ارزیابی مدل شیرازی در برآورد فرسایش‌پذیری خاک‌های لسی

نادر جندقی[1*]، مجتبی قره‌محمودلو[2] و حجت قربانی واقعی[3]

۱) گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۲) گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۳) گروه منابع طبیعی، دانشگاه گلستان، ایران

*نویسنده مسئول: nader.jandaghi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰**

چکیده

برای انجام این تحقیق، پس از بررسی اولیه اجزای واحد اراضی در محدوده مورد مطالعه (شامل تراس رودخانه‌ای، فلات لسی و تپه) به عنوان واحد کاری انتخاب شدند. برای این منظور ۴۸ نمونه سطحی (عمق ۰تا ۱۰ سانتی‌متر) جمع‌آوری شد. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک شامل بافت خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر فرسایش‌پذیری خاک به روش شیرازی برآورد شد. در این تحقیق، فرسایش‌پذیری واقعی خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران در مزرعه (در کرت‌های ۱ متر مربعی) اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS و از روش درون‌یابی (IDW) تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج نشان داد در هر ۳ تیپ خاک این حوزه، استفاده از مدل شیرازی نسبت به داده‌های واقعی بیش‌برآوردی داشته است. مقدار این بیش‌برآوردی در تیپ تراس آبرفتی، فلات لسی و تپه به ترتیب ۸/۵۶، ۱۴/۶۶، ۱۰/۶ برابر مقادیر اندازه‌گیری بود.

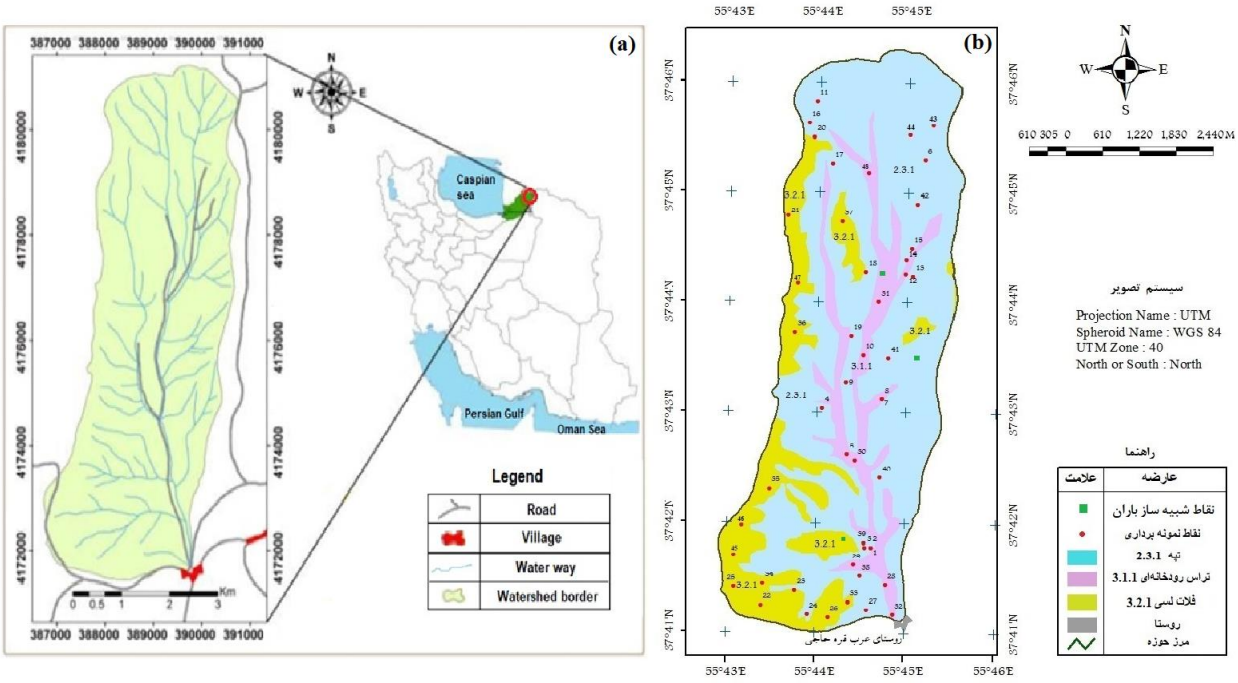
کلمات کلیدی: فرسایش‌پذیری، مدل شیرازی، خاک لس، استان گلستان.

مقدمه

فرسایش خاک فرآیندی است که در طی آن خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکان دیگری انتقال و رسوب داده شود. در حال حاضر فرسایش خاک یکی از چالش‌های زیست‌محیطی مهم در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است (رفاهی، ۱۳۹۴). یکی از پارامترهای کاربردی برای شناسایی نقاط حساس به فرسایش استفاده از عامل فرسایش پذیری خاک است. این عامل پتانسیل بالقوه خاک را به فرسایش نشان می‌دهد. یکی از روش‌های غیرمستقیم و مرسوم برای تعیین فرسایش‌پذیری خاک استفاده از روش نموگراف ویشمایر و اسمیت است که برای اراضی غیرآهکی برای ایالات متحده ارائه شده است (Wischmeier and Smith, 1978). ویشمایر و اسمیت در ایالت متحده امریکا، بین مقدار فرسایش‌پذیری خاک و ۵ خصوصیت خاک یعنی درصد سیلت بعلاوه شن خیلی ریز، درصد شن، مواد آلی، ساختمان و قابلیت نفوذ خاک ارتباط برقرار کرده و فرمولی را ارایه کردند که به‌وسیله آن می‌توان میزان فرسایش‌پذیری خاک را بدست آورد. از جمله عوامل تاثیرگذار بر مقدار فرسایش‌پذیری خاک می‌توان به بافت خاک، ساختمان خاک، شیب زمین، کلوییدهای خاک، پوشش گیاهی، سرعت نفوذ آب به داخل خاک، ظرفیت کل آب خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک اشاره داشت. لس‌ها یکی از مهم‌ترین واحدهای رسوبی کواترنر قلمداد شده که در سطح استان گلستان از جهت شرق به غرب گسترش یافته (امیری و همکاران، ۱۳۹۸) و سطحی بالغ بر ۳۰۰۰ کیلومترمربع (۱۵ درصد) از سطح استان گلستان را پوشانده‌اند. با توجه به اینکه لس‌های استان گلستان دارای درصد بالایی از آهک (۳۰ درصد) هستند (ایزانلو و همکاران، ۱۴۰۱) استفاده از روش نموگراف ویشمایر و اسمیت که برای اراضی غیرآهکی ارایه شده است؛ برای محاسبه فرسایش‌پذیری این خاک‌ها مناسب نمی‌باشد. برای محاسبه فرسایش‌پذیری خاک استراتژی‌های مختلفی وجود دارد از جمله اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، ابزارهای اندازه‌گیری، مدل‌های ریاضی و گرافیکی (Wei et al., 2017). اگرچه اندازه‌گیری مستقیم فرسایش خاک در کرت‌های استاندارد می‌تواند برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش‌پذیری خاک را ارائه کند اما این روش عمدتا وقت‌گیر و پرهزینه است لذا مورد توجه کارشناسان نمی‌باشد. مدل شیرازی یکی از روش‌هایی است که در ایران زیاد مورد بررسی قرار نگرفته است؛ اما در سایر مناطق دنیا از جمله چین مورد ارزیابی قرار گرفته است که می‌توان به مطالعات Zhao و همکاران (۲۰۱۸)، Zhu و همکاران (۲۰۲۱) و Zhu و همکاران (۲۰۲۲) اشاره داشت. به طور کلی هدف این مطالعه شناخت بهتر رفتار مدل شیرازی جهت برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک در اراضی لسی ایران بوده که عمدتا دارای درصد نسبتا بالایی از آهک بوده و استفاده از روش نموگراف ویشمایر و اسمیت که برای معادله جهانی فرسایش خاک ارایه شده است، مناسب نمی‌باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز عرب‌قره‌حاجی در شرق شهرستان کلاله و شهر فراغی در استان گلستان واقع شده است. این حوزه به عنوان یک حوزه تیپیک لسی با مساحتی۲۶۹۶ هکتار، در محدوده طول جغرافیایی ˝ ۴۳ °۵۵ تا ´۴۵ °۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی ˝ ۴۱ °۳۷ تا ˝ ۴۶ °۳۷ شمالی واقع شده است (شکل ۱a). منطقه مورد مطالعه از منظر زمین‌شناسی جزو حوزه‌های رسوبی کپه‌داغ در دوره ژوراسیک است و از نظر سنگ‌شناسی دارای تنوع محدود بوده به طوری‌که تنها از رسوبات آهکی و لسی تشکیل شده است (ایزانلو، ۱۴۰۱). با انجام بازدیدهای میدانی، ۳ تیپ اصلی خاک شامل تپه، فلات‌های لسی و تراس‌های آبرفتی در این آبخیز شناسایی شد و اجزاء واحد اراضی به‌عنوان واحد کاری انتخاب شد. با توجه به کوچک بودن و تنوع کم این حوزه از لحاظ ویژگی‌های لیتولوژی، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی، ۲۴ نمونه از تیپ تپه، ۱۳ نمونه از تیپ فلات لسی و ۱۱ نمونه از تیپ تراس آبرفتی و در کل ۴۸ نمونه از کل حوزه از لایه سطحی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد (شکل ۱b). نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه چند روز در محیط آزمایشگاه در معرض هوا قرار داده شد تا کاملا خشک شوند. در مرحله بعد با کوباندن و خرد کردن نمونه‌های خاک، آنها را از الک با قطر ۲ میلی‌متر (الک شماره۱۰) عبور داده تا جهت انجام آزمایشات بافت خاک و اندازه‌گیری آهک آماده شوند. در آزمایشگاه دانه‌بندی خاک به روش الک خشک، بافت خاک به روش هیدرومتری و درصد آهک خنثی به روش نلسون (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز عرب قره‌حاجی در ایران (a) و موقعیت نقاط نمونه‌برداری (b)

تاکنون روش‌های مختلفی برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش غیرمستقیم معرفی شده است که در این پژوهش از مدل شیرازی استفاده شده است. Shirazi و همکاران (۱۹۸۸) جهت محاسبه فاکتور K مدلی را ارایه دادند که برای مناطق با اطلاعات کم خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قابل استفاده می‌باشد. آنها اعتقاد داشتند که فاکتور K را تنها با داشتن میانگین هندسی قطر ذرات خاک می‌توان محاسبه نمود. روش شیرازی از رابطه (۱) تعیین می‌شود. در این رابطه D_g از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

رابطه ۱:
$$K = 7.594\{0.0034 + 0.0405e^{-0.5\left[\frac{\log(D_g)+1.659}{0.7101}\right]^2}$$

رابطه ۲:
$$D_g(mm) = e^{0.01\sum f_i \ln m_i}$$

که در آن: fi، جزء جرمی اندازه ذرات مربوط به کلاس i، mi، میانگین حسابی محدودیت اندازه ذرات برای i امین کسر به میلی‌متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری واقعی خاک در هر یک از اجزای واحد اراضی موجود در این آبخیز یک کرت ۱×۱ متر مربع انتخاب شد. سپس با استفاده از شبیه‌ساز باران، مقدار فرسایش‌پذیری خاک در هر ۳ تیپ اندازه‌گیری شد. برای این منظور شدت بارش نیم‌ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال برای باران‌ساز در نظر گرفته شد و از رابطه (۳) مقدار فرسایش‌پذیری واقعی تعیین شد.

رابطه ۳:
$$K = A/R$$

که در آن: K، عامل فرسایش‌پذیری خاک بر حسب تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر، A، مقدار فرسایش واقعی بر حسب تن در هکتار در سال و R، عامل فرسایندگی باران بوده که بر اساس شاخص EI_{30} (رابطه ۴) محاسبه شده است:

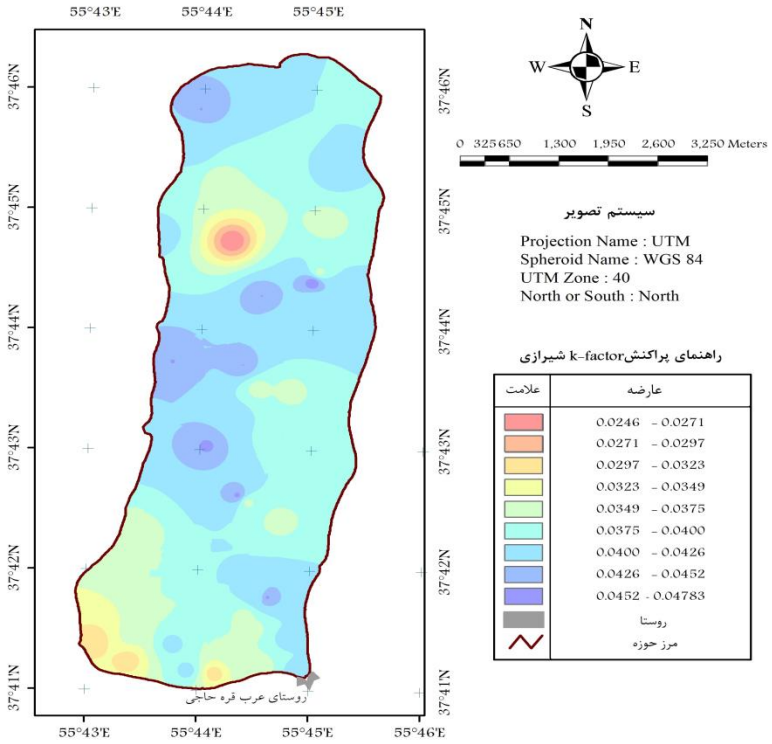
رابطه ۴:
$$KE=11.87+8.73\log_{10}I$$

که در آن: I، شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت و KE، انرژی جنبشی باران بر حسب ژول بر مترمربع در میلی‌متر است. در ادامه برای تهیه نقشه تغییرات و پراکنش عامل فرسایش‌پذیری خاک در سطح حوزه آبخیز برای هر یک از مدل‌ها، از نرم‌افزار ArcGIS و از روش درون‌یابی (IDW) استفاده شد.

نتایج و بحث

با انجام بازدیدهای میدانی مشخص شد از ۳ تیپ خاک موجود در این حوزه، تیپ تپه با ۶۷/۱ درصد بیشترین و تیپ تراس آبرفتی با ۱۲/۳ درصد کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. در بررسی درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک مشخص شد که بخش غالب آن در این حوزه متعلق به ذرات سیلت بوده که عامل مهمی در فرسایش‌پذیری خاک محسوب می‌شود. بیشترین

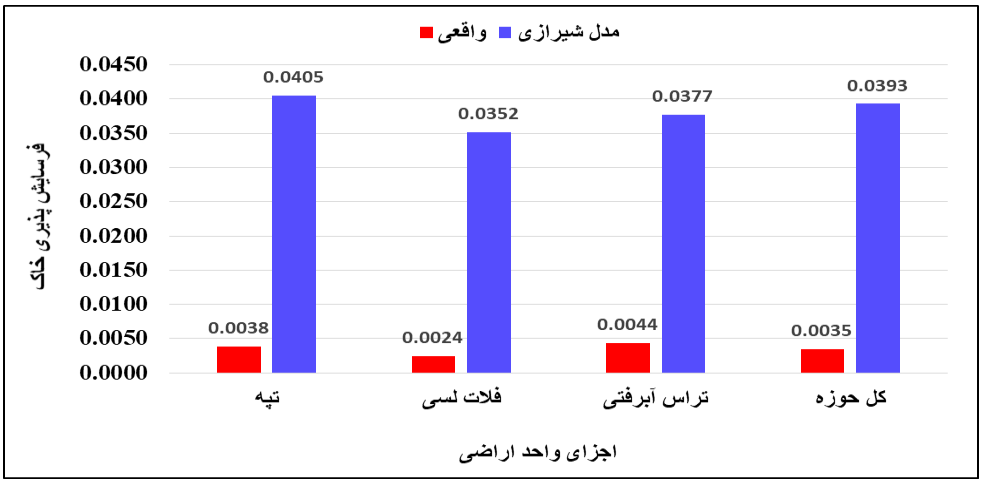
مقدار سیلت با میانگین ۶۰/۸ درصد در تیپ تراس آبرفتی و کمترین آن در فلات لسی با ۵۴/۱ درصد مشاهده شد. بعد از سیلت، ذرات شن و رس به ترتیب در رتبه‌های بعدی ذرات متشکله خاک قرار گرفته‌اند. بیشترین ذرات شن مربوط به تیپ فلات لسی (۳۴/۷ درصد) و کمترین آن مربوط به تیپ تراس آبرفتی (۳۰/۲ درصد) بوده است. همچنین بیشترین ذرات رس مربوط به تیپ تپه (۱۱/۳۷ درصد) و کمترین آن مربوط به تیپ فلات لسی (۹/۱ درصد) بوده است. نتایج مطالعات نیمه‌تفضیلی آنالیز بافت خاک در این آبخیز نشان داد که تنها دو نوع بافت خاک سیلتی لوم و لوم موجود است به‌گونه‌ای که ۹۰ درصد نمونه‌های برداشت‌شده دارای بافت سیلتی‌لوم و ۱۰ درصد دیگر متعلق به بافت خاک لومی است. سپس عامل فرسایش‌پذیری خاک با مدل شیرازی برآورد (شکل ۲) و با مقادیر واقعی مقایسه شد.



شکل ۲: نقشه پراکنش عامل فرسایش‌پذیری خاک برآورد شده به روش شیرازی در حوزه آبخیز عرب‌قره‌حاجی

با توجه به هزینه‌بر و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری عامل فرسایش‌پذیری واقعی خاک، در این پژوهش در هر تیپ اراضی تنها یک آزمایش انجام شد. محل آزمایش در هر تیپ به گونه‌ای انتخاب شد که معرف شرایط تیپ خاک باشد. بر این اساس، مقدار متوسط عامل فرسایش‌پذیری خاک در ۳ تیپ تراس آبرفتی، تپه و فلات لسی به ترتیب ۰/۰۰۴۴، ۰/۰۰۳۸ و ۰/۰۰۲۴ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بدست آمد و با داده‌های مدل شیرازی مقایسه شد (شکل۳). نتایج نشان داد در هر ۳ تیپ خاک و همچنین در

کل حوزه استفاده از مدل شیرازی نسبت به داده‌های واقعی بیش‌برآوردی وجود داشته است. مقدار این بیش‌برآوردی در تیپ تراس آبرفتی، فلات لسی و تپه به ترتیب ۸/۵۶، ۱۴/۶۶، ۱۰/۶ برابر و در کل حوزه ۱۱/۲ برابر اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی با مطالعات انجام شده توسط Zhu و همکاران (۲۰۲۱) و Zhu و همکاران (۲۰۲۲) در کشور چین هم‌راستا بوده است ولی با نتایج ZHAO و همکاران (۲۰۱۸) که استفاده از این مدل را برای آبخیز انسای چین مناسب ارزیابی کرده بودند، انطباق ندارد.



شکل ۳: هیستوگرام مقایسه مقادیر میانگین عامل فرسایش‌پذیری خاک از روش شیرازی با مقادیر واقعی در حوزه آبخیز عرب‌قره‌حاجی به تفکیک اجزاء واحد اراضی

نتیجه‌گیری

در معادله جهانی فرسایش خاک مبنای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده از نموگراف ویشمایر می‌باشد. در این نموگراف عامل فرسایش‌پذیری خاک به روش غیرمستقیم محاسبه شده به طوری‌که بین مقدار فرسایش‌پذیری خاک و ۵ خصوصیت خاک یعنی درصد سیلت + شن خیلی ریز، درصد شن، مواد آلی، ساختمان و قابلیت نفوذ خاک ارتباط برقرار کرده و فرمولی ارایه شده است که به‌وسیله آن می‌توان میزان فرسایش‌پذیری خاک را بدست آورد. این رابطه در اصل برای خاک‌های غیرآهکی مناطق نیمه‌خشک در ایالات متحده آمریکا توسعه یافته است. از آنجا که عمده خاک‌های کشور ایران از نوع آهکی است، خطای به‌کارگیری نموگراف ویشمایر برای چنین خاک‌هایی باید مدنظر کاربران قرار بگیرد. برآورد فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از مدل‌های برآوردی در مقایسه با روش باران‌ساز که بسیار زمان‌بر و پرهزینه است، مقرون به صرفه است اما قبل از استفاده از این روابط باید مورد ارزیابی قرار بگیرند. در این بررسی مدل شیرازی جهت برآورد مقادیر فرسایش‌پذیری خاک در اراضی لسی استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن با روش شبیه‌ساز باران مقایسه شد. در این بررسی مشخص شد که مقدار برآورد شده

فرسایش‌پذیری خاک به روش شیرازی در هر ۳ تیپ خاک موجود در حوزه شامل تراس رودخانه‌ای، فلات لسی و تپه و همچنین در کل آبخیز عرب‌قره‌حاجی نسبت به داده‌های واقعی که با استفاده از شبیه‌ساز باران اندازه‌گیری شده بود، بیش‌برآوردی داشته است. شاید بیش‌برآوردی مقدار فرسایش‌پذیری خاک از روش شیرازی در اراضی لسی استان گلستان را بتوان به درصد بالای آهک (۳۰درصد) نسبت داد. لذا پیشنهاد می‌شود این بررسی در سایر خاک‌های استان گلستان نیز انجام و نتایج آنها مقایسه گردد.

منابع

امیری، ز.، خرمالی، ف. و بایرام کمکی، چ. (۱۳۹۸). نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری در فلات لسی شرق استان گلستان با استفاده از تکنیک سنجش از دور (منطقه مطالعاتی: آق‌بند). فصل‌نامه کواترنری ایران، دوره ۵، جلد ۱، ص ۵۸-۴۷.

ایزانلو، ص.، قره‌محمودلو، م.، جندقی، ن. و قربانی واقعی، ح. (۱۴۰۱). تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع سطحی و زیرسطحی در خاک‌های لسی شرق استان گلستان. مجله تحقیقات کاربردی خاک، دوره ۱۰، جلد ۲، ص ۱۱۹-۱۰۳.

رفاهی، ح. ق. (۱۳۹۴). فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ صفحه.

Shirazi, M.A., Hart, J.W. and Boersma, L. (1988). A unifying quantitative analysis of soil texture: improvement of precision and extension of scale. Soil Sciences Society of American Journal, 52, pp: 181–190.

Wei, H., Zhao, W.W. and Wang, J. (2017). The optimal estimation method for K value of soil erodibility: A case study in Ansai Watershed. Science of Soil and Water Conservation, 15, pp: 52–62.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook, 537, US Department of Agriculture, Washington DC.

Zhao, W., Wei, H., Jia, L., Daryanto, S., Zhang, X. and Liu, Y. (2018). Soil erodibility and its influencing factors on the Loess Plateau of China: a case study in the Ansai watershed. Solid Earth, 9 (6), pp: 1507-1516.

Zhu, X.C., Liang, Y., Tian, Z.Y., Zhang, Y., Zhang, Y.G., Du, J., Wang, X., Li, Y., Qu, L.L. and Dai, M.M. (2021). Simulating soil erodibility in southeastern China using a sequential Gaussian algorithm. Pedosphere, 31 (5), pp: 715–724.

Zhu, M., He, W., Liu, Y., Chen, Z., Dong, Z., Zhu, C., Chen, Y. and Xiong, Y. (2022). Characteristics of Soil Erodibility in the Yinna Mountainous Area. Eastern Guangdong Province, China, Int J Environ, Res, Public Health, 19.

Evaluation of Shirazi model in estimating the erodibility of loess lands

Nader Jandaghi*[1], Mojtaba Ghareh Mahmoodlu[2], Hojat Ghorbani Vagheie[3]

1) Watershed and pasture Group, Gonbad Kavus University, Iran.
2) Watershed and pasture Group, Gonbad Kavus University, Iran.
3) Natural Resources Group, Golestan University, Iran.

***Correspondence author:** nader.jandaghi@gmail.com

Received Date: 2023. 03. 11 **Accepted Date: 2023. 06. 11**

Abstract

To perform this research, after the initial studies, the components of the land unit in the study area (including river terrace, loess plateau and hill) were selected as the working unit. For this purpose, 48 surface samples (0-10 cm depth) were collected. Soil physicochemical properties including soil texture were measured in the laboratory. Then, soil erodibility was estimated by Shirazi model. In this research, the soil actual erodibility was measured using rain simulator in the field (in plots of 1 m^2). Then, spatial changes of soil erodibility in the study area were plotted using GIS software and reverse distance weighing (IDW) method. The results showed that in all 3 types of soil in this area, the use of Shirazi model was overestimated compared to the actual data. The amount of this overestimation was measured in river terrace, loess plateau and hill type by 8.56, 14.66, and 10.6 times, respectively.

Keywords: Erodibility, Shirazi Model, Loess Soil, Golestan Province.