

# اندازه گیری میزان فرسایش و رسوب در حوضه آبخیز گرگک با استفاده از سزیم رادیواکتیو

ناصر هنرجو، شهلا محمودی، امیر حسین چرخابی، عباس علممحمدی، حسین غفوریان و احمد جلالیان

به ترتیب عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، دانشیار پژوهشی مرکز تحقیقات انرژی اتمی و استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

## مقدمه

حوضه آبخیز گرگک یکی از زیر حوضه های شمالی رودخانه کارون بوده که در غرب شهرکرد واقع شده و دارای شرایط طبیعی بسیار حساس به فرسایش می باشد. این زیرحوضه نمونه مناسبی از کل منطقه زاگرس جهت مطالعات فرسایش، رسوب و تخریب اراضی می باشد. تراکم شدید فعالیت های دامپروری و دامداری، چرای بی موقع و مفرط و بهره برداری نامناسب از اراضی، کشت و کار بر روی اراضی شیب دار و عدم رعایت اصول عملیات حفاظت خاک و وجود سازند های حساس به فرسایش از عوامل مهم و مؤثر در تولید رواناب و رسوب در کل منطقه است. بدینجهت در این تحقیق با دیجیت کردن نقشه های توپوگرافی حوضه، جدا سازی واحدهای ژئومورفولوژیکی یکسان موجود در حوضه یعنی لندفرم ها بکمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت پذیرفت. سپس در لندفرم های مختلف دو ترانسکت واقع بر دو دامنه در شیب های جنوبی و شمالی در حوضه، مطالعات فرسایش آبی با استفاده از سزیم رادیواکتیو انجام گرفت و ارتباط بین نوع، و شدت فرسایش و رسوب در لندفرم های مختلف مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

## الف: ژئومورفولوژی

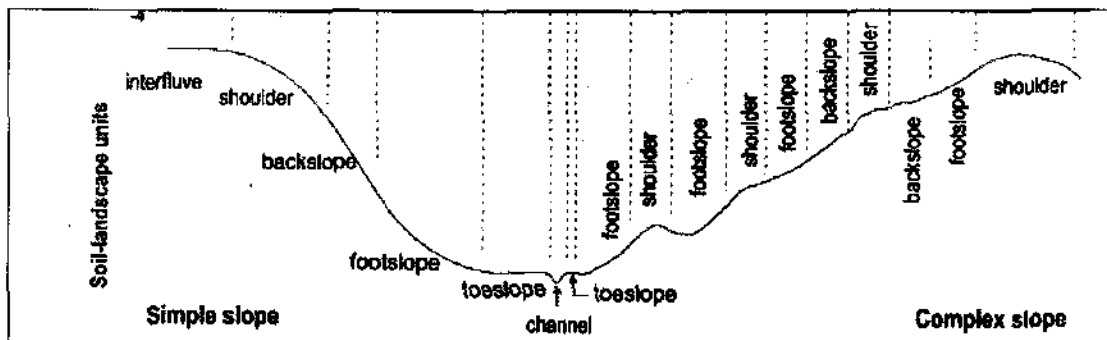
به طور کلی در اولین تقسیم بندی یک زمین نما (landscape) از نقاط مرتفع به مناطق پست بترتیب اجزاء ژئومورفولوژیکی تاج شیب، شانه شیب، پشت شیب، پایه شیب، و انتهای شیب (شکل ۱) دیده می شوند (جرارد ۱۹۹۲). تاج شیب مرتفع ترین قسمت یک زمین نما،

شانه شیب در مجاورت تاج شیب بوده و دارای شیب محذب و فرسایش سطحی شدید است. پشت شیب قسمتی از زمین نما است که شیب خطی دارد. انتقال مواد خاکی به پایین در این واحد همراه با جریان آب، به صورت واریزه، لغزش، یا در اثر ضربات باران، سستشوی سطح خاک و نیز شخم و شیار ممکن است صورت پذیرد. پایین شیب قسمتهایی از زمین نما است که در آن شیب کم می گردد و شیب بصورت مقعر است. رسوب ذرات درشت کوهرفتی از قسمت های بالایی شیب در این واحد مشاهده می گردد. انتهای شیب که در آن شیب خیلی کم شده و در واقع نزدیک ترین قسمت به آبراهه است. میزان مواد رسی در آن بیشتر از لندفرم های بالایی بوده و بیشترین میزان رسوبگذاری در آن دیده می شود (جرارد ۱۹۹۲). توپوگرافی یکی از عوامل اصلی است که بر نوع و مشخصات خاک تاثیر می گذارد. پستی و بلندی تعیین کننده انرژی، پراکنش و تجمع آب در یک زمین نما است که این عوامل خود کنترل کننده بافت خاک، شرایط زهکشی خاک، و شدت تحول و تکامل خاک است (روتز ۲۰۰۳).

در تهیه نقشه های مختلف از جمله نقشه های ژئومورفولوژی یک حوضه امروزه داده های ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی توانسته است نه تنها کاستی های روش های سنتی را برطرف کند بلکه امکان مطالعه تغییرات بوجود آمده در چند سال اخیر را فراهم نماید. باربارا ایروین و همکاران (۱۹۹۵) به سه روش اقدام به جداسازی لندفرم ها در جنوب غربی ویسکانسین در منطقه ای بوسعت ۵۰ هکتار نمودند. روش اول روش سنتی تقسیم زمین نما از طریق تفسیر استریوسکوپی عکس های

لندفرم ابتدا به کمک برنامه سرفیس ۲ (Surface II software) مدل رقمی ارتفاع ساخته و سپس از روی آن لایه های شیب، انحنای عمودی و انحنای افقی (Gradient Profile Curvature, Plan Curvature) تولید کردند و با ترکیب این لایه ها اجزاء لندفرم را بدست آوردند. توبی (۲۰۰۰) در پایان نامه خود در دانشگاه ایالتی واشنگتن با استفاده از لایه های شیب، جهت، ارتفاع، انحنای عمودی، تجمع جریان، CTI، هیل شید، و جهت جریان (aspect slope, Flow Accumulation, profile curvature, elevation, shade Hill, CTI) اقدام به جداسازی لندفرم‌ها کرد. پارک (۲۰۰۲) با ساخت هشت لایه ارتفاع، شیب، جهت، انحنای افقی، انحنای عمودی، شاخص قدرت رواناب، و شاخص رطوبت لندفرم‌های منطقه را از هم جدا نمود. در مقاله جدیدی از پتوک (۲۰۰۳) وی از ساخت لایه های جدیدی تحت نام SDASCA خبر می دهد که این لایه ها را به کمک DEM ساخته است. وی علاوه بر دو لایه فوق به کمک چهار لایه جهت، شیب، انحنای افقی، و انحنای عمودی اقدام به جدا سازی لندفرم‌ها کرد.

هوایی و یا نقشه های توپوگرافی با توجه به تغییرات شیب و ارتفاع بود. دو روش دیگر بر اساس استفاده از نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی با ساخت نقشه مدل رقمی ارتفاع Digital Elevation Model (DEM) شروع شد و سپس به کمک نرم افزار های آرک اینفو، تیپز-ج و مک فازی (ArcInfo, TAPE G, Mac Fuzzy) نقشه ارتفاعی، نقشه شیب، نقشه انحنای عمودی، نقشه انحنای افقی، نقشه شاخص توپوگرافی مرکب، و نقشه تشعشع خورشیدی (Elevation, Slope, profile curvature, plan curvature, compound topographic index Incident Solar Radiatio) استنتاج گردید. سپس با ترکیب نقشه های فوق و به کمک نمونه های طیفی و استفاده از روش طبقه بندی نظارت نشده به روش حداکثر احتمال (Maximum likelihood classification) منطقه به شش لندفرم تقسیم گردید. در این روش هر نقطه فقط به یک لندفرم تعلق داشت. روش سوم، روش فازی یا پیوسته بود. در این روش هر نقطه فقط به یک لندفرم تعلق نداشت بلکه نسبت تعلق آن به هر لندفرم مشخص می گردید. این تقسیم بندی با استفاده از نرم افزار مک فازی انجام گردید. پتوک و دی جانگ (۱۹۸۷) برای تقسیم یک زمین نما به انواع



شکل (۱) لندفرم‌های موجود در یک زمین نما در دو حالت شیب ساده و کمپلکس (پارک ۲۰۰۲).

#### ب- فرسایش

خاک های موجود در طول ترانسکت واقع در دامنه، فرسایش اراضی زراعی بوده است. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی بر روی تپه‌های شیب دار از مرتع یا جنگل به کشاورزی در کاهش هدر رفت خاک و بهبود کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه بسیار موثر بوده است. برای برآورد مقدار فرسایش و رسوب روش های متفاوتی در نقاط مختلف دنیا بکار گرفته شده است. از جمله این روش ها استفاده از عنصر رادیو اکتیو سزیم-۱۳۷ می باشد. سزیم یک فلز قلیایی با خصوصیات شیمیایی مشابه سدیم، پتاسیم، و دیگر عناصر گروه I در جدول تناوبی است (والبرینگ و همکاران ۲۰۰۲). عنصر سزیم - ۱۳۷ منبع طبیعی نداشته و حاصل ریزش از آزمایشات اتمی انجام شده در فضا در دهه ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ می باشد. این آزمایشات تا سال ۱۹۶۳ ادامه یافته ولی از آن پس بعلمت عقد پیمان های عدم گسترش آزمایشات اتمی،

فرسایش و رسوب پدیده های طبیعی هستند که باعث شکل گرفتن سطح زمین می گردند، اما این تحولات بواسطه فعالیت های بشری تشدید می شوند. این پدیده با کاهش حاصلخیزی و تنوع زیستی و میکروارگانسیم ها باعث تخریب اکوسیستم های طبیعی و کشاورزی می شود. تاثیر متقابل چهار عامل اصلی اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی و خاک تعیین کننده مقدار فرسایش در یک منطقه است (شواب ۱۹۹۳). لی و همکاران (۲۰۰۱) در پلاتوهای لسی نزدیک یالن در چین وجود روابط همبستگی بین فرسایش و کیفیت خاک را مورد آزمون قرار دادند. این محققین با اندازه گیری مقادیر سزیم-۱۳۷ و پارامترهای کیفیت خاک نظیر موادالی، وزن مخصوص ظاهری و مواد غذایی قابل استفاده گیاه در دو زمین نما مشاهده کردند که منشا اصلی تغییرات در کیفیت

متوقف گردیده است. نیمه عمر این عنصر رادیواکتیو  $30/2$  سال بوده، جذب آن توسط گیاهان بسیار جزئی و قابل چشم پوشی است و پس از ریزش از جو، بشدت جذب ذرات کلوییدی رس و مواد آلی خاک گردیده، و با این ذرات قویا تشکیل کمپلکس داده تقریبا بشکل غیر تبدالی در می آید. آبشویی آن از خاک نیز اندک است (والبرینگ و همکاران ۲۰۰۲). بطور کلی تحرک سزیم  $137$  در خاک بصورت شیمیایی و بیولوژیکی بسیار کم بوده و فقط بصورت فیزیکی همراه ذرات کلوییدی در خاک جابجا میشود. پراکنش مجدد آن اصولا همراه با تحولات فیزیکی در خاک نظیر فرسایش و شخم می باشد و به این جهت می تواند بعنوان یک نشاندار مناسب برای تعیین جابجایی خاک از طریق فرسایش آبی یا فرسایش بادی و یا... در  $40$  سال اخیر مورد استفاده قرار گیرد (پینگ یان و همکاران ۲۰۰۰). اساس محاسبه فرسایش به روش سزیم رادیواکتیو بر مبنای مقایسه مقدار سزیم  $137$  (بر حسب بکرل بر مترمربع) موجود در خاک در معرض فرسایش با یک سطح مرجع است. کاهش نسبی سزیم در خاک نسبت به سطح مرجع نشاندهنده فرسایش و افزایش نسبی سزیم نشاندهنده رسوب یا افزایش به خاک است.

پنوک و دی جانگ (۱۹۹۰) در مطالعه و تعیین ارتباط بین میزان فرسایش خاک با شیب زمین و نوع خاک با استفاده از اندازه گیری مقادیر سزیم رادیواکتیو موجود در سه نوع خاک، و در شیب های متفاوت در جنوب کانادا مشاهده کردند که کمترین میزان فرسایش در شیب های کم و بیشترین میزان فرسایش در شیب های زیاد وجود دارد. پینگ یان و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات سن یابی رسوبات دریاچه دالیان در چین دریافتند که تغییرات محیطی صورت گرفته در  $40$  سال اخیر را می توان با اندازه گیری مقدار سزیم رسوبات دریاچه مشخص کرد. این محققین با اندازه گیری مقدار سزیم این رسوبات تا عمق  $40$  سانتیمتری بفاصله  $2$  سانتیمتر از یکدیگر و مشاهده تغییرات این مقادیر و مقایسه با مقادیر مرجع نتیجه گیری کردند که منشأ رسوبات در دو دوره مشخص، فرسایش آبی اراضی بالادست و در یک دوره معین رسوبات بادآورده بوده است.

که در آن  $d$  ضخامت لایه ایست که سزیم در آن وجود داشته و  $BD$  وزن مخصوص ظاهری خاک آن لایه است. بوهلاسا (۲۰۰۰) میزان فرسایش و رسوب در اراضی شخم خورده را به روش مدل بیلان وزنی ساده شده بصورت زیر محاسبه کرد:

$$Y = 10 BD [(1-X)/100][1/(t-1963)]$$

$Y$  مقدار فرسایش خاک در سال  $t$  و  $X$  درصد هدر رفت یا ازدیاد سزیم،  $B$  وزن مخصوص ظاهری خاک و  $D$  عمق شخم است.

#### مواد و روش ها

##### - معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گرکک دارای طول جغرافیایی  $30^{\circ}$  تا  $45^{\circ}$  عرض جغرافیایی  $30^{\circ}$  تا  $32^{\circ}$  تا  $33^{\circ}$  می باشد. این حوضه در غرب شهرکرد و در مسیر جاده شهرکرد به فارسان در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. وسعت حوضه گرکک  $28700$  هکتار می باشد که بخش عمده آن کوهستانی و تپه ماهوری و دارای پستی و بلندی زیاد تا متوسط است. بیشترین و کمترین ارتفاع نقاط زیر حوضه انتخاب شده از سطح دریا به ترتیب برابر  $2930$  و  $2030$  متر می باشد. بیشترین کلاس شیب این حوضه مربوط به شیب  $12$  تا  $40$  درصد است که بیش از  $52$  درصد از اراضی را شامل می گردد.

##### - مطالعات ژئومورفولوژی

در این تحقیق ابتدا مدل رقومی ارتفاع با دیجیت کردن نقشه های توپوگرافی  $1/25000$  منطقه تهیه گردید. اندازه سلول های شبکه  $16$  متر بود. با استفاده از این مدل و به کمک قابلیت های مختلف موجود در نرم افزارهای آرک وی، ایدریس، و ارداس (ArcView, Idrisi, and ERDAS softwares) نقشه های ارتفاع، شیب، جهت، انحنای افقی، انحنای عمودی، شاخص توپوگرافی مرکب (سی تی آی)، و هیل شید (Hillshade) ساخته شدند. با ترکیب این نقشه ها و سپس با استفاده از طبقه بندی نظارت نشده و با تبدیل هیستوگرام داده ها به پراکنش گوسین که با گرفتن لگاریتم از آنها امکانپذیر است و نیز طبقه بندی نظارت شده واحد های ژئومورفولوژیکی مختلف موجود در این زمین نما بترتیب زیر از هم جدا شدند: تاج شیب، شانه شیب، پشت شیب، پای شیب، و انتهای شیب

پنوک و دی جانگ (۱۹۹۰) در مطالعه و تعیین ارتباط بین میزان فرسایش خاک با شیب زمین و نوع خاک با استفاده از اندازه گیری مقادیر سزیم رادیواکتیو موجود در سه نوع خاک، و در شیب های متفاوت در جنوب کانادا مشاهده کردند که کمترین میزان فرسایش در شیب های کم و بیشترین میزان فرسایش در شیب های زیاد وجود دارد. پینگ یان و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعات سن یابی رسوبات دریاچه دالیان در چین دریافتند که تغییرات محیطی صورت گرفته در  $40$  سال اخیر را می توان با اندازه گیری مقدار سزیم رسوبات دریاچه مشخص کرد. این محققین با اندازه گیری مقدار سزیم این رسوبات تا عمق  $40$  سانتیمتری بفاصله  $2$  سانتیمتر از یکدیگر و مشاهده تغییرات این مقادیر و مقایسه با مقادیر مرجع نتیجه گیری کردند که منشأ رسوبات در دو دوره مشخص، فرسایش آبی اراضی بالادست و در یک دوره معین رسوبات بادآورده بوده است.

##### پ - مدل های محاسبه فرسایش

جهت تبدیل مقادیر اندازه گیری شده سزیم رادیواکتیو موجود در خاک به مقدار فرسایش و رسوب مدل های متفاوتی در نقاط مختلف دنیا پیشنهاد شده است. پورتو و همکاران (۲۰۰۳) مقدار فرسایش و رسوب را در  $9$  کرت آزمایشی که دارای طول شیب و زاویه شیب متفاوت بودند به دو طریق اندازه گیری کردند. طریق اول جمع آوری رسوبات آورده شده پس از هر بارندگی در انتهای کرت و روش دوم اندازه گیری مقادیر سزیم رادیواکتیو در بالا، وسط و پایین شیب بود. این محققین پس از آن با ایجاد رابطه همبستگی بین اعداد بدست آمده به دو روش، مدل زیر را برای محاسبه مقدار فرسایش خاک از روی داده های سزیم رادیواکتیو در کرت های آزمایشی متفاوت بدست آوردند:

$$Y = 41.062 X^{0.99}$$

پنوک و دی جانگ (۱۹۸۷) مقدار سزیم هدر رفته از خاک ها در اثر فرسایش را از فرمول زیر محاسبه کردند:

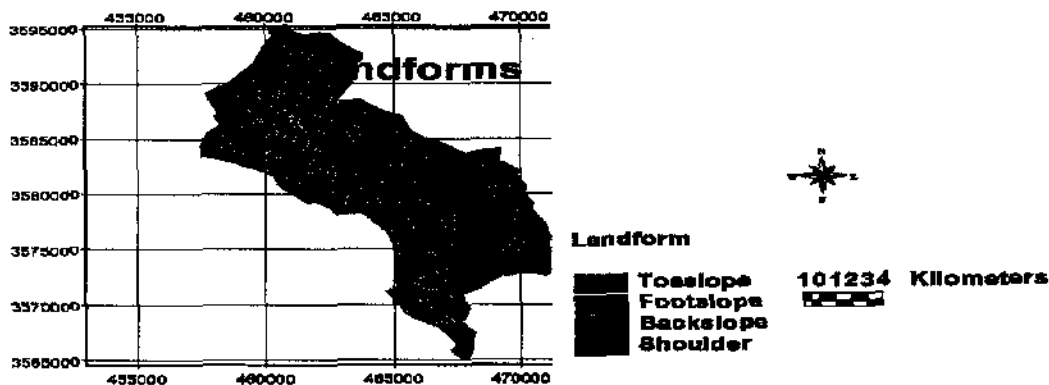
## - مطالعات فرسایش خاک

به منظور مطالعات فرسایش خاک در واحد های مختلف ژئومورفولوژیکی، دو تپه که یکی از آنها جهت شمالی و دیگری جهت جنوبی داشته و در امتداد هم بودند انتخاب شدند. اندازه گیری سزیم رادیواکتیو در فواصل ۵-۱۰ سانتیمتری از سطح خاک شروع و تا عمق ۶۰ سانتیمتری ادامه داشت. سزیم اشعه گامای قوی ای منتشر می کند که می تواند توسط یک آشکارساز نیمه هادی ژرمانیوم شناور در لیتیوم فعال شده و سپس با یک تجزیه کننده چند کاناله برای جداسازی و تعیین پیک اشعه گامای ۶۶۲ کیلو الکترون ولت اندازه گیری می شود. زمان شمارش ۲۴ ساعت در نظر گرفته شد. مقادیر سزیم رادیواکتیو بر حسب بکرل بر کیلوگرم خاک گزارش شده است.

## نتایج و بحث

شکل (۲) نقشه لندفرم تهیه شده به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز گرگک را نشان می دهد. به کمک عکس های هوایی

منطقه نیز به روش سنتی نقشه لندفرم در تپه مورد مطالعه رسم گردید. مقایسه لندفرم ها به دو روش، هماهنگی بسیار خوبی را بین آن دو نشان می دهد. شکل ۲ ترانسکت دامنه مورد مطالعه در شیب شمالی به همراه محل حفر نیمرخ ها و عمق و افق های هر نیمرخ را نشان می دهد. چنانچه مشاهده می شود عمق solum خاک در شانه شیب (نیمرخ شماره ۱۰) برابر ۳۰ سانتیمتر و در پشت شیب (نیمرخ های شماره ۳، ۵ و ۷) به ترتیب برابر ۲۸، ۴۲، و ۴۵ سانتیمتر، در پای شیب (نیمرخ شماره ۱) برابر ۹۵ سانتیمتر می باشد. ملاحظه می گردد که در لندفرم شانه شیب حداقل عمق solum در لندفرم پشت شیب عمق متوسط solum خاک و در لندفرم پای شیب حداکثر عمق solum وجود دارد. روتر (۲۰۰۳) نیز در مطالعه خاکهای موجود در لندفرم های مختلف حوضه آبخیزی در مینوسوتا مشاهده کرد ضخامت افق مالیک تشکیل شده در تاج شیب، پشت شیب بالایی، پشت شیب پایینی، و پای شیب بترتیب ۳۹، ۴۰، ۷۰، و ۷۷ سانتیمتر بود.



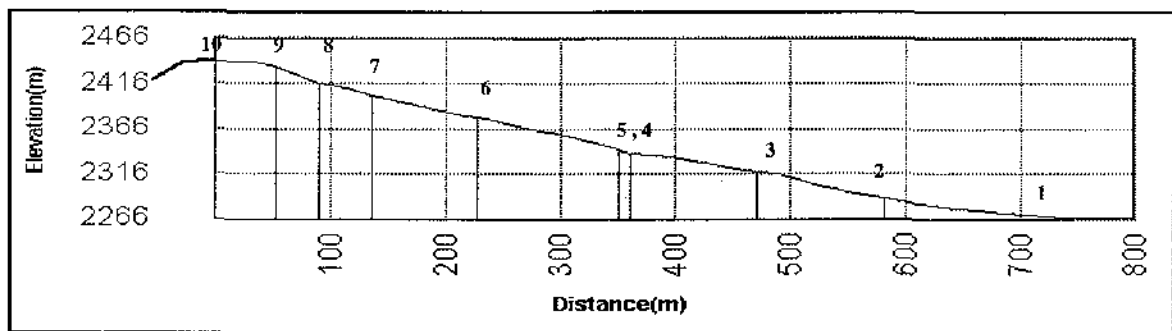
شکل (۲) نقشه لندفرم تهیه شده در حوضه آبخیز گرگک در حوضه کارون شمالی

کیلوگرم و در عمق ۲۵-۳۰ صفر می باشد. نقطه مرجع در بالای تپه ای مسطح در ارتفاعات حوضه که خاک آن بعلت عدم وجود شیب در معرض فرسایش قرار نگرفته و بر روی آن نیز رسوبی اضافه نشده انتخاب گردید. اندازه گیری ها نشان داد که سزیم رادیواکتیو تا عمق ۲۵ سانتیمتری این خاک نفوذ کرده است. مقادیر اندازه گیری شده این عنصر در فواصل ۵ سانتیمتری از سطح تا عمق ۳۰ سانتیمتری به ترتیب ۰/۴۴۵۱، ۰/۱۵۵۹، ۰/۰۳۵۱، ۰/۰۲۲۵، ۰/۰۲۱۴، و صفر بوده است. روند تغییرات سزیم رادیواکتیو در نقطه مرجع در شکل شماره ۴ ارائه شده است. چنانچه مشاهده می گردد این مقادیر از بالا به پایین نیمرخ کاسته می گردد. باچی و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه میزان فرسایش و رسوب در حوضه رودخانه پیراسیکابا در برزیل مشاهده کردند که مقادیر سزیم اندازه گیری شده از نقطه مرجع از سطح به عمق بطور یکنواخت کاهش داشت و این

نتایج اندازه گیری سزیم - ۱۳۷ در دامنه شمالی در جدول شماره ۱ و شکل های شماره ۴ ارائه شده است. در نیمرخ شماره ۱۰ که مربوط به لندفرم شانه شیب می باشد عمق وجود سزیم رادیواکتیو تا ۱۰ سانتیمتری از سطح بوده و مقدار سزیم در این عمق  $0.1293 \pm 0.005$  بکرل بر کیلوگرم می باشد. در نیمرخ شماره ۷ واقع بر لندفرم پشت شیب عمق وجود سزیم تا ۲۰ سانتیمتری از سطح بوده، مقدار سزیم در عمق ۱۰-۲۰ سانتیمتری برابر  $0.1345 \pm 0.004$  و در عمق ۱۰-۲۰ سانتیمتری برابر  $0.1563 \pm 0.004$  می باشد. در اعماق پایینتر این نیمرخ سزیم وجود ندارد (شکل شماره ۴). در نیمرخ شماره ۱ واقع بر لندفرم پای شیب سزیم تا عمق ۲۵ سانتیمتری وجود دارد. در عمق ۱۰-۲۰ سانتیمتری مقدار سزیم  $0.1452$  بکرل بر کیلوگرم، در عمق ۱۰-۲۰ سانتیمتری برابر  $0.1329 \pm 0.004$  در عمق ۲۰-۲۵ سانتیمتری برابر  $0.220$  بکرل بر

کل فرسایش خاک در این لندفرم ۶۸/۵۴ کیلوگرم در یک مترمربع خاک برآورد میگردد. باید توجه داشت که با استفاده از روش سزیم رادیواکتیو مقدار فرسایش خالص در خاک را می توان محاسبه کرد. مثلا در لندفرم پشت شیب ممکن است مقداری رسوب از خاک های بالادست به این لندفرم اضافه شده باشد ولی بهر حال مقدار ۶۸/۵۴ کیلوگرم مقدار خالص فرسایش پس از کسر مقادیر اضافه شده می باشد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که در لندفرم پای شیب عمق وجود سزیم رادیواکتیو مشابه نقطه مرجع بوده و لذا بر اساس داده های موجود رسوب یا فرسایشی را در سال های اخیر نشان نمی دهد. تعیین شدت فرسایش یا رسوب سالیانه از طریق تقسیم کل فرسایش یا رسوب بدست آمده در هر لندفرم تقسیم بر تعداد سال ( از سال ۱۹۶۳ تا کنون یعنی ۴۱ سال) بدست می آید (بنوک و همکاران ۱۹۹۰). نتایج این عملیات در جدول (۱) ارائه شده است.

کاهش نشان می داد که نقطه مرجع درست انتخاب شده است. با توجه به اینکه سزیم رادیواکتیو در لندفرم شانه شیب تا عمق ۱۰ سانتیمتری خاک موجود بوده و نسبت به نقطه مرجع که سزیم در آن تا عمق ۲۵ سانتیمتری خاک وجود داشته نتیجه گیری می شود که ۱۵ سانتیمتر از خاک سطحی فرسایش یافته و به پایین شیب منتقل گردیده است بنابراین حجم خاک فرسایش یافته در یک متر مربع برابر ۰/۱۵ مترمکعب می گردد با در نظر گرفتن میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک در این عمق از نیمرخ برابر ۱۳۳۹/۵ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار کل فرسایش خاک در این لندفرم ۲۰۰/۹۳ کیلوگرم در یک متر مربع خاک برآورد می گردد. در لندفرم پشت شیب سزیم تا عمق ۲۰ سانتیمتری موجود است در مقایسه با نقطه مرجع فرسایش خالص از این لندفرم ۵ سانتیمتر بوده است. بنابراین حجم خاک فرسایش یافته در یک متر مربع برابر ۰/۰۵ مترمکعب می گردد با در نظر گرفتن میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک در این عمق از نیمرخ برابر ۱۳۷۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب، مقدار



A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	A	0	Ap	0
Bw	12	2Bw	16	2Bk	12	2Bk	10	Bw	8	Btk1	15	AB	21
R	30	3C1	36	3Bw	27	2Bw	26	C	28	Btk2	28	2Btk1	28
		3C2	55	4C	40	2C	42	R	65	C1	40	3Btk2	40
		3R	65			2R	58			C2	60	3Btk3	60
										R	85	3Btk4	80
												3C1	95
												3C2	112
												3C3	132
												3C4	152
												3C5	160

شکل (۳) مورفولوژی نیمرخ های خاک در لندفرم ها مختلف در ترانسکت شمالی در حوضه گرگک.

خاک از قبیل عمق زیاد solum خاک، تجمع آهک و تشکیل افق کلسیک، تجمع رس و تشکیل افق آرجیلیک (شکل ۳)، حاکی از تثبیت موقعیت این خاک ها بمدت نسبتا طولانی است. اگر چه وجود تناوب رسوب در این خاک ها گویای فرایند های سطحی متناوبی است که منجر به رسوب لایه های مختلف خاک در زمان های مختلف گردیده و بنظر میرسد که این فرایندها و تغییر و تحول موجود در خاک ها مربوط

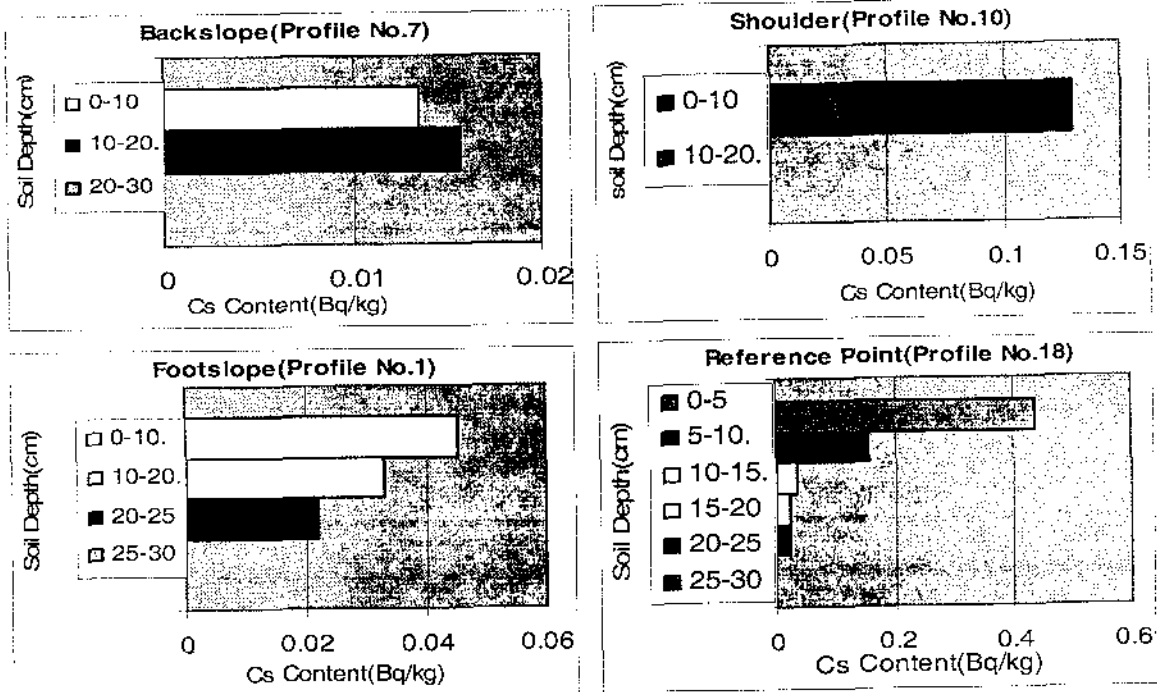
مطالعات فرسایش خاک به کمک سزیم رادیواکتیو نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش در لندفرم شانه شیب بوده و پس از آن لندفرم پشت شیب دارای مقادیر کمتری فرسایش بوده است. لندفرم پای شیب بر اساس داده های بدست آمده از سزیم، فرسایش و یا رسوبی حداقل در چهار سال گذشته نداشته است. مشاهدات مورفولوژیکی نیز این نتایج را تایید می کنند. در نیمرخ واقع در لندفرم پای شیب نشانه های تحول و تکامل

آنکه در خاک های تثبیت شده در لندفرم پای شیب افق ارجیلیک تشکیل گردیده و خاک ها در رده خاک تکامل یافته تری مثل رده آلفی سولز قرار گرفته اند.

به زمانهای قبل از چهل سال اخیر باشد. بطور کلی در لندفرم شانه شیب و پشت شیب که در معرض دائمی فرسایش قرار دارد افق های تشکیل شده در خاک ها افق مشخصه کم تکاملتری مثل کمبیک و کلسیک هستند و خاک ها در رده خاهای جوان اینسیتی سولز قرار گرفته اند. حال

جدول (۱) غلظت سزیم-۱۳۷ در اعماق مختلف در لندفرم های مختلف حوضه گرگک.

Landform	.Profile No	Depth(cm)	BD(kg/m3)	Cesium (Bq/kg)	erosion (kg/m2)	erosion per year (kg/m2)
Shoulder	10	0-10	1339.5	1294.	200.93	4.9
		10-20	1327.3	0		
		0-10	1385.33	0135.		
Backslope	7	10-20	1356.32	0156.	68.54	1.67
		20-30	1314.6	0		
		0-10	1489.6	0452.		
Footslope	1	10-20	1455.3	0329.	0	0
		20-25	1564.5	0220.		
		25-30		0		
		0-5	1390.5	0.4351		
		5-10	1398.6	0.1559		
Reference	18	10-15	1408.3	0.0351	-	-
		15-20	1375.6	0.0225		
		20-25	1380.4	0.0214		
		25-30	1330.5	0		



شکل (۴) غلظت سزیم در نیمرخ لندفرمهای مختلف و مقایسه آنها با نقطه مرجع.

Classes in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.*, 70: 325-334.

8- Pennock D.J. and E. de Jong. 1987. The Influence of slope curvature on soil erosion and deposition in Hummock Terrain. *Soil Science*, 144:209-217.

9- Pennock, D.J. 2003. Terrain Attributes, Landform Segmentation and Soil redistribution. *Soil, Tillage Research*, 69:15-26.

10- Ping Y., Peijun Shi, Shangyu Gao, Ling Chen, Xinbao Zhang, Lixin Bai. 2002. Cs137 dating of lacustrine sediments and human impacts on Dalian Lake, Qinghai Province, China. *Catena*, 47: 91-99.

11- Porto P., D.E. Walling, V. Tamburinob, G. Callegari. 2003. Relating caesium-137 and soil loss from cultivated land. *Catena*, 53: 303-326.

12- Reuter, R. J. and Jay C. Bell. 2003. Hillslope hydrology and soil morphology for a wetland basin in south-central Minnesota. *SSSJ*, 67:365-372.

13- Schwab, D.O., D.D. Fangmeier, W. J. Elliot, and R.K. Frevert. 1993. Soil and water conservation engineering. 4th edition. John Wiley and Sons Inc. New York.

14- Toby Marcus, R. 2000. Modeling Soils of the Sawtooth and Pasayten Wilderness Areas with a GIS. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Soils. Washington State University. Department of Crop and Soil Sciences.

15- Wallbrink, P.J. Belyaev, V. Golosov, V.N., Sidorchuk, A.S. and Murray, A.S.. 2002. "Use of radionuclide, field based and erosion modeling methods for quantifying rates and amounts of soil erosion processes", CSIRO Land and Water consultancy report.

16- Walling, D.E., Quinc, T.A., 1993. 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, pp.15-97.

در خاتمه پیشنهاد می شود مطالعات فرسایش خاک بروش سزیم رادیواکتیو در تعداد زیادتری نمونه حداقل به تعداد حدود ۱۱۰۰ نقطه و در ۶ ترانسکت در جهات مختلف که همه لندفرم های حوضه آبخیز را پوشانند انجام گیرد تا برآورد بهتری از میزان فرسایش سطحی خاک در حوضه بدست آورد.

#### منابع مورد استفاده

1- Bacchi O.O.S., Reichard K., Sparovek G. and S.B.L. Ranieri. 2000. Soil erosion evaluation in a small watershed in Brazil through 137Cs fallout redistribution analysis and conventional models. *Acta Geologica Hispanica*, 35: 251-259.

2- Bouhlassa, 2000. 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.

3- Gerrard, A. J. 1992. Soil geomorphology, an integration of pedology and geomorphology. Chapman & Hall.

4- Irvin Barbara, J., Stephen J. Ventura, and Brain K. Slater. 1995. Landform Classification for Soil - Landscape Studies. Institute for environment studies. University of Wisconsin, Madison

5- Li, Lindstorm, M.J. Frielinghaus M., and H.R. Bork. 2001. Evaluating soil quality soil redistribution relationship on Terraces and steep hillslope. In : Stott D.E., Mohtar R.H., and G.C. Steinhardt(eds). 2001. Sustaining the global farm. selected paper from 10th International Soil Conservation Organization. Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.

6- Park, S.J. and T. P. Burt. 2002. Identification and Characterization of Pedogeomorphological Processes on a Hillslope. *SSSA J*, 66.

7- Pennock, D.J. and E. de jong. 1990. Rates of Soil Redistribution associated with Soil Zones and Slope