مجله علوم كشاورزي ايران
دوره ۳۸، شماره٤ ، ۱۳۸٦ (٥٦۲-٥٥۳)

ارزيابي مدل **WEPP** براى برآورد فرسايش بين‌شياري در شرايط آزمايشگاهي

حسين اسدي*[۱]، حسن روحی‌پور[۲]، حسينقلی رفاهی[۳] و مهدی شرفا[۴]
۱، استاديار دانشكده كشاورزي، دانشگاه گيلان ۲، عضو هيات علمي مؤسسه تحقيقات جنگلها و مراتع
۳، ۴، استاد و استاديار پرديس كشاورزی و منابع طبيعی دانشگاه تهران
(تاريخ دريافت: ۸۵/۲/۲۵ - تاريخ تصويب: ۸۵/۹/۱)

چكيده

در دهه‌هاي اخير به منظور شبيه‌سازي و تخمين فرسايش آبي، مدل‌هاي فرآيندي مختلفي ارائه شده است كه ادعا مي‌شود بر اساس فرآيندهاي مؤثر در فرسايش خاک استوار هستند. از جمله مهمترين اين مدل‌ها، مدل **WEPP** است كه در آن به منظور تخمين ميزان فرسايش (جداشدن ذرات از بستر خاك و انتقال آن‌ها)، بين فرآيندهاي بين‌شياري و شياري تفكيك قائل شده و براي هركدام معادله جداگانه‌اي ارائه نموده است. در تحقيق حاضر به منظور ارزيابي جزء بين‌شياري مدل مزبور، سه نوع خاک با خصوصيات متفاوت با استفاده از يک فلوم زهكش‌دار به ابعاد ۱*۱*۰/۱ متر در شيب‌هاي مختلف تحت اثر شبيه‌سازي باران با شدت‌هاي مختلف قرار گرفت. عمليات شبيه‌سازي باران با استفاده از يك دستگاه شبيه‌ساز باران داراي يك نازل منفرد جاروبي با ميانگين قطر قطرات ۱/۵ ميلي متر انجام شد. تجزيه و تحليل نتايج بدست آمده نشان داد كه روابط پيشنهاد شده توسط مدل **WEPP** براي برآورد ضريب فرسايش‌پذيري بين‌شياري در شرايط خارج از آمريكا قابل كاربرد نبوده و واسنجي مدل امري ضروري است. در نظر نگرفتن اثر عمق آب بر فرسايش بين‌شياري احتمالا يكي از مهمترين اشكال‌هاي وارده بر مدل **WEPP** است. همچنين فعال بودن فرآيندهاي ناشي از رواناب بويژه در شيب‌ها و شدت‌هاي بالاي بارندگي و برهمكنش احتمالي بين اين فرآيندها با فرآيندهاي ناشي از بارندگي باعث اريبي مدل شده است. به اين معني كه مدل حتي با انجام واسنجي تمايل به بيش‌برآورد مقادير كوچك و كم‌برآورد مقادير بزرگ فرسايش خاک دارد.

واژه‌هاي كليدي: خاک، فرسايش بين‌شياري، فرسايش‌پذيري، شبيه سازي باران، مدل **WEPP**

مقدمه

يكي از مهمترين مسائل زيست محيطي كه امروزه بشر با آن روبرو است و موجوديت و كيفيت مهمترين منابع طبيعي (خاك و آب) را به مخاطره مي‌اندازد، مسئله فرسايش خاك است. آمار و ارقام موجود در مورد ميزان فرسايش و رسوب و خسارات ناشي از آن (تخريب و كاهش حاصلخيزي خاك، كاهش ظرفيت آبراهه‌ها و مخازن و آلوده شدن محيط زيست) در سطح جهاني (۱۳) و در ايران (۲ و ۳) هشداري جدي در مورد ابعاد پديده فرسايش خاك است. تشخيص، تعيين، پيش‌بيني و همانندسازي اين فرآيند طبيعي كه البته به شدت تحت تاثير فعاليت‌هاي انسان است، مي‌تواند راهگشا و راهنماي مديريت و برنامه‌ريزي حفاظت خاك باشد. بررسي منابع در دو دهه گذشته نشان مي‌دهد كه مدل‌هاي فرآيندي كه بر اساس فرآيندهاي مؤثر در فرسايش استوار هستند، در حال حاضر بيش از مدل‌هاي تجربي توسعه يافته و به سرعت در حال تحول و تكامل مي‌باشند. نمونه بارز اين نوع مدل‌ها، WEPP (۸)، EUROSEM (۱۷) و GUEST (۱٦) مي‌باشند.

* نويسنده مسئول: حسين اسدی تلفن:۰۱۳۱-۶۶۹۰۳۸۸ E-mail:hossein_asadi52@yahoo.com

مدل‌هاي فرآيندي به منظور برآورد فرسايش از نقطه نظر جداشدن ذرات از بستر خود و انتقال آنها، بين فرآيندهاي بين‌شياري و شياري تفكيك قائل شده‌اند. در مدل WEPP فرسايش بين‌شياري شامل جداشدن ذرات خاك به وسيله برخورد قطرات باران و انتقال اين ذرات به وسيله پاشمان و جريان سطحي كم عمق مي‌باشد. در اين مدل فرآيندهاي فرسايش بر اساس معادله پيوستگي جريان رسوب در حالت ماندگار مورد بررسي قرارگرفته و به همين منظور از رابطه زير استفاده مي‌شود:

$$\frac{dG}{dx} = D_f + D_i \qquad (۱$$

كه در آن؛ G بار رسوب ($kg\ m^{-1}\ s^{-1}$)، x فاصله به سمت پايين شيب (m)، D_f شدت فرسايش شياري و D_i شدت فرسايش بين‌شياري يا جريان عرضي رسوب از نواحي بين‌شياري هر دو بر حسب ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) مي‌باشند. در اين مدل فرسايش بين‌شياري با معادله زير برآورد مي‌شود:

$$D_i = K_{iadj}\ I_e\ \sigma_{ir}\ SDR_{RR}\ F_{nozzle} \left[\frac{R_S}{W}\right] \qquad (۲$$

كه در آن: K_{iadj} فرسايش‌پذيري بين‌شياري اصلاح شده ($kg\ s\ m^{-4}$)، كه با اعمال ضرايبي اصلاحي براي منظور نمودن اثر پوشش، ريشه، سله، شيب، و يخ بستن از فرسايش‌پذيري بين‌شياري پايه (K_{ib}) بدست مي‌آيد، I_e شدت بارندگي مؤثر ($m\ s^{-1}$)، σ_{ir} شدت رواناب بين‌شياري ($m\ s^{-1}$)، SDR_{RR} نسبت تحويل رسوب كه تابعي از زبري تصادفي، شيب جانبي و توزيع اندازه ذرات خاك است. F_{nozzle} يك فاكتور اصلاحي بدون بعد براي به حساب آوردن تغييرات انرژي برخورد قطرات در شرايط آبياري باراني است و براي ساير شبيه‌سازي‌هاي باران برابر يک در نظر گرفته مي‌شود. R_s فاصله بين شيارها (m)، و W عرض شيار (m) است. در معادله ۲ نسبت R_S/W براي يكسان سازي واحد محاسبه شدت فرسايش وارد شده است. در مدل WEPP به منظور تخمين K_{ib} از روي خصوصيات خاک روابطي تجربي ارائه شده است (٤).

تاكنون در داخل كشور تحقيقات آزمايشگاهي كنترل شده‌اي به منظور ارزيابي مبانی مدل WEPP انجام نشده است. هدف از تحقيق حاضر بررسي فرسايش بين‌شياري و ارزيابي مدل مزبور براي تخمين اين نوع فرسايش بوده است.

مواد و روش‌ها

در اين تحقيق سه نوع خاك با استفاده از يك فلوم زهكش‌دار به ابعاد ۱*۱*۰/۱ متر در شيب‌هاي مختلف (۳ تا ۲۰ درصد) تحت اثر بارندگي با شدت‌هاي مختلف قرار گرفت.

خاک‌هاي مورد آزمايش

خاك‌هاي مورد استفاده از ايستگاه تحقيقات كوهين، جنگل‌هاي اطراف امامزاده هاشم گيلان و تپه‌هاي ماسه‌اي اشتهارد از عمق صفر تا ۲۰ سانتي‌متري جمع‌آوري گرديد. توزيع ذرات اوليه (بافت) و ثانويه (خاكدانه‌ها) نمونه‌هاي خاک به ترتيب با روش هيدرومتري و الک مرطوب اندازه‌گيري گرديد. برخي خواص شيميايي خاک نظير pH، EC، ميزان مواد آلي و كربنات كلسيم معادل نيز با روش‌هاي مرسوم آزمايشگاهي تعيين گرديد. برخي از خصوصيات فيزيكي و شيميايي خاكها در جدول ۱ و توزيع ذرات آنها در شكل ۱ ارائه شده است. دو خاك اول داراي بافت يكسان (لوم رسي) اما توزيع اندازه و پايداري خاكدانه‌هاي كاملاً متفاوت بودند. خاك سوم، خاكي با بافت سبک لوم شني (حدود ۸۰ درصد شن) بدون خاكدانه‌هاي پايدار در آب بود. ميانگين وزني قطر ذرات (ذرات كوچكتر از ۴/۷۵ ميلي‌متر) كه از داده‌هاي الک مرطوب محاسبه گرديد، براي خاک‌هاي كوهين، جنگلي و شني اشتهارد به ترتيب ۰/۵۳، ۲/۰۴ و ۰/۲۱ ميلي‌متر بود.

جدول ۱- برخي خواص فيزيكي و شيميايي خاک‌هاي مورد آزمايش

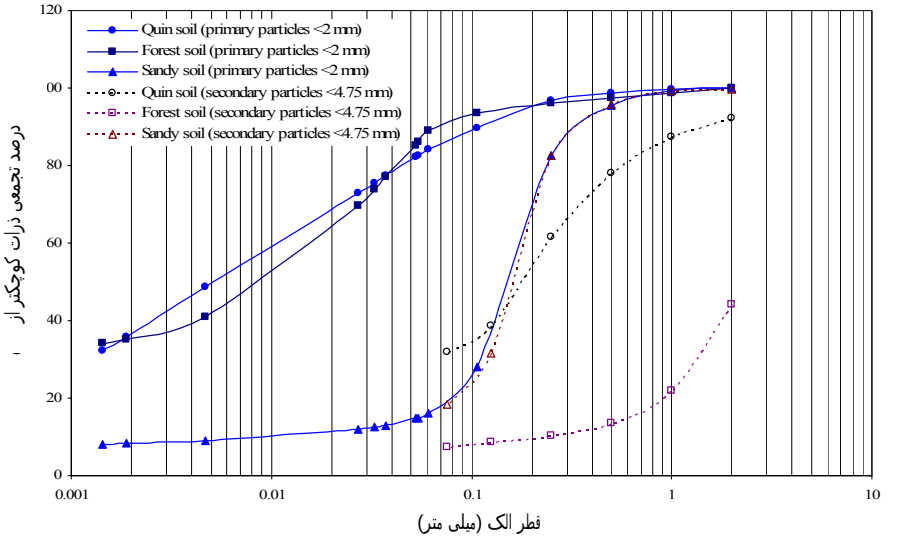
خصوصيات خاک	شن (%)	سيلت (%)	رس (%)	MWD (mm)	SP (%)	OM (%)	$CaCO_3$ (%)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)
خاک كوهين	۳۱/۰	۳۱/۵	۳۷/۵	۰/۵۳	۵۴	۰/۹۵	۱۸	۷/۹	۰/۵
خاک جنگلي	۳۵/۵	۲۹/۰	۳۵/۵	۲/۰۴	۸۰	۱۴/۰۰	۲	۷/۷	۰/۹
خاک شني اشتهارد	۷۸/۰	۱۲/۰	۱۰/۰	۰/۲۱	۲۸	۰/۰۹	۱۲	۸/۰	۲/۶

فلوم مورد استفاده و آماده کردن نمونه‌ها

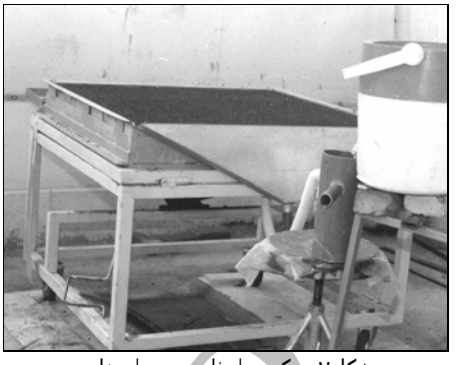
در تحقیق حاضر فلومي زهكش‌دار به ابعاد ۱*۱*۰/۱ متر از جنس آهن گالوانیزه مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲) که شیب آن از صفر تا ۵۰ درصد قابل تنظیم بود. نمونه‌هاي خاك كوهين و اشتهارد پس از گذراندن از الك ٤/٧٥ ميلي‌متر و قرار دادن يک صفحه متخلخل (يک لايه اسكاچ) در كف فلوم، در داخل فلوم ريخته شده و تا حد ممكن مسطح گرديد. اما براي خاك جنگلي به منظور كاهش نفوذپذيري بسيار بالاي خاك و ايجاد رواناب روش متفاوتي بكار رفت. در اين خاك ابتدا ۸ سانتي‌متر خاك در طي دو نوبت در داخل فلوم ريخته شده و با استفاده از يک غلطک، متراكم گرديد تا از نفوذپذيري شديد اين نوع خاك كاسته شود. سپس دو سانتي‌متر خاك ديگر بدون انجام تراكم به لايه زيرين اضافه و مطابق معمول تسطيح شد. به اين منظور سعي شد تا ضريب رواناب در اين خاك جنگلي تقريباً مشابه ضريب رواناب نهايي دو خاك ديگر باشد. اشباع كردن نمونه‌ها در طول شب با استفاده از سيستم زهكشي و از پائين انجام شد. آزمايش‌ها در روز بعد با تنظيم شيب فلوم، تحت شدت‌هاي بارندگي مورد نظر انجام شد. قبل از انجام هر آزمايش اجازه داده شد تا آب ثقلي از لايه خاك مورد آزمايش خارج شود.

شبیه‌ساز باران

شبيه‌سازي باران با استفاده از يك دستگاه شبيه‌ساز با نازل منفرد جاروپي انجام شد. دستگاه مزبور با فشار ثابت ۰/۰٤ مگاپاسكال كار كرده و ارتفاع نازل آن از سطح خاك چهار متر است. ميانگين قطر قطرات شبيه‌ساز مزبور كه با روش گلوله آردي اندازه‌گيري گرديد، ۱/۵ ميلي‌متر و انرژي جنبشي آن حدود ۱۵ ژول بر متر مربع به ازاء هر ميلي‌متر بارندگي است. براي محاسبه انرژي جنبشي، با توجه به فشار پشت نازل و ارتفاع آن فرض شد كه قطرات به سرعت سقوط نهايي خود مي‌رسند. سرعت سقوط نهايي قطرات با استفاده از جدول لاوز (۱۹٤۱) تخمين زده شد، كه براي قطرات به قطر ۱/۵ ميلي‌متر ۵/۵ متر بر ثانيه بدست آمد. دستگاه شبيه‌ساز باران مذكور قادر است باران‌هاي با شدت-هاي مختلف، در دامنه ۲۰ تا ۱۲۰ ميلي‌متر در ساعت را شبيه‌سازي نمايد. شدت بارندگي با تغيير زاويه چرخش نازل تنظيم مي‌شود. شبيه ساز مزبور در داخل ساختمان قرار داده شده و بنابراين در آن اثر باد به صورت كامل حذف شده است.



شكل ۱- توزيع اندازه ذرات اوليه و ثانويه خاك‌هاي مورد بررسي



شکل۲- عکسی از فلوم مورد استفاده

اندازه‌گيري‌ها و محاسبات

در اين تحقيق براي خاک کوهين سه شدت بارندگي (۳۱، ۵۳ و ۸۰ ميلي‌متر در ساعت) در پنج شيب (۳، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد)، براي خاک جنگلي سه شدت بارندگي (۶۴، ۸۰ و ۹۷ ميلي‌متر در ساعت) در چهار شيب (۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و براي خاک اشتهارد يک شدت بارندگي (۸۰ ميلي‌متر در ساعت) در چهار شيب مختلف (۱/۵، ۳، ۵ و ۱۰ درصد) و دو شدت متفاوت بارندگي (۷۰ و ۹۵ ميلي‌متر در ساعت) در يک شيب ثابت ۵ درصد مورد بررسي قرار گرفت. رواناب خارج شده از فلوم به طور پيوسته در فواصل زماني مختلف جمع‌آوري شده و پس از توزين براي تعيين جرم رسوب در دماي ۱۰۵ درجه خشک گرديد. شدت رواناب و شدت فرسايش بين‌شياري براي فواصل زماني مختلف براي کليه آزمايش‌هاي فوق محاسبه گرديد. مدت آزمايش‌ها بسته به نوع خاک و شدت بارندگي براي رسيدن به حالت ماندگار بين ۳۰ تا ٤۵ دقيقه متغير بود. لازم به ذکر است که هر کدام از آزمايش‌هاي شبيه‌سازي بر روي نمونه خاک تازه انجام مي‌شد.

ارزيابي مدل WEPP براي برآورد فرسايش بين‌شياري (معادله ۲) در دو حالت بدون واسنجي و با واسنجي انجام شد. آزمون در کرت ۱*۱ آزمايشگاهي بيانگر فرسايش بين‌شياري در ابتداي طول بحراني مشرف به شيارها مي‌باشد و شيب آن به عنوان شيب جانبي يا عرضي در نظر گرفته شده که باعث مي‌شود رسوبات در جهت عمودي به درون شيار (در اينجا ناودان فلوم) بريزد. زيرا در مدل WEPP فرض شده است که در شرايط طبيعي، بعد از تشکيل شيار، مسير انتقال رسوب در جهت بزرگترين شيب زمين است. همچنين با توجه به ابعاد فلوم مورد بررسي و شرايط شبيه‌سازي باران در اين تحقيق، ضرايب SDR_{RR} و F_{nozzle} در معادله مزبور برابر يک بوده و نسبت Rs به W نيز با توجه به ابعاد فلوم يک فرض مي‌شود، بنابراين معادله ۲ به صورت زير ساده خواهد شد:

$$D_i = K_{iadj} I_e Q_{ir} \quad (۳$$

در شرايط حاکم بر اين مطالعه، فرسايش‌پذيري بين‌شياري تنها براي اثر شيب اصلاح مي‌شود (۴)، يعني:

$$K_{iadj} = K_{ib}(CK_{isl}) \quad (۴$$

که در آن؛ CK_{isl} فاکتور اصلاحي اثر شيب بين‌شياري است که مقدار آن با استفاده از معادله ليبنو و همکاران (۱۹۹۰) محاسبه مي‌شود:

$$CK_{isl} = 1.05 - 0.85\exp[-4\sin(\theta)] \quad (۵$$

که در آن θ زاويه شيب است. در حالت بدون واسنجي، K_{ib} براي سه خاک کوهين، جنگلي و اشتهارد به ترتيب با استفاده از روابط ۶، ۷ و ۸ برآورد گرديد (۴):

$$K_{ib} = 6054000 - 5513000(clay) \quad (۶$$

$$K_{ib} = 1000\,[1810 - 1910\,(sand) - 6327\,(orgmat) - 846\,(\theta_{fc})] \quad (۷$$

$$K_{ib} = 2728000 + 19210000(vfs) \quad (۸$$

که در آن؛ *clay* جزء رس در خاک سطحي، *sand* جزء شن خاک (۱-۰)، *orgmat* جزء ماده آلي در خاک سطحي (۱-۰)، θ_{fc} مقدار حجمي رطوبت خاک ($m^3\ m^{-3}$) در مکش ۰/۰۳۳ مگاپاسکال و *vfs* جزء شن خيلي ريز در خاک سطحي مي‌باشند.

نتايج

از آنجائي که در هيچ يک از آزمايش‌ها تشکيل شيار مشاهده نشد، بنابراين نوع جرياني که در عمل فرسايش دخالت داشته از نوع ورقه‌اي در نظر گرفته شد و فرسايش به عنوان فرسايش بين‌شياري مورد بررسي قرار گرفت. به منظور تبديل ميزان شدت فرسايش و رواناب اندازه‌گيري شده در شيب‌هاي مختلف به شدت فرسايش و رواناب مربوط به سطح افقي با طول يک متر، اين داده‌ها با ضرب کردن آنها در يک ضريب نرمال کننده ($1/\cos\theta$)، که در آن

θ زاویه شیب است) براي طول شیب یک متر نرمال گردیدند. بعد از ارزیابي تغییرات شدت رواناب و غلظت رسوب با زمان براي هر آزمایش در حالت ماندگار، ارقام مورد نیاز با استفاده از میانگین سه یا چهار اندازه‌گیري آخر محاسبه گردید. تمام محاسبات و نتایج ارائه شده در زیر بر اساس شدت رواناب و شدت فرسایش نرمال شده در حالت ماندگار ارائه شده است.

ارزیابي مدل بدون واسنجي

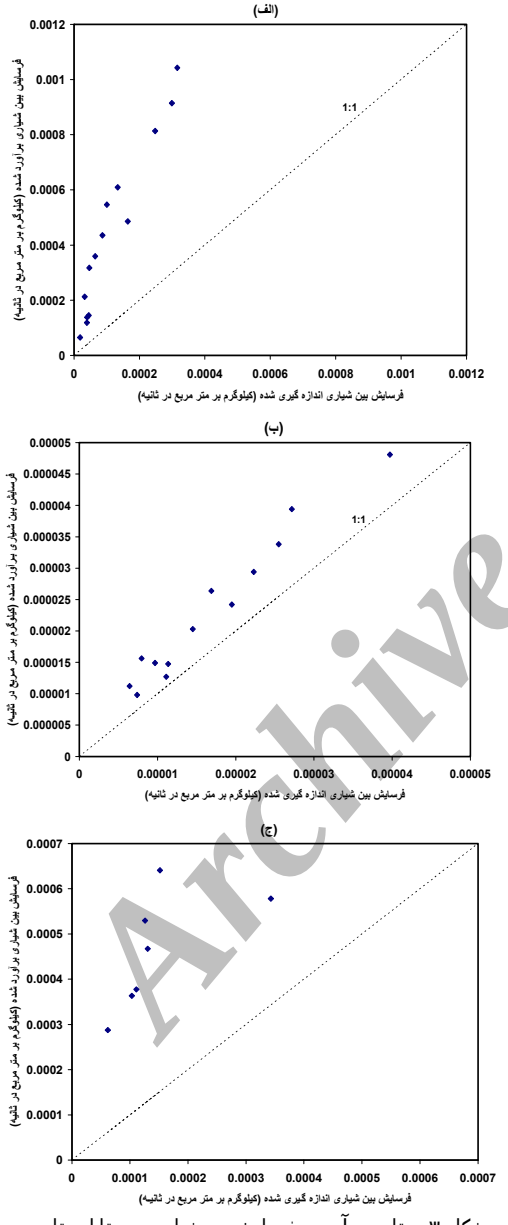
براي ارزیابي معادله ۲ بدون واسنجي، ابتدا ضریب فرسایش‌پذیري بین‌شیاري مبناء (K_{ib}) براي خاک‌هاي مورد آزمایش با استفاده از روابط ۶، ۷ و ۸ از روي خصوصیات خاک برآورد گردید. مقادیر K_{ib} بدست آمده براي سه خاک کوهین، جنگلي و اشتهارد به ترتیب ۳۹۸۶۶۲۵، ۱۳۱۹۹۵ و ۳۶۸۸۵۰۰ کیلوگرم ثانیه بر توان چهارم متر ($kg\ s\ m^{-4}$) بود. سپس براي هر آزمایش با توجه به شیب مربوطه مقدار K_{iadj} با استفاده از معادله ۴ بدست آمد. با داشتن شدت بارندگي و رواناب، شدت فرسایش بین‌شیاري براي هر آزمایش از معادله ۳ برآورد شد. در شکل ۳ مقادیر برآوردي فرسایش بین‌شیاري در مقابل مقادیر اندازه‌گیري شده براي هر یک از سه خاک مورد بررسي به طور جداگانه رسم شده‌اند. همان طور که مشاهده مي‌شود به طور کلي مدل مورد بررسي تمایل به بیش‌برآورد فرسایش بین‌شیاري دارد، اما این اریبي برآورد در مورد خاک کوهین و اشتهارد بیشتر از خاک جنگلي مي‌باشد.

در شکل ۳ ظاهراً به نظر مي‌رسد که در شدت‌هاي بالاتر فرسایش، میزان خطاي برآورد بیشتر است اما در واقع ممکن است این نتیجه‌گیري نادرست باشد. به منظور کمي کردن خطاي برآورد و بررسي ارتباط آن با شدت فرسایش، از معیار درصد بیش‌برآوردي (معادله زیر) استفاده شد.

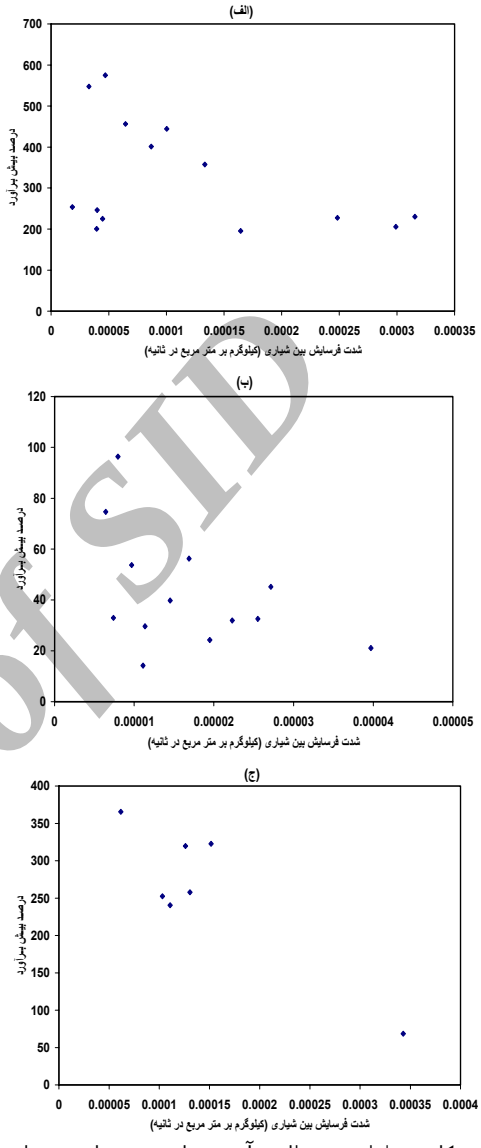
$$OP = \frac{(P_{Di} - M_{Di})}{M_{Di}} \times 100 \qquad (۹$$

که در آن؛ OP درصد بیش‌برآوردي، P_{Di} مقدار برآوردي فرسایش بین‌شیاري و M_{Di} مقدار اندازه‌گیري شده آن است.

نتیجه محاسبات نشان داد که معادله مورد ارزیابي، میزان فرسایش را در خاک کوهین، جنگلي و اشتهارد به ترتیب حدود ۵۷۵-۱۹۵، ۹۵-۱۵ و ۳۶۵-۷۰ درصد بیش‌تر برآورد مي نماید. در شکل ۴ رابطه بین خطاي برآورد (درصد بیش‌برآوردي) با میزان فرسایش ارائه شده است. همان طور که مشاهده مي‌شود، برآورد فرسایش در شدت‌هاي کم فرسایش داراي تغییرات بیشتري بوده و داراي خطاي بیشتر نیز مي‌باشد.



شکل ۳- مقادیر برآوردي فرسایش بین‌شیاري در مقابل مقادیر اندازه‌گیري شده براي (الف) خاک کوهین، (ب) خاک جنگلي و (ج) خاک اشتهارد در شرایط بدون واسنجي



شكل ۴- رابطه بين خطاي برآورد فرسايش بين‌شياري توسط مدل WEPP با شدت فرسايش در (الف) خاک كوهين، (ب) خاک جنگلي و (ج) خاک اشتهارد در شرايط بدون واسنجي

ارزيابي مدل با واسنجي

در اين حالت برخلاف حالت اول كه ضريب فرسايش‌پذيري بين‌شياري از روي خصوصيات خاک تخمين زده شد، مقدار K_{ib} با استفاده از ميزان فرسايش اندازه‌گيري شده از معادلات ۳ و ۴ برآورد گرديد. ارزيابي مدل نيز با روش جک نايفينگ انجام شد. در اين ارزيابي، ابتدا ضريب فرسايش‌پذيري بدست آمده و تغييرات آن با شيب و شدت بارندگي و سپس نتايج ارزيابي كاربرد مدل مذكور مورد بحث قرار گرفته است.

ضريب فرسايش‌پذيري بين‌شياري

به منظور محاسبه ضريب فرسايش‌پذيري، ابتدا K_{iadj} از معادله ۳ براي همه آزمايشها محاسبه شد، سپس K_{ib} با اعمال فاكتور شيب (معادله ۴) محاسبه گرديد. ميانگين K_{ib} برآورد شده از اين روش براي خاكهاي كوهين، جنگلي و اشتهارد به ترتيب ۱۰۶۱۹۵۷، ۹۴۶۰۸ و ۱۱۲۷۷۲۰ كيلوگرم ثانيه بر توان چهارم متر ($kg\ s\ m^{-4}$) بود. اين مقادير به طور معني‌داري كمتر از مقادير برآوردي با استفاده از خصوصيات خاک مي‌باشند. در شكل ۵ تغييرات مقدار K_{ib} محاسبه شده، با شيب و شدت بارندگي براي خاكهاي مورد بررسي ارائه شده است.

ارزيابي مدل

در اين حالت (با انجام واسنجي) ارزيابي معادله ۳ با روش جك‌نايفينگ (۲۴) انجام شد. به اين معني كه براي تعيين ضريب فرسايش‌پذيري خاک در هر آزمايش كه قرار است تخمين براي آن انجام شود، داده‌هاي آن آزمايش از مجموعه داده‌هاي هر خاک كنار گذاشته شده و K_{ib} آن از داده‌هاي ساير آزمايش‌ها با استفاده از روش مطلوب‌سازي (۶) برآورد شد. بعد از برآورد K_{ib} براي هر آزمايش، K_{iadj} آن از معادله ۴ محاسبه شده و درنهايت شدت فرسايش بين‌شياري براي آزمايش مربوطه از معادله ۳ محاسبه گرديد. در اين تحقيق از مجموع مربعات خطا ($SSE = \sum (M_{Di} - P_{Di})^2$)، كه در آن M_{Di} مقدار اندازه‌گيري شده فرسايش بين‌شياري و P_{Di} مقدار برآوردي است) به عنوان تابع ضمني براي مطلوب‌سازي استفاده شد. نتايج ارزيابي مدل با روش جک نايفينگ براي هر سه خاک مورد بررسي در شكل ۶ ارائه شده است.

بحث

در حالت بدون واسنجی (شكل ۳) به طور كلي مدل تمايل به بيش‌برآورد فرسايش بين‌شياري دارد، اما اين اريبي برآورد در مورد خاک كوهين و اشتهارد بيشتر از خاک

جنگلي مي‌باشد. تا كنون بررسي‌هاي زيادي به منظور ارزيابي مدل WEPP صورت گرفته است كه در مواردي اين مدل داراي مشكل بيش‌برآوردي و در مواردي داراي مشكل كم‌برآوردي بوده است. سوتو و ديازفيروز (۱۹۹۸) در مطالعه‌اي كه به منظور بررسي اثرات آتش سوزي بر رواناب و فرسايش خاك انجام شده، نشان دادند كه با وجود انطباق قابل قبول بين مقادير اندازه‌گيري شده و برآوردي مقدار آب خاك، رواناب و فرسايش، مدل WEPP تمايل به كم‌برآوردي فرسايش دارد. در مقابل كينكيد (۲۰۰۲) نشان داد كه مدل مزبور تمايل به بيش‌برآورد شدت رواناب و ميزان فرسايش خاك دارد، اما خطاي برآورد فرسايش حدوداً دو تا سه برابر بيشتر از خطاي برآورد رواناب است.

در اين مطالعه براى بررسي خطاي برآورد و ارتباط آن با شدت فرسايش، از معيار درصد بيش‌برآوردي استفاده شد. همان طور كه در شكل ۴ مشاهده مي‌شود، برآورد فرسايش در شدت‌هاي كم فرسايش داراي تغييرات بيشتري بوده و داراي خطاي بيشتر نيز مي‌باشد. اين نتايج با نتايج مطالعه نيرينگ و همكاران (۱۹۹۹) و نيرينگ (۲۰۰۴) همخواني دارد كه نشان دادند ميزان تغييرات فرسايش و در نتيجه خطاي برآورد آن در شدت‌هاي كم فرسايش حداكثر بوده و با افزايش شدت فرسايش كاهش مي‌يابد. ميزان بسيار بالای خطای برآورد نشان می دهد که واسنجی مدل ضروری است.

در حالتی که واسنجی انجام شده است، چنانچه عوامل مؤثر بر فرسايش بين‌شياري به درستي در مدل توصيف شده باشند بديهي است كه K_{ib} محاسبه شده بايستي با تغييرات جزئي ناشي از خطاي اندازه‌گيري كه به طور تصادفي توزيع يافته، داراي مقدار نسبتاً ثابتي باشد. اما همان طور كه در شكل ۵ مشاهده مي‌شود، K_{ib} محاسبه شده داراي تغييرات قابل توجه‌اي بوده كه در بيشتر موارد نيز داراي روند سيستماتيک است. به عنوان مثال در خاک کوهین در شدت بارندگي ۵۳ ميليمتر در ساعت، با افزايش شيب مقدار K_{ib} نيز افزايش مي‌يابد يا در خاک جنگلي K_{ib} با افزايش شدت بارندگي افزايش و با افزايش شيب ابتدا كاهش و سپس افزايش مي‌يابد. در خاک اشتهارد نيز K_{ib} در شيب ۱۰ درصد حدود ۲/۲ برابر ميانگين K_{ib} در شيب‌هاي ديگر است. اين تغييرات مي‌توانند ناشي از يک يا تركيبي از سه عامل زير باشند:

(الف) نامناسب بودن ساختار معادله‌اي (معادله ۵) كه فاكتور شيب بين‌شياري با استفاده از آن برآورد مي‌شود،

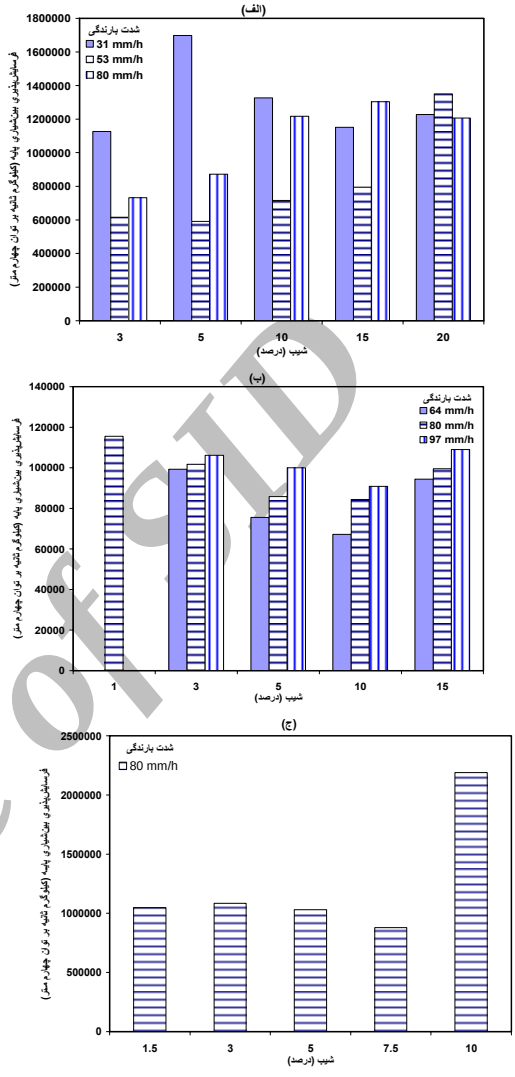
(ب) فعال و غالب بودن فرآيندهاي ناشي از رواناب در شيب‌هاي بالاتر و وجود برهمكنش بين فرآيندهاي فرسايشي، و يا

(ج) در نظر نگرفتن اثر عمق آب بر فرسايش بين‌شياري توسط مدل WEPP.

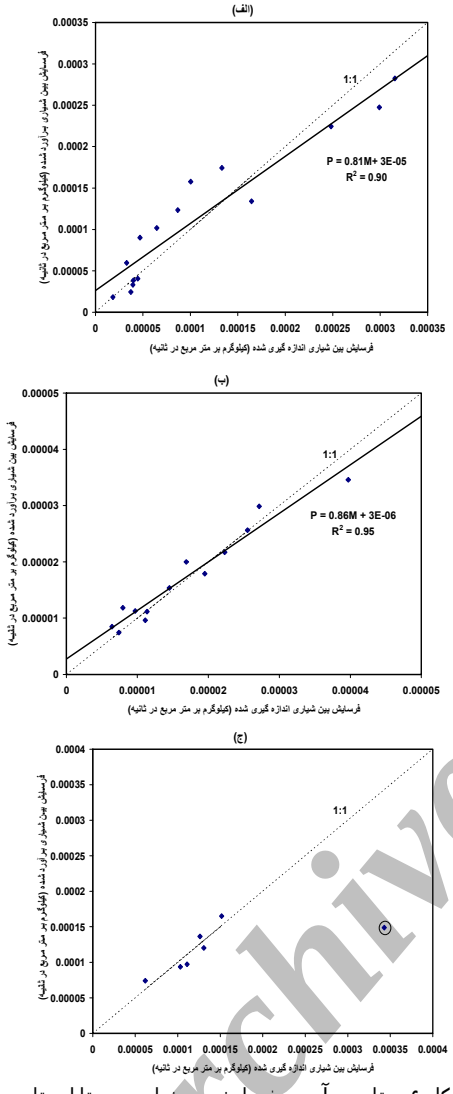
از آنجا كه در همه موارد با افزايش شيب K_{ib} افزايش يا كاهش نيافته است، بنابراين در مورد نامناسب بودن معادله فاكتور شيب نمي‌توان به طور قطعي اظهار نظر نمود. در اين مورد اسدي و همكاران (۱۳۸۵) نشان دادند كه نوع رابطه بين شيب و شدت فرسايش رابطه واحدي نبوده و براي هر خاک معين بستگي به شدت بارندگي و نيز نوع فرآيند فرسايشي غالب دارد.

اختلاف بسيار زياد K_{ib} *مربوط به* شيب ۱۰ درصد در خاک اشتهارد در مقايسه با ديگر شيبها با احتمال بسيار زياد ناشي از فعال و غالب بودن فرآيندهاي ناشي از رواناب و برهمكنش مثبت بين اين فرآيندها با فرآيندهاي ناشي از بارندگي در اين شيب است. اثر عمق آب بر فرآيندهاي ناشي از بارندگي در مطالعات متعددي (۵، ۷، ۱۰، ۱۱ و ۱۸) مورد بررسي و تاكيد قرار گرفته است و در مدلهاي فرآيندي ديگر نظير GUEST و EUROSEM به طور مستقيم وارد شده است، در حالي كه در مدل WEPP براي توصيف فرسايش بين‌شياري در نظر گرفته نشده است. با توجه به تغيير عمق آب با شيب و شدت بارندگي و اثر آن بر ميزان فرسايش ناشي از بارندگي، مي‌توان ادعا كرد كه بخشي از تغييرات K_{ib} (شكل ۵) به احتمال بسيار زياد ناشي از در نظر نگرفتن تأثير عمق آب به صورت يک پارامتر در مدل WEPP مي‌باشد.

همان طور كه در شكل ۶ مشاهده مي‌شود مي‌توان پي برد كه واسنجي مدل مي‌تواند وضعيت برآورد فرسايش را به نحو چشمگيري در مقايسه با تخمين مدل در حالت بدون واسنجي (شكل ۳) بهبود بخشيده و به ميزان قابل قبولي ارتقاء دهد.



شکل ۵- تغییرات ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری پایه (K_{ib}) با شیب و شدت بارندگی (الف) در خاک کوهین، (ب) در خاک جنگلی و (ج) در خاک اشتهارد



شکل ۶- مقادیر برآوردي فرسایش بین‌شیاري در مقابل مقادیر اندازه‌گیري شده براي (الف) خاک کوهین، (ب) خاک جنگلي و (ج) خاک اشتهارد در حالتي که واسنجي انجام شده است

این بدان معني است که معادله‌اي که براي توصیف فرسایش بین‌شیاري ارائه شده است (معادله ۳) با وجود ایرادهاي وارده بر آن (آنچه در بالا بیان شد) و تجربي بودن آن، معادله نسبتاً مناسبي است. اما معادله‌هاي ارائه شده براي تخمین ضریب فرسایش‌پذیري بین‌شیاري در خارج از شرایط آمریکا قابل کاربرد نمي‌باشند. این نتایج با نتایج یو و همکاران (۲۰۰۰) همخواني دارد که توانایي مدل WEPP را براي تخمین رواناب و تلفات خاک از یک مزرعه آناناس در یک خاک شني مورد ارزیابي قرار دادند. آنها نیز ارزیابي مدل را در دو حالت بدون واسنجي و با واسنجي انجام داده و مشاهده کردند که ضریب تشخیص (R^2) در این دو حالت به ترتیب ۰/۵۷ و ۰/۸۱ است. آنها نتیجه گرفتند که به طور کلي مدل WEPP قادر است روند و تغییرات رواناب و تلفات خاک را شبیه سازي نماید اما واسنجي مدل ضروري

است.

معادله‌هاي برازش داده شده براي داده‌هاي خاكهاي كوهين وجنگلي (شكل ۶ الف و ب) نشان مي‌دهد كه مدل WEPP در حالت واسنجي شده تمايل به بيش‌برآورد مقادير كوچك فرسايش و كم‌برآورد مقادير بزرگ دارد. نتايج ارزيابي مدل‌هاي مختلف فرسايش خاک (۱، ۵، ۱۲، ۱۹، ۲۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۷) حاكي از آن است كه اكثر اين مدلها داراي چنين ويژگي در برآورد تلفات خاک هستند.

نكته قابل توجه ديگري كه در مورد خاک اشتهارد (شكل ۶- ج) قابل ذكر است و با علامت دايره (O) در شكل مذكور نشان داده شده كم‌برآوردي فاحش ميزان فرسايش در شيب ۱۰ درصد و با بارندگي ۸۰ ميليمتر در ساعت است كه دليل اختلاف آن با ساير نقاط مورد بررسي در اين شكل، به احتمال زياد غالب بودن فرآيندهاي ناشي از رواناب و برهمكنش مثبت بين فرآيندهاي مختلف فرسايشي و خصوصيات ويژه اين خاک در واكنش به فرسايش ناشي از رواناب است.

سپاسگزاري

اين پژوهش مستخرج از طرح تحقيقاتي نوع ششم به شماره ۷۱۰٤/د/۰۵۱ مي‌باشد كه با حمايت مالي معاونت پژوهشي دانشگاه تهران و در آزمايشگاه فرسايش خاک مؤسسه تحقيقات جنگلها و مراتع انجام شده است كه بدينوسيله تشكر و قدرداني مي‌شود.

منابع مورد استفاده

REFERENCES

۱. اسدي، ح.، ح. رفاهي، ح. روحي پور و حسين قديري، ۱۳۸۵. بررسي فرسايش بين شياري و ارزيابي چند معادله در شرايط آزمايشگاهي با استفاده از شبيه سازي باران، مجله علوم كشاورزي ايران، جلد ۳۷: شماره۵: ۷۸٤-۵-۷۷۵.

۲. جلاليان، ا.، ا. محمدي مهساره، و ح. ر. كريم زاده، ۱۳۷۳. فرسايش و رسوب و علل آن در حوزه‌هاي آبخيز كشور و ارائه نتايج موردي در بعضي از حوزه‌هاي آبخيز ايران، چهارمين كنگره علوم خاك ايران، خلاصه مقالات، ص ۱۰-۹.

۳. مهدوي، م.، ۱۳۸۱. مديريت اراضي و فرسايش خاك در آبخيزهاي ايران، مجموعه مقالات همايش ملي مديريت اراضي- فرسايش خاك و توسعه پايدار، مركز تحقيقات منابع طبيعي و امور دام استان مركزي و مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري، ص ۵-۳.

4. Alberts, E. E., M. A. Nearing, M. A. Weltz, L. M. Risse, F. B. Pierson, X. C. Zhang, J. M. Laflen & J. R. Simanton. 1995. Soil Component, Chapter 7 In: D. C. Flanagan, and M. A. Nearing (eds.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation. NSERL. Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
5. Asadi, H., H. Rouhipour, H. Gh. Refahi & H. Ghadiri. 2008. Testing a mechanistic soil erosion model for three selected soil types from Iran. Iranian Journal of Agricultural Science and Technology,vol. 10(1):(under press).
6. Blau, J. B., D. A. Wodhiser & L. J. Lane. 1988. Identification of erosion model parameters. Transactions of the ASAE, 31(3): 839-845, 854.
7. Ferreira, A. G. & M. J. Singer. 1985. Energy Dissipation for water drop impact into shallow pools. Soil Sci. Soc. of Am. J., 49: 1537-1541.
8. Foster, G. R., D. C. Flanagan, M.A. Nearing, L. J. Lane, M. Risse & S. C. Finkner. 1995. Hillslope erosion component, In: D.C. Flanagan, and M.A. Nearing (edts.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation. NSERL. Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
9. Kincaid, D. C. 2002. The WEPP model for runoff and erosion prediction under sprinkler irrigation. Transactions of the ASAE, 45(1): 67-72.
10. Kinnell, P. I. A. 1991. The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow flows. Transactions of the ASAE, 34(1): 161-168.
11. Kinnell, P. I. A. 1993. Sediment concentrations resulting from flow depth/drop size interactions in shallow overland flow. Transactions of the ASAE, 36(4): 1099-1103.

12. Kinnell, P. I. A. 2003. Event erosivity factor and errors in erosion predictions by some empirical models. Aust. J. of Soil Res., 41: 991-1003.
13. Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects, In: R. Lal (ed.), Soil Erosion Research Methods, the Soil and Water Conservation Society and St. Lucie Press, U. S. A pp 1-9.
14. Laws, J. O. 1941. Measurement of fall velocity of water drops and raindrops. Trans. Am. Geophys. Union. 22: 709-721. In: R. J. Rickson, Experimental Techniques for Erosion Studies: Rainfall Simulation, Silsoe, Bedfordshire, UK, MK45 4DT.
15. Liebenow, A. M., W. J. Elliot, J. M. Laflen & K. D. Kohl. 1990. Interrill erodibility, Collection and analysis of data from cropland soils. Transactions of the ASAE, 33(6): 1882-1888.
16. Misra, R. K. & C. W. Rose. 1996. Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST. Euro. J. of Soil Sci., 47: 593-604.
17. Morgan, R. C. P., J. N. Quinton, R. J. Smith, G. Govers, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chischi, D. Torri & M. E. Styczen. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Ear. Surf. Proc. and Landf., 23: 527-544.
18. Moss, A. J. & P. Green. 1983. Movements of solids in air and water by raindrop impact, Effect of drop-size and water depth variations. Aust. J. of Soil Res., 21: 257-269.
19. Nearing, M. A. 1998. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. Catena, 32: 15-22.
20. Nearing, M. A. 2004. Capabilities and limitations of erosion models and data, ISCO 2004 - 13th International Soil Conservation Organization Conference – Brisbane, July 2004, Australia.
21. Nearing, M. A., G. Govers & L. D. Norton. 1999. Variability in soil erosion data from replicated plots. Soil Sci. Soc. of Am. J., 63:1829-1835.
22. Rapp, J. F. 1994. Error Assessment of the Revised Universal Soil Loss Equation using Natural Run-off Plot Data, MS Thesis, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, AZ. In: Nearing, M. A. 1998. Why soil erosion models over-predict small soil losses and under-predict large soil losses. Catena, 32: 15-22.
23. Risse, L. M., M. A. Nearing, A. D. Nicks & J. M. Laflen. 1993. Assessment of error in the universal soil loss equation. Soil Sc. Soc. of Am. J., 57: 825-833.
24. Shao, J., and D. Tu. 1995. The Jackknife and Bootstrap. Springer, US, 516 p.
25. Soto, B., and F. Diaz-Fierros. 1998. Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. Catena, 31: 257-270.
26. Tiwari, A. K.; L. M. Risse & M. A. Nearing. 2000. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. Transactions of the ASAE, 43: 1129-1135.
27. Yu, B., C. A. A. Ciesiolka, C. W. Rose & K. J. Coughlan. 2000. A validation test of WEPP to predict runoff and soil loss from a pineapple farm on a sandy soil in subtropical Queensland, Australia. Aus. J. of soil Res., 38: 537-554.
28. Zhang, X. C., M. A. Nearing, L. M. Risse & K. C McGregor. 1996. Evaluation of run-off and soil loss predictions using natural run-off plot data. Transactions of the ASAE, 39(3): 855-863.