



ارزیابی و مقایسه روش‌های دامنه معرف و رستری برای محاسبه عامل توپوگرافی در رابطه جهانی فرسایش خاک

*علی نجفی‌نژاد^۱، مهدی مردیان^۲، جواد وروانی^۳ و واحدبردی شیخ^۱

^۱استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ارواک
تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۹

چکیده

در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی آبخیزها، شکل دامنه، طول و تندی شیب از عوامل مهم در شدت فرسایش هستند. در رابطه جهانی فرسایش خاک اثر طول و تندی شیب، به‌صورت عامل توپوگرافی (LS) معرفی شده است. با توجه به این‌که محاسبه عامل LS در مقایسه با سایر عوامل به‌نسبت دشوار می‌باشد، در این پژوهش ابتدا به تشریح و طبقه‌بندی تعدادی از رابطه‌های محاسبه عامل توپوگرافی پرداخته شد که بر این اساس این رابطه‌ها در دو روش دامنه معرف و رستری طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد عامل LS به دو روش یاد شده با استفاده از ۴ رابطه و به ۶ حالت در حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی محاسبه گردید. سپس با استفاده از شاخص صحت (نسبت مقدار محاسباتی به مقدار مشاهده‌ای، کارایی هر یک از رابطه‌ها ارزیابی شد. طبق نتایج در روش دامنه معرف، میانگین عدد شاخص صحت از ۳۰ دامنه در نمودار USDA و معادله میشر و همکاران به ترتیب معادل ۰/۸۸۳ و ۰/۸۶۰ است که این نشان‌دهنده برآورد پایین‌تر این رابطه‌ها نسبت به رابطه ویشمایر و اشمیت است. در روش دامنه رستری که از رابطه مور و ویلسون در سه حالت با قدرت تفکیک ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر استفاده شده است، شاخص صحت به ترتیب برابر ۱/۰۳۱، ۱/۳۲۶ و ۱/۸۳۷ است که دلالت بر برآورد بالاتر عامل LS نسبت به معادله ویشمایر و اشمیت دارند. طبق نتایج، مقدار شاخص صحت از رابطه مور و ویلسون با اندازه سلول ۳۰ متر، کم‌ترین اختلاف را با معادله ویشمایر و اشمیت دارد که می‌تواند به‌عنوان رابطه بهینه در حوضه مطالعاتی معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: دامنه رستری، دامنه معرف، حوضه سد کمال‌صالح، عامل توپوگرافی

مقدمه

امروزه فرآیند فرسایش خاک، یکی از مهم‌ترین تهدیدات منابع آب و خاک به حساب می‌آید. از طرفی در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی آبخیزها، شکل دامنه مهم‌ترین معرف شدت فرسایش با توجه به طول و تندی شیب است. مدل‌های خانواده USLE^۱ کاربرد زیادی در برآورد فرسایش و رسوب‌دهی آبخیز دارند و یکی از عامل‌های مؤثر در آن‌ها طول و تندی شیب می‌باشد. اثر طول و تندی شیب (LS)^۲ به عنوان عامل توپوگرافی، اثر میزان، سرعت و پتانسیل فرساینده‌گی رواناب را نمایش می‌دهد. طول شیب عبارت است از فاصله افقی از مبدأ جریان بالادست دامنه تا جایی که تندی شیب به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته، به طوری که عمل رسوب‌گذاری آغاز شود؛ یا جریان‌های روی یک دامنه در یک کانال معین (کانال ترانس، سطوح تمرکز جریان، خندق، چاله، آبراهه و...) ادغام و متمرکز گردند (USDA^۳، ۲۰۰۲).

طول شیب به طول زمین و عامل‌های مؤثر دیگر مانند وجود حفره‌ها، چاله‌ها، نهرها و جاده‌ها بستگی دارد و بر مقدار و سرعت رواناب خروجی تأثیر دارد. اگرچه اثر طول شیب بر رواناب سالیانه در واحد سطح ناچیز می‌باشد؛ اما تلفات خاک در نتیجه افزایش طول شیب افزایش می‌یابد. با این حال اثر تندی شیب بیش‌تر از اثر طول شیب است (آموتو، ۲۰۰۸). تندی شیب باعث افزایش سرعت جریان و نیروی برشی آن شده و مطابق با آن فرسایش نیز بیش‌تر می‌شود. از این رو شدت رواناب عموماً در نتیجه افزایش شیب افزایش می‌یابد (دوملیچ و ولکر، ۲۰۰۲).

طبق نظر بلانکو و ناداوکا (۲۰۰۶) عامل LS از نظر محاسبه مبهم‌ترین و مشکل‌ترین عامل رابطه جهانی فرسایش خاک می‌باشد؛ به خصوص اگر در مقیاس آبخیز کوچک^۴ به کار رود. از طرفی تأثیر هر یک از عامل‌های L و S روی سرعت رواناب و تلفات خاک غیرخطی است؛ که باعث شده در بیش‌تر رابطه‌ها، برای سهولت محاسبات، این دو عامل به صورت ترکیبی با هم محاسبه شوند. در رابطه USLE علاوه بر عامل R (فرساینده‌گی)، عامل LS نیز نسبت به مقدار واحد (یک) محاسبه نمی‌شود؛ بلکه به دلیل مقادیر متفاوت طول دامنه می‌تواند هر عدد مثبتی را بپذیرد. بنابراین به دلیل دامنه تغییرات وسیع، درصد احتمال خطا نیز افزایش خواهد یافت. روش‌های متعددی برای محاسبه دقیق‌تر عامل LS ارائه شده است

- 1- Universal Soil Loss Equation
- 2- Length and Steepness
- 3- United States Department of Agriculture
- 4- Micro Catchment

که این روش‌ها را به‌طورکلی می‌توان در دو گروه طبقه‌بندی کرد. در گروه اول، که می‌توان آن را دامنه معرف^۱ نامید، مقدار LS برای یک یا چند دامنه محاسبه می‌شود که معمولاً میانگین این مقادیر به‌عنوان عامل توپوگرافی آبخیز انتخاب خواهد شد. در ادامه به مهم‌ترین رابطه‌های این گروه اشاره می‌شود.

۱- نمودار USDA (۱۹۷۷): وزارت کشاورزی آمریکا نموداری را برای تعیین عامل LS ارائه داد. طبق توصیه USDA برای محاسبه LS در شیب‌های با طول و تندی خارج از محدوده نمودار، باید از عمل برون‌یابی استفاده کرد.

۲- معادله ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸): ویشمایر و اسمیت براساس نمودار USDA رابطه‌های تجربی زیر را ارائه دادند (ویلیامز و هان، ۱۹۷۸).

$$L = \left(\frac{b}{22/13}\right)^m \quad (1)$$

$$S = 0.065 + 0.0465(\theta) + 0.006541(\theta)^2 \quad (2)$$

در این رابطه‌ها، L : شاخص طول شیب؛ S : شاخص تندی شیب؛ b : طول شیب (متر)؛ θ : تندی شیب (درصد)؛ و m : ضریب ثابت است که تابعی از شیب متوسط بوده، و نشان‌دهنده نسبت فرسایش شیاری (اثر نیروی برشی جریان) به فرسایش بین شیاری (اثر ضربه قطرات باران) است. در واقع بیانگر این است که در یک دامنه که نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری بالاست و خاک تمایل زیادی به فرسایش دارد؛ با افزایش مقدار m ، مقدار LS نیز افزایش می‌یابد. البته در مدل کامپیوتری RUSLE^۲ برای محاسبه m برای خاک‌های مناطق معتدل ایالت متحده که مستعد فرسایش شیاری و بین شیاری‌اند از رابطه زیر استفاده می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۱).

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

$$B = \frac{\sin \theta}{0.0896(3(\sin \theta)^{1/8} + 0.56)} \quad (4)$$

که در این رابطه‌ها، θ : تندی شیب (درجه) و β : ضریب ثابت است که وقتی رسوب‌گذاری رخ دهد برابر صفر می‌شود. در صورتی که فرسایش ناشی از جریان ذوب برف و یخ باشد m برابر ۰/۵ در نظر

1- Representative Hill Slope
2- Revised USLE

گرفته می‌شود. همچنین اگر فرسایش شیاری بیش‌تر از فرسایش بین شیاری باشد، مقدار m تا ۷۵ درصد افزایش می‌یابد؛ و اگر فرسایش بین شیاری بیش‌تر از فرسایش شیاری باشد، مقدار m تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (کینل، ۱۹۹۷).

۳- **رابطه‌های مربوط به RUSLE:** در مدل کامپیوتری RUSLE رابطه‌های گوناگونی برای محاسبه عامل LS ارایه شده، که بیش‌تر این رابطه‌ها به عامل طول شیب اهمیت داده‌اند (کینل، ۱۹۹۷). برای طول شیب بین $۴/۶$ تا ۳۰۵ متر:

$$S = ۱۰/۸ \sin \theta + ۰/۰۳ \quad \text{شیب کم‌تر از ۹ درصد} \quad (۵)$$

$$S = ۱۶/۸ \sin \theta - ۰/۰۵۰ \quad \text{شیب بزرگ‌تر مساوی ۹ درصد} \quad (۶)$$

برای شیب‌های با طول کم‌تر از $۴/۶$ متر:

$$S = ۳/۰ \sin(\sin \theta)^{1/8} + ۰/۰۵۶ \quad (۷)$$

برای شیب‌های بیش‌تر از ۹ درصد که فرسایش ناشی از رواناب به‌دست آمده از ذوب برف و یخ باشد (و نه ضربه قطرات باران)، عامل S از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$S = \left(\frac{\sin \theta}{۰/۰۸۹۶} \right)^{1/6} \quad (۸)$$

۴- **رابطه میسرا و همکاران (۲۰۰۶):** این رابطه برای شیب‌های بیش‌تر از ۴ درصد ارایه شده است.

$$LS = L^{1/5} (۰/۰۱۳۸ + ۰/۰۰۹۷۴Y + ۰/۰۰۱۱۳۸Y^2) \quad (۹)$$

در این رابطه، Y : شیب طول رواناب بالادست (درصد) و L : طول شیب (متر) است. همان‌طور که از معادله‌های روش دامنه معرف بر می‌آید انتخاب یک یا چند دامنه معرف در آبخیزهای بزرگ با توپوگرافی پیچیده مشکل است. با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ می‌توان مقدار LS را برای هر یک از سلول‌های^۲ نقشه شیب حوضه محاسبه کرد. در این روش که می‌توان آن را دامنه رستری^۳ نامید عامل LS حوضه از میانگین مقادیر LS سلول‌ها به‌دست می‌آید. در ادامه به مهم‌ترین رابطه‌ها این گروه اشاره می‌شود.

1- Geographic Information System

2- Pixels

3- Raster

۱- معادله ویشمایر و اشمیت: طبق نظر کینل (۱۹۹۷) عامل LS با توجه به نقشه رستری شیب به صورت زیر نیز محاسبه می شود.

$$LS = \left[\frac{resolution}{normlength} \right]^m \left[0.065 + 0.0456(S) + 0.00654(S)^2 \right] \quad (10)$$

که در آن، *resolution* به معنی قدرت تفکیک سلول (متر)؛ منظور از *normlength* طول پلات ویشمایر (۲۲/۱ متر)؛ *m*: تابع طول شیب و *k*: تندی شیب (درصد) می باشد.

۲- رابطه مور و ویلسون (۱۹۹۲): یکی از بهترین رابطه‌هایی که در تلفیق با GIS برای محاسبه عامل LS پیشنهاد شده است رابطه زیر است.

$$LS = \left[\frac{A_s}{22/13} \right]^{1/4} \left[\frac{\sin \theta}{0.0896} \right] \quad (11)$$

در این رابطه، θ : تندی شیب (درجه) می باشد. A_s : نیز سطح ویژه حوضه است که به عنوان مساحت در واحد عرض متوسط در جهت جریان تعریف شده است (کوتیاری و همکاران، ۲۰۰۲).

۳- رابطه دسمت و گوورز (۱۹۹۶): این رابطه برای محاسبه عامل L براساس رابطه مور و ویلسون، در واحد سطح شرکت کننده (UCA) که همان سطح ویژه است ارائه شده است (کینل، ۱۹۹۹).

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} x_{i,j}^m (22/13)^m} \quad (12)$$

در رابطه‌های بالا، $L_{i,j}$: عامل L برای یک سلول با مختصات i و j ؛ $A_{i,j-in}$: واحد سطح شرکت کننده سلول تقسیم بر واحد عرض جریان ورودی سلول (مترمربع بر متر)؛ D : طول شبکه سلولی؛ m : تابع طول شیب؛ $x_{i,j}$: عرض جریان خروجی سلول که از لایه رستری جهت جریان تهیه می شود.

محققان زیادی با هدف محاسبه دقیق عامل طول شیب به ارزیابی کارایی رابطه‌های بالا پرداخته‌اند. نایف و همکاران (۲۰۰۰) برای ارزیابی خطر فرسایش در اروپا، اندازه سلول ۵۰ متر را برای رابطه مور و ویلسون به کار بردند. جین و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از رابطه ویشمایر و اشمیت، اندازه سلول ۲۵ متر را در پژوهش‌های خود به کار گرفتند. کامبازگلو و گوگاس (۲۰۰۴) برای محاسبه عامل توپوگرافی از طبقه‌بندی مقادیر شیب در رابطه ویشمایر و اشمیت استفاده کرده‌اند. وچال و بانکر (۲۰۰۷) نقشه شیب

مبتنی بر مدل رقومی ارتفاع^۱ را براساس قدرت تفکیک ۳۰ متر برای محاسبه عامل LS انتخاب کردند. ایوبی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تکنیک زمین‌آمار، مناسب‌ترین ابعاد سلول را برای رابطه مور و ویلسون عدد ۵۰ متر دانستند. وروانی و همکاران (۲۰۰۸) در ارزیابی کارایی ضرایب اصلاحی MUSLE از شیب متوسط حوضه مطالعاتی استفاده کردند. همچنین گیتاس و همکاران (۲۰۰۹) رابطه مور و ویلسون را با اندازه سلول ۱۰۰ در ارزیابی چند زمانه خطر فرسایش در یکی از آبخیزهای یونان به‌کار بردند. رودریگز و سوارز (۲۰۱۰) در مطالعات خود به دشواری محاسبه عامل توپوگرافی، به‌خصوص عامل طول شیب اشاره دارند و عنوان کرده‌اند که در بیش‌تر پروژه‌های مدیریت آبخیز، محققان از یک عدد میانگین و یا فرضی طول شیب استفاده می‌کنند. اسدی و همکاران (۲۰۱۱) عامل LS را با استفاده از رابطه یاد شده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۹۰ متر استخراج کردند.

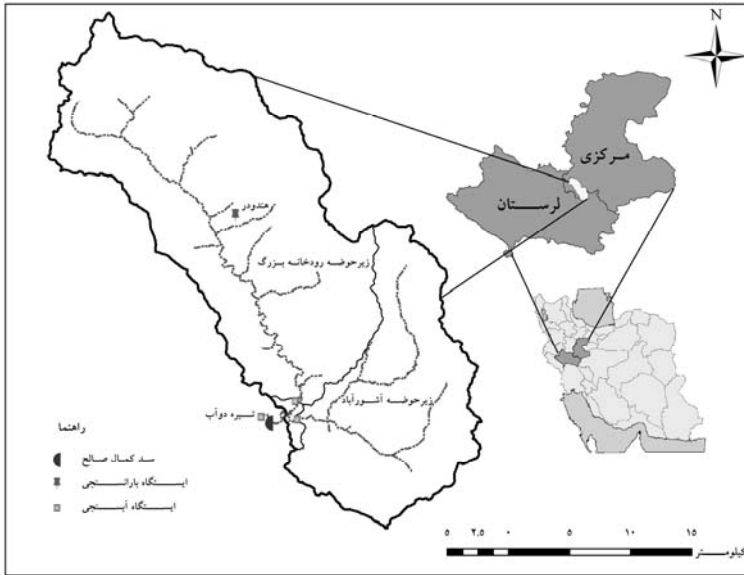
همان‌طور که در بررسی نتایج سوابق پژوهش دیده می‌شود در بیش‌تر روش‌های محاسبه عامل توپوگرافی به عامل طول شیب بیش‌تر اهمیت داده شده است. هدف بیش‌تر محققان نیز ارایه روش‌های جدید و یا توسعه روش‌های قبلی برآورد عامل توپوگرافی بوده است. با این‌حال در پژوهش‌های داخلی کم‌تر به این موضوع پرداخته شده است و انجام آن نیز ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین هدف اصلی در این پژوهش بررسی کارایی تعدادی از روش‌های محاسبه عامل توپوگرافی در حوضه سد کمال‌صالح استان مرکزی است تا با مقایسه نتایج و تشریح آن‌ها بتوان مناسب‌ترین رابطه را انتخاب کرد و راه‌کارهایی را برای محاسبه دقیق‌تر این عامل ارایه نمود. محاسبه عدد عامل توپوگرافی که از دقت و صحت بالاتری برخوردار باشد به جهت برآورد قابل‌قبول فرسایش و رسوب‌دهی آبخیزها با استفاده از مدل‌های خانواده USLE، می‌تواند کمک زیادی به محققان در برنامه‌های مدیریتی آبخیزها داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه سد کمال‌صالح با مختصات ۴۹ درجه و ۴ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۳ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی، با مساحت ۶۵۵ کیلومترمربع در جنوب‌غرب استان مرکزی و شمال‌شرق استان لرستان قرار دارد؛ و جزو سرشاخه‌های اصلی رودخانه تیره لرستان به حساب می‌آید. ارتفاع بیشینه، کمینه و

1- Digital Elevation Model

متوسط این آبخیز به ترتیب ۲۹۶۰، ۱۸۴۰ و ۲۱۵۷ متر، و شیب متوسط حوضه ۱۲/۸ درصد می باشد. میانگین نزولات سالانه حدود ۵۰۰ میلی متر و میانگین دمای سالانه حدود ۱۱ درجه سانتی گراد است (مردیان، ۲۰۱۰). شکل ۱ موقعیت حوضه سد کمال صالح را نشان می دهد.



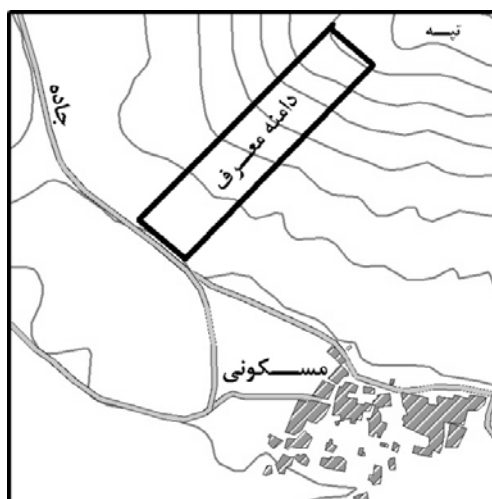
شکل ۱- موقعیت حوضه سد کمال صالح استان مرکزی.

محاسبه عامل توپوگرافی: همان طور که اشاره شد محاسبه عامل توپوگرافی به دو روش دامنه معرف و رستری انجام می گیرد. برای ارزیابی کارایی فرمول های محاسبه عامل توپوگرافی در این پژوهش از هر دو روش استفاده شد.

الف- دامنه معرف: در این روش ابتدا مدل رقومی ارتفاع^۱ با اندازه سلول ۱۰ متر با استفاده از لایه توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. سپس لایه سایه روشن^۲ به عنوان نمایشی از پستی و بلندی سطح آبخیز، تهیه گردید. در مرحله بعد، ۳۰ دامنه معرف با طول های بین ۱۰۰۰-۱۰۰ متر و درجه شیب های گوناگون از این لایه انتخاب شد. برای تشخیص حد فاصله این دامنه های معرف از یال و دره، با استفاده از نقشه توپوگرافی و بازدیدهای صحرائی عملیات کنترل و اصلاح انجام گردید (شکل ۲).

1- DEM
2- Hillshade

سپس پروفیل هر یک از دامنه‌ها در Excel ترسیم، و طول دامنه و شیب متوسط آن‌ها تعیین گردید. در مرحله آخر با استفاده از سه رابطه از روش دامنه معرف شامل نمودار USDA، معادله ویشمایر و اشمیت، و معادله میشرایر و همکاران، عامل LS محاسبه و میانگین مقادیر LS از هر رابطه تعیین شد.



شکل ۲- نمایی از یک دامنه معرف در حوضه مطالعاتی.

ب- دامنه رستری: در این روش ابتدا مدل رقومی ارتفاع در سه قدرت تفکیک ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر تهیه شد. همچنین لایه شیب برای هر یک از این مدل‌ها تهیه گردید. سپس با استفاده از رابطه مور و ویلسون، عامل LS برای هر یک از سلول‌های لایه شیب محاسبه شد. در رابطه یاد شده برای محاسبه سطح ویژه (A_s) در هر حالت، ابتدا لایه جهت جریان از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد و سپس مقادیر عددی آن در اندازه سلول ضرب گردید. سپس در لایه LS تولیدی، میانگین مقادیر سلول‌ها به‌عنوان عدد LS معرفی گردید.

پس از محاسبه مقدار LS با ۶ حالت مختلف، با استفاده از شاخص صحت (مقدار محاسباتی به مشاهده‌ای) و اختلاف خطی، کارایی هر یک از رابطه‌های محاسبه عامل توپوگرافی ارزیابی شد. با توجه به این‌که عدد LS صرفاً محاسباتی است و از طرفی تمامی رابطه‌های محاسبه این عامل از معادله ویشمایر و اشمیت نشأت می‌گیرند، بنابراین در شاخص صحت، مقدار LS به‌دست آمده از معادله ویشمایر و اشمیت مبنای مشاهده‌ای تلقی گردید.

نتایج

مطابق با جدول ۱، عدد LS به دو روش با استفاده از ۴ رابطه و به ۶ حالت محاسبه شده است. جدول ۲ مقدار شاخص صحت را برای ارزیابی هر یک از ۶ حالت محاسبه عامل توپوگرافی نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر محاسبه شده عامل توپوگرافی با روش‌های مختلف در حوضه سد کمال صالح.

نوع روش	دامنه معرف	دامنه رستری
نوع رابطه	معادله	معادله مور و ویلسون
نمودار	میشرا و اسمیت	سلول ۳۰ متر
USDA	میشرا و همکاران	سلول ۵۰ متر
عامل LS	۳۱/۰۹	۱۸/۶۲
	۱۸/۱۵	۲۱/۷۵
		۲۷/۹۶
		۳۸/۷۴

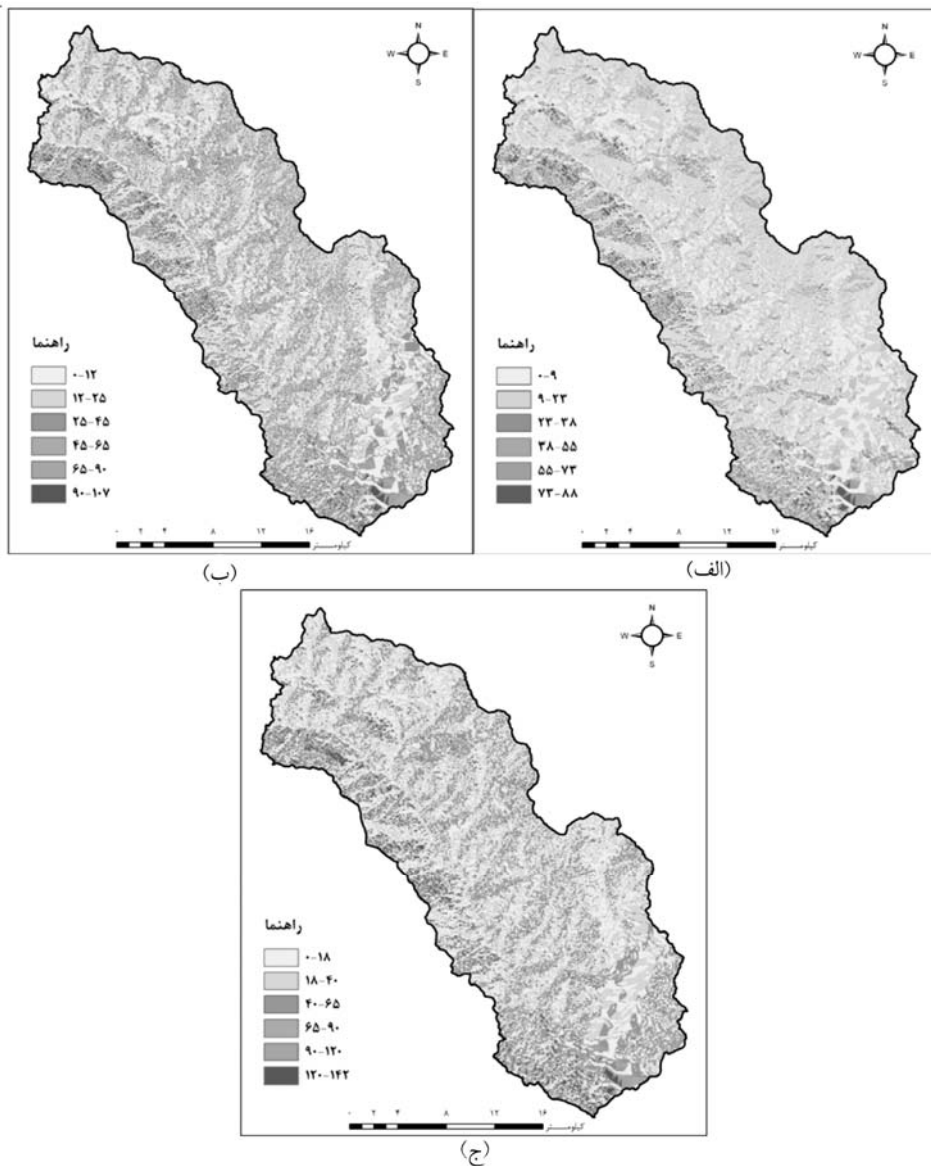
جدول ۲- مقادیر شاخص صحت برای ارزیابی عامل توپوگرافی در حوضه سد کمال صالح.

نوع روش	دامنه معرف	دامنه رستری
نوع رابطه	معادله	معادله مور و ویلسون
نمودار	میشرا و اسمیت	سلول ۳۰ متر
USDA	میشرا و همکاران	سلول ۵۰ متر
شاخص صحت	۰/۸۸۳	۱/۸۳۷
	۱	۱/۳۲۶
		۱/۰۳۱
		۰/۸۶۰

همچنین اختلاف خطی مقادیر محاسبه شده LS از ۳۰ دامنه معرف در شکل ۳ آمده است. در این شکل برای نمایش بهتر اختلاف خطی، شماره دامنه مطابق با مقدار LS به صورت صعودی مرتب شده است. در شکل ۴ نیز طبقه‌بندی مقادیر عامل LS براساس رابطه مور و ویلسون در سه لایه رستری با اندازه سلول ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر آمده است.



شکل ۳- اختلاف خطی مقادیر محاسباتی عامل LS در ۳۰ دامنه معرف.



شکل ۴- طبقه‌بندی مقادیر عامل LS در سه حالت با قدرت تفکیک ۳۰ متر (الف)، ۵۰ متر (ب) و ۱۰۰ متر (ج).

بحث و نتیجه گیری

طبق نتایج جدول ۱ در روش دامنه معرف، مقادیر LS محاسباتی از نمودار USDA و معادله میسرا و همکاران نسبت به معادله ویشمایر و اشمیت عدد کمتری است. مقادیر شاخص صحت در جدول ۲ نشان دهنده عدد ۰/۸۸۳ و ۰/۸۶۰ به ترتیب برای نمودار USDA و معادله میسرا و همکاران است که دلالت بر برآورد کم تر عدد LS دو رابطه یاد شده نسبت به معادله ویشمایر و اشمیت دارد. اختلاف خطی مقادیر LS از ۳۰ دامنه معرف در شکل ۳ نشان می دهد که در دامنه های با طول و تندی شیب پایین، اختلاف مقادیر LS به دست آمده از سه روش ناچیز است. اما در دامنه های با طول و تندی شیب بیش تر این اختلاف مقادیر بیش تر شده است. ویلیامز و هان (۱۹۷۸) نیز در پژوهش های خود دریافتند که معادله ویشمایر و اشمیت در شیب های تند، مقدار LS را بالاتر برآورد می کند. نتیجه دیگری که در مقایسه خطی سه روش دامنه معرف دیده می شود این است که نمودار USDA در درجه شیب های پایین مقادیر بالاتری از LS را نسبت به دو روش دیگر نشان می دهد؛ در حالی که در شیب های تندتر نسبت به دو روش دیگر، مقادیر LS پایین تری برآورد می کند.

طبق نتایج جدول ۱ در روش دامنه رستری، مقادیر LS به دست آمده از معادله مور و ویلسون برای هر یک از حالات (اندازه سلول ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر)، نسبت به مقدار LS به دست آمده از معادله ویشمایر و اشمیت عدد بالاتری هستند. جدول ۲ نشان می دهد که شاخص صحت برای این سه حالت به ترتیب برابر ۱/۰۳۱، ۱/۳۲۶ و ۱/۸۳۷ است و این به آن معناست که عدد LS به دست آمده از معادله مور و ویلسون در هر سه حالت بیشتر از معادله ویشمایر و اشمیت است.

اما براساس نتایج ارزیابی شاخص صحت در جدول ۲، معادله مور و ویلسون در حالت اندازه سلول ۳۰ متر با عدد ۱/۰۳۱ کم ترین اختلاف را با معادله ویشمایر و اشمیت دارد که نشان می دهد اندازه سلول ۳۰ متر در معادله یاد شده کارایی بهتری نسبت به دو حالت دیگر (اندازه سلول ۵۰ و ۱۰۰ متر) دارد. با توجه به نتایج سوابق پژوهش در معادلات مبتنی بر روش دامنه رستری، اندازه سلول به کار گرفته شده از ۱۰۰-۲۵ متر متغیر بوده است و هر یک از محققان نیز اندازه سلول به کار گرفته در پژوهش های خود را قابل قبول دانسته اند. با این حال انتخاب نوع روش محاسبه عامل توپوگرافی، به خصوص رابطه های مبتنی بر دامنه رستری با اندازه سلول های متفاوت، بستگی به شرایط محیطی منطقه به خصوص طول و تندی شیب دارد. مثلاً طبق راهنمای RUSLE (USDA، ۲۰۰۲)، جریان های بالادست دامنه در شرایط طبیعی در طول های بیش تر از ۱۲۲ متر با هم ادغام شده و به صورت متمرکز

در می‌آیند. این راهنما توصیه می‌کند که از پلات‌های با طول کم‌تر از ۱۲۲ متر استفاده شود. لیم و همکاران (۲۰۰۵) نیز طول شیب دامنه در پلات‌های آزمایشی مدل RUSLE را در محدوده ۹۱/۴-۱۰/۷ متر پیشنهاد می‌کنند. با این حال به نظر می‌رسد که باید در شیب‌های تندتر، طول شیب را کوتاه‌تر در نظر گرفت. کینل (۲۰۰۵) نیز انتخاب نوع روش محاسبه عامل LS را منوط به در نظر گرفتن جریان بالادست سلول می‌داند و استفاده از رابطه‌هایی را پیشنهاد می‌کند که در آن‌ها به ضریب رواناب سطح بالادست اهمیت داده شده است.

آنچه که پژوهش‌ها نشان می‌دهد از اواسط دهه ۱۹۹۰ با کاربرد GIS در علوم طبیعی، دقت محاسبه عامل LS براساس رابطه‌های مبتنی بر دامنه رستری افزایش یافته است (رمورتل و همکاران، ۲۰۰۴). طبق شکل ۴ یکی از مهم‌ترین مزیت‌های روش دامنه رستری در این است که تمامی سلول‌های نقشه شیب حوضه در محاسبه عدد LS مشارکت دارند؛ اما در روش دامنه معرف عدد LS حوضه از میانگین یک یا چند دامنه مشخص تعیین می‌شود. برتری دیگر روش دامنه رستری توجه به نیم‌رخ دامنه می‌باشد. معادله‌های اولیه USLE (روش‌های مبتنی بر دامنه معرف) اغلب برای دامنه‌های مسطح توسعه پیدا کرده‌اند و در آن‌ها اثرات جریان‌های واگرا و همگرا در دامنه‌های محدب و مقعر در نظر گرفته نشده است. در رابطه‌های مبتنی بر دامنه رستری همانند رابطه مور و ویلسون، و همچنین رابطه دسمت و گورز (۱۹۹۶)، با سلولی کردن دامنه (شکستن و تقسیم‌بندی تندی شیب و طول دامنه)، تا حدودی این مشکل برطرف شده است. بنابراین برای یک سلول با مختصات i و j تندی شیب مشخص که طول شیب در آن براساس جهت جریان تعیین شده است، عدد عامل توپوگرافی با دقت قابل قبولی برآورد می‌شود. بنابراین در مدل‌های توزیعی، میزان فرسایش در هر سلول می‌تواند با دقت قابل قبولی محاسبه شود.

اما تطبیق ناهمگون سلول‌ها روی نیم‌رخ دامنه یکی از ایرادات روش دامنه رستری است. چرا که به دلیل طبیعت و پیچیدگی آبراهه‌ها تعداد زیادی از سلول‌ها دقیقاً بر روی دامنه قرار نمی‌گیرند و سلولی که بر روی یال و یا بر روی دره قرار گرفته، نمی‌تواند بیانگر عدد درستی از عامل توپوگرافی باشد.

در پایان لازم به ذکر است اگرچه در این پژوهش، اندازه سلول ۳۰ متر عدد مناسبی از عامل LS در رابطه‌های مبتنی بر دامنه رستری برای حوضه مطالعاتی را نشان داد، ولی به‌طور یقین این عدد نمی‌تواند مناسب‌ترین اندازه در سایر حوضه‌ها قلمداد شود. منطقه مطالعاتی یک آبخیز تپه‌ماهوری-

کوهستانی و بدون دشت رسوبی با توپوگرافی پیچیده است. با توجه به این که شرایط توپوگرافی آبخیزها نقش مهمی در محاسبه عامل LS دارد. از این رو ارزیابی کارایی رابطه‌های مبتنی بر دامنه رستری با اندازه سلول‌های مختلف در سایر حوضه امری ضروری است. این پژوهش‌ها می‌تواند به‌عنوان توسعه‌دهنده رابطه‌های یاد شده باشند که با در نظر گرفتن اثرات توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی جریان‌های واگرا و همگرا در دامنه‌های محدب و مقعر، عدد دقیق‌تر و صحیح‌تری از عامل توپوگرافی به کاربران ارائه دهند. بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به توسعه مدل‌های مبتنی بر GIS، ارزیابی کارایی رابطه‌های مبتنی بر دامنه رستری در سایر حوضه‌های کشور مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

منابع

1. Asadi, H., Vazifehdoost, M., Moussavi, A., and Honarmand, M. 2011. Assessment and mapping of soil erosion hazard in Navrood watershed using revised universal soil loss equation (RUSLE), geographic information system (GIS) and remote sensing (RS). Report of Researches Guilan Regional Water Company, 13p. (In Persian)
2. Ayoubi, Sh., Khormali, F., and Shataee, Sh. 2008. Optimal resolution investigation of digital elevation models by geostatistical technique to compute topographic factor (LS) for RUSLE equation in Talesholia district, Golestan Province. Pajouhesh and Sazandegi, 77: 122-129. (In Persian)
3. Blanco, A.C., and Nadaoka, K. 2006. A comparative assessment and estimation of potential soil erosion rates and patterns in Laguna lake watershed using three models: Towards development of an erosion index system for integrated watershed-lake management. Philippines, Symposium on Infrastructure Development and the Environment, 12p.
4. Cambazoglu, M.K., and Gogus, M. 2004. Sediment yields of basins in the Western Black Sea Region of Turkey. Turkish J. Eng. Env. Sci. 28: 355-367.
5. Desmet, P.J.J., and Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. J. Soil and Water Cons. 51: 5. 427-433.
6. Deumlich, D., and Völker, L. 2002. Sediment and nutrient loadings due to soil erosion in rivers: Example: The Odra catchment. Germany, Institute for Soil Landscape Research, 12p.
7. Gitas, I.Z., Douros, K., Minakou, C., and Silleos, G.N. 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. European Association Remote Sensing Laboratories Proceedings, 8: 1. 40-52.

8. Jain, S.K., Kumar, S., and Varchese, J. 2001. Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management*, 15: 41-54.
9. Kinnell, P.I.A. 1997. The miscalculation of the USLE topographic factors in GIS. Australia, University of Canberra, 4p.
10. Kinnell, P.I.A. 1999. The USLE-M and modeling erosion within catchments. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held in 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research, Pp: 924-928.
11. Kinnell, P.I.A. 2005. Alternative approaches for determining the USLE-M slope length factor for grid cells. *SOIL SCI. SOC. AM. J.* 69: 674-680.
12. Knijff, J.M., Jones, R.J.A., and Montanarella, L. 2000. Soil erosion risk assessment in Europe. Space Applications Institute, 38p.
13. Kothyari, U., Jain, M., and Raju, K.G.R. 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 47: 5. 693-706.
14. Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K.S. 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena*, 64: 61-80.
15. Liu, B.Y., Nearing, M.A., Shi, P.J., and Jai, Z.W. 2001. Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held in 1999, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research, Pp: 784-788.
16. Mardian, M. 2010. Investigation on sediment yield of torrential events using MUSLE model and observed data in the subwatersheds of the Kamal Saleh dam, Markazi province, Iran. A thesis submitted to the Graduate Studies office to attain M.Sc. degree in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 140p. (In Persian)
17. Mishra, S.K., Tyagi, J.V., Singh, V.P., and Singh R. 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield. *J. Hydrol.* 324: 301-322.
18. Moore, I.D., and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *J. Soil and Water Conserv.* 47: 423-428.
19. Omuto, C.T. 2008. Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 199-211.
20. Remortel, R.D.V., Maichle, R.W., and Hickey, R.J. 2004. Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences*, 30: 1043-1053.
21. Rodríguez, J.L.G., and Suárez, M.C.G. 2010. Historical review of topographical factor LS of water erosion models. *Aqua-LAC*, 2: 56-61.

22. United state department Agriculture. 1977. Procedure for computing sheet and rill erosion on project areas. Technical release, Geology, 51: 2. 18.
23. United state department Agriculture. 2002. National agronomy manual. Natural Resources Conservation Service. 3rd Ed. 227p.
24. Varvani, J., Feiznia, S., Ahmadi, H., and Jafari, M. 2008. Evaluation of Performance of Empirical Models of Storm Events Sediment Yield of Drainage Basin and Introducing Calibration Coefficients. J. Iran. Natur. Resour. 60: 4. 1225-1239. (In Persian)
25. Wachal, D.J., and Banks, K.E. 2007. Integrating GIS and erosion modeling: A tool for watershed management. Esri International User Conference. No.UC1038. 11p.
26. Williams, J.R., and Hann, R.W. 1978. Optimal operation of large agricultural watersheds with water quality constraints. Texas Water Resources Institute, Texas A & M University, 162p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 1(1), 2011
www.gau.ac.ir/journals

Evaluation and comparison of representative hill slope and raster based hill slope methods for computation of topography factor in USLE

***A. Najafinejad¹, M. Mardian², J. Varvani³ and V.B. Sheikh¹**

¹Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Islamic Azad University, Arak Branch

Received: 2010/03/09; Accepted: 2011/10/31

Abstract

In watershed management and conservation programs, hill slope form (slope length and gradient) is the most important indicator of erosion intensity. In the Universal Soil Loss Equation (USLE), combined effects of slope length and gradient has been introduced as the topography factor (LS). Computation of this factor is difficult and ambiguous one among other factor of the USLE. Considering the importance of the LS factor, in the present study some of the equations for LS computation including representative hill slope and raster based hill slope methods has first been explained. Then LS factor was computed using four equations, six conditions of these methods in the Kamal Saleh dam watershed in the Markazi Province. Then performance of values using precision index has been evaluated. The results showed that precision index value in representative hill slope method for USDA diagram is 0.883 and for Mishra equation is 0.860. These results were under-estimation for two equations. In raster hill slope method with resolutions of 30, 50 and 100 meters; precision index values were 1.031, 1.326 and 1.837 respectively. These results showed over-estimation for these three conditions. According to the results, LS factor value of Moore and Wilson equation with resolutions of 30 m showed the highest precision. Therefore this model can be introduced as optimal model in Kamal Saleh watershed.

Keywords: Kamal Saleh dam watershed, Raster hillslope, Representative hillslope, Topography factor

* Corresponding Author; Email: najafinejad@gmail.com