Archive of SID



# مقایسه‌ی کارایی مدل RUSLE و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی براساس منحنی سنجه رسوب (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز جاسک-گابریک)

فاطمه تیموری [۱] و ام‌البنین بذرافشان* [۲]

۱و ۲- دانشکده کشاورزی و منابع‌طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

نویسنده مسئول: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir *

دریافت: ۹۶/۵/۱۶ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

**چکیده**

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به شمار می‌آید. ارزیابی کمی و کیفی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، یکی از راهکارهایی است که از طریق آن می‌توان فرسایش خاک را تا حدودی کنترل و مقدار آن را به حداقل رساند. هدف از این پژوهش ارزیابی کارآیی مدل‌های RUSLE و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز جاسک- گابریک است. در این راستا، از عوامل موثر بر فرسایش شامل فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی و هم‌چنین ضرایب شدت فرسایش، حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، استفاده از زمین یا کاربری زمین، شیب متوسط حوضه به درصد مورد استفاده در مدل‌های یاد شده بهره گرفته شد و در نهایت مقدار فرسایش و رسوب تولید شده با توجه به مدل‌های ارائه شده محاسبه و با مقدار مشاهده شده در ایستگاه رسوب‌سنجی گابریک مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان رسوب برآوردی مدل RUSLE، ۳۰۷۴۵ تن در هکتار در سال و در روش EPM، ۱۰۵۴۱/۶ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای (۴۲۴۱۴ تن در هکتار در سال) کارآیی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر است. در نهایت توصیه می‌شود، برای فازهای اولیه مطالعات توجیهی، اجمالی و شناسایی از مدل EPM و برای مطالعات تفضیلی و دقیق‌تر برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه از روش RUSLE بهره بود.

**واژه‌های کلیدی:** RUSLE، EPM، راستی‌آزمایی، حوضه‌ی آبخیز جاسک- گابریک

## ۱- مقدمه

فرسایش خاک از جمله عوامل عمده‌ی زیست‌محیطی قرن حاضر می‌باشد. رسوبات ناشی از این فرآیند باعث آلودگی آب‌ها، پرشدن مخازن سدها و افت پتانسیل محیط می‌شود. بنابراین آگاهی از وضعیت فرسایش و حجم کل میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه‌های آبخیز نیاز به مطالعه‌ی بیش‌تر و بررسی و شناخت عوامل موثر در این فرآیند پیچیده دارد (قضاوی، ۱۳۹۱). روش‌های اندازه‌گیری شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز شامل روش‌های تجربی، نمونه‌برداری رسوب و روش‌های ریاضی است (بهراوی و همکاران، ۲۰۱۶). روش‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در ایران شامل معادله جهانی تلفات خاک (USLE) (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸)، معادله اصلاحی تلفات خاک (MUSLE) (رنفرو، ۱۹۹۱)، یا معادله‌ی تغییر یافته تلفات خاک (RUSLE) (رنارد و همکاران، ۱۹۹۴)، روش پسیاک (۱۹۶۸) و EPM (گاورلیویچ، ۱۹۹۸) مهم‌ترین این روش‌ها می‌باشند. روش‌های نمونه‌برداری رسوب و منحنی سنجه رسوب از متداول‌ترین روش‌های برآورد رسوب در حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی است. اما مسئله مهم عدم برداشت رسوب در تمام طول سال است لذا می‌توان با روش‌های FAO، QMLE، Smearing به اصلاح معادله رسوب با استفاده از میزان دبی در زمان‌های نمونه‌برداری پرداخت (قربانی و دهقانی، ۱۳۹۶).

در زمینه کاربرد مدل‌های فرسایش در دنیا تحقیقات متعددی صورت گرفته که در ادامه به برخی اشاره می‌گردد. میلوسکی (۲۰۰۸) و تازیولی (۲۰۰۹) به مناسب بودن روش EPM در برآورد فرسایش اشاره نمودند. میگوئل و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند، پیش‌بینی تلفات خاک با مدل USLE در حوضه‌های آبخیز کوچک دارای یک‌سری محدودیت‌های قابل‌پذیرش می‌باشد. سان و همکاران (۲۰۱۲) از الگوریتم کریجینگ

www.SID.ir

Archive of SID



در میان‌یابی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در برآورد فرسایش پرداختند. بهراوی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی خطر فرسایش در عربستان صعودی تکنیک‌های سنجش از دور و مدل RUSLE را تکنیک مناسبی جهت برآورد رسوب اعلام نمودند.

در ایران نیز خدابخش و همکاران (۱۳۸۵)؛ راستگو و همکاران (۱۳۸۶)، برزو و همکاران (۱۳۸۷) و قضاوی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی کاربرد سه روش PSIAC، MPSIC و EPM گزارش دادند، مدل PSIAC و مشتقات آن برای حوضه‌های آبخیز کوچک مناسب است. امیری و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی کارایی مدل MPSIC و EPM گزارش دادند که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در برآورد دو مدل وجود ندارد. امیری و همکاران (۲۰۱۰)، احمدی و همکاران (۲۰۱۱) و مرادی و همکاران (۱۳۹۰) در مقایسه مدل EPM و MPSIAC در مناطق خشک ایران اذعان نمودند، مدل MPSIAC دچار بیش‌برآورد و EPM دچار کم‌برآورد در محاسبه نرخ فرسایش و رسوب ویژه می‌گردد، و به‌ترتیب مدل بدبینانه و خوش‌بینانه قلمداد می‌شوند. صدوق و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از سه مدل برآورد و پهنه‌بندی فرسایش و رسوب، شامل MPSIAC، EPM و FARGOS با هدف شناسایی و معرفی مدل مناسب، اقدام به ارزیابی مدل‌ها در پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کهمان کردند نتایج نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین دو روش MPSIAC و EPM است. انصاری لاری و انصاری (۱۳۹۶) و نوری و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی مدل EPM، مدل فوق را مدل مناسبی برای برآورد فرسایش معرفی نمودند. دسترنج و همکاران (۱۳۹۳) منحنی سنجه حدوسط QMLE را بهترین روش برآودگر در مناطق نیمه‌خشک معرف نمود. قربانی و دهقانی (۱۳۹۶) در بررسی روش‌های منحنی سنجه رسوب، منحنی سنجه حدوسط را بهترین برآوردگر در محاسبه رسوب معرفی می‌کند.

نتایج یافته‌های محققین پیشین نشان می‌دهد، روش‌های تجربی برآورد میزان فرسایش و رسوب در هر منطقه با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و آب و هوایی آن متفاوت است، که بستگی به مساحت حوضه، اقلیم منطقه و ویژگی‌های زمین‌شناسی آن دارد، اما هیچ یک از موارد نام‌برده به میزان دقت و صحت کاربرد مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه اشاره ننموده‌اند. بدین معنی، تحقیقی که به بررسی کارایی مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز و معرفی کاراترین روش بر اساس راستی‌آزمایی و اعتبارسنجی با استفاده از روش نمونه‌برداری بپردازد، صورت نگرفته است، لذا هدف از تحقیق فوق برآورد فرسایش و میزان رسوب در حوضه‌ی آبخیز گابریک با استفاده از مدل RUSLE و EPM، مقایسه‌ی برآورد دو مدل با آمار رسوب مشاهده‌ای، بررسی راستی آزمایی و اعتبارسنجی دو مدل نسبت به مقدار واقعی و در نهایت معرفی مدل کارا در برآورد رسوب در حوضه آبخیز مورد مطالعه است.

## ۲- جایگاه جغرافیایی

حوضه آبخیز گابریک – جاسک از نظر جغرافیایی در سواحل شمالی دریایی مکران (عمان) و در محدوده جغرافیایی ´۴۶ °۵۷ تا ´۳۵ °۵۸ طول‌شرقی و ´۳۳ °۲۵ تا ´۴۲ °۲۵ عرض‌شمالی و در بالادست جنگل‌های مانگروی جاسک قرار دارد، و میزان فرسایش و رسوب وارده شده از سوی حوضه مشرف بر آن، تاثیر زیادی بر توسعه این زیستگاه طبیعی دارد، لذا برآورد میزان رسوب حوضه فوق دارای اهمیت است. حوضه آبخیز گابریک- جاسک دارای شرایط نامناسب پوشش گیاهی و خاک فرسایش‌پذیر حاوی رسوبات گل‌سنگ آهکی و فلیش، سبب بروز سیلاب‌های شدید و تولید رسوب بالا می‌گردد (یمانی و هدائی، ۱۳۸۳)، بطوری‌که میزان رسوب وارده از این حوضه آبخیز به مصب گابریک بطور متوسط ۳۲۶۶۹ تن در هکتار در سال برآورد شده است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). منطقه مورد مطالعه در خروجی حوضه آبخیز دارای یک ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی بر روی رودخانه گابریک و دارای دو ایستگاه باران‌سنجی در قسمت میانی و بالایی حوضه است. اطراف حوضه آبخیز گابریک- جاسک تعداد زیادی ایستگاه باران‌سنجی وجود دارد، که جهت محاسبه برخی فاکتورها نیز از سایر ایستگاه‌های مجاور استفاده گردید (شکل۱).

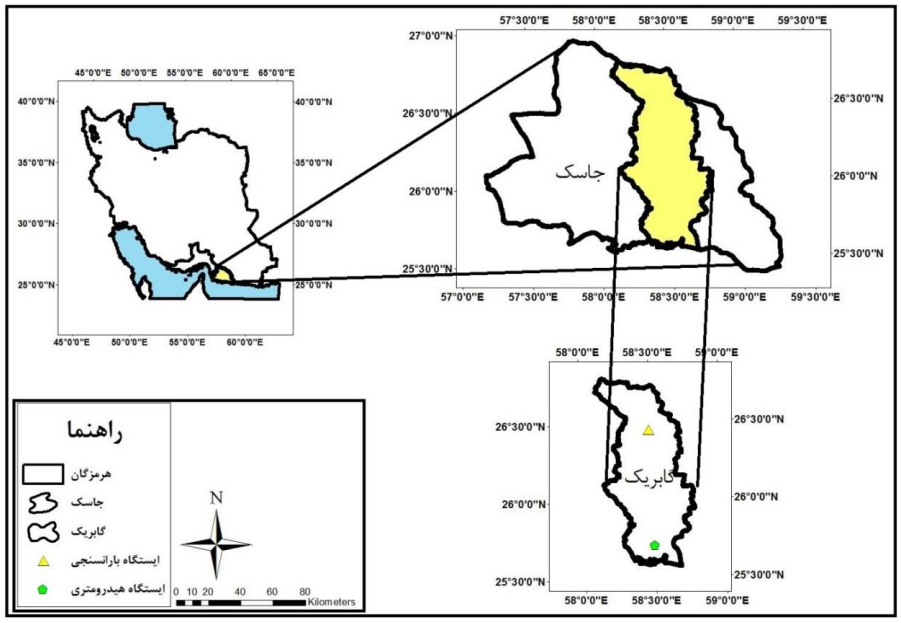
## ۳- روش پژوهش

با توجه به ماهیت پژوهش، مراحل تحقیق شامل مطالعات کتابخانه‌ای، عملیات‌های میدانی، نمونه‌برداری، پردازش تصویر و مدل‌سازی می‌باشد. مراحل تحقیق به صورت شکل ۲ ارائه گردید.

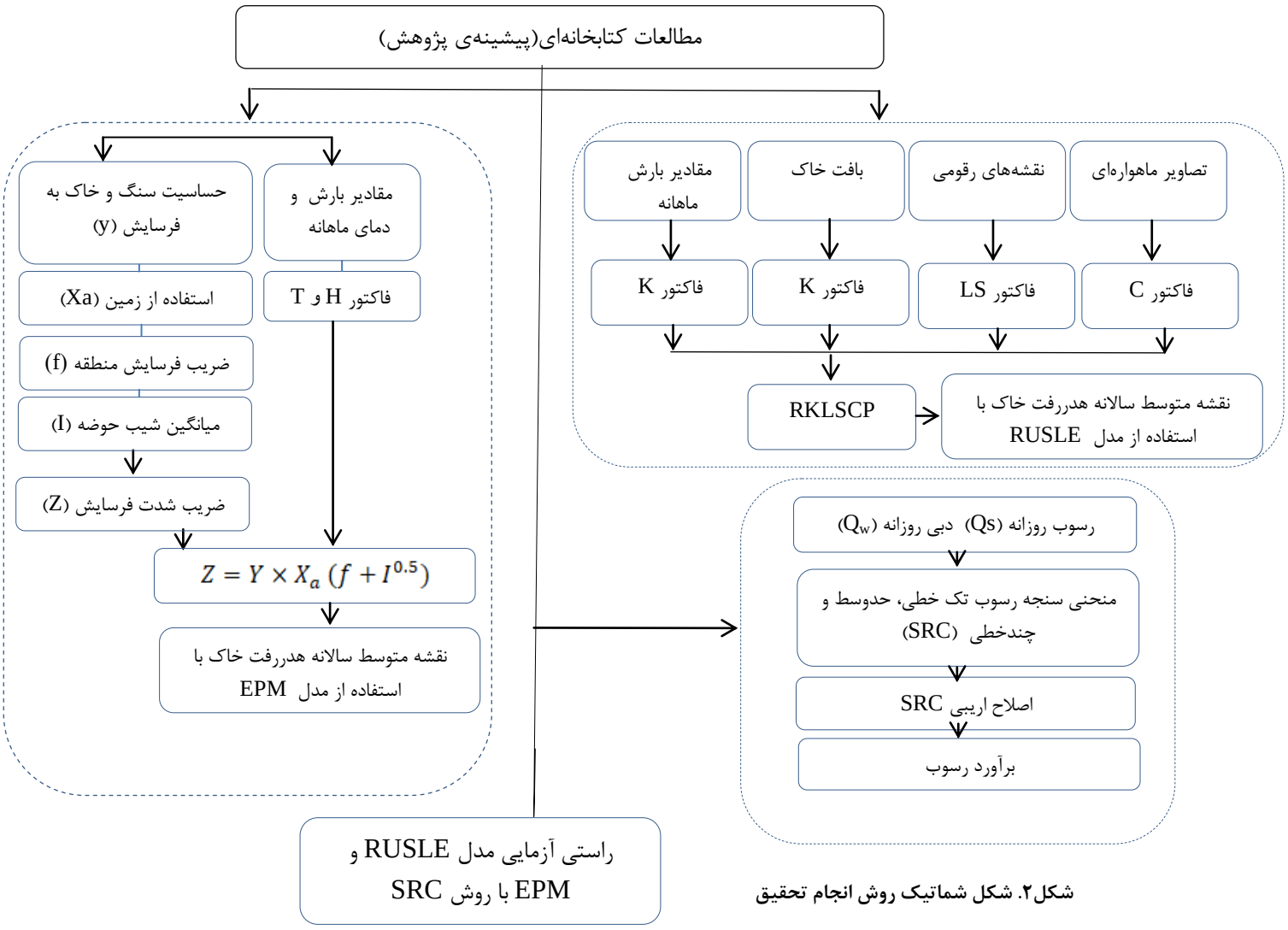
www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱. موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه در استان هرمزگان و ایران و موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی**




**شکل۲. شکل شماتیک روش انجام تحقیق**

www.SID.ir

Archive of SID



### مدل RUSLE

مدل اصلاح شده USLE، یعنی RUSLE توسط رینارد و همکاران (۱۹۹۷) معرفی شد. این معادله به شکل کلی مقابل می باشد :

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (۱)$$

که در آن A مقدار خاک فرسایش یافته برحسب تن در هکتار، R عامل فرسایندگی بارندگی، K ضریب فرسایش‌پذیری و حساسیت ذاتی خاک خاک (تن در هکتار بر میلی‌متر) L طول شیب، C عامل پوشش گیاهی و P عامل عملیات حفاظت خاک می‌باشد که به صورت خلاصه در جدول ۱ ارائه گردید.

**جدول ۱. فاکتورهای مدل RUSLE و EPM**

| نام فاکتور | رابطه | تعریف روابط |
|---|---|---|
| **مدل RUSLE** | | |
| فاکتور فرسایندگی باران (R) | (۲) $F=\frac{\sum_{i=1}^{12}P_i^{\,2}}{\sum_{i=1}^{12}P}$ | $P_i$: متوسط بارندگی در ماه iام و P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) |
| فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S) | (۳) $L=\frac{1}{4}[AS/22.13]^{0.4}$<br>(۴) $S=\left[\frac{Sin\beta}{0.0896}\right]^{0.33}$ | $A_s$: مساحت دامنه بالادست و β زاویه شیب بر حسب درجه است |
| فاکتور مدیریت پوشش (C) | (۵) $NDVI=\frac{IR-R}{IR+R}$<br>(۶) $C=\frac{1-NDVI}{2}$ | مقادیر NDVI بین ۱- و ۱+ در نوسان است |
| فاکتور عملیات حفاظتی (P) | | ارزش P براساس کاربری و پوشش زمین |
| **مدل EPM** | | |
| ضریب شدت فرسایش | (۸) $Z=Y\times X_a(f+I^{0.5})$ | Y: ضریب حساسیت به فرسایش، $X_a$ :ضریب استفاده از زمین، f ضریب فرسایش منطقه و I : میانگین شیب حوضه است. |
| ضریب دما | (۹) $T=(\frac{t}{10+0.1})^{0.5}$ | t: میانگین دمای سالانه بر حسب درجه سانتی گراد |

پس از ارزیابی عوامل مؤثر در تولید فرسایش و رسوب حوضهٔ مورد مطالعه، شاخص همپوشانی[1] در محیط GIS برای لایه‌ها انجام گرفت.

### مدل EPM[2]

مدل فوق اولین بار در کشور یوگسلاوی سابق ارائه شد و رابطه آن به صورت زیر است (رفاهی، ۱۳۸۷):

معادله‌ی (۷)

$$W_{SP}=T\times H\times Z^{\frac{3}{2}}\times\pi$$

که در آن H بارندگی سالانه (mm)، π معادل ۳/۱۴، $W_{SP}$ نیز میزان فرسایش ($m^3/km^2/yr$) است. جدول ۱ فاکتورهای مورد بررسی در مدل را نشان می‌دهد. شکل ۳ نقشه‌های پایه در دو مدل مذکور را نشان می‌دهد.

### منحنی سنجه رسوب[3]

برای راستی‌آزمایی برآورد دو مدل مورد استفاده، از مقادیر نمونه‌برداری بار معلق ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی ایستگاه گابریک- لیره‌ای طی دوره آماری (۱۳۷۱- ۱۳۹۰) واقع در خروجی حوضه استفاده گردید. لذا جهت برآورد مناسب میزان رسوب از منحنی سنجه رسوب، از مقادیر دبی روزانه (متر مکعب بر ثانیه)

[1] Overlay Index
[2] Erosion Potential Method
[3] Sediment Rating Curve

www.SID.ir

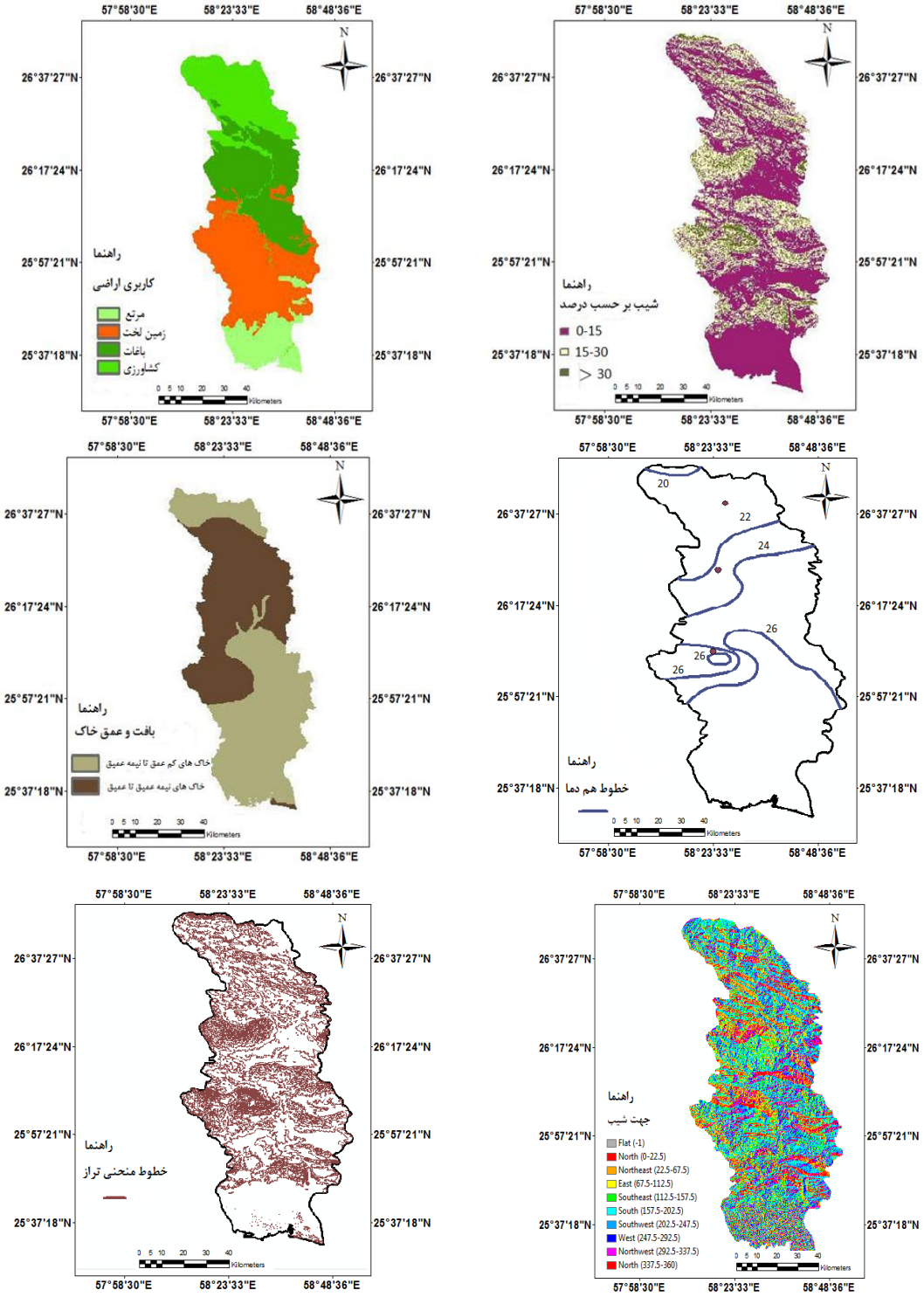
Archive of SID



و رسوب (بار معلق برحسب میلی‌گرم بر لیتر) برای چند جهت اصلاح ناشی از اریبی تبدیل لگاریتمی منحنی سنجه رسوب وجود دارد، که شامل روش اسمیرینگ ($CF_1$) (دون، ۱۹۸۳) ؛ روش تخمین‌گر شبه بیشینه درست نمایی ($CF_2$) (فرگوسن، ۱۹۸۷) و فائو (جونز و سیلاب مشاهده‌ای استفاده گردید. روش‌های مختلفی همکاران، ۱۹۸۱) است. معادله کلی منحنی سنجه بصورت زیر است.

$$Q_S = 8.6 Q_w^{1.3016} \qquad (۱۰)$$

که $Q_S$ رسوب بر حسب تن در روز و $Q_w$ دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.




**شکل ۳. نقشه‌های پایه منطقه مورد مطالعه بر پایه مدل‌های RUSLE و EPM**

www.SID.ir

Archive of SID



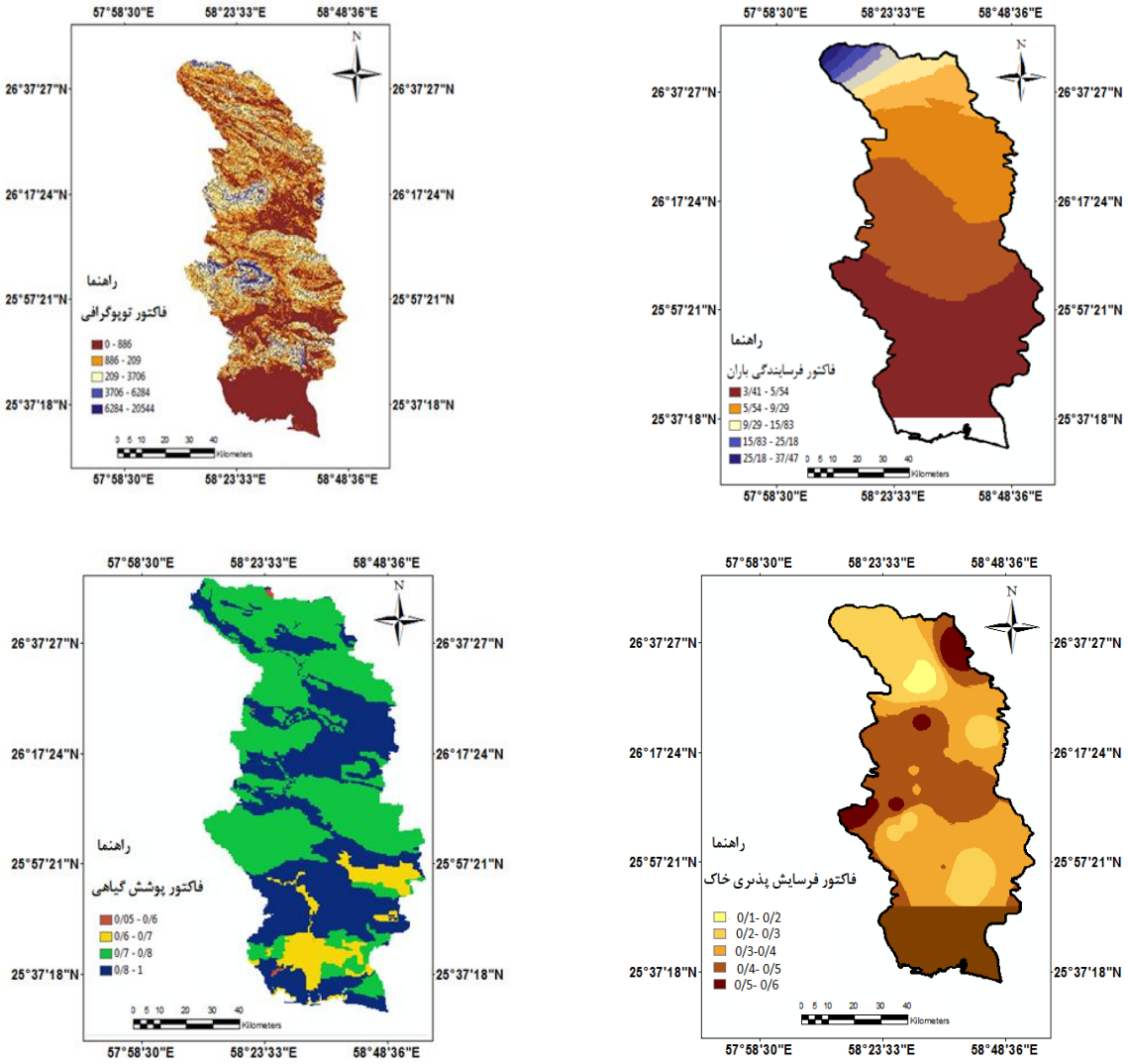
## نتایج تحقیق

### برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE

برای تهیه‌ی نقشه‌ی میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز گابریک، لایه‌های شیب و طول شیب به‌صورت لایه‌ی ارتفاعی، فرسایش‌پذیری خاک، حفاظت خاک، پوشش گیاهی و فرسایندگی باران در محیط GIS ادغام و نقشه نهایی به دست آمد. شکل ۴ تصویر فاکتورهای تولید شده در روش RUSLE و میزان رسوب‌دهی را با توجه به نتایج به دست آمده نشان می‌دهد.

با تجزیه و تحلیل نقشه‌های به دست آمده فاکتور فرسایش‌پذیری خاک k دارای مقادیر ۰/۶-۰/۱ بوده است و مقادیر فاکتور پوشش گیاهی ۱-۰/۰۵است که نشان‌دهنده‌ی تفاوت میزان پوشش گیاهی در قسمت‌های مختلف حوضه است. حوضه فوق دارای بافت لومی ماسه‌ای با پوشش گیاهی متوسط است که در مناطق بالادست دارای پوشش مناسبی است.

نتایج حاصل از فاکتور فرسایندگی باران در حوضه گابریک – جاسک نشان داد، میزان این فاکتور از ۳ تا ۳۸ مگاژول در میلی‌متر در هکتار در سال در نوسان است که نشان‌دهنده تغییرات شدید مقدار بارندگی در حوضه از پائین‌دست به بالادست منطقه است، بطوری‌که میزان فاکتور فرسایندگی باران در نقطه خروجی به حداقل می‌رسد که دلیل آن را می‌توان، تغییرات زیاد مقدار باران در مناطق مرتفع حوضه دانست (جدول ۲).




شکل ۴. طبقه‌بندی برآورد رسوب حوضه گابریک با مدل USLE

www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۲. درصد و مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش در روش RUSLE

| کلاس | مقدار هدررفت خاک (تن در هکتار در سال) | مساحت ($km^2$) | مساحت (٪) |
|---|---|---|---|
| خیلی کم | ۰/۰۰۳۳-۱۰ | ۱۸۰/۱۹ | ۴/۲ |
| کم | ۱۰-۳۵ | ۳۹۶/۸۵ | ۹/۲۵ |
| متوسط | ۳۵-۵۰ | ۳۳۴/۶۴ | ۷/۸ |
| زیاد | ۵۰-۱۰۰ | ۱۸۷۰/۱۵۹ | ۴۳/۶ |
| خیلی زیاد | >۱۰۰ | ۱۵۰۸/۰۵ | ۳۵/۱۵ |

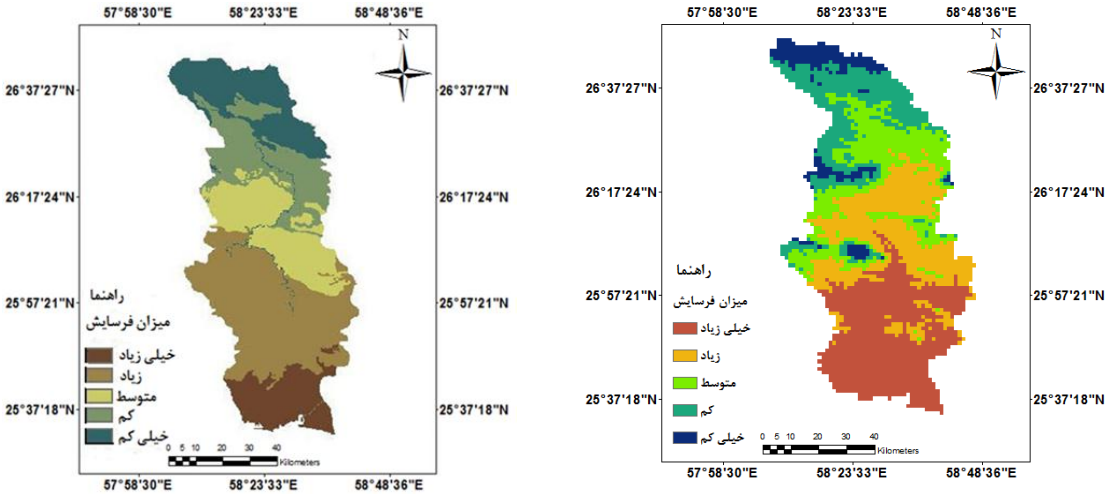
بررسی نقشه خطر فرسایش خاک که از ترکیب چهار لایه تولید شده شامل لایه‌های فرسایندگی، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی در محیط GIS تولید گردید، نشان داد که مناطق با خطر فرسایش متوسط تا زیاد عمدتا در مناطق کم ارتفاع حوضه و مناطقی که از نظر پوشش گیاهی فقیر هستند قرار دارند. و فاکتورهای پوشش گیاهی، بارندگی و فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار می‌گیرند. بنابر نتایج بدست آمده، بخش اعظم حوضه دارای کلاس فرسایش زیاد بوده که عمدتا در بخش‌های میانی حوضه واقع شده است (شکل ۵-الف).

## برآورد رسوب با استفاده از روش EPM

در حوضه‌ی مورد مطالعه، برای تعیین میزان فرسایش و هم‌چنین تولید رسوب از مدل EPM استفاده گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات پایه و بازدیدهای میدانی انجام شده، ضرایب تعدادی از پارامترهای مدل برای منطقه‌ی مورد مطالعه به شرح جدول‌های ۳ تا ۵ می‌باشد. بر این اساس، ضریب شدت فرسایش ۱/۲ و ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش ۱/۶ محاسبه گردید.

برخی از پارامترهای مورد نیاز جهت انجام محاسبات مربوط به فرسایش و رسوب به شرح جدول ۴ می‌باشد. سپس از طریق سامانه‌ی GIS، نقشه مربوط به تعیین ضریب شدت فرسایش به دست آمد (شکل۵-ب).

براساس نتایج مدل EPM (جدول ۵)، ۴۷/۵ درصد از مساحت حوضه در کلاس فرسایشی شدید قرار داشته که عمدتا مربوط بخش‌های میانی حوضه است و حدود نیمی از حوضه در کلاس فرسایشی متوسط تا خیلی کم قرار دارد که مربوط به بالادست حوضه است. مقدار برآورد شده دبی رسوب ویژه با روش فوق ۱۲/۱۳ برآورد گردید (جدول۶).




(الف) (ب)

شکل ۵. طبقه‌بندی برآورد رسوب حوضه گابریک با مدل RUSLE (الف) و EPM (ب)

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۳. متوسط ضرایب مدل EPM در حوضه‌ی آبخیز گابریک**

| پارامترها | متوسط ضریب فرسایش | متوسط ضریب استفاده از زمین | متوسط ضریب حساسیت سنگ وخاک به فرسایش | شیب متوسط (درصد) | متوسط ضریب شدت فرسایش |
|---|---|---|---|---|---|
| ضرایب | ۰/۸ | ۰/۶۵ | ۱/۶ | ۱۳/۷ | ۱/۲ |

**جدول ۴. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبهٔ رسوب حمل شده در حوضه‌ی آبخیز گابریک با مدل EPM**

| عوامل | مقادیر | عوامل | مقادیر |
|---|---|---|---|
| متوسط بارندگی سالانه (H) میلیمتر | ۴/۱۶ | ارتفاع متوسط حوضهٔ آبخیز ($D_{av}$) به متر | ۶۹۸ |
| متوسط دمای سالانه (t)°C | ۲۷/۷۲ | ارتفاع نقطهٔ خروجی رودخانه (D) به متر | ۶ |
| ضریب درجه حرارت (T) | ۱/۶۵ | اختلاف ارتفاع (D) به کیلومتر | ۰/۶۹ |
| متوسط ضریب شدت فرسایش (Z) | ۱/۲ | مساحت حوضهٔ آبخیز (A) به کیلومتر مربع | ۴۲۹۰/۳۵ |
| طول حوضه (L) به کیلومتر | ۱۳۰/۷۵ | ضریب رسوب دهی حوضه ($R_u$) | ۰/۴۳ |
| محیط حوضه (P) به کیلومتر | ۳۴۵/۸۲ | | |

**جدول ۵. درصد و مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش در روش EPM**

| کلاس | مقدار هدررفت خاک (تن در هکتار در سال) | مساحت ($km^2$) | مساحت (٪) |
|---|---|---|---|
| خیلی کم | ۲۴- ۰/۰۰۲۸ | ۵۳۲/۰۰۳ | ۱۲/۴ |
| کم | ۲۴ -۵۱ | ۶۳۴/۹۷ | ۱۴/۸ |
| متوسط | ۵۱ -۷۷ | ۶۷۳/۵۸ | ۱۵/۷ |
| زیاد | ۷۷-۱۰۰ | ۲۰۳۷/۹۱ | ۴۷/۵ |
| خیلی زیاد | >۱۰۰ | ۴۱۱/۸۷ | ۹/۶ |

**جدول ۶. نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز گابریک با مدلEPM**

| متوسط سالانهٔ فرسایش ویژه ($W_{SP}$) | متوسط دبی رسوب ویژه ($G_{sp}$) | رسوب کل حوضه ($G_S$) | واحد |
|---|---|---|---|
| ۲۸/۲۳۴ | ۱۲/۱۳ | ۵۲۸۰/۱۲۹ | $M^3/Km^2/Year$ |

نتایج به دست آمده از مدل EPM نشان می‌دهد که بر طبق جدول استاندارد رفاهی (۱۳۸۷)، حوضه آبخیز گابریک در کلاس فرسایش خیلی شدید است. از طرفی براساس نقشه‌ی طبقه‌بندی فرسایش و رسوب در محیط GIS نشان‌دهنده‌ی آن است که میزان فرسایش در قسمت‌های جنوبی حوضه که با توجه به نقشه‌ی کاربری اراضی بیش‌تر مناطق لخت و مرتعی است دارای فرسایش بیش‌تری نسبت به قسمت‌های شمالی است.

## راستی‌آزمایی مدل‌های RUSLE و EPM با روش نمونه‌برداری

شکل ۶ منحنی سنجه رسوب حاصل از مقادیر دبی آب و رسوب را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد و نشان‌دهنده مناسب بودن معادله رگرسیونی در برآورد رسوب است. مقدار رسوب مشاهده‌ای و برآورد شده برای حوضه آبخیز گابریک – جاسک در جدول ۷ ارائه شده است.

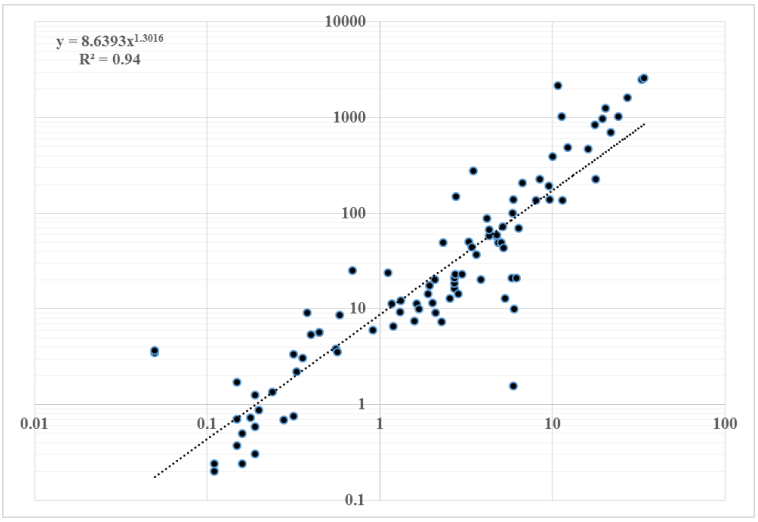
براساس جدول ۷، روش منحنی سنجه حد وسط با برآوردگر اسمیرینگ بهترین نتایج را در حوضه فوق ارائه می‌دهد و میزان رسوب واقعی در حوضه۴۵۵۴۰ هکتار در سال برآورد گردید.

با توجه به جدول ۸ نتایج حاصل از دو مدل تجربی و مقایسه آن مقادیر واقعی، مشخص گردید، کارایی روش RUSLE نسبت به EPM بالاتر بوده و به مقادیر مشاهده‌ای قرابت بیش‌تری دارد.

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۶. منحنی سنجه یک خطی ایستگاه گابریک- لیره‌ای در حوضه آبخیز مورد مطالعه**

**جدول ۷. مقادیر شاخص‌های مختلف صحت و دقت هریک از منحنی‌های سنجه رسوب در برآورد بار رسوبی وقایع سیلابی**

| نام ایستگاه | ضریب اصلاحی | (RMSE) | (MAE) | ($R^2$) | (NS) | میانگین اختلاف برآورد | CV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گابریک- لیره‌ای | منحنی سنجه تک خطی | | | | | | |
| | $CF_1$ | ۸۳/۷۹ | ۳۴/۸۹ | ۱ | ۰/۸۲ | ۶۴/۲۰ | ۲۶/۲ |
| | $CF_2$ | ۹۲/۸۱ | ۳۶/۲۰ | ۱ | ۰/۸۳ | ۱۰/۴۱ | ۲۶/۴ |
| | FAO | ۹۲/۵۶ | ۳۶/۵۶ | ۱ | ۰/۸۳ | ۱۴/۳۹ | ۲۶/۲ |
| | منحنی سنجه حد واسط | | | | | | |
| | $CF_1$ | ۶۲/۶۳ | ۳۱/۱۶ | ۱ | ۰/۹۴ | ۳۵/۹۴ | ۱۷/۵ |
| | $CF_2$ | ۷۶/۱۷ | ۴۲/۳۰ | ۱ | ۰/۹۲ | ۱۲/۹۸ | ۱۷/۵ |
| | FAO | ۸۶/۳۶ | ۴۵/۵۴ | ۱ | ۰/۹ | ۱۵/۳۸ | ۱۷/۵ |

**جدول ۸. مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده در حوضه آبخیز گابریک- جاسک**

| فاکتور/ واحد | RUSLE | EPM | مقدار مشاهده‌ای |
|---|---|---|---|
| رسوب ویژه (ton/ha/year) | ۷/۱۶ | ۲/۴۵ | ۹/۸ |
| رسوب کل (ton/ha) | ۳۰۷۴۵ | ۱۰۵۴۱/۶ | ۴۲۴۱۴/۶۲ |

## بحث و بررسی

فرسایش خاک، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد. فرسایش تشدیدی باعث از بین رفتن خاک‌های کشاورزی، کاهش ظرفیت تولیدی خاک‌ها و آلودگی آب‌های طبیعی در اثر رسوب‌گذاری می‌شود. اندازه‌گیری مقدار فرسایش و رسوب به دلایل فنی، حفاظتی و اقتصادی در تمامی نقاط امکان‌پذیر نیست. از این رو مناسب‌ترین راهکار، پیش‌بینی یا برآورد مقادیر فرسایش و رسوب است که لازمه‌ی آن، آگاهی از مکانیزم‌های فرسایش و عوامل موثر بر آن است. از طرفی انتخاب مدل مناسب برای هر منطقه مستلزم ارزیابی دقت مدل‌های مختلف از طریق مقایسه‌ی نتایج حاصل از به‌کارگیری آن‌ها به ضریب رسوب‌دهی واقعی در یک حوضه‌ی آبخیز می‌باشد. بر این اساس، در این تحقیق، میزان فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز گابریک با استفاده از دو مدل فرسایش و رسوب RUSLE و EPM مورد بررسی قرار گرفت، از طرفی میزان رسوب مشاهده‌ای با استفاده از روش منحنی سنجه رسوب برآورد گردید و در نهایت موثرترین و کاراترین روش معرفی گردید.

نتایج برآورد معیارهای مورد بررسی در روش RUSLE در حوضه آبخیز گابریک- جاسک نشان داد، فاکتور

www.SID.ir

Archive of SID



فرسایش‌پذیری خاک از ۰/۱ تا ۰/۶ و معیار پوشش گیاهی ۰/۰۵ تا ۱ در نوسان است که نشان‌دهنده‌ی تفاوت در ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی در مناطق مختلف در حوضه است.

نتایج حاصل از فاکتور فرسایندگی باران در حوضه گابریک – جاسک نشان داد، میزان این فاکتور از ۳ در پایین‌دست تا ۳۸ مگاژول در میلی‌تر در سال در هکتار در بالادست نوسان است، و میزان فاکتور فرسایندگی باران در نقطه خروجی به حداقل می‌رسد. طبق نظر عساکره (۱۳۸۷) تغییرات زمانی و مکانی بارش تحت تاثیر تغییرات توپوگرافی است، هر قدر توپوگرافی و تغییرات پستی و بلندی بیش‌تر باشد، تغییرپذیری مکانی بارش بیش‌تر است. هم‌چنین میگوئل و همکاران (۲۰۱۱)؛ بهراوی و همکاران (۲۰۱۶) و رضایی و همکاران (۱۳۹۳) معتقدند افزایش ارتفاع از سطح دریا سبب افزایش فاکتور فرسایندگی باران می‌گردد، چرا که میزان بارش زیاد می‌شود.

براساس نتایج حاصل از روش RUSLE بیش‌ترین وسعت حوضه (۱۸۷۰/۱۵۹) مربوط به کلاس فرسایشی زیاد است که عموما در کل حوضه پراکنش دارد و کمترین مساحت حوضه (۱۸۰/۱۹ هکتار) در کلاس فرسایشی خیلی کم قرار می‌گیرد و بر این اساس مقدار رسوب سالانه در این روش ۳۰۷۴۵ تن در هکتار برآورد گردید.

نتایج حاصل از کاربرد روش EPM در برآورد رسوب نشان داد، که میزان ۹/۶ درصد از مساحت حوضه (معادل ۴۱۱/۸۷ هکتار) در کلاس فرسایشی شدید قرار دارد (بخش میانی حوضه) و بیش از ۴۰٪ مساحت حوضه دارای کلاس فرسایشی کم و خیلی کم است. با استفاده از روش فوق، مقدار رسوب سالانه ۱۰۵۴۱/۶ تن در هکتار برآورد گردید.

جهت راستی آزمایی مقادیر مستخرج از مدل‌ها با مقادیر واقعی، لازمست مقدار رسوب واقعی در حوضه را با روش منحنی سنجه رسوب مقایسه گردد. بر این اساس مقدار رسوب با استفاده از روش‌های مختلف برآوردگر اصلاحی، اصلاح و نتایج نشان داد، بهترین تخمین‌گر مقدار رسوب در حوضه مورد مطالعه، روش منحنی سنجه حدوسط با برآوردگر اسمیرنیگ است و بر اساس آن میزان رسوب واقعی در حوضه۴۵۵۴۰ هکتار در سال برآورد گردید. نتایج میرزایی و همکاران (۲۰۰۵) و گنجی نوروزی و همکاران (۱۳۸۷) در اصلاح منحنی سنجه رسوب در ایران نشان داد، روش فوق بهترین روش در برآورد رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک است.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان رسوب برآوردی در روش RUSLE، ۳۰۷۴۵ تن در هکتار در سال و در روش EPM، ۱۰۵۴۱/۶ تن در هکتار در سال برآورد گردید که باتوجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای (۴۲۴۱۴ تن در هکتار در سال) کارآیی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر است. محققینی چون بهراوی و همکاران (۲۰۱۶)؛ میگوئل و همکاران (۲۰۱۱)؛ لین و همکاران (۲۰۱۴)؛ واعظی و همکاران (۲۰۱۰) و رضائی و همکاران (۱۳۹۳) کارآیی بالای مدل RUSLE را تائید می‌نمایند و رفاهی و نعمتی (۱۳۷۴)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۲)، خدابخش و همکاران (۱۳۸۵) و صدوق و همکاران (۱۳۹۴) کارآیی نامناسب مدل EPM در برآورد میزان فرسایش و رسوب در مطالعات تفضیلی تائید نموده‌اند.

## نتیجه‌گیری

۱- نتایج برآورد معیارهای مورد بررسی در روش RUSLE در حوضه آبخیز گابریک- جاسک نشان داد، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، معیار پوشش گیاهی و طول شیب دارای نوسان بالایی است که نشان‌دهنده‌ی تفاوت در ویژگی‌های بارش، خاک و پوشش گیاهی در مناطق مختلف در حوضه است.

۲- نتایج حاصل از RUSLE غالب فرسایش را در کلاس خیلی شدید و مدل EPM در کلاس خیلی کم برآورد نموده‌اند، بدین معنی که مدل RUSLE دچار بیش برآورد و مدل EPM دچار کم برآورد شده است.

۳- نتایج حاصل از راستی‌آزمایی مدل‌ها با مقادیر نمونه‌برداری شده در انتخاب مدل مناسب برآورد رسوب کمک شایانی می‌نماید.

۴- نتایج این تحقیق قابلیت بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را در تدقیق بیش‌تر مدل‌های تجربی نشان داد که منتج به ارائه خروجی با کیفیت بالا و قابلیت به روز رسانی مناسب است. که طی

www.SID.ir

Archive of SID



آن می‌توان راهکارهای مدیریتی و گزینه‌های انتخابی را جهت حل مسئله فرسایش خاک به کار گرفت.

۵- در نهایت نتیجه کلی را به این صورت می‌توان بیان نمود که استفاده از روش EPM را در صورتی می‌توان بکار برد که برای فازهای اولیه مطالعات توجیهی، اجمالی و شناسایی به‌کار رود و برای مطالعات تفضیلی توصیه نمی‌شود، در مقابل می‌توان جهت مطالعات تفضیلی و دقیق‌تر برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه از روش RUSLE بهره برد.

## منابع


امیری، ف.، ارزانی، ح.، چایی چی، م.ر.، خواجه‌الدین، ج و فرح‌پور، م (۱۳۸۸) کارایی مدل اصلاح شده PSIAC و EPM برای ارزیابی فرسایش خاک در تعیین شایستگی مرتع، مرتع، سال اول، شماره ۳، ۱۵۴-۱۳۸.

انصاری لاری، الف.، انصاری، م (۱۳۹۶) ارزیابی فرسایش خاک و پتانسیل رسوب‌دهی حوضه آبخیز گابریک استان هرمزگان با استفاده از مدل EPM، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره ۱۱، ص ۱۵-۱.

برزو، آ.، ممیزی، م. ر و نیک‌اندیش، ع. ع (۱۳۸۷) مقایسه‌ی سه روش EPM، MPSIAC، PSIAC در برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه چهل چشمه استان فارس، فصل‌نامه دانش کشاورزی ایران، سال اول، شماره پنجم، ص ۲۹-۱۹.

خدابخش، س.، محمدی، الف.، رفیعی، ب و بزرگ‌زاده، ع (۱۳۸۸) مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای‌پی‌ام و ام‌پسیاک با کمک دانش فازی، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره ۱۲، ص ۶۱-۵۱.

دسترنج، ع.، خزایی، م.، کاظمی، م.، فلاح، س و عادلی، ب (۱۳۹۳) ارزیابی روش‌های اصلاحی برآورد رسوب معلق (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز بشار)، فصل‌نامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۵، ص ۵۷-۴۷.

راستگو، س.، قهرمان، ب.، ثنائی‌نژاد، ح.، داوری، ک و خداشناس، ع (۱۳۸۵) برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌ی آبخیز تنگ‌کنشت با مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM با کمک GIS، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال اول، شماره ۳، ص ۱۰۴ -۹۱.

رضائی، پ.، فریدی، پ.، قربانی، م و کاظمی، م (۱۳۹۳) برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضهٔ آبخیز گابریک-جنوب‌خاوری استان هرمزگان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال اول، شماره ۳، ص ۱۱۳-۹۷.

رفاهی، ح (۱۳۷۸) فرسایش آبی و کنترل آن، دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۷۱ ص.

رفاهی، ح و نعمتی، م (۱۳۷۴) بکارگیری روش ای‌پی‌ام در مطالعه فرسایش‌پذیری و تولید رسوب حوضه آبخیز الموت رود، مجله علوم کشاورزی ایران، سال دوم، ص ۴۵-۳۲.

صدوق، ح (۱۳۹۴) پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کهمان با استفاده از سه مدل EPM، BLM و Fargas، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره دوم، ص۱۵۴-۱۳۷.

عساکره، ح (۱۳۸۷) کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه‌ی موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین. مجله جغرافیا و توسعه، شماره دوازدهم، ص ۴۲-۲۵.

قربانی، م.ع و دهقانی، ر (۱۳۹۶) مقایسه‌ی روش‌های شبکه عصبی بیزین و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ها (مطالعه‌ی موردی: سیمینه رود)، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، سال دوم، شماره ۹، ص ۱۳-۱.

قضاوی، ر.، ولی، ع.ع.، مقامی، ی.، عبدی، ژ و شرفی، س (۱۳۹۱) مقایسه‌ی مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، مجله جغرافیا و توسعه، سال پنجم، شماره ۲۷، ص ۱۲۶-۱۱۷.

گنجی نوروزی، ز و سامانی، م. و (۱۳۸۷) بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال اول، شماره ۴، ص ۹۷-۹۰.

نوری، ح.، سیادت موسوی، س. م و مجردی، ب (۱۳۹۶) برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز بر مبنای پردازش صاویر ماهواره‌ای و فن GIS با استفاده از نمونه‌ی فیزیک تخمین رسوب EPM (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز سد دز)، مجله مهندسی منابع آب، دوره دهم، شماره ۳۲، ص ۵۴-۴۵.

یمانی، م و هدایتی، ع. الف (۱۳۸۳) بررسی وضعیت رسوب و فرسایش در حوضه‌های آبریز منتهی به تنگه هرمز (محدوده مابین رودخانه‌های شور تا جاسک)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۶، ص۱۴۱-۱۱۷.

Ahmadi. H., M. R. Servati., A. M. Noormohamady (2011) Sediment And


www.SID.ir

Archive of SID



Erosion Estimation Using EPM And MPSIAC, Using Geomorphological Method And GIS In Baghareh (Torbate Heydarieh) Catchment Basin, Journal of Geographical Science, 14: 28-33.

Amiri. F (2010) Compression of Efficiency of MPSIAC and EPM Models to Estimate Soil Erosion and Sedimentated Yield (Case Study: Ghareh Aghach Watershed), Iranian Journal of Dynamic Agriculture, 20: 21-36.

Bahrawi, A., Elhag, M., Aldhebiani, AY., Galal, K., Hegazy, AK., and Alghailani, E (2016) Soil Erosion Estimation Using Remote Sensing Techniques in Wadi Yalamlam Basin, Saudi Arabia, Hindawi Publishing Corporation, 15:1-8.

Duan, N (1983) Smearing estimate, a nonparametric retransformation method, Journal of American Statistical Association, 73: 605-610.

Ferguson, R (1987) Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Land Forms, 12: 95-104.

Ferro, V., Giordano, G., and Lovino, M (1991) Isoerosivity and erosion risk map for Sicily, Journal of Hydrology, 36: 549-564.

Gavrilovic. Z (1988) The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential streams International Conference of River regime, 17-20May, Wallingford, 422p.

Jones, KR., Berney, O., Carr, DP., and Barret, E. C (1981) Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper, 37: 271.

Lal, R (1988) Soil erosion research methods, Soil and Water Conservatoin Socity, 244p.

Miguel PA., Samuel-Rosa R., Simao Dennis Dalmolin F., Arajo Pedron J., and Moura Bueno, A (2011) The USLE model for estimating soil erosion in complex topography areas. Annals XV Brazilian Symposium on Remote Sensing, (SBSR), Brasil, 85: 9227-9230.

Mirzaei, MR., Arab-Khedri, M., Feiznia, S., and Ahmadi, H (2005) A comparison of methods of estimation of suspended sediment, Iran. Journal of Natural Resources, 58: 301-313.

Renard, KG., and Freimund, JR (1994) Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, Journal of Hydrology, 157: 287-306.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., and Yoder, D. C (1997) Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook, 703: 30-33.

Sun, W., Minasny, B. and McBratney, A (2012) Analysis and prediction of soil properties using local regression-Kriging. Geoderma, 23: 172-171 23.

Tazioli, A (2009) Evaluation of erosion in equipped basins: preliminary results of a comparison between the Gavrilovic model and direct measurements of sediment transport. Environmental Geology, 56(5), 825-831.

Vaezi, AR., Bahrami, HA., Sadeghi, SH. R., and Mahdian, MH (2010) Spatial variability of soil erodibility factor (K) of the USLE in North West of Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 12, 241-252.

Wischmeier, WH., and Smith, D.D (1978) predicting rainfall erosion. Losses: a guide ton conservation planning, Agriculture Handbook, US Department of Agriculture, Washington DC press, 537p.

www.SID.ir

Archive of SID



# Comparison of the efficiency the RUSLE and EPM models in estimating soil erosion and sediment yield according to the sediment rating curve (case study: Jask-Gabrik watershed)

**F. Teimourri[1] and O. Bazrafshan[2*]**

1, 2- Faculty of Agriculture and Natural Resources, Hormozgan University, Bandar Abbas

* O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

**Recieved: 2017/8/6 Accepted: 2017/12/4**

**Abstract**

Soil erosion is one of the environmental, agriculture and natural resources problems. The aim of this research is applying the EPM and RUSLE models to the Jask - Gabrik Watershed, in order to estimate soil erosion and sediment. In this study, the factors affecting the water erodibility, consist of erosivity factor, soil erodibility, topography, vegetation cover, the sensitivity of soils and stones to erosion, land use type, steep slope percentage used in the models. Finally, the amount of erosion and sediment produced according to the RUSLE and EPM were compared with the observed sediment using Gabric sediment sampling gage station. The results showed that RUSLE model is estimated sediment, 30745 tons/ha/year while EPM model 10541.6 tons/ha/year. According to the results, the estimated erosion and sediment value of the RUSLE model is close to the sampling values (42414 tones/ha/year), then RUSLE model is more efficient. Finally, it is recommended, EPM model using for the initial phases, explanatory studies, overview and identification while for more accurate and more detailed studies applied the RUSLE model.

**Keywords**: RUSLE, EPM, validation, Jask - Gabric Watershed

www.SID.ir