ارزیابی روش‌های برآورد فرسایش‌پذیری خاک در ایستگاه پخش سیلاب برآبخوان پلدشت

رضا سکوتی اسکویی[۱]، ابراهیم بروشکه[۲]

۱- دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
(rezasokouti@gmail.com)

۲- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
(e.brooshkeh@*gmail.com*)

چکیده

فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی آن به فرسایش است. از آنجا که اندازه‌گیری عامل فرسایش پذیری خاک بطور مستقیم وقت‌گیر و هزینه براست از روش‌های برآوردی برای تخمین آن استفاده می‌شود. این تحقیق به‌منظور اندازه‌گیری واقعی عامل فرسایش پذیری خاک در ایستگاه پخش سیلاب بر آبخوان پلدشت و مقایسه آن با انواع روش‌های برآوردکننده عامل فرسایش‌پذیری خاک شامل روش‌های EPIC ، معادله جهانی فرسایش (USLE) و معادله جهانی تجدید نظر شده فرسایش (RUSLE) در چهار کلاس بافتی متفاوت خاک انجام گرفت. برای هر کلاس بافتی خاک تعداد سه کرت استاندارد به منظور اندازه گیری رواناب و رسوب ناشی از رگبارهای طبیعی در ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت احداث گردید. شدت باران نیز با باران سنج ثبات اندازه گیری شد. مقایسه نتایج روش‌های برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک با مقدار اندازه‌گیری شده نشان داد که روش EPIC و RUSLE برای خاک‌های با بافت لوم و روش ویشمایر برای خاک‌هایی با بافت سلیتی لوم تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵٪) با مقدار اندازه‌گیری شده ندارد و روش‌های مناسبی برای برآورد فرسایش‌پذیری خاک محسوب می شوند. به‌طور کلی مدل RUSLE با ضریب R=۰/۸۹ و کارآیی بیشتر (EF=۰/۸۷) دارای عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر می‌باشد.

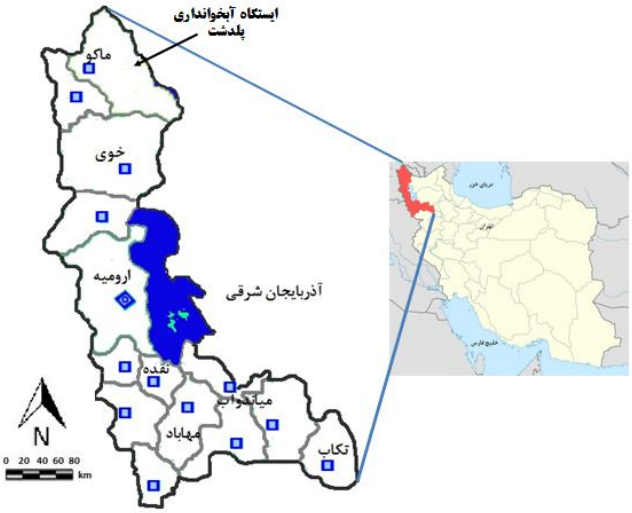
واژه‌های کلیدی: فرسایش پذیری خاک، معادله جهانی فرسایش، آبخوان‌داری، پخش سیلاب.

مقدمه

مدل‌سازی فرسایش خاک به دلیل آن که هدررفت خاک تحت تأثیرعوامل مختلف و اثرات متقابل بین آن‌ها قرار دارد، موضوعی پیچیده است (Wang و همکاران، ۲۰۰۱) عامل فرسایش پذیری خاک به عنوان نخستین گام بیانگر حساسیت ذاتی ذرات خاک یا خاکدانه‌ها به جداشدن یا انتقال به وسیله عوامل فرساینده مانند باران و رواناب است (Macintash و Laffan، ۲۰۰۵). فرسایش پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی آن به فرسایش است و سهولت جدا شده ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی باران و انتقال آنها به وسیله نیروی رواناب را نشان می دهد (Veihe ، ۲۰۰۲). در مدل جهانی فرسایش مقدار واقعی عامل قرسایش پذیری از طریق تعیین مقدار خاک فرسایش یافته از یک کرت استاندارد با شیب نه درصد، عرض ۱/۸۳ و طول ۲۲/۱ متر به ازای واحد شاخص قرسایندگی باران محاسبه می شود که در جهت شیب شخم خورده و سطح آن بدون پوشش گیاهی و بقایای آن است. اندازه گیری مستقیم عامل فرسایش پذیری خاک نیازمند بازه‌های زمانی بلند مدت است که هزینه‌بر و زمان گیر می باشد. از این رو روش‌های مختلفی برای برآورد و پیش بینی عامل فرسایش پذیری خاک ابداع شده است. در ابتدا نتایج تحقیق (Wishmeier و Smith، ۱۹۷۸) نشان داد که عامل فرسایش پذیری تابع پنج عامل درصدشن، درصد ماده آلی، ساختمان، نفوذپذیری و مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز است. سپس براساس رابطه بدست آمده برای سهولت برآورد شاخص فرسایش پذیری، نموگرافی طراحی و پیشنهاد شد که به مرور زمان و با افزایش اطلاعات و نتایج تحقیقاتی مدل اولیه معادله جهانی فرسایش اصلاح شد (Renard و همکاران، ۱۹۹۷) . در این مدل مهمترین تغییر امکان استفاده از میانگین قطر هندسی ذرات برای برآورد فرسایش پذیری خاک است. Gupta (۲۰۰۲) نشان داد نفوذپذیری و پایداری ساختمان خاک دو ویژگی بسیار مهم خاک هستند که بر عامل فرسایش پذیری اثر در پژوهش(vrendliek و همکاران، ۲۰۰۴) اثر کربن آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی خاک اثری مثبت بر تخلخل خاک و ظرفیت آب قابل استفاده گیاه دارد و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. مطالعات (Murfy و Charman، ۲۰۰۰) نشان داد که رس معمولا فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد .هم‌چنین کاتیون کلسیم نقشی موثر در به هم آمدن کلوئیدهای خاک و و کاهش فرسایش‌پذیری دارد . بر اساس گزارش (Roose و Barthe`s ، ۲۰۰۲) نفوذپذیری و پایداری ساختمان دو ویژگی بسیار مهم خاک هستند که بر عامل فرسایش‌پذیری اثر میگذارند. بررسی‌های(Santos و همکاران، ۲۰۰۳) نشان داد که خاک‌های دارای مقدار بیشتری ذرات شن، اثر ضربه قطرات باران را بهتر کاهش میدهند و به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب و رسوب کمتری تولید می‌کنند. در آزمایشی(hang و همکاران، ۲۰۰۴) نشان دادند که همبستگی معنی‌دار منفی بین مقدار رس و عامل فرسایش‌پذیری وجود دارد. (واعظی، ۱۳۸۴) میانگین مقدار عامل فرسایش پذیری ۱۱ برابر کمتر از مفدار برآورد شده بدست آورد. میانگین خطای برآورد فرسایش پذیری با نموگراف ۹۷۴/۶ بود که نشان از عدم اطمینان به این روش دارد. با توجه به تحقیقات انجام شده تغییرات فرسایش پذیری خاک در شرایط پخش سیلاب مورد بررسی قرار نگرفته است در نتیجه این پژوهش به‌منظور بررسی و ارزیابی روش‌های برآورد فرسایش پذیری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت برای داده‌برداری از کرت‌های استاندارد فرسایش انجام شدکه در شمال استان آذربایجان‌غربی در مختصات جغرافیایی ۰َ ۳۹ْ الی ۱۵َ ۳۹ْ عرض شمالی و ۴۵َ ۴۴ْ الی ۱۰َ ۴۵ْ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه آبخوان‌داری پلدشت ۲۲۳ میلی‌متر و اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن، نیمه خشک و به روش آمبرژه خشک سرد است. اغلب رگبارهای منجر به روانآب و رسوب در طول فصل بهار به وقوع پیوسته است .خاک محل احداث کرت‌ها نیمه عمیق و براساس طبقه بندی به روش سیستم آمریکایی Xeric Torriorthents است .

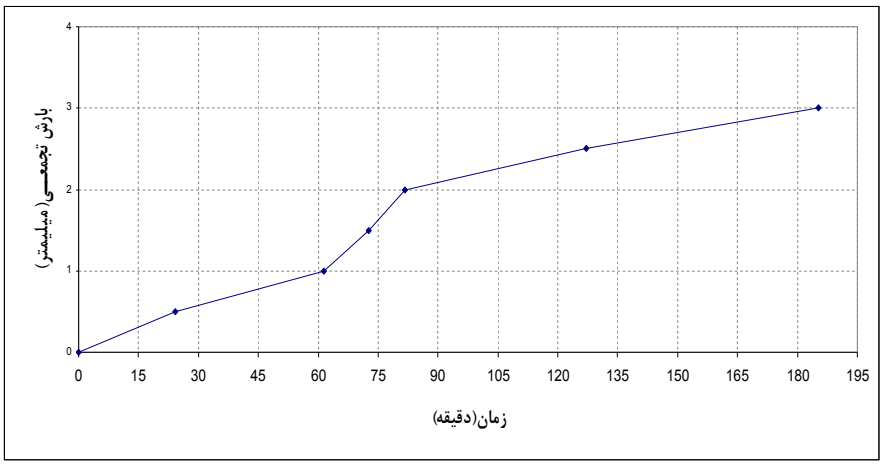


شکل ۱- موقعیت محل مورد مطالعه

تعداد ۱۲ کرت فرسایش استاندارد در چهار نقطه از ایستگاه که دارای کلاس‌های بافتی متفاوت شامل Sandy loam، Sandy clay loam، Loam، Silt loam بود در سه تکرار برای هر کلاس بافتی و در قالب طرح کامل تصادفی احداث شد در بخش انتهایی هر کرت نیز سیستم جمع‌آوری کننده و ذخیره رواناب و رسوب (بشکه پلاستیکی ۷۰ لیتری) تعبیه شد عملکرد کرتها از نظر تولید رواناب و رسوب، در رخدادهای طبیعی باران به تعداد ۱۶ رگبار مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های بارندگی متناظر، از باران‌سنج ثبات واقع در داخل ایستگاه که داده‌های بارش را با دقت ۰/۵ میلی‌متر ثبت می‌نمود، اخذ شد. عامل فرسایش پذیری از داده‌های واقعی محاسبه و سپس با روش‌های USLE ، RUSLE و EPIC برآورد گردید. مقایسه میانگین داده‌های رواناب و رسوب با استفاده از آزمون t و در نهایت خطا و کارآیی این روش‌ها محاسبه شد.

نتایج

مقدار بارش بر حسب میلی‌متر به ازای هر ۱۵ دقیقه استخراج و برای محاسبه بارش تجمعی در زمان‌های ۱۵ دقیقه‌ای از روش درون یابی[1] استفاده و منحنی شدت بارش ترسیم شد. در شکل ۲ برای مثال، بیشترین شدت ۳۰ دقیقه در این رگبار ، مربوط به دو پانزده دقیقه پنجم و ششم است.



شکل ۲- منحنی تجمعی بارش-زمان

[1] - Interpulation

به منظور بدست آوردن عامل فرسایندگی باران (شاخص R) برای یک رگبار معین، ابتدا انرژی جنبشی رگبار به شرح جدول ۱ محاسبه شد.

جدول ۱- نمونه‌ای از نحوه محاسبه مقدار انرژی جنبشی برای یک رگبار منجر به تولید رسوب

کل انرژی جنبشی ($j.m^{-2}$)	انرژی جنبشی ($j.m^{-2}.mm^{-1}$)	شدت ($mm.hr^{-1}$)	بارش (mm)	زمان از شروع (min)	بارش تجمعی (mm)	زمان تجمعی (min)
۳/۹۳	۱۲/۶۸	۱/۲۴	۰/۳۱	۰-۱۴	۰	۰
۳/۲۸	۱۲/۱۶	۱/۰۸	۰/۲۷	۱۵-۲۹	۰/۳۱	۱۵
۲/۳۵	۱۱/۲۰	۰/۸۴	۰/۲۱	۳۰-۴۴	۰/۵۸	۳۰
۲/۲۰	۱۱/۰۲	۰/۸	۰/۲	۴۵-۵۹	۰/۷۹	۴۵
۹/۶۸	۱۵/۳۷	۲/۵۲	۰/۶۳	۶۰-۷۴	۰/۹۹	۶۰
۶/۸۸	۱۴/۳۴	۱/۹۲	۰/۴۸	۷۵-۸۹	۱/۶۲	۷۵
۱/۶۲	۱۰/۱۷	۰/۶۴	۰/۱۶	۹۰-۱۰۴	۲/۱	۹۰
۱/۶۲	۱۰/۱۷	۰/۶۴	۰/۱۶	۱۰۵-۱۱۹	۲/۲۶	۱۰۵
۱/۴۸	۹/۹۳	۰/۶	۰/۱۵	۱۲۰-۱۳۴	۲/۴۲	۱۲۰
۱/۲۲	۹/۳۹	۰/۵۲	۰/۱۳	۱۳۵-۱۴۹	۲/۵۷	۱۳۵
۱/۲۲	۹/۳۹	۰/۵۲	۰/۱۳	۱۵۰-۱۶۴	۲/۷	۱۵۰
۱/۰۹	۹/۰۸	۰/۴۸	۰/۱۲	۱۶۵-۱۷۹	۲/۸۳	۱۶۵
					۲/۹۵	۱۸۰
∑E=۳۶/۶۲	∑=۲۱/۲۲	∑=۱۱/۸۰	∑=۲/۹۵			

بر اساس جدول ۲ نیز عامل فرسایندگی باران (شاخصR) تعیین گردید.

جدول ۲- نحوه محاسبه ی عامل فرسایندگی باران

شاخص فرسایندگی باران(R)	شدت بارندگی (میلیمتر بر ساعت)	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه (I_{30})
۳۶/۶۲۴۳×۲/۲۲=۸۱/۳۵	۲×۱/۱۱=۲/۲۲	۰/۶۳+۰/۴۸=۱/۱۱

مقدار انرژی جنبشی برای رگبارهای مورد مطالعه که منجر به تولید رسوب شده اند، به شرح جدول ۳ محاسبه شد که در آن نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر مربوط به ۱۶ رگبار به همراه آماره‌های توصیفی رگبارها ارائه شده است.

جدول ۳- آمار توصیفی رگبارهای منجر به تولید رواناب و رسوب مورد مطالعه

شاخص‌های آماری	مقدار بارش (mm)	حداکثر شدت ۳۰ دقیقه	انرژی جنبشی (j.m-2.mm-1)	عامل فرسایندگی باران (R)
بیشترین	۱۲/۵۰	۱۲/۰۴	۳۰۴/۶۵۹۵	۶۳۳۶/۲۰۲۶
کمترین	۲/۹۵	۰/۷۶	۳۶/۶۲۴۳	۸۱/۰۸۱۵
میانگین	۶/۹۳۲۵	۳/۰۳۰	۱۰۹/۶۲۰۲	۹۳۸/۱۹۳۹
واریانس	۱۰/۸۱۲	۶/۸۷۱	۴۷۶۹/۶۲۲	۳۰۵۶۴۹۷/۲
چولگی	۰/۷۴۴	۲/۹۴۴	۱/۶۳۳	۳/۶۹۰

طبق جدول ۳ بیشترین مقدار بارش، مدت بارش، حداکثر شدت ۳۰ دقیقه، انرژی جنبشی و عامل فرسایندگی باران به ترتیب ۱۲/۵، ۱۱۱۰، ۱۲/۰۴، ۳۰۴/۶۵۶۵، ۶۳۳۶/۲۰۲۶ و کمترین مقدارشان به ترتیب ۲/۹۵، ۴۵، ۰/۷۶، ۳۶/۶۲۴۳ و ۸۱/۰۸۱۵ (براساس واحدهای مندرج در این جدول) به دست آمده است.

نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی برای هر نوع خاک در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر

	خاک اول	خاک دوم	خاک سوم	خاک چهارم
شن	۶۱	۵۰	۴۵	۱۵
سیلت	۲۹	۱۰	۳۸	۸۰
رس	۱۰	۴۰	۱۷	۵
شن ریز و خیلی ریز	۱۴	۱۱	۹	۴
کربن آلی	۰/۹۸	۰/۴۸	۰/۷۳	۰/۵۵

در جدول ۵ نتایج اندازه‌گیری‌های رسوب از کرت‌های استاندارد برای خاک‌های مورد مطالعه ارائه شده است. بیشترین مقدار رسوب اندازه گیری شده مربوط به خاک ۲ با کلاس بافتی (Sandy clay loam) و کمترین مقدار رسوب اندازه گیری شده مربوط به خاک ۱ با کلاس بافتی (Sandy loam) می باشد.

جدول ۵- نتایج آمار توصیفی رسوب آندازه گیری شده از کرت‌های مورد مطالعه

	بیشترین مقدار رسوب (گرم در متر مربع در یک رگبار)	کمترین مقدار رسوب (گرم در متر مربع در یک رگبار)	میانگین مقدار رسوب (گرم در متر مربع در یک رگبار)
خاک ۱	۱۷۳/۹۱۲	۱/۱۷۷	۱۸/۱۸۲
خاک ۲	۷۶۳/۲۸۰	۸/۲۲۲	۹۷/۵۲۷
خاک ۳	۲۸۰/۱۹۱	۲/۱۴۱	۳۰/۷۱۱
خاک ۴	۷۰۵/۳۰۹	۷/۵۸۱	۸۶/۷۶۴

نتایج محاسبات شاخص فرسایش‌پذیری خاک از کرت‌های استاندارد در شکل۳ نشان داده شده است. بیشترین مقدار عامل فرسایش-پذیری خاک اندازه‌گیری شده مربوط به خاک (۲) با ۵۰ درصد شن، ۱۰ درصد سیلت و ۴۰ درصد رس با کلاس بافتی Sandy clay loam بوده و کمترین مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شده مربوط به خاک (۱) با ۶۱ درصد شن، ۲۹ درصد سیلت و ۱۰ درصد رس با کلاس بافتی Sandy loam می باشد.

شکل۳- عامل فرسایش پذیری برای خاک‌های مورد مطالعه

برآورد عامل فرسایش پذیری

در جدول ۶ نتایج برآورد عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از مدل‌های مورد مطالعه برای ۴ کلاس بافتی خاک ارائه گردیده است.

جدول ۶- نتایج برآورد عوامل فرمول جهانی فرسایش USLE، RUSLE و روش (EPIC)

	K (RUSLE)	K (EPIC)	K (USLE)
خاک ۱	۰/۰۲۱	۰/۰۳۴۲	۰/۰۳۲
خاک ۲	۰/۰۴۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸
خاک ۳	۰/۰۳۳۳	۰/۰۳۲	۰/۰۳۴
خاک ۴	۰/۰۴۱۶	۰/۰۳۴۶	۰/۰۹۳

نتایج آزمون t برای مقایسه مقدار فرسایش پذیری اندازه گیری شده با مقادیر برآوردی خاک در جدول ۷ آورده شده است. نتایج آزمون t نشان می دهد که اختلاف معناداری بین مقدار برآوردی مدل‌های EPIC، ویشمایر و RUSLE با مقدار اندازه گیری شده عامل فرسایش پذیری خاک وجود ندارد.

جدول ۷- مقایسه مقدار فرسایش پذیری اندازه گیری شده با مقدار فرسایش پذیری برآوردی خاک از طریق آزمون t

نوع مقایسه	مقدار t	درجه آزادی	سطح معنی داری
$(K)_m - (K)_{epic}$	۱/۴۷۷	۶	۰/۱۹۰ ns
$(K)_m - (K)_{Wishmaier}$	۰/۶۶۳	۶	۰/۵۳۲ ns
$(K)_m - (K)_{RUSLE}$	۱/۲۸۲	۶	۰/۲۴۷ ns

ns: غیرمعنادار

نتایج شاخص‌های آماری ME، RMSE، EF و R برای سه مدل USLE ، RUSLE وEPIC در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- نتایج شاخص‌های خطای محاسبه شده برای مدل‌های مورد مطالعه

شاخص / مدل	ME	RMSE	EF	R
مدل USLE	۰/۰۸۵۷۹	۷۸/۴۰۲۵۴	-۰/۳۹۹۹	۰/۲۸۷
مدل RUSLE	۰/۰۶۳۷۹	۶۵/۶۴۷۷۶	-۰/۲۳۹	۰/۸۹۶
مدل EPIC	۰/۰۸۰۵	۸۰/۶۳۳۴۴	-۰/۸۶۹۲	-۰/۵۹۷

نتیجه‌گیری

براساس جدول ۸ کمترین خطا بین سه مدل مورد مطالعه مربوط به مدل RUSLE می باشد درحالی‌که مدل ویشمایر دارای بیشترین مقدار خطا بوده است. کمترین ریشه میانگین مربعات خطا مربوط به مدل RUSLE و بیشترین آن مربوط به مدل EPIC می باشد. پارامتر R معرف ضریب همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآوردی می‌باشد. مقدار مطلوب این شاخص یک می‌باشد و هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده همبستگی بالا بین داده‌های اندازه گیری و برآورد شده است. مقدار منفی این پارامتر نشان دهنده همبستگی معکوس بین داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده می‌باشد در نتیجه مدل RUSLE با R=۰/۸۹۶ دارای عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر می‌باشد. بهینه‌ترین مقدار پارامتر EF یک می باشد، بنابراین مدل RUSLE دارای کارایی بهتری نسبت به دو مدل دیگر است و مدل EPIC دارای پایین‌ترین کارآیی است. در حالت کلی روش RUSLE از بقیه روش‌ها کاربردی‌تر می‌باشد.

منابع

واعظی، علیرضا، ۱۳۸۴، بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر فرسایش پذیری در خاکهای کشاورزی، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

Barthe`s, B. and Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena 47(2):133– 149.

Charman, P.E.V., and Murphy, B.W. 2000. Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford. Pp: 206-212.

Evrendliek, F., Celik, I., and Kilic, S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forests, grassland and cropland ecosystems. Journal of Arid Environment, 59: 743-752.

Gerrard, J. 2000. Fundamental of soils. Routiedge Fundamental of Physical Geography. London and New YORK. Pp 177-200.

Gupta, O.P. 2002. Water in relation to soils and plants. Agrobios, India. Pp: 31-34.

Murphy, B.W. 1984. A scheme for the field assessment of soil erodibility for water erosion. Technical Paper. Wellington Research Center. Soil Conservation Service of NSW. Sydney. Pp 223-228.

Renard, K.G. G.R. Foster. G.A. Weesies. D.K. Mccool. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703.404.

Santos, F.L., Reis, J.L., Martins, O.C., Castanheria, N.L., and Serralherio, R.P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. Biosystems Engineering, 86(3): 355-364.

Veihe, A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types. A study form northern Ghana. Geoderma. 106: 101-120

Wang, G.G., Gartner, X., Liu, H. and Anderson, A. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. Catena, 46: 1-14.

Williams , J.R. 1995. The EPIC model. In singh. Camputer models of watershed hydrology. Chapter 25.

Wishmeier, W.H. D.D. Smith 1978. Predictiuy rainfall erosion losses. Agude to conservation planning. Agriculture Handbook No.537.us Department of Agriculter Washington DC.

Zhang, K., Li, S., Peng, W. and Yu, B. 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. Soil & Tillage Research, 76: 157-165.

Zhang, K.L. A.P.Shu. X.L. Xu. 2008. Soil erodibility and its estimation for agricultural soils in China. Journal of Arid Environments 72. 1002-1011.