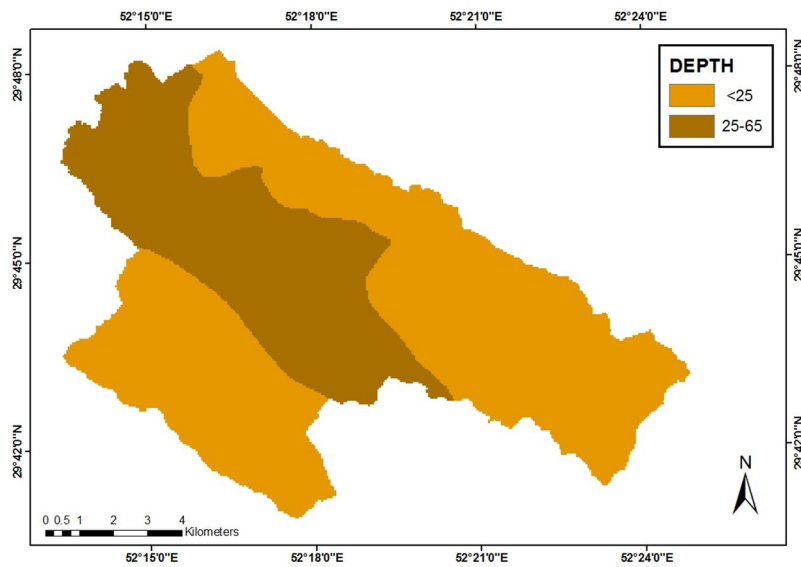
جدول 5 مساحت کلاس‌های فرسایش در حوضه تنگ‌سرخ (مدل CORINE)

| کلاس 3 (زیاد) | کلاس 2 (متوسط) | کلاس 1 (کم) | مدل کورین |
|---------------|----------------|-------------|--------------|
| 64 درصد | 13 درصد | 22 درصد | مساحت (درصد) |

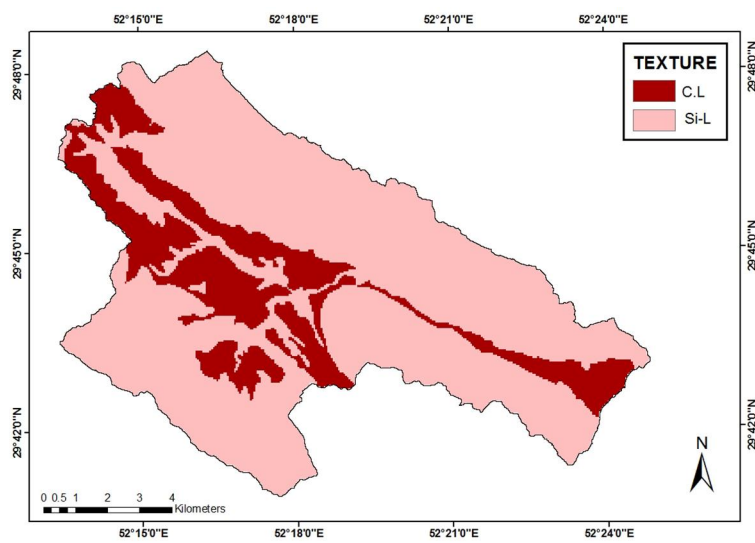
آنچه در جدول‌های شماره چهار و پنج دیده می‌شود، تفاوت بسیار زیاد در تخمین مساحت‌هایی از حوضه است که می‌توان آن‌ها را در کلاس‌های فرسایش کم، متوسط و زیاد جای داد. شاید یکی از مهم‌ترین دلایل این تفاوت این است که در مدل اسلمسا، برخلاف مدل کرین، چیزی به‌عنوان ضریب یا اولویت‌بندی در تأثیر هرکدام از عوامل در ایجاد فرسایش وجود ندارد و تأثیر هر یک از عوامل به‌صورت یکسان در نظر گرفته شده است. با کمی تأمل بیشتر در نقشه‌های استفاده‌شده در دو مدل می‌توان نقشه مقاومت خاک در اسلمسا را معادل نقشه فرسایش‌پذیری (بافت خاک، عمق خاک و سنگلاخی) در مدل کرین دانست.



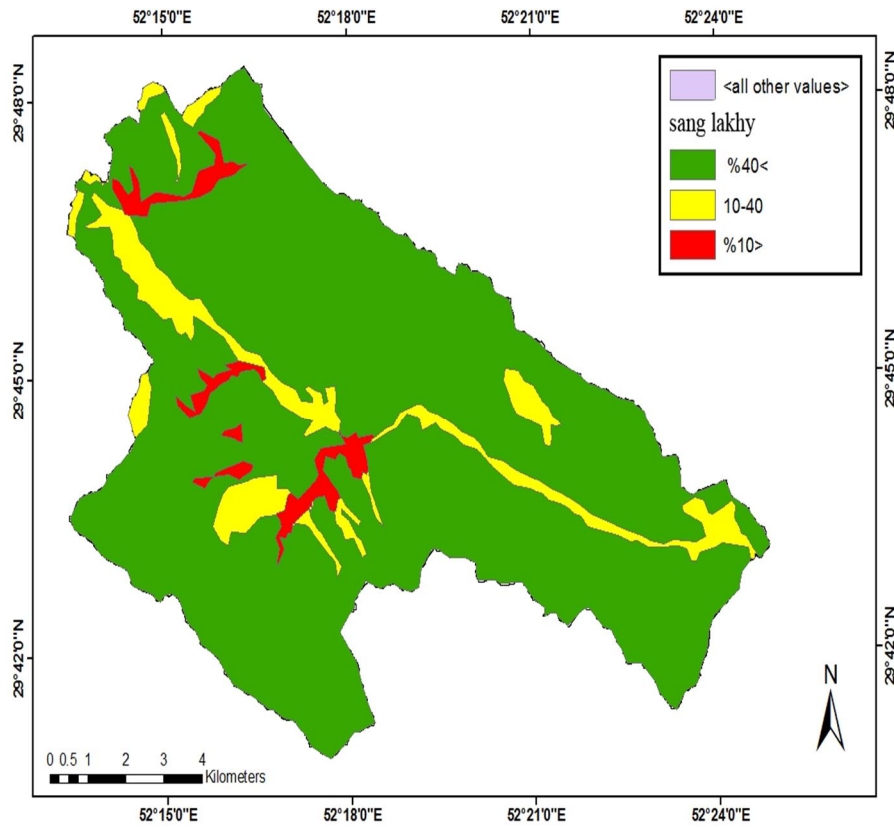
شکل 9 نقشه زمین‌شناسی مورد استفاده در مدل SLEMSA



شکل 10 عمق خاک مورد استفاده در مدل CORINE

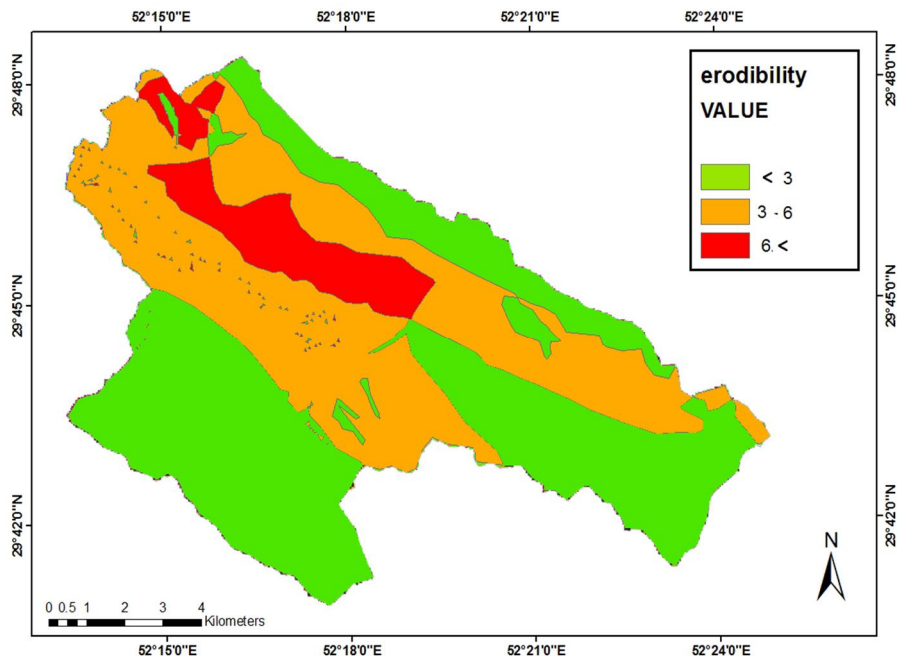


شکل 11 بافت خاک مورد استفاده در مدل CORINE



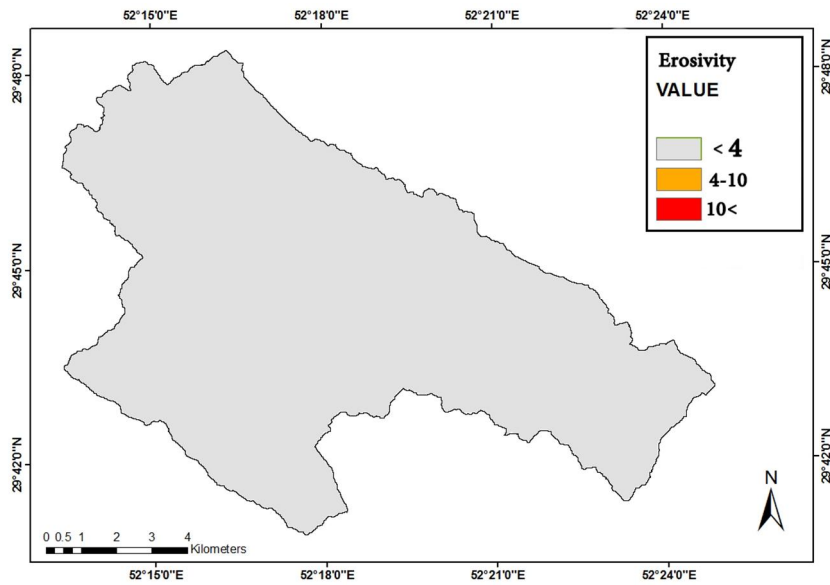
شکل 12 سنگلاخی مورد استفاده در مدل CORINE

در مدل اسلمسا، نقشه زمین‌شناسی جهت تعیین مقاومت خاک به کار می‌رود؛ اما در مدل کرین مقاومت خاک در برابر فرسایش در سه بخش بررسی می‌شود. همان‌گونه که در الگوریتم کرین مشاهده می‌شود، با افزایش عمق خاک، سنگلاخی و میزان رس موجود در بافت خاک، خطر فرسایش کاهش می‌یابد که افزایش یا کاهش هرکدام از این پارامترها می‌تواند اثر دیگر پارامترها را تقویت یا کم کند. نقشه فرسایش‌پذیری که حاصل تلفیق این سه نقشه است، با آنچه در اسلمسا معیار قرار گرفته، بسیار متفاوت و دقیق‌تر است.

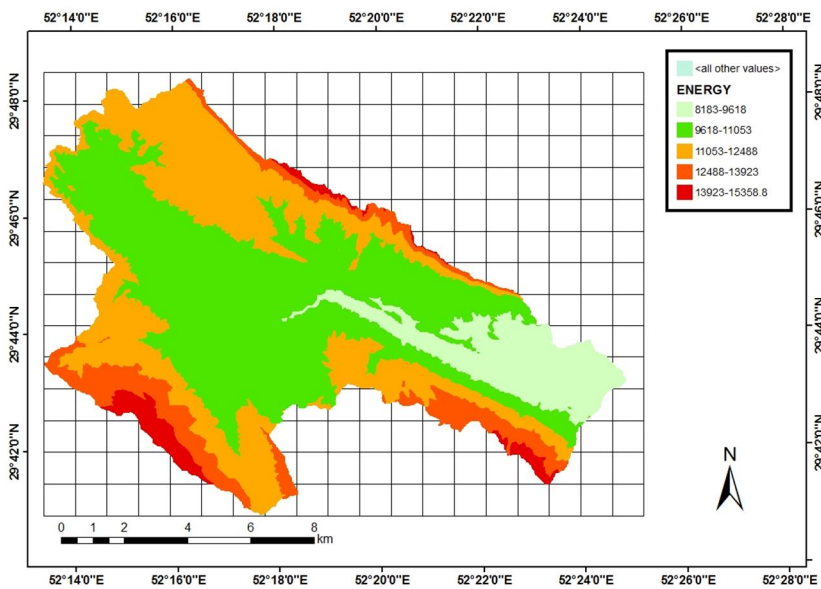


شکل 13 فرسایش‌پذیری مورد استفاده در مدل CORINE

در بحث اقلیم نیز می‌توان نقشه انرژی بارش را هم‌تراز عامل فرسایش‌دهندگی (تلفیق شاخص فورنیه و شاخص خشکی) دانست. در مدل اسلمسا با استفاده از نقشه هم‌بارش میزان انرژی جنبشی باران برحسب ژول در متر در سال محاسبه می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد که این مسئله فقط بیانگر انرژی آزادشده باران هنگام برخورد با ذرات خاک است؛ درحالی که در مدل کرین تلفیق شاخص فورنیه و شاخص خشکی را می‌توان میزان برخورد قطرات باران با ذرات خاک و میزان رواناب بیان کرد که با توجه به الگوریتم مدل، افزایش آن باعث افزایش پتانسیل فرسایش می‌شود. از دیگر عواملی که می‌توان نام برد، یک‌پارچه بودن شاخص فورنیه و شاخص خشکی در کل حوضه است؛ درحالی که میزان بارش در ارتفاعات با میزان آن در مناطق پست یکسان نیست و میزان رواناب نیز در مناطق مختلف با توجه به شیب تفاوت دارد.

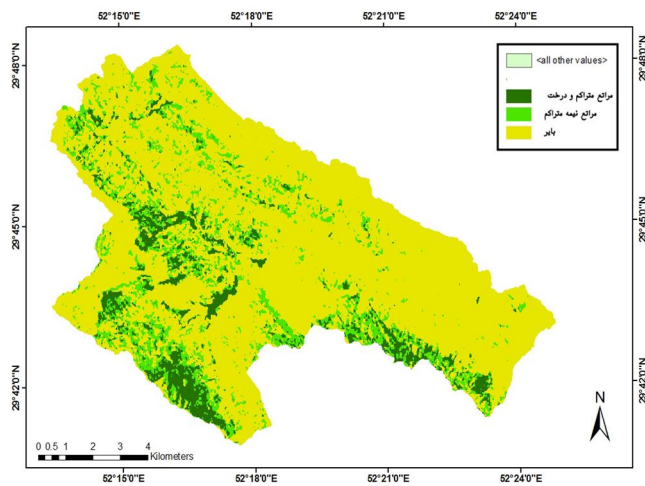


شکل 14 شاخص اقلیم در مدل SLEMSA

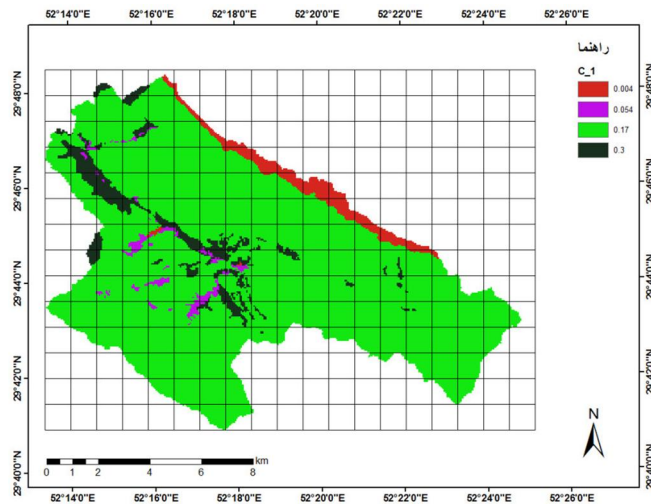


شکل 15 شاخص اقلیم در مدل CORINE

درباره پوشش گیاهی نیز به‌طور معمول در مدل اسلمسا از نقشه کاربری اراضی استفاده می‌شود؛ اما در مدل کرین بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج نقشه پوشش گیاهی تأکید می‌شود که از دقت بیشتری برخوردار است.



شکل 16 کاربری اراضی



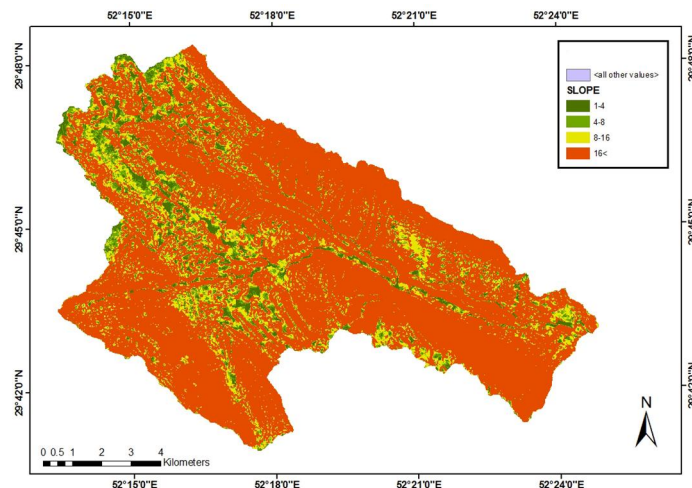
شکل 17 پوشش گیاهی (استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای)

6- نتیجه

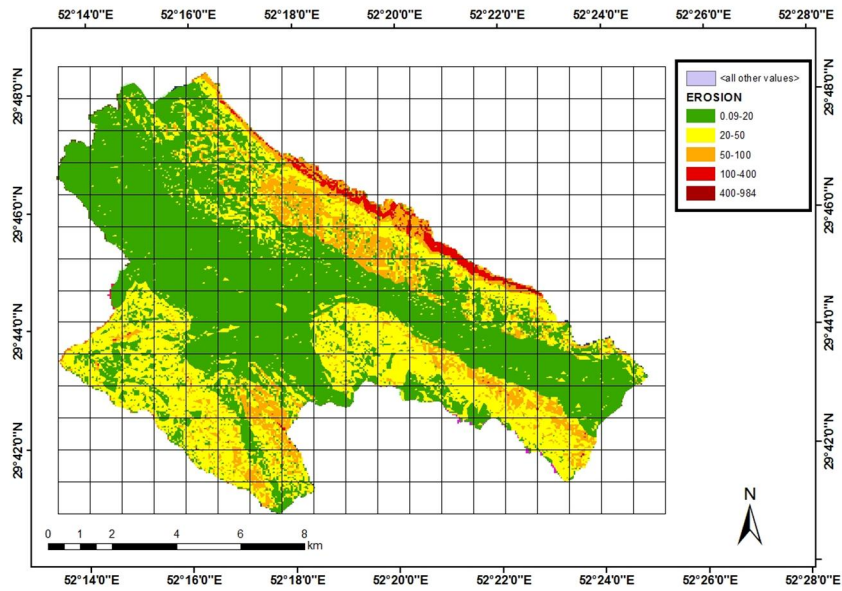
همان‌گونه که بیان شد، در مدل اسلمسا سه عامل اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی و در مدل کرین وضعیت شیب، خاک‌شناسی، اقلیمی و پوشش گیاهی از عوامل اصلی مؤثر در فرسایش به‌شمار می‌آیند. بررسی نقشه‌های مورد استفاده در دو مدل کرین و اسلمسا نشان می‌دهند:

1. دقت پارامترهای استفاده‌شده در مدل کرین بیشتر است. همان‌طور که در بخش یافته‌ها گفته شد، عامل فرسایش‌پذیری در مدل اسلمسا فقط براساس میزان مقاومت سازندهای سطحی محاسبه می‌شود؛ اما در مدل کرین بافت خاک، عمق خاک و سنگلاخی مورد نظر است که البته، تلفیق این سه پارامتر بر میزان دقت مدل می‌افزاید. در بخش فرسایش‌دهندگی نیز در مدل اسلمسا، انرژی جنبشی بارش با استفاده از نقشه هم‌بارش محاسبه می‌شود؛ اما در مدل کرین علاوه بر این، میزان شاخص خشکی نیز مورد توجه است که در نهایت، با در نظر گرفتن این دو عامل به‌صورت هم‌زمان، بحث رواناب نیز علاوه بر انرژی جنبشی بارش به‌کار گرفته می‌شود. همچنین، استفاده از نقشه پوشش گیاهی به‌جای نقشه کاربری اراضی بر دقت مدل می‌افزاید.

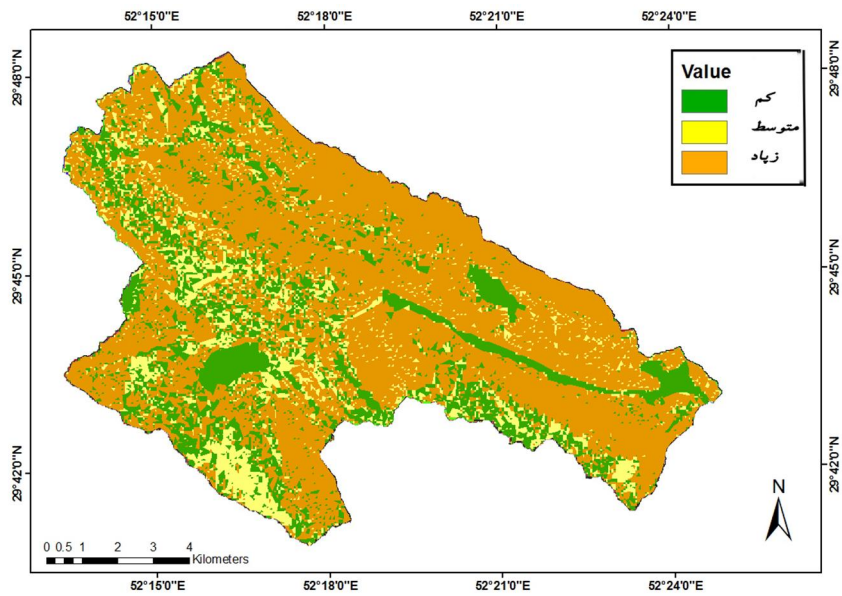
2. در هر دو مدل، شیب مهم‌ترین عامل در ایجاد فرسایش خاک در حوضه است؛ زیرا هم‌پوشانی نقشه شیب و نقشه‌های نهایی فرسایش در این دو مدل نشان می‌دهد بیشترین میزان فرسایش در پرشیب‌ترین نواحی رخ داده است.



شکل 18 نقشه شیب



شکل 19 نقشه تخمین میزان فرسایش در مدل SLEMSA



شکل 20 نقشه ارزیابی میزان فرسایش در مدل CORINE

3. پیش‌نهاد می‌شود با اختصاص ضریبی به مدل اسلمسا جهت تعیین اهمیت برای هرکدام از عوامل، به نتیجه بهتری دست پیدا کرد.
4. مناطقی که دارای میزان فرسایش بالایی هستند، در دو مدل بر هم منطبق‌اند. نواحی‌ای که دارای بیشترین میزان فرسایش‌اند، بیشترین شیب، بیشترین بارش و کمترین پوشش گیاهی را دارند.
5. میانگین میزان فرسایش در حوضه مورد مطالعه 24/9 تن در هکتار در سال توسط مدل اسلمسا تخمین زده شده که این میزان با توجه به متوسط فرسایش خاک در ایران که برابر 16/7 تن در هکتار در سال است، زیاد بوده؛ بنابراین این منطقه جزء مناطق پرخطر به‌شمار می‌آید.

7- منابع

- انتظاری، مژگان، رسول شریفی و زهرا ایزدی، «ارزیابی پتانسیل‌های فرسایشی منطقه دستکن با استفاده از مدل SLEMSA»، *جغرافیای برنامه‌ریزی محیطی*، س 23، ش 4 (48)، صص 109-127، 1391.
- آهنی، حسین و دیگران، «کاربرد GIS و RS در ارزیابی خطر فرسایش آبی با استفاده از مدل USLE (مطالعه موردی حوضه آب‌خیز رحیم‌آباد فسا)» در *سومین کنفرانس منابع آب*، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- رامشت، محمدحسین و سمیه‌سادات شاه‌زیدی، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، *منطقه‌ای، اقتصادی و توریسم*، چ 2، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان، 1390.
- سپهر، عادل و سعیده هنرمندنژاد، «تهیه نقشه خطر فرسایش واقعی خاک با استفاده از مدل CORINE اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آب‌خیز جهرم)»، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ش 3، صص 57-72، 1391.
- شیخ‌ریبیعی، محمدرضا، سادات فیض‌نیا و حمیدرضا پیروان، «بررسی رواناب و تلفات خاک در واحدهای کاری حوزه آب‌خیز هیو، مقایسه در مقیاس شبیه‌ساز باران»، *مجله علوم زمین*، ش 80، صص 57-62، 1390.
- کردوانی، پرویز، حفاظت خاک، چ 6، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1380.

- کنایف، جونز و لوکا مونتارلا، حفاظت خاک، ترجمه پرویز کردوانی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1380.
- گندمکار، امیر، نفیسه شیخی و سمیرا احمدی، «فرسایش خاک در حوضه موسی‌آباد تیران با استفاده از مدل SLEMSA»، مجله چشم‌انداز جغرافیایی، س 3، ش 6، صص 95-108، 1387.
- هنرمند، محدثه و مجید وظیفه‌دوست، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح‌شده، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوضه آب‌خیز نارود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری، دانشگاه گیلان، 1389.
- هنرمندزاد، سعیده، تهیه نقشه خطر فرسایش خاک حوضه آب‌خیز جهرم- با استفاده از مدل کرین اصلاح‌شده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان، 1391.
- یوسفی، صالح و دیگران، «مقایسه نقشه‌های فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تجربی BLM و EMP، MPESIAC» در اولین کنفرانس ملی ژئوماتیک نوین در خدمت جامعه، 1389.
- Abdurrahim, A.H. Baris, "Tecimen, Temporal Soil Erosion Risk Evaluation: A CORINE Methodology Application at Elmalıdam Watershed (A Case Study: Kurtboğazi Dam)", According To Corine Methodolgy, *Environ Earth Sci*, No. 61, Pp. 1457- 1465, Istanbul, 2010.
- Ahani, H. Et al., "Applying GIS and RS to Evaluating the Danger of Water Erosion Using USLE Model (Case Study: Rahim Abad Catchment of Fasa)" in *The 3rd Conference of Water Resources*, 2008. [In Persian]
- Bayramün, Ü. G. Nay Erpul, Hakk ÝEmrah Erdoúan, "Use of CORINE Methodology to Assess Soil Erosion Risk in the Semi-Arid Area of Beypazar Ý", *Ankara University, 06110 DÝβkapÝ, Ankara- TURKEY*, 2006.
- Entezari, M., R. Sharifi, & Z. Izadi, "Potential Erosion Assessment of Dastkan Region Using SLEMSA Model", *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol. 23, No. 48, Pp. 109- 127, 2012. [In Persian]

- Entezari, M., S. Honarmand Nejad Et al., "Using Modified CORINE Methodology for Comparison Potential Soil Erosion and Actual Soil Erosion in Basin Watershed- Jahrom, Fars, Iran", *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2013.
- Gandomkar, A., N. Sheikhi & S. Ahmadi, "Soil Erosion in Musa Abad Basin of Tiran using SLEMSA", *Journal of Geographic Landscapes*, Vol. 3, No. 6, Pp. 95-108, 2008. [In Persian]
- Gobin, A., G. Govers, G. Jones & M. Kirkby, "Costas Kosmas, Assessment and Reporting on Soil Erosion", *Background and Workshop Report*, 2002.
- Honarmand Nejad, S., *Assessment of Soil Erosion Risk Using CORINE Method (Case Study: Baba Arab Basin of Jahrom Township)*, Master's Thesis, of Geomorphology, University of Isfahan, 2012. [In Persian]
- Honarmand, M. & M. Vazifehdoust, *Evaluating and Zoning the Danger of Soil Erosion Using Modified Universal Soil Loss Equation, GIS and RS in Naroud Catchment*, Master's Thesis of Irrigation, Gilan University, 2010. [In Persian]
- Knijff, J & L. Montanarella, *Soil Conservation*, P. Kordavani (Trans),. 6th Ed., Tehran: Tehran University Press, 2001. [In Persian]
- Knijff, J.M., R.J.A. Jones & L. Montanarella, *European Kordavani, P. Soil Conservation*, 6th Ed., Tehran: Tehran University Press, 2001. [In Persian]
- Marina, B. Et al., *Potential Soil Erosion Assessment Through the CORINE Methodology in Cattle Districts of the Mayabeque Province*, Cuba, 2011.
- Parla, M., Y. Dinçsoy & K. Seyrek, "Determination of Erosion Risk Orhan DENGÜZ, Suat AKG.L, Soil Erosion Risk Assessment of the G. IbaßY Environmental Protection Area and Its Vicinity Using the CORINE Model", *General Directorate of State Hydraulic Works, Ankara*, 2005.
- Ramesht, M.H. & S. Shahzeidi, *Application of Geomorphology in National, Regional, Economic Planning and Tourism*, 2nd Ed., University of Isfahan Press, 2011. [In Persian]

- Recatalá, L.C., Añó, S. Verzandvoort, CoenRitsema & J. Sánchez, "Harmonization of Risk Assessment Methods of Soil Erosion by Water in the European Union".
- Sadat Sheikhzeidi, S. & M. Entezari, "Assessment Rate of Soil Erosion by GIS (Case study Varmishgan, IRAN)", *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2012. [In Persian]
- Sepehr, A. & S. Honarmand, "Preparing the Map of Real Danger of Soil Erosion Using Modified CORINE Model (Case Study: Jahrom Catchment)", *Journal of Geography and Environmental Hazards*, No. 3, Pp. 57- 72, 2012. [In Persian]
- Sheikh Rabiei, M., S. Feiznia & H. Peyrovan, "Investigating the Runoff and Soil Losses in Work Units of Hiu Catchment, a Comparison in the Scale of Rain Simulator", *Journal of Earth Sciences*, No. 80, Pp. 57- 62, 2011. [In Persian]
- Wells, M., "A Method of Assessing Water Erosion Risk in Land Capability Studies-Swan Coastal Plain & Darling Range", *M. Wells Resource Management*, 1988.
- Yusefi, S. Et al., "Comparing the Maps of Soil erosion Using Experimental Methods of MPESIAC, EMP and BLM" in *The First National Conference of Modern Geomatics at the Service of the Society*, 2010. [In Persian]