

بررسی رابطه برخی از شاخصهای پایداری خاکدانه با عامل فرسایش پذیری خاک با استفاده از شبیه سازی باران

حسن روحی پور^۱، هومن فرزانه^۲ و حسین اسدی^۳

چکیده

در حال حاضر برای تخمین میزان فرسایش و رسوب الگوهای زیادی متداول گردیده است که بعضی از آنها براساس فرایندهای فرسایش و برخی دیگر براساس معادلات تجربی استوار هستند. عامل فرسایش پذیری یا (*Erodibility*)، به عنوان یکی از خواص ذاتی خاک در هر دو دسته الگو کاربرد داشته و در برآورد میزان فرسایش از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهشگران متعددی تلاش کرده اند تا رابطه شاخص فرسایش پذیری خاک را با برخی از خواص فیزیکی - شیمیایی خاک مورد بررسی قرار داده و نقش مهمترین خصوصیتی را که در حساسیت خاک به فرسایش وجود دارد تعیین نمایند. از آنجایی که بسیاری از خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک در پایداری خاکدانه ها متبلور است در این تحقیق تلاش شده تا ارتباط بین عامل فرسایش پذیری یا حساسیت ذاتی خاک به فرسایش در دو الگوی تجربی و فرایندی با برخی از شاخصهای پایداری خاکدانه ها مانند *WSA* و *MWD* مورد بررسی قرار گیرد. دو نوع الگو به نامهای *GUEST* از نوع فرایندی و دیگری *USLE* از نوع تجربی مشهور به معادله جهانی هدر رفت خاک انتخاب گردید. برای انجام آزمایش چهار نوع متفاوت خاک از نظر ساختار بافتی، از بافت سبک تا سنگین با درجه های مختلف از چند حوضه آبخیز کشور نمونه برداری و مورد بررسی قرار گرفت. عملیات شبیه سازی باران روی هر چهار نوع خاک در

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۸۳

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۸۳

E-mail: rouhi@rifr-ac.ir

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک شناسی واحد علوم و تحقیقات اهواز.

۳- دانشجوی دکتری خاک شناسی دانشگاه تهران.

آزمایشگاه فرسایش و رسوب مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع به عمل آمد. آزمایشهای شبیه سازی به مدت ۲۰ تا ۶۰ دقیقه بسته به نوع خاک در چهار شدت مختلف بارندگی (۲۵، ۳۵، ۵۰ و ۸۰ میلیمتر در ساعت) و در پنج شیب متفاوت (۳، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) بر روی هر ۴ نمونه خاک انجام شد. عامل فرسایش پذیری در الگو فرایندی *GUEST* به نام عامل (β) و در الگو تجربی *USLE* به نام (K) با استفاده از نمودار ویشمایر و اسمیت محاسبه گردید. همچنین پایداری خاکدانه ها در شاخص *WSA* و *MWD* در هر ۴ نمونه توسط دستگاه الک مرطوب اندازه گیری شد. همبستگی بین این دو شاخص پایداری و عامل فرسایش پذیری محاسبه شده در هر دو الگو توسط نرم افزار *SPSS* مورد مقایسه آماری قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این آزمایش نشان داد که میانگین وزنی قطر ذرات یا *MWD* با عامل فرسایش پذیری (β) در الگو فرایندی *GUEST* دارای همبستگی خطی معنی دار است، در حالی که با عامل فرسایش پذیری K از الگو جهانی فرسایش خاک این همبستگی معنی دار نیست. پایداری خاکدانه ها در معیار *WSA* نیز نشان داد که طبقه قطری بزرگتر از ۱۲۵/۱ میلیمتر بیشترین همبستگی معنی دار را با عامل فرسایش پذیری β در الگوی فرایندی داشته است.

واژه های کلیدی: الگو فرایندی و تجربی، عامل فرسایش پذیری، شاخص پایداری خاکدانه،

شبیه ساز باران

مقدمه

به دلیل مشکلات و محدودیتهای موجود در روشهای مستقیم اندازه‌گیری فرسایش خاک و همین‌طور پیشرفت شایان توجهی که در درک مفاهیم و سازوکار فرآیند فرسایش حاصل شده، ابداع الگوهای مختلف در زمینه فرسایش و رسوب از سالها پیش مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر شناخت نسبتاً جامعی از بسیاری عوامل مؤثر در فرآیند فرسایش حاصل شده و روابط بین آنها به صورت معادلات ریاضی تعریف شده است. (مورگان، ۱۹۸۶). براساس این روابط الگوهای متنوعی تکامل یافته که الگوهای فرآیندی و تجربی از آن جمله هستند.

در این تحقیق، از بین الگوهای فرآیندی، الگو (Griffith University Erosion *GUEST* System Template) و از الگوهای تجربی، الگو جهانی هدر رفت خاک یا *USLE* انتخاب شده تا رابطه عامل فرسایش‌پذیری خاک در این دو الگو با پایداری خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گیرد. قبل از اینکه به موضوع فرسایش‌پذیری پرداخته شود لازم است تا حدودی برای آشنایی به مبانی این دو الگو اشاره شود.

الگو فرآیندی *GUEST*

این الگو براساس الگو رز (۱۹۸۳) و هیرسین و رز (۱۹۹۲) استوار است. در این الگو سه فرآیند؛ جدا شدن ذرات خاک توسط قطرات باران^۱، ترسیب ذرات^۲ و جدا شدن ذرات و حمل آنها^۳ توسط رواناب در نظر گرفته شده است. غلظت رسوب در رواناب حاصل برآیند این سه فرآیند است. ترسیب یا ته نشینی ذرات تحت اثر نیروی ثقل، فرآیندی است که به‌طور پیوسته در طول فرآیند فرسایش صورت می‌گیرد. فرآیند ترسیب به شدت انتخابی بوده و شدت آن به توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌ها بستگی

-
- 1- Rainfall detachment
 - 2- Sediment deposition
 - 3- Entrainment of sediment

دارد. برای ذرات شن و خاکدانه‌های درشت سریعتر و برای خاکدانه‌ها یا ذرات با اندازه رس خیلی آرام است. سرعت سقوط خاکدانه‌ها یا ذرات اولیه به اندازه، شکل و تراکم (غلظت) آنها بستگی دارد. فرض کنید که خاک به‌طور اختیاری به تعداد I طبقه سرعت سقوط^۱ با جرم برابر تقسیم‌بندی شده است. توزیع سرعت سقوط این ذرات، خصوصیات سرعت ته‌نشینی خاک را توصیف می‌نماید. چنانچه سرعت ته‌نشینی ذرات در طبقه قطری i را با v_i نشان دهیم، توان ترسیب‌پذیری مؤثر خاک که تقریباً برابر میانگین سرعت سقوط ذرات رسوب در آب است و با ϕ نشان داده می‌شود از رابطه زیر بدست می‌آید (روحی‌پور، ۱۳۸۰).

$$\phi = \sum_{i=1}^I \frac{v_i}{I} \quad (\text{m s}^{-1}) \quad (1)$$

در الگو GUEST میزان فرسایش ناشی از برخورد قطرات باران با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$c = \frac{aP^p}{\varepsilon Q} \quad (\text{kg m}^{-3}) \quad (2)$$

که در آن:

$$\varepsilon = 1 + \frac{a\phi}{Qa_d} \quad (3)$$

در این روابط، c غلظت رسوب، a و a_d به ترتیب ضریب جدایش‌پذیری^۲ خاک اولیه و لایه ترسیب یافته در حین رویداد فرسایش است. P شدت بارندگی و p کوچک یک نمای بدون بعد برای شدت بارندگی است که تقریباً برابر عدد یک است. Q شدت روان‌آب در واحد سطح ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) است.

1- Settling velocity class

2- Detachability

در الگو GUEST حداکثر غلظت رسوب ناشی از عمل رواناب برای جریان ورقه‌ای با روابط زیر برآورد می‌شود؛

$$C_t = \frac{F\sigma S}{(\sigma/\rho - 1)\phi_e} \left(\frac{\sqrt{S}}{n} \right)^{3/5} L^{2/5} Q^{2/5} \quad (4)$$

که در آن؛ F بخشی از قدرت جریان است که برای انجام کار فرسایش در دسترس می‌باشد، $\phi = \sum vi/I$ توان ترسیب‌پذیری مؤثر (m s-1)، S شیب (m m-1)، ρ دانسیته آب (kg m-3)، σ دانسیته مرطوب رسوب (kg m-3)، n ضریب زبری مانینگ، L طول شیب (m) و Q شدت روان‌آب ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) است. مقدار F برای جریانهای متلاطم تقریباً برابر ۰/۱ است اما در قدرت جریانهای کمتر از ۰/۱ وات بر متر مربع به سمت ۰/۲ افزایش می‌یابد (Proffitt et al., 1993).

مطالعات متعدد نشان داده است که بین میزان واقعی بار رسوب (غلظت واقعی رسوب؛ c) و حداکثر حمل رسوب (c_t) رابطه‌ای نمایی به‌صورت زیر وجود دارد:

$$c = c_t^\beta \quad (\text{kg m}^{-3}) \quad (5)$$

در رابطه (۵)، β یک مؤلفه تجربی فرسایش‌پذیری است. β همبستگی زیادی با مؤلفه اصلی فرسایش‌پذیری، یا مقاومت خاک دارد (Rose, 1993). چنانچه مؤلفه فرسایش‌پذیر خاک (β) معلوم باشد با استفاده از الگو GUEST می‌توان غلظت رسوب را بر هر واقعه مجرد یا رگبارش محاسبه نمود.

برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری β ، با برقراری یک رشته آزمایشهای کرتی ابتدا میانگین غلظت واقعی رسوب (c) در کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شده و بعد حداکثر توان حمل C_t با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود. پس از اندازه‌گیری بار رسوب و محاسبه توان حمل، عامل β از رابطه زیر بدست می‌آید (روحی‌پور، ۱۳۸۰).

$$\beta = \frac{\ln c}{\ln c_t} \quad (6)$$

مقادیر شاخص پایداری خاکدانه‌ها در معیار WSA و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD برای چهار نمونه خاک مورد بررسی که با استفاده از دستگاه الک مرطوب اندازه‌گیری و محاسبه شده به‌عنوان شاخصهای پایداری خاکدانه‌ها در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول شماره ۳- نتایج حاصل از اندازه‌گیری پایداری خاکدانه و شاخص پایداری

نمونه	%WSA > 1	%WSA > 0.5	%WSA > 0.25	%WSA > 0.125	%WSA > 0.075	MWD (mm)	C ₅₋₁₀ (%)
۱	۴۲/۸	۴۵/۱	۴۷/۶	۵۲/۰	۵۶/۳	۰/۷۰	۴/۵۵
۲	۱۲/۹	۱۳/۹	۱۷/۳	۲۷/۳	۳۵/۰۴	۰/۲۶	۳/۱۵
۳	۳۶/۳	۵۳/۹	۷۰/۳	۸۴/۵	۸۹/۶	۰/۷۷	۱/۸۴
۴	۸۰/۱	۹۰/۹	۹۵/۹	۹۸/۶	۹۹/۸	۱/۳۱	۴/۳۷

نمونه شماره ۴ دارای خاکدانه‌های پایدارتر نسبت به نمونه‌های دیگر به ویژه نمونه شماره ۲ می‌باشد. این امر به دلیل تأثیر کرین آلی این نمونه در خاکدانه‌پذیری و پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت رسوب جمع‌آوری شده در شدتهای مختلف بارندگی و در شیبهای مختلف برحسب گرم در لیتر برای چهار نوع خاک مورد بررسی در جدول شماره ۴ آورده شده است. در ستون آخر این جدول میزان غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در سینی پاشمان نیز ارائه شده است.

جدول شماره ۴- میزان غلظت رسوب (gr/lit) در تیمارهای مختلف آزمایشی

شماره نمونه	شیب شدت بارندگی	٪۳	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۰	اثر باران (باشمان)
	۲۵	۲/۷	۴/۸	۵/۹	۱۲/۶	۲۷	۴/۴
۱	۳۵	۵/۶	۷/۲	۱۰/۵۲	۲۲/۵	۴۲/۴	۵
	۵۰	۷/۲	۸/۳	۱۱/۴	۲۳/۵	۴۸/۲	۵/۲
	۸۰	۹/۲	۹/۳	۱۷/۱	۳۲	۵۵/۵	۵/۸
	۲۵	۵/۹	۱۲/۵	۱۷/۶	۷۲	۹۳/۵	۷/۸
	۳۵	۶/۸	۱۳/۹	۱۵/۵	۶۸	۹۷	۷/۸
۲	۵۰	۸	۱۴/۵	۴۴/۹	۹۳/۳	۱۱۵	۸
	۸۰	۱۲/۲	۱۵/۳	۵۶/۸	۹۵/۵	۱۲۳/۵	۸
	۲۵	۱/۵	۱/۸	۱/۹	۲/۵	۳/۱	۰/۱۲
	۳۵	۱/۶	۱/۹	۲/۲	۴	۵/۲	۰/۱۳
۳	۵۰	۱/۹	۲/۵	۳	۵/۲	۷	۰/۱۴
	۸۰	۱/۹	۳/۱	۵/۵	۷/۵	۸/۹	۰/۱۵
	۲۵	۱/۰۲	۱/۶۳	۱/۷	۲/۱	۲/۷	۰/۱۲
	۳۵	۱/۰۴	۱/۶۵	۱/۷۸	۲/۶	۲/۹	۰/۱۲
۴	۵۰	۱/۰۹	۱/۷	۱/۹۷	۲/۹	۳/۱	۰/۱۲
	۸۰	۱/۱	۱/۸	۲/۲	۴/۴	۵/۵	۰/۱۳

با استفاده از نمودار ویشمایر، فرسایش پذیری (K) از الگوی جهانی هدر رفت خاک براساس تخمین اول نمودار بدست آمد. فرسایش پذیری β با استفاده از فرمولهای ۱ و ۲ مربوط به الگوی فرآیندی و ضرایب فرسایش پذیری α و α_h با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه گردید. نتایج حاصل در جدول شماره ۵ ذکر شده است.

جدول شماره ۵- نتایج حاصل از محاسبه شاخصهای فرسایش پذیری

در دو الگوی فرایندی و تجربی

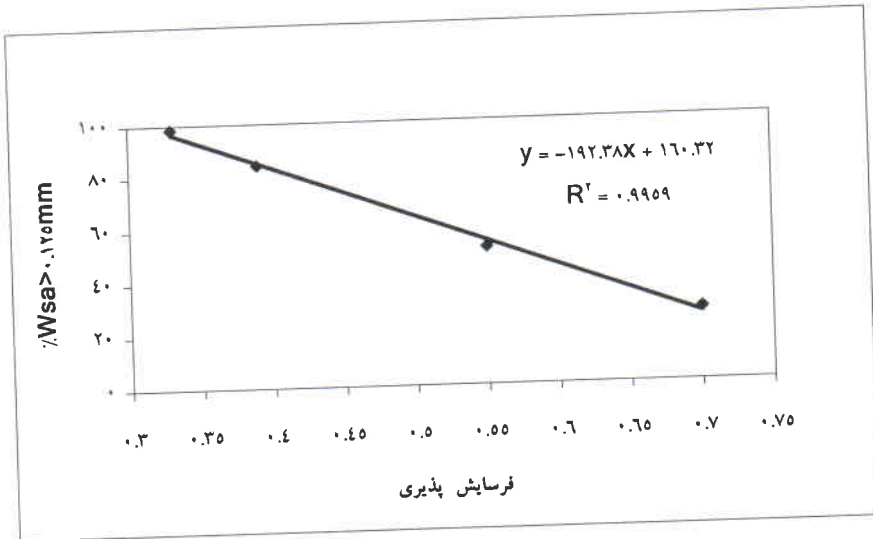
نمونه خاک	ضریب α_d	ضریب α	K	β
۱	۸۶۸	۴۷/۵	۰/۲۳	۰/۵۵
۲	۸۸۱۶	۷۲	۰/۳۴	۰/۷
۳	۵۵۱	۱/۲۶	۰/۲۱	۰/۳۹
۴	۹۵۱	۰/۹۶	۰/۱۶	۰/۳۳

در جدول شماره ۶ نتایج حاصل از رگرسیون بین عامل فرسایش پذیری β و K با میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، درصد خاکدانه‌های بزرگتر از ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۷۵ میلیمتر و ضرایب α و α_d آورده شده است. ضریب فرسایش پذیری β دارای همبستگی منفی معنی دار در سطح ۵٪ با MWD است، در حالی که K محاسبه شده دارای همبستگی ضعیف تری با MWD می باشد. ضرایب فرسایش پذیری β و K هر دو دارای همبستگی منفی معنی دار با درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۰۱۲۵ میلیمتر می باشند. در حالی که K دارای بالاترین همبستگی با درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلیمتر است (تمامی اعداد کوچکتر از ۰/۰۵ مربوط به سطح احتمال بیانگر معنی دار بودن روابط بین دو متغیر می باشند).

جدول شماره ۶- میزان همبستگی و سطح احتمال شاخصهای مختلف فرسایش پذیری با میانگین وزنی قطر و درصد خاکدانه‌های پایدار (حاصل از نرم افزار SPSS)

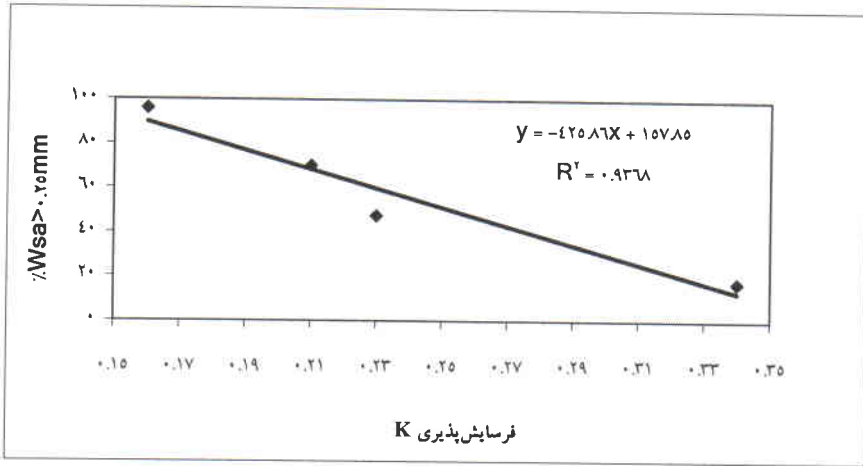
α_1		α		β		K		عامل فرسایش پذیری
رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	رابطه مربع	مؤلفه‌های همبستگی
								شاخص پایداری
-۰/۹۹۰	۰/۰۰۵	-۰/۹۸۰	۰/۰۱	-۰/۹۶	۰/۰۲	-۰/۸۳۵	۰/۰۸۳	MWD
-۰/۶۱۱	۰/۱۹۴	-۰/۷۲۹	۰/۱۳۵	-۰/۷۳۲	۰/۱۳۴	-۰/۸۸۵	۰/۰۵۷	%WSA > 1mm
-۰/۷۶۹	۰/۱۱۵	-۰/۸۶۵	۰/۰۶۷	-۰/۹۳۶	۰/۰۳۲	-۰/۹۶۰	۰/۰۲	%WSA > 0.5mm
-۰/۸۶۸	۰/۰۶۶	-۰/۹۴۵	۰/۰۲۸	-۰/۹۸۵	۰/۰۰۷	-۰/۹۶۸	۰/۰۱۶	%WSA > 0.25mm
-۰/۹۲۹	۰/۰۳۵	-۰/۹۸۴	۰/۰۰۸	-۰/۹۹۸	۰/۰۰۱	-۰/۹۴۳	۰/۰۲۹	WSA > 0.125mm
-۰/۹۴۵	۰/۰۲۷	-۰/۹۹۱	۰/۰۰۵	-۰/۹۹۷	۰/۰۰۲	-۰/۹۲۹	۰/۰۳۶	%WSA > 0.075mm

بالاترین همبستگی منفی بین β با درصد خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۱۲۵ میلی‌متر وجود دارد که این همبستگی در سطح ۱ هزارم معنی‌دار است (نمودار شماره ۱). نمودار فوق نشان می‌دهد که بین پایداری خاکدانه‌ها و ضریب فرسایش‌پذیری الگوی فرایندی رابطه قوی منفی وجود دارد یعنی با افزایش درصد خاکدانه‌های پایدار فرسایش‌پذیری خاک کاهش می‌یابد و در عوض مقاومت خاک نسبت به فرسایش افزایش پیدا می‌کند.



نمودار شماره ۱- رابطه بین ضریب فرسایش پذیری β و درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۱۲۵ میلیمتر

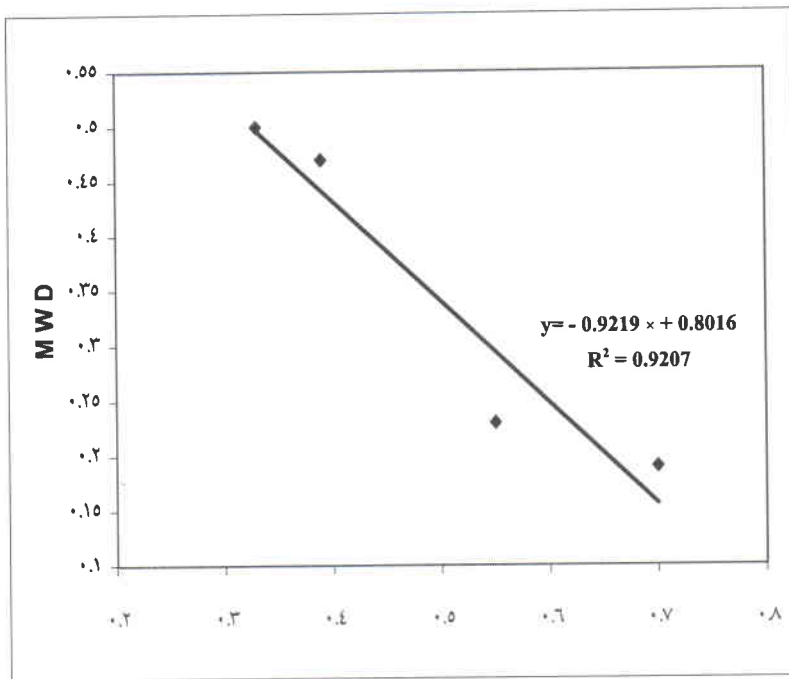
نمودار شماره ۲ نیز وجود یک رابطه قوی بین عامل فرسایش پذیری K در الگوی جهانی هدر رفت خاک را با درصد خاکدانه‌های پایدار بیش از ۰/۲۵ میلیمتر با علامت منفی نشان می‌دهد. در توضیح این مطلب می‌توان نتیجه‌گیری مشابهی نسبت به آنچه برای β ذکر شد بیان نمود، ولی با این تفاوت که این همبستگی برای خاکدانه‌های نسبتاً بزرگتر برقرار است.



نمودار شماره ۲- رابطه بین عامل فرسایش پذیری K و درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۲۵ میلیمتر

نمودار شماره ۳ نیز وجود یک رابطه منفی قوی بین عامل فرسایش پذیری در الگوی فرآیندی را با شاخص MWD (میانگین وزنی قطر ذرات) نشان می‌دهد. همان‌گونه که در مورد شاخص WSA ذکر شد، این شاخص (MWD) نیز می‌تواند در جهت تعیین میزان حساسیت خاکدانه‌ها نسبت به فرسایش مورد استفاده قرار گیرد، اما عدم وجود رابطه معنی‌دار بین این شاخص و عامل فرسایش پذیری (K)، استفاده از این شاخص پایداری خاکدانه‌ها را کمی با تأمل مواجه می‌سازد.

نتایج همبستگی برای پایداری خاکدانه‌ها با حساسیت خاک نسبت به فرسایش ناشی از برخورد قطرات باران یا پاشمان که در الگوی فرآیندی با ضرایب فرسایش پذیری (α و α_d) نشان داده شده بیانگر تاثیر قوی پایداری خاکدانه در کمیت ضرایب مذکور و به ویژه بر روی ضریب α است. تأثیر پایداری خاکدانه‌ها بر روی ضرایب فوق در طبقات قطری ریزتر ($WSA > 0.125\%$ و $WSA > 0.075\%$) بیشتر و قویتر است. (جدول شماره ۶).



نمودار شماره ۳- رابطه بین MWD و عامل فرسایش پذیری (β) در الگوی فرایندی $GUEST$

بحث و نتیجه گیری

به نظر می رسد که درجه همبستگی بین پایداری خاکدانه ها و عامل فرسایش پذیری با کاهش اندازه خاکدانه های پایدار بیشتر می شود به عبارت دیگر هر چه از نظر قطر به حد پایین تر می رسیم، همبستگی با فرسایش پذیری قوی تر می شود، به طوری که شاخص $WSA > 0.125mm$ دارای حداکثر همبستگی ($R^2 = 0.99$) با عامل فرسایش پذیری β دارد. از آنجایی که اغلب خاکهای ایران به طور معمول از خاکدانه های با اندازه کوچک تشکیل شده و به علت کمبود مواد آلی خاکدانه های درشت و پایدار در مقابل آب به ندرت یافت می شود احتمالاً این نوع همبستگی با خاکدانه های ریزتر که دارای پایداری بیشتری هستند هماهنگ می باشد. هر چه این ذرات دارای پایداری بیشتری باشند، میزان فرسایش و رسوب کمتر می گردد. برایان (۱۹۶۸) این نوع

همبستگی را برای خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۵ میلیمتر برای بسیاری از خاکهای مورد بررسی گزارش داده است. خاکدانه‌هایی در حد مذکور در این بررسی فاقد پایداری لازم در مقابل برخورد قطرات باران بوده و به‌سادگی متلاشی می‌شوند بنابراین فاقد یک همبستگی معنی‌دار با عامل فرسایش‌پذیری می‌باشند.

در نتیجه‌گیری مشابه، قوی‌ترین رابطه همبستگی ($R^2 = ۰/۹۳$) برای عامل فرسایش‌پذیری K از معادله جهانی هدر رفت خاک مربوط به شاخص $WSA > ۰/۲۵mm$ است که در یک طبقه قطری بالاتر از نتیجه مشابه برای فرسایش‌پذیری β قرار دارد. با توجه به نتایج بدست آمده که حاکی از ارتباط معنی‌دار بین هر دو شاخص پایداری خاکدانه با عامل فرسایش‌پذیری در دو الگو مورد بررسی است، می‌توان گفت که هر شاخصی که از نظر شاخص پایداری خاکدانه در حد بالاتری باشد نسبت به فرایند فرسایش مقاومتر بوده و ضریب فرسایش‌پذیری آن کمتر می‌باشد. البته باید توجه داشت که پایداری خاکدانه‌ها به نوبه خود به بسیاری از خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مانند بافت خاک، مواد آلی، درصد سدیم تبادل، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و سایر خصوصیات بیولوژیکی خاک مرتبط می‌باشد که برای تعیین مهمترین خواص مؤثر بر پایداری خاکدانه‌ها به منظور معرفی یک شاخص مناسبتر مطالعات بیشتری پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر با استفاده از امکانات و تسهیلات شبیه‌سازی باران که به‌طور مشترک از محل اعتبارات پروژه ۱۲۶۰ شورای پژوهش‌های علمی کشور و مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع تأمین شده به ثمر رسیده است. بدین‌وسیله نگارندگان مراتب سپاسگزاری خود را اعلام می‌کنند. انجام این تحقیق مدیون تلاش بسیاری از همکاران در بخش تحقیقات بیابان مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع و آقای مهندس افتخاری از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج می‌باشد. بدین‌وسیله یاری آنها را ارج می‌نهمیم.

منابع مورد استفاده

- ۱- بایوردی، م.، ۱۳۷۰. فیزیک خاک، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- رفاهی، ح. ق.، ۱۳۷۶. فرسایش آبی و کنترل آن، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- روحی‌پور، ح.، ۱۳۸۰. کاربرد الگو فرآیندیابی *GUEST* در برآورد میزان فرسایش، مجموعه چکیده مقالات همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، انتشارات مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان مرکزی- اراک، ص ۶۳-۹۰.
- ۴- مورگان، آر.پی.سی.، ۱۹۸۶. فرسایش و حفاظت خاک، ترجمه: امین علیزاده، ۱۳۶۸، انتشارات آستان قدس رضوی.
- 5- Bryan, R.B., 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma*, 2: 5-26.
- 6- Hairsine, P.B., and Rose, C.W., 1992a. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles, I. Sheet flow. *Water Resources Research*, 28: 237-243.
- 7- Hairsine, P.B., and Rose, C.W., 1992b. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles, II. Rill flow. *Water Resources Research*, 28: 245-250.
- 8- Lisle, I.G., Coughlan, K.J., and Rose, C.W., 1997. *GUDPRO User Manual*. Faculty of Environmental Science, Griffith University, Nathan, 411, Australia.
- 9- Rose, C.W., Williams, J.R., Sander, G.C., and Barry, D.A., 1983. A mathematical model of soil erosion and deposition processes, I. Theory for Plane Land Element. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 991-995.
- 10- Singer, M.J., Janitzky, P., and Blackand, J., 1982. Influence of exchangeable sodium percentage on soil erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 117-121.
- 11- Wischmeier, W.H., and Mannering, J.V., 1965. Effect of organic matter content of the soil infiltration. *J. Soil and Water Cons.*, 20.
- 12- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., and Cross, B.V., 1971. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *J. Soil and water Cons.*, 26(5): 189-193.
- 13- Wischmeier, W.H., and Smith, B.D., 1978. Prediction Rainfall Erosion Losses. A Guide for Conservation Planning Agriculture. *USDA. Agriculture Handbook*. 537:58.