

تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع برای محاسبه عامل توپوگرافی در مدل RUSLE

فرخ اسدزاده^{۱*}، سلمان میرزایی^۲، محبوبه طیبی^۳

۱. استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

۲ و ۳. دانشجویان دکتری گروه علوم خاک دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۱)

چکیده

تعیین عامل توپوگرافی (LS) به دلیل پیچیدگی اثر آن بر پیش‌بینی تلفات خاک با مدل RUSLE بسیار دشوار است. هدف این تحقیق تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلولی نقشه DEM برای محاسبه عامل LS به روش Moore and Wilson (1992) در منطقه‌ای به مساحت ۵۳۲۶ هکتار در شمال غرب استان تهران بود. بدین منظور، با استفاده از DEM با ابعاد سلولی ۱۰ متر نقشه‌های DEM با ابعاد سلولی ۳۰ و ۵۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۴۰۰ متر در محیط ArcGIS 9.3 ایجاد شد. سپس، مناسب‌ترین ابعاد سلولی با استفاده از معیار وابستگی مکانی و ضریب تبیین (R^2) انتخاب شد. نتایج نشان داد، در تهیه نقشه جریان تجمعی، گودال‌های مصنوعی ایجاد شده در نقشه‌های DEM باید رفع شود. همچنین، بررسی تغییرنماها نشان داد عامل LS به‌دست‌آمده از نقشه DEM با ابعاد سلولی ۵۰ متر دارای بیشترین وابستگی مکانی (۰/۶۱۳) و ضریب تبیین (۰/۹۸۳) است. بنابراین، DEM با ابعاد سلولی ۵۰ متر منجر به تولید نقشه عامل LS دقیق‌تر شد.

کلیدواژگان: زمین آمار، عامل LS، فرسایش خاک، مدل رقومی ارتفاع

مقدمه

امروزه اثر منفی فرسایش خاک بر تخریب اراضی، تولیدات کشاورزی، کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، سامانه‌های هیدرولوژیکی، و محیط زیست مشکل بسیار مهمی به‌شمار می‌رود (Lal and Elliot, 1994). به منظور تدوین استراتژی‌های حفاظت خاک در مقیاس منطقه‌ای، برآورد خطر فرسایش در مناطق مختلف و ایجاد نقشه‌های خطر فرسایش برای شناسایی نواحی مستعد به تلفات خاک و تولید رسوب گام اولیه است (Vrieling et al., 2002).

محققان برای ارزیابی خطر تلفات خاک از مدل‌های مختلف فرسایش خاک استفاده می‌کنند که در این میان مدل‌های خانواده USLE پرکاربردترین ابزار در این زمینه‌اند (Kinnell, 2010). از محدودیت‌های مهم مدل اولیه USLE (Wischmeier and Smith, 1978) عدم توانایی آن در برآورد دقیق فرسایش خاک برای اراضی غیر کشاورزی است که با توجه به این ضعف Renard et al. (1997) نسخه تجدیدنظرشده مدل جهانی هدررفت خاک را با نام RUSLE^۱ توسعه دادند. از آن پس این مدل در بسیاری از تحقیقات برآورد تلفات خاک به کار

رفت (Vrieling et al., 2002; Wang et al., 2003; Tian et al., 2009).

به هر حال، دقت برآورد تلفات خاک در هر مدلی، صرف‌نظر از عدم قطعیت ساختاری آن مدل، تابعی از میزان دقت به‌کاررفته در تعیین تک‌تک عوامل مؤثر در آن است. در زمینه مدل‌های خانواده USLE نیز Blanco and Nadaoka (2006) اعلام کردند عامل LS (عامل توپوگرافی) مدل RUSLE یکی از عوامل مشکل و مبهم در برآورد هدررفت خاک است که به طور مستقیم اثر زیادی بر شروع رواناب و میزان هدررفت خاک دارد. نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های خانواده USLE نیز نشان می‌دهد از بین همه عوامل مؤثر در این مدل‌ها عامل شیب و به‌ویژه درجه آن بیشترین تأثیر را در مقدار خروجی‌ها دارد (Truman et al., 2001). در مدل RUSLE عامل L نشان‌دهنده اثر طول شیب و S نشان‌دهنده اثر درجه شیب زمین است که در عمل به شکل عامل LS مطرح می‌شود و اثر توپوگرافی در تلفات خاک را بیان می‌کند. Wischmeier and Smith (1978) اولین معادله را برای محاسبه عامل LS ارائه کردند. یکی از محدودیت‌های مهم رابطه آن‌ها هزینه‌بر و زمان‌بر بودن آن در مساحت‌های بزرگ است (Wang et al., 2003). به منظور غلبه بر این مشکل، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود که در ارزیابی مناطق حساس به فرسایش خاک در

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: farrokhasadzadeh@gmail.com
1. Revised Universal Soil Loss Equation

Najafinejad *et al.* (2011) در منطقه سد کمال صالح استان مرکزی با مبنا قراردادن رابطه Wischmeier and Smith (1978) گزارش کردند مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلول ۳۰ متر کمترین خطا را در محاسبه عامل LS به روش Moore and Wilson (1992) دارد.

همان طور که مرور منابع نشان می‌دهد مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی مختلف برای محاسبه عامل LS در مطالعات به کار رفته است (Knijff, 2000; Wachal and Banks, 2007; Gitas *et al.*, 2009; Ayoubi *et al.*, 2008; Asadi *et al.*, 2011; Najafinejad *et al.*, 2011). از آنجا که در برآورد فرسایش خاک به وسیله مدل RUSLE با استفاده از مدل‌های مکانی قابل اجرا در محیط GIS وابستگی مکانی متغیرهایی نظیر LS اهمیتی ویژه دارد، وابستگی مکانی توجیه شده با مدل زمین‌آمار می‌تواند معیاری تعیین کننده در انتخاب مدل رقومی مناسب برای تعیین LS باشد. همچنین یکی از دلایل اختلاف در انتخاب مناسب‌ترین ابعاد سلول می‌تواند عدم به‌کارگیری صحیح مراحل تهیه نقشه عامل LS در محیط GIS باشد. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع برای محاسبه عامل LS مدل RUSLE به روش Moore and Wilson (1992) در منطقه نمونه انتخاب شده در استان تهران انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، منطقه‌ای در شمال غرب استان تهران با مختصات جغرافیائی "۴۰' ۱' ۳۶" تا "۳۰' ۶' ۳۶" عرض شمالی و "۵۱' ۱۰" تا "۵۰' ۲۰" طول شرقی انتخاب شد. مساحت منطقه انتخاب شده ۵۳۲۶ هکتار بود. بیشترین ارتفاع (۳۵۶۸ متر) آن در بخش‌های شمالی و کم‌ترین ارتفاع (۱۸۱۶ متر) آن نیز در بخش جنوب غربی قرار داشت. در شکل ۱ موقعیت جغرافیائی منطقه مطالعه شده همراه نقشه رقومی ارتفاع آن می‌آید. کاربری عمده منطقه مرتع و در مناطق شیب‌دار کوهستانی واقع است.

به منظور تهیه مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک‌های متفاوت، ابتدا مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متر از منطقه مورد نظر از سازمان نقشه‌برداری کشور، که از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه شده، اخذ شد. این نقشه نقشه پایه برای تهیه سایر مدل‌های رقومی ارتفاع با قدرت‌های تفکیک ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، و ۴۰۰ متر بود. مدل‌های رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک‌های مختلف، به کمک تکنیک درون‌یابی،

مساحت‌های بزرگ‌تر، به دلیل هزینه کم و دقت بالا، معقول‌تر است (Millward and Mersey, 1999; Wang *et al.*, 2003). با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی، محققان توانستند عامل LS را برای هر یک از سلول‌های نقشه شیب محاسبه کنند (Moore and Wilson, 1992; Kinnell, 1997; Desmet and Govers, 1996). از بین روش‌های مختلف مورد استفاده برای تعیین عامل LS، رابطه Moore and Wilson (1992)، که بر اساس مدل رقومی ارتفاع منطقه است، کاربرد وسیعی دارد.

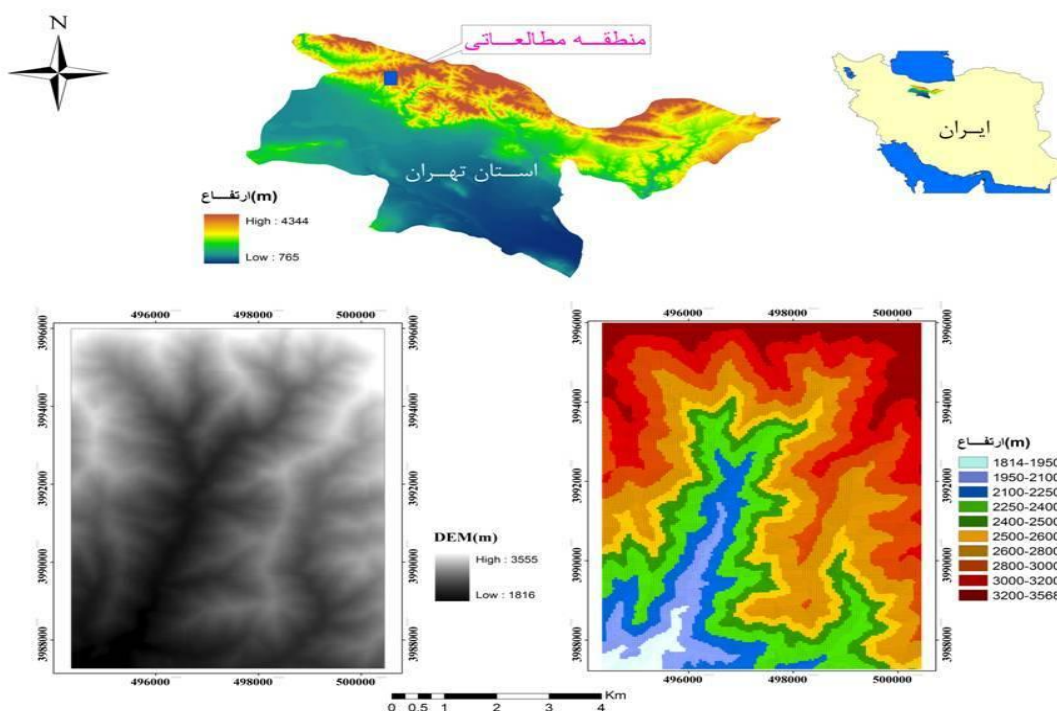
بررسی منابع نشان می‌دهد نقش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع در دقت برآورد رواناب در برخی مدل‌های هیدرولوژیکی مطالعه شده است؛ مثلاً Eguen *et al.* (2012) با در دست داشتن مقادیر مشاهده‌ای رواناب در یک حوضه با مساحت تقریبی ۱۳۱ کیلومتر مربع اظهار کردند استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ و ۱۰۰ متر می‌تواند برای تخمین دبی رواناب مناسب باشد، در حالی که نتایج این محققان حاکی از بیش‌برآورد مقادیر رواناب در صورت استفاده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۵۰۰ متر است. در مطالعه‌ای دیگر نیز Sharma *et al.* (2011) اظهار کردند مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۹۰ متر ویژگی‌های توپوگرافی را به‌خوبی نشان می‌دهد و می‌تواند در مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده شود. با وجود مطالعات صورت گرفته در زمینه نقش مدل رقومی ارتفاع در مدل‌های هیدرولوژیکی، در مدل‌های برآورد تلفات خاک به نقش این عامل کمتر توجه شده و در اغلب موارد کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاع با قدرت‌های تفکیک مختلف به دلخواه صورت گرفته است. Knijff *et al.* (2000) برای ارزیابی خطر فرسایش در اروپا اندازه سلول ۵۰ متر را برای رابطه Moore and Wilson (1992) به‌کار بردند. Wachal and Banks (2007) نقشه شیب مبتنی بر مدل رقومی ارتفاع را بر اساس قدرت تفکیک ۳۰ متر برای محاسبه عامل LS انتخاب کردند. Gitas *et al.* (2009) رابطه Moore and Wilson (1992) را با اندازه سلول ۱۰۰ متر در ارزیابی چندزمانه خطر فرسایش در یک حوضه آب‌خیز در کشور یونان به‌کار بردند. Mitasova *et al.* (1996)، با ایجاد مدل‌های رقومی ارتفاعی با ابعاد مختلف، ابعاد بهینه سلولی ۳۰ متر را به منظور محاسبه عامل LS معرفی کردند. Ayoubi *et al.* (2008)، با استفاده از تکنیک زمین‌آمار، مناسب‌ترین ابعاد سلول را برای رابطه Moore and Wilson (1992) برای منطقه تالش علیای استان گلستان عدد ۵۰ متر دانستند. Asadi *et al.* (2011) عامل LS را با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۹۰ متر استخراج کردند.

θ درجه شیب زمین و A_s معادل مساحت سلول‌هایی است که آب آن‌ها به داخل سلول مورد نظر جاری می‌شود. مقادیر A_s (سطح ویژه حوضه) از حاصل ضرب جریان تجمعی در اندازه ابعاد سلول با استفاده از رابطه ۲ قابل محاسبه است (Moore and Wilson, 1992).

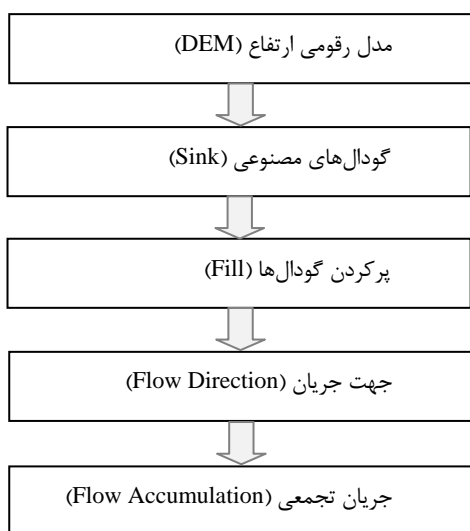
$$A_s = \text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size} \quad (\text{رابطه } 2)$$

به روش نزدیک‌ترین همسایه، با استفاده از مدل رقومی با قدرت تفکیک ۱۰ متر، تهیه شدند. سپس، با به‌کارگیری مدل Moore and Wilson (1992) مقدار عامل LS برای هر سلول در مدل‌های رقومی با قدرت تفکیک مختلف، با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^{0.4} \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (\text{رابطه } 1)$$



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه‌شده روی نقشه استان تهران



شکل ۲. مراحل تهیه نقشه جریان تجمعی برای محاسبه عامل LS

بنابراین، برای تهیه نقشه LS به روش Moore and Wilson به تهیه نقشه جریان تجمعی نیاز بود که از حاصل ضرب آن در اندازه سلول مدل رقومی ارتفاع مقادیر A_s محاسبه می‌شود. مراحل تهیه نقشه جریان تجمعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 به طور شماتیک در شکل ۲ می‌آید. گفتنی است برای به‌کارگیری صحیح مراحل محاسبه عامل LS به روش Moore and Wilson (1992) از بخش راهنمای نرم‌افزار ArcGIS 9.3 برای تهیه نقشه جریان تجمعی (Accumulation) استفاده شد.

به منظور انتخاب مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع، مقادیر LS به صورت نقشه‌های رستری محاسبه شد و سپس تحلیل‌های زمین‌آماری با استفاده از نیم‌تغییرنما، که تابعی ریاضی برای توصیف ساختار تغییرپذیری مکانی متغیرهاست، صورت گرفت.

به دست آورد. هر چه درجه وابستگی مکانی از ۰/۵ بیشتر باشد ساختار فضایی قوی تر است (Wang et al., 2001).

یافته‌ها و بحث

نتایج محاسبه عامل LS به روش Moore and Wilson (1992) در دو حالت رفع شدن و رفع نشدن گودال‌های مصنوعی، قبل از تهیه نقشه جریان تجمعی، در شکل ۳ می‌آید. در مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۳۰ و ۵۰ و ۱۰۰ متر به ترتیب در ۷۳/۵ و ۱/۰۶ و ۰/۶۷ درصد از سلول‌ها گودال‌های مصنوعی ایجاد شده است. اما با افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع به ۲۰۰ و ۴۰۰ متر تشکیل گودال‌های مصنوعی تقریباً به ۰ رسیده است. در اثر ایجاد گودال‌های مصنوعی، سلول نقش یک حوضه کوچک بسته را ایفا می‌کند و جریان آب نمی‌تواند از آن خارج شود. با تشکیل گودال‌های مصنوعی، به دلیل تشکیل ریزحوضه‌های کوچک، عامل LS محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی آن خواهد بود. البته در شرایط طبیعی نیز در صورت وجود محیط‌های آهکی و کارستی در ارتفاعات، که دمای پایین‌تری دارند، گودال‌هایی به علت حلالیت بالای سنگ آهک در آب ایجاد می‌شود (Rafahi, 2006). از این جهت باید به نتایج مطالعات زمین‌شناسی نیز در برآورد عامل LS به روش Moore and Wilson (1992) توجه کرد. بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی در ایران، مانند سازند آهک آسماری در نواحی زاگرس، سازند زیارت در البرز جنوبی، سازند آغچه‌گیل در البرز شمالی، و غیره دارای مقدار زیادی سنگ آهک‌اند (Darwishzadeh, 2006). بنابراین در برآورد عامل LS خصوصیات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه اهمیت دارد و نباید گودال‌های طبیعی تشکیل شده در اثر انحلال سنگ آهک به اشتباه گودال مصنوعی ایجاد شده در تهیه مدل رقومی ارتفاع تلقی و پر شود. نتایج محاسبه عامل LS از نقشه جهت جریان و نقشه جریان تجمعی در شکل ۳ می‌آید. عامل LS به دست آمده با استفاده از جهت جریان برای تهیه عامل LS مناسب نیست. شکل ۳ نشان می‌دهد اختلاف زیادی بین LS محاسبه شده از نقشه جریان تجمعی با LS حاصل از نقشه جهت جریان وجود دارد. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات (Asadi et al., 2011)، که عامل LS را بدون رفع گودال‌های مصنوعی تشکیل شده، و (Najafinejad et al., 2011)، که عامل LS را بدون رفع گودال‌های مصنوعی تشکیل شده و با استفاده از جهت جریان به دست آورده‌اند، متفاوت است.

قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین‌آماري، همسان‌گردی متغیر LS بررسی شد. تحلیل همسان‌گردی با استفاده از نیم‌تغییرنمای رویه انجام شد. به طور کلی برای مقایسه دو کمیت، که در این مطالعه مقادیر LS است، در دو نقطه به مختصات مختلف، بررسی اختلاف آن‌ها طبیعی‌ترین روش مقایسه است. بر این اساس برای همه موقعیت‌ها می‌توان دوم این اختلاف را تحت عنوان نیم‌تغییرنما به صورت رابطه ۳ محاسبه کرد.

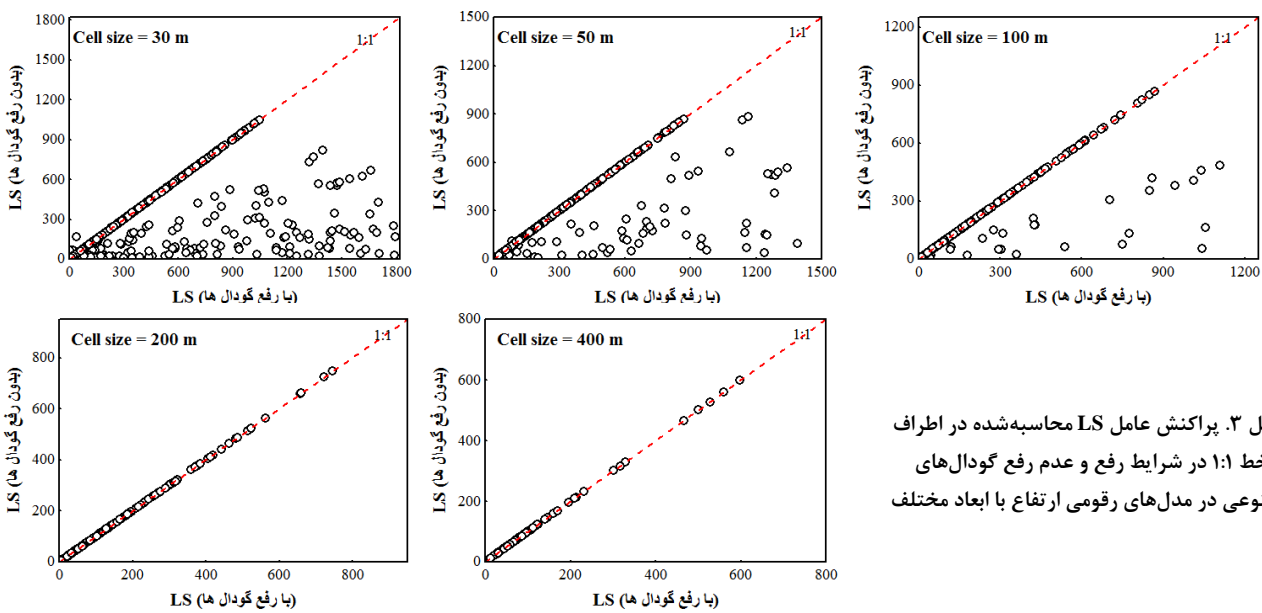
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$N(h)$ تعداد جفت‌های جدا شده در فاصله گام h ، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه X_i ، و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی X_i+h است (Mohammadi, 1385).

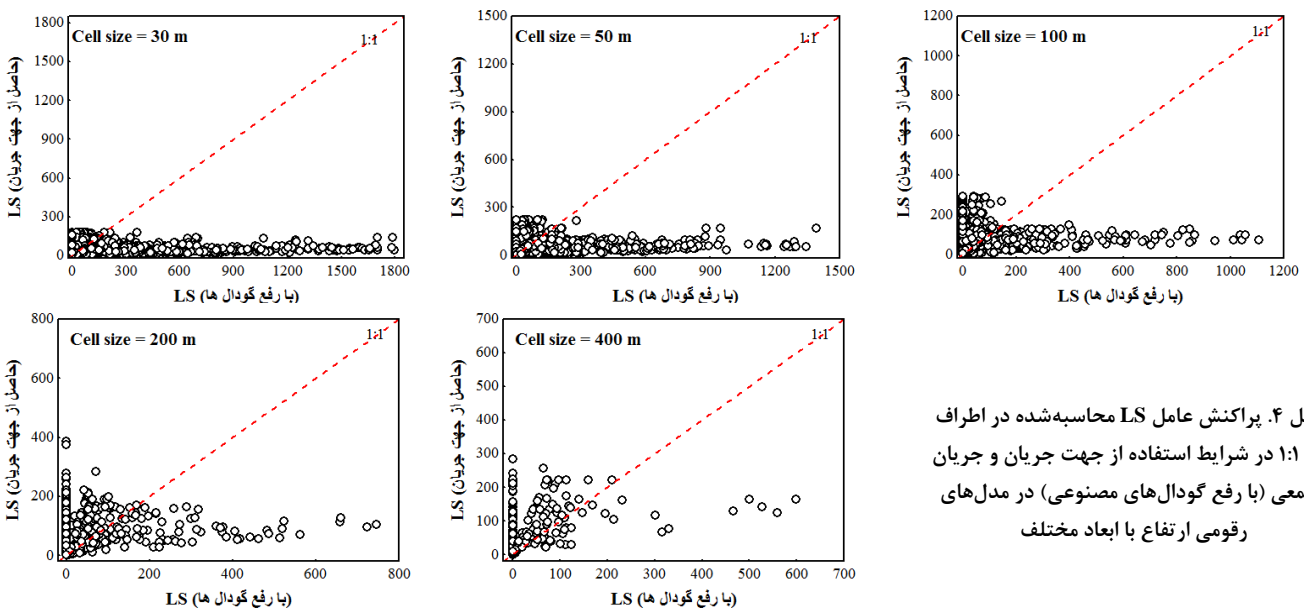
یک نیم‌تغییرنمای ایده‌آل سه پارامتر اثر قطعه‌ای، حد آستانه، و دامنه مؤثر را دارد. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مؤلفه غیر ساختاری (تصادفی) واریانس است، حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه می‌کند، و مقدار دامنه بیان‌کننده فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از هم به حساب آورد (Mohammadi, 1385). در مطالعه حاضر، به منظور برازش واریوگراف‌های تجربی LS، با توجه به برازش بهتر نسبت به سایر مدل‌ها، از مدل نظری نمایی به شکل رابطه ۴ استفاده شد.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{r}\right) \right] \quad (\text{رابطه ۴})$$

$\gamma(h)$ مقدار تغییرنما، C_0 اثر قطعه‌ای، C حد آستانه، h فاصله، و r مؤلفه دامنه است (Mohammadi, 2006). منظور از فواصل نمونه‌برداری در این تحقیق ابعاد سلول‌های مدل رقومی ارتفاع است. ابعاد سلول‌های مدل رقومی ارتفاع روی درجه و طول شیب و مساحت سلول‌ها مؤثر است. تغییر ابعاد سلول‌ها به دقت‌های متفاوت از نقشه LS منجر خواهد شد. جهت مطالعه واریوگرافی و زمین‌آماري از نرم‌افزار GS+ 5.1.1 استفاده شد. در نهایت، جهت انتخاب مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی مناسب در تهیه نقشه فاکتور LS از معیار وابستگی مکانی و ضریب تبیین نیم‌تغییرنما در حالتی که فاصله گام برابر اندازه ابعاد سلول‌ها باشد استفاده شد. شدت و درجه وابستگی مکانی یک متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس بخش ساختاری (حد آستانه منهای اثر قطعه‌ای) به واریانس کل



شکل ۳. پراکنش عامل LS محاسبه شده در اطراف خط ۱:۱ در شرایط رفع و عدم رفع گودال‌های مصنوعی در مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف

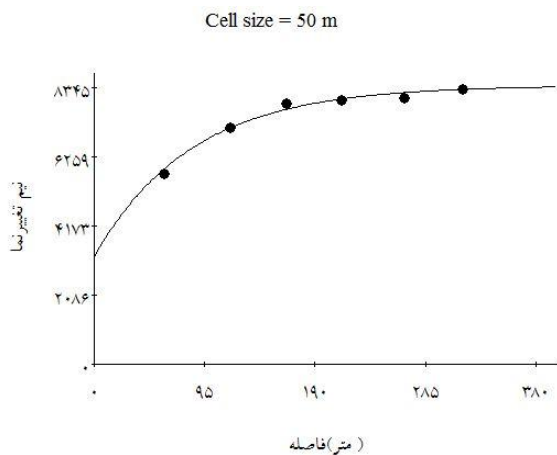


شکل ۴. پراکنش عامل LS محاسبه شده در اطراف خط ۱:۱ در شرایط استفاده از جهت جریان و جریان جمعی (با رفع گودال‌های مصنوعی) در مدل‌های رقومی ارتفاع با ابعاد مختلف

مختلف برابر ۰ و بیشترین مقدار این عامل (۱۷۹۵/۱) مربوط به مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۳۰ متر است. میانگین عامل LS در منطقه مطالعاتی با افزایش ابعاد سلول‌ها افزایش یافت. انحراف معیار با افزایش ابعاد سلول‌ها از ۳۰ به ۵۰ متر کاهش و سپس با بزرگ‌تر شدن ابعاد سلول‌ها افزایش یافت. بر اساس مقادیر محاسبه شده LS، برای هر یک از مدل‌های رقومی ارتفاع، آنالیزهای زمین‌آماري انجام شد. تحلیل نیم‌تغییرنا در جهات چهارگانه آزمون‌های ۰، ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ درجه برای هر یک از مدل‌های رقومی ارتفاع برای متغیر LS نشان داد که تغییرپذیری عامل LS در جهت‌های مختلف رفتاری مشابه دارد؛ مثلاً در شکل ۶ مدل‌های نیم‌تغییرنا برای

در این پژوهش، با رفع گودال‌های مصنوعی ایجاد شده و به‌کارگیری مراحل صحیح تهیه نقشه جریان جمعی از مدل رقومی ارتفاع، نقشه متغیر عامل LS با استفاده از مدل Moore and Wilson (1992) تهیه شد. در شکل ۵ نقشه‌ای که با استفاده از مراحل شرح داده شده و بر مبنای مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۵۰ متر به دست آمده قابل مشاهده است. خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی عامل LS به دست آمده از مدل‌های رقومی با ابعاد مختلف در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ می‌آید. بیشترین و کمترین تعداد پیکسل (به ترتیب ۵۹۰۷۳ و ۳۳۰ عدد) در این مطالعه به ترتیب مربوط به قدرت‌های تفکیک ۳۰ و ۴۰۰ متر بود. کمترین مقدار عامل LS در سلول‌های با ابعاد

نتایج آنالیزهای واریوگرافی روی داده‌های LS حاصل از مدل‌های رقومی ارتفاع در منطقه مورد مطالعه نشان داد مدل‌های رقومی ارتفاع، به جز مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۴۰۰ متر، را تبیین می‌کند (شکل ۷). مقادیر اثر قطعه‌ای از ۳۰ به ۵۰ متر جزئی کاهش یافت؛ اما حد آستانه نیم‌تغییرنما با بزرگ‌تر شدن ابعاد سلول مدل رقومی ارتفاع افزایش یافت (جدول ۲). همان‌گونه که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، یکی از نکات مهم در تغییرات مکانی متغیر LS در منطقه مورد مطالعه میزان وابستگی مکانی و ضریب تبیین (R^2) است. به این صورت که عامل LS محاسبه‌شده از مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۵۰ متر تا فاصله ۲۵۲ متر دارای بیشترین وابستگی مکانی (۰/۶۱۳) و ضریب تبیین (۰/۹۸۳) است. این وضعیت می‌تواند نشان‌دهنده غلبه بیشتر واریانس بخش ساختاری تغییرنما بر واریانس بخش تصادفی (واریانس اثر قطعه‌ای) آن باشد که خود می‌تواند دلیلی بر مناسب بودن ابعاد سلولی ۵۰ متر باشد.



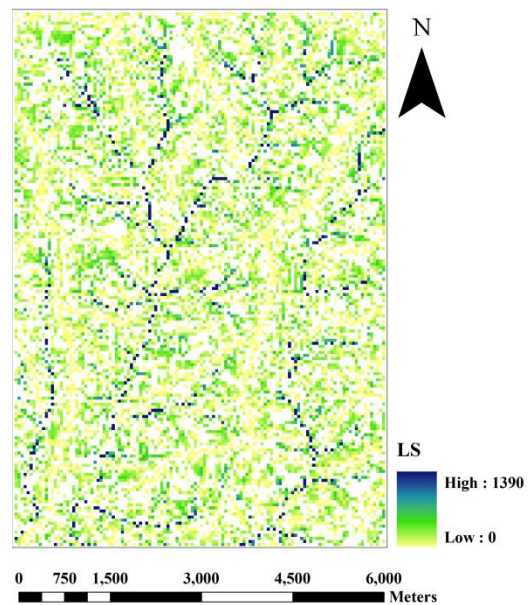
شکل ۷. تغییرنمای همه‌جهته عامل LS در منطقه مورد مطالعه

در زمینه مدل رقومی ارتفاع با ابعاد سلولی ۴۰۰ متر هیچ‌یک از مدل‌های واریوگرام نتوانست به طور مطلوب تغییرات مکانی LS را در ابعاد سلولی فوق تبیین کند. این واقعیت از ضریب تبیین بسیار پایین (۰/۱۰۸) ناشی از برازش این مدل بر داده‌ها مشهود است (جدول ۲). به نظر می‌رسد دلیل این موضوع از بین رفتن بسیاری از جزئیات توپوگرافی منطقه با افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع به ۴۰۰ متر باشد. از این رو، روشن است که اگر مدل واریوگرام نتواند تغییرات مکانی را به خوبی تبیین کند، نمی‌توان شاخص وابستگی مکانی (نسبت واریانس بخش ساختاری به واریانس حد آستانه) را معیاری برای تغییرات مکانی عامل LS در نظر گرفت. در این زمینه مطالعات Wang et

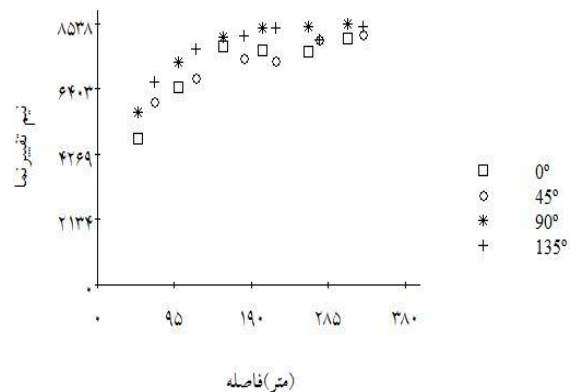
متغیر LS تهیه‌شده به وسیله مدل رقومی ۵۰ متر در منطقه مورد مطالعه در جهت چهارگانه مذکور می‌آید. نتایج تفسیر مؤید آن است که فاکتور LS در مناطق مورد مطالعه فاقد ناهمسان‌گردی است. بنابراین، در ادامه آنالیزهای زمین‌آماری از نیم‌تغییرنمای چندجهته استفاده شد.

جدول ۱. خلاصه پارامترهای آماری عامل LS در منطقه مورد مطالعه

ابعاد سلول (متر)	تعداد پیکسل	خصوصیات آماری عامل LS		
		کمینه	بیشینه	میانگین
۳۰	۵۹۰۷۳	۰/۰۰	۱۷۹۵/۱	۳۶/۰۳
۵۰	۲۱۳۵۰	۰/۰۰	۱۳۹۰/۶	۴۲/۲۰
۱۰۰	۵۳۰۷	۰/۰۰	۱۱۰۶/۸	۴۷/۶
۲۰۰	۱۳۳۱	۰/۰۰	۷۴۵/۸	۵۳/۹
۴۰۰	۳۳۰	۰/۰۰	۵۹۸/۲	۵۴/۰۵



شکل ۵. نقشه عامل LS برای منطقه مطالعاتی



شکل ۶. نیم‌تغییرنمای عامل LS در جهت چهارگانه در مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد سلولی ۵۰ متر

al. (2001) با استفاده از معیارهای آنتروپی نیز نشان می‌دهد که افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع منجر به ازدست‌رفتن بخشی از اطلاعات توپوگرافی می‌شود. Wang et al. (2001) و

al. (2001) با استفاده از معیارهای آنتروپی نیز نشان می‌دهد که افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع منجر به ازدست‌رفتن بخشی از اطلاعات توپوگرافی می‌شود. Wang et al. (2001) و

جدول ۲. پارامترهای مدل نیم‌تغییرنما برای متغیر LS در ابعاد مختلف DEM

ضریب تبیین (R ²)	وابستگی مکانی*	حد آستانه	اثر قطعه‌ای	دامنه (متر)	مدل	ابعاد DEM (متر)
۰٫۸۵۸	۰٫۵۳۵	۷۶۰۱	۳۵۳۰	۲۱۱٫۰	نمایی	۳۰
۰٫۹۸۳	۰٫۶۱۳	۸۴۰۱	۳۲۵۰	۲۵۲٫۰	نمایی	۵۰
۰٫۸۵۵	۰٫۵۰	۱۴۰۵۰	۷۰۲۰	۲۴۲۴	نمایی	۱۰۰
۰٫۸۴۲	۰٫۵۰۰	۱۶۳۷۰	۸۱۸۰	۱۰۶۹۵	نمایی	۲۰۰
۰٫۱۰۰۸	۰٫۵۰۰	۹۸۷۷	۸۱۹۰	۲۴۳۳۰	نمایی	۴۰۰

* نسبت واریانس بخش ساختاری به واریانس حد آستانه [(Sill-Nugget)/Sill]

عامل LS در جهت‌های مختلف دارای رفتاری مشابه است. بررسی تغییرپذیری عامل LS در منطقه مورد مطالعه بر اساس تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما نشان‌دهنده این واقعیت است که بیشترین وابستگی مکانی و ضریب تبیین با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به ابعاد سلولی ۵۰ متر حاصل می‌شود. بنابراین، در این منطقه ابعاد سلولی ۵۰ متر را می‌توان مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع پیشنهاد کرد. بر اساس نتایج این تحقیق، به منظور افزایش دقت و کارایی در مطالعات برآورد فرسایش خاک به روش RUSLE انتخاب مناسب‌ترین ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع در تهیه نقشه LS منطقه ضروری است و نتایج را می‌تواند به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد میزان گودال‌های مصنوعی تشکیل شده با کاهش ابعاد سلولی مدل‌های رقومی ارتفاع افزایش می‌یابد. اما با افزایش ابعاد سلولی مدل رقومی ارتفاع به بیش از ۲۰۰ متر تشکیل گودال‌های مصنوعی تقریباً به ۰ می‌رسد. با تشکیل گودال‌های مصنوعی سلول نقش یک حوضه کوچک بسته را ایفا می‌کند و عامل LS محاسبه شده کمتر از مقدار واقعی آن می‌شود. از طرفی افزایش ابعاد مدل رقومی ارتفاع، که سبب کاهش گودال‌های مصنوعی می‌شود، باعث می‌شود اثر پستی و بلندی‌های واقعی زمین در مقدار LS حذف شود. همچنین، با آنالیز نیم‌تغییرنما در منطقه مطالعاتی مشخص شد تغییرپذیری

REFERENCES

- Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K. C., and Schulin, R. (2005). Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of central Iran. *Science of the Total Environment*, 347, 64-77.
- 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*, 13. (In Farsi)
- Ayoubi, S. h., Khormali, F., and Shataee, S. h. (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 Farsi)
- 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*, 12.
- Curran, P. J. and Dungan J. L. (1989). Estimation of single- to- noise: A new procedure applied to AVIRIS data. *IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing*, 27, 620-628.
- Darwishzadeh, A. (2006). *Geology of Iran*. Amir Kabir press institute.
- 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.
- Eguen, M., Aguilar, C., Herrero, J., Millares, A., and Polo, M. J. (2012). On the influence of cell size in physically-based distributed hydrological modelling to assess extreme values in water resource planning. *Natural Hazards Earth System Sciences.*, 12, 1573-1582.

- 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.
- Kinnell, P. I. A. (1997) The miscalculation of the USLE topographic factors in GIS. *Australia, University of Canberra*, 4.
- Kinnell, P. I. A. (2010). Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. *Journal of Hydrology*, 385, 384–397.
- Knijff, J. M., Jones, R. J. A., and Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in European. *Space Applications Institute*, 38.
- Lal, R. and Elliot, W. (1994). Erodibility and erosivity, In Lal, R. (ed.), *Soil erosion research methods, Soil and Water Conservation Society, Ankeny*, 181-208.
- Millward, A. A. and Mersey, J. E. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38, 109–129.
- Mitasova, H., Hoferka, J., Zlocha, M., and Iverson L. R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Journal of Geographical Information Science*, 10, 629-641.
- Mohammadi, j. (1385). *Pedometrics 2 (Spatial Statistics)*. Pelk press.
- Moore, I. D. and Wilson J. P. (1992). Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation. Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation*, 47, 423- 428.
- Najafinejad, A., Mardian, M., Varvani, J., and Sheikh, V. B. (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(1), 99-114. (in Farsi)
- Rafahi, H. Gh. (2006). *Water erosion and conservation*. University of Tehran Press.
- Renard, K. G., Foster, C. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., and Yoder, D. C. (1997). Predicting Soil erosion by water. *A guide to conservation planning with the Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Government Printing Office*. Washington D.C. pp: 1-404.
- Sharma, A., Tiwari, K. N., and Bhadoria, P. B. S. (2011). Determining the optimum cell size of digital elevation model for hydrologic application. *Journal of Earth System Sciences.*, 120(4), 573–582.
- Tian, Y. C., Zhou, Y. M., Wu, B. F., and Zhou, W. F. (2009). Risk assessment of water soil erosion in upper basin of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environmental Geology*, 57, 937–942.
- Truman, C. C., Wauchope, R. D., Sumner, H. R., Davis, J. G., Gasch, G. J., Hook, J. E., Chandler, L. D., and Johnson, A. W. (2001). Slope length effects on runoff and sediment delivery. *Journal of Soil Water Conservation*, 56(3), 249-256.
- Vrieling, A., Sterk., G., and Beaulieu, N. (2002). Erosion risk mapping: a methodological case study in the Colombian eastern plains. *Journal of Soil and water conserve*, 57, 158–163.
- 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.
- Wang, G., Gartner, G. Z., Parysow, P., and Anderson, A. B. (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.
- Wang, G., Gertner, G., Fang, S., and Anderson, A. B. (2003). Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 889–898.
- Wischmeier, W. H. and Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *A guide to conservation planning. USDA. Agr. Res. Ser. Handbook 537*.