

ارزیابی و پیش‌بینی خطر فرسایش خاک در حوضه سراسکندچای با استفاده از مدل USLE و GIS

مریم بیاتی خطیبی^۱

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی در دنیا بوده که عامل مهم بروز خسارات بزرگ اقتصادی و تهدید جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. در مقیاس حوضه‌ای، عوامل متعددی در زمینه‌سازی و تشدید فرسایش دخیل هستند. در فرسایش خاک توسط رواناب‌ها عوامل داخل حوضه‌ای مانند خاک، توپوگرافی، تراکم زهکشی والگوی کاربری نقش مهمی ایفا می‌کنند. در مناطق نیمه‌خشک وضعیت فرسایش خاک در محیط‌های کوهستانی و در سطح زمین‌های شیب‌دار که در معرض بارندگی سنگین هستند به‌مراتب بحرانی‌تر است. محدوده مورد مطالعه به‌عنوان یک منطقه کوهستانی نیمه‌خشک واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (شمال غرب ایران) خاک تحت فرسایش شدید آبی قرار گرفته است. در این محدوده- به‌عنوان یک محدوده کشاورزی و دامپروری مهم کشور- آثار این فرسایش به‌صورت خندق‌ها و شیارها در بخش‌های مختلف مشاهده می‌شود. برای بررسی علل و عوامل فرسایش آبی و برآورد و پیش‌بینی محدوده‌های تحت خطر فرسایش از مدل USLE استفاده و از تکنیک GIS بهره‌گیری شده است. در این مدل که اساس آن پارامترهای توپوگرافی، کاربری، بارندگی و نوع خاک است، ترکیب پارامترهای مورد ذکر در فرسایش آبی مورد تحلیل قرار گرفته است و در نهایت محدوده‌های تحت خطر پهنه‌بندی شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین عوامل مورد بررسی، طول و شیب دامنه به‌عنوان عوامل توپوگرافی، نقش اصلی در فرایند فرسایش ایفا می‌کنند. در محدوده مورد مطالعه، طول دامنه، نوع و

الگوی فرسایش را تعیین می‌کند. در بخش‌هایی که طول دامنه افزایش یافته، دخندق‌های عمیق تشکیل گردیده است. در این محدوده‌ها اگر در خاک درصد سیلت نیز یابد، فرسایش خطی تشدید شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش نشان می‌دهد که شیب‌های منتهی به دشت‌های سیلابی از پتانسیل بالایی برای فرسایش آبی برخوردارند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، فرسایش خطی، پهنه‌بندی خطر فرسایش، USLE، سراسکنندچای، دامنه‌های شرقی سهند.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مساله محیطی در دنیا بوده که باعث بروز خسارات بزرگ اقتصادی گردیده و تهدید جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. در حدود ۸۵٪ از برهنگی خاک با فرسایش خاک عجین شده و تشدید فرسایش خاک بعد از جنگ جهانی دوم باعث کاهش ۱۷ درصدی در تولید محصولات و موجب خسارات محیطی گردیده است (واعظی و همکاران^۱، ۲۰۰۸: ۴۱۴). به‌همین دلایل، جلوگیری از فرسایش خاک یکی از عوامل مهم در مدیریت زمین و حفظ یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی است. پیش‌بینی فرسایش خاک و ارزیابی عوامل اصلی فرسایش در محیط، اولین قدم در انتخاب روش‌ها و راهبردهای مناسب برای کنترل فرسایش خاک است. فرسایش آبی یکی از مهم‌ترین نشانه‌های برهنگی محیطی است و نوع تشدید شده آن در محیط‌های نیمه‌خشک به‌صورت شیارهای متراکم و خندق‌های عمیق خودنمایی می‌کند (دوماس و همکاران^۲، ۲۰۱۰: ۵۱۹ و بسکو و همکاران^۳، ۲۰۰۹: ۵۰). در نواحی نیمه‌خشک با توجه به ویژگی‌های حاکم، شدت فرسایش به‌مراتب بیشتر از سایر محدوده‌های جغرافیایی است. در این نواحی، ارتباط مشخصی بین بارندگی، تراکم پوشش گیاهی و نوع کشت با میزان و نوع فرسایش وجود

2- Veazi et al.

3-Dumas et al.

4- Beskow et al.

دارد (مارکوز^۵، ۲۰۰۷: ۱۶۲). در محدوده‌های مذکور، فرسایش خطی از نوع تشدید شده که می‌تواند منابع انبوهی از خاک را به همراه داشته باشد، در اثر ترکیب نقش عوامل مختلف، مانند عوامل توپوگرافی، نوع کاربری، نوع خاک و بارندگی می‌تواند صورت گیرد و یا تشدید گردد. مدلی که با چنین ترکیبی فرسایش خطی را محاسبه می‌کند، مدل جهانی فرسایش است. با استفاده از معادله مذکور می‌توان محدوده‌های تحت فرسایش خطی در محدوده‌های نیمه خشک را شناسایی نمود. مدل فرسایش جهانی (USLE) یکی از این مدل‌ها است که برای ارزیابی فرسایش سطوح شیب‌دار طراحی شده است (کینل^۶، ۲۰۰۰: ۳۳۱).

با توجه اهمیت حفاظت خاک و همچنین اهمیت بررسی و تعیین حساسیت خاک در مقابل عوامل فرسایشی، محققان مختلف از ابعاد مختلف سعی نموده‌اند عوامل فرسایش را شناسایی و مدل‌هایی را برای ارزیابی خاک ارائه دهند (شمشاد و همکاران^۷، ۲۰۰۸؛ چی^۸، ۲۰۰۸؛ آسروالد و همکاران^۹، ۲۰۰۹؛ مانرت و گابریل^{۱۰}، ۲۰۰۰). ارائه مدل‌های مختلف در این رابطه، از نتایج چنین تلاش‌هایی است.

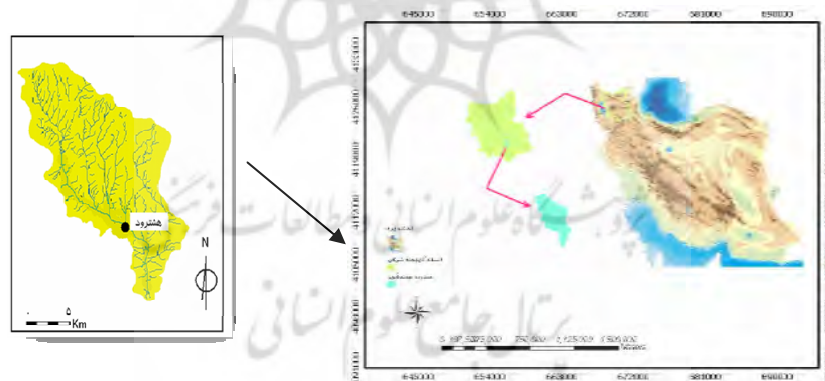
با عنایت به حساسیت منطقه از نظر فرسایش و محسوب شدن منطقه به عنوان یک محدوده کشاورزی و دامپروری مهم در منطقه شمال غرب ایران، در این مقاله سعی شده است با استفاده از معادله جهانی فرسایش، بخش‌های حساس به فرسایش شناسایی شود.

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های حوضه سراسکندرچای

حوضه سراسکندرچای با وسعت ۲۱۶/۷۹ کیلومتر مربع در بخش شمالی حوضه بزرگ قرقچای قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه به عنوان یکی از زیرحوضه‌های قرقچای، از حوضه‌های مهم دامنه‌های شرقی کوهستان سه‌هند می‌باشد.

- 5- Marques
- 6- Kinnell
- 7- Shamsad et al.
- 8- Chi et al.
- 9- Auerswald et al.,
- 10- Mannart & Gabrils

رودخانه سراسکندر در عرصه‌های نسبتاً وسیع و ناهموار مناطق کوهستانی و تپه ماهوری به صورت جریان‌های حاصل از ذوب برف و جریان چشمه‌های واقع در محل تماس رخساره‌های سنگی و رسوبی تراوا با واحدهای نفوذناپذیر از طریق شبکه آبروهای فرعی و اصلی به خارج تخلیه می‌گردد. حضور طبقات ناتراوای مارنی، گچی، نمکی و گل سنگی در بین لایه‌های مقاوم آهکی، ماسه سنگی، کنگلومرای و... هم‌چنین بسته شدن شبکه شکستگی‌ها و سیستم‌های درز و شکاف بر روی واحدهای فوق، موجب کاهش نفوذپذیری نسبی رخنمون‌های سنگی و رسوبی در حوضه گردیده است. متاثر از این ویژگی اغلب رواناب‌ها و مسیل‌های جاری بر سطح آن‌ها از استعداد طغیانی بالا تا متوسطی برخوردارند. آبرفت‌های کوآترنومارن‌های میوسن بخش اعظم این حوضه را تشکیل می‌دهند و اغلب چنین سازندهایی تحت فرسایش آبی شدید قرار گرفته‌اند. حضور خندق‌های عمیق در روی این سازندها حاکمی از مقاومت کم آنها در مقابل جریان رواناب هستند. آندزیت‌ها و داسیت‌ها و گرانیت‌ها از جمله واحدهای سنگی هستند که در بخش‌های شرقی و شمال غربی حوضه در بخش نسبتاً محدودی گسترده شده‌اند.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه سراسکندرچای

مواد و روش‌ها

معادله جهانی فرسایش، از معادلات مهمی است که عمدتاً برای بررسی فرسایش خطی در

محدوده منطقه‌ای و محلی، به‌ویژه در محدوده‌های کوهستانی نیمه خشک طراحی و به کار گرفته می‌شود (تراهوا و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۹: ۲۲۹؛ سبه‌کاور و هافیرکا^{۱۲}، ۲۰۰۸: ۱۸۸؛ پلاسانی و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۸: ۳۸۰ و اروسوال و همکاران^{۱۴}، ۲۰۰۹: ۱۸۴). این معادله یک ابزار مفید برای ارزیابی پتانسیل فرسایش آبی، به‌ویژه فرسایش خطی در محدوده‌های شیب دار است. معادله مذکور برای فرسایش خطی در حوضه‌هایی که تحت کاشت و یا نظام مدیریت خاص هستند، طراحی شده است (ژولین، ۱۳۸۷). به لحاظ اعتبار این معادله در محاسبه فرسایش، در این مقاله نیز برای بررسی پتانسیل فرسایش خطی در دامنه‌های حوضه سراسکندرچای استفاده شده است (رابطه ۱).

$$E = RK(LS)CP \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه ۱ (معادله E و یا USLE) معادله جهانی فرسایش را ارائه می‌دهد. معادله مذکور به‌عنوان معادله جهانی فرسایش، میزان اتلاف خاک از یک سطح را حاصلضرب شش عامل مختلف در نظر می‌گیرد. این عامل عبارتند از: R ضریب فرسایش‌پذیری باران، K ضریب فرسایش‌پذیری خاک، L ضریب طول حوضه، S ضریب شیب حوضه، ضریب مدیریت بهره‌برداری و P ضریب عملیات حفاظتی خاک است. در این مقاله عوامل و ضرایب مذکور برای حوضه به‌ترتیب زیر محاسبه و نتایج حاصل مورد تحلیل قرار گرفته است.

الف- محاسبه عوامل توپوگرافی

در معادله جهانی فرسایش، پارامترهای توپوگرافی سهم برجسته‌ای در تعیین میزان فرسایش دارند به‌همین دلیل دو پارامتر شیب و طول دامنه در آن دخیل داده شده‌اند. در این معادله، طول و شیب دامنه به‌صورت زیر محاسبه شده است:

طول دامنه یک عامل توپوگرافی و تأثیرگذار در میزان فرسایش است. طول شیب نشان دهنده مقدار فرسایش از شیبی به طول مفروض نسبت به طول استاندارد (۲۲/۱ متر) است، عامل طول شیب (L) را می‌توان با رابطه زیر بیان نمود:

11- Terrahova et al.,

12- Cebecauer and Hfierka

13- Pelacani et al.,

14- Auerswall et al.

$$L = [\lambda / 22.13]^m \quad \text{رابطه (۲)}$$

$L =$ (بی بعد) عامل طول شیب، (m) = طول شیب پارامتر خاک برحسب متر و $m =$ نمایی است که در رابطه با نسبت فرسایش شیبی (که عامل آن جریان است) به فرسایش بین شیبی می‌باشد (که عامل آن برخورد قطرات باران است) که مقدار آن برای شیب‌های ۵ درصد و بیش‌تر برابر ۰/۵، برای شیب‌های ۳-۵ درصد برابر ۰/۴، برای شیب‌های ۱-۳ درصد برابر ۰/۳ و برای شیب‌های کمتر از ۱ درصد برابر ۰/۲ می‌باشد.

به‌طور کلی هریک از عوامل شیب و درجه شیب را می‌توان به‌طور جداگانه ارزیابی نمود و برای هر یک مقدار عددی مستقل مشخص نمود ولی از نظر کاربردی طول شیب و درجه شیب را باهم در نظر می‌گیرند و با علامت LS نشان می‌دهند. عامل درجه شیب نشان دهنده مقدار فرسایش از شیب مفروض نسبت به شیب استاندارد (۹ درصد) بوده و با رابطه زیر قابل محاسبه است (رابطه ۳).

$$E = 0.43 + 0.3s + 0.043s^2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

برای محاسبه شیب در هر سلول از معادله زیر استفاده شده است:

$$S = -1.5 + 17 / (1 + e^{(2.3 - 6.1 \sin \theta)}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این معادله S شیب دامنه و θ شیب در هر سلول به درجه است. این معادله از معادلات کاربردی است و در هر محدوده‌ای می‌تواند به کار رود.

$$\theta = \max \tan^{-1} (h_i - h_j) / D \quad \text{رابطه (۵)}$$

$D =$ فاصله بین مرکز پیکسل‌ها، $(h_i - h_j)$ اختلاف ارتفاع پیکسل‌ها بین مرکز و کناره پیکسل‌ها است.

برای محاسبه طول دامنه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad \text{رابطه (۶)}$$

$\lambda =$ طول دامنه به متر و m توانی است که از ۰/۳ برای شیب‌های بیش‌تر از ۱۰٪ تا ۰/۶ برای شیب‌های بیش‌تر از ۱۰٪ متغیر می‌باشد.

ترکیب شیب و طول دامنه در معادله نهایی، تحت عنوان LS است که از رابطه (۷) قابل محاسبه است که در این مقاله از آن استفاده شده است:

$$LS=(\lambda/22.1)^m (0.43+0.35s+0.043s^2) \quad \text{رابطه (۷)}$$

λ = طول شیب بر حسب متر و S = شیب به درصد

در این مقاله از روش DEM برای استخراج داده‌های طول و شیب دامنه استفاده شده است. با استفاده از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، خطوط منحنی میران و مسیر رودخانه‌ها رقومی و رسترایز شده و بطورخطی انترپولیتد شده است. نقاط ارتفاعی از چندین نقطه تثبیت و تصحیح شده است.

ب - محاسبه عمل فرسایندهگی باران (R)

بارندگی و عامل رواناب نشان‌دهنده دو ویژگی یک رگیار است که تعیین‌کننده فرسایش‌پذیری آن است. تحقیقات نشان داده است که تلفات خاک در ۳۰ دقیقه اولیه بارش رخ می‌دهد.

$$R=1/N\Sigma(E \times I_{30}) \quad \text{رابطه (۸)}$$

ضریب R شاخصی است که به انرژی سینتیکی باران بستگی دارد و با حداکثر شدت باران‌های ۳۰ دقیقه‌ای همبستگی نزدیک نشان می‌دهد. به‌طور تیبیک عامل فرسایش‌زایی باران، کل انرژی رگیارها را با حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای محاسبه می‌کند (I_{30} -mm/h). عامل بارندگی در واقع همان شاخص فرسایش ویشمایر (شاخص EI_{30}) است (رابطه ۹).

$$EI=0.3(\Sigma pi/p)^{1.93} \quad \text{رابطه (۹)}$$

pi = میانگین بارندگی ماهانه (به میلی متر) و p = میانگین بارندگی سالانه (به میلی متر)

پ - محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

عامل K در معادله جهانی فرسایش که منعکس‌کننده ویژگی‌های خاک در مقابل فرسایش است، در واقع نشان‌دهنده تأثیر رگبار در ویژگی‌های خاک و در میزان فرسایش است. عامل فرسایش‌پذیری خاک با اندازه‌گیری مستقیم و از نظیرسازی‌ها به دست می‌آید. به علت این که این نوع داده‌ها همیشه قابل دسترس نیستند، پیش‌بینی‌ها براساس ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک رابطه کلی براساس ۲۲۵ داده‌های جهانی منتشر شده به دست آمده و مقدار K از این داده‌ها و براساس نظیرسازی‌ها به دست آمده است.

$$K=7.594[0.0034+0.0405.e^{-1/2[(\log Dg + 1.659)/0.7101]^2}] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

Dg میانگین ژئومتریک قطر ذرات (به میلی متر) که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Dg=e[\sum f_i . \ln m_i] \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

i ترکیبات بافت خاک: ماسه رس و سیلت، f_i درصد ذرات ماسه، رس و سیلت و m_i میانگین حسابی ذرات

در رابطه فرسایش جهانی، دومین عامل فرسایش K است که میزان آن از ۰/۰۳ برای انواع خاک‌های مقاوم به فرسایش تا ۰/۶۹ برای خاک‌های مستعد به فرسایش متفاوت است. ضریب K توصیف‌کننده فرسایش‌پذیری ذاتی خاک است و برحسب تن در هکتار بیان می‌شود. عواملی مانند توزیع دانه‌بندی، بافت و مقدار مواد آلی قابلیت فرسایش‌پذیری خاک را کنترل می‌کنند (ژولین، ۱۳۸۷: ۷۸). در این مقاله برای محاسبه عامل K از نقشه‌های خاک و لیتولوژی و داده‌های مربوط به نوع خاک‌های نمونه‌برداری شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استفاده شده و مقادیر K محاسبه و اطلاعات حاصل در جدول (۱) درج گردیده و برای تبدیل اطلاعات به یک لایه نقشه، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به فرمت رستر تبدیل گردیده سپس نقشه میزان K برای محدوده تهیه گردیده است.



جدول (۱) مقدار K در حوضه سراسکندرچای

ردیف	مقدار K برای زیرحوضه سراسکندرچای
۱	۰/۲۲
۲	۰/۳۰
۲	۰/۰۲
۴	۰/۳۲
۵	۰/۲۸
۶	۰/۰۴
۷	۰/۲۰
۸	۰/۳۲
۹	۰/۰۷
۱۰	۰/۱۷
۱۱	۰/۲۶
۱۲	۰/۱۳
۱۳	۰/۰۴

ت- محاسبه تأثیر کاربری (C)

در این مقاله، برای محاسبه مقدار C از مقادیر جدول (۲) استفاده شده است. فاکتور C در واقع مربوط به عامل کاربری اراضی است و برای به دست آوردن این عامل در زیرحوضه‌ای مانند سراسکندرچای نیاز به وجود تصویر ماهواره‌ای از محل‌های مربوط است که در این تحقیق و در حوضه سراسکندرچای برای به دست آوردن C، از تصویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۰ استفاده شده است. در نهایت با استخراج ۵ کلاس (بایر، مرتع، محدوده درختان، مزرعه و کشت ردیفی) کاربری اراضی به دست آمد و با استفاده از جدول مربوط به عامل C (جدول) برای هر حوضه به دست آمد و با استفاده از نرم افزار ArcGIS9.3 تبدیل به رستر گردید.

عامل P می‌تواند در صورت نبود اطلاعات کافی در مورد نحوه مدیریت اراضی از معادله حذف شود (هارتچر وهمکاران^{۱۵}، ۲۰۰۸: ۳۷۱). در این تحقیق نیز به علت نبود اطلاعات کافی، P محاسبه نشده است. در نهایت با استفاده از لایه‌های به دست آمده که همگی در فرمت رستر بوده‌اند. فرسایش حوضه با توجه به فرمول $USLE=KRLSCP$ در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 لایه‌ها در هم ضرب گردیده و در نهایت نقشه‌های نهایی به دست آمده است.

جدول (۲) مقدار c برای انواع کاربری‌ها در حوضه سراسکندرچای

کاربری زمین	عامل c
کشت ردیفی	۰/۱۸
مراتع	۰/۰۵
محدوده درختان	۰/۰۱
محدوده های بدون پوشش گیاهی	۰/۰۳
مزارع	۰/۰۴

یافته‌ها و بحث

فرسایش خاک از مسائل جدی است که در اثر کشت مفرط، برهنگی خاک، وقوع رگبارهای شدید و تغییرات کاربری و تغییرات آب وهوایی و به طور کلی تحت تأثیر عوامل متعدد تشدید می‌گردد (آموره، ۲۰۰۴: ۲۹۳). در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی به منظور تحلیل و کمی کردن نقش عوامل متعدد در فرسایش ارائه شده است. از آنجائی که پدیده فرسایش بسیار پیچیده بوده و نحوه و شدت آن به پارامترهای زیادی بستگی دارد. با توجه به این که داده‌های میدانی برای تحلیل فرسایش کافی نیستند و به داده‌های زیاد فضایی و زمانی نیاز است تا براساس آن‌ها بتوان در مورد فرسایش در محدوده ویژه اظهار نظر نمود. با توجه به این که در معادلات ارائه شده نمی‌توان تمامی پارامترهای دخیل در فرسایش را گنجانده، به نظر می‌رسد که علاوه از تحلیل عوامل مورد محاسبه، با تکیه بر تجربیات و مشاهدات میدانی و داده‌های جمع‌آوری شده می‌توان تحلیل درستی را در مورد فرسایش ارائه داد. به

همین دلیل در این مقاله نیز سعی شده، علاوه از تحلیل نتایج حاصل از نقشه نهایی، به تحلیل نقش پارامترهای مختلف به همراه نتایج حاصل از مشاهدات میدانی اشاره گردد.

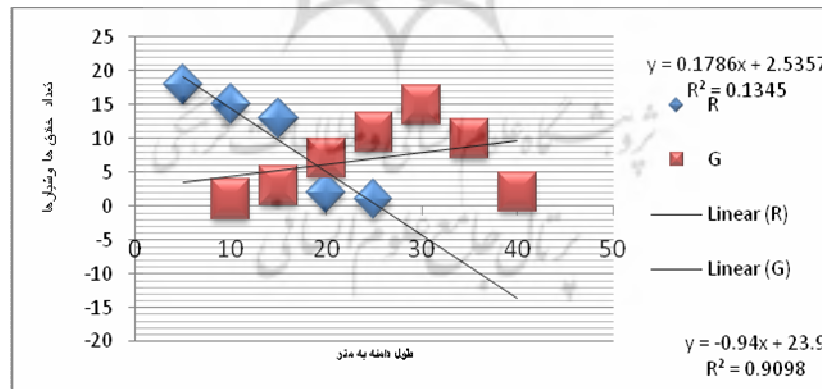
طبق نقشه پهنه‌بندی فرسایش خطی که برای حوضه سراسکندرچای تهیه شده است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که بخش‌های دامنه‌ای حوضه مذکور تحت فرسایش خطی خیلی شدید قرار گرفته‌اند (جدول ۳) هر چند که این بخش‌ها در حوضه فقط ۹ درصد سطح را اشغال کرده‌اند، اما بیش‌ترین مواد را در اختیار آب‌های جاری قرار می‌دهند. معمولاً در این محدوده‌ها، خندق‌های عمیق و شیارهای پرتراکم تشکیل می‌گردند. دامنه‌های منتهی به آبراهه‌ها و هم‌چنین مشرف به دشت‌های سیلابی در طبقه فرسایش شدید، قرار گرفته‌اند. در حوضه مذکور ۵ درصد سطح حوضه در این طبقه قرار گرفته است. این محدوده درست در بالای طبقه قبلی قرار گرفته است. محدوده‌هایی که در طبقه مربوط به فرسایش متوسط قرار گرفته در حدود ۸ درصد سطح حوضه را تشکیل می‌دهند و مربوط به محدوده‌هایی هستند که از شیب قابل ملاحظه‌ای برخوردار نیستند.

جدول (۳) طبقه‌بندی شدت فرسایش در حوضه سراسکندرچای

طبقه	میزان فرسایش به تن در هکتار در سال	درصد مساحت تحت اشغال	توصیف
۱	۲۰/۹۲-۱۰۳۳/۸۶	۶۷	خیلی ضعیف
۲	۱۰۳۳/۸۶-۲۴۳۲/۲۲	۱۱	ضعیف
۳	۲۴۳۲/۲۲-۵۱۸۰۶/۵۶	۸	متوسط
۴	۵۱۸۰۶/۵۶-۱۱۳۲۰/۴۴	۵	شدید
۵	۱۱۳۲۰/۴۴-۲۹۳۷۴/۱۷	۹	خیلی شدید

در حوضه سراسکندرچای، محدوده‌هایی که در طبقه فرسایش ضعیف و خیلی ضعیف قرار گرفته‌اند، ۷۷ درصد سطح حوضه را تشکیل می‌دهند. معمولاً ارتفاعات عاری از پوشش گیاهی و ارتفاعات سنگی که فاقد رسوبات آبرفتی ضخیم و خاک‌های تشکیل یافته بر روی آن‌ها هستند، علائمی از فرسایش در سطح خود را نشان نمی‌دهند.

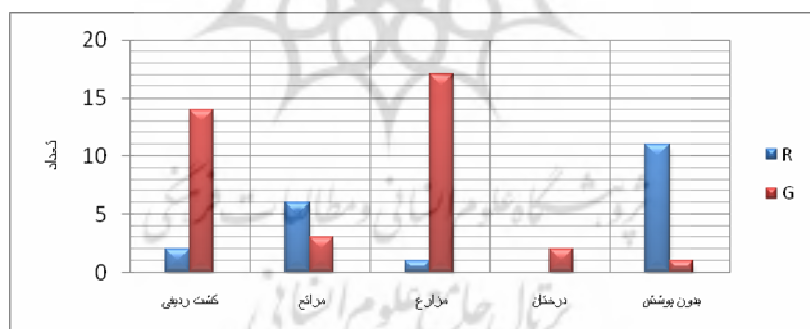
انطباق نقشه شیب با نقشه پهنه‌بندی شدت فرسایش برای هر دو زیرحوضه حاکی از آن است که در بخش‌هایی که شیب افزایش می‌یابد شدت و میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد. فرسایش شیاری در دامنه‌هایی با طول ۱۸ متر شروع و تا دامنه‌هایی با طول ۳۵ متر ادامه می‌یابد. در دامنه‌های طولانی‌تر از مقدار آستانه‌های ارائه شده، معمولاً فرسایش شیاری را نمی‌توان مشاهده نمود (شکل ۴). بررسی‌های میدانی در حوضه سراسکندرچای نشان می‌دهد که در دامنه‌های پرشیب و با طول کم، معمولاً فرسایش شیاری حاکم است. در دامنه‌های طولانی و تا حدی کم شیب خندق‌های عمیق تشکیل شده‌اند. نمونه‌برداری‌های زمینی و بررسی از روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی حاکی از این است که بین طول دامنه و تشکیل شیاریها و خندق‌ها رابطه وجود دارد (شکل ۲). در حوضه سراسکندرچای بین طول دامنه و تعداد خندق‌های تشکیل شده بر روی شیب‌ها رابطه خطی نیست ($R^2=0.134$). به عبارت دیگر، تعداد خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه در دامنه‌هایی به طول مشخص (تا حدود ۳۰ متر) افزایش و در دامنه‌های طولانی‌تر تعداد آن‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۲). رابطه بین تعداد شیاریها و طول دامنه خطی است ($R^2=0.909$) و معمولاً در محدوده مورد مطالعه چنین پدیده‌هایی در روی دامنه‌هایی با طول کم‌تر تشکیل یافته‌اند.



شکل (۲) رابطه طول دامنه با فرسایش و رابطه بین تعداد خندق‌ها و شیاریها با طول دامنه (R معرف شیاریها و G معرف خندق‌ها)

تحلیل نقشه بارش و R و تطبیق آن‌ها با نقشه فرسایش نهایی، حاکی از این است که در بخش‌هایی که میزان بارش افزایش یافته است، بر میزان فرسایش نیز افزوده شده است. در محدوده مورد مطالعه به‌عنوان یک محدوده نیمه‌خشک و کوهستانی، تأثیر بارش بر فرسایش از بعد دیگری نیز قابل بحث است. در محدوده مورد مطالعه، و در دامنه‌های بی‌حفاظ مخصوصاً در ماه‌هایی از سال که دامنه‌ها هنوز به‌طور کامل تحت پوشش گیاهی نیستند، بارندگی‌های رگباری و تمرکز آن‌ها در سطوح دامنه‌ها و پای دامنه‌ها، به تشکیل خندق‌های عمیق منجر می‌شود. به‌عبارت دیگر در محدوده‌هایی که زمینه برای تمرکز بارش‌های رگباری فراهم می‌گردد، فرسایش خطی تشدید می‌گردد.

تطبیق نقشه نهایی شدت فرسایش و نقشه نوع کاربری حاکی از این است که در محدوده‌هایی که کشت به‌صورت ردیفی صورت می‌گیرد، شدت فرسایش بیش‌تر است. مشاهدات میدانی نیز تأییدکننده نتایج به‌دست آمده است (شکل ۹). مراتع با پوشش تنک در طبقه بعدی قرار دارند. چرای مفرط در این محدوده‌ها، باعث شده است که اشکال مربوط به فرسایش خطی بیش‌تر مشاهده شود.

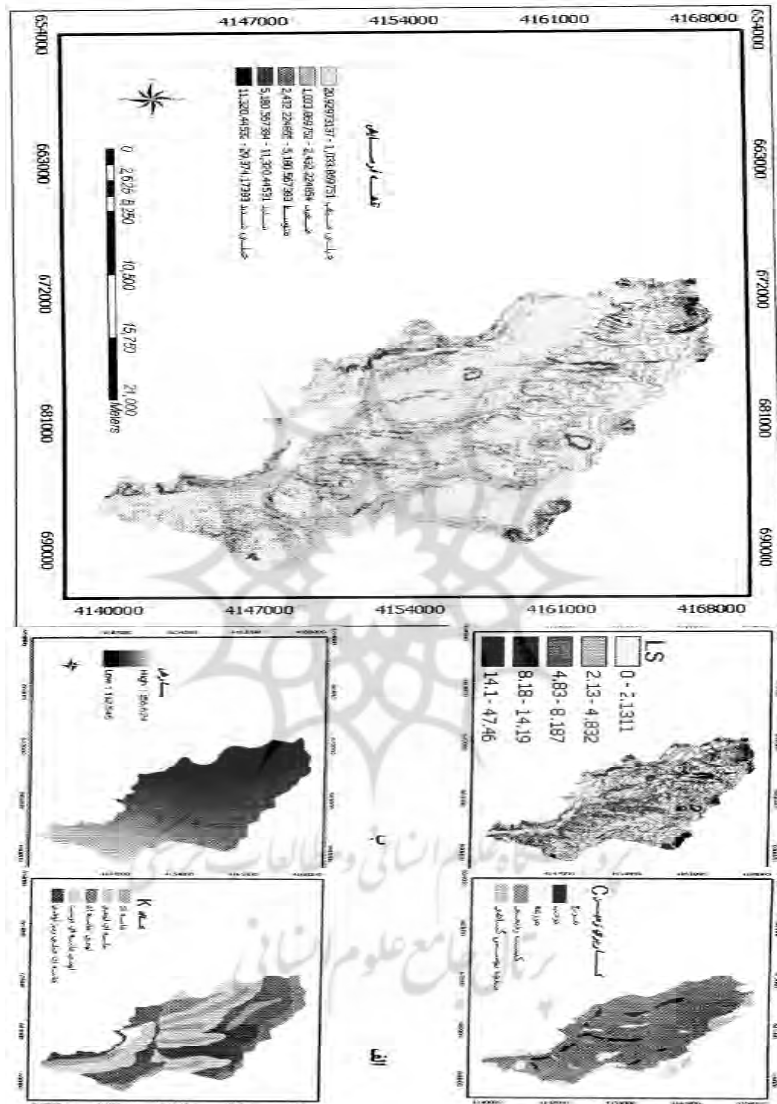


شکل (۳) تعداد شیارها (R) و خندق‌ها (G) در روی انواع کاربری‌ها در حوضه سراسکندرچای

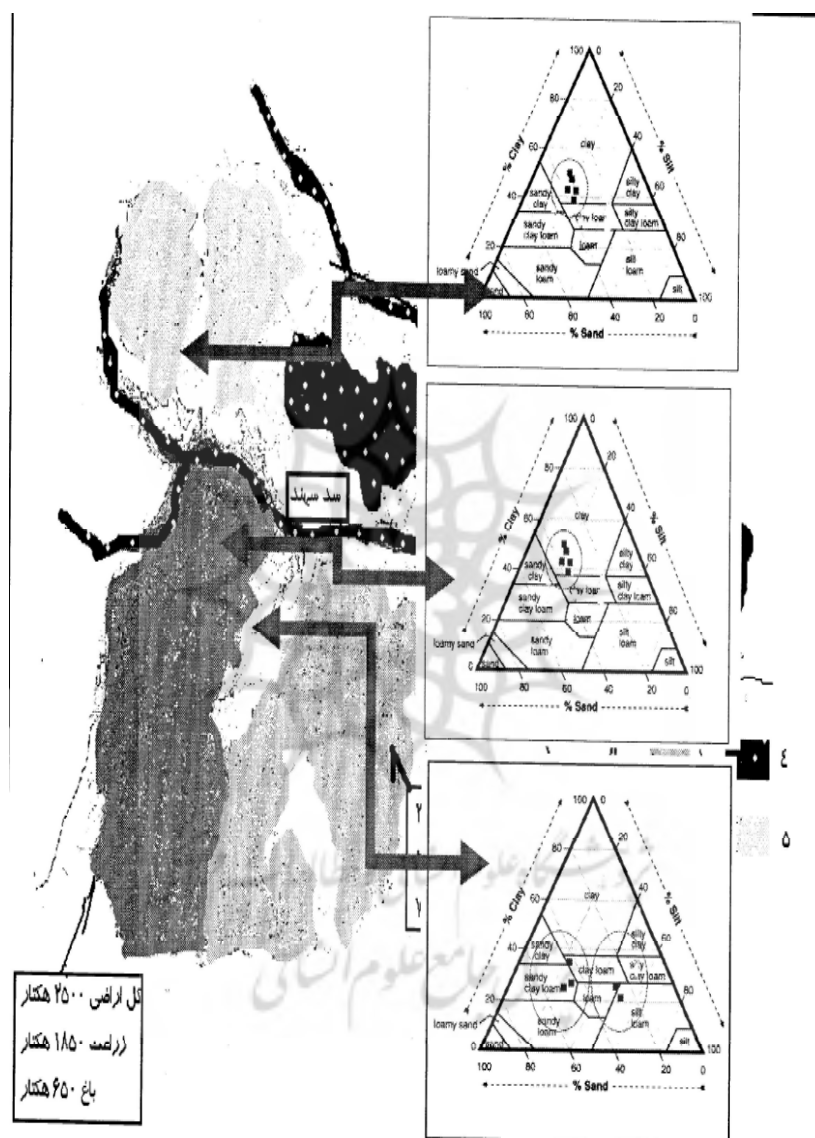
در زیرحوضه‌های مورد مطالعه، ماسه سنگ‌هایی با سیمان سیلیسی بسیار مقاوم‌تر از ماسه سنگ‌های با سیمان کلسیتی در مقابل فرسایش هستند. کنگلومراهای مقاوم و سیمانته با درجه پیوستگی بالا که به‌صورت توده‌هایی مستقل و با طبقات متوسط و ضخیم لایه در

بین سایر نهشته‌ها گسترش دارند در مقابل فرسایش تا حدی مقاوم هستند. این نوع کنگلومراها در بخش‌های میانی حوضه مورد مطالعه، گسترش دارند. روانه‌های گلی، روانه‌های خاکستری آتشفشانی از دیگر نهشته‌های رسوبی و آذرآواری هستند که در سطح حوضه پراکنده شده‌اند و از حساسیت بالا نسبت به فرسایش، به‌ویژه فرسایش خطی برخوردارند. این سنگ‌ها در مقابل هوازدگی و سایر اشکال فرسایشی متداول در منطقه به‌سرعت تخریب و محصولات تخریبی به اقتضای شرایط هیدرودینامیکی، توپوگرافی به اشکال مختلف جابه‌جا می‌شوند. در حوضه مورد مطالعه، سازندهای سطحی مربوط به میوسن از نفوذپذیری نسبتاً پایینی برخوردارند. در این محدوده میزان تراکم زهکشی بسیار بالا است. رسوبات مربوط به کواترن که اغلب محدوده دشت‌های سیلابی را تشکیل می‌دهد از میزان نفوذپذیری بالا برخوردارند (جدول ۵). سازندهای مربوط به ژوراسیک و پلیوسن از نفوذپذیری نسبتاً بالا برخوردار هستند. میزان تراکم زهکشی بر روی آن‌ها نسبتاً پایین است. در حوضه سراسکندرچای تراس‌های آبرفتی مربوط به کواترن دارای نفوذپذیری بالا هستند. سازندهای مربوط به میوسن که متشکل از داسیت، خاکسترهای آتشفشانی، مارن و سیلستون و... هستند دارای نفوذپذیری متوسط تا پایین می‌باشند.

با توجه به اهمیت نوع و بافت خاک در فرسایش خطی، نمونه‌های خاکی که برای بررسی و انتخاب محل مناسب برای ایجاد سد و بندها توسط محققان سازمان آب منطقه‌ای تهیه شده است (جدول ۶)، مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است. این نمونه‌ها از بخش‌های مختلف حوضه تهیه شده‌اند و به‌طور کلی معرف ویژگی خاک‌ها در محدوده‌های تهیه شده هستند.



شکل (۴) پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه سراسکندرچای (در این شکل الف) کاربری زمین، ب) Is (ت) میزان k (پ) بارش ی) پهنه‌بندی نهایی



شکل (۵) نوع خاک و محل نمونه‌های تهیه شده از بخش‌های مختلف محدوده‌های مورد مطالعه

جدول (۵) درجه نفوذ پذیری واحدهای سنگی در محدوده حوضه سراسکندرچای

دوره	خصوصیات سنگ‌شناسی		درجه نفوذ پذیری نسبی				
	علائم	نوع سنگ	افزایش نفوذ پذیری ←				
			۱	۲	۳	۴	۵
کوانزیر	QT2	پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی					
میوسن	M ^{pl} ₃	خاکسترهای آتشفشانی، همراه با سنگ‌های آذرآواری، کنگلومرا، ماسه سنگ و شیل					
	M ^d ₁	داسیت					
	M ^b ₁	بازالت، آندزیت					
	M ^m ₃	مارن و سیلستون					
	Q	آبرفت‌های جدید					
	Ap	آپلیت					
	Gr	گرانیت					
اتوسن	E ^v ₁	ریولیت					

جدول (۶) مشخصات افق‌های خاک در نقطه نزدیک بخش خروجی سراسکندرچای

درصد ذرات خاک					
گراول	رس	سیلت	شن	افق	عمق
-	۵۶	۲۰	۲۴	AP	۰-۲۰
-	۵۶	۲۲	۲۲	BW1	۰-۲۵
-	۵۶	۲۰	۲۲	BW2	۰-۶۰
-	۵۸	۱۶	۲۶	BSS1	۰-۸۵
-	۵۸	۱۶	۲۰	BSS2	۰-۱۲۰

در خاک‌های سری ۳، - فرسایش آبی کم تا زیاد، زهکشی طبیعی مناسب تا نسبتاً مناسب و مواد تشکیل‌دهنده رسوبات آبرفتی است و نوع خاک‌های سری ۳ رسی لومی، شنی لومی و سیلتی لومی است. در این نوع سری، - فرسایش آبی کم تا زیاد، زهکشی طبیعی نسبتاً مناسب، مواد تشکیل‌دهنده رسوبات آبرفتی نوع خاک‌ها شنی رسی و رسی لومی است.

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک در حوضه مورد مطالعه از عمده‌ترین مسائلی است که نه تنها خاک سطوح

شیب‌دار را هر روز فقیرتر می‌کند، بلکه مواد زیادی را تحویل رودخانه‌ها می‌کند. با توجه به گسترش سازندهای سطحی حساس به فرسایش و حضور عوامل تشدیدکننده آن در محدوده مورد مطالعه، مانند تغییرات اقلیمی، کاربری‌های غیراصولی و تشدید شده، و حضور و دخالت عوامل متعدد باعث شده است، انواع فرسایش خطی، به‌ویژه فرسایش شیاری و خندقی بیش‌تر دیده شود. فرایند جدایش مواد از سطوح دامنه‌ها و نهشته شدن آنها در دره‌ها و دشت‌های سیلابی که به‌عنوان فرایند رودخانه‌ای در مرکز مطالعات ژئومورفولوژیکی قرار گرفته است، یک فرایند جدی و بررسی عوامل تشدیدکننده آن قابل تعمق بیش‌تری است. ویژگی‌های خاک‌ها اعم از میزان نفوذپذیری، درصد رس، سیلت و ماسه یکی از مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در فرسایش شیاری و خندقی در محدوده مورد مطالعه است. نتایج حاصل از مطالعات و بررسی نمونه‌های خاک تهیه شده و همچنین مشاهدات میدانی از محدوده‌های تحت فرسایش شدید، نشان می‌دهد در بخش‌هایی از حوضه که مواد سازنده از نفوذپذیری پایینی برخوردار بوده‌اند، میزان فرسایش بیش‌تر است. در حوضه سراسکندرچای هم‌چنین، بررسی‌ها حاکی از این است که، در پای دامنه‌های طولانی‌تر با آبرفت‌های ضخیم، خندق‌های بسیار عمیق تشکیل شده‌اند، در حالی که در سطح دامنه‌های کوتاه و با شیب زیاد، شیارهای متراکم تشکیل شده‌اند.

کشت ردیفی از نحوه کشت معمول در سطوح شیب‌دار حوضه مورد مطالعه است. در پای چنین کشت‌هایی خندق‌های عمیق تشکیل شده‌اند که با توسعه دیواره انتهایی آن‌ها خاک‌های قابل کشت محدوده‌های شیب‌دار به پایین تخلیه و در نهایت در اختیار آب‌های جاری قرار می‌گیرند. با عنایت به این که فرسایش خندقی یک منبع عمده تولید رسوب در نواحی نیمه‌خشک است و با توجه به این که در این نواحی، فرسایش خندقی ۸۰-۵۰ درصد تولید رسوبات توسط چنین فرسایشی صورت می‌گیرد بنابراین، توجه به این نوع فرسایش چه از جنبه تلف شدن خاک‌های با ارزش محدوده‌های شیب‌دار کوهستانی و چه از جنبه مشکل رسوبات رودخانه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین با توجه به چنین حساسیت‌ها به‌نظر می‌رسد که باید به نحو اصولی درمقابل تشدید فرسایش آبی تدابیری اتخاذ شود و از آتش‌سوزی سطوح دامنه‌ها که زمینه را به تمرکز رواناب‌ها مساعد می‌سازد جلوگیری گردد.

منابع

- گزارش مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق باغات پایاب سد سهپند هشترود (۱۳۸۴)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دقیق اراضی پایاب سد خرمدرق (۱۳۸۴)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- ژولین، پ. (۱۳۸۷)، «مکانیک رودخانه‌ها»، ترجمه محمد جعفرزاده، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- Amorea, E., Modica, C., Nearing, M., Santoro, V. (2004), "Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins", *Journal of Hydrology*, 293: 100–114.
- Auerswald, K., Fiener, P., Dikau, R. (2009), "Rates of sheet and rill erosion in Germany-A meta-analysis", *Geomorphology*, 111:182–193.
- Beskow, S., Mello, C., Norton, L., Curi, M., Viola, M., Avanzi, J. (2009), "Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling", *Catena*, 79:49–59.
- Chi, Z., Yao, Z., Shen, S., Hiroyuki, N., Haruyoshi, I., Peng, C., Jun, F. (2008), "Development of GIS-based FUSLE model in a Chinese fir forest sub-catchment with a focus on the litter in the Dabie Mountains", China, *Forest Ecology and Management*, 255: 2782–2789.
- Cohen, M., Shepherd, M., Walsh, M., (2005), "Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed", *Geoderma*, 124:235–252.
- Dumas, P., Printemps, J., Mangeas, M., Luneau, G. (2010), "Developing erosion models for integrated coastal zone management: A case study of The New Caledonia west coast", *Marine Pollution Bulletin*, 61:519–529
- Fu, G., Chen, S., McCool, D. (2006), "Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS", *Soil & Tillage Research*, 85:38–49.

- Kinnell, P. (2000), "AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non point source pollution model", *Environmental Modelling & Software*, 15: 331–341.
- Lin, C., Lin, W., Chou, W. (2002), "Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience", *Soil & Tillage Research*, 68:143–152.
- Lin, W., Tsai, J., Lin, G., Huang, P. (2008), "Assessing reforestation placement and benefit for erosion control: A case study on the Chi-Jia-Wan Stream", Taiwan, *Ecological Modeling*, 211: 444–452.
- Lufafaa, A., Tenywa, M., Isabiryeb, M., Majaliwaa, M., Woomer, P. (2003), "Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model", *Agricultural Systems*, 76: 883–894.
- Mannaerts, C., Gabriels, D. (2000), "A probabilistic approach for predicting rainfall soil erosion losses in semiarid areas", *Catena*, 40:403–420.
- Marques, M., Bienes, R., Jiménez, L., Rodríguez, R. (2007), "Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events", Rainfall simulation over USLE plots, *Science of the Total Environment*, 378: 161–165.
- Pelacani, S., Märke, M., Rodolfi, G. (2008), "Simulation of soil erosion and deposition in a changing land use: A modelling approach to implement the support practice factor", *Geomorphology*, 99: 329–340
- Ranieria, S., Liera, Q., Sparoveka, G., Flanagan, D. (2002), "Erosion database interface (EDI): a computer program for georeferenced application of erosion prediction models", *Computers & Geosciences*, 28: 661–668.
- Shamshad, A., Azhari, M., Isa, M., Hussin, W., Parida, B. (2008), "Development of an appropriate procedure for estimation of RUSLE EI30 index and preparation of erosivity maps for Pulau Penang in Peninsular Malaysia, *Catena*", 72:423-432.

- Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, L., Iaquina, 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
- Vaezi, A., Sadeghi, SH., Bahrami, H., Mahdian, M. (2008), "Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran", *Geomorphology*, 97: 414–423
- Zhou., W. & Bingfang, W. (2008), "Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China", *International Journal of Sediment Research*, 23: 167-173.

