

نشریه مرتع و آبخیزداری  
دوره ۶۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲  
۴۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲

## ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز وازرود، مازندران)

- ❖ جلال زندی\*: دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ محمود حبیب‌نژاد روشن: استاد گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- ❖ کریم سلیمانی: استاد مرکز RS و GIS دانشکده منابع طبیعی ساری

### چکیده

فرسایش خاک مسئله محیطی مهمی در حوزه آبخیز وازرود، واقع در بخش میانی مازندران، است. متأسفانه، این حوزه مانند بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب مجهز برای مطالعه و مدل‌بندی فرسایش خاک در سطح وسیع است. به منظور ارزیابی خطر فرسایش خاک مدل‌سازی فرسایش در مقیاس حوزه لازم‌الاجراست. در این مطالعه از مدل اصلاح‌شده فرسایش خاک جهانی (RUSLE) همراه با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) برای برآورد تلفات خاک و شناسایی نواحی حساس به فرسایش حوزه آبخیز وازرود استفاده شد. از مجموعه منابع داده‌ها (نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، و مشاهدات میدانی) برای به‌دست‌آوردن پارامترهای معادله اصلاح‌شده فرسایش خاک جهانی استفاده شد و برای تحلیل‌های بعدی به فرمت رستری وارد محیط GIS شده و به پنج طبقه - خیلی کم تا خیلی زیاد - طبقه‌بندی شد. بازدیدهای گسترده میدانی صورت‌گرفته صحت کلی (۹۰ درصد) نقشه خطر فرسایش و مدل مورد بررسی را تأیید کرد. نقشه خطر فرسایش خاک با نقشه‌های کاربری اراضی، ارتفاع، و شیب برای به‌دست‌آوردن ارتباط با عوامل محیطی و شناسایی نواحی خطر فرسایش قطع داده شد. بخش اعظم طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد در شیب‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه، ارتفاع ۱۱۸۰ تا ۲۱۸۰ متر از سطح دریا، و در اراضی لخت منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی مناسب را برای تصمیم‌گیران در اولویت‌بندی نواحی برای کاهش فرسایش در حوزه آبخیز وازرود امکان‌پذیر می‌کند. روش تلفیقی به‌کارگرفته‌شده در این مطالعه نسبتاً ساده، سریع، و صحیح و دارای پتانسیل اجرا برای سایر نواحی است.

واژگان کلیدی: اولویت‌های حفاظتی، حوزه آبخیز وازرود، خطر فرسایش خاک، GIS، RUSLE

## مقدمه

فرسایش خاک تأثیرات محیطی و ضررهای اقتصادی بسیار زیادی بر محصولات کشاورزی و ظرفیت مخازن سدها می‌گذارد و این موضوع مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و آلودگی آب اثر می‌گذارد [۹، ۱۵، ۱۶]. به‌علاوه، نتایج فرسایش به صورت تجزیه کربن خاک آلی و گسیل آن به اتمسفر به صورت CO<sub>2</sub> و CH<sub>4</sub> موجب پدیده گرمایش جهانی می‌شود [۹].

حوزه آبخیز وازرود، واقع در استان مازندران، با سطح معادل ۱۴۱۲۳ هکتار، به دلیل تأمین آب شهری و دارابودن ویژگی‌های توریستی و گردشگری اهمیت ویژه‌ای دارد. از سوی دیگر، به دلیل تبدیل کاربری اراضی جنگلی به کاربری‌های مسکونی و بهره‌برداری نادرست از زمین‌های کشاورزی، مانند ساختمان‌سازی، تأسیسات و جاده‌ها، و احداث معادن، بررسی وضعیت فرسایش در این حوزه امری اجتناب‌ناپذیر است. تحلیل و برآورد میزان فرسایش و رسوب، تهیه نقشه شدت فرسایش، بررسی عوامل خطر فرسایش، و ارائه راهکارهای مدیریتی - با توجه به روند فزاینده فرسایش خاک و مساحت وسیع اراضی و گاهی صعب‌العبور بودن مناطق - با کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی ضروری به نظر می‌رسد [۲۳]. همچنین، کاربرد این تکنیک‌ها از لحاظ اقتصادی به‌صرفه است و صحت قابل قبولی در نواحی وسیع ایجاد می‌کنند [۱۵]. در سال‌های اخیر نسل جدیدی از مدل‌ها با پایه فیزیکی، نظیر مدل WEPP [۱۳]، ANSWERS [۲]، و مدل فرسایش خاک اروپایی (EuroSEM) [۱۱]، برای توصیف و کمی‌کردن فرایندهای فرسایش توسعه پیدا کرده و به پارامترهای مختلفی نیازمند است. از مدل‌های تجربی، از قبیل PSIAC و مدل اصلاح‌شده آن (MPSIAC)، معادله

جهانی فرسایش خاک (USLE) [۲۷]، تخمین هدررفت خاک جنوب آفریقا (SLEMSA) [۴]، روش‌های مورگان و فینی [۱۲]، برای برآورد فرسایش و رسوب استفاده می‌شود. در میان این مدل‌ها USLE نخستین و مهم‌ترین مدل تجربی است؛ این مدل بر اساس چندین هزار داده آزمایشی، که از سرویس حفاظت خاک و تحقیقات کشاورزی ۳۷ ایالت آمریکا جمع‌آوری شده، توسعه یافته است. مدل اصلاح‌شده آن (RUSLE) [۲۰] برای ارزیابی فرسایش خاک در حوزه‌های وسیع و در کاربری‌های مختلف، از قبیل جنگل‌ها، مراتع و دیگر نواحی به‌کار می‌رود [۲۴].

معادله اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک [۲۰] مدل تجربی برآورد فرسایش خاک است که بر اساس معادله جهانی فرسایش خاک طراحی شده است. این مدل، علاوه بر اینکه می‌تواند با استفاده از داده‌هایی از قبیل خصوصیات فیزیکی حوزه و ایستگاه‌های هواشناسی میزان فرسایش خاک را برآورد کند [۲۰]، توزیع مکانی فرسایش خاک را نیز به‌خوبی میسر می‌سازد. چون بیشتر مدل‌های فرسایش خاک با متغیرهای مکانی و زمانی مختلفی در ارتباط است، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی آن را با هزینه‌ها و صحت قابل قبول در نواحی وسیع تسهیل می‌نماید. به دلیل سادگی در به‌کارگیری و سازگاری با GIS، از RUSLE اغلب به عنوان مدل تجربی فرسایش خاک در سراسر جهان استفاده می‌شود [۵، ۱۳، ۱۸]. محققان زیادی به بررسی و پهنه‌بندی نقشه خطر فرسایش خاک با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور پرداخته‌اند. برخی از این تحقیقات به شرح زیر است. اسدی و همکاران پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک را با استفاده از معادله جهانی تلفات

خاک اصلاح شده و ارتباط آن با متغیرهای مختلف محیطی از قبیل نوع پوشش/ کاربری اراضی، اختلاف ارتفاع از سطح دریا، شیب، و جهت شیب در این اکوسیستم حساس.

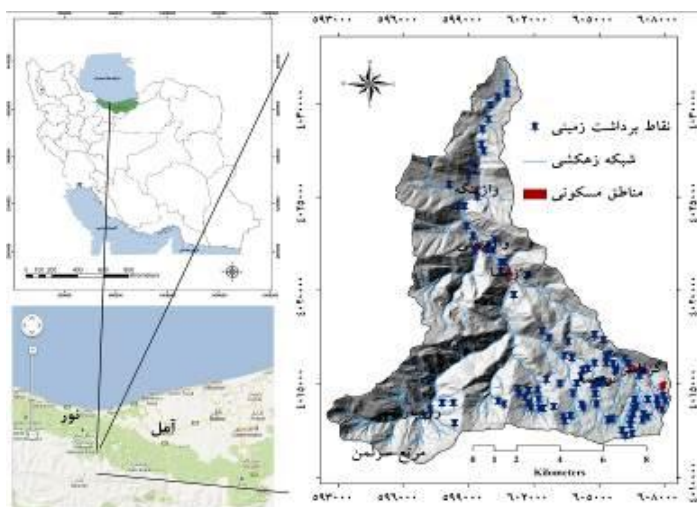
### روش شناسی

#### مشخصات جغرافیایی حوزه مورد مطالعه

حوزه آبخیز وازرود در عرض شمالی  $36^{\circ} 14' 26''$  تا  $36^{\circ} 25' 54''$  درجه و طول شرقی  $52^{\circ} 01' 46''$  تا  $52^{\circ} 12' 30''$  درجه قرار گرفته است. مساحت این حوزه  $14123$  هکتار و محیط آن  $72,32$  کیلومتر است. میانگین دمای سالیانه هوا  $10,6$  درجه سانتیگراد، متوسط حداکثرهای آن  $16,30$  درجه و متوسط حداقلهای آن  $4,9$  درجه است. بارندگی سالیانه به طور متوسط  $800$  میلی متر است. حوزه آبخیز وازرود از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان نور استان مازندران و در بخش میانی استان مازندران واقع شده است. شکل ۱ موقعیت استان مازندران و حوزه مورد مطالعه را نشان می دهد.

خاک اصلاح شده در حوزه ناورود استان گیلان انجام دادند و نتیجه گرفتند که مقادیر خطر فرسایش در سطح حوزه از صفر تا بیش از  $800$  تن در هکتار در سال متغیر است و با مقایسه نقشه پتانسیل خطر فرسایش و نقشه خطر فرسایش خاک نتیجه گرفتند که پوشش گیاهی نقش بسزایی در کاهش خطر فرسایش خاک حوزه دارد [۱]. فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب حوزه کابوای چین برای سالهای  $2001$  و  $2002$  با مدل MUSLE و کاربرد سنجش از دور و GIS ارزیابی و مشخص شد که نسبت تحویل رسوب در سال  $2002$  کمتر از سال  $2001$  بوده و مهم ترین دلیل آن کاهش فرساینده باران و مجموع رواناب بوده است [۳۰]. از مدل RUSLE و GIS به منظور برآورد تلفات خاک و پهنه بندی نواحی خطر فرسایش در حوزه رودخانه مائوتیانو چین و حفاظت و اتخاذ اقدامات مدیریتی استفاده شد [۱۸].

با توجه به اهمیت موارد ذکر شده، هدف از این مطالعه عبارت است از ارزیابی و پهنه بندی نقشه خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی فرسایش



شکل ۱. موقعیت حوزه مورد مطالعه در ایران و استان مازندران

### مواد مورد استفاده

در مطالعه حاضر، با توجه به اهداف تحقیق، از نقشه‌های رقومی شده توپوگرافی با فواصل خطوط میزان ۱۰ متر به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور، سنجنده TM به شماره ۱۶۴ گذر ۱۶۴ ردیف ۳۵ تاریخ چهارم سپتامبر ۲۰۱۰، داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، یک دستگاه GPS، و بسته‌های نرم‌افزاری ArcGIS v10 و Envi v4.7 استفاده شد.

### ارزیابی فرسایش خاک با مدل RUSLE

در این مطالعه از مدل RUSLE [۲۰] برای برآورد میانگین سالانه هدررفت خاک استفاده شد. محققان از این مدل به طور گسترده در حوزه‌های جنگلی و کشاورزی استفاده کرده‌اند [۲۴]. معادله RUSLE تابعی از ۶ فاکتور ورودی است: فرسایش‌دهی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب، مدیریت پوشش گیاهی، و عملیات حفاظتی. حساسیت خاک به فرسایش تابعی از خصوصیات خاک است و تغییر خصوصیات خاک با کاربری اراضی و توپوگرافی در ارتباط است [۱۷].

مدل RUSLE در محیط GIS برای برآورد میانگین هدررفت سالانه خاک و توزیع آن در منطقه مورد مطالعه بهره‌گیری شد. معادله RUSLE (معادله ۱) هدررفت خاک را با ۶ فاکتور، که مقادیر آن در نواحی مشخص می‌تواند به صورت عددی بیان شود، برآورد می‌کند. مقادیر این فاکتورهای فرسایشی تا حد زیادی از یک رگبار به رگبار دیگر متفاوت است، اما می‌توان امیدوار بود که، در نهایت، تأثیرات این نوسانات به میانگین برسد. بنابراین، RUSLE برای پیش‌بینی میانگین بلندمدت مناسب است [۱۷]. در

مدل RUSLE، میزان هدررفت خاک با رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

که در آن A میانگین هدررفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال) است؛ R فاکتور فرسایش‌دهی باران (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)؛ K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (t ha h MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)؛ L طول شیب؛ S درجه شیب؛ C فاکتور مدیریت پوشش گیاهی؛ P فاکتور اقدامات حفاظتی. فاکتورهای L، S، C، و P بدون بُعد هستند.

### فاکتور فرسایش‌دهی باران (R)

پتانسیل باران در ایجاد فرسایش «فرسایش‌دهی باران» خوانده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی، و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است [۲۷]. به دلیل فقدان ایستگاه‌های ثبات بارندگی در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی ایران، کاربرد معادله فرسایش‌دهی [۲۰] برای شرایط اکثر حوزه‌های ایران امکان‌پذیر نیست. برای تعیین شاخص فرسایش‌دهی ایستگاه‌هایی که باران سنج معمولی دارند، نخست در ۸ ایستگاه دارای باران سنج ثبات موجود در شمال ایران، با استفاده از برنامه رایانه‌ای تهیه شده به زبان کوئیک بیسیک، مقادیر انرژی جنبشی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای هر یک از باران‌های مورد نظر و همچنین مقدار R هر یک از باران‌های فوق برآورد شد [۲۸]. بنابراین، برای برآورد شاخص فرسایش‌دهی در مناطق بدون آمار باران‌نگار ثبات (۶ ایستگاه موجود در حوزه و اطراف آن) از رابطه رگرسیونی ما بین شاخص میانگین سالانه بارندگی و شاخص فرسایش‌دهی استفاده شد (رابطه ۲).

رخ‌نمون سنگی از تصویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد و به کمک شاخص NDVI مقادیر کمتر از ۰/۱۵ این شاخص به عنوان نواحی سنگی در نظر گرفته شد و به آن مقدار صفر اختصاص یافت [۱].

### فاکتورهای توپوگرافی L و S

فاکتورهای توپوگرافی شامل طول شیب (L) و درجه شیب (S) است. مقدار فرسایش با افزایش طول شیب افزایش می‌یابد [۲۰، ۲۷]، چون آب در مسافت بیشتری حرکت می‌کند و حجم رواناب نیز بیشتر می‌شود و مواد زیادتری با خود حمل می‌کند و فرسایش افزایش می‌یابد [۱۱]. فاکتورهای L و S با همدیگر اثر طول، تندی، و شکل شیب را بر تولید رسوب نشان می‌دهند [۱۷]. برآورد میدانی طول شیب بسیار وقتگیر و طاقت‌فرساست. روش مورد استفاده در این مطالعه برای به‌دست‌آوردن فاکتور LS برنامه‌ای است که نخست به زبان برنامه‌نویسی آرک ماکرو (AML) نوشته شده [۶] و در سال ۲۰۰۴ با زبان برنامه‌نویسی C++ به‌روز شده و از طریق وب‌سایت <http://www.iamg.org> قابل دانلود است. برنامه به صورت خودکار از مدل رقومی ارتفاع (DEM) به عنوان ورودی برای اجرای محاسبات فاکتور LS استفاده می‌کند [۲۵]. دستور محاسبه فاکتور L بر اساس رابطه (۵) است [۲۷]. فایل اجرایی برنامه C++ طول شیب تجمعی را محاسبه می‌کند و مقادیر آن را جایگزین  $\lambda$  می‌نماید (رابطه ۵).

توان  $m$  در این رابطه در ارتباط با متغیر  $\beta$  است که نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری است. روش محاسبه توان  $m$  توسط رابطه ۶ ارائه شده است.

$$R = -8.12 + 0.562P \quad (۲)$$

P میانگین سالانه بارندگی بر حسب میلی‌متر است. برای تعیین مقدار فاکتور R در این مطالعه، داده‌های میانگین بارندگی سالانه حداقل ۲۰ سال (۱۳۶۵-۱۳۸۵) از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در حوزه و مجاور حوزه استفاده شد. با بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی ArcGIS 10، روش درونیابی Spline برای تعمیم داده‌های بارش نقطه‌ای به کل حوزه استفاده شد (شکل ۲ الف).

### فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)

فرسایش ناشی از ضربه قطرات باران به سطح خاک یا پاشمان خاک با شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن رابطه مستقیم دارد و با میزان رس موجود در خاک رابطه‌ای معکوس دارد [۱۹]. با نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری تیپ‌های مختلف نقشه خاک‌شناسی حوزه [۲۲] و در مجموع در ۸۰ نقطه مقادیر فرسایش‌پذیری خاک (K) با استفاده از فرمول ارائه شده [۲۰] در هر تیپ نقشه خاک‌شناسی محاسبه شد (رابطه‌های ۳ و ۴). اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتر و با قرائت کامل انجام گرفت. در نهایت، نقشه رستری فاکتور فرسایش‌پذیری خاک حوزه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۲ ب).

$$K = 7.594 \left\{ 0.0034 + 0.0405 \exp \left[ -1/2 \left( \frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \right\} \quad (۳)$$

$$D_g = \exp(0.01 \sum f_i \ln m_i) \quad (۴)$$

که در این رابطه  $D_g$  میانگین هندسی قطر ذرات خاک است [۲۱]؛  $m_i$  میانگین هندسی اندازه ذرات خاک (در کلاس  $i$  تیپ نقشه خاک‌شناسی)؛  $f_i$  درصد شکستگی ذرات در کلاس  $i$  [۱۸]. برای اصلاح

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (5)$$

$$m = \frac{\beta}{(\beta+1)} \text{ and } \beta = \frac{\left( \frac{\sin \theta}{0.0896} \right)}{3 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (6)$$

NDVI و فاکتور C، معادله همبستگی بین آنها به دست آمد و به عنوان معادله تبدیل استفاده شد (رابطه ۸). نمودار ۱ ارتباط بین C و NDVI را با نمودار معادله رگرسیونی نشان می‌دهد. R ضریب تحلیل همبستگی است. برای استخراج NDVI از باندهای ۳ و ۴ تصویر سنجنده TM تاریخ ۲۰۱۰/۶/۴ و رابطه ۷ بهره‌گیری شد.

$$NDVI = \left( \frac{b4 - b3}{b4 + b3} \right) \quad (7)$$

در نهایت، توزیع مکانی مقادیر فاکتور C حوزه با استفاده از معادله تبدیل به دست آمد و تحلیل‌های مکانی نرم‌افزار ArcGIS 10 معین شد (شکل ۲ ت).

### فاکتور عملیات حفاظتی (P)

فاکتور عملیات حفاظتی خاک (P) نسبت هدررفت خاک را از بالادست و پایین‌دست سطح شیب‌داری، که اقدامات حفاظتی در آن انجام گرفته است، به کرت استاندارد بیان می‌کند [۲۷]. اقدامات حفاظتی خاک اعمالی است از قبیل کشت در خطوط تراز، کشت نواری، احداث تراس‌ها، حوضچه‌های رسوب‌گیر، بانکت‌بندی، مالچ‌پاشی، و زه‌کش زیرسطحی. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه هیچ گونه اقدام حفاظتی صورت نگرفته است، عدد ۱ برای فاکتور P در کل منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد.

### تهیه نقشه فرسایش خاک

فاکتورهای مختلف مدل به فرمت رستری و اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر و سیستم مختصات یکسان تبدیل

توزیع مکانی فاکتور LS در شکل ۲ پ نشان داده شده است.

### فاکتور مدیریت پوشش اراضی (C)

فاکتور پوشش / پوشش گیاهی C یک شاخص کمی از میزان حفاظت در برابر فرسایش توسط پوشش گیاهی است. مقادیر C به نوع پوشش گیاهی، مرحله رشد، و درصد پوشش بستگی دارد و تغییرات آن بین ۰ تا ۱ است. روش مرسوم برای برآورد فاکتور C اختصاص دادن مقادیر C به هر کاربری اراضی است، که اغلب از طریق طبقه‌بندی نظارت شده یا بدون نظارت داده‌های سنجنده از دور به دست می‌آید [۳، ۷، ۱۴]. از آنجایی که در این روش به تمام پیکسل‌های موجود در یک کلاس پوشش گیاهی مقادیر فاکتور C یکسان اختصاص می‌یابد، تغییرات پیکسل‌های کلاس پوششی را نمی‌توان نشان داد [۸، ۲۶]. روش‌های مختلفی با هدف برآورد فاکتور C با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) برای ارزیابی هدررفت خاک با USLE/ RUSLE توسط محققان مختلف توسعه داده شده است [۱۰، ۱۱، ۲۶]. نمونه‌برداری از کلاس‌های پوششی مختلف حوزه به منظور برآورد فاکتور C در ۲۰ نقطه به صورت تصادفی انجام گرفت و مختصات آنها با GPS ثبت شد. مقادیر فاکتور C مشاهداتی، با توجه به نوع پوشش / کاربری منطقه مورد مطالعه، در اراضی جنگلی متراکم و نواحی بدون فرسایش، صفر و نزدیک به ۰ و در اراضی با فرسایش‌پذیری بالاتر شامل مراتع تخریب‌یافته و نسبتاً لخت تا ۰/۳۵ اختصاص یافت. با فرض خطی بودن همبستگی بین

کم تا متوسط قرار گرفت و مناطق واجد شیپارها و آبراهه‌های فرسایشی در طبقه زیاد و مناطق با شیپارها و آبراهه‌های عمیق و دامنه‌های لغزشی در طبقه خیلی زیاد جای گرفت. از این نقاط برای اعتبارسنجی نقشه خطر فرسایش استفاده شد.

## ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک با عوامل

### محیطی

به منظور به‌دست‌آوردن ارتباط بین فرسایش خاک و فاکتورهای محیطی، نقشه‌های ارتفاع و شیب با استفاده از DEM تهیه شد و نقشه پوشش/کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM سال ۲۰۱۰ استخراج شد. برای تهیه این نقشه مختصات ۴۰ نمونه تعلیمی از پوشش/کاربری‌های مختلف جمع‌آوری شد. نقشه پوشش/کاربری اراضی تهیه‌شده از تصویر سنجنده TM (دقت مکانی ۳۰ متر) دارای اندازه سلول مشابه با نقشه فرسایش خاک بود و سیستم مختصات یکسانی به آن اختصاص یافت (شکل ۵). سپس، برای آنالیز توزیع مکانی فرسایش خاک و شناسایی نواحی خطر فرسایش حوزه آبخیز به ترتیب با نقشه‌های پوشش/کاربری طبقات ارتفاعی، شیب، و جهت در محیط GIS قطع داده شد.

### نتایج

#### نتایج حاصل از فاکتورهای RUSLE

جدول ۱ مقادیر فاکتورهای R، K، LS، C، و P را نشان می‌دهد.

شد. سپس، لایه‌ها به کمک الحاقیه Spatial Analyst برنامه ArcGIS 10 در همدیگر ضرب شد (رابطه ۱) و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) (تن در هکتار در سال) بر اساس سلول به سلول به‌دست آمد (شکل ۲ ج). با توجه به برداشت‌های واقعیات زمینی، که از طریق بازدید میدانی به عمل آمد، نقشه مقدار فرسایش خاک به پنج کلاس فرسایشی-خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد-طبقه‌بندی شد و توزیع مکانی هدررفت خاک منطقه مورد مطالعه مشخص شد (شکل ۲ ث).

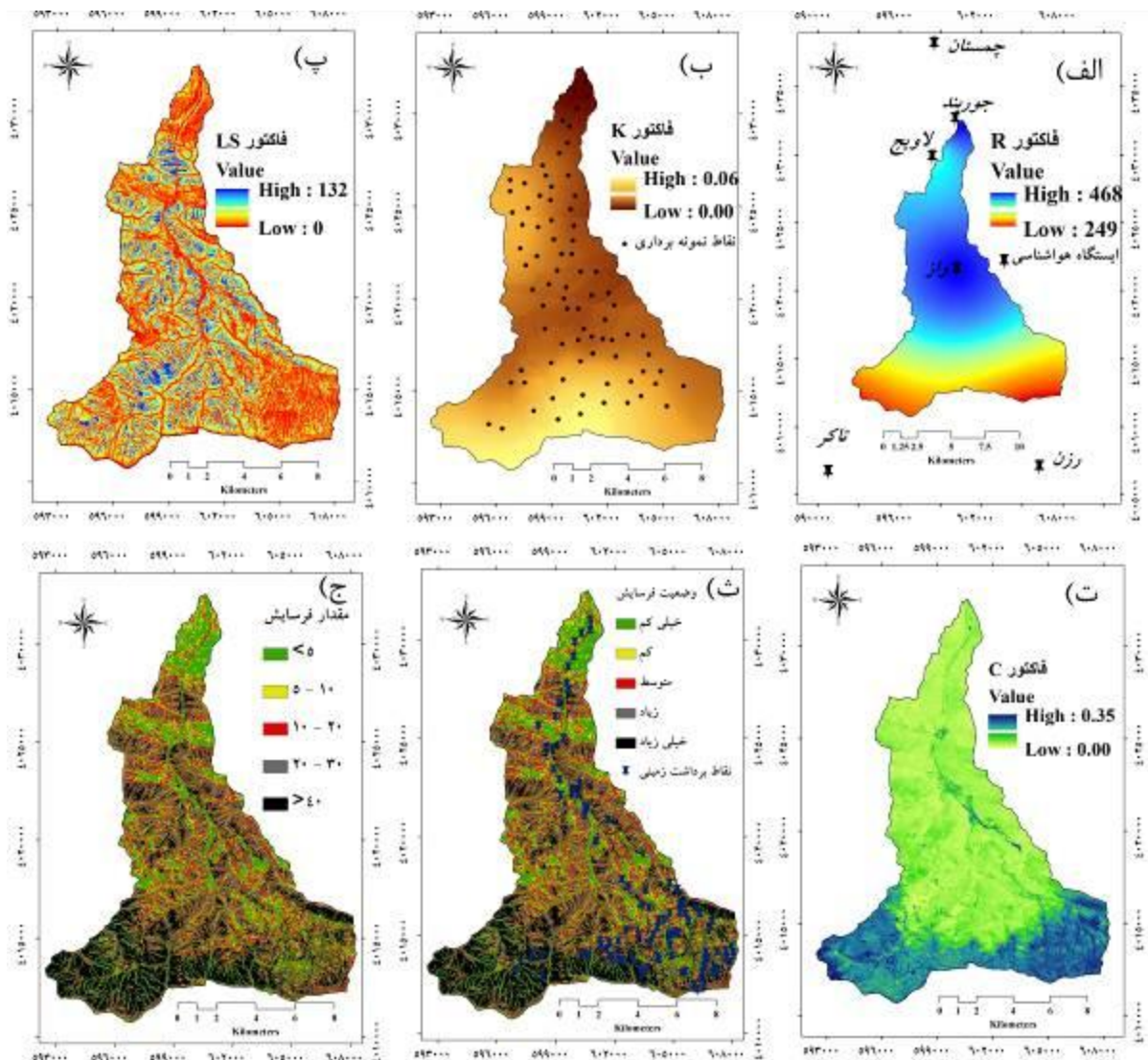
### صحت‌سنجی

صحت‌سنجی از طریق تقسیم تعداد نمونه‌های صحیح برداشت‌شده بر کل نمونه‌ها به‌دست می‌آید [۲۹]. در مجموع، ۱۰۰ موقعیت زمینی مشاهداتی به صورت کیفی از خطر فرسایش، که انواع کاربری اراضی‌های مختلف حوزه را پوشش می‌داد، به صورت تصادفی و به وسیله GPS برداشت شد. ۲۰ نمونه از اراضی جنگلی، ۲۰ نمونه از اراضی مرتعی، ۲۰ نمونه از مراتع مشجر، و ۴۰ نمونه از اراضی لخت و مناطق مسکونی با سیستم موقعیت‌یاب جهانی GPS (دقت مکانی  $\pm 3$  متر) ثبت و عکس‌برداری شد. مناطقی که در آن آثار فرسایشی مشهودی وجود نداشت (دامنه‌های منظم) در دسته مناطق با خطر فرسایش خیلی کم قرار گرفت، در صورت وجود آثار فرسایش سطحی از قبیل شسته‌شدن خاک سطحی و جمع‌شدن خاک در پای بوته‌ها و پشت سنگ‌ها در طبقه خطر

ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی ...

جدول ۱. مقادیر فاکتورهای R، C، LS، K، و P

	فاکتور R	فاکتور K	فاکتور LS	فاکتور C	فاکتور P
حداکثر	۴۶۸	۰٫۰۶	۱۳۲	۰٫۳۵	۱
حداقل	۲۴۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰۱	۰	۱
میانگین	۳۸۲	۰٫۰۴۸	۱۵٫۰۳	۰٫۱۱	۱
انحراف معیار	۵۸٫۷۳	۰٫۰۰۵	۱۴٫۶۲	۰٫۰۸	۰



شکل ۲. توزیع مکانی فاکتورهای الف: فرسایندهای باران (R); ب: فاکتور فرسایش پذیری خاک (K); پ: فاکتورهای توپوگرافی (LS); ت: فاکتور پوشش گیاهی (C); ث: طبقات حساسیت به فرسایش و محل نقاط نمونه برداری؛ ج: تلفات سالانه خاک (تن در هکتار در سال)



## هدررفت سالانه خاک

متوسط هدررفت سالانه خاک حوزه آبخیز وازرود از طریق محاسبات هم‌پوشانی پنج نقشه فاکتورهای RUSLE به وسیله نرم‌افزار ArcGIS 10 محاسبه شد. همان گونه که در شکل ۲ ج دیده می‌شود، متوسط هدررفت سالانه خاک منطقه بین ۱۵ و ۱۶۲ تن در

هکتار در سال بوده و میانگین آن ۲۶ تن در هکتار در سال است. با توجه به تغییرات مکانی فرسایش، بخش‌هایی از جنوب غربی حوزه بیش از ۲۰۰ تن در هکتار در سال فرسایش دارد که بیشتر از سایر نواحی بوده و با فقدان پوشش گیاهی و شیب زیاد این ناحیه مرتبط است.

جدول ۲. سطح و مقدار تلفات خاک از هر طبقه خطر فرسایش

طبقه فرسایش	دامنه مقادیر (تن در هکتار در سال)	سطح (هکتار)	درصد سطح (%)	کل هدررفت خاک (x10 <sup>۴</sup> تن در سال)	درصد هدررفت خاک
خیلی کم	۵ >	۳۷۹۲٫۶۶	۲۶٫۹۳	۰٫۷۸	۰٫۶۲
کم	۵ - ۱۰	۱۴۳۵٫۸۴	۱۰٫۱۹	۷٫۸۴	۵٫۹۰
متوسط	۱۰ - ۲۰	۲۵۲۷٫۱۳	۱۷٫۹۴	۱۴٫۷۸	۱۱٫۶۵
زیاد	۲۰ - ۴۰	۳۲۷۴٫۸۵	۲۳٫۲۵	۲۸٫۰۷	۲۲٫۱۳
خیلی زیاد	۴۰ <	۳۰۵۰٫۸۱	۲۱٫۶۷	۷۵٫۷۳	۵۹٫۷۰

طبقات فرسایش و طبقه‌بندی مقادیر فرسایش بر اساس بازدیدهای گسترده میدانی از منطقه مورد مطالعه، بررسی عکس‌های هوایی، و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث صورت گرفته است

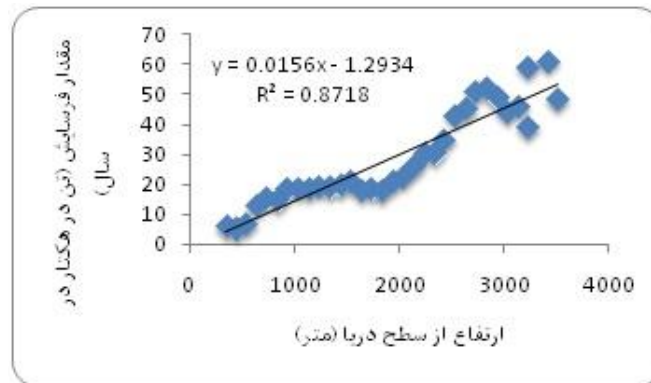
## ارزیابی نقشه خطر فرسایش

صحت نقشه خطر فرسایش از طریق مقایسه نمونه‌های برداشت‌شده از مشاهدات میدانی گسترده منطقه مورد مطالعه با نقشه خطر فرسایش به‌دست آمد. با مقایسه موقعیت مکانی مشاهدات کیفی برداشت‌شده با نقشه حساسیت خطر فرسایش سال ۲۰۱۰، صحت کلی ۹۰ درصد به‌دست آمد که در انواع کاربری‌های اراضی متفاوت بود: ۹۰ درصد در اراضی جنگلی، ۹۵ درصد در اراضی لخت و مناطق مسکونی، ۸۰ درصد در اراضی مرتعی مشجر، و ۹۰ درصد در اراضی مرتعی. نقشه خروجی نشان‌دهنده توزیع مکانی مقدار تلفات خاک (شکل ۲ ث) به پنج طبقه تقسیم شد (جدول ۲).

## ارزیابی تغییرات خطر فرسایش با عوامل

## محیطی

ارتباط بین مقدار فرسایش خاک و ارتفاع در حوزه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش ارتفاع میزان تلفات خاک در منطقه مورد مطالعه افزایش داشته است که این واقعیت را آشکار می‌کند که بین خصوصیات توپوگرافی و فرسایش خاک در حوزه آبخیز وازرود رابطه نزدیکی وجود دارد، بنابراین، اجرای اقدامات حفاظتی در نواحی بالادست و به‌خصوص ارتفاع ۱۱۸۰ تا ۲۱۸۰، که ۴۵ درصد سطح فرسایش منطقه را شامل می‌شود، ضروری است.



شکل ۳. تغییرات مقدار فرسایش با ارتفاع

کمتر از ۶ درجه و بالاتر از ۴۵ درجه قرار دارد و طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد بیشتر در ناحیه شیب‌های ۲۵ تا ۴۵ درجه جای دارد که بیشترین تلفات خاک را ایجاد می‌کند و مشکل فرسایش در آن جدی است، بنابراین، اقدامات حفاظتی برای کنترل فرسایش خاک در این نواحی حائز اهمیت است.

بررسی فرسایش خاک در طبقات شیب (جدول ۳) نشان می‌دهد که ۱۸٫۱ درصد از طبقات فرسایشی زیاد و خیلی زیاد در شیب بین ۲۵ تا ۳۵ درجه قرار دارد. درصد مساحت تحت اشغال این کلاس شیب نیز ۳۲٫۳۰ درصد از کل منطقه است. بیشتر فرسایش‌های کم و خیلی کم در طبقه شیب

جدول ۳. درصد مساحت طبقات خطر فرسایش در کلاس شیب

درجه شیب	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	مجموع
۶ >	۲٫۲۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰	۰	۲٫۲۷
۶-۱۵	۸٫۸۲	۲٫۳۵	۱٫۹۰	۱٫۰۲	۰٫۲۱	۱۴٫۳۰
۱۵-۲۵	۷٫۳۳	۳٫۴۸	۵٫۲۱	۵٫۰۲	۳٫۹۷	۲۵٫۰۱
۲۵-۳۵	۵٫۳۸	۲٫۸۰	۶٫۰۱	۸٫۶۷	۹٫۴۳	۳۲٫۳۰
۳۵-۴۵	۲٫۷۸	۱٫۴۳	۴٫۳۵	۷٫۷۳	۶٫۹۶	۲۳٫۲۵
۴۵ <	۰٫۳۵	۰٫۱۱	۰٫۴۸	۰٫۸۳	۱٫۱۱	۲٫۸۷
مجموع	۲۶٫۸۸	۱۰٫۲۰	۱۷٫۹۶	۲۳٫۲۷	۲۱٫۶۸	۱۰۰

فرسایش متوسط تا خیلی زیاد دارد. اراضی جنگلی تأثیر بسیار زیادی در حفاظت خاک دارند و ۴۴٫۵۷ درصد آن‌ها خطر فرسایش کم و خیلی کم دارند. مراتع مشجر و اراضی مسکونی نیز مشکل فرسایش جدی ندارند. ۴۳٫۱۸ درصد اراضی مرتعی مشجر و فقط ۲۶ درصد اراضی مسکونی در طبقه فرسایشی زیاد و خیلی

نقشه فرسایش خاک با نقشه پوشش / کاربری اراضی قطع داده شد و توزیع طبقات خطر فرسایش خاک در پوشش / کاربری اراضی‌های متفاوت بررسی شد (جدول‌های ۴ و ۵ و شکل ۴ الف). نتایج نشان داد ۲۸٫۲۲ درصد از اراضی مرتعی دارای خطر فرسایش کم و خیلی کم است و ۷۱٫۷۸ درصد نیز خطر

فرسایش ویژه، که نسبت فرسایش در پوشش / کاربری به سطح پوشش / کاربری است، در اراضی لخت بالاترین مقدار (۱/۷۳) را به خود اختصاص داده است و پس از آن اراضی مرتعی با فرسایش ویژه (۱/۴۲) بیشترین تلفات خاک را ایجاد می‌کنند (جدول ۵ و شکل ۴ ب).

زیاد قرار دارند. اراضی لخت و مرتعی بالاترین سطح خطر فرسایش را دارند، به ترتیب ۷۳/۹۱ درصد و ۷۱/۷۸ درصد که از خطر فرسایش متوسط تا خیلی زیاد متفاوت است (شکل ۴ الف).

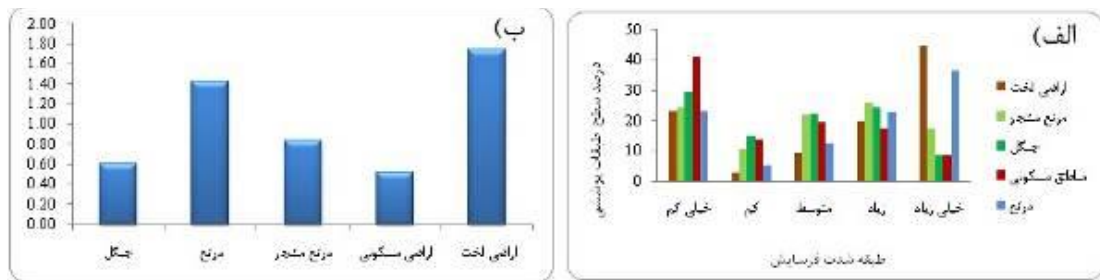
با توجه به مقادیر هدررفت خاک و انواع پوشش / کاربری اراضی، بیشتر تلفات خاک در اراضی لخت (۳۷ درصد) اتفاق افتاده است (جدول ۴).

جدول ۴. درصد میزان هدررفت خاک از پوشش / کاربری اراضی

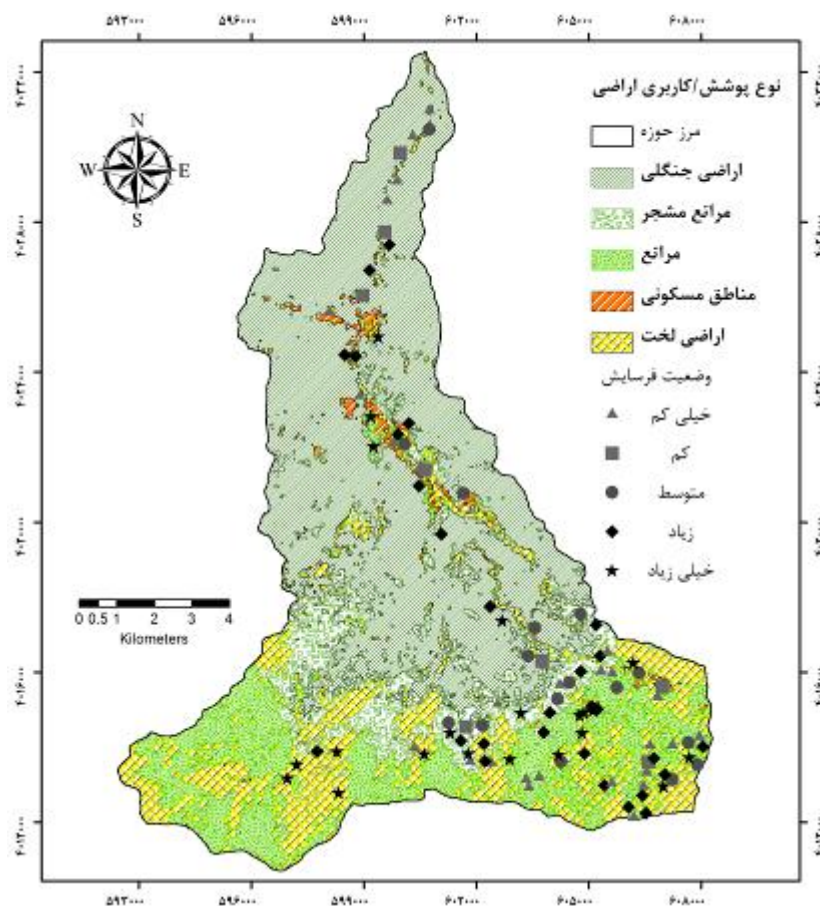
نوع پوشش	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	مجموع
اراضی جنگلی	۰/۶۳	۲/۱۵	۶/۱۵	۱۲/۵۶	۸/۴۶	۳۰/۱۳
اراضی مرتعی	۰/۰۵	۰/۲۳	۱/۱۴	۳/۹۴	۱۶/۶۲	۲۱/۹۸
مرتع مشجر	۰/۰۷	۰/۳۸	۱/۴۹	۳/۳۵	۴/۷۲	۱۰/۰۱
اراضی مسکونی	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۸۷
اراضی لخت	۰/۰۶	۰/۱۸	۱/۱۷	۴/۸۳	۳۰/۷۶	۳۷

جدول ۵. مقادیر هدررفت خاک نوع پوشش / کاربری اراضی

نوع پوشش	میانگین (t/ha/year)	انحراف معیار	درصد از کل فرسایش (a)	درصد سطح از کل حوزه (b)	فرسایش ویژه در کلاس پوششی (a/b)
جنگل	۱۵/۹۸	۱۶/۱۱	۲۹/۹۷	۴۹/۴۳	۰/۶۱
مرتع	۳۷/۲۹	۳۹/۹۸	۲۲/۰۷	۱۵/۵۳	۱/۴۲
مرتع مشجر	۲۱/۸	۲۳/۱۲	۹/۹۳	۱۱/۹۴	۰/۸۳
اراضی مسکونی	۱۳/۶۲	۱۷/۱۴	۰/۸۶	۱/۶۵	۰/۵۲
اراضی لخت	۴۵/۶۶	۴۹/۸۳	۳۷/۱۷	۲۱/۴۴	۱/۷۳



شکل ۴. الف: درصد کلاس‌های پوششی در طبقات خطر فرسایش؛ ب: فرسایش ویژه هر کلاس پوشش / کاربری اراضی



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری وضعیت فرسایش

دیگری است و در این مطالعه در نظر گرفته نشده است. فرسایش در این مقاله به فرسایش شیلی، بین شیلی، و صفحه‌ای محدود شده است.

مقادیر سالانه فاکتور R از ۲۴۹ تا ۴۶۸ MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> و میانگین آن ۳۸۲ MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>

## بحث و نتیجه‌گیری

در ناحیه مورد مطالعه فرسایش به اشکال گوناگونی رخ می‌دهد. بیشترین فرم مشهود در این ناحیه فرسایش از نوع لغزشی است. مطالعه توأم این پدیده‌ها پیچیده است و در آن واحد موضوع مطالعات

پوشش گیاهی (C) است. روش به کار گرفته شده در این مطالعه برای برآورد فاکتور C استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) است. استفاده از این شاخص و معادله تبدیل به دست آمده برای استخراج فاکتور C موجب می‌شود که قضاوت کارشناسی در پهنه‌بندی نهایی نقشه خطر تأثیری نداشته باشد.

به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی عوامل محیطی و کاربری اراضی، جمع‌آوری داده‌ها بسیار هزینه‌بردار و وقت‌گیر است و ارزیابی فرسایش خاک در نواحی وسیع با روش‌های سنتی بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین، کاربرد مدل‌های برآورد فرسایش با روش‌های نو ضروری است. در این مطالعه، با استفاده از مدل RUSLE و بهره‌گیری از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، توزیع مکانی هدررفت خاک منطقه مورد مطالعه با دقت قابل قبولی (۹۰ درصد) تعیین گردید و مقادیر میانگین هدررفت سالانه خاک حدود ۲۶ تن در هکتار در سال برآورد شد.

بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه فرسایش خیلی کم (۲۷ درصد) واقع شده است. که بیشتر در نواحی شمالی و نزدیک خروجی حوزه دیده می‌شود. در حدود ۴۵ درصد حوزه در ناحیه فرسایشی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. که بیشتر در نواحی جنوب حوزه یافت می‌شود. با توجه به مقدار کل تلفات خاک، در حدود ۶ درصد از کل تلفات خاک در ناحیه فرسایشی خیلی کم و کم قرار گرفته است و نزدیک به ۸۲ درصد در ناحیه زیاد و خیلی زیاد. بنابراین، اجرای اقدامات حفاظتی در نواحی فرسایشی زیاد و خیلی زیاد برای کاهش تلفات خاک حائز اهمیت است. روش‌ها و نتایج

year<sup>-1</sup> است (شکل ۲ الف). مطابق نقشه، مقادیر فرساینده‌گی باران از شمال حوزه به سمت جنوب حوزه کاهش می‌یابد که با کاهش بارندگی و توزیع مکانی غیریکنواخت بارندگی در حوزه مرتبط است. فاکتور فرساینده‌گی برای ۹ ایستگاه در حوزه ناورود گیلان به دست آمد که مقادیر آن‌ها از ۱۶۴ تا ۱۰۷۰ متغیر بود [۱].

متوسط مقدار K در منطقه مورد مطالعه از ۰ تا ۰/۰۶ متغیر بوده و میانگین آن ۰/۰۴۸ t ha h MJ<sup>-1</sup> است (شکل ۲ ب). با ملاحظه نقشه فرسایش‌پذیری خاک مشخص می‌شود که در نواحی جنوب و جنوب غربی حوزه، که منطبق بر نواحی با خاک‌های لخت و با هوازدگی شدید است، فاکتور K از سایر نواحی بیشتر است.

حوزه آبخیز وازرود حوزه‌ای است کوهستانی و اختلاف ارتفاع شدیدی دارد. مقادیر ارتفاع از جنوب به سمت شمال حوزه کاهش می‌یابد. نواحی جنوب غربی حوزه بالاترین تغییرات ارتفاعی و درجه شیب را دارد و، در نتیجه، بیشترین مقادیر LS را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به شکل ۲ پ مقادیر فاکتور LS حوزه از ۰/۰۰۱ تا ۱۳۲ متغیر است و میانگین آن ۱۵/۰۳ است. اکثریت مناطق حوزه مورد مطالعه دارای LS کمتر از ۱۰ است. برخی نواحی به خصوص با شیب‌های تند، از قبیل امتداد رودخانه و آبراهه‌ها، LS بالاتر از ۲۰ را به خود اختصاص دادند.

مقدار فاکتور C از ۰ تا ۰/۳۵ متغیر بوده و میانگین آن ۰/۱۱ است (شکل ۲ ت). به دلیل قرارگیری مراتع با پوشش ضعیف و اراضی بدون پوشش در بخش‌های جنوبی حوزه، مقادیر بالای فاکتور C مربوط به این ناحیه است. تنها فاکتوری از مدل که می‌تواند مورد قضاوت شخصی قرار گیرد

اجتناب از فرسایش خاک باشد و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب در شناسایی و اولویت‌بندی نواحی نیازمند به کنترل فرسایش خاک و اجرای اقدامات حفاظتی را امکان‌پذیر سازد.

تشریح‌شده در این مطالعه برای اطلاع از ارتباط بین خطر فرسایش خاک و فاکتورهای محیطی ارزشمند است و می‌تواند راهنمای مدیران و برنامه‌ریزان طرح‌های توسعه کاربری اراضی در آینده برای

## References

- [1]. Asadi, H., Vazifehdoost, M., Mosavi, S.A. and Honarmand, M. (2010). Assessment and mapping of soil erosion hazard in Navrood watershed using revised universal soil loss equation (RUSLE), geographic information system and remote sensing (In Persian). Guilan water resource office. 13p.
- [2]. Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. Transactions of the ASAE 23 (4).
- [3]. Efe, R., Ekinçi, D. and Curebel, I. (2008). Erosion Analysis of Findiki Creek Catchment (NW of Turkey) Using GIS based on RUSLE (3d) Method. Fresenius Environmental Bulletin, 17, 576-586.
- [4]. Elwell, H.A. and Stocking, M.A. (1982). Developing a simple yet practical method of soil loss estimation, Trop. Agr. 59(1).
- [5]. Fernandez, L.M. and Margarita, M. (2011). An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. Science of the Total Environment 409, 3114-3123. Doi:10.1016/j.scitotenv.2011.05.010.
- [6]. Hickey, R. (2000). Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. Cartography 29, 582-591.
- [7]. Karaburun, A. (2009). Estimating Potential Erosion Risks in Corlu Using the GIS-Based RUSLE Method, Fresenius Environmental Bulletin 18, 1692-1700.
- [8]. Karaburun, A. (2010). Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences* 3, 1123-1129.
- [9]. Lal, R. (2000). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304, 1623-1627.
- [10]. Lin, C.Y., Lin, W.T. and Chou, W.C. (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. Soil and Tillage Research 68, 143-152.
- [11]. Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion & Conservation. 3<sup>rd</sup> Edition, Blackwell Publishing, LTD, USA. 304p.
- [12]. Morgan, R.P.C., Morgan, D.D. and Finney, H.J. (1984). A predictive model for the assessment of soil erosion risk. J. Agric. Eng. Res 30, 245-253.
- [13]. Nearing, M.A., Foster, G.R. and Lane, L.J. (1989). A process-based soil erosion model for USDA water erosion prediction project. Transactions of the ASAE 32, 205-220.
- [14]. Oliveira, P., Alves, T., Rodrigues, D.B. and Panachuki, E. (2011). Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. Water Resour Manage 25, 1021-1036. DOI: 10.1007/s11269-010-9739-0
- [15]. Park, S., Jin, C., Jeon, S., Jung, H. and Choi, C. (2011). Soil Erosion Risk in Korean Watersheds, Assessed Using the Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Hydrology* 399, 263-273. Doi:10.1016/j.jhydrol.2011.01.004.
- [16]. Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. and Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267.

- [17]. Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J. and Buchroithner, M.F. (2012). Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS. *Environ Monit Assess* 184, 715-727. Doi: 10.1007/s10661-011-1996-8.
- [18]. Qing, X, Y., Mei, S, X., Bin, K, X., Jian, P. and Yun-Long, C. (2008). Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China. *Environ Monit Assess* 141, 275-286. DOI 10.1007/s10661-007-9894-9.
- [19]. Refahi, H, G. (2008). *Water soil erosion and Conservation*. Tehran university publishing. 671p.
- [20]. 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 (p. 384). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703.
- [21]. Shirazi, M.A. and Boersma, L. (1984). A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Sci. Soc. of Am. J* 48(1): 142-147.
- [22]. Tabarestan Faza. (2009). conclusion engineering's. Executive-detail Survey of Vazroud watershed. Pedology project. 83p.
- [23]. Tajgardan, T., Ayoubi, S. and Shataee, S. (2008). Soil erosion and sediment yield assessment using MPSIAC model, remote sensing and geographic information systems (Case study: Ziarrat watershed). *Pajouhesh & Sazandegi* 79, 37-45.
- [24]. Terranova, O., Antronico, R., Coscarelli, R. and Iaquinta, P. (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology* 112, 228-245.
- [25]. Van Remortel, R., Maichle, R. and Hickey, R. (2004). Computing the RUSLE LS Factor based on Array-based Slope Length Processing of Digital Elevation Data Using a C++ Executable. *Computers and Geosciences* 30, 1043-1053. Doi:10.1016/j.cageo.2004.08.001.
- [26]. Wang, G., Wentz, S., Gertner, G.Z. and Anderson, A. (2002). Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. *International Journal of Remote Sensing* 23, 3649-3667.
- [27]. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses, Agriculture Handbook 537, U.S. Department of Agriculture Research Service, Washington DC, USA.
- [28]. Zandi, J. (2012). Prioritization of controlling area on soil erosion using RS & GIS Techniques: a case study from Vazroud watershed, Mazandaran Province (In Persian). M.Sc thesis. University of Sari agricultural sciences and natural resources. 161p.
- [29]. Zhang, X., Wu, B., Ling, F., Zeng, Y., Yan, N. and Youan, C. (2010). Identification of priority areas for controlling soil erosion. *Catena* 83, 76-86. Doi:10.1016/j.catena.2010.06.012.
- [30]. Zhou, W. and Wu, B. (2008). Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS. *International Journal of Sediment Research* 23, 167-173.