



بررسی اثر ذرات داغ بر روی نمونه برداری با فیلترهای موازی

مصطفی احمدی^{۱*}، منصور عسکری^۱، محمد رضا عباس نژاد^۱، محمدرضا عینیان^۲، محسن

شایسته^۱، رضا آذر خلیلی

۱-دانشگاه امام حسین (ع)، مرکز تحقیقات پرتوی.

۲- دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای.

چکیده

سازمان معاهده منع جامع آزمایشات هسته ای به منظور ایجاد صلح و امنیت بین المللی بازرسی هایی را برای اطمینان از پایبندی اعضا به تعهدات خود ترتیب داده است. بدین منظور، این سازمان از روش های نمونه برداری خاصی استفاده می نماید که از جمله آنها نمونه برداری از ذرات رادیواکتیو معلق در هوا می باشد. در این مقاله به بررسی سیستم نمونه بردار ذرات این سازمان و ایرادهای وارد بر آنها پرداخته شده است و در نهایت یک سیستم نمونه برداری که بتواند به رفع ایراد و بهینه شدن این سیستم کمک کند معرفی گردیده و نتایج کار تجربی صورت گرفته با آن سیستم بیان گردیده است.

مقدمه

معاهده منع جامع آزمایش های هسته ای (CTBT^۱)، یک معاهده رسمی چند جانبه است که بین اعضای جامعه بین المللی با هدف امحای کامل همه آزمایش های غیر صلح آمیز و نظامی منعقد شده است. این معاهده در پی آن است که از طریق منع آزمایش های هسته ای، منع گسترش این گونه سلاح ها را تقویت، و از این رهگذر صلح و امنیت بین المللی حال و آینده را از خطر سلاح های مذکور صیانت کند. اکثر معاهدات خلع سلاح برای اطمینان از پایبندی اعضا به تعهدات خود، بازرسی هایی را در نظر گرفته اند. اکثر این بازرسی ها توسط سازمان هایی خارج از سیستم معاهده و توسط ارگان هایی دیگر بخصوص ارگان های در ارتباط با سازمان ملل متحد مانند آژانس بین المللی انرژی اتمی صورت می گیرد. معاهدات CWC^۲ و CTBT بر خلاف دیگر معاهدات، برای نظارت بر پایبندی اعضا به تعهدات خود، اقدام به تاسیس سازمانی به این منظور کرده است.

سازمان CTBT به منظور اعمال نظارت بین المللی، مبادرت به نصب چهار نوع دستگاه در محدوده سرزمین دولت های عضو می کند که نام و ویژگی خاص فنی هر یک از دستگاه ها عبارتند از:

- ۱- تاسیساتی برای لرزه نگاری بر روی خشکی^۳.
- ۲- تاسیسات و دستگاهی که تشعشعات هسته ای رادیونوکلئیدهای پراکنده در فضا را اندازه گیری می کند^۴.

^۱- Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty

^۲- Chemical Weapons Convention

^۳- seismological

^۴- Radionuclide

- ۳- تاسیسات و دستگاهی که مبادرت به ضبط صداهای مادون صوت می‌کند.^۱
- ۴- تاسیسات و دستگاه‌هایی که در بستر اقیانوس‌ها و دریاها نصب می‌شوند و مبادرت به ضبط صداها و لرزش‌های ناشی از انفجارهای هسته‌ای می‌کند. [۱]

بخش رادیونوکلوئید در سیستم نظارت بین المللی شامل شبکه جهانی ایستگاههای رادیونوکلوئید و آزمایشگاههای رادیونوکلوئید می‌باشد. شبکه‌ای از ایستگاهها برای اندازه‌گیری رادیونوکلوئیدهای موجود در جو که شامل ۸۰ ایستگاه مجهز به نمونه بردارهایی برای نظارت بر ذرات موجود در هوا می‌باشند. در شکل ۱ نمایی از ایستگاه‌های نصب شده در سراسر جهان نشان داده شده است. [۲]



شکل ۱: نقشه سیستم مونیتورینگ بین المللی [۲]

این معاهده از نظر فنی دارای معایب و ایراداتی می‌باشد. این ایراد از دو بعد قابل طرح است :
الف) برخی نظریه‌ها حاکی از آن است که نظام بازرسی و تایید مبتنی بر سامانه کنترل و نظارت بین المللی در معاهده CTBT برای تحقق اهداف خود ناتوان است. چرا که فن آوری قدرت‌های هسته‌ای این امکان را برای آنها به وجود آورده است که به انواع جدیدی از آزمایش‌های هسته‌ای اقدام کنند بدون آنکه تجهیزات حساس لرزه‌نگاری، دریافت پرتوهای هسته‌ای، امواج دریایی در زیر آب و امواج مادون صوت بتوانند به شناسایی و کشف آنها اقدام کنند. بنابراین تنها کشورهای هسته‌ای فاقد این فن آوری هستند که رژیم بازرسی و تایید معاهده به طور واقعی بر آنها اعمال خواهد شد و قدرت‌های هسته‌ای پیشرفته بویژه آمریکا، روسیه و حتی چین عملاً با مستثنی شدن از این نظام، برنامه‌های سابق تسلیحاتی خود را پیگیری و تعقیب خواهند کرد. نکته ای که استدلال فوق را تقویت می‌کند، آزمایش‌های احتمالی روسیه در ماه سپتامبر ۱۹۹۹ است که تجهیزات نظارتی نتوانستند آنها را ردیابی کنند. [۱]

^۱ - Infrasound

ب) چه بسا این تجهیزات، اطلاعاتی فراسوی آنچه مورد نظر CTBT است از کشور محل استقرار آنها اخذ و به جاهای دیگر منتقل کند. پیشرفت فن آوری در دولت‌های پیشرفته، که ایالات متحده در راس آنهاست، این امکان را برای شرکت‌های سازنده این تجهیزات فراهم می‌کند که با نصب سازوکار مورد نظر خویش، اطلاعاتی را فراتر از آنچه مورد نظر CTBT است از کشورهای عضو خارج و منتقل کنند. [۱]

نمونه‌بردار هوای اسنوویت^۱ یکی از نمونه‌بردارهای با حجم بالا می‌باشد که به منظور نمونه‌برداری از ذرات رادیواکتیو معلق در هوا توسط شرکت SEYNA، در کشور فنلاند طراحی و ساخته شده است. این دستگاه برای استفاده در هوای آزاد ترتیب داده شده است. چارچوب ساختاری پایه‌ی آن به راحتی بر روی چهار ستون نصب خواهد شد، البته در صورتیکه لازم باشد. در واقع اسنوویت به روش دینامیک نمونه‌برداری می‌کند، بدین‌گونه که هوای اطراف خود را توسط یک پمپ مکیده و آن را از میان یک فیلتر عبور می‌دهد. با عبور هوا، آبروسل‌ها بر روی فیلتر جمع‌آوری می‌گردند. کار با اسنوویت بسیار ساده است و امکانات طراحی شده برای کار کاربران با دقت زیادی لیست شده است. توسط این نمونه‌بردار می‌توان حجم‌های جریان متفاوتی از هوا را نمونه‌برداری کرد. پنل متر^۲ میکرو پردازنده‌ای است ساده که بر روی این نمونه‌بردار نصب شده است و می‌تواند محاسباتی را از قبیل حجم کل هوای مکیده شده و زمان کل سپری شده را انجام دهد. در شکل ۲ می‌توانید نمایی از این نمونه‌بردار را مشاهده نمایید. [۳]



شکل ۲: نمایی از اسنوویت

این نمونه‌بردار متشکل از دو نیمکره با قطر ۹۱ سانتی‌متر می‌باشد. آبروسل از داخل حلقه‌ی ورودی داخل میشود. فیلتر در مرکز ناحیه‌ی ورودی قرار گرفته است. مقدار دبی (سرعت جریان) نمونه‌گیری، به وسیله‌ی اندازه‌گیری میزان افت فشار در دو طرف فیلتر، بدست می‌آید [۳].

^۱ - SnowWhite

^۲ - panelmeter

این ابزار طوری طراحی شده است که بتواند ذرات رادیواکتیوی که دارای غلظت کمی در هوا هستند را جمع آوری کرده و توسط داده‌های آن می‌توان قضاوت کرد که آیا در نزدیکی مکان نمونه‌برداری شده (ایستگاه)، آزمایش هسته‌ای و یا نشت مواد رادیواکتیو از نیروگاه هسته‌ای، اتفاق افتاده است یا نه. این دستگاه یکی از ابزارهای سیستم پایش بین المللی^۱ است که خود زیر نظر سازمان معاهده‌ی منع آزمایش‌های هسته‌ای^۲ قرار دارد. ابعاد فیلتر مورد استفاده در این نمونه‌برداری ۴۶۰ mm × ۵۷۰ mm می‌باشد. بعد از اتمام نمونه‌برداری فیلترها را برداشته، سپس آنها تا کرده و در یک کیسه قرار می‌دهند (شکل ۳). [۳]



شکل ۳: مراحل آماده سازی فیلتر

دستگاه نمونه‌برداری اسنوایت یکی از پرکاربردترین نمونه‌بردارهای رادیونوکلئیدی سازمان CTBT می‌باشد. این دستگاه به طور خواسته یا ناخواسته طوری طراحی شده است که امکان سوء استفاده از آن وجود دارد. همانطور که اشاره شد، این نمونه‌برداری از یک فیلتر برای نمونه‌برداری استفاده می‌کند. با اتمام کار نمونه‌برداری این فیلتر برداشته شده و به مرکز آنالیز می‌رود. با برداشتن این فیلتر از دستگاه، تنها سند مربوط به چگونگی فعالیت هسته‌ای در اطراف محلی که این دستگاه در آن نصب شده است، برداشته می‌شود. بنابراین امکان جعل و یا سوء استفاده از آن توسط کشورهای پیشرفته وجود دارد. این امر به صورتی انجام می‌گیرد که کشور هدف قادر به اثبات خلاف آن نمی‌باشد زیرا تنها سند مربوط به چگونگی فعالیت هسته‌ای خود را در اختیار ندارد. همین امر به عنوان یکی از ایرادات مربوط به این نمونه‌برداری و همچنین معاهده محسوب می‌شود. از این رو ایده‌ی استفاده از ۲ فیلتر موازی مطرح می‌شود. با این کار علاوه بر اینکه نمونه‌برداری از محل ایستگاه انجام می‌گیرد، می‌توان یکی از فیلترها را به مرکز آنالیز فرستاد و دیگری را به عنوان یک کپی نزد خود نگه داشت. البته این امر به شرطی عملی می‌شود که ذرات داغ به طور متشابه بر روی هر دو فیلتر قرار می‌گرفت. به منظور بررسی اینکه این ایده می‌تواند عملیاتی شود یا نه، لازم بود آزمایش‌هایی صورت گیرد. به همین منظور با استفاده از نتایج شبیه‌سازی شده با نرم افزار فلوئنت مبنی بر چگونگی هسته‌ای نمونه‌برداری، قدرت پمپ مکش و اندازه‌ی فیلترها، یک دستگاه نمونه‌برداری با دو فیلتر ساخته شد. [۴]

مواد و روش‌ها

^۱- IMS

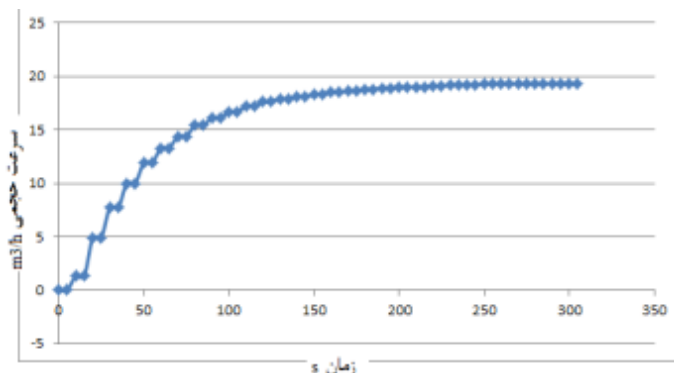
^۲-CTBTO

با توجه به مطالب بیان شده در بخش مقدمه مقاله، نمونه بردار طراحی شده براساس یک نمونه بردار اسنوایت طراحی شد. قطر اصلی نیمکره این نمونه بردار ۶۰ cm و فاصله‌ی برش از قطر اصلی ۱۰ cm و قطر سطح برش داده شده ۵۷ cm می باشد. همچنین با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی قطر مقطعی را که فیلتر روی آن قرار میگیرد ۱۵ cm می باشد. بعد از آن پمپ نمونه‌برداری را به محل قرارگیری فیلتر وصل کرده و نیمکره روی آن قرار میگیرد. قدرت پمپی که از آن استفاده شد در حدود ۶۰ متر مکعب بر ساعت می باشد.



شکل ۴: گنبدی ساخته شده برای پمپ ۶۰ متر مکعب بر ثانیه‌ای

بعد از آن یک فیلتر الیاف شیشه‌ای را آماده و در محل آن قرار داده میشود. داده‌های دیتا لوگر را از ابتدای روشن کردن دستگاه، قبل از تزریق مواد رادیواکتیو، در هر ۱۰ ثانیه یادداشت گردیده است. شکل ۵ نمودار چگونگی تغییرات سرعت حجمی دستگاه را نشان می دهد.



شکل ۵: منحنی تغییرات سرعت حجمی دستگاه نمونه بردار

لازم به توضیح است که در هر آزمایشی که انجام می‌گردد، ذرات بعد از یکنواخت شدن منحنی بالا تزریق می‌شود. برای آماده سازی مواد رادیواکتیو برای تزریق ۱۰ گرم پودر اکسید آلومینیوم را با ۱ میلی لیتر کبالت ۶۰ مخلوط کردیم. فعالیت این ماده در تاریخ ۸ فوریه ۲۰۱۰، ۲۲۱/۰۱ (Bq/ml) بود. برای اینکه فعالیت آن را در زمان نمونه برداری تعیین کنیم محاسباتی انجام گرفت. تاریخ نمونه برداری ۲۰۱۲/۵/۱۸ می باشد.

$$\Delta t = 2 + \frac{2}{12} + \frac{1}{365} = 2.277 \text{ year} \quad (1)$$

از آنجائیکه نیمه عمر کبالت برابر ۵/۲۷۱۴ y می باشد، بنابراین فعالیت فعلی این مواد برابر است با:

$$A(t) = A(t_0) \exp\left(-\frac{\Delta t \times 0.693}{T_{1/2}}\right) \quad (2)$$

$$A(\text{کبالت}) = 221.01 \exp\left(-\frac{2.277 \times 0.693}{5.2714}\right)$$

$$= 163,835 \text{ Bq/ml}$$

سپس به منظور یکنواختی بیشتر مقداری اسید نیتریک به آن اضافه کردیم. به منظور خشک کردن این مخلوط از روش حمام آب گرم استفاده شد. به همین دلیل مقداری آب درون ظرف ریخته و آن را روی هیتر قرار دادیم. سپس بعد از مدتی که آب گرم شد، ظرف محتوی ماده‌ی رادیواکتیو (آب‌فشان) را درون آن قرار دادیم. بعد از گذشت ۶ ساعت اسید نیتریک موجود در آب‌فشان بخار شد و مخلوط کاملاً خشک شد. در شکل زیر می‌توانید چگونگی انجام این کار را مشاهده نمایید.



شکل ۶: استفاده از روش حمام آب گرم برای خشک کردن مخلوط رادیواکتیو

بعد از اینکه ماده‌ی مورد نظر آماده شد، یک فیلتر آماده و روی دستگاه نصب کردیم. سپس دستگاه را روشن کرده و بعد از ۳۰۰ ثانیه پودر رادیواکتیو را به مقدار بسیار کم در چهار طرف دستگاه تزریق کردیم. بعد از ۹۰۰ ثانیه دستگاه را خاموش کرده و فیلتر را با دقت از آن جدا کرده و در یک جعبه قرار دادیم. در زمان خاموش کردن دستگاه داده‌های دیتا لوگر به صورت زیر بود:

۱- سرعت حجمی: $1.9/4 \text{ m}^3/\text{h}$ - ۲- حجم کل: $4/48 \text{ m}^3$ - ۳- زمان کل: 900 s .

برای طیف نگاری نمونه‌ها از آشکارساز سوسوزن غیر آلی یدور سدیم ۳ اینچ شرکت Canberra و الکترونیک مربوط استفاده کردیم. در شکل ۷ می‌توانید این آشکارساز را مشاهده نمایید.



شکل ۷: آشکارساز NaI

بعد از اینکه فیلتر را به آزمایشگاه آورده شد، آن را به ۴ قسمت مساوی تقسیم کرده و هر کدام از آنها را در یک پلاستیک گذاشته و کاملاً آن پوشانده می شود. به منظور آشکارسازی نمونه‌ها ابتدا باید آشکارساز، کالیبره‌ی انرژی گردد. برای کالیبراسیون ابتدا دو چشمه‌ی استاندارد سزیم ۱۳۷ و کبالت ۶۰ را در داخل آشکارساز قرار داده و طیف آن را در مدت ۶۰۰ ثانیه گرفتیم. در شکل ۸ می‌توانید شکل طیف کالیبراسیون را مشاهده نمایید.



شکل ۸: طیف کالیبراسیون

بعد از اینکه پلاستیک حاوی قسمت اول فیلتر را در آشکارساز قرار دادیم، اطراف آن را علامت گذاری کردیم. این کار برای این انجام گرفت که قسمت‌های بعدی فیلتر را نیز در همان جای قبلی قرار گیرد. بعد از گذاشتن قسمت‌های مختلف فیلتر در آشکارساز و شمارش آن در ۱۳۴۰۰ ثانیه، داده‌های مربوط به طیف آن به صورت جدول ۳ بدست آمد.

جدول ۳: داده‌های اندازه‌گیری شده از قسمت‌های مختلف فیلتر

قسمت اول	قسمت دوم	قسمت سوم	قسمت چهارم	داده‌های اندازه‌گیری شده از
۲۱۵۶	۲۲۵۰	۳۳۲۰	۳۱۴۰	مساحت زیر منحنی برای قله‌ی اول

۱۵۸۶۱	۱۵۶۵۶	۱۵۷۴۲	۱۵۲۵۲	شمارش برای قله‌ی اول
۶۷۳۶	۵۸۰۴	۵۶۸۲	۵۸۲۳	مساحت زیر منحنی برای قله‌ی دوم
۱۳۸۳۵	۱۳۸۱۹	۱۴۲۶۹	۱۴۶۷۴	شمارش برای قله‌ی دوم

نتیجه گیری

بعد از انجام آزمایش‌های متعددی که به منظور تعیین چگونگی گیر افتادن ذرات بر روی فیلتر انجام شد، این نتیجه حاصل شد که ذرات به طور متشابه بر روی دو فیلتر می‌نشینند. شکل ۹ نمایی از بررسی اکتیویته این نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۹: درصد اکتیویته در دو طرف فیلتر

با مقایسه‌ی بین این نتایج آزمایشگاهی، شامل جدول‌ها و نمودارهای رسم شده و نتایجی که در مورد چگونگی توزیع ذرات بر روی فیلتر به وسیله‌ی نرم‌افزار فلونت بدست آمده بود (مرجع ۱۱) نشان می‌دهد که ذرات به طور یکنواخت بر روی ۲ فیلتر نشسته‌اند. بنابراین ایده‌ی مطرح شده را می‌توان تایید نمود.

مراجع

- [۱] ساعد نادر، مقدمه‌ای بر معاهده منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای (CTBT)، مجله سیاست دفاعی / شماره ۳۰-۲۹، زمستان ۷۸ و بهار ۷۹.
- [۲] <http://www.CTBT.org>
- [۳] <http://www.senya.fi>
- [۴] عباس نژاد محمدرضا، دانشگاه امام حسین(ع)، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای، ۱۳۹۱