مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۸/ شماره ۲/ تابستان ۱۳۸۶/ص ۱۶-۱

بررسی تأثیر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران

مجید محمودآبادی، امیرحسین چرخابی و حسینقلی رفاهی*

* به ترتیب دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران، پیام نگار: mmahmoodabadi@yahoo.com؛ استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ و استاد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۰/۲۳

چکیده

در میان فرآیندهای مختلف تخریب اراضی، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای منابع خاک و آب کشور است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر مهمی بر تولید رواناب و رسوب دارند. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر برخی از این خواص در تولید رواناب، رسوب، و همچنین غلظت رسوب در شرایط صحرا انجام شد. آزمایش‌ها روی خاک‌های منطقه گُل‌آباد اردستان با متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۷۰ میلی‌متر اجرا شد. به این منظور از یک باران‌ساز قابل حمل در صحرا و در ۹ واحد همگن از منطقه با ۳ تکرار (جمعاً در ۲۷ پلات آزمایشی) استفاده شد. بارشی با شدت ۳۵ میلی‌متر در ساعت به مدت ۴۰ دقیقه روی پلات‌هایی با سطح یک متر مربع، شبیه‌سازی و نمونه‌های رواناب و رسوب در انتهای هر بارش جمع‌آوری شد. همچنین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک، سنگریزه در دو موقعیت (سطح و داخل خاک)، رطوبت اولیه و رطوبت در مکش های صفر، ۰/۰۳ و ۱/۵ مگاپاسکال، pH، EC، آهک و مادهٔ آلی اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش میزان رس تولید رسوب و همچنین غلظت رسوب افزایش می‌یابد در حالی که بخش شن، تولید رواناب و رسوب را کاهش می‌دهد. با افزایش سنگریزهٔ سطحی و سنگریزهٔ داخل خاک، رواناب به ترتیب افزایش و کاهش می‌دهد. سنگریزهٔ سطحی نقش مهم‌تری نسبت به سنگریزه داخل خاک نشان داد به‌طوری که افزایش آن افزایش تولید رسوب را نیز به دنبال داشت. با افزایش رطوبت در مکش‌های ۰/۰۳ و ۱/۵ مگاپاسکال، تولید رسوب و غلظت آن افزایش معنی‌داری نشان داد. افزایش pH باعث کاهش تولید رواناب شد. آهک به دلیل تشکیل سلهٔ سطحی، افزایش فرسایش را به دنبال داشت. در مجموع، از میان خصوصیات بررسی‌شده، توزیع اندازه ذرات مهم‌ترین عامل در کنترل رواناب و رسوب در خاک‌های مورد مطالعه معرفی شد.

واژه‌های کلیدی

شبیه‌ساز باران، تولید رسوب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، رواناب، سنگریزه سطحی و قرار گرفته داخل خاک، غلظت رسوب

مقدمه

فرسایش آبی یک مشکل جهانی است که قدرت باروری خاک و کیفیت آب را کاهش می‌دهد و باعث تولید رسوب و افزایش احتمال وقوع سیل می‌شود و از این رو امنیت غذایی و جانی بشر را تهدید می‌کند. در سال‌های اخیر، به اجرای آزمایش‌های صحرایی با استفاده از

© 2010,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

دستگاه‌های باران‌ساز توجه زیادی شده است (Victora *et al*., 1998; Sheridan *et al*., 2000; Mahmoodabadi & Rafahi, 2006). به رغم مشکلات زیاد کار در صحرا و هزینه‌بر بودن، اگر میزان فرسایش در صحرا اندازه‌گیری شود، اطلاعات به دست آمده واقعی و قابل اطمینان‌تر خواهد بود (Morgan, 1995). به‌طور کلی، رواناب و تلفات خاک را می‌توان در مقیاس‌های مختلف نظیر حوزه (بزرگ‌تر از یک هکتار)، پلات (۱۰ متر مربع تا یک هکتار)، و پلات کوچک (کوچک‌تر از ۱۰ متر مربع) اندازه‌گیری کرد (Barthes & Roose, 2002).

به دلیل وجود مشکلات زیادی که در تحقیقات صحرایی وجود دارد، تعداد مطالعات نیز در زمینهٔ تلفات واقعی خاک محدود است؛ برای رفع این مشکلات روش‌هایی پیشنهاد شده است. پلات‌های استاندارد رواناب (SRP)[1] و شبیه‌سازهای باران (RFS)[2] دو روش رایج در تحقیقات فرسایش به حساب می‌آیند. در روش SRP، فرسایش تحت باران طبیعی اندازه‌گیری می‌شود، اما نیاز به صرف وقت زیادی دارد و نصب و عملیات پرهزینه‌ای نیز می‌طلبد. روش RFS به اندازهٔ روش SRP دقیق نیست، امّا هزینهٔ کمتری دارد و اجرای آزمایش را با چندین تکرار در مدت زمانی کوتاه میسر می‌سازد. امروزه از روش RFS به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه به‌طور وسیعی استفاده می‌شود (Victora *et al*., 1998; Mahmoodabadi *et al*., 2007). دالی و هیز (Duley & Hays, 1932) باران شبیه‌سازی‌شده را برای اندازه‌گیری هدررفت خاک به کار بردند. از آن زمان به بعد، از RFS به‌عنوان ابزاری در تحقیقات فرسایش خاک به طور مکرر استفاده و دامنهٔ نسبتاً وسیعی از مقادیر فرسایش خاک گزارش شده است (Romkens *et al*., 1997; Victora *et al*., 1998; Barthes & Roose, 2002; Mahmoodabadi & Rafahi, 2006).

رواناب عاملی مهم در فرسایش است و در مدل‌هایی که توجهٔ ویژه‌ای به آن شده است، برآوردهای بهتری از فرسایش ارائه می‌شود. با وجود یافته‌های جدید در مورد فرایندهای فرسایش، محققان دریافته‌اند که رواناب یکی از مهم‌ترین عوامل مستقل در مدل‌سازی فرسایش آبی است (Kinnell & Risse, 1998).

مقاومت خاک در برابر فرایندهای فرسایش، بستگی به خصوصیات خاک دارد، خصوصیاتی مانند بافت، چسبندگی، و خاکدانه‌سازی (Meyer & Harmon, 1984). در چندین مطالعه، میزان فرسایش خاک به برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن ارتباط داده شده و هر یک عوامل مختلفی را بر میزان فرسایش موثر دانسته است (Romkens *et al*., 1997; Parysow *et al*., 2003; Ghadiri *et al*., 2004; Valmis *et al*., 2005). میر و هارمون (Meyer & Harmon, 1984) با بررسی ۱۸ نوع خاک دریافتند که فرسایش بین شیاری با مقدار رس، کربن آلی، رطوبت در مکش ۱/۵ مگاپاسکال، کلسیم قابل تبادل، مجموع بازهای تبادلی، و ظرفیت تبادل کاتیونی همبستگی منفی و معنی‌داری دارد. ورهاگن (Verhagen, 1984) با استفاده از شبیه‌سازی باران روی ۲۰ نوع خاک لومی بلژیک، نشان داد که فرسایش‌پذیری بین‌شیاری با چسبندگی، درصد سیلت، پایداری خاکدانه، شاخص $C_{5\text{-}10}$، و رطوبت اشباع همبستگی منفی دارد. نتایج مطالعات وی همچنین دلالت بر افزایش فرسایش‌پذیری با افزایش میزان شن خاک دارد. او معتقد است که با افزایش میزان شن، پایداری خاکدانه و مقاومت سله کاهش می‌یابد. وانلزلند و همکاران (Vanelslande *et al*., 1987) بین میزان فرسایش‌پذیری با شن، همبستگی منفی و با رس و سیلت همبستگی مثبت به دست آوردند. الیوت و همکاران (Elliot *et al*., 1989) در بررسی خاک‌های مختلف نشان

1- Standard Runoff Plots (SRP). 2- Rainfall Simulators (RFS)

دادند که بسته به میزان رس خاک، فرسایش‌پذیری بین شیاری به عواملی نظیر درصد خاکدانه‌های پایدار کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، رس قابل پراکنش در آب، میزان منیزیم و آلومینیم و هدایت الکتریکی عصاره اشباع بستگی دارد. بایراچاریا و همکاران (Bajracharya *et al*., 1992) با اجرای شبیه‌سازی باران در صحرا روی پنج نوع خاک در ایالت اوهایو نشان دادند که فرسایش‌پذیری بین شیاری همبستگی منفی و معنی‌داری با خاکدانه‌های پایدار در آب (بزرگ‌تر از ۰/۵ میلی‌متر) و کربن آلی و همبستگی مثبت و معنی‌داری با نسبت پراکنش میدلتون[1] و نسبت رس قابل پراکنش در آب به کل رس دارد. شریدان و همکاران (Sheridan *et al*., 2000) در خاک‌های جوان حاوی رس کم و سنگریزه زیاد، عنوان داشتند که در فرسایش‌پذیری بین شیاری و شیاری به ترتیب، کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری وارد مدل براوردی شدند.

علاوه بر نقش بافت خاک، سنگریزه نیز در دو حالت قرار گرفته در سطح و یا داخل خاک در میزان تولید رواناب و رسوب اهمیت دارد. این عامل تحت تأثیر درصد پوشش، اندازه و موقعیت سنگریزه، وضعیت سله، و خلل و فرج خاک است (Poesen & Ingelmo Sanchez, 1992; Sheridan *et al*., 2000). طبق نظر توی و همکاران (Toy *et al*., 2002) سنگریزه به عنوان پوشش سطحی یا زمینی عمل می‌کند و در مراتع به طور معنی‌دار، نفوذپذیری را افزایش می‌دهد.

علاوه بر خصوصیات فیزیکی، ویژگی‌های شیمیایی خاک نقش مهمی بر رفتار خاک نظیر خاکدانه‌سازی و پراکندگی خاکدانه، تشکیل سله، و نفوذپذیری آن دارند (Norton *et al*., 1999). در مورد اهمیت و نقش مادهٔ آلی در فرایند فرسایش مطالعات گسترده‌ای انجام شده است. بایراچاریا و همکاران (Bajracharya *et al*., 1992) نشان دادند که فرسایش بین شیاری همبستگی منفی و معنی‌داری با کربن آلی دارد. بررسی‌های کمتری در ارتباط با نقش آهک روی فرسایش در خاک‌های آهکی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات میسوپُلینوس و همکاران (Misopolinos *et al*., 1988)، الیوت و همکاران (Elliot *et al*., 1990) و همچنین مرزوک و بِلِک (Merzouk & Blake, 1991) اشاره کرد. این دو محقق اخیر می‌گویند خاک‌های آهکی فرسایش‌پذیری بیشتری نسبت به خاک‌های فاقد آهک دارند در حالی که الیوت و همکاران (Elliot *et al*., 1990) وجود رابطهٔ منفی را بین فرسایش‌پذیری و میزان آهک گزارش کردند. قدیری و همکاران (Ghadiri *et al*., 2004) اثر شوری و قلیاییت را در فرسایش‌پذیری بررسی کردند و نشان دادند که با افزایش قلیاییت فرسایش‌پذیری افزایش می‌یابد.

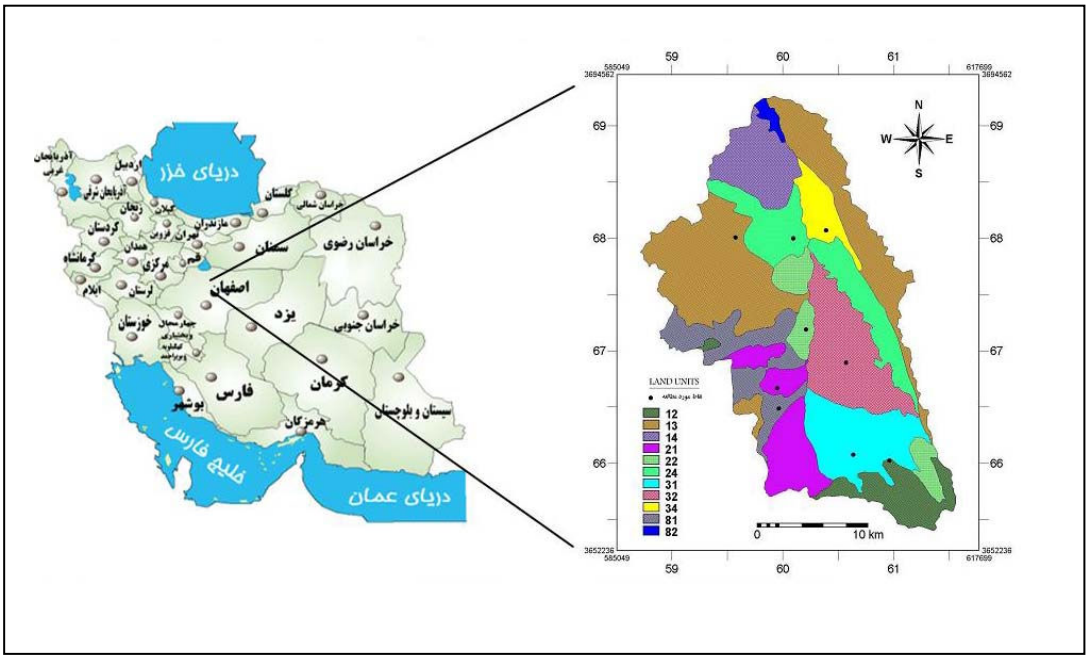
با توجه آنچه گذشت مشاهده می‌شود که هر دو دسته خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در فرسایش نقش دارند. از طرفی در خاک‌های نواحی مختلف، میزان اهمیت عوامل مؤثر در فرسایش متفاوت است که به خصوصیات متنوع خاک‌ها ارتباط دارد. این تحقیق با هدف بررسی تأثیر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در میزان تولید رواناب، رسوب، و همچنین غلظت رسوب با استفاده از شبیه‌سازی باران و روی خاک‌های منطقه گل‌آباد اصفهان اجرا شده است. با توجه به شرایط متفاوت حاکم بر خاک‌های مناطق خشک، نسبت به سایر نواحی، سعی شده است خصوصیاتی از خاک که اهمیت بیشتری در میزان فرسایش دارند، مشخص و میزان تأثیر آنها تعیین می‌شود.

1- Middelton's Dispersion Ratio.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز گل‌آباد با وسعت ۵۸۲/۷ کیلومتر مربع در شمال شرق اصفهان و در محدودهٔ جغرافیایی ´ ۵۶ و °۵۱ تا ´۱۴ و °۵۲ طول شرقی و ´۰۱ و °۳۳ تا ´۲۲ و °۳۳ عرض شمالی واقع شده است. در این حوزه، ایستگاه هواشناسی وجود ندارد و بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه‌های مجاور و رابطهٔ رگرسیونی بین متوسط ارتفاع با میزان بارش، میانگین بارندگی سالیانه حوزه حدود ۱۷۰ میلی‌متر برآورد می‌شود (Anon, 1996). شرایط مناسب از نظر حرارت و رطوبت برای تکامل خاک‌های منطقه فراهم نیست و بارندگی‌کم و غالباً شدت بالایی دارد که بر میزان فرسایش می‌افزاید. لذا، خاک‌های این منطقه تکامل پروفیلی کمی دارند و فقط در برخی قسمت‌های کوهپایه‌ای، علاوه بر افق سطحی اکریک، افق کلسیک نیز دیده می‌شود. خاک‌های مورد مطالعه در رده‌های اریدی‌سول و انتی‌سول طبقه‌بندی شده‌اند (Amiri, 1997). با توجه به تنوع خصوصیات خاک در واحدهای اراضی مختلف، نقشهٔ این واحدها مبنا قرار داده شد. آزمایش‌های شبیه‌سازی باران در ۹ واحد همگن از منطقه با ۳ تکرار (جمعاً ۲۷ پلات آزمایشی) اجرا شد. شکل ۱ موقعیت این ۹ محل را بر روی نقشه واحدهای اراضی نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبخیز گل‌آباد روی نقشهٔ ایران و محل اجرای آزمایش‌ها روی نقشه واحد اراضی

مشخصات باران‌ساز

باران‌ساز مورد استفاده، ساخته رئیسیان (Raisiyan, 1997)، از نوع قطره‌ساز بوده که در آن از قطره‌چکان‌های قابل تنظیم شرکت پل ایران (Pol Iran) استفاده شده است که در آبیاری قطره‌ای به کار می‌روند. شکل ۲ نمایی از باران‌ساز مورد استفاده را نشان می‌دهد.

شکل ۲- نمایی از باران‌ساز مورد استفاده در صحرا

قطرات تولیدشده، بدون سرعت اولیه و در اثر نیروی ثقل بر سطح پلات ریزش می‌کنند. در این سیستم، مخزن آب از یک ظرف استوانه‌ای پلاستیکی مدرج با گنجایش ۲۵ لیتر تشکیل شده است که به منظور حفظ فشار آب و شدت بارش، با اضافه کردن آب به آن، سطح آب ثابت نگه داشته می‌شود. مخزن آب در یک متری بالای صفحهٔ ریزش قرار می‌گیرد. صفحهٔ ریزش از لوله‌های پلی‌اتیلنی موازی تشکیل و در مجموع ۵۸۸ قطره‌چکان به فواصل ۴ سانتی‌متر از یکدیگر روی آن نصب شده است. این تعداد قطره‌چکان برای نیل به یکنواختی بیشتر توزیع شدت و اعمال بارش بر تمام سطح پلات در نظر گرفته شده است. شدت تولید قطره توسط قطره‌سازها قابل تنظیم است و قطره‌چکان‌ها به دو طرف لوله‌ها در فواصل منظم قرار گرفته‌اند و کل سیستم ریزش به مخزن آب متصل است. سیستم ریزش در یک قالب آلومینیمی و روی پایه‌هایی با ارتفاع قابل تنظیم بین ۱/۵ تا ۲ متر قرار می‌گیرد. پایه‌های دستگاه کشویی ساخته شده‌اند تا در شیب‌های مختلف بتوان صفحهٔ ریزش را به طور افقی ثابت نگه داشت. پلات مورد استفاده، سطحی برابر با یک متر مربع (ابعاد یک متر) از خاک را محصور کرده است و رواناب و رسوب تولیدشده در اثر بارش از انتهای آن به داخل ظروف جمع‌آوری نمونه منتقل می‌شود. با توجه به ابعاد پلات و اینکه اغلب در این سطح شیار تشکیل نمی‌شود، فرسایش از نوع سطحی یا بین شیاری خواهد بود. در بسیاری از تحقیقات فرسایش بین شیاری، چنین ابعادی و حتی کوچک‌تر از آن نیز در نظر گرفته شده است (Meyer & Harmon, 1984; Victora *et al*., 1998; Valmis *et al*., 2005; Mahmoodabadi & Rafahi, 2006). قُطر قَطره‌های تولیدشده در این باران‌ساز، به دلیل سیستم قطره‌چکانی و تحت فشار نبودن آب، ۶/۵ میلی‌متر است.

با در نظر گرفتن ارتفاع متوسط ۱/۶۵ متر صفحه ریزش از سطح پلات و سرعت اولیهٔ صفر قطرات، سرعت برخورد قطرات با سطح خاک ۵/۶۸ متر بر ثانیه و انرژی باران برابر با ۱۶/۱۷ ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران محاسبه شد (Mahmoodabadi, 2003). شکل‌آبادی (Sheklabadi, 2000) میانگین و انحراف معیار قُطر قَطره‌های تولید شده توسط همین باران‌ساز را با استفاده از روغن STP و روغن معدنی به ترتیب ۶/۵۶ و ۰/۲۱ میلی‌متر و انرژی باران را بین ۱۳/۷ تا ۱۷/۲ ژول بر متر مربع در میلی‌متر باران برآورد کرد.

در هر پلات آزمایشی، باران‌ساز با استفاده از آب شهر اردستان بارشی با شدت ثابت ۳۵ میلی‌متر در ساعت، به مدت ۴۰ دقیقه روی پلات یک متر مربعی ایجاد کرد. شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت چنین شدتی بر اساس دورهٔ بازگشت ۳۰ ساله منطقه (Anon, 1996) و مدت زمان ۴۰ دقیقه بارش با توجه به زمان لازم برای رسیدن شدت رواناب به حد تقریباً ثابت در نظر گرفته شدند. برای حذف اثر تغییر شدت باران در نتایج حساسیت خاک، شدت باران ثابت نگه داشته شد. همچنین به دلیل اینکه نقش پوشش گیاهی در مقیاس فلوم قابل کنترل و اندازه‌گیری نبود، پلات در نقاطی نصب شد که فاقد پوشش گیاهی بود. رواناب و رسوب تولیدشده در پایان هر بارش و مقدار دقیق آن پس از خشک کردن نمونه‌ها در آون به مدت ۲۴ ساعت در دما ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Sheridan, 2000). همچنین، نمونه‌هایی از خاک کنار هر پلات تا عمق ۱۰ سانتی‌متر جمع‌آوری شد و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تحت تجزیهٔ آزمایشگاهی قرار گرفت. با گذراندن نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری، درصد وزنی سنگریزهٔ قرار گرفته داخل خاک[1] اندازه‌گیری شد. به علاوه، درصدی از سطح هر پلات که با سنگریزه پوشانده شده بود به روش شبکه‌بندی[2] (Poesen & Ingelmo Sanchez, 1992) و همچنین عکسبرداری از سطح پلات و پردازش تصویر، اندازه‌گیری و در محاسبات به عنوان سنگریزه سطحی[3] لحاظ گردید. اجزای بافتی خاک با استفاده از روش هیدرومتری تعیین و شن خیلی ریز نیز با الک استاندارد جداسازی شد. رطوبت اولیهٔ خاک با خشک‌کردن نمونه‌ها در آون و همچنین رطوبت خاک در مکش‌های صفر، ۰/۰۳ و ۱/۵ مگاپاسکال، با خشک‌کردن گل اشباع در آون تعیین شد (Anon, 1996). pH و EC در عصارهٔ اشباع، ماده آلی با استفاده از روش اکسیداسیون تر، و آهک به روش کلسی‌متری اندازه‌گیری شد (Paye & Kenne, 1986). برای تجزیه‌های آماری شامل آزمون نرمالیتی و تحلیل همبستگی و تعیین روابط رگرسیونی از نرم‌افزارهای MINITAB و SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر میانگین و ضریب تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بافت خاک از لوم‌رسی تا لوم‌شنی متغیر و عمدتاً سنگریزه‌ای است. میزان کم رطوبت در مکش‌های اندازه‌گیری شده، ناشی از شرایط اقلیمی و وضعیت پوشش گیاهی، عمق، و بافت خاک‌هاست. البته باید توجه داشت که مقادیر اندازه‌گیری‌شده برای بافت، وضعیت رطوبتی، و خصوصیات شیمیایی مربوط به بخش کوچک‌تر از دو میلی‌متر خاک است و از این رو باید اثر سنگریزه در این عوامل مورد توجه قرار گیرد. EC خاک‌ها اغلب کمتر از

1- Embedded Gravel 2- Point- Grid Method 3- Surface Gravel

یک دسی‌زیمنس بر متر است. درصد آهک قابل توجه و درصد مادهٔ آلی به دلیل پوشش گیاهی ضعیف، کم است.

پلات، به دلیل کوچک بودن ابعاد شیاری ایجاد نشد، و از این رو فرایندهای مربوط به فرسایش بین شیاری فعال بودند. ارتفاع رواناب بین ۳/۳ تا ۱۱/۲ میلی‌متر و ضریب رواناب بین ۱۴/۲ تا ۴۸/۱ درصد متغیر بود. تولید رسوب بین ۲۳/۵ تا ۹۷/۶ گرم بر متر مربع و همچنین غلظت رسوب که شاخصی از تولید توأم رواناب و رسوب است بین ۳/۰ تا ۱۴/۱ گرم در لیتر نوسان داشت.

جدول ۱- میانگین و ضریب تغییرات خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه (۲۷ پلات آزمایشی)

خصوصیت خاک	واحد	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)
رس	درصد	۲۶/۵	۲۸/۳۸
سیلت	درصد	۳۲/۶	۲۰/۸۳
شن ریز (۰/۰۵-۰/۱ میلی‌متر)	درصد	۱۵/۴	۱۸/۰۵
شن درشت (۰/۱-۲/۰ میلی‌متر)	درصد	۲۵/۵	۳۴/۵۹
شن کل	درصد	۴۰/۹	۱۹/۵۴
سنگریزهٔ سطحی	درصد سطحی	۴۸/۷	۲۹/۶۷
سنگریزهٔ داخل خاک	درصد وزنی	۳۲/۲	۳۳/۱۴
رطوبت اولیه	درصد	۵/۴	۲۶/۶۷
رطوبت در مکش ۱/۵ مگاپاسکال	درصد	۷/۱	۲۴/۲۳
رطوبت در مکش ۰/۰۳ مگاپاسکال	درصد	۱۰/۲	۱۳/۱۴
رطوبت در مکش صفر	درصد	۲۴/۵	۱۶/۲۹
EC	دسی زیمنس بر متر	۰/۶۳	۲۴/۷
pH	-	۷/۸۷	۲/۴
مادهٔ آلی	درصد	۰/۳۲	۳۱/۷
آهک	درصد	۲۶/۴۱	۴۳/۴

با تبدیل واحد حداکثر رسوب، میزان تولید رسوب ۰/۹۷۶ تن در هکتار در بارش به دست می‌آید که به نظر می‌رسد کم باشد. در بسیاری از مطالعات، سطح پلات‌هایی که تحت باران شبیه‌سازی قرار گرفته، نسبت به ابعاد منطقهٔ مورد مطالعه کوچک بوده است که اغلب باعث براورد کمتر تلفات خاک نسبت به مقدار واقعی در سطح صحرا می‌شود (Hamed *et al*., 2002). در این زمینه چند نکته قابل ذکر است: ۱) نسبت تحویل رسوب به سطح مورد مطالعه بستگی دارد، ۲) این میزان رسوب برای یک رخداد بارش است نه بارش سالیانه، ۳) نوع فرسایش که در چنین پلات کوچکی اندازه‌گیری می‌شود، بین شیاری است حال آنکه در مقیاس حوضه فرایندهای شیاری و آبکند نیز فعال هستند، ۴) در مقیاس حوزه عواملی نظیر پوشش گیاهی نیز در تولید رسوب نقش دارند که در سطح یک متر مربع قابل کنترل نیست. با وجود این، خصوصیات خاک در سطح پلات نسبت به مقیاس حوضه همگن‌تر است و تغییرات مکانی کمتری دارند. بنابراین رابطهٔ بین خصوصیات خاک و شدت فرسایش، دقیق‌تر و راحت‌تر تعیین می‌شود و شرایط برای این کار قابل کنترل‌تر است.

بافت خاک از خصوصیات فیزیکی مهم و مؤثر در فرایند فرسایش به‌حساب می‌آید. با توجه به نتایج همبستگی خطی جدول ۲، مقدار شن با تولید رواناب و رسوب همبستگی منفی و معنی‌داری دارد ($\rho<0/01$) در حالی‌که، میزان رس، افزایش تولید رسوب و غلظت رسوب را به دنبال دارد. با افزایش درصد شن، نفوذپذیری خاک افزایش می‌یابد و از این رو رواناب کمتری تولید می‌شود. از طرفی، ذرات شن به رغم چسبندگی کم و جداشدن آسان نشان در برابر انتقال به وسیلهٔ رواناب مقاومت می‌کنند و در نتیجه رسوب کمتری تولید می‌شود. با افزایش رس و سیلت، مقاومت خاک در برابر انتقال کاهش می‌یابد و رسوب بیشتری منتقل می‌شود. همچنین، با افزایش سیلت و رس در اثر تشکیل سله سطحی، نفوذپذیری کاهش می‌یابد و رواناب بیشتری تولید می‌شود. این موضوع با نتایج وانلزلند و همکاران (Vanelslande *et al*., 1987) و همچنین شریدان و همکاران (Sheridan *et al*., 2000) مطابقت دارد. خاک‌های با بافت سیلتی لوم به سادگی هم جدا و هم منتقل می شوند، لذا عموماً فرسایش‌پذیری نسبی زیادی دارند (Wischmeier & Mannering, 1969; Meyer & Harmon, 1984).

جدول ۲- نتایج همبستگی خطی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده با تولید رواناب، رسوب و غلظت رسوب

خصوصیت خاک	رواناب	رسوب	غلظت رسوب
رس	۰/۳۴۱	۰/۶۹۵**	۰/۵۸۶**
سیلت	۰/۳۱۱	۰/۰۶۵	-۰/۲۵۱
شن	-۰/۵۸۵**	-۰/۷۰۹**	-۰/۳۳۸
شن ریز (۰/۰۵-۰/۱ میلی‌متر)	۰/۰۸۲	-۰/۲۳۸	-۰/۳۲۲
شن درشت (۰/۱-۲/۰ میلی‌متر)	-۰/۵۵۵**	-۰/۵۶۷**	-۰/۲۰۵
سیلت + شن ریز	۰/۲۸۹	-۰/۰۲۷	-۰/۳۲۱
رس + سیلت	۰/۵۸۵**	۰/۷۰۹**	۰/۳۳۸
نسبت رس به سیلت	۰/۰۸۰	۰/۴۱۸*	۰/۵۰۵**
نسبت رس (مجموع سیلت و شن به رس)	-۰/۲۹۴	-۰/۶۹۱**	-۰/۶۱۶**
سنگریزهٔ سطحی	۰/۱۷۶	۰/۱۸۸	۰/۰۷۲
سنگریزهٔ قرارگرفته در خاک	-۰/۲۴۷	۰/۰۸۶	۰/۲۸۵
رطوبت اولیه	-۰/۰۶۳	-۰/۰۲۹	۰/۰۷۵
رطوبت در مکش ۱/۵ مگاپاسکال	۰/۰۳۵	۰/۵۵۰**	۰/۶۸۲**
رطوبت در مکش ۰/۰۳ مگاپاسکال	۰/۳۳۰	۰/۶۷۰**	۰/۵۹۹**
رطوبت در مکش صفر	۰/۰۴۰	۰/۳۰۶	۰/۳۷۲
EC	-۰/۳۰۴	۰/۲۳۳	-۰/۲۷۸
pH	-۰/۴۳۰*	-۰/۰۸۲	۰/۲۴۹
مادهٔ آلی	-۰/۳۳۸	-۰/۱۲۳	۰/۱۴۵
آهک	۰/۳۰۴	۰/۲۱۶	۰/۰۱۵

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

بخش سیلت خاک از نظر انتقال و جدا شدن، در حد واسط بین شن و رس قرار می‌گیرد و به همین دلیل همبستگی معنی‌داری با تولید رسوب نشان نمی‌دهد. نتایج تحقیق شکل‌آبادی (Sheklabadi, 2000) نیز نشان می‌دهد که بخش رس خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری با هر دو عامل رواناب و رسوب دارد، در حالی‌که این همبستگی با بخش شن خاک و نسبت رس (مجموع سیلت و شن به رس) منفی است و میزان سیلت خاک هیچ‌گونه همبستگی با دو عامل رواناب و رسوب نشان نمی‌دهد. جدول ۳ نتایج تحلیل اثر خصوصیات مؤثر بر تولید رواناب، رسوب و غلظت رسوب را با استفاده از رگرسیون چندمتغیره به روش گام‌به‌گام[1] نشان می‌دهد. با توجه به معادلات به‌دست‌آمده، اهمیت توزیع اجزای بافتی خاک در کنترل میزان تولید رواناب و رسوب بارز است. در معادلات رگرسیونی، بخش شن به عنوان بهترین براوردکننده تولید رواناب و رسوب وارد مدل شده است. همچنین شن ریز در معادلات رگرسیونی مربوط به غلظت رسوب (معادله ۶) وارد و باعث کاهش آن شده است. پریسو و همکاران (Parysow *et al*., 2003) نشان دادند که سیلت و شن خیلی ریز بیشترین سهم را در تغییرات فرسایش‌پذیری دارند. در حالی که وهی (Veihe, 2002) ابراز داشت که بخش شن خاک، بهترین براوردکننده از فرسایش‌پذیری خاک است و دلیل آن را به ناهمگنی مکانی کم شن (تغییرات مکانی کم) نسبت داد. با توجه به جدول ۱ بخش شن (به خصوص شن خیلی ریز) کمترین درصد ضریب تغییرات را نسبت به رس و سیلت نشان می‌دهد.

فراوانی، اندازه، و شکل سنگریزه از سطح خاک به سمت عمق دارای نوسان بوده که بسیاری از رفتارهای سطحی و عمقی خاک در برابر فرایندهای تولید رواناب و فرسایش را متأثر می‌سازد. برخی از محققان، سنگریزه را جزیی از عامل فرسایش‌پذیری خاک به حساب می‌آورند در حالی‌که برخی دیگر آن را بخشی از پوشش سطحی می‌دانند (Rafahi, 2003). با مراجعه به جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود که میزان سنگریزهٔ سطح خاک بر تولید رواناب و رسوب مؤثر است. با توجه به معادلات ۱ تا ۳ عامل سنگریزه سطحی وارد مدل‌های براورد رواناب‌شده است. همچنین در معادلهٔ ۳ هر دو حالت سنگریزه وارد مدل رگرسیونی شده‌اند. این موضوع مبین نقش سنگریزه سطحی و همچنین سنگریزه داخل خاک بر میزان تولید رواناب است. با توجه به این معادلات مشخص می‌شود که سنگریزه سطحی باعث افزایش تولید رواناب می‌شود، حال آنکه اگر سنگریزه در داخل خاک قرار گرفته باشد، کاهش رواناب را به دنبال دارد. از طرفی، سنگریزه سطحی نسبت به سنگریزه داخل خاک اهمیت بیشتری دارد. در معادله ۵ نیز سنگریزه سطحی وارد مدل براوردی رسوب شده است که نقش و اهمیت آن را در تولید رسوب نیز نشان می‌دهد.

در مورد ارتباط بین درصد پوشش سنگریزه در سطح خاک و رواناب تولیدی از پلات‌های صحرایی نتایج متناقضی به دست آمده است. برخی از محققان به همبستگی منفی بین این دو رسیده‌اند (Grant & Struchtemeyer, 1959; Epstein & Grant, 1966; Tromble, 1976; Iverson, 1980; Poesen & Ingelmo Sanchez, 1992; Sheridan *et al*., 2000) و برخی به ارتباط مثبت دست یافته‌اند (Tromble *et al*., 1974; Blackburn, 1975; Iverson, 1980; Wilcox *et al*., 1988; Poesen & Ingelmo Sanchez, 1992; Mahmoodabadi & Rafahi, 2004). روحی پور و همکاران (Rouhipour *et al*., 2005) در بررسی تأثیر پوشش سنگریزه بر فرسایش و رسوب نشان دادند که با افزایش سنگریزهٔ آزاد و فرورفته در خاک از صفر تا حدود

1- Stepwise Regression

۱۵ تا ۲۰ درصد، رواناب و رسوب افزایش می‌یابد و در مقادیر بیشتر باعث کاهش فرسایش می‌شود. رمکنز و همکاران (Romkens *et al*., 1997) می‌گویند که سنگریزهٔ سطحی نسبت به سنگریزهٔ تحت‌الارض تأثیر بیشتری در کاهش فرسایش دارد چون از یک طرف عامل حفاظتی سطح خاک محسوب می‌شود و از طرف دیگر سله سطحی را کاهش می‌دهد.

در خاک‌های مورد مطالعه، تشکیل سله سطحی و همچنین پیوستگی آن با سنگریزه سطحی، عامل مهمی در افزایش تولید رواناب است. تولید رواناب با اثر برخورد قطره‌های باران و تشکیل سله سطحی تشدید و به دنبال آن رسوب بیشتری نیز تولید می‌شود. بخش درشت دانهٔ خاک (شن و سنگریزه) بر رفتار خاک‌های این مناطق در برابر عوامل فرساینده باران و رواناب تأثیری ژرف دارد.

خصوصیات رطوبتی خاک از عوامل مهم در تعیین رفتار خاک در برابر فرایندهای فرسایش است. با توجه به نتایج جدول ۲، رطوبت در مکش‌های ۰/۰۳ و ۱/۵ مگاپاسکال همبستگی مثبت و معنی‌داری با تولید رسوب و غلظت رسوب نشان می‌دهد ($\rho<0/01$). همبستگی مثبت نتایج حاصل می‌تواند به دلیل تأثیر ژرف بافت و اهمیت نسبی توزیع اندازهٔ ذرات در رفتار خاک باشد. خاک‌هایی که درصد رس بیشتری دارند، قابلیت نگهداری رطوبت زیادتری نیز دارند. با وجود این، با افزایش درصد رس، نفوذپذیری خاک کاهش و پتانسیل تولید رواناب و رسوب افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۳، عامل رطوبت در مکش ۱/۵ مگاپاسکال وارد مدل‌های رگرسیونی رسوب و غلظت رسوب شده است (معادلات ۴ و ۷) که با افزایش آن، هر دو عامل تولید رسوب و غلظت رسوب افزایش نشان می‌دهند. از آنجا که در مکش‌های بالا (رطوبت‌های کم) رفتار رطوبتی خاک تابع بافت و بخش ریز آن است، و با توجه به نقش رس در افزایش رسوب و غلظت رسوب، این موضوع قابل توجیه است. از طرف دیگر، ضرورت توجه به تأثیرات متقابل بین عوامل نسبت به بررسی یک عامل به تنهایی بیشتر نمود پیدا می‌کند.

جدول ۳- معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره با استفاده از روش گام به گام

شماره رابطه	معادله	R^2
۱	Runoff = ۷۳/۵۴ – ۰/۱۸۵ Sand – ۷/۸۵ pH + ۰/۰۸۸ SurGrav	۰/۶۵**
۲	Runoff =۷۱/۶۱– ۹/۵ pH + ۰/۱۱۵ SurGrav + ۰/۱۸۶ Silt	۰/۵۵**
۳	Runoff =۱۲/۰– ۰/۱۹۷ CoarSand + ۰/۰۹۴۴ SurGrav –۰/۰۹۶۴ WGrav	۰/۵۵**
۴	LogSed =۲/۰۵۱– ۰/۰۱۶۸ Sand + ۰/۰۴۳۶ PWP	۰/۶۹**
۵	LogSed =۱/۸۳۱– ۰/۰۱۷۴ CoarSand + ۰/۰۰۵۸۴ SurGrav	۰/۴۵**
۶	LogTurb = ۰/۸۶۱+ ۰/۰۳۶ Slope – ۰/۰۲۲ VfSand	۰/۵۷**
۷	LogTurb = ۰/۲۷۸ + ۰/۰۲۳ Slope + ۰/۰۴۷ PWP	۰/۵۷**

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد Runoff: ارتفاع رواناب (میلی‌متر) LogSed: لگاریتم تولید رسوب (گرم بر متر مربع)
LogTurb: لگاریتم غلظت رسوب (گرم بر لیتر) VfSand: شن خیلی ریز (درصد) Silt: سیلت (درصد)
Sand: شن (درصد) CoarSand: شن درشت (درصد) SurGrav: سنگریزه سطح خاک (درصد سطحی)
WGrav: سنگریزه داخل خاک (درصد وزنی) PWP: رطوبت در مکش ۱/۵ مگاپاسکال (درصد) Slope: شیب (درصد)

علاوه بر عوامل فیزیکی، خصوصیات شیمیایی نیز در کنترل رواناب و رسوب اهمیت دارند. با توجه به میزان کم و دامنهٔ تغییرات جزئی مادهٔ آلی در خاک‌های مورد آزمایش، به رغم کاهش تولید رواناب و رسوب با افزایش مادهٔ آلی، این تأثیر معنی‌دار نبود و در مدل‌های رگرسیونی وارد نشد. برخی از محققان نیز به چنین نتیجه‌ای رسیده‌اند. یانگ و ماچلر (Young & Mutchler, 1977) و همچنین الیوت و همکاران (Elliot *et al.*, 1989, 1990) هیچ رابطه‌ای بین ماده آلی با فرسایش‌پذیری خاک به دست نیاوردند. همچنین، نتایج نشان می دهد که با افزایش آهک تولید رواناب و رسوب نیز افزایش نشان داد. نتایج همبستگی نشان از حضور عمده آهک خاک در اندازه رس و سیلت دارد. مرزوک و بلیک (Merzouk & Blake, 1991) می‌گویند که خاک‌های آهکی با میزان آهک عمدتاً در اندازه سیلت و رس نسبت به خاک‌های فاقد آهک فرسایش‌پذیری بیشتری دارند. این موضوع به حضور آهک در اندازه سیلت و عدم پایداری خاکدانه‌های بزرگ که منجر به تشکیل سله و پر شدن حفره‌های خاک می‌شود، ارتباط داده شده است. دو عامل pH و EC رابطهٔ منفی با تولید رواناب دارند، هر چند عامل EC وارد مدل‌های رگرسیونی نشد. این دو متأثر از سایر خصوصیات شیمیایی خاک نظیر کاتیون‌ها و آنیون‌های انحلال‌پذیر هستند که در تشکیل و پایداری خاکدانه، ایجاد سله سطحی، و نفوذ آب در خاک نقش دارند. مطالعات کمتری راجع به تأثیرات pH و EC بر میزان فرسایش‌پذیری گزارش شده است. در مطالعات الیوت و همکاران (Elliot *et al.*, 1989) و همچنین مرزوک و بلیک (Merzouk & Blake, 1991)، EC وارد مدل‌های رگرسیونی نشد. با توجه به جداول ۲ و ۳، با افزایش pH تولید رواناب کاهش نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی رابطهٔ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با تولید رواناب، رسوب، و غلظت رسوب در فرسایش بین شیاری انجام شد. نتایج حاکی است که توزیع اندازهٔ ذرات مهم‌ترین عامل در کنترل فرایندهای مربوط به فرسایش بین شیاری در خاک‌های مورد مطالعه است. در این بررسی مشخص شد که با افزایش میزان رس تولید رسوب و همچنین غلظت رسوب افزایش می‌یابد در حالی که بخش شن، تولید رواناب و رسوب را کاهش می‌دهد. با افزایش سنگریزهٔ سطحی و سنگریزهٔ موجود در داخل خاک، رواناب به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. از طرفی، سنگریزهٔ سطحی باعث افزایش تولید رسوب نیز می‌شود. با افزایش رطوبت در مکش‌های ۰/۰۳ و ۱/۵ مگاپاسکال، تولید رسوب و غلظت آن افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد. در بین خصوصیات شیمیایی مورد بررسی، pH وارد مدل رگرسیونی برآورد رواناب شد که با افزایش آن تولید رواناب کاهش یافت. همچنین آهک به دلیل تشکیل سله سطحی افزایش فرسایش را به دنبال داشت. یادآوری می‌شود که خصوصیات اندازه‌گیری شده تمامی خصوصیات مؤثر بر فرایندهای فرسایش نیستند و لازم است سایر عوامل نظیر پایداری خاکدانه و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز مد نظر قرار گیرد.

قدردانی

این پروژه با استفاده از اعتبارات طرح ملی فرسایش و مهار آن در حوزه‌های آبخیز کشور بـه شـماره ثبـت ۷۹۰ مـصوب شورای عالی پژوهش‌های علمی کشور اجرا شده که بدین وسیله از همه مسئولان قـدردانی مـی‌شـود. از مـسئولان محتـرم آبخیزداری اردستان، آقای مهندس روانبخش رئیسیان و مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امـور دام چهارمحـال و بختیـاری نیـز سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Amiri, B. 1997. Studies on reclamation and development of agriculture and natural resources, Zayandehroud and Ardestan watersheds. Report No. Consulting Engineers of Yekom. Ministry of Programming and Budget Deputy of Agriculture. Tehran. (in Farsi)

Bajracharya, R. M., Elliot, W. J. and Lal, R. 1992. Interrill erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. Soil. Sci. Soc. Am. J. 5, 267-272.

Barthes, B. and Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runnoff and erosion: validation at several levels. Catena. 47,133-149.

Blackburn, W. H. 1975. Factors influencing infiltration and sediment production of semiarid rangelands in Nevada. Water. Reso. Res. 11, 929-937.

Anon, 1996. Watershed studies of Ardestan watershed. Report No. 2. Consulting Engineers of Rouyan. Ministry of Watershed Deputy of Agriculture. Climatology. (in Farsi)

Elliot, W. J., Laflen, J. M. and Kohl, K. D. 1989. Effect of soil properties on soil erodibility. Paper No. 892150. ASAE. St. Joseph. Michigan.

Elliot, W. J., Olivieri, L. J., Laflen, J. M. and Kohl, K. D. 1990. Predicting soil erodibility from soil strength measurements. Paper No. 902009. Presented at the Summer Meeting of ASAE. Columbus. Ohio.

Epstein, E. and Grant, W. 1966. Rock and crop- management effects on runoff and erosion in a potato- producing area. Trans. ASAE. 9, 832-833.

Ghadiri, H., Hussein, J. and Rose, C. 2004. The effect of salinity and sodicity on soil erodibility, sediment transport and downstream water quality. Paper No. 631. 13th International Soil Conservation Organisation Conference. Brisbane.

Grant, W. J. and Struchtemeyer, R. A. 1959. Influence of the coarse fraction in two Maine potato soils on infiltration, runoff and erosion. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23, 391-394.

Hamed, Y., Albergel, J., Pepin, Y., Asseline, J., Nasri, S., Zante, P., Berndtsson, R., El- Niazy, M. and Balah, M. 2002. Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservior sedimentation in an erosion sensitive semiarid catchment. Catena. 50, 1-16.

Iverson, R. M. 1980. Processes of accelerated pluvial erosion on desert hillslopes modified by vehicular traffic. Earth Surf. Proce. 5, 369-388.

Kinnell, P. I. A. and Risse, L. M. 1998. USLE- M: empirical modelling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. Soil Sci. Soc. Am. J. 62, 1667-1672.

Mahmoodabadi, M. 2003. Zonation of soil erosion risk in Golabad watershed using geographical information system (GIS) and remote sensing (RS) technique. M.Sc. Thesis. Department of Soil Science. Faculty of Agriculture Tehran University. (in Farsi)

Mahmoodabadi, M. and Rafahi H. G. 2004. The influence of soil particle size distribution on plot scale erosion in Golabad watershed, Iran. CIGR. International Conference. Beijing. China. Vol. I. No. 10-100A.

Mahmoodabadi, M. and Rafahi, H. G. 2006. Evaluation of interrill erosion rate using rainfall simulation in comparison to the WEPP. 2nd International Symposium on Soil Erosion and Dryland Farming. Yangling. Shaanxi. China. Session 7-1.

Mahmoodabadi, M., Rouhipour, H., Arabkhedri, M. and Rafahi, H. G. 2007. Calibration, Spatial Distribution and Rain Characteristics of Rainfall Simulation, Case Study: Soil Conservation & Watershed Management Research Institute-Rainfall Simulator. Iran Watershed Management Sci. Vol. 1. In press. (in Farsi)

Merzouk, A. and Blake, G. R. 1991. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. Catena. 18, 537-550.

Meyer, L. D. and Harmon, W. C. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. Soil Sci. Soc. Am. J. 48, 1152- 1157.

Misopolinos, N. D., Silleos, N. G. and Prodromou, K. P. 1988. The influence of exchangeable Mg on certain physical soil properties in a number of Mg-affected soils. Catena. 15, 127-136.

Morgan, R. P. C. 1995. Soil erosion and conservation. 2nd Ed. Silsoe College Canfield. Longman.

Anon, 1996. Soil survey laboratory methods manual. National Soil Survey Center. Soil Survey Investigations. Report No. 42. Lincoln. Nebraska.

Norton, D., Shainberg, I., Cihacek, L. and Edwards, J. H. 1999. Erosion and Soil Chemical Properties. In: Lal, R. (Ed.). Soil Quality and Soil Erosion. Soil Water Conservation Society and CRC Press. Boca Raton.

Parysow, P., Wang, G., Gertner, G. and Anderson, A. B. 2003. Spatial uncertainly analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. Catena. 736, 1-14.

Paye, A. L. and Kenne, H. R. 1986. Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and Mineralogical Properties. ASA. SSSA. USA.

Poesen, J. and Ingelmo Sanchez, F. 1992. Runoff and sediment yield from topsoils with different prosity as affected by rock fragment cover and position. Catena. 19, 451-474.

Rafahi, H. 2003. Soil Erosion and Control. Tehran University Pub. Vol. 4. (in Farsi)

Raisiyan, R. 1997. Study on rainfall intensity, land slope, soil texture and plant cover influences on infiltration and runoff rate in several basins of Chahar-Mahalo Bakhtiyari province. M.Sc. Thesis. Department of Irrigation and Drainage. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. (in Farsi)

Romkens, M. J. M., Young, R. A., Poesen, J. W. A., Mc Cool, D. K., El-Swaify S. A. and Bradford, J. M. 1997. Soil Erodibility Factor (K). In: Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., Mc Cool, D. K. and Yoder, D. C. (Eds.). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 703.

Rouhipour, H., Javadi, P. and Mahboubi, A. A. 2005. Effect of gravel on erosion and sediment yield of two soils using flume and rainfall simulation. Proceedings of 3rd National Symposium of Erosion and Sediment. Tehran. Iran. (in Farsi)

Sheklabadi, M. 2000. Study on relative erodibility of some geological units of Golabad Watershed in relation to soil physico-chemical properties. M.Sc. Thesis. Department of Soil Science. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology. (in Farsi)

Sheridan, G. J., So, H. B, Loch, R. J. and Walker, C. M. 2000. Estimation of erosion model erodibility parameters from media properties. Aust. J. Soil. Res. 38, 265-284.

Toy, T. J., Foster, G. R. and Renard, K. G. 2002. Soil Erosion Processes, Prediction, Measurement and Control. John Wiley and Sons, Inc. N. Y.

Tromble, J. M. 1976. Semiarid rangeland treatment and surface runoff. J. Range Management. 29, 251-255.

Tromble, J. M., Renard, K. G. and Tatcher, J. M. 1974. Infiltration for three rangeland soil-vegetation complexes. J. Range Management. 27, 318-321.

Valmis, S., Dimoyiannis, D. and Danalatos, N. G. 2005. Assessing interrill erosion rate from soil aggregate instability index, rainfall intensity and slope angle on cultivated soils in central Greece. Soil Till. Res. 80, 139-147.

Vanelslande, A., Lal, R. and Gabriels, D. 1987. The erodibility of some Nigerian soils: A comparison of rainfall simulator results with estimates obtained from the Wischmeier nomograph. Hydr. Process. 1, 255-265.

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

Verhagen, T. H. 1984. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: A study based on rainfall simulation experiments. Earth Surf. Process. Landforms. 9, 499-507.

Victora, C., Kacevas, A. and Fiori, H. 1998. Soil erodibility assessments with simulated rainfall and with the USLE nomograph in soil from Uruguay. Proceedings of 16th World Congress of Soil Science. Montpellier. France. Symp. No. 31.

Wilcox, B. P., Wood, M. K. and Tromble, J. M. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. Earth Surf. Proce. 41, 197-206.

Wischmeier, W. H. and Mannering, J. V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33, 131-136.

Young, R. A. and Mutchler, C. K. 1977. Erodibility of some Minnesota soils. J. Soil Water Conserv. 32, 180-182.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.8 /No.2 / Summer 2007/P: 1-16*

The Effect of Soil Physical and Chemical Properties on Runoff Generation and Sediment Yield Using Rainfall Simulator

M. Mahmoodabadi*, A. H. Charkhabi and H. Rafahi

* Corresponding Author: Ph.D. Student, Soil Science Department, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mmahmoodabadi@yahoo.com

Among different land degradation processes, soil erosion is a serious threat to the soil and water resources in Iran. Soil physical and chemical properties have an important role in runoff and sediment. The purpose of this study was to investigate the effect of some of these agents on sediment yield, runoff generation and sediment concentration, under interrill erosion process at the field. The experiments were done on Golabad soils, with annual precipitation of 170 mm. A portable rainfall simulator was used in 9 homogenous sites of the watershed with 3 replications (overall 27 plots). Rain intensity of 35 mm hr^{-1} for 40 minutes was run on $1m^2$ plots. Runoff and sediment samples were collected from each plot. Some of soil physical and chemical properties consisted of texture, gravel content in two positions, moisture content, pH, EC, $CaCo_3$ and organic matter were determined. The results indicated that increasing clay content, sediment yield and its concentration increased while, sand fraction decreased runoff and sediment. Surface gravel had an important role in erosion control. Increasing surface and embedded gravel, runoff rate increased and decreased, respectively. Besides, due to surface gravel, sediment yield increased. There were positive and significant relations between moisture content at 0.03 and 1.5 MPa with sediment yield and its concentration. Among chemical properties, pH was entered into the regression model. Also, due to crusting, lime increased erosion. It was concluded that particle size distribution is the main factor which controls sediment yield, runoff generation and sediment concentration under interrill erosion processes in this arid soils.

Key word: Physical and Chemical Properties, Rainfall Simulator, Runoff Generation, Sediment Yield, Sediment Concentration, Surface and Embedded Gravel