

## مدل‌سازی اثر طول دامنه بر ویژگی‌های فرسایش شیاری به کمک تابع گامای ناقص در منطقه

احمدآباد مشهد

سیده مطهره حسینی<sup>۱</sup> - ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup> - کمال الدین ناصری<sup>۳</sup> - علی گلکاریان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۸

تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲۴

### چکیده

فرسایش شیاری که در نتیجه تمرکز رواناب در روی دامنه به وجود می‌آید، یکی از انواع فرسایش‌های آبی است که در مقیاس جهانی بیشترین مقدار هدررفت خاک را به خود اختصاص داده‌است. از آنجا که طول دامنه یکی از عوامل مؤثر در میزان فرسایش می‌باشد، در این تحقیق سعی شد تغییرات عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیارها در طول دامنه مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر آن چگونگی تغییرات اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده خاک با تغییر در طول دامنه بررسی شد. برای این منظور در روی دامنه‌هایی از منطقه احمدآباد مشهد که فرسایش شیاری در آن‌ها کاملاً مشهود است، ترانسکت‌های ۵۰ متری در طول‌های دامنه ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ متری (نسبت به خط الراس) انتخاب شدند. در طول هر یک از ترانسکت‌ها، ویژگی‌های فرسایش شیاری اندازه‌گیری شدند. عدم برازش مدل‌های خطی، درجه دوم و درجه سوم بر داده‌های مشاهده‌ای بیانگر عدم توانایی این مدل‌ها در بیان ارتباط پارامترهای مورد بررسی با طول دامنه می‌باشند. ضمن آن که معادلات لگاریتمی هم از ضریب تبیین مناسبی برخوردار نبودند. بنابراین به منظور به-دست‌آوردن رابطه مناسب بین پارامترهای مذکور از تابع ریاضی گامای ناقص استفاده گردید. این تابع به خوبی بر تمامی پارامترهای مورد بررسی (به‌جز فراوانی شیارها و میزان متوسط رس خاک) در سطح ۵ درصد برازش یافت. بر اساس نتایج حاصل با افزایش طول دامنه، میزان متوسط شن موجود در خاک کاهش و متوسط میزان سیلت موجود در خاک، متوسط عمق و سطح مقطع شیارها افزایش یافت. همچنین با افزایش طول دامنه متوسط عرض شیارها افزایش و پس از آن کاهش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** فرسایش شیاری، طول دامنه، بافت خاک، تابع گامای ناقص، احمدآباد مشهد

### مقدمه

نیز با اندازه‌گیری فرسایش شیاری و بین شیاری در شیب شمالی یکی از کوهستان‌های تانزانیا هدررفت خاک توسط فرسایش شیاری را بیشتر از فرسایش بین شیاری (بین ۹۱ تا ۲۵۸ تن در هکتار در سال) اعلام کردند.

به دلیل کمبود آمار و داده‌های مشاهده‌ای یا اندازه‌گیری، برآورد دقیقی از وضعیت فرسایش در ایران وجود ندارد، اما تحقیقات منطقه‌ای بیانگر وضعیت نامناسب فرسایش در ایران می‌باشد. شاهی (۳) براساس گزارش فائو متوسط میزان فرسایش کشور را بین ۶ تا ۳۰ تن در هکتار در سال عنوان کرد. وی همچنین مقدار سالانه فرسایش در ۴۴ درصد از سطح اراضی کشور را بیش از ۱۰ تن در هکتار گزارش نمود. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تاکنون تحقیقات اندکی در ایران در ارتباط با فرسایش شیاری صورت گرفته‌است. همچنین تحقیقاتی که تاثیر طول دامنه را بر میزان فرسایش به ویژه بر میزان ویژگی‌های فرسایش شیاری مورد بررسی قرار دهند، اندک هستند.

خاک یکی از با ارزش‌ترین ثروت‌های ملی هر کشور است که پدیده فرسایش در جهت هدررفت و نابودی آن عمل می‌کند. فرسایش فرآیندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکان دیگر حمل شوند (۳). فرسایش شیاری یکی از انواع فرسایش‌های آبی است که در آن فرآیند جداشدن و انتقال ذرات خاک توسط جریان متمرکز آب صورت می‌گیرد (۱۴). در مناطقی که تنها فرسایش شیاری و بین شیاری اتفاق می‌افتد، ۶۵ درصد از کل تلفات خاک در اثر فرسایش شیاری و مابقی از نواحی بین شیاری تولید می‌شود (۸). کیمارو و همکاران (۱۲)

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار دانشکده

منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mosaedi@um.ac.ir

\*) نویسنده مسئول:

به دلیل بالا بودن سرعت و حجم رواناب و کم بودن میزان بار رسوب، نرخ کنش افزایش می‌یابد و با رسیدن به طول بحرانی جهش قابل توجهی در مقدار کنش اتفاق می‌افتد و پس از آن به دلیل افزایش مواد محموله، بخش قابل توجهی از توان جریان، صرف حمل مواد محموله شده و جریان در حالت محدودیت کنش قرار می‌گیرد، این امر میزان کنش بستر و به تبع آن میزان فرسایش را کاهش می‌دهد.

از آنجا که در بین کلیه عوامل تأثیرگذار بر خاک، عوامل توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی از عوامل مهم در فرآیند تشکیل و تحول خاکها محسوب می‌شوند، به همین دلیل برای درک تفاوت‌های ویژگی‌های خاک در محدوده‌های کوهستانی، تغییرات این ویژگی‌ها را در طول دامنه‌ها بررسی می‌کنند. بیاتی خطیبی (۱)، با برداشت نمونه‌هایی از بخش‌های مختلف یک دامنه ویژه (بالا، شانه، پای دامنه و پنجه دامنه) نقش عناصر دامنه‌ای را در تغییرات ویژگی‌های خاک-هایی که در طول یک دامنه (با بستر و اقلیم واحدی یکسان) مستقر شده‌اند، بررسی کرد. نتایج وی نشان دادند که میزان رس و سیلت موجود در پنجه و پای دامنه زیاد بود به طوری که در قسمت پنجه دامنه، بیشترین مقدار رس و سیلت وجود داشت در حالی که بیشترین میزان شن متعلق به نمونه‌های تهیه شده از پای شانه دامنه‌ها بود. این میزان، از شن موجود در بخش‌های پای و پنجه دامنه بیشتر بود.

با توجه به این‌که تحقیقات اندکی در رابطه با فرسایش شیبی و به خصوص ویژگی‌های آن (نظیر عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیارها) و عوامل موثر بر آن‌ها صورت گرفته‌است. هدف از این پژوهش که در بخشی از دامنه‌های منطقه احمدآباد مشهد انجام شده‌است، بررسی چگونگی تغییرات عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیارها در فرسایش شیبی نسبت به افزایش طول دامنه می‌باشد. همچنین بررسی چگونگی توزیع اجزاء اصلی بافت خاک (شن، سیلت و رس) نسبت به افزایش طول دامنه از اهداف دیگر این تحقیق می‌باشد

## مواد و روش‌ها

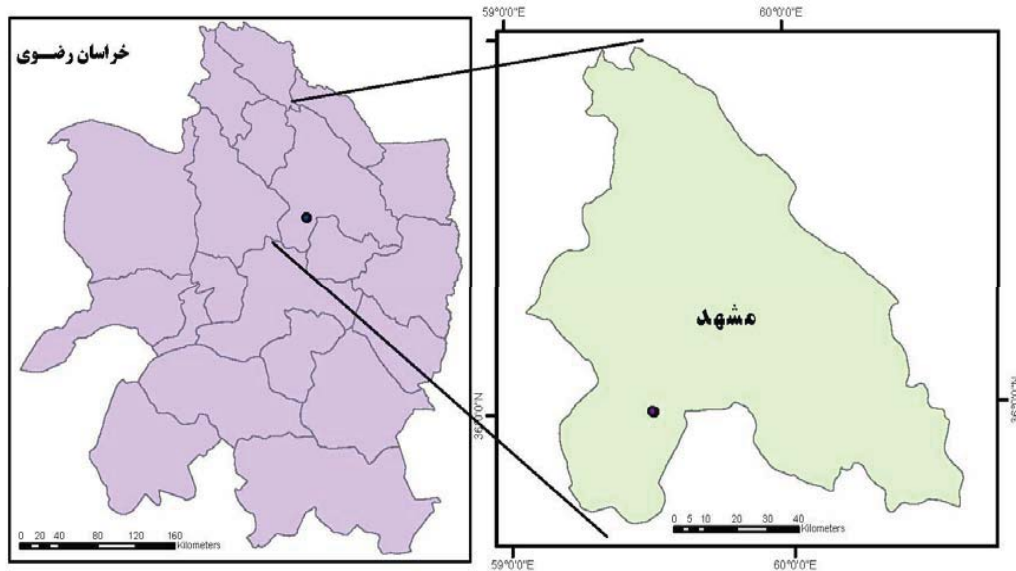
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در فاصله تقریبی ۶۰ کیلومتری جنوب غربی شهر مشهد، در مسیر جاده مشهد به نیشابور قرار دارد. این منطقه بر روی سازند مارن و کنگلومرا واقع شده‌است و توپوگرافی عمومی آن تپه‌ماهورهای کم ارتفاع می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در محدوده طول شرقی ۲۸' ۵۹° تا ۳۵' ۵۹° و عرض شمالی ۵۸' ۳۵° تا ۳۶' ۰۰° قرار گرفته‌است.

بنابراین ضرورت کسب اطلاعات بیشتر و کامل‌تر درباره فرسایش شیبی به‌عنوان آغازین مرحله فرسایش‌های درون آبراهه‌ای جهت مدیریت و به حداقل رساندن هدررفت خاک ضروری به‌نظر می‌رسد.

اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به‌عنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی نمود، بلکه شرایط فرسایش موجود در هر منطقه را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه عوامل موثر در ایجاد فرسایش دانست (۲). طبق بررسی‌های صورت گرفته می‌توان گفت که تشکیل و توسعه خاک و یا فرسایش سریع و یا کند آن در طی زمان در ارتباط مستقیم و یا غیرمستقیم با عوامل مختلف توپوگرافی است (۶). یکی از عوامل توپوگرافی، عامل طول دامنه است. بیاتی خطیبی (۱)، عامل طول دامنه را در ارتباط مستقیم با مقدار فرسایش در دامنه‌های شمال غربی سیلان می‌داند. به‌منظور بررسی تأثیر طول دامنه، مطالعاتی بر روی کرت‌های فرسایشی با طول‌های مختلف انجام شده‌است که می‌توان به تحقیقات رجمان و برودوسکی (۱۹) با کرت‌های ۲۰ متری، پولیاکوف و نیرینگ (۱۸) با کرت‌های ۴ متری، مارکیوس و همکاران (۱۳) با کرت‌های ۲۰ متری و صادقی و همکاران (۴) با کرت‌هایی به طول ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متری اشاره کرد. میسرا و رزا (۱۵)، عامل طول دامنه را به‌عنوان سومین عامل حساس در فرسایش بر اساس مدل GUEST معرفی نموده است.

معمولاً در قسمت پایین یک دامنه طولی نسبت به قسمت بالاتر آن فرسایش بیشتری ایجاد می‌شود، زیرا قسمت پایین دامنه نه تنها باران مربوط به خود را دریافت می‌کند، بلکه جریان آب بالادست نیز به آن اضافه می‌شود و در نتیجه در آن قسمت، جریان آب انرژی جنبشی بیشتری دارد. بنابراین در یک دامنه طولی افزایش فرسایش به دلیل افزایش سرعت و جریان آب، نسبت به افزایش طول بیشتر است (۲). در هنگام وقوع رگبار چنانچه شرایط بارش و شرایط دامنه تغییری نکند، از بخش‌های بالایی به طرف پایین دامنه حجم رواناب زیاد می‌شود. در هر مکان بر روی دامنه جریان آب دارای انرژی مشخصی است که بخشی از آن صرف حمل مواد محموله و مابقی صرف کنش ذرات خاک می‌شود. با افزایش مواد محموله، توان جریان‌های سطحی برای کنش کمتر شده که با ادامه این روند در بخشی از دامنه هیچ توانی برای کنش باقی نمی‌ماند، یا مقدار انرژی باقی‌مانده کمتر از آستانه کنش ذرات کف خواهد بود. در این بخش از دامنه، بار رسوب به ظرفیت حمل نزدیک شده و نرخ کنش جریان تا حد صفر کاهش یافته و از میزان فرسایش کاسته می‌شود (۱۰، ۱۶، ۲۲). بر اساس نتایج زنگ و همکاران (۲۱)، نرخ کنش شیبی ویژه هنگامی که بار رسوب افزایش می‌یابد، به صورت خطی کم می‌شود. گلکاریان (۵)، فواصل ۲۰ تا ۲۵ متری از خط‌الراس دامنه را به‌عنوان طول بحرانی (فاصله از خط‌الراس تا مکانی که در آن جریان به ظرفیت حمل رسوب نزدیک می‌شود) اعلام کرد. نتایج پژوهش وی نشان داد که در فاصله خط‌الراس دامنه تا رسیدن به طول بحرانی،



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

طول ها در واقع نشان دهنده فاصله از ابتدای شیب بوده و بیانگر اثر افزایش تدریجی طول شیب بر ویژگی های فرسایش سیاری خواهند بود. در محل هریک از این فواصل پنج گانه، ترانسکتی عمود بر ترانسکت اول و عمود بر جهت شیب دامنه به طول ۵۰ متر مستقر شد (ترانسکت های افقی). در طول این ترانسکت های عمود شده، فراوانی کلیه شیارهای موجود ثبت شدند. دامنه عرضی شیارهای موجود در منطقه تقریباً از ۶ سانتی متر تا نزدیک به ۱۰۰ سانتی متر متغیر بود و شیارهای مورد بررسی از نظر عمق از مقدار ۱ سانتی متر تا نزدیک به ۳۰ سانتی متر قابل مشاهده بودند. پس از اندازه گیری دقیق عرض و عمق هر یک از شیارها، سطح مقطع آن ها با توجه به شکل شیار (شیارهای مثلثی، ذوزنقه ای و مستطیلی) محاسبه شد. سپس مجموع عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیارها در طول ترانسکت های افقی ۵۰ متری محاسبه گردید.

در راستای هر یک از ترانسکت های افقی، در فواصل ۱۰ متری شیب اندازه گیری شد. برای اندازه گیری پوشش سطح زمین (مجموع پوشش گیاهی و پوشش سنگریزه ای) از نمونه گیری به روش برخورد نقطه ای استفاده شد. روش برخورد نقطه ای بر اساس تعداد برخوردهای یک میله نوک تیز با هر یک از اجزای مذکور عمل می کند. در طول هر ترانسکت افقی به فاصله هر ۲۰ سانتی متر میله به صورت عمودی فرود آمد و برخورد آن با هریک از اجزاء پوشش گیاهی، سنگریزه یا خاک لخت ثبت شد؛ سپس داده های حاصل برای هریک از اجزاء، به درصد تبدیل شدند.

جهت بررسی تغییرات بافت خاک در طول دامنه، با توجه به این که تغییرات آن در طول دامنه بسیار اندک به نظر می رسید، نمونه-

متوسط بارندگی سالیانه منطقه حدود ۲۵۱ میلی متر برآورد گردیده است که عمدتاً به صورت باران می باشد. با توجه به میزان بارندگی و دمای متوسط محاسبه شده، اقلیم منطقه، بر اساس روش دومارتن، نیمه خشک می باشد. واحد فیزیوگرافی منطقه، تپه های مدور کم ارتفاع با پوشش خاکی است. پوشش گیاهی منطقه، پراکنده و تنک و سیمای عمومی آن به صورت بوته زارهای بادام کوهی و کاهوی وحشی همراه با پهن برگان علفی نظیر گل ماهور، گل گندم و... می باشد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را در استان خراسان رضوی نشان می دهد.

### روش نمونه برداری و اندازه گیری

در این تحقیق، به منظور بررسی اثر طول دامنه بر ویژگی های فرسایش سیاری در منطقه، از دامنه هایی با طول ۵۰ متر یا بیشتر که در مجاورت یکدیگر قرار داشتند، استفاده شد. سازند زمین شناسی در سراسر منطقه مورد مطالعه یکسان بود. جهت جلوگیری از دخالت اثر جهت جغرافیایی در نتایج حاصله، کلیه دامنه های انتخاب شده، جهت مشابهی (جهت عمومی جنوب شرقی) داشتند. کاربری اراضی در تمام این دامنه ها، مرتع بوده و شدت چرای دام در همه آنها تقریباً یکسان است. به دلیل وسعت نسبتاً کم منطقه مطالعاتی، ویژگی های اقلیمی نظیر میزان و خصوصیات بارش، در سراسر منطقه ثابت در نظر گرفته شده است. ابتدا هشت دامنه با ویژگی های فوق انتخاب شدند. در امتداد هر دامنه، ترانسکتی به طول ۵۰ متر به نحوی مستقر گردید، که ابتدای ترانسکت، نقطه شروع شیب دامنه باشد. سپس در طول این ترانسکت ها، طول های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ متر جدا شدند. این

همچنین از این تابع به منظور بررسی تاثیر طول دامنه بر میزان اجزاء رس، سیلت و شن نمونه‌های خاک استفاده شد.

## نتایج و بحث

همان‌گونه که بیان شد، با مقایسه میانگین‌ها به کمک نرم‌افزار آماری مینی‌تب، به دلیل شباهت پوشش گیاهی دامنه‌های انتخاب شده، تفاوت متوسط پوشش سطح زمین در هر یک از ترانسکت‌های استقرار یافته در یک طول دامنه با طول دامنه بعدی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود، همچنین متوسط میزان شیب در یک طول دامنه با طول دامنه بعدی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود، بنابراین عامل پوشش سطح زمین و میزان شیب در طول دامنه یکسان در نظر گرفته شدند (شکل ۲).

خلاصه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه پارامترهای مربوط به بافت خاک، عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیارها در سایت‌های منطقه مورد مطالعه، در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج حاصل از تعیین بافت خاک در آزمایشگاه نشان دادند که بافت خاک محدوده مورد مطالعه در کلاس‌های شنی لومی، لوم، لومرسی‌شنی و لوم‌شنی قرار دارد که در این میان بیش از ۷۰ درصد ترانسکت‌های مستقرشده در طول‌های دامنه مورد مطالعه، بافت لوم‌شنی را به خود اختصاص دادند. سه نوع بافت دیگر تنها در کمتر از ۳۰ درصد ترانسکت‌ها مشاهده شدند. بنابراین، می‌توان بافت لوم‌شنی را به عنوان بافت غالب خاک در نظر گرفت. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، جزء شن با میزان متوسط بیش از ۶۰ درصد بیشترین سهم را در اجزاء ذرات تشکیل دهنده خاک به خود اختصاص داده است. پس از آن جزء سیلت فراوانی بیشتری را نسبت به رس در خاک سایت‌های مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهد. بر اساس جدول ۱، در محدوده مورد مطالعه از میان کلیه ترانسکت‌های ۵۰ متری مستقرشده در طول‌های دامنه ۱۰ تا ۵۰ متر، سطح مقطعی که تمامی شیارها در راستای هر ترانسکت افقی ایجاد نموده‌اند، به طور متوسط ۰/۶۷ مترمربع می‌باشد. همچنین به طور متوسط در طول هر ترانسکت ۵۰ متری مجموعاً عرضی معادل ۸/۷۶ متر و عمقی برابر با ۲/۹۴ متر به شیارهای موجود اختصاص دارد و متوسط فراوانی شیارها در هر یک از ترانسکت‌ها ۳۹ شیار می‌باشد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در میان تمامی ترانسکت‌های افقی استقرار یافته، متوسط عرض و عمق هر شیار به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۰۷۷ متر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که سطح مقطع هر شیار در راستای هر ترانسکت به طور متوسط ۰/۰۱۸ مترمربع بوده است.

های بافت خاک در طول‌های دامنه ۱۰ (ابتدای دامنه)، ۳۰ (بخش میانی دامنه) و ۵۰ متر (بخش پایینی دامنه) تهیه و به آزمایشگاه ارسال شدند.

## روش پردازش داده‌ها

پس از محاسبه میزان شیب در فواصل ۱۰ متری، متوسط شیب عمومی ترانسکت محاسبه گردید. مقایسه متوسط شیب و متوسط پوشش سطح زمین در هر یک از ترانسکت‌های افقی مستقرشده در هر طول دامنه با طول دامنه بعدی با استفاده از آزمون آماری فیشر<sup>۱</sup> به کمک نرم‌افزار مینی‌تب<sup>۲</sup>، در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. پس از این که فاکتورهای مجموع عرض، عمق، سطح مقطع و مجموع فراوانی تمامی شیارهای موجود در طول هر یک از ترانسکت‌های افقی (به عنوان متغیرهای وابسته) در هر یک از فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ متر در طول دامنه (به عنوان متغیر مستقل)، محاسبه شدند، رابطه بین این مقادیر توسط مدل‌های رگرسیونی خطی ساده، درجه دوم، سوم و لگاریتمی مورد بررسی قرار گرفتند. علاوه بر این، روند تغییرات هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیبی در برابر طول دامنه، رسم شد تا بتوان تابع مناسبی که این ارتباط را معنی‌دار و با ضریب تبیین بالا نشان دهد، انتخاب کرد.

با توجه به این که نرخ کنش جریان آب در طول دامنه خطی نیست بلکه تا یک محدوده مشخص از طول دامنه افزایشی و پس از آن کاهش می‌یابد (۵)، تابع ریاضی گامای ناقص که یک تابع غیر خطی است مورد بررسی قرار گرفت.

تابع گامای ناقص<sup>۳</sup> در سال ۱۹۶۷ توسط وود (۲۰) پیشنهاد شد. پس از آن محققان زیادی این تابع را در زمینه علوم دامی به کار گرفتند؛ که به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات فرهنگ‌فر و رولینسون (۹) در برآورد پارامترهای منحنی شیردهی گاوهای هلشتاین ایران و تحقیقات پاپاسیک و بودرو (۱۷) و کاتیلو و همکاران (۷) در توصیف منحنی شیردهی هر راس گاو شیری اشاره کرد.

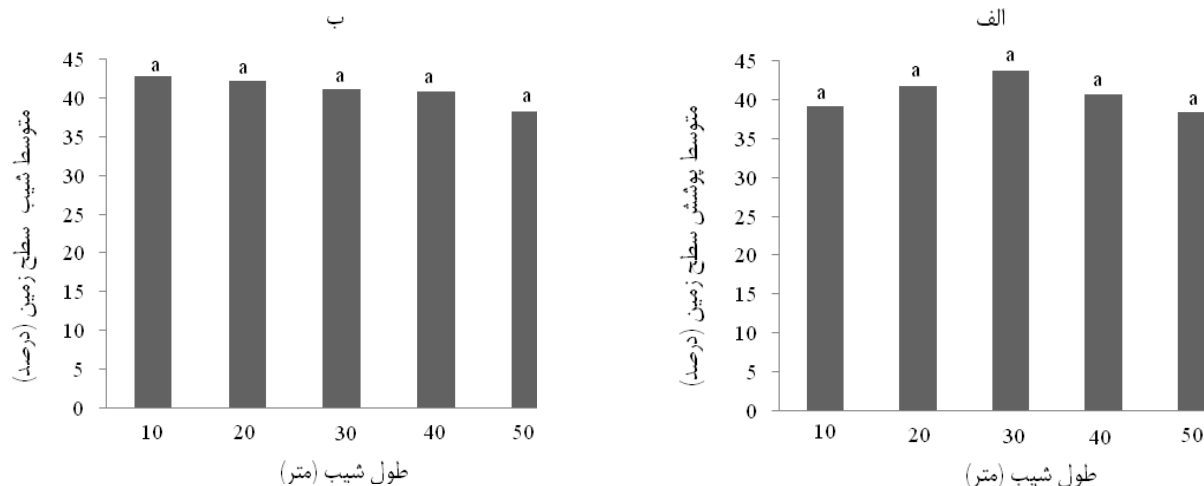
معادله کلی تابع گامای ناقص یا وود به صورت رابطه ۱ ارائه

می‌شود.

$$y = a l^b e^{-c l}$$

در این تابع  $l$ : میزان متغیر وابسته (در اینجا هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیبی یا بافت خاک) در طول دامنه،  $l$ : طول دامنه (متر)،  $a$ : میزان متغیر وابسته مورد بررسی در ابتدای دامنه،  $b$ : شیب منحنی در مرحله افزایشی (شیب صعودی)،  $c$ : شیب منحنی در مرحله کاهش (شیب نزولی) است.

- 1- Fisher
- 2- Minitab
- 3-Incomplete gamma function (IGF)



شکل ۲- مقایسه میانگین پوشش سطح زمین و میزان شیب در طول دامنه

جدول ۱- خلاصه نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه ویژگی‌های فرسایش شیاری در طول یک ترانسکت

شاخص آماری	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	مجموع عرض شیارها در طول یک ترانسکت (متر)	مجموع عمق شیارها در طول یک ترانسکت (متر)	مجموع سطح مقطع شیارها در طول یک ترانسکت (مترمربع)	فراوانی شیارها در طول یک ترانسکت
حداقل	۵/۳۳	۸/۳۵	۲۸/۸۵	۴/۸	۱/۴۴	۰/۲۴	۲۵
میانگین	۱۳/۸۵	۲۵/۹۶	۶۰/۴۵	۸/۷۶	۲/۹۴	۰/۶۷	۳۹
حداکثر	۲۳/۴۴	۴۹	۸۴/۶۵	۱۳/۷۴	۵/۶	۲	۵۶

جدول ۲- مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط ویژگی‌های هر یک از شیارهای مشاهده شده

شاخص آماری	عرض (متر)	عمق (متر)	سطح مقطع (مترمربع)
حداقل	۰/۱۵	۰/۰۴۷	۰/۰۰۷۲
میانگین	۰/۲۳	۰/۰۷۷	۰/۰۱۸
حداکثر	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۰۵۵

این بخش از نتایج با نتایج محققین دیگر از جمله رفاهی (۲) که بیان می‌دارند که رابطه بین مقدار کل فرسایش و همچنین میزان فرسایش در واحد سطح با طول دامنه یک رابطه خطی نیست، همخوانی دارد. به بیان دقیق‌تر، در این تحقیق مشخص شد که نرخ کنش جریان آب در طول دامنه خطی نبوده بلکه تا مسافتی از طول دامنه افزایشی و پس از آن کاهش است که با نتایج گلکاریان (۵) همخوانی دارد. لذا این نتایج نشان‌دهنده نامناسب بودن مدل‌های خطی در نشان‌دادن ارتباط بین ویژگی‌های فرسایش شیاری و طول دامنه است. بنابراین در مرحله بعد روند تغییرات هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیاری در برابر طول دامنه، رسم شد تا بتوان تابع مناسبی که این ارتباط را معنی‌دار و با ضریب تبیین بالا نشان دهد، انتخاب کرد.

همان‌گونه که ذکر شد، مدل‌های رگرسیونی خطی ساده، درجه دوم، سوم و لگاریتمی به منظور تعیین ارتباط ویژگی‌های شیاری با طول دامنه مورد بررسی قرار گرفتند. در اکثر مدل‌های رگرسیونی خطی ساده، درجه دوم و سوم، ارتباط متغیر طول دامنه با هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیاری معنی‌دار نبود. در عین حال، مدل رگرسیون خطی ساده ارتباط فاکتورهای عمق و سطح مقطع را در ارتباط با طول دامنه، معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) نشان داد که در این دو مورد، ضریب تبیین تعدیل‌شده ( $R^2_{adj}$ ) که بیانگر میزان تبعیت متغیر  $y$  از  $x$  می‌باشد، کمتر از ۲۰ درصد بود (جدول ۳). ارتباط ویژگی‌های فرسایش شیاری (به جز فراوانی شیارها) با طول دامنه توسط مدل‌های لگاریتمی، در سطح ۵ درصد، معنی‌دار شناخته شد اما، در کلیه موارد ضریب تبیین تعدیل‌شده ( $R^2_{adj}$ ) کمتر از ۳۰ درصد بود. بنابراین از ارائه نتایج این بخش از تحقیق خودداری شده است.



جدول ۳- خلاصه نتایج روابط رگرسیونی بین طول دامنه و ویژگی‌های فرسایش شیاری

نوع مدل	مجموع عرض شیارها		مجموع عمق شیارها		مجموع سطح مقطع شیارها		مجموع فراوانی شیارها	
	%R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Pvalue	%R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Pvalue	%R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Pvalue	%R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Pvalue
خطی ساده	۰/۰۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۹	۰/۱۴۵	۰/۰۰۹*	۰/۱۴۵	۰/۰۰۸*	۰/۱۴۷	۰/۸۴۲ <sup>ns</sup>
درجه دوم	۰/۱۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۶۲	۰/۱۳۶	۰/۰۲۵*	۰/۱۳۶	۰/۰۳۳*	۰/۱۲۵	۰/۵۵۴ <sup>ns</sup>
درجه سوم	۰/۲۲۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۴	۰/۱۲۴	۰/۰۵۱*	۰/۱۲۴	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۷	۰/۵۸۸ <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: بی معنی  
\*: در سطح ۵٪ معنی‌دار

جدول ۴- نتایج حاصل از برازش تابع وود بر ویژگی‌های مختلف فرسایش شیاری در طول دامنه

ویژگی شیار	تابع وود	ضریب تبیین R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> %	سطح معنی‌داری (%)	خطای نسبی (%)
عرض متوسط شیارها	$\bar{E} = 3.187637351 L^{0.41132} \exp(0.011141)$	۰/۹۶	۰/۰۵	۱
عمق متوسط شیارها	$\bar{D} = 1.071125538 L^{0.36433} \exp(0.005911)$	۰/۹۴	۰/۰۵	۲/۱۴
سطح مقطع متوسط شیارها	$\bar{A} = 0.207274765 L^{0.34291} \exp(-0.001091)$	۰/۹۶	۰/۰۵	۲/۸۴
فراوانی متوسط شیارها	-*	-	-	-

\*: تابع وود بر داده‌های متوسط فراوانی شیار در واحد طول برازش نیافت.

داراست. شاید این امر دلیلی بر عدم توانایی تابع وود و توابع خطی و لگاریتمی در بیان تاثیر طول دامنه بر فراوانی شیارها باشد. مطابق با شکل ۳ تابع وود به خوبی توانسته‌است بر ویژگی‌های متوسط عرض، عمق و سطح مقطع شیارها در طول دامنه برازش پیدا کند. این تابع معمولاً برای بررسی روند تغییرات پارامترهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با افزایش متغیر مستقل، متغیر وابسته تا حدی افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. تقریباً تمامی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که نرخ کنش جریان آب با افزایش طول دامنه به صورت نمایی کاهش می‌یابد و هنگامی که بار رسوب موجود در جریان به ظرفیت حمل نزدیک شود مقدار کنش تا حد صفر کاهش می‌یابد (۲۲). دلیل این امر این گونه بیان می‌شود که تا فاصله‌ای از طول دامنه با افزایش سرعت و حجم رواناب، نرخ کنش افزایش یافته و از آن به بعد به دلیل افزایش غلظت و بار رسوب و صرف بخش زیادی از انرژی جریان آب در حمل این مواد، نرخ کنش جریان آب و به تبع آن نرخ فرسایش کاهش می‌یابد (۱۰، ۱۶). بنابراین با توجه به روند تابع وود و روند تغییرات نرخ کنش در طول دامنه، این تابع به خوبی می‌تواند تغییرات نرخ کنش در طول دامنه را نشان دهد، نتایج این بخش از تحقیق با نتایج گلکاریان (۵) همخوانی دارد.

همان‌گونه که بیان شد، در مورد تاثیر طول دامنه بر هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیاری تحقیق قابل استنادی مشاهده نگردید. بنابراین، نتایج این تحقیق با نتایج تاثیر طول دامنه بر مکانیسم چگونگی توان کنش جریان آب در طول یک دامنه مقایسه می‌شود. با

با بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شد که تابع ریاضی وود از روندی مشابه با روند منحنی‌های تغییرات هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیاری در طول دامنه برخوردار است. در صورتی که رابطه مقادیر مجموع هر یک از ویژگی‌های مذکور در راستای تمامی ترانسکت‌های افقی، با طول دامنه مربوطه مورد بررسی قرار گیرد، نتایج حاصله با تابع وود برازش نخواهند داشت. اما در صورتی که در مورد هر طول دامنه، میانگین هر یک از فاکتورهای عرض، عمق، سطح مقطع و فراوانی شیار، محاسبه شود، تابع وود می‌تواند ارتباط هر یک از ویژگی‌های فرسایش شیاری را (به جز فراوانی شیار) با طول دامنه با ضرایب تبیین بالا نشان دهد. جدول ۴ نتایج حاصل از برازش تابع وود بر ویژگی‌های مختلف فرسایش شیاری در طول دامنه را نشان می‌دهد.

مطابق با جدول ۴، تابع وود برای تغییرپذیری هریک از ویژگی‌های عرض، عمق و سطح مقطع شیار در طول دامنه یک رابطه نمایی معنی‌داری با ضریب تبیین بالای ۹۰ درصد ارائه داده است که نشان از تبعیت بیش از ۹۰ درصدی هر یک از فاکتورها از عامل طول دامنه است. تابع وود نتوانست رابطه معنی‌داری از اثر طول دامنه بر فراوانی شیار در فرسایش شیاری نشان دهد. از آنجا که در ثبت فراوانی شیارها تنها به حضور یا عدم حضور یک شیار توجه می‌شود و تنها تعداد شیارها در طول هر دامنه (بدون در نظر گرفتن عرض و عمق هریک از آن‌ها) ثبت می‌شوند، به حضور یک شیار عریض و عمیق همان ارزشی داده‌می‌شود که حضور یک شیار کم عرض یا کم عمق

نیز از بستر خاک در طول دامنه جدا کرده و منتقل سازد. تابع وود نیز ارتباط طول دامنه با میزان متوسط ذرات رس را معنی‌دار نشان نداده است. اما به ترتیب ۹۷ و ۹۴ درصد از تغییرات متوسط میزان سیلت و متوسط میزان شن متأثر از طول دامنه بوده که این موضوع به وسیله تابع وود بیان شده است (جدول ۵).

با توجه به شکل ۴-الف، با افزایش طول دامنه، متوسط میزان سیلت افزایش می‌یابد هر چند که نحوه افزایش خطی نمی‌باشد. همچنین در شکل ۴-ب با افزایش طول دامنه متوسط میزان شن کاهش یافته است ضمن آنکه کاهش میزان شن هم در طول دامنه غیر خطی است. با توجه به جدول ۵ و شکل ۴ ملاحظه می‌شود که تابع وود به خوبی توانسته است که روابط بین میزان سیلت و شن را با طول دامنه تبیین نماید. نتایج این بخش از تحقیق توسط بیاتی خطیبی (۱) مبنی بر حضور بیشتر ذرات سیلت در پنجه و پای دامنه‌ها و بیشتر بودن میزان شن در بخش شانه دامنه (بخش بالایی دامنه) تایید می‌گردد. زیرا در عملکرد فرآیند شستشوی دامنه‌ای، مواد ریزتر به قسمت‌های دورتر حمل می‌شوند و مواد درشت به علت وزنی که دارند در فاصله نزدیک‌تری برجای می‌مانند. روابط جدول ۵ و شکل ۴ هم به خوبی این تغییرات را نشان می‌دهند.

### نتیجه‌گیری

فرسایش یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب خاک و کاهش حاصلخیزی است. طول دامنه یکی از فاکتورهای موثر در نحوه فرسایش و مقدار آن می‌باشد. با توجه به تحقیقات اندکی که در ایران در رابطه با فرسایش شیاری و ویژگی‌های شیاریها (نظیر عرض، عمق و سطح مقطع شیاریها) و عوامل موثر بر آن‌ها صورت گرفته است، ضرورت انجام تحقیقات بیشتر و کامل‌تر درباره آن احساس می‌شود. اکثر تحقیقاتی که در زمینه اثر طول دامنه به عنوان یک فاکتور موثر بر فرسایش صورت گرفته‌اند، در طول‌های دامنه کمتر از ۲۰ متر می‌باشند، ضمن اینکه بیشتر آن‌ها در شرایط آزمایشگاهی و یا در طبیعت با استقرار کرت‌های آزمایشی، شبیه‌سازی باران و کنترل عواملی چون شیب، پوشش و سایر عوامل موثر بر فرسایش انجام شده‌اند.

توجه به شکل ۳-الف، متوسط عرض شیاریها با افزایش طول دامنه تا فاصله زیادی از خط‌الراس، افزایش یافته و در انتها، شیب منحنی کم و این میزان کاهش می‌یابد. همچنین در ارتباط با تغییرات متوسط عرض شیاریها، باید گفت که جریان آب تا بخش زیادی از طول دامنه توانایی هم‌زمان حمل رسوب و کنش ذرات خاک را داشته است و در بخش انتهایی دامنه، محدودیت کنش مانع از عریض‌تر شدن شیاریها توسط جریان آب شده است. تغییرات توانایی کنش جریان آب در طول دامنه بر عریض کردن شیاریها، با نتایج گلکاریان (۵) در ارتباط با تاثیر طول دامنه بر نرخ کنش جریان آب و همچنین با تحقیقات فلانگان و نیرینگ (۱۰) و زانک و همکاران (۲۲) همخوانی دارد.

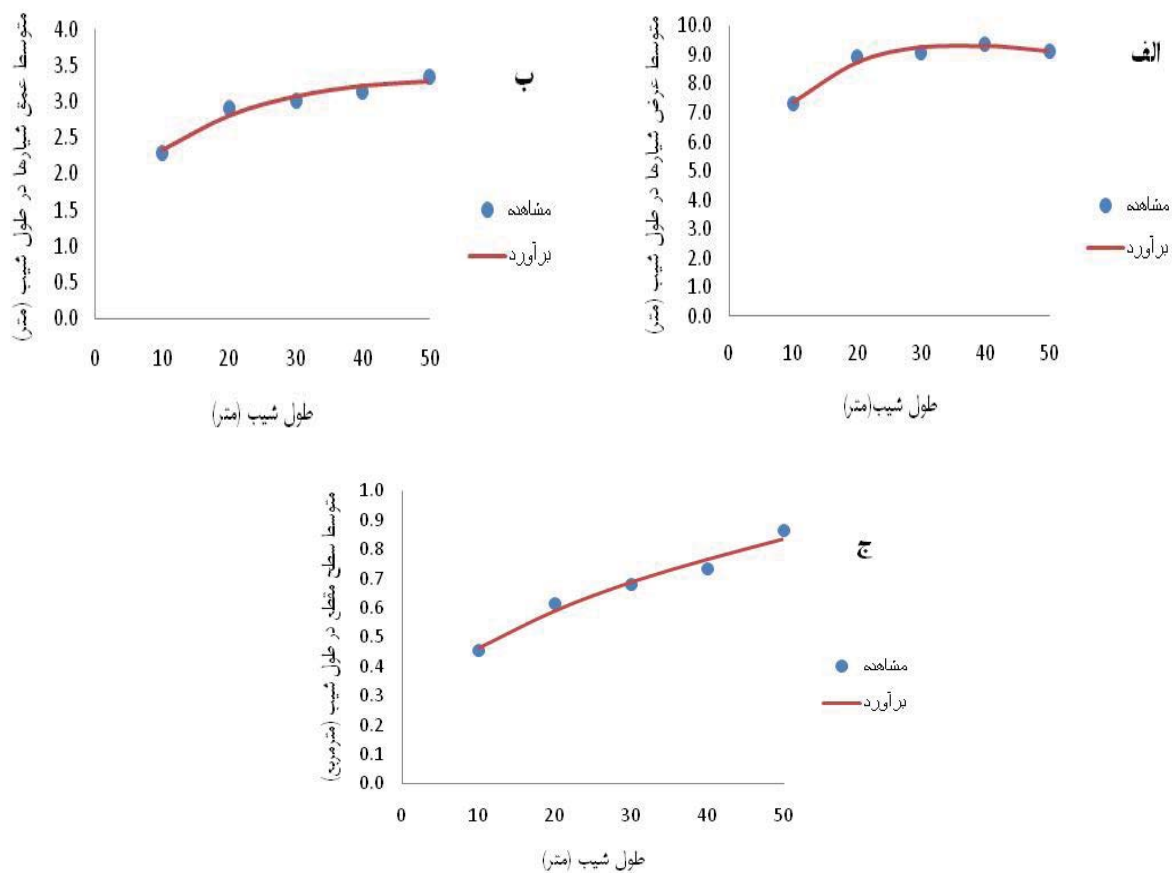
با توجه به شکل‌های ۳-ب و ۳-ج، متوسط عمق و سطح مقطع شیاریها با افزایش طول دامنه افزایش یافته ولی روند افزایش شیب منحنی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش طول دامنه، شیب منحنی‌های روابط متوسط عمق و سطح مقطع با طول دامنه کاهش می‌یابد. این موضوع، می‌تواند موید نتایج هوانگ و لافلن (۱۱) باشد، آن‌ها عنوان می‌کنند که فرآیندهای کنش و انتقال ذرات، مستقل از یکدیگرند و در مطالعات فرسایش لازم است طول شیار به اندازه کافی بلند باشد تا بار رسوب به ظرفیت حمل برسد. همچنین رفاهی (۲) معتقد است که فرسایش شیاری هنگامی گسترش خواهد یافت که توان حمل آب بیشتر از بار رسوب باشد. بنابراین در این منطقه با افزایش طول دامنه تا ۵۰ متر بار رسوب به ظرفیت حمل نرسیده است و همچنان جریان آب، قادر است مواد رسوبی را حمل و ذرات خاک را از بستر جدا کند و در جهت افزایش عمق و سطح مقطع شیاریها پیش رود، هرچند که در انتهای دامنه شدت این پیش‌روی کمتر از نواحی بالادست دامنه است. این خود نشان می‌دهد که در طول‌های دامنه بیش از ۵۰ متر، کنش جریان آب به دلیل رسیدن بار رسوب به ظرفیت حمل می‌تواند با محدودیت مواجه شود.

با توجه به انعطاف و قابلیت بالای تابع وود، جهت بررسی تغییرات میزان متوسط رس، سیلت و شن در طول دامنه نیز از این تابع استفاده شد. رابطه‌نمایی معنی‌دار هر یک از فاکتورهای میزان متوسط سیلت و شن به همراه ضریب تبیین این روابط و درصد خطای نسبی آن در جدول ۵ آمده است. با توجه به این که تفاوت بیشترین میزان متوسط رس و کمترین میزان آن در طول دامنه حدوداً ۲ درصد است و میزان رس بخش اندکی از خاک دامنه‌ها را تشکیل می‌دهد، توانایی جریان آب به اندازه‌ای نبوده است که بتواند همین میزان اندک ذرات رس را

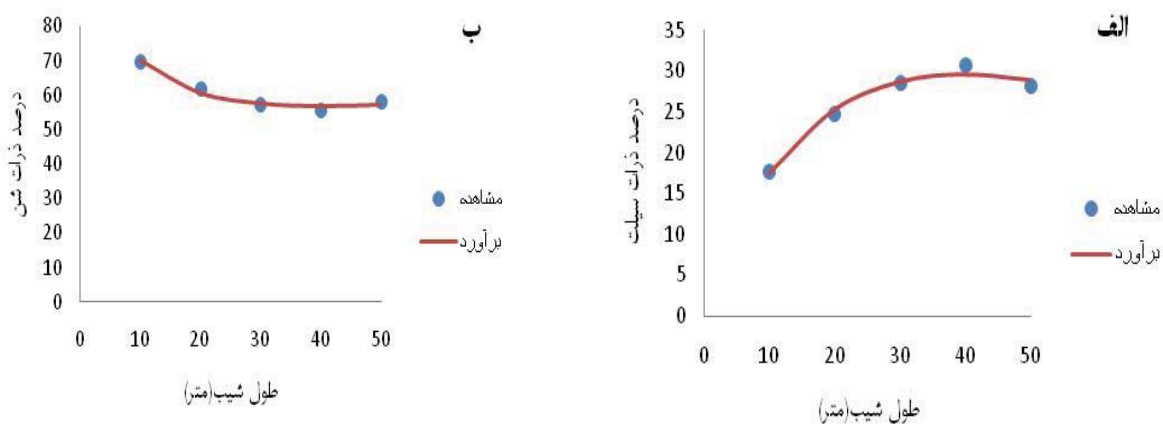
جدول ۵- نتایج حاصل از برازش تابع وود بر میزان شن و سیلت در طول دامنه

اجزاء خاک	تابع وود	ضریب تبیین $R^2_{adj}\%$	سطح معنی‌داری (%)	خطای نسبی (%)
رس	*	-	-	-
سیلت	$\bar{S}_i = 3.210222 L^{0.22619} \exp(0.020710L)$	۰/۹۷	۰/۰۵	۱/۹
شن	$\bar{S}_a = 135.6218 L^{-0.222} \exp(-0.00784L)$	۰/۹۴	۰/۰۵	۱/۲۴

\*: به دلیل نبود تغییرات معنی‌دار در میزان متوسط رس در طول دامنه، تابع وود برازش نیافت.



شکل ۳- برازش تابع وود بر مقادیر متوسط (الف) عرض، (ب) عمق و (ج) سطح مقطع شیارها در طول دامنه



شکل ۴- نمودار برازش مدل وود بر روی متوسط میزان سیلت و شن در طول دامنه



عرض شیارها با افزایش در طول دامنه تا فاصله زیادی از خط‌الراس دامنه افزایش (طول دامنه ۴۰ متر) و پس از آن کاهش یافته‌است. نتایج تحقیقات فلاناگن و نیرینگ (۱۰) و گلکاریان (۵) نیز این موضوع را تایید می‌کند. میزان متوسط سیلت و شن موجود در خاک در طول دامنه به ترتیب افزایش و کاهش یافته‌اند. نتایج این بخش از تحقیق توسط بیاتی خطیبی (۱) مبنی بر حضور بیشتر ذرات سیلت در پنجه و پای دامنه‌ها و بیشتر بودن میزان شن در بخش شانه دامنه (بخش بالایی دامنه) تایید می‌گردد. هر چند که در ارتباط با رابطه ریاضی تغییرات سیلت و شن نسبت به طول دامنه منبع مدونی مشاهده نشد.

در این تحقیق به دلیل وضعیت طبیعی و توپوگرافی منطقه و محدودیت در انتخاب دامنه‌هایی که عوامل موثر در فرسایش در آنها حتی الامکان ثابت باشد (به جز از عوامل مورد بررسی)، امکان بررسی در طول‌های دامنه بیش از ۵۰ متر میسر نشد که پیشنهاد می‌گردد در سایر تحقیقات در این زمینه، از طول‌های دامنه بیش از ۵۰ متر هم استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌گردد، تحقیقاتی مشابه آنچه انجام شد، در سایر مناطق کشور، با شرایط متفاوت انجام شود تا بتوان در ارتباط با تاثیر طول دامنه بر نرخ کنش و تغییرات ویژگی‌های مختلف فرسایش شیاری به یک رابطه کلی و منطقه‌ای دست یافت. پیشنهاد می‌شود در صورت عدم دسترسی به داده‌های ویژگی‌های شیار (عرض، عمق و سطح مقطع شیار)، رابطه آن‌ها با طول دامنه خطی در نظر گرفته نشده و حتی الامکان از معادلات غیر خطی از جمله تابع گامای ناقص (وود) استفاده شود.

### سپاسگزاری

این تحقیق در راستای انجام پایان‌نامه کارشناسی ارشد با کد طرح ۱۸۸۳۴ انجام شده‌است، که از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود.

بنابراین لازم است تغییرات مکانی نرخ فرسایش و مقادیر کنش جریان آب در طول‌های دامنه بیشتر و در شرایط کاملاً طبیعی با در نظر گرفتن تاثیر کلیه عوامل موثر بر فرسایش و اثر متقابل آن‌ها بررسی شود. همچنین بیان رابطه‌ای که نشان‌دهنده تغییرات نرخ کنش جریان آب و میزان فرسایش در بخش‌های مختلف یک دامنه باشد، امکان پیش‌بینی میزان فرسایش یا چگونگی تغییر آن در هر بخش دیگر دامنه را فراهم آورده و منجر به تشخیص مکان‌هایی که از نظر پتانسیل کنش دارای شرایط بحرانی هستند، می‌گردد. این امر می‌تواند در برنامه‌ریزی جهت اقدامات حفاظتی مفید باشد.

نتایج این تحقیق با نتایج محققین دیگر از جمله رفاهی (۲) که بیان می‌دارند که رابطه بین مقدار کل فرسایش و همچنین میزان فرسایش در واحد سطح با طول دامنه یک رابطه خطی نیست، همخوانی دارد. به بیان دقیق‌تر، در این تحقیق مشخص شد که نرخ کنش جریان آب در طول دامنه خطی نبوده بلکه تا مسافتی از طول دامنه افزایشی و پس از آن کاهش است که با نتایج گلکاریان (۵) همخوانی دارد. این نتایج نشان‌دهنده نامناسب بودن مدل‌های رگرسیونی خطی، درجه دوم، درجه سوم و مدل‌های لگاریتمی در بیان ارتباط بین ویژگی‌های فرسایش شیاری و طول دامنه است. تابع ریاضی گامای ناقص نیز یک تابع غیر خطی است که منحنی تغییرات آن ابتدا افزایشی و سپس می‌تواند کاهش یافته باشد. به همین دلیل به کارگیری این منحنی، به خوبی تغییرات نرخ کنش جریان آب را نسبت به طول دامنه مدل‌سازی می‌نماید.

تابع گامای ناقص (وود)، روند تغییرات متوسط میزان سیلت و شن موجود در خاک و همچنین میزان متوسط عرض، عمق و سطح مقطع شیارها در طول دامنه را با ضرایب تبیین بالا نشان داد. به طوری که با افزایش طول دامنه تا ۵۰ متر، میزان متوسط سطح مقطع و عمق شیارها افزایش می‌یابد، هر چند که این تغییرات خطی نبوده و با روندی که از معادله وود پیروی می‌کند، تغییر می‌یابد. این موضوع موید نتایج هوانگ و لافلن (۱۱) و رفاهی (۲) می‌باشد. میزان متوسط

### منابع

- ۱- بیاتی خطیبی م. ۱۳۸۹. نقش تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در طول دامنه‌ها در فرسایش‌پذیر شدن خاک‌های کوهستان‌ها (با تأکید بر فرسایش خندقی): (دامنه‌های شمال غربی سیلان از اهر تا مشکین شهر)، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی. ۱۴: ۳۳-۵۶.
- ۲- رفاهی ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. چاپ چهارم. ۶۷۱ صفحه.
- ۳- شاهویی ص. ۱۳۶۸. بررسی فاکتورهای موثر در فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوئین و تعمیم نتایج در تهیه نقشه فرسایش خاک آبخیز سرشاخه ملارود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشگاه تهران. ۱۷۰ص.
- ۴- صادقی س.ج.ر.، بشری سه قلعه م. و رنگ‌آور ع. ۱۳۸۷. مقایسه تغییرات رسوب با جهت دامنه و طول کرت در برآورد فرسایش خاک ناشی از رگبارها. نشریه آب و خاک. ۲۲: ۲۳۹-۲۳۰.
- ۵- گلکاریان ع. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر طول دامنه بر توزیع مکانی نرخ فرسایش. پایان‌نامه دکتری مهندسی آبخیزداری. دانشگاه تهران. ۱۷۹ ص.

- 6- Bogaart P.W., and Troch A. 2004. On the use of soil-landscape evolution modeling in understanding the hillslope hydrological response. *Hydrology*, 251-259.
- 7- Catillo N.P., Macciotta P., Carreta A., and Borlino C. 2002. Effects of age and calving season on lactation curves of milk production traits in Italian water buffaloes. *Dairy Science*, 85: 1298-1306.
- 8- Evans K.G., Loch R.J., Silburn D.M., Aspinall T.O., and Bell L.C. 1994. Evaluation of the CREAMS model. IV Derivation of interrill erodibility parameters from laboratory rainfall simulation data and prediction of soil loss under a field rainulator using the derived parameters. *Australian Journal of Soil Research*, 32: 867-878.
- 9- Farhangfar H.P., and Rowlinson P. 2007. Genetic analysis of woods lactation curve for Iranian Holstein heifers. *Biological Science*, 7: 127-135.
- 10- Flanagan D.C., and Nearing M.A. (ed). 1995. USDA-Water Erosion Prediction project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10. West Lafayette, Ind: USDA-ARS Nat. Soil Erosion Research Lab.
- 11- Huang C., and Laflen L.M. 1996. Seepage and soil erosion for a clay loam soil. *Journal of Soil Science Society of America*, 60: 408-416.
- 12- Kimaro D.N., Poesen J., Msanya B.M., and Deckers J.A. 2008. Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and rill erosion. *Catena*, 75: 38-44.
- 13- Marques M.J., Bienes R., Jimenes L., and Perez-Rodrigues R. 2007. Effect of Vegetal Cover on Runoff and Soil Erosion under Light Intensity Events, Rainfall Simulation over USLE plots. *Science of the Total Environment*, 378: 161-165.
- 14- Meyer L.D., and Harmon W.C. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Journal of Soil Science Society of America*, 48: 1152-1157.
- 15- Misra R.K., and Rose C.W. 1996. Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST. *Soil Sci.*, 47: 593-604.
- 16- Nearing M.A., Foster G.R., Lane L.J., and Finkner S.C. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology. *Transactions of the ASAE*, 32: 1587-1593.
- 17- Papajcsik I.A., and Boderio J. 1988. Modeling lactation curves of Friesian cows in a subtropical climate. *Animal production*, 47: 201-207.
- 18- Polyakov V.O., and Nearing M.A. 2003. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. *Catena*, 51: 33-43.
- 19- Rejman J., and Brodowski R. 2005. Rill characteristics and sediment transport as a function of slope length during a storm event on loess soil. *Earth Surface Process and Landforms*, 30: 231-239.
- 20- Wood P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Journal of Nature*, 216: 164-165.
- 21- Zang X.C., Li Z.B., and Ding W.F. 2005. Validation of WEPP sediment feedback relationships using spatially distributed rill erosion data. *Journal of Soil Science Society of America*, 69: 1440-1447.
- 22- Zhang Q., Lei T., and Zhao J. 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma*, 147: 8-15.

## Modeling the Effect of Hill Slope Length on Features of Rill Erosion Based on Incomplete Gamma Function in Ahmad-Abad, Mashhad

S. M. Hosseini<sup>1</sup>- A. Mosaedi<sup>2\*</sup>- K. Naseri<sup>3</sup>- A. Golkarian<sup>4</sup>

Received: 28-01-2012

Accepted: 13-05-2012

### Abstract

Rill erosion due to run off on hill slopes is a kind of water erosion which causes the highest soil loss in world-wide scale. Since the length of hill slope is one of the most effective factors in erosion, in this research, the variation of width, depth, cross-section, and frequency of rills were evaluated on the length of hill slopes. In addition, soil components were evaluated due to the variation of hill slope length. Some hill slopes with pronounced rills were chosen in Ahmad-Abad location and on each slope, fifty-meter –transect was selected with the distances of 10, 20, 30, 40 and 50 meters and the features of rills were measured. As the routine models of linear regression have not been fitted to the observed data, the incomplete gamma function was used to obtain logical relation between hill slope length and mentioned parameters. Therefore, this model were fitted well to all parameters, except to the frequency of rills and the mean amounts of clay ( $p < 0.05$ ). With increasing the length of hill slope, mean amounts of silt, depth and cross-section of rills were increased, but the mean amounts of sand was decreased. Meanwhile, first the mean width of rills were increased, then decreased.

**Keywords:** Rill erosion, Hill slope length, Soil texture, Incomplete Gamma function, Ahmad Abad-Mashhad

---

1,2,3,4- Msc student, Associate Prof. and Assistant Professors, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad  
(\*-Corresponding Author Email: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir))