

نقش پوشش سنگریزه ای روی میزان فرسایش و رواناب با استفاده از فلوم و شبیه‌سازی با ران

پدیده جوادی^۱، حسن روحی پور^۲، و علی اکبر محبوبی^۳

چکیده:

از آنجائی که بستر خاک در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور و همچنین در دیمزارهای شیب دار دارای پوتش سنگی و سنگریزه‌ای است، لازم است که تأثیر آن در الگوهای برآورد میزان فرسایش و رسوب چه از نظر کمی و یا کیفی در نظر گرفته شود. جهت تعیین تأثیر درصد پوشش سنگی یا سنگریزه ای در میزان فرسایش خاک، آزمایشهایی چند با کاربرد شبیه سازی باران در آزمایشگاه فرسایش خاک مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع صورت گرفت. دو نمونه خاک مربوط به دو حوزه ساوه و امامه به مقدار تقریبی صد کیلوگرم در تشتک فلوم شیب دار قرار داده شد. در هر بار آزمایش بستر خاک در معرض سه شدت مختلف بارندگی و برای هر شدت بارندگی نیز ترکیبی از چهار شیب متفاوت روی بستر خاک موجود در فلوم آزمایش در نظر گرفته شد. جهت آگاهی از تأثیر تغییرات درصد پوشش سنگی خاک در میزان روان آب و تولید رسوب، ۶ تیمار مختلف از پوشش سنگی در دو حالت آزاد و فرو رفته طراحی و در معرض شبیه سازی باران با شیب و شدتهای فوق الذکر قرار گرفت. بررسیهای انجام شده نشان داد که به رغم این تصور کلی که وجود پوشش سنگی در روی بستر خاک، موجب کاهش رسوب ناشی از فرسایش آبی می‌گردد، تأثیر تغییرات پوشش سنگی روی نمونه های خاک حوزه ساوه (با بافت لوم شنی) و امامه (با بافت رسی سیلتی) به ترتیب از صفر تا حدود ۱۵ درصد و بین صفر تا ۲۰ درصد منجر به افزایش رواناب و رسوب نسبت به تیمار شاهد گردیده است. به تدریج که درصد پوشش سنگی افزایش می‌یابد میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد کاهش چشمگیری نشان داده است. نتایج یدست آمده نشان داد که وجود پوشش سنگی تأثیر عمده ای در خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی بستر خاک دارد

واژه های کلیدی: پوشش سنگی و سنگریزه‌ای، شبیه‌سازی باران، رواناب و رسوب، فرسایش آبی

۱- کارشناس ارشد گروه آبیاری و زهکشی مهندسين مشاور مهتاب قدس

۲- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع

۳- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه همدان

مقدمه

خاکهای حاوی سنگ و سنگریزه می‌تواند تأثیرات متنوع و مستمری بر خواص فیزیکی خاک، خصوصیات هیدرولوژیکی رواناب و میزان فرسایش داشته باشد. در حال حاضر در مدل‌های معمول در برآورد فرسایش و رسوب تأثیر پوشش سنگی به طور واقعی در نظر گرفته نشده و یا به ندرت در بعضی از مدل‌ها تأثیر آن تنها به صورت کیفی مورد توجه قرار داده شده است.

برای اصلاح مدل‌های ارائه شده در برآورد فرسایش و لحاظ نمودن تأثیرات پوشش سنگی لازم است تا مطالعات متعددی در مورد اثرات پوشش سنگی در تغییر خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل ظرفیت نفوذ پذیری، فرونشست، سله سطحی و همچنین خواص هیدرولوژیکی سطح خاک صورت گیرد. خواص مذکور به نوبه خود می‌تواند در کاهش یا افزایش میزان رواناب و فرسایش ناشی از آن مؤثر باشد. در بسیاری از نقاط دنیا از جمله ایران سطوح وسیعی از اراضی آبخیزها با مقدار قابل ملاحظه‌ای از سنگ و سنگریزه پوشیده شده است. پوزن و همکاران^۱ در سال ۱۹۹۰ این نکته را مطرح نمودند که در بعضی از نواحی مدیترانه حدود ۶۰٪ یا بیشتر از سطح خاک دارای پوشش سنگی و سنگریزه‌ای است. وجود سنگ و سنگریزه موجود در سطح خاک می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر میزان رواناب، جریانهای سیلابی و میزان رسوب تولیدی داشته باشد. در بعضی مناطق، سطح خاک به طور معمول حاوی مقادیر زیادی سنگ و سنگریزه است که سطح پوشش و نحوه قرار گرفتن آنها در بستر خاک در مناطق مختلف متفاوت است. پوزن و همکاران در سال ۱۹۹۳ نشان دادند که در زمان وقوع رواناب، پوشش سنگ و سنگریزه‌ای می‌تواند به افزایش یا کاهش فرسایش خاک منجر گردد. وجود سنگ و سنگریزه در سطح خاک می‌تواند از برخورد مستقیم قطرات باران بر روی خاک جلوگیری نموده و از این طریق موجب کاهش

^۱ - Poesn

فرسایش گردد. از طرف دیگر اگر میزان تراکم پوشش سنگی از حد معینی کمتر شود فشار برشی ناشی از رواناب در اطراف سنگها به طور موضعی افزایش یافته و فرسایش را تشدید می‌نماید. تأثیرات چند جانبه این پدیده می‌تواند به میزان منافذ موجود در خاک، موقعیت قرار گرفتن سنگ در لایه سطحی (آزاد یا فرورفته)، اندازه سنگها و همچنین شیب زمین بستگی داشته باشد.

پوزن و انگلمو-سانچز در سال ۱۹۹۲ با آزمایشهای متعددی نشان دادند که وجود پوشش سنگریزه‌ای در افزایش یا کاهش فرسایش خاک و روان آب مؤثر می‌باشد. این تغییرات به نوبه خود به تخلخل خاک، میزان سنگریزه در لایه سطحی و اندازه آن بستگی دارد.

برخی از پژوهشگران مطالعاتی چند در مورد تأثیر پوشش سنگریزه‌ای و ارتباط آن با کاهش یا افزایش میزان رسوب انجام داده و گزارش کرده اند که تأثیر مثبت یا منفی پوشش سنگریزه‌ای در میزان تولید رسوب و هرز آب جای تردید دارد. اما نکته‌ای که بیشتر محققان بر آن اتفاق نظر دارند این است که نحوه استقرار سنگریزه چه به صورت آزاد و یا فرو رفته در بستر خاک به یقین در میزان رسوب تولیدی مؤثر می‌باشد. گروهی از این پژوهشگران با آزمایشهای متعددی نشان دادند که وجود پوشش سنگی بر روی سطح خاک منجر به کاهش فرسایش می‌گردد که مبین وجود رابطه منفی بین پوشش سنگریزه در سطح خاک و افزایش رواناب و فرسایش است. در حالی که محققان دیگری بر این باورند که در صورت حضور پوشش سنگی در سطح خاک، فرسایش نه تنها کاهش پیدا نمی‌کند بلکه افزایش نیز می‌یابد. بنابراین نتایج تحقیقات این پژوهشگران نشان داد که رابطه‌ای مثبت بین پوشش سنگریزه‌ای خاک و فرسایش وجود دارد. جدول ۱ روابط مثبت یا منفی پوشش سنگریزه‌ای با میزان فرسایش را نشان می‌دهد. نظر عمومی بر این باور است که پوشش سنگی در فرسایش خاک تأثیرگذار می‌باشد، اما بیان این مطلب که وجود سنگریزه در سطح خاک دارای تأثیر مثبت یا

منفی بر روی میزان فرسایش خاک یا میزان رسوب دارد (یا به عبارت دیگر تشدید یا تضعیف کننده میزان فرسایش و رسوب است. هنوز جای بحث و تحقیق بسیاری باقی گذاشته است).

جدول شماره ۱- تاثیر پوشش سنگی روی مقدار روان آب از دیدگاه محققان

مختلف. به نقل از (Abrahams, Parson; 1993)

رابطه مثبت	رابطه منفی
Bertrand et al. (۱۹۶۴)	Lin (۱۹۵۸)
Tromble et al. (۱۹۷۴)	Grant, Struchtemeyer (۱۹۵۹)
Blackburn (۱۹۷۵)	Jung (۱۹۶۰)
Iverson (۱۹۸۰)	Seginar et al. (۱۹۶۲)
Evenari et al (۱۹۸۲)	Kincaid et al. (۱۹۶۴)
Wilcox et al. (۱۹۸۸)	Epstein , Grant (۱۹۶۶)
Abrahams , Parson (1991)	Kemper , Noonan (۱۹۶۶)
	Tromble (۱۹۷۶)
	Evenari et al. (۱۹۸۲)

روش تحقیق

از آنجا که هدف از انجام این مطالعه تعیین نقش پوشش سنگی در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز یا اراضی کشاورزی با پوشش سنگریزه‌ای است بنابراین از دو منطقه مختلف در اطراف تهران که در آن علائم فرسایش تشدید می‌شده می‌گردید و از طرفی بستر خاک حاوی سنگریزه بود انتخاب و از خاک آن به مقدار کافی نمونه برداری صورت گرفت. برای شبیه‌سازی پوشش سنگی از سنگهایی به طول و عرض ۳ سانتیمتر به ضخامت ۱ سانتیمتر که در کارخانه سنگ بری تراشیده شدند و

دارای مساحت ۹ سانتیمتر مربع بود استفاده گردید. توزیع سنگها در روی بستر خاک مورد بررسی به صورت تصادفی در تمامی سطح فلوم صورت گرفت. دو نوع خاک با بافت متفاوت (سبک و سنگین) از دو حوزه آبخیز ساوه و امامه از قسمت سطحی خاک نمونه برداری و با استفاده از یک دستگاه شبیه سازی باران با نازل جارویی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام آزمایشها، نمونه های خاک درشتکی شیب پذیر به ابعاد ۱×۱متر (قابل تنظیم از صفر تا ۵۰ در صد) به ضخامت ۷ سانتیمتر قرار داده شد. آزمایش یکنواختی بارش، اندازه قطر قطرات و تعیین شدت های مختلف آن با تغییرات لازم در چرخش زاویه نازل صورت گرفت. به منظور تعیین تأثیر پوشش سنگریزه در میزان فرسایش و رواناب، خاک نمونه برداری شده پس از عبور از الک ۴/۷۵ میلیمتری به مقدار تقریبی ۱۰۰ کیلوگرم درون تشتک فلوم قرار داده شد. پس از صاف نمودن و تسطیح خاک با لبه تشتک فلوم، عمل شبیه سازی باران در شدت های مورد نیاز توسط دستگاه کنترل الکترونیک با تغییر زاویه نازل اعمال گردید. برای انجام هر آزمایش، بستر خاک در معرض سه شدت مختلف بارندگی با میزان ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلیمتر بر ساعت قرار می گرفت. همچنین چهار شیب متفاوت با نسبتهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد نیز روی بستر خاک در فلوم اعمال گردید. مدت زمان انجام هر آزمایش نیز ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد زیرا در طی مدت مذکور مقدار غلظت رسوب در رواناب به حالت تعادل می رسد. در حالت تعادل یا حالت ماندگار، تغییرات مقدار رسوب خارج شده از قیف فلوم نسبت به زمان تقریباً ثابت می شود. میزان نفوذ آب در خاک به وسیله یک لوله پلاستیکی که در کف تشتک تعبیه شده بود جمع آوری می شد. رسوب ناشی از فرسایش خاک نیز در هر مرحله از آزمایشهای مذکور در طی مدت ۲۰ دقیقه شبیه سازی باران در سطوح های پلاستیکی جمع آوری و توزین گردید. گرچه برای اطمینان از نتایج بدست آمده که احتمال خطای اندازه گیری وجود داشت بعضی از آزمایشها تکرار می شد ولی به علت نیاز به جابه جایی مقدار زیادی خاک

برای هر آزمایش (در حدود ۱۰۰ کیلو گرم)، امکان تکرار آزمایشها در قالب رایج طرح های آماری وجود نداشت و این موضوع به طور معمول امری عادی در بررسیهای شبیه سازی باران است. بنابراین احتمال بروز بعضی از خطاهای ناشی از عدم تکرار آماری آزمایش در نتایج ممکن است وجود داشته باشد. تصویر ۱ نمایی از فلوم و دستگاه شبیه ساز باران را نشان می دهد.



تصویر شماره ۱- فلوم و دستگاه شبیه ساز باران

برای تعیین غلظت رسوب در رواناب، نمونه هایی از مخلوط آب و رسوب را که در پیش در سطل های پلاستیکی جمع آوری شده بود در دستگاه خشک کن (Oven) در حرارت ۱۰۴ درجه سانتیگراد برای مدت ۲۴ ساعت قرار داده و پس از توزین مجدد

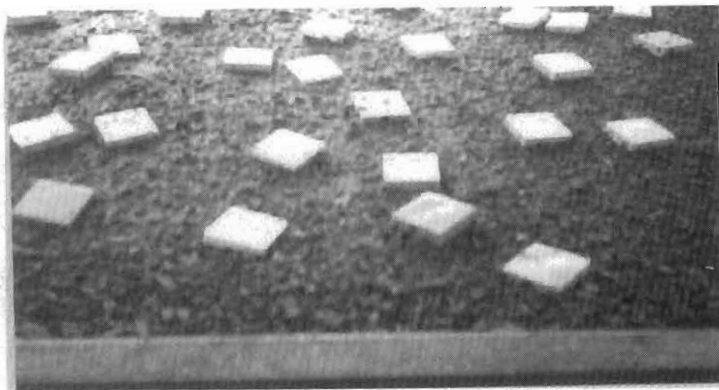
ظرف حاوی رسوب خشک شده، غلظت رسوب بر حسب کیلوگرم در متر مکعب محاسبه گردید. بخشی از رسوب بدست آمده نیز جهت تعیین میانگین وزنی قطر و چگونگی توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌های رسوب با استفاده از دستگاه الک تر^۱ مورد استفاده قرار گرفت. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و برخی از خصوصیات فیزیکی-شیمیائی دو خاک مورد بررسی در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول شماره ۲ - نتایج تجزیه فیزیکی - شیمیائی خاک دو حوزه ساوه و امامه

نام حوزه	بافت خاک	شن (%)	لای (%)	رس (%)	MWD (mm)	واکنش pH	مخصوصاً ظاهری (kg/m ³)	جرم سدیم قابل تبادل (%)	هدایت الکتریکی آلی (dS/m)	کربن
ساوه لوم سیلی	۷۱/۵	۱۹	۹/۵	۰/۶۲	۷/۵	۱/۲۸	۵/۴	۰/۵۶	۰/۴	
امامه رسی سیلی	۱۲/۰	۴۶	۴۲	۰/۴۹	۷/۳	۱/۱۸	۷/۱	۰/۱۸	۰/۳	

علاوه بر بارانهای شبیه‌سازی که روی خاک بدون پوشش سنگی به عنوان تیمار شاهد صورت گرفت برای آگاهی از عملکرد پوشش سنگی در میزان رواناب، میزان نفوذ و رسوب ناشی از فرسایش، تأثیر ۶ تیمار مختلف از پوشش سنگی با نسبتهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد در دو حالت آزاد و فرو رفته در معرض شبیه‌سازی باران قرار گرفت. تصویر شماره ۲ چگونگی استقرار پوشش سنگی در سطح خاک را نشان می‌دهد.

1. Wet Sieving



تصویر شماره ۲- حضور پوشش سنگی بر روی سطح خاک در روی بستر فلوم

جهت تعیین سهم رسوب ناشی از پاشمان (برخورد قطرات باران) و سهم رسوب حاصل از قدرت جریان رواناب و تفکیک آنها، از سینی پاشمان استفاده گردید. سینی پاشمان با ابعاد $8 \times 30 \times 35$ سانتیمتر و دارای سه قسمت مجزا بود که از آهن گالوانیزه ساخته شد. مقدار پاشمان تنها از قسمت میانی سینی که از دو قسمت دیگر بزرگتر بود اندازه گیری می شد. دو قسمت مجاور که از همان خاک مورد بررسی پر شده بودند برای این منظور تعبیه شده بود که از خطای آزمایش ناشی از اتلاف ذرات پاشمان شده به بیرون از سینی جلوگیری نماید.

از آنجائی که تغییرات شیب به ویژه در شیبهای کم تأثیر قابل توجهی در میزان رسوب ناشی از فرسایش پاشمانی ندارد، آزمایشهای مربوط به سینی پاشمان تنها در یک شیب ملایم و با شدتهای مختلف مشابه آنچه که در فلوم انجام شده بود برای هر دو خاک حوزه های امامه و ساوه صورت گرفت. در سینی پاشمان به دلیل کوچکی ابعاد ظرف، فرآیند رواناب در تولید رسوب نقشی نداشته بنابراین با محاسبه میزان رسوب در

سینی پاشمان برای شدتهای مختلف بارندگی و تسری آن به خاک مورد آزمایش امکان محاسبه پاشمان مربوط به بستر اصلی خاک در فلوم آزمایشی مهیا می‌شد.

نتایج

تأثیر باران شبیه سازی شده در خاک بدون پوشش سنگی در شبیه‌های مختلف میزان رسوب، شدت رواناب و ضریب آن رواناب در خاکهای مورد آزمایش در شبیه‌های مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ در صد) با شدت بارشهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلیمتر در ساعت طی آزمایشهای شبیه سازی شده جمع آوری و اندازه‌گیری شد. جداول شماره ۳ و ۴ مؤلفه‌های مذکور را در نمونه خاکهای دو حوزه ساوه و امامه بدون حضور پوشش سنگی نشان می‌دهد.

برای تفکیک سهم رسوب ناشی از پاشمان و فرایند رواناب در طول یک حادثه فرسایشی، آزمایش‌هایی چند با استفاده از سینی پاشمان صورت گرفت که توضیح آن در بخش مواد و روشها داده شد. با محاسبه میزان رسوب در سینی پاشمان برای شدتهای مختلف بارندگی، امکان محاسبه پاشمان مربوط به بستر خاک در فلوم آزمایشی متناسب با سطحی که در معرض شبیه سازی باران قرار می‌گیرد فراهم می‌گردد. زیرا با اندازه‌گیری مقدار رسوب در سطح معینی از سینی پاشمان می‌توان با یک تناسب ساده مقدار پاشمان را برای سطح یک متر مربعی بستر خاک در فلوم محاسبه نمود. جدول شماره ۵ نشان دهنده میزان رسوب ناشی از فرایند رواناب و رسوب ناشی از پاشمان بر روی نمونه خاک‌های حوزه ساوه و امامه می‌باشد.

جدول شماره ۳- ضریب رواناب، میزان نفوذ، مقدار رواناب و غلظت رسوب ناشی از بارانهای شبیه سازی شده در شیب و شدتهای مختلف درنمونه خاک حوزه ساوه (بدون پوشش سنگی) و امامه

شیب بتر (%)	شدت باران (میلی متر در ساعت)	خاک ساوه		خاک امامه	
		غلظت رسوب (کیلوگرم بر متر مکعب)	شدت رواناب (میلی متر در ساعت)	غلظت رسوب (کیلوگرم بر متر مکعب)	شدت رواناب (میلی متر در ساعت)
	۲۵	۱۵	۱۶	۲۷	۱۹
۵	۵۰	۱۸	۳۳	۵۴	۳۷
	۷۵	۲۷	۵۱	۶۵	۵۸
	۲۵	۳۴	۱۷	۵۷	۲۰
۱۰	۵۰	۵۰	۳۵	۹۲	۴۱
	۷۵	۵۵	۵۴	۹۵	۶۳
	۲۵	۵۵	۱۸	۶۷	۲۲
۱۵	۵۰	۷۲	۳۹	۱۰۱	۴۴
	۷۵	۸۶	۶۱	۱۰۴	۶۷
	۲۵	۹۶	۲۱	۷۲	۲۳
۲۰	۵۰	۱۵۰	۴۴	۱۱۰	۴۸
	۷۵	۱۹۲	۶۷	۱۱۱	۷۳

جدول شماره ۴- رسوب ناشی از فرایند های رواناب و پاشمان بر روی خاک

ساوه و امامه

خاک امامه			خاک ساوه			شدت باران (میلی متر در ساعت)	شیب بستر (%)
رسوب کل رسوب ناشی از فرآیند رواناب	رسوب ناشی از پاشمان	(کیلوگرم بر متر مکعب)	رسوب کل رسوب ناشی از فرآیند رواناب	رسوب ناشی از پاشمان	(کیلوگرم بر متر مکعب)		
-۴/۱۶°	۲۷/۹۹	۳۲/۱۵	-۷/۰۶°	۱۵/۰۷	۲۲/۱۳	۲۵	۵
-۳/۹۵°	۵۴/۹۶	۵۸/۹۱	-۱۸/۱۳°	۱۸/۵۴	۳۶/۶۷	۵۰	
-۱/۲۱°	۶۵/۹۱	۶۷/۱۲	-۱۳/۱۸°	۲۷/۹۷	۴۱/۱۶	۷۵	
۲۵/۱۵	۵۷/۳۰	۳۲/۱۵	۱۲/۱۳	۳۴/۲۶	۲۲/۱۳	۲۵	۱۰
۳۳/۱۶	۹۲/۰۷	۵۸/۹۱	۱۳/۹۴	۵۰/۶۱	۳۶/۶۷	۵۰	
۲۸/۰۴	۹۵/۱۶	۶۷/۱۲	۱۴/۵۲	۵۵/۶۸	۴۱/۱۶	۷۵	
۳۵/۳۲	۶۷/۴۷	۳۲/۱۵	۳۳/۴۹	۵۵/۶۲	۲۲/۱۳	۲۵	۱۵
۴۲/۶۱	۱۰۱/۵۲	۵۸/۹۱	۳۵/۷۸	۷۲/۴۵	۳۶/۶۷	۵۰	
۳۷/۶۴	۱۰۴/۷۶	۶۷/۱۲	۴۵/۲۴	۸۶/۴۰	۴۱/۱۶	۷۵	
۴۰/۸۱	۷۲/۹۶	۳۲/۱۵	۷۴/۷۴	۹۶/۸۷	۲۲/۱۳	۲۵	۲۰
۵۱/۴۳	۱۱۰/۳۴	۵۸/۹۱	۱۱۳/۹۳	۱۵۰/۶۰	۳۶/۶۷	۵۰	
۴۴/۰۹	۱۱۱/۲۱	۶۷/۱۲	۱۵۱/۶۵	۱۹۲/۸۱	۴۱/۱۶	۷۵	

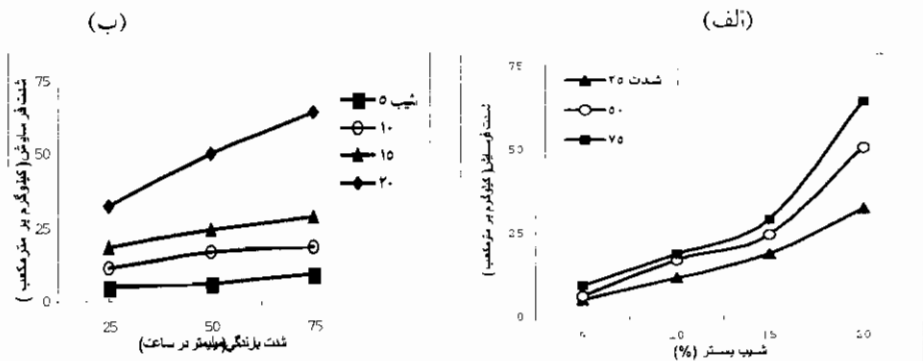
*:علامت منفی در این جدول ناشی از خطای آزمایش در اندازه گیری مقدر رسوب ز سینی پاشمان و تعمیم آن به مساحت بستر خاک در فلوم ست.

همان طوری که در جدول شماره ۴ مشاهده می شود در شیب ۵٪ و یا کمتر از آن مهمترین عامل در ایجاد فرسایش و رسوب، پاشمان یا برخورد قطرات باران با بستر خاک است و فرایند رواناب در این حالت نقش چندانی در ایجاد رسوب ندارد. با افزایش شیب فلوم از حد ۵ درصد به بعد فرایند رواناب عامل اصلی فرسایش خاک

بوده در حالی که نقش فرایند پاشمان در تولید رسوب به مراتب کمتر از فرایند رواناب می شود.

تأثیر شیب و شدت بارندگی در میزان رسوب:

شکل شماره ۱ تأثیر شیب بستر و شدت بارش را در افزایش میزان فرسایش در خاک بدون پوشش سنگی برای خاک هر دو حوزه نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود با بالا رفتن شیب و شدت بارندگی میزان رسوب دهی افزایش پیدا می کند.



شکل شماره ۱- تأثیر شیب بستر و شدت بارندگی بر روی شدت فرسایش در (الف)

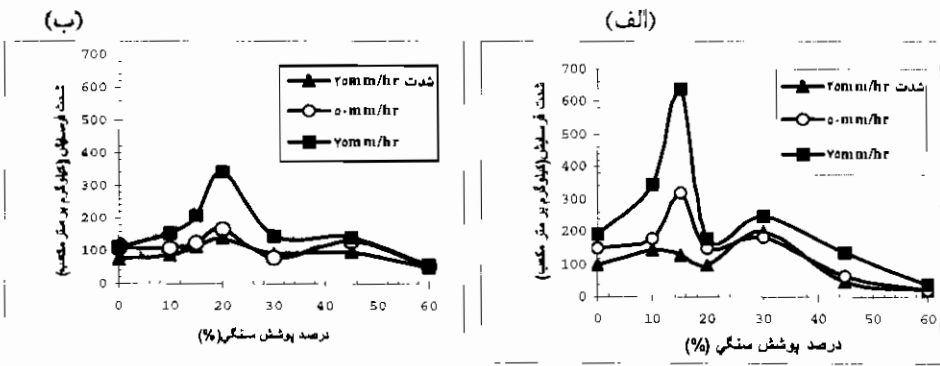
نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

به طوری که در شکل مذکور مشاهده می شود هر دو عامل شیب بستر و شدت بارندگی به طور متقابل در افزایش رسوب تأثیر دارند. برای اینکه تأثیر این دو عامل را بتوان یکجا روی افزایش رسوب تولیدی در نظر گرفت حاصل ضرب کمیت شیب بستر به صورت (S) در شدت رواناب حاصل از بارندگی (q) به عنوان قدرت جریان واحد و با لحاظ نمودن چگالی آب و شتاب ثقل به عنوان قدرت جریان گرفتن رواناب (Ω) در

منابع مختلف آمده است (Nearing, 1997). آزمایشهای متعددی نشان داده که قدرت جریان دارای همبستگی بسیار خوبی با مقدار رسوب می‌باشد. کمیت مذکور به صورت معادله $\Omega = \rho g S q$ می‌باشد که در آن g شتاب ثقل و ρ چگالی آب یا مخلوط آب و رسوب است و در بسیاری از مدل‌های فرآیندی از جمله در مدل GUEST کاربرد دارد (روحی پور، ۱۳۸۰). حاصلضرب شیب در دبی واحد یا قدرت جریان واحد (Sq) در این مطالعه برای نرمال کردن داده‌های غلظت رسوب در کلیه آزمایشها مورد استفاده قرار گرفته که در قسمتهای بعدی به آن اشاره می‌شود.

تأثیر پوشش سنگریزه در میزان رواناب و رسوب

تأثیر ۶ تیمار مختلف پوشش سنگریزه‌ای با درصدهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ بر روی میزان فرسایش در شدتهای مختلف بارش و ۴ شیب متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. شکل شماره ۲، رابطه بین میزان رسوب تولیدی و درصد پوشش سنگی را در شیبه‌ها و شدت‌های ذکر شده نشان می‌دهد.



شکل شماره ۲- رابطه بین شدت فرسایش و درصد پوشش سنگی در شدت‌های مختلف با شیب ثابت ۲۰٪ (الف) نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

همان گونه که در شکل شماره ۱ (الف) دیده می‌شود غلظت رسوب تا حدود ۱۵ درصد پوشش سنگی در خاک حوزه ساوه افزایش پیدا می‌کند. با افزایش درصد پوشش سنگی از میزان ۱۵ درصد به بالا، میزان رسوب به شدت کاهش می‌یابد. در خاک حوزه امامه شکل شماره ۱ (ب) که دارای بافت رسی سیلتی است، افزایش رواناب و رسوب در تغییرات پوشش سنگی بین صفر تا ۲۰ درصد رخ داده است

به طور کلی آزمایشهای بعمل آمده بر روی نمونه های خاک حوزه ساوه و امامه نشان داده است که تأثیر تغییرات پوشش سنگی بر روی نمونه خاک حوزه ساوه با بافت لوم شنی از صفر تا حدود ۱۵ درصد باعث افزایش رواناب و رسوب ناشی از آن شده است. به تدریج که درصد پوشش سنگی روی دو نوع خاک مورد بررسی از ۱۵ درصد برای حوزه ساوه و ۲۰ درصد برای خاک حوزه امامه افزایش می‌یابد، میزان رسوب نسبت به تیمار شاهد (بدون پوشش سنگی یا صفر درصد) کاهش چشمگیری نشان می‌دهد.

همان طوری که مشاهده می‌شود در شبیه‌های کم، تغییرات رسوب به طور تقریبی به صورت خطی است زیرا فرآیند رواناب در شبیه‌های پایین به طور معمول در تشکیل رسوب نقش چندانی ندارد و تنها عامل ایجاد رسوب پاشمان می‌باشد. به تدریج با افزایش شیب، فرآیند رواناب در میزان رسوب نقش بسزائی را بازی می‌کند و به این ترتیب مقدار رسوب به طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

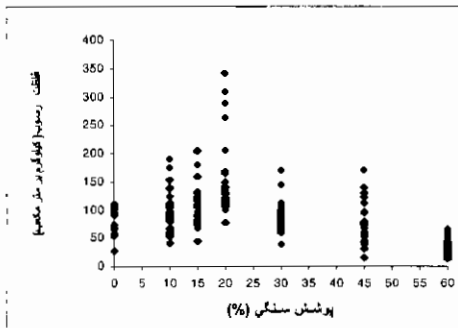
نکته قابل توجه اینکه بالا بودن همزمان شیب و شدت بارندگی، نقش تشدید کننده‌ای در افزایش رسوب خواهد داشت، به طور مثال در شیب ۲۰ درصد و شدت ۷۵ میلیمتر بر ساعت، حداکثر میزان رسوب با پوشش سنگریزه‌ای ۲۰ درصد در خاک حوزه امامه دیده می‌شود، شکل شماره ۲ (ب).

برای بهتر نشان دادن و همچنین بسط روندی که در شکل ۲ برای تنها یک شیب و چندین شدت بارندگی ترسیم شده است برای کلیه آزمایشها، رابطه بین میزان غلظت رسوب با درصدهای مختلف پوشش سنگی در کلیه شبیه‌های اعمال شده در بستر فلوم و

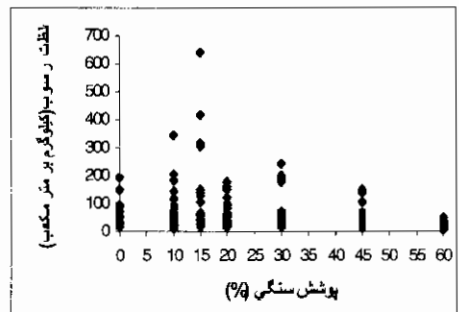
شدتهای مختلف بارندگی، به صورت نمودار هایی با استفاده از نرم افزار Excell ترسیم گردید (شکل شماره ۳).

همان طوری که در این شکل مشاهده می شود بیشینه غلظت رسوب برای (الف) در خاک حوزه ساوه در ۱۵ درصد پوشش سنگی و برای (ب) در خاک حوزه امامه در ۲۰ درصد پوشش سنگی رخ داده است. غلظت رسوب در هر دو نمودار پس از رسیدن به حد اکثر خود دو باره کاهش چشمگیری پیدا می کند.

(ب)



(الف)



شکل شماره ۳- رابطه بین مقدار غلظت رسوب بدست آمده در تمامی آزمایشها با درصد پوشش سنگی (الف) برای نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

تعیین میزان همبستگی بین درصد پوشش سنگی خاک با میزان رسوب:

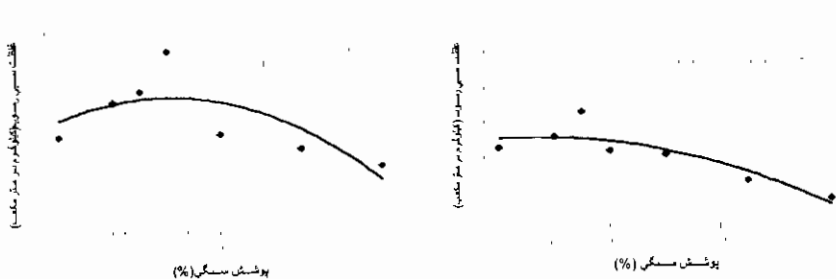
همان گونه که در پیش ذکر گردید در کلیه آزمایشهایی که در شیب و شدتهای مختلف شبیه سازی باران انجام شد، با بالا رفتن درصد پوشش سنگریزه ای، ابتدا مقدار رسوب به طور تدریجی زیاد شده و پس از رسیدن به حد معینی که در قبل توضیح داده شد مجدداً مقدار رسوب کاهش پیدا می کند.

جهت کلیت بخشیدن به تأثیر پوشش سنگریزه ای بر میزان رسوب به نحوی که بتواند نتایج بدست آمده از کلیه آزمایشها را که در شیب و شدتهای مختلف انجام گرفته

پوشاند، تلاش گردید تا با استفاده از همه داده های غلظت رسوب اندازه گیری شده، یک رابطه همبستگی بین درصد پوشش سنگی و میزان رسوب (بر حسب غلظت آن در رواناب) برای هر دو نمونه از خاکهای حوزه ساوه و امامه تعیین شود. برای این منظور جهت حذف دو مؤلفه شیب و شدت باران، میزان رسوب حاصل از یک حادثه فرسایشی بر حاصلضرب شیب در شدت بارش همان حادثه (قدرت جریان واحد) تقسیم گردید تا به نحوی داده های آزمایش به صورت نرمال در آید. سپس رابطه بین این کمیت به عنوان میانگین غلظت نسبی رسوب با درصد پوشش سنگی مربوطه تعیین گردید. شکل شماره ۴ (الف) و (ب) که با یک تابع درجه دو از بین داده ها برازش داده شده بیانگر میزان همبستگی و بین میانگین غلظت نسبی رسوب تولیدی با درصدهای مختلف پوشش سنگی در نمونه های خاک هر دو حوزه ساوه و امامه است. گرچه تابع درجه سه برای داده های این آزمایش دارای ضریب تعیین بالاتری نسبت به تابع درجه دو می باشد ولی از آن جایی که با افزایش نهایی پوشش سنگی به طور مثال تا حدود صد در صد، به طور قطع از میزان فرسایش کاسته می شود، تابع درجه دو با ضریب تعیین مربوطه بیانگر واقعی نوع تغییرات در داده های آزمایش است.

(ب)

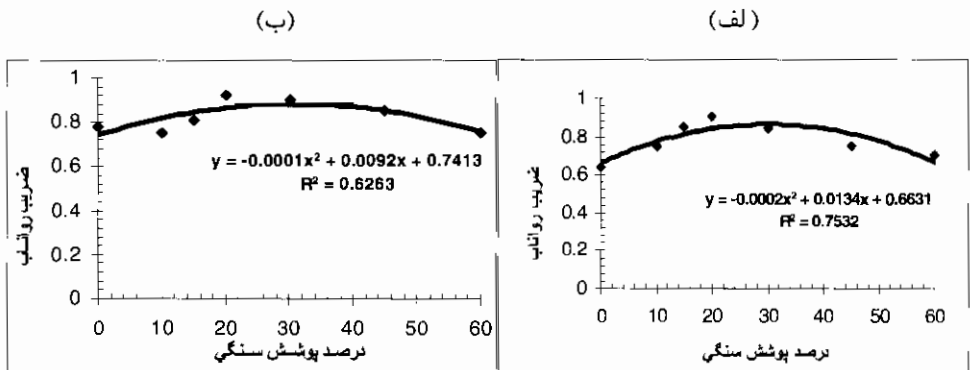
(الف)



شکل شماره ۴- همبستگی بین میزان غلظت نسبی رسوب با درصد پوشش سنگی (الف) نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

به طور معمول با افزایش مقدار رواناب میزان غلظت رسوب نیز در خروجی از کرت یا عرصه های مورد فرسایش آبی افزایش پیدا می نماید، بنابراین لازم بود که برای تأیید و اثبات تابع همبستگی موجود بین درصد پوشش سنگی و مقدار رسوب حاصل که رابطه آن در شکل ۴ نشان داده شده از ضریب رواناب نیز استفاده گردد.

مطالعات زیادی نشان داده است که به طور معمول در کرت یا عرصه هایی که ضریب رواناب آن (نسبت رواناب به مقدار بارندگی) افزایش یابد به طور طبیعی مقدار رسوب افزایش پیدا می کند. بنابراین برای کلیه آزمایش های انجام شده، اعم از خاک لخت و بدون پوشش سنگی تا خاک با درصدهای مختلف پوشش سنگی، ضریب رواناب محاسبه و همبستگی آن با درصد پوشش سنگی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ (الف) و (ب) نشان دهنده رابطه تغییرات ضریب رواناب با درصد پوشش سنگی روی بستر خاک می باشد.



شکل شماره ۵- تغییرات ضریب رواناب با درصدهای مختلف پوشش سنگی (الف) نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

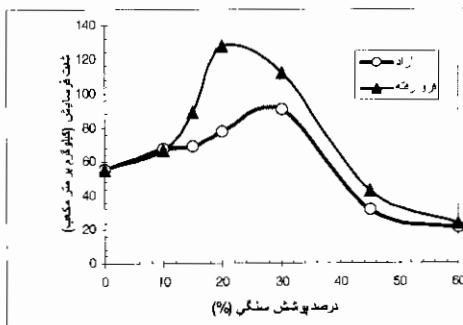
همان گونه که در شکل شماره ۵ مشاهده می شود، روند افزایش و کاهش ضریب رواناب به طور تقریبی مشابه روندی است که در شکل شماره ۴ برای همبستگی بین

میزان رسوب و مقدار پوشش سنگی مشاهده شد. به عبارت دیگر ضریب رواناب با افزایش درصد پوشش سنگی تا حد معینی ابتدا افزایش پیدا کرده و بعد کاهش می یابد. همخوانی تغییرات ضریب رواناب با پوشش سنگی و همچنین درصد پوشش سنگی با مقدار رسوب دلیل قاطعی بر صحت آزمایشهایی بود که برای تعیین نقش پوشش سنگی در کاهش یا افزایش رسوب در اینجا مورد بررسی قرار گرفت.

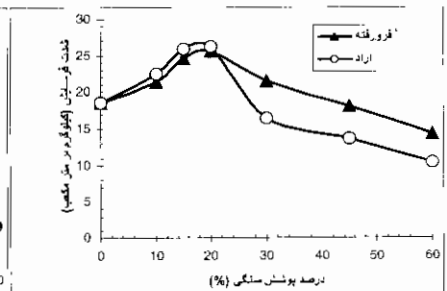
وضعیت استقرار سنگریزه در بستر خاک:

همان گونه که در روش تحقیق توضیح داده شد، نحوه استقرار سنگریزه در بستر خاکهای مورد آزمایش به دو صورت آزاد و فرورفته (پس از قرار دادن سنگریزه در سطح خاک با فشار دست کمی به داخل خاک فرو برده شدند)، مورد بررسی قرار گرفت. پس از قرار دادن هر دو نوع پوشش سنگریزه در معرض بارشهای شبیه سازی شده، در هر بار آزمایش میزان رسوب، رواناب و نفوذ آب در خاک اندازه گیری شد. شکل شماره ۶ بیانگر رابطه بین درصد پوشش سنگی بصورت آزاد و فرو رفته با غلظت رسوب در شدت ۵۰ میلیمتر در ساعت و شیب ۱۰ درصد بر روی نمونه خاک حوزه های ساوه و امامه می باشد.

(ب)



(لف)



شکل شماره ۶- تأثیر درصد پوشش سنگی به صورت آزاد و فرو رفته در تغییرات غلظت رسوب در شیب ۱۰ درجه و شدت ۵۰ میلی متر در ساعت. (الف) نمونه خاک حوزه ساوه و (ب) نمونه خاک حوزه امامه

همان گونه که در شکل ۳ (الف) مشاهده می‌شود، میزان رسوب حاصل از آزمایش در دو حالت آزاد و فرورفته برای نمونه خاک حوزه ساوه تا حدود ۲۰ درصد تفاوت چندانی با هم نداشته است، در حالی که بین رسوب ایجاد شده در دو حالت آزاد و فرورفته در نمونه خاک حوزه امامه شکل ۳ (ب) تفاوت وجود دارد. در نمونه خاک حوزه امامه، ابتدا مقدار رسوب زیاد شده و بعد کاهش پیدا می‌کند با این تفاوت که تأثیر سنگریزه در حالت فرورفته منجر به افزایش رسوب بیشتری به نسبت حالت آزاد می‌شود.

بحث

۱: آزمایشهای انجام شده بر روی دو نوع خاک حوزه‌های ساوه و امامه نشان داده است که حضور پوشش سنگریزه ای به ترتیب از صفر تا میزان ۱۵ درصد برای نمونه خاک حوزه ساوه با بافت شنی لومی و از صفر ۲۰ درصد در نمونه خاک حوزه امامه با بافت رسی سیلتی منجر به افزایش رسوب ناشی از باران و رواناب شده است. با افزایش درصد پوشش سنگی از میزان مذکور دوباره میزان رسوب کاهش می‌یابد. میزان رسوب تا درصد معینی از پوشش سنگریزه‌ای (در حدود ۲۰-۱۵ درصد) افزایش یافته ولی به تدریج با افزایش پوشش سنگریزه‌ای میزان رسوب به صورت یک تابع پلی نومیال از نوع درجه دوم کاهش می‌یابد. دلیل افزایش رسوب در حضور پوشش سنگریزه ای به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد برای هر دو نوع خاک مورد بررسی به احتمال زیاد ناشی از تنش برشی رواناب است که به علت برخورد جریان آب با قطعات سنگ یا سنگریزه بوجود می‌آید. در اثر برخورد جریان رواناب با پوشش سنگریزه یک فشار برشی موضعی در اطراف سنگ ایجاد می‌شود. این تنش برشی موضعی خود باعث تلاطم آب در اطراف سنگ شده و موجب جدا شدن ذرات خاک از بستر خود شده و

در نتیجه میزان رسوب را نسبت به خاکی که فاقد پوشش سنگریزه‌ای است به مراتب افزایش می‌دهد.

پوسن و همکاران (۱۹۹۳) در مطالعات خود نشان داده‌اند که پوشش سنگریزه ای منجر به آشفته‌گی جریان هرز آب شده و از این‌رو میزان رسوب به شدت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش پوشش سنگریزه ای از حد ۱۵ تا ۲۰ درصد به بالا میزان رسوب تولیدی کاهش شدیدی را نشان می‌دهد. دلیل این امر نیز واضح می‌باشد زیرا با افزایش بیش از حد تعیین شده در پوشش سنگی، اثر برخورد قطرات باران روی بستر خاک به شدت کاهش پیدا کرده و میزان انرژی دریافتی روی خاک بسیار کم می‌شود، در نتیجه رسوب تولیدی نیز کاهش می‌یابد. کاهش سرعت رواناب به علت بالا رفتن ضریب زبری بستر (درصد زیاد پوشش سنگی) نیز یکی دیگر از عوامل کاهش رسوب در هنگامی است که پوشش سنگی درصد نسبتاً زیادی از بستر خاک را اشغال کرده باشد.

۲: در نمونه های خاک حوزه امامه تفاوت بین میزان رسوب تولید شده در دو حالت آزاد و فرورفته نسبتاً مشهود بود، اما در نمونه های خاک حوزه ساوه این مسئله شدت کمتری داشته است. به عبارت دیگر تفاوت چندانی بین رسوب تولیدی و استقرار سنگریزه در دو حالت آزاد و فرورفته برای نمونه خاک حوزه ساوه وجود نداشت. همان گونه که در منابع ذکر شده است نحوه استقرار سنگریزه در حالت آزاد و فرورفته نیز در میزان رسوب موثر می‌باشد. در شرایطی که پوشش سنگریزه به صورت فرورفته است میزان رسوب به شدت افزایش پیدا می‌نماید. (فوستر، ۱۹۸۰) زیرا حضور سنگریزه در حالت فرورفته منجر به کاهش نفوذ آب و در نتیجه افزایش رواناب می‌شود. افزایش رواناب نیز توأم با افزایش رسوب است. در صورتی که استقرار سنگریزه به صورت آزاد باشد، سطح خاک در برابر تراکم ناشی از برخورد مستقیم قطرات باران حفاظت شده و رواناب تولید شده می‌تواند به آسانی در فضای

انسداد نیافته زیر سنگها نفوذ کند، از طرف دیگر اگر خرده سنگها در لایه فوقانی خاک خوب جاسازی شوند (استقرار سنگریزه به صورت فرو رفته)، افزایش پوشش سنگریزه‌ای، سطح نفوذ ناپذیر لایه فوقانی خاک را افزایش داده و باعث افزایش رواناب و در نتیجه افزایش سرعت و ضریب رواناب می‌شود.

یکی از عواملی که می‌تواند در توجیه عدم تفاوت میزان رسوب تولیدی در خاک حوزه ساوه مطرح باشد نحوه تشکیل رواناب در این خاکهاست. از آنجایی که نمونه خاک حوزه ساوه دارای بافت سبک (لوم شنی) بوده و فاقد خاکدانه می‌باشد و از طرفی میزان نفوذ آب به علت دارا بودن ذرات درشت شن بسیار بالا می‌باشد. به علت عدم استقرار کامل سنگریزه در سطح خاک و همچنین عدم تشکیل پدیده سله سطحی در این خاک، بین میزان رسوب تولیدی در حالت آزاد و فرو رفته تفاوت زیادی مشاهده نگردید. بنابراین خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاکها می‌تواند نقش اساسی در تفاوت بین رسوب تولیدی در حالت آزاد یا فرورفته داشته باشد.

در خاکهای با بافت سنگین حضور پوشش سنگریزه، نقش روشن‌تری را به عهده دارد. این یافته با تحقیقاتی که پوزن و سانچز (۱۹۹۲) انجام داده‌اند تطابق دارد. این محققان دریافتند زمانی که سنگریزه به صورت فرو رفته (غیر آزاد) بر روی خاک قرار گیرد رابطه مثبت یا تشدید کننده ای بین پوشش سنگریزه و میزان رواناب و رسوب تولیدی وجود دارد. پوزن و همکاران نیز (۱۹۹۳) بیان کردند که چگونگی استقرار پوشش سنگریزه در فرسایش خاک دارای تأثیرات متفاوتی می‌باشد که خود متأثر از خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک می‌باشد.

۳: همان گونه که ذکر گردید تفاوت در بافت خاک (ذرات اولیه)، توزیع اندازه خاکدانه ها (ذرات ثانویه) و سایر خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک به ویژه بافت، هدایت هیدرولیکی و سله سطحی می‌تواند عملکردهای متفاوتی در تولید رسوب با حضور پوشش سنگی و یا سنگریزه‌ای ایجاد نماید. این بررسی نشان داد که حضور

پوشش سنگی در خاکهای دارای بافت سنگین مانند خاک امامه (با بافت رسی سیلتی) نسبت به خاکهای سبکتر مانند خاک ساوه (با بیش از ۷۰ درصد شن) فرسایش بیشتری ایجاد می‌نماید. بدون تردید حساسیت نوع خاک به سله سطحی (خاک حوزه امامه) و میزان پوشش سنگی همانطور که ذکر گردید در افزایش یا کاهش فرسایش بسیار مؤثر می‌باشد.

۴- نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که در خاکهای هر دو حوزه مورد بررسی، در شیبهای کمتر از ۰.۵٪ سهم پاشمان در ایجاد فرسایش و رسوب بیشتر از سهم رواناب است. البته باید بدین نکته توجه نمود که خاک نمونه برداری شده به علت بهم ریختگی احتمالی بخشی از ساختمان آن و تغییرات حاصل در میزان نفوذ آب در خاک با خاک دست نخورده در همین حوزه ها تفاوت اساسی داشته و تعمیم نتایج به طور مستقیم گمراه کننده خواهد بود. از اینرو به احتمال زیاد تأثیر پاشمان در رسوب تولیدی در خاک دست نخورده در شیبهای به مراتب کمتر از ۵ درصد اتفاق می‌افتد. با افزایش شیب از درصد مذکور به نظر می‌رسد که نقش رواناب مهمتر شده و تأثیر پاشمان به تدریج کاهش یابد.

تعمیم نتایج حاصل از این بررسی نشانگر این واقعیت است که پوشش سنگی هم در خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین در خصوصیات هیدرولوژیکی بستر خاک چه در حوزه‌های آبخیز صخره ای یا دارای پوشش سنگی و یا اراضی کشاورزی دارای سنگ و سنگریزه تأثیر عمده‌ای دارد. بنابراین برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در این گونه عرصه ها می‌بایست تأثیر عامل سنگی در مدل‌های مختلف تخمین فرسایش و رسوب از نظر کمی و کیفی در نظر گرفته شود.

از آنجایی که در کشور ما بسیاری از عرصه‌های آبخیز و همچنین اراضی دیم به زراعت‌های گندم و جو اختصاص یافته و همچنین در بسیاری از مراتع سنگلاخی، پوشش سنگی بخش زیادی از این عرصه ها را می‌پوشاند. لازم است که برای تخمین

رواناب و همچنین برآورد میزان فرسایش و رسوب نقش پوشش سنگی در نظر گرفته شود. از طرفی لازم است تا آزمایشهای دیگری در مورد اندازه و نحوه استقرار سنگریزه انجام گیرد و تأثیرات هیدرولوژیکی آنها نیز بر بستر خاک مشخص گردد.

نتایج حاصل از این بررسی گرچه در خاک بهم خورده و با استفاده از شبیه سازی باران صورت گرفته است ولی می‌تواند راهنمای خوبی برای عرصه های سنگلاخی و اراضی دارای پوشش سنگریزه ای باشد. برای تعمیم نتایج این تحقیق لازم است که تاثیر پوشش سنگی یا سنگریزه‌ای در پلاتهای آزمایشی مستقر در عرصه های رویشی کشور نیز مورد بررسی قرار گیرد و بدین ترتیب در ارتباط با مسائل مربوط به مدیریت فرسایش خاک گامی اساسی برداشته شود.

منابع مورد استفاده

۱. روحی پور، حسن. ۱۳۸۰، کاربرد مدل فرآیندیابی *GUEST* در برآورد میزان فرسایش، مجموعه چکیده مقالات همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، انتشارات مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان مرکزی-اراک، ص ۹۰-۹۳.
- 2-Abrahams, A.D. and A. J. Parsons, 1993 "Hydraulics of interill overland flow on stone-covered desert surfaces" *Catena*., Vol. 33:142-149.
- 3-Aggasi, M .1970. The influence of stone cover on infiltration and erosion rates laboratory experiments on a Loessial soils, M. Sci. Thesis faculty of Agriculture, Hebrew University of Jerusalem, (in Hebrew). Vol. 81: 142-146.
- 4-Foster, G.R.1982. Process based modeling of soil erosion by water on agricultural land" p.429- 447.
- 5-Nearing, M. A. Norton, L. D. Bulgakov, D. A. Larionov, G. A. West, L. T. and Dontsova, K. M. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research*, Vol. 33: 865-876.
- 6-Poesen, J. 1990. Conditions for the evacuation of rock fragments from cultivated upland areas during rainstorms, in *Erosion, Transport and Deposition Processes*. IAHS Publication , Vol. 189: 145-160
- 7-Poesen, J. F. Sanchez and Mucher, H. 1990. The hydrological response of soil surface to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in top Layer. *Earth Surface Processes landforms*, Vol. 15: 635-671
- 8-Poesen, J., and F. Ingelmo-Sanchez, 1992. Runoff and sediment yield from topsoil with different porosity and affected by rock fragment cover and position. *Catena*, Vol. 19: 451-474
- 9-Poesen, J.,D.Torri, and K. Bunte, 1993. Effect of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales review, supplement, *Catena*, Lawrence, Kans . in press.
- 10-Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., and Cross, B.V., 1971. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *J. Soil and water Cons.*, Vol 26(5): 189-193.