مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال چهارم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲؛ ص ۲۱۸-۲۱۱

شبیه‌سازی نمونه بردار اسنووایت
به‌منظور ایجاد سامانه بومی- معاهده‌ای هسته‌ای

محمد رضا عباس نژاد[۱]، منصور عسکری[۲*]، مصطفی احمدی[۱]، محمدرضا عینیان[۳]، محسن شایسته[٤]

۱- کارشناس ارشد، ۲- مربی، ٤- استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع) ۳- دانشجوی دکتری دانشگاه شهید بهشتی

(دریافت: ۹۱/۱۱/۰۷، پذیرش: ۹۲/۰۷/۰۱)

چکیده

سازمان معاهده منع گسترش آزمایش‌های هسته‌ای (CTBTO) برای صحت فعالیت‌های کشورهای عضو این سازمان، از روش‌های آشکارسازی خاصی استفاده می‌کند. یکی از سامانه‌های مبتنی بر این روش‌ها، سامانه نمونه برداری ذرات رادیواکتیو موجود در هوا است. پایش رادیونوکلئید که شامل نمونه بردار هوا و واحد آشکارسازی است، برای دستیابی به توانایی آشکارسازی بیشتر از ۹۰٪ یک انفجار یک کیلو تنی در اتمسفر یا تخلیه در اثر انفجار زیر زمینی یا زیر آبی در مدت تقریبی ۱۴ روز طراحی شده است. در مقاله حاضر به بررسی سامانه نمونه بردار با نام تجاری اسنووایت پرداخته و ایرادهای فنی که بر این نوع سامانه نمونه برداری وارد است، معرفی نموده و در نهایت، سامانه نمونه برداری که بتواند ایرادهای فنی این نوع سامانه‌های نمونه برداری را رفع نماید، شبیه‌سازی و تصحیح‌ها برای استفاده در معاهده و بومی‌سازی پیشنهاد شده است.

کلید واژه‌ها: CTBT، نمونه بردارهای با حجم بالا، اسنو وایت، رادیونوکلئیدها، آئروسل، کد شبیه‌ساز فلوئنت.

Simulation of Snow White Sampler
in Order to Create a Native Nuclear Treaty System

M. R. Abasnezhad, M. Askari*, M. Ahmadi, M. R. Einian, M. Shayesteh
Imam Hossein University
(Received: 26/01/2013; Accepted: 23/09/2013)

Abstract

THE COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY ORGANIZATION (CTBTO) USES A SPECIAL DETECTION METHOD TO VERIFY FOR THE MEMBER STATES OF THE ORGANIZATION. ONE OF THE SYSTEMS BASED ON THESE METHODS, IS SAMPLING SYSTE RADIOACTIVE PARTICLES. THE RADIONUCLIDE MONITORING IS THE ONLY TECHNIQUE THAT PROVIDES THE FORENSIC O EVIDENCE THAT A DETECTED EXPLOSION IS NUCLEAR IN NATURE. THE RADIONUCLIDE STATION INCLUDING AIR SAMPLER UNIT, WAS DESIGNED TO ACHIEVE A DETECTION CAPABILITY OF NOT LESS THAN 90% WITHIN APPROXIMATELY 14 DAYS NUCLEAR EXPLOSION IN THE ATMOSPHERE OR FROM VENTING BY AN UNDERGROUND OR UNDERWATER DETONATION. I SNOW WHITE® SAMPLER HAS BEEN INVESTIGATED AND SOME TECHNICAL OBJECTIONS TO THIS TYPE OF SAMPLING SYS BEEN INTRODUCED. FINALLY, A SAMPLING SYSTEM THAT CAN RESOLVE RELATED TECHNICAL PROBLEMS (BUGS), HAVE BE AND SOME SUGGESTIONS TO USING AT THE TREATY HAVE BEEN PROPOSED.

Keywords: CTBT, High-Volume Sampling, Snow White, Radioisotopes, Aerosol, Fluent.

*Corresponding Author E-mail: masgari@ihu.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به کاربردهای روزافزون مواد آلاینده و خطرات مرتبط با این کاربردها، برای کاهش این خطرات سازمان‌های بسیاری در کشورهای پیشرفته، تمهیداتی را در قالب مقابله با خطرات مربوط چه به‌صورت عامل و چه غیرعامل در نظر گرفته‌اند و از آنجایی که بدون شناخت دقیق عامل تهدید، امکان کسب موفقیت در مقابله با تهدید مورد نظر کاهش خواهد یافت، ضرورت به‌کارگیری تجهیزات شناسایی مناسب بیش از پیش نمایان می‌شود. به‌عبارت دیگر با توجه به اینکه برای طراحی اقدامات پدافندی در گام اول نیاز به کسب اطلاعات لازم از مقوله تهدید کاملاً معقول بوده و آشکارسازی به اولین ظهور وجود تهدید در پهنه عمل اشاره دارد[۱ و ۲]، به نظر می‌رسد که در زمینه تهیه آشکارساز مناسب، می‌بایست اقدامات اساسی بسیاری انجام شود. در زمینه آلودگی‌های زیست محیطی (به ویژه آلودگی‌های هسته‌ای)، که به صورت روزافزون حیات سالم موجودات زنده را تهدید می‌کند، نمونه برداری از هوا به عنوان بخش مهمی از عملیات پایش و بررسی محسوب می‌شود. حدود مجازی که برای هوای آلوده در نظر گرفته می‌شود، خیلی کمتر از مقادیری است که در مورد فعالیت چشمه‌های محصور و یا در مورد تابش‌های صرفاً پرتودهی خارجی خطرناک شمرده می‌شود. همچنین حتی اگر تنها چشمه‌های محصور موجود باشند، چنان‌چه نوع چشمه طوری باشد که ماده گازی پرتوزا یا ذرات معلق در صورت بروز ترک در کپسول چشمه بتوانند از آن خارج شوند، یک برنامه نمونه‌برداری از هوا علاوه بر اسمیرگیری توصیه می‌شود. در این صورت، نمونه‌برداری هوا می‌تواند چشمه آلودگی و نشت را قبل از خروج مقدار قابل توجهی ماده پرتوزا آشکارسازی کند. این مورد در رابطه با تأسیسات هسته‌ای از جمله راکتورها، مراکز پردازش سوخت و تولید رادیودارو بسیار صادق است [۲].

در عملیات راستی‌آزمایی مرتبط با اجرای معاهده منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای[1]، از مهم‌ترین اقدامات، نمونه برداری برای تعیین رادیونوکلئیدهای احتمالی موجود در هوا است [۲]. پایش رادیونوکلئید که شامل نمونه بردار هوا و واحد آشکارسازی است، برای دستیابی به توانایی آشکارسازی بیشتر از ۹۰٪ یک انفجار یک کیلو تنی در اتمسفر یا تخلیه در اثر انفجار زیر زمینی یا زیر آبی در مدت تقریبی ۱۴ روز طراحی شده است [۳]. همچنین جمع‌آوری ذرات توسط نمونه بردارهای سازمان CTBT مبتنی بر نمونه برداری فعال یا دینامیک است. در این روش، از یک حرکت دهنده هوا استفاده می‌شود (پمپ) و حجم معینی هوا از روی جاذب یا یک فیلتر عبور داده می‌شود [۴]. انواع اصلی نمونه بردارها عبارت هستند از:

۱- نمونه بردار با حجم هوای کم

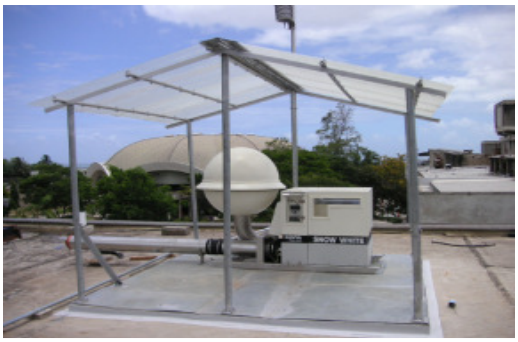
۲- نمونه بردار با حجم هوای بالا

۳- نمونه بردار هوای فردی (ناحیه تنفسی)

نمونه بردارهای هوای با حجم بالا، تخمینی از غلظت ذرات رادیواکتیو در یک مکان خاص در یک دوره زمانی کوتاه را فراهم می‌کند. همچنین سرعت‌های جریان حجمی در محدوده ۱۰ فوت مکعب بر است. نمونه بردارهای هوای با حجم بالا قابل حمل برای جمع آوری نمونه‌های هوا بوده و از روش فیلتراسیون یا جذب استفاده می‌کنند. بر روی این نمونه بردارها آشکارساز نصب شده وجود ندارند و نمونه‌ها توسط تجهیزات آنالیز به‌طور مجزا، شمارش می‌شوند[۵].

باید به این نکته اشاره کرد که سیستم‌های نمونه برداری که توسط سازمان CTBT مورد استفاده قرار می‌گیرد به دو روش کلی کار می‌کنند و شامل نمونه بردارهای خودکار، که در ایستگاه‌های ثابتی نصب می‌شوند و همچنین نمونه بردارهای دستی، که ثابت نیستند و توسط بازرسان سازمان CTBT و یا مأموران آژانس بین‌المللی انرژی اتمی به محل مورد بازرسی حمل می‌شوند و در آنجا برای یک دوره نمونه برداری نصب می‌شوند.

ایستگاه‌های رادیونوکلئوید دستی به‌طور گسترده‌ای نصب و استفاده شده‌اند، در حالی که برای ایستگاه‌های رادیونوکلئوید خودکار چنین نیست. تنها دو سیستم خودکار RASA و ARAME برای CTBT توسعه یافته‌اند و تاکنون مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در عین حال مشکلاتی را در رابطه با برآوردن حداقل الزامات از خود بروز داده‌اند[۳]. شکل (۱و۲) به‌ترتیب دستگاه نمونه برداری اسنووایت[2] و دستگاه نمونه برداری آرامی[3] را نشان می‌دهد.



شکل ۱. دستگاه نمونه برداری اسنووایت [۶]

شکل ۲. دستگاه نمونه برداری آرامی [۷]

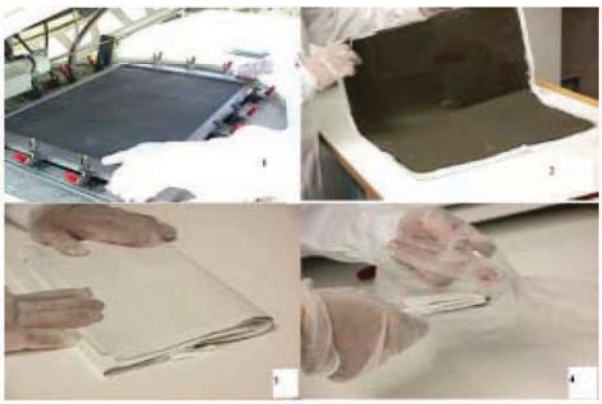
[1]Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT)

[2]Snow White
[3]Arame

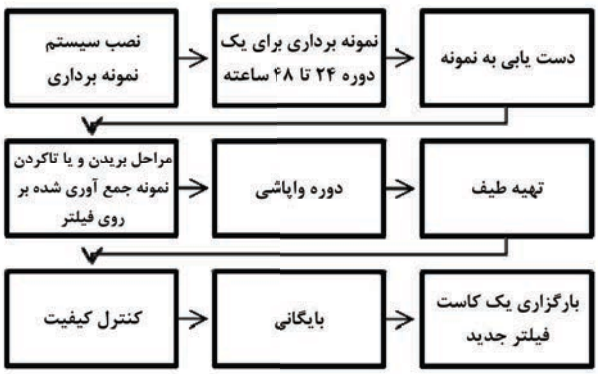
SNOW WHITE یک نمونه بردار هوای دستی ساخت SENYA فنلاند است که برای نصب در ایستگاه‌های IMS طراحی شده است [۸]. درب نمونه بردار SNOWWHITE، ورودی[1] هوای آن نیز نیز محسوب می‌شود. بازدهی نمونه برداری این نمونه بردار از بازدهی سایر نمونه بردارهای معمول بیشتر است و جدیدترین سیستمی است که برای ایستگاه‌های دستی CTBT پیشنهاد شده است [۹]. اولین بار نمونه بردار Snow White برای تست بازدهی نمونه‌گیری ذرات جمع شده روی فیلتر استفاده شد. این نمونه بردار برای جمع‌آوری غلظت کم ذرات رادیواکتیو هوا (ناشی از آزمایش‌های هسته‌ای یا سوانح هسته‌ای) درشبکه ایستگاه IMS، تحت نظر CTBT طراحی شد [۱۰].

سایت‌های Kotka و Kajaani و Rovaniemi در فنلاند، از نمونه بردار JL-900SnowWhite با میزان شارتقریبی ۹۰۰m^3/h و سایت‌های Imatra، Kuopio، Sodankylä و Ivalo از JL-150'Hunter' با میزان شار تقریبی ۱۵۰m^3/h برای پایش ملی استفاده می‌کنند [۱۱].

در شکل (۳) نمایی از مراحل آماده‌سازی فیلتر برای انجام آنالیز و شمارش نشان داده شده است. همچنین درشکل (۴) نمایش مراحل مختلف نمونه برداری به‌صورت شماتیک به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳. مراحل آماده سازی فیلتر [۶]



شکل ۴. نمایش مراحل مختلف نمونه برداری [۱۲]

[1] Inlet

مراحل ذکر شده در سیستم‌های خودکار و دستی انجام می‌پذیرد با این تفاوت که مرحله برش فیلتر و قرار دادن فیلتر در سیستم‌های خودکار به‌صورت خودکار اتفاق می‌افتد و تهیه طیف و کنترل کیفیت در نمونه برداری خودکار به‌صورت آنلاین[2] است ولی در سیستم‌های دستی، فیلتر توسط یک اپراتور در نمونه بردار قرار داده می‌شود و تهیه طیف و کنترل کیفیت در این سیستم آفلاین[3] است.

لازم به‌ذکر است که این نوع عملکرد به نمونه گیر اجازه می‌دهد تا در حالت پیوسته‌ای کار کند. هر زمان که یک مرحله برای نمونه n ام تکمیل می‌شود، نمونه n+1 وارد مرحله می‌شود [۱۲]. آنچه که در برخی از فعالیت‌های علمی به آن اشاره شده است بر اساس این موضوع می‌باشد که نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌وسیله دو نمونه بردار که به‌صورت همزمان در یک محل در حال کار هستند، باهم یکسان نبوده ودر نتیجه نمی‌توان آنها را باهم مقایسه کرد و بر این اساس، نمونه گرفته شده توسط نمونه بردارها از محل نمونه برداری خارج شده و در ایستگاه‌هایی که سازمان به این منظور تعبیه نموده است مورد آنالیز و بررسی قرار می‌گیرد که این بررسی‌ها تنها توسط کشورهای پیشرفته صورت خواهد گرفت. با توجه به این موضوع، ایراد فنی وارد بر سیستم آشکارسازی و بازرسی سازمان CTBT می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود [۱۳ و ۱۴]:

۱- برخی نظریه‌ها نشان می‌دهد که سامانه کنترل و نظارت بین‌المللی در معاهده CTBT برای تحقق اهداف خود ناتوان است، چرا که انواع جدیدی از آزمایش‌های هسته‌ای صورت گرفته، بدون آنکه تجهیزات حساس بتوانند به شناسایی و کشف آنها اقدام کنند [۱۳ و ۱۴]. آنچه که استدلال فوق را تقویت می‌کند، آزمایش‌های احتمالی روسیه در ماه سپتامبر ۱۹۹۹است که بر مبنای اطلاعات موجود، صورت پذیرفته و تجهیزات نظارتی نتوانستند آنها را ردیابی کنند [۱۳].

۲- چه بسا این تجهیزات، اطلاعاتی فراسوی آنچه مورد نظر سازمانCTBT است از کشور محل استقرار آنها اخذ و به جاهای دیگر منتقل نمایند. پیشرفت فناوری در دولت‌های پیشرفته که ایالات متحده در رأس 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 کنند. اگر هم این‌گونه نباشد، با توجه به ساختار سیستم‌های این ایستگاه‌ها امکان هر گونه جعل و سوء استفاده از اجزای این سیستم‌ها و درآوردن نتایج دلخواه خود از آنها، بدون اینکه کشور عضو قادر به اثبات خلاف آن باشد، وجود دارد [۱۳ و ۱۴].

لازم به‌ذکر است که که سیستم‌های مورد استفاده در ایستگاه‌های رادیونوکلئوید، حساسیت بسیار بالایی دارند و حد آشکارسازی که

[2] On-Line
[3] Off-Line

حاصل می‌شود، یک میلیون مرتبه کمتر از حدی است که نیاز به اقدامات حفاظتی دارد. به‌گونه‌ای که در یک مورد، چوب آتش گرفته در ۲۵ متری ورودی[1] نمونه بردار، باعث آشکارسازی میزان ^{137}Cs غیرعادی در نمونه شده است [۱۵]. در چنین مواردی نمونه بردارهای با حجم بالا- قابل حمل در فاصله حداقل ۱۰۰ متری ایستگاه برای مدت یک هفته نمونه برداری می‌کنند و اگر موردی مشاهده نگردید، ادعا اثبات می‌شود [۱۵]. بنابراین حفاظت پیرامونی ایستگاه از اهمیت بالایی برخوردار است و امکانات پایش پیرامون ایستگاه باید به‌حدی باشد تا در صورت لزوم با اسناد و مدارک معتبر، توضیحی برای برخی اکتیویته‌های غیرعادی ارائه شود. از طرفی فعالیت‌های علمی زیادی در زمینه نمونه برداری آلاینده‌ها هم به‌صورت تجربی و هم به‌صورت نظری یا شبیه‌سازی، در برخی از کشورهای پیشرفته صورت گرفته است که به بررسی برخی از نمونه بردارهای استاندارد مورد تأیید سازمان CTBT، ارزیابی میزان بازدهی آنها در تونل باد و کالیبره نمودن نمونه بردار می‌پردازند[۲۰-۱۶] که از جمله نمونه بردارهای مورد آزمایش می‌توان به نمونه بردار اسنووایت، آرامی و راسا[2] اشاره کرد. اما، در چارچوب هدفی که مدنظر این مقاله است، هیچ مرجعی تاکنون یافت نشده است.

در مقاله حاضر شبیه‌سازی مناسبی برای یک نمونه بردار هوا با حجم بالا مورد نظر است که طی آن بتوان شرایطی را در یک نمونه برداریجاد کرد که در یک نمونه بردار با یک پمپ مکش از دو فیلتر استفاده شود و یا آنکه بتوان فیلتر را به‌گونه‌ای تقسیم نمود که دو نمونه یکسان به‌دست آید. دلیل انتخاب این نوع نمونه بردارها، قابلیت نمونه برداری در محیط باز (بر خلاف دیگر نمونه بردارها که کارایی آنها در سطح آزمایشگاهی است) است و اینکه تعداد ذرات بیشتری را نسبت به دیگر انواع نمونه بردار جذب می‌نمایند (به‌علت قدرت پمپ مکش استفاده شده در آنها) و نیز به‌علت استفاده از پمپ مکش مناسب، زمان نمونه برداری این نوع از نمونه بردارها کاهش پیدا می‌کند[۶-۳]. این نوع نمونه بردارها، نمونه بردارهای استاندارد مورد استفاده در سازمان CTBT هستند و این سازمان تنها از این نوع نمونه بردارها برای کارهای آشکارسازی و بازرسی خود و جمع‌آوری ذرات معلق در هوا استفاده می‌نماید.

همچنین در این مقاله تمرکز اصلی نسبت به ذرات معلقی می‌باشد که توانایی صدمه زدن به سلامت انسان رادارند [۲]. این ذرات تکه‌های[3] کوچکی از مواد رادیواکتیو مصنوعی، به‌طور عمده ذرات سوخت هسته‌ای، که به‌علت فعالیت‌های مختلف انسانی در محیط پخش شده‌اند،می‌باشند. ذرات رادیواکتیو مطرح شده در اینجا به‌صورت توده‌ای از اتم‌های رادیواکتیو می‌باشند که با توزیع ناهمگنی از رادیونوکلوئیدهایی که با ذرات زمینه طبیعی تفاوت دارند، ایجاد شده‌اند. ذرات سوخت هسته‌ای آنهایی هستند که منشأ آن سوخت هسته‌ای می‌باشد، با اینکه اندازه ذرات می‌تواند متفاوت باشد،در اینجا ذراتی با قطر چند میکرومتر تا ده‌ها میکرومتر که به‌نام ذرات داغ[4] نامیده می‌شوند مدنظر است [۲۱].

در حال حاضر هیچ تعریف پذیرفته شده عمومی برای ذرات داغ وجود ندارد. اغلب این معنی برای ذراتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که آنها دارای فعالیت اکتیویته بالایی می‌باشند. گاهی اوقات این عنوان برای ذراتی که فعالیت ویژه بالایی دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. خایترو و همکارانش در سال ۱۹۹۴ این تعریف را پیشنهاد دادند: یک ذره داغ، ذره‌ای با هر رادیونوکلوئید یا هر ترکیبی باانداز۸۰ -۵۰ میکرومتر و فعالیت بالای Bq ۴ است. انجمن ملی حفاظت در برابر پرتو و اندازه‌گیری (NCRP)[5] بیان می‌کند که ذرات ذرات داغ ذراتی هستند که اندازه آنها در هر بعد در محدوده ۳۰۰۰-۱۰ میکرومتر بوده و ذرات داغ کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر را می‌توان به‌طور کلی به‌عنوان آلودگی در نظر گرفت [۲۲]. همچنین لازم به‌ذکر است که:

۱- از آنجاکه این سامانه ماهیت معاهده‌ای داشته و مقادیر اندازه‌گیری بسیار پایین‌تر از حد مجاز پرتوگیری می‌باشد، به آن معنی که ۳۰میکروبکرل بر مترمکعب حد غلظت آشکارسازی برای نوکلئید Ba-140 می‌باشد،پس نیازی به بیان دوز مجاز برای پرسنل و ساکنین نمی‌باشد.

۲- آشکارساز نیمه هادی HPGe در این سامانه به‌طور off-line به‌کار رفته، به آن معنی که بعد از نمونه برداری هوا، فیلتر از سامانه جدا و بعد فرآوری فیزیکی با آشکارساز HPGe اندازه‌گیری و خروجی آن طیف گاما است.

۳- محدوده تابش ذرات گاما ازم حدوده ۶۰keV تا ۳MeV است.

۴- نوع ذرات می‌تواند آئروسل یا ذرات پاره‌های شکافت متصل به گرد و خاک هوا باشد که از خود تابش گاما گسیل می‌دارند.

۵- در این سامانه از اندازه کننده ذرات[6] استفاده نشده، زیرا ابعاد ذرات از ۱۰- ۱ میکرون بوده که تحت این شرایط ذرات حاصل از فرآیند شکافت تا فعال‌سازی نوترونی را در برمی‌گیرد.

با توجه به مطالب گفته شده، نمونه برداری از این ذرات نمونه بردار اسنووایت است که در این مقاله شبیه‌سازی نمونه‌ای از آن مطرح می‌شود. شبیه‌سازی نمونه بردار اسنووایت به‌عنوان یکی از نمونه بردارهای مورد استفاده توسط سازمان CTBT به‌دلیل کارکرد ساده و آسان برای کاربران نسبت به دیگر نمونه بردارهای این سازمان ارجحیت داده شده است.

[1] Inlet
[2] RASA
[3] Artificial
[4] Hot Particle
[5] The National Council on Radiation Protection and Measurements
[6] Particle Sizer

۲. روش تحقیق

با توجه به اینکه پیچیدگی معادله‌های حاکم بر مسئله، تأثیر متقابل پدیده‌های فیزیکی مختلف، بالابودن هزینه‌های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی و محدودیت استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری در بسیاری ازمسائل عملی، از جمله دلایلی است که استفاده از روش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی را در مقایسه با روش‌های عددی محدود می‌کند [۲۳]. بر این اساس، از برنامه‌های شبیه‌سازی برای پیشبرد اهداف استفاده شده است. از جمله نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برنامه‌های دینامیک عددی سیالات، نرم‌افزار فلوئنت است. در این نرم‌افزار، دقت حل، قیمت و همچنین سخت‌افزار محاسباتی مورد نیاز و زمان محاسبه بستگی به ظرافت شبکه دارد. شبکه‌های مطلوب اغلب غیریکنواخت می‌باشند. به‌عبارت دیگر، در جایی که تغییرات از نقطه‌ای به نقطه دیگر زیاد است ریزتر و در نواحی با تغییرات به‌نسبت کم، درشت‌ترخواهد بود. براین اساس، بیش از ۵۰٪ زمان استفاده شده در صنعت روی پروژه دینامیک عددی سیالات صرف تعریف هندسه محدوده و تولید شبکه می‌شود [۲۴ و ۲۵].

لازم به‌ذکر است که در شبیه‌سازی مدنظر، با فاز سیال و فاز ذرات معلق در سیال سروکار داشته و براین اساس در فاز محاسباتی باید از فاز چند فازی استفاده شود.در نرم‌افزار فلوئنت، دینامیک جریان‌های چند فازی دو نوع تقریب را به‌کار می‌برد که شامل تقریب اولرین-لاگرانژین و تقریب لاگرانژین-لاگرانژین است که در این شبیه‌سازی از تقریب اولرین-لاگرانژین استفاده شده است و اساس کار بر این فرض استوار است که جریان سیال (که در اینجا هوا در نظر گرفته شده است) به‌صورت پیوسته رفتار می‌کند و معادلات میانگین زمانی نویر-استوکس برای آن حل می‌شود و فاز گسسته به وسیله مسیریابی تعداد زیادی از ذرات جامد یا قطرات ویا حباب‌ها که در اینجا ذرات داغ جامد مدنظر است، در میان میدان جریان سیال محاسبه شده حل می‌شود [۲۲ و ۲۵].

در روش شبیه‌سازی فاز گسسته، مبنای حل براین پایه استوار است که کسر حجمی ذرات گسسته کمتر از کسر حجمی سیال مورد بررسی می‌باشد (که معمولاً حداکثر ۱۲ - ۱۰ درصد از حجم جریان پیوسته را می‌تواند دربرگیرد)[۲۲]. این موضوع خود عاملی است که در شبیه‌سازی نمونه بردار باید مدنظر قرار گیرد زیرا در کارهای عملی که در بازرسی‌های سازمان CTBT صورت می‌گیرد، در هنگام جمع‌آوری ذرات در زمان محدود (که معمولاً بین ۲۴ ساعت تا ۴۸ ساعت به طول می‌انجامد) تنها کسری کمتر از ۱ درصد از ذرات نسبت به حجم هوای وارد شده به نمونه بردار بر روی فیلتر جمع‌آوری ذرات ته‌نشین می‌شود و اگر این موضوع مورد غفلت واقع شود. شبیه‌سازی صورت گرفته غیر قابل قبول خواهد بود.

در این نرم‌افزار ذرات فاز گسسته (یا قطرات ویا حباب‌ها) به‌وسیله انتگرال‌گیری نیروهای تعادلی بر روی ذرات محاسبه می‌شود و این در حالی است که چارچوب اصلی تقریب لاگرانژین است. در این وضعیت نیروهای وارد بر حرکت ذرات طبق رابطه زیر قابل دسترس است [۲۲]:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u-u_p) + \frac{g_x(p_p-p)}{p_p} + F_x \qquad (۱)$$

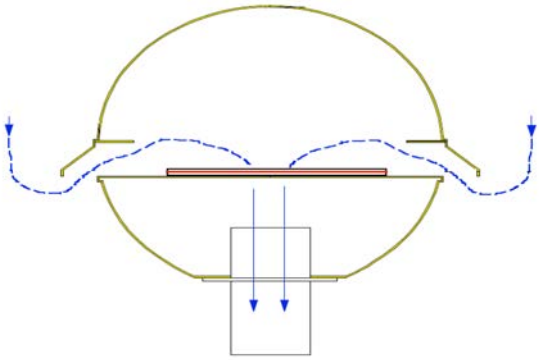
که در آن، F_x شتاب اضافی (بر حسب نیرو بر واحد جرم ذرات) و $F_D(u-u_p)$ نیروی Drag بر واحد جرم ذرات است و

$$F_D = \frac{18\mu}{p_p d_p^2}\frac{C_D Re}{24} \qquad (۲)$$

که در آن، u سرعت سیال، u_p سرعت ذرات، μ لزجت مولکولی سیال، p دانسیته سیال، p_p دانسیته ذرات و d_p ابعاد ذرات می‌باشد. Re عدد رینولدز نسبی است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

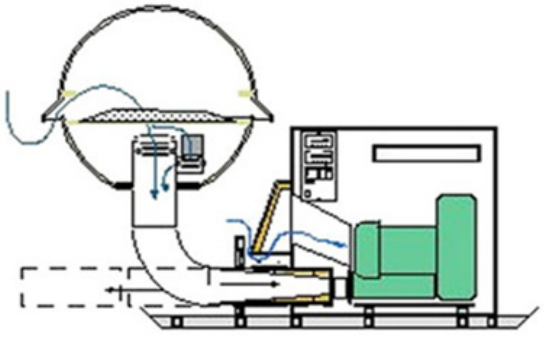
$$Re \equiv \frac{p d_p |u_p-u|}{p} \qquad (۳)$$

در شکل (۴) نمایی از دستگاه اسنووایت که به‌صورت طرحوار مسیر حرکت ذرات در آن مشخص شده است، فرآیند جمع‌آوری ذرات بر روی فیلترها را نشان می‌دهد [۲۴].



شکل۴. طرح حرکت سیال به سمت خروجی دستگاه و جمع‌آوری ذرات [۲۴]

شکل (۵) شماتیک اجزای دستگاه و چگونگی عبور هوا از درون فیلتر نمونه بردار SNOW WHITE و حرکت آن به سمت پمپ مکش دستگاه و در نهایت خروج هوای فیلتر شده و انتقال آن به فضایی دور از نمونه بردار را نشان می‌دهد.



شکل ۵. شماتیک اجزای دستگاه و چگونگی عبور هوا از درون فیلتر نمونه بردار [۲۶]

تعداد کل ذرات در حدود ۶ ۱۰ ذره در نظر گرفته شد که از این تعداد حدود ۶۰۰۰ ذره به‌عنوان ذرات معلق در نظر گرفته شده‌اند و ذرات داغ به‌صورت یکنواخت از مجرای ورودی تزریق می‌شوند.

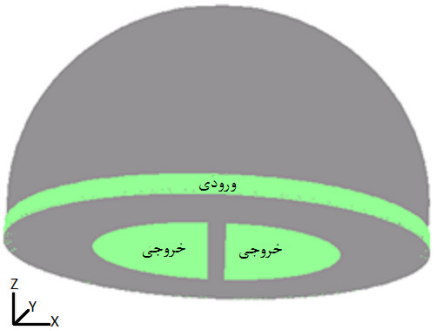
با توجه به آنچه که گفته شد، برخی از پارامترهایی که در این شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول۱. برخی از پارامترها مورد استفاده در شبیه‌سازی

مشخصات حل کننده	- حل کننده مبتنی بر فشار - در فضای سه بعدی - محاسبه شیب براساس روش گوس-گرین مبتنی بر نقطه
لزجت	بر اساس روش جریان‌های لایه‌ای
فاز گسسته	- اندرکنش ذرات با فاز پیوسته فعال - بیشینه تعداد گام برای پارامتر مسیریابی ۱۰۰۰۰ - مقیاس طول ویژه ۰/۰۰۱ متر - انتخاب نیروی بالابرنده در مدل‌های فیزیکی - خصیصه کنترل صحت با دقت 10^{-5} و بیشینه پالایش ۲۰ - انتخاب خصیصه مسیریابی بر صورت خودکار برای طرح مرتبه بالا و مرتبه پایین
تزریق ذرات	- نوع تزریق به صورت سطحی - تزریق از المان‌های سطح ورودی - تنظیم نوع ذره‌ای که باید تزریق شود (کبالت)
دانسیته	- محاسبه چگالی برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب - چگالی و لزجت هوا به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱۲۲۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و $1/7894\times10^{-5}$ کیلوگرم بر متر در ثانیه چگالی ذرات داغ برابر با ۸/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب
فشاروگرانش	- انتخاب عملگر فشار برابر با ۱۰۱۳۲۵ پاسکال و مقدار گرانش برابر با ۹/۸ در جهت منفی محور yها
شرایط مرزی	- فرض شرایط مرزی دیوارها با قابلیت بازتاب ذرات داغ - انتخاب سرعت برابر با ۰/۰۱۶۶۶ متر بر ثانیه در راستای منفی محور yها در مرزهای خروجی و قابلیت به دام-اندازی ذرات داغ - تعبیه منطقه متخلخل در مرزهای خروجی در شرایط سیال

لازم به‌ذکر است که دقت در محاسبات در حل، بر اساس دقت مرتبه اول و نیز دقت مرتبه دوم، محاسبه شده است[1].

با توجه به شکل دستگاه اسنوایت، شکل انتخاب شده برای شبیه‌سازی یک نمونه بردار به صورت نیم کروی انتخاب گردید. شکل (۶) نمایی از شکل شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

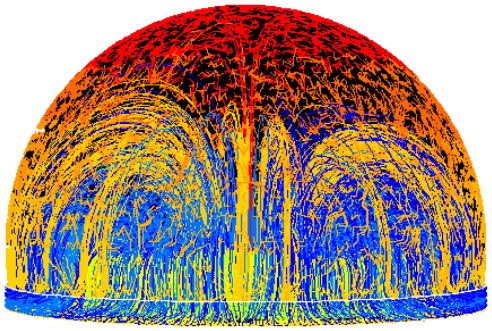


شکل ۶. نمایی از هندسه شبیه‌سازی شده

ابعاد در نظر گرفته شده در این شبیه‌سازی،با توجه به قدرت پمپ مکش استفاده شده، ۶۰ مترمکعب بر ساعت، است. حجم شبیه‌سازی شده برای نمونه بردار، نیم کره‌ای با قطر ۲۴۰ میلی‌متر انتخاب گردید که از مقطعی در حدود ۲۰ میلی‌متر پایین‌تر از مقطع مرکزی آن، برش داده شده است. این هندسه دارای خروجی‌هایی با شعاع۷۵ میلی‌متر و ورودی رینگی شکلی با ضخامت ۲۰ میلی‌متر است.

۳. نتایج و بحث

با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته، مشاهده شد که از تعداد کل ذرات داغ موجود در سیستم، ۷۲/۶۸ درصد از آنها توسط فیلترهای جمع‌آوری کننده ذرات در مسیرهای خروجی جمع‌آوری شدند و اختلاف ذرات جمع‌آوری شده روی فیلترهای هر خروجی کمتر از ۲ درصد می‌باشد. در شکل (۷) حرکت ذرات در داخل حجم نمونه بردار را نمایش می‌دهد که شامل حرکت ذرات داغ و حرکت ذرات موجود در سیال است.

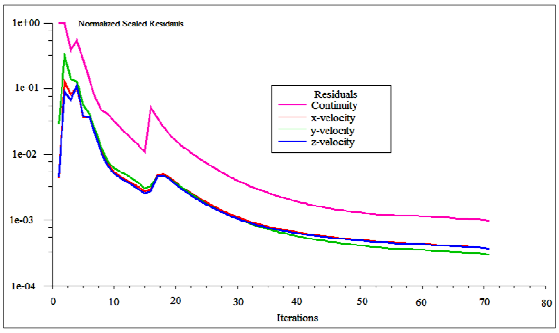


شکل ۷. نمایش نحوه جمع‌آوری ذرات بر روی فیلترها

نمودار باقیمانده‌های حل[2] برای حل معادله پیوستگی و اندازه حرکت، به صورت به هنجار شده، در شکل (۸) نشان داده شده است.

[1] این روش حل در کتاب راهنمای فلوئنت پیشنهاد شده است.

[2]- Normalized Residual

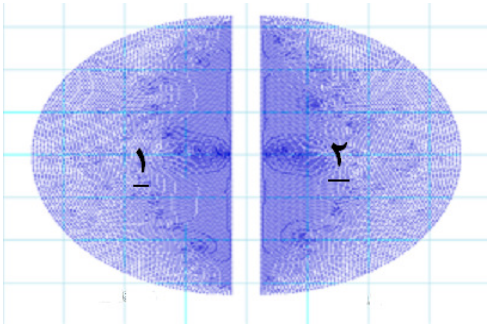


شکل۸. نمایش نمودار باقیمانده‌ها

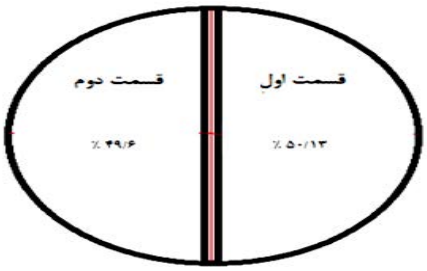
شکل (۹) نمایشی از عدم توازن جرمی بر روی فیلترهای خروجی را نشان می‌دهد که مقایسه این فیلترها با هم نشان می‌دهد که عدم توازن بسیار کوچک می‌باشد. در این شکل محور xها نمایش دهنده فاصله از مرکز فیلتر می‌باشد که برحسب متر بوده و محدوده آن از ۰/۰۸+ تا ۰/۰۸- متر است. محور yها نمایشگر عدم توزیع جرمی است.

همچنین نتیجه شبیه‌سازی صورت گرفته در این مقاله به‌طور تجربی در طرح فیلتر که در مرجع [۲۷] آمده، به‌کار گرفته شده است. در این کار نیز توزیع ذرات به‌صورت یکنواخت از قسمت ورودی دستگاه صورت گرفته است و در آخر تعداد کل ذرات جمع‌آوری شده بر روی فیلترها شمارش شده و با هم مقایسه گردیده است.

شکل (۱۰) نتیجه تجربی کار شبیه‌سازی را نشان می‌دهد که با نتایج به‌دست آمده در شبیه‌سازی قابل قیاس است. بدان معنی که، ذرات جمع‌آوری شده در دو قسمت فیلتر تقریباً معادل با یکدیگر می‌باشند.



شکل ۹. نمایش توزیع جرمی ذرات داغ بر روی فیلترها



شکل۱۰. نتیجه تجربی طرح فیلتر شبیه‌سازی[۲۷]

۴. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی

تعداد کل ذرات سیال و ذرات داغ	۷۶۰۰۱۰
تعداد کل ذرات داغ	۲۷۲۸
درصد ذرات داغ نسبت به سیال	٪۰/۳۵
تعداد ذرات گیر افتاده توسط فیلتر	۱۹۶۵
تعداد ذرات معلق در نمونه بردار	۶۷۱
تعداد ذرات داغ خارج شده از نمونه بردار	۹۲

بخش از فیلتر	قسمت A	قسمت B
تعداد ذرات گیرافتاده روی هر فیلتر	۹۹۸	۹۶۷
در صد ذرات داغ گیر افتاده در هر فیلتر	٪۵۰/۷۸	٪۴۹/۲۱

با توجه به نتایج حاصله این امکان وجود دارد که فیلترها و حجم نمونه بردار مورد استفاده به‌گونه‌ای تغییر داده شود تا امکان تولید دو فیلتر متشابه باشد که یکی از آنها نزد کشور مبدأ باقی بماند و دیگری به آزمایشگاه‌های سازمان CTBT انتقال یابد و آنالیزهای مربوطه بر روی آن انجام گیرد.

از طرفی با توجه به تردیدهایی که نسبت به عملکرد سیستم نظارتی بین‌المللی وجود دارد، اهمیت بومی‌سازی و همچنین تغییر طراحی این سیستم‌ها برای جلوگیری از این معایب اهمیت پیدا می‌کند. علاوه براین، نیاز به تولید و راه‌اندازی سیستم نمونه برداری جدیدی که بتوان به واسطه آن شرایطی را ایجاد کرد تا هنگام نمونه برداری از بخش‌های مدنظر سازمان CTBT، دو نسخه متشابه فراهم شود، تا در این صورت یک نسخه از آن نزد کشور مبدأ باقی مانده تا از سوء استفاده‌های احتمالی که ممکن است در آینده دولت مبدأ را دچار مشکل نماید، جلوگیری شود.

۵. مراجع

[1] Ghanbari, F. “Camouflage: Methods, Technologies and Materials”; Institute of Consulting Eng. Plan 2011.

[2] Cember, H. “Introduction to Health Physics from the Perspective of Radiology”; Mc Craw-Hill, Third Ed., 1996.

[3] Vincent, J. “Aerosol Sampling”; Univ. of Michigan, John Wiley & Sons Ltd, 2007.

[4] Hinds, W. C. “Aerosol Technology, Properties, Behavior, Measurement of Airborne Particles”; Second Ed., John Wiley & Sons Ltd, 1998.

[5] Padoani, F.; Karhu, P.; Medici, F.; Wernsperger, B.; Werzi, R. “Setting up and Implementation of a Global Atmospheric Radioactivity Monitoring Network for CTBT Verification Purposes”; J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry 2005, 263, 183-188.

[6] Soderstrom, C.; Arntsing, R.; Jansson, P.; Lindh, K. “Quarterly Report on Measurements of Radionuclides in Ground Level Air in Sweden”; FOI-R-1300-SE, ISSN 1650-1942, 2004.

[7] Saed, N. “Introduction to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT)”; J. Defence Policy 1999, 2, 29-30 (In Persian).

[8] Haghighi, A. “Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Inconsistent with the National Security of the Islamic Republic of Iran”; J. Defence Policy 1999, 2, 28-29 (In Persian).

[9] Cheng, Y. S.; Irshad, H. “An Aerosol Wind Tunnel for Evaluation of Massive-Flow Air Samplers and Calibration of Snow White Sampler”; Lovelace Respiratory Research Institute, Albuquerque, New Mexico, USA Texas A&M Univ., College Station, Texas, USA, 2011.

[10] “Research Projects of Stuk 2003 – 2005”; SiskoSalomaa (Ed.), Stuk-A202, January 2004.

[11] Technical Report, “Verifications Under the Terms of Article 35 of the Euratom Treaty”; Finnish National Monitoring Network For Environmental Radioactivity Republic of Finland, FI-07/02 19 to 23 March 2007.

[12] Chianella, M. “Radionuclide Monitoring Station System Design Document”; TL18095, 2003.

[13] Tang, H.; Dhari, A. “Introduction to Air Pollution and Air Quality Management”; Environment and Urban Development Division Kuwait Institute for Scientific Research, 2008.

[14] DOE 2.06 “Air Sampling Program/Methods Study Guide”; ICP 319 Rev, 2009, 1-21.

[15] Chianella, M. “Radionuclide Monitoring Station System Design Document”; TL18095, 1of IV,48, 2003.

[16] Arthur, R. J.; Miley, H. S.; Lindsay, C. “BE-7 Cross-talk in RASA Continuous Air Samplers”; 24th Seismic Research Review – Nuclear Explosion Monitoring: Innovation and Integration, 2008, 689-693.

[17] DehghaniSaeech, M. A. “Numerical Simulation Software Fluent 6.3”; Nagos Publications, Second Ed., 2010.

[18] ANSYS “FLUENT6.3 User’s Guide”, “FLUENT6.3 Tutorial Guide”, “Gambit-2.2-Tutorials”, 2006.

[19] Minin, I.; Voleg, V. “Computational Fluid Dynamics Technologies and Applications”; in Tech, Chapters published 2011.

[20] Versteeg, H.; Malalasekera, K. W. “An Introduction to Computational Fluid Dynamics”; Longman Sci. & Tech., 1995.

[21] Van Dyke, M. “An Album of Fluid Motion”; Stanford Univ., Stanford, California, 1988.

[22] Kalinowski, M. B.; Feichter, J.; Nikkinen, M.; Schlosser, C. “Environmental Sample Analysis”; Springer Berlin Heidelberg, 2007.

[23] CTBTO “International Monitoring System, Certification Report, ISP34, Reykjavik”; Iceland, 2003.

[24] CTBTO “Operational Manual for Radionuclide Monitoring and the International Exchange of Radionuclide Data”; Ctbt/Wgb/Tl-1/5/Rev.10, CTBTO Preparatory Commission, 2004.

[25] Ungar, K.; Zhang, W.; Aarnio, P.; Ala-Heikkila, J.; Toivonen, H.; Siiskonen, T.; Isolankila, A.; Kuusi, A.; Moring, M.; Nikkinen, M. “Automation of Analysis of Airborne Radionuclides Observed in Canadian CTBT Radiological Monitoring Networks Using LINSSI”; J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007, 272, 285-291.

[26] Zahringer, M.; Bieringer, J.; Schlosser, C. “Three Years of Operational Experience from Schauinsland CTBT Monitoring Station”, J. Environ. Radioactivity 2008, 99, 2.

[27] Ahmadi, M. “The Effect of Hot Particles on Parallel Filters Sampled and its Effect on the Measurement”; Ph.D. Thesis; Imam Hossein Univ., 2012.