Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 14, No.28, Winter 2023 p: 1-13

"Research Paper"

Effects of Different Methods for Calculation of Topographic Factor on Precision of Storm-Wise Soil Loss Estimation

Azadeh Katebikord[1], Seyed Hamidreza Sadeghi[2] and Vijay P. Singh[3]

1- Ph.D., Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2- Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, (Corresponding Author: sadeghi@modares.ac.ir)
3- Professor, Department of Biological and Agricultural Engineering & Zachry Department of Civil & Environmental Engineering, Texas A&M University, College Station, USA, and Adjunct Professor at Tarbiat Modares University
Received: 24 January, 2022 Accepted: 16 February, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Soil erosion reduces soil fertility, weakens vegetation, deposits sediments, deforms and fills rivers due to floods, and reduces water quality. Therefore, the precision of soil erosion estimation is essential for proper watershed management. Among all-soil erosion prediction models proposed for storm-scale, one of the most widely used is the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Due to the importance of the LS factor in small watersheds with complex topography on the final estimation of the RUSLE model, in this current research, the soil erosion results were obtained from four different LS factor methods were investigated.

Material and Methods: Soil erosion obtained by the RUSLE model and four methods of LS factor calculation including the Moore et al. (1991), Desmet and Govers (1996), Boehner and Selige (2006), and manual method; for 38 storm events recorded during 2011 to 2019 for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran.

Results: The results showed that the mean of the topographic factor for Moore et al. (1991), Desmet and Govers (1996), Boehner and Selige (2006), and manual methods were 9.91, 5.26, 13.29, and 6.54, respectively. Comparison analysis of the methods used by the manual method showed that the ratio of the estimated mean values varied from 0.80 to 2.03. Comparing the mean of LS maps with the manual method as the basic method and calculating error estimation found that Desmet and Govers' (1996) method was more successful in the LS factor estimation, resulting in better estimation of soil erosion for the study storm events. Despite the difference in soil erosion values, almost the same spatial pattern was observed in all methods.

Conclusion: Analysis of the results obtained from different LS factor methods in the Galazchai Watershed verified the significant effect of the studied methods on the estimated soil erosion. Therefore, soil erosion studies need to select an appropriate method to achieve precise soil erosion to prevent errors and minimize uncertainties. Incorrect estimation of soil erosion leads to erroneous management of watersheds and loss of money and energy. The present study is new in term of comparative evaluation of one of the sensetive factors in USLE and its different versions on the estimated storm-wise soil loss at the watershed scale. It is also innovative in viewpoint of focusing on the necessity of selection of appropriate computational methods for the local managers and experts. Extensive studies are recommended to investigate other methods of calculating LS, and even other RUSLE factors at different scales are recommended for a better conclusion.

Keywords: Galazchai watershed, Plan and profile curvature, RUSLE model, Soil erosion, Topographic factor

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

OPEN ACCESS
CC BY NC

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

"مقاله پژوهشی"

تأثیر روش‌های مختلف محاسبه عامل توپوگرافی بر صحت برآورد هدررفت خاک در مقیاس رگبار

آزاده کاتبی‌کرد[۱]، سیدحمیدرضا صادقی[۲] و ویجی پی‌سینگ[۳]

۱- دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: sadeghi@modares.ac.ir)
۳- استاد، گروه مهندسی زیستی و کشاورزی، دانشگاه تگزاس A&M، تگزاس، ایالات متحده امریکا و استاد وابسته دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷
صفحه: ۱ تا ۱۳

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: فرسایش خاک موجب کاهش حاصل‌خیزی زمین، تضعیف پوشش گیاهی، رسوبگذاری، تغییر شکل و پر شدن آبراهه‌ها به‌دلیل تجمع بیش از حد ناشی از سیل و کاهش کیفیت آب می‌شود. لذا تخمین صحیح فرسایش خاک در مدیریت آبخیزها بسیار ضروری است. در میان مدل‌هایی که برای پیش‌بینی فرسایش در مقیاس رگبار پیشنهاد شده است، یکی از پرکاربردترین آن‌ها، نسخه اصلاح شده رابطه جهانی فرسایش خاک (RUSLE) است. به‌دلیل اهمیت عامل LS در آبخیزهای کوچک و با توپوگرافی پیچیده بر نتایج مدل RUSLE، در این نوشتار فرسایش خاک حاصل از کاربرد چهار روش مختلف محاسبه عامل توپوگرافی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و چهار روش محاسبه عامل LS شامل Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006) و روش دستی برای ۳۸ رگبار ثبت شده طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸، در حوزه آبخیز گلازچای واقع در استان آذربایجان غربی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار متوسط عامل توپوگرافی برای روش‌های Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006) و روش دستی به‌ترتیب ۹/۹۱، ۵/۲۶، ۱۳/۲۹ و ۶/۵۴ بوده‌است. تحلیل مقایسه نتایج روش‌های مورد استفاده با شیوه دستی نشان می‌دهد که نسبت متوسط مقادیر برآوردی از ۰/۸۰ تا ۲/۰۳ متغیر بوده است. با مقایسه مقدار متوسط نقشه‌های LS با روش دستی به‌عنوان روش مبنا و محاسبه میزان خطا مشخص شد که روش Desmet and Govers (1996) با حداقل اختلاف، در تخمین عامل توپوگرافی و نهایتاً مقدار متوسط فرسایش خاک حاصل از رگبارهای مطالعاتی موفق‌تر بوده است. در این پژوهش علی‌رغم وجود اختلاف در مقادیر فرسایش خاک، الگوی مکانی تقریباً یکسانی در همه روش‌ها مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: تحلیل نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد عامل توپوگرافی برای حوزه آبخیز گلازچای اشنویه دلالت بر تأثیر قابل توجه روش‌های مورد بررسی در مقدار فرسایش خاک برآوردی و ضرورت انتخاب روش مناسب محاسباتی برای دست‌یابی به مقادیر صحیح فرسایش خاک برای جلوگیری از خطا و کمینه‌سازی عدم قطعیت‌ها دارد. برآورد نادرست فرسایش خاک موجب مدیریت ناصحیح حوزه‌های آبخیز و هدررفت هزینه و انرژی می‌شود. پژوهش حاضر از لحاظ ارزیابی مقایسه‌ای اثر روش‌های محاسباتی مختلف یکی از عامل‌های حساس رابطه جهانی فرسایش خاک و نسخه‌های مختلف آن بر میزان هدررفت خاک برآوردی در مقیاس رگبار و حوزه آبخیز جدید و از حیث معطوف‌سازی توجه کارشناسان اجرایی و برنامه‌ریزان محلی در ضرورت انتخاب روش محاسباتی مناسب نوآوری دارد. اگرچه انجام مطالعات گسترده‌تر برای بررسی سایر روش‌های محاسبه LS و حتی دیگر عوامل RUSLE، در مقیاس‌های مکانی مختلف به‌منظور مقایسه دقیق‌تر مقدار فرسایش خاک و ارائه جمع‌بندی‌های جامع پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز گلازچای، شکل و نیم‌رخ دامنه، عامل پستی و بلندی، فرسایش خاک، مدل RUSLE

مقدمه

تأثیرات اقتصادی و محیط‌زیستی فرسایش، تخریب و کاهش کیفیت خاک یک مشکل جهانی است (Lin and wang, 2006). اقلیم، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عوامل انسانی بر مقدار و چگونگی فرسایش خاک مؤثر است (Gelagay and Minale, 2016; Yang et al., 2022). بر همین اساس مدیریت فرسایش خاک نیازمند بررسی و شناخت دقیق فرآیند و عوامل مؤثر و هم‌چنین کاربست صحیح مدل‌های ارزیابی آن است. بسیاری از مدل‌های رایانه‌ای برای برآورد فرسایش خاک و ایجاد برنامه‌های مدیریت فرسایش خاک تولید و استفاده شده‌اند. یکی از پرکاربردترین مدل‌ها برای مطالعه فرسایش خاک، رابطه جهانی فرسایش خاک[۱] و نسخ مختلف آن از جمله نسخه اصلاح شده رابطه جهانی فرسایش خاک[۲] است. این رابطه با استفاده از شش عامل فرسایندگی[۳] (R)، فرسایش‌پذیری[۴](K)، طول و تندی شیب[۵](توپوگرافی) (LS)، مدیریت زراعی[۶](C) و مدیریت اراضی[۷](P)، میزان فرسایش خاک را در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی برآورد می‌کند (Wischmeier and Smith, 1978; Chakroun et al., 1993; Renard et al., 1997). جزئیات و چگونگی محاسبه هریک از عوامل رابطه مذکور صحت و دقت برآوردهای آن‌را تحت شعاع قرار می‌دهد (Phinzi and Ngetar, 2019). از بین عوامل رابطه RUSLE، عامل توپوگرافی به‌دلیل مبهم و مشکل بودن نحوه محاسبه آن خصوصاً در آبخیزهای کوچک دارای اهمیت خاصی است (Blanco and Nadaoka, 2006; Covelli et al., 2020; Lu et al., 2020). استفاده از رویه محاسبه LS پیشنهادی این مدل که برای مناطق همگن و یکنواخت از نظر توپوگرافی توسعه یافته است، در مناطق با توپوگرافی پیچیده موجب خطای زیاد در محاسبه فرسایش خاک شده و نتایج را غیرقابل اعتماد می‌کند (Young and Mutchler, 1969; Phinzi and Ngetar, 2019). اندازه‌گیری طول شیب در آبخیزها و یا دامنه‌های مورد مطالعه اگرچه دقیق‌ترین روش محاسبه آن است اما این روش در مناطق با وسعت زیاد امکان‌پذیر نیست. از این‌رو روش‌های مختلف برآورد طول شیب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی[۸] مورد توجه قرار گرفته است (Moore and Wilson, 1992; Merritt et al., 2003;

1- Universal Soil Loss Equation, USLE
2- Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE
3- Rainfall Erosivity Factor, R
4- Soil Erodibility Factor, K
5- Slope Length and Steepness Factor, LS
6- Cover Management Factor, C
7- Conservation Practice Factor, P
8- Geographical Information System, GIS

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

Rodriguez and Uarez, 2010). برآورد صحیح عامل LS و در نهایت کاربست صحیح مدل RUSLE، بر دقت و صحت انجام محاسبات و استفاده از مدل رقومی ارتفاع مناسب و اندازه سلول بهینه (Phinzi and Ngetar, 2019)، منابع داده و پیچیدگی زمین بستگی دارد (Gertner et al., 2002; Liu et al., 2011; Oliveira et al., 2013; Tomas et al., 2015; Shan et al., 2019). همچنین، Liu et al. (2009) اشاره کردند که خطای محاسباتی برای مناطق پرشیب‌تر، بیش‌تر و برای مناطق کم‌شیب، کم‌تر است بنابراین پیچیدگی زمین به‌طور قابل‌توجهی بر دقت عوامل توپوگرافی تأثیر می‌گذارد (Gao, 1997; Wang et al., 2012).

پژوهش‌های مختلفی در سراسر جهان در رابطه با عوامل رابطه RUSLE و از جمله عامل LS و همچنین فرسایش خاک حاصل از آن‌ها انجام شده است. وانگ و همکاران در مطالعه خود با هدف بررسی توزیع مکانی عامل LS با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به این نتیجه رسیدند که معادلات فیزیکی مبتنی بر DEM در مقایسه با مدل‌های تجربی شبیه‌سازی مکانی، همبستگی بیش‌تری با ویژگی‌های توپوگرافی منطقه دارند (Wang et al, 2009). Lui et al. (2009) در پژوهشی چگونگی برآورد عامل S با استفاده از هشت الگوریتم و نقشه‌های DEM یک، پنج، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ متر را در شمال آلمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که هرچه زمین پیچیده‌تر باشد، دقت عامل شیب کم‌تر خواهد بود. در بین همه عوامل تأثیرگذار بر عامل S، مهم‌ترین عامل وضوح افقی است. هم‌چنین ایشان تأکید کردند که انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم، بهترین راه برای کاهش خطاهای محاسبه عامل S برای اجرای بهتر مدل USLE است. ژانگ و همکاران در پژوهش خود با هدف ارائه یک مدل بهبودیافته برای محاسبه LS، روش‌های محاسباتی مسیر جریان (MFD) استفاده شده در روش سطح واحد مشارکت‌کننده (UCA) را با روش محاسباتی LS-Tool ترکیب کردند. نتایج نشان داد که روش جدید ارائه شده نسبت به روش‌های MFD و LS-Tool تطابق بیش‌تری با داده‌های صحرایی جمع‌آوری شده داشتند (Zhang et al., 2017). هرابالیکوا و یانچک عامل LS را در مدل RUSLE با استفاده از GIS و نیز SAGA در سطح کرت‌های آزمایشی به‌طول ۱۱ متر واقع در نزدیکی پراگ در جمهوری چک، طی ۳۸ رگبار شبیه‌سازی شده و در ۱۵ سال بررسی کردند. ایشان هفت روش محاسباتی LS را مدنظر قرار دادند که پنج روش مبتنی بر GIS و دو روش دستی بود. نتایج نشان داد که هدررفت حاصل از روش‌های محاسباتی LS مبتنی بر GIS کم‌تر و در روش‌های دستی بیش‌تر از مقدار متوسط سالانه بوده و با اختلاف شش درصد از هدررفت خاک اندازه‌گیری شده، بهترین روش برآورد هدررفت خاک بوده است (Hrabalíková and Janeček, 2017). هم‌چنین، پژوهش‌گران دیگری از جمله ژانگ و همکاران، پاناگوس و همکاران و وانگ و همکاران به ارائه روش‌های متفاوت برای محاسبه عامل LS و تهیه نقشه تغییرات مکانی آن پرداختند (Zhang et al., 2013؛ Panagos et al., 2015؛ Wang et al., 2018). در سال‌های اخیر نیز پژوهش‌هایی انجام شده که در ادامه تشریح شده است.

کوولی و همکاران به بررسی بهبود عملکرد مدل RUSLE در حوزه آبخیز Camastra در جنوب ایتالیا پرداختند. ایشان با درنظر گرفتن برهم‌کنش متقابل ذرات رسوب، از نظر مسیر و تلاقی آبراهه‌ها، عامل LS را اصلاح کردند. با استفاده از مدل توزیعی طراحی‌شده توانستند نقشه فرسایش‌پذیری خاک را به‌دست بیاورند که آسیب‌پذیرترین مناطق را می‌توان از آن استخراج کرد (Covelli et al., 2020). لو و همکاران در پژوهشی عامل LS را برای پنج حوضه با ویژگی‌های فیزیکی مختلف در چین محاسبه کردند. بدین‌صورت که از مدل‌های رقومی ارتفاع با دقت‌های مختلف شامل ۵، ۲۵، ۳۰ و ۹۰ متر حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و STRM برای عامل توپوگرافی استفاده کردند. نتایج نشان داد که در هر پنج آبخیز مورد مطالعه، دقت محاسباتی عامل LS با اندازه‌های شبکه بزرگ‌تر، کاهش یافته است و بهترین نتیجه مربوط به مدل رقومی ارتفاع پنج متر است. ایشان خاطر نشان کردند با لحاظ این نکته که در همه مناطق DEM با این دقت موجود نیست لذا مطالعات بیش‌تر در مورد طیف وسیعی از ویژگی‌های آبخیز و مقیاس‌های مکانی برای تأیید اثربخشی منابع داده توپوگرافی مختلف در محاسبه عامل LS مورد نیاز است (Lu et al., 2020). داس و همکاران به بررسی روش‌های مختلف محاسبه LS در یکی از زیرآبخیزهای حوزه آبخیز رودخانه Juri در هند پرداختند. ایشان از دو روش Moore and Burch (1986) و Wischmeier and Smith (1978) برای محاسبه LS استفاده کردند. نتایج نشان داد که تخمین حاصل از روش Wischmeier and Smith (1978) از روش دیگر بهتر بوده است زیرا روش Moore and Burch (1986) مقادیر حداکثر LS را در آبراهه‌ها نشان داده است. ایشان عامل توپوگرافی را مهم‌تر از سایر عوامل در مدل RUSLE بیان کردند (Das et al., 2021).

در ایران نیز محمدی و همکاران در حوزه آبخیز تالار، مقدار و توزیع مکانی فرسایش خاک را با استفاده از رابطه RUSLE مورد بررسی قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که عامل LS بیش‌ترین همبستگی (۰/۹۳) را با هدررفت خاک داشته است (Mohammadi et al., 2016). در پژوهش مشابهی بابایی و همکاران در حوزه آبخیز کن سولقان به برآورد فرسایش خاک با روش RUSLE پرداختند و نتایج ایشان نیز نشان داد که عامل LS با ضریب همبستگی ۰/۶۳ بیش‌ترین تأثیر را در برآورد سالانه هدررفت خاک داشته است (Babaei et al., 2016). کاتبی کورد و همکاران در بررسی روش‌های محاسباتی مختلف در برآورد عامل توپوگرافی به این نتیجه رسیدند که مقدار متوسط عامل توپوگرافی محاسبه شده از سه روش Desmet and Govers (1996)، Moore et al. (1991) و Boehner and Selige (2006) متفاوت بوده که این تفاوت ناشی از اختلاف در شیوه محاسبه و لحاظ شکل دامنه، نوع جریان و نیز لحاظ مناطق حریم در شبکه زه‌کشی است (Katebikord et al., 2019). عزیزیان و کوهی در مطالعه خود به بررسی اثر هشت روش محاسباتی محاسبه عامل توپوگرافی بر میزان رسوب خروجی در حوزه آبخیز باراجین واقع در استان قزوین پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

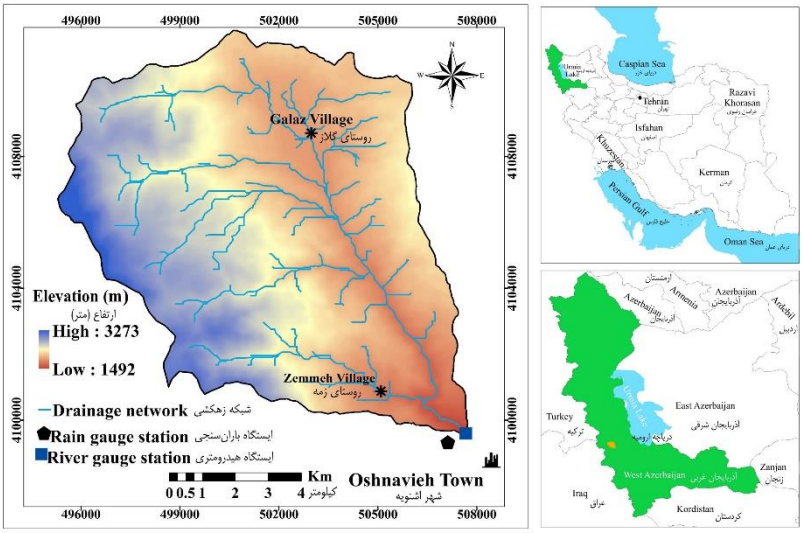
رابطه‌های مختلف برای برآورد عامل توپوگرافی، خطایی در حدود دو تا بیش از ۴۰۰ درصد داشته و از میان رابطه‌های استفاده شده، McCool et al. (1989) و Moore and Burch (1986) برای محاسبه این عامل در این آبخیز پرشیب مناسب بوده است (Azizian and Kohi., 2019).

با توجه به بررسی مستندات، ارزیابی مقایسه‌ای اثر روش‌های محاسباتی مختلف عامل توپوگرافی در نسخه اصلاح شده رابطه جهانی فرسایش خاک در پژوهش حاضر جدید است. از طرفی تحلیل ضرورت توجه به آن توسط کارشناسان اجرایی و برنامه‌ریزان محلی در انتخاب روش محاسباتی مناسب عامل‌های رابطه‌های برآورد فرسایش خاک از نوآوری‌های آن محسوب می‌شود. در نوشتار پیش‌رو عامل LS با استفاده از چهار روش در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه واقع در استان آذربایجان غربی محاسبه و تفاوت مقادیر مختلف عامل توپوگرافی و طبعاً اختلاف نسبی در برآوردها نشان داده شده است. هم‌چنین نتایج فرسایش خاک حاصل از اعمال هرکدام از روش‌ها در محاسبه عامل توپوگرافی مورد بررسی قرار گرفته است. برای صحت‌سنجی نتایج حاصل، از روش محاسبه دستی عامل LS با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه به‌منظور انتخاب بهترین روش محاسباتی در آبخیز گلازچای استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز گلازچای، به‌دلیل وجود اطلاعات پایه مناسب حاصل از پژوهش‌های پیشین (Sadeghi et al., 2015a; Sadeghi et al., 2015b; Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2021) صورت گرفت. این آبخیز یکی از زیرآبخیزهای رودخانه گدار استان آذربایجان غربی در محدوده جغرافیایی ′۵۷ °۴۴ تا ′۰۵ °۴۵ طول شرقی و ′۰۲ °۳۷ تا ′۰۹ °۳۷ عرض شمالی واقع در بالادست شهر اشنویه است. مساحت حوزه آبخیز گلازچای ۱۰۳ کیلومترمربع و شیب متوسط آن ۳۲ درصد، حداقل، حداکثر و متوسط ارتفاع به‌ترتیب ۱۴۹۲، ۳۲۷۳ و ۲۳۹۰ متر از سطح دریا است. طول رودخانه اصلی ۱۹/۳ کیلومتر محاسبه شده است. بارندگی سالانه حوزه آبخیز گلازچای ۴۸۲ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. دبی متوسط سالانه رودخانه گلازچای برابر ۱/۶۴ مترمکعب بر ثانیه، فصل بهار پرآب‌ترین فصل سال و بیش‌ترین تغییرات جریان در ماه‌های مهر و آبان اتفاق افتاده است (Sadeghi et al., 2018; Sadeghi et al., 2021). بیش‌ترین درصد مساحت اراضی را مراتع (۸۷ درصد) تشکیل می‌دهد و اراضی کشاورزی و جنگل به‌ترتیب ۱۱ و پنج درصد از مساحت حوزه آبخیز گلازچای را شامل می‌شوند. بر اساس مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری از سطح حوزه آبخیز بافت غالب خاک منطقه شنی–رسی–لوم و عمق خاک کم تا متوسط است. شیب زیاد و حالت صخره‌ای علاوه بر ارتفاعات زیاد در ارتفاعات متوسط منطقه نیز وجود دارد. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز گلازچای را نشان می‌دهد.



شکل ۱– موقعیت حوزه آبخیز گلازچای اشنویه در استان آذربایجان غربی و ایران

Figure 1. Location of the Galazchai Watershed in West Azerbaijan Province, Iran

روش پژوهش

در پژوهش حاضر به‌منظور رسیدن به اهداف پژوهش از رابطه RUSLE برای محاسبه فرسایش در مقیاس رگبار، از ۳۸ واقعه رگباری که بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۸ اتفاق افتاده‌اند، استفاده شد. نقشه فرسایش خاک در حوزه آبخیز گلازچای مطابق رابطه (۱) و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.1 محاسبه شد.

$$A = RKLSCP \qquad (۱)$$

معادله فوق شامل پنج عامل فرسایندگی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک، عامل توپوگرافی، عامل مدیریت زراعی و عامل مدیریت اراضی است. در ادامه به نحوه محاسبه هر یک از عوامل پرداخته شده است.

– عامل فرسایندگی باران

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

در پژوهش حاضر برای محاسبه عامل فرسایندگی باران از روش Roose (Roose, 1997) به‌دلیل مناسب بودن این رابطه برای منطقه مورد مطالعه (Sadeghi and Tavangar, 2015) به‌شرح زیر استفاده شد.

$$RR=0.5+0.05P \quad (۲)$$

در رابطه فوق RR عامل فرسایندگی باران به مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت و P مقدار بارندگی به میلی‌متر است.

- عامل فرسایش‌پذیری خاک

در پژوهش حاضر برای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک از نموگراف Wischmeier و Smith در مقیاس امریکایی استفاده شد. برای دست‌یابی به داده‌ها و اطلاعات مربوط به بافت و ماده آلی خاک، نمونه‌برداری خاک در سطح حوزه آبخیز انجام شد. به‌منظور مدیریت هزینه و زمان و دست‌یابی به پراکنش مناسب، با توجه به کاربری‌های مختلف اراضی و شیب، نقاط نمونه‌برداری به‌روش نظام‌مند-تصادفی تعیین و درنهایت پس از مراجعه حضوری به منطقه و با توجه به پرشیب و صعب‌العبور بودن آبخیز مطالعاتی، ۸۸ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک سطحی آبخیز گلازچای برداشت و به آزمایشگاه خاک و آب دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. پس از خشک‌کردن نمونه‌های خاک در معرض هوای آزاد و عبور آن‌ها از الک دو میلی‌متر، بافت خاک به‌روش هیدرومتری و ماده آلی به‌روش Walkley Black (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شدند. سپس مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به نموگراف Wischmeier و Smith به‌دست آمد. در نهایت نقشه فرسایش‌پذیری حوزه آبخیز گلازچای با استفاده از روش Kriging تهیه شد.

- عامل توپوگرافی

همان‌طور که گفته شد بهترین روش محاسبه طول شیب اندازه‌گیری‌های صحرایی است (Hrabalíková and Janeček, 2017). اما در مقیاس حوزه آبخیز یا دامنه‌های مطالعاتی به‌دلیل صرف هزینه و زمان زیاد این امر ممکن نیست. هم‌چنین معادله جهانی هدررفت خاک در اراضی همگن و یکنواخت توسعه یافته است لذا استفاده از روابط آن برای محاسبه عامل توپوگرافی در آبخیزهای با توپوگرافی ناهمگن و پیچیده موجب خطا در برآورد فرسایش خاک خواهد شد. بنابراین در این پژوهش از چهار روش برای محاسبه عامل توپوگرافی استفاده شد. در ادامه به تشریح هر کدام از روش‌ها پرداخته شده است.

اولین رابطه استفاده شده در پژوهش حاضر توسط Moore et al. (1991) (LS_M) که بر مبنای تئوری توان جریان واحد ارائه شده بود، به‌شرح مندرج در رابطه (۳) ارائه شده است؛

$$LS_M=\left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{m}\left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{n} \quad (۳)$$

که در آن A_s سطح ویژه (m^2)، θ رادیان شیب، توان m بین ۰/۴ تا ۰/۵۶ و توان n بین ۱/۲ تا ۱/۳ متغیر است. در این رابطه بخش اول مربوط به محاسبه طول شیب است و در محلی که رسوب‌گذاری آغاز می‌شود m برابر صفر در نظر گرفته خواهد شد و بنابراین بخش اول رابطه برابر یک و اثر عامل طول شیب حذف می‌شود. لازم به ذکر است که این محاسبات با استفاده از روش محاسباتی موجود در نرم‌افزار سامانه تجزیه و تحلیل خودکار علوم زمین[1] انجام شد و هم‌چنین ضرایب m و n با توجه به روش محاسباتی و لایه‌های شیب و سطح مشارکت کننده محاسبه می‌شود.

دومین روش مورد استفاده (رابطه ۴)، توسط Desmet and Govers (1996) برای محاسبه عامل توپوگرافی در رابطه RUSLE و با استفاده از مفهوم سطح ویژه مشارکت‌کننده ارائه و با LS_D نشان داده شده است؛

$$LS_D=\frac{(A_{ij\text{-}in}+D^2)^{m+1}-A_{ij\text{-}in}^{m+1}}{D^{m+2}\times x_{ij}^{m}\times 22.13^{m}}\times S \quad (۴)$$

که در آن A_{ij} سطح مشارکت‌کننده (m^2)، D اندازه بعد هر سلول شبکه (m) و $x_{ij}=\sin a_{ij}+\cos a_{ij}$ است. a_{ij} نیز جهت جریان در هر سلول شبکه ij است. در این حالت، برای محاسبه S، شیب از رابطه‌های (۵) و (۶) استفاده شد.

$$S=10.8\times\sin\theta+0.03 \quad \text{if slope } <9\% \quad (۵)$$

$$S=16.8\times\sin\theta-0.50 \quad \text{if slope } \geq 9\% \quad (۶)$$

روش محاسباتی سوم، روش Boehner and Selige (2006) است که با استفاده از رابطه‌های (۷) و (۸) محاسبه شد؛

$$LS_B=\left(\frac{CA^{0.5}}{22.13}\right)^{0.5}\left(65.14\sin^2\beta_{CA}+0.065\right) \quad (۷)$$

$$\beta_{CA}>0.0505$$

$$LS_B=\left(\frac{CA^{0.5}}{22.13}\right)^{3.\beta_{CA}^{0.6}}\left(65.14\sin^2\beta_{CA}+0.065\right) \quad (۸)$$

که در آن CA مساحت بالادست و β_{CA} متوسط شیب آبخیز بالادست هر سلول است.

توپوگرافی همگرا و واگرا به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش قدر حمل رسوب توسط رواناب می‌شود (Van Oost et al., 1979; Gelagay and Minale, 2016) و به‌همین ترتیب موجب بیش‌تخمینی و کم‌تخمینی مدل می‌شوند. برای رفع این مشکل طول شیب با واحد سطح ویژه در هر سه روش ذکر شده جایگزین شد (Moore and Burch, 1986; Desmet and Govers, 1996). واحد سطح ویژه سطحی است که در تشکیل رواناب هر منطقه مشارکت داشته و در نقطه‌ای مشخص تخلیه می‌شود (Moore and Wilson, 1992).

روش چهارم یا روش دستی[2]، برای ارزیابی روش‌های فوق انجام و با استفاده از نقشه توپوگرافی طول شیب به‌عنوان کوتاه‌ترین پاره‌خط بین خط‌الراس تا خط‌القعر محاسبه شد (Sadeghi et al., 2004; Zhang et al., 2017). بدین منظور تعداد ۴۵ پاره خط در نقاط مختلف حوزه آبخیز گلازچای اندازه‌گیری و درنهایت از حاصل‌ضرب طول و تندی شیب عامل توپوگرافی محاسبه شد.

- عامل مدیریت زراعی

عامل مدیریت زراعی در رابطه با بیان اثر پوشش گیاهی بر میزان هدررفت خاک مطرح می‌شود. در بین شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده[3] به‌عنوان

1- System for Automated Geoscientific Analysis, SAGA
2- Manual Method
3- Normalized Difference Vegetation Index, NDVI

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

یکی از معمول‌ترین معیارهای سنجش‌ازدوری سلامت و تراکم پوشش گیاهی محسوب می‌شود. همان‌طور که در رابطه (۹) مشاهده می‌شود (Dabral et al., 2008) این شاخص ضریبی از انعکاس در باند مادون‌قرمز نزدیک و باند قرمز است (Tucker, 1979). در پژوهش حاضر محاسبه عامل مدیریت زراعی (C) با استفاده از رابطه (۱۰) صورت گرفت. هم‌چنین تمامی محاسبات پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 (OLI)، در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.1 انجام شد.

$$NDVI=\frac{(p_{NIR}-p_{RED})}{(p_{NIR}+p_{RED})} \quad (۹)$$

$$C=\frac{1-NDVI}{2} \quad (۱۰)$$

به‌منظور تدقیق برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE سعی شد برای هر یک از رگبارها عامل C به‌صورت جداگانه محاسبه شود. بنابراین با توجه به نزدیک بودن تاریخ وقوع برخی رگبارها به‌هم‌دیگر و شرط موجودیت تصاویر در تاریخ‌های مورد نظر نهایتاً شش نقشه عامل مدیریت زراعی تهیه شد.

- عامل مدیریت اراضی

منظور از کارهای حفاظتی به‌طورکلی کشت روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. هرچه مقدار عامل مدیریت اراضی کم‌تر باشد نشان‌دهنده تأثیر بیش‌تر عامل حفاظتی و درنتیجه هدررفت کم‌تر خاک است. اگر هیچ کار حفاظتی انجام‌نشده باشد مقدار این عامل برابر با یک خواهد بود. کاربری اراضی نیز می‌تواند با توجه به اثری که در میزان هدررفت خاک دارد نوعی عامل حفاظتی محسوب شود. درصورتی‌که اثر کاربری اراضی نادیده گرفته شود و محاسبه این عامل فقط با توجه به کارهای حفاظتی انجام‌شده صورت گیرد موجب بیش‌تخمینی مقدار برآوردی فرسایش خاک خواهد شد (Panagos et al., 2015; Khorsand et al., 2017). بنابراین عامل مدیریت اراضی در حوزه آبخیز موردمطالعه بر اساس کاربری و شیب اراضی (Wischmeier and Smith, 1978) محاسبه شد.

نتایج و بحث

مقادیر فرسایندگی باران با استفاده از رابطه (۲) برای ۳۸ رخداد بارندگی محاسبه شد. بر اساس جدول (۱) کم‌ترین مقدار فرسایندگی ۰/۶۲۱ مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت و مربوط به رگبار مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۰۷ است. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار عامل فرسایندگی ۱/۲۳۵ مگاژول میلی‌متر بر هکتار بر ساعت و مربوط به رگبار مورخ ۱۳۹۱/۰۸/۲۳ است.

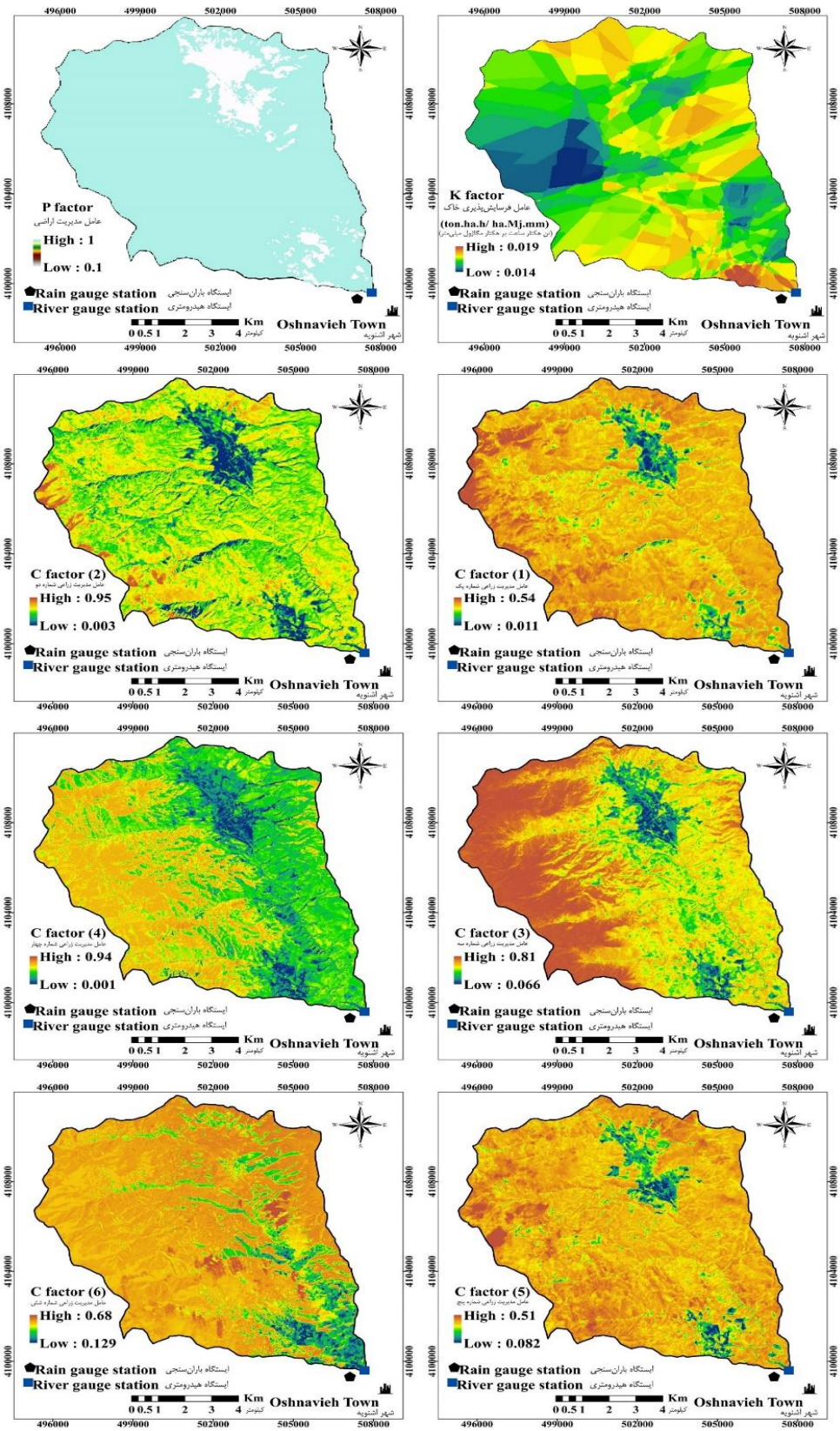
در شکل (۲) عوامل K، C، P و در شکل (۳)، عامل LS حاصل از روش‌های مختلف محاسباتی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، عامل K بین ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۱۹ متغیر است. کم‌ترین مقدار مربوط به بخش غربی آبخیز و بیش‌ترین مقدار به بخش انتهایی آبخیز تعلق دارد. با توجه به وسعت بیش‌تر اراضی کشاورزی و باغی در اطراف روستاهای گلاز و ذمه، مقادیر کم‌تر عامل P و هم‌چنین عامل C در مناطق نزدیک به روستاهای مذکور است. به‌طور کلی در تمامی نقشه‌های عامل C، بیش‌ترین مقدار آن مربوط به بخش‌های غربی آبخیز مورد مطالعه است.

شکل (۳) نقشه‌های عامل توپوگرافی (LS) حاصل از روش‌های محاسباتی Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006) و روش دستی را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار عامل LS در همه‌ی روش‌ها، مربوط به بخش‌های جنوب‌غربی و غربی حوزه آبخیز گلازچای است. مناطق شمال‌شرقی آبخیز که روستای گلاز در آن واقع شده، کم‌ترین مقدار عامل LS را در همه روش‌های محاسبه آن داشتند.

جدول ۱- مقادیر فرسایندگی ($Mjmm.ha^{-1}.h^{-1}$) محاسبه‌شده برای رگبارهای مطالعاتی حوزه آبخیز گلازچای، استان آذربایجان غربی
Table 1. Rainfall erosivity factor for study storms for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran

شماره رگبار Storm NO.	تاریخ رگبار Storm Date	فرسایندگی باران ($Mjmm.ha^{-1}.h^{-1}$) Rainfall Erosivity	شماره رگبار Storm NO.	تاریخ رگبار Storm Date	فرسایندگی باران ($Mjmm.ha^{-1}.h^{-1}$) Rainfall Erosivity
1	07/08/1390	0.621	20	27/07/1393	0.75
2	08/08/1390	1.160	21	28/07/1393	0.78
3	13/08/1390	1.180	22	11/08/1393	0.68
4	14/08/1390	0.731	23	25/08/1393	0.70
5	23/01/1391	1.215	24	01/09/1393	0.82
6	13/08/1391	0.913	25	22/09/1393	0.90
7	21/08/1391	1.175	26	28/11/1396	0.75
8	22/08/1391	0.935	27	03/12/1396	1.15
9	23/08/1391	1.235	28	18/12/1396	0.85
10	24/08/1391	0.759	29	09/01/1397	0.96
11	29/08/1391	1.013	30	22/01/1397	0.81
12	30/08/1391	0.671	31	23/01/1397	0.94
13	05/09/1391	0.820	32	26/01/1397	0.80
14	19/12/1392	0.75	33	07/02/1397	0.78
15	26/12/1392	0.73	34	18/02/1397	1.05
16	27/12/1392	1.13	35	04/08/1397	0.90
17	10/01/1393	0.85	36	09/09/1397	1.10
18	24/01/1393	0.70	37	05/01/1398	0.78
19	29/01/1393	0.78	38	11/01/1398	1.15
میانگین Mean		0.89			
انحراف از معیار Standard Deviation		0.18			
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variations (%)		19.85			

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

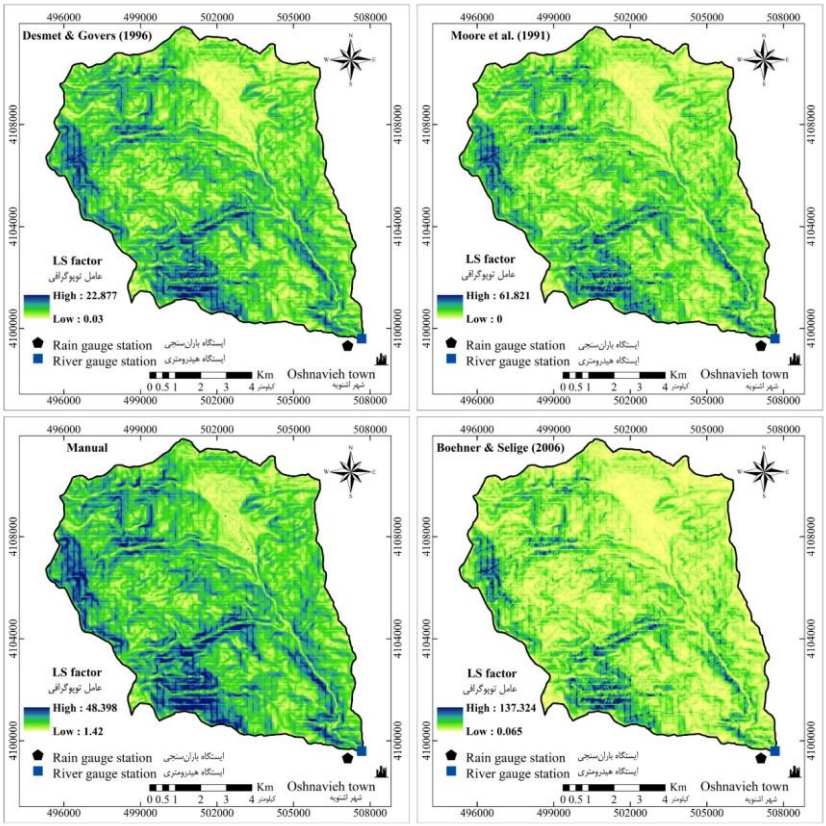


شکل ۲- نقشه عوامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، مدیریت اراضی (P) و مدیریت زراعی (C) حوزه آبخیز گلازچای، استان آذربایجان غربی
Figure 2. Map of soil erodibility factor (K), Conservation practice factor (P) and cover management factor (C) for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

در واقع، مقادیر حداقل LS در همه روش‌ها مربوط به آبراهه‌ها و مناطق کم‌شیب و مقادیر حداکثر مربوط به مناطق مرتفع و پرشیب حوزه آبخیز است. مقدار متوسط LS در روش Moore et al. (1991) ۹/۹۱ و از صفر تا ۶۱/۸۲۲ متغیر است. نقشه LS حاصل از روش Desmet and Govers (1996) با مقدار متوسط ۵/۲۶، از ۰/۰۳ تا ۲۲/۸۷۷ متغیر است. مقادیر متوسط، حداکثر و حداقل به‌ترتیب در روش Boehner and Selige (2006) ۲۹/۱۳، ۱۳۷/۳۲۴ و ۰/۰۶۵ و در روش دستی ۶/۵۴، ۴۸/۳۹۸ و صفر می‌باشند. تفاوت اصلی در برآورد مقدار حداکثر LS در روش‌های مختلف است. دلیل این تفاوت را می‌توان در شیوه محاسبه، لحاظ شکل دامنه، نوع جریان و هم‌چنین لحاظ مناطق حریم در شبکه زه‌کشی نسبت داد که با نتایج Desmet and Govers (1996)، Moore and Burch (1986)، Gelagay and Minale (2016) و Phinzi and Ngetar, (2019) مطابقت دارد. تحلیل مقایسه نتایج روش‌های مورد استفاده با شیوه دستی نشان می‌دهد که نسبت متوسط مقادیر برآوردی از ۰/۸۰ تا ۲/۰۳ متغیر بوده است. هم‌چنین این نسبت برای مقادیر بیشینه از ۰/۴۷ تا ۲/۸۴ متغیر است. با مقایسه مقدار متوسط نقشه‌های LS با روش دستی به‌عنوان روش مبنا و محاسبه میزان خطا مشخص شد که خطای تخمین برای روش‌های Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006) به‌ترتیب ۵۱/۵۳، ۱۹/۵۷ و ۱۰۳/۲۱ درصد بوده است. بنابراین روش Desmet and Govers (1996) با خطای کم‌تر در تخمین عامل توپوگرافی موفق‌تر بوده است.

نقشه میزان فرسایش خاک از ترکیب پنج لایه فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب (حاصل از چهار روش محاسبه)، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی برای ۳۸ رگبار ثبت شده در حوزه آبخیز گلازچای به‌دست آمد. مقدار متوسط فرسایش خاک برای کل حوزه آبخیز و با استفاده از روش‌های محاسباتی مختلف برآورد عامل LS شامل Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006)، و روش دستی در جدول (۲) خلاصه شده است. هم‌چنین در شکل (۳) نقشه فرسایش خاک مربوط به رگبار مورخ ۱۳۹۸/۰۱/۱۱ را به‌عنوان نمونه‌ای از رگبارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر فرسایش خاک حاصل از تمامی روش‌های محاسبه LS به‌ترتیب در رگبار شماره یک و رگبار شماره ۳۸ بوده است. هم‌چنین میانگین فرسایش خاک حاصل از ۳۸ رگبار در روش Boehner and Selige (2006) بیش‌ترین مقدار و در روش Desmet and Govers (1996) کم‌ترین مقدار بوده است. هم‌چنین نزدیک‌ترین مقدار متوسط فرسایش خاک حاصل از ۳۸ رگبار در مقایسه با روش دستی، روش Desmet and Govers (1996) است.



شکل ۳- نقشه عامل توپوگرافی (LS) حاصل از روش‌های محاسباتی Moore et al. (1991)، Desmet and Govers (1996)، Boehner and Selige (2006) و روش دستی حوزه آبخیز گلازچای، استان آذربایجان غربی

Figure 3. Maps of slope length and steepness factor (LS) obtained from Moore et al. (1991), Desmet and Govers (1996), Boehner and Selige (2006), and manual methods for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

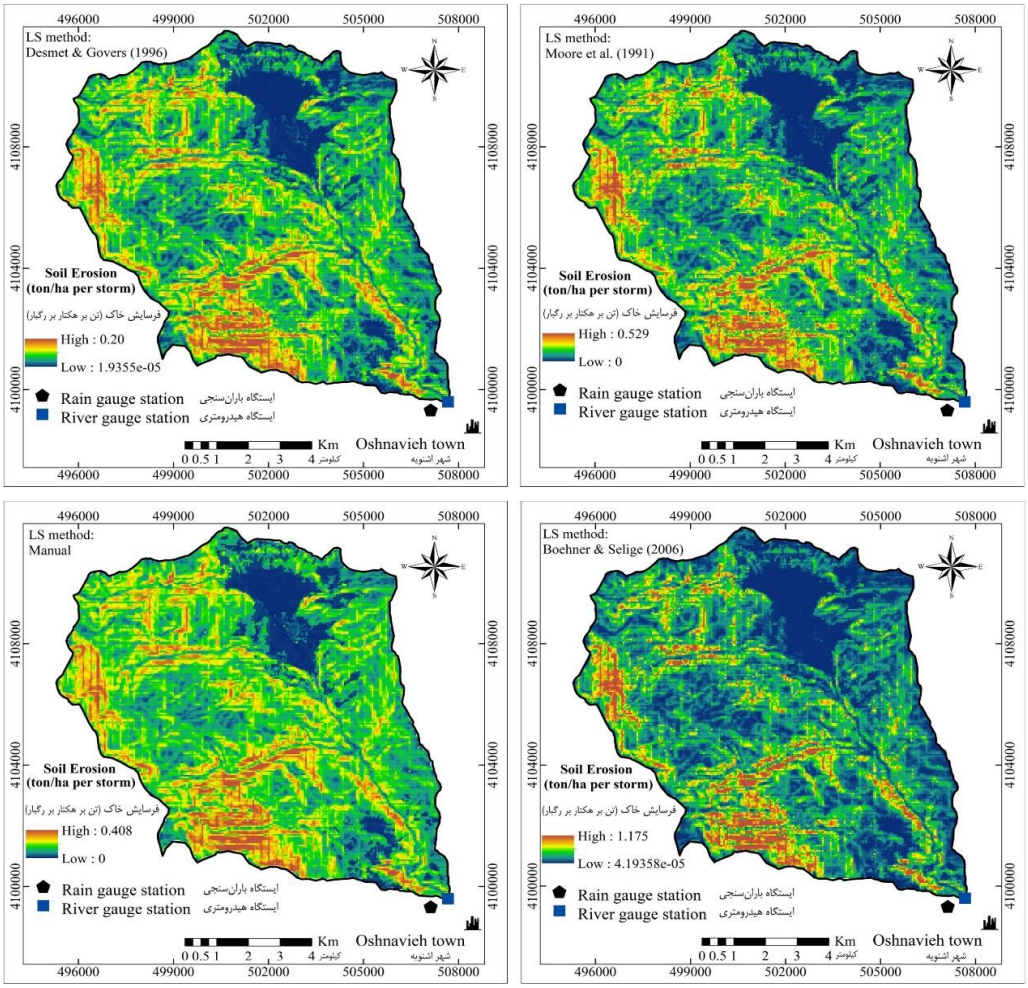
جدول ۲- فرسایش خاک (تن بر هکتار بر رگبار) حاصل از روش‌های مختلف محاسبه LS برای رگبارهای مطالعاتی حوزه آبخیز گلازچای، استان آذربایجان غربی

Table 2. Soil erosion (ton ha^{-1} $storm^{-1}$) resulting from different LS methods for study storms for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran

شماره رگبار Storm NO.	فرسایش خاک (تن بر هکتار بر رگبار) حاصل از روش‌های مختلف محاسبه LS Soil erosion (ton ha^{-1} $storm^{-1}$) resulting from different LS methods			
	Moore et al. (1991)	Desmet and Govers (1996)	Boehner and Selige (2006)	Manual
1	0.040	0.021	0.054	0.026
2	0.074	0.039	0.101	0.048
3	0.076	0.040	0.103	0.049
4	0.047	0.025	0.064	0.030
5	0.078	0.041	0.106	0.051
6	0.059	0.031	0.079	0.038
7	0.075	0.040	0.102	0.049
8	0.060	0.032	0.081	0.039
9	0.079	0.042	0.107	0.051
10	0.049	0.026	0.066	0.032
11	0.065	0.034	0.088	0.042
12	0.043	0.023	0.058	0.028
13	0.053	0.028	0.071	0.034
14	0.047	0.025	0.063	0.031
15	0.046	0.024	0.062	0.030
16	0.071	0.037	0.095	0.046
17	0.053	0.028	0.072	0.035
18	0.044	0.023	0.059	0.028
19	0.054	0.026	0.066	0.032
20	0.051	0.027	0.070	0.033
21	0.053	0.028	0.072	0.034
22	0.046	0.024	0.063	0.030
23	0.048	0.025	0.065	0.031
24	0.056	0.029	0.076	0.036
25	0.061	0.032	0.084	0.040
26	0.052	0.028	0.071	0.034
27	0.080	0.042	0.082	0.052
28	0.059	0.031	0.081	0.038
29	0.067	0.035	0.091	0.043
30	0.057	0.030	0.077	0.037
31	0.066	0.035	0.089	0.043
32	0.056	0.030	0.076	0.036
33	0.054	0.029	0.074	0.035
34	0.073	0.039	0.100	0.047
35	0.055	0.029	0.075	0.036
36	0.068	0.036	0.092	0.044
37	0.060	0.032	0.081	0.039
38	0.089	0.047	0.120	0.058
میانگین Mean	0.060	0.031	0.080	0.039
انحراف از معیار Standard Deviation	0.01	0.01	0.02	0.01
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variations (%)	20.15	20.36	19.67	20.37

همان‌طور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود، در هر چهار نقشه فرسایش خاک رگبار مورخ ۱۳۹۸/۰۱/۱۱ بیش‌ترین فرسایش خاک مربوط به بخش جنوب‌غربی و غرب آبخیز گلازچای است که در این بخش‌ها عامل LS نیز بیش‌ترین مقدار را داشت. هم‌چنین کم‌ترین مقدار فرسایش خاک مربوط به مناطق شمال‌شرقی آبخیز که کاربری کشاورزی و توپوگرافی پست دارند، است. محمدی و همکاران و داس و همکاران نیز در مطالعه خود دریافتند که عامل LS در مقایسه با سایر عوامل اثر بیش‌تری بر میزان فرسایش خاک دارد. فرسایش خاک رگبار مورخ ۱۳۹۸/۰۱/۱۱ حاصل از روش Moore et al. (1991) با مقدار متوسط ۰/۰۸۹ تن بر هکتار بر رگبار، بین بازه صفر تا ۰/۵۲۹، روش Desmet and Govers (1996) با مقدار متوسط ۰/۰۴۷ تن بر هکتار بر رگبار، بین بازه ۰/۰۱۳ تا ۰/۲۰، روش Boehner and Selige (2006) با مقدار متوسط ۰/۱۲، بین بازه ۰/۰۲۸ تا ۱/۱۷۵ تن بر هکتار بر رگبار و در نهایت روش دستی با مقدار متوسط ۰/۰۵۸، بین بازه صفر تا ۰/۴۰۸ تن بر هکتار بر رگبار متغیر بودند (Mohammadi et al., 2016; Das et al., 2021). بر اساس مطالعه صادقی و همکاران آبخیز گلازچای از نظر شدت وضعیت فرسایش خاک به دو دسته کم و متوسط تقسیم‌بندی شده و مناطقی با فرسایش بیش‌تر در پژوهش حاضر، در دسته متوسط قرار می‌گیرند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]



شکل ۴- نقشه فرسایش خاک (تن بر هکتار بر رگبار) حاصل از روش‌های مختلف محاسبه LS برای رگبار مورخ ۱۳۹۸/۰۱/۱۱ در حوزه آبخیز گلازچای، استان آذربایجان غربی

Figure 4. Soil erosion map (ton/ha per storm) resulting from different LS methods for storm dated March 31, 2019 for the Galazchai Watershed, West Azerbaijan Province, Iran

با توجه به نتایج به‌دست آمده اگرچه اختلاف بین مقادیر متوسط عامل توپوگرافی به نسبت مقادیر بیشینه آن‌ها کم‌تر بوده اما این اختلاف بر پراکنش مکانی فرسایش خاک در منطقه دلالت داشته است که از نکات مهم در مدیریت فرسایش حوزه‌های آبخیز تلقی می‌شود (Sadeghi et al., 2021). هم‌چنین علی‌رغم وجود اختلاف در مقادیر فرسایش خاک، اما الگوی مکانی تقریباً یکسانی در همگی روش‌ها مشاهده شد. نتایج حاصل از به‌کارگیری Desmet and Govers (1996) نشان داد که این روش شباهت بیش‌تری با مقادیر محاسباتی حاصل از اندازه‌گیری مستقیم روی نقشه توپوگرافی آبخیز گلازچای دارد. تحلیل نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد عامل توپوگرافی برای حوزه آبخیز گلازچای اشنویه دلالت بر تأثیر قابل توجه روش‌های مورد بررسی در مقدار فرسایش خاک برآوردی و ضرورت انتخاب روش مناسب محاسباتی برای دست‌یابی به مقادیر صحیح فرسایش خاک برای جلوگیری از خطا و رفع عدم قطعیت‌ها دارد. برآورد نادرست فرسایش خاک موجب مدیریت ناصحیح حوزه‌های آبخیز و هدررفت منابع و انرژی می‌شود. انجام مطالعات گسترده‌تر برای بررسی سایر روش‌های محاسبه LS و حتی دیگر عوامل RUSLE، هم‌چنین در حوزه‌های آبخیز با کرت‌های فرسایشی به‌منظور مقایسه دقیق‌تر مقدار فرسایش خاک و ارائه جمع‌بندی‌های جامع توصیه می‌شود.

منابع

Azizian, A., & Kohi, S. (2019). Evaluating the effect of different methods for calculating topographic factor on sediment delivery rate based on RUSLE model (case study: Barajin catchment, Qazvin). *Iran Water Resources Research*, *24*, 304-317 (In Persian).

Babaei, M., Hosseini, S.Z., Nazari Samani., A., & Almodari, S.A. (2016). Assessment of soil erosion using RUSLE 3D, case study: Kan-Soleghan Watershed. *Management and Engineering Watershed of Journal*, *8*(2), 165-181 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

Blanco, A.C., & Nadaoka, K. (2006). A comparative assessment and estimation of potential soil erosion rates and patterns in Laguna lake watershed using three models. In *Symposium on Infrastructure Development and the Environment*, 7-8.

Boehner, J., & Selige, T. (2006). Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. *Göttinger Geographische Abhandlungen, 115*, 13-27.

Chakroun, H., Bonn, F., & Fortin, J.P. (1993). Combination of single storm erosion and hydrological models into a geographic information system. In *International symposium on farm land erosion*, 261-270.

Covelli, C., Cimorelli, L., Pagliuca, D.N., Molino B., & Pianese, D. (2020). Assessment of erosion in river basins: A distributed model to estimate the sediment production over watersheds by a 3-dimensional LS factor in RUSLE model. *Hydrology, 7*(1), 13.

Dabral, P.P., Baithuri, N., & Pandey, A. (2008). Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management, 22*(12), 1783-1798.

Das, S., Bora, P.K., & Das, R. (2021). Estimation of slope length gradient (LS) factor for the sub-watershed areas of Juri River in Tripura. *Modeling Earth Systems and Environment, 24*, 1-7.

Desmet, P.J.J., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation, 51*(5), 427-433.

Gao, J. (1997). Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale. *International Journal of Geographical Information Science, 11*(2), 199-212.

Gertner, G., Wang, G., Fang, S., & Anderson, A.B. (2002). Effect and uncertainty of digital elevation model spatial resolutions on predicting the topographical factor for soil loss estimation. *Journal of Soil and Water Conservation, 57*(3), 164-174.

Gelagay, H.S., & Minale, A.S. (2016). Soil loss estimation using GIS and remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research, 4*(2), 126-136.

Hrabalíková, M., & Janeček, M. (2017). Comparison of different approaches to LS factor calculations based on a measured soil loss under simulated rainfall. *Soil and Water Research, 12*, 69-77.

Katebikord, A., Sadeghi, S.H.R., & Singh, V.P. (2019). Effects of different methods and algorithms on estimation of soil erosion topography factor. *14th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering* (1-6), Urmia, Iran. (In Persian)

Khorsand, M., Khaledi darvishan, A., & Gholamalifard, M. (2017). Comparison between estimated annual soil lossusing RUSLE model with data from the erosion pins and plots in Khamsan representative watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology, 3*(4), 669-680. (In Persian)

Lin, Q., & Wan, X. (2006). Soil erosion prediction using RUSLE with GIS: A case study in upper Chaobai River basin of China. In *2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing* (pp. 1086-1089).

Liu, H., Fohrer, N., Hörmann, G., & Kiesel. J. (2009). Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes. *Catena, 77*(3), 248-255.

Liu, H., Kiesel, J., Hörmann G., & Fohrer. N. (2011). Effects of DEM horizontal resolution and methods on calculating the slope length factor in gently rolling landscapes. *Catena, 87*(3), 368-375.

Lu, S., Liu, B., Hu, Y., Fu, S., Cao, Q., Shi,Y., & Huang, T. (2020). Soil erosion topographic factor (LS): Accuracy calculated from different data sources. *Catena, 187*, 104334.

McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K., & Meyer, L.D. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE, 32*, 1571-1576.

Merritt, W.S., Letcher, R.A., & Jakeman, A.J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software, 18*(8), 761-799.

Mohammadi, M., Fallah, M., Kavian, A., Gholami, L.& Omidvar, E. (2016). The application of RUSLE model in spatial distribution determination of soil loss hazard. *Ecohydrology, 3*, 645-658 (In Persian).

Moore, I.D., & Burch, G.J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal, 50*(5), 1294-1298.

Moore, I.D., Grayson, R.B., & Landson, A.R. (1991). Digital terrain modeling, a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes, 5*, 3-30.

Moore, I.D., & Wilson, J.P. (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation, 47*(5), 423-428.

Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Sobrinho, T.A., Panachuki, E., & Wendland, E. (2013). Use of SRTM data to calculate the (R) USLE topographic factor. Acta Scientiarum. *Technology, 35*(3), 507-513.

Panagos, P., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2015). A new European slope length and steepness factor (LS-Factor) for modelling soil erosion by water. *Geosciences, 5*, 117-126.

Phinzi, K., & Ngetar, N.S. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research, 7*(1), 27-46.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1996). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook, 703*, 400.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]

Rodriguez, J.L.G., & Suárez, M.C.G., (2010). Estimation of slope length value of RUSLE factor L using GIS. *Journal of Hydrologic Engineering*, *15*(9), 714-717.

Roose E. (1977). *Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest-vingt annees de mesures en petites parcelles experimentales*. Pour Faire Face A` Ce Proble`me Pre´occupant, I'ORSTOM et Les Instituts Travaux et Documents de I'ORSTOM, 78, 108.

Sadeghi, S.H.R., Dashtpagerdi, M.M., Rekabdarkoolai, H.M., & Schoorl, M.J. (2021). Sensitivity analysis of relationships between hydrograph components and landscapes metrics extracted from digital elevation models with different spatial resolutions. *Ecological Indicators, 121*, 107025.

Sadeghi, S.H.R., Jafarpoor, A., Zabihi Silabi, M., Molashahi, Sh., Naghdi, M., Sharifi Moghani, M., Ghysoori, Z., & Farzadfar, E. (2021). Biologic management framework of soil erosion in the watershed (applied study, Oshnavieh Galazchai, West Azerbaijan, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(4), 997-1010. (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Mostafazadeh R., & Sadoddin, A. (2015a). Changeability of simulated hydrograph from a steep watershed resulted from applying Clark's IUH and different time–area histograms. *Environmental Earth Sciences, 74*(4), 3629-3643.

Sadeghi, S.H.R., Mostafazadeh, R., & Sadoddin, A. (2015b). Response of sedimentgraphs and sediment rating loops to land use type and spatial pattern. *Management and Engineering Watershed of Journal, 7*(1), 15-26. (In Persian)

Sadeghi, S.H.R., Saeidi, P., & Telvari, A. (2018). Contribution of wash and channel sediment sources in supplying storm suspended sediment load in the galazchai watershed. *Water Resources Engineering, 10*(35), 17-26 (In Persian).

Sadeghi, S.H.R., Singh, J.K., & Das, G. (2004). Efficacy of annual soil erosion models for storm-wise sediment prediction: a case study, *International Agricultural Engineering Journal, 13*(1&2), 1-14.

Sadeghi, S.H.R., & Tavangar, S. (2015). Development of stational models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards, 77*(1), 429-443.

Shan, L., Yang, X., & Zhu, Q. (2019). Effects of DEM resolutions on LS and hillslope erosion estimation in a burnt landscape. *Soil Research, 57*(7), 797-804.

Thomas, J., Prasannakumar, V., & Vineetha, P. (2015). Suitability of spaceborne digital elevation models of different scales in topographic analysis: an example from Kerala, India. *Environmental Earth Sciences, 73*(3), 1245-1263.

Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment, 8*(2), 127-150.

Van Oost, K., Govers, G., & Desmet, P. (2000). Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology, 15*(6), 577-589.

Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29-38.

Wang, C., Yang, Q., Guo, W., Liu, H., Jupp, D., Li, R., & Zhang, H. (2012). Influence of resolution on slope in areas with different topographic characteristics. *Computers & Geosciences, 41*, 156-168.

Wang, G., Gertner, G., Parysow, P., & Anderson. A. (2001). Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for revised universal soil loss equation using digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 56*, 65-80.

Wang, M., Baartman, J.E., Zhang, H., Yang, Q., Li, S., Yang, J., Cai, C., Wang, M., Ritsema, C.J., & Geissen, V. (2018). An integrated method for calculating DEM-based RUSLE LS. *Earth Science Informatics, 11*(4), 579-590.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Yang, J.H., Liu, H.Q., Zhang, J.P., Rahma, A.E., & Lei, T.W. (2022). Lab simulation of soil erosion on cultivated soil slopes with wheat straw incorporation. *Catena*, 210, 105865.

Young, R.A., & Mutchler, C.K. (1969). Soil movement on irregular slopes. *Water Resources Research, 5*(5), 1084-1089.

Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., Baartman, J.E., Gai, L., Yang, X., Li, S.,Yu, J., Ritsema, C.J., & Geissen, V. (2017). An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. *Geoderma*, 308, 36-45.

Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Liu, Q., Moore, D., He, P., Ritsema, C., & Geisse, V. (2013). Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers & Geosciences*, 52, 177-188.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1402.14.28.1.0]
[DOI: 10.61186/jwmr.14.28.1]