بررسی و پیش بینی ژئومرفومتریک فرسایش آبی در حوزه آبخیز امامزاده عبدالله خوزستان

عطاالله خادم الرسول، هادی عامری خواه
به ترتیب استادیار و مربی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهید چمران اهواز
a.khademalrasoul@scu.ac.ir

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تغییر پذیری فرسایش آبی در ارتباط با مولفه های ژئومرفومتری و امکان مدلسازی فرسایش خاک با این پارامترها در حوزه آبخیز امامزاده عبدالله در شمال شرقی شهرستان باغملک استان خوزستان انجام گرفت. پس از تهیه داده های اولیه خصوصیات اولیه و ثانویه ژئومرفومتری که می‌توانند موثر در فرسایش خاک در منطقه باشند با کمک نرم افزار ArcGIS و با استفاده از DEM تهیه شد. این پارامترها شامل شیب، انحنا و شاخص های جریان مانند طول، تجمع جریان و شاخص های توپوگرافی و توان رودخانه ای می باشد. مقادیر فرسایش آبی بر اساس مدل WEPP و مدل PSIAC با استفاده از داده های موجود و آنالیزهای آزمایشگاهی تعیین گردید. داده مدل PSIAC هیچگونه رابطه ای با پارامترهای ژئومرفومتری نشان نمی دهند. برخی از این پارامترها رابطه معنی دار با مقدار فرسایش آبی برآورد شده مدل WEPP نشان می دهند. مدلی با ضریب تبیین بسیار خوب با استفاده از رگرسیون خطی چند متغییره بدست آمده جهت تعیین مقدار فرسایش خاک تهیه گردیده و نقشه فرسایش منطقه به این شیوه تهیه گردید. استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری امکان برآورد فرسایش را بر مبنای مدلهای ساده خطی فراهم می آورد.

واژه های کلیدی: ژئومرفومتری، شاخص توان رودخانه‌ای، شاخص توپوگرافی، فرسایش آبی

مقدمه

امروزه در کنوانسیونهای مختلف توجه ویژه ای به مقوله تخریب خاک و اشکال مختلف آن صورت می پذیرد. یکی از بارزترین و به نوعی مخربترین اشکال تخریب خاک پدیده فرسایش خاک می باشد که سالانه میلیونها و یا میلیاردها تن خاک را از محل اصلی آن جدا نموده و با خود حمل می نماید. همانگونه که در منابع مختلف بیان شده است (رفاهی، ۱۳۸۲) عوامل متعددی بر وقوع پدیده فرسایش خاک موثر می باشند که مهمترین آنها عبارت از شکل زمین، آب و هوا، مواد مادری، پوشش گیاهی، خصوصیات خاک و مقوله های مدیریتی هستند. خصوصیات ژئومورفولوژیکی[1] هر منطقه با توجه به تاثیراتی که بر روی خاک به عنوان خروجی فرایند هوازدگی بر جای می گذارد از اهمیت و جایگاه ویژه ای برخوردار می باشد. ژئومرفومتری یک روش تحلیلی و مدرن برای نشان دادن پستی و بلندی زمین است که امکان استخراج برخی از خصوصیات عوارض زمین را فراهم می کند (Wilson and Gallant, 2000) به طوریکه بوسیله آن می توان بسیاری از ویژگی های عوارض زمین را به صورت کمّی نشان داد و شاخص هایی را که قبلاً غیر قابل تولید یا به سختی قابل استخراج بودند و برای بررسی فرایندهای محیطی بکار می رفتند را تهیه کرد. مدل سازی رقومی عوارض زمین این امکان را به ما می دهد که بتوانیم وضعیت پستی و بلندی سطح زمین را به شکل واقعی تری نسبت به قبل مشاهده کنیم و نتایج و تولیدات خود را ذخیره، مدیریت، توسعه و به روز رسانی کنیم (Li et al., 2005). پستی و بلندی نقش مهمی در توزیع مکانی خاک ها و خصوصیات آنها دارد که این مسئله در مناطق با ناهمواری زیاد از اهمیت بیشتری برخوردار می گردد (Schaetzl and Anderson, 2005). پارامترهای ژئومرفومتری به عنوان شاخصی مستقیم از اثر شکل زمین بر فرسایش خاکها فوق العاده حائز اهمیت بوده و این مسئله بخصوص در مدلهای ریاضی برآورد فرسایش اهمیت بیشتری می یابد (Suriyaprasit, 2008). این تحقیق با این منطق که مطالعات میدانی و

[1]Geomorphological properties

تجزیه های آزمایشگاهی رایج خاک به علت زمان بر بودن و هزینه های زیاد آنها دیگر مقرون به صرفه نمی باشند و این مسئله باعث شده است تا سایر روش از جمله پدومتری و تهیه نقشه های رقومی خصوصیات خاک مانند فرسایش بسیار مورد توجه قرار گیرد (McBratney, 1992) استوار است. هدف از این مطالعه بررسی فرسایش آبی در ارتباط با تغییر پذیری پارامترهای ژئومرفومتری و نیز بررسی امکان مدلسازی خطی فرسایش آبی با این پارامترها می باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه مورد مطالعه با نام حوزه آبخیز امامزاده عبدالله در شمال شرقی شهرستان باغملک و در شمال بخش صیدون واقع شده است. محدود تقریبی جغرافیایی حوزه مورد مطالعه به مساحت تقریبی ۱۰۴۵۵ هکتار بین ´۱۸ °۳۱ تا ´۳۳ °۳۱ شمالی و نیز ´۵ °۵۰ تا ´۱۳ °۵۰ شرقی می باشد. از لحاظ زمین شناسی در این حوزه واحدهای سنگی-چینه ای عمدتا متعلق به دوران سوم در قالب چهار سازند پابده، آسماری، گچساران و بختیاری به همراه رسوبات دوران چهارم می باشد.مجموع بارندگی سالیانه حوزه ۷۱۲ میلیمتر و حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۴,۷ و ۴۱,۷ درجه سانتیگراد می باشد. مساحت حوزه امامزاده عبدالله در شمال شرقی شهرستان باغملک با ۶ واحد هیدرولوژیکی با خاکهای انتی سول و اینسپتی سول پوشیده شده است. مرحله اول این پژوهش دربرگیرنده بازدیدهای میدانی و مطالعات کتابخانه ای همراه با تهیه تصاویر ماهواره ای، عکس های هوایی و نقشه های مورد نیاز از منابع قابل اطمینان نظیر سازمان زمین شناسی و شرکت ملی نفت ایران می باشد. مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوزه مورد مطالعه از سایت ارث اکسپلورر[1] تهیه شده است. دقت مدل رقومی استفاده شده در این بررسی حدود ۳۰ متر می‌باشد. پیش از استفاده از DEM، فرایندهای پیش‌پردازشی ضروری برای افزایش کیفیت و رفع خطاهای احتمالی آنها انجام گرفت. برای تنظیم دقیق‌تر ارتفاع عملیات حذف گودی‌های کاذب[2] که بالغ بر ۳۸۶ عدد بودند با استفاده از زیر روال Fill در نرم‌افزار ArcGIS اصلاح شدند. خصوصیات اولیه و ثانویه ژئومرفومتری که می‌توانند موثر در تفکیک انواع آشکال اراضی، سطوح ژئومرفولوژی و نتیجتاً موثر در فرسایش پذیری خاک های منطقه باشند با کمک نرم افزار ArcGIS و با استفاده از DEM تهیه شده، استخراج شد. منظور از خصوصیات اولیه، پارامترهایی است که دارای فرمول استخراج مستقل می‌باشند. اما خصوصیات ثانویه عمدتاً مشتق از یک یا چند پارامتر اولیه هستند. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق عبارتند از: -انحنای کلی[3]، بعنوان یک مفهوم ژئومتریکی می باشد که بیانگر انحنای موجود در سطح نسبت به یک خط مستقیم است در این ارتباط دو نمونه از انحنا شامل انحنای طولی و انحنای مسطح اندازه گیری و تعیین گردید (Peckham, 2011). انحنای طولی یا پروفیلی[4]، نرخی از شیب طولی است که زمانیکه در جهت واحد وکتور جریان جابجا می شویم و با پیروی از یک جریان بالادستی[5] تغییر می نماید. انحنای مسطح یا کنتوری، نرخی است که در آن زمانیکه در راستای خط کنتوری جابجا می شویم، جهت جریان تغییر می‌نماید. در حقیقت برای انحنای کلی، انحنای طولی و انحنای مسطح با توجه به شکل شیب اعم از مقعر، محدب و یا صاف مقادیر مثبت، صفر و نیز منفی می تواند وجود داشته باشد (Peckham, 2011). جهت[6]: جهت در امتداد خط افق (برحسب درجه) . شاخص انتقال رودخانه ای ، طول جریان: که عبارت از فاصله از هر نقطه ای در آبخیز تا نقطه خروجی حوزه[7] می باشد و این فاصله در امتداد جهت جریان اندازه گیری می شود. تجمع جریان : بر مبنای تندترین شیب نزولی در هر سلول تعیین می گردد .شاخص توان رودخانه ای[8] : بیانگر توان فرسایندگی جریان بالادستی به عنوان تابعی از شیب محلی و منطقه زهکشی بالادستی می باشد. با توجه به ماهیت این پارامتر مقادیر بالاتر SPI نشان

[1] Earth Explorer
[2] Sink
[3] Curvature
[4] Profile curvature
[5] Overland flow
[6] Aspect
[7] Outlet
[8] Stream power index (SPI)

دهنده مناطقی بر روی لنداسکیپ است که دارای پتانسیل بالاتری برای تولید فرسایش و جریان بالادستی در طول وقوع رواناب سطحی می باشند (Danielson, 2013). شاخص توپوگرافیکی[1] : این شاخص عموما تجمع جریان در نقاط پست توپوگرافیکی را پیش بینی می نماید (مناطقی که جریان تجمع می‌یابد) و بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$\lambda = Ln (\alpha/\tan\beta)$

که در رابطه بالا:

λ: شاخص توپوگرافیک و α: منطقه موثر شیب بالایی (Upslope) بر واحد طول کنتور و β: شیب توپوگرافی هر سلول می‌باشند. در این پژوهش به منظور تعیین شاخصهای فوق الذکر از نرم افزار ArcGIS و نقشه های پایه منطقه استفاده شد. نقشه های موارد فوق به صورت رستری با دقت مترادف با دقت DEM تهیه گردیدند. با استفاده از زیر روال Zonal Statistics مقادیر تمام پیکسل ها برای هر پلی گون واحد کاربری اراضی منطقه استخراج و بررسی های آماری در محیط نرم افزار SPSS صورت گرفت. بر اساس داده های موجود و نیز مطالعاتی صحرایی صورت گرفته اطلاعات مورد نیاز مدل WEPP و نیز فرم های اطلاعاتی مدل PSIAC تهیه گردیدند. بر پایه روی هم گذاری نقشه های خاک و کاربری اراضی ۹ واحد مطالعاتی با ۲۳ پلی گون بدست آمد .برای ۱۸ واحد شبیه سازی فرسایش آبی با تکمیل تمامی داده ها با استفاده از مدل WEPP نسخه ۲۰۱۰ بر روی تک هیل اسلوپ های تعریف شده صورت گرفت. بر مبنای امتیاز دهی واحد ها مقدار فرسایش PSIAC برای هر پلی گون تعیین گردید. مقادیر فرسایش هر دو مدل در کنار داده های استخراج شده از نقشه های پارامترهای ژئومرفومتری برای نقاط هم ارز در نرم افزار SPSS آنالیز شده و همبستگی ها با ضریب همبستگی پیرسون و مدلسازی بر مبنای روش رگرسیون خطی چند متغییره گام به گام صورت گرفت.

نتایج و بحث

یازده پارامتر محاسبه مولفه ژئومرفومتری از مدل رقومی ارتفاع استخراج شدند. نتیجه تجزیه آماری پارامترهای اولیه ژئومرفومتری در نظرگرفته‌شده در حوزه امامزاده عبدالله باغملک در جدول ۱ آورده شده است. بررسی شاخص های این جدول به درک بهتر ژئومرفومتری منطقه کمک خواهد کرد. کمترین میزان ارتفاع از سطح دریا منطقه ۹۳۱ متر و بیشترین میزان آن حدود ۳۱۸۹ متر است. تغییرات شدید ارتفاع در منطقه ای به این وسعت نشان از حضور ارتفاعات بلند می باشد. بالاتر بودن متوسط شاخص توپوگرافیک منطقه از مقدار عددی صفر نشان دهنده این مسئله است که اکثر منطقه محل تجمع جریان بوده و انتظار فرسایش بیشتر خاک می رود. روابط میان مقدار فرسایش برآورد شده برای نقاط نمونه برداری به دو روش PSIAC و WEPP و مولفه های ژئومرفومتری در جدول ۲ آورده شده است. همانگونه که از جدول بر می آید مدل PSIAC در هیچ یک از مولفه ها رابطه معنی داری با این ویژگی های شکل زمین نشان نمی دهد. مقادیر برآورد شده فرسایش با استفاده از مدل ریاضی WEPP رابطه به مراتب قوی تری را در شاخص های انحنا، انحنای پروفیلی، تجمع جریان و شاخص توپوگرافی به نمایش می گذارد که بطور مثال در شاخص توپوگرافی و انحنای پروفیلی این رابطه در سطح ۵ درصد معنی دار می باشد.

جدول ۱- تجزیه آماری پارامترهای اولیه ژئومرفومتری در نظرگرفته‌شده در حوزه امامزاده عبدالله باغملک

پارامتر ژئومرفتومتری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
Aspect	۰/۰	۳۵۹/۹	۱۹۸/۸	۹۵/۶
Curvature	-۶/۹۳	۶/۷	-۰/۰۰۲۰	۰/۶۳
Plan Curvature	-۲/۸۲	۲/۴	۰/۰۰۳۰	۰/۳۲
Profile Curvature	-۴/۶۳	۴/۲۸	۰/۰۰۶۰	۰/۴۰
Flow Accumulation	۰/۰	۳۱۱۶	۲۹/۸	۱۶۶/۹
Flow Length	۰/۰	۹۴۲۹/۷	۲۹۹۶	۲۰۲۸/۱
Topographical Index (TI)	-۵/۳۶	۱۳/۹	۲/۲۵	۴/۲
Stream Power Index (SPI)	-۱۲/۰۱	۷/۱	-۱/۹۶	۴/۲۵۱۰
DEM stat	۹۳۱	۳۱۸۹	۲۰۴۱/۴	۴۷۵/۱
Hillshade	۰/۰۰	۲۵۴	۱۶۶/۰	۵۰/۷
Sediment Transport Index (STI)	۰/۰۰۰۴	۵۵۶۶	۱۱۹/۳	۳۵۵/۳

[1] Topographic index (TI)

جدول۲ – ضرایب همبستگی پیرسون پارامترهای ژئومورفولوژیک با مقادیر فرسایش

فرسایش برآورد شده	Curvature	Flow Acc.	Flow Dir.	Flow Length	Hillshade	Plan Curva.	Profile Curva.	SPI	TI	STI
WEPP	۰/۵۱۲*	-۰/۴۶۶	-۰/۳۵۹	۰-/۰۱۰	-۰/۵۲۴*	۰/۲۳۰	-۰/۵۳۹*	-۰/۵۷۲*	-۰/۵۲۳*	-۰/۰۴۴
PSIAC	۰/۱۰۸	-۰/۳۱۰	۰/۰۷۱	۰/۱۱۰	۰/۳۷۷	۰/۱۲۳	-۰/۰۸۶	-۰/۱۹۱	-۰/۲۵۲	-۰/۲۱۱

جهت بررسی ارتباط پارامترهای ژئومرفولوژیکی با مقادیر فرسایش برآورد شده با مدل WEPP از روش مدلسازی رگرسیون خطی چند متغییره استفاده گردید. ضرایب مدل ایجاد شده به این روش در زیر آمده اند. جدول ۳ نمایش دهنده ضرایب تبیین معادله رگرسیون خطی رابطه فرسایش با پارامترهای ژئومورفیک است. همانگونه که از جدول برمی آید ضریب تبیین چنین معادله ای رابطه بسیار خوب مدلسازی مقدار فرسایش را نشان می دهد.

جدول۳ – ضرایب تبیین معادله رگرسیون خطی رابطه فرسایش با پارامترهای ژئومورفیک

مدل	R	R square	Adjusted R square	Std. Error
۱	۰/۹۹۳	۰/۹۸۷	۰/۹۶۸	۴/۲۱۳

در جدول ۴ آنالیز واریانس معادله رگرسیون خطی رابطه فرسایش خاک با پارامترهای ژئومورفیک نمایش داده شده است و همانگونه که از این جدول برمی آید چنین مدلی در سطح یک درصد معنی دار بوده و مقدار خطای باقیمانده کوچکی را نشان می دهد. همانگونه که از جدول۲ بر می آید می توان نتیجه گرفت مقدار فرسایش در منطقه میتواند به میزان عوامل ژئومورفولوژیکی کنترل کننده سرعت گیری و تمرکز جریان وابسته باشد. همچنین با توجه به ضریب تبیین چنین مدلی می توان پیشنهاد نمود به جای بکار گیری مدل پیچیده WEPP از پارامترهای ژئوموفولوژیکی که به سادگی از طریق یک مدل رقومی ارتفاع قابل محاسبه هستند استفاده گردد. البته بکار گیری مدل فوق بواسط تعدد پارامترها و نیز ارتباط کمتر برخی از پارامترها با مقدار فرسایش می تواند تا حدی گمراه کننده باشد. جهت افزایش سهولت و امتیاز استفاده از چنین روشی مدلسازی خطی دیگری به روش گام به گام صورت پذیرفت. در این روش پارامترها یک به یک به مدل اضافه شده و چنانچه افزوده شدن آنها منجر به بهبود برآوردها و کاهش خطای باقیمانده شود نگهداشت و در غیر صورت حذف می شوند. چنین مدلسازی به یافتن بهترین مدل با استفاده از متغییرهای موجود کمک می نماید. چنین مدلی بواسطه داشتن تعداد پارامترهای کمتر امتیاز کاربرد بیشتری خواهد داشت.

جدول۴ – آنالیز واریانس معادله رگرسیون خطی رابطه فرسایش خاک با پارامترهای ژئومورفیک

مدل	Sum of Square	درجه آزادی	Mean Square	F	Sig.
Regression	۹۱۶۰/۶۲۳	۱۰	۹۱۶/۰۶۲	۵۱/۶۱۲	۰/۰۰۰
Residual	۱۲۴/۲۴۴	۷	۱۷/۷۴۹		
Total	۹۲۸۴/۸۶۷	۱۷			

حاصل این مدلسازی منجر به معرفی مدل زیر شد:

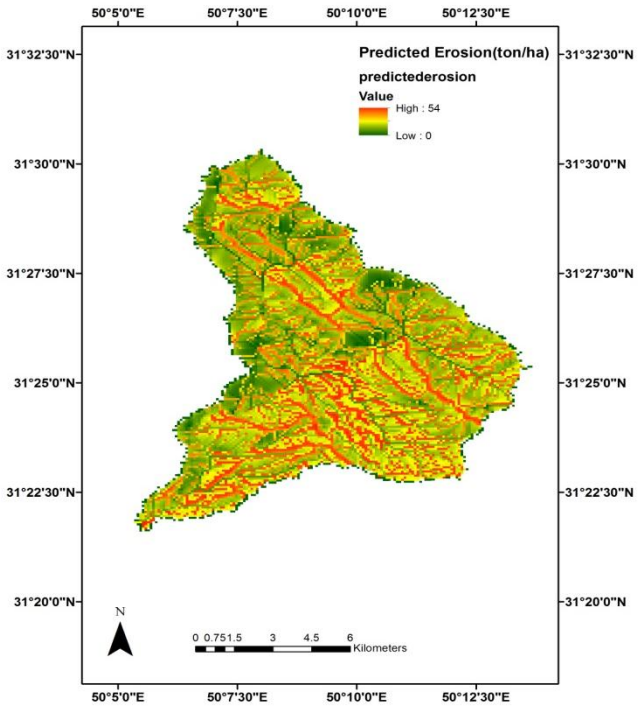
Erosion (ton/ha) = 0.09 Hillshade- 3.129SPI (R^2=0.934, sig= 0.000)

ضریب تبیین بالای معادله بدست آمده این نتیجه را بدست می دهد که می توان از پارامترهای ژئومورفولوژیک جهت برآورد فرسایش استفاده نمود. با توجه به اهمیت عامل اقتصاد در مطالعات و تاکیدات صورت گرفته جهت استفاده از پارامترهای سهل الوصول به جای پارامترها هزینه بر استفاده از چنین روشی در نواحی که پارامترهای ژئوموفولوژیکی عامل اصلی کنترل کننده فرسایش هستند توصیه می شود.بر مبنای معادله فوق الذکر نقشه پیوسته فرسایش خاک در سطح منطقه تولید شد و در شکل ۱ نمایش داده شده است. بر مبنای نقشه کاربری اراضی متوسط فرسایش برآورده شده در هر واحد کاربری مشخص و در جدول ۵ آورده شده است همانگونه که از این جدول بر می آید بیشترین میزان فرسایش در اراضی تحت کشت آبی رخ داده است.

سوریاپراست(۲۰۰۸) از پارامتر های شکل زمین جهت جداسازی اراضی مستعد فرسایش خندقی در تایلند استفاده نمود در نتایج حاصل شده بوسیله این محقق معادله ای جهت تعیین مقدار فرسایش خندقی بر اساس ساده سازی داده های مدل اصلاح شده مورگان-فینی با استفاده از شاخص های ژئومرفومتری تبیین گردید و بر اساس نتایج گزارش شده این محقق بیشترین میزان فرسایش در اراضی کشاورزی و کمترین در جنگل بوده است.

جدول ۵- فرسایش برآورد شده ت بر اساس کاربری اراضی حوزه

کاربری اراضی/ پارامتر	میانگین فرسایش برآوردی WEPP (تن در هکتار)
کشت آبی	۲۸
مرتع	۲۲/۲
مرتع-کشت دیم	۲۳/۴
مرتع- جنگل	۲۱/۴
جنگل	۲۲/۶



شکل ۱- نقشه توزیع فرسایش برآورد شده در منطقه مطالعاتی

بررسی کلی شاخص های بررسی شده در ارتباط با خاکها نشان دهنده این مسئله است که می توان از این پارامترها جهت پیش بینی فرسایش خاک و تهیه نقشه رقومی فرسایش خاک اقدام نمود و اهمیت این موضوع در آنست آنچه به دلیل هزینه های زیاد در روشهای سنتی مورد انتقاد جدی است(Borough, 1991) در این روش دیده نمی شود.ژئومرفومتری بهترین ابزار برای تجزیه و تحلیل ریاضی و بصری پستی و بلندی‌ها، منظر اراضی و اشکال اراضی و نیز مدل‌سازی فرایندهای سطحی می‌باشد (Bishop et al., 2001) و با توجه به اینکه پستی و بلندی نقش مهمی در تعیین فرسایش خاک‌ها و نیز خصوصیات آنها دارد و این مسئله در مناطق با ناهمواری زیاد از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد (Schaetzl and Anderson, 2005) می توان از روشهای پدومتری با استفاده از مولفه های ژئومرفومتری مرتبط با خواص خاکها جهت پیش بینی فرسایش خاک استفاده نمود.

منابع

رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران.۶۷۱ صفحه.

Bishop, M.P., Bonk, R., Kamp, U. and Shroder, J.F., 2001. Topographic analysis and modeling for alpine glacier mapping. Polar Geography, 25: 182-201.

Borough, P. A. 1991. Geographical information systems, volume 2, pp. 153–169. Harlow, England: Longmans.

Danielson, T. 2013. Utilizing a High Resolution Digital Elevation Model (DEM) to Develop a Stream Power Index (SPI) for the Gilmore Creek Watershed in Winona County, Minnesota. Volume 15, Papers in Resource Analysis. 11 pp. Saint Mary's University of Minnesota University Central Services Press. Winona, MN.

Li, Z., Zhu, Q. and Gold, C., 2005. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. CRC Press, Boca Raton.

McBratney, A.B. 1992. On variation, uncertainty and informatics in environmental soil management. Australian Journal of Soil Research, 30, 913–35.

Peckham, S.D. 2011. Profile, Plan and Streamline Curvature: A Simple Derivation and Applications. Geomorphometry.

Schaetzl, R.R.J. and Anderson, S., 2005. Soils genesis and geomorphology Cambridge University Press, New York.

Suriyaprasit, M., 2008. Digital terrain and image processing for assessing erosion prone areas. M.Sc. Enschede:ITC.

Wilson, P.J. and Gallant, J.C., 2000. Digital terrain analysis (Principals and Application). Press: John Willey & Sons, INC, New York.

Geomorphometric investigation and prediction of water erosion in the Khuzestan's Imamzadeh Abdullah watershed

A. Khademalrasoul, H. Amerikhah
Assistant Professor and staff member of Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract

This research was conducted with the aim of investigating the variability of water erosion in relation to geomorphometric components and the possibility of modeling soil erosion with these parameters in Imamzadeh Abdollah watershed in northeast of Baghmalek County of Khuzestan province. After the initial data were prepared, the primary and secondary geomorphic characteristics that can be effective in soil erosion in the region were prepared using the ArcGIS software using DEM. These parameters include slope, curvature and flow factors such as length, accumulation and topographic and stream power indices. The water erosion values were determined based on the WEPP model and the PSIAC model using available data and laboratory analyzes. The PSIAC model data does not show any relation to geomorphic parameters. Some of these parameters show a significant relationship with estimated erosion of WEPP model. A model with a very good explanation coefficient was obtained using a multivariate linear regression to determine the amount of soil erosion and an erosion map was prepared with this model. The use of geomorphometric parameters allows estimation of erosion based on simple linear models.

Keywords: Geomorphometry, Stream Power Index, Topographic Index, Water Erosion.