

استفاده از سزیوم-۱۳۷ برای بررسی میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز گرگک استان چهار محال و بختیاری

- ناصر هنرجو*^۱، شهلا محمودی^۲، امیرحسین چرخابی^۳، حسین غفوریان^۴، عباس علیمحمدی^۵
۱. واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۱۵۵، تهران - ایران
۲. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج - ایران
۳. مرکز تحقیقات آبخیزداری، صندوق پستی: ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵، تهران - ایران
۴. مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
۵. دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، صندوق پستی: ۳۲۵۷-۱۱۴۷۵، تهران - ایران

چکیده: با توجه به اینکه هر یک از روش‌های مورد استفاده در برآورد فرسایش و رسوب دارای محدودیت‌هایی است، استفاده از سزیوم-۱۳۷ به عنوان عامل نشاندار کردن در اینگونه مطالعات امروزه در سطح وسیعی رایج شده است. حوضه آبخیز گرگک، از زیر حوضه‌های کارون شمالی در استان چهارمحال بختیاری، به علت کثرت فعالیت‌های انسانی در معرض فرسایش خاک قرار گرفته است. در این حوضه از سزیوم-۱۳۷ برای تعیین میزان فرسایش خاک در عارضه‌های سطحی مختلف یک زمین‌نما استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش در بالای شیب، یعنی عارضه سطحی شانه شیب صورت گرفته است. مقدار فرسایش در آن حدود ۲۰۰ تن در هکتار در سال برآورد گردید. پس از آن در شیب میانی زمین‌نما، عارضه سطحی «پشت شیب» دارای مقدار فرسایش کمتری بوده است مقدار فرسایش در آن ۲۴/۸ تن در هکتار در سال محاسبه شد. عارضه سطحی پای شیب هیچگونه فرسایشی حداقل در چهل سال گذشته نداشته است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، رسوب، سزیوم-۱۳۷، عنصر نشاندار، عارضه‌های سطحی، چهارمحال و بختیاری، بارش رادیونوکلئیدها

Study of Soil Erosion and Deposition in Gorgak Basin, Chahar Mahal-e-Bakhtiary Province Using Cs-137 Technique

N. Honarjoo*¹, Sh. Mahmoodi², A.H. Charkhabi³, H. Ghafoorian⁴, A. Alimohammadi⁵

1- Soil Science, Science and Research Branch, Azad University, P.O. Box: 14155 -775, Tehran - Iran

2- Soil Science, College of Agriculture, Tehran University, Karaj - Iran

3- Soil Conservation and Watershed Research Institute, P.O. Box: 13445-1136, Terhan - Iran

4- Nuclear Research Center, AEOL, P.O. Box: 11365 -3486, Tehran - Iran

5- Faculty of Geodesy and Geomatics, K.N. Toosi University, P.O. Box: 11475 -3257, Tehran - Iran

Abstract: In view of the many limitations associated with traditional approaches to documenting soil erosion and sedimentation rates, the potential for using fallout radionuclides as tracers in soil erosion investigations has been increasingly exploited. Most attention has been focused on caesium-137, and the successful use of this bomb-derived radionuclide in soil erosion studies has now been reported for many areas in the world. The main goal of this research was to study the ¹³⁷Cs 3-D distribution pattern within the key sites and to apply the obtained information for the assessment of soil redistribution. Hence, one transect on a hill slope in Gorgak basin of Chahar Mahal-e- Bakhtiary province was selected and studied. Soils were sampled along the transect and analyzed for cesium-137. The estimated erosion rates was about 200 t/ha/yr for the top of the slope soil profile (the shoulder landform), and about 24.8 t/ha/yr for the middle of the slope soil profile (backslope landform). In the footslope landform no erosion has been observed.

Keywords: soil erosion, sedimentation, cesium-137, tracer, landforms, Chaharmahal-e-Bakhtiary, fallout radionuclides

۱- مقدمه

گروه I در جدول تناوبی است [۴]. عنصر سزیوم - ۱۳۷ منبع طبیعی نداشته و حاصل ریزش از آزمایشهای اتمی انجام شده در فضا در دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ و یا از سوانح هسته‌ای همچون سانحه هسته‌ای چرنوبیل است. آزمایشهای اتمی تا سال ۱۹۶۳ ادامه یافته‌اند، ولی از آن پس به علت عقد پیمان‌های عدم گسترش این آزمایشها، متوقف شده‌اند. البته اثرهای سانحه هسته‌ای چرنوبیل بر روی اراضی ایران ناچیز بوده است. نیمه عمر سزیوم رادیوآکتیو ۳۰/۲ سال و جذب آن توسط گیاهان بسیار جزئی است و پس از ریزش از جو، به سرعت جذب ذرات کلوییدی رس و مواد آلی خاک شده و با این ذرات تشکیل کمپلکس می‌دهد و تقریباً به صورت غیر تبدلی درمی‌آید. آیشویی آن از خاک نیز اندک است [۴]. بطور کلی جابجایی سزیوم - ۱۳۷ در خاک بصورت شیمیایی و بیولوژیکی بسیار اندک است و فقط بصورت فیزیکی همراه با ذرات کلوییدی در خاک جابجا می‌شود. پراکنش مجدد آن در خاک اصولاً با تحولات فیزیکی نظیر فرسایش و شخم همراه است، به این جهت می‌توان آنرا بعنوان یک نشاندار مناسب برای تعیین جابجایی خاک از طریق فرسایش آبی یا فرسایش بادی و ... در ۴۰ سال اخیر در نظر گرفت [۵].

محاسبه فرسایش به وسیله سزیوم رادیوآکتیو، بر اساس مقایسه مقدار سزیوم - ۱۳۷ (بر حسب بکرل بر مترمربع) موجود در خاک در معرض فرسایش با یک سطح مرجع است. کاهش نسبی سزیوم در خاک نشاندهنده فرسایش، و افزایش نسبی آن نشاندهنده رسوب یا افزوده شدن به خاک است. با شناخت قابلیت‌های سزیوم رادیوآکتیو در برآورد شدت فرسایش و رسوب، سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) در سال ۱۹۹۵ دو تشکیلات بین‌المللی متشکل از ۲۵ محقق را سرتاسر جهان سازماندهی کرد تا ضمن بررسی سزیوم رادیوآکتیو، اصلاحاتی در روش‌های استفاده از آن در کشاورزی و محیط زیست انجام دهند [۱].

پنوک و دی جانگ (۱۹۹۰) در مطالعه و تعیین ارتباط بین میزان فرسایش خاک با شیب زمین و نوع خاک با استفاده از اندازه‌گیری مقادیر سزیوم - ۱۳۷ موجود در سه نوع خاک و در شیب‌های متفاوت در جنوب کانادا مشاهده کردند که کمترین میزان فرسایش در شیب‌های کم و بیشترین مقدار آن در شیب‌های زیاد وجود دارد [۶]. بینگ‌یان و همکاران (۲۰۰۲) در

حوضه آبخیز گرگک یکی از زیر حوضه‌های شمالی رودخانه کارون است که در غرب شهرکرد واقع شده و دارای شرایط طبیعی بسیار حساس به فرسایش می‌باشد. این زیر حوضه دارای کیفیت برفی-بارانی بوده و حدود ۳۵۰ میلی‌متر نزولات سالیانه دارد و در منطقه زاگرس نمونه مناسبی برای مطالعات فرسایش، رسوب و تخریب اراضی است. سرعت تخریب خاک باعث از دست رفتن منابع خاک و آب و محیط زیست در آن شده است. فعالیت‌های دامپروری و دامداری بسیار زیاد، چرای بی‌موقع و مفرط، بهره‌برداری نامناسب از اراضی، کشت و کار بر روی اراضی شیب‌دار، عدم رعایت اصول عملیات حفاظت خاک و وجود سازندهای حساس به فرسایش از عوامل مهم و مؤثر در تولید رواناب و رسوب در کل منطقه است. بدین جهت اندازه‌گیری مقدار فرسایش با استفاده از سزیوم - ۱۳۷ در عارضه‌های سطحی مختلف حوضه و مشخص کردن نوع و شدت فرسایش و رسوب در هر یک از این موارد مورد توجه قرار گرفت.

۲- تئوری

فرسایش و رسوب تحولاتی طبیعی هستند که باعث شکل گرفتن سطح زمین می‌گردند؛ اما این تحولات در اثر فعالیت‌های بشری همچون تخریب جنگل‌ها، چرای بی‌رویه دام و عملیات زراعی نامناسب تشدید می‌شوند و به علت اثرهای منفی بزرگی که بر توسعه پایدار می‌گذارند، لازم است حدود، مقادیر و شدت واقعی و همچنین تأثیرات اقتصادی و زیست محیطی آنها بصورت کمی مشخص شوند [۱]. این پدیده با کاهش حاصلخیزی و تنوع زیست محیطی و ریزسازواره‌ها باعث تخریب بوم-سازگان (اکوسیستم‌های) طبیعی و کشاورزی می‌شود [۲]. تأثیر متقابل چهار عامل اصلی: اقلیم، جای‌نگاری (توپوگرافی)، پوشش گیاهی و خاک تعیین‌کننده مقدار فرسایش در یک منطقه است [۳].

برای برآورد مقادیر فرسایش و رسوب، روش‌های متفاوتی در نقاط مختلف جهان بکار گرفته شده است. از جمله این روش‌ها، کاربرد عنصر رادیوآکتیو سزیوم - ۱۳۷ می‌باشد. سزیوم فلزی قلیایی با خواص شیمیایی مشابه سدیم، پتاسیم و دیگر عناصر

وزش باد بر روی برف از خاک خارج می‌شود. آنان برای تعیین مقدار فرسایش خاک، فرمول زیر را پیشنهاد دادند:

$$A = (Cs \text{ Loss} * d * BD)$$

که در آن d ضخامت لایه‌ایست که سزیوم در آن وجود داشته، BD وزن مخصوص ظاهری خاک آن لایه و A مقدار خاک فرسایش یافته بر حسب گرم بر سانتی‌متر مربع است.

بوهلاسا (۲۰۰۰) میزان فرسایش و رسوب در اراضی شخم زده را به روش مدل بیلان وزنی ساده شده، از رابطه زیر حساب کرد:

$$Y = 10D * B [1 - X / 100]^{1.1963}$$

که در آن Y میانگین فرسایش خاک بر حسب تن در هکتار در سال، X درصد هدر رفت یا ازدیاد سزیوم، B توده ویژه ظاهری خاک بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و D عمق شخم بر حسب متر است [۹].

۴- روش کار

۴-۱ معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گرکک دارای طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه است. این حوضه آبخیز در غرب شهرگرد و در مسیر جاده شهرگرد به فارسان در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. وسعت حوضه گرکک ۲۸۷۰۰ هکتار می‌باشد که بخش عمده آن کوهستانی و تپه ماهوری و دارای پستی و بلندی زیاد تا متوسط است. بیشترین کلاس شیب این حوضه مربوط به شیب ۱۲ تا ۴۰ درصد است که بیش از ۵۳ درصد از اراضی را شامل می‌گردد. در این تحقیق ابتدا مدل رقومی ارتفاع^(۱) با رقومی کردن^(۲) نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه تهیه شد، و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی^(۳) عارضه‌های سطحی^(۴) مختلف حوضه جدا شدند. سپس بمنظور مطالعه فرسایش خاک در واحدهای مختلف زمین‌ساختارشناسی (ژئومورفولوژیکی)، تپه‌ای^(۵) در جهت شمالی انتخاب و در عارضه‌های سطحی جدا شده بر روی این تپه،

مطالعات سن‌بایی رسوبهای دریاچه دالیان در چین دریافتند که تغییرات محیطی صورت گرفته در ۴۰ سال اخیر را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار سزیوم-۱۳۷ رسوبهای این دریاچه مشخص کرد. این محققان با اندازه‌گیری مقدار سزیوم در این رسوبها تا عمق ۴۰ سانتی‌متری در مکانهایی به فاصله ۲ سانتی‌متر از یکدیگر و مشاهده تغییرات این مقادیر در مقایسه با مقادیر مرجع، نتیجه گرفتند که منشأ رسوبها در دو دوره مشخص، فرسایش آبی اراضی بالادست و در یک دوره معین رسوبهای بادآورده بوده است [۵].

۳- مدل‌های تعیین فرسایش

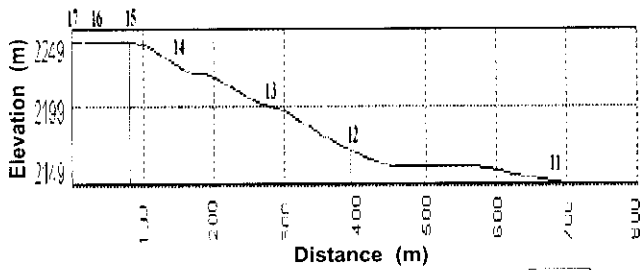
برای تبدیل مقادیر اندازه‌گیری شده سزیوم رادیوآکتیو موجود در خاک به مقدار فرسایش و رسوب، مدل‌های متفاوتی توسط محققان در کشورهای مختلف پیشنهاد شده است. پورتو و همکاران (۲۰۰۳) مقدار فرسایش و رسوب را در ۹ کرت آزمایشی که دارای شیب‌های متفاوت بودند به دو طریق اندازه‌گیری کردند: طریق اول جمع‌آوری رسوبهای آورده شده پس از هر بارندگی در انتهای کرت و روش دوم اندازه‌گیری مقادیر سزیوم-۱۳۷ در بالا، وسط و پایین شیب [۷]. این محققان با تعیین رابطه همبستگی بین اعداد بدست آمده به دو روش، مدل زیر را برای تعیین مقدار فرسایش خاک از روی مقادیر سزیوم رادیوآکتیو در کرت‌های آزمایشی متفاوت بدست آوردند:

$$Y = 4 / 0.162 X^{0.799}$$

پنوک و دی جانگ (۱۹۸۷) مقدار سزیوم هدر رفته خاکها در اثر فرسایش را از رابطه زیر حساب کردند:

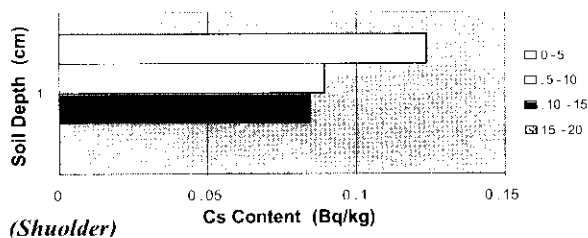
$$Cs \text{ Loss} = [0.90 Csc - Cse] / [0.90 Cse]$$

در این فرمول Csc میانگین سزیوم موجود در نقاط مرجع، و Cse مقدار سزیوم موجود در نمونه بر حسب بکرل بر متر مربع و $Cs \text{ Loss}$ درصد سزیوم هدر رفته است [۸]. این محققان فرض کردند که حدود ۰.۵٪ سزیوم از طریق جذب توسط گیاه، همچنین

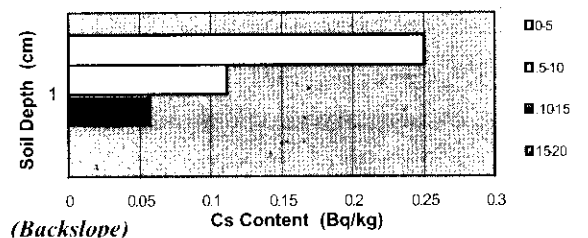


Δ	A	A	A	A	Ap
Bk	Bk1	Bk1	Bk	Bk	Bt
R	Bk2	Bk2	Bw	Bk1	Btk1
	Bk3	Bk2	BC	Btk2	2Btk2
	CR	BC	R	Btk3	3Btk3
	C	R		Btk4	3Btk4
				Btk5	3Btk5
				Btk6	4Btk6
				Btk7	5Btk7
				C	5C

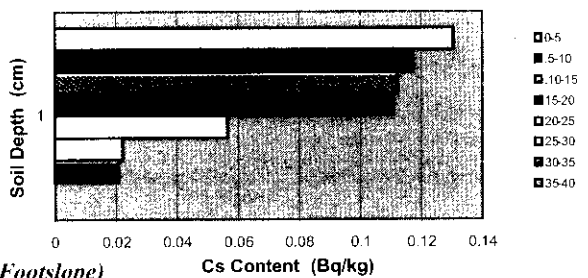
شکل ۱- ترانسکت تهیه شده از شیب جنوبی و محل پروفیل‌های حفر شده.



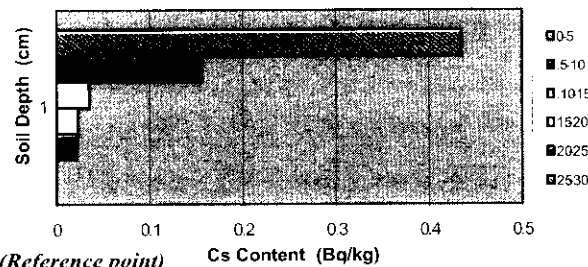
(Shoulder)



(Backslope)



(Footslope)



(Reference point)

شکل ۲- مقادیر سزیموم-۱۳۷ در پروفیل‌های عارضه‌های مختلف در مقایسه با نقطه مرجع.

نمونه‌برداری خاک تا عمق ۵۰ سانتی متری از سطح و به فاصله ۵ سانتی متر از یکدیگر بمنظور اندازه‌گیری مقدار سزیموم-۱۳۷ انجام گرفت.

برای مطالعات فرسایش و رسوب، سه نوع اندازه‌گیری لازم است صورت پذیرد الف) مقدار سزیموم اولیه خاک در یک محل مرجع (محلی که نه در معرض رسوب و نه تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته باشد) اندازه‌گیری شود. محل مرجع در همین حوضه آبخیز بر روی یک قطعه زمین تقریباً مسطح در ارتفاع ۲۴۶۰ متری (بالا ترین ارتفاع نسبت به اراضی اطراف) که رسوبهایی بر روی آن قرار نگرفته و خود نیز به سبب نداشتن شیب در معرض فرسایش نبوده است، انتخاب شد. قابل ذکر است که نقطه مرجع از نظر میزان بارندگی و ...، شرایطی مشابه نقاط مورد مطالعه داشته است. ب) مقدار سزیموم باقیمانده در خاک هر عارضه سطحی پس از فرسایش و رسوب تعیین گردد. ج) مساحت محدوده مشخص شود. از مقایسه مقادیر سزیموم باقیمانده با سزیموم اولیه، مقدار فرسایش خاک یا رسوب بدست می‌آید [۴]. اندازه‌گیری آکتیویته سزیموم-۱۳۷ با استفاده از آشکارساز نیمه‌هادی ژرمانیومی با خلوص بالا در آزمایشگاه سازمان انرژی اتمی ایران انجام گرفت. زمان شمارش ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد. مقدار سزیموم رادیو آکتیو بر حسب بکرل بر کیلوگرم خاک تعیین، سپس با استفاده از وزن مخصوص خاک به واحد بکرل بر متر مربع تبدیل شد.

۵- یافته‌ها و بحث

شکل ۱ زمین‌نمای^(۶) انتخابی، محل حفر و شماره نیمرخ‌ها (پروفیل‌ها)، افق‌های مختلف هر نیمرخ و عمق خاک در هر عارضه سطحی را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری سزیموم رادیو آکتیو در فاصله‌های ۵ سانتی متری از سطح خاک شروع و تا عمق ۵۰ سانتی متری ادامه داشت. این نتایج در جدول شماره ۱ و شکل‌های شماره ۲ ارائه شده است. در پروفیل شماره ۱۷ که مربوط به عارضه سطحی شانه شیب^(۷) می‌باشد عمق وجود سزیموم رادیو آکتیو در این خاک تا ۱۵ سانتی متری از سطح بوده و مقدار سزیموم در عمق ۰ تا ۵ سانتی متری برابر ۰/۱۲۳۵ بکرل بر کیلوگرم، در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری برابر ۰/۰۸۹۲، در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری، ۰/۰۸۴۳ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری، صفر بوده است. در پروفیل شماره ۱۴ واقع بر



جدول ۱- مقادیر سزیوم-۱۳۷ و محاسبه فرسایش در عمق‌های متفاوت لندفرم‌های مختلف.

عارضه سطحی	شماره نیمرخ	عمق (cm)	وزن مخصوص ظاهری (kg m^{-3})	مقدار سزیوم (Bq kg^{-1})	مقدار سزیوم (Bq m^{-2})	سزیوم از دست رفته (%)	خاک هدر رفته (t/ha yr^{-1})	فرسایش خاک (t/ha yr^{-1})
شانه شیب	۱۷	۰-۵	۱۵۲۱/۲	۰/۱۲۳۵	۹/۳۹۳	۰/۳۴۹	۸۰۰/۲	۲۰۰
		۵-۱۰	۱۵۱۱/۳	۰/۰۸۹۲	۶/۷۴۰			
		۱۰-۱۵	۱۵۵۳/۳	۰/۰۸۴۳	۶/۵۴۷			
		۱۵-۲۰	۱۵۰۵/۲	۰	۰			
						کل = ۲۲/۶۸		
پشت شیب	۱۴	۰-۵	۱۲۱۰/۵	۰/۲۵۰۰	۱۵/۱۳۱	۰/۲۷۶	۴۹۶/۷	۲۴/۸۳۵
		۵-۱۰	۱۱۸۹/۳	۰/۱۱۱۶	۶/۶۳۶			
		۱۰-۱۵	۱۱۹۹/۶	۰/۰۵۷۳	۳/۴۳۷			
		۱۵-۲۰	۱۲۰۵/۳	۰	۰			
						کل = ۲۵/۲۰		
پای شیب	۱۲	۰-۵	۱۲۱۱/۳	۰/۱۳۰۴	۷/۸۹۸	۰/۰۴۵	۱۹۱/۳	۴/۷۸۳
		۵-۱۰	۱۲۱۵/۳	۰/۱۱۷۳	۸/۵۴			
		۱۰-۱۵	۱۲۰۴/۵	۰/۱۱۲۱	۷/۱۲۸			
		۱۵-۲۰	۱۲۲۱/۲	۰/۱۱۰۹	۶/۷۷۲			
		۲۰-۲۵	۱۲۳۳/۳	۰/۰۵۶۵	۳/۴۸۴			
		۲۵-۳۰	۱۲۱۱/۲	۰/۰۲۲۰	۱/۳۳۲			
		۳۰-۳۵	۱۲۰۳/۲	۰/۰۲۰۸	۱/۲۵۱			
		۳۵-۴۰	۱۲۰۷/۲	۰	۰			
				کل = ۳۶/۴۰				
نقطه مرجع	۱۸	۰-۵	۱۰۹۰/۵	۰/۴۳۵۱	۲۳/۷۲۴	-	-	-
		۵-۱۰	۱۰۹۸/۶	۰/۱۵۵۹	۸/۵۶۴			
		۱۰-۱۵	۱۱۰۸/۳	۰/۰۳۵۱	۱/۹۴۵			
		۱۵-۲۰	۱۱۰۵/۱	۰/۰۲۲۵	۱/۲۴۳			
		۲۰-۲۵	۱۱۱۲/۲	۰/۰۲۱۴	۱/۱۹۰			
		۲۵-۳۰	۱۱۰۸/۳	۰	۰			
				کل = ۳۶/۶۶				

عارضه سطحی پشت شیب^(۸) عمق وجود سزیوم تا ۱۵ سانتی متری از سطح بوده، مقدار سزیوم در عمق ۰ تا ۵ سانتی متری ۰/۲۵ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری برابر ۰/۱۱۱۶ و در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری برابر ۰/۰۵۷۳ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری صفر بوده است. در پروفیل شماره ۱۲ واقع بر عارضه سطحی پای شیب^(۹)، سزیوم تا عمق ۳۵ سانتی متری وجود داشته و مقادیر سزیوم از سطح تا عمق ۳۵ سانتی متری خاک که در فواصل ۵ سانتی متری از سطح تا عمق ۳۰ سانتی متری اندازه گیری شده به ترتیب ۰/۴۳۵۱، ۰/۱۵۵۹، ۰/۰۳۵۱، ۰/۰۲۲۵، ۰/۰۲۱۴ و ۰/۰۲۱۴ صفر بوده است. روند تغییرات سزیوم رادیوآکتیو در نقطه مرجع

عارضه سطحی پشت شیب^(۸) عمق وجود سزیوم تا ۱۵ سانتی متری از سطح بوده، مقدار سزیوم در عمق ۰ تا ۵ سانتی متری ۰/۲۵ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۵ تا ۱۰ سانتی متری برابر ۰/۱۱۱۶ و در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری برابر ۰/۰۵۷۳ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری صفر بوده است. در پروفیل شماره ۱۲ واقع بر عارضه سطحی پای شیب^(۹)، سزیوم تا عمق ۳۵ سانتی متری وجود داشته و مقادیر سزیوم از سطح تا عمق ۳۵ سانتی متری خاک که در فواصل ۵ سانتی متری اندازه گیری شد، به ترتیب از سطح به عمق ۰/۱۱۰۹، ۰/۱۱۲۱، ۰/۱۱۷۳، ۰/۱۳۰۴، ۰/۰۲۲۵، ۰/۰۲۱۴ و ۰/۰۲۰۸ بکرل بر کیلوگرم و در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری برابر ۰/۱۱۰۹ و در عمق ۲۰ تا ۲۵ سانتی متری برابر ۰/۰۲۲۰ و در عمق ۳۰ تا ۳۵ سانتی متری برابر ۰/۰۲۰۸ و در عمق ۳۵ تا ۴۰ سانتی متری صفر بوده است.



اندک (۴/۸- تن در هکتار در سال) بدست آمده است به این معنی که در این عارضه سطحی فرسایش ایجاد نشده بلکه به مقدار اندکی افزایش (رسوب) ایجاد شده است.

۶- نتیجه گیری

مطالعات فرسایش خاک به وسیله سزیوم-۱۳۷ نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش در عارضه سطحی شانه شیب بوده و پس از آن، پشت شیب مقادیر کمتری فرسایش داشته است. بر اساس داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری سزیوم، عارضه سطحی پای شیب در چهل سال گذشته فرسایشی نداشته بلکه مقدار کمی رسوب داشته است. مشاهدات ساختارشناسی (مورفولوژیکی) نیز این نتایج را تأیید می‌کند. در نیمرخ واقع در پای شیب نشانه‌های تحوّل و تکامل خاک، از جمله تجمع آهک و تشکیل افق کلسیک، تجمع رس و تشکیل افق آرجیلیک، حاکی از تثبیت موقعیت این خاک‌ها به مدت نسبتاً طولانی است (شکل ۱). اگرچه وجود تناوب رسوب در این خاک‌ها بیانگر سیل‌های متناوبی است که منجر به رسوب لایه‌های متفاوت خاک در زمان‌های مختلف شده است، با وجود این به نظر می‌رسد که این سیل‌ها و رسوب‌ها حداقل مربوط به قبل از چهل سال اخیر باشد. بطور کلی در نوع و شکل شانه شیب و پشت شیب که در معرض دائمی فرسایش قرار دارند افق‌های تشکیل شده در خاک‌ها افق مشخصه کمبیک و کلسیک هستند ولی در خاک‌های تثبیت شده پایین شیب یعنی عارضه‌های سطحی پای شیب و انتهای شیب افق، آرجیلیک هم تشکیل شده و خاک‌ها در رده آلفی سولز قرار گرفته‌اند. بطوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، عمق سولوم خاک در شانه شیب (پروفیل ۱۷) که بیشترین مقدار فرسایش را داشته ۳۸ سانتی‌متر، در لندفرم پشت شیب (پروفیل ۱۴) که فرسایش کمتری داشته ۷۵ سانتی‌متر و در پای شیب (پروفیل ۱۲) که فرسایشی در آن صورت نگرفته ۱۸۰ سانتی‌متر است. در خاتمه پیشنهاد می‌شود مطالعات فرسایش خاک به وسیله سزیوم رادیوآکتیو در تعداد زیادتری نمونه حداقل به تعداد ۱۰۰ نقطه و در حداقل ۶ ترانسکت در جهات مختلف که همه عارضه‌های سطحی حوضه آبخیز را بپوشاند انجام گیرد تا بتوان برآورد دقیق‌تری از میزان فرسایش خاک در کل حوضه بدست آورد.

در شکل شماره ۲ ارائه شده است. بطوری که مشاهده می‌شود، این مقادیر از بالا به پایین پروفیل کاهش می‌یابند. والبرینگ و همکاران (۲۰۰۲-ب) نیز نتیجه‌گیری کرده‌اند که در خاک‌های بهم نخورده حداکثر غلظت سزیوم رادیوآکتیو بطور کلی تا عمق حدود ۱۰ میلی‌متری از سطح بوده و غلظت آن بصورت تابع نمایی باعمق کاهش می‌یابد [۱۰]. در مطالعه دیگری نیز والبرینگ و همکاران (۲۰۰۲-الف) مشاهده کردند که بیشترین مقدار سزیوم در ۱۰ سانتی‌متری خاک سطحی وجود دارد و با افزایش عمق، مقدار سزیوم در خاک کاهش می‌یابد [۴]. باچی و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه میزان فرسایش و رسوب در حوزه رودخانه پیراسیکا با در برزیل مشاهده کردند که مقادیر سزیوم اندازه‌گیری شده در نقاط مرجع از سطح به عمق بطور یکنواخت کاهش داشت و این کاهش نشان می‌داد که نقاط مرجع درست انتخاب شده‌اند [۱۱].

برای تعیین مقدار کل سزیوم در واحد سطح (به صورت بکرل بر متر مربع)، بر اساس مدل‌های ارائه شده توسط پنوک و دی‌جانگ (۱۹۸۷)، همچنین والینگ و کوپین در ۱۹۹۳ [۸] و [۱۲]، مقدار سزیوم بدست آمده بر حسب بکرل بر کیلوگرم خاک را در ضخامت لایه خاک و توده ویژه ظاهری آن لایه ضرب می‌کنیم. مقدار سزیوم در خاک واقع بر عارضه سطحی شانه شیب برابر ۲۲/۶۸ بکرل بر متر مربع، در خاک پشت شیب ۲/۲۰۴ بکرل بر متر مربع، در خاک پای شیب برابر ۳۶/۴۰۵ بکرل بر متر مربع و در خاک مرجع ۳۶/۶۶۶ بکرل بر متر مربع بدست آمد. مشاهده می‌شود که مقدار سزیوم در شانه شیب و پشت شیب کمتر از مقدار آن در نقطه مرجع است. این پدیده، شاهدی بر فرسایش خاک در این عارضه‌ها و انتقال خاک‌های آن به پایین شیب است. مشابه همین نتیجه‌گیری توسط پنوک و دی‌جانگ (۱۹۹۰) در مطالعه شدت فرسایش و رسوب در یک زمین‌ما در کانادا بدست آمد [۶]. تعیین شدت فرسایش یا رسوب سالانه از طریق تقسیم کل فرسایش یا رسوب بدست آمده در هر عارضه سطحی تقسیم بر تعداد سال (از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ یعنی ۴۰ سال) بدست آمد [۶]. بطوری که از داده‌های جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقدار فرسایش خاک در عارضه سطحی شانه شیب ۲۰۰ تن در سال، در پشت شیب ۲۴/۸ تن در سال در هر هکتار اراضی برآورد شده است. در پای شیب مقدار فرسایش منفی و بسیار



تشریح و قدردانی

پی‌نوشت‌ها:

- ۱- Digital Elevation Model (DEM)
- ۲- Digitizing
- ۳- GIS: Geographic Information System
- ۴- Landforms
- ۵- Hillslope
- ۶- Landspace
- ۷- Shoulder Landform
- ۸- Backslope Landform
- ۹- Footslope Landform

بدینوسیله از آقای دکتر قریب رئیس بخش فیزیک بهداشت سازمان انرژی اتمی ایران و آقایان کرملو، عباسی و پورنعمی کارشناسان آزمایشگاه آن سازمان که اندازه‌گیری سزیوم-۱۳۷ در نمونه‌های خاک را به عهده داشتند تشکر می‌شود. این مقاله بخشی از پایان‌نامه دکترای خاکشناسی در واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی می‌باشد.

References:

1. F. Zapata and E. Garcia-Agudo, "Future prospects for the 137Cs technique for estimating soil erosion and sedimentation rates," ACTA GEOLOGICA HISPANICA, **35**, No. 3-4, 197-205 (2000).
2. D. Pimentel and C. Harvey, "Ecological effects of soil erosion. in: Walker," L.R.(ed.) Ecosystems of disturbed ground, Elsevier.Amsterdam, 123-135 (1999).
3. D.O. Schwab, D.D. Fangmeier, W.J. Elliot, R.K. Frevert, "Soil and water conservation engineering," 4th Edition, John Willey and Sons, Inc.New York (1993).
4. P.J. Wallbrink, V. Belyaev, V.N. Golosov, A.S. Sidorchuk, A.S. Murray, "Use of radionuclide, field based and erosion modeling methods for quantifying rates and amounts of soil erosion processes," CSIRO Land and Water consultancy report (2002).
5. Ping Yan, Peijun Shi, Shangyu Gao, Ling Chen, Xinbao Zhang, Lixin Bai, "137Cs dating of lacustrine sediments and human impacts on Dalian Lake," Qinghai Province, China.Catena, **47**, 91- 99 (2002).
6. D.J. Pennock and E.de jong, "Rates of soil redistribution associated with soil zones and slope classes in Southern Saskatchewan," Can.J.Soil Sci., **70**, 325-334 (1990).
7. P. Porto, D.E. Walling, V. Tamburinob, G. Callegaric, "Relating caesium-137 and soil loss from cultivated land," Catena, **53**, 303-326 (2003).
8. D.J. Pennock and E.de jong, "The Influence of slope curvature on soil erosion and deposition in hummock terrain," Soil Science, **144**, 209-217 (1987).
9. Bouhlassa, M. Moukhchane, A. Aiachi, "Estimates soil erosion and deposition of cultivated soil of nakhla watershed, Morocco , using Cs-137 technique and Calibration models," ACTA GEOLOGIA HISPANICA, **35**, 239-249 (2000).
10. P.J. Wallbrink, B.P. Roddy, J.M. Olley, "B.A tracer budget quantifying soil redistribution on hillslopes after forest harvesting," Catena, **47**, 179-201 (2002).
11. O.O.S. Bacchi, K. Reichard, G. Sparovek, S.B.L. Ranieri, "Soil erosion evaluation in a small watershed in Brazil through 137Cs fallout redistribution analysis and conventional models," ACTA GEOLOGICA HISPANICA, **35**, 251-259 (2000).
12. D.E. Walling and T.A. Quine, "Use of Caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the Application of the Caesium-137 Technique," Department of Geography, University of Exeter, Exeter, 15-97 (1993).