



مطالعه مشخصات کمی و کیفی ذرات هوا برد پرتوزا در محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران

رسول یاراحمدی^۱، غلامرضا مرادی^۲، اصغر صدیق زاده^۳، بهزاد رضایی فرد^۴، علی اصغر فرشاد^۵، شهناز باکند^۶، بهرام سلیمی^۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۰۴

تاریخ ویرایش: ۹۱/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۳/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: سیستم‌ها و فرایندهای بسیاری باعث انتقال اکتیویته به محیط می‌شوند. فعالیت‌های انسانی در صنعت هسته‌ای شامل چرخه سوخت هسته‌ای و عملیات راکتور منجر به تولید و رهاسازی رادیواکتیویته به محیط می‌گردد. شناخت طبیعت فیزیکی و شیمیایی شامل اندازه، ترکیب شیمیایی و پرتوزایی ذرات معلق در محفظه ایمنی راکتور تهران یک ضرورت برای شناسایی میزان مواجهه و روش‌های کنترلی آن‌ها است. هدف از این مطالعه اندازه‌گیری توزیع اندازه و اکتیویته ذرات آئروسول در سه ایستگاه کاری در محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران به منظور ارزیابی اثرات آن‌ها بر روی کارکنان است.

روش بررسی: شناسایی رادیونوکلیدهای موجود در ذرات معلق هوا برد در محیط محفظه ایمنی با استفاده از یک نمونه‌بردار محیطی و توزیع جرمی اندازه آن‌ها با استفاده از یک دستگاه کاسکید ایمپکتور مدل اندرسن تعیین شد. از دستگاه‌های اسپکتروسکوپی گاما و سنتیلاسیون مایع به ترتیب به منظور شناسایی رادیونوکلیدها و میزان پرتوزایی آن‌ها در ذرات معلق هوای داخل محفظه استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد که متوسط قطر اکتیویته آئرو دینامیکی (AMAD) به ترتیب برای سه ایستگاه کاری ۴/۲، ۱/۳ و ۳ میکرومتر و انحراف معیار هندسی برای ایستگاه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر ۳/۲، ۱۲/۲ و ۲ میکرومتر بود. همچنین نتایج توزیع اندازه - اکتیویته نشان داد که بیشترین سهم اکتیویته مربوط به ذرات هسته بندی و انبارشی به ویژه در گستره ذرات $dp \leq 0.4 \mu m$ قرار دارد. این اندازه ذرات در دامنه مد هسته بندی و انبارشی، منشأ تولید ذرات اتمسفری است.

نتیجه‌گیری: بیشترین اکتیویته مربوط به ذرات در ناحیه انبارشی و هسته بندی (ذرات ریز) است. منشأ این ذرات را می‌توان لخته شدن ذرات مد «هسته بندی» و همچنین هسته‌های ناشی از رشد تراکمی در محدوده مورد مطالعه بیان نمود.

کلیدواژه‌ها: ذرات آئروسول، توزیع اندازه- اکتیویته، سنتیلاسیون مایع، راکتور تحقیقاتی.

مقدمه

رادیواکتیو به محیط می‌شوند. در صنعت هسته‌ای آئروسول‌ها مهم‌ترین راه انتشار و پخش آلودگی می‌باشند. راکتورهای هسته‌ای منبع اصلی انتشار آلودگی در چرخه سوخت بوده و رادیو ایزوتوپ‌های مختلفی را به محیط انتشار می‌دهند. میزان و نوع ذرات رادیو اکتیو منتشره از راکتورهای هسته‌ای وابسته به نوع و میزان کارکرد آن‌ها می‌باشد [۱]. راکتور تحقیقاتی تهران از نوع استخری روباز با خنک کننده و کند کننده آب سبک با قدرت حرارتی ۵ مگاوات می‌باشد. این راکتور برای اهداف پژوهشی، تولید

ارزیابی محیطی مواد رادیواکتیو جهت برآورد پتانسیل اثر این مواد بر روی افراد و محیط زیست در پاسخ به نگرانی‌ها، درباره حضور احتمالی ذرات هوا برد رادیواکتیو در تأسیسات هسته‌ای و اطراف آن‌ها است. سیستم‌ها و پروسه‌های مختلفی منجر به انتشار مواد رادیواکتیو به محیط می‌شوند. فعالیت‌های انسانی در صنعت هسته‌ای شامل معدن، تولید کیک زرد، فرآوری اورانیوم، غنی‌سازی، راکتورهای هسته‌ای، بازفرآوری و پسمانداری منجر به تولید و رهاسازی مقداری مواد

۱- عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران.

۲- دانشجوی دکتری بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۳- (نویسنده مسئول) دانشیار گروه پژوهشی شیمی، پژوهشگاه علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران. asadigzadeh@yahoo.com

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، مسئول آزمایشگاه مهندسی محیط زیست، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

۵- عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۶- عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

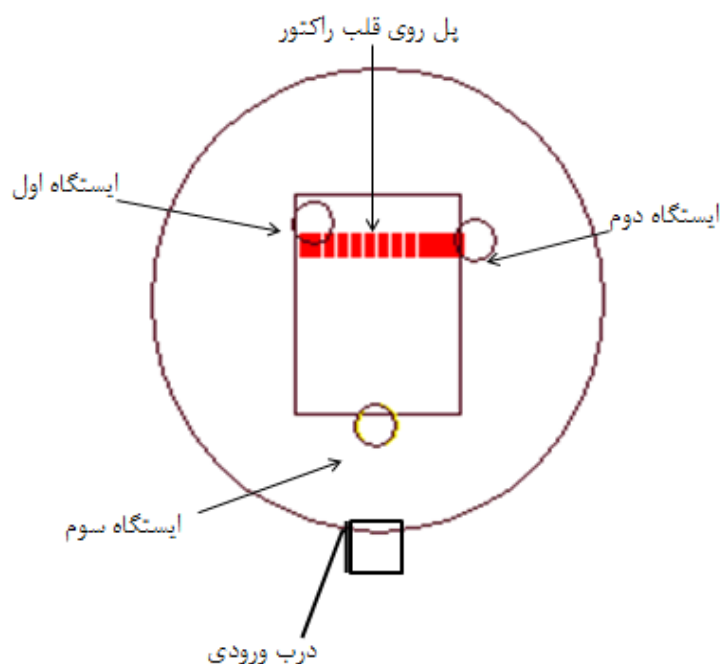
۷- کارشناسی ارشد فیزیک- شیمی، مسئول آزمایشگاه آنالیز هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

است. برای راحتی، مدل آیتکین و مدل انبارشی را به صورت مدل ذرات ریز (fine particle) معرفی می‌کنند. تقسیم‌بندی (division) بین ذرات ریز و درشت از $1\mu\text{m}$ است [۵، ۶]. نتایج حاصل از چندین مطالعه بر روی ته نشست ذرات در سیستم تنفسی نشان می‌دهد که تقریباً ۴۰٪ ذرات با اندازه بین ۱ تا ۲ میکرون در برونش‌ها و کیسه‌های هوایی باقی می‌مانند، و ذرات با ابعاد $1-0.25$ میکرون در سیستم تنفسی کمتر باقی مانده و ذرات با ابعاد کمتر از 0.25 میکرون نیز به دلیل حرکت براونی در دستگاه تنفسی ماندگاری بیشتری دارند. بنابراین توزیع سایز - اکتیویته پارامتری مهم در تخمین دز تابشی در طول استنشاق است. نتایج حاصل از مطالعه رنکلین و همکاران بر توزیع سایز - اکتیویته نشان می‌دهد که بیش از ۵۰٪ اکتیویته مربوط به ذرات در ناحیه مدل انبارشی (Accumulation) است، همچنین ۴۰ - ۱۰٪ اکتیویته مربوط به ذرات در ناحیه آیتکین و تنها ۱۰٪ اکتیویته سهم ذرات در ناحیه مدل درشت می‌باشد [۷، ۸]، بنابراین شناسایی رفتار و مشخصات ذرات آئروسول معلق یک ضرورت جهت شناسایی مشخصات کمی و کیفی ذرات هوابرد می‌باشد؛ این پژوهش با هدف اندازه‌گیری توزیع سایز - اکتیویته ذرات آئروسول در محیط محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی شهر تهران مطابق با استاندارد ISO 2889 صورت گرفت [۹].

روش بررسی

مطالعه حاضر از نوع پژوهش تجربی است، که در راکتور تحقیقاتی شهر تهران انجام شده است. مراحل کار شامل شناسایی رادیونوکلئیدها، تعیین غلظت جرمی ذرات و توزیع اندازه - اکتیویته ذرات می‌باشد. کاسکید ایمپکتور مورد استفاده در این تحقیق دارای ۸ مرحله طبقه‌بندی ذرات می‌باشد، قطر برش موثر طبقات ۱ الی ۷ و فیلتر این دستگاه به ترتیب برابر 11.7 ، 4.7 ، 3.3 ، 2.1 ، 1.1 و 0.7 میکرومتر است. آخرین طبقه این دستگاه متشکل از یک صفحه برخورد و یک صافی دارای کارائی بالا ($\geq 99.99\%$) می‌باشد. ذرات معلق

چشمه‌های پرتوزای پزشکی، صنعتی، آنالیز به روش فعال‌سازی نوترونی و امور آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راکتور از چشمه‌های نوترونی مناسب برای ایجاد جمعیت نوترونی کافی جهت شروع به کار راکتور استفاده می‌شود که بلافاصله پس از رسیدن راکتور به حالت بحرانی از قلب خارج می‌شود [۲]. در عملیات راکتور برخی از گازها و مواد مایع و جامد بر اثر شکافت و فعال سازی نوکلئیدها؛ با میزان فعالیت کم و متوسط تشکیل می‌گردند [۳]. نوع و مقدار آلودگی از طریق فاکتورهایی همچون نوع راکتور، شیوه طراحی، شرایط عملیاتی و نوع سوخت مشخص می‌شود. از منابع مهم انتشار آلودگی مواد رادیواکتیو هوابرد، جذب رادیونوکلئیدهای فرار حاصل از فرآیند شکافت بر روی ذرات هوابرد معلق در محیط راکتور می‌باشد. بیشتر رادیونوکلئیدها به سطح ذرات آئروسول می‌چسبند و محور آلودگی آئروسول‌های رادیواکتیو را به وجود می‌آورند. غلظت اکتیویته آئروسول‌ها، وابسته به میزان واپاشی رادیواکتیو و انتقال رادیونوکلئیدها توسط آئروسول‌ها می‌باشد. پروسه حذف، سرعت ته نشینی و احتمال نشست ذرات آئروسولی در سیستم تنفسی انسان وابسته به اندازه ذرات می‌باشد [۱، ۳] آسیب به دستگاه تنفسی وابسته به خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات است. ذرات معلق در هوا به خصوص ذرات رادیواکتیو برای سیستم تنفسی مضر می‌باشند، زیرا ذرات رادیواکتیو در ریه‌ها جذب نمی‌شوند، و قادرند سلول‌های ریوی را از بین ببرند [۴] بنابراین پایش غلظت آئروسول‌ها به خصوص ذرات آئروسول منتشره از راکتور هسته‌ای اهمیت زیادی دارد، که این موضوع با مطالعه بر روی غلظت، جرم کلی (Total mass)، اکتیویته آلفا و بتا و ترکیب عنصری ذرات آئروسول به ویژه توزیع سایز ذرات رادیواکتیو قابل دست‌یابی است. ذرات معلق منتشره دارای یک اندازه نیستند و در محدوده خاصی قرار دارند، کوچک‌ترین ذرات با گستره سایزی کمتر از 0.1 میکرون مربوط به مدل آیتکین است، مدل انبارشی مربوط به ذراتی با اندازه 0.1 تا $1\mu\text{m}$ می‌باشد و گستره‌اندازه‌ی بالای $1\mu\text{m}$ مربوط به مدل ذرات درشت



شکل ۱- نمایی از راکتور تحقیقاتی شهر تهران و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه اول بر روی استخر، کنار پل متحرک بالای قلب راکتور قرار گرفت. ایستگاه دوم در نقطه مقابل ایستگاه اول و ایستگاه سوم در فاصله‌ای دورتر از قلب راکتور در نزدیکی درب ورودی ساختمان قرار گرفته است. شکل شماره ۱ نمایی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

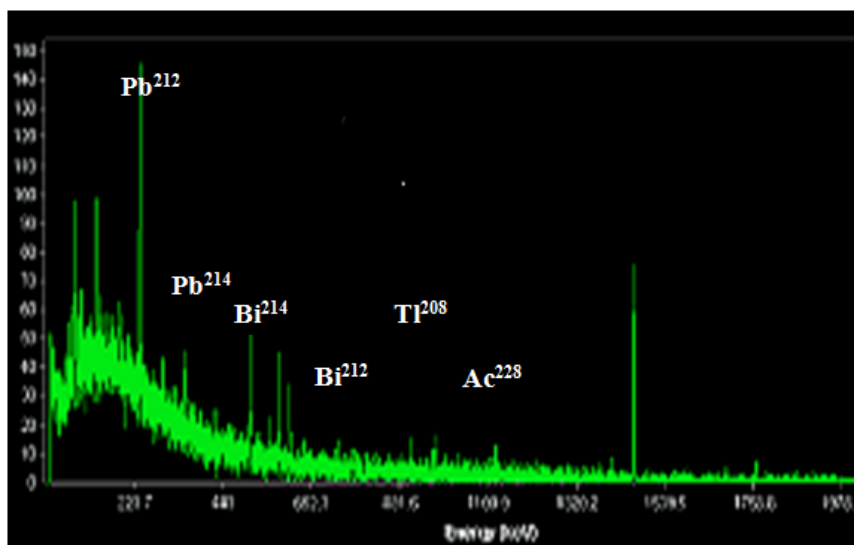
آنالیز رادیو شیمی

بر اساس روش ISO 2889 جهت اندازه‌گیری اندازه - اکتیویته ذرات آئروسولی از روش اسمیر کامل استفاده شد. صفحات اسمیر پس از تهیه در ویال‌های پلی اتیلنی مخصوص شمارش سنتیلاسیون مایع قرار گرفته، جهت شستشوی آلاینده‌ها از سطح صفحه اسمیر، ۵ml محلول ۰/۱ مولار HNO_3 به داخل ویال اضافه گردید. ویال‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در داخل دستگاه اولتراسونیک قرار داده شدند، سپس صفحه اسمیر از ویال خارج شده و ۱۲ ml مایع سنتیلاتور Hisafe3 به داخل ویال اضافه گردید. جهت شمارش

کوچک‌تر از $0.4 \mu m$ در نمونه هوا توسط فیلتر فایبرگلاس جمع آوری می‌شوند. دبی نمونه‌برداری با دستگاه کاسکید ایمپکتور برابر $28/3$ لیتر بر دقیقه بوده است [۹، ۱۰] همچنین از یک نمونه برداری محیطی ذرات دارای فیلتر الیافی از جنس شیشه آمورف به قطر ۸ سانتی‌متر با میزان دبی 0.05 متر مکعب بر دقیقه جهت شناسایی رادیونوکلئیدها حاصل از واکنش‌های نوترونی و پاره‌های شکافت استفاده شد. به این منظور نمونه فیلتر آلوده در دستگاه اسپکتروسکوپی گامای از نوع HPGe (high-purity germanium) قرار داده شده و رادیونوکلئیدهای چسبیده به ذرات آئروسول شناسائی شدند.

ایستگاه نمونه برداری

معیار انتخاب محل نمونه‌برداری در این تحقیق فاصله از چشمه تولید رادیونوکلئیدها و منافذ ورود هوای تازه به محفظه ایمنی راکتور جهت اطمینان از ارزیابی دقیق از غلظت ذرات و اکتیویته آن‌ها بود.



شکل ۲- اسپکتروم گامای آئروسول های جمع آوری شده

احتمال، نقطه مرتبط با کسر جرمی تجمعی ۵۰٪ بر روی محور اندازه ذرات مشخص می شود. انحراف معیار هندسی (geometric standard deviation(GSD)) از حاصل تقسیم $d_{15.87}$ به d_{50} حساب می شود [۱۱].

یافته‌ها شناسایی ذرات

اسپکتروم گامای ذرات آئروسول حاوی رادیونوکلئیدهای منتشره در هوای محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی، ناشی از فعل و انفعالات هسته‌ای در شکل ۲ ارائه شده است. رادیونوکلئیدهای آشکارسازی شده شامل Pb-، Pb-212، Bi-212، Bi-214، Ac-228، 214 و Tl-208 هستند.

کل ذرات آلفا و بتا به طور هم‌زمان از دستگاه سنتیلاسیون مایع (Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer) استفاده گردید. فرآیند تهیه نمونه و شمارش پرتوزایی فیلتر مورد استفاده در دستگاه ایمپکتور به همان ترتیب صفحه اسمیر انجام شد؛ با این تفاوت که از اسید هیدروفلوریک قوی بجای محلول ۰/۱ مولار HNO_3 جهت شستشوی فیلتر استفاده شد.

ارزیابی داده‌ها

متوسط قطر ائرو دینامیکی اکتیویته و انحراف معیار هندسی با استفاده از نمودار تجمعی (Cumulative plot) حاصل شد. با ترسیم توزیع به دست آمده بر روی کاغذ log-probability، قطر ذرات بر روی محور لگاریتمی و درصد قطر تجمعی بر روی محور

جدول ۱- متوسط غلظت جرمی ذرات منتشره به همراه ثبت شرایط نمونه برداری به تفکیک ایستگاه‌های نمونه برداری

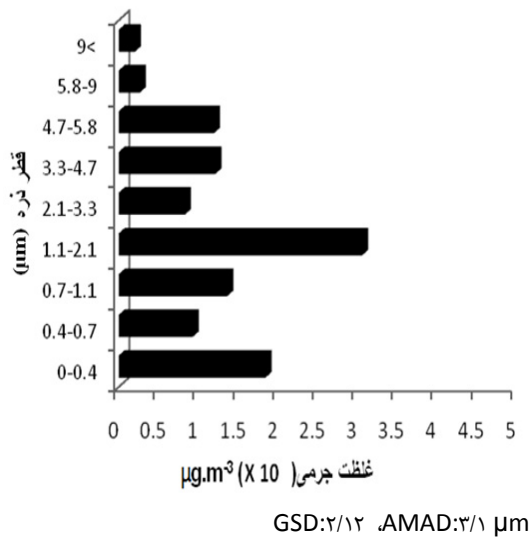
ایستگاه نمونه برداری	تعداد نمونه در ایستگاه	متوسط غلظت جرمی ($\mu g/m^3$)	انحراف معیار	Value	دما (F°)	رطوبت نسبی (%)	سرعت جریان هوا (ft/m^{-1})
ایستگاه اول	۹ نمونه	۱۳۰	۰/۰۰۴		۸۱	۳۸	۴۳/۴۹
ایستگاه دوم	۹ نمونه	۱۱۰	۰/۰۰۵		۸۲/۷	۳۹	۵۳/۴۲
ایستگاه سوم	۹ نمونه	۸۱	۰/۰۰۳	۰/۳۴۵	۷۸	۴۴/۴	۴۴/۶۶

توزیع اندازه- اکتیویته و AMAD

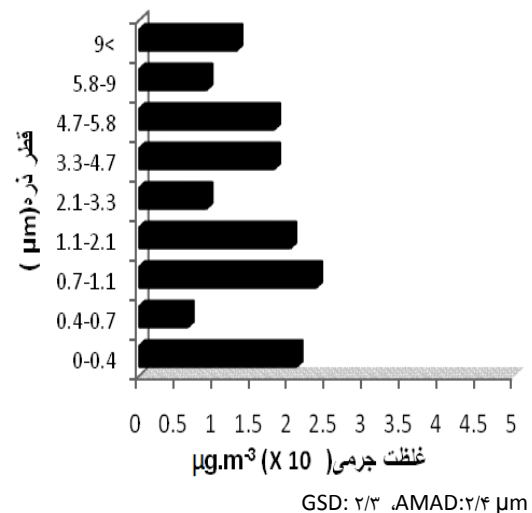
توزیع جرم- اندازه (mass size distribution) و اکتیویته ویژه برای ذرات آلفا و بتا بر حسب توزیع قطر برای ایستگاه اول (قسمت بالایی قلب راکتور) در شکل ۳ نشان داده شده است. میانگین غلظت جرمی کل آئروسول‌های محیطی در محیط راکتور برای این ایستگاه شامل ذرات ریز و درشت $130 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ بدست آمد. اکتیویته ویژه برای ایستگاه اول نشان داد که میزان اکتیویته آلفا برای ذرات ریز ($d_p < 1 \mu\text{m}$) در حدود ۸۸/۶٪

میانگین و انحراف معیار غلظت جرمی ذرات در هر ایستگاه کاری به همراه ثبت متوسط شرایط دمایی، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا در جدول ۱ نشان داده شده است. با سطح اطمینان ۹۵٪ بین میانگین غلظت جرمی ذرات در سه ایستگاه مختلف اطراف راکتور تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، که این میزان با $p = 0/345$ تایید شده است.

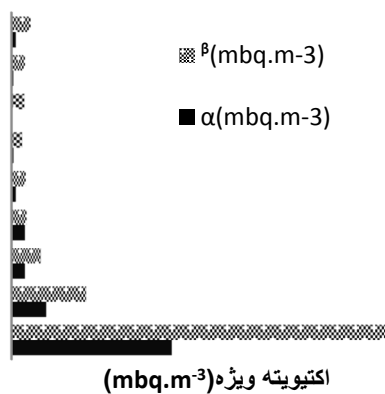
الف



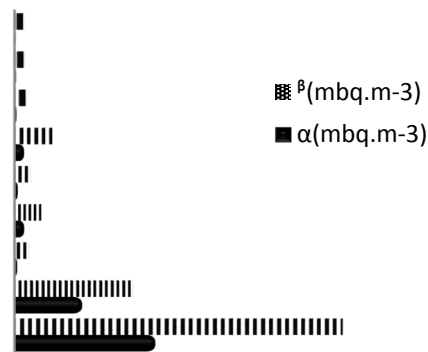
الف



ب



ب



شکل ۴- (الف) غلظت جرمی تابع سایز ذرات و (ب) اکتیویته ویژه آلفا و بتای آن‌ها در ایستگاه دوم نمونه برداری

شکل ۳- (الف) غلظت جرمی تابع سایز ذرات و (ب) اکتیویته ویژه آلفا و بتای آن‌ها در ایستگاه اول نمونه برداری

راکتور و در شرایط زمانی متفاوت انجام گردید، نوسانات قابل ملاحظه‌ای نیز در توزیع اندازه- اکتیویته ذرات مشاهده شد. در ایستگاه دوم نمونه برداری همان طوری که در شکل ۴ پیداست غلظت جرمی کل آئروسول‌ها در حدود $110 \mu\text{g.m}^{-3}$ اندازه‌گیری شد. همچنین اکتیویته ویژه ذرات آلفا و بتا در این ایستگاه برای ذرات ریز به ترتیب $88/6\%$ و $11/4\%$ و برای ذرات درشت به ترتیب $15/5\%$ بدست آمد.

غلظت جرمی کل برای ایستگاه سوم نمونه $81 \mu\text{g.m}^{-3}$ بدست آمد. همچنین میزان اکتیویته برای ایستگاه سوم که دور از منطقه قلب راکتور قرار داشت برای ذرات آلفا در مد ریز و درشت به ترتیب 92% و 8% به دست آمد. میزان اکتیویته برای ذرات بتا در محدوده زیر میکرون حدود 79% و برای محدوده بالای یک میکرون 21% اندازه-گیری شد (شکل ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

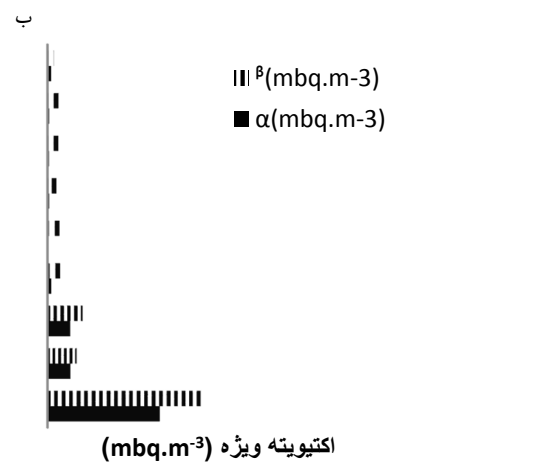
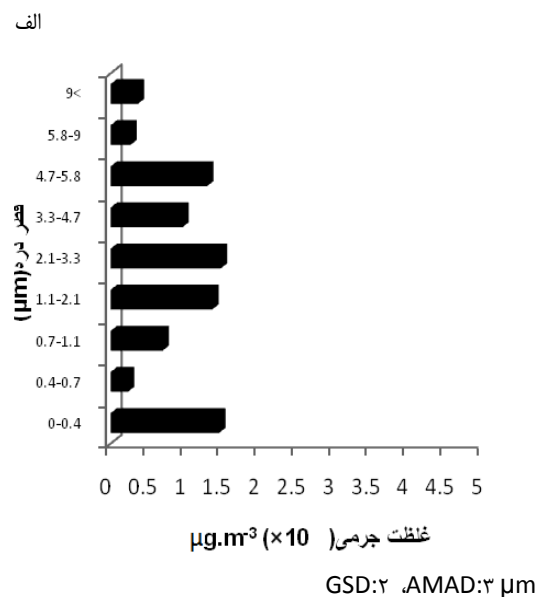
با توجه به اینکه آنالیز در چند بخش جداگانه انجام شده است لذا به منظور جلوگیری از تداخل مطالب سعی شده است تفسیر نتایج هر بخش به همراه آن ارائه گردد.

شناسایی رادیونوکلئیدهای محیطی

انتشار ذرات رادیو اکتیو در هر زمان وابسته به نوع راکتور، نوع سوخت و میزان کارکرد راکتور می‌باشد [۱۲]. نتایج اسپکتروسکوپی گاما نشان می‌دهد که در طول فعالیت راکتور، رادیونوکلئیدهای مختلفی به محیط راکتور انتشار می‌یابند (شکل شماره ۲). یکی از روش‌های معتبر به منظور شناسایی محصولات ناشی از شکافت هسته‌ای اسپکتروسکوپی گاما می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، انتشار رادیونوکلئیدهای همچون Ac-228 , Bi-214 , Bi-212 , Pb-212 , Pb-214 , Tl-208 نشان از حضور ذرات رادیواکتیو در محیط راکتور می‌باشد؛ نتایج این مطالعه با داده‌های ماریا بتی و همکاران (۲۰۰۰) و ریمویداس جاسیولیونیس (۲۰۰۸) مطابقت دارد [۱۲، ۱۳].

و برای ذرات درشت ($d_p > 1 \mu\text{m}$) به میزان $11/4\%$ تعیین مقدار شد. همچنین شکل ۳ بیانگر این واقعیت است که میزان اکتیویته ذرات بتا برای ذرات ریز در حدود $80/4\%$ و برای ذرات درشت در حدود $19/6\%$ است. مقدار AMAD برای آئروسول‌های رادیو اکتیو در قسمت بالای قلب راکتور $2/4 \mu\text{m}$ و انحراف معیار هندسی در آن $2/3$ به دست آمد.

از آنجا که اندازه‌گیری در ایستگاه‌های مختلفی از محیط



شکل ۵- (الف) غلظت جرمی تابع سایز ذرات و (ب) اکتیویته ویژه آلفا و بتای آن‌ها در ایستگاه سوم نمونه برداری

توزیع غلظت جرمی ذرات

به دلیل اندازه‌گیری در سه ایستگاه مختلف و در شرایط زمانی متفاوت، در توزیع اندازه ذرات نوساناتی مشاهده شد. یافته‌های حاصل از توزیع جرم اندازه نشان می‌دهد که غلظت جرمی ذرات در ایستگاه اول، دوم و سوم به ترتیب 130 ، 110 و $81 \mu\text{g.m}^{-3}$ است. مطابق نتایج به دست آمده تفاوت زیادی میان غلظت ذرات در محیط راکتور مشاهده نشد ($p < 0/345$). این نتایج می‌تواند بر این مسئله دلالت داشته باشد که میانگین غلظت جرمی ذرات در محیط راکتور تقریباً یکسان است. با استفاده از ضریب تغییرات می‌توان نشان داد که اندازه ذرات منتشره در ایستگاه اول دارای میزان پراکندگی کمتر و یکنواختی بیشتری است. در حالیکه میزان اندازه ذرات منتشره در ایستگاه دوم و سوم از یکنواختی کمتری برخوردار است. به دلیل نمونه برداری در فصول مختلف سال، مقادیر به دست آمده در هر دوره نمونه‌برداری متفاوت بوده و دارای تفاسیر مختلفی است. نتایج این مطالعه با یافته‌های والکنهور و همکاران، حاکی از تأثیر عوامل مختلف محیطی بر روی غلظت ذرات منتشره در محیط مطابقت دارد [۱۴].

بین میزان اکتیویته ذرات نیز همانند غلظت جرمی تفاوت معنی داری مشاهده نشد. به طوری که بین میزان اکتیویته آلفای ذرات در سه ایستگاه کاری اختلاف قابل اغماض بود ($p < 0/607$). به همین ترتیب، بین میزان اکتیویته بتای ذرات در سه ایستگاه نمونه‌برداری اختلاف معنی داری مشاهده نشد ($p < 0/334$).

متوسط قطر اکتیویته ائرودینامیکی و اکتیویته ویژه ذرات

در این مطالعه توزیع غلظت جرم و اکتیویته بر اساس اندازه ذرات و همچنین متوسط قطر اکتیویته ائرودینامیکی و انحراف معیار هندسی برای هر سه ایستگاه کاری به طور جداگانه آنالیز شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که متوسط قطر اکتیویته ائرودینامیکی برای ایستگاه اول، دوم و سوم به ترتیب برابر $2/4 \mu\text{m}$

$3/1$ و 3 و انحراف معیار هندسی به ترتیب $2/30$ ، $2/12$ ، 2 به دست آمد. یافته‌های این مطالعه با نتایج دوریا که بر روی توزیع اندازه آئروسول‌های رادیو اکتیو در محیط‌های کاری انجام داد کاملاً مطابقت دارد. دوریا و همکاران متوسط قطر ائرودینامیکی را برای محیط‌های کاری مختلف از $0/12 \mu\text{m}$ تا 25 گزارش نموده‌اند، که در این میان برای نیروگاه‌های هسته‌ای و صنایع سوخت هسته‌ای مقدار متوسط قطر اکتیویته ائرودینامیکی $4 \mu\text{m}$ بدست آمد [۱۵] همچنین محققان دیگری انحراف معیار هندسی را برای فرایندهای هسته‌ای 2 تا 3 گزارش نموده‌اند [۱۶] که با نتایج به دست آمده در این مطالعه کاملاً هم‌خوانی دارد. یافته‌های مربوط به اکتیویته ویژه در ایستگاه اول نشان داد که بیش از 57% اکتیویته بتا مربوط به ذراتی با قطر کمتر از $0/4$ ، $20/58\%$ مربوط به ذراتی با قطر بین $0/4$ تا $0/7$ و $6/58\%$ مربوط به ذراتی با قطر بین $3/3 \mu\text{m}$ تا $7/4$ است. همچنین نتایج ما نشان داد که بیش از 59% اکتیویته آلفا مربوط به ذراتی با قطر کمتر $0/4$ ، $28/3\%$ مربوط به ذراتی با قطر بین $0/4$ تا $0/7$ است. نتایج نمونه برداری در ایستگاه دوم نشان داد که $68/1\%$ از اکتیویته آلفا مربوط به ذرات با قطر کمتر از $0/4$ ، $13/5\%$ مربوط به ذرات با قطر بین $0/4$ تا $0/7$ و $5/7\%$ مربوط به ذرات با قطر بین $0/7 \mu\text{m}$ تا $1/1$ است. همچنین $66/5\%$ از اکتیویته بتا مربوط به ذراتی با قطر کمتر از $0/4$ ، $13/2\%$ مربوط به ذراتی با قطر $0/4$ تا $0/7$ و $5/16\%$ از اکتیویته بتا مربوط به ذراتی با قطر $0/7 \mu\text{m}$ تا $1/1$ به دست آمد. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین سهم اکتیویته آلفا و بتا مربوط به ذرات در ناحیه ریز به ویژه قسمت انبارشی ($dp < 0/4$) است. تعبیر ما از اکتیویته بالای مربوط به ذرات در گستره کمتر از $0/4$ میکرون نسبت به سایر اندازه ذرات به دلیل بالا بودن تعداد ذرات در گستره کمتر از $0/4$ میکرون در محیط محفظه ایمنی راکتور می‌باشد، با توجه به اینکه ضریب احتمال برخورد یونها با تعداد ذرات اتمسفری رابطه مستقیم دارد، لذا احتمال برخورد و چسبیدن رادیونوکلئیدها به ذرات ریز بسیار

بالا است [۱۷]. دلیل مهم دیگر بالا بودن اکتیویته ذرات ریز، افزایش سطح ویژه برهم کنش این ذرات نسبت به ذرات بزرگ تر است. در حقیقت، سطح جانبی ذرات ریز نسبت به حجم آن ها بسیار بالا می باشد که باعث بالا بودن جذب سطحی یا واکنش شیمیایی این ذرات می گردد. این مشاهدات با نتایج مطالعه گروندل (Gründel) یکسان می باشد. بر اساس یافته های گروندل، بیشترین سهم اکتیویته، مربوط به ذرات در ناحیه مدل انبارشی است. نتایج مشابهی نیز با مطالعه ال - حسین و احمد در سال ۱۹۵۵ مشاهده شده است. نتایج این دو محقق نشان داده است که توزیع اکتیویته بر حسب اندازه ذرات محیطی حامل Pb^{214} و Bi^{214} تقریباً همسان است و بیشترین اکتیویته مربوط به ذرات آئروسول در ناحیه انبارشی است [۱۸] که با نتایج به دست آمده در این مطالعه هم خوانی دارد. پورستندورفر در مطالعه بر روی توزیع اندازه آئروسول در محیط بیرون بر روی دختران رادون نشان داده است که بیشترین اکتیویته مربوط به محصولات واپاشی رادون، در گستره ذرات انبارشی قرار دارد. مطالعه پورستندورفر و همکاران نشان داد که بیش از ۹۵-۹۳٪ از Pb^{210} بر روی ذرات آئروسولی با گستره اندازه ی مدل انبارشی و تنها ۷-۴٪ از اکتیویته مربوط به ذرات هسته بندی با قطر کمتر از ۶۰ nm بدست آمد [۸] که با نتایج به دست آمده در این مطالعه عملاً هم خوانی دارد. نتایج ویبور و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان داد که بیش از ۷۴٪ اکتیویته مربوط به ذراتی با قطر کمتر از ۱ μm است به طوری که بیشترین اکتیویته مربوط به ذراتی در گستره ۱-۰/۱ μm است، در حالی که ذرات درشت در حدود ۲٪ میزان اکتیویته را شامل می شدند [۱۹]. در این مطالعه نیز همانند مطالعات انجام یافته در این زمینه بیشترین سهم اکتیویته در هر سه ایستگاه مربوط به ذرات ریز ($dp < 1 \mu m$) به دست آمد.

تعمیم نتایج به توزیع سایز ذرات، نوع رادیونوکلئیدها و غلظت آئروسول های رادیواکتیو تابعی از نوع فعالیتی است که اندازه گیری می شود. نتایج این مطالعه نشان داد که رادیونوکلئیدهای $Ac-228$ ، $Bi-214$ ، $Pb-214$

منابع

1. Moradi gh, Yarahmadi R, Poureshgh Y, Farshad A, Sadighzadeh A. Role of Radioactive Emitting Particle Size on Dispersion of β and α Emitting Particles in Tehran Research Reactor Safety Enclosure, Journal of Health. 2012 Oct-Nov 2012;(3):7-19.
2. M G. Nuclear Technology: Institute of Nuclear Science and Technology; 2010.
3. Betti M. Environmental monitoring of radioisotopes by mass spectrometry and radiochemical methods in urban areas.

air .Atmospheric Environment. 2004;38(22):3723-8.

18. El-Hussein A, Mohammed A, Ahmed A. A study on radon and radon progeny in surface air of El-Minia, Egypt. Radiation Protection Dosimetry. 1998;78(2):139-45.

19. Weaver J BS, Brand A, Artnak E. Design of aerosol sampler to remove radon and thoron progeny interference from aerosol samples for nuclear explosion monitoring. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. 2009; 282(3):687-92.

Microchemical journal. 2000; 67(1):363-73.

4. W. Ensinger a, S.-L. Guoc, P.Vatera, R. Brandta. Multi-parameter studies of environmental aerosols with cascade trackfilters. Radiation Measurements. 2005;40 (2-6):642-5.

5. Papastefanou C. Radioactive aerosols. Radioactivity in the Environment. 2008;12:11-58.

6. Sadigzadeh A, Aerosols in the environment, Scientific Journal of the atomic energy organization of iran. 1993: 16- [Persian].

7. Reineking A, Becker K, Porstendorfer J. Measurements of the unattached fractions of radon daughters in houses. Science of the Total Environment. 1985;45:261-70.

8. Porstendörfer J, Zock C, Reineking A. Aerosol size distribution of the radon progeny in outdoor air. Journal of environmental radioactivity. 2000; 51(1):37-48.

9. IOf S. General principles for sampling airborne radioactive materials: International Organization for Standardization;. 1975.

10. Demokritou P, Lee SJ, Ferguson ST, Koutrakis P. A compact multistage (cascade) impactor for the characterization of atmospheric aerosols. Journal of aerosol science. 2004; 35(3):281-99.

11. Winkler R, Dietl F, Frank G, Tschiersch J. Temporal variation of ⁷Be and ²¹⁰Pb size distributions in ambient aerosol. Atmospheric Environment. 1998;32(6):983-91.

12. Betti M. Environmental monitoring of radioisotopes by mass spectrometry and radiochemical methods in urban areas. Microchemical journal. 2000;3(67): 173-263

13. Rimvydas Jasiulionis ARK. The solubility of the aerosol, ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co carrier, in the Ignalina Nuclear Power Plant region. Journal of Physics. December 2006;4(4):417-28.

14. Walkenhorst A, Hagemeyer J, Breckle S. Passive biomonitoring of airborne particulates, particularly trace metals, with tree bark. Markert, B, Editor. 1993:524-40.

15. Dorrian MD. Particle size distributions of radioactive aerosols measured in workplaces. Radiation Protection Dosimetry. 1995;60(2):119.

16. Kravchik T, Oved S, German U, Pelled O, Tshuva A. Radioactive Aerosol Size Distribution Measured in Nuclear Workplaces.

17. Gründel M, Porstendörfer J. Differences between the activity size distributions of the different natural radionuclide aerosols in outdoor

Quantitative and qualitative study of airborne radioactive particles in the safety chamber of Tehran Research Reactor

R. Yarahmadi¹, Gh. Moradi², A. Sedighzadeh³, B. Rezaeifard⁴, A.A. Farshad⁵
Sh. Bakand⁶, B. Salimi⁷

Received: 2012/06/05

Revised: 2012/11/18

Accepted: 2013/01/23

Abstract

Background and aims: Many systems and processes can cause the introduction of radioactivity into the environment. Human activities in nuclear industry such as nuclear fuel cycle and reactor operation, lead to a significant production and release of radioactivity to the environment. Understanding the physical and chemical nature, including size, chemical composition and radioactivity of aerosol particles in the safety chamber of Tehran research reactor is indispensable for evaluation of exposure level and methods of prevention. The aim of this study was to measure the size distribution of aerosols and their activities, which was determined using an Anderson cascade Impactor (ACI) ACFM model and liquid scintillation respectively. The measurements were performed in three workstations in the safety chamber of Tehran research reactor.

Methods: The identification of existing radio nuclides on suspended particles were carried out in the safety chamber by means of environmental sampler and mass size distribution of particles was measured using an Anderson cascade Impactor (ACI). To determine the type and amount of radio nuclides in the aerosol particles the γ -ray spectrometry with a high -purity germanium (HPGe) detector and ultra-low level liquid scintillation spectrometer were used respectively.

Results: The results showed that the activities median aerodynamic diameter (AMAD) value for three selected workstations were 2.4, 3.1 and 3 μ m with geometric standard deviation of 2.3, 2.12 and 2 respectively. Furthermore, the results of particle activity size distribution showed that the most fraction of activity was related to nucleation and accumulation mode, especially particles with the aerodynamic diameter less than 0.4 μ m.

Conclusion: The most activity was related to the number of particles in the accumulation and nucleation mode (fine particles). The origin of these particles can be the coagulation of particles in the nucleation mode. The accumulation mode also contains droplets formed by the chemical conversion of gases to vapors that condense.

Keywords: Size distribution, Activity, Liquid Scintillation, Research Reactor.

1. Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. PhD Student of Occupational Health, School of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

3. (**Corresponding author**) Associate Professor, Chemistry Research Group, Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Institute, Tehran, Iran. asadigzadeh@yahoo.com

4. Msc Student of Environmental Engineering, the Environmental Engineering Laboratory, Atomic Energy Organization of Iran, Tehran, Iran.

5. Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

6. Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health, School of public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

7. Master Science, Physics and chemistry, Laboratory of Nuclear Analysis, Atomic Energy Organization of Iran, Tehran, Iran.