



دانشگاه گلستان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره دوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در حوزه آبخیز چهل‌چای، استان گلستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SPOT5

\*سید هاشم موسوی‌نژاد<sup>۱</sup>، هاشم حبشی<sup>۲</sup>، فرشاد کیانی<sup>۳</sup>، شعبان شتایی<sup>۴</sup> و امید عبدی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، <sup>۲</sup>دانشیار گروه جنگلشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، <sup>۳</sup>دانشیار گروه جنگلشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، <sup>۴</sup>دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران، <sup>۵</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** فرسایش خاک فرایندی طبیعی است که به‌طور مداوم بر روی سطح زمین رخ داده و یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در دنیا است. روش‌های متعددی جهت برآورد فرسایش ارائه شده است که شامل روابط ساده تا مدل‌های پیچیده می‌باشند. مدل جهانی RUSLE رابطه‌ای تجربی است و دارای پایه فیزیکی قوی‌تری نسبت به سایر روش‌های تجربی هست. این رابطه که اصلاح شده رابطه USLE هست، شامل اشکال مختلف فرسایش و برخی پارامترها نظیر پوشش و بارندگی است که در مقیاس روزانه و ماهانه در فرسایش مؤثرند. تحقیق اخیر باهدف یافتن ارتباطی بین تصاویر ماهواره‌ای و میزان فرسایش خاک (برآورد شده توسط معادله RUSLE)، در حوزه آبخیز چهل‌چای شهرستان مینودشت انجام گرفته است.

**مواد و روش‌ها:** بدین منظور پس از تعیین میزان فرسایش در محل نمونه‌ها و یافتن رابطه بین تراکم پوشش و میزان فرسایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS، نقشه تراکم پوشش گیاهی برای کل حوزه با استفاده از شاخص گیاهی (NDVI)، از روی تصاویر ماهواره‌ای SPOT5 تهیه گردید. سپس میزان فرسایش از طریق نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI در محیط GIS برآورد شد.

**یافته‌ها:** فرسایش برآورد شده در حوزه برحسب تن در هکتار در سال، در ۵ طبقه خیلی کم، کم، متوسط، بالا و شدید قرار گرفتند. نتایج عموماً یک شرایط مخاطره‌آمیز فرسایش متوسط تا شدید را در طبقه پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد، به میزان متوسط ۱۴/۱۱ تا حداکثر ۳۴/۶۸۳ تن در هکتار در سال، به نمایش گذاشت. عموماً ۲۸/۳۳ درصد سطح منطقه را اراضی کشاورزی در برمی‌گیرد که ۶۴/۹۹ درصد وزنی کل فرسایش را به خود اختصاص داده که نیاز به مدیریت دارد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج حاصله مناطق دارای پوشش جنگلی انبوه و نیمه انبوه دارای میانگین فرسایش خیلی کم در حدود ۰/۶۶ تا ۱/۹۱ تن در هکتار بر سال بوده که نشان‌دهنده تأثیر زیاد پوشش جنگلی بر حفاظت خاک دارد.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش جنگلی، فرسایش خاک، حوزه آبخیز چهل‌چای و تصاویر ماهواره‌ای SPOT5

\*مسئول مکاتبه: sh110mn@yahoo.com

## مقدمه

آب، کاهش ظرفیت آبراهه‌ها، کاهش ظرفیت مخازن، آلوده شدن آب‌ها، تهدید محیط‌زیست، تهدید سلامت سرزمین و غیره بروز می‌نماید. پیش‌بینی و ارزیابی فرسایش خاک از سال ۱۹۳۰ به‌عنوان یک چالش در تحقیقات مطرح بوده و برای این منظور چندین مدل طراحی شده است (۴). این مدل‌ها به مدل‌های مشاهده‌ای، تجربی و نیمه تجربی، استدلالی و فرآیندی و با مبنای فیزیکی تقسیم‌بندی شده‌اند. رایج‌ترین مدل‌های تجربی مدل USLE و اصلاح‌شده آن تحت عنوان معادله جهانی RUSLE است. در سال ۱۹۴۷ توسط سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات‌متحده آمریکا برای برآورد میزان فرسایش سطحی رابطه ۱ ارائه شد این رابطه به USLE موسوم است.

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{رابطه (۱)}$$

روش مذکور با تأکید بر مجموع انرژی بارش برای محاسبه شدت فرسایش سطحی که دربرگیرنده فرسایش ورقه‌ای و شیاری است توسعه یافته است. وجود مشکلات و محدودیت‌هایی باعث شد در سال ۱۹۶۰ این رابطه توسط ویشمایر و اسمیت اصلاح و در سال ۱۹۸۷ و ۱۹۹۷ توسط رینارد و همکاران تجدیدنظر گردد که به رابطه RUSLE2 موسوم است (۱۳ و ۱۴).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این معادله، A عبارت از مقدار فرسایش (تن بر هکتار در سال)، R: فاکتور فرساینده باران، K: قابلیت فرسایش خاک، L: فاکتور طول شیب، S: فاکتور درجه شیب، C: فاکتور کاربری و P: فاکتور عملیات حفاظتی است.

مدل RUSLE دارای پایه فیزیکی قوی‌تری نسبت به USLE که معادله‌ای تجربی است، بوده و برای اراضی غیر زراعی نیز قابل استفاده است. این مدل

خاک یکی از مهم‌ترین عناصر منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان یکی از چالش‌های جدی بشر در قرن ۲۱ مطرح است. آثار زیان‌بار ناشی از عدم توجه به کاربری صحیح اراضی (جنگل انبوه، جنگل نیمه انبوه، جنگل تنک، زراعی و غیره) واقع در یک حوزه آبخیز و سوء مدیریت سرزمین (همه سازمان‌های مرتبط مانند سازمان جنگل‌ها، جهاد کشاورزی و غیره) که روزبه‌روز در حال تشدید است، نهایتاً منجر به فرسایش و هدر رفت منابع ارزشمند خاک در بالادست و رسوب‌گذاری در پائین‌دست می‌شود و در نتیجه به بحرانی تبدیل می‌شود که سلامت سرزمین را به مخاطره خواهد انداخت. برخی از مشکلات مربوط به فرسایش خاک، شامل از دست دادن حاصلخیزی خاک سطحی، رسوب‌گذاری در دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، مخازن سدها، تشدید لغزش و رانش زمین، انسداد راه‌های ارتباطی و از دست دادن تنوع زیستی جانداران است (۱۰). عوامل مختلفی در فرسایش خاک مؤثرند. عوامل اقلیمی (بارش، تگرگ، برف، یخبندان، حرارت، باد)، عوامل خاکی (کاهش سرعت نفوذ آب، کاهش ظرفیت ذخیره آب خاک، کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک، بافت خاک، ساختمان خاک، کلوئیدهای خاک)، شیب زمین (درجه شیب، طول شیب، شکل شیب، جهت شیب)، پوشش گیاهی (ارتفاع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، مرحله رشد گیاه، پوشش سطحی و بستر خاک)، مدیریت کاربری اراضی (صدمه و قطع درختان و درختچه‌ها، چرای غیراصولی و بیش از ظرفیت دام، توسعه اراضی زراعی دیم)، مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرسایش به شمار می‌روند (۱۲). اثرات ناشی از فرسایش به شکل از بین رفتن خاک، کاهش سطح زیر کشت، کاهش حاصلخیزی خاک، از بین رفتن منابع

خرده مالکان در ساراواک اندونزی، در بررسی سه ناحیه (مزارع، باغات فلفل و جنگل محلی)، به این نتیجه رسیدند که در مزارع و باغات فلفل به ترتیب ۱۸ و ۳۵ درصد لایه فوقانی ۵ سانتی متری خاک و ۳۰ و ۴۰ درصد لایه زیرین خاک تا عمق ۳۰ سانتی متری، طی ۴۰ سال از بین رفته، در حالی که در منطقه جنگلی، خاک دست نخورده باقی مانده است؛ بنابراین پوشش جنگلی، حتی خراش جزئی سطح خاک به همراه بقایا و نخاله های محصولات، اثر فرساینده گی باران را کاهش داده و باعث حفاظت و جلوگیری از فرسایش می شود (۹). گومز و همکاران (۲۰۰۹)، در بررسی اثرات مدیریت خاک بر رواناب، فرسایش و خصوصیات خاک در یک مزرعه زیتون در کوردوبا واقع در جنوب اسپانیا، به این نتیجه رسیدند که سیستم بدون شخم نسبت به سیستم های شخم سنتی و سیستم تیمار محصول زراعی جو به همراه شخم سنتی بیشترین رواناب (۱۱/۹ درصد) و بیشترین فرسایش خاک ۶ تن در هکتار در سال را به همراه دارد (۱۰). رحمان و همکاران (۲۰۰۹)، در ارزیابی خطر فرسایش خاک با استفاده از سنجش از دور و GIS به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی یک عامل مهم برای کاهش فرسایش خاک است و افزایش پوشش گیاهی حتی در گرادیان ارتفاعی بالا و شیب و بارندگی بیشتر نیز باعث کاهش قابل ملاحظه فرسایش می شود (۱۱). اویانگ و همکاران (۲۰۱۰)، در بررسی فرسایش و رسوب گذاری خاک و ارتباط آن با پوشش گیاهی در بالادست رود زرد در منطقه کویینگ های فلات تبت چین، با استفاده از مدل RUSLE و نقشه شاخص پوشش گیاهی به این نتیجه رسیدند که بیشترین فرسایش در دوره های، تابستانه اتفاق می افتد؛ یعنی فرسایش تابع الگوهای تنوع اقلیم فصلی است. همچنین بین افزایش پوشش گیاهی و فرسایش خاک رابطه معکوس وجود دارد و نتایج، حاکی از تأثیر

علاوه بر فرسایش شیاری و ورقه ای سایر فرم های فرسایش را در برمی گیرد. از آنجاکه پارامترهایی نظیر عامل پوشش، در فرسایش پذیری خاک در مقیاس روز و ماهانه نیز تأثیر قابل توجهی دارند، تغییرات زمانی پارامترهای مؤثر در فرسایش خصوصاً تغییرات فصلی بارش نیز در این مدل در نظر گرفته شده است. به طور کلی تحقیقات زیادی در ارتباط با برآورد میزان فرسایش پذیری خاک در داخل و خارج کشور صورت گرفته که بیشتر بر مبنای مدل های تجربی و نیمه تجربی بوده که کمتر از فناوری سنجش از دور استفاده گردیده و در برخی تحقیقات، از داده های ماهواره ای با توان تفکیک زمینی پایین از جمله استفاده شده و کمتر داده های ماهواره ای با قدرت تفکیک زمینی بالا به کار گرفته شده است. کوخ - شرستا (۲۰۰۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره ای اقدام به پهنه بندی فرسایش و کاربری اراضی در حوزه خولا کشور نپال نمود و مقدار فرسایش خاک را به میزان ۱ تا ۴ تن در هکتار در سال در اراضی با کاربری کشاورزی و آبی و در کل ۱۲/۶ تن در هکتار در سال برآورد کرد (۳). تروپیانو (۱۹۸۳)، میزان فرسایش یک ساله خاک را در باغات انگور شمال ایتالیا، ۱۸۰ تن در هکتار برآورد نمود و به این نتیجه رسید که باغات انگور در مقایسه با سایر کاربری ها، به خاطر فاصله زیاد بین ردیف ها و حذف پوشش گیاهی، باعث بیشترین خسارات ناشی از فرسایش خاک می شوند (۱۵). مارکوئز و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی فاکتورهای مؤثر بر فرسایش به این نتیجه رسیدند که در کوتاه مدت، خصوصیات خاک و توپوگرافی می تواند به صورت دائم و پایا تأثیرگذار باشد، در حالی که پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی در بلندمدت باعث تأثیرات موقت و موضعی در فرایند فرسایش خاک می شود (۷). نیرگارد و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی فرسایش خاک در اثر تغییر کشت و سایر کاربری های زمین توسط

درصد و بالای ۷۵ درصد) در کاهش فرسایش خاک بررسی و به بحث گذاشته شود. تا استراتژی لازم جهت کاهش فرسایش خاک، در قالب مدیریت جامع که در درجه اول حفظ پوشش گیاهی موجود، به‌عنوان بهترین عملکرد برای حفاظت عرصه‌های طبیعی و حفاظت خاک است، تدوین گردد. هدف از این پژوهش عبارت‌اند از: تعیین اثر تراکم پوشش جنگلی بر فرسایش خاک طبق مدل RUSEL، بررسی ارتباط بین پوشش جنگلی با نقشه پوشش گیاهی حاصل از تصویر ماهواره‌ای حوزه، مدل‌سازی و یافتن ارتباط بین میزان فرسایش خاک و تراکم پوشش گیاهی از طریق تلفیق روش RSLE و داده‌های ماهواره‌ای SPOT و پیشنهاد کاربری‌هایی که به حفظ و تقویت پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خاک منجر شود.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** حوزه آبخیز چهل چای واقع در حوزه ۹۲ مینودشت (زیر حوزه بزرگ گرگان رود)، با مساحتی بالغ بر ۲۵۶۸۳/۱ هکتار، در طول جغرافیایی ۳۰°، ۲۲°، ۵۵° الی ۳۰°، ۳۷°، ۵۵° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰°، ۵۷°، ۳۶° الی ۱۵°، ۳۷° قرار دارد. این حوزه از شمال به شهر مینودشت، از غرب به ارتفاعات محمد زمان خان و دشت حلقه، از شرق به حوزه آبخیز رودخانه چهل چای و از جنوب به حوزه آبخیز تیل‌آباد محدود می‌گردد. این منطقه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب محدوده شهرستان مینودشت قرار گرفته است. در این حوزه ۲۵ روستا شامل بخش مرکزی مینودشت و دهستان چهل چای و قلعه‌قافه و کوهسارات قرار داشته که بالغ بر ۱۴۰۶۸ نفر از کل جمعیت بخش مرکزی مینودشت را شامل می‌شود (شکل ۱).

مطلق شیب بر فرسایش است، به‌نحوی که حتی مناطق با شیب تندتر، بیشتر در معرض فرسایش قرار دارند (۱۰). کفای و یوشینو (۲۰۱۰)، در ارزیابی اثرات اقتصادی خطر فرسایش خاک روی تولیدات کشاورزی با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و به‌کارگیری مدل RUSL، در یک حوزه آبخیز واقع در منطقه زاگولان کشور تونس، به‌این نتیجه رسیدند که اختلاف دوره‌های رویشی محصولات، بستگی به پوشش گیاهی دارد که در نتیجه فرسایش، در معرض تغییرات قرار می‌گیرد (۲).

در حوزه مورد مطالعه (حوزه آبخیز چهل چای)، نیز مطالعات زیادی در قالب شناسایی حوزه، مدیریت جامع، طرح‌های جنگلداری، طراحی سازه‌های کنترل سیل، شبیه‌سازی جریان رودخانه، بررسی عوامل اجتماعی و اقتصادی و پیش‌بینی سناریوهای مدیریتی، توسط مشاورین جهت کاهش فرسایش و رسوب حوزه، صورت پذیرفته و پایان‌نامه‌های متعددی نیز در این حوزه در دست مطالعه است. هم‌اکنون طرح مدیریت الگویی حوزه آبخیز چهل چای به‌عنوان پایلوت ملی از طرف سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در دست اقدام است. در این تحقیق سعی شده با استفاده از فن‌های نوین سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی که در مطالعات پوشش گیاهی جهت افزایش سرعت، صحت، دقت، کنترل و امکان تجزیه و تحلیل بالای داده‌ها اهمیت زیادی پیدا کرده است و همچنین استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SPOT5 که با توجه به قدرت تفکیک زمینی مناسب (۱۰×۱۰ متر)، در مطالعات پوشش گیاهی کاربرد زیادی دارند، میزان فرسایش برآورد شود. سپس پتانسیل فرسایش حوزه در ۵ طبقه شامل خیلی کم، کم، متوسط، بالا و شدید، طبقه‌بندی و میزان تأثیر تراکم طبقات پوشش جنگلی (شامل زیر ۵ درصد، ۵ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان.

Figure 1. Location of study area in the Golestan province of Iran.

هکتار (معادل  $1/4$  درصد) مرتع و اراضی جنگلی،  $8925/6$  هکتار (معادل  $34/8$  درصد) اراضی زراعی را شامل می‌شود که عمدتاً شیب‌دار می‌باشند. تیپ غالب جنگل‌های منطقه در بخش‌های فوقانی ممرز- بلوط و بلوط- ممرز و در بخش‌های پایینی بلوط- انجیلی، ممرز- انجیلی و ممرز- سایر گونه‌ها بوده که به دلیل حضور دام از وضعیت مطلوبی برخوردار نیست.

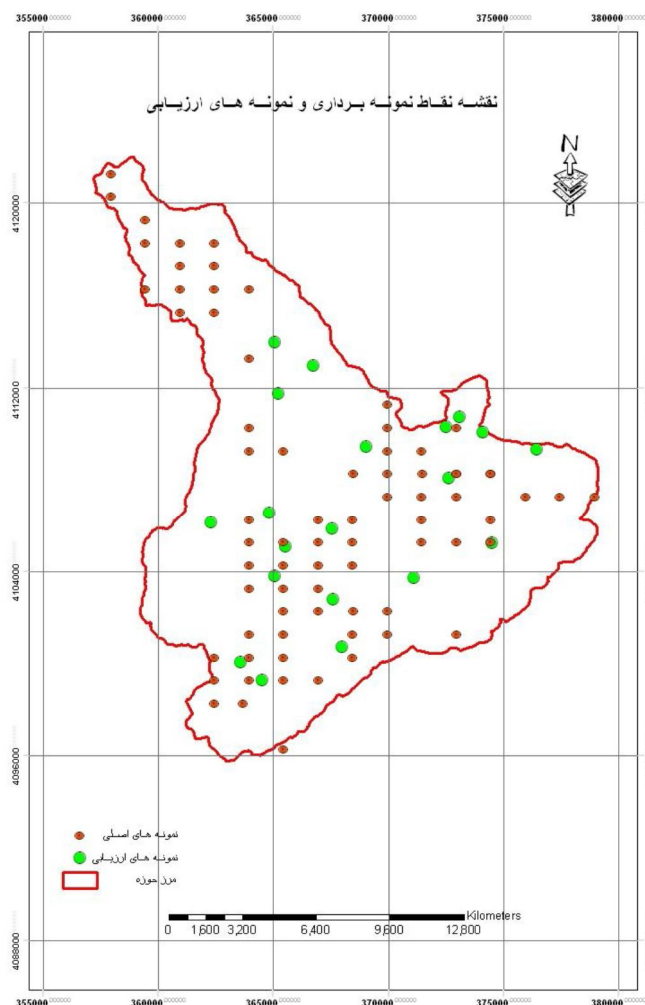
**روش مطالعه و داده‌های مورد استفاده:** در این تحقیق جهت نمونه‌برداری زمینی از روش نمونه‌برداری منظم تصادفی با شبکه آماری به ابعاد  $1000 \times 1500$  متر به شکل دایره و شعاع  $20$  متر استفاده شد و در مجموع تعداد  $96$  نمونه برداشت که تعداد  $20$  نمونه تصادفی به‌عنوان شاهد جهت ارزیابی صحت در نظر گرفته شده و از قطعات نمونه جدا گردید. سپس با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (با دقت  $3$  تا  $5$  متر) مرکز

نوع اقلیم منطقه نیمه‌خشک کوهستانی و حداقل ارتفاع از سطح دریا  $176$  متر و حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا  $2560$  متر است. میزان بارندگی سالانه در منطقه از  $243$  تا  $928/8$  میلی‌متر متغیر بوده و طبق آمار و ارقام، حدود  $90$  درصد بارش در منطقه مورد مطالعه به‌صورت باران بوده که البته در ارتفاعات و در بخشی از سال به‌صورت برف و در تابستان و فصول خشک به‌صورت رگباری می‌باشد. متوسط دمای سالیانه در نیمرخ ارتفاعی منطقه از  $15/3$  تا  $24/1$  متغیر است. ماه بهمن به‌عنوان سردترین ماه سال و ماه مرداد به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال در منطقه مورد مطالعه تعیین گردیده است. بافت خاک منطقه لومی رسی و درصد کربن آلی حدود  $2$  درصد می‌باشد (۵).

مساحت جنگل  $15693/8$  هکتار است که  $61/1$  درصد مساحت حوزه را شامل می‌شود،  $1063/7$

همچنین نوع و تراکم پوشش گیاهی، وضعیت کاربری فعلی جهت و درصد شیب ثبت و اندازه‌گیری شد.

قطعه‌نمونه ثبت و اطلاعات بافت خاک و درصد ماده آلی (در آزمایشگاه پس از انتقال نمونه‌های خاک) و



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Location of sample point in study area.

تصاویر مورد استفاده مربوط به سنجنده SPOT با مشخصات تصویری SPOT5 با قدرت تفکیک طیفی ۴ باند، قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، قدرت تفکیک رادیو متریک ۸ بیتی، با عرض محدوده برداشت (پنجره) ۶۰ کیلومتر و زمان اخذ تصاویر نوامبر ۲۰۰۹ بوده و از یک باند پانکروماتیک مربوط به سال ۲۰۰۷ با دقت زمینی ۲/۵ متر نیز جهت افزایش دقت استفاده شده است. جهت تعیین متوسط ماهیانه بارندگی از اطلاعات بارندگی دوره ۲۳ ساله از سال آماری

نمونه‌برداری صحرائی خاک با استفاده از استوانه‌ای به قطر ۶ و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر صورت گرفته است. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها جهت تعیین درصد شن، رس، سیلت و تعیین بافت خاک و درصد کربن آلی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. جهت تعیین بافت خاک از روش هیدرومتر بایوکاس (۱۹۶۲) و برای تعیین درصد کربن آلی خاک از روش والکی بلاک و رابطه ۳ استفاده شد:

$$OC\% = M \times 0.39 \times \left[ \left( \frac{V_1 - V_2}{S} \right) \right] \quad (3)$$

RUSLE و اقدامات مدیریتی (P) از طریق ارزیابی عملیات حفاظتی انجام شده در منطقه و ضرایب P جدول RUSLE، بر اساس رابطه ۴ و رابطه‌های زیر برآورد می‌گردد (۸ و ۱۸).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{رابطه (۴)}$$

رابطه R (۱۳):

رابطه (۵)

$$R = \frac{0.7397F^{1.847}}{1.72} \quad \text{when } F < 55\text{mm}$$

رابطه (۶)

$$R = \frac{95.77 - 6.081F + 0.4770F^2}{1.72} \quad \text{when } F \geq 55\text{mm}$$

رابطه (۷)

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{\sum_{i=1}^{12} pi}$$

که در آن رابطه Pi بارش ماهانه برحسب میلی‌متر و F ضریب اصلاح شده Fournier است.

۶۱-۶۰ لغایت ۸۴-۸۳ مورد استفاده قرار گرفته است. رابطه بین بارندگی متوسط ماهیانه با ارتفاع و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها محاسبه و سپس در محیط GIS درون‌یابی و پس از تطبیق لایه نقاط نمونه‌برداری، میزان بارندگی متوسط ماهیانه در محل نمونه‌ها استخراج و در فرمول شاخص فرساینده‌گی باران برای محاسبه فرسایش مورد استفاده قرار گرفته است.

در مدل RUSLE تخمین فرسایش خاک (A) با استفاده از شاخص فرساینده‌گی باران از طریق اطلاعات بارندگی چندین ایستگاه اطراف حوزه، عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از معادله ۸، عامل طول شیب (L)، عامل درجه شیب (S) از طریق فرمول مک کول و همکاران (۱۹۸۷) و یان و همکاران (۲۰۰۲) و همچنین مدل رقومی ارتفاع حوزه، عامل کاربری و پوشش اراضی (C) حاصل از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای SPOT5 و ضرایب C جدول

رابطه K (۱۷):

رابطه (۸)

$$K = \frac{\{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256sd(1 - Si/100)]\} \times [Si/(Cl + Si)]^{0.3} \times \{1 - 0.25C/[C + \exp(3.72 - 2.95C)]\} \times [1 - 0.7(1 - sd)/100]}{\{(1 - sd/100) + \exp[-5.51 + 22.9((1 - sd)/100)]\}}$$

رابطه S (۸ و ۱۸):

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03, \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

if  $\theta \leq 5^\circ$

$$S = 16.8 \sin \theta + 0.5, \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

if  $\theta > 5^\circ$

$$S = 21.91 \sin \theta - 0.96, \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

if  $\theta \geq 5^\circ$

پس از تعیین نوع و میزان ارتباط بین تراکم پوشش گیاهی با میزان فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از طریق اطلاعات زمینی بر اساس مدل RUSLE و انجام تصحیحات و پردازش‌های لازم مانند نسبت‌گیری (NDVI)، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و

که Sd، Si، Cl و C به‌ترتیب درصد شن، سیلت، رس و کربن را بیان می‌نماید.

رابطه L (۸):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \quad \text{رابطه (۹)}$$

که  $\lambda$  طول شیب بر حسب متر m طول شیب تشکیل شده از:

$$m = \frac{\beta}{(1+\beta)} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که  $\beta$  عبارت است از:

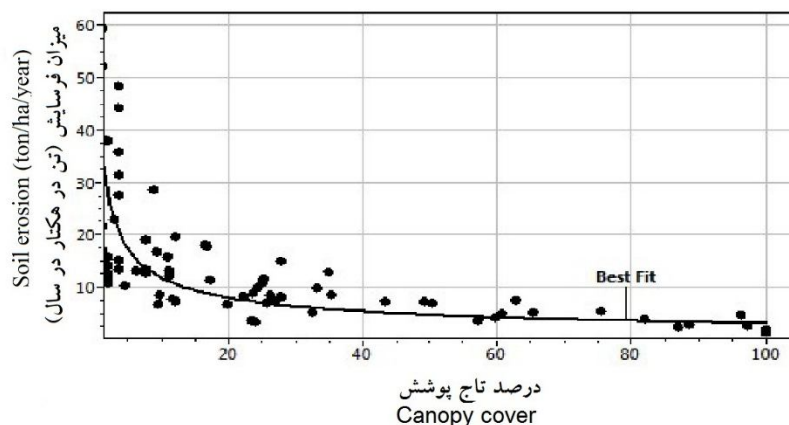
$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{[3 \times \sin \theta^{0.8} + 0.56]} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

می‌باشد. درصد کربن آلی خاک نیز ۱/۷۷ درصد برآورد شده است.

برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی **RUSLE** با استفاده از رابطه جهانی محاسبه هدر رفت خاک (**RUSLE**)، از حاصل ضرب کلیه ضرایب به‌دست‌آمده با استفاده از (معادله ۴)، مقدار فرسایش خاک در محل هر نمونه برآورد و سپس رابطه رگرسیونی بین فرسایش و درصد پوشش گیاهی برازش داده شد. نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون نشان داد که ترکیب توانی درصد تاج پوشش به‌عنوان متغیر مستقل و میزان فرسایش خاک به‌عنوان متغیر وابسته با ضریب تعیین ۶۱/۲ درصد بهتر توانست فرسایش خاک را برآورد نماید (رابطه ۱۵) (شکل ۳).

$$Y = 43.654X^{-0.565} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$Y$ : میزان فرسایش برحسب تن بر هکتار بر سال  
 $X$ : درصد تاج پوشش



شکل ۳- ابر نقاط و رابطه رگرسیونی توانی بین فرسایش و تاج پوشش.

Figure 3. Scatter plot of Canopy cover and Soil erosion.

تعیین ۷۰/۲ درصد بهتر توانست فرسایش خاک را برآورد نماید رابطه (۱۶) (شکل ۴) و نقشه میزان فرسایش حوزه برآورد و پتانسیل فرسایش خاک در ۵ طبقه، شامل خیلی کم (کمتر از ۷/۴۱۳ تن در هکتار در سال)، کم (بین ۷/۴۱۳ تا ۱۲/۳۵۵ تن در هکتار در

غیره بر روی تصاویر ماهواره‌ای SPOT5 و تعیین نوع و رابطه بین تراکم پوشش گیاهی با میزان فرسایش خاک، از طریق رابطه به‌دست‌آمده در محیط GIS، نقشه فرسایش خاک حوزه طبق این مدل تهیه گردید. سپس برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی از شاخص کاپا با استفاده از نمونه‌های ارزیابی استفاده شد.

### نتایج

**نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک:** نتایج آزمایشگاهی حاصل از تعداد ۷۶ نمونه خاک برداشت‌شده از مراکز شبکه آماری تا عمق ۲۰ سانتی‌متر، حاکی از میزان قابل‌توجه رس در نمونه‌های برداشت‌شده بوده، به‌نحوی که درصد رس، سیلت و شن، به‌ترتیب ۶۵/۰۱ درصد، ۲۱/۰۲ درصد و ۱۴/۸۷ درصد است. بافت خاک در ۸۵/۵۳ درصد نمونه‌ها لوم رسی، ۷/۸۹ درصد نمونه‌ها لوم شنی-رسی

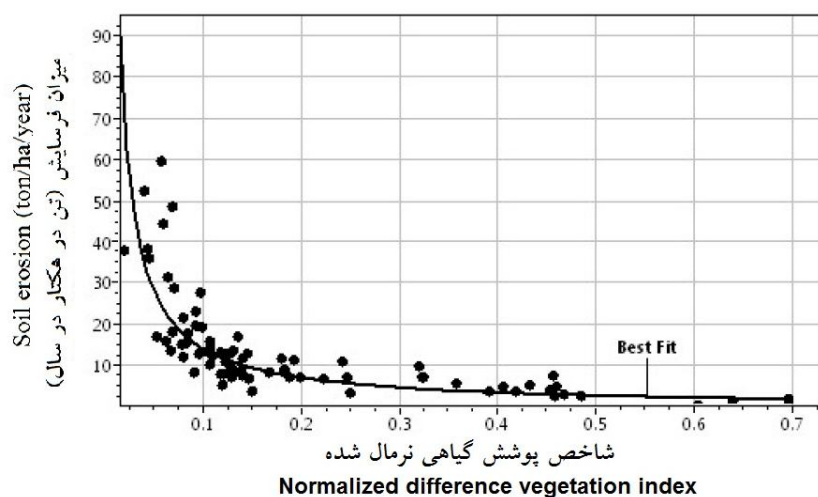
برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده **NDVI**: نتایج حاصل از آنالیز رگرسیونی نشان داد که ترکیب توانی شاخص پوشش گیاهی نرمال شده **NDVI**، به‌عنوان متغیر مستقل و میزان فرسایش خاک به‌عنوان متغیر وابسته با ضریب



$$Y = 1.4624X^{-0.982} \quad (16)$$

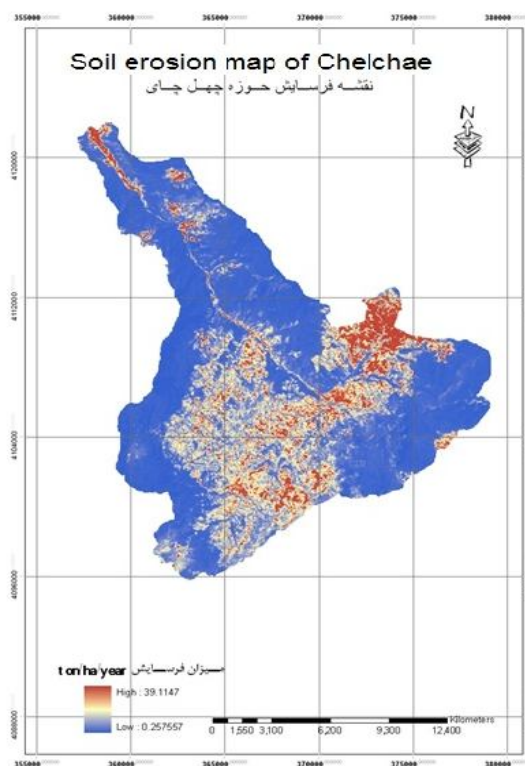
Y: میزان فرسایش برحسب تن بر هکتار بر سال X: مقدار شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI

سال)، متوسط (بین ۱۲/۳۵۵ تا ۲۴/۷۱ تن در هکتار در سال)، زیاد (بین ۲۴/۷۱ تا ۳۷/۰۶۵ تن در هکتار در سال) و شدید (بیشتر از ۳۷/۰۶۵ تن در هکتار در سال)، نیز تهیه شد که دامنه آن از ۰/۲۵۷ تا ۳۹/۱۱۵ تن در هکتار در سال متغیر است (شکل ۵ و ۶).



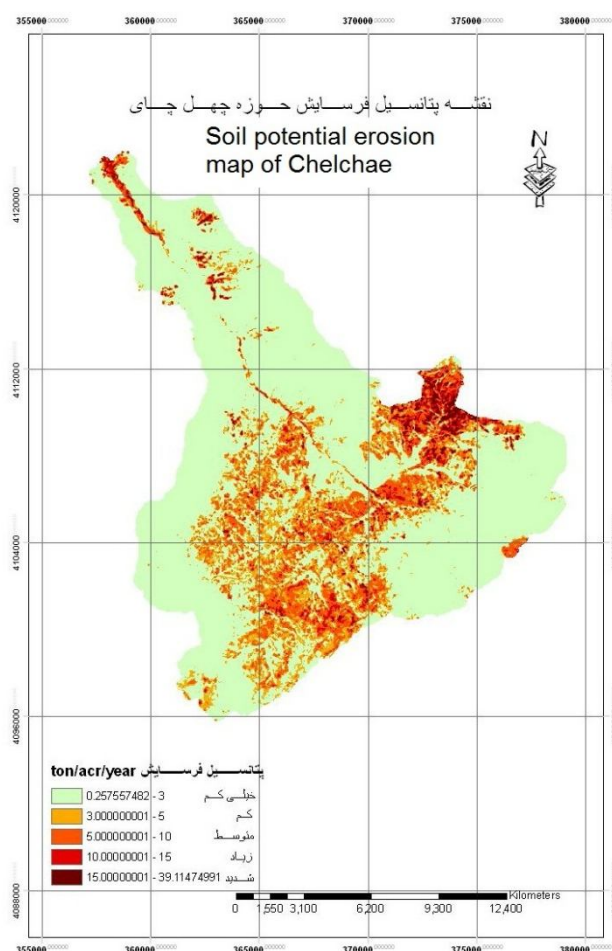
شکل ۴- ابر نقاط و رابطه رگرسیونی توانی بین فرسایش و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده.

Figure 4. Scatter plot of NDVI and Soil erosion.



شکل ۵- نقشه فرسایش خاک حوزه چهل چای.

Figure 5. Soil erosion map of Chelchae.



شکل ۶- نقشه پتانسیل فرسایش خاک حوزه چهل چای.  
Figure 5. Soil potential erosion map of Chelchae.

کل حوزه، ۶/۱۴۹ تن بر هکتار بر سال برآورد گردیده است. بیشترین مقدار فرسایش (۳۴/۶۸۳ تن بر هکتار بر سال) در طبقه پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد و کمترین مقدار فرسایش (۰/۲۶۸ تن بر هکتار بر سال) در طبقه پوشش گیاهی بالاتر از ۷۵ درصد برآورد شده است. نتایج حاصله بیانگر تأثیر قابل توجه پوشش گیاهی بر کاهش فرسایش خاک می‌باشد (جدول ۱).

میزان میانگین فرسایش، از روی ارزش وزنی پیکسل‌های نقشه‌های استخراجی از تصاویر ماهواره‌ای SPOT5، در طبقه پوشش گیاهی زیر ۵ درصد، ۱۴/۱۱ تن بر هکتار در سال برآورد گردیده که بحرانی محسوب می‌گردد. همچنین میانگین فرسایش در طبقات پوشش گیاهی ۵ درصد تا ۲۵ درصد، ۲۵ درصد تا ۵۰ درصد، ۵۰ درصد تا ۷۵ درصد و بالای ۷۵ درصد به ترتیب: ۶/۴۰، ۳/۴۰، ۱/۹۱ و ۰/۶۶ و در

جدول ۱- میانگین فرسایش برآورد شده حوزه بر اساس طبقات پوشش گیاهی و پتانسیل فرسایش.

Table 1. Mean soil erosion estimated based on vegetation class and soil potential erosion.

پتانسیل فرسایش متوسط Mean soil potential erosion	درصد وزنی فرسایش Erosion weight percent	فرسایش متوسط (t.ha <sup>-1</sup> .y <sup>-1</sup> ) Mean erosion	درصد سطح Area%	سطح (ha) Area	طبقه پوشش گیاهی Vegetation class	ردیف Num.
زیاد High	64.99	14.11	28.33	7277	< 5%	1
متوسط Moderate	19.81	6.696	19.04	4891	5%-25%	2
کم Low	9.18	3.403	16.59	4262	25%-50%	4
خیلی کم Very low	3.31	1.909	10.65	2735	50%-75%	5
خیلی کم Very low	2.72	0.366	25.38	6518	75%<	6
	100		100	25683		مجموع Sum

کاربری زمین (C) رابطه توانی معنی‌داری با ضریب تعیین ۷۳/۵ درصد وجود دارد (رابطه ۱۹).

$$Y = 63.07C^{0.653} \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

Y: میزان فرسایش برحسب تن در هکتار در سال  
C: عامل پوشش گیاهی و کاربری زمین

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، بیشترین مقدار فرسایش (۳۴/۶۸۳ تن بر هکتار بر سال) در طبقه پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد و کمترین مقدار فرسایش (۰/۲۶۸ تن بر هکتار بر سال) در طبقه پوشش گیاهی بالاتر از ۷۵ درصد برآورد شده است. نتایج حاصله بیانگر تأثیر قابل توجه پوشش گیاهی بر کاهش فرسایش خاک می‌باشد. همچنین تأثیر پوشش گیاهی زیر ۵ درصد بر فرسایش‌پذیری خاک شدید بوده و تأثیر پوشش‌های گیاهی کمتر از ۲۵ درصد، با توجه به میزان میانگین فرسایش و سطحی که در برمی‌گیرند نیز بسیار قابل توجه می‌باشد. میزان فرسایش در پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد بسیار کم می‌باشد؛ بنابراین حفظ وضع موجود در طبقات

نتایج حاصل از تأثیر خصوصیات خاک بر فرسایش

خاک: نتایج حاصل از بررسی تأثیر خصوصیات خاک شامل عامل قابلیت فرسایش (K)، درصد کربن آلی (OC) و عامل پوشش گیاهی و کاربری زمین (C) نشان داد که بین عامل قابلیت فرسایش خاک و فرسایش خاک رابطه مستقیم، مثبت و معنی‌داری با ضریب تعیین ۱۶/۹ درصد وجود دارد یعنی افزایش عامل قابلیت فرسایش خاک باعث افزایش فرسایش خاک می‌شود (رابطه ۱۷)

$$Y=235.1534K-23.00386 \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

Y: میزان فرسایش برحسب تن در هکتار در سال  
K: عامل قابلیت فرسایش خاک

همچنین نتایج نشان داد که بین درصد کربن آلی خاک و میزان فرسایش نیز یک رابطه نمایی کاهنده با ضریب تعیین ۳۰/۶ درصد وجود دارد (رابطه ۱۸).

$$Y = 22.68 \exp^{-0.5110C} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

Y: میزان فرسایش برحسب تن در هکتار در سال  
OC: درصد کربن آلی خاک

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که بین میزان فرسایش خاک و عامل پوشش گیاهی و

هکتار بر سال خواهد رسید و در پوشش گیاهی زیر ۵ درصد، حد بحرانی فرسایش از مرز  $34/683$  تن بر هکتار بر سال خواهد گذشت. لذا می‌توان ضمن اقدامات حفاظتی برای کل عرصه‌های جنگلی، اقدامات احیائی و توسعه‌ای را برای تقویت پوشش گیاهی زیر ۲۵ درصد انجام داد. با توجه به نتایج، فرسایش بیشتر در اراضی با پوشش گیاهی زیر ۲۵ درصد به‌ویژه اراضی کشاورزی که تراکم پوشش گیاهی و پوشش آسمانه حداقل است، اتفاق افتاده است.

با توجه به تحقیقات به‌عمل‌آمده توسط اویانگ و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از مدل RUSLE که مقدار NDVI کمتر از  $0/3$  را آستانه فرسایش اعلام نموده‌اند، نتایج این تحقیق نیز حاکی از افزایش شدید فرسایش در NDVI کمتر از  $0/3$  می‌باشد که تحت تأثیر سایر عوامل، فرسایش به‌شدت افزایش می‌یابد (۱۰)؛ بنابراین، این حد را می‌توان آستانه فرسایش در نظر گرفت. این حد بر اساس رابطه (۱۶)، معادل فرسایش  $7/1$  تن بر هکتار بر سال برآورد شده که معادل پوشش گیاهی زیر ۲۵ درصد خواهد بود. با این حساب حدود ۴۷ درصد حوزه در آستانه فرسایش قرار خواهد داشت که با نتایج تحقیقات به‌عمل‌آمده توسط اویانگ و همکاران (۲۰۱۰) که فرسایش را در اراضی کشاورزی بحرانی اعلام نموده‌اند، مطابقت دارد (شکل ۱۷) (۱۰). همان‌گونه که ذکر شد، نتایج عموماً یک شرایط مخاطره‌آمیز فرسایش متوسط تا شدید را در طبقه پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد، به نمایش گذاشت بر این اساس مناطق دارای پوشش جنگلی انبوه و نیمه انبوه دارای فرسایش خیلی کم (میانگین فرسایش  $0/66$  تا  $1/91$  تن بر هکتار بر سال) بوده، بنابراین حفظ پوشش گیاهی، بهترین عملکرد را برای حفاظت خاک و عرصه‌های طبیعی به دنبال دارد (۱). لذا با توجه به پتانسیل گرایش منطقه به سمت حداکثر فرسایش، حوزه نیاز به مداخله فوری و

پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد و تقویت پوشش گیاهی در طبقات پوشش گیاهی زیر ۵۰ درصد تأثیر زیادی در جلوگیری از فرسایش اهمیت بالایی خواهد داشت (شکل ۱۵). با توجه به شکل (۱۵) دامنه فرسایش در پوشش گیاهی زیر ۵ درصد از حداقل  $1/177$  تا حداکثر  $34/683$  تن بر هکتار بر سال متغیر و دامنه فرسایش در پوشش گیاهی بالای ۵۰ درصد از حداقل  $0/351$  تا حداکثر  $17/914$  تن بر هکتار بر سال متغیر بوده است. میانگین فرسایش نیز از  $0/658$  تا  $14/106$  متغیر می‌باشد. سیر نزولی منحنی میانگین و منحنی حداکثر فرسایش، در پوشش‌های بالای ۵۰ درصد نیز قابل توجه می‌باشد. روابط استخراج‌شده با ضریب تشخیص رگرسیونی مناسب و سطح معنی‌داری  $0/05$ ، حاکی از ارتباط قوی بین اثر پوشش گیاهی و کاهش فرسایش خاک می‌باشد. با توجه به استخراج رابطه رگرسیونی بین میزان فرسایش و مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI (رابطه ۱۶)، میزان فرسایش به ازای برخی مقادیر NDVI محاسبه گردیده است. نتایج حاکی از افزایش تصاعدی فرسایش خاک به ازای کاهش شاخص NDVI می‌باشد. این موضوع به‌خوبی بیانگر تأثیر قابل توجه افزایش میزان پوشش گیاهی در کاهش فرسایش‌پذیری خاک است.

بر اساس نتایج  $64/99$  درصد وزنی فرسایش در  $28/33$  درصد سطح منطقه اتفاق افتاده و عملاً نیز حدود ۸۵ درصد وزنی میانگین فرسایش حوزه در پوشش گیاهی زیر ۲۵ درصد قرار دارد. این در حالی است که در نتایج، میانگین فرسایش موردبحث قرارگرفته، حال آنکه فرسایش می‌تواند در هر طبقه پوشش گیاهی تا منحنی حداکثر و بیشتر نیز گرایش یابد. در این صورت حتی پوشش گیاهی بالای ۷۵ درصد نیز در صورت تخریب و تغییر کاربری، به حد بحرانی فرسایش در طبقه خود یعنی  $17/914$  تن بر

ضروری بر اساس استراتژی مدیریت جامع با اولویت کاربری‌هایی که به حفظ و تقویت پوشش گیاهی کمک نماید، دارد تا بدین ترتیب ضمن کاهش فرسایش خاک، از حوادث احتمالی ناشی از فرسایش سریع و غیرطبیعی که حوزه و ساکنان آن را تهدید می‌نماید، جلوگیری شود.

### منابع

- Gomez, J.A., Sobrinho, T.A., Giraldez, J.V., and Fereres, E. 2009. Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*. 102: 5-13.
- Kefi, M., and Yoshino, K. 2010. Evaluation of the economic effects of soil erosion risk on agricultural productivity using remote sensing: case of watershed in Tunisia. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38 (Part 8).
- Kokh-Sherstha, 2001. Soil erosion modelling using Remote Sensing and GIS, A case study Jhikhu khula watershed. Nepal. M. Tech. Andhra University, 78p.
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degrad. Dev.* 12: 519-539.
- Karimi Sangchini, E., Ownegh M., and Sadoddin A. 2001. Assessment of landslide hazard, risk in Chehel - Chay Watershed, Golestan Province, Iran. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 98: 74-84. (In Persian)
- Marques, M.J., Bienes, R., Jimenez, L., and Perez-Rodriguez, R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. *Rainfall simulation over USLE plots. Sci Total Environ*, 378(1-2): 161-5.
- Marques, M.J., Bienes, R., Jimenez, L., and Perez-Rodriguez, R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. *Rainfall simulation over USLE plots. Sci Total Environ*, 378(1-2): 161-5.
- McCool, D.K., Brown, L.C., and Foster, G.R. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 30: 1387-1396.
- Neergaard, A., Magid, J., and Mertz, O. 2008. Soil erosion from shifting cultivation and other smallholder land use in Sarawak, Malaysia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 125: 182-190.
- Ouyang, W., Hao, F., Skidmore, A.K., and Toxopeus, A.G. 2010. Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the Yellow River. *Total Environment*. 409: 396-403.
- Rahman, R., Shi, Z.H., and Chongfa, C. 2009. Soil erosion hazard evaluation—An integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies, *Ecological Modelling*. 220: 1724-1734.
- Refahi, H. 2009. Water erosion and conservation, Tehran university press, 688p. (In Persian)
- Renard, K.G., and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *J. Hydrology*, 174: 287-306.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook No. 703, USDA, Washington, DC, USA*. 404p.
- Tropeano, D. 1983. Soil-erosion on vineyards in the tertiary piedmont's basin (Northwestern Italy) studies on experimental areas. *Catena (Suppl. 4)*, 115-127.
- Whishmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide to soil conservation planning. *U.S Department of Agriculture, Agriculture handbook NO.537*.
- Williams, J.R., and Renard, K.G. 1983. A new method for assessing erosion's effects on soil productivity. *J. SoilWater Conserv.* 38: 381-383.
- Yuan, L.B., Keli, Z., and Yun, X. 2002. An empirical soil loss equation. In: *Proceedings of the 12th International Soil Conservation Organization Conference, Beijing, China, 26-31 May, 2002*.

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 24 (2), 2017  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Evaluation of soil erosion using imagery SPOT5 satellite in Chehel chi catchment of Golestan Province

\*S.H. Mousavinejad<sup>1</sup>, H. Habashi<sup>2</sup>, F. Kiani<sup>3</sup>, Sh. Shataee<sup>4</sup> and O. Abdi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduated, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept., of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>4</sup>Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>5</sup>M.Sc. Graduated, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 07/26/2014; Accepted: 05/30/2017

### Abstract

**Background and objectives:** Soil erosion is a natural processing that occurs on the earth continues and it is considered as one of the most important environment problems in the world. It has been presented different methods to estimate erosion rate including simple until complex methods. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is an experimental relation and it has a strong physical base compared the rest of experimental methods. This model that is revised of the USLE equation, include different erosion forms and some parameters such as land cover and rainfall in the daily and monthly scale effect on the erosion.

**Materials and methods:** Current research was done of forest cover and soil erosion relation between density and canopy of forest cover and soil erosion using RUSLE and SPOT5 imagery satellite at the Chelchai watershed in Minoodasht city. For this purpose, NDVI map is provided from SPOT5 imagery satellite after determination of erosion in the place of samples and finding relation between cover and erosion with SPSS software. Then soil erosion estimated with NDVI map in GIS environment. Soil erosion estimation was classified in five classes, including very low, low, moderate, high and server.

**Results:** Results indicated that dangerous condition of erosion moderate to severe in the low plant cover(less 5%), is average from 14.11 to 34.683 ton/ha/year. Meanwhile agricultural areas with 28.33 percentage of the total area, include more than 64.99 percentage of erosion, need to necessary designs.

**Conclusion:** According to results, the dense and semidence forest area, comprise very low erosion about 0.66 to 1.91 ton/ha/year, and showed that dense land cover is very efficient in soil conservation.

**Keywords:** Forest canopy, Soil erosion, SPOT5 imagery satellite, RUSLE model

---

\*Corresponding author: sh110mn@yahoo.com