

تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه کلبرچای

اسلام قهرمان نژاد^۱، حبیب نظر نژاد^{۲*} و میرحسین میر یعقوب زاده^۳

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری؛ دانشکده منابع طبیعی؛ دانشگاه ارومیه؛ ایران

۲*) استادیار گروه مرتع و آبخیزداری؛ دانشکده منابع طبیعی؛ دانشگاه ارومیه؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: h.nazarnjad@urmia.ac.ir

۳) استادیار گروه مرتع و آبخیزداری؛ دانشکده منابع طبیعی؛ دانشگاه ارومیه؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۱

چکیده:

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به‌شمار می‌رود. اطلاعات زمانی و مکانی فرسایش خاک در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حوزه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد. امروزه عدم استفاده صحیح از اراضی و تغییر کاربری اراضی از قبیل تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی؛ چرای مفرط؛ و شخم در شیب‌های تند باعث افزایش میزان فرسایش خاک و رسوب شده است. کاربری‌های مختلف اراضی مقادیر متفاوت فرسایش را ایجاد می‌کنند و مدیریت اراضی نقش به‌سزایی در جلوگیری از فرسایش خاک دارد. در مطالعه حاضر، هدف برآورد میزان فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف در وضعیت فعلی و پیش‌بینی فرسایش در دو سناریوی اصلی می‌باشد که هر سناریوی اصلی شامل سه سناریوی فرعی (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد سطح) تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز کلبرچای استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۲ کیلومترمربع می‌باشد. برای پیش‌بینی موارد ذکر شده با استفاده از معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با به‌کارگیری تصویر ماهواره‌ای Landsat5 سال ۲۰۱۱ و سنجنده TM، نقشه کاربری با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.3 تهیه شد. پس از تهیه عوامل مدل USLE شامل P، C، LS، K، R و مدل اجرا شد و مقادیر متوسط هر کدام از فاکتورها محاسبه و از حاصل ضرب آن‌ها نقشه فرسایش خاک تهیه گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، متوسط فرسایش خاک در کاربری فعلی ۱۲/۳ تن در هکتار در سال برآورد گردید. همچنین کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار متوسط فرسایش خاک در سناریوی تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی و سناریوی تبدیل مرتع طبیعی به دیمزار به‌ترتیب ۹/۰۳ و ۱۵/۴۳ تن در هکتار در سال برآورد شد.

کلید واژه‌ها: سناریوی مدیریتی؛ فرسایش خاک؛ کاربری اراضی؛ مدل USLE

مقدمه

منابع خاک در حوزه‌های آبخیز با افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در اراضی شیب‌دار روز به روز در حال افزایش است (رخبین و همکاران، ۱۳۹۳). کاربری اراضی عامل ارتباط انسان و محیط زیست و ایجاد موازنه میان اقتصاد، هیدرولوژی و اکولوژی کاربری اراضی است. همچنین، واکنش رواناب و

امروزه فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌عنوان یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی به‌شمار می‌روند و بنابراین جلوگیری از بروز آن از مهم‌ترین عوامل برای حفاظت منابع طبیعی محسوب می‌شود (رخبین و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش هدررفت

رسوب خروجی حوزه آبخیز به ویژگی‌های فیزیوگرافی، الگوی پراکنش کاربری اراضی، نوع خاک، شدت و مدت وقوع بارندگی و دخالت‌های انسانی بستگی دارد که در میان آنها نقش کاربری اراضی دارای اهمیت بیشتری است (O'Callaghan, 1996؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). براساس پژوهش‌های انجام شده، کشت بدون عملیات کنترلی و همچنین استفاده بدون برنامه‌ریزی از زمین در کنار شهرسازی، جنگل‌زدایی و کشاورزی ناصحیح از عوامل اساسی فرسایش خاک است (Biard and Baret, 1997؛ Amsalu and Mengaw, 2014). به عبارتی تشدید تخریب و فرسایش خاک نتیجه مستقیم سوء مدیریت خاک توسط انسان می‌باشد (Gustafson, 2005). با توجه به پیامدها و اثرات سوء ناشی از تخریب و فرسایش درحوزه‌های آبخیز، شناسایی مناطق تحت فرسایش اهمیت به‌سزایی در مدیریت منابع خاک و آب دارد. بنابراین، تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت از خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش تولید رسوب ضروری و نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک می‌باشد (جوزی و مرادی‌مجد، ۱۳۹۴). در همین راستا تهیه نقشه فرسایش مناطق آسیب‌پذیر با استفاده از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در شناسایی مناطق با خطر بالقوه فرسایش خاک می‌تواند کمک شایانی نماید. بر همین اساس تهیه و تدوین برنامه‌ای برای مدیریت مناسب خاک در راستای توسعه پایدار نیاز به تشخیص و شناسایی مناطق تحت فرسایش و آسیب‌پذیر دارد. از طرفی مدل‌سازی فرسایش خاک و پیامدهای آنها نقش مهمی در مدیریت منابع طبیعی ایفا می‌کند (Amsalu and Mengaw, 2014). کمبود اطلاعات دقیق از میزان فرسایش خاک در ایران، تفاوت بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی و همچنین عدم اندازه‌گیری درازمدت میزان

فرسایش خاک از عوامل مهم نبود عدد قابل اعتماد درخصوص میزان فرسایش خاک در کشور می‌باشد (فتحی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۳). بر همین اساس و با توجه به فقدان آمار دقیق فرسایش و رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز، استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (فتحی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۳). در زمینه مطالعات فرسایش و رسوب دامنه وسیعی از مدل‌ها وجود دارد که براساس درجه پیچیدگی، فرآیندهای قابل شبیه‌سازی و ماهیت دارای تنوع هستند که از مهم‌ترین آن مدل‌ها می‌توان به معادله جهانی فرسایش خاک^۱ (USLE) اشاره نمود. این مدل به‌وسیله ویشمایر به کارگرفته و تکامل یافت و به کارگیری آن درسطوح کوچک برای انواع کاربری‌های مختلف در عرصه‌های طبیعی نتایج مناسبی را به دست خواهد داد (اسمعلی و عبداللهمی، ۱۳۸۹). در طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE به‌سبب داشتن محاسبات ساده، یکی از پرکاربردترین روش تخمین فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات‌های مدیریتی مختلف برآن بوده است (رحیمی و مزبانی، ۱۳۹۲). فرسایش خاک در مدل USLE ترکیبی از شش عامل که نشان‌دهنده نیروی فرساینده باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب، عملیات مدیریتی و حفاظتی است، جهت پیش‌بینی هدررفت خاک به کار می‌رود (Wischmeier and Smith, 1978).

تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف حوزه‌های آبخیز و همچنین در خصوص استفاده از مدل‌های فرسایش خاک برای تعیین مناطق حساس به فرسایش و تعیین نقش عوامل مؤثر در میزان فرسایش خاک در سراسر جهان صورت گرفته است. Brath و همکاران (۲۰۰۲) با تلفیق مدل USLE و GIS و تهیه نقشه‌های رقومی ارتفاع، به تعیین نقش کاربری اراضی در میزان فرسایش و بار رسوبی درحوضه آبخیز Alpine در ایتالیا

1-Universal Soil Loss Equation (USLE)

پرداختند. در بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش متوسط سالانه نشان دادند که تغییرات استفاده از زمین باعث افزایش میزان فرسایش خاک در مناطق بالادست و آسیب‌پذیری این مناطق در دهه‌های اخیر می‌باشد. Hengming و همکاران (۲۰۰۶) برآورد کمی فرسایش خاک با GIS و مدل RUSLE را تحت چهار سناریوی جنگل‌کاری در کشور چین مورد مطالعه قرار دادند و چهار سناریو با نسبت‌های مختلف خاک فرسایش یافته ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حاصل از شیوه‌های مدیریت جنگل را برای ارزیابی خطر فرسایش مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که میزان فرسایش به مقدار خاک فرسایش یافته در اثر عملیات مدیریتی بستگی دارد. Yuan و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود، رواناب سطحی و بار رسوب تحت کاربری اراضی مختلف در حوضه کوهستانی Taihang در شمال چین را شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که بار رسوب و رواناب در کاربری جنگل و بوته‌زار از همه کاربری‌ها کمتر است. Paroissien و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود با موضوع روشی برای مدل‌سازی اثرات تغییرات آب و هوا و کاربری اراضی در فرسایش و پایداری خاک در حوضه مدیترانه (لانگدوک، فرانسه) به این نتیجه رسیدند که حساسیت شدت فرسایش خاک به تغییرات کاربری اراضی بیش‌تر از تغییرات اقلیمی است و در نتیجه مدل USLE می‌تواند به منظور ارزیابی اثر عملیات مدیریتی حفاظت خاک به کار گرفته شود. آزموده و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به منظور بررسی رواناب و فرسایش خاک در خاکهای تحت پوشش اراضی جنگلی و مقایسه آن با اراضی زراعی و باغی که منتج از تغییر کاربری جنگل بوده، نسبت به شناسایی عوامل مؤثر در رواناب و فرسایش خاک در محدوده شهرستان ساری اقدام نموده و در هر یک از کاربری‌ها، میزان رواناب و فرسایش خاک ناشی از شبیه‌سازی باران را اندازه‌گیری کردند. نتایج حاصله نشان داد کم‌ترین و بیش‌ترین میزان رواناب

به ترتیب در کاربری جنگل و باغ ایجاد شده است. همچنین، مقدار فرسایش خاک در اراضی زراعی و باغی به ترتیب ۱/۵۶ و ۱/۳۶ برابر کاربری جنگل اندازه‌گیری شد. طی پژوهشی که اسکندری و همکاران (۱۳۹۰) در مورد نقش کاربری اراضی و تحلیل سیمای سرزمین در روستای گل سفید شهرستان اردل در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از RS (تصویرسنجنده+ETM ماهواره LANDSAT) و GIS انجام دادند، مشخص کردند که مخرب‌ترین نوع کاربری که در تخریب حوضه و فرسایش نقش داشته، کاربری کشاورزی بوده است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) با هدف بررسی تأثیر عامل پوشش گیاهی بر فرسایش آبی در حوضه آبخیز رزین در شمال استان کرمانشاه، به این نتیجه رسیدند که تغییر فاکتور C در مدل RUSLE باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان فرسایش شده و تأکید نمودند که تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر میزان فرسایش آبی، قابل توجه است. فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۳) در برآورد میزان فرسایش خاک و رسوب با استفاده از مدل RUSLE و هم‌چنین سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز دویرج استان ایلام به این نتیجه رسیدند که اندازه‌گیری با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS می‌تواند برای ارزیابی و محاسبه میزان فرسایش خاک و رسوب مفید باشد. غلامی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که تغییر کاربری اراضی می‌تواند با تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موجب کاهش کیفیت خاک و افزایش تخریب آن گردد. با توجه به وجود اراضی ملی اعم از جنگل و مرتع در شهرستان کلیبر (استان آذربایجان شرقی) و حفاظت بهتر این اراضی و کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی و تولید علوفه برای دام‌های روستاییان و عشایر مراتع بیلاقی شهرستان کلیبر، این حوضه به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز کلیبرچای با استفاده از مدل USLE و GIS برنامه‌ریزی شده است. در

داده شد (Wischmeier and Smith, 1978؛ رفاهی، ۱۳۹۴). در این پژوهش به منظور محاسبه میزان فرسایش خاک از معادله جهانی فرسایش خاک به علت تناسب آن در شرایط بسیاری از آبخیزهای ایران استفاده شد. مدل USLE به معادله جهانی فرسایش خاک معروف است (رفاهی، ۱۳۹۴).

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

A: مقدار خاک فرسایش یافته به وسیله فرسایش سطحی و شیب (تن در هکتار در سال)، R: فرساینده گی باران (مگاژول میلی متر در هکتار ساعت سال)، K: فرسایش پذیری خاک و حساسیت ذاتی خاک (تن ساعت بر مگاژول بر میلی متر)، L: طول شیب (بدون واحد)، S: درجه شیب زمین (بدون واحد)، C: پوشش گیاهی (بدون واحد) و P: حفاظت خاک (بدون واحد) می باشد.

عامل فرساینده گی باران (R):

فرساینده گی باران در معادله جهانی فرسایش به عنوان یک شاخص کمی توان باران در فرسایش خاک استفاده می شود و در ایجاد فرسایش به انرژی سینتیکی باران بستگی دارد. به دلیل عدم وجود دستگاه باران نگار، عامل فرساینده گی باران از معادله ای که توسط رنارد و فریموند در سال ۱۹۹۴ ارائه شده محاسبه گردید.

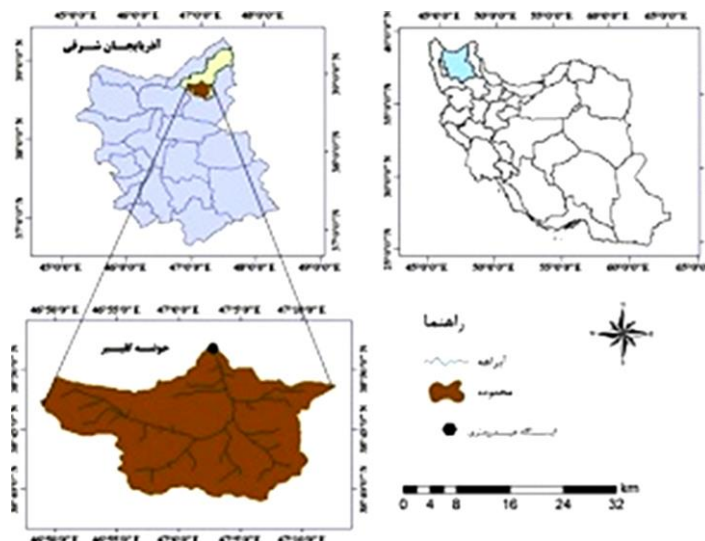
این راستا، مقدار فرسایش و رسوب حاصل از سناریوهای مختلف مدیریتی شبیه سازی شده و با یکدیگر مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد.

مواد و روش ها

حوزه آبخیز کلیبرچای (قسمت جنوبی حوزه) با مساحت ۴۵۲ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی در موقعیت جغرافیایی "۵۱°۴۷'۵۴" تا "۴۷°۱۲'۵۴" طول شرقی و "۳۸°۳۸'۵۹" تا "۳۸°۵۱'۴۸" عرض شمالی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در ۱۳۰ کیلومتری تبریز و در کلیبر واقع شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۱۰۷۸ و ۲۹۲۸ متر و شیب متوسط ۲۷ درصد می باشد. حداقل، متوسط و حداکثر مقدار بارندگی منطقه طبق آمار ایستگاه سینوپتیک کلیبر (نزدیک ترین ایستگاه به حوزه) به ترتیب برابر با ۲۹۱، ۴۰۸ و ۵۶۶ میلی متر گزارش شده است. میانگین دمای سالانه ۱۲ درجه سانتی گراد می باشد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.

مدل جهانی فرسایش خاک (USLE)

مدل USLE پس از مطالعات فرسایش آبی در ایالات مختلف آمریکا با شرایط مختلف جغرافیایی و آب و هوایی، به دست آمده است و به صورت (رابطه ۱) نمایش



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز کلیبرچای در استان آذربایجان شرقی

$$100K = [(2.1 \times 10^{-4})M^{1.14}(12 - OM) + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)] \times 0.1317 \quad (4)$$

$$M = (P_{silt} + P_{vfs}) \times (100 - P_{cl}) \quad (5)$$

که در آن، P_{cl} : درصد رس، P_{silt} : درصد سیلت، P_{vfs} : درصد شن خیلی ریز، OM : درصد ماده آلی، P : میزان نفوذپذیری خاک، S : کلاس ساختمان خاک.

عامل شیب و طول شیب (LS):

با استفاده از DEM ۳۰ متری در محیط ArcGIS9.3 و ابزار Arc Hydro Extension تحلیل‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی از جمله طول شیب حوزه به دست آمد. همچنین درجه شیب حوزه از روی DEM منطقه استخراج گردید. طول و درجه شیب هر دو با مقدار فرسایش رابطه مستقیم دارند (رفاهی، ۱۳۸۵). مقدار LS با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Foster et al, 1981).

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin\theta}{\sin 5.143^\circ}\right)^n \quad (6)$$

که در آن، λ : طول شیب بر حسب متر، m و n : طول شیب معادل 0.3 و 1.3 ، θ : درجه شیب زمین.

عامل مدیریت پوشش گیاهی (C):

عامل C نشان‌دهنده تأثیر کاشت در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش‌های درختی، درختچه‌ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک می‌باشد. با افزایش پوشش گیاهی، فرسایش خاک کاهش می‌یابد. عامل پوشش گیاهی به همراه درجه شیب و طول شیب در فرسایش خاک و تولید رسوب حساسیت بیشتری دارند (Benkobi et al, 1994; Biesemans et al, 2000). عامل پوشش گیاهی در معادله جهانی فرسایش، معمولاً براساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد (Wischmeier and Smith, 1978) که این عامل با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می‌گردد. پرکاربردترین معیار، روش پوشش گیاهی، شاخص نرمال

از آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک کلیبر و باران‌سنجی کلی فوزی که در نزدیکی حوضه مورد مطالعه قرار دارند استفاده شد. متوسط بارندگی ۱۰ ساله (۹۳-۱۳۸۳) این دو ایستگاه محاسبه و مقدار عامل (R) ایستگاه‌ها (رابطه ۳) براساس شاخص اصلاح شده فورنیه MFI^2 (رابطه ۲)، برآورد گردید (Renard and Freimund, 1994).

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

که در آن، P_i متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و P متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است.

$$R = 0.264MFI^{1.5} \quad (3)$$

که در آن، R عامل فرسایش‌دهی باران (مگاژول میلی‌متر بر ساعت در هکتار در سال) است (Renard and Freimund, 1994; Szilassi et al. 2006). مقدار شاخص فرسایش‌دهی باران برای حوضه کلیبرچای $106/35$ مگاژول میلی‌متر بر ساعت در هکتار در سال برآورد شد.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K):

به توانایی مقاومت خاک در مقابل عامل فرسایش‌دهی، فرسایش‌پذیری خاک گفته می‌شود. در واقع عامل فرسایش‌پذیری خاک بیان‌گر قابلیت جدا شدن و حمل خاک توسط بارش و رواناب می‌باشد (پژوهش و همکاران، ۱۳۹۰). عامل فرسایش‌پذیری خاک بین $0/7$ برای خاک‌های شکننده تا $0/01$ برای خاک‌های بسیار پایدار متغیر است (رخبین و همکاران، ۱۳۹۳). برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری به تعداد ۹ پروفیل خاک در شیب‌ها و کاربری‌های مختلف حفر شد که تعداد ۴ پروفیل در مرتع، ۳ پروفیل در پوشش درختی (جنگل و باغ) و ۲ پروفیل در اراضی دیمزار می‌باشد. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در مدل USLE از طریق رابطه (۴) تعیین می‌شود (Wischmeier and Smith, 1978).

² Modified Fournier index

کاربری‌ها محاسبه و نقشه کاربری اراضی برای سال مورد مطالعه استخراج گردید.

عامل عملیات حفاظتی خاک (P):

عامل حفاظت خاک عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت تندترین شیب، شخم زده شود. منظور از کارهای حفاظتی، بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و ترانس‌بندی، درختکاری، جلوگیری از قطع بی‌رویه درختان و جلوگیری از چرای بی‌رویه دام است. مقدار P را می‌توان براساس شیب منطقه هم به دست آورد. هرچه شیب کمتر باشد نیاز به عملیات حفاظتی کمتر خواهد بود (Wischmeier and Smith, 1978؛ رحیمی و مزیانی، ۱۳۹۲). عامل مدیریت اراضی نیز با توجه به عدم وجود و مشاهده هرگونه اقدامات حفاظت خاک در منطقه مورد مطالعه برابر با یک در نظر گرفته می‌شود (Kuok et al, 2013).

سناریوسازی:

برای حوضه مورد مطالعه علاوه بر وضعیت فعلی دو سناریو تعریف شد که سناریو ۱ تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی و سناریو ۲ تبدیل مرتع طبیعی به دیمزار می‌باشد. هر سناریو به سه سناریوی فرعی تبدیل در ۲۵ درصد، ۵۰ درصد، و ۷۵ درصد مساحت تقسیم‌بندی می‌شود. جدول ۱ سناریوهای تعریف شده و مساحت بعد از اجرای سناریوها را برای حوضه مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۱. سناریوهای تعریف شده و مساحت بعد از اجرای سناریوها در حوضه کلیبرچای

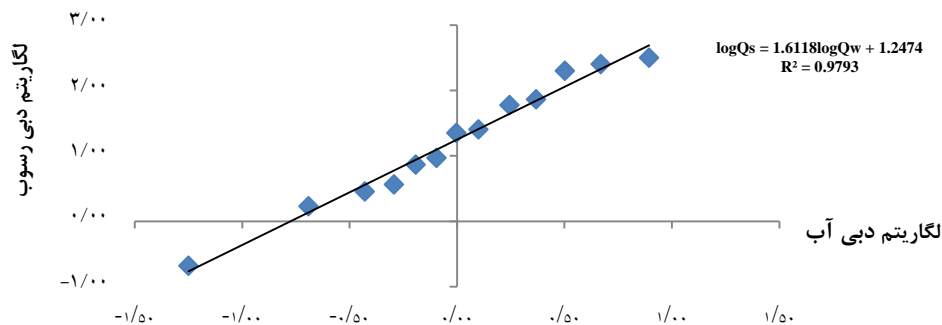
سناریو	تعریف سناریو	سناریو فرعی			مساحت سناریوها بعد از اجرا (هکتار)		
		۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪
۱	تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی	(۱-۱)	(۲-۱)	(۳-۱)	۲۸۲۹۰	۲۱۶۱۶	۱۴۹۴۲
۲	تبدیل مرتع طبیعی به دیمزار	(۱-۲) ^۳	(۲-۲)	(۳-۲)	۲۵۳۷۸	۱۸۷۰۴	۱۲۰۳۰

شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)^۳ است که با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور به دست می‌آید. این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر NDVI بین -۱ و +۱ در نوسان است (یوسفی، ۱۳۹۴). رابطه بین NDVI و C به صورت رابطه (۷) می‌باشد. در نتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرارگیرد. از آنجایی که مقادیر فاکتور C، بین صفر و یک می‌باشد، مقدار صفر به پیکسل‌هایی با مقدار بیشتر از یک اختصاص خواهد یافت. در این پژوهش، نقشه عامل C براساس NDVI تهیه گردیده است. درحقیقت این عامل به‌طور کامل، رابطه معکوس با NDVI دارد (Lin et al, 2002).

$$C = \left(\frac{1-NDVI}{2} \right) \quad (7)$$

در این تحقیق برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه، از تصویر ماهواره‌ای Landsat5 و سنجنده TM سال ۲۰۱۱ استفاده و پردازش تصویر در نرم افزار ENVI4.7 انجام شده است. بعد از موزاییک کردن و تصحیحات صورت گرفته بر روی تصویر، بهترین ترکیب باند (RGB) برای سال ۲۰۱۱، ترکیب باندهای ۳-۱-۵ انتخاب شد. با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (حداکثر شدت احتمال)، نقشه کاربری اراضی حوضه کلیبرچای برای ۴ کلاس کاربری اراضی شامل پوشش درختی (باغ و جنگل)، فاقد پوشش (شامل اراضی سنگلاخی با پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد، اراضی مسکونی و جاده‌ها)، مراتع و دیمزار تهیه گردید. با استفاده از نرم‌افزار GIS9.3 مساحت هر کدام از

³ Normalized Difference Vegetation index



شکل ۲. منحنی سنجه رسوب حد وسط - ایستگاه کلیبر

قدوسی، ۱۳۹۰؛ اسدی نلیوان وهمکاران، (۱۳۹۱). رابطه مذکور به صورت زیر می‌باشد:

$$\log(SDR) = 1.7935 - 0.14191 \log(A) \quad (8)$$

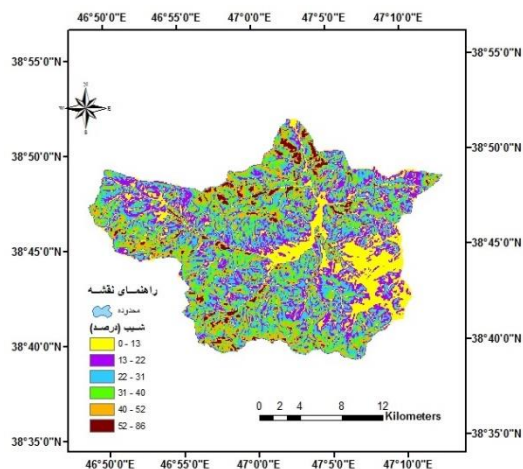
که در آن A مساحت حوزه آبخیز به کیلومتر مربع و SDR به درصد می‌باشد. متوسط فرسایش حوضه با لحاظ کردن SDR حاصل از روش (Renfero, 1975)، ۲ تن در هکتار در سال برآورد شد جدول (۳). با توجه به آمار دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری کلیبر (متوسط ۲/۱ تن در هکتار در سال) نتایج نشان‌دهنده انطباق داده‌های مشاهداتی با مقادیر برآوردشده توسط مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

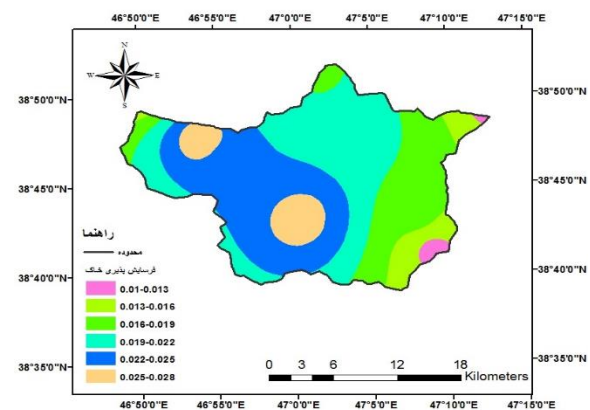
عوامل موثر در مدل USLE و نقشه فرسایش خاک سالانه در سناریوهای مختلف در شکل‌های ۳ تا ۱۸ ارائه شده است.

تعیین مقادیر مشاهده‌ای میزان رسوب با استفاده از ایستگاه رسوب‌سنجی:

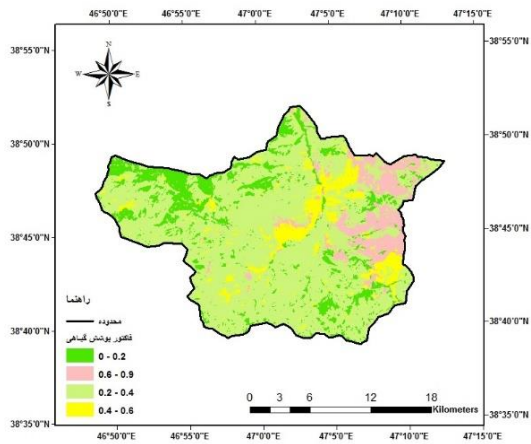
در این تحقیق از ۲۲ سال آمار ایستگاه رسوب‌سنجی کلیبر استفاده گردید. یکی از روش‌های متداول محاسبه تولید رسوب معلق رودخانه‌ها استفاده از روش منحنی سنجه رسوب - دبی روزانه جریان است. با داشتن دبی مشاهده‌ای و دبی رسوب مشاهده‌ای، منحنی سنجه رسوب رسم گردید. با توجه به اینکه منحنی سنجه رسوب حدوداً دست‌ها نسبت به منحنی سنجه دو خطی و یک خطی RMSE کمتر و R^2 به عدد یک نزدیکتر داشت از حدوداً دست‌ها استفاده شد. در نهایت، نمودار دبی آب - دبی رسوب به همراه معادله مربوطه و ضریب همبستگی آن برای حوضه کلیبرچای به صورت شکل (۲) به دست آمد و سپس با استفاده از رابطه SDR که توسط (Renfero, 1975) ارائه شده است مقدار SDR بدست آمد (افسری و



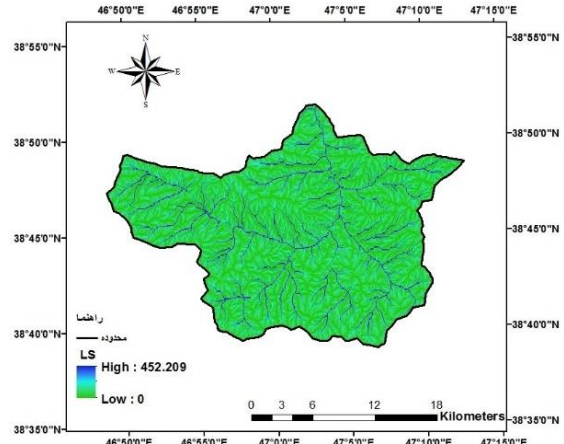
شکل ۴. درصد شیب



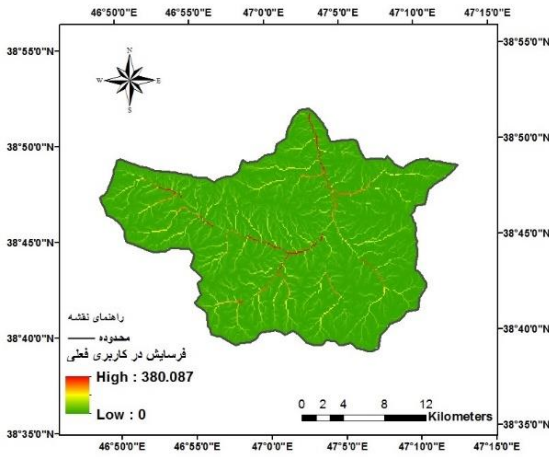
شکل ۳. فرسایش پذیری خاک



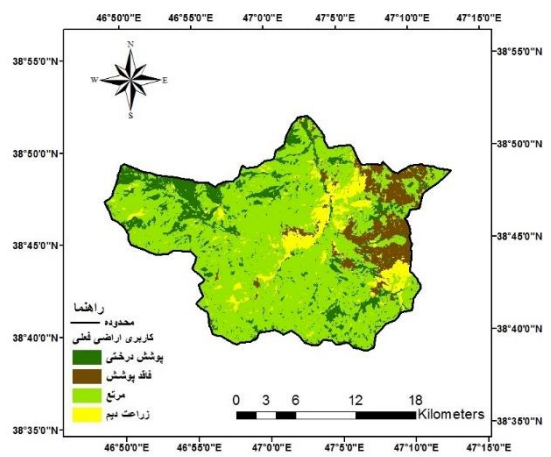
شکل ۶. عامل پوشش گیاهی



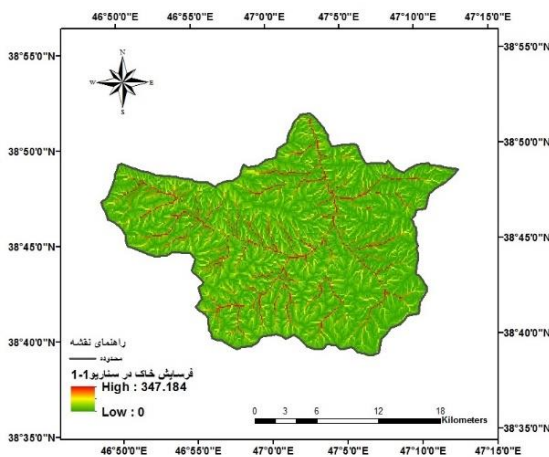
شکل ۵. LS



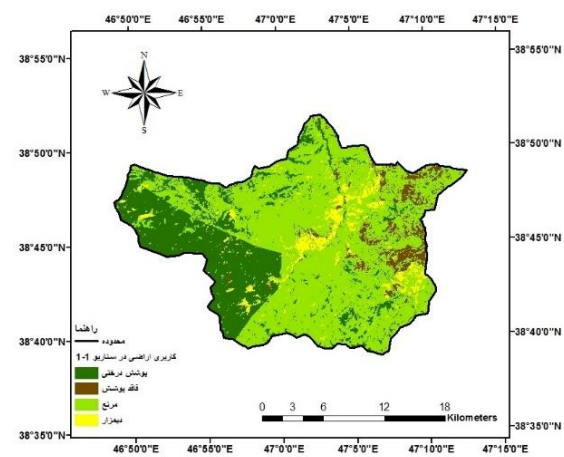
شکل ۸. فرسایش در کاربری فعلی



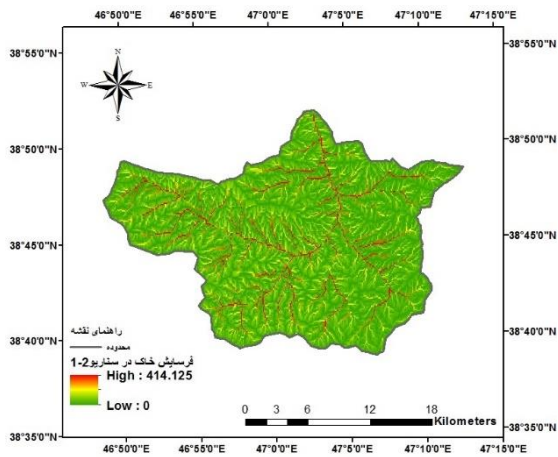
شکل ۷. کاربری اراضی در وضعیت موجود



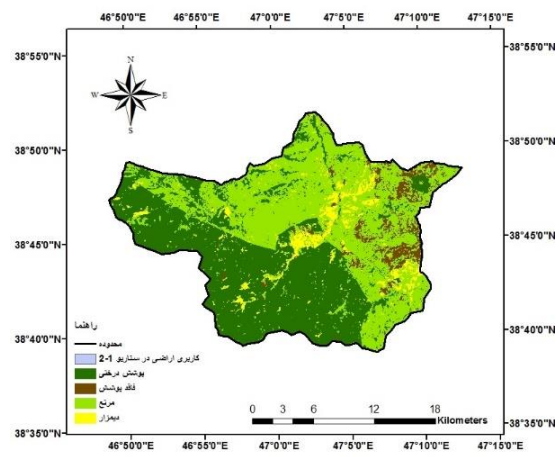
شکل ۱۰. فرسایش خاک در سناریو ۱-۱



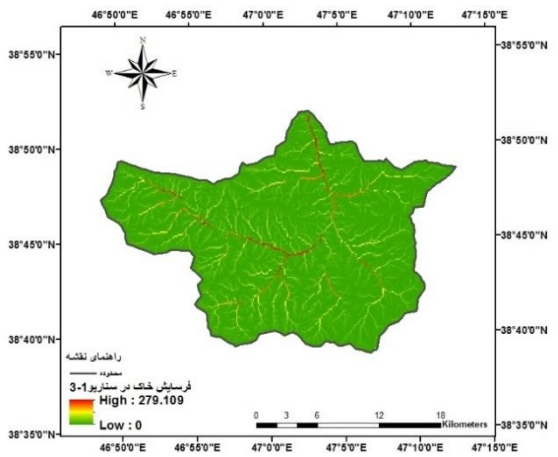
شکل ۹. کاربری اراضی در سناریو ۱-۱



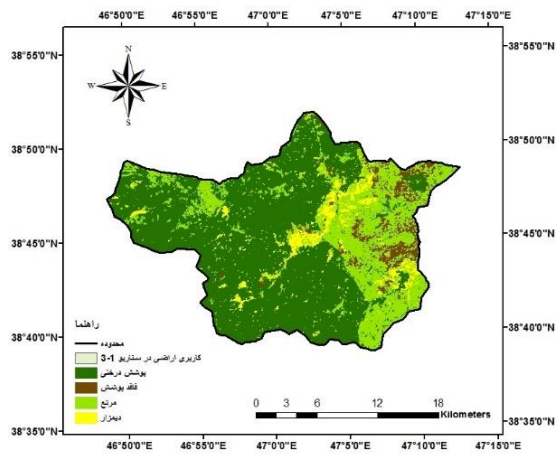
شکل ۱۲. فرسایش خاک در سناریو ۱-۲



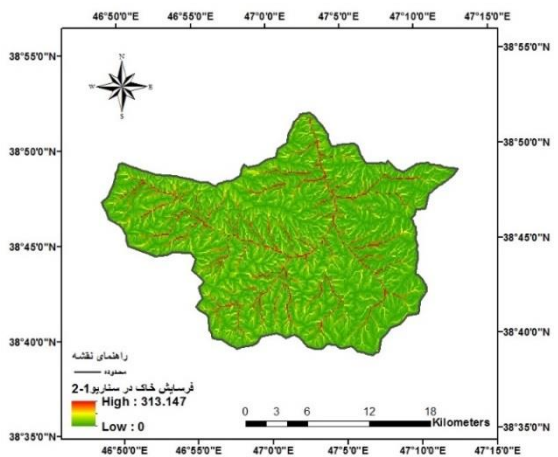
شکل ۱۱. کاربری اراضی در سناریو ۱-۲



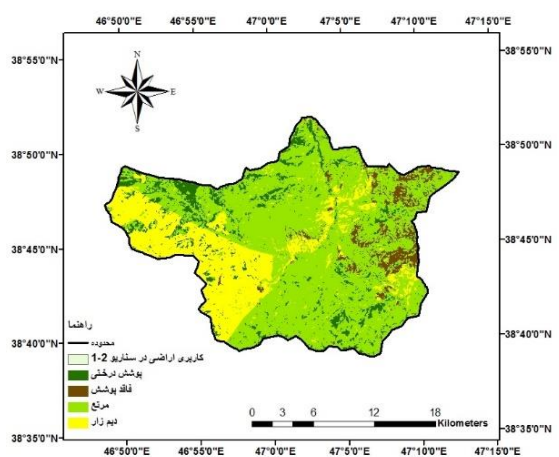
شکل ۱۴. فرسایش خاک در سناریو ۳-۱



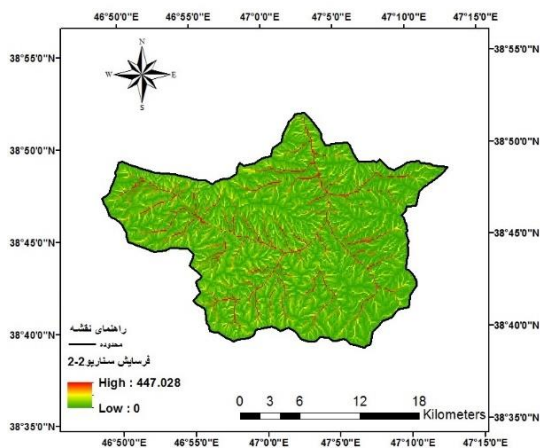
شکل ۱۳. کاربری اراضی در سناریو ۳-۱



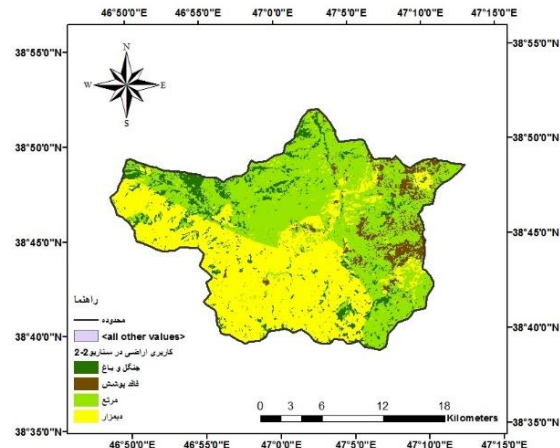
شکل ۱۶. فرسایش خاک در سناریو ۲-۲



شکل ۱۵. کاربری اراضی در سناریو ۲-۲



شکل ۱۸. فرسایش خاک در سناریو ۲-۲



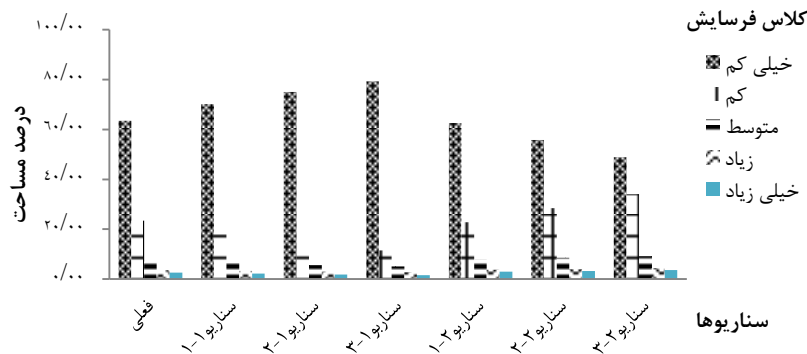
شکل ۱۷. کاربری اراضی در سناریو ۲-۲

جدول ۳. کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش خاک (درصد مساحت) حوضه کلبیچای

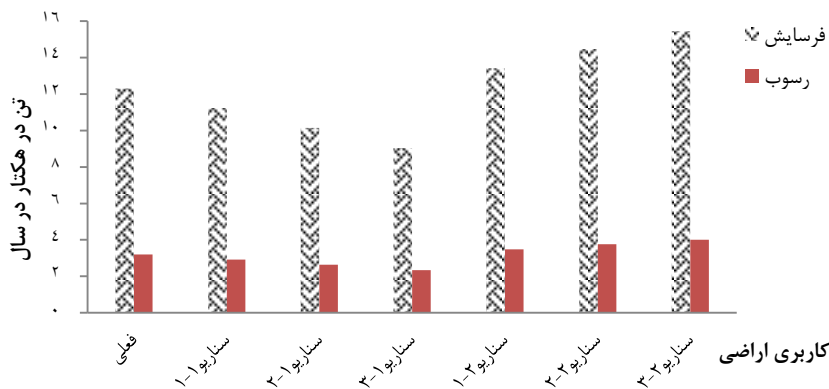
سناریو	کلاس‌ها و میزان فرسایش (تن در هکتار در سال)				
	خیلی کم ۰-۱۰	کم ۱۰-۲۰	متوسط ۲۰-۴۰	زیاد ۴۰-۸۰	خیلی زیاد > ۸۰
فعلی	۶۳/۴۳	۲۳/۴	۷/۰۱	۳/۵	۲/۶۶
۱-۱	۷۰/۰۷	۱۷/۹۸	۶/۴۲	۳/۲۸	۲/۲۵
۲-۱	۷۴/۹۶	۱۴/۵۱	۵/۶۲	۳/۰۲	۱/۸۹
۳-۱	۷۹/۱۸	۱۱/۴۶	۵/۰۱	۲/۷۹	۱/۵۵
۱-۲	۶۲/۵۸	۲۲/۷	۷/۹۸	۳/۷۲	۳/۰۲
۲-۲	۵۵/۶۸	۲۸/۴	۸/۶۵	۴/۰۶	۳/۳
۳-۲	۴۸/۷۸	۳۴/۰۹	۹/۱۵	۴/۴	۳/۵۸

با بررسی میزان فرسایش متوسط سناریوهای مختلف نسبت به کاربری موجود می‌توان نتیجه گرفت که در سناریو تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی، میزان فرسایش متوسط نسبت به کاربری موجود به ترتیب در سناریوهای فرعی (۱-۱، ۱-۲، ۲-۱، ۳-۱) به مقدار ۲/۱، ۱۷/۰۷، ۳/۲۷ و ۳/۲۷ تن در هکتار در سال کاهش یافته است و در سناریو تبدیل مرتع طبیعی به دیمزار، میزان فرسایش متوسط نسبت به کاربری موجود به ترتیب در سناریوهای فرعی (۲-۲، ۱-۲، ۲-۱، ۳-۲) به مقدار ۲/۱۶، ۱/۱ و ۳/۱۳ تن در هکتار در سال افزایش یافته است. با بررسی نتایج مشخص می‌شود که نوع کاربری تاثیر زیادی بر میزان فرسایش خاک داشته به طوری که اراضی با پوشش درختی (جنگل و باغ) و اراضی دیمزار به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار فرسایش خاک را دارند.

بررسی نقشه فرسایش خاک نشان می‌دهد که مقدار متوسط آن در سطح حوضه برای کاربری فعلی ۱۲/۳ تن در هکتار در سال و کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار فرسایش متوسط سالانه خاک مربوط به سناریو تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی (سناریو ۱-۳) و سناریو تبدیل مرتع طبیعی به دیمزار (سناریو ۲-۳) به ترتیب ۹/۰۳ و ۱۵/۴۳ تن در هکتار در سال می‌باشد. با بررسی جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که درصد بیشتری از مساحت حوضه در کلاس فرسایش خیلی کم (۱۰-۰) قرار دارد و میزان فرسایش کم می‌باشد و تغییر کاربری تاثیر زیادی در میزان فرسایش در کلاس کم گذاشته و در سایر کلاسها تاثیر زیادی ندارد.



شکل ۴. طبقه بندی فرسایش در سناریوهای مختلف برحسب درصد مساحت حوضه کلیبرچای



شکل ۵. مقادیر فرسایش و رسوب (تن در هکتار در سال) در سناریوهای حوضه کلیبرچای

در شمال چین، MinwerAlkharabsheha و همکاران (۲۰۱۳) در اردن، Tiwari و همکاران (۲۰۱۴) در هند که بیان داشتند اراضی با کاربری جنگل کم‌ترین میزان فرسایش و رواناب و کاربری کشاورزی بیش‌ترین میزان فرسایش و رواناب را دارد، مطابقت می‌نماید. در رویکرد مبتنی بر سناریو در محیط GIS علاوه بر برآورد شدت فرسایش، امکان برآورد تغییرات مکانی فرسایش و برنامه‌ریزی مؤثر کنترل فرسایش و رسوب فراهم می‌گردد.

نتایج حاصل از فرسایش برای کاربری فعلی و سناریوها نشان می‌دهد که با افزایش اراضی دیمزار، میزان فرسایش افزایش و با افزایش اراضی پوشش درختی، میزان فرسایش کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های حسین‌پور ثابت (۱۳۹۱) درحوزه آبخیز دارابکلا استان مازندران، طالبی و همکاران (۱۳۹۴) در حوزه آبخیز شور و شیرین استان فارس، Toriman و همکاران (۲۰۱۵) در مالزی، Yuan و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه کوهستانی Taihang

فهرست منابع :

- آزموده، ع.، کاویان، ع.، سلیمانی، ک. و وهاب زاده، ق. ۱۳۸۹. مقایسه میزان رواناب و فرسایش در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های جنگل، زراعی و باغ با استفاده از شبیه‌ساز باران. نشریه آب و خاک، ۲۴(۳): ۴۹۰-۵۰۰.
- اسدی نیلیان، ا.، محسنی ساروی، م.، سور، ا.، دسترنج، ع. و طائی، س. ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین روش تجربی برآورد SDR با استفاده از مدل EPM و خصوصیات فیزیکی حوزه؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز قورچای استان گلستان. مهندسی آبیاری و آب، ۳(۱۰): ۱۹-۲۸.

- اسکندری، س.، مرادی، ا. و اولادی، ج. ۱۳۹۰. کاربری اراضی و تحلیل سیمای سرزمینی روستای گل سفید شهرستان اردل چهارمحال و بختیاری از نظر زیست محیطی با استفاده از RS و GIS. مجله آمایش سرزمین، ۳(۴): ۱۳۷-۱۶۲.
- اسمعیلی، ا.، و عبداللهی، خ. ۱۳۸۹. آبخیزداری و حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، چاپ اول، ۵۷۸ صفحه.
- افسری، ر.، و قدوسی، ج. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های مختلف تخمین نسبت تحویل رسوب (SDR) تحت شرایط آب و هوایی مختلف (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز استان مرکزی)، جغرافیای طبیعی، ۴(۱۲): ۱۰۷-۱۱۸.
- پژوهش، م.، گرجی، م.، طاهری، س.م.، سرمیدان، ف.، محمدی، ج. و صمدی بروجنی، ح. ۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از GIS. پژوهش آب ایران، ۵(۸): ۱۴۳-۱۵۲.
- جوزی، س.ع.، و مرادی مجد، ن. ۱۳۹۴. ارزیابی عوامل مؤثر بر شدت فرسایش خاک در روش شش عامله فائو با استفاده از تکنیک TOPSIS. نشریه حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، ۴(۱): ۷۹-۹۹.
- حسین پور ثابت، س. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی اثرات تغییر کاربری اراضی بر هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دارابکلا مازندران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۰۳ صفحه.
- رحیمی، خ.، و مزبانی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی تغییرات فرسایش حوزه آبخیز سیوند طی سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل RUSLE. پژوهش‌های محیطی، ۳(۹): ۱-۱۸.
- رخبین، م.، نوحه گر، ا.، کمالی، ع. و حبیب اللهیان، م. ۱۳۹۳. برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز لاورفین (استان هرمزگان) با استفاده از سنجش ازدور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تجربی RUSLE. تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۳): ۸۹-۱۰۴.
- رفاهی، ح. ۱۳۹۴. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ صفحه.
- طالبی، ع.، سوزنده پور، س.ف.، دستورانی، م.ت.، کریمیان، ع.ا. و سلطانی، م. ۱۳۹۴. بررسی اثر کاربری اراضی در شرایط فعلی و بهینه روی رسوبدهی حوزه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شور و شیرین شیراز). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، ۱۹(۷۲): ۴۷-۵۵.
- غلامی، ل.، داوری، م.، نبی اللهی، ک. و جنیدی جعفری، ح. ۱۳۹۵. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: بانه). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۵(۳): ۱۳-۲۷.
- فتحی‌زاد، ح.، کریمی، ح. و علی‌بخشی، س.م. ۱۳۹۳. برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE، RS و GIS (مطالعه موردی: مناطق خشک و نیمه خشک منطقه دوبرج، استان ایلام). کشاورزی و علوم زراعی، ۶(۷): ۳۰۴-۳۱۴.
- مصطفی‌زاده، ر.، صادقی، س.ح.ر. و سعدالدین، ا. ۱۳۹۳. تحلیل رسوب‌نمود و حلقه‌های سنجه رسوب رگبار در حوزه آبخیز گلاز اشنویه، آذربایجان غربی، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۵): ۱۷۵-۱۹۱.
- مقصودی، م.، گورابی، ا. و دارابی‌شاهماری، س. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر عامل پوشش گیاهی بر فرسایش آبی مطالعه موردی: حوزه آبخیزرزین، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۹): ۸۳-۹۷.
- یوسفی، ب. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های تخمین فرسایش و رسوب به منظور تصحیح عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوزه آبخیز نازلوچای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه، ۱۰۶ صفحه.
- Amsalu, T. and Mengaw, A. 2014. GIS Based Soil Loss Estimation Using RUSLE Model: The Case of Jabi Tehinan Woreda, ANRS, Ethiopia. Natural Resources, 5: 616-626.
- Benkobi, L., Trlica, M. J. and Smith, J.L. 1994. Evaluation of a refined surface cover sub factor for use in RUSLE. Journal of Range Manage, 47:74-78.

- Biard, F. and Baret, F. 1997. Crop Residue Estimation Multiband Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 59: 530-536.
- Biesemans, J., Meirvenne, M.V. and Gabriels, D. 2000. Extending the RUSLE with the MonteCarlo error propagation technique to predict long-term average off-site sediment accumulation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55: 35-42
- Brath, A., Castellarin, A. and Montanari, A. 2002. Assessing the effects of land-use changes on annual average gross erosion. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 255-265.
- Foster, G.R., Toy, E.T. and Renard, K.G. 1981. Comparison of the USLE, RUSLE1 and RUSLE2 for Application to Highly Disturbed Lands. In First Interagency Conference on Research in the Watersheds. USDA-ARS Agricultural Research Service. Washington, DC: 154-60.
- Gustafson, A.F. 2005. *Soil and Soil Management*. Jodhpur Agrobios Press, New Delhi, 424 pp.
- Hengming, Z., Qingli, W., Limin, D., Shao1, G., Lina, T., Shunzhong, W. and Huiyan, G. 2006. Quantifying soil erosion with GIS-based RUSLE under different forest management options in Jianchang Forest Farm. *Series & Technological Sciences*, 49:160-166.
- Kuok, K.K., Mah, D.Y.S. and Chiu, PC. 2013. Evaluation of C and P Factors in Universal Soil Loss Equation on Trapping Sediment: Case Study of Santubong River. *Journal of Water Resources and Protection*, 5:1149-1154.
- Lin, C., Lin, W. and Chou, W. 2002. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience, *Soil Tillage Research*, 68: 143-152.
- MinwerAlkharabsheha, M., Alexandridis, T.K., Bilas, G., Misopolinos, N. and Silleos, N. 2013 Impact of land cover change on soil erosion hazard in northern Jordan using remote sensing and GIS. *Journal of Procedia Environmental Sciences* 19:912- 921.
- O'Callaghan, J.R. 1996. *Land use: the interaction of economics, ecology and hydrology*. London Chapman & Hall, 200 p.
- Paroissien, JB., Darboux, F., Couturier, A., Devillers, B., Mouillot, F., Raclot, D. and Le Bissonnais, Y. 2015. A Method for modeling the effects of Climate and Land use Changes on Erosion and Sustainability of Soil in a Mediterranean Watershed (Languedoc, France). *Journal of Environmental Management*, 150:57-68.
- Renard, K.G. and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, National Agricultural Library. *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
- Renfero, G.W. 1975. Use of Erosion Equations and Sediment-Delivery Ratios for predicting sediment. *Sediment Yield*. ARS-S-40.
- Szilassi, P., Jordan, G., Van Rompaey, A. and Csillag, G. 2006. Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. *Catena*, 68: 96-108
- Tiwari, M., Gaur, M.L., Siyag, P. and Kumar, K. 2014. Impact assessment of land use change on runoff generation using remote sensing and geographical information systems (GIS). 15th Esri India user conference, 9-11th December 2014, Kempinski Ambience Hotel.
- Toriman, M., AmriKamarudin, M., Sansena, T. and Bhaktikuld, K. 2015. Assessment of land use change and sedimentation modelling on environmental health in Tropical River. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 19 (6):1335- 1347.
- Wischmeier, W.H. and Smith, DD.1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. U.S. Department of Agriculture, Washington. No.537. 62 pp.
- Yuan, Z., Chu, Y. and Shen, Y. 2015. Simulation of surface runoff and sediment yield under different land-use in a Taihang Mountains watershed, North China. *Soil & Tillage Research*, 153:7-19.

Effect of different land- use management scenarios on soil erosion using USLE model in Kalaybarchay watershed

Eslam Ghahremannejad¹, Habib Nazarnejad^{2*} and MirHasam Miryaghubzadeh³

1) M.Sc., Watershed management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2^{*}) Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

*Corresponding author email: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

3) Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 28-06-2017

Accepted: 11-01-2018

Abstract

Soil erosion is one of the environmental problems which can be considered as a threat for natural resources, agriculture and the environment. Thus, determining the temporal and spatial extent of soil erosion is an effective way to management of soil erosion and sediment control through watershed management. Today, the misuse of lands and converting forests and grasslands into agricultural land, overgrazing, tillage on steep slopes leads to increase soil erosion and sediment yield. Therefore, defining the contribution of different land uses has a significant role in preventing erosion and prioritization of land management activities. The objective of this study is to estimate and compare the rate of soil erosion in different land uses on the current status and prediction of erosion in two main scenarios and each main scenario has three sub-scenarios (25, 50 and 75 percent of area) at KalaybarChay watershed with an area of 452 km² in the province of East Azerbaijan using USLE model. To predict the foregoing, land use map was prepared using Universal Soil Loss Equation (USLE), Geographic Information Systems (GIS) and TM Sensor of satellite image Landsat5 on the ENVI 4.3 software. After the preparation of USLE model factors includes R, K, LS, C and P model was performed and mean value of each factor was calculated and soil erosion map was prepared by multiplying the average values. Results showed that the average amount of soil erosion rate is 12.3 (ton/ha/yr). Also the highest and least rate of erosion is assigned on conversion of rangeland to dry farming scenario; and the rangeland to tree dryland scenario equal to 15.43 and 9.03 (ton/ha/yr), respectively.

Keywords: land use; management scenario; soil erosion; USLE model