دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

(مقاله کوتاه)
کاربرد مدل رقومی ارتفاع به منظور محاسبه‌ی عامل توپوگرافی در مدل USLE با استفاده از تکنیک زمین آمار در منطقه رشکان ارومیه

فرخ اسدزاده[۱] و سلمان میرزایی[۲]

۱- استادیار، دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: f.asadzadeh@urmia.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۴/۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱

چکیده

عامل توپوگرافی مدل USLE به دلیل حساسیت بالای نتایج مدل نسبت به آن و نیز به دلیل پیچیدگی اثرات آن بر فرسایش خاک به عنوان یک فاکتور مهم در مدل مذکور شناخته می‌شود. روش مور و ویلسون به عنوان یکی از روش‌های پرکاربرد در محاسبه‌ی عامل LS مدل‌های کامپیوتری خانواده USLE با استفاده از مدل رقومی ارتفاع شناخته می‌شود. این تحقیق با هدف تعیین مناسبترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع در محدوده‌ای به مساحت ۷۱۱۶ هکتار واقع در منطقه‌ی رشکان در جنوب شهرستان ارومیه انجام شد. مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد ۳۰، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر در محیط ArcGIS10 ایجاد شده و مطابق با روش مور و ویلسون نقشه‌ی رستری LS برای منطقه با استفاده از هر یک از مدل‌های رقومی تهیه گردید. وابستگی مکانی متغیر LS با استفاده از تحلیل نیم‌تغییر نما بررسی و ابعاد سلولی مناسب بر مبنای آن انتخاب شد. نتایج نشان داد که مدل کروی به خوبی قادر به تبیین تغییرات مکانی متغیر LS بوده و در مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۷۵ متر دارای قوی‌ترین ساختار وابستگی مکانی (۰/۵۲۳) و بیشترین ضریب تبیین (۰/۹۸۳) است. بنابراین در منطقه‌ی مورد مطالعه ابعاد سلولی ۷۵ متر به عنوان اندازه مناسب سلول به منظور محاسبه‌ی متغیر LS پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عامل LS، اندازه‌ی سلول، زمین‌آمار، RUSLE، رشکان، ارومیه

مقدمه

فرسایش آبی به عنوان یک پدیده‌ی مخرب زیست محیطی به ویژه در مناطق نیمه‌خشک، نظیر شرایط اقلیمی بسیاری از مناطق ایران، شناخته می‌شود. در این گونه مناطق پوشش گیاهی پراکنده و خاک‌های فرسایش‌پذیر از یک سو و توزیع نامناسب بارش در طول سال از سوی دیگر سبب تلفات قابل توجه خاک در اراضی شیب‌دار می‌شود (۷،۱۳). از این رو پیش‌بینی فرسایش خاک با توجه به شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، خاک و نیز توپوگرافی از مهمترین ابزارهای برنامه‌ریزان بخش کشاورزی و منابع طبیعی محسوب می‌گردد. در این زمینه مدل‌های تعیین توزیع مکانی فرسایش خاک به عنوان ابزارهایی سودمند در تعیین خطر فرسایش در مناطق مختلف نقش غیرقابل انکاری دارند.

در بین مدل‌های متنوع برآورد فرسایش خاک، نسخه‌های مختلف معادله جهانی تلفات خاک (USLE) به رغم کاستی‌های موجود در آن‌ها به عنوان پرکاربردترین ابزارها در تعیین الگوی مکانی خطر فرسایش در مطالعات متعدد مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۸،۹). توسعه‌ی این مدل تجربی بر مبنای داده‌های کسب شده در مقیاس دامنه صورت گرفته و از آن برای پیش‌بینی فرسایش شیاری و ورقه‌ای در اراضی کشاورزی استفاده می‌شود. با گذشت زمان نسخه‌ی تجدید نظر شده‌ی آن تحت عنوان RUSLE ارائه شد که محدودیت‌های مدل اولیه (کاربرد برای اراضی غیر زراعی) را تا حدودی مرتفع ساخت (۱۴). در مدل‌های خانواده USLE تاثیر توپوگرافی بر روی تلفات خاک با استفاده از طول و درجه شیب به شکل ترکیبی و در قالب یک پارامتر بدون بعد تحت عنوان LS در نظر گرفته می‌شود. بنابراین LS یکی از ۵ جزء معادله‌ی جهانی تلفات خاک شامل R: شاخص فرسایندگی باران، K: فرسایش پذیری خاک، C؛ شاخص پوشش گیاهی و مدیریت زراعی، P: عامل عملیات حفاظت خاک است که حاصلضرب این عوامل، برآوردی از مقدار متوسط تلفات سالانه خاک در واحد سطح (A) را ارائه می‌دهد.

روشن است که دقت برآورد مدل‌های خانواده USLE نیز مانند هر مدل دیگری صرف نظر از عدم قطعیت ساختاری، تابعی از میزان دقت در تعیین تک تک عوامل یاد شده (R، K، LS، C و P) می‌باشد. در بین عوامل مختلف مدل‌های خانواده USLE تعیین عامل LS به ویژه برای مقیاس حوزه‌ی آبخیز دارای دشواری بیشتری است. از سوی دیگر تحلیل حساسیت مدل USLE و نسخه‌های دیگر آن بیانگر این واقعیت است که LS یک عامل مهم در تخمین فرسایش خاک با مدل‌های خانواده USLE است (۱۷). از این رو تعیین دقیق آن می‌تواند نقش بسیار مهمی در برآورد صحیح الگوی تغییرات مکانی خطر فرسایش و اجرای مناسب طرح‌های حفاظت خاک و به طور کلی مدیریت اراضی در منطقه داشته باشد.

اولین معادله برای محاسبه‌ی LS توسط ویشمایر و اسمیت (۲۱) ارائه شده است. که استفاده از این معادله در مقیاس‌های مکانی بزرگ به‌ویژه در مناطقی با تغییرات

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

توپوگرافی شدید با دشواری روبرو بوده و از نظر زمان و هزینه با محدودیت همراه است. برای غلبه بر اینگونه مشکلات، در طول دو دهه‌ی اخیر تلاش‌های فراوانی برای تلفیق مدل‌های خانواده USLE در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) شده تا از این طریق امکان استفاده در مقیاس‌های مکانی بزرگ با صرف وقت و هزینه اندک فراهم شود. از این طریق امکان محاسبه مقدار عامل توپوگرافی (LS) در قالب یک نقشه‌ی رستری و به شکل جداگانه برای هر سلول توسط محققین ارائه شده است. در این زمینه نیز روش‌هایی از جمله معادله ویشمایر و اسمیت اصلاح شده توسط کینل (۱۰)، رابطه دسمت و گوورز اطلاح شده توسط کینل (۱۰) و رابطه مور و ویلسون (۱۱) برای محاسبه‌ی عامل LS ارائه شده که مبنای اغلب آن‌ها استفاده از مدل رقومی ارتفاع و تلفیق آن با معادله‌ی اصلی فاکتور LS در مدل‌های خانواده USLE می‌باشد.

در این راستا، محاسبه‌ی LS به روش مور و ویلسون (۱۱) دارای عمومیت و کاربرد بیشتری است که ورودی اصلی آن نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع منطقه و مشتقات آن است (۱۶). همچنین، نجفی‌نژاد و همکاران (۱۲) با مبنا قرار دادن رابطه ویشمایر و اسمیت در ۳۰ دامنه معرف نشان دادند که روش مور و ویلسون (۱۰) در مقایسه با سایر روش‌های محاسبه عامل LS دقت بیشتری دارد. با این وجود، یک ابعاد سلولی مناسب مدل رقومی ارتفاع در شرایط مختلف برای عامل LS پیشنهاد نشده است. مدل‌های رقومی ارتفاع با اندازه سلولی بزرگ، نمی‌توانند تغییرات شرایط سطح زمین که ناشی از میکروتوپوگرافی و کانال‌های کوچک در منطقه است را منعکس نمایند. از سوی دیگر استفاده از مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی ریز نیز با مشکلاتی همراه است. برای نمونه مدل‌های با ابعاد سلولی کوچک حاوی حجم زیادی از اطلاعات غیرضروری بوده که این اطلاعات نه تنها کمکی به بهبود کارکرد مدل هیدرولوژیکی نکرده بلکه در برخی از موارد با ایجاد اختلال[1] در کارکرد مدل، عدم قطعیت[2] آن را افزایش می‌دهند (۱۶). پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که ابعاد مختلف مدل رقومی ارتفاع می‌تواند نتایج مدل‌های فرسایش خاک را تحت تاثیر قرار دهد (۲۳،۲۲،۱۵). اما واقعیت این است که در بسیاری از مدل‌های مکانی هیدرولوژیکی ابعاد سلول مدل رقومی مورد استفاده به شکل دلخواه و یا براساس قوانین ابتکاری که پایه و اساس مشخصی نیز ندارند، انجام می‌گیرد. برای نمونه هنگل (۶) ابعاد سلولی معادل با ۰/۰۰۱ مقیاس نقشه را به عنوان اندازه سلولی مناسب پیشنهاد کرده است. شارما و همکاران (۱۶) نیز ابعاد سلولی مناسب را از تقسیم مساحت منطقه بر دو برابر مجموع طول خطوط تراز به دست آورده‌اند. اگوئن و همکاران (۴) استفاده از مدل‌های رقومی با اندازه سلولی ۳۰ تا ۱۰۰ متر را برای برآورد دبی رواناب حوضه آبخیز مناسب ارزیابی کرده و اظهار می‌نمایند که استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع با اندازه سلولی ۵۰۰ متر منجر به بیش برآورد مقدار رواناب می‌شود. واکال و بنکس (۱۸) نقشه شیب حاصل از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر را برای تهیه نقشه LS انتخاب نموده‌اند. ایوبی و همکاران (۲) نیز مناسب ترین ابعاد سلول را برای روش مور و ویلسون در منطقه تالش علیا استان گلستان را ۵۰ متر گزارش نموده‌اند. اسدی و همکاران (۱) نقشه LS را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۹۰ متری به دست آورده‌اند. نجفی‌نژاد و همکاران (۱۲) نیز مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متری را برای محاسبه عامل LS به روش مور و ویلسون (۱۱) در منطقه سد کمال صالح استان مرکزی پیشنهاد کرده‌اند. گورا و همکاران (۵) نیز طی تحقیقی در مناطق مدیترانه‌ای قاره اروپا از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۹۰ متر برای محاسبه عامل LS در تخمین خطر فرسایش خاک استفاده کردند.

بررسی منابع به روشنی نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک مختلف در مطالعات مربوط به فرسایش خاک امری معمول بوده و اغلب توجهی به اثرات آن بر نتایج حاصله نمی‌شود. شارما و همکاران (۱۶) اظهار نموده‌اند که وابستگی مکانی متغیرهای به دست آمده از مدل رقومی ارتفاع، نظیر LS می‌تواند معیار مهمی در انتخاب مدل رقومی ارتفاع مناسب است. افزایش وابستگی مکانی LS ناشی از مدل‌های رقومی با اندازه سلولی مختلف می‌تواند نشانگر مطلوب بودن اندازه مدل رقومی ارتفاع باشد. از این رو هدف از این مطالعه بررسی میزان وابستگی مکانی عامل LS به دست آمده از مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی مختلف در یک منطقه مشرف به دریاچه ارومیه در جنوب شهرستان ارومیه و تعیین مدل رقومی ارتفاع مناسب براساس آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

محدوده‌ی مورد مطالعه در بخش جنوبی شهرستان ارومیه و در منطقه‌ی رشکان واقع شده و در فاصله‌ی مختصات جغرافیائی ″۰۰ ′۱۶ °۳۰ تا ″۳۰۰ ′۲۰ °۳۷ عرض شمالی و ″۳۰ ′۰۹ °۴۵ تا ″۳۰ ′۱۸ °۴۵ طول شرقی قرار دارد. مساحت منطقه برابر با ۷۱۱۶ هکتار بوده و بیشترین ارتفاع منطقه (۲۳۲۳ متر) در حاشیه‌ی جنوب غربی واقع شده و کمترین ارتفاع منطقه نیز برابر با ۱۲۳۵ متر است که در بخش شرقی و در کنار دریاچه ارومیه قرار دارد. شیب غالب در منطقه در محدوده‌ی شیب‌های کمتر از ۳۰ درصد بوده و در بخشی از مناطق کوهستانی در حاشیه‌ی جنوب غربی آن شیب‌های تا ۱۰۰ درصد نیز دیده می‌شود. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه نقشه رقومی ارتفاع آن را نشان می‌دهد. کاربری این منطقه در گذشته به شکل مرتع بوده ولی در سال‌های اخیر با توسعه کاربرد روش‌های آبیاری تحت فشار، در بخش زیادی از این اراضی تغییر کاربری رخ داده و تحت کشت محصولاتی نظیر گندم قرار گرفته‌اند.

تهیه‌ی نقشه‌ی LS

در این تحقیق به منظور تهیه‌ی مدل‌های رقومی با اندازه سلولی مختلف ابتدا مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد نظر با اندازه سلولی ۳۰ متر با استفاده از تصویر ماهواره لندست (تیر ماه ۱۳۹۳) ساخته شد. در ادامه این نقشه به عنوان پایه برای تهیه‌ی مدل‌های رقومی با قدرت سلولی بزرگ‌تر قرار گرفته و مدل‌های رقومی با اندازه سلولی ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ با کاربرد تکنیک درون‌یابی به روش نزدیکترین همسایه از مدل رقومی با اندازه سلولی ۳۰ متر تهیه شدند. پس از تهیه

1-Noise

2- Uncertainty

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

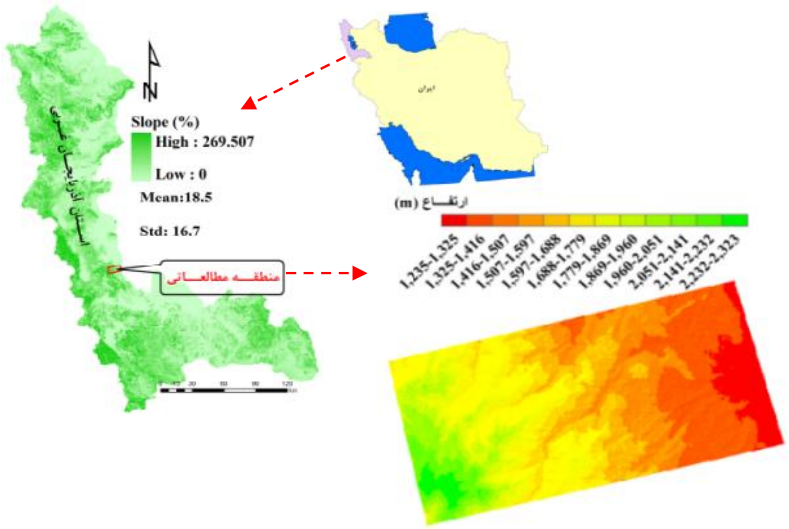
مدل‌های رقومی ارتفاع، مقدار عامل LS برای هر سلول در نقشه‌ی مورد نظر با استفاده از روش مور و ویلسون (۱۱) مطابق با رابطه زیر به دست آمد.

$$LS = \left[\frac{A_S}{22.13}\right]^{0.4}\left[\frac{\sin^{-}}{0.0896}\right]^{1.3} \qquad (۱)$$

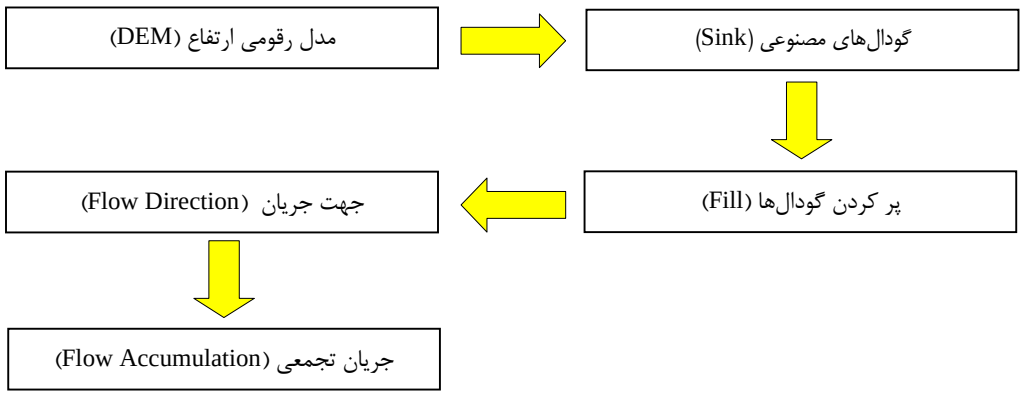
در این رابطه θ درجه شیب زمین و A_s معادل مساحت سلول‌هائی است که آب آن‌ها به داخل سلول مورد نظر وارد می‌گردد. مقادیر As (سطح ویژه حوزه) از حاصل‌ضرب جریان تجمعی در اندازه ابعاد سلول مطابق با رابطه زیر قابل محاسبه است (۱۱).

$$A_S = Flow\ Accumulation \times Cell\ Size \qquad (۲)$$

بنابراین برای تهیه نقشه LS به روش مور و ویلسون (۱۱) در مرحله‌ی اول نیاز به تهیه‌ی نقشه جریان تجمعی می‌باشد. نقشه‌ی اولیه برای تهیه‌ی جریان تجمعی، مدل رقومی ارتفاع است که در این مطالعه از مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی جریان تجمعی و در نهایت نقشه‌ی LS استفاده شد. در شکل ۲ مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی جریان تجمعی که با استفاده از الحاقیه ArcHydro در محیط ArcGIS 10 انجام شده است، قابل مشاهده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی
Figure 1. Geographical location of the study area in west Azarbayjan Province



شکل ۲- مراحل متوالی برای تهیه نقشه جریان تجمعی مورد استفاده در نقشه‌ی LS
Figure 2. Consecutive steps for the preparation of the flow accumulation map for computing the LS factor

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

انتخاب مناسب‌ترین نقشه‌ی LS

به منظور انتخاب مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع، مقادیر LS به صورت نقشه‌های رستری محاسبه شده و سپس تحلیل زمین آماری با استفاده از نیم‌تغییرنمای مقادیر LS که یک تابع ریاضی برای توصیف الگوی تغییرپذیری مکانی متغیرها است، صورت گرفت. به طور کلی برای مقایسه یک کمیت (که در این مطالعه مقادیر LS می‌باشد) در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آنها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس برای تمام موقعیت‌ها می‌توان، توان دوم این اختلاف را تحت عنوان نیم تغییرنما به صورت معادله (۳) محاسبه کرد:

$$¥(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i+h)-Z(x_i)\right]^2 \qquad (۳)$$

در این رابطه،N(h) تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام (h)، $Z(x_i)$ مقدار متغیر (LS) در نقطه x_i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در موقعیت مکانی x_i+h است (۲۰). یک نیم تغییرنمای نمونه دارای سه پارامتر شامل اثر قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه موثر می‌باشد. اثر قطعه‌ای بیان کننده مولفه غیرساختاری (تصادفی) واریانس می‌باشد. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه نموده و مقدار دامنه بیان‌گر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (۲۰). در مطالعه حاضر از مدل کروی مطابق با رابطه‌ی ۴ به منظور برازش نیم‌تغییرنمای تجربی LS استفاده شد که دلیل آن توانایی بیشتر این مدل در برازش داده‌های نیم تغییرنمای تجربی مقادیر LS بود.

(۴)

$$¥(h)=C\left[\frac{3h}{2a}-\frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3\right] \qquad for\ \ h\le a$$

$$¥(h)=C \qquad for\ \ h>a$$

که در این رابطه $¥(h)$ مقدار تغییرنما، C حد آستانه، h فاصله و a مولفه دامنه می‌باشد (۲۰). در این مطالعه منظور از فواصل نمونه‌برداری، ابعاد سلول‌های مدل رقومی ارتفاع می‌باشد. ابعاد سلول‌های مدل رقومی ارتفاع، روی درجه و طول شیب و مساحت سلول‌ها موثر است. تغییر ابعاد سلول‌ها منجر به دقت‌های متفاوتی از نقشه LS خواهد شد. جهت مطالعه واریوگرافی و زمین آماری از نرم افزار ArcGIS10 استفاده گردید.

در نهایت، جهت انتخاب مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی مناسب در تهیه نقشه فاکتور LS از معیار وابستگی مکانی و ضریب تبیین نیم تغییرنما در حالتی که فاصله گام برابر با اندازه ابعاد سلول‌ها باشد استفاده گردید (۱۶). شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس بخش ساختاری (حد آستانه منهای اثر قطعه‌ای) به واریانس کل به دست آورد. هر چه درجه وابستگی مکانی از ۰/۵ بیشتر باشد نشان‌دهنده وجود ساختار فضایی قوی است (۱۹).

نتایج و بحث

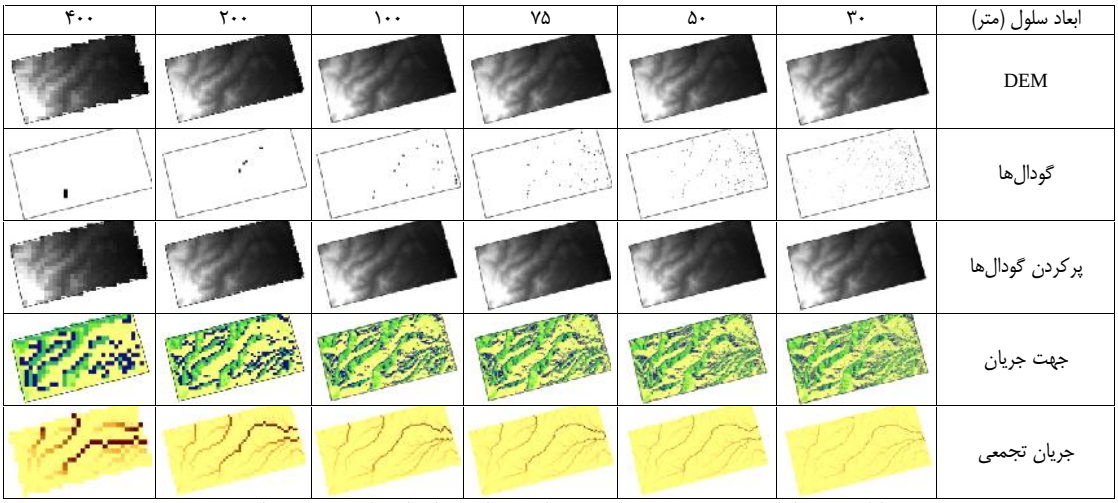
در شکل ۳ مراحل تهیه نقشه جریان تجمعی از مدل رقومی ارتفاع‌های با ابعاد سلولی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد با افزایش ابعاد سلول در مدل رقومی ارتفاع، میزان گودال‌های مصنوعی ایجاد شده کم‌تر می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۳۰، ۷۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر، فراوانی سلول‌هایی که در آن‌ها گودال مصنوعی تشکیل شده است به ترتیب برابر با ۱/۰۲، ۰/۹۳، ۰/۷، ۰/۴۹، ۰/۴۵ و ۰/۳۹ درصد است. با ایجاد یک گودال‌های مصنوعی در یک سلول، آن سلول نقش یک حوضه کوچک بسته را ایفا کرده و جریان آب نمی‌تواند از آن خارج شود. در صورتی که این گودال‌های مصنوعی ایجاد شده در طی مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی LS پر نشوند، می‌توانند خطای قابل توجهی را در میزان LS محاسبه شده به وجود آورند که این امر با توجه به فراوانی بیشتر این گودال‌ها، در مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی کوچک‌تر اهمیت بیشتری دارد. در برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نظیر مطالعه‌ی اسدی و همکاران (۱) و نجفی‌نژاد و همکاران (۱۲) تهیه‌ی نقشه‌ی LS با استفاده از روش مور و ویلسون (۱۱) بدون پر کردن گودال‌های مصنوعی انجام شده است که این امر می‌تواند سبب ایجاد خطای قابل توجهی در نتایج گردد. لذا، در پژوهش حاضر علاوه بر محاسبه میزان گودال‌های مصنوعی ایجاد شده در ابعاد متفاوت سلول‌ها اقدام به پرکردن آن‌ها شد.

البته بایستی در نظر داشت که در شرایط طبیعی نیز در صورت وجود محیط‌های آهکی و کارستی در ارتفاعاتی که دمای کم دارند گودال‌های واقعی به علت حلالیت بالای سنگ آهک در آب ایجاد می‌گردند (۱۳) که این گودال‌ها نبایستی با گودال‌های مصنوعی ایجاد شده در مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی LS اشتباه گرفته شوند. که این امر لزوم توجه به شرایط زمین‌شناختی منطقه و بازدید میدانی در تهیه‌ی نقشه‌ی LS را آشکار می‌سازد. در این مطالعه بازدید میدانی از منطقه‌ی مورد نظر بیان‌گر عدم وجود گودال‌های ناشی از سازندهای کارستی بود. اما بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی در ایران نظیر سازند آهک آسماری در نواحی زاگرس و سازند آغچه گیل در البرز شمالی دارای مقدار زیادی سنگ آهک هستند (۳). لذا در برآورد عامل LS، خصوصیات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه حائز اهمیت بوده و نباید گودال‌های طبیعی تشکیل شده در اثر انحلال سنگ آهک به اشتباه به عنوان گودال مصنوعی ایجاد شده در تهیه مدل رقومی ارتفاع تلقی شده و حذف شوند.

در این پژوهش پس از رفع گودال‌های مصنوعی ایجاد شده و بکارگیری مراحل صحیح تهیه نقشه جریان تجمعی از مدل رقومی ارتفاع، نقشه متغیر عامل LS با استفاده از روش مور و ویلسون (۱۱) تهیه شد. در شکل ۴ نقشه مذکور که با استفاده از مراحل شرح داده شده در بالا و بر مبنای مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۷۵ متر به دست آمده است، قابل

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

مشاهده است. همان‌گونه که در این نقشه مشاهده می‌شود مقادیر LS در اراضی مسطح نزدیک به دریاچه کم‌ترین مقدار را داشته و بیشترین مقدار آن نیز در انتهایی‌ترین پیکسل طولانی‌ترین آبراهه می‌باشد.



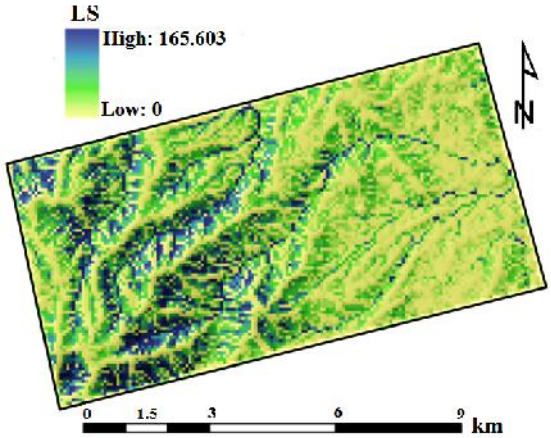
شکل ۳- مراحل تهیه نقشه جریان تجمعی با استفاده از هر یک از مدل‌های رقومی ارتفاع
Figure 3. Steps of the preparation of flow accumulation maps from digital elevation models

جدول ۱ نیز خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی عامل LS به دست آمده با استفاده از مدل‌های رقومی با ابعاد مختلف را نشان می‌دهد. کمینه‌ی مقدار عامل LS برای مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف برابر با صفر بوده و بیشینه‌ی آن نیز برای مدل رقومی با ابعاد ۳۰ متر برابر با ۳۰۰/۱ و برای مدل رقومی با ابعاد ۴۰۰ متر برابر با ۳۲/۳ است. بررسی روند تغییرات میانگین عامل LS در مدل‌های رقومی با ابعاد مختلف بیان‌گر کاهش میانگین LS منطقه با افزایش ابعاد سلولی است. انحراف معیار مقادیر LS نیز با افزایش ابعاد سلول کاهش یافته است. تحلیل اختلاف میانگین و انحراف معیار بین ابعاد متفاوت پیکسل‌ها نشان داد که اختلاف میانگین و انحراف معیار در بین LSهای محاسبه شده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۳۰، ۵۰ و ۷۵ تقریباً یکسان می‌باشد، از سوی دیگر، اختلاف میانگین و انحراف معیار در بین LSهای محاسبه شده با افزایش ابعاد سلولی به ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر بیشتر شده است (جدول ۱). با توجه به اهمیت ابعاد مدل رقومی ارتفاع در محاسبه LS، در ادامه از تکنیک زمین‌آمار برای تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع در محاسبه LS استفاده می‌گردد.

جدول ۱- خلاصه آماری عامل LS در منطقه مورد مطالعه
Table 1. Statistical description of the LS factor for the study area

ابعاد سلول (متر)	خصوصیات آماری عامل LS			
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
۳۰	۰/۰۰	۳۰۰/۱	۶/۷۸	۱۱/۵
۵۰	۰/۰۰	۲۲۷/۲	۶/۷۲	۱۰/۵۲
۷۵	۰/۰۰	۱۶۵/۶	۶/۴۴	۹/۸۷
۱۰۰	۰/۰۰	۱۴۶/۹	۶/۱۸	۹/۴۸
۲۰۰	۰/۰۰	۶۲/۹	۵/۰۷	۸/۲۷
۴۰۰	۰/۰۰	۳۲/۳	۳/۵۷	۵/۹۲

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]



شکل ۴- نقشه عامل LS برای منطقه مطالعاتی تهیه شده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۷۵ متر
Figure 4. LS factor map for the study area based on the 75×75 resolution DEM

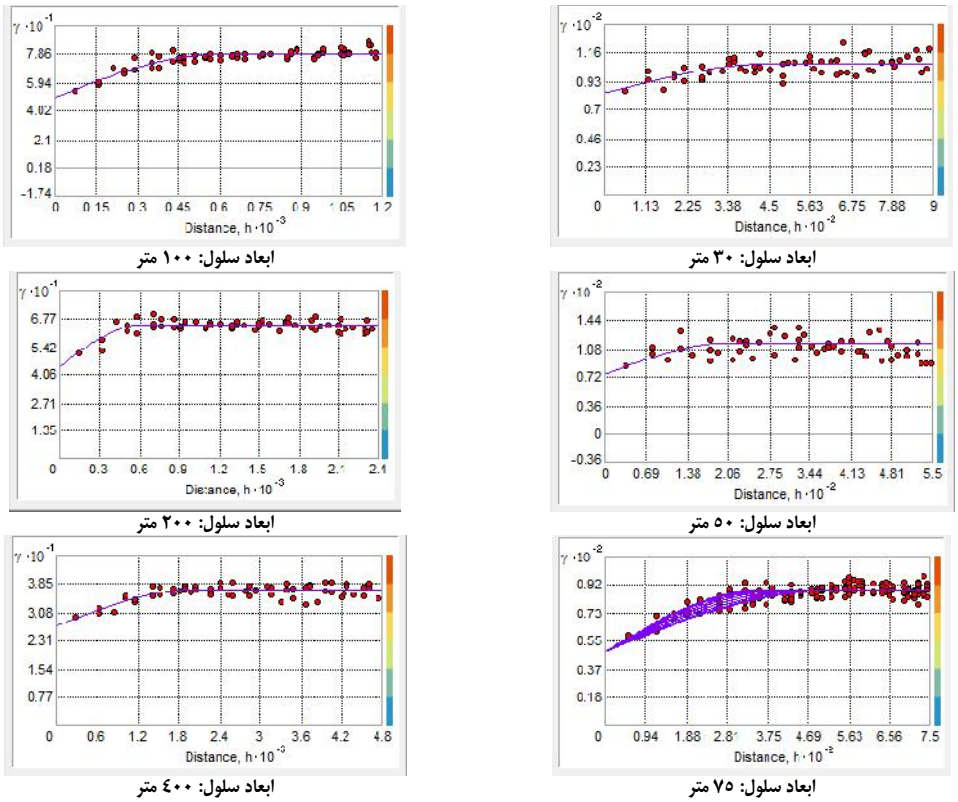
بر اساس مقادیر محاسبه شده LS برای هر یک از مدل‌های رقومی ارتفاع، آنالیزهای زمین آماری انجام گردید. تحلیل نیم تغییرنما در جهات گوناگون در هریک از مدل‌های رقومی ارتفاع برای متغیر LS نشان داد که تغییرپذیری عامل LS تهیه شده با مدل‌های رقومی به ابعاد ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر در جهت‌های مختلف دارای رفتار مشابهی بوده و متغیر مورد نظر در منطقه‌ی مورد مطالعه همسانگرد می‌باشد. از این رو در مطالعه‌ی حاضر از نیم تغییرنمای چندجهته LS به منظور تحلیل وابستگی مکانی متغیر LS برای مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ متر استفاده شد. اما پیوستگی مکانی عامل LS محاسبه شده از مدل رقومی ارتفاع به ابعاد سلولی ۷۵ متر در جهت‌های مختلف متفاوت بود (شکل ۵) به طوری‌که بیشترین پیوستگی مکانی در جهات شمال-شرق و جنوب-غرب بود. لذا، تغییرپذیری عامل LS محاسبه شده از مدل رقومی ارتفاع به ابعاد سلولی ۷۵ متر ناهمسانگرد می‌باشد. در جدول ۲ نتایج آنالیز واریوگرافی برای عامل LS در ابعاد سلولی مختلف مدل رقومی ارتفاع ارائه شده و نیم تغییرنمای چندجهته برای متغیر LS به همراه مدل کروی برازش داده شده بر آن نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۲- پارامترهای مدل نیم‌تغییرنما برای متغیر LS در ابعاد مختلف DEM
Table 2. The parameters of the semivariogram model for LS factor

ابعاد DEM (متر)	دامنه (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	وابستگی مکانی*	R^2#	ME§
۳۰	۷۳۵/۲	۸۳	۱۰۷	۰/۲۲۴	۰/۹۶۲	۰/۰۱۶
۵۰	۵۴۸/۹	۷۵	۱۱۴	۰/۳۴۲	۰/۹۶۶	۰/۰۱۲
۷۵	۵۷۸/۶	۴۸	۹۰	۰/۵۲۳	۰/۹۸۳	۰/۰۰۷
۱۰۰	۷۷۴/۹	۴۹	۷۸	۰/۳۷۲	۰/۹۷۱	۰/۰۰۹
۲۰۰	۱۲۸۵/۳	۴۵	۶۵	۰/۳۰۸	۰/۹۵۳	۰/۰۲۸
۴۰۰	۲۰۷۳/۸	۲۷	۳۷	۰/۲۷۰	۰/۹۱۰	۰/۰۲۲

*: نسبت واریانس بخش ساختاری به واریانس حد آستانه [(Sill-Nugget)/Sill]
#: ضریب تبیین (Coefficient of determination)
§: خطای میانگین (Mean error)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]



شکل ۵- تغییرنما عامل LS در ابعاد مختلف مدل رقومی ارتفاع

Figure 5. Semivariogram of the LS factor of different DEM sizes

نتایج آنالیزهای نیم تغییرنما روی داده‌های LS حاصل از مدل‌های رقومی ارتفاع در منطقه مورد مطالعه نشان داد که با توجه به مقدار R^2 حداکثر و ME حداقل، مدل کروی به خوبی تغییرات مکانی LS به دست آمده از تمامی مدل‌های رقومی ارتفاع را تبیین می‌نماید (جدول ۲ و شکل ۵). از این رو از پارامترهای این مدل مطابق جدول ۲ برای تحلیل وابستگی مکانی متغیر LS استفاده شد. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲، اثر قطعه‌ای و نیز حد آستانه دارای روند کاهشی با افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع است. اما تغییرات مقدار دامنه و یا شعاع تاثیر متغیر LS فاقد روند مشخصی در مقابل ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع است.

یکی از نکات مهم در تغییرات مکانی متغیر LS در منطقه مورد مطالعه مربوط به میزان وابستگی مکانی و ضریب تبیین (R^2) می‌باشد. به این صورت که عامل LS محاسبه شده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۷۵ متر تا فاصله ۵۷۸/۶ متر دارای بیشترین وابستگی مکانی (۰/۵۲۳) و ضریب تبیین (۰/۹۸۳) است. این امر نشان دهنده غلبه واریانس بخش ساختاری نیم تغییرنما بر واریانس بخش تصادفی (واریانس اثر قطعه‌ای) آن بوده و بیانگر مناسب بودن ابعاد سلولی ۷۵ متر برای تهیه‌ی نقشه‌ی LS است.

نکته‌ی قابل توجه در رابطه با داده‌های جدول ۲، این است که وابستگی مکانی LS برای ابعاد سلولی ۳۰ و ۴۰۰ متر به عنوان کم‌ترین و بیش‌ترین ابعاد سلولی به کار رفته حداقل مقدار بوده و به ترتیب برابر با ۰/۲۲۴ و ۰/۲۷۰ می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه مطابق با یافته‌های اگوئن و همکاران (۴) که ابعاد سلولی ۳۰ تا ۱۰۰ متر را مناسب تشخیص داده بودند است. دلیل این امر می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که مدل‌های رقومی با اندازه سلولی بزرگ، نمی‌توانند تغییرات شرایط سطح زمین را به درستی منعکس نمایند و تغییرات سطح زمین در اندازه‌های کوچکتر از ابعاد سلولی نادیده گرفته شده و در محاسبات مدل وارد می‌شود. همچنین، مطالعات ونگ و همکاران (۱۹) با استفاده از معیارهای آنتروپی نیز نشان داد که افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع منجر به دست از رفتن بخشی از اطلاعات مرتبط با توپوگرافی می‌شود. همین‌طور مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی ریز نیز حاوی حجم زیادی از اطلاعات غیرضروری بوده که این اطلاعات کمکی به بهبود کارکرد مدل نکرده و با ایجاد اختلال در کارکرد مدل، عدم قطعیت آن را افزایش می‌دهند. در مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد خیلی کوچک گودال‌های مصنوعی بیشتری به‌ویژه در مناطقی با تغییرات توپوگرافی شدید تشکیل می‌شود که این گودال‌ها نقش حوضه بسته کوچک را ایفا کرده و موجب خطا در تخمین فرسایش در اینگونه مناطق می‌گردد. در مقابل، نتایج این مطالعه متفاوت از نتایج ونگ و همکاران (۱۹) و ایوبی و

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

همکاران (۲) بود. پژوهشگران یاد شده با آنالیز مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف نشان دادند که مدل رقومی ارتفاع با ابعاد ۵۰ متر منجر به بالاترین وابستگی مکانی شده و اندازه ۵۰ متر را به عنوان اندازه مناسب ابعاد سلول دانسته‌اند. شارما و همکاران (۱۶) نیز مناسب‌ترین ابعاد سلولی را ۹۰ متر در منطقه مطالعاتی خود معرفی کردند. همچنین، نجفی‌نژاد و همکاران (۱۲) با بررسی مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر اظهار داشتند که عامل LS محاسبه شده به‌وسیله روش مور و ویلسون در ابعاد سلولی ۳۰ متر بیشترین همبستگی را با مدل ویشمایر و اسمیت دارد. در حالی که در مطالعه حاضر اندازه ۷۵ متر به عنوان ابعاد مناسب از نظر پیوستگی مکانی به دست آمد. دلیل این اختلاف در نتایج را می‌توان اینگونه توجیه کرد که ساختار توپوگرافی مناطق مطالعه شده توسط ونگ و همکاران (۱۹)، ایوبی و همکاران (۲) و نجفی‌نژاد و همکاران (۱۲) به شدت با ساختار توپوگرافی مطالعه حاضر متفاوت بوده و همین امر موجب تفاوت در میزان همبستگی مکانی مدل رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف و متعاقب آن در عامل توپوگرافی محاسبه شده از سلول‌های با ابعاد مختلف شده است. این موضوع نشانگر این نکته است که ابعاد سلولی مناسب تابعی از شرایط توپوگرافیکی سطح بوده و نمی‌توان یک اندازه خاص را برای تمامی شرایط مناسب دانست.

به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع سبب تغییرات قابل توجهی در میزان اطلاعات مدل رقومی ارتفاع داشته و این اطلاعات نقش بسیار مهمی در مقدار LS محاسبه شده دارد. براساس نتایج، تشکیل گودال‌های مصنوعی با کاهش ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاع افزایش می‌یابد. این امر لزوم توجه به پرکردن گودال‌های مصنوعی در طی مراحل محاسبه‌ی LS به ویژه در مدل‌های رقومی با ابعاد سلولی کوچکتر را نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنمای LS مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف نشان داد که متغیر LS در جهات مختلف همسانگرد بوده و مدل کروی به خوبی قادر به تبیین الگوی تغییرات مکانی متغیر LS است. براساس این مدل بیشترین وابستگی مکانی با بیشترین مقدار ضریب تبیین برای متغیر LS از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۷۵ متر حاصل شد. که این امر نشان می‌دهد که در منطقه‌ی مورد مطالعه ابعاد سلولی ۷۵ متر را می‌توان به عنوان مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع پیشنهاد نمود. براساس نتایج این تحقیق، به منظور افزایش دقت و کارائی در مطالعات برآورد فرسایش خاک به روش RUSLE تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع در هر منطقه به منظور در تهیه نقشه LS منطقه، ضروری بوده و عدم انتخاب صحیح می‌تواند نتایج برآورد فرسایش خاک را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.

منابع

1. Asadi, H., M. Vazifehdoost, A. Moussavi and M. Honarmand. 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 Guilan Regional Water Organization, 13 pp (In Persian).
2. Ayoubi, S.H., F. Khormali and S.H. Shataee. 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 va Sazandegi, 77: 122-129 (In Persian).
3. Darwishzadeh, A. 2006. Geology of Iran. Amir Kabir Press Institute 847 pp, (In Persian).
4. Eguen, M., C. Aguilar, J. Herrero, A. Millares and M.J. Polo. 2012. On the influence of cell size in physically-based distributed hydrological modeling to assess extreme values in water resource planning. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12: 1573-1582.
5. Guerra, A., J. Maes, I. Geijzendorffer and J. Metzger. 2016. An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision. Ecological Indicators, 60: 213-222.
6. Hengl, T. 2006. Finding the right pixel size. Computers & Geosciences, 32:1283-1298.
7. Khajavi, E., M. Arabkhedri, M.H. Mahdian and S. Shadfar. 2015. Investigation of Water Erosion and Soil Loss Values with using the Measured Data from Cs-137 Method and Experimental Plots in Iran. Journal of Watershed Management Research, 6: 137-151 (In Persian).
8. Khaledi-Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, L. Gholami and A.R. Telvari. 2010. Calibration of USLE Different Versions in Chehelgazi Watershed in Kurdistan. Journal of Watershed Management Research, 1: 30-43 (In Persian).
9. Kim, H.S. and P.Y. Julien. 2006. Soil Erosion Modeling Using RUSLE and GIS on the IMHA Watershed. Water Engineering Research, 7: 29-41.
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. Moore, I.D. and J.P. Wilson. 1992. Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47: 423-428.
12. Najafinejad, A., M. Mardian, J. Varvani and V.B. Sheikh. 2011. Evaluation and comparison of representative hill slope and raster based hill slope methods for computation of topography factor in USLE. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 1: 99-114 (In Persian).
13. Rafahi, H. GH. 2006. Water erosion and conservation. University of Tehran Press. 646 pp (In Persian)
14. Renard, K.G., C.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil erosion by water. A guide to conservation planning with the Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Government Printing Office. Washington D.C. 404 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

15. Rojas, R., M. Velleux, P.Y. Julien and B.E. Johnson. 2008. Grid scale effects on watershed soil erosion models. Journal of Hydrologic Engineering, 13: 793-802.
16. Sharma, A., K.N. Tiwari and P.B.S. Bhadoria. 2011. Determining the optimum cell size of digital elevation model for hydrologic application. Journal of Earth System Science, 120: 573-582.
17. Truman, C.C., R.D. Wauchope, H.R. Sumner, J.G. Davis, G.J. Gasch, J.E. Hook, L.D. Chandler and A. W. Johnson. 2001. Slope length effects on runoff and sediment delivery. Journal of Soil and Water Conservation, 56: 249-256.
18. Wachal, D.J. and K.E. Banks. 2007. Integrating GIS and erosion modeling: A tool for watershed management. ESRI International User Conference. No.UC1038, 11 pp.
19. Wang, G., G.Z. Gartner, P. Parysow and A.B. Anderson. 2001. Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for the Revised Universal Soil Loss Equation using digital elevation models. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 56: 65-80.
20. Webster, R. and M.A. Oliver. 2007. Geostatistics for Environmental Scientists. Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 313 pp.
21. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA. Agricultural Research Service. Handbook 537, 58 pp.
22. Wu, S., J. Li and G. Huang. 2005. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models. Environmental Modeling & Assessment, 10: 33-42.
23. Zhang, J. X., K.T. Chang and J.Q. Wu. 2008. Effects of DEM Resolution and Source on Soil Erosion Modeling: a Case Study Using the WEPP Model. International Journal of Geographical Information Science, 22: 925-942.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]

(Short Paper)

Application of DEM to Compute Topographic Factor of RUSLE Model using Geostatistical Technique in Rashakan Region, Urmia

Farrokh Asadzadeh[1] and Salman Mirzaee[2]

1 - Assistant Professor, Urmia University (Corresponding author: f.asadzadeh@urmia.ac.ir)
2- PhD Student, Shahrekord University
Received: January 17, 2015 Accepted: April 21, 2015

Abstract

Topographic factor is an important factor of computer models of USLE family due to the high sensitivity of model results to its variation and complicated effects of topography on soil erosion. Moore and Wilson (1992) have introduced a well-known method to compute LS factor of RUSLE model using digital elevation model (DEM).The objective of this study was to determine the proper cell size of DEM for computing LS factor in a 7116 ha area, in Rashakan region at the southern part of Urmia. DEM models with cell sizes of 30, 50, 75,100, 200 and 400 m were prepared in ArcGIS 10 environment and the raster based maps of LS were derived from each DEM model based on Moore and Wilson method. Spatial dependence of the LS factor was analyzed and the proper cell size of DEM model was selected based on the degree of spatial dependence. Results showed that the spherical model explain the spatial pattern of LS factor and the DEM model with 75 m cell size has the strongest spatial dependence (0.523) and the highest coefficient of variation (0.983). As a result, in this region DEM with 75 m cell size is suggested as a proper cell size to compute LS factor based on Moore and Wilson method.

Keywords: Cell size, Geostatistics, LS factor, RUSLE, Rashakan, Urmia

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.24.6]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.254]