

شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوضه دویرج استان ایلام

فاطمه بالویی^{۱*}، شاهین محمدی^۲، سعید سلطانی کوپائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲

چکیده

تغییر پوشش و کاربری سطح زمین بر بسیاری از فرایندهای طبیعی نظیر فرسایش خاک و تولید رسوب، سیلاب و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثرگذار است. یکی از اثرات اساسی نوع پوشش زمین بر فرایندهای موجود در حوضه‌های آبخیز، نقش آن بر میزان فرسایش خاک است، بنابراین پژوهش حاضر با هدف شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضه دویرج استان ایلام در سه دوره ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ با استفاده از مدل RUSLE و تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات کاربری اراضی در این سه دوره موجب افزایش چشمگیر متوسط هدررفت خاک شده، به طوری که متوسط فرسایش خاک از ۷۷/۰۴ تن بر هکتار در سال ۱۹۹۵ به ۱۰۸/۵۱ تن بر هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده است.

کلیدواژه‌ها: تغییرات کاربری اراضی، هدررفت خاک، سنجش از دور، لندست.

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، نویسنده مسئول؛ fateme.baloi1@gmail.com

۲. دانشجوی دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استاد گروه مرتع و آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان است.

مقدمه

یکی از تأثیرات اساسی نوع پوشش زمین بر فرایندهای موجود در حوزه‌های آبخیز، نقش آن بر میزان فرسایش خاک است. بررسی‌ها نشان می‌دهد حدود ۵۸٪ از تخریب اراضی در جهان به علت فرسایش خاک بوده که بیشتر این تخریب، از زمان جنگ جهانی دوم به بعد رخ داده و باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است (بروس^۱، ۱۹۹۵).

شبه‌سازی کامپیوتری در چهار دهه اخیر به‌طور روزافزون توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته است که دلایل اصلی آن را می‌توان ظاهر شدن مدل‌ها و روش‌های جدید توسعه مؤسسات تحقیقاتی و افزایش تقاضا برای ابزار توسعه‌یافته در کنار افزایش فشار بر استفاده بهینه از منابع آب دانست. برای مدیریت حوزه آبریز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات طراحی شده در سطح حوضه به مدلی نیاز است که بتواند حجم وسیع داده‌ها از جمله بارش، توپوگرافی، مرزهای حوضه، خصوصیات خاک و لایه زیرسطحی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، سامانه‌های انتقال آب، سازه‌های آبی و اقدامات مدیریتی موجود، داده‌های موجود کیفی آب و سطح آب زیرزمینی را در شبه‌سازی به کار گرفت (نیچ^۲، ۲۰۰۵). ارزیابی میزان فرسایش خاک امری مهم و ضروری برای توسعه روش‌های جلوگیری از فرسایش به‌منظور مدیریت پایدار اراضی و منابع آب است (لال^۳، ۱۹۹۸). مدل کردن فرایندهای فیزیکی و پویا مانند فرسایش خاک با مشکلات و خطاهایی همراه است. در دسترس نبودن منابع داده‌ای صحیح، کیفیت داده‌های مورد استفاده، مسئله مقیاس در مدل‌سازی، خطاهای اندازه‌گیری و پیچیدگی خود مدل، از جمله مشکلاتی است که در مطالعات فرسایش خاک توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (دابرال^۴ و همکاران، ۲۰۰۸؛ نیگل^۵، ۲۰۱۰). اولین مدلی که برای ارزیابی میزان فرسایش به کار

گرفته شد، مدل جهانی تلفات خاک (USLE) است که برای پیش‌بینی متوسط سالیانه تلفات خاک حاصل از فرسایش ورقه‌ای و شیاری در یک قطعه زمین یا دامنه طراحی شد. این مدل را ویشمایر و اسمیت^۶ (۱۹۹۸) با جمع‌آوری اطلاعات فرسایش خاک از ۳۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت آمریکا به دست آوردند (انتظاری و غلام‌حیدری، ۲۰۱۴). مدل USLE به دلیل داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات مدیریتی مختلف بر آن بوده است (کینل^۷، ۲۰۰۰)، و به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از عوامل مؤثر بر فرسایش خاک را انجام می‌دهد (رنارد و فریموند^۸، ۱۹۹۴؛ محمدی، ۲۰۱۶). سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورد. مدل‌های RUSLE و USLE با سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تلفیق شده‌اند (اویانگ و بارتولیک^۹، ۲۰۰۱؛ لوفافا و همکاران، ۲۰۰۳) که این امر موجب استفاده گسترده از این مدل در مقیاس‌های مختلف شده است که می‌توان به برخی مطالعات انجام‌گرفته توسط هویوس^{۱۰} (۲۰۰۵)، لوو^{۱۱} و همکارانش (۲۰۰۴)، پانگوس^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۵)، پونگسای^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۰)، کولیو^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۹)، منشا و همکاران (۲۰۱۸)، هانگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۰)، اولورونفمی^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۰)، آنسی و همکاران (۲۰۲۰)، رحمتی و همکاران (۲۰۱۴)، کمانگر و همکاران (۲۰۱۴)، محمدی و همکاران (۲۰۱۸b) اشاره کرد. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از مدل RUSLE صورت

6. Wischmeier and Smith
7. Kinnell
8. Renard and Freimund
9. Ouyang and Bartholic
10. Hoyos
11. Lu
12. Panagos
13. Pongsai
14. Kouli
15. Huang
16. Olorunfemi
17. Aneseyee

1. Bruce
2. Neitsch
3. Lal
4. Dabral
5. Nigel

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز برای ایجاد ورودی‌های مدل RUSLE در این پژوهش شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM) که در این مطالعه DEM ۳۰ متری استان ایلام از سنجنده استر سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد و با برش محدوده مطالعاتی نقشه رقومی ارتفاعی به دست آمد. در مدل RUSLE برای محاسبه عامل توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع استفاده می‌شود. دیگر داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارش شش ایستگاه هواشناسی در داخل و نزدیک به حوضه مورد مطالعه است که از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. با توجه به عدم تطابق زمانی، دوره آماری مشترک از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۷ انتخاب شد؛ از مقادیر ماهانه و سالانه بارندگی برای برآورد عامل فرساینده باران با استفاده از رابطه فورنیه اصلاح شده استفاده شد. پس از برآورد عامل فرساینده برای تمام ایستگاه‌ها بر اساس روش درون‌یابی IDW در نرم‌افزار ArcGIS10.3 نقشه عامل فرساینده باران برای حوضه مورد مطالعه به دست آمد. اطلاعات مربوط به خاک منطقه حاصل کار ابراهیمی (۲۰۱۱)، همچنین لایه کاربری اراضی و لایه پوشش گیاهی NDVI حاصل کار بالویی (۲۰۱۸) مربوط به سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵، به‌منظور تهیه نقشه‌های عامل حفاظت خاک و پوشش گیاهی استفاده شد. مشخصات تصاویر اخذ شده در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): تصاویر استفاده شده در این پژوهش

Table (1): Satellite images used in research

ردیف	ماهواره	تاریخ تصویر (میلادی)	تاریخ تصویر (شمسی)
۱	لندست ۵	۱۹۹۵/۰۳/۰۵	۱۳۷۳/۱۲/۱۴
۲	لندست ۷	۲۰۰۶/۱۱/۰۳	۱۳۸۴/۱۲/۲۰
۳	لندست ۸	۲۰۱۵/۰۳/۱۲	۱۳۹۳/۱۲/۲۱

سپس به‌منظور تهیه لایه‌های حفاظت خاک در سه دوره، به هر کاربری مطابق با جدول (۲) ارزش مورد نظر داده شد.

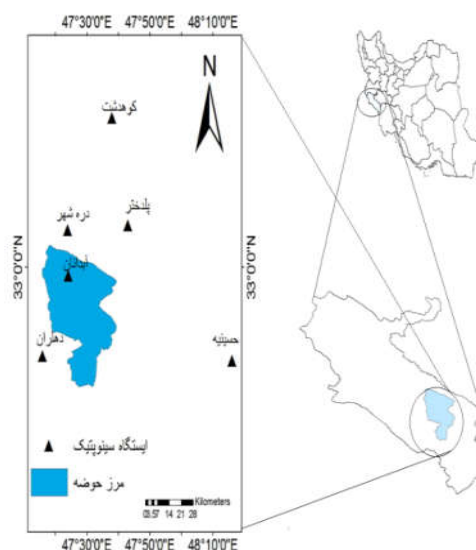
1. DEM

گرفته است که کارایی این مدل را در برآورد فرسایش خاک و رسوب را نشان می‌دهد. در سال‌های اخیر، حوضه مورد پژوهش با تخریب شدید جنگل و مرتع و افزایش زمین بایر مواجه است؛ با توجه به اینکه در این حوضه تاکنون مطالعه تأثیر تغییر کاربری اراضی/پوشش بر فرسایش خاک انجام نگرفته است، این پژوهش نگاه ویژه‌ای به تغییرات ایجاد شده در افزایش فرسایش خاک حوضه بر اساس تغییرات کاربری اراضی/پوشش دارد. با توجه به اینکه تغییرات کاربری اراضی/پوشش سطح زمین یکی از عامل‌های مهم در تغییر جریان هیدرولوژی، تلفات خاک حوضه و تولید رسوب است؛ لذا بررسی نقش آن در تولید فرسایش خاک، مدیران را به‌منظور برنامه‌ریزی حفاظت یاری می‌کند (بورلی و همکاران، ۲۰۱۳).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه به نام حوزه آبخیز رودخانه دویرج با مساحت ۱۲۱۶۰۰ هکتار، در جنوب شرقی استان ایلام واقع شده که دارای مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی است. موقعیت حوضه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): موقعیت کشوری و استانی حوضه آبخیز دویرج

Figure (1): State and provincial location of the Douraj watershed

جدول (۲): عامل حفاظت خاک (ابراهیم، ۲۰۱۲؛ جیو، ۲۰۱۹؛ شیچینگ، ۲۰۱۷؛ سازمان کشاورزی ایالات متحده، ۱۹۸۱)
 Table (2): P Factor (Ibrahim, 2012; Jiu, 2019; Shiching, 2017; United States Agricultural Organization, 1981)

ردیف	کاربری اراضی	p-factor
۱	جنگل	۰/۱
۲	مرتع	۰/۲۵
۳	کشاورزی	۰/۴
۴	رودخانه	۰
۵	مناطق مسکونی	۰
۶	اراضی بایر	۱

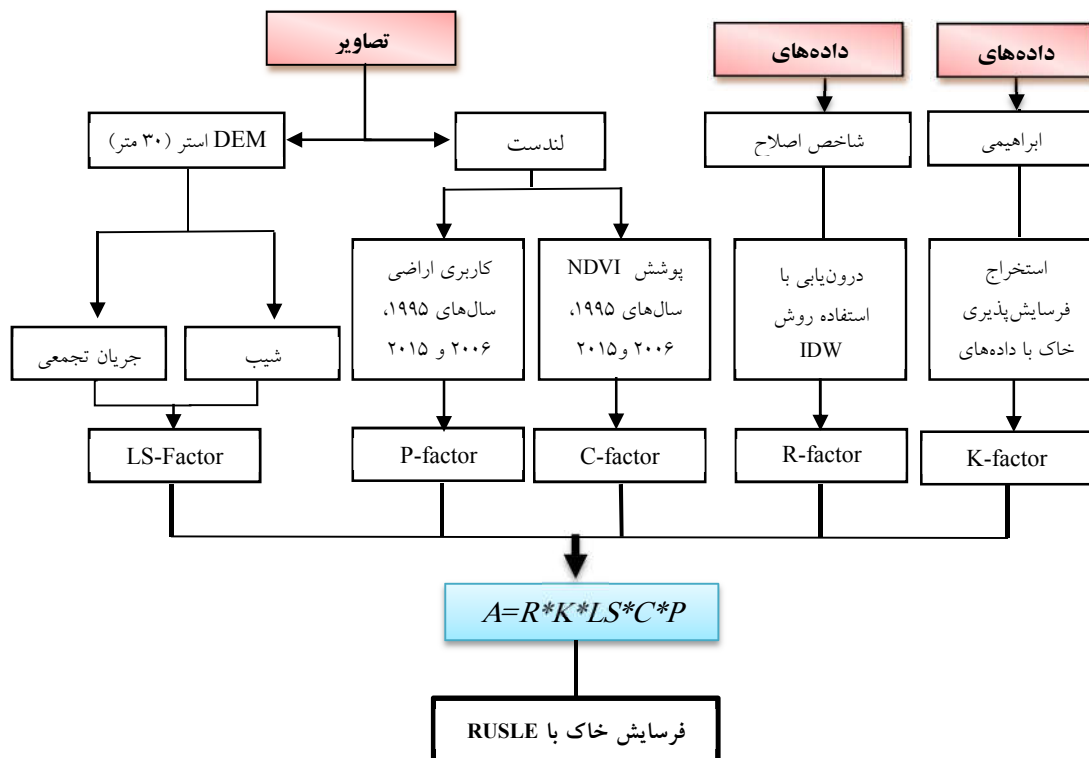
فرساینده‌گی باران (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، طول و درجه شیب (LS)، مدیریت پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) است (پاچگو، ۲۰۱۴). معادله (۱) برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE را نشان می‌دهد.

$$A=R*K*LS*C*P \quad (1)$$

در اینجا A فرسایش خاک در واحد سطح، R عامل فرساینده‌گی باران، K عامل فرسایش پذیری خاک، LS عامل توپوگرافی، C عامل پوشش و P عامل عملیات حفاظتی است. فلوجارت مراحل کار در شکل (۲) نشان داده شده است.

روش پژوهش

مدل RUSLE تابعی از پنج عامل ورودی که شامل



شکل (۲): فلوجارت مراحل کار
 Figure 2: Flowchart of work steps

نتایج و بحث

غرب حوضه دارای حداکثر شدت بارندگی و به سمت نواحی شرق و جنوب حوضه از شدت عامل فرساینده‌گی بارش کاسته می‌شود. شمال و غرب حوضه دارای مناطق کوهستانی و دارای حداکثر ارتفاع بوده و به سمت شرق و جنوب شرق و جنوب حوضه ارتفاع کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، عامل فرساینده‌گی باران با ارتفاع رابطه مستقیم دارد به طوری که هرچه ارتفاع افزایش یابد، مقدار این عامل افزایش پیدا

نتایج ورودی‌های اجرای مدل RUSLE شامل نقشه فرساینده‌گی باران (R)، عامل فرسایش پذیری خاک (K)، عامل توپوگرافی (LS)، عامل حفاظت (P) و عامل پوشش (C) است. شکل (۳) عامل فرساینده‌گی بارش حوضه دویرج را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از ۵۳/۲۲ تا ۱۷۰۴/۸۱ متغیر است. همان طور که در شکل نشان داده شده، شمال و

مشاهده می‌شود در شکل (۳) عامل حفاظت خاک تحت سه سناریو ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ بین صفر تا یک متغیر است. هرچه ارزش عددی این لایه کمتر باشد، به این معناست که از خاک در برابر عوامل فرسایش خاک مورد حفاظت بیشتری قرار می‌گیرد. در صورتی که هیچ گونه عملیات حفاظتی صورت نگرفته است، مقدار یک در نظر گرفته می‌شود.

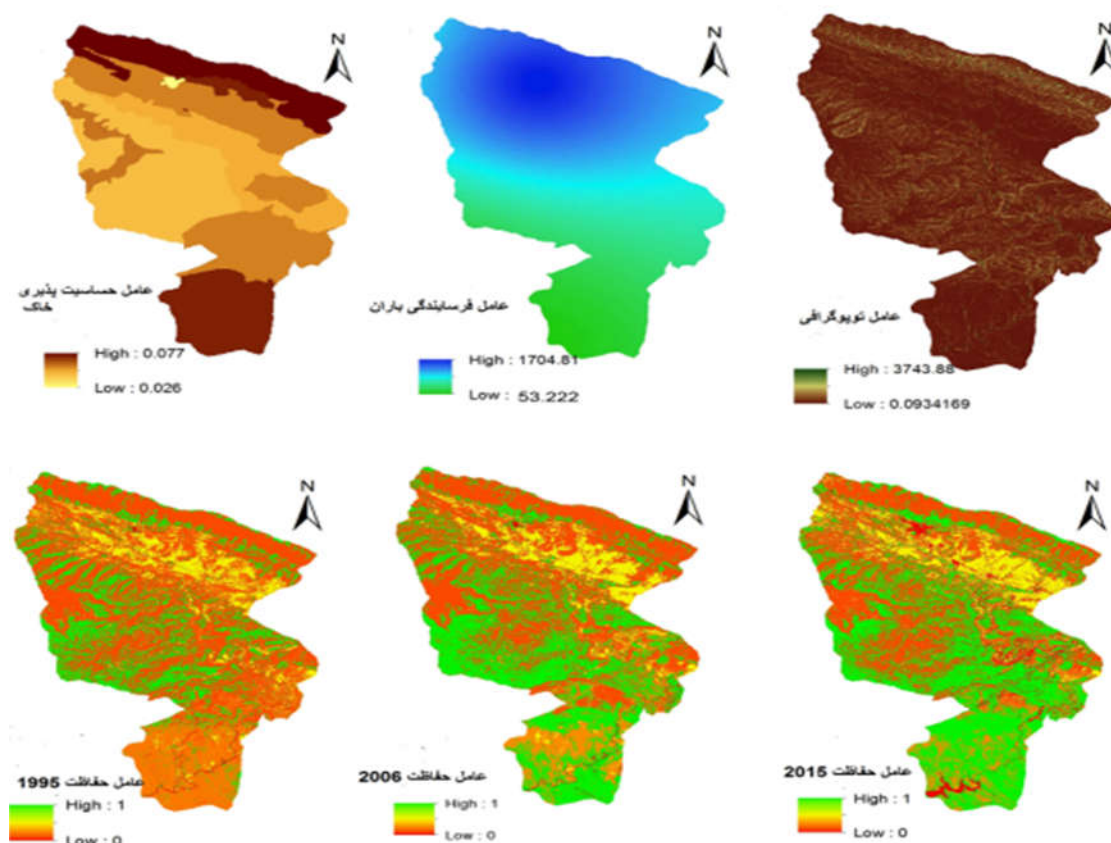
عامل C با افزایش مقدار پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (آرخی، ۲۰۱۰؛ لین، ۲۰۰۲؛ محمدی و همکاران، ۲۰۱۸a). در شکل (۴) نشان داده شده که شاخص پوشش گیاهی در سال ۱۹۹۵ از وضعیت مطلوب‌تری نسبت سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ برخوردار است و در سال ۲۰۱۵ به‌ویژه در نواحی جنوب حوضه که کاربری مرتع وجود دارد و ارتفاعات حوضه که با پوشش جنگل پوشیده شده، با تخریب مواجه بوده و به دنبال آن باعث افزایش هدررفت خاک می‌گردد که نشان‌دهنده شرایط نامطلوب‌تر این سناریو نسبت به سال ۱۹۹۵ و ۲۰۰۶ بود. پوشش گیاهی به‌عنوان عامل حفاظتی در گروه سوم، از عوامل مؤثر در فرسایش خاک طبقه‌بندی می‌شود؛ در صورت عدم حضور پوشش گیاهی برخورد قطرات باران با سطح خاک باعث متلاشی شدن خاکدانه‌ها، فشردگی خاک و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. در نتیجه برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک، لایه به نسبت یکنواختی را از خاک سطحی برداشت کرده و در جهت شیب حمل می‌کند. پس از تهیه ورودی‌های مدل، اقدام به اجرای مدل شد. با ثابت نگه داشتن سایر پارامترهای مؤثر بر برآورد هدررفت خاک در مدل RUSLE، تنها با تغییر دادن عامل (C) و عامل (P) مدل برای سه سناریو متفاوت برای سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ اجرا شد. بررسی میانگین فرسایش خاک تحت سناریوهای تغییر کاربری اراضی/پوشش نشان داد میزان هدررفت خاک در سال ۱۹۹۵ (دوره اول) برابر با ۷۷/۰۴ تن بر هکتار به ۹۱/۵۱ تن بر هکتار در سال ۲۰۰۶ (دوره دوم) و ۱۰۸/۹۴ تن بر هکتار در سال ۲۰۱۵ (دوره سوم) روند رو به افزایش دارد که نشان‌دهنده تأثیر بسیار بالا تغییرات کاربری اراضی/پوشش در میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز دویرج است. میزان

می‌کند و با کاهش ارتفاع عامل R نیز شدت آن کاهش می‌یابد که دیگر محققان از جمله مجرد و مرادی‌فر (۲۰۱۰)، مهدوی (۲۰۱۱)، بازیست (۱۹۹۴)، آرخی و نیازی (۲۰۱۰) نیز به ارتباط مستقیم بارش و ارتفاع اشاره کردند. متوسط عامل فرسایش‌دگی برابر $932/40 \text{ (MJ mm ha}^{-1} \text{ - y}^{-1}\text{)}$ است که با توجه به مطالعات انجام‌گرفته توسط محمدی و همکاران (۲۰۱۸b)، نیک‌کام و مهدیان (۲۰۱۵) قرارگیری حوضه مطالعاتی در غرب کشور که دارای بارش شدید و رگباری است، دارای فرسایش‌دگی شدید نیز می‌باشد. شکل (۳) نقشه فرسایش‌پذیری خاک و مشخصات آن را در منطقه نشان می‌دهد. شاخص فرسایش‌پذیری خاک برای ۱۲ کلاس اندازه‌گیری شده به دست آمد. مقدار این شاخص از ۰/۰۲۶ تا ۰/۰۷۷ متغیر بود. هر قدر میزان سیلت خاک بیشتر باشد، چسبندگی ذرات کمتر و به تبع آن فرسایش خاک بیشتر خواهد شد. خاک‌های دارای ۴۰-۶۰ درصد سیلت فرسایش‌پذیری بالا دارند (بافکار و مجردی، ۲۰۰۹). در این حوضه حساسیت خاک به فرسایش با مقدار سیلت ارتباط مستقیم داشت، به طوری که کلاس‌های خاک که دارای مقدار سیلت بیش از ۶۰٪ بود، بیشترین حساسیت خاک به فرسایش را به خود اختصاص دادند. همان‌طور که در شکل (۳) دیده می‌شود، مقدار عامل توپوگرافی از ۰/۰۹۳ تا ۳۷۴۳ متغیر است. شایان ذکر است که امتداد رودخانه‌ها دارای شیب تند و جریان تجمعی بالاتری بوده، بنابراین بیشینه مقدار عامل توپوگرافی در این نواحی قرار گرفته و کمترین مقدار این عامل نیز در مناطق مسطح حوضه قرار گرفته است. با توجه به نقشه‌های خاک (شکل ۵) بیشترین میزان فرسایش خاک نیز در امتداد رودخانه و شیب‌های تند مشاهده شد و مناطق مسطح و شیب‌های ملایم در کلاس فرسایشی پایین قرار گرفت. محققان از جمله سلیمی (۱۹۹۳)، احمدی (۲۰۱۲)، هان^۱ و همکاران (۱۹۹۴)، بیسوا و پانی^۲ (۲۰۱۵) و گانسرای و رامش^۳ (۲۰۱۵) بیان کردند درجه شیب و جهت شیب از عامل ارتفاع بر تلفات خاک تأثیر دارد. همان‌طور که

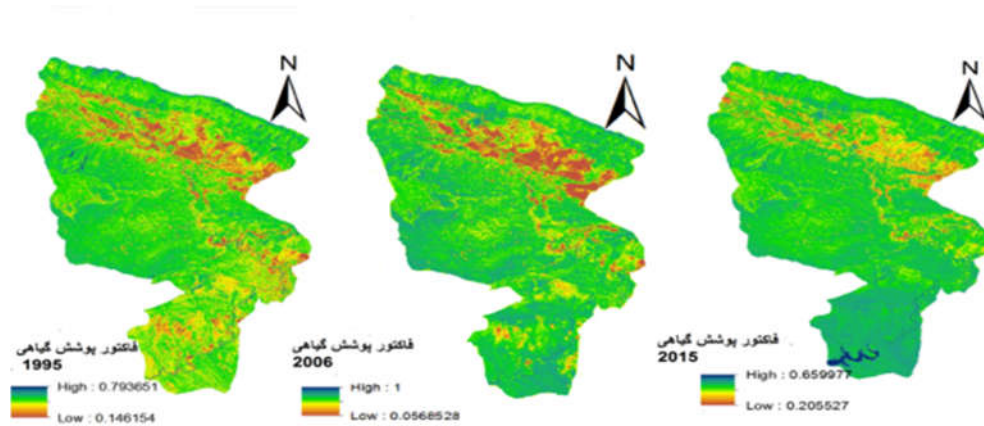
1. Haan
2. Biswas
3. Ganasri and Ramesh

عمل رگرسیون بین لایه‌ها انجام شد. دیگر محققان نیز به تأثیر بالای عامل توپوگرافی بر هدررفت خاک به‌عنوان اولین عامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک اشاره کردند (ژانگ، ۲۰۱۰؛ ژانگ، ۲۰۱۱؛ ژانگ، ۲۰۱۳؛ ژانگ، ۲۰۱۷؛ محمدی، ۲۰۱۸b؛ آرخی، ۲۰۱۰؛ گاناسری و رامش، ۲۰۱۵). همان‌طور که در نقشه‌های فرسایش خاک قابل مشاهده است ارتفاعات و دامنه‌های شیب‌دار دارای حداکثر میزان هدررفت در کلاس فرسایشی بیش از ۲۵ تن بر هکتار در سال است. بنابراین می‌توان به اهمیت طرح‌های آبخیزداری مانند بانکت و تراس‌بندی که سبب کاهش شیب می‌شود، اشاره کرد. بررسی‌ها نشان داد با توجه به کوهستانی بودن و توپوگرافی شدید در حوضه، عدم حضور گیاهان سبب بی‌حفاظ شدن خاک و حساسیت هرچه بیشتر آن در برابر ریزش‌های جوی و افزایش رواناب و به دنبال آن فرسایش خاک می‌گردد.

فرسایش خاک همبستگی قوی با کاربری زمین/پوشش دارد (محمدی، ۲۰۱۸a). محمدی و همکاران (۲۰۱۸b) ضمن بررسی تلفات خاک در ایران مقدار بیش از ۷۵ تن بر هکتار در سال را برای استان ایلام برآورد کردند که نشان‌دهنده میزان تلفات بالا در حوضه‌های این استان است. از طرف دیگر با برقراری روابط همبستگی فرسایش خاک با عوامل مؤثر بر هدررفت خاک در این مدل مشاهده شد توپوگرافی مؤثرترین عامل فرسایش خاک در حوضه دویرج است که باعث غلبه بر سایر عوامل با شدت بیشتر می‌گردد. شکل (۶) میزان همبستگی تلفات خاک با عامل توپوگرافی و جدول روابط رگرسیون و همبستگی بین فرسایش خاک و ورودی‌های مدل RUSLE در حوضه دویرج را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر، پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز، لایه‌های ورودی مدل وارد محیط نرم‌افزار Terrset شده و

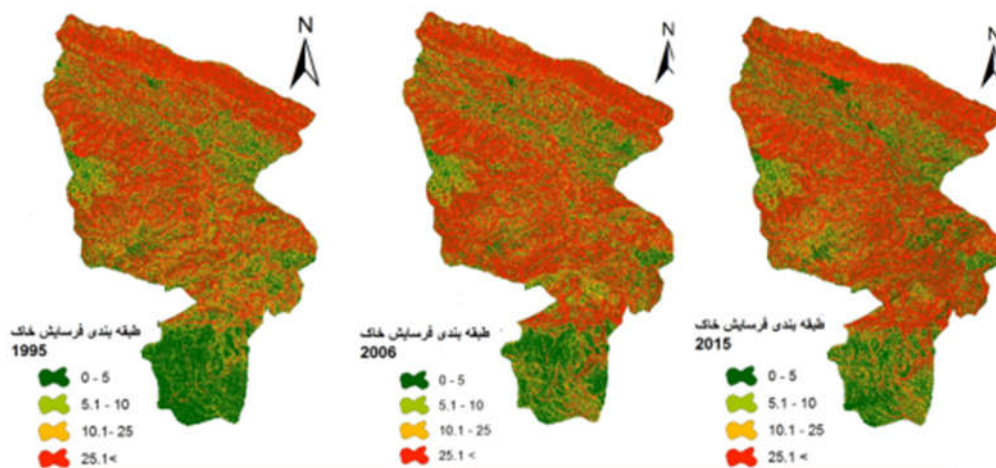


شکل (۳): عامل فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌گی باران، عامل توپوگرافی و حفاظت خاک طی دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵
Figure (3): Erodibility factor, Erosivity factor, topography and soil protection factor during the period 1995 to 2015



شکل (۴): عامل مدیریت پوشش گیاهی (C) طی سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵

Figure (4): Vegetation cover and Management Factor (C) from 1995 to 2015



شکل (۵): هدررفت خاک تحت سناریو تغییر کاربری اراضی/پوشش طی سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵

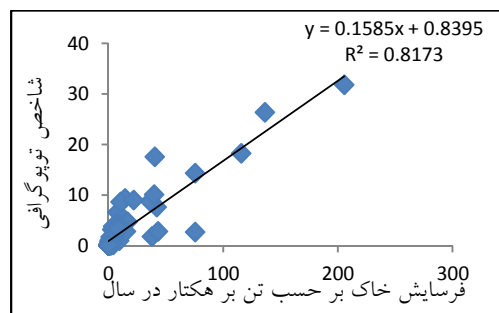
Figure (5): Soil loss under land use / cover change scenario during 1995, 2006 and 2015

۰/۴۶

$$y = 0.0012x + 0.2226 \quad P$$

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر تلاشی در جهت ارزیابی نقش تغییر کاربری اراضی/پوشش در میزان فرسایش آبی خاک در حوزه آبخیز دویرج بود. تخریب جنگل و مرتع و افزایش زمین بایر در دوره مطالعاتی، باعث افزایش میزان هدررفت خاک شد که با نتایج محمدی و همکاران (۲۰۱۸) (a) و اودین^۱ و همکاران (۲۰۱۸) (b) و نوآگا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت اما با توجه به کوهستانی بودن حوضه در درجه سوم اهمیت به لحاظ ایجاد تلفات خاک قرار داشت. به نظر می‌رسد علاوه بر عملیات بیولوژیکی به عملیات مکانیکی از جمله تراس‌بندی، بانکت، کنتور فارو و... با کاهش اثر شیب جهت



شکل (۶): ارتباط بین عامل توپوگرافی و فرسایش خاک

Figure 6: The relationship between topographic factor and soil erosion

جدول (۳): روابط رگرسیونی بین فرسایش خاک و ورودی‌های مدل

Table (3): Regression relationships between soil erosion and model inputs

ضریب همبستگی	رگرسیون	عوامل
۰/۳۲	$y = 0.484x + 905.38$	R
۰/۰۱	$y = 2185.2x - 133.73$	K
۰/۸۱	$y = 0.1585x + 0.8395$	LS
۰/۰۸	$y = 0.04-05x + 0.4499$	C

1. Uddin
2. Nwaogu

کاهش و کنترل فرسایش آبی نیاز است. بررسی سناریوهای حفاظت خاک نشان داد در بین عوامل، حفاظت خاک با ضریب همبستگی $0.46/0$ در درجه دوم اهمیت پس از توپوگرافی با ضریب همبستگی $0.81/0$ در تعیین مقدار فرسایش خاک نقش مؤثر داشته است. همان گونه که در شکل (۵) نشان داده می شود، تغییرات کاربری اراضی/پوشش تحت سه سناریو ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ موجب افزایش میانگین هدررفت خاک شده است، به طوری که میانگین از $77/04$ تن بر هکتار در سال ۱۹۹۵ به $91/51$ تن بر هکتار در سال ۲۰۰۶ و $108/94$ تن بر هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده است. تفسیر نقشه های کاربری اراضی تولید شده نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به تخریب جنگل و مرتع و افزایش زمین بایر است به طوری که میزان درصد جنگل در کاربری سال ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۵ به ترتیب برابر $51/17$ ، $42/8$ و $38/91$ و درصد مراتع به ترتیب برابر $12/79$ ، $8/09$ و $6/4$ و درصد زمین بایر برای این سالها برابر با $11/21$ ، $23/27$ و

۲۸/۵۷ است. سایر کاربری های شهری، آب و کشاورزی دارای تغییرات کمتری نسبت به کاربری های جنگل، مرتع و زمین بایر بوده و تغییرات کاربری صخره نزدیک به صفر بود (بالویی، ۲۰۱۸). نتایج بیانگر این است که با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل، حفاظت خاک و پوشش گیاهی به تنهایی می تواند در تعیین مقدار فرسایش خاک نقش بسزایی داشته باشد و با وجود امکانات و در دسترس بودن فناوری های سنجش از دوری برای تهیه نقشه کاربری اراضی به عنوان یکی از پارامترهای ورودی تأثیرگذار برای سال های متمادی از نقشه های به روز استفاده کرد. با این حال با برقراری روابط همبستگی مؤثرترین عامل بر روند هدررفت خاک توپوگرافی حوضه بود. در نهایت می توان گفت که استفاده از مدل یا مدل های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش عملیات صحرائی و صرفه جویی در زمان و هزینه راهکاری مناسب برای ارزیابی توسط پژوهشگران و مدیران در جهت حفظ محیط زیست و منابع طبیعی است.

منابع

- Ahmadi, h., 2012. Water erosion. University of Tehran press. Applied Geomorphology. Vol.1. 688p.
- Aneseyee, A.B., Elias, E., Soromessa, T. and Feyisa, J.L., 2020. Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia, Science of The Total Environment Volume 728, 1 August 2020, 138776.
- Arekhi, S. and Niazi, Y., 2010. Assessment of GIS and RS applications to estimate soil erosion and sediment loading by using RUSLE model (Case Study: upstream basin of Ilam dam). Journal of Soil and Water Conservation, 17 (2): 1-27.
- Bafkar, AS. and Mojaradi, HR., 2009. Water and Soil Conservation. Razi University Press, Kermanshah, Iran. 200 p. (In Persian)
- Balouei, F., 2018. Effect of land use change on surface runoff in Doiraj watershed of Ilam Province. The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Watershed Management), Faculty of Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, University of Isfahan University of Technology, Iran.
- Basist, A., Bell, G.D. and Meentemery, V., 1994. Statistical relationship between topography and precipitation pattern j. of Climet. 7:1305-1315.
- Biswas, S.S. and Pani, P., 2015. Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. Model. Earth Syst. Environ. (2015) 1:42
- Bruce, R.R., Langdale, G.W., East, L.J. and Miller, W.P., 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 654-660.
- Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lagota, E., Ballabio, C., Alewell, Ch., Meusburger, K., Modugno, S., Schutt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Oost, K.V., Montanarella, L. and Panagos, P., 2013. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, Nature Communication: 1-13.
- Dabral, P.P., Baithuri, N. and Pandey, A., 2008. Soil erosion assesment in a hilly

- catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*. 22: 1783-1798.
11. Ebrahimi, H., 2011. Performance Evaluation of SWATModel to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basin in Ilam Province, The Thesis Submitted for the Degree of M.Sc (in the field of Watershed Management), Faculty of Natural Resources, Department of Range and Watershed Management, University of Zabol, Iran.
 12. Entezari, M. and Gholam Heidari, H., 2014. Comparison of SLEMSA and CORINE Models in Soil Erosion Assessment (Case Study: tange Sorgh Shiraz Basin). *Journal of Space Planning and Preparation*. Eighth Volume 3: 1-28. (In Persian)
 13. Ganasri, B. and Ramesh, H., 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin, *Geoscience Frontiers*.
 14. Haan, C.T., Barfield, B.J. and Hayes, J.C., 1994. *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, San Diego, 588p.
 - a. Huang, F., Chen, J., Yao, CH., Chang, Z., Jiang, Q., Li, SH. and Guo, Z., 2020. SUSLE: a slope and seasonal rainfall-based RUSLE model for regional quantitative prediction of soil erosion, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 3-16.
 15. Hoyos, N., 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes, *Catena*, volume 63, number 1, pp.85-108.
 16. Ibrahim, A. L., Yaakub, S.S., Mohammad Khan, N.L. and Huey. T.T., 2012. Application of geographic information system in soil erosion prediction. The 33RD Asian conference on remote sensing.
 17. Jiu. J., Wu, H. and Li, S., 2019. The Implication of Land-Use/Land-Cover Change for the Declining Soil Erosion Risk in the Three Gorges Reservoir Region, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 1-16.
 18. Kamangar, M., Farajzadeh, B., Manouchehr, M. and Karamim, P., 2014. Calibration of the Global Soil Erosion Equation (RUSEL) (Using Geographic Information and Remote Sensing System) Case Study of Sikhouran Hormozgan Watershed (*Geospatial Science and Research Quarterly*, 737-7, pp. 191-207). (In Persian)
 19. Kinnell, P., 2000. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model. *Environmental Modelling & Software*, Volume 15, number 3, pp. 331-341.
 20. Kouli, M., Soupios, P. and Vallianatos, F., 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chain, Northwestern Crete, Greece, *Environment Geology*, No. 57, PP. 483-492.
 21. Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Rev. Plant Sci*. 17(4), 319-464.
 22. Lin, CY., Lin, WT. and Chou, WC., 2002. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil and Tillage Research*. 2002; 68(2):143-52.
 23. Lu, D., Li, G., Valladares, G.S. and Batistella, M., 2004. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*. 2004; 15(5): 499-512.
 24. Lufafa, A., Tenywa, M., Isabirye, M., Majaliwa, M. and Woomer, P., 2003. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model. *Agricultural Systems*, volume 76, number 3, pp. 883-894.
 25. Mahdavi, M., 2011. *Applied Hydrology*, Volume I, Tehran, Tehran University Press, 330 p.
 26. Mengesha, Z., Mohammed, S., Mohammadyasinb, Demeke, S., Anwar, A. and Ademc, M.L., 2018. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. *GEODERMA REGIONAL*. 1-32.
 27. Mohammadi, Sh., Karimzadeh, H.R., Pourmanafi, S. and Soltani Kopai, S., 2018a. Spatial and Temporal Estimation of Soil Erosion Using RUSLE Model and Landsat Satellite Time Series) Case Study: Mandarjan, Isfahan, *Journal of Rangeland and Watershed Management*, Iranian Natural Resources, Volume 71, Issue 3:774-759. (In Persian)
 28. Mohammadi, Sh., 2016. Estimating of erosion and sediment in the Menderjan watershed by RS and GIS, M.Sc. thesis, isfahan university of technology. 107 pp. (In Persian)
 29. Mohammadi, Sh., Karimzadeh, h.R. and Alizadeh, M., 2018b. Spatial Estimation of

- Soil Erosion in Iran Using RUSLE Model. *Journal of Ecohydrology*. 551: 2-569.
30. Mojarad, F. and Moradifar, H.M., 2010. Modeling the relationship of rainfall with elevation in Zagros region. *Tarbiat Modares University Publications Volume 7. No. 2: 1-20*.
 31. Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Willams, J.R., 2005. *Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation*. Blackland Research Center. Texas Agricultural Experiment Station. 494 p.
 32. Nigel, R. and Rughooputh, S.D.D.V., 2010. Soil erosion risk mapping with new dataset: An improved prioritisation of high erosion risk area, *Catena*. 191-205.
 33. NikKammi, D. and Mehdian, M.H., 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4): 364-376. (In Persian)
 34. Nwaogu, C., Okeke, O. J., Adu, S. A., Babine, E. and Pechanec, V., 2017. Land Use land cover change and soil-gully erosion relationships: a study of Nanka, south-eastern nigeria using geoinformatics. *Dynamic in GIScience*, 305-319.
 35. Olorunfemi, IE., Komolafe, AA., Fasinmirin, JT., Olufayo, A. and Akande SO., 2020. A GIS-based assessment of the potential soil erosion and flood hazard zones in Ekiti State, Southwestern Nigeria using integrated RUSLE and HAND models. *Catena*. 194, 104725.
 36. Ouyang, D. and Bartholic, J., 2001. Web-based GIS application for soil erosion prediction. *Soil Erosion*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, pp. 260.
 37. Pacheco F.A.L., Varandas S.G.P., Fernandes L.S. and Junior R.V., 2014. Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Sci. Total Environ*. 485: 110 – 120.
 38. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S. Hrabalíková, M. Olsen, P. and Aalto, J., 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*. 2015; 511:801-14.
 39. Pongsai, S., Schmidt, D.V., Rajendra, P., Shrestha, R., Clemente, S. and Eiumnoh, A., 2010. Calibration and validation of the Modified Universal Soil Loss Equation for estimating sediment yield on sloping plots: A case study in Khun Satan catchment of northern Thailand. *J. Soil Sci*. 90: 585-596.
 40. Rahmati, S., JavadiTabalvandani, M., Rangavar, A. and FAramarz, M., 2014. Evaluating of efficiency and accuracy of USLE, AOF, MUSLE-S and MUSLE-E models on estimating of event-based erosion amount (Case study: Sanganeh soil conservation research Institute of Mashhad). *J. Water Soil Conserv*, 2014, 21(4), 215-229.
 41. Renard, K. G. and Freimund, J. R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. *J. Hydrol*. 157, 287-306.
 42. Selby, M., 1993. *Hillslope Material and Processes*. Seconded. Oxford university pres.
 43. Shicheng, L., Zhaofeng, W. and Yili. Z., 2017. Crop cover reconstruction and its effects on sediment retention in the Tibetan Plateau for 1900–2000. *J. Geogr. Sci*. 2017, 27(7): 786-800.
 44. Uddin, K., Abdul Matin, M. and Maharjan, S., 2018. Assessment of Land Cover Change and Its Impact on Changes in Soil Erosion Risk in Nepal. *Journals Sustainability* 1-20.
 45. United States Department of Agriculture, USDA. 1981. *Handbook no. 282*.
 46. Wischmeier WH. and Smith, DD., 1978. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. Washington: US Department of Agriculture, 1978.
 47. Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., Baartman, J. E. M., Gai, L., Yang, X., Li, Sh., Yu, J., Ritsema, G.J. and Geissen, V., 2017. An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. *Geoderma* 308 (2017) 36–45.
 48. Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Liu, Q., Moore, D., He, P., Ritsema, C.J. and Geissen, V., 2013. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Comput. Geosci*. 52 (0), 177–188.
 49. Zhang, Sh., Zhang, X., Huffman, T., Liu, X. and Yang, J., 2011. Influence of topography and land management on soilnutrients variability in Northeast China. *Nutr Cycl Agroecosyst* (2011) 89:427–438.
 50. Zhang, Y., Yan, S. and Lu, Y., 2010. Snow Cover Monitoring Using MODIS Data in Liaoning Province, Northeastern China, *Remote Sensing*, 2, PP. 777-793.

Simulating the Effects of Land-use Changes on Soil Erosion Via RUSLE Model in Ilam province's Doiraj Basin

Fatemeh Balouei^{1*}, Shahin mohammadi², Saeed Soltani Kopaei³

Received: 22/04/2020

Accepted: 20/02/2021

Expanded abstracts

Introduction: changes in land use and land cover (LULC) could affect natural processes such as soil erosion, and sedimentation, flooding, and soil's physical and chemical properties. One of the essential impacts of land cover type on processes in watersheds is its role in soil erosion rate. Therefore, this study sought to investigate the effect of LULC changes on soil erosion in Ilam province's Doiraj watershed using Geographic information system (GIS), remote sensing (RS), and Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model.

Materials and methods: The study area is the Doiraj watershed located in the southeast of Ilam province. The RUSLE model is a function of five input factors: rainfall erosivity, soil erodibility, length and slope steepness, vegetation management, and support practice factor. Soil erosion is estimated through the following equation using the RUSLE model:

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

Where A stands for Soil erosion (ton/ha. y), R stands for rainfall erosivity factor, K stands for erodibility factor, LS stands for Topographic factor, C stands for Cover management factor, and P is the support practice factor. The required RUSLE model inputs were obtained from a regional digital elevation model (DEM), and the rainfall data regarding six meteorological stations inside and near the study area were collected from the website of the Iranian Meteorological Organization (www.irimo.ir). Due to non-compliance of data in all stations, a similar statistical period was selected from 2002 to 2018. Information about the soil parameters of the area was obtained from Ebrahimi (2011). Also, the land-use and NDVI data for 1995, 2006, and 2015 were obtained from Balouei (2018) and used to prepare support practice and cover management factors.

Result: The value of the R factor varied from 53.22 to 1704.81. In this regard, the maximum rainfall intensity was found in the watershed's northern and western parts, while the intensity of the rainfall erosivity factor decreased in the east and south of the watershed. Furthermore, the value of the erodibility factor ranged from 0.026 to 0.077. It was also found that the soil erosion was directly related to the amount of silt so that the soil classes whose silt content was more than 60% had the highest soil sensitivity to degradation. Also, the LS factor was prepared using the DEM layer, whose value varied from 0.093 to 3743. The P factor ranged between 0 and 1 under the 1995, 2006, and 2015 periods. In 1995, the NDVI index was in better conditions than what was observed in 2006 and 2015.

Furthermore, the interpretation of the results showed that most of the observed changes were related to forest and rangeland degradation and increasing barren lands. Also, the average rates of soil erosion under LULC change scenarios suggested that the rate of soil loss varied from 77.04 tons per hectare annually in 1995 to 91.51 tons per hectare annually in 2006, and 108.94 tons per hectare annually in 2015. Therefore, the highest rate of soil loss was observed in the third period, and the extent of soil erosion showed an increasing trend in the last two decades, indication a very high impact of LULC changes on soil erosion in the Doiraj watershed.

1. Graduated MSc of Watershed Management, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology; fateme.baloi1@gmail.com

2. Ph.D. Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resource, Isfahan University of Technology
DOI: 10.22052/deej.2021.10.31.39

Discussion and Conclusions: This study sought to evaluate the role of LULC changes in the Doiraj watershed's soil erosion. According to the results, it can be argued that the destruction of forests and pastures and the increase of barren lands during the study period had increased the rate of soil erosion. The results' analysis showed that most of the changes were related to deforestation and an increase in barren lands. Therefore, the percentage of forest type area in 1995, 2006, and 2015 were 51.17, 42.8, and 38.91, respectively, and the percentage of pastures area was equal to 12.79, 8.9, and 6.4, and the percentage of barren lands area was 11.21, 23.27, and 28.57, respectively. Soil conservation scenarios suggested that with some constant factors (K, R, LS), soil conservation with a correlation coefficient of 0.46% followed topography with a correlation coefficient of 0.81% in terms of importance in determining the extent of soil erosion. The highest soil erosion under the soil conservation scenario occurred in 2015, with an average of 108.94 tons/ha. The study's findings concerning the soil erosion's critical segments presented in this research allow for prioritizing those parts of the watershed that require the immediate application of improved management interventions and informed decision-making processes.

Keywords: Land Use Change, Soil Loss, Remote Sensing, Landsat.