دوره سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۲ تا ۱۹

# بررسی نقش اندازه ذرات مولد رادیو اکتیو در پراکنش ذرات آلفازا و بتازا در محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی شہر تہران

# غلامرضا مرادی ، رسول یاراحمدی ، یوسف پورعشق ، علی اصغر فرشاد ، اصغر صدیقزاده <sup>، ۵</sup>،سعید پرستار <sup>،</sup> روح اله حاجیزاده <sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد بهداشت حرفهای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران <sup>۲</sup> استادیار گروه بهداشت حرفه ای، عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران. <sup>۳</sup> کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران <sup>3</sup> دانشیار گروه بهداشت حرفهای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران. <sup>۵</sup> دانشیار گروه پژوهشی فیزیک، پژوهشکده چرخه سوخت هستهای، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران <sup>۶</sup> دانشیار گروه پزوهشی عنیزیک، پزوهشکده چرخه سوخت هستهای، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران نویسنده مسئول تلفن: ۲۰۹۸–۲۱۰ فکس: ۲۰۰۵–۲۱۰ میداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران نویسنده مسئول: تلفن: ۲۰۹۶–۲۱۰ فکس: ۲۰۰۵–۲۱۰ میداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

#### چکیدہ

**زمینه و هدف:** در صنعت هستهای، آئروسلها نقش بسزایی در انتشار و پخش آلودگی دا*ر*ند. ارکتورهای هستهای منبع اصلی آلودگی در چرخه سوخت میباشند و ادیو ایزوتوپهای مختلفی را به محیط انتشار میدهند. دراین مطالعه توزیع اندازه و اکتیویته آئروسلها در سه ایستگاه کاری در داخل محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از کاسکد ایمپکتور اندرسن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**روش بررسی**: غلظت جرمی و توزیع جرم اندازه ذرات هوابرد در محیط محفظه با استفاده از نمونهبردار محیطی کاسکید ایمپکتور مدل اندرسن تعیین شد. به منظور شناسائی *ر*ادیو نوکلئیدهای موجود در ذرات معلق محفظه از فیلتر الیافی استفاده شده است. جهت تعیین عناصر شیمیایی و غلظت در نمونهها از دستگاه ICP-MS و از دستگاههای اسپکتروسکوپی گاما و سنتیلاسیون مایع بمنظور شناسائی *ر*ادیونوکلئیدها و میزان پرتوزائی آنها در ذرات معلق هوای داخل محفظه استفاده شد.

یافتهها: رادیونوکلئیدهای  $Pb^{212}$   $Pb^{214}$   $Pb^{212}$   $Be^{214}$   $Bc^{228}$   $Ac^{228}$   $Ac^{228}$   $Bc^{212}$   $Be^{214}$   $Pb^{212}$   $Pb^{2$ 

**نتیجه گیری:** می توان نتیجه گرفت که بیشترین اکتیویته مربوط به ذرات در ناحیه انبا*ر*شی و هستهبندی (ذرات *ر*یز) است. منشأ این ذرات را میتوان لخته شدن ذرات مد «هسته بندی» و همچنین هستههایی ناشی ا*ز ر*شد تراکم در محدوده مورد مطالعه بیان نمود.

**واژههای کلیدی**: ذ*ر*ات آئروسل، توزیع جرم اندا*ز*ه، اکتیویته، سنتیلاسیون مایع، *ر*اکتور تہران، ایمپکتوراندرسن

دریافت: ۹۱/۶/۲۰

پذیرش: ۹۱/۸/۱۷

#### مقدمه

آلودگی هوا نگرانی عمده بسیا*ر*ی از بخشهای تولیدی در صنایع است. در صنعت هستهای، آئروسلها مهمترین راه انتشار و پخش آلودگی میباشند. فعالیتهای انسانی همچون تأسیسات هسته ای و چرخه سوخت هسته ای شامل معدن کاری، فرزکاری، غنی سازی سوخت، ساخت و بہرہ برداری از راکتور، فعالیت راکتور، ذخیره سازی سوخت و ضایعات منجر به تولید و رهاسازی مقدار مشخصی اکتیویته به محیط میشوند. راکتورهای هستهای منبع اصلی آلودگی در چرخه سوخت میباشند و رادیو ایزوتوپهای مختلفی را به محیط انتشار میدهند [۱]. این رادیو ایزوتوپها پس از برخورد با ذرات موجود در محیط بر روی آنها نشسته و تثبیت میشوند و ذرات آئروسلی به وجود میآورند که محور آلودگی را تشکیل میدهند [۲٫۳]. این ذرات از راه تنفس وارد بدن شده و ضایعاتی در آن ایجاد می کنند [٤]. در این میان مستنداتی مبنی بر ارتباط بین ذرات آئروسل راديو اكتيو با سرطان برونشيال بدست آمده است [۵]. به منظور تخمین اثر آئروسلهای رادیواکتیو بر روی سلامتی افراد و محیط زیست، دانستن اطلاعاتی درباره غلظت، ترکیب و توزیع اندازه آئروسلهای محیطی ضروری است. به طوری که این اطلاعات بدون اندازه گیری و توصیف مشخصه های شیمیائی، فیزیکی و هسته ای ذرات آئروسل محيطى عملاً غير ممكن است [۶]. توزيع جرم– اندازه<sup>۱</sup> در شناخت ماهیت آئروسلهای محیطی، توزیع اندازه ذرات و آگاهی از یتانسیل اثر ذرات بر روی افراد و محیط زیست یک تکنیک فنی مہندسی و بهداشتی است [۲٫۸] توزیع اندازه ذرات بر مکانیسمهای حذف، نقل و انتقال، نیمه عمر، دینامیک ذرات و اثرات تشعشعی، زمان ماند یک ذره در اتمسفر، اثرات فیزیولوژیکی و مطالعه میزان انتشار

ذ*ر*ات از پروسه های صنعتی تأثیر گذا*ز* میباشد. اندازه گیری دقیق غلظت جرمی (µg/m<sup>3</sup>)، غلظت عددی ( $P/m^3$ ) و تعیین توزیع اندازه ذرات پرتوزا بسیار مشکل است و مطالعات تخصصی در راستای اندازه گیری سطح و جرم ذرات، همچنین غلظت جرمی و عددی ذرات به طور کامل انجام نگرفته است. مطالعات یاراحمدی و همکاران نشان داده است که بیش از ۸۰٪ اکتیویته آلفا و بتا مربوط به ذراتی با قطر کمتر از ۱/۱ س و تنها کمتر از ۲۰٪ اکتیویته مربوط به ذرات درشت با قطر متوسط بیش از ۱µm میباشند. طبق نتایج بدست آمده از این تحقیق ناحیه انبا*ر*شی آئروسل های محیطی با سهم اکتیویته ۸۰٪، دارای متوسط قطر اکتیویته آئرودینامیکی (AMAD) حدود μm ۳ می باشند [۹] همچنین نتایج پو*ر*ستندورفر<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۶ نشان داده است که بیش از ۹۵–۹۳٪ از Pb<sup>210</sup> بر روی ذرات آئروسلی با گستره سایزی مدل انبا*ر*شی جذب و تنها ٪۲–٤ از فعالیتشان برای روی ذرات هسته بندی با کمتر از ۳۰ ۳۰ جذب می شوند. بر اساس نتایج تحقیقات رینکینگ<sup>۳</sup> و همکا*ر*ان علاوه بر ناحیه مدل انبارشی دو مدل دیگر از توزیع سایز اکتیویته با درصد سهم کمتری وجود دارد. بر این اساس ۰۱–۲۰٪ اکتیویته به ذ*ر*ات با دامنه سایزی ۱۰–۱۰ نانومتر (مدل هسته بندی) و ۰۰۰٪ بر روی ذراتی با قطر بیش از ۱۰۰۰ نانومتر مشاهده می شود [۱۰] توزيع اكتيويته و مشخصات شيميايى ذرات در محیطهای شغلی و غیر شغلی برحسب سایز ذرات آئروسل توسط دستگاه کاسکد ایمپکتور اینرسیال اندازهگیری میشود. لذا با توجه به اثر اندازه ذرات رادیواکتیو در نشست آنها در نقاط مختلف دستگاه تنفسی تاثیر آن بر سلامت کارکنان و ساکنین اطراف تاسیسات هستهای و همچنین تاثیر آن در انتخاب سیستمهای کنترلی شناخت طبیعت شیمیائی ذرات و

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Porstendorfer

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Reineking

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Mass-Size Distribution

بخصوص توزیع اندازه آنها لذا هدف اصلی این مطالعه توزیع اندازه و اکتیویته ذرات آلفا و بتا در محیط راکتور جهت استراتژی کنترل مواجهه و انتشار آن به محیط میباشد.

#### روش کار

روشهای مختلفی برای اندازه گیری ذرات هوابرد رادیواکتیو بر اساس خواص فیزیکی (اپتیک، لختی، جرم و غیره) پایه گذاری شدهاند. ذرات ریز معلق در هوا را میتوان به روشهای ته نشینی، صافی، رسوب دهنده های الکترواستاتیک، برخورد<sup>۱</sup> و رسوب دهنده گرمایی نمونه برداری کرد.

استفاده از غشاءِ اليافی متداولترين روش نمونه برداری از ذرات رادیواکتیو اتمسفری است. از میان انواع فیلترهای نمونه برداری، فیلترهای سلولزی مرسومترین نوع صافی جہت نمونہبرداری از ذرات اتمسفری میباشند. این بسترها به علت اینکه ذرات را در داخل شبکه الیاف به دام میاندازند، برای شناسایی رادیونوکلئیدهای ساطع کننده پرتو آلفا مناسب نمیباشند. بسترهای شیشه ای دا*ر*ای کا*ر*ایی بالا، جہت جمع آوری ذرات در هوا میباشند. این نوع بستر در مقابل جریان هوا مقاومت کمتری نشان میدهد که از مزیتهای بسترهای الیاف شیشه ای است. وجود مقدا*ر* کمی پتاسیم ( $^{\iota \cdot k}$ ) در بسترهای الیاف شیشه ای ممکن است در شمارش ذرات رادیو اکتیو ایجاد خطا کند. مشکلات تعمیر و نگه دا*ر*ی و ملاحظات ایمنی به دلیل ولتاژ بالا، کاربرد رسوب دهنده الکترواستاتیک را برای نمونه برداری ذرات رادیو اکتیو را محدود کرده است. رسوب دهنده های حرارتی به علت اینکه هوا را با آهنگ بسیار کندی نمونه برداری میکنند کاربرد کمی در نمونه برداری از ذرات رادیواکتیو دارند. در این تحقیق جہت نمونه برداری از ذرات رادیو اکتیو از روش استاندارد ISO 2889 استفاده

شد [۱۱] که در آن از دستگاه کاسکید ایمپکتور برای تعیین توزیع اندازه ذرات استفاده میشود. از آنالیز ذرات رسوب کرده در صفحات دایرهای شکل طبقات کاسکید ایمپکتور برای ارزیابی ترکیب شیمیائی و پرتوئی ذرات بر حسب اندازه آنها استفاده شد [۱۲].

توزیع اندازه ذرات آئروسلی با استفاده از کاسکید ایمپکتور اندرسون<sup>۲</sup> مدل 1-ACFM انجام شد. از کاسکید ایمپکتور به خاطر داشتن قطر برش معلوم در اندازه های  $\mu m$  تا mm جهت جداسازی ذرات بر اساس قطر آئرودینامیکی استفاده میشود. در این روش فلوی مکش سیستم نمونه بردار ۲۸/۳ لیتر بر دقيقه انتخاب شد. طبقات هشت گانه كاسكيد ايمپكتور دارای مراحلی با قطر برش موثر به ترتیب ۱۱، ۷، ٤/٧، ٢/١، ٢/١، ٢/١، ٢/١، ٤/٧ به صورت مراحلي با شماره های ۲،۲،۱،۴،۵،۶،۵۰۶و f میباشد. دامنه اندازه ذرات آئروسل جمع آوری شده در هر مرحله وابسته به سرعت جت در آن مرحله و قطر برش مرحله قبل میباشد. مرحله F ایمپکتو r شامل یک صفحه برخورد همراه با یک فیلتر پشتیبان میباشد که این فیلتر ذرات کمتر از ٤/٠ میکرومتر را جمع آو*ر*ی میکند [۵].

به منظور تعیین قطر آئرودینامیکی ذرات در ACI از رابطه ۱ استفاده شد [۱۳].

$$D_a = D_p \sqrt{\rho} \qquad (1)$$

(
$$\mu m$$
) قطر آئرودینامیکی $=D_a$   
( $\mu m$ ) قطراستوکس $=D_p$   
g/cm $^3$  دانسیته ذرات $=
ho$ 

به منظور تعیین دانسیته مخلوط ذرات محیطی، ضمن شناسایی رادیو نوکلئیدهای محیطی در واکنشهای پاره شکافت و نوترونی توسط دستگاه گاما اسپکتروسکوپی، نمونه برداری با استفاده از یک فیلتر ممبران انجام گرفت. فیلتر های ممبران با پور سایز

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Andersen Cascade Impactor (ACI)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Impaction

چند میکرون به طور گسترده ای جبت جمع آوری ذرات کوچک استفاده میشود. مراحل آنالیز شیمیایی - فیزیکی نمونه مطابق روش انجام شد. از دستگاه  $^{1}$ ICP جبت تعیین غلظت جرمی رادیو نوکلئیدهای شناسایی شده از گاما اسپکتروسکوپی استفاده شد و شناسایی شده از گاما اسپکتروسکوپی استفاده شد و مطابق روش ۲ دانسیته مخلوط ذرات تعیین گردید.  $\rho_{mix=\sum_{i=1}^{n}P_{i} imes \rho_{i}}$ 

در معادله فوق P<sub>i</sub> نسبت غلظت جرمی هر نوکلئید به غلظت جرم کل نوکلئیدها، وρ دانسیته واقعی ذرات در دمای نمونه برداری است. با دانستن ضریب انبساط گرمایی هر نوکلئید، و از تقسیم اختلاف دمای (Δ) نمونه برداری بر ضریب انبساط گرمایی هر نوکلئید میتوان دانسیته مخلوط ذرات را در شرایط نمونه برداری محاسبه کرد.

ایستگاه نمونه برداری

ایستگاه اندازه گیری در سه نقطه از محفظه ایمنی راکتور تحقیقاتی انتخاب شد. در شکل ۱ طرح کلی از ایستگاه نمونه بردا*ر*ی نمایش داده شده است. سیستم نمونه بردا*ر*ی شامل پمپ و کاسکد ایمپکتور در ارتفاع معينى ازسطح زمين نصب، مدت زمان نمونه برداری حدود ۶۰ ساعت و پا*ر*امترهای مربوط شرایط سایکرومتری مو*ر*د بر*ر*سی قرا*ر* گرفته است. محاسبات غلظت جرمی آئروسلهای *ر*یز و درشت توزيع اندازه ذرات از سه نوع مدل پيروی میکند. کوچکترین ذرات با گستره اندازه µm ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸ مربوط به مدل آیتکین است. مربوط مدل انبارشی که گستره اندازه ذرات در محدوده µm ٤٠ ا ۲ قرار دارد. گستره اندازه بین μm تا ٤٠ ا مربوط به مدل ذرات درشت است. برای راحتی، مدل آیتکین و مدل انبارشی را به صورت مدل ذرات ریز <sup>۲</sup> معرفی میکنند. مرز تقسیم بندی<sup>۳</sup> ذرات ریز و درشت ۱ µm است [۵]

بنابراین میتوان نوشت:  $M_t = M_a + M_c$  (۳)  $M_a = \sum_{i=7}^{f} m_{ci}$  (٤)  $M_c = \sum_{i=2}^{6} m_{ci}$  (۵)

mci=غلظت جرمی ذرات در هر مرحله (mg. m-3)

### آنالیز گراویمتری

بعد از پایان نمونه برداری صفحات جمع آوری کننده به طور دقیق و با احتیاط کامل از ایمپکتور برداشته شده و برای ارزیابی توزیع جرم و اندازه ذرات مورد اندازه گیری دوباره قرار گرفتند. هر یک از صفحات ایمپکتور و فیلتر پشتیبان قبل و بعد از نمونه برداری ۳ مرتبه توزین شده و سپس برای مرحله آنالیز رادیو شیمی آماده شدند.

#### آنالیز *ر*ادیو شیمی

از روش اسمیر جهت نمونهبرداری از آلایندههای تجمیع شده در هر طبقه برای اندازهگیری رادیواکتیویته تابع اندازه ذرات استفاده گردید. اسمیر یک صفحه از جنس کاغذ، پارچه و غیره میباشد، که جهت نمونه برداری از گرد وغبار سطوح آلوده با ضریب چسبندگی مناسب به صورت خشک یا مرطوب استفاده می گردد. صفحات اسمیر که به این ترتيب تهيه مىشوند جهت شمارش ميزان اكتيوتيه آلايندههای پرتوزای هوای داخل محفظه ايمنی راکتور در داخل ویال های پلی اتیلنی مخصوص شمارش سنتیلاسیون مایع قرار میگیرد. ویال ها استوانه شکل به ارتفاع برابر ۲۰ mm و فاقد نشتی میباشند. جهت شستشوی آلایندهها از سطح صفحه اسمیر ml محلول  $\cdot/\cdot$  مولار  $HNO_3$  به میزان به mlداخل ویال اضافه گردید. ویال ها به مدت ۱۰ دقیقه در داخل دستگاه اولتراسونیک قرار داده شد سپس صفحه اسمیر از ویال خارج شده و بعد از این مرحله،ml ۱۲ مایع سنتیلاتور (Hisafe3) به داخل ویال اضافه گردید. جهت شمارش ذرات آلفا و بتا کل به طور همزمان از دستگاه سنتیلاسیون مایع ٔ استفاده

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Ionization Coupling Plasma

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Ultrafine Particle

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Division

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer

گردید فرآیند تهیه نمونه و شمارش پرتوزائی 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<sub>3</sub> جهت شستشوی فیلتر استفاده شد

#### يافتهها

در این تحقیق رادیو نوکلئید های منتشره مختلفی در فعل و انفعالات هسته ای در طول فعالیت راکتور ضمن مطالعه کمی و کیفی شناسایی شد. شکل ۲ γ اسپکتروسکوپی از آئروسلهای جمع آوری شده بر روی فیلتر ممبران را نشان میدهد.

 $Bi^{212}.Bi^{214}$  میباشده ای مشاهده شده شامل  $Bi^{212}.Bi^{214}$   $Bi^{212}$   $Ac^{228}$  ,  $K^{40}$  ,  $Tl^{208}$  ,  $Pb^{214}$  ,  $Pb^{212}$  میان غلظت هر کدام از رادیو نوکلئید های مشاهده میان غلظت هر کدام از رادیو نوکلئید (شد. جدول M شده، توسط Break reaction (R in the second of the second

ده با کمک ICP-MS	ں عناصر تشکیل د <b>ه</b> ن	جدول ۱. نتایج آنالیز جرمی
------------------	----------------------------	---------------------------

نوكلئيد	غلظت د <i>ر</i> نمونه	غلظت در شرایط STP	
	$rac{mg}{ m L}$ اوليه	(mg.m <sup>-3</sup> )	
K	۲/٤۵	۱/٣×۱۰ <sup>-۳</sup>	
T1	۰/۰۵	۲/۶۳×۱۰ <sup>-۵</sup>	
pb	۰/۰۵	۲/۶۳×۱۰ <sup>-۵</sup>	
Bi	۰/۰٤	۲/۱۱×۱۰ <sup>-۵</sup>	
Ac	۰/۰۵	۲/۶۳×۱۰ <sup>-۵</sup>	

دانسیته هر یک از نوکلیئدهای شناسایی شده در دمای نمونه برداری در جدول ۲ ارائه شده است. از

غلظت جرمی *ر*ادیو نوکلئیدها آنالیز شده جہت تعیین دانسیته مخلوط ذرات استفاده شد. طبق معادله ۲ مقدا*ر* دانسیته مخلوط ذرات،  $rac{g}{\mathrm{cm}^3}$  ۱/۹۹۶ بدست آمد.

دول ۲. دانسیته نوکلیئدهای شناسایی شده توسط اسپکتروسکوپی	4
گاما در دمای نمونه برداری در دمایK۳۰۳ K	

راديو ايزوتوپ	$rac{g}{cm^3}$ دانسیته ذره
AC-228	<i>۱۰/۰۶</i>
Bi-212	९/४९
Bi-214	९/४९
Pb-214	۱ ۱ / ۳۲
Pb-212	11/84
T1-208	۱ ۱ / ۸۳
k-40	۰/٨۵٩
Mixture	١/٩٩۶



شکل ۱. نمایی از راکتور تحقیقاتی و ایستگاه های نمونه برداری

ضمن محاسبه دانسیته ذرات، متوسط قطر ژئومتری و متوسط قطر آئرودینامیک ذرات برای این ۹ مرحله در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل۲. γ اسپکتروم از آئروسلهای جمع آوری شده

شما <i>ر</i> ه هر مرحله	دامنه اندازه ذ <i>ر</i> ات	$\mu m$ قطر برش موثر	متوسط	$\mu m$ قطر آئرودینامیک	
$\mu m$		قطر ژئومتریμ۳			
١	٩<	11	-	۱۵/۵٤	
۲	۵/۸–۹	Υ	λ/Υ	٩/٨٨	
٣	$\Delta/\lambda-\xi/\gamma$	٤/٢	۵/۲۳	8/92	
٤	٣/٣-٤/٢	٣/٣	٣/٣	٤/99	
۵	۲/۱–۳/۳	۲/۱	۲/۶۳	۲/٩۶	
6	1/1-7/1	1/1	۱/۵۱	١/٥٥	
Y	·/Y-1/1	- /Y	- / <b>λ</b> Υ	-/٩ <b>λ</b>	
f	• / E_ • / Y	- /٤	۰/۵۲۹	۰/۵۶	
filter	·/٤>	-	-	٠/٤	

جدول ۳. اندازه مراحل و قطر میانگین در ACM

مکانیسمهای تشکیل ذرات، پراکندگی، نقل و انتقال و نشست ذرات وابسته به شرایط اتمسفری است[۱٤]. تغییرات سایکرومتریک در طول ساعات شبانه روز

قابل ملاحظه بود. مشخصات فاکتورهای سایکرومتریک مورد بررسی در شکل ۳ آمده است.



شکل۳. مشخصههای سایکرومتریک (دما، سرعت جریان و رطوبت) در طول دوره نمونه برداری

ماکزیمم دمای روز در گستره C<sup>o</sup> ۲۶/۶ تا ۲۸/۳۳ و معمولاً در ساعت بین ۱۶ – ۱۳ اندازه گیری شد. حداقل دمای نمونه برداری معمولاً در ساعت ۶ صبح و گسترهی دمایی در این زمان C<sup>o</sup>۲۲/۲۲ تا ۲۲/۸۲ بود. تغییرات رطوبت در طول ساعات شبانه روز قابل ملاحظه بود، بطوریکه ماکزیمم رطوبت نسبی ٪۶۰ تا ۳۶ در ساعات اولیه صبح که در آن زمان دما درکمترین مقدار بود و کمترین میزان رطوبت ۳٤٪ در ساعات نیم روز مشاهده شد. سرعت باد در بین

ساعت ۱۳ تا ۱۵ بیشترین مقدار و در ساعات اولیه صبح کمترین میزان *ر*ا نشان داده است.

میانگین جرمی کل ذرات در سه مکان نمونه برداری به ترتیب <sup>mg</sup>، ۱۸٬۰۱۱، ۰/۱۱ <sup>mg</sup> بدست آمد. غلظت جرمی برای مکان اول بیش از دو مکان دیگر نمونه برداری است. شکل ٤ غلظت جرمی ذرات را برای کل آئروسلها بر اساس دادههای بدست آمده به تفکیک سه مکان مختلف محیطی نشان میدهد.







شکل ٤– غلظت جرمی آئروسلهای رادیو اکتیو در سه مکان نمونه برداری

مقدار غلظت در هر ایستگاه متغیر است. داده های حاصل از اندازه گیری نشان میدهد که توزیع جرم – اندازه علاوه بر اینکه تابع ماهیت فرایند تولید در منبع انتشار (راکتور) میباشد به فعالیت سایکرومتریک نیز بستگی دارد. تفاوت در ماهیت انتشاری ذرات هوابرد پرتوزا بین سه ایستگاه کاری توسط توزیع جرم

<sup>1</sup> Mass Size Distribution

با توجه شکل نمایش داده شده، اکثریت جرم آئروسلها در حالت مد انبارشی (d<sub>p</sub><1µm) قرار دارند. کسر جرمی ذرات ریز در گستره میکرون برای ایستگاه اول ۷۷٪ و برای ایستگاه دوم و سوم به ترتیب ۷۲٪ و ۷۱/۳٤٪بدست آمد.

در شکل ۶ توزیع اندازه اکتیویته ذرات آلفا و بتا بر حسب قطر آئرودینامیکی (D<sub>p</sub>) نشان داده شده است. این توزیع از اندازه گیری از ۳ ایستگاه برای یک دوره ۶۰ ساعت انتخاب شده است. توزیع رادیواکتیویته نشان از توزیع سطح فعال، منتج از تراکم آئروسلهای نشان از توزیع سطح فعال، منتج از تراکم آئروسلهای میباشد. توزیع اندازه اکتیویته برای آئروسلهای محیطی به صورت یک توزیع گسترده است. بیشترین میزان اکتیویته برای ذرات با قطر کمتر از 8/۰ میکرون بدست آمد.

اکتیویته و توزیع جرم اندازه که در شکل ۷ نشان داده شده است مقادیر بدست آمده از آنالیز نمونهها را نشان میدهد. بین میزان اکتیویته و توزیع جرم اندازه ذرات در هر سه ایستگاه کاری ارتباط معنی داری وجود دارد.

#### بحث

نتایج اسپکتروسکوپی گاما در این مطالعه نشان داد که در طول فعالیت راکتور، رادیونوکلئیدهای مختلفی (شکل ۲) تولید میشود. یکی از روشهای معتبر به منظور شناسایی محصولات ناشی از شکافت هسته ای اسپکتروسکوپی گاما میباشد. بر اساس نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، انتشار رادیونوکلئیدها آمده در تحقیق حاضر، انتشار رادیونوکلئیدها Tl<sup>208</sup> ،Pb<sup>214</sup> ،Pb<sup>212</sup> ،Bi<sup>214</sup> ،Pb<sup>218</sup> ،Pb<sup>214</sup> شان از حضور ذرات رادیواکتیو در محیط کار میباشد. که با مطالعه بتی<sup>۱</sup> و همکاران مطابقت دارد [۱].

غلظت جرمی نوکلئیدهای شناسایی شده (در جدول۱) در محیط راکتور توسط دستگاه ICP-MS

تعیین مقدار شد. پلاسمای کوپل شده القایی یک روش آنالیز خیلی حساس و فراگیر جہت تعیین غلظت عناصر در گستره مقدار خیلی ناچیز است که توسط محققان مختلف جہت تعیین غلظت عناصر رادیو اکتیو استفادہ گردیدہ است [18]

توزیع جرم - اندازه ذرات نشان داد که غلظت جرمی ذرات در مد انبارشی در ایستگاه اول بیش از مقدار بدست آمده در ایستگاه دوم و سوم است. در شکل ۵ میتوان دید که توزیع غلظت جرمی ائروسلهای رادیواکتیو در حالت زیر میکرون خیلی بیشتر از فلات جرمی ذرات درشت است. اساساً به دلیل فراوانی ذرات ریز، شاهد توزیع غلظت جرمی بالای ذرات ریز هستیم. توزیع جرم- سایز مشابهی با این مطالب نیز در بعضی از ایستگاهها در مطالعات قبلی توسط کیم٤ و همکاران گزارش شده است.

در این مطالعه میزان اکتیویته ذرات آلفا و بتا بر حسب موقعیت مکانی به تفکیک ذرات ریز (ma<1µm) و ذرات درشت (mc>1) در شکل ۶-الف و ۶-ب نشان داده شده است.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Hanel

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Moorty

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Kim











شکل ۶. توزیع اندازه-اکتیویته ذرات آلفا و بتا بر حسب قطر آئرودینامیک به تفکیک ذرات ریز و درشت به ترتیب ایستگاه کاری

اکتیویته ذرات درشت به ترتیب ۱۹/۵۷٪، ۱۰/۰۶ و ۱۷/۷۳٪ بدست آمد. به طوری که میتوان گفت بیش از ۸۰٪ اکتیویته آلفا و بتا در هر سه ایستگاه کاری جذب ذرات آئروسلی در گستره اندازه مد انبارشی و تنها کمتر از ۲۰٪ اکتیویته الفا و بتا بر روی ذرات با قطر بیش از میکرون (mc>1µm) متصل می شوند. تعبیر ما از اکتیویته بالای ذرات در گستره کمتر از ٤/٠ میکرون نسبت به سایر اندازه ذرات به دلیل بالا بودن تعداد ذرات در گستره کمتر از ٤/٠میکرون در محیط اتمسفری است. بطوری که می توان گفت، ضریب احتمال برخورد یونها با ذرات اتمسفری متناسب با تعداد ذرات است [۱۵]، بطوری که با کاهش سایز ذرات شاهد افزایش تعداد ذرات در اتمسفر هستیم. دلیل مهم دیگر افزایش سطح ویژه برهمکنش ذرات زیر ٤/٠ میکرون نسبت به ذرات بزرگتر است. افزایش قابل ملاحظه سطح۱ نسبت به جرم، فاکتور مهم در برخورد و اتصال یونها به ذ*ر*ات اتمسفری است [۵]. به دلیل سایز کوچک، این ذرات سطح وسیعی دارند که آمادگی برای جذب سطحی یا واکنش را داشته و باعث افزایش فعالیت شیمیایی این ذرات میگردد. بطوری که می توان گفت برای یک جرم ثابت با کاهش سایز ذره، سطح ویژه ذ*ر*ات افزایش پیدا میکند. پورستندورفر<sup>۲</sup> در مطالعه ای که بر روی توزیع اندازه آئروسل در محیط بیرون بر روی دختران رادون انجام داد نشان داد که بیشترین اکتیویته محصولات واپاشی رادون در گستره ذرات انبارشی قرار دارد [۱۶]. آیونیدوا<sup>۳</sup> در سال ۲۰۱۰ گزا*ر*ش کرد که بیش از ۸۰٪ اکتیویته ا مربوط به ذراتی است که قطر کمتر از  $Be^{7}$ دارند [۳]. گرابوسکی<sup>²</sup> در سال ۲۰۰۹ مطالعه ای بر روی رادیو نوکلئید  $Pb^{210}$  و  $Po^{210}$  انجام داد، در این مطالعه که توسط کاسکید ایمیکتو ۸ مرحله ای از

نوع اندرسون انجام شد بیشترین اکتیویته به ترتیب مربوط به ذراتی با قطر کمتر از  $\mu$ m ، / / ،  $\mu$ m مرابوط به ذراتی با قطر کمترین میزان اکتیویته مطالعه نشان داده شد که کمترین میزان اکتیویته مربوط به ذرات درشت میباشد [۱۷]. ویوور<sup>6</sup> در سال ۲۰۰۹ گزارش داد که بیش از ۷۶٪ اکتیویته مربوط به ذراتی با قطر کمتر از  $\mu$ m ۱ بدست آمد. به طوری که بیشترین اکتیویته مربوط به ذراتی با گستره  $\mu$ m ۱/۰ تا ۱ بود در حالی که ذرات درشت تقریباً حدود ۲٪ را شامل بودند [۱۸]

#### نتيجه گيرى

انتشار راديو نو كلئيدهاي از قبيل Ac<sup>228</sup> ، Bi ،Bi 212 ، Ac<sup>228</sup> k<sup>40</sup>،Tl<sup>208</sup>،Pb<sup>212</sup>، 214 در طول فعالیت راکتور نشاندهنده حضور ذرات رادیو اکتیو در محیط است. غلظت جرمی ذرات برای سه مکان مختلف به ترتیب بدست آمد. توزیع mg. m $^{-3}$   $\cdot/\cdot\lambda$ ۱۷، /۱۳۰ جرم اندازه ذرات ریز نسبت به ذرات درشت در هر سه ایستگاه کا*ر*ی دا*ر*ای ماکزیمم مقدا*ر* بود. بیشترین اکتیویته مربوط به ذرات ریز و با گستره اندازه کمتر از ٤٠٠ نانومتر بدست آمد نتایج نشان داد که بیش از ۸۰٪ اکتیویته (آلفا و بتا) جذب ذرات در گستره اندازه زیر میکرون (ma<1µm) و تنہا کمتر از ۲۰٪ بر روی ذرات درشت(mc>1µm) متصل میشوند. این نتیجه حاکی از آن است که در محیط، غلظت ذ*ر*ات ریز نسبت به ذ*ر*ات د*ر*شت از فراوانی بیشتری برخوردار است، که این موضوع باعث شده که توزیع جرم اندازه و همچنین اکتیویته ذرات ریز بیش از ذرات درشت باشد. تغییر در دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد منجر به تغییراتی در اندازه ،ساختار ذ*ر*ات تولیدی میشود.

<sup>5</sup> Weaver

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Surface Aera

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Porstendorfer

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ioannidoa

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Grabowski

<sup>[</sup>Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2025-08-07



شکل ۷ . ارتباط بین توزیع جرم اندازه با میزان اکتیویته در هر ایستگاه

#### References

1- Betti M. Environmental monitoring of radioisotopes by mass spectrometry and radiochemical methods in urban areas. Microchemical journal. 2000;67(3-1):363-73.

2- Sadigzadeh SMH, Assadi MR. Theoretical and experimental evalution of aerosol capture mechanisms and the determination of the quality of fibers filters as used in nuclear industry. Scientific Bulletion of the atomic energy organization of iran. 2003;44-22:38

3- Ioannidou A. Activity size distribution of sup>7</sup> Be in association with trace metals in the urban area of the city of Thessaloniki, Greece. Atmospheric Environment. 2011;45(6):90-1286

4- Mohamed A. Activity size distributions of some naturally occurring radionuclides 7Be, 40K and 212Pb in indoor and outdoor environments. Applied Radiation and Isotopes. 2005; 62(5): 751-757

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

6- Gründel M, Porstendörfer J. Differences between the activity size distributions of the different natural radionuclide aerosols in outdoor air. Atmospheric Environment. 2004;38(22):8-3723

7- Raghavendra KK, Narasimhulu K, Balakrishnaiah G, Suresh KRB, Rama GK, Reddy R, et al. Size segregated mass concentration and size distribution of near surface aerosols over a tropical Indian semi-arid station, Anantapur: Impact of long range transport. Science of the Total Environment. 2009;407(21):604-5586.

8- Frey AK, Tissari J, Saarnio KM, Timonen HJ, Tolonen-Kivimaki O, Aurela MA, et al. Chemical composition and mass size distribution of fine particulate matter emitted by a small masonry heater. Boreal environment research. 2009;14(2):71-255.

9- Yaraahmadi R, Moradi GR, Sadigzadeh A, Rezaei fard B, Bakand S, Farshad AA. Qualitative and quantitative characteristics of airborne radioactive particles in the Tehran Research Reactor. Air Flow and Pollution national conference. 2012.

10- Reineking A, Becker K, Porstendörfer J. Measurements of the unattached fractions of radon daughters in houses. Science of the Total Environment. 1985; 45:261-270.

11- Standardization IOf. General principles for sampling airborne radioactive materials: International Organization for Standardization. 1975: 25.

12- 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): 99-281.

13- Pillai PS, Moorthy KK. Aerosol mass-size distributions at a tropical coastal environment: response to mesoscale and synoptic processes. Atmospheric Environment. 2001; 35(24): 4099–112.

14- Lariviere D, Taylor VF, Evans RD, Cornett RJ. Radionuclide determination in environmental samples by inductively coupled plasma mass spectrometry. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2006; 61(8): 904-887

15- Winder C, Stacey NH. Occupational toxicology. 2 nd Edition. CRC Press. Stacey, Southern Cross Pharma, Springwood, Australia. 2004.

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

17- Długosz M, Grabowski P, Bem H. 210-Pb and 210-Po radionuclides in the urban air of Lodz, Poland. Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. 2010; 283(3): 25-719.

18- Weaver J, Biegalski SRF, 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. 2008; 282(3): 92-687.

# Role of Radioactive Emitting Particle Size on Dispersion of $\beta$ and $\alpha$ Emitting Particles in Tehran Research Reactor Safety Enclosure

Moradi GH<sup>1</sup>, Yarahmadi R<sup>2</sup>, Poureshgh Y<sup>3</sup>, Farshad A<sup>4</sup>, Sedigzadeh A<sup>\* 5</sup>, Parastar S<sup>3</sup>, Hajizadeh R<sup>6</sup>

1- MSc in Occupational health, School of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Assistant professor, Research Center for Occupational Health ,School of public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- MSc in Environmental Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Associate prof of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

5- Associate prof, Physics Research Department, Nuclear Science and Technology Institute, Tehran, Iran.6- MSc Student of Occupational Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\* Corresponding author. Tel: +982182064326 Fax: +982182063095 E-mail: asadigzadeh@yahoo.com

Received: 10 Sep 2012 Accepted: 7 Nov 2012

## ABSTRACT

**Background & Objectives:** In the nuclear industry, aerosols play an important role on emission and dispersion of pollutants. Nuclear reactors are the principal sources for pollution in fuel cycle and emit different radioisotopes into the environment. The radioactivity and size distribution of aerosols were measured using Anderson cascade Impactor (ACI) at three workstations in Tehran Research Reactor safety enclosure.

*Methods:* Mass concentration and distribution of airborne particles in the chamber environment were determined using ACI. In order to identify radionuclides present in airborne particles of chamber fiber filters were used. Element identification and mass concentrations were performed using ICP-MS. To identify radionuclide type and determine their radioactivity in suspended particles,  $\gamma$ -ray spectrometry and liquid Scintillation spectrometer were used, respectively. *Results:* Pb<sup>212</sup> (Pb<sup>214</sup> (Be<sup>212</sup>) (Be<sup>214</sup> (Tl<sup>208</sup>) (Ac<sup>228</sup>) and k<sup>40</sup> radionuclides were determined by

**Results:**  $Pb^{212} \cdot Pb^{214} \cdot Be^{212} \cdot Be^{214} \cdot Tl^{208} \cdot Ac^{228}$  and  $k^{40}$  radionuclides were determined by gamma spectrometry. Maximum mass was related to fine particle of 0 to 0.4 µm. The greatest portion of alpha and beta particle were adsorbed on aerosols with the aerodynamic diameter of less than 0.4µm.

*Conclusion:* Majority of radioactivity was related to the particles in storage and nucleation areas (fine particles). The origin of these particles may be coagulation of mode particles "nucleation" and concentration growth in the particle size of studied.

*Keywords:* Aerosol; Mass Distribution of Size; Radioactivity; Liquid Scintillation; Tehran Reactor; Anderson Impactor