مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

امکان‌سنجی استفاده از رادیونوکلوئیدهای سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ جهت برآورد توزیع مجدد خاک در منطقه نیمه خشک ایران

مارال خدادادی* [۱]، منوچهر گرجی[۲]، معین مفتاحی[۱]، علی سامانی بهرامی[۱]، میر حسین میر سید حسینی[۲]
۱- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ایران، ۲- گروه علوم خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران
نویسنده مسئول:mkhodadadi@nrcam.org

چکیده: در دهه‌های اخیر، از روش سزیم-۱۳۷، جهت برآورد مقدار فرسایش و رسوب در ایران، بطور موفقیت آمیزی استفاده شده است، لیکن به دلیل کاهش موجودی آن در خاک در اثر فروپاشی، نیاز به بررسی امکان استفاده از ردیاب جایگزین با ریزش مداوم مانند رادیوایزوتوپ‌های طبیعی سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷، ضروری به نظر می‌رسد. این مطالعه اولین آزمون بررسی قابلیت استفاده از روش‌های سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ جهت برآورد فرسایش و رسوب در ایران می‌باشد، بویژه نیاز به تحقیق بیشتر در ارتباط با استفاده از بریلیوم-۷ در مناطق خشک و نیمه خشک، در منابع نیز تاکید شده است. مطالعه حاضر در دو منطقه دیم کشور شامل کوهین (استان قزوین)، جهت اجرای روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ و سرفیروزآباد (استان کرمانشاه) جهت اجرای روش بریلیوم-۷ انجام شد. در منطقه کوهین، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از یک مزرعه با وسعت هفت هکتار، جهت تعیین مقدار و الگوی توزیع مکانی خاک صورت پذیرفت. مقدار فرسایش خالص با استفاده از مدل بیلان جرمی ۲، برای روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ به ترتیب، ۴/۶ و ۱۲/۳ تن در هکتار در سال و مقدار نسبت تحویل رسوب به ترتیب ۵۲ و ۶۰ درصد محاسبه گردید. بطور کلی فرسایش خالص برآورد شده توسط روش سرب-۲۱۰ بسیار بیشتر از روش سزیم-۱۳۷ بود، زیرا سزیم-۱۳۷، تخمینی از میانگین فرسایش از سال ۱۹۶۳ تا زمان نمونه‌برداری را برآورد می‌کند در حالی‌که نتایج سرب-۲۱۰ اضافی بازتابی از دوره زمان طولانی‌تر است. تغییراتی که در مدیریت خاک و ویژگی‌های بارش‌ها در طی قرن گذشته در منطقه رخ داده است، دارای تاثیر مهمی در برآورد توزیع مجدد خاک به روش سرب-۲۱۰ گذاشته است. در سرفیروزآباد، یک دامنه شیب با کاربری دیم با میانگین بارندگی سالیانه ۴۸۰ میلی‌متر جهت تخمین مقادیر تلفات خاک با استفاده از رادیونوکلوئید بریلیوم-۷ انتخاب گردید. نمونه‌برداری پس از ریزش ۱۵۰ میلیمتر بارندگی در ۴۰ روز در اردیبهشت، ۱۳۹۰ صورت گرفت. با استفاده از مدل توزیع پروفیل، مقدار فرسایش خالص ۶/۸ تن در هکتار و نسبت تحویل رسوب ۸۰ درصد برآورد شد. که با توجه به دوره زمانی کوتاه، حاصل مدیریت نادرست مزرعه، شخم در جهت شیب، بارندگی شدید در اواخر زمستان و اوایل بهار زمانی که خاک فاقد پوشش است و شیب تند می‌باشد. بطور کلی نتایج امکان استفاده از روش‌های سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در منطقه نیمه‌خشک را تایید نمود.

واژگان کلیدی: سرب-۲۱۰، بریلیوم-۷، سزیم-۱۳۷، فرسایش خاک، رادیونوکلوئیدهای ریزشی، کوهین، کرمانشاه.

Feasibility of Using $^{210}Pb_{ex}$ and ^{7}Be Radionuclides to Estimate Soil Redistribution Rates in Semi-arid region of Iran

M. Khodadadi[1,*], M. Gorji[2], M. Meftahi[7], A. Bahrami Samani[4] and H. M. Seyed Hosseini[5]
[1]Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Iran, [2] Dept. of Soil Sciences, University of Tehran, Karaj, Iran
: mkhodadadi@nrcam.org

Abstract: Over the past decades, the ^{137}Cs approach has been successfully applied in Iran for estimating soil erosion and sedimentation rates, but by the progressive reduction in ^{137}Cs activity due to radioactive decay, it is essential to investigate feasibility of using an alternative environmental radionuclide with the constant deposition through time, such as Lead-210 and Berylium-7. The present investigation is the first use of $^{210}Pb_{ex}$ and ^{7}Be techniques in Iran, specially

the need of further work aimed at exploring the use of ^{7}Be in arid and semi-arid areas is emphasized in the literature. The research was conducted in two dryfarming region; Kouhin (Qazvin Province), for implementing ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ techniques and Sarfirooz-Abad (Kermanshah Province) for performing ^{7}Be technique. Although studies using ^{137}Cs and to some extent $^{210}Pb_{ex}$ are now well-documented, there is a need for further work aimed at exploring the use of ^{7}Be, particularly in arid and semi-arid areas. In Kouhin, soil samples were collected within seven hectares cultivated field to determine the magnitude and spatial pattern of soil redistribution budgets. The net erosion rates for ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ techniques were estimated to be 4.6 and 12.3t ha^{-1} yr^{-1} respectively and Sediment Delivery Ratio reached 52 and 60 percent respectively using Mass Balance Model 2. Totally, the net soil erosion estimated from $^{210}Pb_{ex}$ measurements were much higher than those of ^{137}Cs, since in the case of ^{137}Cs, the results provide an estimate of the mean erosion rate over a period from 1963 to the time of sampling, whereas for $^{210}Pb_{ex}$ technique, the estimates reflect a longer time period. The changes in land management and rainfall characteristics that have occurred during the past century in the study area have had important influence on soil redistribution estimates by $^{210}Pb_{ex}$. In Sarfirooz-Abad, a hillslope with rainfall of about 480 mm was selected to estimate soil loss rates using 7Be radionuclide. Soil sampling performed in April 2011, after occurring 150 mm rainfall in 40 day. The net erosion rate was estimated to be 6.8t ha^{-1} yr^{-1} by and the sediment delivery ratio was about 80 percent using Profile Distribution model. According to the short period, the high net soil erosion rate is most likely the result of the mismanagement of the dry farm, cultivation operation along the main slope direction, the heavy rainfall occurring during the late winter and early spring seasons without major vegetative cover and the steep topography. This study has demonstrated the potential of using $^{210}Pb_{ex}$ ^{7}Be techniques m to determine the soil redistribution rates in semi-arid area.

Keywords: $^{210}Pb_{ex}$, ^{7}Be, ^{137}Cs, Soil Erosion, Fallout Radionuclides, Kouhin, Kermanshah.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از عمده‌ترین روش‌های تخریب خاک در کشور ایران است. در دهه‌های اخیر روش سزیم-۱۳۷ بطور موفقیت‌آمیز در کمّی کردن مقدار فرسایش و رسوب در ایران استفاده شده است، لیکن موجودی سزیم-۱۳۷ در خاک در اثر فروپاشی کاهش یافته است بطوریکه در حدود ده سال آینده به کمترین حد آشکارسازی خود می‌رسد[۱] که منجر به ایجاد مشکلاتی در استفاده از این روش خواهد شد. بنابراین نیاز به استفاده از یک ردیاب جایگزین با ریزش مداوم، ضروری به نظر می رسد. در سال‌های اخیر رادیوایزوتوپ طبیعی سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ در مطالعات فرسایش خاک بطور موفقیت آمیزی استفاده شده‌اند [۲]. مطالعه حاضر اولین آزمون بررسی قابلیت استفاده از روش سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ برای مطالعه فرسایش و رسوب در ایران می‌باشد. از طرفی با توجه به مدیریت نامناسب اراضی، بویژه در دیم‌زارهای کشور از جمله تبدیل مراتع به دیم‌زارهای کم بازده و شخم در جهت شیب، تخمین دقیق فرسایش خاک در این اراضی از اهمیت زیادی برخوردار است.

برخلاف سزیم-۱۳۷ که رادیونوکلوئید مصنوعی است، سرب-۲۱۰، رادیوایزوتوپ طبیعی با نیمه عمر ۲۲/۳ سال حاصل از سری‌های تجزیه اورانیم می‌باشد. از فروپاشی اورانیم-۲۳۸ طی یک زنجیره رادیونوکلوئیدی، رادیوم- ۲۲۶ (با نیمه عمر۱۶۲۲

سال) بوجود می‌آید. از فروپاشی رادیوم-۲۲۶ که در خاک و سنگ‌ها وجود دارد، رادن-۲۲۲ گازی (با نیمه عمر ۳/۸ روز) حاصل می‌شود که بخش اعظم آن در خاک به سرب-۲۱۰ تبدیل می‌گردد و سرب-۲۱۰ تامین شده (Supported ^{210}Pb) و یا پایه را ایجاد می‌کند که غلظت آن برابر با رادیوم-۲۲۶ است [۳]. بخش کمی از رادن-۲۲۲ گازی وارد آتمسفر شده و در آنجا در اثر فروپاشی به ایزوتوپ‌های با نیمه عمرکوتاه تبدیل شده، و در نهایت بیسموت-۲۱۴ (با نیمه‌عمر ۱۹/۸ دقیقه) و سپس سرب-۲۱۰ را تولید می‌کند. سرب-۲۱۰ تولید شده از طریق ریزش‌های خشک و مرطوب در سطح زمین رسوب می‌کند که به آن سرب اضافی (Excess or unsupported, $^{210}Pb_{ex}$) می‌گویند [۲]. تاکنون مطالعات متعددی استفاده موفقیت آمیز روش سرب-۲۱۰ اضافی را گزارش داده‌اند، ازجمله؛ والینگ و هی [۴]، ژانگ و همکاران [۵]، والینگ و همکاران [۶] وگاسپر و همکاران [۷] ، بن منصور و همکاران [۸] و... . لیکن در برخی از مطالعات صورت گرفته در نقاط مختلف دنیا روش سرب-۲۱۰ قابل استفاده نبوده که می‌توان به مطالعات مبیت و همکاران [۹]، پروتو و همکاران [۱۰] و کاتو و همکاران [۱۱] اشاره نمود که دلیل این امر را غلظت کم سرب-۲۱۰ و عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها دانستند.

بریلیوم-۷، رادیونوکلوئید طبیعی با منشاء کیهانی می‌باشد که در سطوح بالای آتمسفر از تشعشات کیهانی بر مولکول‌های نیتروژن و اکسیژن به وجود می‌آید [۱۲]. بنابراین می‌توان فرض نمود که در یک تاریخ مشخص، غلظت بریلیوم-۷ در آتمسفر در یک منطقه کوچک تقریباً یکنواخت باشد [۱۳]. بریلیوم-۷ از دهه ۱۹۹۰ برای تخمین فرسایش و رسوب پس از یک دوره بارندگی شدید، به‌ویژه در مقیاس کرت چندین متر مربع تا مزارع چند هکتاری استفاده شده است [۱۴]. مطالعات موفقیت‌آمیز استفاده از روش بریلیوم-۷ در استرالیا، شیلی، آمریکا و بریتانیا گزارش شده و کاربرد موفقیت‌آمیز آن توسط چندین پژوهشگر از جمله، بلاک و همکاران [۱۵]، والینگ و همکاران [۱۶]، ویلسون و همکاران [۱۴]، اسکولر و همکاران [۱۷]، سپولودا و همکاران [۱۸] ، شی و همکاران [۱۹] و ... گزارش شده است.

با توجه به مدیریت نامناسب اراضی شیبدار منطقه کوهین استان قزوین، تخمین دقیق فرسایش به ویژه در دیمزارها از اهمیت بالایی برخوردار است. از طرفی استان کرمانشاه با دو برابر میانگین بارندگی کشور دارای وسعت عظیمی از اراضی دیم می‌باشد که به دلیل وجود بخش قابل توجهی از این اراضی در مناطق شیب‌دار و مدیریت ناصحیح، فرسایش شدید خاک در کلیه اشکال آن را ایجاد نموده است. به‌طوریکه بیشترین میزان فرسایش در عرصه دیم‌زارها با متوسط ۱۲/۸ تا ۶۰ تن در هکتار در سال می‌باشد [۲۰]. هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از رادیوایزوتوپ سرب-۲۱۰ و بریلیوم-۷ در برآورد فرسایش خاک در مناطق نیمه خشک و در دامنه شیب با کاربری دیم می‌باشد.

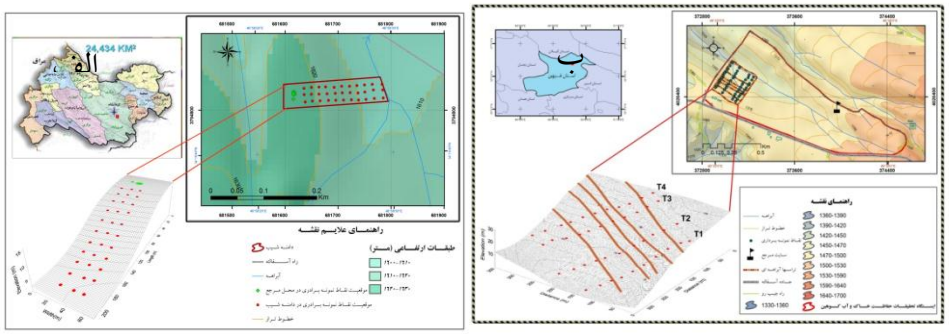
مواد و روش‌ها

اجرای روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ اضافی در کوهین

منطقه مطالعاتی، ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران، در منطقه کوهین واقع در ۴۰ کیلومتری جاده ارتباطی قزوین- رشت و در موقعیت جغرافیایی ″۲۲ ،′۲۲ ،°۳۶ تا ″۴۸ ،′۲۲ ،°۳۶ شمالی و ′۳۵ ، °۴۹ تا ″۱۱ ،′۳۶ ، °۴۹ شرقی قرار دارد (شکل ۱الف). در داخل ایستگاه یک دامنه شیب رو به شمال باوسعت ۶/۶ هکتار، متوسط ارتفاع ۱۳۵۴متر و حداکثر شیب ۱۹٪ انتخاب گردید (شکل ۱الف). میانگین طولانی مدت بارندگی و متوسط درجه حرارت سالانه در ایستگاه به ترتیب

برابر با ۳۳۰ میلی‌متر و ۱۲/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. در ایستگاه از حدود ۴۰ سال قبل، عملیات حفاظت خاک شامل قرق، احداث تراس‌های آبراهه‌ای پایه پهن (Broad-base terraces) و کشت و کار بر روی خطوط تراز (Contour farming) اجرا گردیده است. در حالیکه در اراضی زراعی خارج از ایستگاه هیچگونه عملیات حفاظتی انجام نگرفته و شخم در جهت شیب صورت می گیرد. جهت تعیین میزان فعالیت رادیونوکلوئیدها در محل مرجع، در داخل ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوهین محلی که برای سالیان متوالی دست نخورده باقیمانده و بر روی یک زمین نسبتا مسطح که رسوبی بر روی آن قرار نگرفته و خود نیز به سبب نداشتن شیب در معرض فرسایش نبوده است، به عنوان مرجع انتخاب گردید (شکل ۱الف). نمونه‌برداری به روش جزء به جزء (افزایش عمقی) (Incrimental sampling) با فواصل ۲ سانتی متری (تا عمق ۵۰ سانتی متر) با استفاده از دستگاه صفحه تراش (Scraper Plate) که توسط کمپل [۲۱] طراحی گردیده است، جمع آوری گردید.

در دامنه شیب مورد مطالعه، نمونه های خاک در چهار ترانسکت و در هر ترانسکت به فواصل تقریبی ۲۵ متر جهت تعیین توزیع مکانی رادیونوکلوئید و تغییرات مکانی آن، در اثر فرآیند توزیع مجدد خاک صورت گرفت (شکل ۱الف). نمونه-برداری با استفاده از استوانه نمونه برداری به قطر۸/۳ سانتیمتر از عمق ۰-۴۰ سانتی‌متر جمع‌آوری گردید. در قسمت پایین شیب جهت در نظر گرفتن تمامی سزیم-۱۳۷ نمونه‌برداری تا عمق ۵۰ سانتی متری صورت گرفت. نمونه های خاک با روش استاندارد جهت گاماسپکترومتری آماده گردیدند. جهت تعیین فعالیت سزیم-۱۳۷ از دستگاه گاما اسپکترومتر نوع P ، با کارایی ۸۰٪ استفاده گردید. نمونه بر روی آشکارساز ژرمانیم قرارگرفته و اشعه گامای ساطع شده شمارش گردید. فعالیت رادیونوکلوئیدهای سرب-۲۱۰ و رادیوم-۲۲۶ در نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه گاما اسپکترومتر نوع N با کارایی نسبی ۳۰٪ تعیین گردید. از مدل بیلان جرم-۲، با استفاده از نرم افزاری که توسط والینگ و همکاران [۱] ارائه شده است، میزان فرسایش و رسوب در همه نقاط محاسبه گردید.



شکل ۱ - الف)موقعیت جغرافیایی ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران، محل مرجع، تراس‌های آبراهه‌ای و نقاط نمونه-برداری بر روی ترانسکت‌ها ب) موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه، نقاط نمونه برداری از محل مرجع و بر روی دامنه شیب

اجرای روش بریلیوم-۷ در سرفیروزآباد

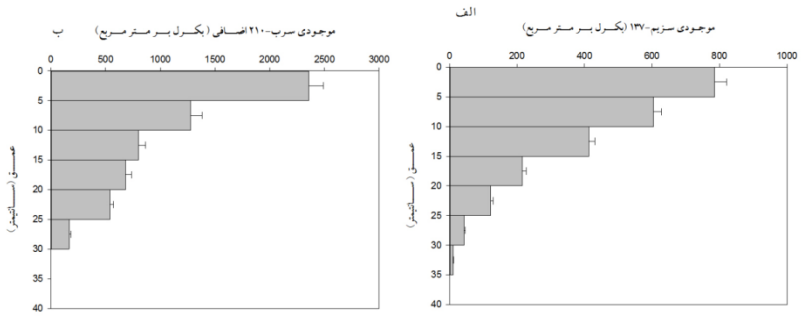
در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه، یک دامنه شیب به وسعت ۱ هکتار در ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمانشاه برای مطالعه فرسایش با استفاده از روش بریلیوم-۷ انتخاب گردید. مزرعه با کاربری دیم در موقعیت جغرافیایی ´۱۶ ، °۳۴ شمالی و ´۵۸ ، °۴۶ شرقی قرار دارد (شکل ۱ب). کمینه، بیشینه و میانگین ارتفاع مزرعه به ترتیب ۱۶۰۷، ۱۶۲۲ و ۱۶۱۵ متر و کمینه،

بیشینه و میانگین شیب به ترتیب ۰/۲، ۱۶ و ۸ درصد می‌باشد و طول شیب برابر با ۲۰۰ متر است و عملیات خاک‌ورزی در جهت شیب صورت می‌گیرد. میانگین بارندگی سالیانه و درجه حرارت سالیانه به ترتیب ۴۸۰ میلی‌متر و ۱۴/۸۶ درجه سانتی-گراد است [۲۰]. بریلیوم-۷ در خاک‌های دست نخورده در سطح خاک تمرکز داشته و دارای توزیع نمایی می‌باشد. نمونه‌های خاک باید از اعماق بسیار کم جمع‌آوری گردند، عموماً عمق ۲ میلی‌متر نیاز می‌باشد بدین منظور از دستگاه نمونه‌بردار جزء به جزء نازک (Collector Fine Soil Increment) استفاده گردید[۲]. نمونه‌های خاک در دامنه شیب در امتداد سه ترانسکت به فواصل حدود ۱۵ متر و در هر ترانسکت به فواصل تقریبی ۲۰ متر جهت تعیین توزیع مکانی رادیونوکلوئید و تغییرات مکانی آنها، در اثر فرآیند توزیع مجدد خاک صورت گرفت (شکل ۱ب). نمونه‌های کلی با استفاده از مته‌ای به قطر ۱۰/۶ سانتی‌متر از عمق ۰-۴ سانتی‌متر با دو تکرار جمع‌آوری گردید. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به روش استاندارد، فعالیت بریلیوم-۷ در نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه گاما اسپکترومتر نوع P تعیین گردید. با توجه به فرضیات روش بریلیوم-۷ [۱۵]، بر اساس آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، حالت اول به دلیل وجود بارندگی در طول زمستان در منطقه محقق نمی‌گردد. حالت دوم نیز به دلیل وجود بارندگی با شدت نسبتا بالا و احتمال تغییر در توزیع بریلیوم ورودی محقق نمی‌گردد. بنابراین بر اساس حالت سوم در دامنه شیب مطالعاتی در تاریخ ۸۹/۱۲/۲۸ شخم سنتی در جهت شیب و تا عمق ۲۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. پس از ریزش ۱۵۰ میلی‌متر بارندگی بین ۲۸ اسفند ۱۳۸۹ تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۰ و به‌ویژه وجود یک بارندگی با شدت بیش از ۴۵ میلی‌متر در روز، نمونه‌برداری در تاریخ ۹۰/۲/۱۳ در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. جهت ایجاد ارتباط بین تلفات رادیو ایزوتوپ بریلیوم-۷ و میزان فرسایش و رسوب از یک مدل تبدیلی ساده که بلاک و همکاران [۱۵] برای تخمین توزیع مجدد خاک با استفاده از داده‌های بریلیوم-۷ ارائه نموده بودند، استفاده گردید.

نتایج و بحث

روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰

متوسط فعالیت سزیم-۱۳۷ در محل مرجع ۱۲۰ ± ۲۱۹۵ بکرل بر متر مربع بود. فعالیت سزیم-۱۳۷ با افزایش عمق دارای کاهش نمایی بوده و ۹۰ درصد سزیم رادیوکتیو در عمق صفر تا ۱۸ سانتی‌متری قرار گرفته است (شکل ۲). رادیونوکلوئید در اعماق پایین تر از ۳۵ سانتی متر وجود نداشت و یا غلظت آن کمتر از حد آشکارسازی بود. موجودی سرب-۲۱۰ اضافی در محل مرجع ۲۹۷ ±۵۸۲۵ بکرل بر متر مربع بود. که مقدار ریزش سالانه آن ($I_{(t)}$) در منطقه مورد مطالعه با توجه به معادله $I_{(t)} = A_{ref}.\ln(2)/22.3$ [۲] ۱۸۱ بکرل بر متر مربع می‌باشد. فعالیت سرب-۲۱۰ با افزایش عمق دارای کاهش نمایی بوده بطوریکه ۹۰ درصد سرب-۲۱۰ در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری قرار گرفته است (شکل ۲). این رادیونوکلوئید در اعماق پایین-تر از ۳۰ سانتی متر وجود نداشت و یا غلظت آن کمتر از حد آشکارسازی بود.

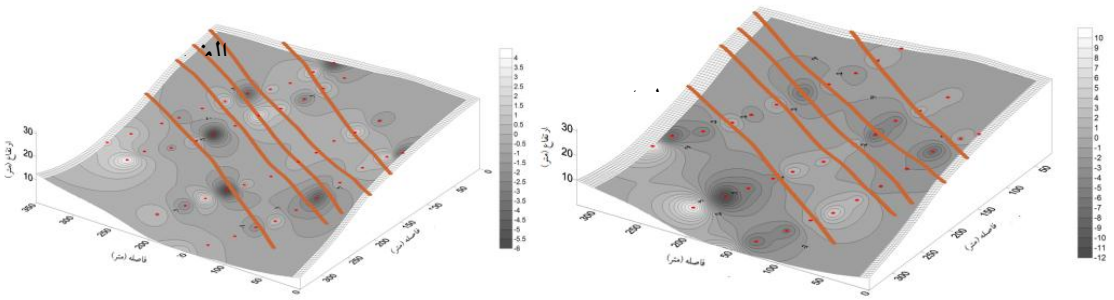


شکل ۲- توزیع عمقی فعالیت الف) سزیم-۱۳۷و ب) سرب-۲۱۰ اضافی در پروفیل مرجع

مقدار موجودی سزیم-۱۳۷ در نقاط نمونه برداری در دامنه شیب شده بین ۶۶۲ تا ۳۵۴۸ بکرل بر متر مربع متغیر بود (شکل۳ الف). با توجه به محدودیت‌های موجود در مطالعه حاضر، مقدار موجودی سرب-۲۱۰ در ۳۳ نقطه اندازه‌گیری شد و دامنه‌ای بین ۱۹۲۹ تا ۱۰۱۳۱ بکرل بر مترمربع داشت (شکل ۳ ب) مقدار فرسایش و رسوب با استفاده از مدل بیلان جرم-۲ برآورد گردید. با استفاده از مدل بیلان جرمی ۲ برای روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ مقدار فرسایش خالص به ترتیب، ۴/۶ و ۱۲/۳ تن در هکتار در سال و مقدار نسبت تحویل رسوب۵۲ و ۶۰ درصد محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر توزیع مجدد خاک برحسب تن در هکتار در سال برای مدل بیلان جرم ۲ در روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب- ۲۱۰

رادیونوکلوئید	دامنه فرسایش	میانگین فرسایش	میانگین رسوب‌گذاری	فرسایش ناخالص	رسوب ناخالص	فرسایش خالص	نسبت تحویل رسوب (درصد)
سزیم-۱۳۷	۰/۰۱-۴۴	۱۴/۲	۱۱/۱	۸/۸	۴/۲	۴/۶	٪۵۲
سرب-۲۱۰	۵/۸-۶۲/۸	۳۳/۴	۲۱/۱	۲۰/۵	۸/۱	۱۲/۳	٪۶۰



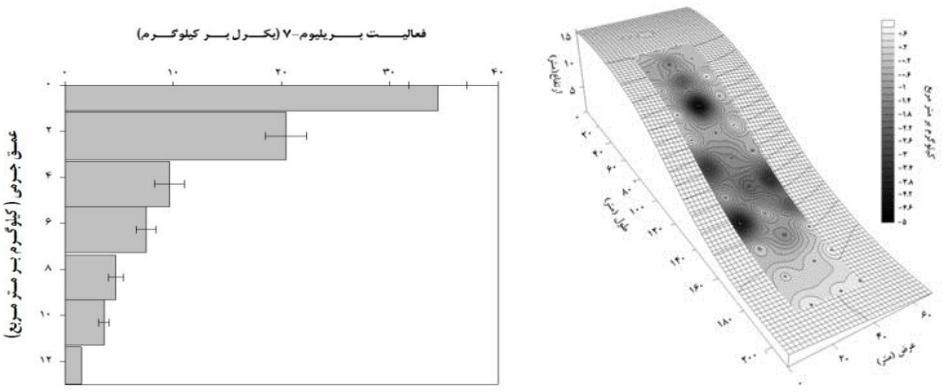
شکل ۳- نقشه توزیع مجدد خاک (تن در هکتار در سال) برآورد شده توسط مدل بیلان جرم ۲ در روش‌های الف) سزیم-۱۳۷ و ب) سرب-۲۱۰ (مقادیر منفی نشان دهنده فرسایش و مقادیر مثبت نشان دهنده رسوب می باشد).

الگوی توزیع مجدد خاک برای هر دو رادیونوکلوئید، به شدت تحت تاثیر تراس‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بود (شکل۳). گاسپر و همکاران [۷] نیز الگوهای مشابهی را در مناطق دارای تراس‌های آبراهه‌ای و کشت نواری با استفاده از سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ بدست آوردند. در مجموع یک توافق کلی بین الگوی توزیع مجدد خاک در طول ترانسکت‌ها با استفاده از دو رادیونوکلوئید مشاهده شده است. لیکن میانگین رسوب‌گذاری در پایین شیب در روش سرب-۲۱۰ بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از روش سزیم-۱۳۷ بود (شکل ۳). همچنین مقادیر میانگین فرسایش و رسوب برآورد شده توسط دو روش سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ با یکدیگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشتند (جدول ۱). در این زمینه ژانگ و همکاران [۵] اظهار

داشته‌اند که روش سزیم-۱۳۷ تخمینی از میانگین فرسایش از سال ۱۹۶۳ تا زمان نمونه برداری فراهم می‌نماید، در حالی‌که نتایج سرب-۲۱۰ اضافی بازتاب کننده دوره زمانی بسیار طولانی‌تری است. والینگ و همکاران [۶]، ژانگ و همکاران [۵] و گاسپر و همکاران [۷] تصدیق نمودند که دو رادیونوکلوئید بعید است که نتایج یکسانی ایجاد نمایند زیرا تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف تاثیرات مهمی دارند، همچنین تغییرات در شدت بارندگی در دو دوره مختلف ممکن است تاثیرگذار باشد. به نظر می‌رسد که احداث تراس‌های آبراهه‌ای در حدود ۴۰ سال پیش در منطقه مورد مطالعه تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش مقادیر فرسایش و رسوب گذاشته باشد. در هر حال باید این واقعیت را در نظر گرفت که عدم قطعیت مربوط به اندازه‌گیری سرب-۲۱۰ (حدود ۳۰ درصد) بسیار بیشتر از اندازه‌گیری‌های سزیم-۱۳۷ (حدود ۴ درصد) می‌باشد.

روش بریلیوم-۷ در سرفیروزآباد

متوسط موجودی بریلیوم-۷ در شش نمونه کلی محل مرجع واقع در بالای همان شیب که تحت مدیریت مشابه با منطقه مورد مطالعه است، برابر با ۴۰ ±۳۲۶ بکرل بر متر مربع بود (شکل ۴ الف). مقدار موجودی بریلیوم-۷ در نقاط نمونه‌برداری شده بین ۸۷ تا ۳۹۶ بکرل بر مترمربع متغیر بود (شکل ۴ب). لازم به ذکر است که به دلیل غلظت کم بریلیوم-۷ در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه، زمان شمارش حداقل ۲۴ تا ۵۴ ساعت در نظر گرفته شد. با این وجود عدم قطعیت در مورد آشکارسازی نمونه‌ها زیاد و در حدود ۲۰ درصد تخمین زده شد. ضریب تغییرات فعالیت بریلیوم-۷ برابر با ۴۷ درصد بود، که نشان دهنده توزیع مجدد بریلیوم-۷ در اثر فرآیند فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه است. در بیشتر نقاط فعالیت بریلیوم-۷ کمتر از محل مرجع بود. از موجودی بریلیوم-۷ مقدار فرسایش و رسوب با استفاده از مدل توزیع پروفیل برآورد گردید [۱]. نسبت تحویل رسوب، حدود ۸۰ درصد برآورد گردید که بیانگر این است که بخش زیادی از ذرات فرسایش یافته در دوره با بارندگی شدید به خارج از دامنه شیب منتقل شده است. با توجه به شیب زیاد دامنه (حداکثر ۱۶ درصد)، انجام عملیات شخم و شیار در جهت شیب و عدم وجود پوشش گیاهی، مقدار زیاد فرسایش خاک منطقی به نظر می‌رسد. مقدار فرسایش خالص ۰/۶۸ کیلوگرم بر متر مربع، بیانگر وضعیت بحرانی فرسایش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل٤ - الف) توزیع عمقی فعالیت جرمی بریلیوم-۷ در واحد سطح در پروفیل مرجع ب) نقشه توزیع مجدد خاک (کیلوگرم بر مترمربع) در دامنه شیب مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

فرسایش و رسوب در دوره زمانی مذکور از الگوی خاصی تبعیت نمی‌کند که با نتایج سپولودا و همکاران [۱۸] مطابقت دارد. آنها نیز الگوی مکانی خاصی با استفاده از بریلیوم-۷ در منطقه مورد مطالعه در شیلی مشاهده ننمودند و اظهار داشتند که مقادیر فرسایش و رسوب بطور تصادفی در منطقه مورد مطالعه توزیع گردیده است که دلیل این امر را در تغییرات میکروتوپوگرافی منطقه دانستند. در مطالعه حاضر دلیل این امر را می‌توان به میکروتوپوگرافی و زبری سطح در دامنه شیب و همچنین نبود زمان کافی و یا جریانات سطحی قوی جهت انتقال رسوبات به پایین دست شیب نسبت داد که منجر به رسوب مواد معلق در طول شیب در مدت ۴۰ روز شده است. در این زمینه گاسپر و همکاران [۷] اظهار می‌دارند که تخمین تلفات خاک با روش بریلیوم-۷ نشان دهنده وقوع تلفات خاک در بیشتر ترانسکت‌ها می‌باشد، لیکن نتایج روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ یک توزیع مکانی متفاوت را نشان می‌دهد، که بازتاب کننده توپوگرافی و کاربری در هر یک از ترانسکت‌ها می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر، پیچیدگی فرایند توزیع مجدد خاک را روشن نموده و ضرورت توجه به تعداد زیادی از عوامل شامل کاربری و مدیریت اراضی، توپوگرافی و شدت بارندگی، در هنگام تفسیر الگوهای توزیع مجدد خاک در مقیاس زمانی و مکانی تاکید می‌کند. مقادیر فرسایش و رسوب برآورد شده توسط روش سرب-۲۱۰ بیشتر از روش سزیم-۱۳۷ تخمین زده شد. زیرا روش سزیم-۱۳۷ تخمینی از میانگین فرسایش از سال ۱۹۶۳ تا زمان نمونه‌برداری فراهم می‌نماید در حالی‌که نتایج سرب-۲۱۰ اضافی بازتابی از دوره زمانی بسیار طولانی‌تری است. تغییرات کاربری و مدیریت اراضی و ویژگی‌های بارندگی که در طول قرن گذشته در منطقه مورد مطالعه، تاثیرات مهمی بر مقدار فرسایش و رسوب برآورد شده توسط روش سرب-۲۱۰ اضافی گذاشته است. هر چند که استفاده موفقیت‌آمیز روش سرب-۲۱۰ در مناطق مرطوب در منابع مختلف ذکر شده است لیکن مطالعات محدودی از استفاده از این روش در مناطق خشک و نیمه خشک گزارش شده است. نتایج تحقیق حاضر امکان استفاده از روش سرب-۲۱۰ در مناطق نیمه خشک را تایید می‌نماید.

نتایج، پتانسیل استفاده از روش بریلیوم-۷ برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در دوره زمانی کوتاه مدت در منطقه نیمه-خشک را نشان داد. بزرگی مقدار فرسایش خالص برآورد شده توسط روش بریلیوم-۷ در دوره زمانی کوتاه در منطقه (۶/۸ تن در هکتار)، شرایط بحرانی منطقه مورد مطالعه و نیاز به انجام مدیریت‌های صحیح جهت کاهش مقدار فرسایش را نشان می‌دهد. هر چند از استفاده از روش بریلیوم-۷ در مناطق نیمه خشک در سایر نقاط دنیا اطلاعات کمی وجود دارد، نتایج پژوهش حاضر، پتانسیل استفاده از روش بریلیوم-۷ برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در دوره زمانی کوتاه مدت در منطقه نیمه‌خشک را روشن نمود. در هر حال نیاز به بررسی بیشتر جهت بررسی امکان اجرای روش در سایر نقاط با اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد. همچنین به دلیل نیمه عمر کوتاه بریلیوم-۷، نمونه‌ها باید در مدت زمانی کوتاه، قبل از کاهش فعالیت آن به کمتر از سطح قابل اندازه‌گیری، شمارش شوند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد از چندین آشکارساز استفاده گردد و یا اینکه تعداد نمونه‌ها محدود شود.

فهرست منابع

D.E. Walling, Y. Zhang and Q. He, "Models for deriving estimates of erosion and deposition rates from fallout radionuclide (caesium-137, excess lead-210 and beryllium-7) measurements and the

development of user-friendly software for model implementation. Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality", IAEA-TECDOC-1665. International Atomic Energy Agency Publication, 11–33(2011).

L. Mabit, M. Benmansour and D.E. Walling, "Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs, $^{210}Pb_{ex}$ and ^{7}Be for assessing soil erosion and sedimentation", Journal of Environmental Radioactivity. 99, 1799–1807 (2008).

R.A. Robbins, "Geochemical and geophysical application of radioactive lead", In: J.O. Nriagu, (Ed.), The Biogeochemistry of Lead in the Environment, Elsevier, Amsterdam, 286– 383 (1978).

D.E. Walling and Q. He, "Using fallout lead-210 measurements to estimate soil erosion on cultivated land", Soil Science Society American Journal. 63, 1404– 1412(1999).

X. Zhang, Y. Qi, D.E. Walling, X. He, A. Wen and J. Fu, "A preliminary assessment of the potential for using $^{210}Pb_{ex}$ measurement to estimate soil redistribution rates on cultivated slopes in the Sichuan Hilly Basin of China", Catena. 68, 1 – 9 (2006).

D.E. Walling, A.L. Collins and H.M. Sichingabula, "Using unsupported lead-210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambian catchment", Geomorphology. 52, 193–213 (2003).
L. Gaspar, A. Navas, J. Machin and D.E. Walling, "Using $^{210}Pb_{ex}$ measurements to quantify soil redistribution along two complex toposequences in Mediterranean agroecosystems, northern Spain", Soil and Tillage Research. 130, 81–90 (2013).

M. Benmansour, L. Mabit, A. Nouira, R. Moussadek, H. Bouksirate, M. Duchemin and A. Benkdad, "Assessment of soil erosion and deposition rates in a Moroccan agricultural field using fallout ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$", Journal of Environmental Radioactivity. 115, 97-106 (2013).

L. Mabit, A. Klik, M. Benmansour, A. Toloza, A. Geisler and U.C. Gerstmann, "Assessment of erosion and deposition rates within an Austrian agricultural watershed by combining ^{137}Cs, $^{210}Pb_{ex}$ and conventional measurements", Geoderma. 150, 231-239 (2009).

P. Porto, D.E. Walling and G. Callegari, "Investigating the effects of afforestation on soil erosion and sediment mobilization in two small catchments in Southern Italy", Catena. 79, 181-188 (2009).

H. Kato, Y. Onda and Y. Tanaka, "Using ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ measurements to estimate soil redistribution rates on semi-arid grassland in Mongolia", Geomorphology. 114 508–519 (2010).

A. Ioannidou and C. Papastefanou, "Precipitation scavenging of ^{7}Be and ^{137}Cs radionuclides in air", Journal of Environmental Radioactity. 85:121-136 (2006).

C. Doering, R. Akberand H. Heijins, "Vertical distribution of ^{210}Pb excess, ^{7}Be and ^{137}Cs in selected grass covered soils in Southeast Queensland", Australian Journal of Environmental Radioactity. 87:135-147 (2006).

C.G. Wilson, G. Matisoff and P.J. Whiting, "Short-term erosion rates a 7Be inventory balance", Earth Surface Processes and Landforms. 28, 967-977 (2003).

W. Blake, D.E. Walling and Q. He, "Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations", Applied Radiation and Isotopes. 51(5), 599–605 (1999).

D.E. Walling, Q. He and W. Blake, "Use of ^{7}Be and ^{137}Cs measurements to document short- and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land", Water Resource Reservoir. 35, 3865-3874 (1999).

P. Schuller, D.E. Walling, B. Mancilla, A. Castillo and R.E. Trumper, "Use of beryllium-7 to document soil redistribution following forest harvest operations", Journal of Environmental Quality. 35, 1756–1763 (2006).

A. Sepulveda, P. Schuller, D.E. Walling and A. Castillo, "Use of ^{7}Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall", Journal of Environmental Quality. 99, 35-49 (2008).

A. Shi, A. Wen, X. Zhang, and D. Yan, "Comparison of the soil losses from ^{7}Be measurements and the monitoring data by erosion pins and runoff plots in the Three Gorges Reservoir region, China", Applied Radiation Isotopes. 69, 1343–1348 (2011).

Agricultural Planning and Economics Researches Institute, "Mahidasht, Sanjabi plain study: (phase 1) volume 2, 3, 4 and 5, climate, topography, soil and land use study", TAM Consulting Engineering, Ministry of Jihad Agriculture, Iran (2004).

B.L. Campbell, R.J. Loughran and G.L. Elliott, "A method for determining sediment budgets using caesium-137, In M.P. Bordas, D.E. Walling, (Eds.), Sediment budgets", International Association of Hydrological Sciences Publication. 174, 171–179 (1988).