روند تغییرات هدررفت خاک با تأکید بر نقش فرسایشی رواناب در حوضه آبریز رودخانهٔ کل (استان هرمزگان)

الهام نورائی‌صفت: *دانش‌آموختهٔ سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان*
مسعود بختیاری کیا*: *استادیار سامانه اطلاعات مکانی، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان*
محمد اکبریان: *استادیار جغرافیای طبیعی، ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان*

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۲۱)

چکیده

فرسایش خاک، تهدیدی جدی در باروری خاک به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، مدیریت بهتر این منابع در راستای بهره‌برداری مطلوب و کاهش تأثیرات مخرب بر این منابع ضروری است. در این پژوهش با تأکید بر نقش رواناب در فرسایش، با استفاده از مدل RUSLE و روش SCS-CN به برآورد مقدار هدررفت خاک ناشی از تغییرات رواناب در حوضه آبریز رودخانهٔ کُل پرداخته شد. به این‌منظور، از داده‌های بارش سالانهٔ سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۰، ۱۳۸۸، ۱۳۸۶، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۲، تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های خاک، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و DEM منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار بیشینه هدررفت سالانهٔ خاک در شش سال مذکور در مناطق خاصی از حوضه، بین ۱۴۰ تا ۴۶۳ تن در هکتار در سال و مقدار میانگین هدررفت سالانهٔ خاک بین ۵/۵ تا ۲۹/۰۴ تن در هکتار در سال متغیر بود. برای ارزیابی مدل و محاسبهٔ رسوب خروجی حوضه، مطابق با نقشهٔ فرسایش تولید شده در هر سال از منحنی سنجه رسوب ـ که از داده‌های مشاهداتی ایستگاه قلات پایین به دست آمد ـ استفاده شد و ضریب تعیین محاسبه شده برابر با ۰/۷۳، از دقت نسبتاً مناسب نتایج مدل مورد استفاده حکایت داشت. براین اساس و با مقایسهٔ پنج روش نسبت تحویل رسوب و انتخاب روش بهینه، نقشهٔ پهنه‌بندی رسوب سال‌های مختلف برای حوضهٔ مطالعاتی تولید شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال مقدار رواناب در برآورد مقدار شاخص فرسایندگی بارش در راستای تخمین مقدار هدررفت خاک و تخمین میزان رسوب، می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه دهد. این رویکرد، امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی آن را با شیوه‌ای آسان، سریع و مقرون به صرفه فراهم می‌کند و ابزار مفید و کارآمدی را برای ارزیابی و تهیهٔ نقشهٔ خطر فرسایش خاک در مناطق مختلف در اختیار می‌گذارد.

واژگان کلیدی: هرمزگان، رودخانهٔ کل، فرسایش، RUSLE، SCS-CN.

* نویسندهٔ مسئول: Bakhtyari@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

۱ـ مقدمه

میزان فرسایش خاک به عوامل مختلفی وابسته است که از جمله این عوامل می‌توان به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، ویژگی‌های خاک، شبکهٔ هیدروگرافی، رژیم بارندگی، کاربری و پوشش اراضی و شیوه‌های مدیریت زمین اشاره کرد. فرسایش خاک با دخالت برخی از عوامل کلیدی مانند تغییرات اقلیمی، کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی می‌تواند تشدید شود (Colman et al, 2019 & Xu et al, 2018 & Routschek et al, 2014). رگبارها و بارندگی‌های شدید نیز در بروز فرسایش خاک و تشدید آن تأثیر مهم و مستقیمی دارد (Delgado et al, 2013) و با توجه به روند تغییرات اقلیمی، پیش‌بینی می‌شود فرسایش جهانی خاک در قرن آینده تقریباً بین ۲۵ تا ۵۰ درصد افزایش یابد (Fu et al, 2010). علاوه بر این، عوامل دیگری نظیر محتوای آب موجود در خاک و میزان پوشش گیاهی ــ که خود متأثر از تغییرات اقلیمی است ــ در میزان فرسایش تأثیرگذار می‌باشد. پایش میدانی این پدیده در مساحت‌های کوچک به‌راحتی ممکن است، ولی در پهنه‌های بزرگ‌تر مانند حوضه‌های آبخیز که به نیرو، زمان و هزینه‌های زیادی نیاز دارد، برآورد دقیق میزان فرسایش مشکل است و یکی از چالش‌های مهم پیش روی پژوهشگران به حساب می‌آید (Li et al, 2017)؛ از این‌رو برای تصمیم‌گیری و مدیریت منطقه‌ای، از روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای ارزیابی و برآورد فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف استفاده شد.

معادلهٔ جهانی فرسایش خاک (RUSLE)، یکی از مدل‌های تجربی است که از آن برای پیش‌بینی فرسایش آبی استفاده می‌شود و با به‌کارگیری معیارهای مختلف، می‌تواند فقدان قطعیت‌های اقلیمی آینده را در نظر بگیرد (Sadeghi et al, 2014). این مدل، میزان فرسایش را در واحد سطح برآورد می‌کند و شامل شش فاکتور R, K, L, S, C, P است و به‌دلیل پارامترسازی دقیق و آسان، از آن به‌طور گسترده و به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه استفاده می‌شود (Kinnell, 2010). از جمله عواملی که در ایجاد یا گسترش فرسایش خاک نقش مؤثری دارد و در اکثر مدل‌های تخمین فرسایش از جمله مدل RUSLE به نحوی به‌کار گرفته می‌شود، بارش است. درواقع، هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد، بخشی از آب حاصل شده از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند و پس از پر کردن فرورفتگی‌های سطح زمین، مازاد آن در امتداد شیب زمین جریان می‌یابد، سپس از طریق شبکهٔ آبراهه‌ها به‌عنوان رواناب سطحی به مناطق پایین‌دست حوضه ــ که عامل اصلی ایجاد فرسایش آبی است ــ منتقل می‌شود (Alizadeh, 2007). میزان رواناب معمولاً از طریق ایستگاه‌های اندازه‌گیری ثبت می‌شود. در صورت کمبود اندازه‌گیری‌های رواناب در حوضه یا فقدان آن، با توجه به اینکه خصوصیات حوضه نسبتاً ثابت است می‌توان بین بارش و رواناب رابطهٔ مستقیمی در نظر گرفت.

روش‌های مختلفی برای برآورد رواناب سطحی ارائه شده‌است که روش شماره منحنی (SCS-Curve Number)، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های موجود محسوب می‌شود (Nasseri et al, 2021). این روش به‌وسیلهٔ اداره کشاورزی آمریکا (USDA) و سازمان حفاظت خاک این کشور (SCS) ارائه شده و در بسیاری از حوضه‌های آبخیز که فاقد ایستگاه هیدرومتری است، برای برآورد رواناب استفاده می‌شود. این روش با در نظر گرفتن تأثیر مستقیم رواناب بر مقدار هدررفت خاک در شاخص فرسایندگی بارش، به عملکرد بهتر مدل RUSLE در برآورد مقدار هدررفت خاک منجر می‌شود (Bagarello et al, 2010 & Mishra et al, 2006 & Kinnell, 2007). در این زمینه،

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

Gao و همکاران (2012) در پژوهش خود با استفاده از روش SCS-CN و مدل RUSLE، مقدار رواناب را پیش‌بینی و تأثیر آن را بر مقدار هدررفت خاک بررسی کردند. آنها در راستای پژوهش خود از داده‌های بارش، کاربری اراضی، خصوصیات خاک، پوشش گیاهی، اقدامات حفاظتی و طول شیب استفاده کردند و با در نظر گرفتن شرایط رطوبت پیشین خاک در تولید رواناب و انتزاع اولیهٔ مدل SCS-CN و با اتخاذ عامل ارتفاع رواناب بارش در مدل RUSLE، به بررسی اثر مستقیم رواناب بر مقدار هدررفت خاک پرداختند و نشان دادند که این شیوه عملکرد قابل قبولی دارد. درواقع با اعمال ارتفاع رواناب در مدل RUSLE، می‌توان ظرفیت مدل برای پیش‌بینی مقدار هدررفت خاک را در حد قابل‌توجهی بهبود بخشید. Suman و Bansal (2013) در تحقیق خود، به بررسی فرسایش خاک با استفاده از روش SCS-CN و مدل RUSLE پرداختند و نشان دادند که ایجاد ارتباط بین ویژگی‌های توپوگرافی و هیدرولوژیکی منطقه، برای تعیین محدوده‌های آسیب‌پذیر از نظر فرسایش به نتایج بهتری منجر می‌شود که این نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مکانی بسیار مؤثر باشد. Kayt و همکاران (2018) در پژوهش خود با استفاده از مدل RUSLE و SCS-CN، مقدار هدررفت خاک را برآورد کردند. آنها نشان دادند که مدل تلفیقی SCS-CN و RUSLE در برآورد میانگین فرسایش سالانهٔ خاک، نتایج رضایت‌بخشی ارائه می‌دهند و می‌توان از آن برای تخمین مقدار هدررفت خاک در حوضه‌های کوچک نیز استفاده کرد. Pal و Chakrabortty (2019) برای بررسی تغییرات اقلیم بر مقدار هدررفت خاک، از داده‌های تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸، مدل رقومی ارتفاع، خاک، کاربری اراضی، بارش، شیب و توپوگرافی استفاده کردند و با استفاده از روش SCS-CN و مدل‌های RUSLE و MIROC5 نشان دادند که مدل تلفیقی، در ارزیابی اثرات فرسایش عملکرد بهتری دارند و در راستای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای برای اتخاذ تدابیر مناسب مدیریتی، مفیدتر هستند.

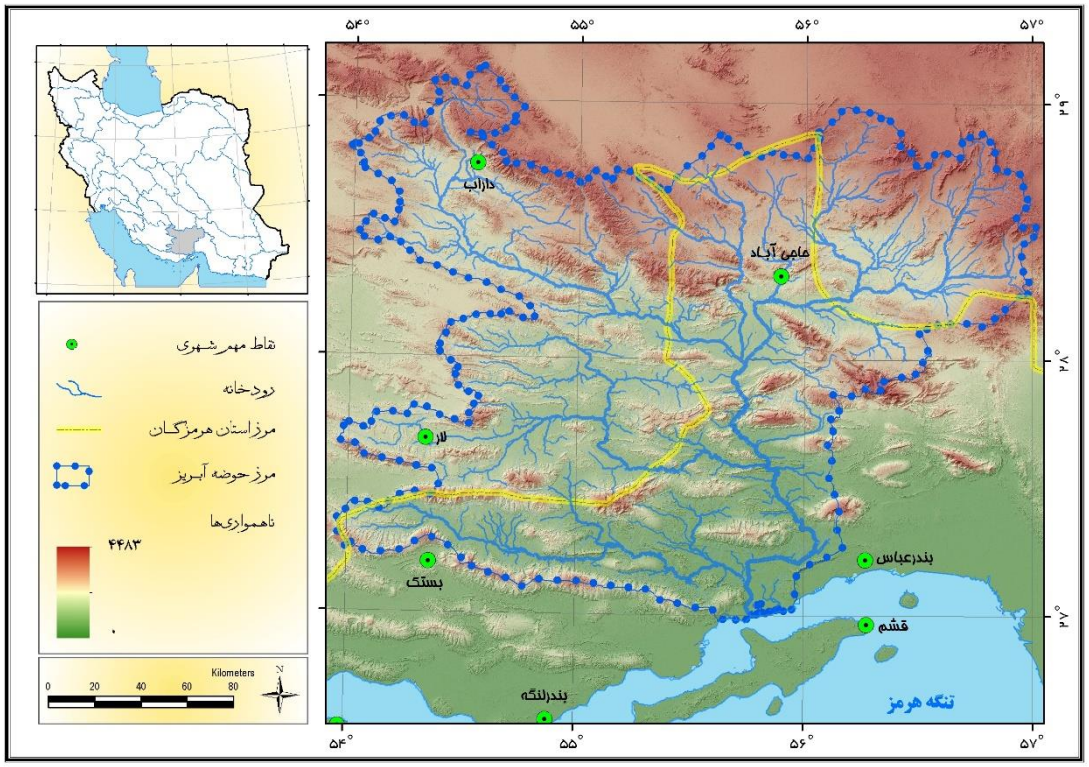
با توجه به عملکرد مناسب استفاده از مدل SCS-CN ــ که از آن به‌عنوان مدلی هیدرولوژیکی برای محاسبهٔ میزان رواناب از بارش استفاده می‌شود ــ و تلفیق آن با مدل RUSLE در جهت برآورد میزان فرسایش در حوضه‌های آبریز، به نظر می‌رسد با ترکیب این دو مدل و استفاده از داده‌های سنجش از دور، بهتر می‌توان میزان رسوب و فرسایش خاک را در حوضه‌های بزرگ ــ که دچار فقر اطلاعاتی در این زمینه است ــ برآورد کرد. به این منظور و با توجه به مشکلاتی که برای اندازه‌گیری و تعیین شاخص بارش در مدل RUSLE وجود دارد، در این پژوهش ابتدا از روش SCS-CN برای محاسبهٔ قدرت فرسایندگی رواناب استفاده و در پایان، پهنه‌های حساس به فرسایش خاک و رسوب برای اجرای عملیات حفاظتی آب‌وخاک تعیین شد.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ موردمطالعه، حوضه آبریز رودخانهٔ کل است که با مساحت ۴۲/۵ هزار کیلومترمربع، در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۹ دقیقه و طول ۵۳ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲ دقیقه واقع شده‌است. نزدیک به ۵۷ درصد آن، مناطق کوهستانی و ۴۳ درصد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها تشکیل می‌دهد که در میان ارتفاعات حوضه به‌طور پراکنده قرار گرفته‌است (Noraisefat, 2019). این حوضه از جنوب به خلیج‌فارس و حوضه آبریز مهران، از غرب به حوضهٔ مند، از شمال به حوضه آبریز ابرقو ــ سیرجان و از شرق به حوضه‌های بندرعباس ــ سدیچ و جازموریان محدود می‌شود (شکل ۱).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱: موقعیت منطقهٔ مطالعاتی

رودخانهٔ بزرگ این حوضه، رودخانهٔ کل است که از شمال به جنوب جریان دارد. سرشاخه‌های مهم آن بـال داراب، شور لار، رسول و ده شیخ، دورودی و گهر است. این منطقه جزء مناطق گرم و خشک ایران محسوب می‌شـود و اقلـیم آن تحت‌تأثیر آب هوای بیابانی و نیمه بیابانی قرار دارد. مشکل فرسایش خاک و کمبـود منـابع آب شـیرین در ایـن منطقه، بحرانی جدی به شمار می‌رود و پیامدهای بسیار زیان‌باری را در پی دارد. بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت و فقـدان پوشش گیاهی به همراه فقدان نفوذپذیری مناسب خاک، به ایجاد رواناب‌های ناگهانی با دبی‌های زیاد منجر می‌شـود و هر ساله حجم عظیمی از خاک‌های منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مشکل فرسایش در کنار مشکلات دیگر منطقـه ـ خشک‌سالی‌های درازمدت چندین سال اخیر، کمبود منابع آب و کمبود بارش ـ یک تهدیـد جـدی زیسـت‌محیطی بـه شمار می‌رود که تغییرات زیادی را در چرخهٔ هیـدرولوژی و اکوسیسـتم‌های طبیعـی ایـن منطقـه ایجـاد کـرده‌اسـت (Noraisefat, 2019). در صورت فقدان مدیریت صحیح، مسئله فرسایش می‌تواند خسارت‌های جبران‌ناپـذیری در پـی داشته باشد؛ از قبیل تخریب اراضی، هدررفت خاک، خسارت به عرصه‌های منابع طبیعی، زمین‌های کشـاورزی، ابنیـه و تأسیسات زیربنایی، تهدید روستاها و اماکن مسکونی، رسوب‌زایی و تشدید رسوب‌گذاری در مسیل‌ها و سازه‌های آبی.

۳ـ روش تحقیق

در این پژوهش، از تصاویر ماهوارهٔ Landsat سـال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ بـرای تولیـد نقشـهٔ کاربری و پوشش زمین استفاده شد. مدل رقومی ناهمواری‌ها نیز از داده‌های ماهوارهٔ Aster حاصل شد. داده‌های بـارش

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

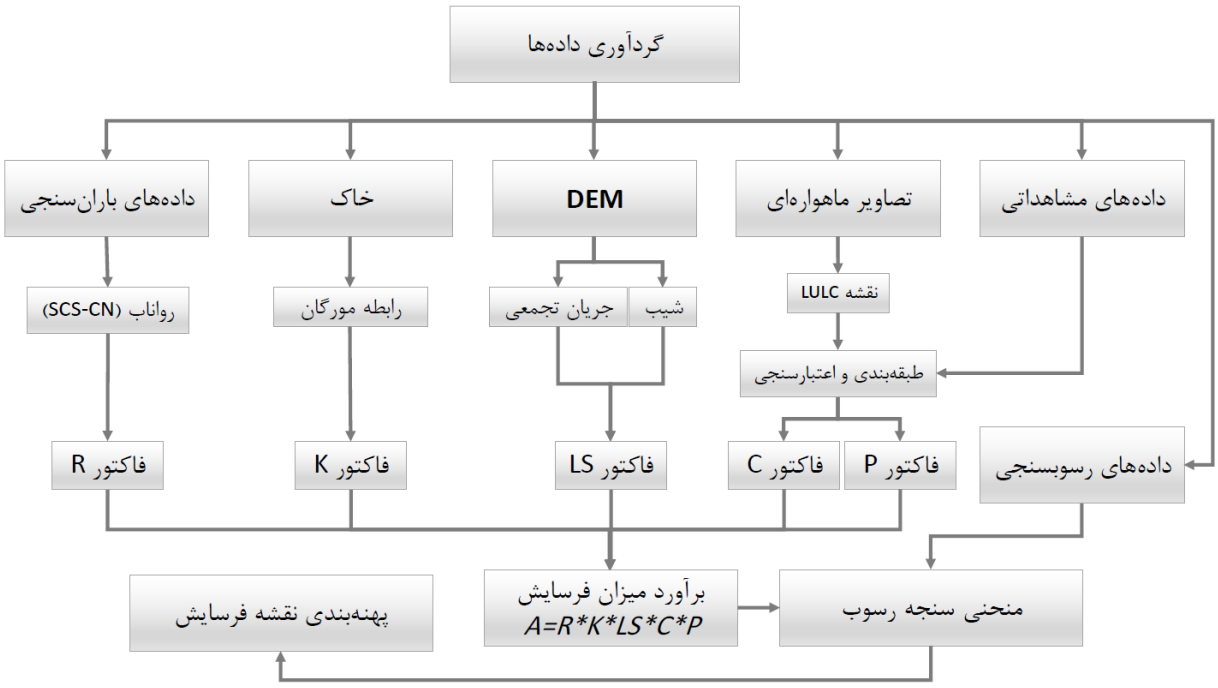
ایستگاه‌های موجود در منطقهٔ مطالعاتی نیز از سازمان هواشناسی برای بازهٔ زمانی مطالعاتی تهیه و پس از اجرای پردازش‌های لازم، برای تولید لایهٔ پهنه‌بندی بارش منطقه استفاده شد.

به‌منظور برآورد مقدار هدررفت خاک و روند تغییرات آن در دورهٔ مطالعاتی، از روش RUSLE استفاده شد. این مدل، نسخهٔ بهبودیافتهٔ مدل USLE است که در سال ۱۹۷۸ توسط ویشمایر و اسمیت معرفی شد. در مدل RUSLE، شاخص فرسایندگی باران جایگزین شاخص بارش یا رواناب در مدل USLE شد (Millward and Mersey, 1999). در این مدل، میانگین فرسایش سالانهٔ خاک از رابطهٔ ۱ به دست می‌آید:

$$A = R * K * LS * C * P$$ رابطهٔ ۱

که در آن، A برآورد میزان خاک فرسایش یافته ($ton/ha^{-1}/year^{-1}$)، R شاخص فرسایندگی بارش یا رواناب ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$) یا (mm)، K شاخص فرسایش‌پذیری خاک ($t\ ha\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)، LS شاخص توپوگرافی (تلفیق طول و درجه شیب) بدون واحد، C عامل پوشش گیاهی و P عامل حفاظت خاک است.

همهٔ شاخص‌های اشاره شده به شرحی که در ادامه می‌آید، با فرمت رستری در محیط GIS برای محاسبهٔ میانگین فرسایش خاک تهیه شد. برای ارزیابی عملکرد مدل نیز از مقدار رسوب مشاهداتی به دست آمده از روش منحنی سنجه رسوب در ایستگاه هیدرومتری قلات پایین در انتهای حوضه استفاده شد. مراحل اجرای تحقیق در شکل ۲ ارائه شده‌است:



شکل ۲: نمودار جریانی مراحل اجرای تحقیق

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

الف) برآورد فرسایش

ـ شاخص فرسایندگی بارش ـ رواناب (R)

شاخص بارندگی: بحث قدرت فرسایندگی بارش یا رواناب، میزان تأثیر بارش در بروز فرسایش را به‌صورت کمی به نمایش در می‌آورد و میزان احتمالی رواناب حاصل از بارش را تعیین می‌کند. اندازه‌گیری رواناب معمولاً به دو شیوهٔ اندازه‌گیری مستقیم یا با استفاده از روابط تجربی در حوضه‌های آبریز انجام می‌شود. اندازه‌گیری مستقیم، توسط ایستگاه‌های موجود در حوضه‌ها انجام می‌شود و داده‌های آن قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به روش‌های تجربی دارد (Fox and Bryan, 2000)، اما ساخت ایستگاه در همهٔ محدودهٔ حوضه آبریز معمولاً ممکن نیست؛ بنابراین، به‌دلیل وجود محدودیت‌ها و کمبود اطلاعات اندازه‌گیری شده، استفاده از رویکرد روابط تجربی و مدل‌سازی، گسترش و عمومیت بیشتری در مطالعات دارد.

با توجه به فقدان داده‌های انرژی جنبشی باران و بیشترین شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در منطقه، برای برآورد این شاخص از شاخص فورنیه (رابطهٔ ۲) استفاده شد (Rezaei et al, 2013):

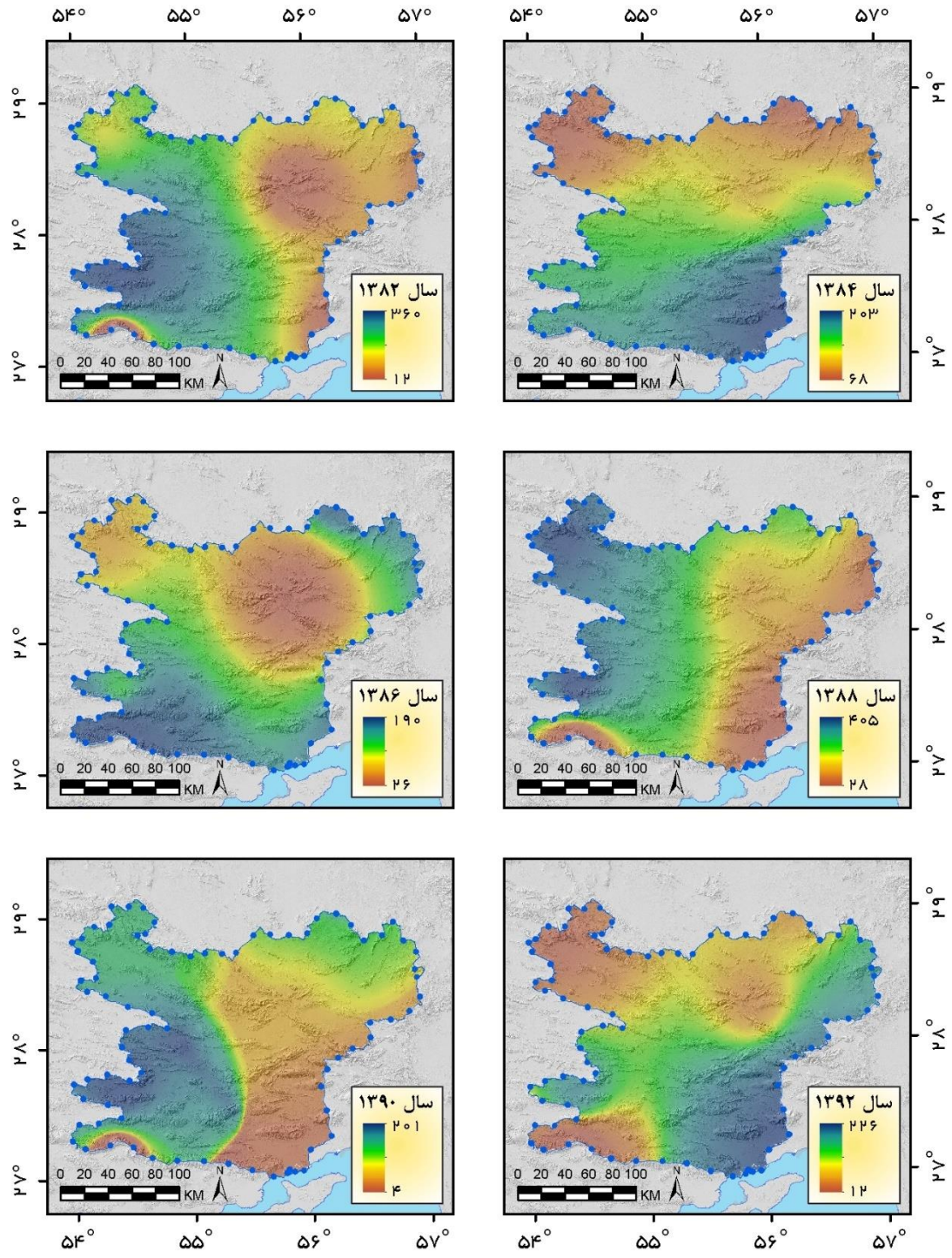
$$MFI = \sum Pi/P$$ رابطهٔ ۲

در این معادله، Pi متوسط بارندگی (mm) در ماه i و P متوسط بارندگی سالانه (mm) است. در این روش برای هر سال از دورهٔ مطالعاتی، یک شاخص محاسبه می‌شود؛ به این نحو که مجذور بارندگی هر ماه در هر سال مطالعاتی محاسبه شد و با تقسیم مجموع آنها بر بارندگی همان سال، مقدار شاخص اصلاح شدهٔ فورنیه سال یادشده به دست آمد. سپس با جای‌گذاری این شاخص در رابطهٔ ۳، مقدار R برای ایستگاه‌ها برآورد شد. در پایان، با توجه به مقدار فرسایندگی باران هر ایستگاه و میان‌یابی از روش IDW، نقشهٔ فرسایندگی باران منطقه تهیه شد (شکل ۳).

$$R = 0.264MFI^{1.5}$$ رابطهٔ ۳

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۳: نقشهٔ شاخص فرسایندگی بارش در شش دورهٔ آماری

مدل رواناب: میزان هدررفت خاک در حوضه آبریز به میزان رواناب بستگی دارد (Durbude et al, 2011). رواناب سالانه که با توجه به ویژگی‌های فیزیوگرافی و شاخص‌های اقلیمی تعیین می‌شود (Kayet et al, 2018)، شاخص بهتری برای بررسی نوسان‌های هدررفت خاک و تولید و توزیع رسوب است. برای اجرای این کار، از مدل‌های

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

مختلفی برای برآورد رواناب استفاده می‌شود که SCS یکی از روش‌های تأیید شده‌است که از آن به‌طور گسترده در کشورهای مختلف استفاده می‌شود. این روش به وسیلهٔ ادارهٔ کشاورزی آمریکا (USDA) و طبق رابطهٔ ۴، برای تخمین مقدار رواناب از بارش استفاده می‌شود (Hjelmfelt, 1991):

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S)}$$ رابطهٔ ۴

در این معادله، Q و P به ترتیب رواناب و ارتفاع بارندگی به میلی‌متر، I_a مقدار نگهداشت اولیه و S حداکثر توان نگهداشت آب در حوضه است. مقدار S، بر اساس شماره منحنی (CN) برحسب میلی‌متر از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$ رابطهٔ ۵

در این معادله، CN شماره منحنی رواناب است که بین صفر تا صد متغیر بوده و معمولاً از جدولی که توسط سازمان حفاظت خاک ایالات‌متحده (SCS) و بر اساس کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی، پوشش گیاهی و شرایط رطوبت پیشین تهیه شده، محاسبه می‌شود. گروه هیدرولوژیکی خاک یکی از عوامل مهم در محاسبات مربوط به بارش-رواناب است که در شکل‌گیری و تغییرات رواناب تأثیر زیادی دارد. بر همین اساس، نقشهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک منطقهٔ مطالعاتی طبق جدول ۱ تهیه شد (شکل ۴). طبق این نقشه، منطقهٔ مطالعاتی از سه گروه اصلی B, C, D و سه گروه ترکیبی تشکیل شده که گروه C بیشترین وسعت و گروه D کمترین وسعت را داشته‌است.

برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی ــ که خصوصیتی مهم در تشکیل رواناب است و بر میزان نفوذ، فرسایش، تبخیر و تعرق منطقه تأثیر می‌گذارد ــ از تصاویر ماهوارهٔ لندست ۸ استفاده شد. از آنجایی که در بازهٔ زمانی مطالعاتی، تغییرات زیادی از نظر نوع کاربری در منطقهٔ مطالعاتی دیده نشد، نقشهٔ کاربری تهیه شده بر اساس تصویر سال ۱۳۹۲ مبنا قرار گرفت و کاربری‌های منطقهٔ مطالعاتی در چهارده کلاس شامل سطوح آبی، زمین‌های شور، مناطق مسکونی، بیرون زدگی‌های سنگی، زمین‌های فاقد پوشش گیاهی، تپه‌های ماسه‌ای، مسیل، زمین‌های باتلاقی، مراتع، نیزار، درختچه‌زار، جنگل، محدوده‌های کشاورزی و باغ‌ها طبقه‌بندی شد (شکل ۵). بر این اساس با استفاده از این لایه‌ها و رابطهٔ ۶، مقادیر پتانسیل تولید رواناب برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه برآورد شد. در رابطهٔ ۶، مقدار تلفات اولیه به‌طور تجربی و بر اساس شرایط منطقه و بارش، برابر با بیست درصد مقدار S فرض می‌شود (λ=0.2):

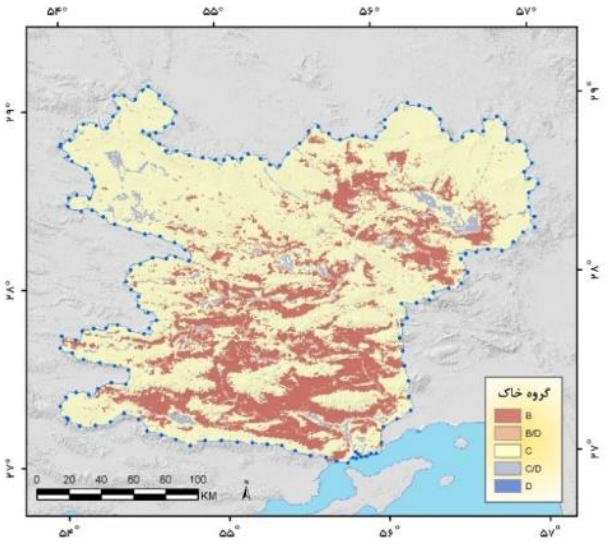
$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S)}$$ رابطه ۶

جدول ۱: حداقل شدت نفوذ در گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (مهدوی، ۱۳۹۲)

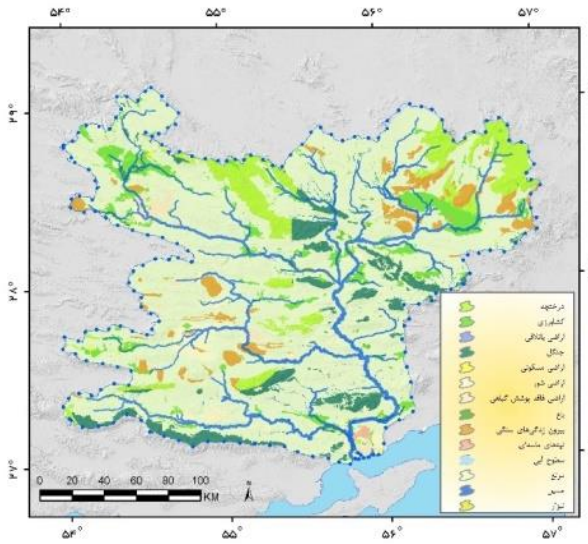
گروه هیدرولوژی	شدت نفوذ	نوع خاک	توانایی تولید رواناب
A	بیش از ۳	شنی و قلوه‌سنگی	کم
B	۳ – ۱/۵	شنی لومی ــ شنی رسی	متوسط
C	۱/۵ - ۰/۵	لومی، لومی‌رسی با لایهٔ سخت در عمق خاک	نسبتاً زیاد
D	کمتر از ۰/۵	رسی، خاک‌های شور، سنگ، آسفالت، بتون و خاک‌های کم‌عمق	خیلی زیاد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۴: نقشهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک



شکل ۵: نقشهٔ کاربری اراضی

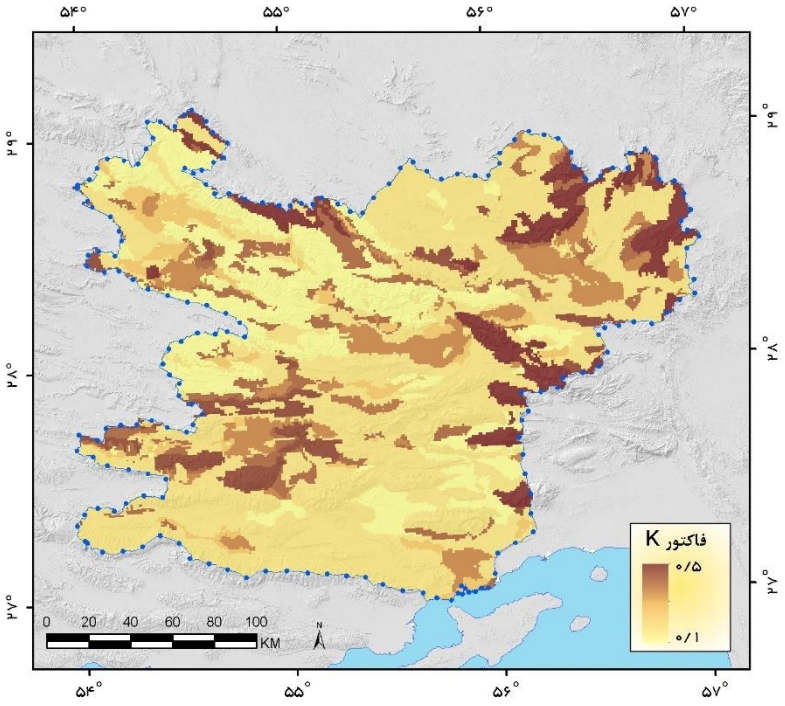
ـ شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)

شاخص K، ضریب فرسایش‌پذیری خاک و بیانگر حساسیت ذاتی آن است. این شاخص، سهولت جدا شدن ذرات خاک ناشی از ضربات قطرات باران و نیروی رواناب ایجاد شده از بارش را نشان می‌دهد. شاخص فرسایش‌پذیری به مقاومت خاک در برابر عوامل ایجادکنندهٔ فرسایش اشاره دارد (Khosravi Aqdam et al, 2019) و به خصوصیات خاک مانند بافت، نفوذپذیری و درصد مواد آلی وابسته‌است (Wischmeier and Smith, 1960). برای برآورد این ضریب در منطقهٔ مطالعاتی، از رابطهٔ مورگان (Ahmadi, 2009) استفاده شد. سپس ضریب فرسایش‌پذیری خاک منطقه برآورد و بر این اساس، نقشهٔ این عامل تهیه شد (شکل ۶ و جدول ۲).

جدول ۲: درصد فرسایش‌پذیری خاک

خاک	K	خاک	K
خاک سطحی با پوشش سنگ‌ریزه	۰/۵	زمین‌های مقاوم به فرسایش	۰/۱
خاک ماسه‌ای	۰/۱۶	خاک ماسه‌ای نرم	۰/۴۲
خاک لومی شنی	۰/۱۷	خاک لومی با ماسه ریز	۰/۴۲
خاک سیلتی لومی	۰/۴۷	خاک لومی	۰/۳۷
خاک سیلتی رسی	۰/۲۵	خاک لومی رسی	۰/۳۷

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۶: نقشهٔ شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)

ـ شاخص توپوگرافی (LS)

این شاخص، تأثیر توپوگرافی بر فرسایش خاک را نشان می‌دهد و از همپوشانی دو شاخص L و S به دست می‌آید؛ L فاکتور طول شیب و عبارت است از فاصلهٔ افقی از مبدأ جریان بالادست دامنه تا جایی که تندی شیب (S) به مقدار قابل‌توجهی تغییر یابد (Mitasova et al, 1999). به‌دلیل تجمع و افزایش تدریجی رواناب به سمت پایین دامنه‌ها، هر دو شاخص به‌طور مستقیم در فرسایش خاک و تولید رسوب نقش دارند (Renard et al, 1997 & Wischmeier and Smith, 1978). شاخص توپوگرافی از ضرب این دو فاکتور و طبق رابطهٔ ۷ به دست می‌آید (Wischmeier and Smith, 1960):

$$LS = (Flow\ Accumulation\ grid * \frac{Cell\ Size}{22.13})^{0.4} * (\frac{Sin(Slope\ Grid)*0.01745}{0.0896})^{1.3}$$ رابطهٔ ۷

برای محاسبهٔ این شاخص در منطقهٔ مطالعاتی، از ASTER DEM سی متری استفاده شد. پس از اجرای تصحیحات موردنیاز، لایه‌های تجمع جریان و شیب تهیه و با استفاده از رابطهٔ ۷، نقشهٔ شاخص توپوگرافی منطقهٔ مطالعاتی تهیه شد (شکل ۷).

ـ شاخص پوشش گیاهی (C)

شاخص پوشش گیاهی که بعد از شاخص ناهمواری، دومین شاخص تأثیرگذار در فرسایش خاک است، بیانگر روش‌های کاشت و برداشت و مدیریت زمین‌ها در راستای کاهش تأثیرات فرسایش بوده و عبارت است از: نسبت مقدار خاک از دست‌رفته از زمین زیر کشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از

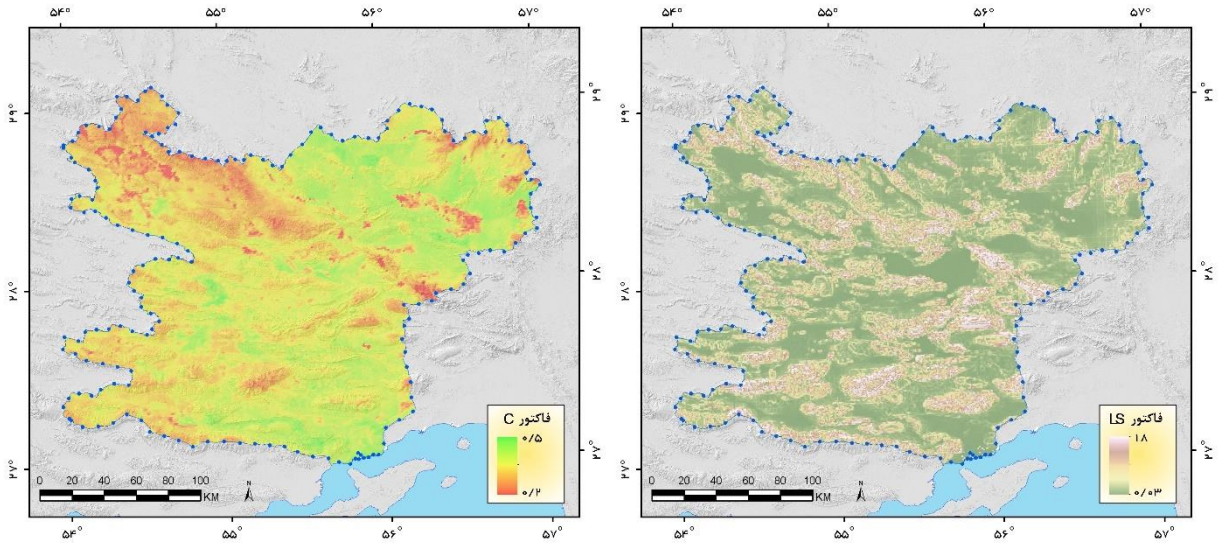
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

پوشش یا بقایای گیاهی (Renard et al, 1997). پوشش گیاهی از برخورد مستقیم قطرات باران بـه خـاک جلـوگیری می‌کند و این کار به حفاظت بیشتر خاک منجر می‌شود؛ به همین دلیل، هدررفت خـاک در زمین‌هـای بـدون پوشـش بیشتر است. به‌دلیل تنوع پوشش گیاهی و تغییرات مکانی و زمانی آن، معمولاً از روش‌های سنجش از دور برای برآورد آن استفاده می‌شود که یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین آن، شاخص NDVI اسـت (Prasannakumar et al, 2012). در این پژوهش نیز از همین شیوه برای برآورد شاخص C و از طریق رابطهٔ ۸ و ۹ استفاده شد (شکل ۸):

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$ رابطهٔ ۸

$$C = exp\,[-a\frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}]$$ رابطهٔ ۹

در این رابطه، α و β پارامترهای بدون بعد است و مقادیر آنها به ترتیب ۲ و ۱ می‌باشد (Perović et al, 2013).



شکل ۷: نقشهٔ شاخص توپوگرافی (LS)

شکل ۸: نقشهٔ شاخص پوشش گیاهی (C)

ـ شاخص حفاظتی (P)

فاکتور حفاظتی بیانگر نسبت خاک فرسایش‌یافته در شرایط اجرای عملیات حفاظتی (مانند کشت روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی و ...) به هدررفت خاک در زمان شخم و زراعـت در جهـت شـیب است. هر چه مقدار این عامل کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدر رفت خاک کمتر است. چنانچه هیچ کار حفاظتی صورت نگرفته باشد مقدار آن یک در نظر گرفته می‌شود (Al-Abadi et al, 2016). در این پژوهش نیز با توجه به اینکه اقدامات حفـاظتی خاصی در منطقه انجام نشده‌است، مقدار شاخص حفاظتی یک در نظر گرفته شد.

ب) برآورد میزان رسوب

برآورد مقدار بار رسوبی در زمینهٔ برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر حوضه اهمیت زیـادی دارد. از آنجـایی کـه مقـدار فرسایش با میزان بار رسوب یکسان نیست، برای محاسبهٔ نسبت تحویل رسوب، از روش‌ها و رابطه‌های جدول ۳ استفاده

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

شد. برای ارزیابی رسوب برآورد شدهٔ مدل‌ها، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری قلات پایین و روش منحنی سنجه رسوب استفاده شد. در این روش، یک رابطهٔ رگرسیونی بین دبی جریان و رسوب انجام می‌شود که بعد از برازش داده‌ها، مناسب‌ترین مدل برای برآورد مقدار رسوب معلق تعیین می‌شود. در واقع، منحنی سنجه رسوب با استفاده از یک مدل تابع نمایی، رابطه بین مقدار رسوب مشاهداتی و متوسط دبی سالانه را نشان می‌دهد که به صورت زیر قابل محاسبه است (Talebi et al, 2017):

$$Q_S = aQ_w^b$$ رابطهٔ ۱۰

در این رابطه، Q_s بار معلق (تن در روز)، Q_w دبی جریان بر حسب مترمکعب بر ثانیه و a وb ضرایب ثابت معادله است که a فاصله قائم محل تقاطع خط بهترین برازش با محور قائم تا مبدأ مختصات است و مقدار نمای b برابر با شیب خط بهترین برازش است. این دو ضریب را به قدرت فرسایندگی و ظرفیت انتقال رودخانه ارتباط می‌دهند.

در این پژوهش پس از بررسی نمونه‌های رسوب و دبی، رابطه‌ای ریاضی بین مقادیر بار رسوبی و دبی جریان برقرار شد. در این مرحله با برازش مقادیر دبی و رسوب، رابطه‌ای توانی بین دو متغیر مورد نظر ایجاد و بعد از تعیین مناسب‌ترین مدل، با جای‌گذاری مقدار متوسط دبی سالانه در معادلهٔ رگرسیونی، مقدار رسوب معلق سالانه محاسبه شد (شکل ۹). برای تعیین میزان رسوب‌دهی ویژه نیز از رابطهٔ ۱۱ استفاده شد:

$$SY_{sp} = SY/A$$ رابطهٔ ۱۱

که در آن، SYsp رسوب‌دهی ویژه (تن در هکتار در سال)، SY رسوب‌دهی کل (تن در هکتار در سال) و A مساحت (هکتار) است.

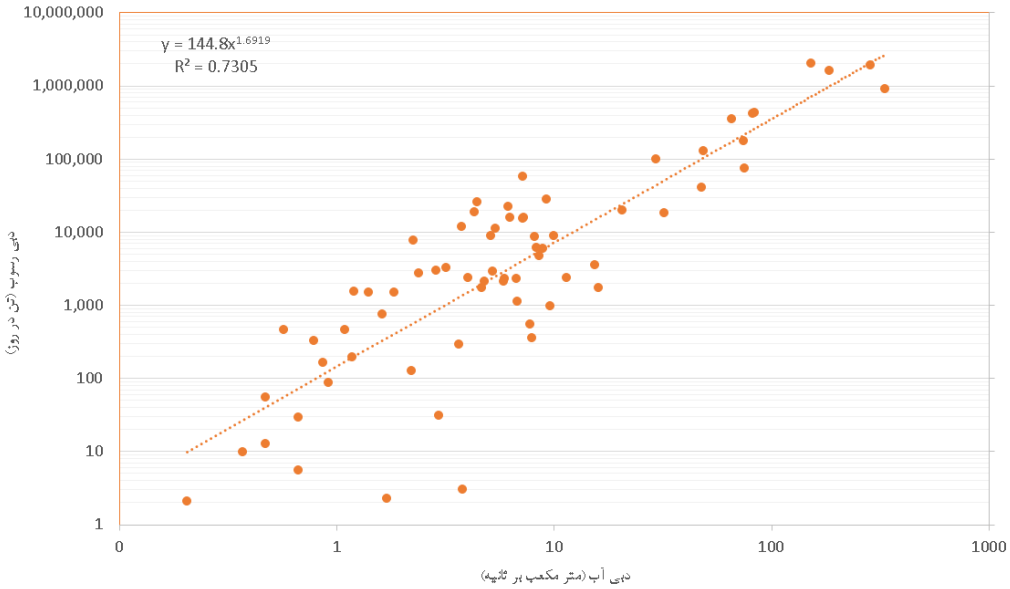
جدول ۳: رابطه‌های محاسبهٔ نسبت تحویل رسوب (SDR)

مدل	رابطه
Maidment	$SDR= 0.035A^{(-0.3)}$
وزارت کشاورزی آمریکا	$SDR= 0.5656A^{(-0.11)}$
بویس	$SDR= 0.3750A^{(-0.2382)}$
وانونی	$SDR= 0.4724A^{(-0.125)}$
سرویس حفاظت خاک آمریکا	$SDR= 0.332A^{(-0.2236)}$

در این رابطه‌ها، SDR میزان تحویل رسوب و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



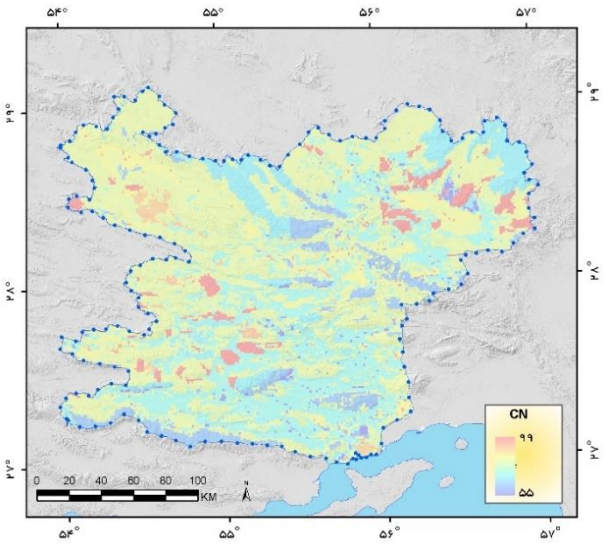
شکل ۹: منحنی سنجه رسوب محاسبه شده برای ایستگاه قلات پایین و معادلهٔ آن

۴ـ یافته‌ها

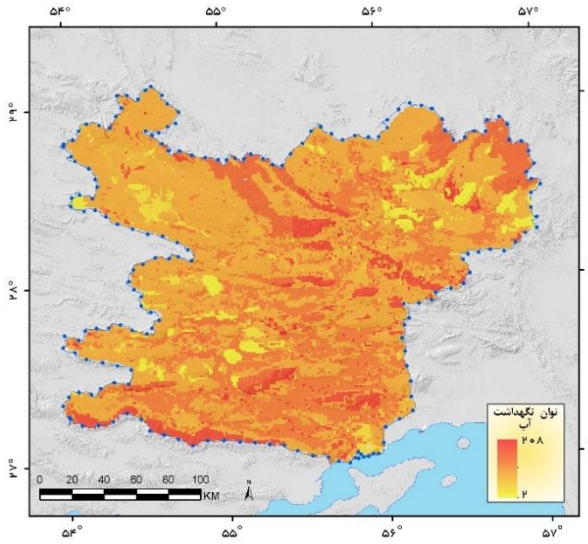
ـ برآورد رواناب

گام اول برای اجرای محاسبات با روش SCS-CN، تعیین شماره منحنی است که بر اساس نقشهٔ کاربری اراضی و نقشهٔ گروه هیدرولوژیکی خاک تهیه می‌شود. شماره منحنی سطح هر حوضه بیانگر رفتار هیدرولوژیکی آن حوضه و رژیم آب‌دهی آن در مواقع بارندگی است. باتوجه به پردازش‌های انجام شده، دامنهٔ شماره منحنی منطقهٔ مطالعاتی بین ۵۵ تا ۹۹ است که توان تولید رواناب را در منطقه نشان می‌دهد. شماره منحنی کم، نشانهٔ نفوذپذیری زیاد خاک و شماره منحنی بالا، نشانهٔ نفوذپذیری کم خاک است و شرایط را برای وقوع جریان‌های شدید فراهم می‌کند و هدررفت آب و فرسایش‌پذیری زیاد خاک را نیز در پی دارد (شکل ۱۰). در ادامه با اجرای نقشهٔ شماره منحنی در رابطهٔ ۵، نقشهٔ مقدار حداکثر توان نگهداشت آب در حوضه تهیه شد (شکل ۱۱). برای محاسبهٔ مقدار شاخص فرسایندگی بارش در منطقهٔ مطالعاتی، مقدار ارتفاع رواناب نیز در نظر گرفته شد؛ به این صورت که بعد از محاسبهٔ مقادیر بارش با استفاده از رابطهٔ ۳، نقشهٔ شاخص فرسایندگی بارش تهیه شد (شکل ۳). سپس با قرار دادن نقشهٔ پهنه‌بندی فرسایندگی بارش در رابطهٔ ۶، مقادیر پتانسیل تولید رواناب برای هر شش دورهٔ آماری محاسبه شد (شکل ۱۲).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱۰: نقشهٔ شماره منحنی

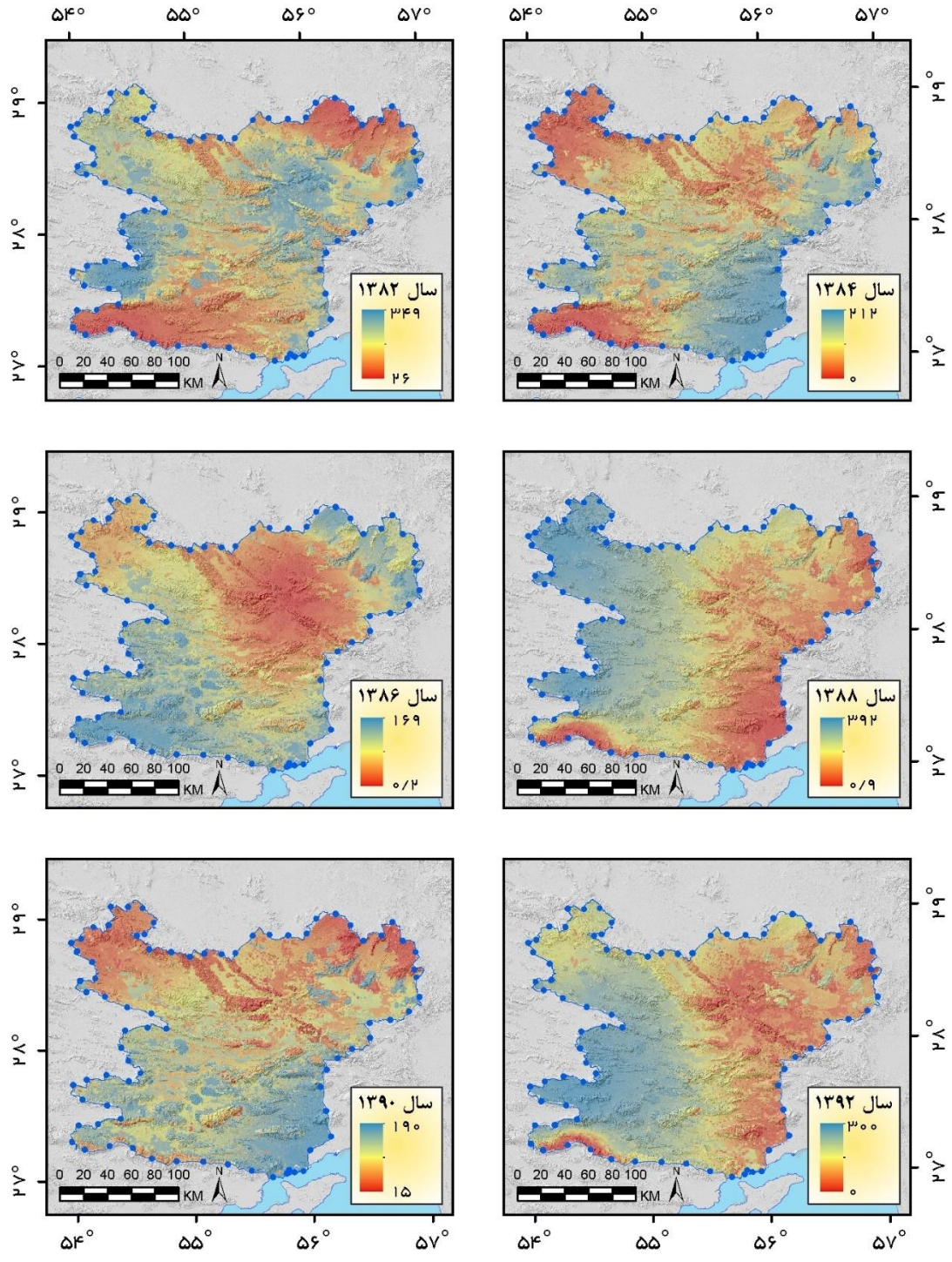


شکل ۱۱: نقشهٔ توان نگهداشت آب

بررسی نتایج نشان می‌دهد که سرعت زیاد بارش و فرصت کم نفوذ در منطقهٔ مطالعاتی، زمینهٔ ایجاد رواناب‌هایی با حجم زیاد و سرعت بالا را فراهم می‌کند. از طرفی، وضعیت نفوذپذیری کم خاک منطقه، شرایط محیطی، فقر پوشش گیاهی و گسترهٔ زیاد گروه هیدرولوژیکی C، در تعیین سرعت رواناب و قدرت فرسایندگی آن نقش زیادی دارد. محدوده‌های جنوب غرب، جنوب شرقی و شمال شرقی که شماره منحنی بالاتری دارد، توان بیشتری در تولید رواناب دارد و درنتیجه، پتانسیل فرسایش در آنجا بیشتر است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱۲: نقشهٔ پتانسیل تولید رواناب شش دورهٔ آماری ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ yr^{-1}$)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

ـ برآورد فرسایش

بعد از ضرب شاخص‌ها، نقشهٔ مقدار هدررفت سالانهٔ خاک منطقهٔ مطالعاتی برای هر سال تهیه (شکل ۱۳) و مشخص شد در دورهٔ مطالعاتی، بیشترین مقدار هدررفت خاک در سال ۱۳۸۲ و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۸۴ اتفاق افتاده‌است. بیشترین میزان فرسایش مطالعاتی نیز در قسمت‌های جنوب غربی و جنوب شرقی و به‌طورکلی در نیمهٔ جنوبی و شمال شرقی منطقه مشاهده می‌شود که بر مناطق فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی خیلی ضعیف انطباق دارد و به همین دلیل، بارش‌های رگباری منطقه تأثیر بیشتری بر این مناطق دارد. میانگین مقادیر هدررفت خاک در سال‌های مختلف دورهٔ مطالعاتی در جدول ۴ ارائه شده‌است.

جدول ۴: متوسط سالانهٔ فرسایش (تن در هکتار در سال)

سال	۱۳۸۲	۱۳۸۴	۱۳۸۶	۱۳۸۸	۱۳۹۰	۱۳۹۲
میانگین فرسایش سالانه	۲۹/۰۴	۵/۵	۱۳/۸۱	۲۴/۷۴	۹/۲۶	۱۰/۸۲

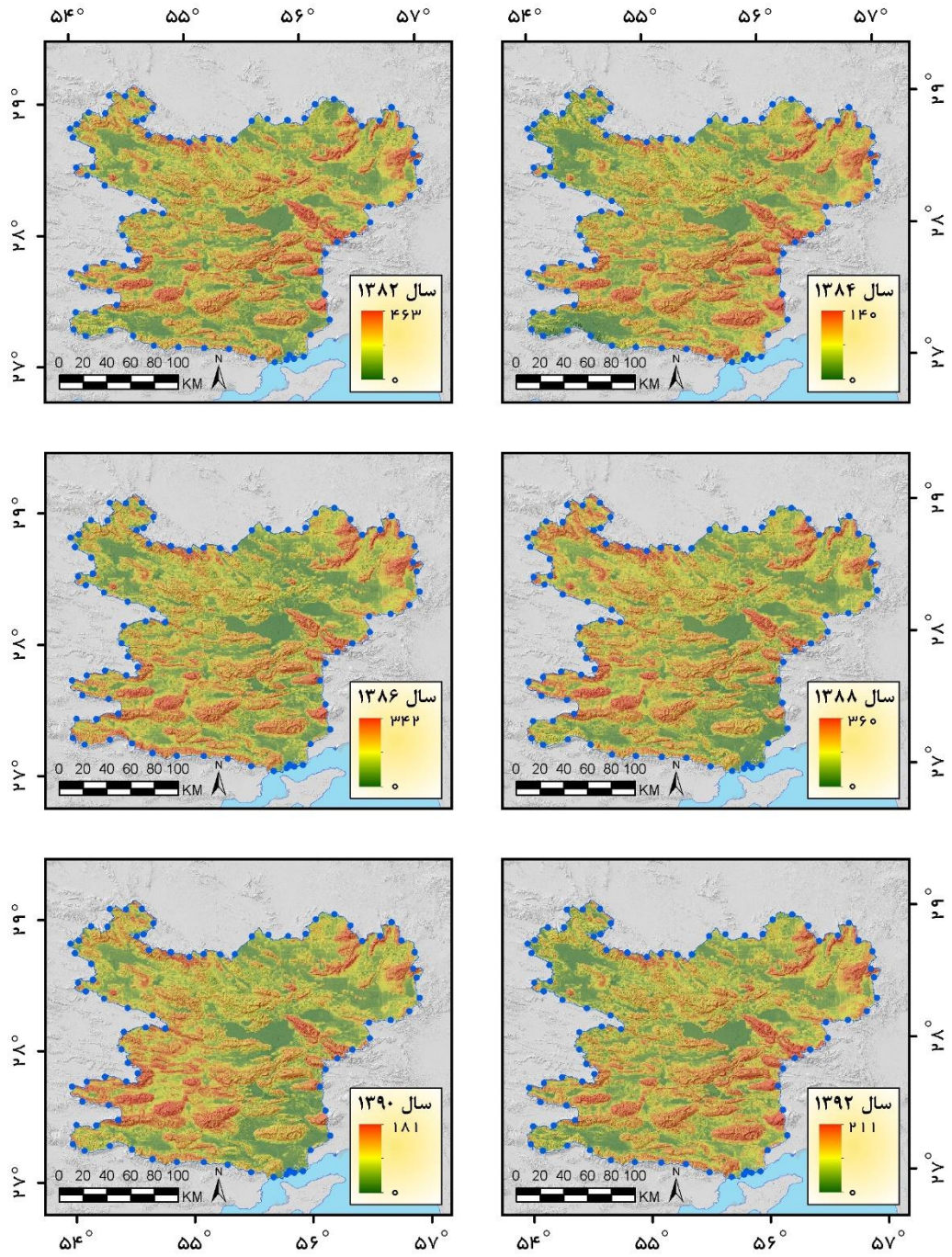
در ادامه با همپوشانی لایهٔ فرسایش هر سال، نقشهٔ میانگین خطر فرسایش شش دوره محاسبه (شکل ۱۴) و نتایج در چهار طبقهٔ کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد دسته‌بندی شد (جدول ۵). بررسی این نتایج نشان داد که خطر فرسایش در طبقه‌های زیاد تا خیلی زیاد، بیشتر در نیمهٔ جنوبی منطقه و به‌صورت پراکنده در بقیهٔ محدوده‌ها مشاهده می‌شود و مناطق با فرسایش خیلی زیاد در قسمت‌های غربی و جنوب شرق منطقه واقع است که به نظر می‌رسد دلیل این امر، وجود اراضی فاقد پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی تنک و سازندهای حساس به فرسایش است. دربارهٔ مناطق پرخطر در قسمت شمالی منطقه نیز علاوه بر فقر پوشش گیاهی و جنس خاک می‌توان به نقش شیب و فرسایندگی رواناب اشاره کرد. با توجه به اختلافی که از نظر توپوگرافی در منطقه وجود دارد، می‌توان نقش این عامل را در ایجاد فرسایش پر رنگ دانست؛ به ویژه که با افزایش مقدار شیب، قدرت فرسایندگی رواناب افزایش می‌یابد.

جدول ۵: طبقه‌بندی فرسایش در منطقهٔ مطالعاتی

دستهٔ فرسایش	دامنهٔ دستهٔ فرسایش (تن در هکتار)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
کم	کمتر از ۱۰	۲۵۴۶۶	۶۱/۷
متوسط	۱۰ – ۴۰	۱۱۷۸۴	۲۸/۵
زیاد	۴۰ – ۷۰	۲۱۶۹	۵/۳
خیلی زیاد	بیش از ۷۰	۱۸۷۲	۴/۵

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

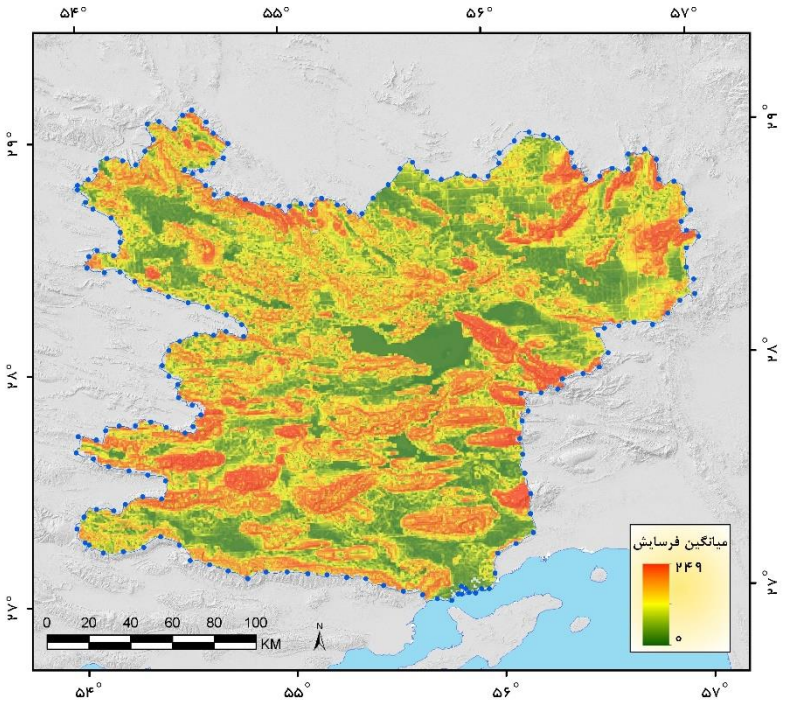
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱۳: فرسایش سالانهٔ خاک (تن در هکتار در سال) در سال‌های مختلف

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱۴: نقشهٔ میانگین خطر فرسایش

در ادامه لایه فرسایش محاسبه شدهٔ هر سال، در نسبت تحویل رسوب روش‌های منتخب ضرب و رسوب‌دهی حوضه به دست آمد. برای مقایسه و ارزیابی رسوب برآورد شدهٔ مدل، باید نتیجه با آمار مشاهده‌ای مقایسه شود. برای این کار با استفاده از منحنی سنجهٔ محاسبه شده (شکل ۹)، مقدار دبی جریان روزانه طی دورهٔ مطالعاتی در معادلهٔ مربوطه قرار گرفت و مقدار رسوب هر روز محاسبه شد. سپس با جمع کردن مقدار رسوب روزانه، مقدار رسوب سالانهٔ حوضه در دورهٔ مطالعاتی نیز تعیین و با مقادیر برآورد شده مقایسه شد (جدول ۶). در ادامه، با جای‌گذاری میزان رسوب‌دهی سالانهٔ دوره‌های مطالعاتی در رابطهٔ ۱۱، رسوب‌دهی ویژهٔ حوضه به دست آمد. به منظور ارزیابی نتایج SDR و تعیین مدل مناسب، از روش میانگین اختلاف (BIAS) و رابطهٔ ۱۲ استفاده شد:

$$BIAS = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{n}\frac{E_o - E_e}{E_o}$$ رابطهٔ ۱۲

که در این رابطه، E_o مقادیر مشاهده‌ای و E_e مقادیر برآورد شده است.

براین اساس، از بین روش‌های تحویل رسوب، روش وانونی به دلیل دقت بالاتر و برآورد نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی (جدول ۷)، مبنای تهیهٔ نقشهٔ رسوب قرار گرفت و نتایج آن در شکل ۱۵ ارائه شد:

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

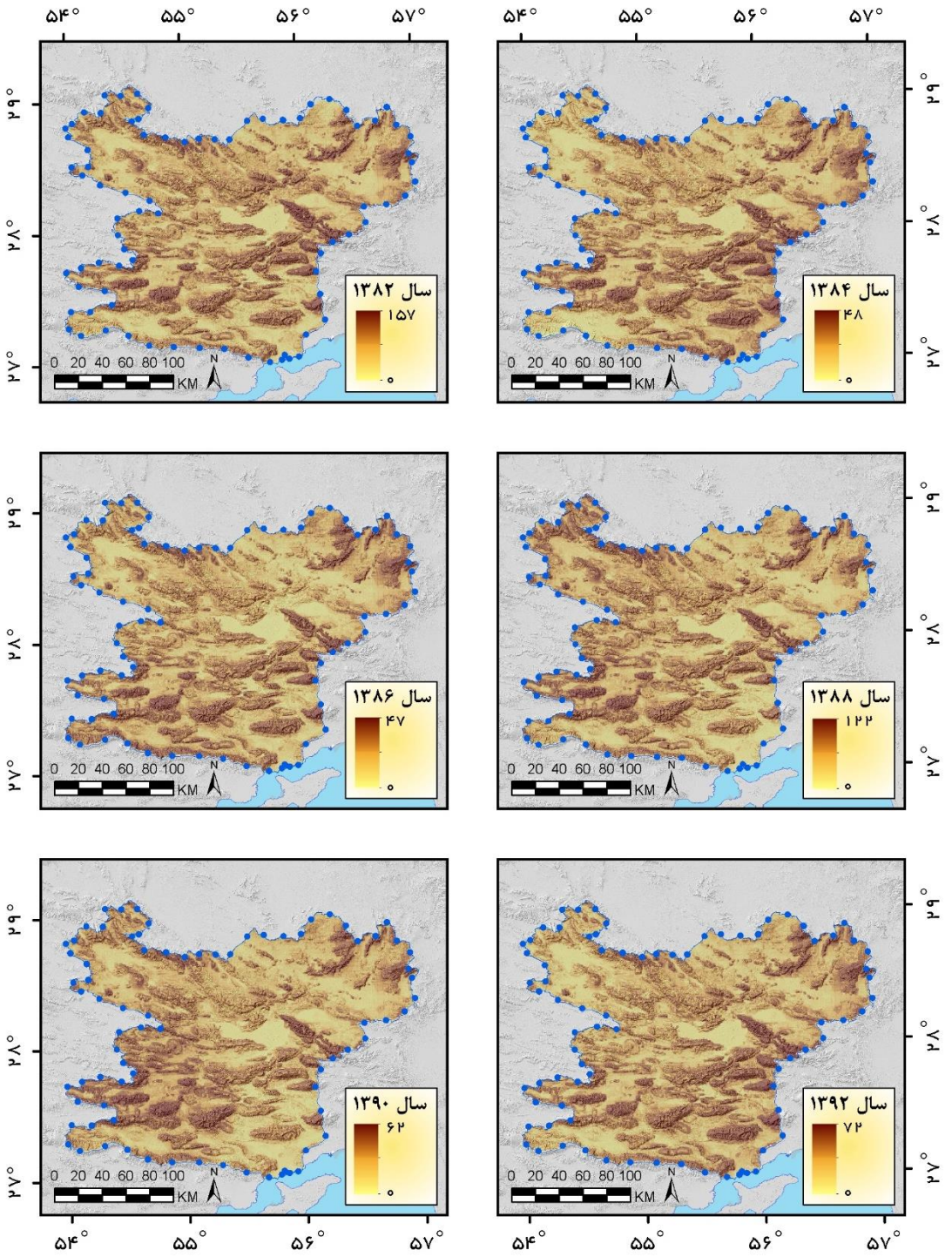
جدول ۶: میزان رسوب برآورد شده (تن در هکتار در سال) در ایستگاه قلات پایین با روش‌های مختلف

سال	Maidment	وزارت کشاورزی آمریکا	بویس	وانونی	سرویس حفاظت خاک آمریکا	مشاهده‌ای
۱۳۸۲	۶۴۳۸۷	۷۸۸۱۷۲۲	۱۳۳۲۸۷۷	۵۶۱۰۴۳۵	۱۳۷۸۷۰۲	۷۵۲۹۷۵۰
۱۳۸۴	۷۸۹۰۴	۹۶۵۸۸۱۸	۱۶۳۳۴۰۱	۶۸۷۵۴۲۳	۱۶۸۹۵۵۹	۱۲۵۰۹۱۹۵
۱۳۸۶	۶۹۶۳۰	۸۵۲۳۵۳۹	۱۴۴۱۴۱۴	۶۰۶۷۲۹۸	۱۴۹۰۹۷۲	۱۳۴۱۷۴۳
۱۳۸۸	۱۱۹۴۸۲	۱۴۶۲۶۰۶۰	۲۴۷۳۴۱۰	۱۳۴۷۶۴۹۳	۲۵۵۸۴۴۹	۷۱۷۶۸۲۹
۱۳۹۰	۴۴۱۷۹	۵۴۰۸۰۹۶	۹۱۴۵۶۲	۳۸۴۹۶۳۷	۹۴۶۰۰۶	۸۹۴۰۰۲۱
۱۳۹۲	۵۷۷۹۴	۷۰۷۴۷۱۶	۱۱۹۶۴۰۴	۵۰۳۵۹۸۵	۱۲۳۷۵۳۸	۳۲۶۰۲۲۵

جدول ۷: مقایسهٔ میانگین اختلاف داده‌های مشاهداتی و برآورد شده در روش‌های مختلف

	Maidment	وزارت کشاورزی آمریکا	بویس	وانونی	سرویس حفاظت خاک آمریکا
BIAS	۰/۹۸	۱/۱۷-	۰/۶۳	۰/۵۴-	۰/۶۲

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]



شکل ۱۵: پهنه‌بندی میزان تولید رسوب در سطح حوضه در سال‌های مختلف

۵ـ نتیجه‌گیری

بررسی نقشهٔ پتانسیل تولید رواناب در شش دورهٔ آماری، ارتباط میزان بارش با حجم رواناب تولیدی را به‌خوبی نشان داد. در دوره آماری مطالعاتی و در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۶، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان بارش و درنتیجه، بیشترین و کمترین میزان تولید رواناب مشاهده شد. محدوده‌های جنوب غرب، جنوب شرقی و شمال شرقی به‌دلیل

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

داشتن CN بالاتر، پتانسیل بیشتری در تولید رواناب داشت. درواقع، عواملی از جمله زمین‌شناسی، جنس خاک، فقر پوشش گیاهی و شدت زیاد بارش در منطقهٔ مطالعاتی، شرایط مناسبی را برای ایجاد رواناب با سرعت‌های متفاوت فراهم می‌کند که این امر هدررفت خاک را در منطقه به همراه دارد. بررسی نقشه‌های محاسبه شده از مقدار هدررفت خاک در شش دورهٔ آماری نشان داد که مقدار متوسط هدررفت خاک بین ۵/۵ تا ۲۹/۰۴ تن در هکتار در سال متغیر بود. بیشترین مقدار آن مربوط به سال ۱۳۸۸ و کمترین مقدار مربوط به سال ۱۳۸۶ بود. این مقادیر که منطبق بر میزان رواناب برآورد شده از بارش است، بیانگر تأثیر و ارتباط رواناب در میزان فرسایش ایجاد شده‌است. طبق نقشه‌های فرسایش، بیشترین میزان این پدیده در قسمت‌های جنوب‌غربی و جنوب‌شرقی و به‌طورکلی نیمهٔ جنوبی و شمال‌شرقی منطقه مشاهده شد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد اگر سایر خصوصیات و ویژگی‌های دخیل در فرسایش ثابت در نظر گرفته شود، میزان هدررفت خاک به‌صورت مستقیم با بارش در ارتباط است. درواقع، شرایط محیطی منطقه به صورتی است که بارش‌ها عموماً شدت زیادی دارند و در کوتاه‌مدت رخ می‌دهند؛ بنابراین، فرصت نفوذ نیافته و با همان شدت، جریان یافته‌اند و درنتیجه رواناب‌های شدیدی را ایجاد می‌کنند که این امر خود فرسایندگی بسیاری را به همراه خواهد داشت. در کنار بارش می‌توان به عواملی از جمله وجود واحدهای زمین‌شناسی حساس، فقر پوشش گیاهی منطقه، ویژگی‌های مختلف خاک منطقه و کمبود عامل حفاظتی اشاره کرد که در افزایش شدت فرسایش در منطقهٔ مطالعاتی نقش زیادی دارد. ذکر این امر لازم است که گسترهٔ گروه هیدرولوژیکی C در منطقه و وجود واحدهای کربناته، تبخیری و مارن نیز زمینهٔ فرسایندگی زیادی را در منطقه فراهم می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مناطق با خطر فرسایش متوسط تا زیاد عمدتاً در قسمت‌های جنوبی حوضه مشاهده می‌شود. محدودهٔ پرخطر فرسایش نیز قسمت‌های غرب و جنوب شرق و شمال منطقه را در برمی‌گیرد که این امر به‌دلیل وجود اراضی فاقد پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی تنک، سازندهای حساس به فرسایش، شیب و قدرت فرسایندگی رواناب است.

Rezaei و همکاران (2013) و Nezhadafzali و همکاران (2019) در بررسی خود بیان کردند که عواملی از جمله اراضی فاقد پوشش گیاهی، سازندهای حساس به فرسایش و بارش در افزایش میزان فرسایش نقش به‌سزایی دارد. با توجه به اختلافی که از نظر توپوگرافی در منطقه وجود دارد، می‌توان نقش این عامل را در ایجاد فرسایش پررنگ دانست؛ چرا که عمدتاً افزایش مقدار شیب، افزایش قدرت فرسایندگی رواناب را در پی دارد. در این زمینه می‌توان به بررسی پژوهشگرانی از جمله Vaezi and Haqqani (2020)، Tela and Bogunovic (2021) و Assoulineand Ben-Hur (2006) اشاره کرد. بررسی‌های آنها نشان داد که افزایش میزان شیب، در کاهش ماندگاری آب در سطح تأثیر زیادی دارد و در نتیجه به کاهش نفوذ رواناب منجر می‌شود. همچنین به افزایش سرعت جریان و درنتیجه افزایش میزان فرسایندگی منجر می‌شود.

تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل رواناب و نقشهٔ مقادیر هدررفت خاک و بررسی آنها نشان داد که رواناب سالانه شاخص مناسبی برای بررسی تغییرات مقادیر هدررفت خاک سالانه است و می‌تواند تخمین بهتری از میزان فرسایش را نشان دهد. درواقع، این روش به‌دلیل بهتر نشان دادن عوامل فرساینده و تأثیرات این عوامل در ارتباط با سایر شرایط موجود در منطقه، می‌تواند عملکرد مناسبی در زمینهٔ برآورد مقدار هدررفت خاک داشته باشد و در برنامه‌ریزی‌های مکانی نتایج مناسبی را ارائه دهد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش Bansal and Suman (2013) و Kayt et al (2018) که از

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

این روش برای برآورد هدررفت خاک استفاده کردند، منطبق است و همخوانی دارد. همچنین خروجی‌های این کار با پژوهش Bansal and Suman که به ارتباط بین ویژگی‌های توپوگرافی و هیدرولوژیکی و تأثیر آن در تعیین محدوده‌های آسیب‌پذیر از نظر فرسایش تأکید داشت، همسو بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و وجود مشکلات جدی ناشی از فرسایش در استان هرمزگان، از این روش می‌توان برای برآورد فرسایش و روند تغییرات آن استفاده کرد و نسبت به اولویت‌بندی مناطق از نظر خطر فرسایش، افزایش آگاهی مردم نسبت به پیامدهای این پدیده، جلوگیری از استفادهٔ نادرست از طبیعت، مدیریت رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری‌ها برای ساماندهی حفاظت خاک و بهره‌برداری از آن اقدام کرد.

منابع و مآخذ

1. Ahmadi, H., 2009. Applied Geomorphology, Tehran University. (In Persian).
2. Al-Abadi, A. M. A.; Ghalib, H. B.; & W. S. Al-Qurnawi, 2016. Estimation of soil erosion in northern Kirkuk governorate, Iraq using rusle, remote sensing and GIS, *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 11(1), 153-166.
3. Alizadeh, A., 2007. Principles of applied hydrology, Astan Quds Razavi Mashhad. (In Persian).
4. Assouline, S., & M. Ben-Hur., (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*. 66(3), 211-220.
5. Babaei, M.; Hosseini, S. Z.; Nazari Samani, A. A.; & S. A. Almodaresi, 2015. Assessment of soil erosion using RUSLE 3D, case study: Kan-Soleghan, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8(2), 165-181 *(in Persian).*
6. Bagarello, V.; Ferro, V.; & G. Giordano, 2010. Testing alternative erosivity indices to predict event soil loss from bare plots in Southern Italy, *Hydrol Process*, 24, 789-797.
7. Bansal, V. K., & M. Suman., (2013). Estimation of Runoff and Soil Erosion Using Gis: A Case Study of Nit Hamirpur Campus.
8. Colman, C. B.; Oliveira, P. T. S.; Almagro, A.; Soares-Filho, B. S.; & D. B. Rodrigues, 2019. E_ects of climate and land-cover changes on soil erosion in Brazilian pantanal, *Sustainability* , 11, 7053.
9. Delgado, J. A.; Nearing, M. A.; & C. W. Rice, 2013. Conservation practices for climate change adaptation. In Advances in Agronomy; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 121, 47-115.
10. Durbude, D. G.; Jain, M. K.; & S. K. Mishra, 2011. Long-term hydrologic simulation using SCS-CN-based improved soil moisture accounting procedure, *Hydrological processes*, 25(4), 561-579.
11. Fu, B.; Li, S.; Yu, X.; Yang, P.; Yu, G.; Feng, R.; & X. Zhuang, 2010. Chinese ecosystem research network: progress and perspectives, *Ecol. Complex*, 7, 225-233.
12. Gao, G. Y.; Fu, B. J.; Lü, Y. H.; Liu, Y.; Wang, S.; Zhou, J.; & L. Wang, 2012. Coupling the modified SCS-CN and RUSLE models to simulate hydrological effects of restoring vegetation in the Loess Plateau of China, *Hydrology & Earth System Sciences*, 16(7).
13. Hjelmfelt Jr, A. T., 1991. Investigation of curve number procedure, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(6), 725-737.
14. Kayet, N.; Pathak, K.; Chakrabarty, A.; & S. Sahoo, 2018. Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas, *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 31-42.
15. Khosravi Aqdam, K.; Mumtaz, H. Reza.; & F. Asadzadeh, 2019. Estimation of soil erosion factor of USLE model and its relationship with some features of the landscape in a part of Nazluchai watershed in Urmia, *Applied Soil Research*, 7(1) (in persain).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

16. Kinnell, P. I. A., 2007. Runoff dependent erosivity and slope length factors suitable for modelling annual erosion using the Universal Soil Loss Equation, *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(20), 2681-2689.
17. Kinnell, P. I. A., 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review, *Journal of hydrology*, 385(1-4), 384-397.
18. Li, P.; Mu, X.; Holden, J.;Wu, Y.; Irvine, B.;Wang, F.; Gao, P.; Zhao, G.; & W. Sun, 2017. Comparison of soil erosion models used to study the Chinese Loess Plateau, *Earth-Sci. Rev*, 170, 17-30.
19. Mahdavi, M., 2014. Applied Hydrology, University of Tehran Press (in Persian).
20. Millward, A. A., & J. E. Mersey., (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*. 38(2), 109-129.
21. Nezhadafzali, K.; Shahrokhi, M. R.; & F. Bayatani, 2019. Assessment soil erosion using RUSLE model and identification the most effective factor in Dekhan watershed basin of southern Kerman, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 08 (In Persian).
22. Mishra, S. K.; Tyagi, J. V.; Singh, V. P.; & R. Singh, 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield, *Journal of Hydrology*, 324(1-4), 301-322.
23. Mitasova, H.; Mitas, L.; Brown, W. M.; & D. M. Johnston, 1999. Terrain modeling and soil erosion simulations for Fort Hood and Fort Polk test areas, *Geographic Modeling and Systems Laboratory*, University of Illinois at Urbana-Champaign.
24. Nasseri , M.; Zahraie, B.; Poorsepahy Samian, H.; Khodadadi, M.; & N. DolatAbadi, 2021. Evaluation of Empirical Methods to Estimate Streamflow in Ungauged Basins (Case Study: the Sefidroud Watershed), *Journal of Geography and Environmental Planning*, 32, 1, (81).
25. Noraisefar, E., 2019. Spatial Modeling of Salt Domes Effect on Surface Water Quality in the West of Hormozgan, University of Hormozgan (in Persian).
26. Pal, S. C., & R. Chakrabortty., (2019). Simulating the impact of climate change on soil erosion in sub-tropical monsoon dominated watershed based on RUSLE, SCS runoff and MIROC5 climatic model. *Advances in Space Research*. 64(2), 352-377.
27. Prasannakumar, V.; Shiny, R.; Geetha, N.; & H. Vijith, 2012. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India, *Environmental Earth Sciences*, 64(4), 965-972.
28. Perović, V.; Životić, L.; Kadović, R.; Đorđević, A.; Jaramaz, D.; Mrvić, V.; & M. Todorović, 2013. Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia, *Environmental earth sciences*, 68(1), 115-128.
29. Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A.; McCool, D. K.; & D. C. Yoder, 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE*), US Department of Agriculture, Agriculture Handbook, 703, 404 pp.*
30. Rezaei, P.; Faridi, P.; Khorbani, M.; & M. Kazemi, 2013. Estimation of soil loss with Use RUSLE Model and Understanding the effective factor in Gabric Watershed in Provice Hormozgan, *Quantitative Geomorphological Research*, Number. 1(in Persian).
31. Routschek, A.; Schmidt, J.; & F. Kreienkamp, 2014. Impact of climate change on soil erosion—a high-resolution projection on catchment scale until 2100 in Saxony/Germany, *Catena*, 121, 99-109.
32. Sadeghi, S.; Gholami, L.; Khaledi Darvishan, A.; & P. Saeidi, 2014. A review of the application of the MUSLE model worldwide, *Hydrol. Sci. J*, 59, 365-375.
33. Talebi, H.; Khayavi Zabihi, M.; & R. Mostafazadeh, 2017. Effects of Land-use Management Scenarios on Soil Erosion Rate using GIS and USLE Model in Yamchi Dam Watershed, Ardabil, *J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)*, 21(2), 221-234.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

34. Telak, L. J.; Dugan, I.; & I. Bogunovic, 2021. Soil management and slope impacts on soil properties, hydrological response, and erosion in hazelnut orchard, *Soil Systems*, 5(1), 5.
35. Vaezi, A. R., & Z. Haqqani., (2020). Effect of Slope Gradient and Soil Physical Properties on Soil Loss in Furrows of Rainfed Farms. *Iranian JournalofWatershedManagement Science & Engineering*, N0, 49. (in Persian)
36. Wischmeier, W. H., & D. D. Smith., (1960). A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Transaction's 7th int. Congr. Soil Sci.*, 1, 418-425.
37. Wischmeier, Wh., & D. D. Smith., (1978). Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation, Agricultural Handbook 537, US Department of Agriculture, Washington.
38. Xu, Q.; Chen, Q.; Zhao, S.; Liu, K.; & J. Ma, 2018. Saving water and associated energy from distribution networks by considering landscape factors in pressure management and use of district-metered areas, *J. Environ. Inform*, 31, 65-73.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

Investigation of Soil Loss Changes with an Emphasis on Runoff Erosion in the Kol River Catchment

Elham Noraei Sefat: *Master in Remote sensing and GIS, Geography Department, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, BandarAbbas*
Masoud Bakhtyari Kia[1]: *Assistant professor, Geography Department, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, BandarAbbas*
Mohammad Akbarian: *Assistant professor, Geography Department, Faculty of Humanities, University of Hormozgan, BandarAbbas*

Article History (Received: 2022/03/12 **Accepted:** 2022/08/12**)**



Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion has been considered as the primary cause of soil degradation because soil erosion leads to the loss of topsoil and soil organic matter, which are essential for the growing of plants. Quantification of soil loss is a significant issue for soil and water conservation practitioners and policy makers. At the watershed level, the two most important hydrological phenomena that can occur from rainfall procedures are surface runoff and soil erosion.
There are many models to study the soil erosion. One of the most widely used models for estimating this phenomenon is the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Six factors are included in the RUSLE model: rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, vegetation cover and management, and supporting practices. In this study, multi-source data are used to generate the necessary parameters of the RUSLE model. Since surface runoff and soil erosion are the two significant hydrologic reactions, the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) model is used to estimate runoff. This study has shown a strong relationship between the surface runoff estimation and the maximum erosion potential in the study area. The advantage offered by this model is its simplicity and the diversity of the parameters used reflecting the functions of runoff under the hydrological system.

2- Methodology

To generate soil erosion significant factors, annual average precipitation, land use land cover (LULC) derived from LANDSAT 8 OLI/TIRS, soil hydrological group, and Digital Elevation Model (DEM) were used as input. In this study, RUSLE model was used to generate the spatially varied soil erosion severity map. The model is representing soil erosion risk by considering six factors, where each of the functions is expressed numerically, forming an equation to predict soil loss. All these parameters were mapped in GIS raster format. It is represented by the following equation:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Where:

A = estimated average annual soil loss (ton/ha-1/yr-1); R = rainfall erosivity factor (MJ mm ha-1 yr-1); K = soil erodibility factor (tons/ha-1/mm-1); L = slope length factor; S = slope gradient factor; C = vegetation cover-management factor; P = support practices.

[1] **Corresponding Author:** Bakhtyari@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]

In this study, the aim was to use the amount of runoff in the RUSLE model. To achieve this goal, the SCS-CN method was used. The preparation of a curved number is one of the prerequisites of this method, which is prepared by using the land use map and the map of the hydrological group of the soil of the region. In order to calculate the amount of precipitation erosion factor, the amount of runoff height is considered. After calculating the precipitation values, a precipitation erosion factor map was estimated and by placing the precipitation erosion zoning map in Equation 6, the potential values of runoff production were prepared and by multiplying the six factors, the erosion maps of the study area were prepared.

3- Results

The annual soil loss ranges from 5.5 to 29.04 t ha^{-1} yr^{-1} for study duration and the average annual soil loss was estimated at 17.3 t ha^{-1} yr^{-1}. Based on the results, the watershed erosion has been categorized into four classes. About 61.7 % of the watershed area was characterized by slight erosion rate (<10 t ha^{-1} yr^{-1}), 28.5 % of the area was found to be moderate erosion rate (10-40 t ha^{-1} yr^{-1}), 5.3 % of the area is under high erosion rate (40–70 t ha^{-1} yr^{-1}), while around 4.5 % of the area was under very high erosion rate (>70 t ha^{-1} yr^{-1}). In order to evaluate the model and also to calculate the sediment output of the basin, the sediment rating curve obtained from the observation data of the Qalat Paein station was used. The calculated coefficient of determination (R2) equal to 0.73 indicates a suitable accuracy. After using the results of the model and by comparing the five sediment delivery ratio methods and then choosing the optimal method, a sediment zoning map of different years was produced for the study basin.

4- Discussion & Conclusions

The results have approved the link between rainfall and erosion rates. This study has confirmed the results of the previous investigations (Vaezi & Haqqani, 2020; Telak & Bogunovic, 2021; Assouline & Ben-Hur, 2006), and pointed out the feasibility to jointly apply GIS technology, SCS-CN and RUSLE models for the estimation of spatially distributed soil erosion potential at large scales in Kol watershed and especially in the condition of limited data availability. In general, the presented methodology can be a viable solution to previous conventional methodology, especially when lack of time, data or funds make the detailed on-ground measurements and the application and development of more accurate erosion models difficult.
Kol River Basin is quite large and is characterized by high spatial heterogeneity of erosion factors. In these situations, the application of SCS-CN and RUSLE models together with GIS is of substantial importance for a preliminary mapping of the soil erosion rate. However, a more accurate on-ground acquisition of data could be required in detailed studies aiming at the comparison of different mitigation measures and evaluation of different management scenarios under actual and future land use and expected climate changes.

Key Words: Hormozgan, Erosion, KOL River, RUSLE, SCS-CN.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.1.3.5]