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

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

M.Rokhbin
A. Nohegar
A.R. Kamali
M.Habiballahiyan

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

E-mail: R.Rokhbin@yahoo.com

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

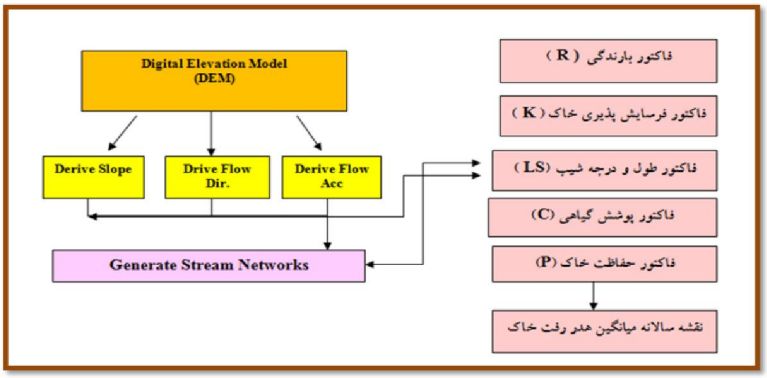
افزایش هدررفت منابع خاک در حوضه‌های آبخیز، چالشی مداوم است که با افزایش جمعیت و فشار وارده بر منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در خاک‌ها و اراضی شیبدار، موجب کاهش تولید در اراضی گشته و همچنین، کاهش روزانه نسبت اراضی به جمعیت ساکن، باعث فشار بیشتر بر اراضی و منابع طبیعی شده است. حوضه آبخیز لاور فین 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 وP رابطه دارد که به‌ترتیب از داده‌های درازمدت بارندگی، نقشه خاک منطقه، مدل رقومی ارتفاع و سنجش از دور به‌دست 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 خاک ها 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 تکنیک های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی را امری ضروری می نماید(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[1]، 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[2] (تجدید نظر شده معادله جهانی سیستم های 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 R، K، C، P 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 داده های 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 آماده سازی 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)



شکل۱) فلوچارت کلی مدلSATEEC

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، ۱۹۷۵؛ بویس، ۱۹۷۵؛ وانونی، ۱۹۷۵) در سیستم SATEEC و به منظور محاسبه نسبت تحویل رسوب، استفاده شده است. معادله های مربوط به سه روش یاد شده در معادله های ۱ و ۲ و ۳ آورده شده است:

۱- مدل USDA(۱۹۷۵) که در معادله(۱) نشان داده شده است؛

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \qquad (۱)$$

۲- مدل وانونی (۱۹۷۵) که شرح آن در معادله (۲)آمده است؛

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \qquad (۲)$$

۳- مدل بویس(۱۹۷۵) که در معادله (۳) آورده شده است.

$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \qquad (۳)$$

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

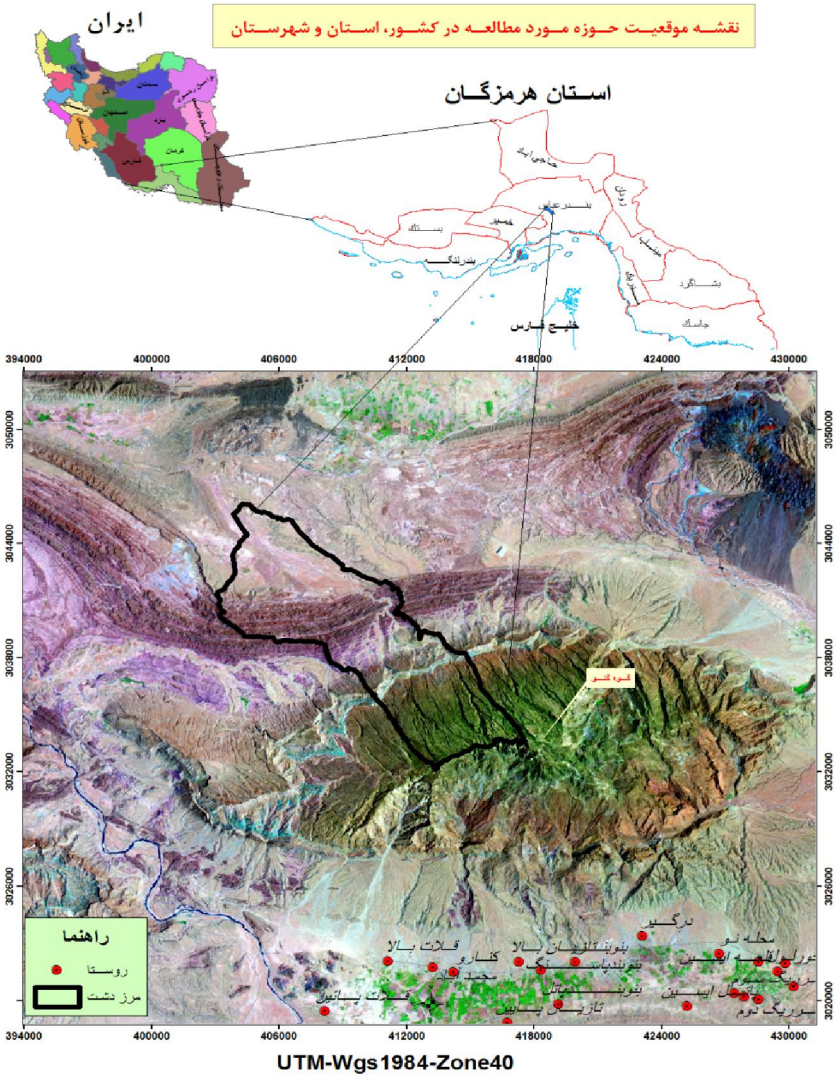
پژوهشگران بسیاری با تلفیق مدل‌های فرسایش و رسوب و سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان بار رسوبی و میزان فرسایش را در حوضه‌های آبخیز محاسبه کردند . لیم[3] و همکاران(۲۰۰۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE در حوضه آبخیزی در کشور کره با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با مدل USLE به تخمین میزان فرسایش و رسوب پرداخته، توانستند میزان بار رسوبی و فرسایش حوضه مورد نظر را حساب کنند. لو[4] 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[5] (۲۰۰۲) با تلفیق مدل USLE و GIS و تهیه نقشه های رقومی ارتفاع، به تعیین نقش کاربری اراضی در میزان فرسایش و بار رسوبی در حوضه آبخیز آلپاین در ایتالیا پرداختند.

3 - Lim
4 - Lu
5 - Brath

همچنین، آرخی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کاربرد GIS و مدل RUSLE در حوضه بالادست سدّ ایلام پرداخته، به این نتیجه رسیدند که میزان بار رسوبی به دست آمده با داده‌های به دست آمده از ایستگاه رسوب سنجی سدّ ایلام تقریبا 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 آغاجاری(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 دامنه ای ۴۸۲/۳ هکتار، تیپ اراضی مخلوط ۲۶۲/۷ هکتار و اراضی متفرقه ۳۳۶/۳ هکتار از کل اراضی را شامل می شود. (*گزارش تفضیلی حوضه آبخیز لاور فین*، ۱۳۸۴)



شکل ۱) موقعیت حوضه آبخیز لاور فین در استان هرمزگان

داده‌ها و اطلاعاتی که مورد نیاز است، شامل نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، بررسی گزارش‌های مطالعات تفضیلی حوضه آبخیز لاور فین، آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی اطراف محدوده حوضه، تصاویر ماهواره ای ETM و نرم افزارهای۹/۳ 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) مدلRUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش عامل زیر رابطه دارد(Wischmeier & Smith, 1978):

$$A=R.K.L.S.C.P \qquad (۴)$$

در رابطه (۴)، A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح(تن در هکتار در سال)؛ R: عامل فرسایندگی 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 فرسایندگی باران(R)

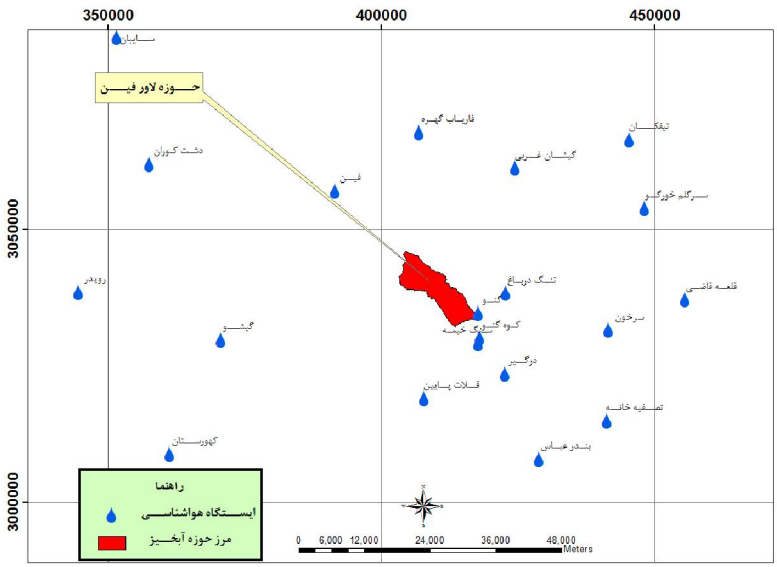
متوسط سالیانه شاخص فرسایندگی باران از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای (I30) به‌دست می‌آید. شاخص EI به‌عنوان حاصل ضرب انرژی کل رگبار(En) در حداکثر شدت مطرح شده است که در فاصله زمانی مشخص اندازه گیری می‌شود (خرسندی و همکاران،۱۳۹۰: ۱۱۸). پس از تعیین ایستگاه‌های اطراف منطقه 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).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad (۵$$

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 فرسایندگی باران برای حوضه مورد مطالعه به‌دست آمد:

$$R - Factor = (0.07397 \times F^{1.847})/17.2 \qquad F<55\ mm \quad (۶$$

$$R - Factor = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2)/17.2 \qquad F\geq 55mm \quad (۷$$



شکل۳) 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 فرسایش‌پذیری در مدل RUSLE را می‌توان 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 تفضیلی حوضه آبخیز لاور فین استخراج و پس از آن نقشه عامل K در GIS آماده سازی شد.

جدول ۱) فرسایش پذیری خاک(K)

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

منبع: احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷

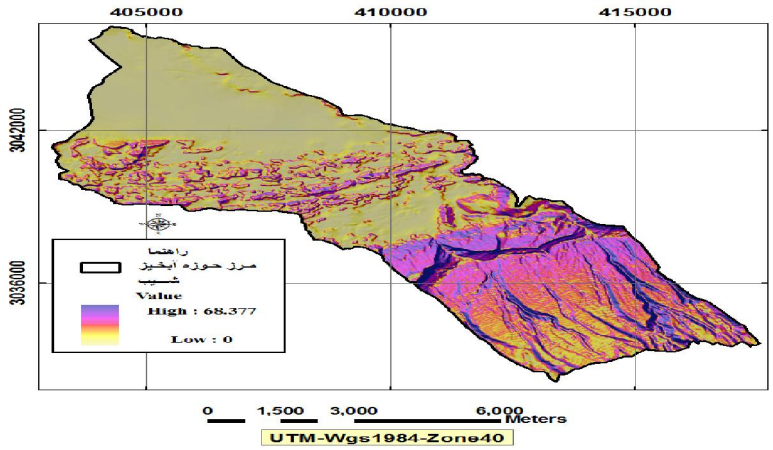
عامل LS(توپوگرافی)

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 می‌کند 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 اندازه‌گیری شده بر حسب متر است. حاصلضرب دو عامل یاد شده، به عنوان عامل توپوگرافی (LS) شناخته می‌شود(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:

$$L = 1.4 \left[\frac{AS}{22.13}\right]^{0.4} \quad (۸)$$

$$S = \left[\frac{\sin\beta}{0.896}\right]^{1.3} \quad (۹)$$

در این معادله؛ As: سطح ویژه حوضه(متر مربع بر متر) و β: زاویه شیب (بر مبنای درجه) است. برای محاسبه زاویه شیب (β) 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 به‌دست آوردن As ، جریان تجمعی در اندازه شبکه‌های مدل رقومی ارتفاع ضرب شد و سطح ویژه حوضه بر حسب متر به‌دست آمد.



شکل۴) 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 معمولا بر اساس معادله‌های تجربی تعیین می‌شود(Wischmeier & Smith, 1978)، که این عامل با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می گردد(پورعبدالله و تجرشی،۱۳۸۴).

جدول (۲) مدیریت پوشش(c)

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

عامل عملیات حفاظتیP

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.

جدول۳) عاملعملیات حفاظتی(P)(Wischmeier & Smith, 1978)

تیپ کاربری اراضی	شیب ٪	عاملp
کشاورزی	۰–۵	۰/۱۰
	۵ –۱۰	۰/۱۲
	۱۰ –۲۰	۰/۱۴
	۲۰ –۳۰	۰/۱۹
	۳۰ –۵۰	۰/۲۵
	۵۰ –۱۰۰	۰/۳۳
کاربری‌های دیگر	همه	۱

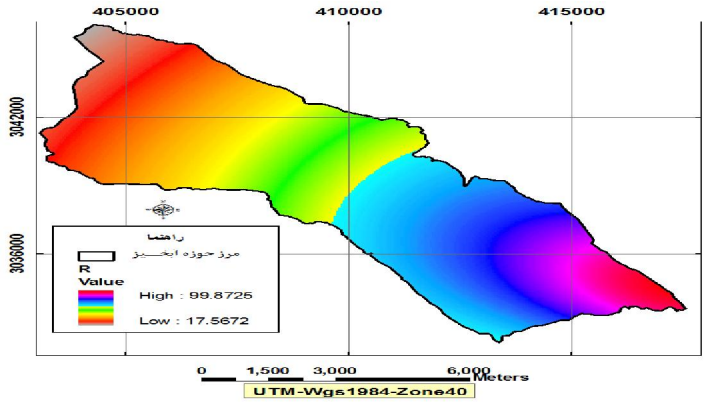
یافته های پژوهش

مقادیر فرسایندگی 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 عاملR در محیط نرم افزارILWIS 3.3 به دست آمد(شکل۵). متوسط عاملR، از ۱۷/۵۶۷۲ تا ۹۹/۸۷۲۵ ($MJ\ mm\ ha^{-1}h^{-1}y^{-1}$) متغیر است و میزان

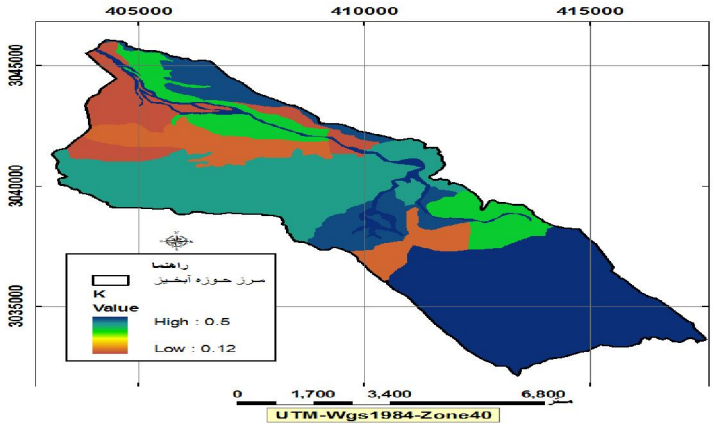
فرسایندگی باران در شمال غربی و جنوب شرقی حوضه مورد نظر بیشتر بود. متوسط مقدار K در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۵ متغیر است. از نقشه توپوگرافی برای ایجاد نقشه طول و درجه شیب(LS) استفاده شده است. این عامل با استفاده از معادله‌های (۴)و(۵) و همچنین، استفاده از نقشه طبقات ارتفاعی(DEM) حوضه مورد نظر، نقشه 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 تصویرETM 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، طبقه‌بندی 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 طبقه‌بندی هر تیپ پوشش زمین به‌دست آمده که در شکل (۹) نشان داده شده است و با توجه به اینکه این مدل برای زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود، 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 ایستگاه‌های بارندگی

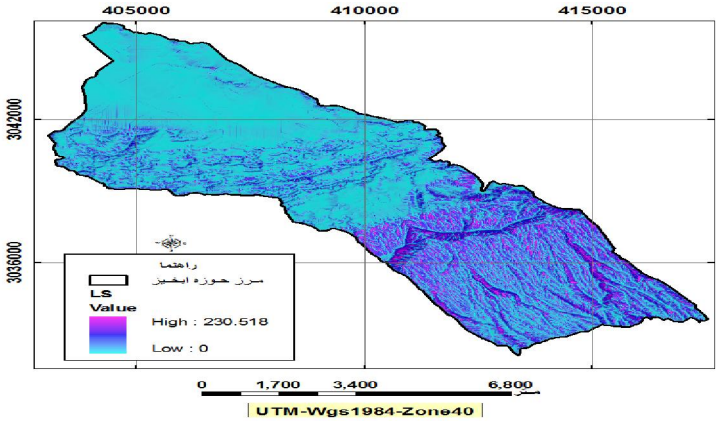
نام ایستگاه	X	Y	ارتفاع(متر)	F	R
توتنگ هماگ	۴۴۱۸۹۰۹	۳۰۸۸۳۲۷	۱۵۰۱/۴	۷۲/۶۵	۱۲۶/۳
گنو	۴۱۷۶۳۸/۳	۳۰۳۴۷۰۸	۲۰۸۷/۷	۶۵/۱۵	۱۰۰/۲
سرگلم خورگو	۴۴۸۰۵۷/۶	۳۰۵۳۸۹۶	۳۳۳/۵	۵۹/۷۱	۸۳/۳
کوه گنو	۴۱۷۹۳۷/۱	۳۰۳۰۱۲۱	۱۳۹۱/۹	۵۵/۵۱	۷۱/۴
تیفکان	۴۴۵۲۳۶	۳۰۶۶۴۶۳	۷۵۹/۸	۵۴/۴۵	۶/۹
تنگ درباغ	۴۲۲۶۰۳/۴	۳۰۳۸۳۶۹	۶۰۷/۸	۵۱/۸۶	۶/۳
سرخون	۴۴۱۴۵۴/۸	۳۰۳۱۶۱۸	۷۶/۱	۴۷/۱۴	۵/۳
سنگ خیمه	۴۱۷۶۰۱/۲	۳۰۲۹۱۷۰	۱۱۰۱/۱	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



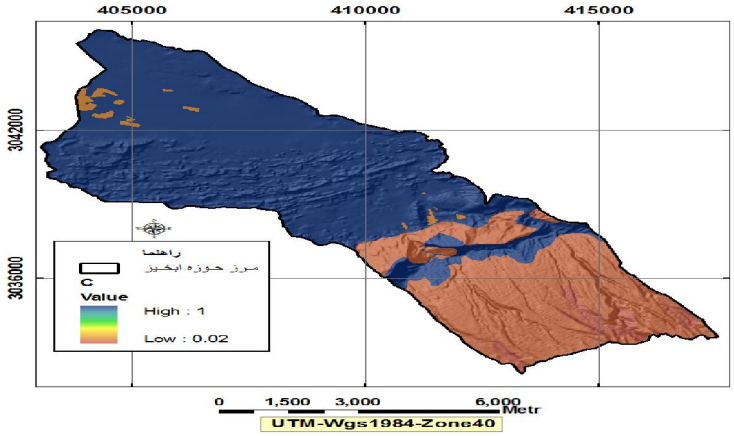
شکل۵) نقشه عامل R حوضه آبخیز لاور فین



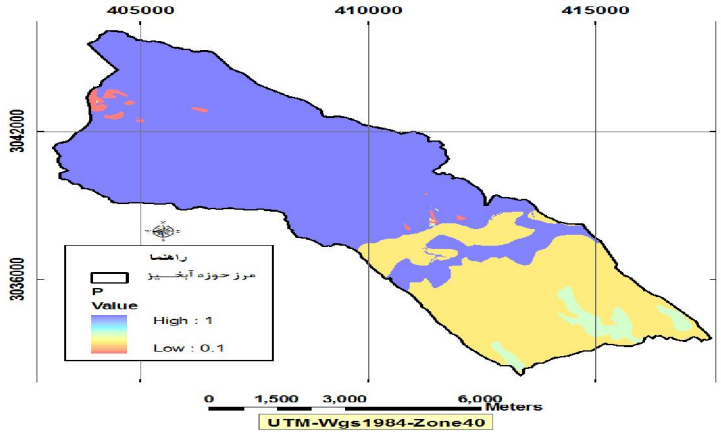
شکل ۶) نقشه عامل K حوضه آبخیز لاور فین



شکل۷) نقشه عامل LS حوضه آبخیز لاور فین



شکل ۸) نقشه عامل C حوضه آبخیز لاور فین



شکل ۹) نقشه عامل P حوضه آبخیز لاور فین

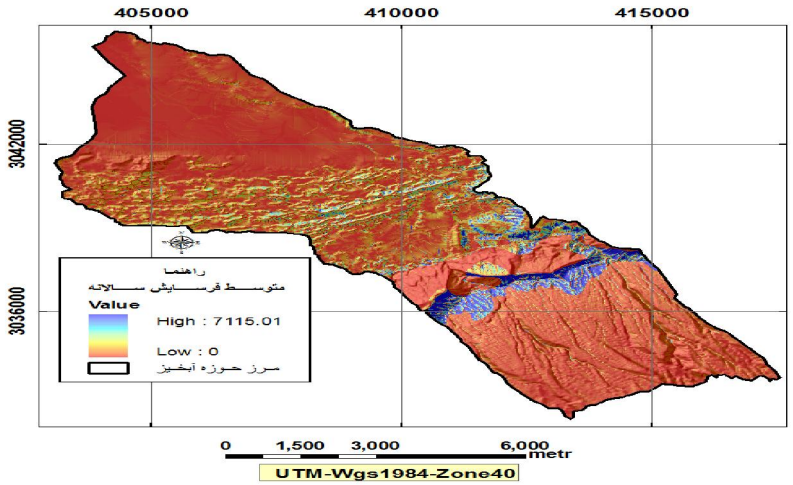
جدول ۵) عاملهای مدل RUSLE برای حوضه آبخیز لاور فین

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

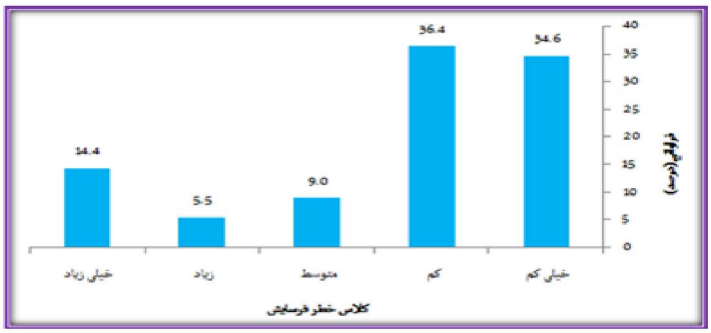
فرسایش سالیانه خاک

متوسط سالانه فرسایش خاک از طریق حاصلضرب عاملهای فرسایندگی باران(R)، عامل فرسایش‌پذیری 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 به‌دست آمده در شکل(۹) نشان داده شده است. مقادیر به‌دست 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 حوضه لاور فین، ۳۶/۴ درصد از مساحت حوضه

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

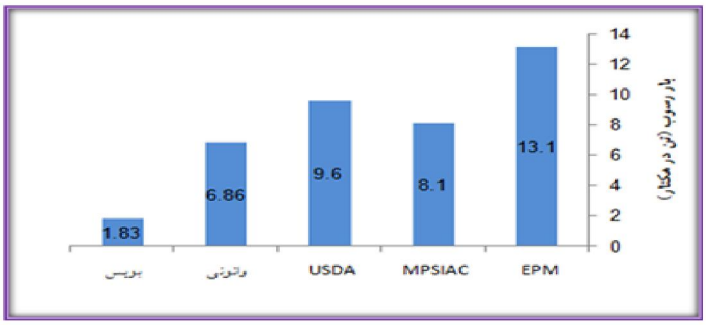
در این پژوهش، میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۱ و متوسط بار رسوب در خروجی حوضه بین ۱/۸۳ تا ۹/۶ متغیر است(جدول ۷). بار رسوب به‌دست آمده با استفاده از مدل EPM برابر ۱۳/۱تن در هکتار در سال و در مدلMPSIAC معادل با ۸/۱ تن در هکتار در سال است(گزارش فرسایش و رسوب حوضه آبخیز لاور فین، ۱۳۸۴: ۶۴). از آنجایی که مقدار رسوب به‌دست آمده با استفاده از مدلUSDA تقریبا 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.

جدول۷) روش‌های نسبت تحویل رسوب و بار رسوب حوضه لاور فین

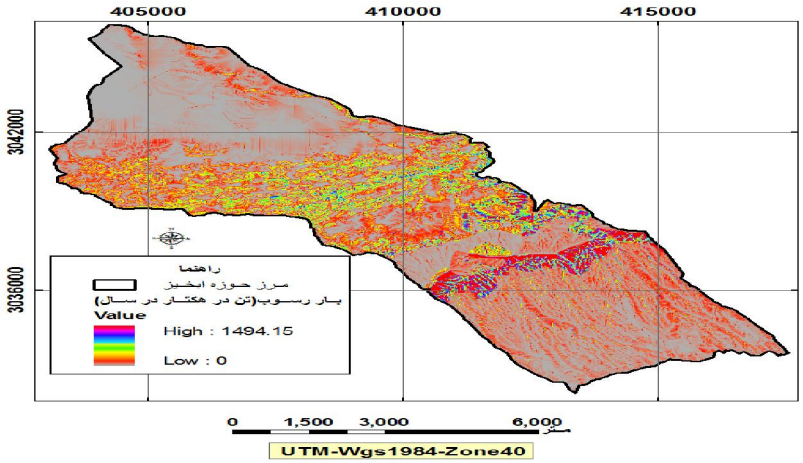
روش های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل رسوب	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)
USDA	۰/۲۱	۹/۶	۷۰۴۱۵/۱۳
وانونی	۰/۱۵	۶/۸۶	۵۰۳۱۷/۴۸
بویس	۰/۰۴	۱/۸۳	۱۳۴۲۲/۸۸

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

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



شکل ۱۲) مقایسه میزان رسوب به‌دست آمده در مدلEPM،MPSIAC و روش‌های نسبت تحویل رسوب در SATEEC (RUSLE)



شکل۱۳) نقشه بار رسوب

نتیجه‌گیری

در این مطالعه بررسی فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE در چهارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی به کار گرفته شد. همهٔ 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 به‌دست 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 روشUSDA (۹,۶ تن در هکتار در سال) با مقادیر به‌دست آمده از روش MPSICو EPM برگرفته از گزارش مطالعات تفصیلی اجرایی لاور فین قابلیت تلفیق مدلRUSLE،GIS و RS را در برآورد میزان فرسایش و بار رسوب نشان می‌دهد.

منابع

۱- آرخی، صالح و یعقوب نیازی.(۱۳۸۹). بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدلRUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالادست سدّ 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، صص۱۳۷-۱۶۲.

۴- کریمی، حسین؛ کریمی وردنجانی، حسین و سیف‌اله قربانی.(۱۳۸۶). کاربرد مدلSATEEC در برآورد رسوب‌زایی و تهیه نقشه شدت فرسایش زیر حوضه آبخیز سدّ زاینده رود، *چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، مدیریت حوضه‌های آبخیز.*

۵- ایوبی، شمس الله؛ 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 فرسایندگی 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- زنجانی جم، 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 تفضیلی- اجرایی حوضه آبخیز لاور فین*.(۱۳۸۴). شرکت مهندسین 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، پیتر 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.,Shepheard,Mark,Walker,Edward,Foster Ian(2009),Soil erosion and risk-assessment for on – and off-farm impacts:A test case using the Midhurtst 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.,Castellarin 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 Bulleten 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 Sedimen 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 Continet,Incorporatong Monthly Soil Loss Distribution. National Land & Water Resource Audit .CSIRO Land and Water .Technical Report13/01.

22- Lufafa, A., Tenywa, M.M., Isabirye, M., Majaliwa, M.J.G., and Woomer, 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.willey.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,Pp84-97.

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 Ipmlementation of the UN Plan of Action to Combat Desertifivcation,Nayrobi,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.