تعیین فرسایش و رسوب با ^{137}Cs توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل
(مطالعه موردی: زیرحوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان)

محسن حسینعلی زاده*[۱]، حسن احمدی[۲]، سادات فیض نیا[۳]، فیروزه ریواز[۴]، محمد صادق ناصری[۵]

چکیده

امروزه آگاهی از تعیین مقدار فرسایش و رسوب و همچنین فرآیندهای مربوطه توجّه بسیاری از محققان حفاظت آب و خاک را به خود جلب کرده و ^{137}Cs را هنوز به عنوان دقیق‌ترین فناوری در تعیین مقدار فرسایش و رسوب پیشنهاد می‌کنند. با توجّه به هزینه بالا و زمان زیاد مورد نیاز در طیف‌سنجی ^{137}Cs آزمایشگاهی، در این تحقیق به استفاده از آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل در زیرحوضه‌های زوجی استان گلستان برای این منظور پرداخته‌شده‌است. تعداد ۶۰ موقعیّت در هر کدام از زیرحوضه‌ها توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل طیف‌سنجی شد. با توجّه به این که در استفاده از هر نوع آشکارسازی برای کمّی کردن مقادیر فرسایش و رسوب، وجود منطقه مرجع از ضروریات است، طیف‌سنجی نمونه‌های این منطقه (۱۰۸ نمونه) در آزمایشگاه انجام شد. حدود ۹۰٪ از موقعیت‌های طیف‌سنجی در هر زیرحوضه، به صورت فرسایشی بوده‌اند. نتایج نشان داد که مکان‌های فرسایشی در کل محدوده‌های موردمطالعه پراکنده بوده و تمامی رخساره‌های فرسایش را شامل می‌شوند، امّا مکان‌های رسوبی فقط به آبراهه‌ها اختصاص داشتند. با استفاده از مدل تبدیل توازن جرمی II، متوسّط فرسایش سالانه در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه به ترتیب ۱۰/۱ و ۱۱/۴ تن در هکتار تعیین شد. نسبت انتقال رسوب در این زیرحوضه‌ها به ترتیب معادل ۹۸ و ۹۹٪ به دست آمد.

واژه های کلیدی:

آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل، فرسایش و رسوب، زیرحوضه‌های زوجی کچیک، مدل تبدیل.

---

۱. استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و **Email:alizadehm2001@yahoo.com.**

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه **E-mail:Ahmadi@ut.ac.ir.**

۳. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران تهران**E-mail:sfeiz@ut.ac.ir.**

٤. استادیار دانشکده علوم ریاضی دانشگاه شهید بهشتی و **Email:F_Rivaz@sbu.ac.ir.**

٥. مدرس دانشگاه شهید بهشتی **Email:ghasembaba@gmail.com**.

Using ^{137}Cs Technique to Investigate Soil Redistribution Rates by Portable HPGe (Case Studies, Kachik Paired Subcatchments)

Hossen Alizadeh M[1*],Ahmadi H[2], Feiznia S[3], Rivaz F[4], Nasari M.S[5]

Abstract

^{137}Cs technique for determining soil particles redistribution is of tremendous importance considered by most soil and water conservation experts. Due to time and monetary limitations for spectrometry in the lab, a portable High Pure Germanium Detector was used in this study. For this, Kachik paired subcatchments were chosen and 60 positions in each subcatchment were used for spectrometry analyses. A total of 108 soil samples from the reference area were selected and their spectrometries acquired in the lab. With regards to in situ spectrometry, 90% of each of the subcatchment positions belonged to erosion and covered all areas of interest. However sedimentation positions belonged only to stream and river facies. Using Mass Balance II, the annual soil erosion for test and sample subcatchments were 10.1 and 11.4 t/ha, respectively. For these subcatchments, SDR was 98 and 99. It should be noted that the use of a portable High Pure Germanium Detector needs a reference area as the traditional ^{137}Cs technique.

Keywords:

Portable High Pure Germanium Detector, Erosion and Sedimentation,Kachik paired subcatchments, Convertion models.

1. Email:alizadehm2001@yahoo.com.
2. E-mail:Ahmadi@ut.ac.ir.
3. .E-mail:sfeiz@ut.ac.ir
4. .Email:F_Rivaz@sbu.ac.ir
5. Email:ghasembaba@gmail.com.

۱-مقدمه

آگاهی از فرسایش و رسوب و فرآیندهای مربوطه به علت اثرات سوء متوالی، امروزه بیش از پیش توجّه اغلب متخصّصین منابع طبیعی و علوم خاک را به خود جلب کرده است. به عنوان نمونه، تا قبل از سال ۲۰۰۸ میلادی بیش از ۴۰۰۰ مقاله در زمینه استفاده از ^{137}Cs منتشر شده‌است (Ritchie and Ritchie, 2008). این رادیونوکلوئید به عنوان ابزاری در کمّی کردن جابجایی ذرات خاک معرفی شده (Sanchez-Cabeza et al., 2007) و در حال حاضر هنوز به عنوان یک فناوری مفید در تعیین فرسایش و رسوب به شمار می‌آید(Gaspar et al., 2011; Zupanc and Mabit, 2010).طیف‌سنجی گاما با استفاده از آشکارساز ژرمانیوم با قدرت تفکیک بالا (HPGe[1])بهترین روش برای تعیین فعّالیت ویژه‌ی هسته‌های گسیلنده‌ی گاما در نمونه‌های محیطی است (Axel and Klaus, 2009).با اندازه‌گیری این رادیونوکلوئید و استفاده از مدل‌های تبدیل، جابجایی ذرّات خاک را می‌توان برای یک دوره‌ی تقریباً ۵۰ ساله تعیین کرد(ZupancandMabit, 2010).^{137}Cs کاربردهای زیادی را در مطالعات فرسایش و رسوب در سراسر دنیا در سال‌های اخیر داشته است(Blake et al., 2009; Gaspar et al., 2011; Kato et al., 2009; Mabit et al., 2007; Mabit et al., 2008; Mabit et al., 2009; Marcel et al., 2001; Navas et al., 2011; Seager et al., 2007; Wakiyama et al., 2010; Wallbrink et al., 2002; Wang et al., 2008; Zhenget al., 2007). در مورد استفاده از آن در مطالعات فرسایش و رسوب در ایران مطالعات زیادی انجام شده‌است. به عنوان نمونه چند مورد أخیر عبارتند از(Afshar et al., 2010)، (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۱؛ هنرجو و همکاران، ۱۳۸۷؛ نظری و همکاران، ۱۳۸۸؛ براتی و همکاران،۱۳۸۹ و سید علیپور، ۱۳۸۹)،ولی بر اساس مرور منابع پایگاه‌های اطلاعاتی، هیچ مطالعه‌ای به استفاده‌ی آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل در مورد ^{137}Cs نپرداخته‌است.

طیف‌سنجی آزمایشگاهی ^{137}Cs در مطالعات فرسایش و رسوب، دو محدودیت هزینه بالا و مدت زمان طولانی جهت رسیدن به نتایج را به دنبال داشته است (Golosov et al., 2000; Li et al., 2010)، به نحوی که این محدودیت ها باعث روی آوردن به طیف سنجی این رادیونوکلوئید توسط آشکار ساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل می‌گردد. این طیف‌سنجی بدون نیاز به نمونه‌برداری خاک و رسوب، قابل انجام است.در این حالت، زمان اندازه‌گیری در مقایسه با اندازه‌گیری ^{137}Cs در آزمایشگاه، کمتر بوده و جابجایی خاک کمتری در آن صورت می‌گیرد. علاوه بر این، با اندازه‌گیری حجم بیشتری از خاک، نتایج کمتر تحت تأثیر تغییرپذیری ریزمقیاس نمونه‌برداری قرار گرفته و محل استقرار آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل نسبت به نمونه‌برداری از خاک و طیف سنجی آن در آزمایشگاه، معرّف سطح بیشتری است (Golosov et al., 2000). با استفاده از طیف سنجی قابل حمل در مقایسه با طیف سنجی آزمایشگاهی، می‌توان اندازه‌گیری جابجایی ذرّات خاک را برای سطح وسیع‌تر، زمان کوتاه‌تر و دقّت بیشتری مورد استفاده قرار داده و با این فناوری می‌توان به یک شناسایی اجمالی و دقیق فرسایش و رسوب از محدوده‌ی موردمطالعه به منظور برنامه‌ریزی برای

---

[1]-High Pure Germanium detector

اســـتراتژی نمونه برداری رســـید (Li et al., 2010; Zapata, 2002). این روش برای مناطقی که تحت تأثیر واقعه‌ی چرنوبیل قرارگرفته یا دارای موجوی ^{137}Csزیادی باشنداز کارایی بالاتری برخوردار است(Zapata, 2002).

استفاده از آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل به منظور طیف‌سنجی ^{137}Csاز خاک و رسوب در عرصه ابتدا توسط (Beck et al., 1972)مورد استفاده قرار گرفته و در سالهای اخیر توجّه محققین زیادی را بهخود جلب کرده است که می توان به مواردی مانند(Golosov et al., 2000; He and Walling, 2000; Li et al., 2010; Tyler et al., 1996)اشاره کرد.(Golosov et al., 2000) و(Tyler and Copplestone, 2007) این فناوری را سریع و دقیق دانسته و (Li et al., 2010) مزایایی از قبیل عدم نیاز به منطقه‌ی مرجع، اقتصادی بودن و دسترسی سریع به نتایج را برای آن بیان کرده اند.

استفاده از فناوری ^{137}Csبا طیف سنجی در موقعیت، از دقیق ترین فناوری‌های آگاهی از فرسایش و رسوب (فرسایش خالص[۲]، فرسایش کل[۳] و نسبت تحویل رسوب[۴]) بوده، به وسیله‌ی آن می‌توان فرآیندهای جابجایی خاک ناشی از فرسایش‌های آبی، بادی و شخم را به صورت توأم و مجزّا در زمین های کشاورزی و غیرکشاورزی محاسبه کرد (Walling et al., 2007).با توجه به هزینه کمتر طیف سنجی در موقعیت نسبت به روش‌های دیگر، قابلیت کاربرد آن از سطح پلات تا آبخیز بزرگ و امکان تهیّه‌ی نقشه و الگوی توزیع مجدّد خاک (Zupanc and Mabit, 2010) با این فناوری، این مطالعه توسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل به انجام رسید. بدین منظور زیرحوضه های زوجی کچیک استان گلستان با کاربری غالب کشاورزی به علّت اهمّیت نهشته های لسی در این گستره برای این مهم انتخاب شدند.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده‌ی موردمطالعه

زیرحوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان یکی از زیرحوضه‌های زوجی مهم کشور واقع در آبخیز کچیک (یکی از زیرحوضه‌های چندگانه آبخیز گرگان‌رود)بوده که کاملاً از نهشته‌های لسی تشکیل شده و کاربری اراضی آنها غالباً زراعت دیم است. این زیرحوضه‌ها، از نظر تقسیمات سیاسی جزء شهرستان مراوه تپه بوده و در انتهای شمال شرق استان گلستان قرار دارند. خصوصیات زیرحوضه های کچیک (زیرحوضه شاهد[۵] و نمونه[۶]) در جدول ۱آورده شده است. طبق تقسیم بندی

۲- Net erosion

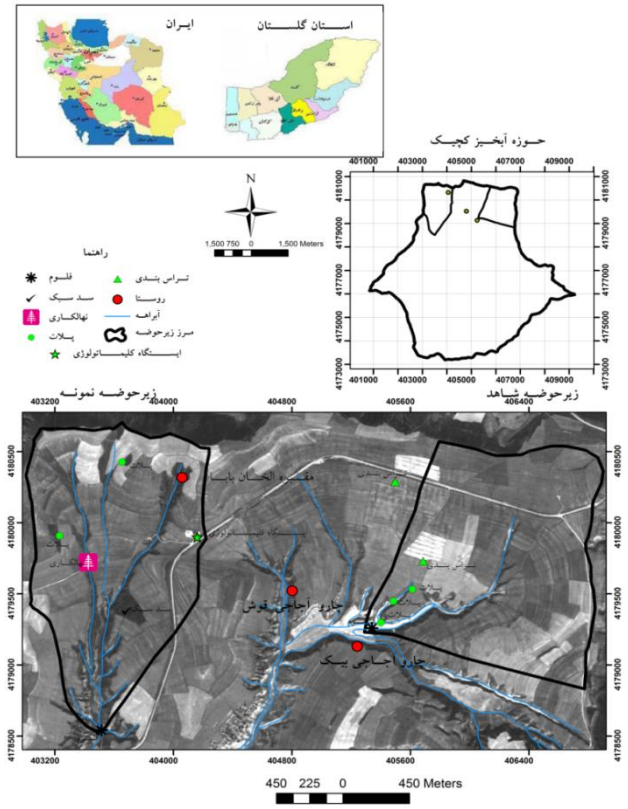
۳ - Gross Erosion

۴ - Sediment Delivery Ratio (SDR)

۵-Testifier Sub-catchment:جهت بررسی روند گرایش حوضه معرّف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۶-Sample Sub- catchment: جهت نمونه‌برداری و اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب و رواناب استفاده می‌شود.

اقلیمی آمبرژه، منطقه با میانگین بارش سالانه ۴۸۲ میلی متر، اقلیم نیمه خشک معتدل تا سرد را به خود اختصاص می‌دهد. موقعیّت محدوده‌ی موردمطالعه در شکل۱ آورده شده‌است.



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیّت محدوده‌ی موردمطالعه

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های جغرافیایی و فیزیوگرافی زیرحوضه های شاهد و نمونه

زیرحوضه / ویژگی‌ها	شاهد	نمونه
طول‌جغرافیایی	۵۵° ۵۶′ ۳۳″ تا ۵۵° ۵۵′ ۲۲″	۵۵° ۵۴′ ۲۸″ تا ۵۵° ۵۳′ ۵۴″
عرض جغرافیایی	۳۷° ۴۶′ ۰۴″ تا ۳۷° ۴۵′ ۰۷″	۳۷° ۴۶′ ۰۵″ تا ۳۷° ۴۵′ ۳۸″
متوسّط شیب (درصد)	۱۸/۴	۱۵/۸
دامنه ارتفاعی (متر)	۷۰۰-۹۰۰	۷۵۵-۸۵۰
مساحت (هکتار)	۱۹۱	۱۹۶

۲- کالیبره کردن آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل

قبل از شروع به کار با هر آشکارسازی پس از اطمینان از صحّت عمل سیستم، لازم است جهت انجام آنالیزهای کمّی و کیفی، آشکارساز کالیبره شود. کالیبراسیون انرژی (مشخّص کردن رابطه‌ی کانال انرژی) جهت آنالیزهای کیفی و کالیبراسیون بازدهی (مشخّص کردن رابطه‌ی شدّت قلّه (سطح خالص زیر قلّه) با قدرت چشمه‌ی مولّد) برای آنالیزهای کمّی روی سیستم صورت می‌پذیرد. کالیبراسیون انرژی برای آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل، در محدوده‌ی انرژی موردنظر برای طیف‌نگاری صفر تا ۱۶۰۰ کیلوالکترون در نظر گرفته‌شده و ازچشمه‌های^{60}Co، ^{241}Am و ^{40}Kدر کالیبراسیون انرژی استفاده شد.کالیبراسیون بازدهی و استخراج توابع بازدهی در طیف‌نگاری میدانی به دلیل وسعت محدوده‌ای که آشکارساز می‌تواند آن را اندازه‌گیری کند، (ناحیه‌ای با وسعت بیش از سه صدم هکتار) با تلفیقی از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و محاسبات ترابرد گاما[۷]انجام شد. برای رسیدن به یک هندسه‌ی ثابت، آشکارساز رو به پایین در ارتفاع یک متری سطح زمین روی سه پایه ای مناسب قرار گرفت(Helfer and Miller, 1988) (شکل ۲).

شکل ۲- تصویری از نمای چیدمان آزمایش

در کار میدانی، آشکارساز باید در محوطه‌ای باز و هموار و نسبتاً تراز مستقر شده و باید دقّت شود از موانعی همچون تخته‌سنگها، گودال‌ها یا درختان بلند و هر مانع دست‌ساز دیگری تا حد ممکن دور باشد، زیرا این موانع مانع از رسیدن شارّ لایه‌های زیرین خاک به آشکارساز می‌شود (Energy, 1997). برای تعیین پاسخ آشکارساز برای شارّ واحد از چ شمه‌های نقطه‌ای گامای ^{152}Eu،^{241}Am، ^{137}Cs، ^{60}Co و^{228}Th ا ستفاده شد.در نهایت با کمک نرم‌افزارFitzpeaks و با معرّفی طیف زمینه به‌عنوان پس‌زمینه به نرم‌افزار، طیف‌ها آنالیز شدند.

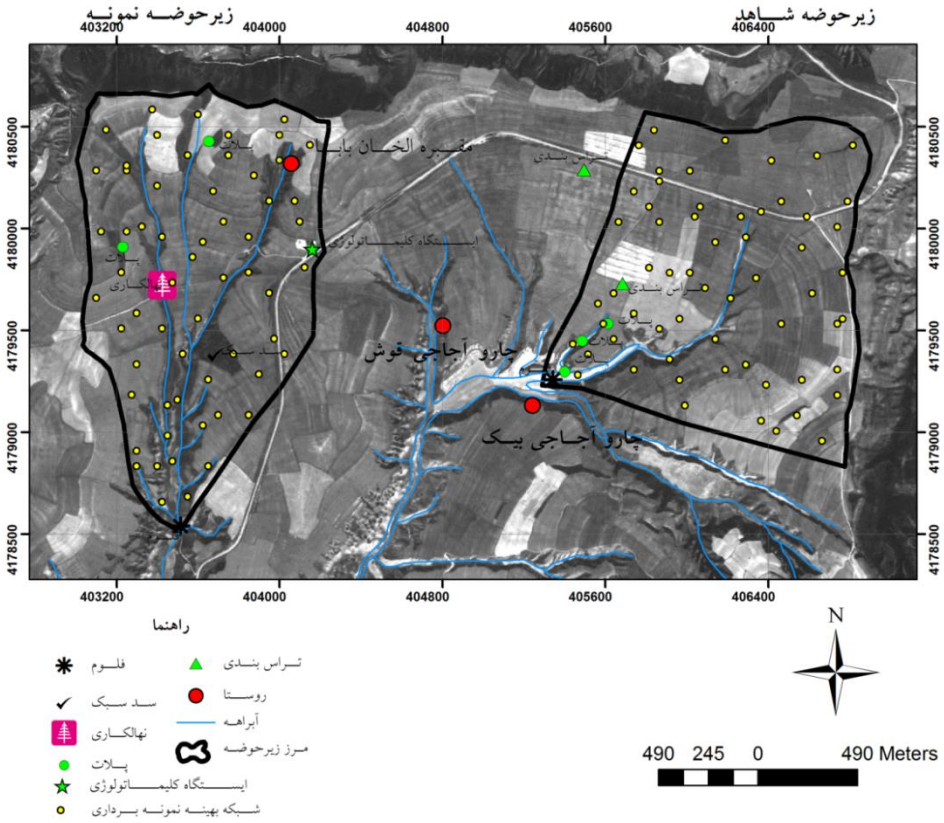
۲-۳-تعیین محل‌های طیف‌سنجی ^{137}Csدر محدوده‌های موردمطالعه

در زیرحوضه‌های موردمطالعه تعداد محل‌های طیف‌سنجی نمونه‌ها بر اساس روش دنباله‌ای و بر پایه معیار طرح (واریانس کریگینگ)، ۶۰ محل برای هر زیرحوضه تعیین شده و بهینه سازی محل‌ها (محل استقرار بهینه‌ی آشکارساز

---

۷ - γ ray transport calculation

ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل) بر اساس نمونه‌برداری مکانی مدل مبنا با استفاده از روش مینیماکس صورت گرفت که خارج از مبحث این تحقیق است (شکل ۳).



شکل ۳-موقعیّت بهینه‌ی نمونه‌ها توسط روش مدل مبنا با رویکرد مینیماکس

۲-۴-آشکارسازی طیف گامای ^{137}Cs توسّط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل

بعد از تعیین محل ها به منظور طیف‌سنجی، نوبت به طیف سنجی میدانی می‌رسد. این طیف‌سنجی توسّط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل در تاریخ ۲۳ تیر الی ۱۱ مرداد ماه ۱۳۸۹صورت گرفت (شکل۴). قابل ذکر است که زمان طیف سنجی در ابتدا برای یک محل در محدوده‌ی موردمطالعه بررّسی شده و برای آ شکار سازی ^{137}Cs، ۳۶۰۰ ثانیه برای هر محل استقرار آشکارساز، زمان مناسبی برای طیف‌سنجی تعیین شد.

شکل ۴- طیف‌گیری ^{137}Csتوسط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل

۲-۵-تعیین منطقه‌ی مرجع، نمونه‌برداری و آشکارسازی طیف آن‌ها

یکی از موارد بسیار کلیدی در استفاده از ^{137}Csدر مطالعات فرسایش و رسوب، وجود منطقه‌ی مرجع است (Zapata, 2002).برای این مهم، منطقه‌ای در محدوده‌ی پنج کیلومتری منطقه‌ی موردمطالعه که برای مدت زمان حدّاقل ۵۰ سال از هرگونه فعالیت انسان به دور بوده است برای این منظور انتخاب شده ونمونه‌برداری از آن برای ۱۲ پروفیل انجام شد. نمونه‌برداری در این منطقه توسّط وسیله‌ای با سطح مقطع ۲۰×۵۰ سانتی‌متر در افق‌های مختلف خاک با ضخامت دو سانتی‌متری تا عمق ۱۰ سانتی‌متری (۲-۰، ۴-۲، ۸-۶ و ۱۰-۸) و ضخامت پنج سانتی‌متری تا عمق ۳۰ سانتی‌متری (۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵، ۲۵-۲۰ و ۳۰-۲۵) در آذرماه ۱۳۸۸ صورت گرفت(شکل۵).

شکل ۵- نحوه‌ی نمونه‌برداری در منطقه‌ی مرجع

۲-۶-طیف‌سنجی نمونه‌های خاک منطقه مرجع

بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اقداماتی مانند: خشک کردن نمونه‌ها در هوای آزاد و آون، آسیاب کردن نمونه‌ها با استفاده از آسیاب فکّی به منظور رسیدن به یک دانه‌بندی مناسب و همگن سازی نمونه‌های موردنظر در راستای تحلیل صحیح آن‌ها، وزن کردن و آماده کردن نمونه‌ها در ظروف مارینلی با توجّه به استانداردهای خاک ساخته‌شده انجام‌شد.

در طیف‌نگاری با آشکار ساز، حضور قلّه ۶۶۱/۶۶ کیلو الکترون ولت نمایان‌گر حضور ^{137}Csبوده و می‌توان آن را با استفاده از همین قلّه تحلیل کرد. بنابراین برای طیف‌گیری از نمونه‌های جمع‌آوری شده از دو آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص هم محور از نوع P با بازدهی نسبی ۳۸/۵و ۵۵ ٪ استفاده شد. در سیستم طیف نگاری ۳۸/۵ درصد، از نرم‌افزار تحت ویندوز AKWIN(Prylad, ۱۹۹۱)استفاده شد که این نرم‌افزار فاقد امکانات کافی برای آنالیز طیف‌ها است. بنابراین پس از طیف‌گیری، اطّلاعات فایل های طیف‌گیری به صورت فایل هایی با قالب خواندن توسط نرم‌افزار

OMNIGAM(,۲۰۱۲ORTEC) تبدیل شد. در سیستم طیف‌نگاری ۵۵ درصد، طیف‌سنجی و آنالیز با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز SrmBSI انجام شده و با داشتن طیف حاصل از نمونه‌ها و استفاده از نرم‌افزارهای مخصوص، سطح خالص زیر پیک برای هر نمونه محاسبه‌شد.

۲-۷-تبدیل فعّالیّت ^{137}Cs(بکرل بر کیلوگرم) به موجودی این رادیونوکلوئید (بکرل بر مترمربع)

پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و به دست آوردن فعّالیت رادیونوکلوئیدها، جهت محاسبه‌ی فرسایش خاک به وسیله‌ی رادیونوکلوئیدها، به موجودی آن‌ها[۸] در نمونه‌های خاک (محدوده‌ی کاری و منطقه‌ی مرجع) نیاز است. برای انجام این کار با اســـتفاده از رابطه زیر (Walling and He, 1999) میزان موجودی رادیونوکلوئید (بکرل بر متر مربع) خاک برای ۱۲۰ موقعیت در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه و ۱۰۸ نمونه خاک برای منطقه مرجع محاسبه‌شد.

رابطه $CPI = \sum_{i=1}^{N} C_i\, B_i D_i \ * 10^3$

CPI: میزان موجودی رادیونوکلوئید در خاک (بکرل بر مترمربّع)

C_i: فعّالیّت رادیونوکلوئید در خاک (بکرل بر کیلوگرم)

B_i: وزن مخصوص خاک (گرم بر سانتیمترمکعب)

D_i: عمق نمونه‌بردرای (متر)

۲-۹-تعیین میزان فعّالیّت ^{137}Csدر زیرحوضه‌های مورد مطالعه

برای این منظور چون از آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل استفاده شده و این آشکارساز حدود ۸۵٪ طیف‌های محیطی را از دایره‌ای به شعاع ۱۰ متر دریافت می‌کند، به منظور به دست آوردن فعّالیّت رادیونوکلوئید در واحد سطح، ۱۰ ٪ فعّالیّت رادیونوکلوئید به عنوان دایره‌ای به شعاع یک متر درنظر گرفته شده، آنگاه تعیین عمقی از خاک که در آن ۱۰ ٪ رادیونوکلوئید به آشکارساز می رسد (TVL[۹]) انجام گرفت. این عمق در مورد ^{37}Cs، ۱۸ سانتیمتر تعیین شد. وزن مخصوص خاک برای هر دو زیرحوضه، ۱/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب محاسبه شد.

۲-۱۰-تعیین نرخ جابجایی ذرّات خاک با استفاده از مدل تبدیل

برای این منظور بعد از تعیین موجودی ^{137}Csتوسّط آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل در موقعیت‌های شبکه‌ی بهینه نمونه برداری، نوبت به تعیین مقدار جابجایی ذرّات خاک در زیرحوضه‌های موردمطالعه می‌رسد. برای این

---

[۸]- Radionuclide inventory

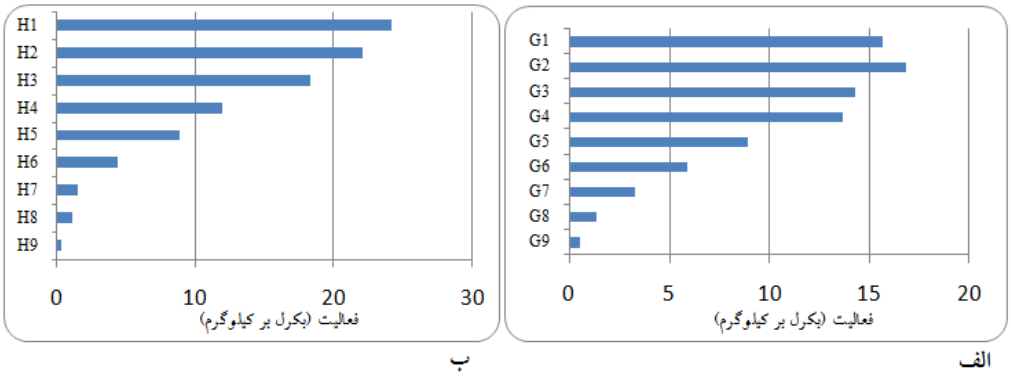
[۹]- Tenth Value Level

منظور باید موجودی رادیونوکلوئیدها در زیرحوضه‌ها با موجودی رادیونوکلوئیدها در منطقه‌ی مرجع مقایسه شوند که این مورد با استفاده از برنامه Add-ins(Walling et al., 2007)انجام شد.

۳- نتایج

۳-۱-منطقه‌ی مرجع

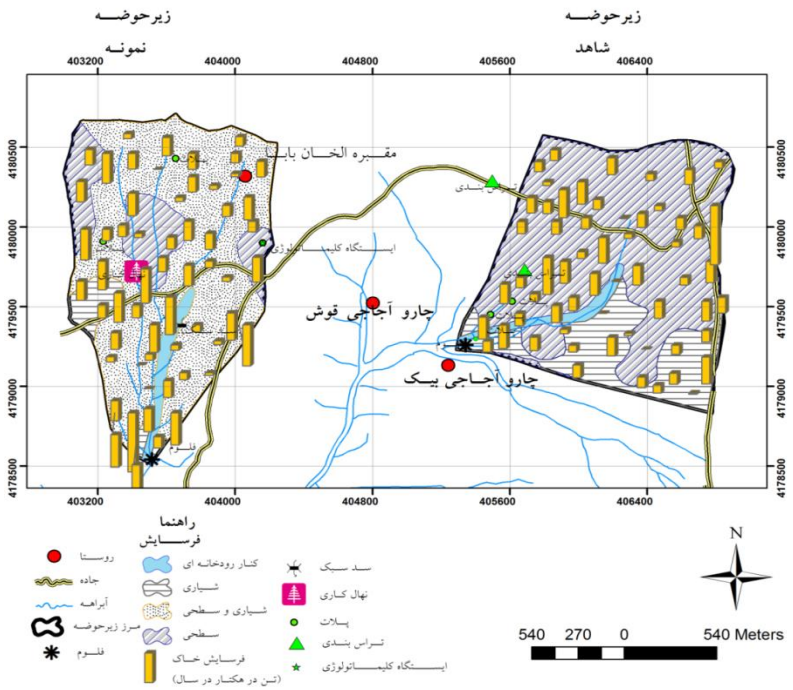
چون تغییرات فعّالیّت ^{137}Csدر خاک‌های غیرکشاورزی و شخم نخورده (منطقه‌ی مرجع) به صورت نمایی کاهشی است، پس از برّرسی نفوذ ^{137}Csدر عمق‌های مختلف خاک، پروفیل‌های مناسب برای محاسبه موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع در نظر گرفته شدند. تغییرات عمودی فعّالیّت ^{137}Csبرای دو پروفیل در شکل ۶ آورده شده است. موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع ۳۱۱۸بکرل بر مترمربّع تعیین شد.



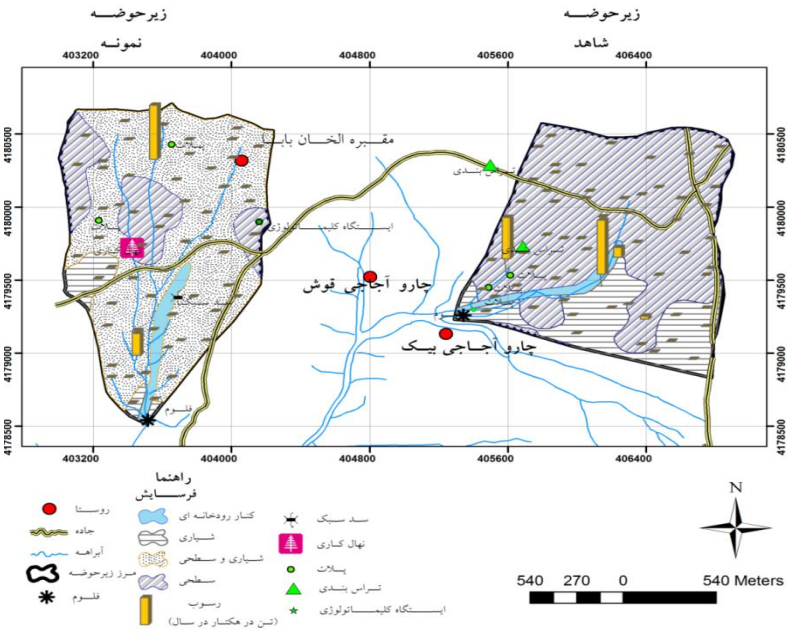
شکل۶ – نمودارهای تغییرات عمودی فعّالیّت ^{137}Csبرای پروفیل‌های G(الف) و H(ب)

۳-۲-تعیین مکان‌های فرسایش، انتقال و رسوب توسّط^{137}Cs

پس از محاسبه‌ی میزان موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع و زیرحوضه‌های شاهد و نمونه، اقدام به مقایسه‌ی آنها با هم و تعیین محل های فرسایش، انتقال و رسوب در محل های طیف‌سنجی گردید. برای مقایسه‌ی آن‌ها به دو برابر انحراف معیار میزان موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع (حدود اطمینان ۹۵٪) نیاز بود (مکاتبات اینترنتی با والینگ). بنابراین با احتساب این میانگین و دو برابر انحراف معیار موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع، اگر مقدار موجودی محل نمونه‌برداری کمتر از ۲۷۵۱بکرل بر مترمربع (میانگین منهای دو برابر انحراف معیار) باشد، منطقه فرسایشی و اگر بیشتر از ۳۴۸۴ بکرل بر مترمربع (میانگین به علاوه دو برابر انحراف معیار) باشد، منطقه رسوبی است. اگر مقدار موجودی ^{137}Csدر هر یک از مکان های نمونه‌برداری بین ۲۷۵۱ و ۳۴۸۴ بکرل بر مترمربع واقع شود، آن محل به عنوان محل انتقال ذرّات خاک درنظر گرفته می‌شوند. بنابراین، بدون استفاده از مدل‌های تبدیل و فقط در مقایسه‌ی بین موجودی ^{137}Csدر منطقه‌ی مرجع و زیرحوضه‌های موردمطالعه، تعداد محل‌های فرسایش، رسوب و انتقال در محل‌های نمونه‌برداری (۶۰ موقعیّت در هر زیرحوضه) تعیین شد که در جدول ۲ آورده شده‌است. پراکنش مکانی مناطق فرسایش و رسوب در زیرحوضه‌ی موردمطالعه به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده‌است.



شکل ۷- پراکنش مکانی مناطق فرسایشی در رخساره‌های فرسایشی زیرحوضه‌های موردمطالعه



شکل ۸- پراکنش مکانی مناطق رسوبی در رخساره‌های فرسایشی زیرحوضه‌های موردمطالعه

درصد جابجایی ذرّات خاک از ۶۰ موقعیت طیف‌گیری در هر زیر حوضه در جدول ۲ آورده شده‌است.

جدول۲-درصد جابجایی ذرّات خاک در هر زیرحوضه

نحوه‌ی جابجایی ذرّات خاک زیرحوضه‌ی موردمطالعه	فرسایش(٪)	انتقال(٪)	رسوب (٪)

شاهد	89	8	3
نمونه	90	10	-

۳-۳- مدل‌های تبدیل

با توجّه به اینکه تمامی موقعیّت‌های مکان‌های طیف‌سنجی در زیرحوضه‌های موردمطالعه در زمین‌های کشاورزی واقع شده‌است، بدین منظور برای تبدیل موجودی ^{137}Cs به نرخ جابجایی ذرّات خاک برحسب تن بر هکتار در سال، از مدل تبدیل توازن جرمی II استفاده شده است (جدول ۳).

جدول۳- مقدار جابجایی ذرّات خاک در زیرحوضه‌های موردمطالعه

ویژگی‌های مورد نظر زیرحوضه	مقدار جابجایی ذرّات خاک[۱] (تن در هکتار در سال)			مقدار فرسایش کل[۲] (تن در هکتار در سال)	مقدار فرسایش خالص[۳] (تن در هکتار در سال)	نسبت انتقال رسوب[۴] (تن در هکتار در سال)
	حداقل	حداکثر	متوسّط			
نمونه	-۳۹/۱۴	۳/۰	-۱۱/۴	۱۱/۵	۱۱/۴	۹۹
شاهد	-۴۱/۷	۶/۲	-۱۰/۱	۱۰/۳	۱۰/۱	۹۸

۱- علامت منفی و مثبت به ترتیب نشان‌دهنده فرسایش و رسوب می‌باشد، ۲-Gross Erosion، ۳-Net Erosio،

۴- Sediment Delivery Ratio

۴-بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقشه پراکنش مکانی مناطق فرسایش و رسوب در رخساره‌های فرسایشی، موقعیت‌های فرسایشی پراکنش نامنظمی داشته و در مکان‌های مختلف محدوده‌های موردمطالعه و در تمامی رخساره‌های فرسایشی وجود داشته‌اند. این مورد حاکی از این است که تمامی رخساره‌های فرسایشی از فرسایش آبی و مخصوصاً فرسایش ناشی از شخم برخوردار هستند. پراکنش مناطق رسوبی فقط به آبراهه‌ها متعلّق بوده که این ناشی از شدّت زیاد فرسایش ناشی از شخم در بالادست است که منجر به جابجایی خاک به آبراهه‌ها می‌شود. بنابراین فرسایش ناشی از شخم و اثرات سوء ناشی از آن باید بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و روش‌هایی برای آگاهی از این فرآیند نیز مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس نظرات (Walling et al., 2007)، مدل تبدیل توازن جرمی III که تنها به فرسایش ناشی از شخم می‌پردازد برای آگاهی از این نوع فرسایش پیشنهاد می‌شود.البته این مدل محدودیت‌های خاص خود را دارا می باشد(Walling et al., 2007; Zapata, 2002).

با توجه به ا ستفاده از آ شکار ساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل در این تحقیق، نتایج در کوتاه‌ترین زمان ممکن به د ست آمده و دقت آن قابل قبول بود که نتایج با (Golosov et al., 2000; He and Walling, 2000; Li et al., 2010; Tyler et al., 1996). (Golosov et al., 2000) و (Tyler and Copplestone, 2007) هم خوانی داشته و حتی (Tyler and Copplestone, 2007)آن را برای کل محدوده کشور انگلستان مورد استفاده قرار داده و این فناوری را مناسب دانسته‌اند. بنابرین، استفاده از آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص قابل حمل برای آبخیزهای بزرگ با در نظر گرفتن موجود بودن منطقه مرجع پیشنهاد شده و این فناوری،دقیق‌ترین روش برای آگاهی از فرآیندهای

فرسایش و رسوب به صورت کمّی برای آبخیزهای بزرگ پیشنهاد می‌شود. در صورت استفاده در مناطقی که ممکن است با محدویت موجود بودن منطقه مرجع مواجه باشند، با استفاده از این فناوری در کوتاه مدت می‌توان فرسایش و رسوب را به صورت کیفی پهنه‌بندی کرد که نسبت به سایر روش‌های پهنه‌بندی کیفی فرسایش در صورت بهینه کردن تعداد و مکان‌های طیف‌گیری بسیار معقول و منطقی به نظر می‌رسد. طی مقایسه نتایج حاصل از فرسایش و رسوب با تحقیقات انجام گرفته در ایران (ابراهیمی و همکاران،۱۳۸۱: ۳تن در هکتار در شرق مزارع چای استان گیلان)، (چرخابی و همکاران، ۱۳۸۷: ۴/۷ تن در هکتار درلندفرم پای شیب در آبخیز گرکلک کارون شمالی) مقدار فرسایش در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بسیار بالاتر است که تهدیدی در از بین رفتن خاک حاصلخیز لسی محسوب می‌شود.