



دانشگاه پیام نور

دانشکده فیزیک

رساله

برای دریافت مدرک دکتری تخصصی (Ph.D.)

رشته فیزیک هسته ای گرایش تجربی

گروه فیزیک

عنوان رساله:

توسعه روشهای آشکار سازی گاز رادن در محیط های مایع

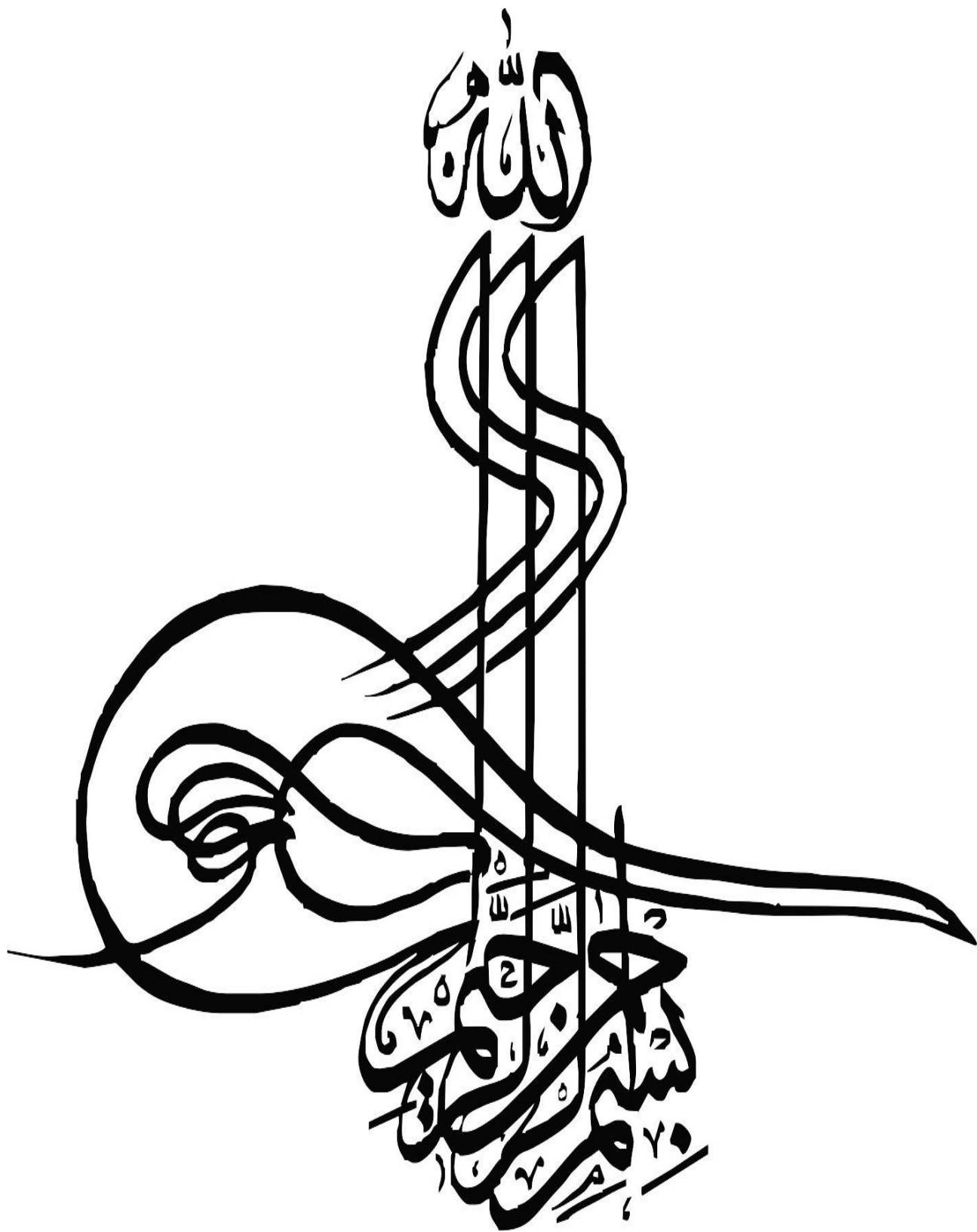
محمد رضا رضایی راینی نژاد

استاد راهنما: دکتر علی نگارستانی

استاد مشاور اول: دکتر سعید محمدی

استاد مشاور دوم: دکتر داریوش افضلی

۱۳۹۰





دانشکده فیزیک

مرکز تخصصی دکتری پیام نور تهران

رساله

برای دریافت مدرک دکتری تخصصی (Ph.D.)

رشته فیزیک هسته ای گرایش تجربی

گروه فیزیک

عنوان رساله:

توسعه روشهای آشکار سازی گاز رادن در محیط های مایع

محمد رضا رضایی راینی نژاد

استاد راهنما: دکتر علی نگارستانی

استاد مشاور اول: دکتر سعید محمدی

استاد مشاور دوم: دکتر داریوش افصلی

۱۳۹۰

بسمه تعالی

اینجانب محمد رضا رضایی راینی نژاد دانشجوی ورودی سال 1387 مقطع دکتری تخصصی رشته فیزیک هسته ای گرایش تجربی گواهی می نمایم چنانچه در رساله خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود.

محمد رضا رضایی راینی نژاد

تاریخ و امضاء

اینجانب محمد رضا رضایی راینی نژاد دانشجوی ورودی سال 1387 مقطع دکتری تخصصی رشته فیزیک هسته ای گرایش تجربی گواهی می نمایم چنانچه براساس مطالب رساله خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.

محمد رضا رضایی راینی نژاد

تاریخ و امضاء

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این رساله متعلق به دانشگاه پیام نور می باشد.

آذر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

همسر و فرزندان گرامی ام

علی و زهرا

چکیده

آشکار سازهای CR-39 بصورت وسیع در اندازه‌گیری گاز رادن و دختران آن در هوا مورد استفاده قرار می‌گیرند. سعی شده است که با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو امکان استفاده مستقیم CR-39 برای اندازه‌گیری رادن و دختران آن در آب بررسی شود. باتصادفی فرض کردن موقعیت وزاویه ارسال ذرات آلفای رادن و دختران آن ضریب حساسیت آشکار ساز CR-39 در هوا, آب, هگزان, روغن زیتون و سیکلو هگزان محاسبه شده است. استفاده از CR-39 در هگزان, روغن زیتون و سیکلو هگزان در حال تعادل با آب نیز بررسی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که دقت اندازه‌گیری مستقیم روزانه رادن محلول در آب, با استفاده از CR-39 در آب در حدود $4.104 \pm 0.204 \text{ kBq/m}^3$ و در سیکلو هگزان, هگزان, روغن زیتون, و هوا که در حال تعادل با آب اند به ترتیب $51.05 \pm 3.42 \text{ Bq/m}^3$, $37.75 \pm 2.25 \text{ Bq/m}^3$, $55 \pm 1.7 \text{ Bq/m}^3$ و $1.145 \pm 0.004 \text{ Bq/m}^3$ است. در نتیجه اندازه‌گیری مستقیم روزانه رادن محلول در آب با استفاده از CR-39 در هگزان, روغن زیتون, سیکلو هگزان که در حال تعادل با آب اند توصیه می‌شود. برای این شبیه سازی داده های برد از نرم افزار SRIM 2008 استخراج شده و فاکتور تعادل بین رادن و دختران آن بصورت واقعی در نظر گرفته شده است.

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات تحقیق

پیشگفتار

کلیات

فصل دوم : مبانی نظری و پیشینه تحقیق

فصل سوم : روش تحقیق

فصل چهارم : یافته های تحقیق

فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات

ضمیمه الف: برنامه مونت کارلوی نوشته شده جهت شبیه سازی روش جدید اندازه گیری گاز رادن در

آب و محیط های دیگر

ضمیمه ب: برازش معادله بر داده های اندازه گیری شده بروش گریدرچ تعمیم یافته

منابع :

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱ پیشگفتار

نیاز به اندازه گیری غلظت گاز رادن در آب و مایعات دیگر بصورت مستقیم و با روشی جدید چه از نظر مسائل زیست محیطی و چه از نظر پیش نشانگرهای زلزله از نیازهای محققین رشته های مختلف است . توسعه روشهای آشکار سازی گاز رادن نیاز محققین رادر زمینه ساخت آشکارسازهای کارآمد تامین خواهد کرد . روشهای بسیار متعددی برای آشکار سازی گاز رادن بصورت گسسته و پیوسته ارائه شده است. هریک از این روشها نقطه ضعف و قدرت خاص خود را دارا می باشند. بیشتر آشکار سازهای رادن در محیط های گازی کار میکنند. برای اندازه گیری رادن در محیط های غیر گازی باید گاز رادن را از محیط خارج کرده و به آشکار ساز منتقل نمود. این کار مشکلات زیادی به همراه دارد. به همین دلیل ضرورت دارد که گاز رادن را مستقیماً " در فاز مایع اندازه گیری کرد. در این پایان نامه سعی بر این است که با بررسی روشهای مختلف موجود اقدام به ارائه روش نوینی در آشکار سازی گاز رادن از فاز مایع گردد. گاز رادن محلول در مایع آلی را میتوان توسط روشهای فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری کرد. تا کنون هیچ روشی برای تعیین غلظت رادن در فاز مایع با استفاده از مایعات غیر قطبی معرفی نشده است . همچنین بدنبال پروسه ای میباشیم که با استفاده از محلول های شیمیایی بتوان غلظت گاز رادن را اندازه گیری کرد

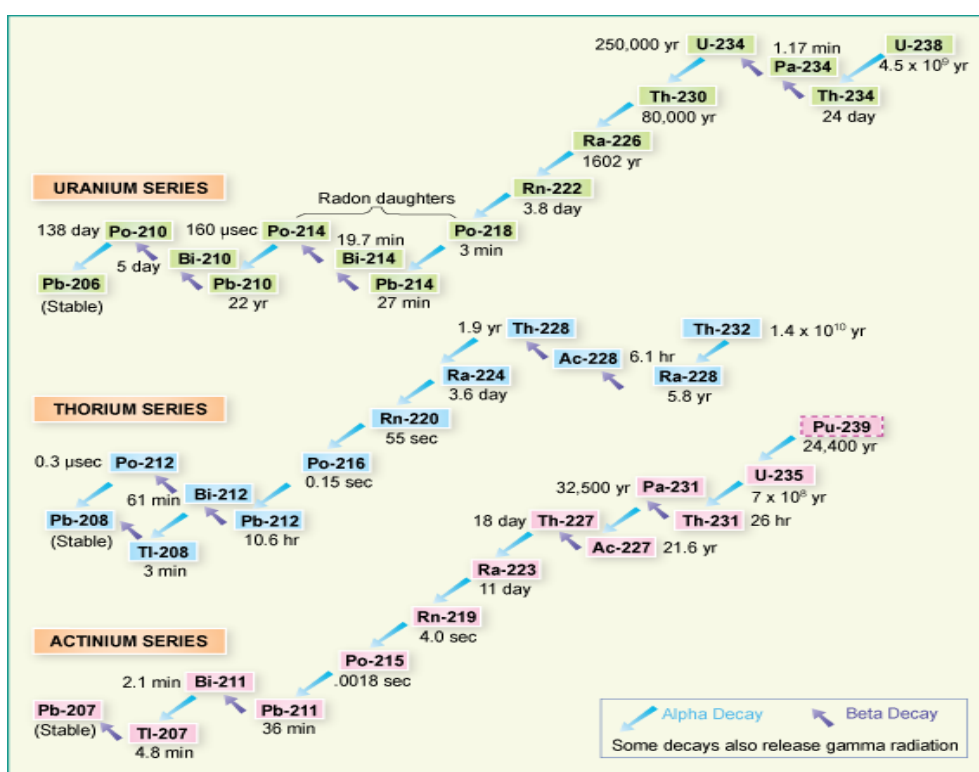
قرص CR-39 برای اندازه گیری غلظت رادن در هوا استفاده میشود. بعلت واکنش شیمیایی این قرص با آب مایعی غیر آلی را میتوان بین آب و قرص قرارداد. این مایع بایستی دارای حلالیت بالای رادن و چگالی کم باشد . هیدروکربنها بعلت غیر قطبی بودن گزینه ای مناسب جهت جذب رادن و ماده فعال آشکار سازی میباشند. ابتدا نحوه عملکرد قرص CR-39 در هوا , آب و مایعات غیر قطبی برای اندازه گیری رادن بصورت واقعی با نوشتن کد مونت کارلو شبیه سازی میشود .

با مقایسه نحوه عملکرد قرص CR-39 در آب و مایع غیر قطبی بهترین مایع مناسب برای اندازه‌گیری رادن در آب استخراج می‌شود. در نهایت میتوان نتایج شبیه سازی شده را نیز بصورت عملی بررسی کرد. در فصل های یک تا سوم اطلاعات لازم برای شبیه سازی معرفی می‌شود. در فصل چهارم روش شبیه سازی مونت کارلو توضیح داده می‌شود. در فصل پنجم نتایج حاصل از شبیه سازی ارائه شده است و نتایج حاصل از شبیه سازی و داده های اندازه‌گیری با هم مقایسه شده اند.

۱-۱-۱ رادن و زنجیره واپاشی رادن و دختران

رادن عنصری است بی رنگ، بی بو، بی طعم که دارای ۲۸ ایزوتوپ میباشد. رادن از تخریب رادیواکتیوی اورانیوم موجود در صخره، خاک و آب بوجود می آید رادن در سال ۱۹۰۰ توسط فریدریش ارنست دورن کشف شد. در سال ۱۹۰۸ ویلیام رامسی و رابرت ویتلا-گری چگالی آن را تعیین کردند و فهمیدند که رادن سنگین ترین گاز شناخته شده در آن زمان است. این گاز از سال ۱۹۲۳ رادن نامیده شد. پایدارترین ایزوتوپ رادن، رادن ۲۲۲ است که محصول فروپاشی (ایزوتوپهای دخترخوانده) رادیوم ۲۲۶ است که با نیمه عمر 3.823 روز ذرات آلفا پرتوزا از خود می تاباند. رادیوم ۲۲۰ حاصل تجزیه توریوم است که تورون نامیده می‌شود که نیمه عمر آن 55.6 ثانیه است و پرتو آلفا از خود باز می تاباند (شکل 1-1) [1]. رادن ۲۱۹ از آکتینیوم گرفته شده و آکتینون نامیده می‌شود که تاباننده پرتو آلفا بوده و نیمه عمرش 3.96 ثانیه است رادن از واپاشی سری اورانیوم 238 تولید و نهایتاً به ^{206}Pb ختم می شود (شکل 1-1). هسته های دختر آن نیز که رادیواکتیو هستند پلونیوم 218 (^{218}Po) و پلونیوم 214 (^{214}Po) می باشند. با توجه به نیمه عمر ^{222}Rn (۳.۸۸ روز) کسری از گاز تولید شده در اثر واپاشی در درون خاک می تواند فاصله ی زیادی را طی کرده و به سطح زمین برسد و وارد اتمسفر شود. لذا از اندازه گیری غلظت رادن محیط در پیش نشانگری زلزله، تعیین گسلهای فعال و کشف معادن اورانیوم استفاده می‌شود. دخترهای رادن، در شرایط عادی معلق هستند. غلظت رادن و دخترانش در جو از جایی به جای دیگر

حاصل از واپاشی گاز α متفاوت است و بستگی به وجود اورانیوم در زمین اطراف آن ناحیه دارد. با توجه به انرژی بالای ذرات ^{222}Rn و دخترانش، تنفس مدت زیاد گاز رادن باعث ابتلا به سرطان ریه می شود. با توجه به آمار بالای سرطان ریه در معادن و بعضی از مناطق، همچنین نقش رادن در بیش بینی زلزله اندازه گیری غلظت گاز رادن همواره یکی از هدف های دانشمندان بوده است. یکی از روش های اندازه گیری آن استفاده از آشکارسازهای حالت جامد است که با برخورد ذرات آلفا ردهایی ایجاد می شود که تعداد آنها با غلظت گاز رادن نزدیک آشکارساز در مدت در معرض گذاری، متناسب است.



شکل ۱-۲ نمودار واپاشی سری ^{235}U و ^{228}Th [1]

یکی از کاربرد های تعیین غلظت گاز رادن پیش بینی زمین لرزه و گسل های فعال و کشف اورانیوم است. در مواردی قبل از وقوع زمین لرزه غلظت رادن در هوا و آبهای زیر زمینی افزایش یافته است. دلیل آن را تجمع انرژی در سنگ ها و ایجاد شکستگی ها دانسته اند و غلظت آن در محدوده ی گسل های فعال بالا می رود و از شکستگی ها می تواند گاز رادن خارج شود [2]. گاز رادن در جایی که توزیع توده خاک

یکنواخت است با ضریب پخش یکنواخت و سرعت یکسانی پخش میشود ولی در محل شکاف ها سرعت پخش و حرکت آن به سمت بالا افزایش مییابد. واکیتا و همکارانش [3] در بررسی ارتباط تغییرات گاز رادن با وقوع زمین لرزه ها به منظور پیش بینی آنها، تغییرات زمانی این گاز را در 25 محل در ژاپن اندازه گرفته اند. تغییرات رادن، علاوه بر وقوع زلزله، متاثر از شرایط جوی، جزر و مد و پمپاژ آبهای زیر زمینی نیز بوده است. دانشمندان انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا نیز میزان گاز رادن را در 12 حلقه چاه در جنوب کالیفرنیا بررسی و مطالعه کرده اند. بر اساس مطالعات آن ها قبل از وقوع زمین لرزه های 15 اکتبر 1979 در امپریال ولی، اول ژانویه 1979 در مالیبو و 29 ژوئن 1979 در بیرلیک غلظت رادن افزایش یافته است. [4] چی یو کینگ و همکارانش نیز درباره ی غلظت رادن در هوا و آب در اثر وقوع زمین لرزه ارتباط هایی دیده اند. غلظت گاز رادن در خاک های پوشاننده گسلها و شکستگیهای موجود در سنگ ها معمولاً بیشتر است چون محل شکاف ها سرعت پخش و حرکت آن به سمت بالا افزایش مییابد. با توجه به این که گسل ها و شکستگی ها در سنگ های سخت اغلب محل انباشته شدن آب های زیر زمینی می باشد و از اندازه گیری رادن برای اکتشاف آب های زیرزمینی نیز استفاده شده است [5]. یکی از روش های اکتشاف اورانیوم هم تعیین غلظت رادن در خاک و آب است. رادن در آب بخصوص در آبهای زیرزمینی حل میگردد. علت آن این است که آب های زیر زمینی در مناطقی قرار دارند که محل تولید اولیه گاز رادن اند. پس از خروج آب از لوله رادن موجود در آب بصورت گاز متصاعد میگردد و در محیط بسته خانه انباشته میگردد. اورانیوم موجود در مصالح ساختمانی نیز بر افزایش میزان رادن نیز متاثر میباشد. تمرکز رادن طبیعی در جو بسیار ناچیز بوده و آبهای طبیعی در تماس با جو همچنان رادن را در عمل تبخیر از دست می دهند. بنابر این آبهای زیر زمینی در مقایسه با آبهای سطحی تمرکز بیشتری از رادن ۲۲۲ را در خود دارند به علاوه مناطق اشباع شده یک خاک معمولاً مقدار بیشتری رادن در برابر مناطق اشباع نشده دارند که این به دلیل کمبود انتشار رادن در جو است. گاز رادن به دلیل سهولت و ارزانی نسبی اندازه گیری پیوسته و

بهنگام آن و همچنین تنوع روش ها و فراوانی ابزارهای اندازه گیری ، بیش از سایر پیش نشانگرهای ژئوشیمیایی مورد توجه بوده است [6]. اولین ناهنجاری غلظت گاز رادن در درون آب، توسط اولموف و ماواشیف، بعد از وقوع زمین لرزه ی سال 1966 تاشکند، پایتخت ازبکستان، ثبت شد.

۱-۱-۲-۱-۱-۲ حلالیت رادن در محیط های مختلف

۱-۲-۱-۱-۱-۲-۱-۱-۲ حلالیت رادن در آب آشامیدنی

در برخی از کشورها آب آشامیدنی از منابع زیرزمینی چشمه ، چاهها و قناتها تأمین میشود . آبهای زیرزمینی اغلب از بین سنگهایی که بطور طبیعی دارای اورانیوم و رادیوم که رادن تولید میکند هستند، عبور می کنند و به همین دلیل بیش از آبهای سطحی رودخانه ها، دریاچه ها رادن دارند. غلظت رادن در آب مصرفی درحد 20 Bq/L و بیشتر است و در برخی کشورها در تعدادی از نمونه ها 100 Bq/L نیز اندازه گیری شده است . حتی غلظت بالای مطالعات نشان میدهند شماری از خطرات کوچک به علت حضور رادن در آب وجود دارد ، اما براساس مطالعات اپیدمیولوژیکی تا این زمان گزارش ی تحت عنوان ارتباط رادن موجود در آب و سرطانهای دستگاه گوارش و دیگر اعضای بدن وجود ندارد ، اگرچه برای تعیین دقیق مخاطرات ناشی از آلودگی آب آشامیدنی با رادن به اطلاعات بیشتری نیاز است. در ایران نیز میزان توصیه شده رادن در آب های آشامیدنی توسط سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی مشخص شده است [7]

جدول (۱-۱).

جدول ۱-۱: میزان توصیه شده رادن در آب های آشامیدنی در ایران [7]

ردیف	ماده	حداکثر مجاز	واحد
۱	رادیوم ۲۲۶	۱	بکرل بر لیتر
۲	رادن	۱۰۰	بکرل بر لیتر
۳	اورانیوم	۰/۰۱۵	میلی گرم بر لیتر

یادآوری ۱- در صورت ارائه استاندارد پرتوزایی آب های آشامیدنی از طرف سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، جدول فوق بدون اعتبار خواهد بود.

۱-۲-۲-۱ غلظت رادن در آب و هوا

اغلب کشورها برغلظت بین $200 - 400 \text{ Bq/m}^3$ رادن بعنوان یک سطح مرجع توصیه شده توافق کرده اند. برخی کشورهای دیگر نیز مقادیری بالا تر و پایین تر را انتخاب کرده اند. انتخاب سطح توصیه شده غلظت رادن بر پایه میزان احتمال خطرآن استوار است. این سطوح برای معرفی خطرات تهدید کننده سلامتی جمعیت همانند سایر خطرات دیگر در زندگی روزمره در نظر گرفته می شوند. باوجود اظهار نگرانی درباره آب آشامیدنی، و کمیسیون راهنمای کیفیت آب آشامیدنی اروپایی در سال 2004 اعلام کردند اگر رادن آب آشامیدنی عمومی از 100 Bq/lit تجاوز نماید باید کنترل و اندازه گیریهای مکرر انجام پذیرد. ایالات متحده آمریکا حداقل سطح آلاینده را در حدود 150 Bq/Lit برای آبهای خصوصی پیشنهاد نموده است. در مورد آبهای تجاری و یا عمومی نیز کمیسیون اروپایی اعلام نموده که اگر این سطح از 1000 Bq/Lit تجاوز نماید باید اقدامات کنترلی اتخاذ شوند. قابل توجه است که غلظت 1000 Bq/Lit رادن در آب شبکه آبرسانی $100 - 200 \text{ Bq/m}^3$ گاز رادن را در هوا پراکنده می کند. رادن به واسطه گرادیان فشار و غلظت به راحتی انتقال می یابد [8]. مهمترین منشاء گاز رادن منابع خاک و پس از آن منابع آب زیرزمینی، چشمه های آبگرم و آب های سطحی می باشد. رادن در آب محلول است و لذا به راحتی به محیط بسته منتقل می شود. آب های سطحی نسبت به آبهای زیرزمینی دارای میزان گاز رادن کمتری می باشند. رادن به واسطه ی انتشار ملکولی، از آب راکد به آهستگی خارج می شود و به هم زدن و گرم کردن آن باعث تسریع در آزاد سازی و انتقال آن به هوای محیط بسته می گردد. رادن 9 برابر از هوا سنگین تر است. غلظت آن در محیط باز به چگالی شار ناشی از زمین و میزان آن در اتمسفر بستگی دارد که خود این عوامل نیز تحت تأثیر شرایط هواشناسی است.

۳-۱ کلیات

۱-۳-۱ محاسبه ی انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده در محیط های مختلف

روشی برای محاسبه انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده معرفی شده است. برای بررسی درستی این روش انرژی ذرات آلفای چشمه ^{241}Am و ^{230}Th به صورت تابعی از مسافت طی شده در هوا بدست آمده و با نتایج عملی و تئوری بدست آمده با روش حل عددی انتگرال انرژی - فاصله مبتنی بر معادله ۱۵ پارامتری برازش شده بر داده ها توان ایستاندگی مقایسه شده است. مقایسه نتایج نشان دهنده درستی این روش است. در شبیه سازی ذرات آلفا در محیط های مختلف، روش معرفی شده کارآمد تر از روشهای قبلی است. با استفاده از روش ارائه شده، انرژی ذرات آلفای رادن و دختران آن در محیط های مختلف بصورت تابعی از مسافت طی شده از محل گسیل بدست آمده است. این روابط برای شبیه سازی مونت کارلو آشکار سازی گاز رادن در محیط های مختلف کاربرد خواهد داشت. در شبیه سازی ذرات آلفای چشمه های مختلف در هر آشکار ساز و در هر محیط وجود رابطه انرژی ذرات آلفا بصورت تابعی از مسافت طی شده از فرضیات است و بدون وجود آن شبیه سازی امکان پذیر نیست. تاکنون در شبیه سازی های ذرات آلفا ابتدا معادله ای با ۱۵ ضریب بر داده های توان ایستاندگی استخراج شده از SRIM یا ICRU برازش میکنند. [9]. سپس توان ایستاندگی با ۱۵ ضریب را در انتگرال هایی که رابطه انرژی و مسافت طی شده را معرفی میکنند جایگزین میشود. [9,10] برای شبیه سازی هر ذره آلفا در محیط این انتگرالها باید بصورت عددی بر اساس تکنیک مونت کارلو حل شوند. [9,10]. در حالیکه تعداد ذرات در شبیه سازی زیاد باشند حل این انتگرالها وقت زیادی میبرد. در این مقاله سعی میشود که با معرفی یک روش جدید برای محاسبه رابطه انرژی ذرات آلفا بصورت تابعی از مسافت طی شده مشکل مربوطه برطرف گردد. درستی روش ابتدا با مقایسه نمودارهای

بدست آمده با نمودار هایی که با روش های قبلی بدست آمده است بررسی میشود. [10] بعد از اطمینان از درستی روش ، رابطه انرژی ذرات آلفای رادن و دختران آن در محیط های مختلف استخراج میشود . استفاده از این معادلات در شبیه سازی رادن در محیط های مختلف کاربرد دارد .

۲-۳-۱ بررسی تئوری و روش محاسبه

انرژی ذرات آلفا در هنگام عبور از محیط کاهش میابد . توان ایستاندگی ذرات بار دار به صورت معادله (۱-۱) است. [11]

$$f(E) = -\frac{dE}{dx} \quad (1-1)$$

در طول مسیر حرکت ، انرژی ذره باردار آنقدر کاهش میابد تا متوقف شود. رابطه انرژی ذرات آلفا با مسافت طی شده که از رابطه (۱-۱) بدست میآید بصورت معادله (۲-۱) است .

$$dE = -f(E)dx \rightarrow \int_{E_0}^E dE = -\int_0^x f(E)dx \quad (2-1)$$

$$E - E_0 = -\int_0^x f(E)dx \rightarrow E = E_0 - \int_0^x f(E)dx \quad (3-1)$$

در صورتی که رابطه ی $f(E)$ به صورت تابعی از x مشخص باشد رابطه $E(x)$ بدست خواهد آمد . نرم

افزار SRIM2008 توان ایستاندگی را نه صورت تابعی از فاصله بلکه به صورت تابعی از انرژی بیان

میکند در نتیجه حل انتگرال (3-1) به سادگی امکان پذیر نیست .

۳-۳-۱ مروری بر روش قبلی محاسبه انرژی ذرات آلفا در فاصله x از محل گسیل

تا کنون برای محاسبه ی $f(E)$ به صورت زیر عمل می شده است . [9,10]. با توجه به معادله (1-1) مسافت

طی شده توسط ذره در اثر کاهش انرژی ذره به اندازه ی dx برابر است با

$$dx = -\frac{dE}{f(E)} = -g(E)dE \quad , \quad g(E) = \frac{1}{f(E)} \quad (4-1)$$

اگر انرژی ذره باردار از مقدار اولیه ی E_0 به مقدار E برسد مسافت طی شده توسط آن برابر است با

$$\int_0^x dx = -\int_{E_0}^E g(E)dE \quad (5-1)$$

$$x = -\int_{E_0}^E g(E)dE \quad (6-1)$$

برای محاسبه ی x ابتدا تابع $f(E)$ که از SRIM استخراج شده است با استفاده از عمل برازش به دست

میاید. معادله ی برازش شده $f(E)$ شکلی به صورت معادله (7-1) دارد. [9]:

$$f(E) = \sum_{i=1}^5 a_i E^{b_i} e^{c_i E} \quad (7-1)$$

با جای گذاری معادله ی (7-1) که با ۱۵ ضریب مشخص میشود در معادله ی (6-1)، معادله (6-1) برای

انتگرال گیری بصورت معادله (8-1) آماده میشود. [9]

$$x = -\int_{E_0}^E \frac{dE}{(\sum_{i=1}^5 a_i E^{b_i} e^{c_i E})} \quad (8-1)$$

حل این انتگرال مشکل است و باید به صورت عددی حل شود. در شبیه سازی ها، فاصله ی x به صورت

تصادفی تولید میشود و بازه ی انرژی E_0 تا صفر به بازه های خیلی کوچکی تقسیم میشود. انرژی E_0 به

اندازه ی بازه تعیین شده کاهش میابد. میزان x به دست آمده از انتگرال (8-1) با عدد تصادفی تولید شده

مقایسه میشود در صورتی که کوچک تر باشد این عمل باید آنقدر تکرار شود تا با آن برابر شود مقدار x و

E در این لحظه ثبت میشود. این عمل برای هر ذره آلفا باید تکرار شود. در حالتی که تعداد ذرات پیگیری

شده زیاد باشد زمان اجرای برنامه زیاد خواهد شد. برای به دست آوردن E به صورت تابعی از x ,

x , $(E(x))$ باید بازه y صفر تا برد ذره آلفا به بازه های خیلی کوچکی تقسیم شود و اعمالی که در قسمت

قبل توضیح داده شد تکرار شود. داده های E و x به دست آمده بایستی ترسیم شده و معادله ای بر آنها

برازش شود تا رابطه E به صورت تابعی از x به دست آید.

۱-۳-۴ معرفی روش جدید محاسبه ی انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده

در روش جدید برای محاسبه ی انرژی ذرات آلفا به صورت تابعی از مسافت طی شده به صورت زیر

عمل میشود:

ابتدا با توجه به معادله (5-1) برد ذرات آلفا به صورت معادله (9-1) دست می آید

$$R_0 = \int_0^{R_0} dx = - \int_{E_0}^0 g(E) dE = \int_0^{E_0} g(E) dE \quad (9-1)$$

برای هر ذره آلفا با انرژی اولیه ی E_0 رابطه برد ذره با انرژی با استفاده از عمل برازش تابع بر داده های نرم

افزار SRIM2008 به صورت معادله (10-1) بدست می آید.

$$R = a + bE + cE^2 + dE^3 \quad (\text{بدون پراکندگی}) \quad (10-1)$$

$$R = a_1 E^{0.5} + b_1 E^{1.5} + c_1 E^2 + d_1 E^3 \quad (\text{با پراکندگی})$$

معادله (5-1) را میتوان به صورت معادله (11-1) نمایش داد.

$$x = \int_0^x dx = - \int_{E_0}^E g(E) dE = - [\int_{E_0}^0 g(E) dE + \int_0^E g(E) dE] \quad (11-1)$$

$$= \int_0^{E_0} g(E) dE - \int_0^E g(E) dE = R_0 - R \quad (12-1)$$

که R_0 برد ذره آلفا با انرژی E_0 و R برد ذره آلفا با انرژی E است در نتیجه با جایگذاری معادله (10-1)

در معادله (12-1)، رابطه مسافت طی شده توسط ذره آلفا با انرژی در فاصله x از محل گسیل به صورت

معادله (13-1) بدست می‌آید:

$$x = R_0 - R = R_0 - a - bE - cE^2 - dE^3 \quad (\text{بدون پراکندگی}) \quad (13-1)$$

$$x = R_0 - a_1E^{0.5} - b_1E^{1.5} - c_1E^2 - d_1E^3 \quad (\text{با پراکندگی})$$

معکوس این معادله با استفاده از نرم افزار OriginPro8، رابطه انرژی ذره آلفا با مسافت طی شده را به

صورت معادله (14-1) بدست می‌دهد .

$$E = E_0 - a_2x - b_2x^3 + c_2 e^{-d_2(x-R_0)^2} \quad (\text{با پراکندگی}) \quad (14-1)$$

$$E = E_0 - a_3x - b_3x^2 - d_3x^3 \quad (\text{بدون پراکندگی}) \quad (15-1)$$

با استفاده از این روش بسادگی میتوان رابطه انرژی ذره آلفا با مسافت طی شده را بدست آورد.

فصل دوم

مبانی نظری و

پیشینه تحقیق