

ارزیابی پهنه‌های تحت خطر فرسایش خاک در حوضه سراسکندر چای، دامنه‌های شرقی کوهستان سهند با استفاده از مدل USLE و GIS

مریم بیاتی خطیبی^۱
فریبا کرمی^۲
معصومه رجبی^۳
محمد رضا نیکجو^۴

چکیده

با تداوم روند خشکی محیط و مدیریت غیراصولی آن، فرسایش خاک به یکی از مهم‌ترین مسائل دامنه‌های شرقی سهند تبدیل شده است. در این محدوده و در مقیاس حوضه‌ای، عوامل متعددی در زمینه‌سازی و تشدید فرسایش خاک دخیل هستند. در محدوده مورد مطالعه - به عنوان یک منطقه نیمه‌خشک واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (شمال غرب ایران) - خاک تحت فرسایش شدید آبی قرار گرفته است. آثار این فرسایش در محدوده مورد مطالعه - به عنوان یک محدوده کشاورزی و دامپروری مهم کشور - به صورت سطوح آشفته با خندق‌ها و شیارهای متعدد ظاهر شده است. برای بررسی علل و عوامل فرسایش آبی و شناسایی محدوده‌های تحت خطر فرسایش از مدل USLE استفاده و از تکنیک GIS بهره‌گیری شده است. در این مقاله، با استفاده از مدل مذکور که اساس آن بکارگیری پارامترهای توپوگرافی، اربری، بارندگی و نوع خاک است، فرسایش آبی مورد تحلیل قرار گرفته و در نهایت محدوده‌های تحت خطر، پهنه‌بندی شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بین عوامل مورد بررسی، طول و شیب دامنه به عنوان عوامل توپوگرافی، نقش

۱- دانشیار گروه پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه پژوهش‌های جغرافیایی دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.

۴- استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.

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، خندق‌های عمیق تشکیل گردیده و با افزایش میزان سیلت، فرسایش خطی نیز تشدید شده است. نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش نشان می‌دهد که شیب‌های منتهی به دشت‌های سیلابی از پتانسیل بالایی برای تشدید فرسایش آبی برخوردارند.

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

مقدمه

با توجه به حجم مواد حاصل از فرسایش و بزرگی اشکال ناشی از آن در دامنه‌های شرقی سهند، به نظر می‌رسد که فرسایش خاک در سطوح شیب‌دار محدوده مورد مطالعه به حد قابل تعمقی رسیده است. افزایش تعداد شیارها و توسعه بخش انتهایی خندق‌ها و انباشتگی حجم انبوهی از مواد دامنه‌ای حاصل از فرسایش در پای دامنه‌ها حاکی از تشدید فرسایش خاک و مواد دامنه‌ای در دهه اخیر در محدوده مورد مطالعه است. افزایش میزان فرسایش در شرایطی در منطقه مورد نظر اتفاق می‌افتد که سدهای متعددی در مسیر رودخانه‌های جاری بسته شده است. با توجه به اهمیت منطقه از نظر کشت و دامپروری و همچنین وجود تاسیسات مهم در مسیر رودخانه‌ها، جلوگیری از فرسایش با تکیه بر مشخص نمودن عوامل فرسایش و شناسایی پهنه‌های تحت فرسایش، جلوگیری از تلف شدن خاک از ضروریات بوده و اولین قدم مهم در مدیریت زمین و حفظ یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی منطقه است. در واقع، پیش‌بینی فرسایش خاک در منطقه و ارزیابی عوامل اصلی فرسایش در محیط، اولین مرحله در انتخاب روش‌ها و راهبردهای مناسب برای کنترل فرسایش خاک در محدوده مورد مطالعه است. در محدوده 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 صورت می‌گیرد. مدلی که با دخیل نمودن 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 (کینل^۱، ۲۰۰۰، ص ۳۳۱). با عنایت به حساسیت منطقه از نظر فرسایش و محسوب شدن منطقه به عنوان یک محدوده کشاورزی و دامپروی مهم در منطقه شمال غرب ایران، در این مقاله سعی شده است با استفاده از معادله جهانی فرسایش، بخش‌های حساس به فرسایش شناسایی شود.

به علت اهمیت خاک و حفظ آن و همچنین شناسایی پهنه‌های تحت فرسایش، مسأله تلف شدن مواد سطحی توسط محققان داخلی و خارجی از ابعاد مختلف مطالعه و با استفاده از روش‌های متعدد مورد بررسی قرار گرفته است (واعظی و همکاران^۲، ۲۰۰۸ ص ۴۱۴، دوماس و همکاران^۳، ۲۰۱۰ ص ۵۱۹ و بسکو و همکاران^۴، ۲۰۰۹ ص ۵۰، مارکوز^۵، ۲۰۰۷ ص ۱۶۲، شمشاد و همکاران^۶، ۲۰۰۸؛ چی^۷، ۲۰۰۸؛ آسروالد و همکاران^۸، ۲۰۰۹؛ مانرت و گابریل^۹، ۲۰۰۰) تراهوا و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۹ ص ۲۲۹؛ سبه کاور و هافیرکا^{۱۱}، ۲۰۰۸ ص ۱۸۸؛ پلاسانی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۸ ص ۳۸۰، بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸، آل کثیر، ۱۳۷۴). در محدوده مورد مطالعه، با توجه به نیاز منطقه به مدیریت و ایجاد تاسیسات متعدد، خاک و نوع آن در قالب تهیه نمونه‌های متعدد مورد بررسی قرار گرفته است (گزارشات خاکشناسی شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴) اما پهنه‌های تحت خطر فرسایش و عوامل فرسایش، که اساس شروع اقدامات مدیریتی است، مورد شناسایی قرار نگرفته است.

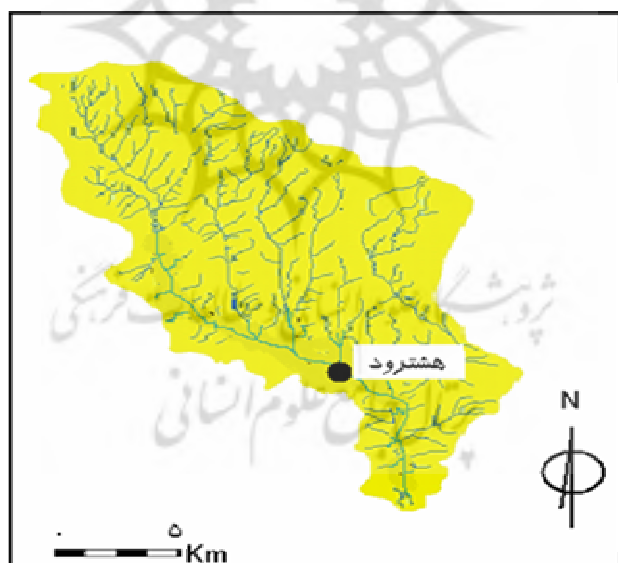
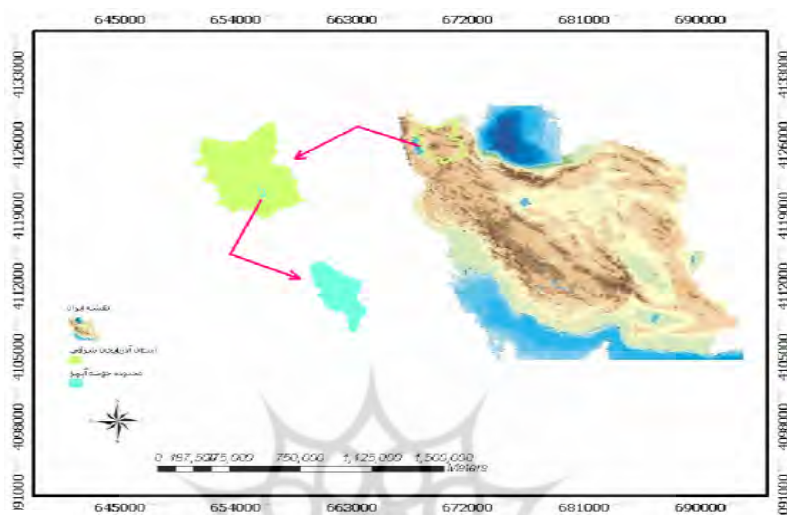
- 1- Kinnell
- 2- Veazi et al.,
- 3- Dumas et al.,
- 4- Beskow et al.,
- 5- Marques
- 6- Shamshad et al.,
- 7- Chi et al.,
- 8- Auerswald et al.,
- 9- Mannart and Gabrils
- 10- Terrahova et al.,
- 11- Cebecauer and Hfierka
- 12- Pelacani et al.,

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های حوضه سراسکندرچای

حوضه سراسکندر چای با وسعت ۲۱۶/۷۹ کیلومتر مربع در بخش شمالی حوضه بزرگ قرنقوچای و شمال غرب ایران قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه به عنوان یکی از زیرحوضه‌های قرنقوچای، از حوضه‌های مهم دامنه‌های شرقی کوهستان سهند می‌باشد. منابع آب سطحی 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 از حوضه تخلیه می‌گردد. حضور طبقات ناتراوای مارنی، گچی، نمکی و گل‌سنگی 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. متأثر از این ویژگی اغلب رواناب‌ها و مسیل‌های جاری بر سطح آنها از استعداد طغیانی بالا تا متوسطی برخوردارند.

آبرفت‌های کوآترنرومارن‌های 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 حاکی 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 (شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴، بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸).

اقلیم منطقه سرد و نیمه‌خشک، با متوسط ۳۷۹ میلی‌متر در سال و با متوسط دمای سالانه ۹/۸ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به اقلیم حاکم بر منطقه، رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه با استناد به آمار گزارشات خاک‌شناسی سد سهند، Typic Xeric و رژیم حرارتی آن Mesic می‌باشد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۸۴). کشت غلات و حبوبات و اخیراً کاشت درختات سیب از محصولات اصلی حوضه مورد مطالعه است.



شکل (1) موقعیت جغرافیایی حوضه سراسکندرچای

مواد و روش‌ها

به علت ارائه نتایج قابل قبول معادله جهانی فرسایش در محدوده‌های کوهستانی (ژولین، ۱۳۸۷، اروسوال و همکاران^۱، ۲۰۰۹، ص ۱۸۴) در این مقاله برای بررسی پتانسیل فرسایش خطی در شیب‌ها و سطح حوضه سراسکندرچای از معادله مذکور استفاده شده است (رابطه (۱)).

$$E=RK(LS)CP \quad \text{رابطه (۱)}$$

رابطه ۱ (معادله E و یا USLE) به عنوان معادله جهانی فرسایش، میزان اتلاف خاک از یک سطح را حاصل ضرب 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 به ترتیب زیر محاسبه و نتایج حاصل مورد تحلیل قرار گرفته است.

الف- محاسبه عوامل توپوگرافی

در معادله جهانی فرسایش، برای تعیین عوامل توپوگرافی دو پارامتر شیب و طول دامنه دخیل داده شده است. ترکیب شیب و طول دامنه در معادله نهایی، تحت عنوان LS است که از رابطه (۲) قابل محاسبه است که در این مقاله از آن استفاده شده است:

$$LS=(\lambda/22.1)^m (0.43+0.35s+0.043s^2) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\lambda = \text{طول شیب بر حسب متر و } S = \text{شیب به درصد}$$

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

1- Auerswall et al.

میران و مسیر رودخانه‌ها رقومی و رسترایز شده و بطور خطی انترپولیتد شده است. نقاط ارتفاعی از چندین نقطه تثبیت و تصحیح شده است.

ب- محاسبه عمل فرساینده‌گی باران (R)

ضریب R شاخصی است که به انرژی سینتیکی باران بستگی دارد و با حداکثر شدت باران‌های ۳۰ دقیقه‌ای همبستگی نزدیک نشان می‌دهد. بطور تیبیک عامل فرسایش‌زایی باران، کل انرژی رگبارها 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 ۳).

$$R = EI = 0.3(\sum pi/p)^{1.93} \quad \text{رابطه (۳)}$$

pi = میانگین بارندگی ماهانه (به میلی‌متر) و p = میانگین بارندگی سالانه (به میلی‌متر)

پ- محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

عامل K در معادله جهانی فرسایش که منعکس‌کننده ویژگی‌های خاک در مقابل فرسایش - است و برحسب تن در هکتار بیان می‌شود. عواملی مانند توزیع دانه‌بندی، بافت و مقدار موادآلی قابلیت فرسایش‌پذیری خاک را کنترل می‌کنند (ژولین، ۱۳۸۷، ص ۷۸ و کوپر، ۲۰۰۳، ص ۹۶ و ۹۷) مقدار K با رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$K = 7.594[0.0034 + 0.0405.e^{-1/2[(\log Dg + 1.659)/0.7101]^2}] \quad \text{رابطه (۴)}$$

Dg میانگین ژئومتریکی قطر ذرات (به میلی‌متر) که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Dg = e [\sum fi . \ln mi] \quad \text{رابطه (۵)}$$

i ترکیبات بافت خاک: ماسه رس و سیلت، fi درصد ذرات ماسه، رس و سیلت و mi میانگین حسابی ذرات

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)

فاکتور C در واقع مربوط به عامل کاربری اراضی است و برای بدست 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 بدست 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 بدست آمد و با استفاده از جدول مربوط به عامل C (جدول ۲) برای هر حوضه بدست آمد و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS9.3 تبدیل به رستر گردید.

عامل P می‌تواند در صورت نبود اطلاعات کافی در مورد نحوه مدیریت اراضی از معادله حذف شود (هارتچر و همکاران^۱، ۲۰۰۸، ص ۳۷۱). در این تحقیق نیز به علت نبود اطلاعات کافی، P محاسبه نشده است. در نهایت با استفاده از لایه‌های بدست 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 بدست آمده است.

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

کاربری زمین	عامل C
کشت ردیفی	۰/۱۸
مراعی	۰/۰۵
محدوده درختان	۰/۰۱
محدوده‌های بدون پوشش گیاهی	۰/۰۳
مزارع	۰/۰۴

بحث و نتایج

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

خطر فرسایش خطی

طبق نقشه پهنه‌بندی فرسایش خطی که برای حوضه سراسکندر تهیه شده است، می‌توان مشاهده نمود (شکل ۲) 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 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.

1- Hartcher et al.,

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

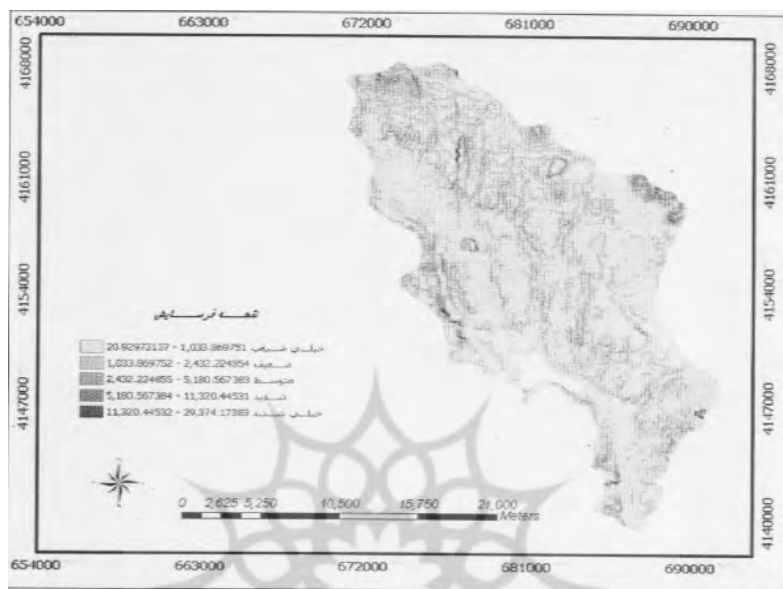
طبقه	میزان فرسایش به تن در هکتار در سال	درصد مساحت تحت اشغال	توصیف
۱	۲۰،۹۲-۱۰۳۳،۸۶	۶۷	خیلی ضعیف
۲	۱۰۳۳،۸۶-۲۴۳۲،۲۲	۱۱	ضعیف
۳	۲۴۳۲،۲۲-۵۱۸۰،۵۶	۸	متوسط
۴	۵۱۸۰،۵۶-۱۱۳۲۰،۴۴	۵	شدید
۵	۱۱۳۲۰،۴۴-۲۹۳۷۴،۱۷	۹	خیلی شدید

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.

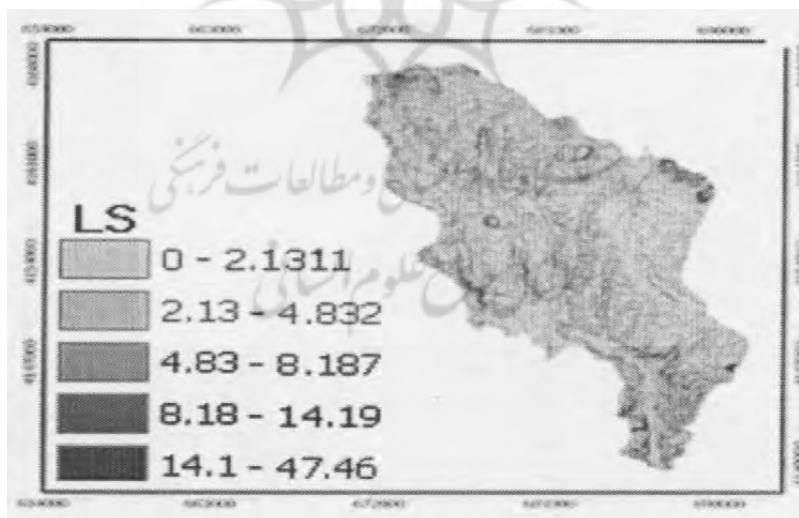
نقش عوامل توپوگرافی در فرسایش خطی

مشاهدات میدانی در بخش‌های مختلف حوضه سراسکندرچای نشان می‌دهد که شیارهای عمیق و بخش‌های انتهایی خندق‌ها که مواد را به صورت توده‌ای وارد داخل خندق‌ها می‌کنند، در روی دامنه‌ها قرار گرفته‌اند و در واقع سطح شیب‌هایی که آبرفت‌های ضخیم و خاک‌ها بر روی آنها مستقر شده‌اند بیشتر در معرض فرسایش قرار گرفته‌اند.

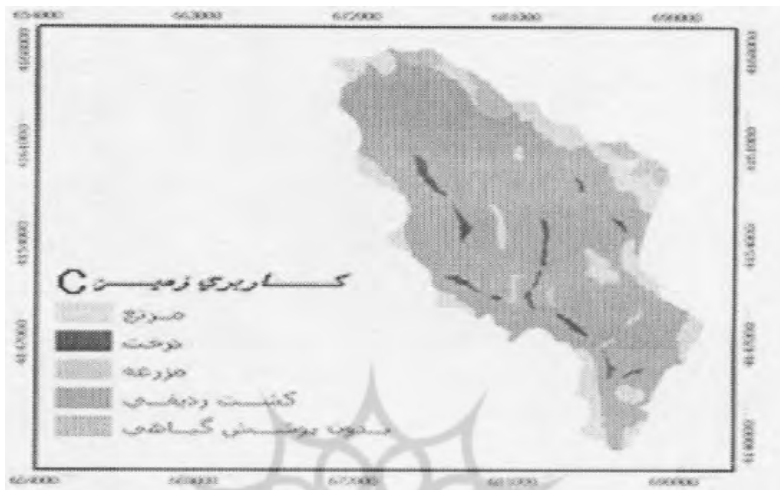
مقایسه نقشه شیب با نقشه پهنه‌بندی شدت فرسایش حاکی از آن است که در بخش‌هایی که شیب افزایش می‌یابد شدت و میزان فرسایش نیز افزایش می‌یابد. در شیب‌های منتهی به آبراهه‌ها و دشت‌های سیلابی این امر بسیار بارز قابل مشاهده است (شکل ۳).



شکل (۲) پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه سراسکندرچای (در این شکل، الف) کاربری زمین، ب) ls (ت) میزان k_t پ بارش (ث) پهنه‌بندی نهایی



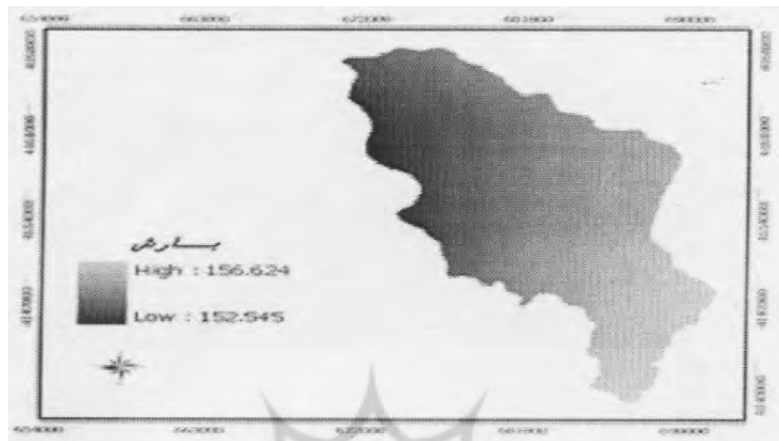
الف



ب.



ج.



ت



شکل (۳) رابطه طول دامنه با فرسایش و رابطه بین تعداد خندق‌ها و شیارها با طول دامنه (R معرف شیارها و G معرف خندق‌ها)

طول دامنه نیز به عنوان یک پارامتر مهم و تأثیرگذار در فرسایش خطی در معادله جهانی توام با شیب در نظر گرفته می‌شود. در واقع طول دامنه به عنوان پارامتر تعیین کننده نوع فرسایش و میزان تلف شدن خاک و یا بطور کلی فرسایش سازندها در سطوح دامنه‌ها است. طول دامنه بیش از هر نوع فرسایش دیگر، در فرسایش شیاری تعیین کننده است. به همین دلیل در معادله جهانی فرسایش به عنوان یک عامل ترکیبی در فرسایش خاک در نظر

گرفته می‌شود. 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 ۳).

بررسی‌های میدانی در حوضه سراسکندرچای نشان می‌دهد که در دامنه‌های پر شیب و با طول کم، معمولاً فرسایش شیاری حاکم است. در دامنه‌های طولانی و تا حدی کم‌شیب خندق‌های عمیق تشکیل شده‌اند. نمونه‌برداری‌ها و بررسی از روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی حاکی از این است که بین طول دامنه و تشکیل شیارها و خندق‌ها - به عنوان نوع مشخصی از فرسایش خطی - رابطه وجود دارد (شکل ۴).



شکل (۴) تشکیل شیارها در سطح دامنه‌ای با طول کم (تصویر سمت راست) تشکیل خندق در سطح یک دامنه طولانی در حوضه سراسکندرچای

باتوجه به نمودار ارائه شده (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که 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 ۴).

نقش عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی موثر بر فرسایش خطی

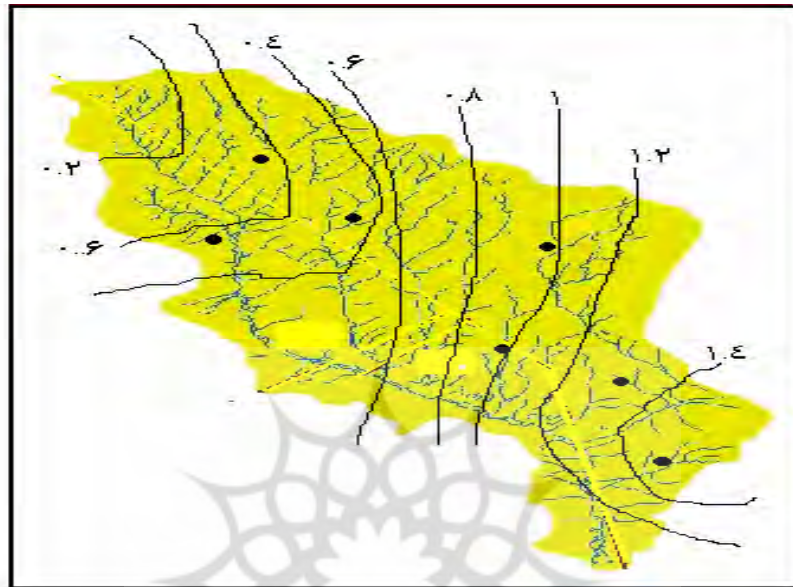
برای بررسی وضعیت اقلیمی حوضه سراسکندرچای، از آمار ایستگاه نزدیک شهر هشترود، یعنی ایستگاه میانه استفاده شده است. بررسی آمار بارش و دما در طی ۲۰ سال اخیر نشان می‌دهد که میزان بارش در منطقه در طی این بیست سال، رو به کاهش بوده است. کاهش

در بارش به معنی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و سطحی و کاهش پوشش سطحی و بی‌حفاظ شدن سطح دامنه‌ها در مقابل فرسایش، بویژه فرسایش خطی است. در محدوده مورد مطالعه، علاوه بر تغییرات در میزان بارش، در میزان دما نیز تغییرات مشاهده می‌شود. عبارت دیگر، میزان دما برخلاف بارش، در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است.

تحلیل نقشه بارش و R و تطبیق 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 به عنوان 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 بطور کامل تحت پوشش گیاهی نیستند، بارندگی‌های رگباری و تمرکز آنها در سطوح دامنه‌ها و پای دامنه‌ها، به تشکیل خندق‌های عمیق منجر می‌شود. به عبارت دیگر در محدوده‌هایی که زمینه برای تمرکز بارش‌های رگباری فراهم می‌گردد، فرسایش خطی تشدید می‌گردد.

جدول (۴) تراکم زهکشی در زیرحوضه سراسکندرچای

DR	AS	L	شماره زیرحوضه
۱،۴	۱۱،۰۷	۱۵،۵	۱
۱،۴	۲۷،۰۶	۳۸	۲
۰،۹	۱۰،۶	۹،۷۵	۳
۱،۲۵	۲۶	۳۲،۵	۴
۰،۳۸	۴۸،۳۵	۱۸،۴	۵
۰،۵۹	۳۲،۹۵	۱۹،۵	۶
۰،۶۵	۶۵،۲۵	۴۳	۷



شکل (۵) تراکم زهکشی در بخش‌های مختلف حوضه سراسکندرچای

با توجه اهمیت تراکم زهکشی در بررسی فرسایش و عدم گویایی تراکم کلی حوضه در ویژگی بخش‌های مختلف حوضه‌ها در این مقاله سعی شده است، حوضه سراسکندر به زیرحوضه‌های متعدد تقسیم (شکل ۵) و تراکم زهکشی برای این زیرحوضه‌ها محاسبه شود، نتایج این محاسبات که در جدول (۴) ارائه شده حاکی از این است که در حوضه مورد مطالعه، زیرحوضه ۴، از تراکم زهکشی بالا برخوردار است (شکل ۵). به عبارت دیگر در این زیرحوضه و در بخش‌های پایین دست حوضه سراسکندر زمینه برای تمرکز آب‌های سطحی و ایجاد فرسایش خطی بیشتر مساعد است.

نقش کاربری و نحوه کشت در فرسایش خطی

دامنه‌های محدوده مورد مطالعه، تحت کشت ردیفی قرار گرفته‌اند. کشت یونجه و غلات در پای دامنه‌های نسبتاً پرشیب منجر به تمرکز آب‌های سطحی شده است (شکل ۶) البته در محدوده مورد مطالعه، و در پای دامنه‌های بی‌حفاظ نیز خندق‌های عمیق تشکیل می‌شوند

که این امر در رابطه با نوع سازندهای سطحی و شیب دامنه‌ها است. تطبیق نقشه نهایی شدت فرسایش و نقشه نوع کاربری حاکی از این است که در محدوده‌هایی که کشت به صورت ردیفی صورت می‌گیرد، شدت فرسایش بیشتر است. مشاهدات میدانی نیز تأییدکننده نتایج بدست آمده است (شکل ۶ و شکل ۷). 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 (۶) کشت ردیفی در سطح دامنه‌های سراسکندر چای و ایجاد یک خندق عمیق با دیواره‌های پرشیب در پای کشت ردیفی



شکل (۷) تعداد شیارها (R) و خندق‌ها (G) در رویانواع کاربری‌ها در حوضه سراسکندر چای

نقش سازندهای سطحی و میزان نفوذپذیری آنها در فرسایش خطی

حوضه سراسکندرچای، از لیتولوژی متنوعی برخوردار است (بیاتی خطی، ۱۳۸۸). این مواد سطحی در بعضی از بخش‌ها، ضمن برخورداری از حساسیت بالا نسبت به فرسایش خطی، تحت تاثیر برخی از عوامل کنترل‌کننده، از پتانسیل بالایی رسوب‌زایی برخوردار هستند. در بخش‌هایی که دامنه‌ها از شیب ملایمی نیز برخوردار باشند و آب‌های سطحی نیز شناس تمركز در سطح دامنه‌ها را داشته باشند، فرسایش خطی در سطح این سازندها امکان‌پذیر خواهد شد. اشكال بارز حاصل از چنین فرسایشی را می‌توان بطور اعم بر روی نهشته‌های آبرفتی، مخروط‌های آبرفتی و دامنه‌های شیب‌دار مشاهده نمود. در واقع وجود پوشش‌های تخریبی بر جا بر روی دامنه‌های نسبتاً شیب‌دار و همچنین انواع نهشته‌های مارنی - توفی، آتشفشانی و آهکی، شیلی زمینه مساعدی را برای چنین فرسایشی فراهم می‌سازند. مقاومت سنگ‌های رسوبی علاوه بر مجموعه عوامل محیطی و ترکیب کانی‌شناسی و مشخصات اجزاء تشکیل‌دهنده به نوع خمیره و سیمان آنها نیز بستگی دارد. در زیرحوضه‌های مورد مطالعه، ماسه سنگ‌هایی با سیمان سیلیسی بسیار مقاوم‌تر از ماسه‌سنگ‌های با سیمان کلسیتی در مقابل فرسایش هستند. کنگلومراهای مقاوم و سیمانته با درجه پیوستگی بالا که به صورت 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، بویژه فرسایش خطی برخوردارند. این سنگ‌ها در مقابل هوازدگی و سایر اشكال فرسایشی متداول در منطقه به سرعت تخریب و محصولات تخریبی به اقتضای شرایط هیدرودینامیکی، توپوگرافی به اشكال مختلف جابجای می‌شوند.

در سطح حوضه، انواع نهشته‌های آهکی و دولومیتی، ژیبسی و نمکی که به تنهای و یا در ترکیب با یکدیگر در توالی چینه‌ای واحدهای مختلف توسعه و پراکندگی دارند. از جمله سنگ‌های رسوبی با منشاء شیمیایی و بیوشیمیایی هستند که در گستره‌ای از حوضه پراکنده

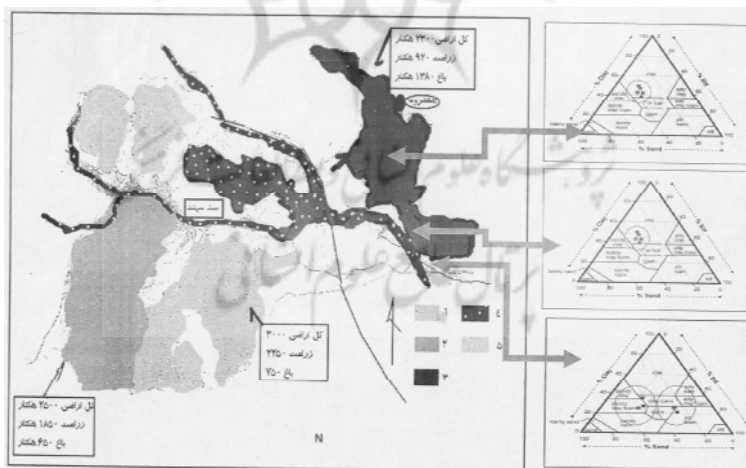
شده‌اند. رخنمون‌های آهکی و دولومیتی با مقاومت نسبی بالا، سازنده ارتفاعات و مناطق برجسته و کوهستانی حوضه‌های مورد مطالعه هستند. بازتاب فعالیت‌های تکتونیکی منطقه در ادوار مختلف زمین‌شناسی بر روی این نهشته‌ها در سیمای ساختمان‌های چین‌خورده و توسعه سیستم‌های گسله شکستگی و درز و شکاف تظاهر دارد. سنگ‌های دارای منشاء آذرین در محدوده مورد مطالعه عبارتند از رخساره‌های داسیتی، تراکی آندزیت و ایگنبریت‌ها مربوط به دوره‌های ائوسن تا پلیوسن و رخساره‌های آذرین درونی هستند که نسبت به فرسایش خطی زیاد حساسیت نشان نمی‌دهند.

اصولاً شدت و میزان فرسایش با نوع سازندهای سطحی و میزان نفوذپذیری آنها در رابطه است. در بخش‌هایی از حوضه مورد مطالعه که سازندهای سطحی با نفوذپذیری کم گسترده شده است، میزان تراکم آب‌های سطحی بالا و به همان میزان شدت فرسایش، بویژه شدت فرسایش خطی نیز بالا است. 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 کواترنر 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 هستند. میزان تراکم زهکشی بر روی آنها نسبتاً پایین است.

میزان نفوذپذیری سازندهای سطحی در حوضه سراسکندرچای تا حدی متفاوت می‌باشد. سازندهای سطحی تشکیل‌دهنده این حوضه از نظر نفوذپذیری با یکدیگر متفاوت هستند. تراس‌های آبرفتی مربوط به کواترنر که بخش اعظم این حوضه را تشکیل می‌دهند 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 (جدول ۵ و شکل ۸).

جدول (۵) درجه نفوذپذیری واحدهای سنگی در محدوده حوضه سراسکندر چای (گزارش مطالعات خاکشناسی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای (۱۳۸۴))

دوره	علائم	خصوصیات سنگ‌شناسی	درجه نفوذپذیری نسبی				
			افزایش نفوذپذیری ←				
		نوع سنگ	۱	۲	۳	۴	۵
کوانرنز	QT2	پادگانه‌های آبرفتی نسبتاً قدیمی	████████████████████				
	M ^{P1} 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	████████████████████				
میوسن	Q	آبرفت‌های جدید	████████████████████				
	Ap	آپلیت	████████████████████				
	Gr	گرانیت	████████████████████				
ائوسن	E ^v 1	ریولیت	████████████████████				



شکل (۸) نوع خاک و محل نمونه‌های تهیه شده از بخش‌های مختلف محدوده‌های مورد مطالعه

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 به نظر می‌رسد که باید به نحو اصولی در مقابل تشدید فرسایش آبی تدابیری اتخاذ شود و از آتش‌سوزی سطوح دامنه‌ها که زمینه را به تمرکز رواناب‌ها مساعد می‌سازد جلوگیری گردد.

منابع

- ۱- آل کثیر، ع. (۱۳۷۴)، «پژوهش‌های ژئومورفولوژی و هیدرولوژی دامنه‌های شرقی سه‌سند»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- ۲- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۸)، «تحلیل و ارزیابی فرسایش خطی در حوضه‌های شورچای و کلکان چای»، طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز.
- ۳- گزارش مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق باغات پایاب سد سه‌سند هشترود (۱۳۸۴)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- ۴- مطالعات خاکشناسی نیمه تفصیلی دقیق اراضی پایاب سد خرمدرق (۱۳۸۴)، شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل.
- ۵- ژولین، پ. (۱۳۸۷)، «مکانیک رودخانه‌ها»، ترجمه محمد جعفرزاده، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- 6- Auerswald, K., Fiener, P., Dikau, R. (2009), "Rates of Sheet and Rill Erosion in Germany - A Meta-analysis", *Geomorphology*, 111: 182-193.
- 7- 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.
- 8- 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.
- 9- 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.

- 10- 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.
- 11- Kinnell, P. (2000), "AGNPS-UM: Applying the USLE-M within the Agricultural Non Point Source Pollution Model", *Environmental Modelling & Software*, 15: 331-341.
- 12- Mannaerts, C., Gabriels, D. (2000), "A Probabilistic Approach for Predicting Rainfall Soil Erosion Losses in Semiarid Areas", *Catena* 40: 403-420.
- 13- 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.
- 14- Pelacani, S., Märker, 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.
- 15- 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.
- 16- 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.
- 17- 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
- 18- Vaezi, A., Sadeghi, S.H., Bahrami, H., Mahdian, M. (2008), Modeling the USLE K-Factor for Calcareous Soils in Northwestern Iran, *Geomorphology* 97: 414-423.