



استفاده از رادیونوکلئید بریلیوم-۷ در برآورد توزیع مجدد خاک در زمین‌های دیم استان کرمانشاه

* مارال خدادادی^۱، منوچهر گرجی^۲، محمد قنادی مراغه^۳، علی سامانی بهرامی^۴،

حسین میرسید حسینی^۵، قوام‌الدین زاهدی‌امیری^۵ و معین مفتاحی^۶

^۱ استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تهران، ^۳ آستاد پژوهشگاه علوم و فنون

هسته‌ای، ^۴ دانشیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، ^۵ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشگاه تهران،

^۶ مربی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱

چکیده

در دهه‌های اخیر، رادیویزوتوپ‌ها در برآورد فرسایش و رسوب به‌طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هر چند تاکنون مطالعات فرسایش و رسوب، با استفاده از سزیم-۱۳۷ و تا حدودی سرب-۲۱۰ صورت گرفته است اما نیاز به پژوهش بیش‌تر در ارتباط با امکان استفاده از بریلیوم-۷ به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌باشد. برتری اصلی روش به‌نسبت نوین بریلیوم-۷ نسبت به دو رادیونوکلئید دیگر، ارزیابی توزیع دوباره خاک ناشی از هر بارندگی، یا یک دوره کوتاه با بارندگی شدید است. یک دامنه شیب با طول ۲۰۰ متر، متوسط شیب ۸ درصد و میانگین بارندگی سالیانه ۴۸۰ میلی‌متر، در جنوب‌غربی شهر کرمانشاه برای مطالعه انتخاب گردید. نمونه‌برداری پس از ریزش ۱۵۰ میلی‌متر بارندگی در ۴۰ روز در اردیبهشت، ۱۳۹۰ در امتداد سه ترانسکت صورت گرفت. فعالیت بریلیوم-۷ در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گاما اسپکترومتر تعیین گردید. با استفاده از مدل توزیع پروفیل، مقدار فرسایش خالص ۶/۸ تن در هکتار برای دوره زمانی مورد مطالعه برآورد شد. با توجه به دوره زمانی کوتاه، این مقدار زیاد ناشی از مدیریت نادرست مزرعه دیم، شیب تند، شخم در جهت شیب و بارندگی شدید در اواخر زمستان و اوایل بهار زمانی که خاک بدون پوشش است، می‌باشد.

* مسئول مکاتبه: mkhodadadi@nrcam.org

نسبت تحویل رسوب ۸۰ درصد برآورد گردید که بیانگر انتقال بخش زیادی از ذرات متحرک شده توسط فرسایش به خارج از دامنه شیب است. نتایج امکان استفاده از روش بریلیوم-۷ برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در دوره زمانی کوتاه مدت در منطقه نیمه خشک را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بریلیوم-۷، فرسایش خاک، رادیونوکلوئیدهای ریزشی، مدل توزیع پروفیل، کرمانشاه

مقدمه

کشور ایران با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، افزایش روزافزون جمعیت و گسترش فعالیت‌های کشاورزی در زمره کشورهای قرار دارد که مسایل زیست محیطی و حفاظت از منابع طبیعی در آنها از اهمیت مضاعفی برخوردار است. توزیع و الگوی بارندگی در سطح کشور باعث شده است که در اثر رگبارهای ناگهانی، بخش زیادی از خاک‌های حاصلخیز تحت پدیده فرسایش از چرخه تولید خارج و هزینه‌های زیادی را بر بخش کشاورزی کشور تحمیل نماید. نخستین گام در حفاظت خاک یک منطقه، برآورد دقیق فرسایش می‌باشد زیرا از یک طرف، برنامه‌ریزی برای مدیریت و حفاظت اراضی براساس داده‌های غیرواقعی می‌تواند منجر به تأثیرات مخرب زیادی شود و از سوی دیگر تدوین و اجرای مؤثر طرح‌های کنترل فرسایش، نیاز به برآورد دقیق فرسایش و اعمال روش‌های علمی برای مهار آن دارد. ولی اطلاعات دقیق و صحیح از میزان فرسایش در ایران کم است و بین اندازه‌گیری‌ها و برآوردهای انجام شده نیز اختلاف زیادی مشاهده می‌شود. استفاده از رادیونوکلوئیدهای سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و مازاد^۲ و بریلیوم-۷^۳ در برآورد فرسایش و رسوب در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (مبیت و همکاران، ۲۰۰۸). برتری اصلی روش بریلیوم-۷ نسبت به روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰، تخمین فرسایش خاک پس از هر واقعه و ارزیابی تأثیر عملیات و یا مدیریت حفاظت خاک در یک دوره زمانی کوتاه می‌باشد. در این پژوهش قابلیت استفاده از روش بریلیوم-۷ برای مطالعه فرسایش و رسوب در یک منطقه نیمه خشک ایران بررسی شد. نیاز به پژوهش بیش تر در ارتباط با استفاده از بریلیوم-۷ در مناطق خشک و نیمه خشک، توسط مبیت و همکاران (۲۰۰۸) نیز تصریح گردیده است.

1- Cesium-137(¹³⁷Cs)

2- Unsupported or Excess ²¹⁰Pb (²¹⁰Pb_{ex})

3- Beryllium-7(⁷Be)

بریلیوم-۷، رادیونوکلئید طبیعی با منشاء کیهانی می‌باشد که در سطوح بالای اتمسفر از تشعشعات کیهانی بر مولکول‌های نیتروژن و اکسیژن به وجود می‌آید (ایونیدو و پاپاستفانو، ۲۰۰۶). بنابراین می‌توان فرض نمود که در یک تاریخ مشخص، غلظت بریلیوم-۷ در اتمسفر در یک منطقه کوچک تقریباً یکنواخت باشد (دئورینگ و همکاران، ۲۰۰۶). تغییرات فصلی غلظت بریلیوم-۷ در قسمت‌های پایینی جو مشاهده شده است، که بیش‌تر علت آن را به تأثیر تغییرات در میزان تبادل هوا بین استراتوسفر و تروپوسفر نسبت می‌دهند (فیلائی و همکاران، ۱۹۸۹). بریلیوم-۷ به ذرات معلق در جو متصل و توسط ریزش‌های خشک و مرطوب به سطح زمین می‌رسد (پاپاستفانو، ۲۰۰۶). ریزش بریلیوم-۷ بستگی به میزان وقوع بارندگی دارد و موجودی بریلیوم-۷ ممکن است در مناطق خشک و نیمه‌خشک خیلی کم باشد، که این امر در مناطق گرم یا اقلیم‌های با دوره خشک طولانی می‌تواند مشکل ساز گردد (مبیت و همکاران، ۲۰۰۸).

بریلیوم-۷ پس از رسیدن به سطح خاک، به دلیل شعاع کوچک و تراکم بار زیاد در سطح کاتیون، به سرعت برای جذب در مکان‌های تبادل با سایر کاتیون‌ها رقابت می‌کند (کاست و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعاتی در ارتباط با پیوستگی بریلیوم-۷ با مواد آلی و آهن / منگنز (بای و همکاران، ۱۹۹۷؛ بلاک و همکاران، ۲۰۰۹) گزارش شده است. همچنین تیلور و همکاران (۲۰۱۲) رفتار جذبی بریلیوم-۷ بر روی ذرات خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد بیش از ۹۳ درصد بریلیوم بعد از ۰/۱ ساعت جذب ذرات خاک می‌گردد. بنابراین رادیونوکلئید پس از ریزش، به سرعت در چند میلی‌متری سطح خاک تثبیت و به ندرت در اعماق بیش از ۳ سانتی‌متری مشاهده می‌شود (سپولودا و همکاران، ۲۰۰۸). این رادیونوکلئید دارای نیمه‌عمر بسیار کوتاه‌تر (۵۳/۳ روز) نسبت به سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ است که توان ارزیابی فرآیندهای فرسایش در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر، به‌ویژه بعد از یک واقعه خاص و یا یک دوره کوتاه با بارندگی سنگین را دارا است. به این جهت می‌تواند امکان ارزیابی تأثیر اقدامات حفاظتی و تغییر نوع کشت را در کاهش فرسایش فراهم نماید. بنابراین بریلیوم-۷ می‌تواند ابزار مناسبی برای ارزیابی فرسایش در نتیجه تغییرات اقلیمی باشد (مبیت و همکاران، ۲۰۰۸). فعالیت بریلیوم-۷ به راحتی توسط آشکارساز استاندارد ژرمانیم^۱ در ۴۴۷/۶ کیلو الکترون ولت قابل اندازه‌گیری است.

1- High Pure Germanium “P type” detector (HPGe “P type”)

بریلیوم-۷ از دهه ۱۹۹۰ برای تخمین فرسایش و رسوب پس از یک دوره بارندگی شدید، به‌ویژه در مقیاس کرت چندین مترمربع تا مزارع چند هکتاری استفاده شده است (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳). مطالعات موفقیت‌آمیز استفاده از روش بریلیوم-۷ در استرالیا، شیلی، آمریکا و بریتانیا گزارش شده و کاربرد موفقیت‌آمیز آن توسط چندین پژوهشگر از جمله والبرینک و موری (۱۹۹۶)، بلاک و همکاران (۱۹۹۹)، والینگ و همکاران (۱۹۹۹)، ویلسون و همکاران (۲۰۰۳) و اسکولر و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. به‌عنوان مثال، سپولودا و همکاران (۲۰۰۸) از بریلیوم-۷ برای برآورد فرسایش خاک در یک دوره کوتاه با بارندگی شدید (۴۰۰ میلی‌متر در ۲۷ روز) در شیلی استفاده نمود. آن‌ها استفاده از روش بریلیوم-۷ برای پیش‌بینی فرسایش در یک دوره با بارندگی شدید را موفقیت‌آمیز دانستند. در مطالعه دیگری، شی و همکاران (۲۰۱۱) از روش بریلیوم-۷ برای تعیین توزیع مجدد خاک پس از یک دوره با بارندگی شدید در یک کرت بدون پوشش گیاهی در چین استفاده نمودند. مقدار فرسایش خالص با استفاده از رادیونوکلوئید بریلیوم $0/87$ کیلوگرم بر مترمربع برآورد گردید. مقایسه اندازه‌گیری‌های بریلیوم-۷ با داده‌های میخ‌ها و کرت‌های فرسایش نشان داد که مقدار تلفات خاک برآورد شده توسط بریلیوم-۷ قابل مقایسه با دو روش دیگر بود.

ایوب و همکاران (۲۰۰۹) مقدار بریلیوم-۷ را در آب باران در یک منطقه نیمه‌خشک در آرژانتین برای دو سال متوالی اندازه‌گیری نمودند. مقدار بریلیوم ته‌نشست شده همبستگی خوبی با مقدار بارندگی نشان داد. مقدار سالیانه بریلیوم-۷ ته‌نشست شده با فرض اینکه بریلیوم-۷ موجود در خاک فقط از طریق واپاشی^۱ کاهش می‌یابد، بین ۱۴۰-۱۲۰ بکرل بر مترمربع در سال بود. نتایج امکان استفاده از این رادیونوکلوئید در مطالعات فرسایش و رسوب در مناطق نیمه‌خشک را نشان داد.

با توجه به مدیریت نامناسب اراضی، به‌ویژه در دیم‌زارهای کشور از جمله تبدیل مراتع به دیم‌زارهای کم‌بازده و شخم در جهت شیب، تخمین دقیق فرسایش خاک در این اراضی از اهمیت زیادی برخوردار است. استان کرمانشاه با دو برابر میانگین بارندگی کشور دارای دشت‌های مهم کشاورزی با کم‌ترین محدودیت منابع اراضی می‌باشد. حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی استان به‌صورت دیم می‌باشد. در نتیجه وابستگی این اراضی به بارندگی منجر به تهدید تولیدات در شرایط خشکسالی شده است و از سوی دیگر وجود بخش قابل‌توجهی از این اراضی در مناطق شیب‌دار و مدیریت ناصحیح، فرسایش شدید خاک در همه اشکال آن را ایجاد نموده است.

1- Decay

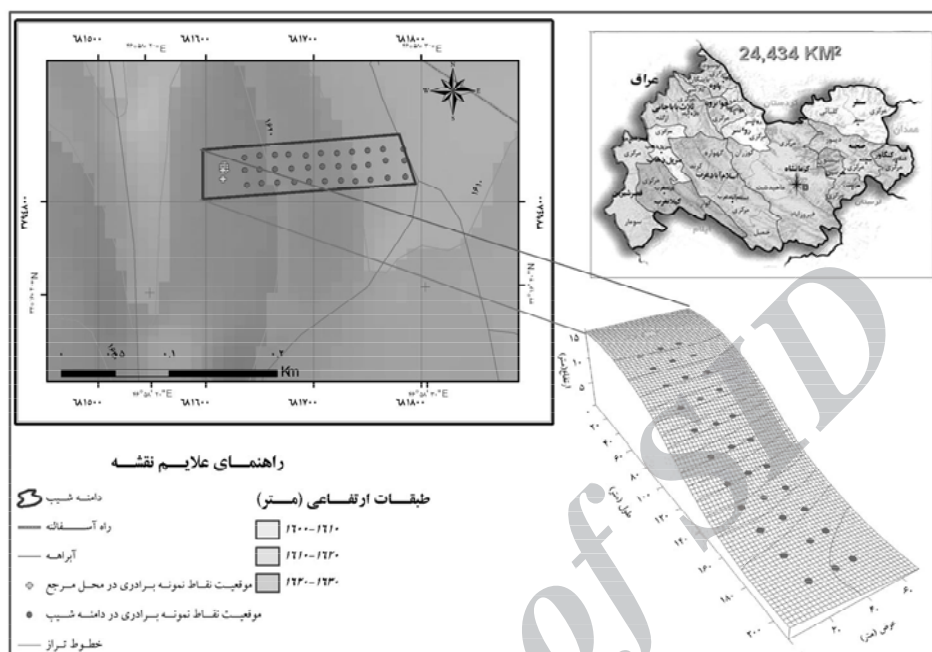
به طوری که براساس مطالعه (مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۲۰۰۴) بیش‌ترین میزان فرسایش در عرصه دیم‌زارها می‌باشد که متوسط آن از ۶۰-۱۲/۸ تن در هکتار در سال متغیر است. منطقه ماهیدشت، به دلیل تنوع کشت و مدیریت‌های زراعی و وفور اشکال مختلف تخریب خاک، برای چنین پژوهشی انتخاب گردید. این پژوهش برای بررسی امکان استفاده از رادیوایزوتوپ برلیوم-۷ برای برآورد فرسایش خاک در دوره کوتاه‌مدت در منطقه نیمه خشک کرمانشاه صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

در منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه، یک دامنه شیب به وسعت ۱ هکتار در ۱۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهر کرمانشاه برای مطالعه فرسایش با استفاده از روش برلیوم-۷ انتخاب گردید. مزرعه با کاربری دیم در موقعیت جغرافیایی ۱۶ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). 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 سانتی‌گراد است. الگوی بارش مدیترانه‌ای بوده و بیش‌تر بارندگی در فصل‌های سرد سال و به‌ویژه در اسفند و فروردین ریزش می‌کند (مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۲۰۰۴). خاک مزرعه مورد مطالعه در زیرگروه تپیک کلسی‌زرتز^۱ طبقه‌بندی شده است (مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، ۲۰۰۴). گیاهان زراعی عمده شامل گندم، جو و نخود است که به صورت دیم کشت می‌شوند.

محاسبه فرسایش به وسیله روش برلیوم-۷، براساس مقایسه مقدار رادیونوکلوئید موجود در خاک فرسایش‌یافته با یک سطح مرجع است. مراحل مختلف استفاده از روش برلیوم-۷ برای تعیین فرسایش شامل تعیین فعالیت رادیونوکلوئید در محل مرجع، اندازه‌گیری توزیع مکانی رادیونوکلوئیدها در منطقه مورد مطالعه، ارزیابی چگونگی توزیع مجدد رادیونوکلوئیدها در منطقه، ایجاد ارتباط (واسنجی) بین تلفات رادیوایزوتوپ‌ها و میزان فرسایش و رسوب می‌باشد.

1- Typic Calcixererts



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کرمانشاه، نقاط نمونه برداری از محل مرجع و بر روی دامنه شیب (تهیه شده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰).

تعیین میزان فعالیت رادیونوکلئیدها در محل مرجع: در روش بریلیوم-۷ پیدا کردن محل مرجع نسبت به روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ ساده‌تر می‌باشد، زیرا می‌توان از یک محل مسطح بالای همان شیب و یا در مجاورت منطقه که عملیات خاک‌ورزی در آن مشابه منطقه مورد مطالعه صورت می‌پذیرد، به‌عنوان محل مرجع استفاده نمود (بلاک و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسکولر و همکاران، ۲۰۰۶؛ سپولادا و همکاران، ۲۰۰۸؛ مبیث و همکاران، ۲۰۰۸). بریلیوم-۷ در خاک‌های دست‌نخورده در سطح خاک تمرکز داشته و دارای توزیع نمایی می‌باشد. عمق توزیع بریلیوم-۷ در محل مرجع بسیار مهم است و پارامتر اساسی در مدل‌های تبدیلی برای تخمین فرسایش می‌باشد (مبیث و همکاران، ۲۰۰۸). نمونه‌های خاک باید از اعماق بسیار کم جمع‌آوری گردند زیرا خاک سطحی وجود بریلیوم-۷ در لایه‌های زیرین را به سرعت محدود می‌نماید، به‌طور عموم عمق ۲ میلی‌متر نیاز می‌باشد. از ابزارهای مختلفی برای این منظور استفاده شده است (لوقران و الیوت، ۱۹۹۶) و بخش علوم خاک آژانس

بین‌المللی انرژی اتمی دستگاه نمونه‌بردار جزء به جزء نازک^۱ را برای این هدف طراحی نموده است (مبیت و همکاران، ۲۰۰۸). دستگاه با همکاری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران دستگاه ساخته شد. در واقع نوعی نمونه‌بردار پیستونی است که با باز کردن یک پیچ می‌توان خاک را با فواصل عمقی ۲ میلی‌متر درون یک سیلندر به قطر داخلی ۱۴/۵ سانتی‌متر به سمت بالا رانده و با کمک یک کاردک خاک را از سطح جدا و جمع‌آوری کرد (شکل ۲).



- الف) خارج کردن سیلندر نمونه‌برداری از خاک
- ب) حذف خاک اضافی
- ج) سوار کردن قطعات
- د) تنظیم دستگاه بر روی سه پایه
- ه) خروج خاک با استفاده از پیچ
- ی) جمع‌آوری نمونه‌های جزبه جزء

شکل ۲- مراحل جمع‌آوری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار جزء به جزء با فواصل عمقی ۲ میلی‌متر.

1- Fine Soil Increment Collector

از این رو یک محل سطح بالای دامنه شیب به عنوان مرجع انتخاب گردید که علایم فرسایش و رسوب نشان نداده و عملیات خاک‌ورزی مشابه منطقه مورد مطالعه در آن صورت پذیرفته بود (شکل ۱). نمونه‌های جزء به جزء با فواصل عمقی ۲ میلی‌متر از چهار نقطه به فاصله ۱ متر جمع‌آوری گردید. همچنین برای تعیین توزیع مکانی رادیونوکلوئید در محل مرجع نمونه‌های کلی^۱ از یک شبکه ۲×۳ به فاصله ۱ متر جمع‌آوری شد.

نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری توزیع مکانی رادیونوکلوئیدها در منطقه مورد مطالعه: هدف از نمونه‌برداری، تعیین توزیع مکانی رادیونوکلوئید و تغییرات مکانی آن، در اثر فرآیند توزیع مجدد خاک می‌باشد. در این مطالعه در روش بریلیم-۷ نمونه‌های خاک در سه ترانسکت به فواصل حدود ۱۵ متر و در هر ترانسکت به فواصل تقریبی ۲۰ متر برای تعیین توزیع مکانی رادیونوکلوئید و تغییرات مکانی آن‌ها، در اثر فرآیند توزیع مجدد خاک صورت گرفت (شکل ۱). نمونه‌های کلی با استفاده از مته‌ای به قطر ۱۰/۶ سانتی‌متر از عمق ۴-۰ سانتی‌متر با دو تکرار جمع‌آوری گردید.

آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری فعالیت بریلیم-۷ در نمونه‌های خاک: ابتدا نمونه‌ها هوا خشک شده، سپس در داخل آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و توزین گردید. سپس کلوخه‌ها خرد شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. مواد باقی‌مانده بر روی الک شستشو داده شد و سنگریزه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر جدا و وزن سنگریزه‌ها پس از شستشو و خشک کردن، تعیین گردید. خاک نرم به‌طور کامل مخلوط شده و یک نمونه فرعی تهیه گردید و نمونه‌ها در ظروف ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. برای همگن‌سازی نمونه‌ها از یک شیکر سه‌بعدی استفاده گردید و نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت مخلوط گردید. فعالیت بریلیم-۷ در نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه گاما اسپکترومتر نوع P تعیین گردید. نمونه بر روی آشکارساز ژرمانیم قرار گرفته و اشعه گامای ساطع شده در ۴۷۷ کیلو الکترون ولت شمارش گردید.

محاسبه دقیق فعالیت بریلیم-۷ با استفاده از گاما اسپکترومتر: رادیونوکلوئیدهای موجود در همه‌جا^۲ مانند اورانیوم-۲۳۸ و توریم-۲۳۲ باعث اختلال در محاسبه مقدار بریلیم-۷ در نمونه‌های خاک می‌گردند. زیرا در صورت وجود رادیونوکلوئیدهای نام‌برده در خاک دو نقطه اوج آکتینیم-۲۲۸ و بریلیم-۷ بر روی یکدیگر منطبق می‌شوند. برای برطرف کردن این مشکل، لندیس و همکاران

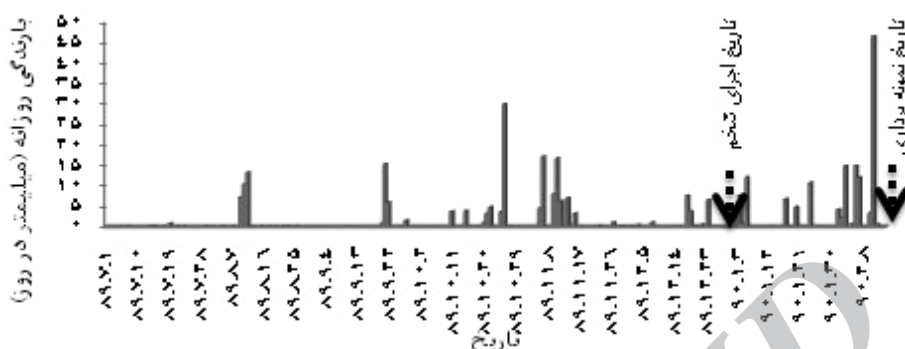
1- Bulk Sample

2- Ubiquitous

(۲۰۱۲) کمی کردن بریلیموم-۷ را در خاک‌ها و رسوبات با استفاده از گاما اسپکترومتری بررسی نمودند. آن‌ها تأثیر سری‌های رادیونوکلئیدهای موجود در همه‌جای اورانیم-۲۳۸ و توریم-۲۳۲ را با استفاده از صدها نمونه خاک و رسوب بررسی و یک روش برای اندازه‌گیری مقادیر کم بریلیموم ارایه نمودند که دارای دقت بالا و نااریب می‌باشد. آن‌ها تأثیر سری‌های رادیونوکلئیدهای اورانیم-۲۳۸ و توریم-۲۳۲ را با استفاده از نقطه اوج آکتینیم-۲۲۸ در انرژی ۹۱۱ کیلو الکترون ولت از فعالیت بریلیموم-۷ کاهش دادند.

فرضیات روش بریلیموم-۷: روش بریلیموم-۷ دارای دو پیش‌فرض می‌باشد: (۱) توزیع مکانی بریلیموم-۷ در منطقه یکنواخت است، (۲) بریلیموم-۷ که از قبل در خاک موجود می‌باشد یکنواخت در منطقه توزیع شده است. فرض اول فقط در مقیاس مزرعه محقق می‌شود. تأمین فرض دوم به‌طور عموم مشکل‌تر است و تنها در سه حالت زیر محقق می‌گردد: (۱) بعد از یک دوره طولانی بدون بارندگی که بریلیموم-۷ موجود در خاک از طریق واپاشی حذف گردیده باشد، (۲) بعد از یک دوره بارندگی با شدت کم که در منطقه فرسایش ایجاد ننموده باشد و در نتیجه تغییر در توزیع مجدد بریلیموم ورودی رخ نداده باشد و (۳) بعد از شخم مزرعه که بریلیموم موجود در لایه شخم مخلوط می‌گردد و فعالیت بریلیموم از پیش‌تر موجود به کم‌تر از سطح قابل شمارش برسد (بلاک و همکاران، ۱۹۹۹).

براساس آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، شرط اول به‌دلیل وجود بارندگی در طول زمستان در منطقه محقق نمی‌گردد. حالت دوم نیز به‌دلیل وجود بارندگی با شدت به‌نسبت بالا و احتمال تغییر در توزیع بریلیموم ورودی محقق نمی‌گردد. بنابراین براساس حالت سوم در دامنه شیب مطالعاتی در تاریخ ۸۹/۱۲/۲۸ شخم سنتی در جهت شیب و تا عمق ۲۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت. توزیع زمانی بارندگی در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه بررسی گردید (شکل ۳) 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.



شکل ۳- بارندگی روزانه در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه.

ایجاد ارتباط بین تلفات رادیو ایزوتوپ بریلیوم-۷ و میزان فرسایش و رسوب: بلاک و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل تبدیلی ساده برای تخمین توزیع مجدد خاک با استفاده از داده‌های بریلیوم-۷ ارایه نمودند. مدل آن‌ها به نقل از اسکولر و همکاران (۲۰۰۶) به شکل زیر است.

الف) توزیع عمقی بریلیوم-۷ در خاک: توزیع عمقی نمایی بریلیوم-۷ به شکل زیر می‌تواند نمایش داده شود:

$$C(x) = C(0) \exp(-x/h_0) \quad (1)$$

که در آن، x : بیانگر عمق جرمی^۱ از سطح خاک (کیلوگرم بر مترمربع) و $C(x)$: فعالیت بریلیوم (بکرل بر کیلوگرم) در عمق جرمی x ، $C(0)$: فعالیت در سطح خاک ($x=0$) و h_0 : عمق واهلش جرمی (کیلوگرم در مترمربع) است. فعالیت محل مرجع A_{ref} (بکرل بر مترمربع) به شکل زیر است:

$$A_{ref} = A(0) = \int_0^{\infty} C(x) d(x) = h_0 C(0) \quad (2)$$

بنابراین، موجودی زیر عمق x ، $A(x)$ (بکرل بر مترمربع) به صورت زیر می‌باشد:

$$A(x) = \int_x^{\infty} C(x) d(x) = A_{ref} \exp(-x/h_0) \quad (3)$$

1- Mass Depth

عمق واهلش جرمی، شکل توزیع عمقی فعالیت بریلیوم-۷ را در خاک تشریح می‌نماید. با در نظر گرفتن $x=h_0$ و $\exp(-1)=0/368$ در رابطه بالا، فعالیت در زیر عمق واهلش جرمی برابر است با:

$$A(h_0) = 0/368 A_{ref} \quad (4)$$

که $63/2$ درصد از کل غلظت بریلیوم-۷ در عمق صفر تا h_0 یافت خواهد شد. هرچه عمق نفوذ بریلیوم-۷ در خاک بیش‌تر باشد h_0 بزرگ‌تر خواهد بود. که با اندازه‌گیری فعالیت C در اعماق افزایشی و ایجاد عمق جرمی، مقادیر $A(x)$ برای هر عمق می‌تواند محاسبه گردد. h_0 و A_{ref} از رگرسیون خطی بین $\ln[A(x)]$ و x به‌دست می‌آید (اسکولر و همکاران، ۲۰۰۶).

ب) برآورد تلفات خاک در نقاط نمونه‌برداری: با فرض این‌که فرسایش یک لایه نازک عمق جرمی R (بکرل بر مترمربع) در یک نقطه نمونه‌برداری حذف می‌کند، فعالیت بریلیوم-۷ در یک نقطه فرسایشی A (بکرل بر کیلوگرم) کم‌تر از A_{ref} است. مقدار تلفات خاک در واحد سطح، R، برابر با عمق جرمی h است. با قرار دادن $x=h$ در رابطه ۳ مقدار فعالیت در این نقطه برابر است با:

$$A = A(h) = A_{ref} \exp(-h/h_0) \quad (5)$$

وزن خاک فرسایش‌یافته در واحد سطح در یک نقطه نمونه‌برداری R، از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$R = h = h_0 \ln(-A_{ref}/A) \quad (6)$$

ج) برآورد رسوب‌گذاری در نقاط نمونه‌برداری: مقدار جرمی رسوب در واحد سطح، R' (بکرل بر مترمربع) از تقسیم فعالیت اضافی نسبت به محل مرجع بر میانگین فعالیت در رسوبات ته‌نشست شده، C_d (بکرل بر کیلوگرم) به‌دست می‌آید:

$$R' = (A' - A_{ref}) / C_d \quad (7)$$

میانگین فعالیت در رسوبات فرسایش‌یافته از که نقطه C_e (بکرل بر کیلوگرم) می‌تواند از رابطه زیر به‌دست آید:

$$C_e = A_{ref} - A/R = A_{ref} [1 - \exp(-R/h_0)] / R \quad (8)$$

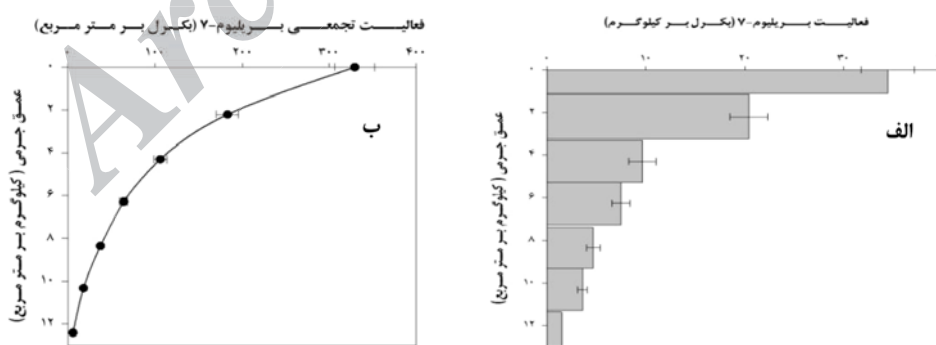
در نتیجه، میانگین فعالیت بریلیوم-۷ در رسوبات ته‌نشست شده C_d می‌تواند از میانگین وزنی فعالیت C_e رسوبات متحرک شده از بالای شیب در مساحت S محاسبه شود:

$$C_d = \frac{\int C_e R dS}{\int R dS} \quad (9)$$

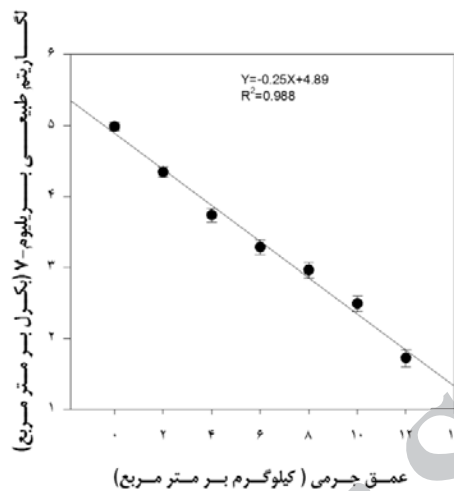
کاربرد این مدل ساده است و فقط با داشتن پارامترهای A_{ref} و h_0 برای بریلیوم-۷ در رابطه‌های ۶ و ۷ می‌توان مقادیر فرسایش و رسوب و در نتیجه الگوی توزیع مجدد خاک محاسبه کرد. در این مطالعه از مدل توزیع پروفیل با استفاده از نرم‌افزاری که توسط والینگ و هی (۱۹۹۹) ارائه شده است، میزان فرسایش و رسوب در همه نقاط محاسبه گردید.

نتایج و بحث

توزیع مکانی بریلیوم-۷ در منطقه مرجع: 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 326 ± 40 بکرل بر مترمربع بود. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود فعالیت بریلیوم-۷ با افزایش عمق دارای کاهش نمایی است. رگرسیون خطی بین لگاریتم طبیعی فعالیت بریلیوم $Ln[A(x)]$ و عمق جرمی (x) ، ضریب همبستگی بالا ($r^2 = 0.98$) - که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است - را نشان داد، که کاهش نمایی فعالیت بریلیوم-۷ با افزایش عمق را تأیید نمود (شکل ۵).



شکل ۴- الف) توزیع عمقی فعالیت جرمی و ب) فعالیت تجمعی بریلیوم-۷ در واحد سطح در پروفیل مرجع.



شکل ۵- رگرسیون خطی بین لگاریتم طبیعی فعالیت بریلیموم-۷ $\ln[A(x)]$ و عمق جرمی (x) .

عمق واهلش جرمی (h_0) ، شکل توزیع عمقی فعالیت بریلیموم-۷ را در خاک تشریح می‌نماید. در واقع عمقی است که $63/2$ درصد از کل غلظت بریلیموم-۷ در این عمق قرار دارد. هرچه عمق نفوذ بریلیموم-۷ در خاک بیشتر باشد h_0 بزرگ‌تر خواهد بود. که با اندازه‌گیری فعالیت C در اعماق افزایشی و ایجاد عمق جرمی، مقادیر $A(x)$ برای هر عمق می‌تواند محاسبه گردد. h_0 و A_{ref} از رگرسیون خطی بین $\ln[A(x)]$ و x به دست می‌آید (اسکولر و همکاران، ۲۰۰۶). مقدار عامل شکل و مقدار فعالیت بریلیموم-۷ به ترتیب $3/57$ کیلوگرم بر مترمربع (حدود $2/5$ میلی‌متر) و 339 بکرل بر مترمربع محاسبه گردید (شکل ۵). با جایگذاری $h_0=3/57$ و $A_{ref}=339$ و $C(0)=A_{ref}/h_0=95 \text{ Bqkg}^{-1}$ در رابطه‌های بخش مواد و روش‌ها، برای فعالیت جرمی و فعالیت سطحی خواهیم داشت:

$$A(x)=339 \exp(x/3/57) \quad C(x)=95 \exp(x/3/57) \quad (11)$$

این توابع در شکل ۴- ب به صورت خطوط پیوسته نمایش داده شده‌اند. از آنجایی که فعالیت بریلیموم-۷ در عمق جرمی $12/2$ کیلوگرم بر مترمربع (حدود $11/5$ میلی‌متری) به کم‌تر از مقدار قابل اندازه‌گیری می‌رسد، مقدار این فعالیت در پایین‌تر از این عمق از سطح زیر منحنی حذف می‌شود:

$$339 - \int_{12/2}^{\infty} \exp(-x/3/57) dx = 339 - 11 = 328 \quad (12)$$

مقدار ۳۲۸ بکرل بر کیلوگرم نزدیک به مقدار میانگین نمونه‌های کلی منطقه مرجع 326 ± 40 بکرل بر مترمربع است بنابراین ۳۲۸ بکرل بر مترمربع به‌عنوان مقدار بریلیوم-۷ در دامنه شیب مورد مطالعه برای محاسبه فرسایش و رسوب استفاده گردید.

والینگ و همکاران (۲۰۱۱) بیان می‌دارند که مقدار عامل شکل پروفیل برای بریلیوم-۷ خیلی کم‌تر از سزیم-۱۳۷ است. این مقدار در مطالعات مختلف محدوده‌ای بین ۲-۵ کیلوگرم بر مترمربع دارد، برای مثال مقدار عامل شکل در شیلی توسط اسکولر و همکاران (۲۰۰۶) ۲/۱۴، سپلودا و همکاران (۲۰۰۸) ۳/۴، والینگ و همکاران (۲۰۰۹) ۲/۱، اسکولر و همکاران (۲۰۱۰) برای سه منطقه مورد مطالعه مقادیر ۱/۵۹، ۲/۰۱ و ۳/۰۴ و شی و همکاران (۲۰۱۱) در چین، ۵/۱ کیلوگرم بر مترمربع برآورد نمودند. در این مطالعه مقدار عامل شکل در داخل محدوده مقدار برآورد شده در سایر مطالعات می‌باشد. در واقع ۶۳/۲ درصد از کل غلظت بریلیوم-۷ در عمق جرمی ۳/۵۷ کیلوگرم بر مترمربع یعنی در عمق ۲/۵-۰ میلی‌متری قرار دارد. بنابراین با حذف ۱ میلی‌متر (در حدود ۱/۳ کیلوگرم بر مترمربع) توسط فرسایش منجر به کاهش ۳۴ درصد از فعالیت بریلیوم-۷ در محل فرسایش می‌شود. در نتیجه مقدار کم‌عمق و اهلش جرمی و توزیع نمایی فعالیت بریلیوم-۷ با عمق، مقادیر کم فرسایش و رسوب، منجر به کاهش و یا افزایش معنی‌دار فعالیت بریلیوم-۷ نسبت به محل مرجع می‌گردد. بنابراین روش نام‌برده به‌شدت به مقادیر کم فرسایش و رسوب حساس می‌باشد.

به‌دلیل طبیعت وابسته به زمان و تغییرات منطقه‌ای و جهانی موجودی بریلیوم-۷، مقایسه مستقیم بین مقادیر گزارش داده شده در سایر مناطق با مقدار فعالیت آن در محل مرجع در این پژوهش امکان‌پذیر نمی‌باشد. با این حال مقادیر گزارش شده در نقاط مختلف جهان بعد از یک دوره بارندگی شدید بررسی شده است، برای مثال والبرینک و موری (۱۹۹۶) مقدار بریلیوم-۷ در بین ۴۵۰-۱۱۰ در خاک‌های زیر پوشش چمن و ۶۲۰-۲۶۰ در خاک‌های بدون پوشش در تاسمانی گزارش نموده بودند. اسکولر و همکاران (۲۰۰۶) در کشور شیلی مقدار بریلیوم-۷ را در منطقه مرجع ۵۷۳ بکرل بر مترمربع، والینگ و

همکاران (۲۰۰۹) در کشور شیلی فعالیت بریلیوم-۷ را در اراضی دست‌نخورده بین ۱۲۰۰-۱۲۰۰، شی و همکاران (۲۰۱۱) در کشور چین مقدار بریلیوم-۷ را در منطقه مرجع ۲۴۵ بکرل بر مترمربع گزارش نمودند. دثورینگ و همکاران (۲۰۰۶) مقدار بریلیوم-۷ در خاک‌های زیر پوشش چمن بین ۱۷۶-۷۷۸ بکرل بر مترمربع در کشور استرالیا گزارش کردند. مقدار بریلیوم-۷ در نمونه‌های خاک در نقاط مختلف دنیا در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقادیر متفاوتی برای محل مرجع در نقاط مختلف دنیا به دست آمده است.

توزیع مجدد خاک با استفاده از مدل تبدیلی در روش بریلیوم-۷: مقدار موجودی بریلیوم-۷ در نقاط نمونه‌برداری شده بین ۳۹۶-۸۷ بکرل بر مترمربع متغیر بود (شکل ۶). لازم به ذکر است که به دلیل غلظت کم بریلیوم-۷ در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه، زمان شمارش حداقل ۵۴-۲۴ 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 نشان‌دهنده 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 (والینگ و همکاران، ۲۰۱۱).

از مدل توزیع پروفیل برای تخمین توزیع مجدد خاک در روش بریلیوم-۷ استفاده گردید. کاربرد مدل ساده بوده و فقط با داشتن پارامترهای A_{ref} و h_0 برای بریلیوم-۷ می‌توان مقادیر فرسایش و رسوب و در نتیجه الگوی توزیع مجدد خاک را محاسبه کرد. بدین منظور از نرم‌افزاری که توسط والینگ و همکاران (۲۰۱۱) ارایه شده است، استفاده گردید. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که عامل شکل پروفیل (h_0) یک پارامتر کلیدی می‌باشد. مقادیر برآورد شده توسط مدل، با مقادیر عامل شکل پروفیل رابطه مستقیم و با عامل اندازه ذرات (P) رابطه معکوس دارد.

دامنه تغییرات فرسایش و رسوب‌گذاری برای مدل توزیع پروفیل در دوره زمانی مطالعاتی در حدود ۴۰ روز، به ترتیب ۴/۸۴-۰/۵۰ و ۰/۷-۰/۲۰ کیلوگرم بر مترمربع برآورد گردید. میانگین شدت فرسایش و رسوب به ترتیب ۱/۵۸ و ۰/۳۷ کیلوگرم بر مترمربع (به ترتیب معادل ۱۵/۸ و ۳/۷ تن در

هکتار) برآورد گردید (جدول ۲). نسبت تحویل رسوب که از نسبت فرسایش خالص به فرسایش ناخالص محاسبه می‌شود (بن‌منصور و همکاران، ۲۰۱۳)، حدود ۸۰ درصد برآورد گردید که بیانگر این است که بخش زیادی از ذرات فرسایش‌یافته 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 مترمربع، بیانگر وضعیت بحرانی فرسایش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این مقدار در سایر مطالعات با استفاده از روش بریلوم-۷ در نقاط مختلف دنیا با شرایط گوناگون مقادیر متفاوتی گزارش شده است که از بین می‌توان به مطالعات، اسکولر و همکاران (۲۰۰۶) ۰/۳۲، سپلودا و همکاران (۲۰۰۸) ۱/۲ و شی و همکاران (۲۰۱۰) ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمربع، اشاره نمود.

جدول ۱- مقدار بریلوم-۷ در نمونه‌های خاک در نقاط مختلف دنیا (برگرفته از ژا، ۲۰۱۲).

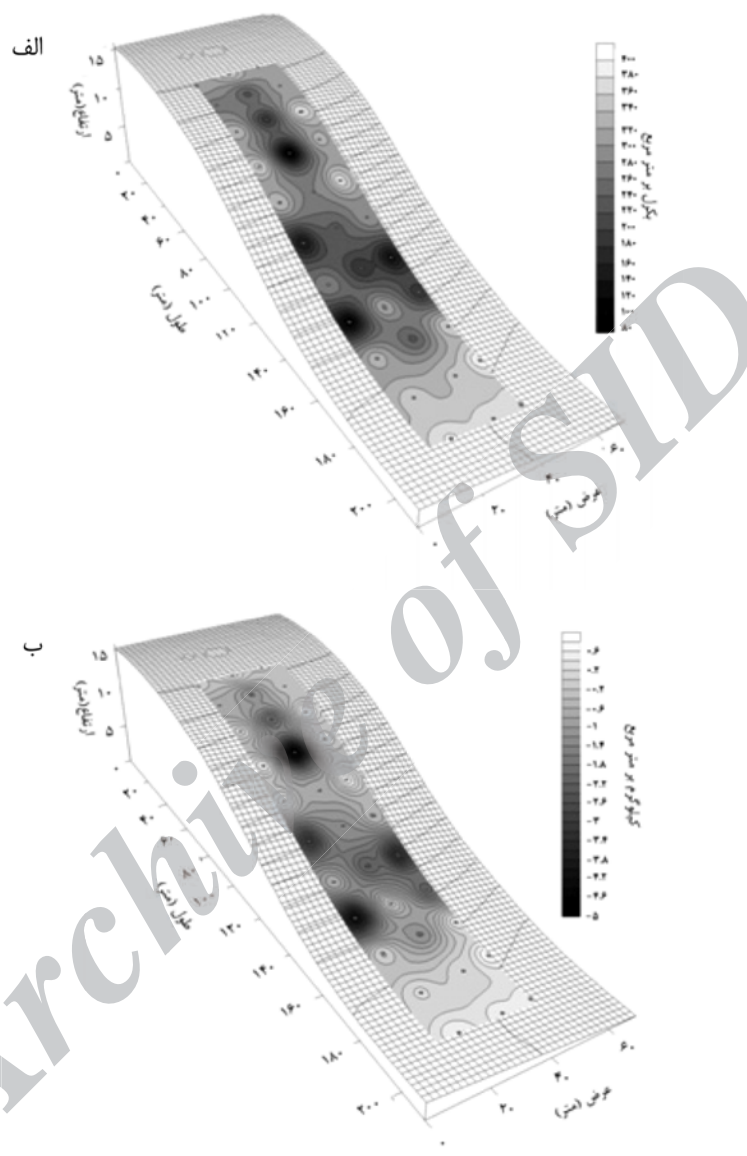
تاریخ نمونه‌برداری	موقعیت	عرض جغرافیایی	نمونه آنالیز شده	فعالیت بریلوم-۷ (بکرل بر مترمربع)	منبع
۱۹۹۷-۲۰۰۰	تایوان	۲۵ درجه شمالی	خاک زیر پوشش	۳۲۸۰±۱۷۸۳	هوه و سو، ۲۰۰۴
۱۹۹۹/۰۵	ترینور، آمریکا	۴۱ درجه شمالی	خاک لخت	۱۲۱±۲۱	ویلسون و همکاران، ۲۰۰۳
۱۹۹۸/۱۲	ماین، آمریکا	۴۵ درجه شمالی	خاک زیر پوشش	۵۵۴±۱۴۴	کسته، ۱۹۹۹
۱۹۹۸/۱۰	سیلورتون مایل، انگلستان	۵۰ درجه شمالی	خاک فاقد پوشش	۲۸۳±۲۶	بلاک و همکاران، ۱۹۹۹
۱۹۹۸/۰۶	ماین، آمریکا	۴۵ درجه شمالی	خاک جنگلی	۱۵۶±۶۶	کسته، ۲۰۰۲
۱۹۹۸/۰۱	کردیتون، انگلستان	۵۰ درجه شمالی	خاک فاقد پوشش	۵۱۲±۱۰	بلاک و همکاران، ۱۹۹۹
۱۹۹۶/۰۵	اداهو، آمریکا	۴۴ درجه شمالی	خاک زیر پوشش چمن	۱۳۹±۲۲	بونویل و همکاران، ۱۹۹۹
۱۹۹۱/۰۱	بلونا، ایتالیا	۴۴ درجه شمالی	خاک زیر پوشش چمن	۱۵۷±۸	بلاک و همکاران، ۱۹۹۹
۱۹۹۱/۰۱	بلونا، ایتالیا	۴۴ درجه شمالی	فاقد پوشش	۱۵۳±۱۳	بلاک و همکاران، ۱۹۹۹
۱۹۸۸/۰۹	بلک، استرالیا	۳۵ درجه جنوبی	فاقد پوشش	۱۳۵±۹	والبرینک و موری، ۱۹۹۶
۱۹۸۸/۰۹	بلک، استرالیا	۳۵ درجه جنوبی	خاک زیر پوشش چمن	۲۰۲±۵۷	والبرینک و موری، ۱۹۹۶
۱۹۸۵/۰۱	والپوس، آمریکا	۳۸ درجه شمالی	باتلاق زیر پوشش چمن	۶۷۳±۴۸	اولسون و همکاران، ۱۹۸۵
۱۹۸۵/۰۱	والپوس، آمریکا	۳۸ درجه شمالی	باتلاق بدون پوشش	۱۰۷±۱۹	اولسون و همکاران، ۱۹۸۵

جدول ۲- مقادیر توزیع مجدد خاک (کیلوگرم بر مترمربع) برای مدل تبدیلی توزیع پروفیل در روش بریلیوم-۷.

دامنه	میانگین	میانگین	فرسایش	رسوب	فرسایش	نسبت تحویل
فرسایش	فرسایش	رسوب‌گذاری	ناخالص	ناخالص	خالص	رسوب (درصد)
۴/۸۴-۰/۰۵	۱/۵۸	۰/۳۷	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۶۸	٪۸۰

الگوی توزیع مجدد خاک: الگوی توزیع مجدد خاک بر حسب کیلوگرم در مترمربع، برای دوره زمانی بین ۲۵ اسفند ۱۳۸۹ تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۰ پس از ریزش ۱۵۰ میلی‌متر باران در منطقه مورد مطالعه، در شکل ۶- ب آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود فرسایش و رسوب در دوره زمانی نام‌برده از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند که با نتایج سپولودا و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. آن‌ها نیز الگوی مکانی خاصی با استفاده از بریلیوم-۷ در منطقه مورد مطالعه در شبلی مشاهده نمودند و بیان داشتند که مقادیر فرسایش و رسوب به‌طور تصادفی در منطقه مورد مطالعه توزیع گردیده است که دلیل این امر را در تغییرات میکروتوپوگرافی منطقه دانستند. در این مطالعه دلیل این امر را می‌توان به میکروتوپوگرافی و زبری سطح در دامنه شیب و همچنین نبود زمان کافی و یا جریانات سطحی قوی برای انتقال رسوبات به پایین‌دست شیب نسبت داد که منجر به رسوب مواد معلق در طول شیب در مدت ۴۰ روز شده است. در این زمینه گاسپر و همکاران (۲۰۱۳) بیان می‌دارند که تخمین تلفات خاک با روش بریلیوم-۷ نشان‌دهنده وقوع تلفات خاک در بیش‌تر ترانسکت‌ها می‌باشد، ولی نتایج روش‌های سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ یک توزیع مکانی متفاوت را نشان می‌دهد، که بازتاب‌کننده توپوگرافی و کاربری در هر یک از ترانسکت‌ها می‌باشد.

دامنه شیب مورد مطالعه دارای یک شیب جانبی می‌باشد که منجر به رسوب‌گذاری در امتداد ترانسکت سوم (سمت راست در شکل ۶- ب) گردیده است. مقادیر موجودی بریلیوم-۷ نمونه‌های خاک در امتداد این ترانسکت بیش‌تر از سایر ترانسکت‌ها بود که این همبستگی بالا ثابت می‌کند که فعالیت بریلیوم-۷ به خوبی الگوی توزیع مجدد خاک را در منطقه نشان می‌دهد و بنابراین یک ردیاب مناسب در مطالعه فرسایش و رسوب در دوره زمانی کوتاه‌مدت است.



شکل ۶- الف) توزیع موجودی یرلیوم-۷ (بکرل بر مترمربع) و ب) نقشه توزیع مجدد خاک (کیلوگرم بر مترمربع) (مقادیر منفی نشان‌دهنده فرسایش و مقادیر مثبت رسوب می‌باشند) با استفاده از روش میانگین وزنی عکس فاصله در دامنه شیب مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش، پتانسیل استفاده از روش بریلیوم-7 برای تعیین مقدار توزیع دوباره خاک در دوره زمانی کوتاه مدت در منطقه نیمه خشک را نشان داد. بزرگی مقدار فرسایش خالص برآورد شده توسط روش بریلیوم-7 در دوره زمانی کوتاه در منطقه (6/8 تن در هکتار)، شرایط بحرانی منطقه مورد مطالعه و نیاز به انجام مدیریت های صحیح برای کاهش مقدار فرسایش را نشان می دهد. هر چند از استفاده از روش بریلیوم-7 در مناطق نیمه خشک در سایر نقاط دنیا اطلاعات کمی وجود دارد، نتایج این پژوهش، پتانسیل استفاده از روش بریلیوم-7 برای تعیین مقدار توزیع مجدد خاک در دوره زمانی کوتاه مدت در منطقه نیمه خشک را روشن نمود. در هر حال نیاز به بررسی بیشتر برای بررسی امکان اجرای روش در سایر نقاط با اقلیم خشک و نیمه خشک می باشد. همچنین به دلیل نیمه عمر کوتاه بریلیوم-7، نمونه ها باید در مدت زمانی کوتاه، قبل از کاهش فعالیت آن به کم تر از سطح قابل اندازه گیری، شمارش شوند. بنابراین پیشنهاد می گردد از چندین آشکارساز استفاده گردد و یا این که تعداد نمونه ها محدود شود.

منابع

1. Agricultural Planning and Economics Researches Institute. 2004. 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.
2. Ayub, J.J., Di Gregorio, D.E., Velasco, H., Huck, H., Rizzotto, M., and Lohaiza, F. 2009. Short-term seasonal variability in ⁷Be wet deposition in a semiarid ecosystem of central Argentina. *J. Environ. Radioact.* 100: 977-981.
3. Bai, Z., Wan, G., Wang, C., Wan, X., and Huang, R. 1997. Geochemical speciation of soil Be-7, Cs-137, Ra-226 and Ra-228 as tracers to particle transport. *Pedosphere.* 7: 3. 263-268.
4. Benmansour, M., Mabit, L., Nouira, A., Moussade, R., Bouksirate, H., Duchemin, M., and Benkdad, A. 2013. Assessment of soil erosion and deposition rates in a Moroccan agricultural field using fallout ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb_{ex}. *J. Environ. Radioact.* 115: 97-106.
5. Blake, W., Walling, D.E., and He, Q. 1999. Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations. *Applied Radiate. Isotopes.* 51: 5. 599-605.
6. Blake, W.H., Wallbrink, P.J., Wilkinson, S., Humphreys, G.S., Doerr, S.H., Shakebsy, R.A., and Tomkins, K. 2009. Deriving hillslope sediment budgets in wildfire-affected forests using fallout radionuclide tracers. *Geomorphology.* 104: 105-116.

7. Bonniwell, E.C., Matisoff, G., and Whiting, P.J. 1999. Determining the times and distances of particle transit in a mountain stream using fallout radionuclides. *Geomorphology*. 27: 75-92.
8. Doering, C., Akber, R., and Heijins, H. 2006. Vertical distribution of ^{210}Pb excess, ^7Be and ^{137}Cs in selected grass covered soils in Southeast Queensland. *Australian J. Environ. Radioact.* 87: 135-147.
9. Feely, H.W., Larsen R.J., and Sanderson, C.G. 1989. Factors that cause seasonal variations in Beryllium-7 concentration in surface air. *J. Environ. Radioact.* 9: 223-249.
10. Gaspar, L., Navas, A., Walling, D.E., Machin, J., and Gómez Arozamena, J. 2013. Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *Catena*. 102: 46-54.
11. Huh, C.A., and Su, C.C. 2004. Distribution of fallout radionuclides (^7Be , ^{137}Cs , ^{210}Pb and $^{239,240}\text{Pu}$) in soils of Taiwan. *J. Environ. Radioact.* 77: 1. 87-100.
12. Ioannidou, A., and Papastefanou, C. 2006. Precipitation scavenging of ^7Be and ^{137}Cs radionuclides in air. *J. Environ. Radioact.* 85: 121-136.
13. Jha, A. 2012. Quantification of short-term erosion rates using the cosmogenic radionuclide ^7Be . PhD thesis, Berlin University, Germany.
14. Kaste, J.M. 1999. Dynamics of cosmogenic and bedrock-derived beryllium nuclides in forested ecosystems in Maine, USA. M.Sc. Thesis, University of Maine, USA.
15. Kaste, J., Norton, S., and Hess, C. 2002. Environmental chemistry of beryllium-7. *Rev. Mineral. Geochem.* 50: 271-289.
16. Landis, J.D., Renshaw, C.E., and Kaste, J.M. 2012. Measurement of ^7Be in soils and sediments by gamma spectroscopy. *Chemical Geology*. 291: 175-185.
17. Loughran, R.J., and Elliott, G.L. 1996. Rates of soil erosion in Australia determined by the caesium-137 technique: a national reconnaissance survey, *Erosion and Sediment Yield*. P 275-282, In: Walling, D.E., and B.W. Webb (eds.), *Proceedings of International Association of Hydrological Sciences*, Exeter, United Kingdom.
18. Mabit, L., Benmansour, M., and Walling, D.E. 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation. *J. Environ. Radioact.* 99: 1799-1807.
19. Olsen, C.R., Larsen, I.L., Lowry, P.D., Cutshall, N.H., Todd, J.F., Wong, G.T.F., and Casey, W.H. 1985. Atmospheric fluxes and marsh-soil inventories of ^7Be and ^{210}Pb . *J. Geophys. Res.* 90: 6. 10487-10495.
20. Papastefanou, C. 2006. Residence time of tropospheric aerosols in association with radioactive nuclides. *Applied Radiat. Isotopes*. 64: 93-100.
21. Schuller, P., Walling, D.E., Iroume, A., and Castillo, A. 2010. Use of beryllium-7 to study the effectiveness of woody trash barriers in reducing sediment delivery to streams after forest clear cutting. *Soil Till. Res.* 110: 143-153.

22. Schuller, P., Walling, D.E., Mancilla, B., Castillo, A., and Trumper, R.E. 2006. Use of beryllium-7 to document soil redistribution following forest harvest operations. *J. Environ. Qual.* 35: 1756-1763.
23. Sepulveda, A., Schuller, P., Walling, D.E., and Castillo, A. 2008. Use of ⁷Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall. *J. Environ. Radioact.* 99: 35-49.
24. Shi, A., Wen, A., Zhang, X., and Yan, D. 2011. Comparison of the soil losses from ⁷Be measurements and the monitoring data by erosion pins and runoff plots in the Three Gorges Reservoir region, China. *Applied Radiate. Isotope.* 69: 1343-1348.
25. Taylor, A., Blake, W.H., Couldrick, L., and Keith-Roach, M.J. 2012. Sorption behavior of beryllium-7 and implications for its use as a sediment tracer. *Geoderma.* 187-188: 16-23.
26. Wallbrink, P.J., and Murray, A.S. 1996. Distribution and variability of ⁷Be in soils under different surface cover conditions and its potential for describing soil redistribution processes. *Water Resour. Res.* 32: 467-476.
27. Walling, D.E., and He, Q. 1999. Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *J. Environ. Qual.* 28: 611-622.
28. Walling, D.E., He, Q., and Blake, W. 1999. Use of ⁷Be and ¹³⁷Cs measurements to document short- and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land. *Water Resour. Res.* 35: 3865-3874.
29. Walling, D.E., Schuller, P., Zhang, Y., and Iroume, A. 2009. Extending the timescale for using beryllium-7 measurements to document soil redistribution by erosion. *Water Resour. Res.* 45, W02418, doi: 10.1029/2008WR007143.
30. Walling, D.E., Zhang, Y., and He, Q. 2011. 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, Pp: 11-33.
31. Wilson, C.G., Matisoff, G., and Whiting, P.J. 2003. Short-term erosion rates a ⁷Be inventory balance. *Earth Surf. Proc. Land.* 28: 967-977.



Use of the ^7Be radionuclide for estimating soil redistribution rates on dry farming land in Kermanshah province

*M. Khodadadi¹, M. Gorji², M. Ghanadi Maragheh³, A. Samani Bahrami⁴,
H. Mirseyed Hosseini², Gh. Zahedi Amiri⁵ and M. Meftahi⁶

¹Assistant Prof., Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI),
²Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tehran, ³Professor, Nuclear
Science and Technology Research Institute (NSTRI), ⁴Associate Prof., Nuclear Science
and Technology Research Institute (NSTRI), ⁵Associate Prof., Dept. of Forestry and
Forest Economics, University of Tehran, ⁶Instructor, Nuclear Science and
Technology Research Institute (NSTRI)

Received: 10/21/2013; Accepted: 12/22/2013

Abstract

Over the past decades, the fallout radionuclides ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^7Be are increasingly being used to quantify soil erosion and sedimentation rates. Although studies using ^{137}Cs and to some extent $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ are now well-documented, there is a need for further work aimed at exploring the use of ^7Be , particularly in arid and semi-arid areas. Investigating soil erosion processes occurring over shorter timescales, particularly individual storm events or short periods of heavy rainfall is the major advantages of ^7Be method over the two other radionuclides. A hillslope 200 meter length, average slope of 8 percent and mean annual rainfall of about 480 mm, located in south west of Kermanshah was selected. Soil sampling was performed in April 2011, after occurring 150 mm rainfall in 40 days, along three transects. The ^7Be activity in soil samples was measured by gamma spectrometry. The net erosion rate was estimated to be $6.8\text{t ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ by 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. The sediment delivery ratio was about 80 percent indicating that significant part of the mobilized soil was removed from field by erosion. The results confirm the potential for use of the ^7Be technique to determine the soil redistribution associated with short periods in semi-arid area.

Keywords: ^7Be , Soil erosion, Fallout radionuclides, Profile distribution model, Kermanshah province

* Corresponding Authors; Email: mkhodadadi@nrcam.org