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)

کاربرد فناوری هسته‌ای در بررسی مسائل محیطی (مطالعه موردی: رسوب‌گذاری در دریاچه بِرا مالزی)

محمدرضا غریب‌رضا
استادیار، عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، صندوق پستی ۱۳۴۴۵-۱۱۳۶
نویسنده مسئول: gharibreza@scwmri.ac.ir or gharibreza4@yahoo.com

چکیده: استفاده از فناوری هسته‌ای (رادیوایزوتوپ‌های ^{137}Cs، ^{210}Pb و ^{7}Be) در بررسی و حل مسائل محیطی در کشورهای توسعه یافته بسیار فراگیر است. در ایران کاربرد این فناوری در طرح‌های کلان تحقیقاتی و مدیریتی منابع طبیعی مغفول مانده است. لذا هدف این تحقیق، معرفی کارایی این فناوری در بررسی مسائل محیطی یک حوضه آبخیز ناشی از جنگل‌زدایی و انباشت رسوب در پایاب آن است. مطالعه موردی آن در دریاچه بِرآ به‌عنوان بزرگترین دریاچه طبیعی کشور مالزی توسط نگارنده انجام شده است. لذا میزان فعالیت رادیوایزوتوپ‌های ^{210}Pb, ^{137}Cs, ^{226}Ra در ۳۰۰ نمونه از رسوبات بستر استخراج شده در مغزه‌های رسوبی بستر دریاچه بدست آمد. با استفاده از مدل CRS علاوه بر تعیین سن افق‌های مختلف ستون رسوبات دریاچه، اثرات زیست محیطی پنج مرحله عملیات جنگل‌زدایی در سطح حوزه و میزان انتقال رسوب و دیگر رویدادهای طبیعی مشخص شد. بر این اساس، نرخ رسوب‌گذاری ناشی از جنگل‌زدایی در دریاچه، تا ۲۰ برابر افزایش داشته و بالطبع آن رسوبات سرشار از مواد آلی نهشته شده و عمق و عرصه دریاچه بِرا کاهش یافته است. پژوهش حاضر، کاربرد فناوری هسته‌ای را در بررسی مسائل محیطی مختلف حاصل از تغییرات کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز ایران را توصیه کرده است.

واژگان کلیدی: فناوری هسته ای، مسائل محیطی، جنگلزدایی، رسوب‌گذاری، دریاچه بِرآ

Application of nuclear technology in investigation of environmental issues (Case study: Sedimentation in the Bera Lake, Malaysia)

Mohammadreza Gharibreza
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, P.O.Box:13445-1136, Tehran, Iran
gharibreza@scwmri.ac.ir or gharibreza4@yahoo.com

Abstract: Application of nuclear technology is well accepted technique in the developed countries for studying and solving of environmental issues. In contrast, application of this technology in the national research projects and management of natural resources of Iran has been neglected. Therefore, aims of the research were supposed introduction of nuclear technology abilities in detection of environmental impacts of deforestation especially in estimation of soil erosion and deposition in lakes. Ability of ^{137}Cs، ^{210}Pb radionuclides in scientific evaluation of the Bera Lake as the largest natural lakes in Malaysia was tested by the author. Well-calibrated gamma-spectrometry based on hyper-pure germanium (HpGe) detectors at Nuclear Malaysia (NM) were applied to measure specific ^{210}Pb and ^{137}Cs activities in 300 prepared samples which had been extracted from 10 sediment cores. Chronological model CRS was used in order to estimate ages of sediment layers and to detect effects of five deforestation projects in sediment transport to the Bera Lake and other natural events. Consequently, this study has revealed environmental impacts of man-made and natural incidents through considerable increase in rate of sedimentation,

deposition of organic-rich materials, and decrease of depth and area of Bera Lake. Application of nuclear technology to find out environmental impacts of land use changes in all geographical realms of Iran was firmly recommended by present research.

Keywords: Nuclear technology, Environmental issues, Deforestation, Sedimentation, Bera Lake

۱. مقدمه

مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز یکی از برنامه‌های استفاده صلح آمیز از فناوری هسته‌ای بوده است که در قالب چندین پروژه تحقیقاتی در سطح جهان با حمایت آژانس بین المللی انرژی اتمی[۱] (IAEA) به انجام رسیده است[3] [2] [1]. به این ترتیب کارایی فناوری هسته‌ای در شناخت و حل مسائل محیطی حوزه‌های آبخیز تحت مناطق مختلف جغرافیایی و اقلیمی و کاربری‌های متفاوت اراضی آزموده و اثبات شده است. استفاده از فناوری هسته‌ای (رادیوایزوتوپ‌های ^{137}Cs و ^{210}Pb) در برآورد نرخ فرسایش و تلفات خاک تحت کاربری‌های مختلف اراضی از مهم‌ترین فناوری‌ها و تکنیک‌های شناخت مسائل محیطی و مدیریت منابع آب و خاک به‌شمار می‌روند[5 ,4]. هم اکنون با استفاده از این ایزوتوپ‌های ناپایدار، روند کوتاه تا دراز مدت فرآیندهای رسوبی بویژه رسوب‌گذاری و آلودگی مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرند. فناوری هسته‌ای روشی قابل اعتماد در مدیریت منابع آب در خشکی و سواحل به شمار می‌رود که به کاربرد آن در طرح‌های کلان مدیریتی کشور توجه جدی نشده است. هم اکنون در کشورهای توسعه یافته از رادیوایزوتوپ‌های یاد شده در تعیین میزان و سهم تغییرات کاربری اراضی در حوزه از جمله جنگل‌زدایی و توسعه پروژه های شهرسازی، صنعتی و کشاورزی در انتقال رسوب و آلاینده ها و انباشت رسوب در تالابها، دریاچه ها، خورها و خلیج ها استفاده فرآگیری می‌گردد. در گذشته تغییرات خطوط ساحلی جنوب کشور در بازه زمانی کواترنر با استفاده از رادیوایزوتوپ کربن-۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است[6, 7]. استفاده از رادیوایزوتوپ‌های ^{137}Cs، ^{210}Pb در کشورهای حاشیه خلیج فارس در تالابهای ساحلی کشور کویت آزموده شده است [8] [9]. هدف از این مقاله معرفی بیش از پیش روش‌های استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها در بررسی فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری در مناطق ساحلی و بازسازی پیشینه تحولات رخ داده در این مناطق در جهت مدیریت هرچه مفیدتر این مناطق می باشد.

۲. مواد و روشها

در این قسمت به اجمال دو رادیوایزوتوپ مهم در بررسی مسائل محیطی که در این تحقیق از آنها استفاده شده، در زیر تشریح شده‌اند. نحوه پیدایش، نیمه عمر و کاربرد و مدل‌های مرتبط با رادیوایزوتوپ‌های سزیم-۱۳۷ (^{137}Cs) و سرب-۲۱۰ (^{210}Pb) ارائه شده است.

[۱] International atomic energy agency

۱,۲ سزیم-۱۳۷

سزیم-۱۳۷ رادیو ایزوتوپی مصنوعی است که در پی انفجار بمب‌های اتمی در بین سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۸۰ میلادی در اتمسفر پراکنده شد و در عمدتا در طی سه دهه یاد شده توسط بارش به سطح زمین بازگشته است . مجموع ۴۲۳ آزمایش بمبهای اتمی، ۲۱۷۲۰۰ کیلو تن مواد رادیواکتیو به اتمسفر متصاعد شده است. بیشینه بارش های رادیو ایزوتوپ‌های ^{137}Cs ، استرانسیم-۹۰ (^{90}Sr) و پلوتونوم-۲۱۸ (^{218}Po) در سال ۱۹۶۳ رخ داد و روند این آزمایشها در سالهای آغازین دهه ۸۰ میلادی به شدت کاهش یافت. حادثه چرنوبیل در سال ۱۹۸۶ نیز بطور چشمگیری رادیو ایزوتوپ‌های یاد شده را به جو زمین منتشر کرده است[10]. نیمه عمر رادیوسزیم ۳۰/۲ است و به عنوان ابزاری جهت بررسی روندهای میان مدت ۳۰-۴۰ ساله فرآیندهای ساحلی شناخته شده است. مهم‌ترین مشخصه‌ای که آن را به عنوان یک شاخص مستقل زمانی مطرح کرده، قابلیت جذب سریع و ماندگاری آنها توسط ذرات ریزدانه خاک و رسوبات می‌باشد. این عناصر رادیو اکتیو که نقش بسیار مخربی در سلامت محیط زیست ایفا کرده‌اند، به عنوان ردیاب در مطالعات مختلف محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از قابلیت رادیوسزیم در برآورد فرسایش خاک، نقشه فرسایش خاک و خطرات فرسایش در مقیاس های متفاوت استفاده بیشمار شده است [10]. مدل‌های بسیار پیشرفته ای برپایه همین قابلیت برای برآورد فرسایش خاک توسعه یافته است[11, 12]. از جمله این مدل‌ها می توان به مدل Proportional, Mass Balance I, II, II اشاره کرد. این رادیوایزوتوپ نیز جهت بررسی فرآیند انتقال رسوب و رسوب‌گذاری در محیط های آبی نظیر دریاچه ها، دشتهای سیلابی، خورها و خلیج ها بمراتب استفاده شده است[13-16].

۲,۲ سرب-۲۱۰

رادیوایزوتوپ ^{210}Pb بطور طبیعی در سری فروپاشی اورانیم-۲۳۸ (^{238}U) پدید می آید. فروپاشی اورانیم در طبقات خاک و سنگ، گاز خنثی رادون-۲۲۲ (^{222}Rn) (نیمه عمر ~ ۴ روز) را به فضا منتشر می کند. این گاز پس از ۳ بار تکرار نیمه عمر ابتدا به سرب-۲۱۴ و سپس به سرب-۲۱۰ تبدیل شده و با بارش به زمین باز می گردد. رادیو ایزوتوپ ^{210}Pb با نیمه عمر ۲۲/۳ سال [4, 5]. این امکان را فرآهم می‌آورد که تحولات فرآیندهای ساحلی را در بازه زمانی بلند مدت ۱۰۰-۱۵۰ سال را بدقت بازخوانی کرد. استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها در بررسی نرخ رسوب‌گذاری در سواحل نیز مطابقت داده شد[17]. این ایزوتوپ همچون رادیوسزیم به شدت جذب ذرات ریزدانه رسوبات و لایه سطحی خاک شده و همراه رسوبات به محیط‌های آبی و رسوب‌گذاری در طبقات مختلف نهشته می‌شود. فرضیات متصور در کاربرد این رادیوایزوتوپ و مدل‌های مرتبط از دیرباز مورد توجه محققین مختلف بویژه مناطق ساحلی بوده است[5][18, 19]. مدل‌های رایج در زمان سنجی و برآورد نرخ رسوب‌گذاری در سواحل، مدل(Constant Initial Concentration (CIC و مدل Constant Rate of (CRS) Support می‌باشند. این رادیوایزوتوپ ارزشمند علاوه بر بررسی نرخ انباشتگی رسوبات بطور گسترده ای جهت بررسی نرخ میان تا دراز مدت آورد عناصر سنگین به سواحل و آلودگی آنها بکار می رود[20-22]. عدم تعادل بین سطوح انرژی بین سرب-۲۱۰ و ایزوتوپ مادری رادیوم-۲۲۶ (^{226}Ra) در سری فروپاشی ^{238}U ، باعث تصاعد گاز ^{222}Rn (نیمه عمر≈ ۳/۸

روز). این گاز در اتمسفر بطور طبیعی به ^{218}Po تبدیل شده که پس از چندین ساعت به ^{214}Pb و سپس به ^{210}Pb (نیمه عمر≈ ۲۲/۳ سال) خاتمه می یابد. این ایزوتوپ در حین بارش و یا ریزگردها به سطح زمین بازگشته و بلافاصله به ذرات ریز دانه خاک و رسوبات می چسبد. رادیوایزوتوپ رسیده از اتمسفر به نام ^{210}Pb اضافه(Excess) نامیده می شود. بخش دیگر پرتوزایی قابل اندازه‌گیری در خاک یا رسوب ناشی از فروپاشی مستقیم و درجا ^{226}Ra (in-situ) می‌باشد که به ^{210}Pb حمایت شده (Supported) موسوم است. در محاسبات سن سنجی پرتوزایی ^{210}Pb اضافه به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار می گیرد که از تفاضل میزان پرتوزایی ^{226}Ra و میزان پرتوزایی ^{210}Pb کل بدست می‌آید.

۳,۲ مطالعات آزمایشگاهی

میزان فعالیت ایزوتوپ ^{210}Pb در نمونه های خاک و رسوب با استفاده از روشهای آلفا، بتا و گاما اسپکترومتر قابل اندازه‌گیری است. مقایسه فرضیات و پارامترهای مورد نیاز در این روش‌ها نشان از تفاوت‌های موجود در اندازه و وزن نمونه، زمان شمارش ایزوتوپ‌ها، و حداقل فعالیت قابل اندازه‌گیری دارد [23]. روش آلفا اسپکترومتری گرچه دقیق‌ترین روش در بین روش‌های موجود به شمار می رود، لیکن روش گاما اسپکترومتری از نظر زمان و هزینه آماده‌سازی نمونه‌ها و زمان آنالیز آنها به‌ویژه در پروژه های تحقیقاتی توصیه شده است. همچنین این روش کاربردی ترین روش جهت اندازه‌گیری فعالیت ^{137}Cs و ^{7}Be در نمونه‌های مورد بررسی به شمار می رود. آزمایشگاه‌های مجهز به گاما اسپکترومتر عموماً بر اساس آشکارساز ژرمانیوم خالص (HpGe) میزان فعالیت ایزوتوپ‌های ^{210}Pb و ^{137}Cs را در نمونه‌های مورد بررسی اندازه‌گیری می کنند. آشکارسازی در روش گاما اسپکترمتری مستلزم واسنجی اولیه و دوره‌ای با بکارگیری محلول‌های استاندارد (NIST) می باشد. علاوه بر آن نمونه‌های استاندارد که توسط IEAE تهیه شده‌اند برای کنترل کیفی آنالیز ایزوتوپ‌ها به‌کارگرفته می‌شوند. دوره آنالیز و شمارش پرتوهای گاما در هرنمونه برای ۹۵ درصد اطمینان و حداقل تراز پرتوزایی ۰/۳ ($Bq\ kg^{-1}$) ، □□ ساعت می‌باشد.

۳. مطالعه موردی: تالاب و دریاچه بِرآ (Bera Lake) در کشور مالزی

دریاچه بِرآ بزرگترین دریاچه طبیعی کشور مالزی به شمار می رود (شکل ۱) و اولین تالابی است که در کنوانسیون رامسر در این کشور به ثبت رسیده است. حوزه آبریز این تالاب حدود ۶۰۰ کیلومتر مربع می باشد که در چهار دهه گذشته ۲۹۰ کیلومتر مربع آن بین سالهای ۱۹۷۰ و ۱۹۹۴ جنگل‌زدایی(Deforestation) شده و در طی طرحهای توسعه ای کشاورزی به نخل روغنی[۱] تغییر کاربری داده شده است. شرکت FELDA متولی ۵ مرحله جنگل‌زدایی به ترتیب بین سالهای ۱۹۷۱-۱۹۷۵، ۱۹۷۶-۱۹۸۰، ۱۹۸۱-۱۹۸۵، ۱۹۸۶-۱۹۹۰، ۱۹۹۱-۱۹۹۴ بوده است. در سال ۱۹۹۴ عملیات توسعه مزارع نخل روغنی توسط دولت مالزی متوقف گردید، لیکن اهالی بومی جنگل‌نشین وسعت مزارع نخل روغنی را در حوضه به ۳۴۰ کیلومتر مربع توسعه داده اند. جنگل‌زداییو توسعه مزارع نخل روغنی خسارت‌های بیشماری بر محیط زیست دریاچه بِرآ وارد آورده است و

[۱] Oil palm

گونه‌های متعدد گیاهی و جانوری هزاران هکتار از زیستگاههای خود را از دست داده اند. هم اکنون دریاچه بِرآ به چندین تالاب کوچکتر تبدیل شده که توسط نیزارهای مردابی دربرگرفته شده است. جمعیت آبزیان و پرندگان تالاب به شدت کاسته شده و منابع آب و خاک آن به طور چشمگیری آلوده شده است. سرنوشت این تالاب همچون هزاران دریاچه و تالابی است که در سراسر زیست‌کره بویژه در ایران تکرار شده است.

شکل ۱: نگاه رو به شرق، دریاچه بِرآ در کشور مالزی

۳,۱ مطالعات میدانی و آزمایشگاهی

بررسی روش‌ها نشان داد که دقیق ترین روش در بازسازی تاریخچه دریاچه بِرآ درقرن گذشته جهت دستیابی به سهم پروژه های جنگل‌زدایی در تخریب و آلایش منابع آب و خاک دریاچه به عناصر سنگین و روند انباشت رسوب و کاهش عمق مفید آن ، استفاده از رادیوایزوتوپ‌های ^{210}Pb و ^{137}Cs است. بدین منظور ابتدا در طی یک الگوی نمونه برداری سیستماتیک تعداد ۱۰ مغزه رسوبی از رسوبات بستر دریاچه بوسیله دستگاه مغزه‌گیر رسوبات بستر (Core Sampler) به شکل دست نخورده و فشرده نشده برداشت گردید. مغزه‌های رسوبی بر اساس دستورالعمل سازمان بین المللی انرژی اتمی IAEA [۲۴] درقطاع‌های ۲ سانتیمتر برش داده شده و آماده سازی شدند. ۳۰۵ نمونه رسوب دریاچه پس از مراحل آماده‌سازی در آزمایشگاه گاماسپکترومتر سازمان انرژی اتمی کشور مالزی آنالیز شده و میزان فعالیت رادیوایزوتوپ‌های ^{210}Pb و ^{137}Cs و ^{226}Ra در طیف انرژی تعریف شده پس از طی زمان شمارش دستگاه گاما اسپکترومتر و لحاظ نمودن تصحیحات لازم، با استفاده از نرم افزار Genie محاسبه شد. نتایج آنالیز رادیوایزوتوپ‌ها برای اجرای مدل CRS بکار گرفته شد و بدین ترتیب نرخ رسوب‌گذاری و تاریخ دقیق وقوع رویدادهای زیست محیطی در دریاچه مورد مطالعه بدست آمد.

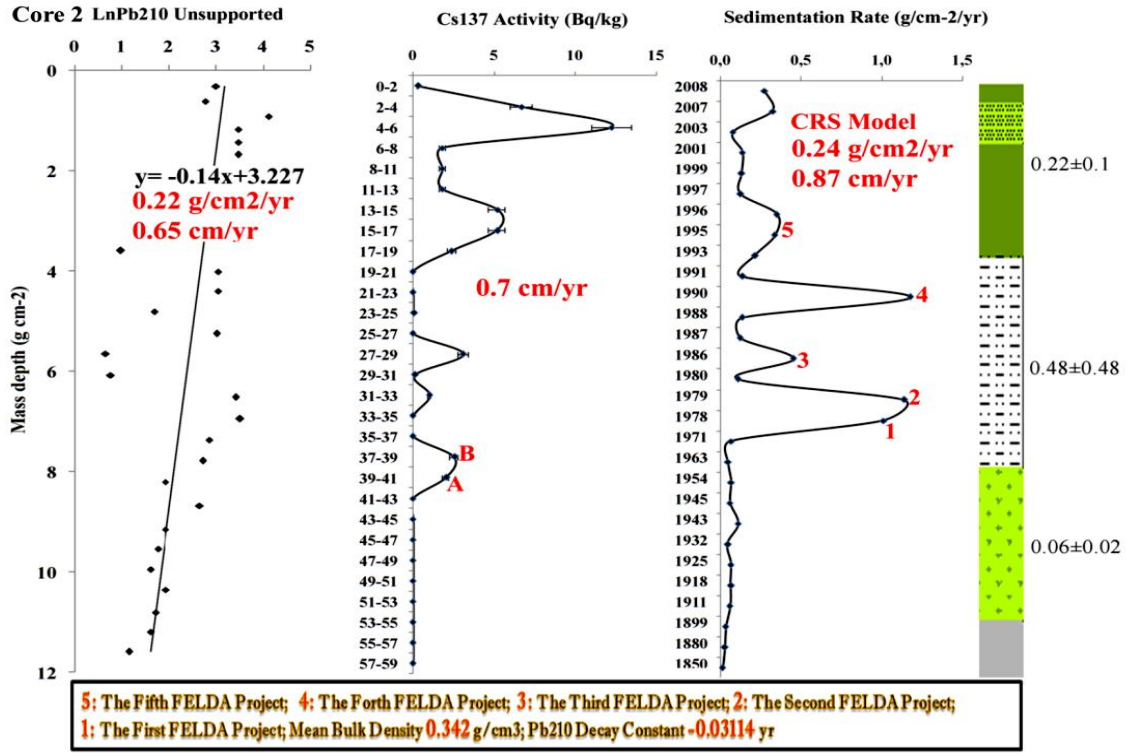
۳,۲ نتایج و بحث

وضعیت انتقال و انباشت رسوبات زهکش شده از حوزه آبخیز به درون دریاچه برآ، به تفکیک در سه بخش جنوبی، مرکزی و شمالی آن در ۱۰ مغزه رسوبی آشکار شد. از این بین، ۳ مغزه ۲، ۶ و ۵ به عنوان مغزه‌های شاخص[۱] از سه بخش یاد شده در این مقاله تشریح شده‌اند. تراز تعادل بین $^{210}Pb_{ex}$ (Unsupported) و ^{226}Ra (Supported) در جنوب، مرکز و شمال دریاچه به ترتیب در اعماق ۶۰، ۷۰ و ۶۵ سانتیمتر بدست آمده است. افق کلیدی ^{137}Cs برای سال ۱۹۵۴ در جنوب، مرکز و شمال دریاچه به ترتیب در اعماق ۴۰، ۵۸ و ۴۸ سانتیمتر بدست آمد. اختلاف عمق افق‌های یاد شده به دلیل تغییر مورفولوژی بستر و تا اندازه‌ای تأخیر زمانی انباشت رسوب در بخش‌های مختلف دریاچه بوده است. بیشینه فعالیت $^{210}Pb_{ex}$ در جنوب، مرکز و شمال دریاچه به ترتیب ۱۱±۶۲، ۲۶±۷۹ و ۳۱±۹۵ بکرل بر کیلوگرم محاسبه شد.

مغزه شماره ۲ که معرف رسوبگذاری در بخش جنوبی دریاچه است در شکل ۲ تشریح شده است. نتایج نشان داد که قبل از سال ۱۹۷۱ و شروع پروژه‌های توسعه مزارع نخل روغنی و جنگل زدایی، روند رسوب‌گذاری در دریاچه برآ روندی طبیعی داشته و متوسط انباشت رسوب ۰/۰۲±۰/۰۶ سانتیمتر در سال بوده است. در این شرایط رسوبات با بافت ریز دانه گلی خاکستری سرشار از بقایای گیاهی نهشته شده‌اند. در طی اولین و دومین پروژه FELDA بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۹ نرخ رسوب‌گذاری به ۰/۴۸±۰/۴۸ در سال رسید. بنابراین رسوبات درشت دانه‌تر متشکل از نهشته‌های سفید رنگ با بافت گل ماسه‌ای و سیلتی در طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۴ دقیقاً سالی که جنگل‌زدایی توسط دولت مالزی ممنوع شد در بستر دریاچه انباشت گردید. بدین ترتیب سهم هر یک از عملیات‌های تغییر کابری اراضی در حوضه و جنگل‌زدایی بخوبی در رسوبات لایه گل ماسه‌ای سفید رنگ مشخص گردید. بلوغ مزارع نخل روغنی سبب افزایش حجم مواد آلی رها شده در سطح حوزه دریاچه برآ شده است. بر اساس گزارش [۲۵] شرکت مشاوره مزارع نخل روغنی میزان سالانه تولید مواد آلی نخل‌های روغنی، ۳/۸ تن در هکتار در مقایسه با ۲/۵ تن در هکتار جنگل‌های بارانی و استوایی است. بر اساس مساحت پراکنش جنگل‌های استوایی باقیمانده و مزارع نخل روغنی در حوضه، پتانسیل رهاسازی مواد آلی گیاهی ۴/۵ میلیون تن در سال برآورد گردید که قادر است لایه‌ای به ضخامت ۶ میلیمتر از لاش برگ را ایجاد کند. مطالعات انجام شده نشان داد که سالانه بین ۰/۷ تا ۱ سانتیمتر از نهشته‌های رسوبی سرشار از مواد آلی از سال ۱۹۹۴ تا کنون در دریاچه نهشته شده‌اند.

متوسط نرخ رسوبگذاری برای این مغزه رسوبی شاخص با استفاده از مدل‌های CRS، CS:CF (متوسط شیب رگرسیون) و افق‌های کلیدی ^{137}Cs به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۷و ۰/۶۵ سانتیمتر در سال بدست آمد (شکل ۲) که نشان از تطابق بسیار نزدیک نتایج و قابلیت مدل‌های مورد استفاده در ردیابی رویدادهای محیطی دارد.

[۱] Master cores



شکل ۲: روند رسوبگذاری در بخش جنوبی دریاچه با استفاده از روش‌های CRS، CF:CS و افق‌های ^{137}Cs

شرایط رسوب‌گذاری در مغزه رسوبی شاخص میانه دریاچه نیز مشابه جنوب آن رقم خورده است؛ به‌طوریکه قبل از سال ۱۹۷۰ متوسط انباشت رسوب ۰/۰۱±۰/۰۵ سانتیمتر در سال بوده است. ۵ رویداد جنگل‌زدایی در ستون رسوبات میانه دریاچه به خوبی آشکار شده و آورد رسوب ناشی از آنها به ترتیب □□/۰، ۰/۵۲، ۱/۰۱، ۱/۵۳ و ۲/۱۶ گرم بر سانتیمتر مربع در سال محاسبه شده است. روند رو به رشد انتقال رسوب تا سال ۱۹۹۴ ادامه داشته است. با بازیابی سریع پوشش گیاهی در جنگل‌های استوایی نرخ رسوبگذاری در لایه سرشار از مواد آلی سطحی به حدود ۰/۱ سانتیمتر در سال کاهش پیدا کرده است. متوسط نرخ رسوبگذاری برای این مغزه رسوبی شاخص با استفاده از مدل‌های CRS، CS:CF (متوسط شیب رگرسیون) و افق‌های کلیدی ^{137}Cs به ترتیب ۱/۰۷، ۱/۰۳و ۰/۶ سانتیمتر در سال بدست آمد که نشان از تطابق بسیار نزدیک نتایج مدل‌های CRS، CS:CF و قابلیت مدل‌های مورد استفاده در ردیابی رویدادهای محیطی دارد.

نتایج نشان داد که روند رسوب‌گذاری به سمت شمال دریاچه به دلیل برخورد جریان‌های حامل رسوب به محیط بسته و تله‌های ژئومورفولوژیکی افزایش یافته است. وجود یک رویداد رسوبگذاری شدید در شمال دریاچه که تا اندازه‌ای در جنوب و میانه آن مشهود است، میانگین نرخ انباشت رسوب قبل از پروژه های تسطیح اراضی FELDA را تا ۰/۵۵ سانتیمتر در سال بالا برده است. این رویداد پس از آن رخ داده است که ده‌ها شرکت ژاپنی پس از جنگ جهانی دوم برای بازسازی کشور

تخریب شده ژاپن برای استحصال چوب در مالزی به شدت فعال شدند و اثرات مخرب محیطی بیشماری را برجای گذاشتند. پروژه‌های تسطیح اراضی FELDA در ستون رسوبات شمال دریاچه نیز به خوبی به ثبت رسید که آورد رسوب ناشی از آنها به ترتیب □□/۰، ۰/۳۴، ۰/۱۸، ۰/۱۲ و ۰/۱۷ گرم بر سانتیمتر مربع در سال محاسبه شده است. نتایج نشان داد که یورش رسوبات سفید رنگ با بافت گل ماسه‌ای ناشی از رویدادهای جنگلزدایی در شمال دریاچه کمتر بوده است ولی در مقابل شرایط محیط رسوبی به گونه ای است که رسوبات سرشار از مواد آلی شانس بیشتری برای انباشت داشته و متوسط نرخ رسوبگذاری آنها در مغزه‌های ۱، ۵ و ۹ به ترتیب □□/۰، ۰/۱۳، ۱/۴۵ سانتیمتر در سال بدست آمد. متوسط نرخ رسوبگذاری برای این مغزه رسوبی شاخص با استفاده از مدل‌های CRS، CS:CF (متوسط شیب رگرسیون) و افق‌های کلیدی ^{137}Cs به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۸۳ و ۰/۴۲ سانتیمتر در سال بدست آمد که نشان از تطابق بسیار نزدیک نتایج مدل‌های CRS، CS:CF دارد.

٤. نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر مشخصاً بر قابلیتها و توانمندی‌های استفاده از روش های نوین همچون فناوری‌های هسته‌ای و رادیوایزوتوپ‌های ^{210}Pb و ^{137}Cs در بررسی مشکلات محیطی از جمله انباشت رسوب، روند انتقال رسوب به آنها تاکید دارد. مطالعات رسوب‌شناسی و سن‌سنجی با استفاده از رادیوایزوتوپ‌های یاد شده به‌خوبی توانستند کلیه رویدادهای رخ داده در حوضه و در دریاچه، اعم از تعرض به حریم جنگل‌ها، تغییر الگوی کشت، سهم پروژه‌های جنگل‌زدایی در تخریب منابع طبیعی، میزان کاهش عمق مفید دریاچه و بالاخره روند پیش رو در آینده را مشخص سازند. علاوه بر رویدادهای انسانزاد، فناوری هسته‌ای در آشکارسازی رویدادهای طبیعی نیز عملکرد خوبی داشته است. در سال ۲۰۰۷ در حوضه آبریز دریاچه برِآ، سیلابی عظیم ناشی از ۱۱ روز بارش پیوسته به میزان ۱۲۰۰ میلیمتر رخ داده است که حاصل آن تشکیل لایه‌ای از رسوبات با بافت ماسه گلی بوده که در ۱۰ مغزه رسوبی دریاچه به ثبت رسید. مدل CRS به خوبی توانست سن دقیق و ضخامت رسوبات نشهته شده پس از این رویداد را در محیط رسوبی نشان دهد. بیشتر مزارع نخل روغنی حوزه بعد از ۲۵-۳۰ سال در مرحله پیری قرار گرفته‌اند. لذا اجرای عملیات جدید جنگل‌زدایی و بازکشت آنها منجر به وقوع رویدادهای مخرب زیست محیطی بیشتر خواهد شد. کاربرد فناوری هسته‌ای به‌علاوه هشدار داد که با شرایط کنونی نیز بزرگترین دریاچه طبیعی کشور مالزی کمتر از ۲ قرن آینده ناپدید خواهد شد.

۵. منابع

1. IAEA, *Co-ordinated Research Project on "Assess the effectiveness of soil conservation techniques for sustainable watershed management using fallout radionuclides"*, in *CRP D1.50.08*. 2004, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture: Istanbul – Turkey.
2. Zapata, F., *Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides*. 2002, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Ac 219.
3. Zapata, F., *Field application of the Cs-137 technique in soil erosion and sedimentation studies.* Soil &Tillage Research, 2003. **69**(1-2).

4. Goldberg, E.D. *Geochronology with Pb-210*. in *Symposium on Radioactive Dating*. 1963. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.

5. Oldfield, F., Appleby, P. G. In: E.Y. Haworth & J.G. Lund (Eds), Lake Sediments and Environmental History. Leicester Univ., *Empirical testing of Pb210 dating models.* Press, 1984: p. 93-124.

6. Gharibreza, M., Motamed, Ahmad., *Late Quaternary paleoshorelines and sedimentary sequences in Chabahar Bay (Southeast of Iran)* Journal of Coastal Research, 2006. **22**(6): p. 1499-1504.

7. Reyss, J.L., Pirazzoly, P. A., Haghipour. A, *Quaternary Marine Terraces and Tectonic Uplift Rates on the South Coast of Iran*. 1998, Centre des Faibles Radioactivities (CNRS-CEA) Yvette cedex, France. p. 225–237.

8. Bou-Rabee, F. and H. Bem, *Natural radionuclides and cesium-137 content in Arabian Gulf bottom sediments.* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1997. **222**(1): p. 219-221.

9. Al.-Zamel, A.Z., Bou-Rabee, F., Olszewski, M., Bem, H., *Natural radionuclides and 137Cs activity concentration in the bottom sediment cores from Kuwait Bay.* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005. **266**(2): p. 269-276.

10. Ritchie, J.C., Ritchie, C.A, *Ritchie, J.C.& Ritchie, C.A., "Bibliography of publications of 137Cesium studies related to erosion and sediment deposition"*. 2007, USDA–ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory Occasional Paper HRSL-2007-01.

11. Walling, D.E., Quine, T. A *Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data.* Land Degradation and Rehabilitation, 1990. **2**: p. 161-175.

12. Walling, D.E., He, Q, *Using Fallout Lead-210 Measurements to Estimate Soil Erosion on Cultivated Land.* Soil Science Society of America Journal, 1999. **63**: p. 1404-1412.

13. Yeager, K.M., Santschi, p.H., Phillips, J D., and Herbert, B. H, *Suspended sediment sources and tributary effects in the lower reaches of a coastal plain stream as indicated by radionuclides, Loco Bayou, Texas.* Journal of Environmental Geology, 2005. **47**: p. 382–395.

14. Walling, D.E., Quine. T. A. *The Use of Caesium-137 Measurements in Soil Erosion Surveys*. in *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins* 1992. Oslo: IAHS.

15. Hakanson, L., *Modelling Radiocesium in Lakes and Coastal Areas– New Approaches for Ecosystem Modellers*. 2002, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers.

16. Abraham, J.P., Whicker, F.W., Hinton, T.G., Rowan, D.J, *Inventory and spatial pattern of 137Cs in a pond: a comparison of two survey methods.* Environmental Radioactivity, 2000. **51**: p. 157-171.

17. Koide, M., Kenneth, W., Goldberg, B., Goldberge, E. D, *Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments.* GIeochimiceat Cosmochimica Acta, 1973. **37**(117-1187).

18. Appleby, P.G., Oldfield, F, *The Assessment of Pb210 data from sites with varying sediment accumulation rates.* Hydrobiologia, 1983. **103**: p. 29-35.

19. Appleby, P.G., *Sediment records of fallout radionuclides and their application to studies of sediment-water interactions.* Water, Air, & Soil Pollution, 1997. **99**(1): p. 573-585.

20. Buruaem, L.M., Hortellani, M. A., Sarkis, J. E., Costa-Lotufo, L. V., Abessa, D. M. S *Contamination of port zone sediments by metals from Large Marine Ecosystems of Brazil.* Marine Pollution Bulletin () 2012. **64** p. 479–488.

21. Caeiro, S., Costa, M. H,. Ramos, T. B,. Fernandes, F,. Silveira, N *Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach.* Ecological Indicators, 2005. **5**: p. 151-169.

22. Vinas, L., Franco, M. A., Soriano, J. A., Gonzalez, J. J., Pon, j., Albaiges, J, *Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Spanish northern continental shelf. Assessment of spatial and temporal trends.* Environmental Pollution 2010. **158** p. 1551–1560.

23. Ebaid, Y. and A.E.M. Khater, *Determination of 210Pb in environmental samples.* Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2006. **270**(3): p. 609-619.

24. IAEA, *Measuring Soil Erosion/Sedimentation and Associated Pesticide Contamination*, in *IAEA project Part 2*. 2003, IAEA: Vienna.

25. MPOC, *Palm oil, Tree of life*, M.P.O.C. Official, Editor. 2007, Malaysian Palm Oil Council Official