

تعیین اثر شیب دامنه، تداوم باران و بافت خاک در مقدار فرسایش خاک با استفاده از باران ساز مدل FEL3

محسن آرمین<sup>۱</sup>، عبدالرسول تلوری<sup>۲</sup>، علی نجفی نژاد<sup>۳</sup> و وجیهه قربان نیا<sup>۴</sup>

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی کشورهای در حال توسعه از جمله ایران است که تأثیرات مخربی بر تمام اکوسیستم های طبیعی تحت مدیریت انسان دارد. تحقیقات مرتبط با سیکل هیدرولوژی و فرسایش وابسته به وقوع بارانهای طبیعی هستند، اما ویژگیهای باران طبیعی بخصوص در پایه زمانی کوتاه مدت با علم و ابزار موجود تقریباً غیر قابل پیش بینی تلقی می گردند. برای سالیان دراز محققین در این فکر بوده اند که با به کار بردن باران مصنوعی ساخته دست بشر از وقوع باران طبیعی بی نیاز گشته و کنترل بیشتری بر روی خصوصیات فیزیکی باران ایجاد نمایند که با تحت اختیار درآمدن و امکان کنترل بیشتر برخی از مهمترین متغیرهای بارندگی نتایج تحقیقات از دقت و قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار خواهند شد. در همین راستا در مطالعه حاضر کارایی باران ساز مدل FEL3 در شبیه سازی خصوصیات فیزیکی باران و نقش اثر شیب دامنه، تداوم باران و بافت خاک در مقدار فرسایش خاک با استفاده از باران شبیه سازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. نحوه آماده سازی نیمرخ خاک و موفقیت در دستیابی به شرایط تقریباً طبیعی نیمرخ خاک در آزمایشگاه و همچنین آگاهی از مشکلات و محدودیت های کشور در این زمینه و شناسایی آنها نیز از اهداف فرعی این تحقیق بوده است. البته با توجه به پیچیدگیهای شرایط طبیعی محیط در این تحقیق سعی شده که محیط و شرایط آزمایشگاهی به عنوان یک فضای کاملاً کنترل شده نیز جهت عرصه فعالیت های پژوهشی کارشناسان و متخصصین منابع طبیعی کشور معرفی گردد. پلات آزمایشی یک فلوم زهکش دار به ابعاد ۱\*۱ متر بوده که ابتدا لایه ای از ماسه درشت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر در کف آن به منظور فراهم نمودن امکان زهکشی آزاد ریخته شده و سپس بر روی آن لایه ای از خاک موردنظر به ضخامت ۲۰ سانتی متر قرار گرفت. سپس فلوم حاوی خاک در زیر دستگاه باران ساز بر روی یک قاب نگهدارنده که امکان تغییر شیب آن از ۰ تا ۲۵٪ وجود داشت، قرار داده شد. در این تحقیق آزمایشات در ۳ شیب مختلف ۵، ۱۵ و ۲۵٪ و در دو نوع بافت سیلتی کلی لوم و سیلت لوم انجام شدند. هر آزمایش با شدت بارندگی ۶۵ میلیمتر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه بطول انجامید. نتایج نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین مقادیر حجم رواناب و وزن رسوب در سطوح مختلف شیب، بافت خاک و فواصل زمانی ۱۰ دقیقه ای ابتدایی، میانی و پایانی تداوم باران وجود دارد. میزان تولید رواناب در بافت سیلتی کلی لوم ۱۰ درصد بیشتر از بافت سیلت لوم بوده است در حالی که میزان تولید رسوب در بافت سیلت لوم ۶۳/۵ درصد بیشتر از بافت سیلت کلی لوم بوده است. دلیل افزایش حجم رواناب در بافت سیلتی کلی لوم نسبت به بافت سیلتی کلی لوم بیشتر بودن درصد ذرات رس می باشد و دلیل افزایش میزان رسوب در بافت سیلت لوم نسبت به بافت سیلتی کلی لوم بیشتر بودن درصد ذرات سیلت و میزان نسبت جذب سدیم و همچنین کمتر بودن میزان مواد آلی و ظرفیت نگهداری آب خاک بوده است. همانطور که مشاهده می کنید بعضی از داده های این مطالعه نتایجی را ارائه می دهد که بعضی از قوانین مربوط به فرایندهای فرسایش و هیدرولوژی را مورد سؤال و تردید قرار می دهد که در این مطالعه نمی توان ادعایی مبنی بر تأیید نتایج مذکور ارائه داد، بلکه لازم است که این گونه مطالعات در سطح وسیعی در کشور انجام گیرد تا به نتایج مطلوبی در این زمینه دست یابیم.

کلمات کلیدی: فرسایش خاک، باران ساز مدل FEL3، فلوم، شیب دامنه، تداوم باران، بافت خاک.

۱ - دانشجوی دوره دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ - دانشیار مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

۳ - استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴ - دانش آموخته محیط زیست دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

فرسایش پدیده ای است که در آن مواد خاکی توسط عواملی از قبیل آب، باد و نیروی ثقل انتقال می یابند. این پدیده با کاهش حاصلخیزی خاک و گوناگونی جانداران و میکروارگانیسمها باعث تخریب اکوسیستمهای طبیعی نظیر مراتع، جنگل ها و اکوسیستمهای کشاورزی می گردد. امروزه فرسایش خاک به عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به شمار می آید. در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران فرسایش خاک یک معضل است که باعث هدر رفتن منابع خاک می شود و سالانه میلیاردها ریال زیان وارد می کند. در حال حاضر متأسفانه با وجود اینکه روش تجربی مناسبی به طور کامل برای ایران ابداع یا واسنجی نشده، معهدا ملاحظه می شود که از مدل های مختلف برآورد فرسایش خاک برای مدیریت آبخیزها استفاده می شود. این در حالی است که در اکثر کشورهای جهان در این زمینه اقدامات پژوهشی گسترده ای به مرحله اجرا در آمده است. از آنجائیکه مشکل فرسایش خاک و پی آمدهای ناشی از آن امروزه به عنوان یک مسئله جهانی تبدیل شده و هر کشوری سعی می نماید منطبق با شرایط کشور خود نسبت به این پدیده شناخت بیشتری پیدا نماید لذا به جا خواهد بود که در ایران نیز گام های پژوهشی مناسب برداشته شود. برای کنترل فرسایش آبی باید با شناخت از عوامل موثر در آن راه حل مناسبی ارائه کرد. باید در نظر داشت که اساساً نمی توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش آبی در یک منطقه معرفی نمود، بلکه شرایط فرسایش موجود در منطقه را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش دانست. باید اذعان نمود که هر عامل، عامل دیگر را تقویت و یا تضعیف می کند. همانگونه که اندازه گیری مقدار فرسایش برای انواع خاکهای مختلف در دامنه های با شیب های متفاوت امری ضروری برای ارائه راه حل های مبارزه با فرسایش خاک و کاهش تولید و حمل رسوب از عرضه آبخیزها است لذا در تحقیق حاضر، تأثیرمقادیر متفاوت پارامترهای شیب و بافت خاک بر روی مقدار فرسایش بررسی شده است. در این راستا در سالهای اخیر شبیه سازهای باران به طور وسیعی در شناخت فرایند فرسایش خاک و روابط پارامترهای آن مورد استفاده قرار گرفتند. مهمترین مزایای استفاده از شبیه سازهای باران سرعت عمل، کارایی، قابلیت کنترل و انعطاف پذیری بیشتر نسبت به بارانهای طبیعی است.

ارشم (۱۳۷۵) برای مقایسه رسوب در سازندهای مختلف واقع در حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز از باران ساز استفاده کرده است. انجام آزمایشات شبیه سازی باران نشان داده که با افزایش درجه شیب، پاشمان و انتقال ذرات آب و خاک به سمت پایین دست شیب افزایش می یابد.

شکل آبادی (۱۳۷۹) برای تعیین فرسایش پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها در حوزه گل آباد اصفهان از باران ساز صحرایی استفاده کرد. بدین منظور با استفاده از باران ساز صحرایی بر روی پلاتی با مساحت ۱ متر مربع، بارشی با شدت (۵-+) ۴۰ میلیمتر در ساعت، به مدت ۸۰ دقیقه و با سه بار تکرار، بر روی هر یک از سازندها ایجاد و میزان رواناب و رسوب در فواصل ۱۰ دقیقه ای اندازه گیری نمود. نتایج نشان داد که سازندهای آندزیت سبز رنگ و آبرفت با توپوگرافی خفیف حداکثر رواناب و سازندهای گرانودیوریت و آبرفت با توپوگرافی متوسط کمترین رواناب را داشته اند.

خسروی فرد (۱۳۸۱) با ایجاد بارش بوسیله باران ساز مصنوعی، اثر تندی شیب و جهت شیب در فرسایش مارن ها را مورد بررسی قرار داد. تجزیه و تحلیل نشان داد که مقادیر هرزآب، غلظت رسوب و ضریب هرزآب در سطوح مختلف درجه شیب در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری از خود نشان می دهند.

فضل الهی آقا ملکی (۱۳۸۵) در مطالعه ای رسوبزایی پادگانه های آبرفتی را با استفاده از باران ساز و عامل فرسایش پذیری در زیر حوزه آبراس آباد جاجرود مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داده که طبقات شیب مختلف از لحاظ عوامل رواناب و رسوب اختلاف معنی داری با هم دارند.

میر و هارمون<sup>۵</sup> (۱۹۷۹) با استفاده از باران ساز میزان فرسایش و رسوب خاک شیبهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده که میزان فرسایش و رسوب با افزایش شیب افزایش یافته و اندازه ذرات رسوب با تغییرات بافت خاک تغییر می کند.

وارینگتون و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۹) در ارتباط با تأثیر شیب بر میزان فرسایش خاک بر روی یک نوع خاک لوم ماسه ای از اراضی ساحلی در فلسطین اشغالی مطالعه ای انجام داده اند. این تحقیق به صورت آزمایشگاهی و با ایجاد باران مصنوعی انجام شد. پلات آزمایشی یک جعبه فلزی سوراخ شده به ابعاد ۳۰\*۵۰ سانتیمتر بوده که ابتدا لایه ای از ماسه درشت به ضخامت ۸ سانتیمتر در کف آن ریخته شده و سپس بر روی آن لایه ای از خاک موردنظر به ضخامت ۲ سانتی متر قرار گرفت. کاربرد ماسه در زیر این لایه به منظور فراهم نمودن امکان زهکشی آزاد بوده است. سپس جعبه حاوی خاک در زیر دستگاه باران ساز بر روی یک قاب نگهدارنده که امکان تغییر شیب آن از ۰ تا ۳۰٪ وجود داشت قرار داده شد. در این تحقیق آزمایشات در ۷ شیب مختلف: ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰٪ انجام

<sup>5</sup> - Meyer & Harmon

<sup>6</sup> - Warrington

شدند. هر آزمایش با شدت بارندگی ۴۰ میلیمتر بر ساعت و به مدت ۹۰ دقیقه بطول انجامید. نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان داد که افزایش شیب از ۵٪ به ۲۵٪ باعث افزایش میزان فرسایش خاک به میزان ۷۰۰٪ شده است.

کانگا<sup>۷</sup> (۱۹۹۹) اثر باران شبیه سازی شده را روی میزان رواناب و فرسایش بررسی کرد. در این مطالعه با استفاده از باران ساز مصنوعی میزان رواناب و فرسایش بخصوص فرسایش ورقه ای و پاشمانی تحت باران شبیه سازی شده با شدت ۶۰ میلیمتر بر ساعت و در شیب ۳۰ در شرایط آزمایشگاهی در دو نوع بافت خاک رسی لومی و سیلتی لومی در سایت تحقیقاتی دانشگاه آنکارا در ترکیه بررسی شد. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داده که اثرات اصلی بارش، نوع خاک و بعلاوه اثر متقابلشان به طور معنی داری میزان رواناب، نفوذ، غلظت رسوب و مقدار پاشمان را در هر دو نوع خاک تغییر می دهد. این مطالعه در دو مرحله انجام شده است که مقدار غلظت در رگبارهای مرحله دوم تحقیق نسبت به رگبارهای اولیه بیشتر شده است که این موضوع به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی و به دنبال آن افزایش رواناب بوده است. مقدار پاشمان در رگبارهای اولیه بیشتر بوده است که دلیل کاهش مقدار پاشمان در رگبارهای شبیه سازی شده در مرحله دوم افزایش عمق رواناب و شکل گیری پوسته سطحی بعد از رگبارهای اولیه است.

با نگاهی کلی به مطالعات صورت گرفته ملاحظه می شود که سطوح مختلف عوامل مؤثر بر فرسایش در مطالعه فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش با استفاده از بارانساز با توجه به شرایط خاص محیط آزمایش و منطقه مورد مطالعه مشخص می شود. علاوه بر این یکی از عوامل مؤثر در انتخاب سطوح مختلف عامل شدت باران محدودیت شبیه ساز باران مورد استفاده از لحاظ تولید بارش با شدت‌های مختلف است. بدیهی است دستیابی به اثر واقعی عوامل فرسایش و همچنین تجزیه و تحلیل پویایی فرسایش خاک و رواناب می تواند از قدم های اولیه و در عین حال اساسی جهت ارائه مدلی برای برآورد فرسایش خاک در شرایط حاکم بر آبخیزهای ایران باشد و به ارزیابی و تعیین روشهایی برای کنترل فرسایش کمک می کند که کارایی اقدامات کنترل فرسایش تا حد زیادی به چگونگی تکنولوژی برآورد فرسایش خاک وابسته است .

## مواد و روشها

همانطور که در قسمت مقدمه بیان شد در این مطالعه اثر سه تیمار شیب، تداوم باران و بافت خاک در مقدار فرسایش با استفاده از بارانساز مدل FEL3 بررسی شده است. در این قسمت مشخصات بارانساز مورد استفاده و پارامترهای فیزیکی باران شبیه سازی شده

---

<sup>7</sup> - Canga

توضیح داده خواهد شد و در ادامه نحوه انتخاب سطوح مختلف تیمارهای مورد بررسی و نحوه آماده سازی خاک در شرایط آزمایشگاهی و اجرای آزمایشات توضیح داده خواهد شد.

باران ساز مدل FEL3 با ارتفاع ۲/۶۵ متر یک باران ساز صفحه گردان است که توزیع خوبی از اندازه قطرات باران و انرژی جنبشی حاصل از آن را ارائه می دهد. برای اجرای آزمایشات با استفاده از این باران ساز شدت ۶۵ میلیمتر بر ساعت را شبیه سازی کرده که در این شدت یکنواختی بارش ۷۰٪ و  $D_{50}$  قطرات ۱/۷ میلیمتر بوده است. بیشترین طبقه قطری مربوط به قطرات دارای قطر ۰/۸۴ میلیمتر که ۳۵/۹۷ درصد تعداد کل قطرات را به خود اختصاص می دهند.

با توجه به اینکه در این مطالعه نقش دو تیمار شیب و بافت خاک با استفاده از دستگاه باران ساز روی میزان رسوب بررسی شده است، در مرحله نخست لازم بود که سطوح هر یک از تیمارها مشخص شود. تیمار شیب بر اساس مطالعات قبلی در سه سطح ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ انتخاب شده است. اما برای انتخاب تیمار بافت خاک به دلیل مشخص نبودن بافت خاکهای استان گلستان و وجود یک نقشه جامع در این زمینه به نظرات کارشناسان خاکشناسی سازمانهای زیربط استان اکتفا کرده و از طرف آنها پیشنهاد شده که منطقه توشن برای نمونه برداری خاک با بافت سنگین و منطقه هزارپیچ برای خاک با بافت متوسط انتخاب شود. منطقه توشن در طول جغرافیایی ۲۷' ۲۵" ۵۴° و عرض جغرافیایی ۱۹' ۴۸" ۳۶° و منطقه هزارپیچ نیز در طول جغرافیایی ۳۷' ۲۳" ۵۴° و عرض جغرافیایی ۹' ۴۹" ۳۶° قرار دارند. برای معنی دار بودن اختلاف بین نمونه های خاک از نظر غلظت رسوب و حجم رواناب، سعی گردید دو نوع بافتی انتخاب شود که از لحاظ درصد توزیع اندازه ذرات بیشترین اختلاف را با هم داشته باشند، بدین صورت که برای بافت سنگین خاکی انتخاب شود که بیشترین میزان درصد رس را داشته باشد و همین طور برای بافت متوسط خاکی انتخاب شود که بیشترین میزان درصد سیلت را داشته باشد. که در نهایت خاک با بافت سیلت لوم از منطقه هزارپیچ و خاک با بافت سیلت کلی لوم از منطقه توشن انتخاب شدند. در مرحله بعد اقدام به برداشت نمونه های خاک به میزان ۵۰۰ کیلوگرم از هر بافت شد. لازم به ذکر است که نمونه ها از افق ۱۵ سانتی متری خاک برداشت شده اند.

در این مطالعه تیمار بافت خاک با لامت اختصاری  $T_{1,2}$  نشان داده شده که کد ۱ بافت سیلتی کلی لوم و کد ۲ بافت سیلت لوم است. تیمار شیب با علامت اختصاری  $S_{1,2,3}$  نشان داده شده که کد ۱ شیب ۵، کد ۲ شیب ۱۵ و کد ۳ شیب ۲۵٪ است. تیمار تداوم باران با علامت اختصاری  $D_{1,2,3}$  که کد ۱ مربوط به ۱۰ دقیقه اول، کد ۲ مربوط به ۱۰ دقیقه دوم و کد ۳ مربوط به ۱۰ دقیقه سوم است.

در این تحقیق آزمایشات در شرایط آزمایشگاهی و در داخل فلومی با ابعاد و مشخصات زیر صورت گرفته است.

طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱، ۱ و ۰/۳۵ متر، ایجاد خروجی فلوم در ارتفاع ۰/۳ متر، ایجاد زهکش در کف فلوم ایجاد فیلتری از شن دانه بندی شده به ارتفاع ۰/۱ متر در داخل فلوم جهت زهکشی آزاد، عمق خاک در درون فلوم ۰/۲ متر برای آماده سازی خاک در آزمایشگاه کلیه کیسه های خاک با هم مخلوط گردیده و با غلطک دستی کوبیده شده اند. البته میزان کوبیدگی نمونه های خاک به حدی بود که نمونه ها از حالت کلوخی خارج شوند و از لحاظ اندازه تقریباً همگن شوند، به طوریکه هنگام اشباع کردن خاک در داخل فلوم، ساختمان خاک به حالت یکپارچه درآید و درز و شکافی در داخل توده خاک بوجود نیاید. در ادامه یک فیلتر از شن دانه بندی شده برای زهکشی آزاد به ارتفاع ۱۰ سانتی متر در کف فلوم قرار داده شد و نمونه خاک به ارتفاع ۲۰ سانتی متر در فلوم قرار داده شد. سپس از طریق زهکش فلوم نمونه خاک اشباع گردید تا اینکه رطوبت خاک تقریباً به حالت SP (Saturated Point) یا نقطه اشباع رسید. نمونه خاک به مدت یک هفته در محیط آزمایشگاهی هوا خشک گردید. بعد از گذشت یک هفته با استفاده از مته های خاص نمونه ای از خاک برداشته شد و در آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور وزن مخصوص حقیقی و ظاهری آن تعیین شد و با وزن مخصوص حقیقی و ظاهری آن در حالت طبیعی مقایسه شد. مشاهده گردید که وزن مخصوص خاک در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی اختلاف چندانی با هم ندارد. بنابراین با مقایسه وزن مخصوص خاک در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی می توان گفت که شرایط خاک از لحاظ بافت و ساختمان در آزمایشگاه تقریباً به شرایط طبیعی نزدیک شده است. پلات آزمایشی یک فلوم زهکش دار به ابعاد ۱\*۱ متر بوده که ابتدا لایه ای از ماسه درشت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر در کف آن به منظور فراهم نمودن امکان زهکشی آزاد ریخته شده و سپس بر روی آن لایه ای از خاک موردنظر به ضخامت ۲۰ سانتی متر قرار گرفت. سپس فلوم حاوی خاک در زیر دستگاه باران ساز بر روی یک قاب نگهدارنده که امکان تغییر شیب آن از ۰ تا ۲۵٪ وجود داشت قرار داده شد. در این تحقیق آزمایشات در ۳ شیب مختلف: ۵، ۱۵ و ۲۵٪ انجام شدند. هر آزمایش با شدت بارندگی ۶۵ میلیمتر بر ساعت و به مدت ۳۰ دقیقه بطول انجامید. پس از گذشت یک هفته که وزن مخصوص حقیقی و ظاهری خاک در محیط آزمایشگاهی به وزن مخصوص حقیقی و ظاهری آن در شرایط طبیعی نزدیک شد و میزان رطوبت خاک تقریباً به F.C (Field Capacity) یا ظرفیت زراعی رسید، شروع به اجرای آزمایشات در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از باران مصنوعی کرده، بدین صورت که در شروع هر آزمایش رطوبت نمونه خاک را با استفاده از دستگاه TDR تعیین کرده و در طول اجرای هر آزمایش به فاصله هر ۱۰ دقیقه حجم رواناب اندازه گیری شد. و برای تعیین غلظت رسوب یک نمونه رسوب نیز برداشت شد. پس از گذشت ۶ ساعت باز هم با دستگاه TDR رطوبت نمونه خاک اندازه گیری و تکرار دوم آزمایش را انجام می

گرفت. لازم به ذکر است که هر سه تکرار در شرایط رطوبتی یکسان انجام شده است، بدین صورت که در مدت ۶ ساعت بین دو تکرار به طور مداوم با استفاده از دستگاه TDR رطوبت خاک اندازه گیری گردید. که تقریباً پس از گذشت ۶ ساعت مقدار رطوبت خاک برابر با مقدار رطوبت خاک در ابتدای شروع آزمایش می شد.

## نتایج

پس از آماده سازی خاک در شرایط آزمایشگاهی و مهیا نمودن شرایط آزمایشی مناسب و موردنظر، اجرای آزمایشات صورت گرفته است که در این قسمت نتایج آن در قالب جدول و نمودار آورده شده است.

جدول - ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک های مورد مطالعه

بافت	درصد توزیع اندازه ذرات		وزن مخصوص حقیقی در آزمایشگاه	وزن مخصوص ظاهری در طبیعت	وزن مخصوص ظاهری در آزمایشگاه	رطوبت (%)
	شن	لای				
سیلتی کلی لوم	۵	۵۶	۲/۲۸	۲/۲	۱/۷۲	۵/۳۵
	۳۸	رس				
	۱۰	۶۴				
سیلت لوم	۱۰	۶۴	۲/۳	۲/۲	۲/۱۲	۱۱/۳۹
	۲۶	رس				

جدول - ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک های مورد مطالعه

بافت	S.P (%)	F.C (%)	W.P (%)	O.M%	SAR	EC	PH
سیلتی کلی لوم	۷۱/۰۸	۳۶/۶۹	۲۳/۷۶	۶/۷<	۰/۵۵	۰/۷۴	۷/۵۳
سیلت لوم	۱۱/۳۹	۲۷/۵۵	۱۳/۳۲	۰/۲۵	۱/۰۹	۰/۳۴	۸/۶۱

در جدول ۲ نتایج آزمایشات فیزیکوشیمیایی خاک های مورد مطالعه نشان داده شده است. ملاحظه می شود که وزن مخصوص ظاهری خاک در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی اختلاف چندانی با هم ندارند، بنابراین می توان گفت که ساختمان خاک و میزان خلل و

فرج و نفوذپذیری آن در آزمایشگاه پس از عمل اشباع کردن به شرایط طبیعی نزدیک شده است. بنابراین انتظار می رود که عکس

العمل این خاکها در برابر فرایندهای فرسایش و رسوبگذاری در شرایط آزمایشگاهی با شرایط طبیعی مشابه باشد.

جدول ۳- حجم رواناب، غلظت و وزن رسوب در تیمارهای مختلف در بافت سیلتی کلی لوم

شیب دامنه %	مدت باران (دقیقه)	تکرار	حجم رواناب (لیتر)	غلظت رسوب (گرم/لیتر)	وزن رسوب (گرم)
1	1	1	8.8	5.36	47.17
1	1	2	9	4.72	42.48
1	1	3	9	5.58	50.22
1	2	1	9	4.72	42.48
1	2	2	9	5.36	48.24
1	2	3	9.9	6.28	62.17
1	3	1	10	3.26	32.60
1	3	2	10	2.44	24.40
1	3	3	10	5.5	55.00
2	1	1	7.5	4.62	34.65
2	1	2	9.4	10.24	96.26
2	1	3	9.9	5.82	57.62
2	2	1	10.2	5.3	54.06
2	2	2	10.3	6.7	69.01
2	2	3	10.73	4.7	50.43
2	3	1	10.6	5.42	57.45
2	3	2	10.74	6.9	74.11
2	3	3	10.81	5.44	58.81
3	1	1	8.8	6.88	60.54
3	1	2	8.57	5.52	47.31
3	1	3	8.5	16.36	139.06
3	2	1	8.95	5.26	47.08
3	2	2	9.5	5.66	53.77
3	2	3	9.3	5.84	54.31
3	3	1	9.8	4.28	41.94
3	3	2	9.5	4.2	39.90
3	3	3	9.7	5.16	50.05

ج

جدول ۴- حجم رواناب، غلظت و وزن رسوب در تیمارهای مختلف در بافت سیلت لوم



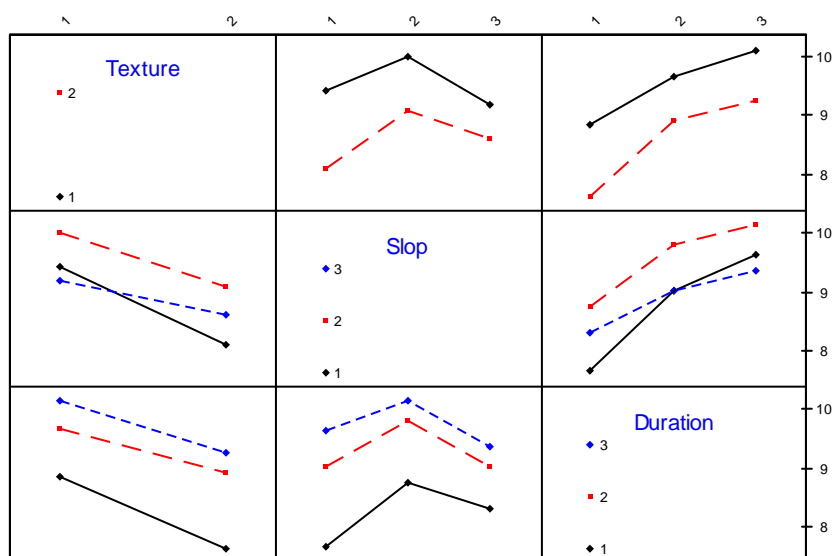
وزن رسوب (گرم)	غلظت رسوب (گرم/لیتر)	حجم رواناب (لیتر)	تکرار	مدت باران (دقیقه)	شیب دامنه %
18.73	6.12	3.06	1	1	1
115.22	15.18	7.59	2	1	1
142.13	16.86	8.43	3	1	1
111.90	14.96	7.48	1	2	1
158.42	17.8	8.9	2	2	1
190.13	19.5	9.75	3	2	1
145.18	17.04	8.52	1	3	1
168.54	18.36	9.18	2	3	1
200.00	20	10	3	3	1
128.00	16	8	1	1	2
144.50	17	8.5	2	1	2
165.62	18.2	9.1	3	1	2
153.13	17.5	8.75	1	2	2
162.00	18	9	2	2	2
194.05	19.7	9.85	3	2	2
169.28	18.4	9.2	1	3	2
182.41	19.1	9.55	2	3	2
196.02	19.8	9.9	3	3	2
101.67	14.26	7.13	1	1	3
146.89	17.14	8.57	2	1	3
136.13	16.5	8.25	3	1	3
142.81	16.9	8.45	1	2	3
151.73	17.42	8.71	2	2	3
171.13	18.5	9.25	3	2	3
152.43	17.46	8.73	1	3	3
162.00	18	9	2	3	3
174.85	18.7	9.35	3	3	3

همانطوری که در قسمتهای قبل بیان شد در این تحقیق نقش سه عامل بافت خاک، شیب دامنه و تداوم زمانی باران در مقدار فرسایش بررسی شده است. که عامل بافت خاک در ۲ سطح، عامل شیب در ۳ سطح، عامل شدت باران در ۳ سطح و عامل تداوم باران ۳۰ دقیقه که به سه تداوم ۱۰ دقیقه ای تقسیم شده است و هر یک از آزمایشات ۳ بار تکرار شده است. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل مقدار حجم رواناب و میزان رسوب بوده است که جداول مربوط به هر یک از پارامترهای ذکر شده در بخش نتایج آورده شده است. برای تجزیه و تحلیل نتایج، یعنی اثر عامهای ذکر شده روی میزان پارامترهای مورد بررسی، داده های مربوط به

آزمایشات در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمایشات فاکتوریل ( ۴ فاکتوره) وارد نرم افزار MINITAB شده است و با استفاده از امکانات این نرم افزار تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوطه انجام شده است. در جدول ۵ خلاصه جدول نتایج تجزیه واریانس تیمارها برای پارامترهای رواناب و رسوب نشان داده شده است که در حالت معنی دار بودن برای بررسی اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها از آزمون مقایسات میانگین ( آزمون توکی ) استفاده شده است. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می کنید اثرات منفرد هر یک از تیمارها روی میزان رواناب و رسوب معنی دار شده است. یعنی اینکه مثلاً بافت سیلتی کلی لوم و بافت سیلت لوم از نظر میزان تولید رواناب و رسوب با همدیگر اختلاف دارند که در ادامه تجزیه و تحلیل آماری برای بررسی اختلاف بین سطوح مختلف تیمارها از آزمون مقایسه میانگین توکی استفاده شده است.

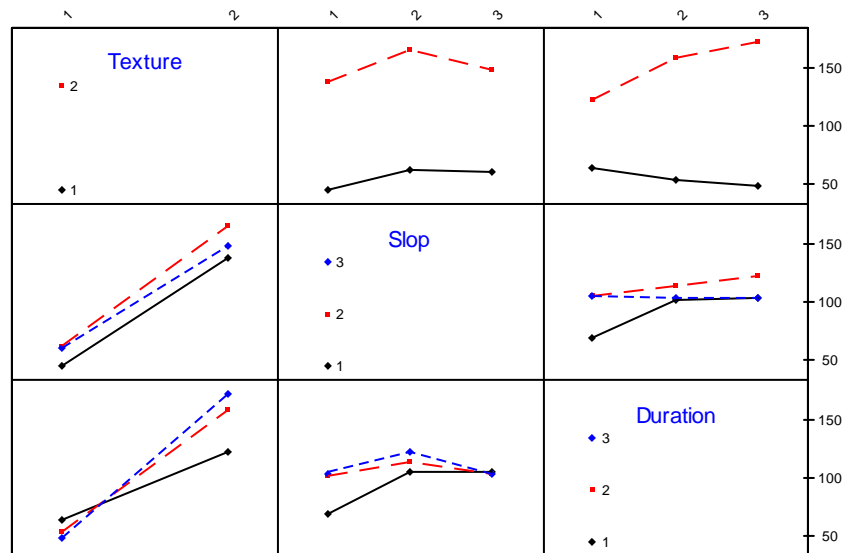
جدول ۵- خلاصه نتایج تجزیه واریانس اثرات منفرد و متقابل تیمارها روی میزان رواناب و رسوب

تیمارها	رواناب P	رسوب P
Texture	0.000	0.000
Slop	0.021	0.057
Duration	0.000	0.132
Texture*Slop	0.463	0.674
Texture*Duration	0.721	0.002
Slop*Duration	0.772	0.432
Texture*Slop*Duration	0.320	0.794



شکل ۱- نمودارهای اثر متقابل تیمارهای شیب، مداوم باران و بافت خاک از نظر میزان رواناب

در جدول ۵ و شکل ۱ نشان داده شده است که اثر تیمارهای بافت خاک، شیب دامنه و تداوم باران از نظر میزان رواناب معنی دار شده است. ولی اثر متقابل هیچکدام از تیمارها معنی دار نشده است.



شکل ۲- نمودارهای اثر متقابل تیمارهای شیب، مداوم باران و بافت خاک از نظر میزان رسوب

جدول ۶- آزمون مقایسه میانگین تیمارهای بافت خاک و تداوم باران از نظر میزان رسوب

تیمار	T1D2	T1D3	T2D1	T2D2	T2D3
T1D1	۰,۹۵	۰,۸۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
T1D2		۰,۹۹	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
T1D3			۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
T2D1				۰,۰۴	۰,۰۰
T2D2					۰,۹۰

در جدول ۵ و شکل ۲ نشان داده شده است که اثر تیمارهای بافت خاک، شیب دامنه و اثر متقابل بافت خاک و مدت بارندگی معنی دار شده است که آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای بافت خاک و مدت باران در جدول ۶ نشان داده شده است.

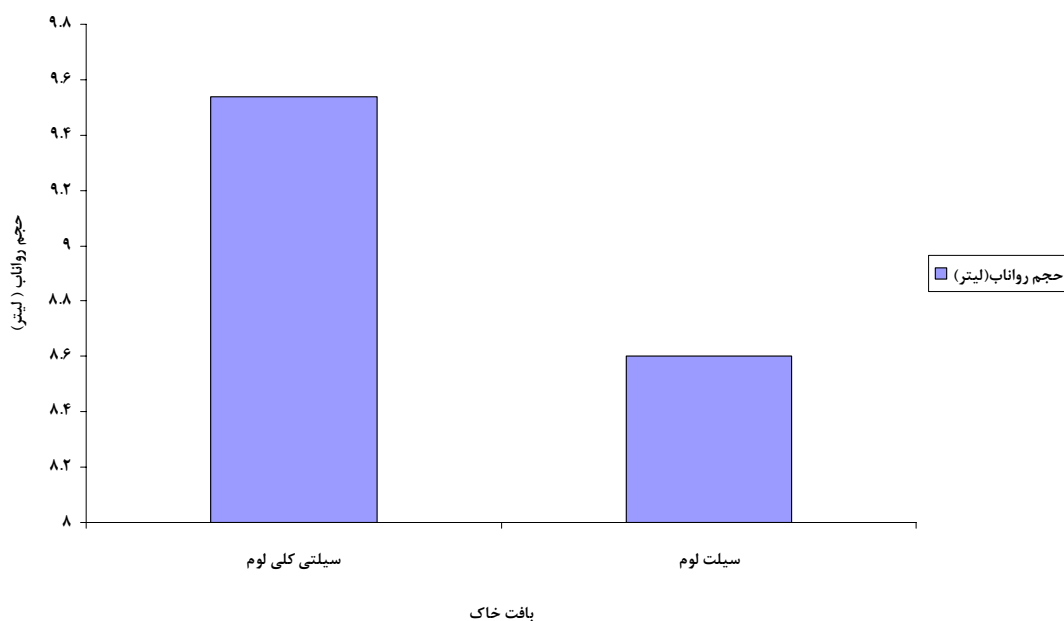
جدول ۷- خلاصه پارامترهای آماری میزان رواناب در بافتهای مختلف

بافت	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
سیلته کلی لوم	۹/۵۴	۱۰/۸۱	۷/۵	۰/۷۹

سیلت لوم	۸/۶	۱۰	۳	۱/۳۲
----------	-----	----	---	------

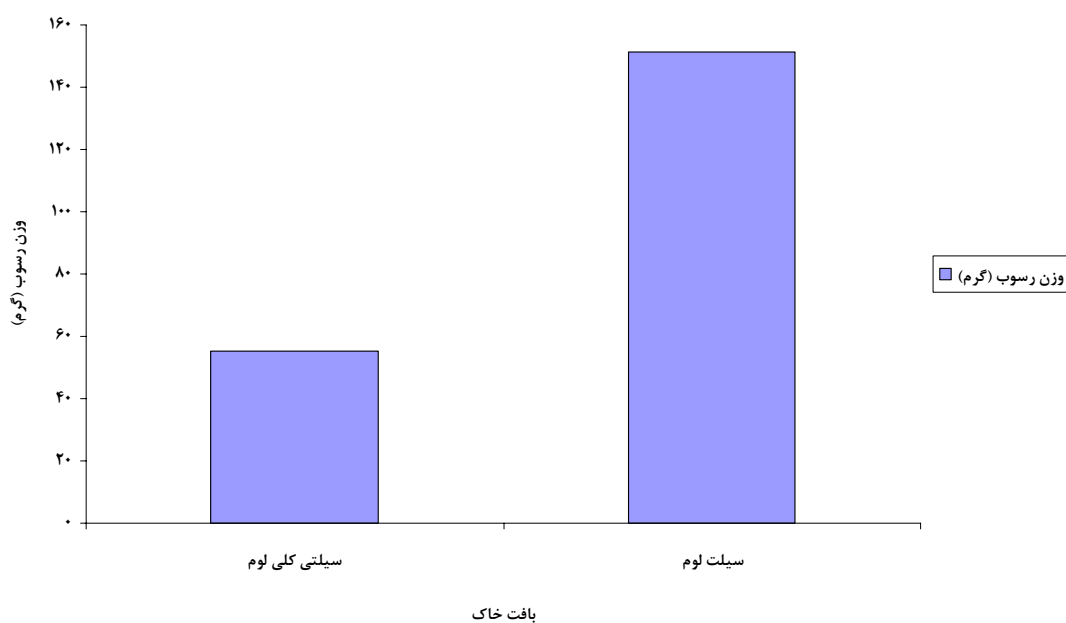
جدول ۸- خلاصه پارامترهای آماری میزان رسوب در بافتهای مختلف

انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	بافت
۲۱/۷۵	۲۴/۴	۱۳۹	۵۵/۲۳	سیلته کلی لوم
۳۶/۵	۱۸/۷۳	۲۰۰	۱۵۱/۲۹	سیلت لوم



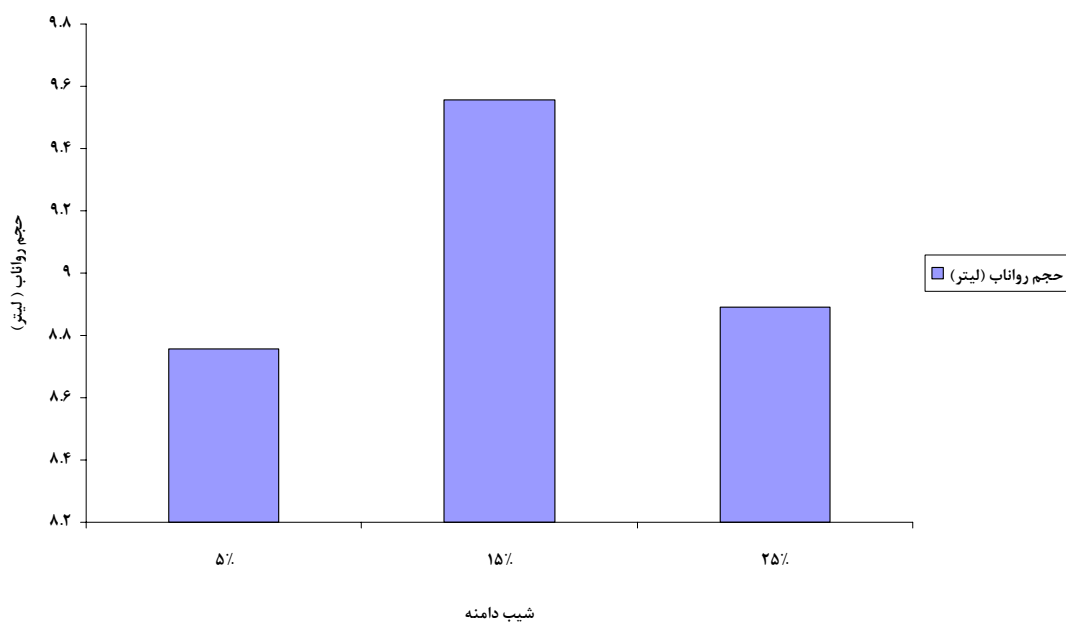
شکل ۳- نمودار رابطه حجم رواناب و بافت خاک

در شکل ۳ نمودار رابطه حجم رواناب و بافت خاک نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در بافت سیلته کلی لوم میزان حجم رواناب بیشتر بوده است.



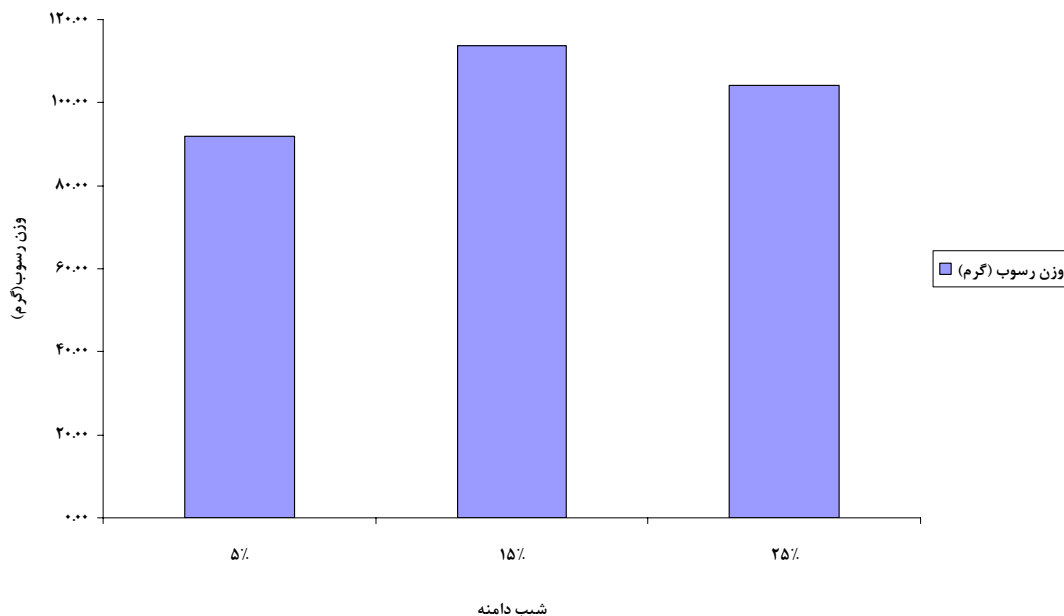
شکل ۴- نمودار رابطه وزن رسوب و بافت خاک

در شکل ۴ نمودار رابطه وزن رسوب و بافت خاک نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در بافت سیلت لوم میزان رسوب بیشتر بوده است.



شکل ۵- نمودار رابطه شیب و حجم رواناب

در شکل ۵ نمودار رابطه شیب دامنه و حجم رواناب نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در شیب ۱۵٪ میزان حجم رواناب بیشترین مقدار است.



شکل ۶- نمودار رابطه شیب و وزن رسوب

در شکل ۶ نمودار رابطه شیب و وزن رسوب نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در شیب ۱۵٪ وزن رسوب نیز بیشترین مقدار است.

### بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین مقادیر حجم رواناب و وزن رسوب در سطوح مختلف شیب وجود دارد. این نتیجه با نتایج خسروی فرد (۱۳۸۱) همخوانی دارد. میزان تولید رواناب و رسوب در شیب ۱۵ درصد بیشترین مقدار است. پس می توان بیان کرد که با افزایش شیب تا حد ۱۵ درصد میزان رواناب و رسوب بیشتر می شود و افزایش شیب بیش از ۱۵ درصد سبب کاهش تولید میزان رواناب و رسوب می شود. این نتیجه با نتایج بیور (۱۹۶۵)، ارشم (۱۳۷۵) و میر و همکاران (۱۹۷۱) همخوانی دارد. افزایش شیب از ۵ درصد به ۱۵ درصد به ترتیب سبب افزایش میزان تولید رواناب و رسوب به میزان ۸ و ۱۹ درصد شده است، در صورتی که افزایش شیب از ۱۵ درصد به ۲۵ درصد به ترتیب سبب کاهش میزان تولید رواناب و رسوب به میزان ۷/۴ و ۹/۳ درصد شده است. ملاحظه می شود که روند تغییرات میزان تولید رواناب و رسوب نسبت به عامل شیب شبیه بوده است.

میزان تولید رواناب در بافت سیلتی کلی لوم ۱۰ درصد بیشتر از بافت سیلت لوم بوده است در حالی که میزان تولید رسوب در بافت سیلت لوم ۶۳/۵ درصد بیشتر از بافت سیلت کلی لوم بوده است. در بافت سیلتی کلی لوم میزان درصد ذرات رس خاک ۱۲ درصد نسبت به بافت سیلت لوم بیشتر بوده است و این موضوع سبب کاهش نفوذپذیری و ایجاد رواناب بیشتر نسبت به بافت سیلت لوم شده است. در بافت سیلت لوم میزان درصد ذرات سیلت خاک ۱۰ درصد نسبت به بافت سیلتی کلی لوم بیشتر بوده است. نتایج مطالعات گذشته نشان داده که بین مقدار سیلت یک خاک و فرسایش پذیری آن ارتباط نزدیکی وجود دارد و هر چه مقدار سیلت یک خاک بیشتر باشد فرسایش پذیری آن افزایش می یابد، زیرا سیلت چسبندگی ندارد و در اثر مرطوب شدن خاکدانه ها به سهولت شکسته شده و ذرات سیلت جدا و منتقل می شوند، در این مطالعه نیز این موضوع ثابت شده و خاک سیلت لوم به دلیل داشتن میزان سیلت بیشتر، رسوب بیشتری را نسبت به بافت سیلتی کلی لوم تولید کرده است. یکی دیگر از دلایل میزان تولید رسوب بیشتر بافت سیلت لوم نسبت به بافت سیلتی کلی لوم کمتر بودن مقدار مواد آلی و ظرفیت نگهداری آب خاک است که هرچه این ظرفیت کمتر باشد رسوب بیشتری تولید می شود. در بافت سیلت لوم مقدار مواد آلی خاک نسبت به بافت سیلتی کلی لوم ۹۷ درصد کمتر بوده است و به همین دلیل بافت سیلت لوم رسوب بیشتری را تولید کرده است. دلیل دیگر بیشتر بودن مقدار تولید رسوب در بافت سیلت لوم کمتر بودن درصد ذرات رس و بیشتر بودن نسبت جذب سدیم (SAR) است. ذرات رس به این دلیل که خاصیت چسبندگی دارند در برابر فرسایش مقاومند و چون بافت سیلت لوم مقدار رس کمتری داشته، رسوب بیشتری تولید کرده است. هر چه میزان نسبت جذب سدیم در یک خاک بیشتر باشد، مقدار فرسایش پذیری آن بیشتر است زیرا یون سدیم باعث پراکندگی ذرات خاکدانه ها می شود که این موضوع باعث می شود که خاکدانه ها به سهولت شکسته و توسط نیرهای فرسایش دهنده انتقال پیدا می کنند. میزان نسبت جذب سدیم در بافت سیلت لوم ۲ برابر بافت سیلتی کلی لوم بوده است و به همین خاطر بافت سیلت لوم رسوب بیشتری تولید کرده است.

## تشکر و قدردانی

در پایان از پرسنل محترم مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور که هر یک به نحوی در انجام این تحقیق همکاری داشته اند صمیمانه تشکر می نمایم.

## منابع و مأخذ

- ۱- ارشم، ع. ۱۳۷۵. بررسی تولید رواناب و رسوب در سازندهای مختلف زمین شناسی در حوضه آبخیز ابولفارس استان خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ۱۵-۵.
- ۲- ثقفیان، ب. ۱۳۷۹. گزارش طرح تحقیقاتی بررسی و تعیین معیارهای ساخت باران ساز آزمایشگاهی متناسب با شرایط اقلیمی ایران. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور. ۱۰۰ص.
- ۳- خسروی فرد، م. ۱۳۸۱. اثر تندی و جهت شیب در فرسایش مارن ها با استفاده از باران ساز مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۵۶-۵۷.
- ۴- شکل آبادی، م. ۱۳۷۹. فرسایش پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکها در حوزه گل آباد اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۵- رفاهی، ح، ق. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵۱ص.

- 6- Canga, M. R. 1999. Effects of subsequent simulated rainfalls on runoff and erosion. Tr. J. of agriculture and forestry. 23, 659-665.
- 7- Meyer, L. D., & Harmon, W. C. 1979. Multiple-Intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslope. Trans, ASAE, 22: 100-103.
- 8- Warrington, I. I., Shainberge, M. Agassi, & J. Morine. 1989. Slope and phosphogypsum effect on run off and soil erosion. Am. J. Sci. soc. 53:1201-1205.

Determination of hill slope, rainfall duration and soil texture in soil erosion using FEL3 rainfall simulator.

Abstract



The erosion is a phenomenon that soil material transported by water, wind and gravity force. It decrease soil fertility, biological diversity and microorganism. It cause degradation natural ecosystems such as ranges, forest and farms. In order to water erosion control the main factors must be recognized and then the suitable measure applied. It should be known that we can not introduce only one factors as the main factor cause of erosion. In this study the effects of differentiation parameters such as hill slope, soil texture and rainfall duration in soil erosion has been tested. It is obvious that recognition of real effects of erosion factor and analysis of erosion and runoff process can be the main effort in introduction of models for estimating soil erosion. It can help to erosion evaluation and control for this area. This study has been done in a laboratory condition by using rainfall simulators. The sample plot was a drainage flume 1\*1 meters area. At first 10 cm depth of sand was applied on the flume under the 20 cm of soil profiles. The soil have been put under the rainfall simulator with 25% differentiation in slope. The experiment were done with three degree of slope ( 5, 15, 25% ) by 65 mm/h rainfall intensity in 30 minute. The results showed that there was significant difference between runoff and sediment in the degree of slope. The runoff in Si-cl-l soil texture was 10% more than Si-l soil texture. Mean time the sediment yield in Si-l was 63.5% more than Si-cl-l. The reason for increasing runoff in Si-cl-l to Si-l was the high percent of clay particle and the reason for increasing sediment in Si-l to Si-cl-l was the high percent of silt particle, high SAR and low amount of organic material and field capacity.

Keyword: soil erosion, FEL3 rainfall simulator, flume, hill slope, rainfall duration, soil texture