

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۴

M.Rokhbin  
A. Nohegar  
A.R. Kamali  
M.Habiballahiyani

معصومه رخبین، دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری پردیس دانشگاهی قشم، دانشگاه هرمزگان  
احمد نوحه گر، استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران  
علیرضا کمالی، کارشناس ارشد منابع طبیعی - سنجش از دور  
محمود حبیب اللهیان، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری

E-mail: R.Rokhbin@yahoo.com

شماره مقاله: ۹۷۰  
صص: ۱۰۴-۸۹  
ووصول: ۹۲/۵/۵  
پذیرش: ۹۳/۱/۲۵

## برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز لاور فین (استان هرمزگان) با استفاده از سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تجربی RUSLE

### چکیده

افزایش هدررفت منابع خاک در حوضه‌های آبخیز، چالشی مداوم است که با افزایش جمعیت و فشار وارده بر منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در خاک‌ها و اراضی شیبدار، موجب کاهش تولید در اراضی گشته و همچنین، کاهش روزانه نسبت اراضی به جمعیت ساکن، باعث فشار بیشتر بر اراضی و منابع طبیعی شده است. حوضه آبخیز لاور فین در ۶۰ کیلومتری شهر بندرعباس در استان هرمزگان قرار دارد و مساحت آن ۷۳۳۴/۹۱ هکتار است. پیش‌بینی فرسایش خاک، همواره یکی از شایع‌ترین و متداول‌ترین روش‌ها در مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است. مدل RUSLE یک مدل برآورد میزان فرسایش در واحد سطح است که با شش عامل فرسایشی R، K، L، S، C و P رابطه دارد که به ترتیب از داده‌های درازمدت بارندگی، نقشه خاک منطقه، مدل رقومی ارتفاع و سنجش از دور به دست می‌آیند. بررسی نقشه خطر فرسایش خاک نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه از صفر تا ۷۱۱۵ بر حسب تن در هکتار در سال متغیر است. مطابق با این نقشه، مناطق با خطر فرسایش خیلی زیاد، شامل مناطقی در قسمت‌های میانی حوضه است که دارای شیب تند و فرسایش گالی هستند. میانگین بار رسوب سالیانه در این حوضه ۹/۶ تن در هکتار در سال برآورد شد. نتایج این مقاله نشان داد که با تلفیق GIS، RS و استفاده از مدل RUSLE در مناطق کشاورزی می‌توان مقادیر فرسایش خاک و بار رسوب را برآورد کرد و از نتایج آن برای مدیریت فرسایش استفاده نمود.

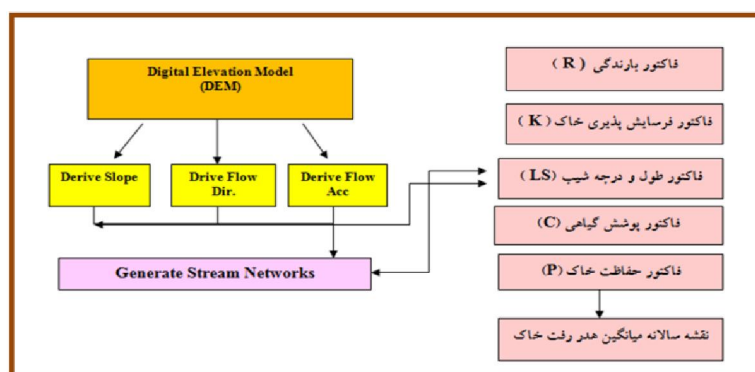
**واژه‌های کلیدی:** فرسایش خاک، مدل RUSLE، حوضه آبخیز لاور فین، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)،

سنجش از دور

## مقدمه

فرسایش خاک و تولید بار رسوب در حوضه‌های آبخیز، امروزه به یکی از معضلات مهم زیست-محیطی تبدیل شده است و بنابراین، جلوگیری از بروز آنها از مهمترین عوامل برای حفاظت منابع طبیعی به شمار می‌رود (Morgan, 1998). افزایش هدررفت منابع خاک در حوضه‌های آبخیز، چالشی مداوم است که با افزایش جمعیت و فشار وارد بر منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در خاک‌ها و اراضی شیبدار موجب کاهش تولید در اراضی و همچنین، کاهش روز به روز نسبت اراضی به جمعیت ساکن، باعث فشار بیشتر بر اراضی و منابع طبیعی شده است (گریگرسن و همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی، کلیه سیستم‌های کشاورزی همواره با تهدید فرسایش مواجه هستند (Bordman et al, 2009) و بر طبق گزارش‌های سازمان ملل، سالانه بر اثر فرسایش و تخریب اراضی، حاصلخیزی دو میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان کاهش می‌یابد (UNEP, 1991). پیش‌بینی فرسایش خاک، همواره یکی از متداول‌ترین روش‌ها در مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است (Morgan & Nearing, 2011). لذا تحلیل و برآورد میزان فرسایش و رسوب و تهیه نقشه‌های شدت فرسایش، بررسی عوامل ایجاد فرسایش و ارائه راهکارهای مدیریتی، با توجه به روند فزاینده فرسایش خاک و مساحت وسیع اراضی و گاهی حتی صعب‌العبور بودن یا عدم دسترسی به منطقه، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی را امری ضروری می‌نماید (Shrastha, 2001). در طی سالیان گذشته، مدل‌های زیادی برای برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک ارائه شده‌اند که از مهمترین آنها می‌توان به USLE (Wischmeier & Smith, 1978)، WEEP (Flanagan & Nearing, 1995)، SWAT (Arnold et al., 1998) و ... اشاره کرد. معادله جهانی فرسایش خاک USLE<sup>۱</sup>، از گذشته‌های دور به طور گسترده‌ای برای تخمین میزان فرسایش و هدررفت خاک استفاده شده است (Kinnell, 2010). بعدها نسخه جدید USLE با نام RUSLE<sup>۲</sup> (تجدید نظر شده معادله جهانی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تلفیق شدند) (Lufafa et al, 2003). سیستم SATEEC برای تعیین هدررفت خاک) توسعه یافت که می‌توانست برآورد دقیق‌تری از عامل‌های P, C, K, R و فرسایش خاک انجام دهد (Van Remortel et al, 2004). نظر به اینکه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS و سنجش از دور RS توانایی تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را دارند، بنابراین، مدل‌های USLE و RUSLE برای برآورد میزان فرسایش با سن میزان فرسایش مکانی خاک و مدل‌سازی رسوب‌گذاری به وسیله بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران در سراسر جهان به علت سادگی در آماده‌سازی داده‌های ورودی آن و کاربرد آسان آن در نرم افزار ArcGIS استفاده شده است (ShikParket al, 2009).

1 . Universal Soil Loss Equation (USLE)  
2 . Resived Universal Soil Loss Equation (RUSLE)



شکل ۱) فلوجارت کلی مدل SATEEC

مدل RUSLE یک مدل برآورد میزان فرسایش در واحد سطح است که با شش عامل  $R, K, L, S, C$  و  $P$  رابطه دارد (Wischmeier & Smith, 1978) از طرفی، باید نسبت تحویل رسوب SDR برای حوضه مورد نظر برای برآورد میزان رسوب انتقالی به خروجی‌های حوضه محاسبه گردد (Lim et al, 2005:64). روش‌های مختلفی برای برآورد میزان رسوب رسیده به خروجی حوضه وجود دارد که در این مطالعه، سه روش بر اساس مساحت (USDA, 1975؛ بویس، 1975؛ وانونی، 1975) در سیستم SATEEC و به منظور محاسبه نسبت تحویل رسوب، استفاده شده است. معادله‌های مربوط به سه روش یاد شده در معادله‌های ۱ و ۲ و ۳ آورده شده است:

۱- مدل USDA (1975) که در معادله (۱) نشان داده شده است؛

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \quad (1)$$

۲- مدل وانونی (1975) که شرح آن در معادله (۲) آمده است؛

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \quad (2)$$

۳- مدل بویس (1975) که در معادله (۳) آورده شده است.

$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \quad (3)$$

در سه معادله فوق  $A$ : مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

پژوهشگران بسیاری با تلفیق مدل‌های فرسایش و رسوب و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان بار رسوبی و میزان فرسایش را در حوضه‌های آبخیز محاسبه کردند. لیم<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE در حوضه آبخیزی در کشور کره با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل USLE به تخمین میزان فرسایش و رسوب پرداخته، توانستند میزان بار رسوبی و فرسایش حوضه مورد نظر را حساب کنند. لو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از مدل USLE و سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های RS و تهیه نقشه‌های هدررفت خاک، میزان فرسایش را در قاره استرالیا محاسبه کرده و به این نتیجه رسیدند که زمین‌های با کاربری کشاورزی دارای بیشترین میزان فرسایش در مقایسه با زمین‌های با پوشش گیاهی طبیعی هستند. برات<sup>۵</sup> (۲۰۰۲) با تلفیق مدل USLE و GIS و تهیه نقشه‌های رقومی ارتفاع، به تعیین نقش کاربری اراضی در میزان فرسایش و بار رسوبی در حوضه آبخیز آلباین در ایتالیا پرداختند.

3 - Lim

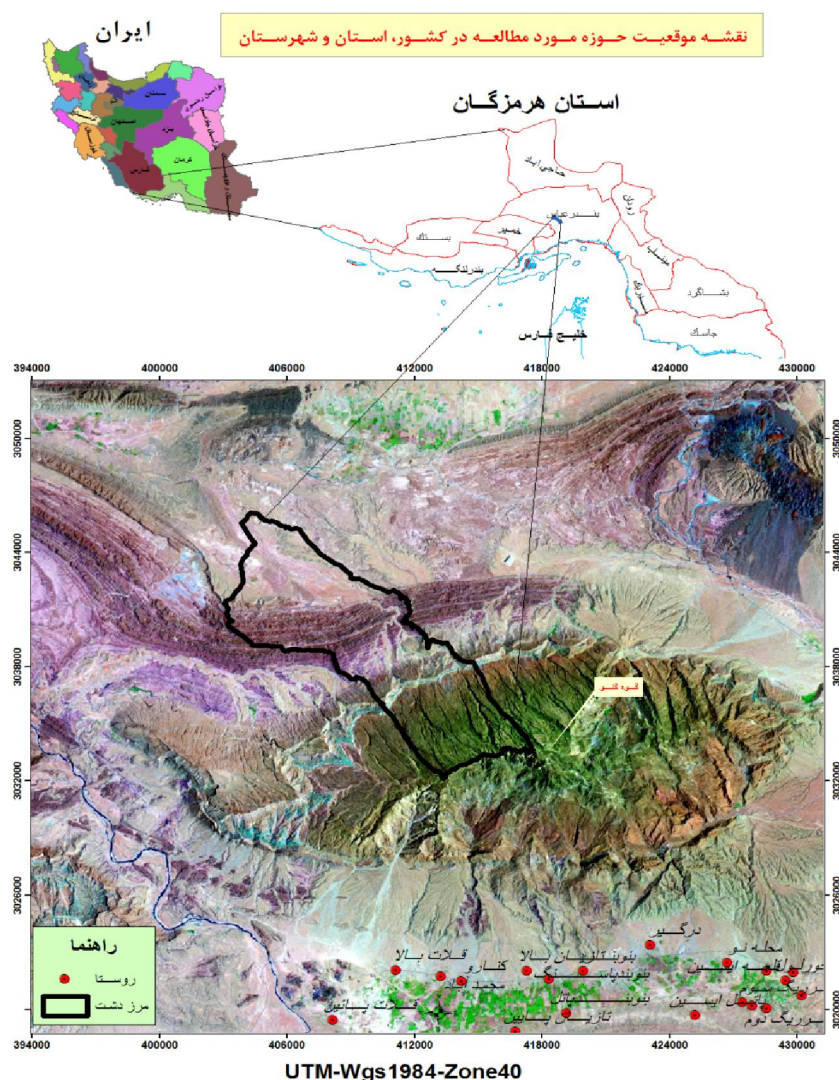
4 - Lu

5 - Brath

همچنین، آرخی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کاربرد GIS و مدل RUSLE در حوضه بالادست سد ایلام پرداخته، به این نتیجه رسیدند که میزان بار رسوبی به دست آمده با داده‌های به دست آمده از ایستگاه رسوب سنجی سد ایلام تقریباً یکسان است و بر مؤثر بودن استفاده از GIS در تخمین بار رسوبی حوضه، تأکید کردند. طی پژوهشی که اسکندری و همکاران (۱۳۸۹) در مورد نقش کاربری اراضی و تحلیل سیمای سرزمین در روستای گل سفید با استفاده از GIS و RS انجام دادند، مشخص کردند که مخرب‌ترین نوع کاربری که در تخریب حوضه و فرسایش نقش داشته، کاربری کشاورزی بوده است. هدف از این پژوهش، مدل‌سازی میزان فرسایش خاک و بار رسوب در حوضه آبخیز لاور فین بندرعباس با استفاده از تلفیق اصلاح شده مدل جهانی فرسایش خاک (RUSLE) و GIS از طریق سیستم SATEEC و سنجش از دور (RS) و همچنین، شناسایی مناطق حساس به فرسایش در حوضه آبخیز مورد نظر جهت اقدامات حفاظتی منابع آب و خاک منطقه است.

### داده و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های شرقی ۵۶ درجه، ۱ دقیقه و ۶ ثانیه تا ۵۶ درجه، ۹ دقیقه و ۵۵ ثانیه و عرض‌های شمالی ۲۷ درجه، ۲۴ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۲۷ درجه، ۳۲ دقیقه و ۶ ثانیه در ۶۰ کیلومتری شهر بندرعباس در استان هرمزگان قرار دارد. مساحت آن ۷۳۳۴/۹۱ هکتار است. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۳۴۹ متر و حداقل ارتفاع آن ۲۷۹ متر و از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزئی از اقلیم بیابانی گرم شدید است. متوسط بارندگی ۲۱۴/۶ میلی متر در سال است که کمترین آن مربوط به خرداد ماه (۱/۳۲) و بیشترین آن مربوط به دی ماه (۵۶/۵۹) است. میانگین دمای سالیانه ۲۵/۳ درجه سانتیگراد که متوسط حداکثر دمای آن ۳۳/۳ درجه سانتیگراد و متوسط حداقل دمای آن ۱۷/۳ درجه سانتیگراد است. از نظر زمین شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه در زون ساختاری زاگرس چین خورده قرار دارد و به لحاظ وضعیت زمین شناسی، لیتولوژی و چینه‌شناسی شامل سنگ‌آهک آسماری (در جنوب)، مارن و گچ گچساران بر روی سازند آسماری (در مرکز)، بخش آهکی گوری و مارن سبز رنگ و آهک‌های رسی میشان (در مرکز) بر روی سازند گچساران ماسه سنگ آهکی و مارنی آغاچاری (در مرکز و شمال شرق) و کنگلومرای بختیاری (در غرب) است که تمام آنها به دوران سوم زمین شناسی متعلق است. رسوبات آبرفتی دوران چهارم نیز در شمال و شمال غرب منطقه دیده می‌شود. در این حوضه تیپ اراضی مختلفی مشاهده می‌شود که تیپ کوه‌ها ۲۸۹۴/۳ هکتار، تیپ تپه ماهورها ۲۵۳۵/۲، تیپ تراس‌های فوقانی و فلات‌های مرتفع ۹۲۴/۱، تیپ دشت‌های دامنه‌ای ۴۸۲/۳ هکتار، تیپ اراضی مخلوط ۲۶۲/۷ هکتار و اراضی متفرقه ۳۳۶/۳ هکتار از کل اراضی را شامل می‌شود. (گزارش تفصیلی حوضه آبخیز لاور فین، ۱۳۸۴)



شکل ۱) موقعیت حوزه آبخیز لاور فین در استان هرمزگان

داده‌ها و اطلاعاتی که مورد نیاز است، شامل نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، بررسی گزارش‌های مطالعات تفصیلی حوزه آبخیز لاور فین، آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی اطراف محدوده حوزه، تصاویر ماهواره ای ETM و نرم افزارهای ۹/۳ ARC GIS و ۳/۳ ILWIS است. در این پژوهش، از سیستم SATEEC و مدل فرسایش خاک RUSLE برای برآورد میزان هدررفت خاک استفاده شد. توسعه مؤثر برنامه کنترل فرسایش، نیازمند شناسایی نواحی آسیب‌پذیر در برابر فرسایش خاک و مقادیر کمی فرسایش خاک در نواحی مختلف است (Lim et al, 2005). مدل RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش عامل زیر رابطه دارد (Wischmeier & Smith, 1978):

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)؛ R: عامل فرساینده باران ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$ )؛ K: عامل فرسایش‌پذیری خاک ( $Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ )؛ L: عامل طول شیب؛ S: عامل درجه شیب؛ C: عامل پوشش گیاهی و P: عامل اقدامات حفاظتی است. مقادیر L، S، C و P بدون واحد هستند.

### عامل فرساینده گی باران (R)

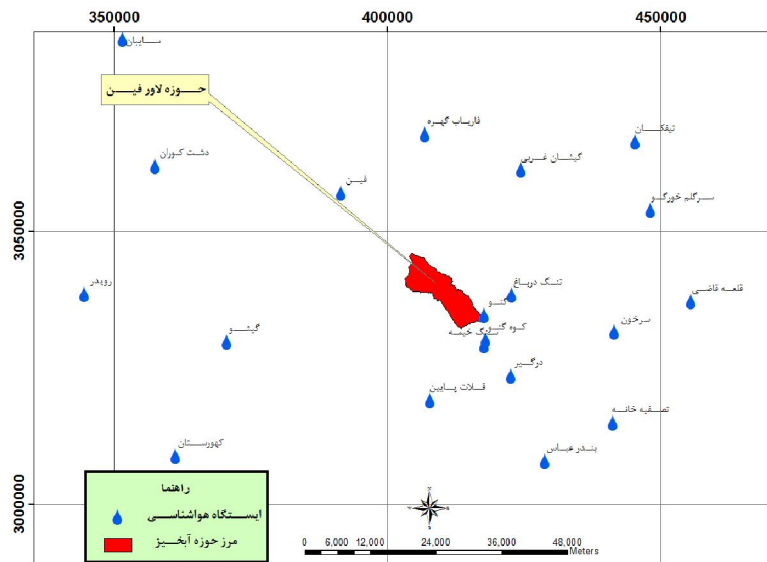
متوسط سالیانه شاخص فرساینده گی باران از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای (I30) به دست می آید. شاخص EI به عنوان حاصل ضرب انرژی کل رگبار (En) در حداکثر شدت مطرح شده است که در فاصله زمانی مشخص اندازه گیری می شود (خرسندی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۸). پس از تعیین ایستگاه‌های اطراف منطقه مورد نظر، بارندگی ماهانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها بازسازی شد. برای مناطقی که جزئیات داده‌های اقلیمی وجود ندارد، R را می توان با استفاده از اصلاح شده شاخص فورنیر تخمین زد (Hui et al, 2010:944).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad (5)$$

در اینجا Pi متوسط بارندگی ماهانه (میلی متر) و P متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر) است که با استفاده از معادله شماره (۵) شاخص فورنیه برای ایستگاه‌ها تخمین زده شد و با استفاده از فرمول زیر، ضریب فرساینده گی باران برای حوضه مورد مطالعه به دست آمد:

$$R - \text{Factor} = (0.07397 \times F^{1.847})/17.2 \quad F < 55 \text{ mm} \quad (6)$$

$$R - \text{Factor} = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2)/17.2 \quad F \geq 55 \text{ mm} \quad (7)$$



شکل ۳) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

### عامل فرسایش پذیری خاک (K)

این عامل به مواد آلی و ترکیب خاک، نفوذ پذیری و ساختار مقطع عرضی آن بستگی دارد که بین ۰/۷۰ برای خاک ضعیف (شکننده) تا ۰/۰۱ برای خاک‌های بسیار پایدار متفاوت است (FAO, 1996). عامل فرسایش پذیری در مدل RUSLE را می توان از طریق منحنی‌های مربوطه تعیین کرد. مورگان برای ضریب فرسایش پذیری (K) خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد کرده است که در جدول (۱) نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷). اطلاعات مورد نیاز از گزارش تفصیلی حوضه آبخیز لور فین استخراج و پس از آن نقشه عامل K در GIS آماده سازی شد.

جدول ۱) فرسایش پذیری خاک (K)

K	وضعیت خاک	K	وضعیت خاک
۰/۱	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۵	خاک سطحی با پوشش سنگریزه ای
۰/۴۲	خاک‌های ماسه ای نرم	۰/۱۶	خاک‌های ماسه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های لومی با ماسه بسیار ریز	۰/۱۲	خاک‌های لومی شنی
۰/۳۷	خاک‌های لومی	۰/۴۸	خاک‌های سیلت لومی
۰/۳۷	خاک‌های لومی رسی	۰/۲۵	خاک‌های سیلتي رسی

منبع: احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷

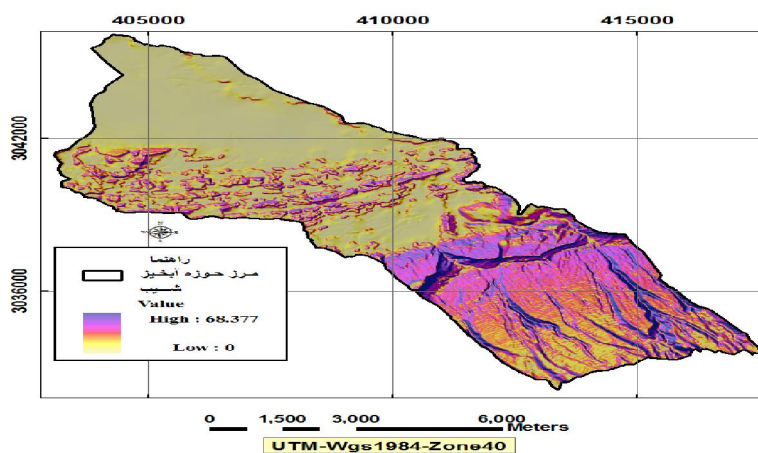
### عامل LS (توپوگرافی)

این عاملها در RUSLE انعکاس تاثیر توپوگرافی در فرسایش است. اگر شیب افزایش پیدا کند، انرژی رواناب ثابت باقی می ماند؛ اما به نسبت شتاب حمل، انرژی جنبشی رواناب افزایش پیدا می کند و هنگامی که شیب از ۱۵٪ تجاوز کند انرژی جنبشی مهمتر از بارش است (FAO, 1996). عامل درصد شیب تابعی از درجه شیب و منعکس کننده اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. عامل طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه گیری شده بر حسب متر است. حاصلضرب دو عامل یاد شده، به عنوان عامل توپوگرافی (LS) شناخته می شود (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۳). آنالیز حساسیت عاملهای این مدل نشان داده است که از بین عاملهای یاد شده در مدل RUSLE حساسترین عامل LS است (Benkobi et al, 1994). برای محاسبه LS از عاملهای زیر استفاده می شود:

$$L = 1.4 \left[ \frac{AS}{22.13} \right]^{0.4} \quad (8)$$

$$S = \left[ \frac{\sin \beta}{0.896} \right]^{1.3} \quad (9)$$

در این معادله؛ AS: سطح ویژه حوضه (متر مربع بر متر) و  $\beta$ : زاویه شیب (بر مبنای درجه) است. برای محاسبه زاویه شیب ( $\beta$ ) مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوضه استفاده شد و برای محاسبه سطح ویژه حوضه (AS)، در ابتدا از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه شیب و سپس نقشه جهت جریان و پس از آن نقشه تجمع جریان تهیه شد و در نهایت، برای به دست آوردن AS، جریان تجمعی در اندازه شبکه‌های مدل رقومی ارتفاع ضرب شد و سطح ویژه حوضه بر حسب متر به دست آمد.



شکل ۴) نقشه شیب حوضه مورد مطالعه

### عامل مدیریت پوشش (C)

عامل C نشان دهنده تأثیرات شیوه‌های برداشت و مدیریت کشاورزی و نیز تأثیر زمین، درخت و پوشش علفی بر روی کاهش از دست رفتن خاک در وضعیت غیرکشاورزی است (آرخی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۱۵). در مدل RUSLE عامل پوشش گیاهی معمولاً بر اساس معادله‌های تجربی تعیین می‌شود (Wischmeier & Smith, 1978)، که این عامل با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می‌گردد (پورعبدالله و تجرشی، ۱۳۸۴).

جدول (۲) مدیریت پوشش (C)

عامل C	کاربری اراضی / گروه های پوششی
۰/۹۹	شهری
۰/۰۲	جنگل‌های تخریب شده
۰/۱۱	دشت / مرتع
۰/۱۶	کشاورزی (پراکنده، تنک)
۰	تشکیلات آبی
۰/۹۹	اراضی فاقد پوشش

### عامل عملیات حفاظتی P

این عامل برابر است با نسبت خاک از دست رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین شخم خورده باشد.

جدول (۳) عامل عملیات حفاظتی (P) (Wischmeier & Smith, 1978)

عامل p	شیب %	تیب کاربری اراضی
۰/۱۰	۰-۵	کشاورزی
۰/۱۲	۵-۱۰	
۰/۱۴	۱۰-۲۰	
۰/۱۹	۲۰-۳۰	
۰/۲۵	۳۰-۵۰	
۰/۳۳	۵۰-۱۰۰	
۱	همه	کاربری‌های دیگر

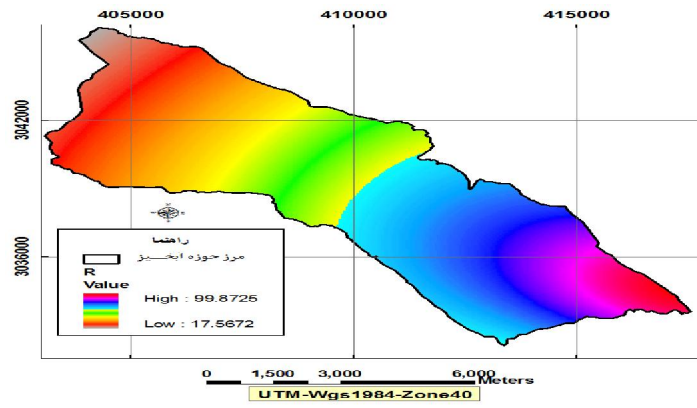
### یافته های پژوهش

مقادیر فرساینده‌گی باران و شاخص‌های فورنیه با استفاده از معادله‌های ۲، ۳ و ۴ برای ۲۰ ایستگاه طی دوره آماری ۱۸ ساله محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده در جدول (۴) نشان داده شده است. نقشه عامل R در محیط نرم افزار ILWIS 3.3 به دست آمد (شکل ۵). متوسط عامل R، از ۱۷/۵۶۷۲ تا ۹۹/۸۷۲۵ ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$ ) متغیر است و میزان

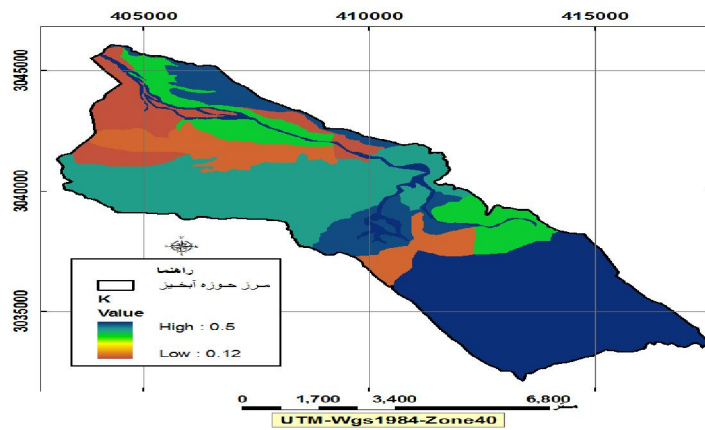
فرساینده‌گی باران در شمال غربی و جنوب شرقی حوضه مورد نظر بیشتر بود. متوسط مقدار K در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۵ متغیر است. از نقشه توپوگرافی برای ایجاد نقشه طول و درجه شیب (LS) استفاده شده است. این عامل با استفاده از معادله‌های (۴) و (۵) و همچنین، استفاده از نقشه طبقات ارتفاعی (DEM) حوضه مورد نظر، نقشه جهت جریان و پس از آن، نقشه جریان تجمعی تهیه شد که مقدار عامل LS بین ۰ تا ۲۳۰/۵۱۸ متغیر است. از طبقه بندی تصویر ETM از ماهواره Landsat برای ایجاد نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی و پس از آن برای نقشه عامل C استفاده شد. با استفاده از منابع موجود، طبقه بندی کاربری اراضی و پوشش گیاهی انجام پذیرفت که مقدار آن برای حوضه مورد نظر بین ۰/۰۲ تا ۱ متغیر است، که نقشه این عامل در شکل (۸) آورده شده است. نقشه عامل P از طریق طبقه بندی هر تیپ پوشش زمین به دست آمده که در شکل (۹) نشان داده شده است و با توجه به اینکه این مدل برای زمین های کشاورزی استفاده می شود، در قالب کاربری کشاورزی و غیر کشاورزی بررسی شد، که مقدار آن ۰/۱ تا ۱ متغیر است.

جدول (۴) برآورد F و R برای ایستگاه های بارندگی

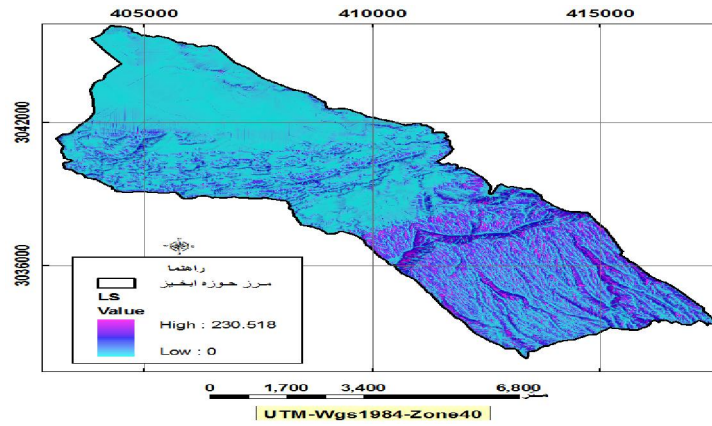
نام ایستگاه	X	Y	ارتفاع (متر)	F	R
توتنگ هماگ	۴۴۱۸۹۰۹	۳۰۸۸۳۲۷	۱۵۰/۴	۷۲/۶۵	۱۲۶/۳
گنو	۴۱۷۶۳۸/۳	۳۰۳۴۷۰۸	۲۰۸۷/۷	۶۵/۱۵	۱۰۰/۲
سرگلم خورگو	۴۴۸۰۵۷/۶	۳۰۵۳۸۹۶	۳۳۳/۵	۵۹/۷۱	۸۳/۳
کوه گنو	۴۱۷۹۳۷/۱	۳۰۳۰۱۲۱	۱۳۹۱/۹	۵۵/۵۱	۷۱/۴
تیفکان	۴۴۵۲۳۶	۳۰۶۶۴۶۳	۷۵۹/۸	۵۴/۴۵	۶/۹
تنگ درباغ	۴۲۲۶۰۳/۴	۳۰۳۸۳۶۹	۶۰۷/۸	۵۱/۸۶	۶/۳
سرخون	۴۴۱۴۵۴/۸	۳۰۳۱۶۱۸	۷۶/۱	۴۷/۱۴	۵/۳
سنگ خیمه	۴۱۷۶۰۱/۲	۳۰۲۹۱۷۰	۱۱۰/۱/۱	۴۶/۰۲	۵/۱
درگیر	۴۲۲۵۱۰/۵	۳۰۲۳۵۹۹	۱۰۴/۰	۴۱/۱۶	۴/۱
قلعه قاضی	۴۵۵۴۲۵/۲	۳۰۳۷۱۹۰	۶۷/۰	۳۹/۳۷	۳/۸
رویدر	۳۴۴۴۱۵/۶	۳۰۳۸۵۳۷	۳۶۴/۵	۳۸/۱۷	۳/۶
گیشان غربی	۴۲۴۴۱۹/۴	۳۰۶۱۲۵۱	۴۷۸/۲	۳۷/۸	۳/۵
فین	۳۹۱۴۷۷/۵	۳۰۵۷۰۶۹	۳۲۳/۹	۳۶/۴۱	۳/۳
کهورستان	۳۶۱۱۳۹/۸	۳۰۰۸۹۳۳	۳۴/۳	۳۵/۲۵	۳/۱
فاریاب گهره	۴۰۶۷۴۳/۹	۳۰۶۷۸۰۶	۶۳۱/۶	۳۳/۸۶	۲/۹
قلات پایین	۴۰۷۷۱۹/۳	۳۰۱۹۰۸۵	۶۲/۲	۳۲/۱۱	۲/۶
تصفیه خانه	۴۴۱۱۲۸/۶	۳۰۱۵۰۳۵	۹/۲	۲۹/۸۴	۲/۳
بندر عباس	۴۲۸۷۱۳/۷	۳۰۰۷۹۹۲	۱۰/۳	۲۷/۹۳	۲/۰
سایبان	۳۵۱۵۵۵/۵	۳۰۸۵۲۳۳	۰/۰	۲۷/۷۷	۲/۰
گیشو	۳۷۰۴۹۵/۲	۳۰۲۹۸۲۱	۴۰۱/۸	۲۴/۹۳	۱/۶
دشت کوران	۳۵۷۴۳۵/۴	۳۰۶۱۹۴۴	۳۷۶/۸	۱۶/۸	۰/۸



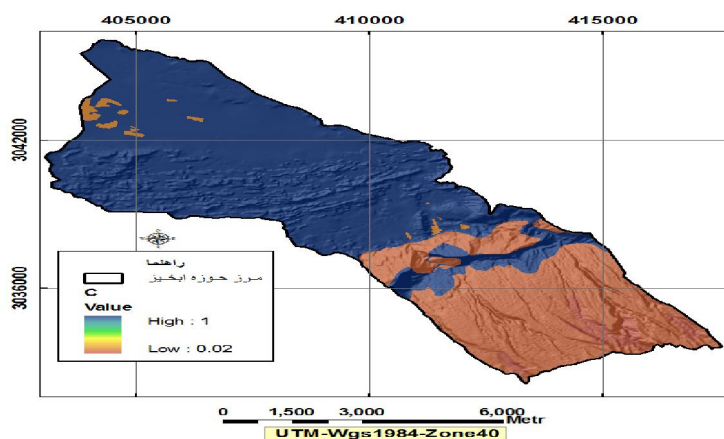
شکل ۵) نقشه عامل R حوضه آبخیز لاور فین



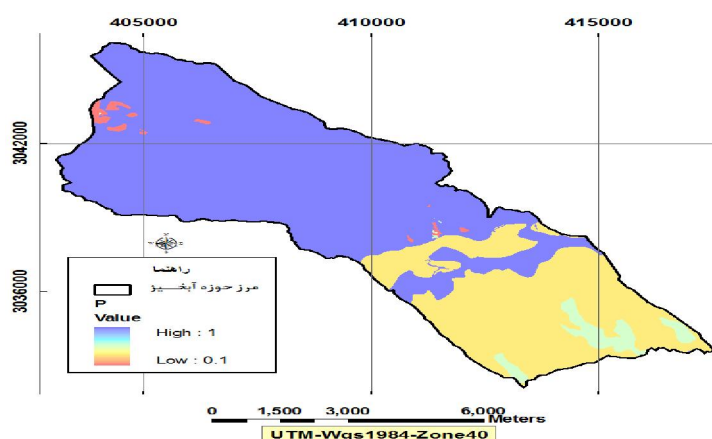
شکل ۶) نقشه عامل K حوضه آبخیز لاور فین



شکل ۷) نقشه عامل LS حوضه آبخیز لاور فین



شکل ۸) نقشه عامل C حوزه آبخیز لاور فین



شکل ۹) نقشه عامل P حوزه آبخیز لاور فین

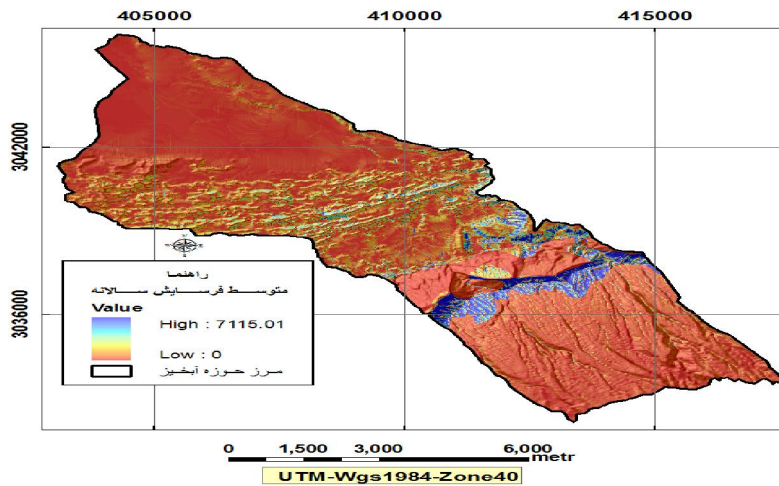
جدول ۵) عاملهای مدل RUSLE برای حوزه آبخیز لاور فین

عامل P	عامل C	عامل LS	عامل K	عامل R	
۰/۱	۰/۰۲	۰	۰/۱۲	۱۷/۵۶۷۲	حداقل
۱	۱	۲۳۰/۵۱۸	۰/۵	۹۹/۸۷۲۵	حداکثر
۰/۸۹	۰/۶۸	۴/۳۸	۰/۳۹	۵۷/۶۰	میانگین
۰/۱۵	۰/۴۴	۸/۰۱۱	۰/۱۳	۲۱/۷۴	انحراف معیار

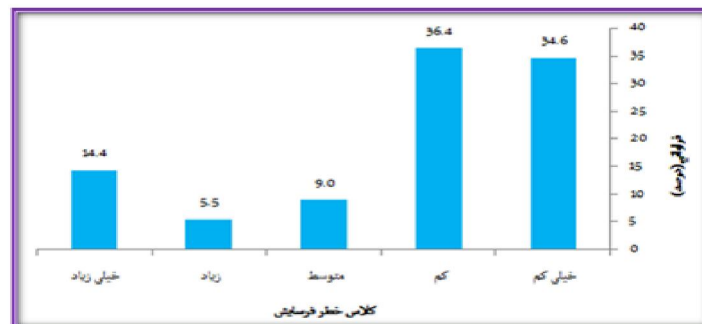
### فرسایش سالانه خاک

متوسط سالانه فرسایش خاک از طریق حاصلضرب عاملهای فرسایشی باران (R)، عامل فرسایش پذیری خاک (K)، عامل توپوگرافی (LS)، عامل مدیریت پوشش گیاهی (C) و عامل عملیات حفاظتی (P) با استفاده از سیستم SATEEC در محیط ARCGIS محاسبه شد، که نقشه به دست آمده در شکل (۹) نشان داده شده است. مقادیر به دست آمده فرسایش بین صفر تا ۷۱۱۵/۰۱ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر است. پس از آن، نقشه فرسایش سالانه خاک به پنج کلاس خطر فرسایش طبقه بندی شده است (شکل ۱۰). بیشترین قسمت حوزه لاور فین، ۳۶/۴ درصد از مساحت حوزه

جزو طبقه فرسایشی کم قرار گرفت با میزان فرسایش ۲۶۶۹/۴ تن بر هکتار بر سال و ۳۴/۶ درصد از مساحت حوضه با میزان فرسایش ۲۵۳۶/۸ جزو طبقه فرسایشی خیلی کم است. مناطق با فرسایش کم (۰) در شمال غربی و قسمت‌هایی از میانه و جنوب شرقی حوضه مورد نظر است و بیشترین میزان فرسایش حدود ۷۱۱۵/۰۱ در قسمت‌هایی از میانه قرار دارد. مناطق با خطر فرسایش زیاد، شامل مناطقی است که پوشش گیاهی کمی دارند.



شکل ۱۰) متوسط فرسایش سالیانه خاک



شکل ۱۱) میزان فراوانی کلاس‌های خطر فرسایش

جدول ۶) میزان فرسایش به تفکیک کلاس شیب

کلاس	میزان فرسایش (تن/هکتار/سال)	درصد
خیلی کم	۲۵۳۶/۸	۳۴/۶
کم	۲۶۶۹/۴	۳۶/۴
متوسط	۶۶۲/۷	۹/۰
زیاد	۴۰۶/۴	۵/۵
خیلی زیاد	۱۰۵۴/۰	۱۴/۴
مجموع	۷۳۲۹/۵	۱۰۰

## بار رسوب

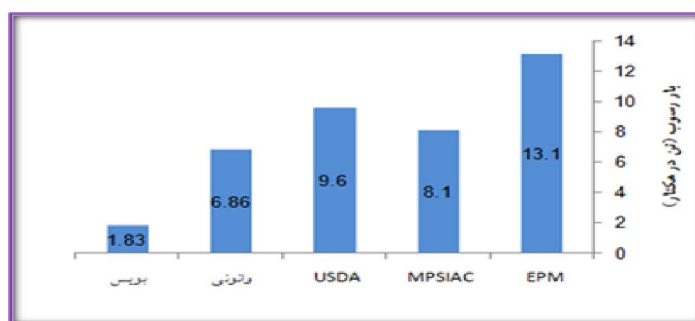
در این پژوهش، میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۱ و متوسط بار رسوب در خروجی حوضه بین ۱/۸۳ تا ۹/۶ متغیر است (جدول ۷). بار رسوب به دست آمده با استفاده از مدل EPM برابر ۱۳/۱ تن در هکتار در سال و در مدل MPSIAC معادل با ۸/۱ تن در هکتار در سال است (گزارش فرسایش و رسوب حوضه آبخیز لاور فین، ۱۳۸۴: ۶۴). از آنجایی که مقدار رسوب به دست آمده با استفاده از مدل USDA تقریباً نزدیک به مقدار رسوب مدل MPSIAC و EPM بود، این روش به عنوان روش بهتر برای محاسبه نسبت تحویل رسوب انتخاب و نقشه بار رسوب از آن تهیه گردید.

جدول ۷) روش های نسبت تحویل رسوب و بار رسوب حوضه لاور فین

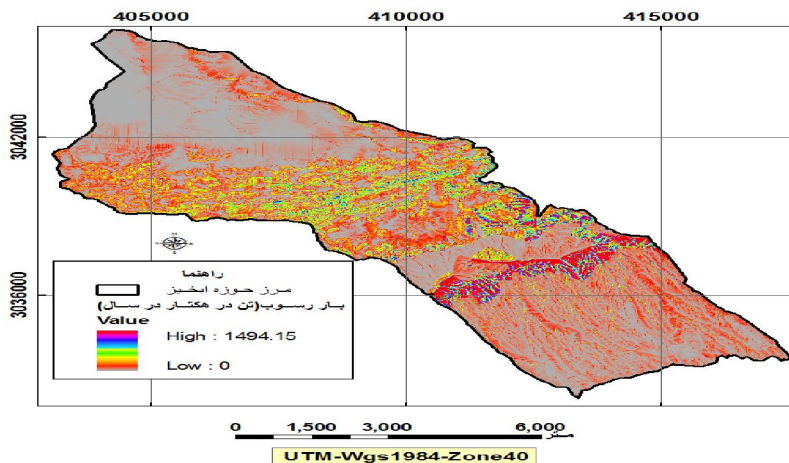
روش های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل رسوب	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)
USDA	۰/۲۱	۹/۶	۷۰۴۱۵/۱۳
وانونی	۰/۱۵	۶/۸۶	۵۰۳۱۷/۴۸
بویس	۰/۰۴	۱/۸۳	۱۳۴۲۲/۸۸

جدول ۸) مقادیر رسوب در گزارش تفضیلی لاور فین به روش EPM و MPSIAC

MPSIAC		EPM	
رسوب کل (تن در سال)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)
۵۹۴۱۳	۸/۱	۹۶۰۸۸/۵	۱۳/۱



شکل ۱۲) مقایسه میزان رسوب به دست آمده در مدل EPM، MPSIAC و روش های نسبت تحویل رسوب در SATEEC (RUSLE)



شکل ۱۳ نقشه بار رسوب

### نتیجه گیری

در این مطالعه بررسی فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE در چهارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد. همه نقشه‌های R، C، LS، P و K در محیط GIS تهیه و سپس با هم تلفیق شدند. حوضه لاور فین دارای توپوگرافی شدید و بسیار متغیر است. این امر با گستره صفر تا ۲۳۰ عامل طول و درجه شیب (LS) مشخص است. فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده در بستر نرم افزار سنجش از دور به دست آمده که مقادیر این فاکتور از ۱ تا ۲۰ متغیر است. با استفاده از این نقشه مشخص گردید در بعضی از قسمت های خروجی حوضه که باغ‌ها و اراضی کشاورزی قرار دارند و در سرشاخه‌ها و دامنه های شمالی کوه گنو که دارای جنگل‌های نیمه متراکم است، دارای کمترین مقادیر C است. بررسی نقشه خطر فرسایش خاک نشان می دهد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه بر حسب تن در هکتار در سال از صفر تا ۷۱۱۵ متغیر است. مطابق با این نقشه، مناطق با خطر فرسایش خیلی زیاد، شامل مناطقی در قسمت‌های میانی حوضه با شیب تند و فرسایش گالی هستند. مقایسه متوسط بار رسوب برآورد شده در روش USDA (۹,۶ تن در هکتار در سال) با مقادیر به دست آمده از روش MPSIC و EPM برگرفته از گزارش مطالعات تفصیلی اجرایی لاور فین قابلیت تلفیق مدل RUSLE و GIS را در برآورد میزان فرسایش و بار رسوب نشان می دهد.

### منابع

- ۱- آرخی، صالح و یعقوب نیازی. (۱۳۸۹). بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ج ۱۷، ش ۲.
- ۲- احمدی، حسن. (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران: چاپ ششم.
- ۳- اسکندری، سعیده؛ مرادی، ایوب و جعفر اولادی. (۱۳۸۹). کاربری اراضی و تحلیل سیمای سرزمینی روستای گل سفید از نظر زیست- محیطی با استفاده از GIS و RS، مجله آمایش سرزمین، شماره چهارم، صص ۱۳۷-۱۶۲.

- ۴- کریمی، حسین؛ کریمی وردنجانی، حسین و سیف‌اله قربانی.(۱۳۸۶). کاربرد مدل SATEEC در برآورد رسوب‌زایی و تهیه نقشه شدت فرسایش زیر حوضه آبخیز سد زاینده رود، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، مدیریت حوضه‌های آبخیز.
- ۵- ایوبی، شمس‌الله؛ خرمالی، فرهاد و شعبان شتایی جویباری.(۱۳۸۶). استفاده از تکنیک زمین آمار در تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلول مدل رقومی زمین برای برآورد مشخصه توپوگرافی (LS) مدل برآورد فرسایش RUSLE در منطقه تاش علیا(استان گلستان)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۷، صص ۱۲۲-۱۲۹.
- ۶- خرسندی، نازیلا؛ مهدیان، محمدحسین؛ پذیرا، ابراهیم و داود نیک‌نامی.(۱۳۹۰). تعیین شاخص مناسب فرسایش باران در دو اقلیم نیمه‌خشک و خیلی مرطوب حوضه آبخیز خزر، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ش ۵۶، صص ۱۱۷-۱۲۵.
- ۷- زنجان‌جم، مجید و مسعود رسولی.(۱۳۸۶). ارزیابی خطرپذیری فرسایش خاک با استفاده از مدل USLE در محیط GIS؛ مطالعه موردی بخشی از حوضه آبخیز زنجان‌رود، همایش ژئوماتیک.
- ۸- مطالعات تفصیلی-اجرایی حوضه آبخیز لاور فین.(۱۳۸۴). شرکت مهندسی مشاور کشتاوران مبین.
- ۹- پورعبدالله، مهدی و مسعود تجرشی.(۱۳۸۴). مقایسه مدل‌های RUSLE و SWAT در تخمین فرسایش حوضه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.
- ۱۰- گریگرسن، هانس.م.؛ فالیوت، پتر و بروکس کنت، ترجمه: احمد نوحه‌گر، حسین پرورش و الیاس پرورش.(۱۳۸۸). مدیریت جامع حوضه آبخیز(پیوند مردم با آب و اراضی خود)، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۳۷۸ص.
- 11- Adediji,A.,AM. Tukur & K.A. Adepoju (2010). Assessment of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Katsina Area, Katsina State of Nigeria using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). Iranica Journal of Energy & Environment 1 . PP 255-264
- 12- Arekhi, Saleh., Ali Darvishi Bolourani, Afshin Shabani, Hassan Fathizad & Salman Ahamdy-asbchin (2012). Mapping Soil Erosion and Sediment Yield Susceptibility using RUSLE, Remote Sensing and GIS (Case study: Cham Gardalan Watershed, Iran). Advances in Environmental Biology. 6(1). PP:109-124
- 13- Boardman,John.,Shepherd,Mark,Walker,Edward,Foster Ian(2009),Soil erosion and risk-assessment for on – and off-farm impacts:A test case using the Midhurst area,West Sussex,UK,Journal of Environmental Management , Pp:1-11.
- 14- Benkobi, M. J. and J. L. Smith. (1994). Evaluation of a refined surface cover sub factor for use in RUSLE. Journal of range management. 47. Pp: 74-78
- 15- Brath A.,Castellari A, Montanari A,2002, "Assessing the effects of land-use changes on annual average gross erosion" , Hydrology and Earth System Sciences, volume 6, pp 255-265.
- 16- FAO Soil Bulletin 70 – Land husbandry – Components and strategy, Rome 1996, ISBN: 92-5-103451-6.
- 17- Hui,Li., Chen Xiaoling, Kyoung Jae Lim & Myung Sagong(2010). Assessment of Soil Erosion and Sediment Yield inLiao Watershed, Jiangxi Province, China, UsingUSLE, GIS, and RS. Journal of Earth Science. vol 21. No 6. PP 941–953
- 18- Kinnell, P.I.A., 2000,"Applying the MUSLE within the agricultural non-point source pollution model", Environmental Modeling and Software,Pp331-341.
- 19- Kinnell, P.I.A., 2010, Event Soil loss, run off and the Universal Soil Loss Equation Family of models:Areview,Journal of Hydrology.

- 20- Lim Jae Kyoung., Myung Sagong, Bernard Engel, Zhenxu Tang, Joongdae Choi & Ki-Sung Kim (2005). GIS-based Sediment assessment tool. *Sciencedirect. Catena*. volume 64. PP 61-80.
- 21- Lu, Hua., John Gallant, Lan Prosser, Chris Moran & Graeme Priestley (2001). Prediction of Sheet and Rill Erosion Over the Australian Continent, Incorporating Monthly Soil Loss Distribution. *National Land & Water Resource Audit .CSIRO Land and Water .Technical Report 13/01*.
- 22- Lufafa, A., Tenywa, M.M., Isabirye, M., Majaliwa, M.J.G., and Woome, P.L. (2003). Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based universal soil loss model. *Agricultural Systems*, 76: 883-894
- 23- Morgan & Nearing et al , The future role of information technology in erosion modeling-Hand Book of Erosion Modeling , 2011, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781444328455.ch1/summary>
- 24- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1998. "The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments", *Earth Surface Processes and Landforms* 23, 527-544.
- 25- Pieri Linda., Bittelli Macro, Joan Q, Ventura Francesca , Salvatorelli Fiorenzo , 2006, "Using the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model to simulate field-observed runoff and erosion in the Apennines mountain range, Italy", *Journal of Hydrology* , Volume 336, Pp 84-97.
- 26- Shik Park, Youn., Jonggun Kim, Nam Won Kim, Seong Joon Kim, Ji-Hong Jeon, Bernard Engel, Wonseok Jang & Kyoung jae lim (2009). Development of new R, C and SDR modules for the SATEEC GIS system. *Sciencedirect, Computer and Geosciences*.
- 27- Shrestha D., 2001, Soil erosion modeling using remote sensing and GIS: A case study of Jhikhu Khola watershed, Nepal.
- 28- UNEP, 1991. Status of Desertification and Implementation of the UN Plan of Action to Combat Desertification, Nairobi, Kenya.
- 29- Van Remortel, R.D., Maichle, R.W., and Hickey, R.J. 2004. "Computing the LS Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using c++ executable", *Computers and Geosciences*, volume 30, Pp: 1043-1053.
- 30- Wischmeier W. H., Smith D, 1978, Predicting rainfall erosion losses , A guide for conservation planning (agricultural handbook 537) , Washington, DC: USDA.
- 31- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D (1978). Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*. US Department of Agriculture, Washington, DC. Vol: 537. 58p.