

پیش‌بینی فرسایش خاک بر اساس رابطه جهانی فرسایش در کشتزارهای دیم ناحیه نیمه‌خشک شمال غربی ایران

علیرضا واعظی^۱، حسینعلی بهرامی^۲، سید حمید رضا صادقی^۳ و محمد حسین مهدیان^۴

چکیده

فرسایش آبی مشکل اساسی زمین‌های کشاورزی به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک است. این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی مقدار فرسایش براساس رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE)، یافتن خطای پیش‌بینی، تعیین تغییرات مکانی فرسایش خاک و ارائه نقشه آن انجام گرفت. آزمایش در منطقه‌ای کشاورزی به ابعاد ۳۰ کیلومتر در جنوب استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۸۴ انجام پذیرفت. در سطح منطقه، ۳۶ کشتزار دیم تحت آیش واقع در شیب‌های یکنواخت ۹ درصد که در جهت شیب شخم خورده و بدون پوشش گیاهی بودند، انتخاب شدند. فرسایش خاک از مقدار هدررفت خاک در رخدادهای طبیعی باران طی سال، اندازه‌گیری و نیز بر اساس USLE از حاصل ضرب عوامل فرساینده‌گی باران، فرسایش پذیری خاک و طول شیب پیش‌بینی شد. مقدار عامل فرساینده‌گی باران در سطح منطقه برابر ۴۴۸/۷۰۷ مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال بود. میانگین مقدار عامل فرسایش پذیری و طول شیب به‌ترتیب ۰/۰۳۶۰ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر و ۱/۵۱۹ بود. مقدار سالانه فرسایش خاک پیش‌بینی شده (۲۴/۶۲۱ تن در هکتار) به‌طور میانگین ۱۰/۹۸ برابر بزرگتر از مقدار اندازه‌گیری شده (۲/۸۸۸ تن در هکتار) بود. شعاع تاثیر تغییرات مکانی فرسایش پیش‌بینی شده (۴/۵ کیلومتر) بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده (۲/۴ کیلومتر) بود. مقدار فرسایش پیش‌بینی شده در سطح منطقه بزرگتر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. تفاوت مذکور به دلیل خطاهای برآورد عوامل موثر در پیش‌بینی فرسایش (R، K و L) می‌باشد. این پژوهش نشان داد که USLE دقت لازم در پیش‌بینی فرسایش خاک در نواحی نیمه‌خشک را ندارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی فرسایش، تغییرات مکانی، ناحیه نیمه‌خشک، نقشه فرسایش خاک

۱. استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

۲. دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴. استادیار پژوهش سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی وزارت کشاورزی، تهران

مقدمه

خاک با وجود آن‌که یک منبع طبیعی قابل تجدید است لیکن سرعت تشکیل آن در بسیاری موارد کمتر از سرعت فرسایش است. این حقیقت به ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک بسیار آشکار است. در این نواحی سرعت تشکیل خاک تقریباً ناچیز است (دسایر و ماری، ۲۰۰۶). گزارش‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که حدود ۱۷ درصد از کاهش تولیدات کشاورزی در جهان به دلیل فرسایش خاک بوده است (آنژیما و همکاران، ۲۰۰۳). گزارش‌ها نشان می‌دهد که فرسایش آبی به عنوان یک مشکل اساسی در حوزه‌های آبخیز کشور است که مقدار ویژه آن بین ۸ تا ۱۶ تن در هکتار در سال است. (مهدیان، ۱۳۸۴). این پدیده به عنوان یکی از مهم‌ترین علل کاهش محصول در خاک‌های ایران است (رفاهی، ۱۳۷۵). بنابراین با توجه به اهمیت خاک در تولیدات کشاورزی و زمان طولانی تشکیل آن، جلوگیری از هدررفت آن به منظور افزایش تولید به ویژه در کشتزارهای دیم نواحی نیمه‌خشک ضروری است. در این راستا پیش‌بینی مقدار فرسایش و ارزیابی عوامل عمده موثر بر آن به عنوان نخستین گام در ارائه راهکاری مناسب برای کاهش فرسایش خاک است (مورگان، ۱۹۹۵).

یکی از روش‌هایی که به طور گسترده برای پیش‌بینی و تعیین عوامل موثر بر فرسایش آبی استفاده می‌شود رابطه جهانی فرسایش خاک^۱ یا USLE (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸) است. سادگی بسیاری از متغیرهای موجود در این رابطه سبب شده است تا USLE به عنوان گسترده‌ترین روش برآورد هدررفت خاک مورد پذیرش باشد (شواب و همکاران، ۱۹۸۱). در این رابطه، مقدار فرسایش (A) تحت تاثیر شش عامل فرساینده باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، طول شیب (L)، درجه شیب (S)، پوشش گیاهی (C) و کارهای حفاظتی (P) قرار دارد (تجدا و گونزالز، ۲۰۰۶). شکل کلی این معادله به صورت زیر است:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

از آن‌جا که C، S، L و P بدون واحد می‌باشند چنان‌چه K بر حسب $t \text{ h/MJ mm}$ (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) و R بر حسب MJ mm/ha h year (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال) باشد مقدار فرسایش (A) بر حسب $t/\text{ha year}$ (تن در هکتار سال) خواهد بود. پژوهش‌های مختلفی در مورد پیش‌بینی و اندازه‌گیری فرسایش خاک انجام گرفته است. بررسی‌ها در کنیا نشان می‌دهد که مقدار فرسایش پیش‌بینی شده بر اساس RUSLE (نسخه تصحیح شده رابطه جهانی فرسایش خاک^۲)، در شرایطی که مقدار عامل طول-درجه شیب (LS) بین صفر تا ۱۰ و ۲۰ تا ۳۰ باشد، به ترتیب ۱۳۴ و ۵۴۹ تن در هکتار در سال می‌باشد (آنژیما و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز بریموند در استان کرمانشاه نشان دادند که بیش‌ترین مقدار فرسایش در کشتزارهای دیم (حدود ۲۱/۱۱ تن در هکتار در سال) و کم‌ترین آن در کشتزارهای آبی (حدود ۷/۳۹ تن در هکتار در سال) است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴). بررسی اثر بهره‌برداری بهینه اراضی در مقدار فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سد قشلاق در استان کردستان نشان داد که شدت فرسایش و رسوب‌دهی در کشتزارهای دیم بیش‌ترین (۵۳۱/۷۱ مترمکعب در کیلومترمربع در سال) است (چپی و خالدیان، ۱۳۸۴). ارزیابی توان فرسایشی خاک با استفاده از RUSLE در کلمبیا نشان داد که در فصل خشک، ۱۱ درصد اراضی دارای توان فرسایشی ۳/۵ تن در هکتار در فصل هستند و در فصل مرطوب مقدار آن به ۲۸ درصد افزایش می‌یابد (هویوس، ۲۰۰۵). بررسی فرسایش در حوزه آبخیز یکانات شهرستان مرند نشان داد که مقدار رسوب ویژه ۵/۲۵ تن در هکتار در سال است (شهبازی‌کیا و همکاران، ۱۳۸۴). بررسی تاثیر مالچ گندم بر رواناب و هدررفت خاک در دیمزارهای گندم نشان داد که در شیب‌های ۱۱، ۱۶ و ۳۰ درصد با افزایش شیب، مقدار رواناب به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد. هم‌چنین تاثیر مالچ گندم در کاهش فرسایش در تمامی شیب‌ها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (بیات موحد و نیک‌کامی،

گرفته شد. برای پیش‌بینی مقدار فرسایش در کشتزارها از رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE) استفاده شد. با توجه به این‌که مطالعه هم‌زمان عوامل موثر بر فرسایش آبی در USLE در صحرا کاری سخت می‌باشد، لازم بود شیب‌های یکنواخت و هم‌جهت که از نظر شرایط پوشش گیاهی (C) و کارهای حفاظت خاک (P) یک‌سان باشند، در نظر گرفته شوند. برای این منظور ابتدا پس از تهیه نقشه شیب‌های ۹ درصد با نرم افزار ۳-Ilwis، با بازدیدهای صحرائی، کشتزارهای دیم تحت آیش دارای شیب یکنواخت ۹ درصد و رو به جنوب در هر شبکه در نظر گرفته شدند. در آغاز بهار ۱۳۸۴ پس از شخم زمین‌های مذکور، از بین آن‌ها یک کشتزار که در جهت شیب شخم خورده و سطح آن بدون پوشش گیاهی بود، انتخاب و محل آن با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی^۱ (GPS) مشخص شد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل کشتزارهای دیم انتخاب شده را نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری مقدار فرسایش، سه تکرار کرت فرسایشی به عرض ۱/۸۳ متر در امتداد شیب و در طول شیب زمین با فاصله ۱/۵ متر از هم ایجاد شد و در انتهای آن‌ها محفظه‌های جمع‌آوری رواناب و رسوب قرار داده شد. مقدار هدررفت خاک در اثر فرسایش آبی در رخدادهای مختلف باران طبیعی منجر به رسوب طی سال ۱۳۸۴ اندازه‌گیری شد. هم‌چنین بر اساس USLE، از آنجا که مقدار هر یک از عوامل S، C و P بر هدررفت خاک در تمامی کشتزارها در سطح منطقه (۳۶ کشتزار) یک‌سان و برابر ۱ بود، مقدار هدررفت خاک از حاصل‌ضرب عامل فرساینده باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K) و طول شیب (L) پیش‌بینی شد.

برای بررسی توزیع مکانی باران در منطقه از داده‌های چهار ایستگاه باران‌سنجی واقع در سطح منطقه استفاده شد. ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ از نوع باران‌سنج معمولی و ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه ۱۷ از نوع باران‌نگاری بود.

۱۳۷۶). برآورد فرسایش خاک با استفاده از RUSLE در حوزه زیارت از زیر حوزه‌های قره‌سو در گرگان با متوسط شیب ۴۸ درصد نشان داد که میانگین مقدار فرسایش خاک برابر ۷/۵ تن در هکتار در سال است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

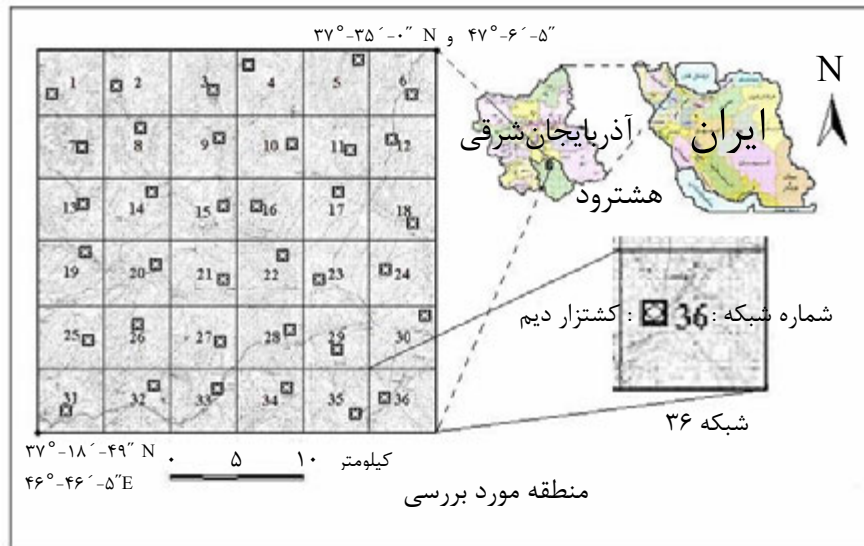
به‌طور کلی کشتزارهای دیم نقشی مهم در تامین نیاز غذایی در کشور دارند. پیش‌بینی مقدار فرسایش در این کشتزارها به منظور ارائه راهکاری مناسب برای مهار آن حائز اهمیت است. تاکنون مطالعه‌ای دقیق در مورد مقدار فرسایش در خاک‌های منطقه انجام نگرفته است. این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک بر اساس USLE، تعیین خطای پیش‌بینی، تعیین تغییرات مکانی و ارائه نقشه فرسایش خاک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، شهرستان هشتگرد واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی در شمال‌غربی ایران انتخاب شد. این منطقه بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، دارای آب و هوای نیمه خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است و مدت ۴ تا ۵ ماه از سال پوشیده از برف است. بر اساس منحنی آمبروترمیک منطقه و نقشه بیوکلیماتیک ایران، این منطقه جز اراضی استپی سرد است. خاک منطقه عمدتاً در شیب‌های بین ۵ تا ۱۵ درصد قرار گرفته است (حکیمی، ۱۳۶۵). خاک‌ها اغلب زیر کشت دیم گندم قرار دارند. وقوع بارندگی‌های فصلی به ویژه در اواخر زمستان و اوایل بهار با به وجود آوردن رواناب‌های سطحی، فرسایش زیادی را در این خاک‌ها موجب می‌شود. بازدیدهای صحرائی نشان داد که آتش زدن بقایای گیاهی و شخم در جهت شیب از عوامل تشدید فرسایش آبی در کشتزارهای دیم هستند.

برای اجرای پژوهش، منطقه‌ای کشاورزی به ابعاد ۳۰ کیلومتر واقع در ۳۷° ۱۸' ۴۹" تا ۳۷° ۳۵' ۰۰" عرض شمالی و ۴۶° ۴۶' ۵" تا ۴۷° ۶' ۵۵" طول شرقی در شهرستان هشتگرد انتخاب شد. در سطح منطقه مورد بررسی بر اساس نقشه قابلیت اراضی منطقه (بی‌نام، ۱۳۵۲)، ۳۶ شبکه مربعی به ابعاد ۵ کیلومتر در نظر

1. Global Position System



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل کشتزارهای دیم انتخاب شده

برای تعیین K ، نفوذپذیری خاک بر اساس سرعت نفوذ نهایی با روش استوانه‌های مضاعف در صحرا (لال و شوکلا، ۲۰۰۴) اندازه‌گیری شد. کلاس نفوذپذیری خاک از جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) تعیین شد. برای تعیین درصد سیلت، درصد شن بسیار ریز، درصد رس، درصد ماده آلی (a) و گروه ساختمان (b)، نمونه‌برداری از خاک انجام گرفت. برای این منظور از هر کرت ۳ نمونه خاک به طور تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. نمونه‌های هر قطعه با هم مخلوط و یک نمونه مرکب از هر کرت به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه درصد ذرات معدنی خاک به روش پیپیت (SSEW، ۱۹۸۲)، ماده آلی به روش والکلی بلاک (نلسون و سامرز، ۱۹۸۲) و آهک بر اساس مقدار مواد خنثی شونده (TNV) به روش حجمی، از واکنش خنثی-سازی با اسیدکلریدریک (گوه و همکاران، ۱۹۹۳) تعیین شدند. کد ساختمان خاک نیز بر اساس اندازه و شکل خاکدانه‌ها از جدول پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) تعیین شد. برای تعیین عامل طول شیب (L)، طول شیب کشتزارها بر حسب متر اندازه‌گیری شد و L بر اساس نظر ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) از رابطه زیر به دست آمد:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad (4)$$

برای تعیین R ، از داده‌های باران ایستگاه باران‌نگاری استفاده شد. مقدار عامل فرسایندهگی (R) بر اساس شاخص فرسایندهگی (EI_3)، از حاصل‌ضرب انرژی جنبشی باران (E) و بزرگ‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آن (I_3) به دست آمد. مقدار KE نیز از رابطه زیر (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸) محاسبه شد:

$$KE = 210/3 + 87 \log_1 I \quad (2)$$

که در آن KE انرژی جنبشی باران به ازای ارتفاع بارش ($J/m \text{ cm}$) و I شدت بارندگی (cm/h) است.

بر اساس داده‌های منحنی باران‌نگاری طی دوره انجام پژوهش، ۶۱ رخداد باران با مدت بیش‌تر از ۳۰ دقیقه اتفاق افتاد. جدول ۱ میانگین ویژگی‌های باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه طی سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد.

عامل فرسایش‌پذیری خاک، از روش پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) مطابق رابطه رگرسیونی زیر تعیین شد:

$$K = 2/8 \times 10^{-7} M^{1/4} (12-a) + 4/3 \times 10^{-3} (b-2) + 3/3 \times 10^{-3} (c-3) \quad (3)$$

که در آن K ، عامل فرسایش‌پذیری بر حسب $t \text{ h/MJ}$ از ضرب مجموع درصد سیلت و شن بسیار ریز در ۱۰۰ منهای درصد رس به دست می‌آید، a درصد ماده آلی، b گروه ساختمان و c کلاس نفوذپذیری نیم‌رخ خاک است.

جدول ۱: میانگین ویژگی‌های باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه طی سال ۱۳۸۴

تاریخ	مدت باران (ساعت)	ارتفاع باران (میلی‌متر)	شدت باران (میلی‌متر در ساعت)	بیش‌ترین شدت ۳۰ دقیقه (میلی‌متر در ساعت)	انرژی جنبشی باران (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر)
کم‌ترین	۰/۵	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۰۰۳۶
بیش‌ترین	۱۰/۵	۱۷/۸۵	۱۳/۷۸	۲۵/۰۰	۷/۴۷۸۴۵
میانگین	۱/۹۱	۴/۱۵	۲/۷۳	۵/۰۴	۷۳/۴۰۲۰۴

که در آن λ طول شیب و m ضریب وابسته به شیب است که مقدار آن در شیب‌های بیشتر از ۵ درصد برابر ۰/۵ است. برای تجزیه و تحلیلی آماری، تفاوت بین مقدار باران در ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارندگی و نیز تفاوت بین مقدار فرسایش در کشتزارها با آزمون دانکن بررسی شد. تفاوت بین مقدار فرسایش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نیز با آزمون تی^۱ تعیین شد. برای انجام امور آماری از نرم‌افزار SPSS-13 استفاده شد. برای بررسی تغییرات مکانی و تهیه نقشه فرسایش از زمین آمار^۲ استفاده شد. در این روش الگوی تغییرات با تغییرنما^۳ بیان شد و برای میان‌یابی^۴ فرسایش، روش کریجینگ^۵ به کار گرفته شد. این روش رایج‌ترین تخمین‌گر زمین‌آمار است (حسنی پاک، ۱۳۷۷) که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار^۶ استوار است و به دلیل حداقل کردن واریانس خطا با برآورد ناریب، کاربردی زیاد دارد (پلهمن، ۱۹۹۳). برای این منظور از نرم افزار GS+ استفاده شد.

مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) در خاک‌های مورد بررسی از ۰/۰۲۵۴ تا ۰/۰۴۹۲ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر تغییر کرد و به طور میانگین برابر ۰/۰۳۶۰ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بود. میانگین طول شیب در کشتزارهای مورد بررسی برابر ۵۲/۱ متر بود. مقدار عامل طول شیب (L) نیز از ۱/۱۳۴ تا ۱/۹۸۶ تغییر کرد و به طور میانگین برابر ۱/۵۱۹ بود. بر اساس نتایج، مقدار فرسایش خاک پیش‌بینی شده در کشتزارهای مورد بررسی برابر ۱۳/۱۵۵ تا ۴۲/۷۸۶ تن در هکتار در سال تغییر کرد و میانگین آن در منطقه برابر ۲۴/۶۲۱ تن در هکتار در سال بود. بین مقدار فرسایش خاک پیش‌بینی شده در کشتزارهای مختلف، تفاوتی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود داشت. مقدار فرسایش خاک اندازه‌گیری شده نیز از ۰/۴۶۰ تا ۵/۲۶۴ تن در هکتار در سال تغییر کرد و میانگین آن در خاک‌های مورد بررسی ۲/۸۸۸ تن در هکتار در سال بود. بین

نتایج مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارندگی واقع در شبکه‌های ۰، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۳۱۸، ۳۳۲، ۳۲۷ و ۳۱۱ میلی‌متر بود. میانگین سالانه مقدار بارندگی در ایستگاه‌ها برابر ۳۲۲ میلی‌متر بود. بررسی تفاوت مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه‌های بارندگی نشان داد که مقدار P-Value برابر ۰/۱۳۶ است. در حقیقت مقدار بارندگی در ایستگاه‌ها تفاوتی معنی‌دار

1. T test
2. Geostatistics
3. Variogram
4. Interpolation
5. Kriging
6. Weighted moving average

اندازه‌گیری شده در کشتزارهای منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

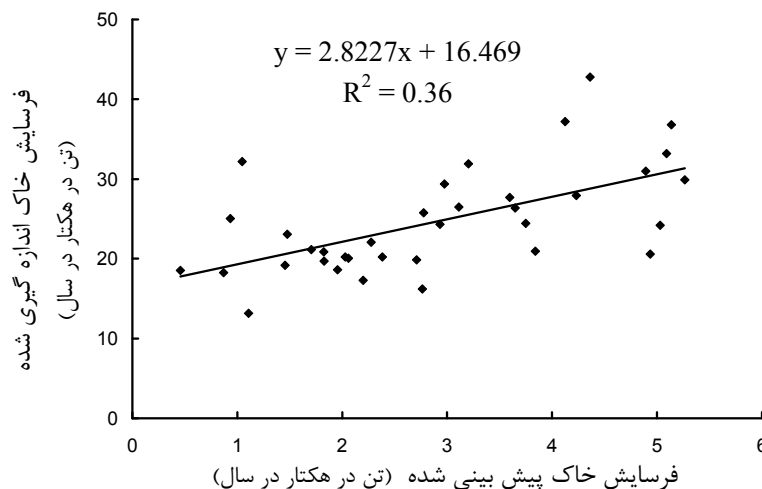
بر اساس نتایج، تغییرات مکانی فرسایش پیش‌بینی شده از مدل کرووی با شعاع تاثیر ۴/۵ کیلومتر و اثر قطعه‌ای ۵/۵ و آستانه ۴۳/۰۱ پیروی کرد. الگوی تغییرات مکانی فرسایش اندازه‌گیری شده نیز با مدل کرووی با شعاع تاثیر ۲/۴ کیلومتر و اثر قطعه‌ای ۰/۲۷ و آستانه ۲/۱۳ شبیه‌سازی شد. شکل ۳ تغییر نما و مدل برآزشی فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. خطای تغییرات مکانی بر اساس نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه، در هر دو مورد پایین و به ترتیب ۱۲/۷ و ۱۲/۸ درصد بود.

مقدار فرسایش خاک اندازه‌گیری شده در کشتزارهای مختلف نیز تفاوتی معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ وجود داشت.

جدول ۳ عامل فرساینده‌گی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک، طول شیب و عامل طول شیب و فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در کشتزارهای واقع در شبکه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، مقدار فرسایش خاک پیش‌بینی شده به طور میانگین ۱۰/۹۸ برابر بزرگتر از مقدار فرسایش خاک اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد بررسی بود. بین فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی همبستگی ضعیفی ($R^2 = 0.36$ و $p < 0.01$) وجود داشت. شکل ۲ همبستگی بین فرسایش خاک پیش‌بینی شده و

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

ویژگی فیزیکی	شن درشت (%)	شن بسیار ریز (%)	سیلت (%)	رس (%)	سرعت نفوذ (سانتی‌متر در ساعت)
میانگین	۱۹/۲	۱۷/۸	۳۱/۷	۳۲/۳	۳/۶
انحراف معیار	۵/۱	۳/۲	۷/۱	۵/۷	۱/۲
ویژگی شیمیایی	ماده آلی (%)	آهک (%)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پ.هاس یا اسیدیته	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
میانگین	۱/۱	۱۲/۷	۳۱۴/۷	۷/۸	۰/۸
انحراف معیار	۰/۲	۳/۱	۲۵/۴	۰/۲	۰/۲



شکل ۲: همبستگی بین فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در کشتزارهای منطقه مورد بررسی

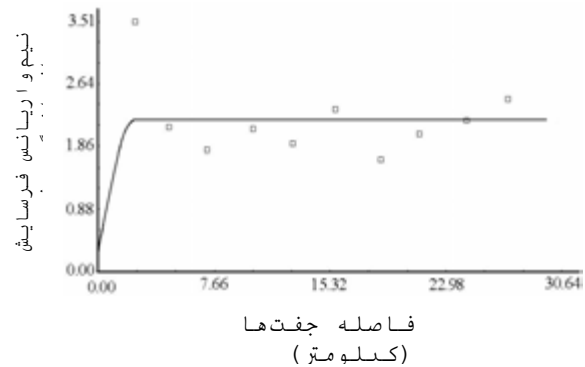
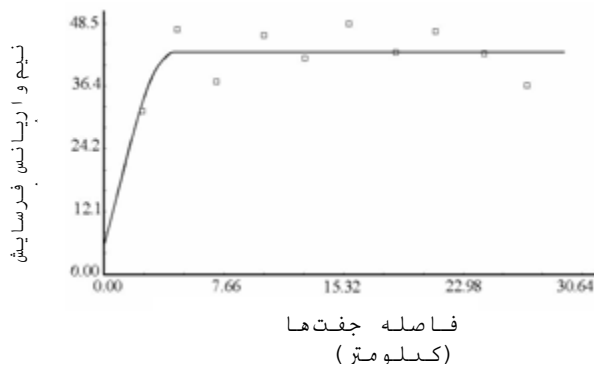
جدول ۳: عامل فرساینده گی باران، عامل فرسایش پذیری خاک، طول شیب و عامل طول شیب و فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در کشتزارهای واقع در شبکه‌های مورد بررسی

ردیف	فرسایش خاک		طول شیب (متر)	عامل فرسایش پذیری (تن ساعت بر مگاژول میلیمتر)	عامل فرساینده گی باران (مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال)	شماره
	پیش‌بینی شده (تن در هکتار در سال)	اندازه‌گیری شده				
۱	۲۶/۳۶۰	۳/۶۴۷	۱/۲۲۹	۰/۰۴۰۷	۴۴۸/۷۰۷	۱
۲	۳۰/۹۶۹	۴/۸۹۴	۱/۶۹۵	۰/۰۴۰۷	۴۴۸/۷۰۷	۲
۳	۳۶/۸۱۱	۵/۱۳۷	۱/۷۵۵	۰/۰۴۶۷	۴۴۸/۷۰۷	۳
۴	۲۰/۲۰۵	۲/۰۲۸	۱/۲۴۲	۰/۰۳۶۲	۴۴۸/۷۰۷	۴
۵	۳۳/۱۹۵	۵/۰۹۲	۱/۹۸۶	۰/۰۳۷۲	۴۴۸/۷۰۷	۵
۶	۲۵/۰۴۰	۰/۹۳۳	۱/۶۱۴	۰/۰۳۴۶	۴۴۸/۷۰۷	۶
۷	۳۲/۱۹۱	۱/۰۴۷	۱/۷۴۶	۰/۰۴۱۱	۴۴۸/۷۰۷	۷
۸	۱۸/۵۹۲	۱/۹۵۵	۱/۵۳۹	۰/۰۲۶۹	۴۴۸/۷۰۷	۸
۹	۱۹/۸۷۷	۲/۷۰۸	۱/۴۰۳	۰/۰۳۱۶	۴۴۸/۷۰۷	۹
۱۰	۲۴/۴۲۷	۳/۷۴۹	۱/۴۹۲	۰/۰۳۶۵	۴۴۸/۷۰۷	۱۰
۱۱	۲۷/۹۱۹	۴/۲۲۹	۱/۸۶۸	۰/۰۳۳۳	۴۴۸/۷۰۷	۱۱
۱۲	۱۹/۱۴۸	۱/۴۵۶	۱/۵۸۲	۰/۰۲۷۰	۴۴۸/۷۰۷	۱۲
۱۳	۲۹/۸۸۳	۵/۲۶۴	۱/۶۰۱	۰/۰۴۱۶	۴۴۸/۷۰۷	۱۳
۱۴	۱۶/۱۹۱	۲/۷۶۳	۱/۲۱۱	۰/۰۲۹۸	۴۴۸/۷۰۷	۱۴
۱۵	۲۶/۴۶۷	۳/۱۱۱	۱/۶۳۵	۰/۰۳۶۱	۴۴۸/۷۰۷	۱۵
۱۶	۱۸/۵۳۳	۰/۴۶۰	۱/۲۶۲	۰/۰۳۲۷	۴۴۸/۷۰۷	۱۶
۱۷	۲۰/۸۶۱	۱/۸۲۵	۱/۷۱۰	۰/۰۲۷۲	۴۴۸/۷۰۷	۱۷
۱۸	۲۷/۶۹۷	۳/۵۹۷	۱/۶۳۲	۰/۰۳۷۸	۴۴۸/۷۰۷	۱۸
۱۹	۲۰/۵۹۱	۴/۹۳۴	۱/۸۰۹	۰/۰۲۵۴	۴۴۸/۷۰۷	۱۹
۲۰	۱۷/۲۸۴	۲/۱۹۸	۱/۴۸۳	۰/۰۲۵۸	۴۴۸/۷۰۷	۲۰
۲۱	۲۱/۱۴۶	۱/۷۰۵	۱/۶۰۹	۰/۰۲۹۳	۴۴۸/۷۰۷	۲۱
۲۲	۲۳/۰۷۱	۱/۴۷۵	۱/۱۵۳	۰/۰۴۴۶	۴۴۸/۷۰۷	۲۲
۲۳	۴۲/۷۸۶	۴/۳۶۳	۱/۹۳۷	۰/۰۴۹۲	۴۴۸/۷۰۷	۲۳
۲۴	۲۲/۰۵۲	۲/۳۷۵	۱/۲۳۷	۰/۰۳۹۷	۴۴۸/۷۰۷	۲۴
۲۵	۲۴/۱۸۷	۵/۰۲۸	۱/۵۹۷	۰/۰۳۳۷	۴۴۸/۷۰۷	۲۵
۲۶	۱۹/۶۷۹	۱/۸۲۸	۱/۴۱۶	۰/۰۳۱۰	۴۴۸/۷۰۷	۲۶
۲۷	۱۳/۱۵۵	۱/۱۰۷	۱/۱۵۵	۰/۰۲۵۴	۴۴۸/۷۰۷	۲۷
۲۸	۲۰/۹۵۶	۳/۸۴۰	۱/۲۹۶	۰/۰۳۶۰	۴۴۸/۷۰۷	۲۸
۲۹	۲۵/۷۶۴	۲/۷۷۷	۱/۴۲۱	۰/۰۴۰۴	۴۴۸/۷۰۷	۲۹
۳۰	۳۷/۲۲۲	۴/۱۲۴	۱/۶۹۹	۰/۰۴۸۸	۴۴۸/۷۰۷	۳۰
۳۱	۲۰/۲۰۱	۲/۳۸۳	۱/۵۴۴	۰/۰۲۹۱	۴۴۸/۷۰۷	۳۱
۳۲	۱۸/۲۳۸	۰/۸۷۱	۱/۱۳۴	۰/۰۳۵۸	۴۴۸/۷۰۷	۳۲
۳۳	۳۱/۹۰۴	۳/۲۰۳	۱/۶۸۲	۰/۰۴۲۳	۴۴۸/۷۰۷	۳۳
۳۴	۲۰/۰۸۴	۲/۰۲۶	۱/۲۷۳	۰/۰۳۵۲	۴۴۸/۷۰۷	۳۴
۳۵	۲۴/۳۱۷	۲/۹۳۱	۱/۴۵۰	۰/۰۳۷۴	۴۴۸/۷۰۷	۳۵
۳۶	۲۹/۳۶۱	۲/۹۷۶	۱/۵۸۳	۰/۰۴۱۳	۴۴۸/۷۰۷	۳۶

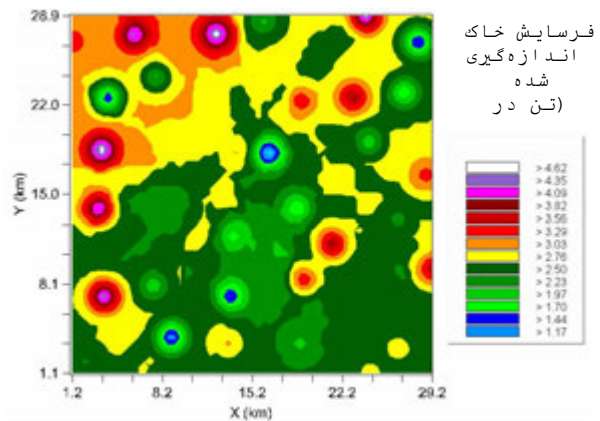
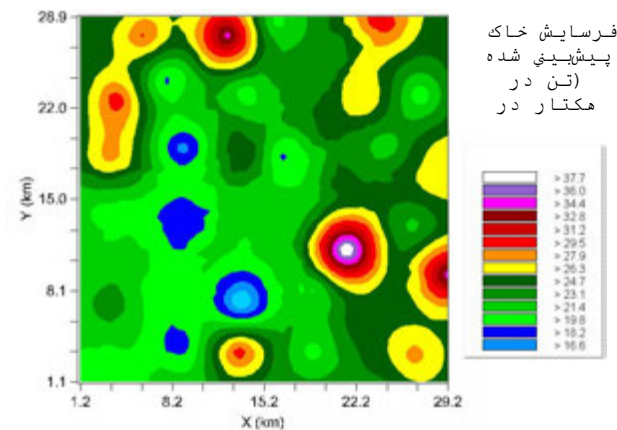
پیش‌بینی فرسایش خاک بر اساس رابطه جهانی فرسایش خاک در کشتزارهای دیم ...

تا ۳۷/۷ تن در هکتار در سال در سطح منطقه مورد بررسی تغییر کرد. مقدار فرسایش پیش‌بینی شده به جز در برخی نقاط در شمال و جنوب شرق در سایر نقاط کم‌تر از ۲۴/۷ تن در هکتار در سال بود. مقدار فرسایش خاک اندازه‌گیری شده نیز از حدود ۱/۱۷ تا ۴/۶۲ تن در هکتار در سال در سطح منطقه تغییر کرد. مقدار فرسایش خاک اندازه‌گیری شده عمدتاً در شمال و به طور پراکنده در برخی نقاط در بخش جنوبی منطقه بیشتر از ۲/۷۶ تن در هکتار در سال بود.

پس از میان‌یابی مقدار فرسایش با روش کریجینگ، نقشه تغییرات مکانی فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی به دست آمد. شکل ۴ نقشه تغییرات مکانی فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی یک‌سان نبود. مقدار فرسایش خاک پیش‌بینی شده از حدود ۱۶/۶



شکل ۳: تغییرنا و مدل برآزشی فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی



شکل ۴: نقشه تغییرات مکانی فرسایش خاک پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در منطقه مورد بررسی در سال ۱۳۸۴

بین مقدار فرسایش خاک (پیش‌بینی شده و نیز اندازه‌گیری شده) در کشتزارهای مختلف تفاوتی معنی‌دار ($p < 0.001$) وجود دارد. از آن‌جا که کشتزارهای مورد بررسی در شیب‌های ۹ درصد واقع بوده، در جهت شیب شخم خورده و بدون پوشش گیاهی بودند اثر عامل درجه شیب، پوشش گیاهی و کارهای حفاظتی در مقدار فرسایش خاک کشتزارها یک‌سان و برابر یک بود. هم‌چنین با توجه به

بحث

پیش‌بینی مقدار فرسایش در کشتزارهای دیم به منظور مدیریت موثر فرسایش در نقاط بحرانی برای افزایش تولید حائز اهمیت است. با توجه به گستردگی استفاده از USLE در پیش‌بینی فرسایش، در این پژوهش برای بررسی مقدار فرسایش در کشتزارهای دیم ناحیه نیمه‌خشک از این روش استفاده شد. نتایج نشان داد که

بررسی تغییرات مکانی فرسایش خاک نشان داد با وجود آن که مدل تغییرات مکانی فرسایش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده یک‌سان (کروی) می‌باشد، لیکن اجزای تغییرات مکانی متفاوت است. نتایج این پژوهش در مورد تغییرپذیری فرسایش خاک، یافته‌های هویوس (۲۰۰۵) در مورد امکان بررسی مکانی توان فرسایش خاک با استفاده از نسخه تصحیح شده USLE را تایید می‌کند. بر اساس نتایج، خطای تغییرات مکانی فرسایش پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده پایین بود که نشان دهنده پایین بودن خطای اندازه‌گیری‌ها بود. این نتیجه نظر کاستریگنانو و همکاران (۲۰۰۰) در مورد اهمیت استفاده از کریجینگ برای میان‌یابی ویژگی‌های خاک و تهیه نقشه آن‌ها را تایید می‌کند. شعاع تاثیر تغییرات مکانی فرسایش پیش‌بینی شده (۴/۵ کیلومتر) بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده (۲/۴ کیلومتر) بود. در حقیقت مقدار فرسایش خاک عملاً تا شعاع ۲/۴ کیلومتر در سطح منطقه مورد بررسی دارای تغییرات مکانی است. مقدار فرسایش خاک پیش‌بینی شده در تمامی نقاط در سطح منطقه مورد بررسی بزرگ‌تر از مقدار اندازه‌گیری شده بود. این تفاوت به دلیل خطای برآورد هر یک از عوامل موثر در پیش‌بینی فرسایش (R، K و L) بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که USLE، دقت لازم در پیش‌بینی فرسایش در خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک مورد بررسی را ندارد. از این رو لازم است هر یک از عوامل موثر در فرسایش در مناطق نیمه‌خشک ارزیابی شوند. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که با تهیه نقشه تغییرات مکانی فرسایش خاک، می‌توان مدیریتی موثر و کم هزینه برای مهار آن به کار گرفت. شخم عمود بر شیب و باقی گذاشتن بقایای محصول در سطح خاک به دلیل افزایش ضریب زبری سطح خاک، بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک، نخستین گام برای کاهش فرسایش در بخش شمالی منطقه مورد بررسی است.

سپاسگزاری

از اداره آبیاری شهرستان هشتگرد به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌های باران، از موسسه تحقیقات خاک و آب به خاطر ارائه نقشه خاکشناسی و از کشاورزان منطقه به خاطر در اختیار قرار دادن اراضی زراعی تشکر می‌گردد.

اینکه پراکنش باران در منطقه یک‌نواخت بود اثر عامل فرساینده‌گی باران (R) در مقدار فرسایش خاک در کشتزارهای یک‌سان بود. بنابراین بر اساس USLE، تغییرات فرسایش خاک پیش‌بینی شده و نیز اندازه‌گیری شده در کشتزارها، به دلیل تغییرات عوامل فرسایش‌پذیری و طول شیب بود. افزایش طول شیب از نظر افزایش باران دریافتی و تولید بیشتر رواناب حائز اهمیت است در حالی که تغییر فرسایش‌پذیری خاک‌های مختلف به مفهوم تغییر مقاومت خاکدانه‌ها به ضربه قطرات باران و تغییر نفوذپذیری خاک‌ها می‌باشد. از این رو می‌توان گفت تاثیر عامل فرسایش‌پذیری در تغییرات مقدار فرسایش پیش‌بینی شده با اندازه‌گیری شده در کشتزارها از اهمیتی بیشتر برخوردار است.

مقدار فرسایش پیش‌بینی شده، ۱۰/۹۸ برابر بزرگتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن بود. در حقیقت این نتیجه نشان می‌دهد که هر یک از عوامل موثر بر فرسایش آبی که در پیش‌بینی آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند (R، K و L) دارای خطاهایی در برآورد هستند. عامل فرساینده‌گی باران (R) از شاخص فرساینده‌گی (EI_f) پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) تعیین می‌شود، از آن‌جا که این شاخص بر اساس ویژگی‌های باران‌های نواحی نیمه‌مرطوب آمریکای مرکزی ارائه شده است، نمی‌تواند نشان دهنده فرساینده‌گی باران‌های نواحی نیمه‌خشک که دارای ویژگی‌های باران متفاوتی (از نظر مدت و شدت) هستند، باشد. از سوی دیگر رابطه پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری نیز بر اساس آزمایش‌ها در خاک‌های غیرآهکی آمریکای مرکزی ارائه شده است (رفاهی، ۱۳۷۵) در حالی که خاک‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی آهکی است. از آن‌جا که در خاک‌های آهکی، آهک در پایداری ساختمان و نفوذپذیری خاک موثر می‌باشد (اورتس و همکاران، ۲۰۰۰؛ دایکر و همکاران، ۲۰۰۱)، می‌تواند در فرسایش‌پذیری خاک نقشی مهم داشته باشد. عامل طول شیب نیز از روش پیشنهادی ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) بر اساس طول شیب زمین و درصد شیب تعیین شد. چگونگی تاثیر طول شیب بر هدررفت خاک در خاک‌های منطقه به بررسی مجدد نیاز دارد.

منابع

- بیات موحد، ف. و نیک‌کامی، د. ۱۳۷۶. تاثیر کاربرد مالچ کاه و کلش گندم بر مقدار رواناب اراضی زراعی دیم شیبدار. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۴ تا ۶ شهریور، ص ۱۱۳۰-۱۱۲۸.
- بی‌نام، ۱۳۵۲. نقشه منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان شرقی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی.
- حسینی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار. انتشارات دانشگاه تهران، ایران، ص ۷۷-۷۳.
- حکیمی، م. ۱۳۶۵. گزارش خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی اجمالی منطقه هشتگرد. نشریه شماره ۷۶۷، وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، موسسه تحقیقات خاک و آب، ص ۱۲-۳.
- چی، ک. و خالدیان، ح. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر بهره برداری بهینه از اراضی در تقلیل فرسایش و رسوب. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج، ۶ تا ۹ شهریور، ص ۲۵-۲۱.
- رضایی، م.، قرقره‌چی، ش.، قانع‌مطلق، غ. ر. و ایوبی، ش. ۱۳۸۶. برآورد فرسایش خاک در حوزه زیارت با استفاده از مدل RUSLE. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۴ تا ۶ شهریور، ص ۱۱۶۳-۱۱۶۱.
- رفاهی، ح. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ایران، ص ۱۴۷-۱۴۰.
- شهبازی‌کیا، س.، رحمانی، م. و ملاآقاچان‌زاده، س. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات رسوب و فرسایش در دوره زمانی قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری (مطالعه موردی حوزه آبخیز یکانات مرند). مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج، ۶ تا ۹ شهریور، ص ۱۷۲-۱۶۹.
- صادقی، س. ح. ر.، نیک‌کامی، د. و جلیلی، خ. ۱۳۸۴. فرمول بندی فرسایش خاک به منظور کاربری بهینه اراضی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج، ۶ تا ۹ شهریور، ص ۷۵-۷۲.
- مهدیان، م. ح. ۱۳۸۴. بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج، ۶ تا ۹ شهریور، ص ۲۲۶-۲۳۱.
- Angima, S. D., Scott, D. E. O' Neill, M. K., Ong, C. K. and Weesies, G. A. 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97: 295-308.
- Castrignanoo, A., Giugliarini, L., Risaliti, R and Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma* 97: 39-60.
- Desir, G. and Marí, C. 2006. Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone (Bardenas Reales, NE Spain). *Catena* 66: 221-228.
- Duiker, S. W., Flanagan, D. C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena* 45: 103-121.
- Goh, T. B., Arnaud, R. J. St. and Mermut, A. R. 1993. Aggregate stability to water. In: Cartner, M.R. (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Canada, pp. 177-180.
- Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena* 63: 85-108.
- Lal, R. and Shukla, N. K. 2004. *Principals of Soil Physics*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, pp. 428-432.
- Morgan, R. O. C. 1995. *Soil erosion and conservation*. Second edition, Silsoe College, Cranfield University, Longman, pp, 26-39.
- Nelson, D. W. and Sommer, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr., Amer. Soc. Agron. Madison

9(2): 539-579.

- Orts, J. W., Sojka, R. E. and Glenn, G. M. 2000. Biopolymer additives to reduce erosion- induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products* 11: 19-26.
- Polhmann, H. 1993. Geostatistical modeling of environmental data. *Catenan* 20:191-198.
- Schwab, G. O., Frevert, R. K., Edminster, T. W. and Barnes, K. K. 1981. Soil and water conservation engineering. Third edition, John Willey and Sons, New York, pp. 100-103.
- SSEW, 1982. Soil Survey Laboratory Methods. Technical Monographs No. 6. Harpenden, UK.
- Tejada, M. and Gonzalez, J. L. 2006. The relationship between erodibility and erosion in a soil treated with two amendments. *Soil Tillage Res.* 91: 186-198.
- 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., pp. 13-27.

Predicting Soil Erosion Based on Universal Soil Loss Equation in Dry Farming Lands of Semi-arid Regions in North West of Iran

Vaezi¹, A. R., Bahrami², H. A., Sadeghi³, S. H. R. and Mahdian⁴, M. H.

Abstract

Soil erosion by water is an important problem in farming lands particularly in semi-arid regions. This study was conducted to predict soil erosion based on the universal soil loss equation (USLE), find out predicting error, determine spatial variation of soil erosion and provide a soil erosion map in dry farming lands in semi-arid regions. The study was carried out in an agricultural zone with a dimension of 30 km in south part of East Azerbaijan province from March 2005 to March 2006. In the study area, 36 dry farming lands on 9% uniform slopes that had plowed on slope direction with no cover crop on surface, were considered. Soil erosion was measured in each farming land under natural rainfall events during the study period and predicted based on the USLE by multiplying rainfall erosivity (R), soil erodibility (K) and slope length (L) factors. The rainfall erosivity factor (R) on the study area was 448.707 MJ mm/ ha h per year. Mean value of the soil erodibility factor (K) and slope length factor (L) were 0.0360 t h/MJ mm and 1.519, respectively. Based on the results, annual predicted soil erosion (24.621 t/ha) averagely was 10.98 times larger than the measured value (2.888 t/ha). Effective range of the predicted soil erosion (4.5 km) also was bigger than the predicted value (2.4 km) on the study area. The predicted values of soil erosion in all places on the study area were larger than the measured values. These differences were due to estimating errors of factors affecting predicted erosion (R, K and L). The study showed that the USLE is not accurate in predicting soil erosion in semi-arid regions.

Keywords: Soil erosion, USLE, Spatial variations, Semi-arid region, Soil erosion map

1. Assistant Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University.

2. Associate Professor of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University.

3. Associate Professor of Watershed Management, Faculty of Natural Resource, Tarbiat Modares University.

4. Assistance Professor of Irrigation Science, Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture.
