نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 2086-2078

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 2078-2086

بررسی شاخص فرسایش‌پذیری خاک در اراضی لسی حوزه آبخیز کچیک استان گلستان

حنیفه خرمایی[1]- فرشاد کیانی[2*]- فرهاد خرمالی[3]

تاریخ دریافت: 1395/05/04
تاریخ پذیرش: 1395/08/03

چکیده

روش‌هایی متفاوت برای ارزیابی شاخص فرسایش‌پذیری خاک وجود دارد که مهم‌ترین آن شاخص فرسایش‌پذیری ویشمایر و اسمیت است. این پژوهش با هدف بررسی میزان توانایی شاخص فرسایش‌پذیری ویشمایر و اسمیت در منطقه مورد مطالعه با توجه به مقادیر بالای سیلت و آهک خاک‌های لسی شرق استان گلستان و اختلاف منطقه مورد مطالعه از لحاظ درصد سیلت، آهک و بارندگی با مناطق شرق آمریکای مرکزی که این شاخص در آن‌ها ایجاد شده، شکل گرفته است. در این پژوهش فرسایش‌پذیری خاک به دو روش نموگراف ویشمایر و اسمیت و تعیین مقدار حقیقی آن انجام شد. در این راستا، سه کرت اندازه‌گیری انتخاب و مقدار فرسایش واقعی کرت‌ها در طی دو سال بارش با شدت‌های 5/7 الی 12/7 میلی‌متر بر ساعت اندازه‌گیری شد. شاخص ویشمایر و اسمیت در حدود 0/05 تا 0/092 مگاگرم در ساعت بر مگاژول در میلی‌متر به دست آمد. ارزیابی دقت شاخص ویشمایر از نتایج مقدار فرسایش واقعی (A) و نیز مقادیر به‌دست آمده با استفاده از مدل SWAT و دو شاخص فرسایش‌دهندگی، (R) مبتنی بر شدت بارش نیم‌ساعته و روش فورنیه انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص ویشمایر و اسمیت نسبت به مقدار واقعی فرسایش‌پذیری به‌دست آمده از کرت‌ها و شدت بارش نیم‌ساعته 182 برابر و با R فورنیه 4/11 برابر و این شاخص در اندازه‌گیری با مدل SWAT و شدت بارش نیم‌ساعته شش برابر و با شاخص فورنیه 0/35 برابر بدست آمد. نتایج به‌دست آمده برآورد بیشتر شاخص فرسایش‌پذیری ویشمایر و اسمیت در خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ضعف کارایی این شاخص در اراضی لسی، لزوم پژوهش بیشتر در این زمینه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: شاخص فورنیه، فرسایش، مدل USLE، نموگراف ویشمایر و اسمیت

مقدمه

یکی از مهمترین عوامل در جلوگیری از پدیده مخرب فرسایش، تعیین یک روش مناسب برای اندازه‌گیری میزان فرسایش‌پذیری خاک‌ها است. روش‌های مختلفی جهت اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک پیشنهاد شده و استفاده می‌شود. از جمله این روش‌ها، معادله ویشمایر و اسمیت[3] (18) است که به فرمول جهانی فرسایش معروف است. امروزه نیز به‌عنوان یک روش قابل توجه در اندازه‌گیری میزان فرسایش سالانه استفاده می‌شود (معادله 1). در معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)[4] تأثیر هر کدام از عوامل در فرسایش خاک را با یک عدد مشخص می‌کنند و میزان فرسایش از حاصل‌ضرب این اعداد به دست می‌آید (13).

$$A= R\times K\times L\times S\times C\times P \qquad (1)$$

که در آن: A، مقدار خاک فرسایش یافته بوسیله فرسایش ورقه‌ای و شیاری بر حسب جرم در واحد سطح و در واحد زمان است، که در سیستم انگلیسی بر حسب تن در ایکر در سال و در سیستم متریک تن در هکتار در سال می‌باشد، R، عامل بارندگی است که قدرت فرسایندگی باران را نشان می‌دهد، K، ضریب فرسایش پذیری خاک است. عددی است که حساسیت ذاتی خاک را مشخص می‌کند، L، عامل طول شیب است و عبارت است از نسبت فرسایش در طول شیب به فرسایش در همان زمین و همان شیب ولی با طول 72/6 فوت یا 22/1 متر، S، عامل شیب زمین است و عبارت است از نسبت فرسایش در شیب موجود در زمین به مقدار فرسایش در همان زمین و همان طول ولی با شیب 9 درصد (یا 5 درجه)، C، عامل پوشش گیاهی است و عبارت است از فرسایش حاصل شده در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد که در جهت شیب شخم خورده است، P، عامل حفاظت خاک بوده و عبارت است از نسبت فرسایش یک زمین حفاظت شده به مقدار فرسایش همان زمین که هیچ گونه عملیات حفاظتی در آن انجام نگرفته است یعنی کشت و کار در امتداد

1، 2 و 3- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک خاک، استادیار و استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: kiani@gau.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.57027
3- Wishmeier and smith
4- Universal Soil Loss Equation

ردیف‌های شیب است.

فرسایش‌پذیری خاک یکی از عوامل شش‌گانه مؤثر در فرسایش آبی در رابطه جهانی فرسایش خاک است. این عامل نشان دهنده سهولت جدا شدن ذرات خاک در اثر ضربه قطرات باران و نیروی رواناب است (15) و به‌عنوان یک خصوصیت ذاتی خاک بشمار می‌رود (8).

بنا بر تعریف ویشمایر و اسمیت (18) مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک عبارت است از نسبت فرسایش در منطقه به عامل بارندگی ($R=\sum EI_{30}$) در کرت استاندارد (کرت استاندارد عبارت است از زمینی با شیب 9 درصد، عرض 1/83 و طول 22/1 متر است که در جهت شیب شخم‌خورده و سطح آن بدون پوشش گیاهی و بقایای آن است) است ویشمایر و اسمیت (15) بر اساس همبستگی بین عامل فرسایش‌پذیری (K) و 5 خصوصیت فیزیکی خاک، یعنی درصد سیلت (0/05- 0/002) میلی‌متر+ شن خیلی ریز (0/1 - 0/05) میلی‌متر، در صد شن (2-0/1) میلی‌متر، مقدار مواد آلی، ساختمان خاک و نفوذپذیری نموداری برای برآورد میزان K ارائه نمودند که رابطه رگرسیونی این نموگراف در سیستم بین‌المللی به‌صورت زیر است:

$$K = \frac{2.1M^{1.14}\times10^{-4}\times(12-\%OM)+3.25(S-2)+2.5(P-3)}{100} \quad (2)$$

که در آن: K، عامل فرسایش‌پذیری خاک برحسب (مگا گرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر) است، M، حاصل‌ضرب مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز در (درصد رس- 100)، OM، درصد ماده آلی، S، کلاس ساختمان خاک و P، درجه نفوذپذیری نیمرخ خاک است.

در ایران نیز پژوهش‌هایی در مورد عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری صورت گرفته است. نموگراف فرسایش‌پذیری خاک را برای خاک‌های تقریباً غیرآهکی ارائه شده است (13)، در حالی‌که در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک ازجمله بیشتر نقاط ایران، آهک نقشی اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارد و لذا این نموگراف در اغلب مناطق ایران با وجود خاک‌های آهکی جوابگو نمی‌باشد. افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند فرسایش‌پذیری را کاهش دهد. بر اساس پژوهش‌های واعظی و همکاران (15) ویژگی‌هایی که تأثیر مثبت بر نفوذپذیری و پایداری ساختمان خاک داشتند، فرسایش‌پذیری خاک را کاهش دادند. از بین این ویژگی‌ها، آهک مانند ماده آلی با افزایش پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک موجب می‌شود قابلیت جدا شدن ذرات از یکدیگر کاهش و سرعت نفوذ آب به خاک افزایش و در نتیجه فرسایش‌پذیری خاک کاهش پیدا کند. فتوحی و همکاران (5) روش‌های مختلف درون‌یابی را در تخمین شاخص فرسایش‌پذیری خاک مورد ارزیابی قرار دادند و شاخص فرسایش‌پذیری در دشت سرلخت و دشت سر آپانداژ را اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ ساده در جهانی مدل کروی و همچنین روش کریجینگ معمولی مدل گوسی دارای بهترین برازش هستند و در مجموع دقت روش‌های مختلف کریجینگ در تخمین ضریب فرسایش‌پذیری خاک را از روش عکس مجذور فاصله بهتر ارزیابی کردند. مارتینززا و الا و جردن (9) با بررسی اثر اجزاء سنگ و سنگریزه در سطح خاک بر فرسایش‌پذیری خاک به وسیله شبیه‌ساز باران نشان دادند که پوشش سنگ و سنگریزه باعث افزایش نفوذپذیری خاک و در نتیجه کاهش فرسایش خاک می‌شود. دمیرسی و کارابرون (3) هدررفت خاک در ابخیز دریاچه بویوچک مس در شمال غرب ترکیه را با استفاده از مدل RUSLE برآورد کردند و اعلام نمودند شبیه‌سازی فرسایش‌پذیری با استفاده از این مدل به واقعیت بسیار شبیه است. در خاک‌های کشور به‌خصوص در اراضی لسی برآورد شاخص فرسایش‌پذیری خاک دارای اشکالاتی است. در خاک‌های لسی، سیلت بیشتری وجود دارد، بررسی‌ها نشان داده که هر چه مقدار سیلت خاکی بیشتر باشد فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات ویشمایر و مانرینگ (17) نشان می‌دهد که تغییر جزئی در درصد سیلت غالباً با تغییر قابل‌توجهی در مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک همراه است.

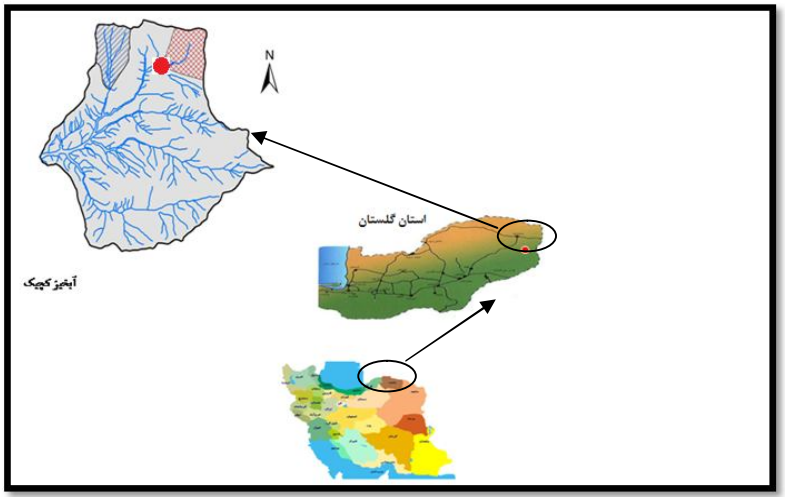
ابداع رابطه USLE و نمودار K در مناطق نیمه‌مرطوب ایالات متحده امریکا در خاک‌هایی انجام پذیرفته که دارای درصد کمی از آهک می‌باشند. وجود آهک در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیز خاک‌های لسی موجب تغییر در ضرایب فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد ارزیابی شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) در اراضی لسی یکی از نیازهای اجتناب‌ناپذیر در مطالعات فرسایش خاک بوده که هدف اصلی این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک دارای مساحتی در حدود 3600 هکتار است که خود زیرحوضه کوچکی از آبخیز قرناوه بوده و آبخیز قرناوه نیز یکی از زیرحوضه‌های چندگانه حوزه آبخیز گرگانرود محسوب می‌شود. این حوضه دارای حداقل ارتفاع 620 متر و حداکثر ارتفاع 1264 متر از سطح دریا است که در بین طول‌های جغرافیایی″10 و ′52 و°55 تا ″52 و′57 و°55 شرقی و عرض‌های جغرافیایی″ 15 و′42 و° 37 تا ″ 25 و′46 و °37 شمالی قرارگرفته است. در شکل (1) موقعیت حوزه آبخیز معرف و زوجی کچیک در ایران و استان گلستان نمایش داده شده است.

برای بررسی فرسایش‌پذیری خاک تعداد سه کرت به طول 15 متر و عرض پنج متر با شیب 16 درصد در کنار ایستگاه انتخاب شد. کرت‌ها به‌وسیله حصار فلزی به ارتفاع 30 سانتی‌متر از یکدیگر جدا شده بودند. شکل (2) موقعیت کرت‌ها در حوضه را نشان می‌دهد.



شکل 1- موقعیت حوضه آبخیز کچیک در ایران و استان گلستان

Figure 1- Location of Kechik watershed in Iran and Golestan Province

شکل 2- موقعیت کرت‌ها در کنار ایستگاه

Figure 2- Positions plots near the station

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های آزمایشگاهی نمونه‌برداری طی یک مرحله در مردادماه سال 89 از عمق‌های 30-0 صورت گرفت و نمونه‌ها و به آزمایشگاه منتقل شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عامل فرسایش‌پذیری خاک (k)، از نسبت مقدار هدررفت خاک (A) (تن در هکتار در سال) از کرت استاندارد در واحد عامل فرسایندگی (R) (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت در سال) مطابق معادله (3) استفاده شد (18):

$$K = \frac{A}{R} \qquad (3)$$

برای برآورد K براساس میانگین هندسی قطر ذرات و نیز برای تعیین رابطه بین ویژگی‌های خاک و K اندازه‌گیری شده درکرت‌ها، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی تعیین شدند. برای این منظور علاوه بر درصد ذرات معدنی، برخی ویژگی‌های دیگر (ماده آلی، آهک، سنگ‌ریزه، پتاسیم و پایداری خاکدانه اندازه‌گیری شدند. در آزمایشگاه تعیین درصد ذرات معدنی خاک (شن، سیلت و رس) به روش پیپت تعیین شد. ماده آلی (OM): توسط دی کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ اکسیداسیون آن صورت گرفته، سپس با استفاده از آمونیوم فرو سولفات نیم نرمال در مجاورت معرف ارتوفنانترولین با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (10). کربنات کلسیم معادل (آهک): به روش خنثی کردن مواد خنثی شونده با اسیدکلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود صورت پذیرفت (12).

پایداری خاکدانه‌ها بر اساس میانگین وزنی قطر (MWD) با روش الک تر در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نفوذپذیری، با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا اندازه‌گیری شد. برای محاسبه فرسایندگی باران از دو روش استفاده شد:

الف- شاخص EI_{30} ویشمایر و اسمیت (18) که در اکثر مطالعات برای محاسبه R از این روش استفاده نموده‌اند و برای این منظور مقدار بارندگی، از داده‌های باران ایستگاه‌های باران‌نگار واقع در حوضه

تعیین شد. انرژی جنبشی بر اساس معادله (4) به دست آمد.

$$KE= 11.87+ 8.73 \log_{10} I \quad (4)$$

که در آن: KE انرژی سینیتیک باران برحسب ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران و I شدت باران به میلی‌متر در ساعت است. ازحاصل‌ضرب انرژی جنبشی برحسب مگاژول بر هکتار در بیشترین شدت 30 دقیقه‌ای باران، شاخص فرسایندگی (EI_{30}) هر باران برحسب مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت تعیین شد. مقدار سالانه عامل فرسایندگی (R) نیز از جمع EI_{30}ها در سال، برحسب مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در هکتار به دست آمد.

ب- شاخص اصلاح‌شده فورنیه که مبتنی بر آمار و اطلاعات سهل‌الوصول بارندگی است. مطالعات انجام شده در خصوص مقایسه شاخص‌های مختلف فرسایندگی باران نشان دهنده همبستگی بالا بین شاخص بارش نیم‌ساعته ویشمایر و اسمیت (15) و شاخص فورنیه اصلاح شده (MF) است و این دو شاخص تقریب مناسبی از یکدیگر می‌باشند. در شاخص فورنیه فقط از عامل بارندگی استفاده می‌شود و به‌طور مستقیم متناسب با بارندگی متوسط ماهانه است (معادله 5).

$$MF = \frac{\sum_{i=1}^{12} Pi^2}{P} \quad (5)$$

که در آن: MF، شاخص اصلاح شده فورنیه، Pi، میانگین بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر و P، بارندگی سالانه در واحد میلی‌متر است. برای محاسبه شاخص فورنیه از مطالعات صورت گرفته در طی دوره آماری 20 ساله در حوضه گرگانرود استفاده شد. عامل فرسایش‌پذیری خاک از دو طریق مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. در مرحله اول عامل فرسایش‌پذیری (K) از طریق نموگراف ویشمایر و اسمیت تعیین شد، در مرحله دوم این عامل از طریق مقدار واقعی فرسایش در منطقه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مطالعات و تجزیه تحلیل‌های آماری با استفاده از جداول تجزیه واریانس (ANOVA) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.17 صورت گرفت و نتایج به وسیله نرم‌افزار Excel ارائه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه ویژگی‌های خاک نشان داد که خاک‌ها عمدتاً دارای بافت سیلتی لوم، دارای 20/29 درصد شن، 66/54 درصد سیلت و حدود 13/16 رس، با ماده آلی 2 درصد، و میزان آهک 16.6 درصد هستند. پایداری خاکدانه‌ها بر اساس MWD، در خاک‌های منطقه در حدود 0/8 میلی‌متر بود. نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (1) ارائه شده است.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

خصوصیات خاک Properties of soil	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	حداکثر Maximum	حداقل Minimum
سیلت (Silt)	7.4	66.54	75	54
شن (Sand)	2.75	20.29	26	16
رس (Clay)	1.86	13.16	20	7.5
شن خیلی ریز (Very fine sand)	2.7	16.16	23.6	10.45
آهک (Lime)	2.75	16.66	23.75	11.75
پایداری خاک (Aggregate stability)	0.14	0.82	1.14	0.58
ماده آلی (Organic matter)	0.141	2.05	4.02	0.33

بارش‌های موردمطالعه در حوضه کچیک

در سال آماری مورد مطالعه (1389-1390) تعداد 74 واقعه بارش اتفاق افتاد. حداقل شدت بارش رسوب‌زا 46 /3 میلی‌متر در ساعت و حداکثر آن 75 /12 میلی‌متر در ساعت بوده است. برای افزایش دقت مطالعه از اطلاعات بارش، رسوب و رواناب سال 83-82 برای کالیبره کردن داده‌ها استفاده شد. حداقل شدت بارش 2/98 میلی‌متر در ساعت و حداکثر آن 73/589 میلی‌متر در ساعت بوده است. بر اساس آمار موجود 1383-1382 سال پر بارش‌تری نسبت به سال مورد

مطالعه بوده و تعداد بارش منجر به رسوب در سال مورد مطالعه بیشتر بوده است.

شاخص فرسایش‌دهندگی باران از مجموع EI_{30} در طی سال 90-89 برابر با 48.66 مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال محاسبه شد. در حالی‌که شاخص فرسایش‌دهندگی باران از مجموع EI_{30} در طی سال 83-82 برابر با 47.67 مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال ارزیابی شد. با توجه به نقشه هم فرسایندگی باران، شاخص فرسایندگی از 22/65 میلی‌متر تا 91/27 میلی‌متر متغییر است. حوضه کچیک در محدوده خطوط هم فرسایندگی 60 میلی‌متر قرار دارد و با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه 824/58 مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال به‌دست آمد.

شاخص فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از نموگراف ویشمایر از 0/3868332 تا 0/7016265 به دست آمد و برای تبدیل واحد به سیستم متریک تقسیم بر 7/59 شد و پس از تبدیل واحد در رنج 0/05 تا 0/092 مگاگرم در ساعت بر مگاژول در میلی‌متر قرار گرفت. مقدار فرسایش‌پذیری خاک با قرار دادن مقدار واقعی فرسایش خاک در سال 90-89، 0.0003 تا 0/0022 و در سال 83-82، 0.015 مگاگرم ساعت بر مگاژول در میلی‌متر به دست آمد. این شاخص با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه (R) برابر با 0.017 مگاگرم ساعت بر مگاژول در میلی‌متر خواهد شد. و این شاخص با استفاده از داده‌های فرسایش مدل SWAT و شاخص اصلاح شده فورنیه (R)، 0/0121273 مگاگرم ساعت بر مگاژول در میلی‌متر و با استفاده از داده‌های فرسایش مدل SWAT و فرسایش‌دهندگی واقعی محاسبه شده برحسب شدت بارش نیم‌ساعته 0/0121273 مگاگرم ساعت بر مگاژول در میلی‌متر محاسبه شد.

نتایج جدول ماتریس همبستگی نشان داد که فرسایش‌پذیری خاک با سیلت همبستگی مثبت دارد که مطابق با نتایج پژوهش‌های ویشمایر و اسمیت (18) و قاسمی و محمدی (6) است (جدول 2).

جدول 2- ماتریس همبستگی عوامل مؤثر بر شاخص فرسایش‌پذیری خاک

Table 2- The correlation matrix of factors affecting soil erosion index

	MWD	Caco3	OM	Silt	Sand	Vfs	Clay	Fe_2O_3
MWD	1							
Caco3	0.209 ns:	1						
OM	0.607 ns	0.622 ns:	1					
Silt	-0.343 ns:	-0.947**	-0.830*	1				
Sand	-0.677 ns:	-0.509 ns:	-0.711 ns:	0.636 ns	1			
Vfs	-0.137 ns:	0.838 ns:	-0.616 ns:	0.805 ns:	0.24 ns:	1		
Clay	-0.005 ns:	0.082 ns:	0.163 ns:	-0.068 ns	0.16 ns	0.262 ns:	1	
Fe_2O_3	0.338 ns:	-0.506 **	-0.078 ns:	-0.028 ns:	0.09 ns:	0.197 ns:	0.595 ns:	1
K	-0.701 ns:	-0.570 ns:	-0.708 ns:	0.772*	0.985*	0.884*	-0.299	0.078 ns:

با توجه به نتایج بین مقدار رس و عامل فرسایش‌پذیری خاک در USLE همبستگی منفی وجود دارد و نرخ عامل فرسایش‌پذیری در خاک‌های لسی با کاهش مقدار رس افزایش می‌یابد. پایداری خاکدانه بیشتر تحت تأثیر مواد آلی در منطقه بوده و یک همبستگی منفی بین ضریب پایداری خاکدانه و فاکتور فرسایش‌پذیری خاک K وجود دارد. بر اساس نتایج جدول ماتریس همبستگی فرسایش‌پذیری خاک با آهک همبستگی منفی دارد که این همبستگی می‌تواند ناشی از تأثیر مثبت آهک بر پایداری خاکدانه و در نتیجه کاهش فرسایش‌پذیری خاک باشد که مطابق با نتایج پژوهش‌های کاسترو و لوگان (1)، دایکر و همکاران (4)، اورتس و همکاران (11)، چارمن و مورفی (2) است. اما برخلاف یافته‌های واعظی و همکاران (15) این تأثیر معنی‌دار نبود. واعظی و همکاران به این نتیجه رسیده بودند که پایداری خاکدانه و نفوذپذیری خاک دو ویژگی بسیار مهمی خاک هستند که تحت تأثیر مواد آهکی قرار گرفته اند به‌طوری که افزایش آهک باعث کاهش فرسایش‌پذیری شده است. بین مقدار SOC و خصوصیاتی از خاک مانند پایداری ساختمان خاک همبستگی مثبت وجود دارد این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد ماده آلی می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را اصلاح‌کرده و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش دهد.

بر اساس نتایج جدول همبستگی رابطه‌ای بین درصد خاکدانه‌های پایدار در آب و فرم آزاد آهن خاک وجود ندارد. نتایج جداول همبستگی نشان داد که فرسایش‌پذیری واقعی خاک تنها با خصوصیات فیزیکی خاک و میزان اجزاء ذرات خاک همبستگی نشان می‌دهد. همچنین، نتایج نشان داد بافت خاک متوسط و حاوی درصد سیلت غالب است که به دلیل وجود مواد مادری لسی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. ژانگ و همکاران (19) در مطالعه‌ای برای تخمین فاکتور K بر روی اراضی لسی در چین مقادیر شن، سیلت و رس را به ترتیب 19-76/7 درصد، 14/8-65/2 درصد و 5/2-15/8 درصد بدست آوردند که مقادیر شن بالاتر و مقادیر رس و سیلت پایین‌تر از مقادیر بدست آمده در حوضه کچیک بود. مطالعه شاخص

فرسایش‌پذیری ویشمایر توسط واعظی و همکاران (15) بر روی خاک‌های غیر لسی در غرب ایران صورت پذیرفت که در آن خاک‌ها مقادیر شن (30/48-80/24 درصد) و رس (20/42- 80/20) بیشتر و سیلت (80/20- 20/20) مقدار کمتری نسبت به منطقه کچیک داشت.

در بخش نتایج میزان فرسایش‌پذیری با استفاده از نموگراف فرسایش‌پذیری و خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه از 0/05 تا 0/092 مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر بدست آمد. واعظی و همکاران (15) با مطالعه بر خاک‌های آهکی غرب کشور میزان فرسایش‌پذیری را با استفاده از نموگراف فرسایش‌پذیری از 0/0254 تا 0/0492 مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر، ژانگ و همکاران (19) بر روی خاک‌های لسی چین، 0/0610 تا 0/0884 مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر، حسین و همکاران (7) در عراق 0/027 تا 0/069 مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر، رجمن و همکاران (14) میزان فرسایش‌پذیری خاک را در لهستان 0/0553 تا 0/083 و ویشمایر و همکاران (15) میزان فرسایش‌پذیری را برای خاک‌های با بافت سیلتی لوم 0/03 تا 0/69 مگاگرم ساعت بر مگاژول میلی‌متر برآورد نمودند. با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط محققین دیگر این میزان فرسایش‌پذیری بدست آمده در منطقه مورد مطالعه قابل قبول است. بر اساس نتایج بدست آمده میزان شاخص ویشمایر نسبت به مقدار واقعی فرسایش بدست آمده از کرت‌ها و شدت بارش نیم‌ساعته 182 برابر و با R فورنیه 4/11 برابر و این شاخص در اندازه‌گیری با مدل SWAT و شدت بارش نیم‌ساعته 6 برابر و با R فورنیه 0/35 برابر بدست آمد. مقدار فرسایش‌پذیری برآوردی نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده، در پژوهش رجمن و همکاران (14) در لهستان، ژانگ و همکاران (19) در چین، حسین و همکاران (7) در عراق و واعظی و همکاران (15) به ترتیب 6 تا 10، 3/3 تا 8/4، 10/9 تا 12/7 و 8/77 تا 10/98 برابر بدست آمده است. نتایج این پژوهش، ضعف کارایی نموگراف USLE در برآورد فرسایش‌پذیری خاک‌های منطقه را تأیید می‌کند. دلیل این مسئله را باید تفاوت در نوع عوامل و یا چگونگی تأثیر عوامل بر فرسایش‌پذیری در منطقه نسبت به محل ارائه نموگراف USLE در خاک‌های نواحی نیمه مرطوب جستجو کرد.

فرسایش‌پذیری خاک بدست آمده بر اساس آزمایش‌ها 0/35 تا 182 برابر کوچک‌تر از مقدار تخمین شده از نموگراف USLE است. این نتایج نشان می‌دهد پارامترهای مورد استفاده در تعیین شاخص فرسایش‌پذیری و نیز مقادیر روابط آن‌ها دچار کاستی‌هایی برای استفاده در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است لذا باید بر اساس خصوصیات خاک منطقه تصحیح صورت پذیرفته و یا از شاخص‌های استفاده شود. از عواملی که بر عدم توانایی این شاخص اثر می‌گذارد می‌توان به اندازه ذرات و مقدار آهک در خاک نام برد.

گزارش واعظی و همکاران (15) در ایران نیز نشان می‌دهد که نموگراف USLE از بررسی فرسایش‌پذیری در خاک‌های تقریباً غیر آهکی ارائه شده است در حالی‌که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، آهک نقشی اساسی در پایداری خاکدانه‌ها دارد. از سوی دیگر این نموگراف بر اساس باران‌های مناطق نیمه مرطوب آمریکای مرکزی، با ویژگی‌های باران (شدت و مدت) متفاوت از مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دست آمده است (13). بنابراین به نظر می‌رسد نتایج بدست آمده از نموگراف در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، عامل فرسایش‌پذیری (K) را بیشتر از مقدار حقیقی آن نشان خواهد داد. این نتایج، یافته‌های رجمن و همکاران (14) و حسین و همکاران (7) مبنی بر این‌که نموگراف USLE، فرسایش‌پذیری خاک را بسیار بزرگ‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده برآورد می‌کند را تأیید می‌کند زیرا در مدل فرسایش خاک USLE باران با استفاده از باران مصنوعی است و با توجه به باران‌های موجود در مناطق شرق آمریکای جنوبی با بارندگی به شدت 63/5 در ساعت اعمال می‌گردد. چنین بارانی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران غیر محتمل است، بنابراین به نظر می‌رسد که اعداد بدست آمده به وسیله این فرمول برای مناطق ضریب K را بیشتر از مقدار حقیقی آن نشان خواهد داد. ابداع این فرمول در مناطق نیمه مرطوب ایالات متحده امریکا در خاک‌هایی انجام پذیرفته که تقریبا عاری از آهک بودند. احتمال دارد آهک خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک نقش سازنده‌ای در استحکام خاکدانه و ثبات آن‌ها دارد در روش تجزیه مکانیکی توسط هیدرومتر به علت پراکنده شدن ذرات کلوئیدی جزء بخش شن ریز و لای قلمداد گردد و در نتیجه این امر منجر به بزرگ شدن اعداد K شود.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که نموگراف فرسایش‌پذیری ویشمایر و اسمیت جهت بررسی فرسایش‌پذیری در خاک‌های تقریباً غیر آهکی با میزان سیلت محدود ارائه شده است در حالی‌که در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک لسی استان گلستان، آهک و سیلت نقشی اساسی در فرسایش‌پذیری و پایداری خاکدانه‌ها دارد. پایداری خاکدانه و نفوذپذیری دو ویژگی فیزیکی بسیار مهم خاک از نظر فرسایش-پذیری می‌باشند که تحت تأثیر ماده آلی و آهک قرار می‌گیرند. ویژگی‌های خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه یا نفوذپذیری خاک و یا هر دو شوند، نقش مهمی در کاهش فرسایش‌پذیری خواهند داشت. آهک از جمله این ویژگی‌ها است که مانند ماده آلی در کاهش فرسایش‌پذیری در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک نقش دارد. از سوی دیگر این نموگراف براساس باران‌های مناطق نیمه مرطوب آمریکای مرکزی، با ویژگی‌های باران (شدت و مدت) متفاوت از مناطق مورد مطالعه به‌دست آمده است، زیرا در این فرمول‌ها باران‌های موجود در مناطق شرق آمریکای مرکزی با بارندگی با شدت 63/5 میلی‌متر در

ساعت به مدت 2 ساعت متوالی اعمال می‌گردد در حالی که چنین بارانی در منطقه مورد مطالعه کمتر محتمل است بنابراین به‌نظر می‌رسد که اعداد پیدا شده به وسیله این فرمول برای مناطق مشابه منطقه مورد مطالعه، ضریب K را بیشتر از مقدار حقیقی آن نشان می‌دهد. به طوری‌که فرسایش‌پذیری خاک بدست آمده بر اساس آزمایش‌ها 0/35 تا 182 برابر کوچک‌تر از مقدار تخمین شده از نموگراف E است. این نتایج نشان می‌دهد پارامترهای مورد استفاده در تعیین شاخص فرسایش‌پذیری و نیز مقادیر روابط آن‌ها دچار کاستی‌هایی برای استفاده در خاک‌های منطقه مورد مطالعه است لذا باید بر اساس خصوصیات خاک منطقه تصحیح صورت پذیرفته و یا از شاخص‌های مؤثر در منطقه استفاده شود. پیشنهاد می‌شود نقش اندازه ذرات و مقدار آهک در خاک‌های لسی در مطالعات آتی بررسی شود.

منابع

1- Castro C.F., and Logan T.J. 1991. Limming effects on the stability and erodibility of som Brazilian oxisols. American journal of soil science society, 55: 1407-1413.
2- Charman P.E.V., and Murphy B.W. 2000. Soils (their properties and management). Second, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford. Pp: 206-212.
3- Demirci A., and Karaburun A. 2012. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. Journal of Environ Earth Science, 66: 903–913.
4- Duiker S. W., Flanagan D. C., and Lal R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. Journal of Catena, 45: 103-121.
5- Fotouhi Firozabadi F., Azimzadeh H.R., and Talebi A. 2014. Comparative Evaluation of interpolation methods of estimation of soil erodibility factor of Universal Soil Loss Equation (Case study: Yazd- Ardakan plain). Journal of Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) 103: 12-21. (In Persian)
6- Ghasemi A., and Mohammadi J. 2003. Study of spatial variation of soil erodibility, a case study in Cheghakhor watershed in Chaharmahal-e-Bakhtiyari province. Proceedings of the Eighth .Soil Science Congress, Rasht, Iran. 864-865. (In Persian).
7- Hussein M., Kariem H., and Othman A. K. 2007. Predicting soil erodibility in northern Iraq natural runoff data. Journal of soil & tillage reserch, 94: 220-228.
8- Lei T. W., Zhang Q. W., Yan L. J., Zhao J., and Pan Y. H. 2008. A rational method for estimating erodibility and critical shear stress of an eroding rill. 144. Pp: 628-633.
9- Martinez-Zavala L., and Gordan A. 2008. Effect of rock fragment cover on interrill soil erosion from bare soils in Western Andalusia, Spain.journal of Soil Use and Management, 24: 108-117.
10- Nelson R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Methods of Soil Analysis. Part II. Page, A. L. (Ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
11- Orts J. W., SoJka R. E., and Glenn G. M. 2000. Biopolymer additives to reduse erosion- induced soil losses during irrigation. Journal of Industrial Crops and product, 11: 19-26.
12- Page A. L., Miller R. H., and Keeney D. R. 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, second ed. Agronomy and OJima, D. S., 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. American journal of soil science society, 51: 1173- 1179.
13- Refahi H.Gh. 2006. Water erosion and conservation. University of Tehran. 22(5): 671. (In Persian)
14- Rejman J., Turski R., and paluszek J. 1998. Spatial and temporal variability in erodibility of loess soil. Journal of soil & tillage research. 46: 61- 68.
15- Vaezi A.R., Sadeghi S.H.R., Bahrami H.A., and Mahdian M.H. 2008. Modeling the usle k_factor for calcareous soils in northwestern. Iran. Journal of Geomorphology. 97: 414-423.
16- Veihe A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. Journal of Geoderma, 106: 101-120.
17- Wischmeier W. H., and Mannering J.V. 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. Journal of Soil and Water Conservation. 20.
18- Wischmeier W.H., and Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington DC.
19- Zhang K., Li S., Peng W., and Yu B. 2004. Erodibility of agricultural soils on the loess plateau of China, Journal of soil and tillage rasearch, 76(2):157-165.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 2078-2086

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 2086-2078

Evaluation of Soil Erodibility Factor (k) for Loess Derived Landforms of Kechik Watershed in Golestan Province

H. Khormai[1] - F. Kiani[2]*- F. Khormali[3]

Received: 25-07-2016
Accepted: 24-10-2016

Introduction: Globally, Soil erosion is a principal degradation process resulting in negative impacts on different soil functions (food and other biomass production, water storing, filtering and transformation, habitat and gene pool, physical and cultural environment for mankind, and source of raw materials) which ultimately causes irreversible effect on the poorly renewable soil resource. Determination of the soil erodibility factor (*K-factor*) is a cumbersome and expensive undertaking in the effort to predict the soil loss rates. Soil erodibility (K-value) is a key parameter in erosion prediction and is important for conservation planning in the face of a rising need for protecting the limited land resources. The technique proposed by Wischmeier& Smith for estimating the soil erodibility factor is among the most important methods in this regard.

Materials and Methods: Given the high amounts of silt and lime content in loess soils of eastern parts of Golestan province, the purpose of this study was to evaluate the ability of Wischmeier& Smith index to estimate the soil erodibility of this region. In this study, soil erodibility was obtained by Wischmeier's nomograph and then was compared with the actual values obtained by selecting three plots and then performing physical and chemical tests on these samples. The Universal Soil Loss Equation (USLE) developed by Wischmeier and Smith (1978) is the most frequently used empirical soil erosion model worldwide. Soil erodibility is one of six factors affecting soil erosion in the USLE that reflects the ease with which soil is detached by splash during rainfall, surface flow or both. To check soil erosion, three plots of 15 meters long and three meters wide with a slope of 16 percentwere selected in the next sites of the station. The plots were separated by metal fences to a height of 30 cm,.To measure the soil profile parameters, the sampling was performedin one stage from depth of0-30 cm in the middle of July 2010 and the samples were transported to the laboratory. The erosion Wischmeier& Smith Index (A), as well as those obtained by SWAT model and two obvious erosion indices of (R) and Fournier was Carefully evaluate based on the half-hour rainfall intensity.

Results and Discussion: The analysis of soil profile parameters showed that the soilsweremostly silty loamwith 20.29%sand, 66.54% silt and 13.66% clay, with 2% organic matter and 16.6% $CaCO_3$. The soil aggregate stability expressed as MWDwas about 0.8 mm. Overal, 74 rainfallsoccurredin 2010-2011. The minimum and maximum intensities of deposit-producing rainfalls were 2.98 and 73.589 mm h^{-1}, respectively. Using the nomograph, Wischmeier index was calculated to 0.05-0.092 Mg h MJ^{-1} mm^{-1}. The results showed that Wischmeier index was 182 times the actual value of erosion obtained from plots and half-hour rainfall intensity and 4.11 times that value while considering Fournier index (R); this parameter was also 6 times the value obtained by SWAT model and half-hour rainfall intensity and 0.35 times that value while considering Fournier index. According to the results,there was a negative correlation between clay and soil erodibility factor in USLE, so the rates of erosion in loess soils increases with the decrease in the clay content. Aggregate stability was affected by organic matter content and there was a negative correlation between aggregate stability and the K-factor. The results showed that the soil mostly contained silt and had a medium texture. This is due to the presence of loess parent materials in the soils of the study area. Based on the laboratory results, the actual soil erodibility was0.35 to 182 times smaller than the value estimated by USLE nomograph. The results showed that the parameters used in determining soil erodibility index have shortcomings for use in the soils of the study area. Therefore, corrections must be done according to soil characteristics or other indicators should be used. The particle size and the amount of lime in the soil are two factors that affect the index.

Conclusion: The obtained results showed that the erodibility estimated by Wischmeier& Smith index was higher than the actual measured value. Also,Wischmeier &Smith's nomographhas been proposed by assessing the erodibility of almost non- calcareous soils with limited amount of silt. While in arid and semiarid loess soils of Golestan province, limestone and siltstone have key roles in erodibilityand aggregate stability. On the other hand, the nomograph is based on rainfalls of semi-humid areas of Central America that are different from rain

1, 2 and 3- M.Sc. Graduated, Assistant Professor and Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Soil Science, Golestan, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: Kiani@gau.ac.ir)

characteristics (intensity and duration) of the study area. Poor performance of this index in loess soils indicates the need for further research in this field.

Keywords: Erosion, Fournier index, USLE model, Wischmeier & Smith nomograph