

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

(گرایش فیزیک هسته ای)

بررسی موجودی مواد پرتوزا در آب و رسوبات بستر چشمه‌های معدنی در

منطقه‌ی رامسر

از

زهراشاهمرادی

استاد راهنما

دکتر مسعود وهابی مقدم

استادان مشاور

فرشته عباسی سیر

علی عطاری لر

شهریور ۹۰

فهرست

	چکیده	
فارسی	ذ	
انگلیسی	ر	
۱	مقدمه	
۳	فصل اول، جنبه‌های بنیادین واپاشی‌های پرتوزا (مبانی نظری)	
۴	۱-۱-ویژه هسته	
۴	۲-۱-اکتیویته، اکتیویته‌ی ویژه	
۴	۳-۱-نیمه عمر، عمر میانگین، نیمه عمر بیولوژیکی	
۵	۴-۱-تعداد پرتوزا، تعادل دیرپا، تعادل گذرا	
۶	۵-۱-رادیونوکلایدهای طبیعی	
۶	۱-۵-۱-رادیونوکلایدهای طبیعی دیرین	
۶	۲-۵-۱-رادیونوکلایدهای طبیعی ثانوی	
۶	۳-۵-۱-رادیونوکلایدهای تولیدی در طبیعت	
۶	۱-۳-۵-۱-رادیونوکلایدهای کیهان‌زا	
۷	۲-۳-۵-۱-رادیونوکلایدهای حاصل از شکافت طبیعی	
۱۰	۶-۱-رادیونوکلایدهای مصنوعی	
۱۰	۱-۶-۱-تولید رادیونوکلایدهای مصنوعی توسط شتاب‌دهنده‌ها	
۱۰	۲-۶-۱-تولید رادیونوکلایدهای مصنوعی در راکتورهای هسته‌ای	
۱۰	۳-۶-۱-تولید رادیونوکلایدهای مصنوعی توسط آزمون جنگ افزارهای هسته‌ای	
۱۰	۷-۱-زمینه‌ی پرتوی (Background)	
۱۱	۸-۱-پرتوگیری از منابع طبیعی پرتوزا:	
۱۱	۹-۱-پرتوهای ناشی از زمین	
۱۱	۱۰-۱-دزهای پرتوی	
۱۱	۱-۱۰-۱-دز جذب شده (absorbed dose)	
۱۱	۲-۱۰-۱-دز معادل (equivalent dose)	
۱۲	۳-۱۰-۱-دز مؤثر (effective dose)	
۱۳	۱۱-۱-مناطق با پرتوزایی طبیعی بالا (High Level of Natural Radiation Area=HLNRA)	
۱۵	فصل دوم، برهمکنش‌های تابش‌های هسته‌ای با ماده	

۱۶	۱-۲-برخورد ذره‌ی باردار باماده
	ت
۱۶	۲-۲-برهمکنش‌های پرتوهای γ و X باماده
۱۷	۱-۲-۲-اثر فوتوالکتریک
۱۷	۲-۲-۲-اثر کامپتون
۱۸	۳-۲-۲-تولید زوج
۱۹	۳-۲-آشکارساز و انواع آن
۲۰	۱-۳-۲-بازده آشکارساز
۲۰	۲-۳-۲-کالیبراسیون سیستم
۲۰	۱-۲-۳-۲-کالیبراسیون انرژی
۲۱	۲-۲-۳-۲-کالیبراسیون بازده
۲۱	۳-۳-۲-کمترین سطح پرتوزایی قابل آشکارسازی (MDA)
۲۲	۴-۳-۲-آشکارسازهای نیم‌رسانا
۲۳	۱-۴-۳-۲-انواع آشکارساز نیم‌رسانا
۲۴	۲-۴-۳-۲-آشکارساز ژرمانیوم فوق‌خالص (HPGe)
۲۴	۱-۲-۴-۳-۲-انواع آشکارساز ژرمانیوم
۲۵	۵-۳-۲-آشکارسازهای گازی
۲۵	۱-۵-۳-۲-آشکارساز تناسبی
۲۶	۴-۲-اتافک سنتیلاسیون یا لوکاس
۲۷	۵-۲-ظروف مارینلی
۲۹	فصل سوم، روند انجام کارهای تجربی
۳۰	۱-۳-روش‌ها
۳۰	۱-۱-۳-انتخاب مکان و طرح‌های نمونه‌برداری
۳۱	۲-۳-دستورالعمل نمونه‌برداری محیطی
۳۱	۱-۲-۳-نمونه‌برداری از رسوب
۳۲	۱-۱-۲-۳-آماده‌سازی نمونه‌های رسوبی
۳۳	۲-۲-۳-دستورالعمل نمونه‌برداری از آب
۳۴	فصل چهارم، تشکیل چشمه‌های آب معدنی و رادیونوکلیدهای مطرح در آب و رسوب
۳۵	۱-۴-تشکیل چشمه
۳۵	۲-۴-چشمه‌های آب معدنی
۳۶	۳-۴-خواص فیزیکی و شیمیایی آب‌های معدنی
۳۶	۱-۳-۴-درجه حرارت
۳۶	۲-۳-۴-مواد شیمیایی
۳۷	۴-۴-آب‌های معدنی پرتوزا
۳۸	۵-۴-رادیونوکلیدهای مطرح در آب و رسوب

۳۸	۴-۵-۱-رادیوم
	ث
۴۱	۴-۵-۲-پتاسیم
۴۳	۴-۵-۳-سزیم
۴۵	۴-۵-۴-توریوم
۴۹	فصل پنجم، موقعیت جغرافیایی منطقه و چشمه‌ها
۵۰	۵-۱-موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی رامسر
۵۱	۵-۲-ویژگیهای منابع پرتوزایی در منطقه رامسر بر مبنای مطالعات قبلی
۵۶	فصل ششم، روش‌های اندازه‌گیری
۵۷	۶-۱- روش اسپکترومتری گاما
۶۰	۶-۲- اندازه‌گیری آلفا و بتا کل
۶۰	۶-۲-۱- اندازه‌گیری غلظت پرتوزایی آلفا و بتای کلی به روش شمارنده‌ی سنتیلاسیون مایع
۶۱	۶-۲-۲- اندازه‌گیری غلظت پرتوزایی آلفا و بتای کلی در نمونه‌های آب با شوری بالا
۶۱	۶-۲-۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها
۶۲	۶-۳- اندازه‌گیری ^{226}Ra در نمونه‌های آب به روش آزاد سازی گاز رادون (Radon Emanation)
۶۷	فصل هفتم، داده‌های تجربی و نتایج
۷۱	۷-۱- نتایج انجام گاما اسپکترومتری بر روی نمونه‌های آب و رسوبات بستر
۷۱	۷-۱-۱- نتایج انجام گاما اسپکترومتری بر روی رسوبات بستر در دو دوره‌ی بهار و تابستان
۷۴	۷-۱-۲- نتایج انجام گاما اسپکترومتری بر روی نمونه‌های آب در دو دوره‌ی بهار و تابستان
۷۶	۷-۲- نتایج اندازه‌گیری آلفا و بتا کل
۷۷	۷-۲-۱- نتایج اندازه‌گیری آلفا و بتا کل در فصل بهار
۷۹	۷-۲-۲- نتایج اندازه‌گیری آلفا و بتا کل در فصل تابستان
۸۰	۷-۳- نتایج اندازه‌گیری رادیوم-۲۲۶ به روش آزادسازی گاز رادون
	۷-۳-۱- مقایسه‌ی بین نتایج بدست آمده از سنجش رادیوم-۲۲۶ به روش گاما اسپکترومتری
۸۲	و آزادسازی گاز رادون
۸۴	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. سری واپاشی ^{238}U ۸
- شکل ۱-۲. سری واپاشی ^{232}Th ۹
- شکل ۱-۳. سری واپاشی ^{235}U ۹
- شکل ۱-۴. مناطق باپرتوزایی طبیعی بالا در سراسر جهان ۱۴
- شکل ۲-۱. اثر فوتوالکتریک ۱۷
- شکل ۲-۲. وابستگی سطح مقطع فوتوالکتریک به انرژی فوتون (a) و به عدد اتمی ماده (b) ۱۷
- شکل ۲-۳. اثر کامپتون ۱۸
- شکل ۲-۴. تولید زوج ۱۸
- شکل ۲-۵. اهمیت نسبی سه برهمکنش عمده‌ی گاما ۱۹
- شکل ۲-۶. یک دستگاه آشکارساز تپی بنیادی ۲۰
- شکل ۲-۷. (a) پیوند p-n بدون پتانسیل خارجی. (b) اگر یک پیش ولت وارون از بیرون به کار بسته شود، پتانسیل دو سر پیوند، و نیز عمق X_0 که در راستای آن یک میدان الکتریکی وجود دارد، افزایش می‌یابد ۲۳
- شکل ۲-۸. یک پیوند p-n با پیش ولت وارون که به عنوان یک آشکارساز عمل می‌کند ۲۳
- شکل ۲-۹. انواع آشکارساز ژرمانیوم ۲۴
- شکل ۲-۱۰. رابطه‌ی بین افزایش ولتاژ و میزان بار جمع‌آوری شده ۲۵
- شکل ۲-۱۱. رابطه‌ی بار جمع‌آوری شده و تغییر ولتاژ برای ۳ نوع ذره‌ی مختلف. در ناحیه‌ی ۵ منحنی به آرامی افزایش می‌یابد ولی برای همه‌ی ذرات یکسان می‌باشد ۲۶
- شکل ۲-۱۲. لامپ PM و اجزای آن ۲۷
- شکل ۲-۱۳. ظروف مارینلی ۲۸
- شکل ۲-۱۴. نحوه‌ی قرار گرفتن مارینلی روی آشکارساز HPGe ۲۸
- شکل ۵-۱. موقعیت شهرستان رامسر در استان مازندران و ایران ۵۰
- شکل ۵-۲. حریم اولیه منطقه عملیاتی بررسی پرتوزایی طبیعی بالا در رامسر و حومه ۵۳
- شکل ۵-۳. تعدادی از چشمه‌های منطقه‌ی رامسر ۵۴
- شکل ۶-۱. آشکارساز (۱) مورد استفاده برای گاما اسپکترومتري ۵۸

۵۸ شکل ۲-۶. آشکارساز (۲) مورد استفاده برای گاما اسپکترومتری

چ

۵۹ شکل ۳-۶. نمایی از یک آشکارساز HPGe

۵۹ شکل ۴-۶. نمونه‌های رسوب آماده شده جهت انجام گاما اسپکترومتری

۶۰ شکل ۵-۶. روش گزینشی آنالیز رادیونوکلیدها در آب

۶۲ شکل ۶-۶. آماده سازی نمونه برای اندازه گیری آلفا و بتای کلی زیر لامپ مادون قرمز

۶۲ شکل ۷-۶. Planchet های آماده شده پس از شکل گیری رسوب

۶۵ شکل ۸-۶. تصویری از حمام شنی و نمونه‌های موجود در آن

۶۶ شکل ۹-۶. سیستم آزاد سازی گاز رادون و اجزای آن

۶۶ شکل ۱۰-۶. سلول لوکاس و سیستم شمارنده مدل SAC-R۵

شکل ۱-۷. نمودار ستونی مقایسه ی رادیوم موجود در نمونه های رسوب،

۷۳ با روش گاما اسپکترومتری در فصل بهار و تابستان

۷۶ شکل ۲-۷. مقایسه ی رادیوم موجود در نمونه های آب، با روش گاما اسپکترومتری در فصل بهار و تابستان

۷۸ شکل ۳-۷. نمودار ستونی غلظت آلفا و بتا کل در نمونه های چشمه های آب منطقه ی رامسر (دوره ی بهار)

۸۰ شکل ۴-۷. نمودار ستونی غلظت آلفا و بتا کل در نمونه های چشمه های آب منطقه ی رامسر (دوره ی تابستان)

شکل ۵-۷. نمودار ستونی مربوط به مقادیر سنجش شده در روش آزادسازی گاز رادون (Emanation)

۸۲ در فصل بهار و تابستان

شکل ۶-۷. نمودار ستونی مقایسه ی بین مقادیر سنجش شده ی رادیوم در ۲ روش اسپکترومتری گاما و آزادسازی گاز رادون

۸۲ (فصل تابستان)

فهرست جداول

۷	جدول ۱-۱. ضرایب وزنی پرتو
۸	جدول ۱-۲. ضرایب وزنی بافت یا اندام گوناگون
۱۲	جدول ۱-۳. مشخصه‌های رادیونوکلیدهای طبیعی دیرین
۱۳	جدول ۱-۴. رادیونوکلیدهای کیهان‌زا
۴۰	جدول ۴-۱. خواص رادیواکتیو ایزوتوپ‌های کلیدی رادیوم و رادیونوکلیدهای وابسته
۴۱	جدول ۴-۲. ضریب خطر رادیولوژیکی ناشی از رادیوم
۴۳	جدول ۴-۳. خواص رادیواکتیو ایزوتوپ‌های کلیدی پتاسیم و رادیونوکلیدهای وابسته
۴۳	جدول ۴-۴. ضریب خطر رادیولوژیکی ناشی از پتاسیم
۴۵	جدول ۴-۵. خواص رادیواکتیو ایزوتوپ‌های کلیدی سزیم و رادیونوکلیدهای وابسته
۴۵	جدول ۴-۶. ضریب خطر رادیولوژیکی ناشی از سزیم
۴۷	جدول ۴-۷. خواص رادیواکتیو ایزوتوپ‌های کلیدی توریم و رادیونوکلیدهای وابسته
۴۸	جدول ۴-۸. ضریب خطر رادیولوژیکی ناشی از توریم
۵۲	جدول ۵-۱. اسامی چشمه‌هایی که از آنها نمونه‌گیری به عمل آمد
۵۷	جدول ۶-۱. مشخصات HPGe های مورد استفاده برای سنجش‌ها
۶۸	جدول ۷-۱. اسامی و مشخصات چشمه‌های نمونه‌گیری شده (فصل بهار)
۶۹	جدول ۷-۲. اسامی و مشخصات چشمه‌های نمونه‌گیری شده (فصل تابستان)
	جدول ۷-۳. موجودی مواد رادیواکتیو در رسوبات بستر چشمه‌های آبگرم معدنی منطقه ی رامسر
۷۱	با استفاده از روش گاما اسپکترومتری (فصل بهار)
	جدول ۷-۴. موجودی مواد رادیواکتیو در رسوبات بستر چشمه‌های آبگرم معدنی منطقه ی رامسر با استفاده از روش
۷۲	گاما اسپکترومتری (فصل تابستان)

- جدول ۷-۵. مقادیر MDA برای رادیونوکلیدهای مختلف برای نمونه های رسوب ۷۳
- خ
- جدول ۷-۶. موجودی مواد رادیواکتیو در آب چشمه های آبگرم معدنی منطقه ی رامسر با استفاده از روش گاما اسپیکترومتری (فصل بهار) ۷۴
- جدول ۷-۷. موجودی مواد رادیواکتیو در آب چشمه های آبگرم معدنی منطقه ی رامسر با استفاده از روش گاما اسپیکترومتری (فصل تابستان) ۷۵
- جدول ۷-۸. مقادیر MDA برای رادیونوکلیدهای مختلف برای نمونه های آب ۷۵
- جدول ۷-۹. پارامترهای مورد استفاده در دستگاه شمارنده ی سنتیلاسیون مایع برای سنجش آلفا و بتای کلی ۷۷
- جدول ۷-۱۰. پارامترهای مورد استفاده در سیستم شمارنده ی تناسبی ۷۷
- جدول ۷-۱۱. غلظت آلفا و بتا کل در نمونه های چشمه های آب منطقه ی رامسر (دوره ی بهار) ۷۷
- جدول ۷-۱۲. غلظت آلفا و بتا کل در نمونه های چشمه های آب منطقه ی رامسر (دوره ی تابستان) ۷۹
- جدول ۷-۱۳. پرتوزایی رادیوم-۲۲۶ در نمونه های آب چشمه های آبگرم رامسر به روش آزادسازی گاز رادون (Radon Emanation) در دو نوبت نمونه برداری (فصول بهار و تابستان) بر حسب میلی بکرل بر لیتر (mBq.lit^{-1}) ۸۱
- جدول ۷-۱۴. پارامترهای مورد استفاده در روش آزادسازی گاز رادون برای سنجش ^{226}Ra ۸۱

چکیده:

بررسی موجودی مواد پرتوزا در آب و رسوبات بستر چشمه های آب معدنی منطقه ی رامسر

مطالعات زمین شناسی منطقه ی رامسر نشان می دهد که ارتفاعات حوزه ی رامسر از سنگ های آذرین تشکیل شده و تجربه نیز نشان داده که این گونه کانیها حاوی مقدار قابل ملاحظه ای مواد پرتوزا می باشند. در این پروژه موجودی مواد پرتوزای موجود در چشمه های آب معدنی و رسوبات بستر آنها در منطقه ی با پرتوزایی بالای رامسر مورد سنجش و بررسی قرار گرفته است.

در ابتدا تمامی نمونه ها مورد اسپکترومتری گاما واقع شده اند تا نوع و میزان مواد پرتوزا در آنها مشخص شود. این سنجش ها توسط سیستم اسپکترومتر گاما با کاربرد آشکارساز ژرمانیوم فوق خالص (HPGe) انجام پذیرفته است. برای سنجش رادیوم موجود در آنها، متعاقب سنجش آلفا و بتای کلی به روش های سنتیلاسیون مایع و شمارنده تناسبی، از روش آزادسازی گاز رادون نیز استفاده شده است.

در مورد رسوبات بستر، گستره ی موجودی ^{226}Ra از ۹۳ تا ۵۹۰۰۰ ^4K از ۵۶ تا ۴۸۳ و ^{232}Th از ۱۳ تا ۱۵۶۰ بکرل بر کیلوگرم و در مورد نمونه های آب، گستره ی موجودی ^{226}Ra از ۱ تا ۴۹ ^4K از ۹۵ تا ۱۰۳ و ^{232}Th از ۱ تا ۵ بکرل بر لیتر برآورد شده است. غلظت آلفای کلی در نمونه ها از ۲۰۰ تا ۱۰۶۰۰ و بتای کلی از ۱۸ تا ۹۱۰۰ میلی بکرل بر لیتر، و گستره ی میزان رادیوم با روش آزادسازی گاز رادون بین ۲۰ تا ۱۳۴۹۸ میلی بکرل بر لیتر بدست آمده است.

واژه های کلیدی: منطقه ی پرتوزایی طبیعی بالای رامسر، رادیونوکلیدهای طبیعی، رادیوم-۲۲۶، روش اسپکترومتری گاما، روش سنتیلاسیون مایع، روش آزادسازی گاز رادون.

Abstract:**Natural radioactivity content in water and sediments of mineral springs of Ramsar**

Geological studies show elevated areas in Ramsar are formed from igneous rocks, which contain relatively high radioactive substances. In this project, the concentrations of radionuclides have been measured in the spas water and sediments collected from Ramsar High Natural Radiation Area. Measurements were carried out through spectrometry using high purity germanium (HPGe) system, gross alpha and beta counting by liquid scintillation system and proportional counter, and radium content assessment by radon emanation method. Measurements revealed a concentration range 93 to 59000 Bq.kg⁻¹, 56 to 483 Bq.kg⁻¹ and 13 to 1560 Bq.Kg⁻¹, for ²²⁶Ra, ⁴⁰K and ²³²Th for sediments, respectively. The range of radionuclide concentrations for water samples varied from 1 to 49 Bq.kg⁻¹, 95 to 103 Bq.kg⁻¹ ⁴⁰K and 1 to 5 Bq.lit⁻¹ for ²²⁶Ra, ⁴⁰K and ²³²Th, respectively. Gross alpha and beta counts ranged from 200 to 10600 mBq.lit⁻¹ and 18 to 9100 mBq.lit⁻¹, respectively. Radium content ranged from 20 to 13498 mBq.lit⁻¹.

Key words: Ramsar High Natural Radiation Area, natural radionuclides, Ra-²²⁶, gamma spectrometry, liquid scintillation counting, Radon emanation method.

اگرچه انسان ها اغلب بر این باورند که پرتوگیری از منابع مصنوعی پرتوزا زیان آور و خطرناک است، لیکن منابع طبیعی پرتوزا عامل اصلی در پرتوگیری بشر و موجودات زنده محسوب می شوند. این منابع که از زمین و پرتوهای کیهانی منشا می گیرند، به طور مستمر بر میزان دُز دریافتی انسان تاثیر گذاشته و بسته به غلظت هسته های پرتوزای طبیعی و نحوه ی بکارگیری آنها، ممکن است زیان هایی را نیز به همراه داشته باشند. لذا کسب اطلاعات در زمینه ی منابع طبیعی پرتوزا و شناخت عوامل مؤثر بر پرتوگیری انسان ضروری به نظر می رسد، به ویژه آنکه در ایران نیز مناطقی با پرتوزایی بالا مشاهده شده اند که عدم توجه به این گونه منابع ممکن است سبب بروز خسارات جبران ناپذیری گردد.

آبهای موجود در زیر زمین به فضای خالی بین سنگ ها نفوذ کرده و کانی های معدنی و عناصر وابسته به ساختار شیمیایی لایه ها را می گیرد و در نتیجه غلظت کانی های معدنی و رادیونوکلیدهای طبیعی در آبهای زیرزمینی بیشتر از انواع دیگر آبهاست. البته در چشمه های آب، هم رادیونوکلیدهای طبیعی و هم رادیونوکلیدهای مصنوعی یافت می شوند اما میزان غلظت آنها در مناطق مختلف متفاوت می باشد.

فرسایش زمین، و انحلال ترکیبات معدنی و مواد آلی ناشی از تجزیه ی گیاهان و تخلیه ی فاضلاب ها سبب شده است تا منابع آب و به ویژه آبهای سطحی به درجات مختلف به آلاینده های معدنی، آلی، میکروبی، و پرتوزا آلوده گردند.

از طرفی می دانیم که آب مسیر اصلی انتقال رادیونوکلیدهای طبیعی و مصنوعی از محیط به بدن موجود زنده است. از آنجایی که منابع آبی به طور مستقیم و غیرمستقیم می توانند منجر به پرتوگیری انسان شوند، از این رو رادیونوکلیدهای مطرح در آب توسط سازمان های ذیربط جهانی آنهایی عنوان شده اند که خطرات بیشتری برای سلامت انسان به همراه دارند. ^{226}Ra و ^{222}Rn و ایزوتوپ های U طبیعی از مهمترین رادیونوکلیدهای مطرح در آب هستند.

چشمه های آب معدنی زیادی وجود دارند که محتوی غلظت های بالایی از Ra و Rn هستند و در بیشتر مناطق جهان مورد بهره برداری قرار گرفته اند. در گذشته بازدیدکنندگان از این چشمه ها تشویق می شدند که نه تنها از آن بنوشند و در این آبهای پرتوزا استحمام کنند، بلکه همچنین در مناطقی قرار بگیرند تا ^{222}Rn آزاد شده از صخره های اطراف را استنشاق کنند. زیرا در آن زمان عقیده بر آن بود که با کمک رادون می توان با پیری مبارزه کرد. اگرچه پژوهش ها نشان داده که جذب رادون سبب افزایش فعالیت بافت ها و احیای سلول ها می شود، اما باید در نظر داشت که جذب بالای مواد پرتوزا از جمله رادون و رادیوم ممکن است به ترتیب خطر ابتلا به سرطان ریه و استخوان را افزایش دهد. این رادیونوکلیدها از منابع زیادی ناشی می شوند و بنابراین حذف کامل آلودگی آنها از سیستم های آبی غیر ممکن می باشد. از این رو بررسی موجودی، انتقال، برهمکنش و غلظت رادیونوکلیدها در اکوسیستم های آبی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

از طرفی آبهای معدنی و گرم برای درمان بیماری های پوستی و بیماری های ناشی از اختلال در گردش خون، آسیب های اسکلتی و عضلانی و... کاربرد فراوانی دارند. همچنین از آبهای معدنی به طور گسترده ای برای تهیه ی پودر شیر کودکان استفاده می شود و از آنجایی که ضریب انتقال دُز برای کودکان بالاست باید از این نظر مطالعات کاملی روی آبهای معدنی صورت گیرد.

به دلیل اهمیت این موضوع مطالعاتی در سراسر دنیا بر روی آب‌های معدنی (بویژه آب‌های معدنی‌ای که مصرف خوراکی دارند) صورت گرفته است. از جمله در ایتالیا [Desideri, D., et al., ۲۰۰۷]، ایران [Alighadri, et al., ۲۰۰۴]، کرواسی [Bituh, et al., ۲۰۰۹]، برزیل [Godoy, J.M., et al., ۲۰۰۱]، مجارستان [Somlai, J., et al., ۲۰۰۲]

و عربستان سعودی [Tayyeb, Z.A., et al., ۱۹۹۸].

مطالعات زمین‌شناسی منطقه‌ی رامسر نشان می‌دهد که ارتفاعات حوزه‌ی رامسر از سنگ‌های آذرین تشکیل شده و تجربه نیز نشان داده که این گونه کانیها حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای مواد پرتوزا می‌باشند. در این پروژه موجودی مواد پرتوزای موجود در چشمه‌های آب معدنی و رسوبات بستر آنها در منطقه‌ی با پرتوزایی بالای رامسر بررسی شده است. در منطقه‌ی رامسر ۱۴ چشمه‌ی آب معدنی وجود دارد. در اواسط فصل بهار (۱۹ اردیبهشت) و اواسط فصل تابستان (۲۱ مرداد ماه) از آب و رسوبات بستر این چشمه‌ها نمونه‌گیری شد. نمونه‌های رسوب گرفته شده بعد از خشک شدن توسط هوای آزاد، آسیاب شده و برای گاما اسپکترومتری توسط آشکارساز HPGe آماده‌سازی شدند. در مورد نمونه‌های آب نیز، علاوه بر انجام گاما اسپکترومتری، روی همه‌ی نمونه‌ها سنجش آلفا و بتای کلی انجام شد و سپس با استفاده از نتایج آن نمونه‌هایی که موجودی گسیلنده‌های آلفا در آنها بالا بود انتخاب و با استفاده از روش آزاد سازی گاز راڈن (Emanation) میزان رادیوم آنها سنجیده شد. سنجش‌های اشاره شده در بخش حفاظت در برابر اشعه سازمان انرژی اتمی ایران صورت گرفته است.

بررسی این پروژه با روند زیر دنبال شده است:

فصل اول، جنبه‌های بنیادین واپاشی پرتوزا

فصل دوم، برهمکنش تابش‌های هسته‌ای با ماده

فصل سوم، نمونه برداری محیطی

فصل چهارم، چشمه‌های آب معدنی و رادیونوکلیدهای مطرح

فصل پنجم، موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

فصل ششم، روش‌های اندازه‌گیری

فصل هفتم، داده‌های تجربی، بحث و نتیجه‌گیری

▪ فصل اول

جنبه های بنیادین واپاشی پرتوزا

۱-۱- ویژه هسته

ویژه هسته یا نوکلاید به هسته ای معین اطلاق می‌شود که دارای تعداد مشخصی پروتون و نوترون باشد. مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها عدد جرمی ویژه هسته را تعیین می‌کند. نوکلیدها می‌توانند پایدار یا ناپایدار باشند. نوع ناپایدار (که هسته‌ی پرتوزا یا رادیونوکلاید نامیده می‌شود) به هسته‌ی پایدار یا ناپایدار دیگری با جرم یا تراز انرژی کمتر فرو می‌پاشد و تفاوت آن دو به صورت انرژی پرتو گسیل می‌شود [Tykava, R.& Berg, D. ۲۰۰۴].

۱-۲- اکتیویته، اکتیویته‌ی ویژه

اکتیویته‌ی یک رادیونوکلاید عبارت است از آهنگ فروپاشی آن که توسط قانون بنیانی رادیواکتیویته به صورت:

$$dN/dt = -\lambda \cdot N$$

بیان می‌شود. جایی که N تعداد هسته‌های پرتوزا و λ ثابت فروپاشی است. با انتگرال‌گیری از این رابطه، معادله‌ی:

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}$$

حاصل می‌شود که در آن، $N(0)$ تعداد هسته‌های رادیواکتیو در زمان مرجع ($t=0$)، $N(t)$ تعداد آنها در فاصله‌ی زمانی t پس از آن و e پایه‌ی لگاریتم طبیعی آن است. این ارتباط نمایی فروپاشی در کار با مواد رادیواکتیو حائز اهمیت فراوان است. آن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$A(t) = A(0) \cdot e^{-\lambda t}$$

جایی که $A(0)$ و $A(t)$ ، به ترتیب، اکتیویته در زمان $t=0$ و t می‌باشند. یکای اکتیویته بکرل (Becquerel) نام گرفته و با نماد Bq نشان داده می‌شود. یک بکرل معادل یک فروپاشی هسته‌ای در ثانیه است ($1 Bq = 1 s^{-1}$) [Tykava, R.& Berg, D. ۲۰۰۴].

بکرل به عنوان یکای کمیت اکتیویته، رابطه‌ی جرم و حجم ماده‌ی پرتوزا را با تعداد واپاشی مشخص نمی‌کند. به همین منظور از کمیت دیگری به نام اکتیویته‌ی ویژه استفاده می‌شود که در حقیقت کمیتی است که رابطه‌ی بین اکتیویته و جرم (یا حجم) ماده‌ی پرتوزا را بیان می‌کند. میزان اکتیویته در واحد جرم یا حجم ماده‌ی پرتوزا را اکتیویته‌ی ویژه گویند و یکای آن عبارتند از: Bq/kg ، Bq/m^3 ، یا Bq/li [غیائی نژاد و کاتوزی، ۱۳۸۲].

۱-۳- نیمه عمر، عمر میانگین، نیمه عمر بیولوژیکی، نیمه عمر موثر

نیمه عمر: بازه‌ی زمانی لازم برای کاهش اکتیویته به نصف میزان اولیه.

از رابطه‌ی نمایی اکتیویته می‌توان نتیجه گرفت:

$$A(t)/A(0) = 1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

عمر میانگین نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_{ml} = \left[\int_0^{\infty} t \cdot p(t) \cdot dt \right] / \left[\int_0^{\infty} p(t) \cdot dt \right] = 1/\lambda$$

و رابطه‌ی آن با نیمه عمر عبارت است از:

$$T_{ml} = 1.44 * T_{1/2}$$

لازم به ذکر است که طبیعت آماری بودن اکتیویته لزوم استفاده از عمر میانگین را تایید می‌کند. Tykava, R.& Berg, D. [۲۰۰۴؛ غیائی نژاد و کاتوزی، ۱۳۸۲].

مدت زمانی که یک ماده‌ی پرتوزا در عضو یا بافت زنده در بدن به نصف مقدار اولیه‌اش می‌رسد نیمه عمر بیولوژیکی نام دارد [http://medical-dictionary.thefreedictionary.com].

از ترکیب نیمه عمر فیزیکی و نیمه عمر بیولوژیکی، نیمه عمر موثر، که معرف آهنگ واقعی حذف ماده پرتوزا از کالبد موجود زنده است، بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$T_{eff} = \frac{T_{1/2} * T_{bio}}{T_{1/2} + T_{bio}}$$

۴-۱- تعادل پرتوزا، تعادل دیرپا، تعادل گذرا

اگر در زمان $t=0$ تنها هسته‌های پرتوزای مادر با اکتیویته‌ی A_0 حضور داشته باشند، نسبت اکتیویته‌ی مادر، A ، و دختر پرتوزای آن، B ، به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$A_B(t)/A_A(t) = [\lambda_B / (\lambda_B - \lambda_A)] \cdot [1 - e^{-(\lambda_B - \lambda_A)t}]$$

اگر نیمه عمر رادیونوکلاید B بزرگتر از نیمه عمر رادیونوکلاید A باشد ($\lambda_B < \lambda_A$)، این نسبت پیوسته با زمان افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر نیمه عمر مادر (A) بزرگتر از نیمه عمر دختر (B) باشد، یعنی ($\lambda_B > \lambda_A$)، با افزایش t ، نسبت $A_B(t)/A_A(t)$ باز افزایش می‌یابد، اما در صورتی که t بزرگ شود، این نسبت ثابتی بزرگتر از یک می‌شود. در نهایت، برای مقدار بسیار بزرگ t ، دختر با همان آهنگ فروپاشی مادر فروپاشی کرده، ولی اکتیویته‌ی آن با ضریب $\lambda_B / (\lambda_B - \lambda_A)$ بزرگتر از اکتیویته‌ی مادر خواهد بود. این موقعیت "تعادل گذرا" نامیده می‌شود.

نوع دیگر از تعادل زمانی رخ می‌دهد که نیمه عمر مادر به مراتب بزرگتر از نیمه عمر دختر باشد یعنی $\lambda_B \gg \lambda_A$. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت:

$$A_B(t)/A_A(t) = [1 - e^{-(\lambda_B)t}]$$

در چنین موقعیتی پس از گذشت زمان کافی، اکتیویته‌ی دختر برابر اکتیویته‌ی مادر شده و "تعداد پایدار" روی می‌دهد.

حالت سوم در وضعیت $\lambda_B < \lambda_A$ (یعنی مادری با نیمه عمر کوتاه و دختری با نیمه عمر بلند) است، که تعادلی بوجود نخواهد آمد [Tykava, R. & Berg, D. ۲۰۰۴].

۵-۱- رادیونوکلیدهای طبیعی

۱-۵-۱- رادیونوکلیدهای طبیعی دیرین

هسته‌های ناپایدار موجود در زمان پیدایش زمین رادیونوکلیدهای طبیعی دیرین خوانده می‌شوند. فراوان‌ترین این رادیونوکلیدها شامل ^{235}U , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th به همراه دختران ناپایدار آنها موجد بخش عمده‌ی پرتوگیری انسان‌اند. فهرست مشخصات این ویژه هسته‌ها در جدول ۱-۱ آمده است.

۲-۵-۱- رادیونوکلیدهای طبیعی ثانوی

محصولات فروپاشی بخشی از رادیونوکلیدهای طبیعی دیرین، خود نیز ناپایدار بوده و هسته‌های پرتوزای دیگری را پدید می‌آورند. این رادیونوکلیدها که به طور پیوسته توسط والدین پرتوزای خود تولید می‌شوند، رادیونوکلیدهای طبیعی ثانوی نامیده می‌شوند. رادیونوکلیدهای طبیعی ثانوی موجد دختران پرتوزای متوالی بوده و تشکیل زنجیره‌های کاملی از مواد پرتوزا را می‌دهند که به ایزوتوپ‌های پایدار ختم می‌شوند. سه زنجیره‌ی فروپاشی طبیعی در شکل‌های ۱-۱، ۲-۱ و ۳-۱ آمده‌اند [Tykava, R. & Berg, D. ۲۰۰۴].

به دلیل فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موجود در زمین، از جمله شستشوی کانی‌ها و آزاد شدن گازها، ممکن است تغییرات موضعی از تعادل پایدار پرتوزا در این زنجیره‌ها مشاهده گردد [غیائی نژاد و همکاران، ۱۳۷۹].

۳-۵-۱- رادیونوکلیدهای تولیدی در طبیعت

علاوه بر مواد پرتوزای موجود در زمین از زمان پیدایش آن، رادیونوکلیدهای دیگری نیز به طور طبیعی تحت فرآیندهای هسته‌ای در جو و پوسته زمین تولید می‌شوند.

۱-۳-۵-۱- رادیونوکلیدهای کیهان‌زا

مهمترین شیوه‌ی تولید رادیونوکلیدها در طبیعت در اثر برهم‌کنش پرتوهای کیهانی اولیه و ثانویه از جمله پروتونها، نوترونها، ذرات آلفا و مزونها با اکسیژن، ازت و آرگون موجود در جو زمین و برخی اتم‌های موجود در پوسته‌ی زمین است (جدول ۱-۲).

از دیدگاه پرتوگیری انسان مهمترین اینها عبارتند از:



۱-۵-۳-۲- رادیونوکلیدهای حاصل از شکافت طبیعی

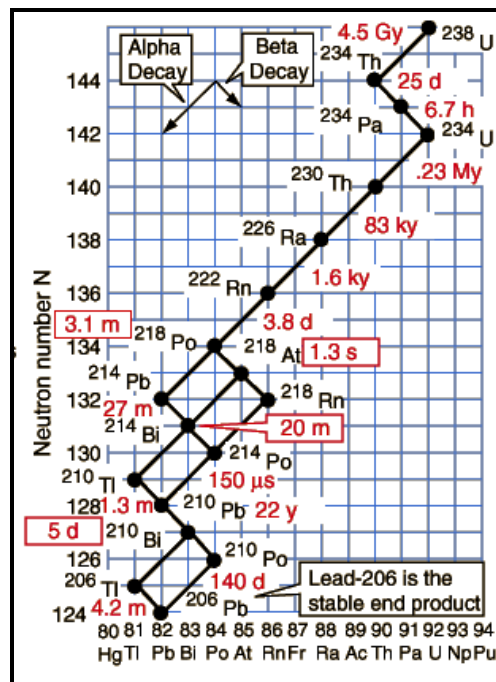
شکافت هسته ای خود به خودی با احتمال اندک در کانیهای اورانیوم رخ می دهد. علاوه بر پاره های شکافت، با جذب نوترونهای حاصل از شکافت در اورانیوم، عناصر فرا-اورانیوم نیز در این کانیها قابل ردیابی است [Tykava, R.& Berg, D. ۲۰۰۴].

جدول ۱-۱. مشخصه های رادیونوکلیدهای طبیعی دیرین [Tykava, R.& Berg, D. ۲۰۰۴].

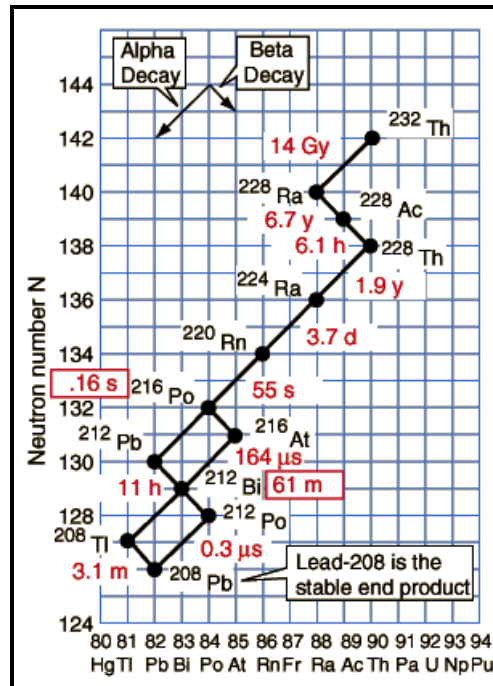
Nuclide	Half-life (y)	Abundance (%)	Decay	Concentration (Bq/kg)
^{40}K	$1.27 \cdot 10^9$	0.012	EC, β^- , γ	^b 100 - 700 ^c 0.2 - 1200
^{238}U	$4.47 \cdot 10^9$	99.275	α	^b 10 - 50 ^c 8 - 110
^{232}Th	$1.41 \cdot 10^{10}$	100.000	α	^b 7 - 50 ^c 4 - 78
^{235}U	$7.04 \cdot 10^8$	0.720	α , γ	
^{176}Lu	$3.78 \cdot 10^{10}$	2.590	EC, β^- , γ	
^{187}Re	$4.35 \cdot 10^{10}$	62.600	(α), β^-	
^{87}Rb	$4.75 \cdot 10^{10}$	27.835	β^-	^c 20 - 560
^{147}Sm	$1.06 \cdot 10^{11}$	15.000	α	
^{138}La	$1.05 \cdot 10^{11}$	0.090	EC, β^- , γ	
^{190}Pt	$6.50 \cdot 10^{11}$	0.010	α	
^{114}In	$4.41 \cdot 10^{14}$	95.710	β^-	
^{180}W	^a $1.10 \cdot 10^{15}$	^a 0.135	α	
^{144}Nd	$2.29 \cdot 10^{15}$	23.800	α	
^{50}V	$1.40 \cdot 10^{17}$	0.250	EC, β^- , γ	
^{142}Ce	$>5.00 \cdot 10^{16}$	11.080	α	
^{152}Gd	$1.08 \cdot 10^{14}$	0.200	α	
^{152}Gd	^a $>1.00 \cdot 10^{14}$	^a 0.146	α	
^{209}Bi	^a $>2.00 \cdot 10^{18}$	^a 100.000	α	

جدول ۱-۲. رادیونوکلایدهای کیهان زا [UNSCEAR, ۲۰۰۰. B]

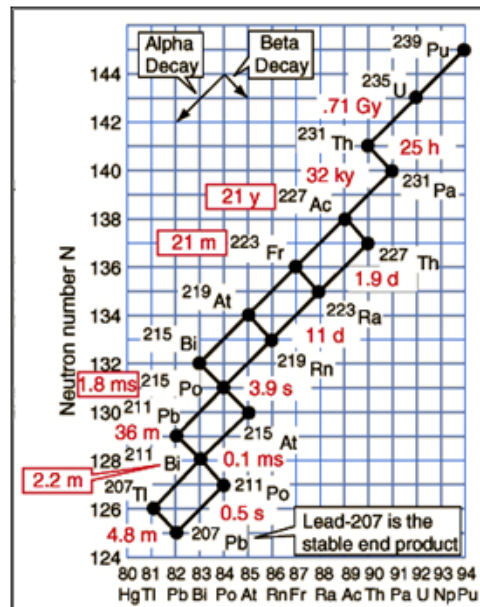
Isotope	Half-life	Decay mode
Cosmogenic radionuclides		
^3H	12.33 a	beta (100%)
^7Be	53.29 d	EC ^a (100%)
^{10}Be	$1.51 \cdot 10^6$ a	beta (100%)
^{14}C	5730 a	beta (100%)
^{22}Na	2.602 a	EC (100%)
^{26}Al	$7.4 \cdot 10^5$ a	EC (100%)
^{32}Si	172 a	beta (100%)
^{32}P	14.26 d	beta (100%)
^{33}P	25.34 d	beta (100%)
^{35}S	87.51 d	beta (100%)
^{36}Cl	$3.01 \cdot 10^5$ a	EC(1.9%), beta (98.1%)
^{37}Ar	35.04 d	EC (100%)
^{39}Ar	269 a	beta (100%)
^{81}Kr	$2.29 \cdot 10^5$ a	EC (100%)



شکل ۱-۱. سری واپاشی ^{238}U [http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu]



شکل ۲-۱. سری واپاشی ^{232}Th [http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu...]



شکل ۳-۱. سری واپاشی ^{235}U [http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu...]