ISSN: YAY1-10VX

htpps://www.jasd.khadu.ir

Journal of Aerospace Defense

Volume ^r. Issue [£] Winter

P.P. 1.1-1".

Research Paper;

Investigation of the release and uptake of human-derived radionuclides from the stabilized waste cloud resulting from the nuclear bomb explosion in central Iran

Zahra Dehghan Bahabadi', Saeed Ghorbani Sehat '

1. Master's student, Radiation Health, Faculty of Health, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran Email: zdehghanb^{*}··^v@gmail.com

^Y. Master's degree in Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran Email: saead.gh@gmail.com

Article Information

т

Abstract

This study investigates the emission of radioactive contaminants and the Accepted: 2024/09/06 dose received from a hypothetical nuclear bomb explosion in central Iran using HYSPLIT and GDAS data without considering chemical reactions. **Recceived:** The results showed that the direction of emission and deposition of 2025/04/15 radioactive nuclei is mainly northeast and to a lesser extent southeast of the Keywords: explosion site, and the spread of radioactive materials reaches about $\gamma \cdot \cdot km$ from the explosion site V hours after the explosion, and Yazd province. HYSPLIT, southern areas of South Khorasan, and northern Kerman province are nuclear involved. Initially, the plume grows rapidly and reaches an altitude of o... contaminants, meters. Over time, the height of the particles decreases and they deposit atmospheric dispersion, more, and the maximum concentration of particle deposition is greater than atomic bomb their emission concentration, and the maximum concentration and deposition of particles is in the northeast of the explosion site, about $\gamma \cdot \cdot$ km from it, where the dose received by humans reaches more than *\...* millisieverts. Also, the total dose received by people on the ground at an altitude of • meters is greater than the total dose received at an altitude of \cdot to \cdots Correspondin meters. Over time, the concentration of the atomic cloud decreases, and as a g Author: result, the dose received by people also decreases. The dose received by Zahra people is often much higher than the permissible limit set by the Dehghan International Commission on Radiological Protection (ICRP). In terms of Bahabadi Email: radioactivity, a small number of areas were found to be in the controlled area zdehghanb20 and most were in the prohibited area. This research emphasizes the 07@gmail.co importance of predicting and modeling the spread of radioactive contaminants and shows that instantaneous atmospheric conditions have a great impact on the accuracy of predictions, and that the spread and deposition of particles and the dose distribution are strongly dependent on the climatic conditions of the region.

Zahra Dehghan Bahabadi, Saead Ghorbani Sehat, Investigating the amount of atmospheric transmission and distribution and deposition of radioactive pollutants in the radioactive waste cloud and the dose received by humans due to the nuclear bomb explosion in the central part of Iran. Journal of Aerospace Defense Y . Yo

ISSN: YATI-10	٧X	ł	ntpps://www.jasd.khadu.ir
	اع هوافضایی مارهٔ ۴ ۱۰۱-	فصلنامه علمی دف دورهٔ ۳، ش زمستا صص ۱۳۰	متعقدیه محوان هــــــــــــــــــــــــــــــــــــ
	•••• (مقاله پژوهشم	
ت شده ناشی از	افتی انسان از ابر یسماند تثبی	، آلاینده های پرتوزاودوزدری	بررسي ميزان انتشارونهشت
	، مرکز اد ان	انفحار يمت هسته اي د	
	ر بانی صحت ^۲	زهرادهقان بهابادی'،سعیدق	
	شهید صدوقی یزد،یزد ایرانرایانامه: .saead.gh@gm	نوها،دانشکده بهداشت،دانشگاه علوم پزشکی تی شاهرود،،شاهرود،ایران رایانامه: ail.com	۱. دانشجوی کارشناسی ارشد،بهداشت پر zdehghanb۲۰۰۷@gmail.com ۲. کارشناس ارشدژئوفیزیک،دانشگاه صنع
	چکیدہ		اطلاعات مقاله
انفجار بمب هستهای اکنش های شیمیایی	لایندههای پرتوزاودوز دریافتی ناشی از H وداده های GDASبدون بررسی و	این تحقیق به بررسی میزان انتشارآ فرضی در مرکز ایران با SPLIT	تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٦/۱٦
مده شمال شرقی و پس انفجارحدود ۳۰۰ و شمال استان کرمان	بار ورسوب هستههای پرتوزا بهطور عد است و گسترش مواد پرتوزا ۱۲ ساعت ه یزد ونواحی جنوبی خراسان جنوبی و	میپردازد. نتایج نشان دادجهت انتش مقدارکمی جنوب شرقی محل انفجار کیلومتر ازمحل انفجارمیرسد واستان	تاریخ پذیرش: ۱٤+٤/۰۱ /۲۵
ئنت زمان، ارتفاع ذرات از مقدار غلظت انتشار	ندکرده وتاارتفاع ۵۰۰۰مترمیرسد. با گذن مقدار بیشینه غلظت رسوب ذرات بیشتر	درگیرمی شوند . درابتداتوده بشدت را کاهش یافته و بیشتر رسوب میکنندو آبیار	كليدواژهها:
حدود ۲۰۰ کیلومتر از همچنین، میزان دوز ر ارتفاع۰ تا ۱۰۰ متر راد نیز کاهش مییابد. کمیسیون بینالمللی	رات در مناطق شمال شرقی محل انعجار. ها به بیش از ۱۰۰ میلیسیورت می رسد ارتفاع۰ متر بیشتر از دوز کل دریافتی در کاهش یافته و در نتیجه دوز دریافتی افر بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط	انها است و بیشینه علطت و رسوب د آن است جایی که دوز دریافتی انسان کل دریافتی افراد روی سطح زمین در است. با گذشت زمان، غلظت ابر اتمی میزان دوز دریافتی افراد اکثرابسیار	، HYSPLIT آلاینده های هسته ای ، پخش جوی ، بمب اتمی
طق جزو ناحیه کنترل نی و مدلسازی نحوه ر تأثیر زیادی بر دقت هوایی منطقه وابسته	اشد. از نظر پرتوزایی، تعداد کمی از منا مت آمدند این تحقیق بر اهمیت پیش بی و نشان میدهد که شرایط جوی لحظهای ت و توزیع دوز به شدت به شرایط آب و	حفاظت در برابر اشعه (ICRP) می شده و اکثراجزو ناحیه ممنوعه به دس انتشار آلایندههای پرتوزا تأکید دارد و پیشبینیها داردوانتشار و رسوب ذراه است .	نویسنده مسئول: ز هر ادهقان بهابادی ایمیل: zdehghanb2007@gmail.com
ابر پسماند تثبیت	ا آلاینده های پرتوزاودوزدریافتی انسان از ع هوافضایی.۱۴۰۳	بانی صحت،بررسی میزان انتشارونهشت در مرکز ایران مجله علمی پژوهشی دفا	استناد : زهرا دهقان بهابادی،سعیدقر شده ناشی از انفجار بمب هسته ای

۱-مقدمه

انفجار بمب هستهای یکی از فاجعهبارترین رویدادهایی است که میتواند اثرات مخرب گستردهای بر محیط زیست و سلامت انسان داشته باشد. یکی از مهمترین پیام دهای چنین انفجاری، انتشار مواد پرتوزا در اتمسفرو پخش آن در مناطق وسیع است. ایـن مـواد پرتـوزا می توانند از طریق باد و بارش به مناطق دوردست منتقل شده و آلودگی رادیواکتیو گستردهای ایجاد کنند[(۱)]این موضوع در حال حاضر فراتر از مرزها رفته و به یک بحران جهانی تبدیل شده است که کشورها و ملتها را درگیر می کند . [(۲)] وقوع جنگهای اتمای و حوادث رآکتورهای اتمی در کشورهای ژاپن، آمریکا، فرانسه، برزیل، انگلیس، روسیه، اوکراین و ... منجر به یخش و انتشار مواد پرتوزای خطرناک در محیط زیست شده است [(۳)] پیش بینی و مدل سازی نحوه انتشار و پخش این آلایندههای پرتوزا در جـو از اهمیـت ویـژهای برخـوردار است . از سال ۱۹۷۰ با ورود اطلاعات ماهوارهای به جوامع ملی و دانشگاهی، یژوهش های متعددی در زمینه استفاده از دانش سنجش از دور و ردیابی مسیر انتشار این مواد انجام شده است [(۴)]یخش آلایندهها در هوا به انتقال آنها توسط باد و همچنین پخش همزمان ناشی از آشفتگیهای جوی و فرآیندهای تعدیل مانند فرسایش وابسته است. مـدلهای یخـش اتمسفری به طور کلی به سه دسته تقسیم می شوند: مدل گوسی، مـدل های مسـیر حرکت یا PUFF ((۳)] دو بعدی و مدل های سه بعدی [۵)]. نرمافزارهای متعددی برای شبیهسازی انتشار مواد پرتوزای ناشی از حوادث سلاحها و نیروگاههای هستهای وجود دارنـد. مـدل HYSPLITکه برای اولین بار توسط آزمایشگاه منابع هواییNOAAسال ۱۹۸۲ ایجاد و با همکاری اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافت، کاربردهای متنوعی شامل ردیابی و ييش بيني مسير آلايندهها، مسيريابي ذرات هوا، خاکسترهاي آتشفشاني، دود ناشي از آتشسوزیهای مخرب و پخش جوی مواد حاصل از حوادث هستهای و شیمیایی و همچنین شبیهسازی پراکندگی و تهنشینی آنها دارد. [(۳, ۶, ۷)]. و به عنوان یک مدل دورب. د. ب. ای مدل سازی حوادث و فوریتهای هستهای مناسب است [(۲)] روش محاسبه HYSPLIT ترکیبی از روش های لاگرانژی و اوپلری است که این دو روش به طور گستردهای برای شبیهسازی انتشار آلایندههای هوا مورد استفاده قرار گرفتهاند [(۴)]. در این مدل، پخش ذرات به صورت سهبعدی و گوسی انجام می شود. در پخش سهبعدی، آلاینده از منبع آغاز شده و در

واحدی برای شبیه سازی و ردیابی آلودگی ها در جو : PUFF ^۱

 $[\]ensuremath{^{v}}$ NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration

سه جهت یخش می شود. در یخش گوسی، منبع به عنوان یک دودکش نقطهای در نظر گرفته می شود و آلاینده به صورت گوسی منتشر شده و غلظـت پراکنـدگی هـوای آلـوده در یاییندست محاسبه می گردد[(۵, ۸)]. Moroze و همکاران با بررسی انتشار و رسوب مواد یرتوزای ناشی از آزمایش بمب هستهای در جزایر مارشال، به این نتیجه رسیدند که کمیت و کیفیت دادہ های هواشناسی، مهم ترین عوامل تأثیر گذار بر دقت پیش بینی مدل های شبیه سازی هستند و فاصله بین نقاط داده ای ورودی در شبکه، بر دقت محاسبات مدل اثرگذار است.نتایج این مدل با مدل های دیگرمقایسه شد که دربعضی مواردمشابه ودربعضی مواردمتفاوت بودندکه تفاوتها احتمالا به دلیل اختلاف داده های هواشناسی(باد) ذکرشده است Beck [(۸)] وهمکاران رسوب مواد پرتوزا ناشی از آزمایش های هستهای در جزایر مارشال را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان جذب مواد پرتوزا توسط انسانها با دادههای جمع آوری شده از مناطق آلوده و همچنین دادههای موسسه ملی سرطان همخوانی دارد[(۹)]. Vendele و همکاران به بررسی انتقال دوربرد ذرات حاوی اورانیوم و یلوتونیوم از محل آزمایشهای هستهای در قزاقستان به نروژ پرداختند. این پژوهش، انتقال دوربرد این ذرات تانروژ را تأیید کردو نتایج نشان داد که غلظت این ذرات در نمونههای جمعآوری شده در فصل های پاییز و زمستان نسبت به بهار و تابستان کمتر است. که این امر احتمالاً به دلیل تغییرات در شرایط جوی و فعالیتهای ترویوسفری در ماههای مختلف سال است.[(۱۰)] Rolfeوهمکاران به مدلسازی ریـزش ابرهـای هسـتهای تثبیتشـده ناشـی از۶ آزمـایشه هستهای انحام شده در سابت نوادا بین سال های ۱۹۵۱ تا ۱۹۵۷ باحذف ته نشست مرط وب ذرات (چون آزمایشهای نوادا طوری طراحی شدندکه وقتی باران نمبی بارد انجام شوند و رسوب مرطوب در شرایط بارندگی نقش مهمی میتواند داشته باشد و اغلب میتواند منجر به افزایش موضعی رادیواکتیویته شود) پرداختند. نتایج حاصل از این مدلسازی، بهویژه هنگامی که از مدل هواشناسی ۱ WRF استفاده شد، با دادههای هواشناسی موجود تطابق بسیار خوبی داشت و دقت بالایی را نشان داد.[(۱۱)]souheو همکاران به توسعه مدلی برای ردیابی مسیر انتشار مواد پرتوزا پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان میدهد که این مدل میتواند بهعنوان ابزاری اساسی برای شناسایی و بررسی فعالیتهای هستهای مخفی در کشورهای همسایه کره شمالی مورد استفاده قـرار گیـرد. [(۱۲)] Phylype وهمکـاران بـا بررسی پیامدهای آزمایش های هستهای اتمسفری در مناطق نیومکزیک و نوادای ایالات متحده، دریافتند که مواد رادیواکتیو حاصل از این انفجارها در بسیاری از موارد از مرزهای

کانادا و مکزیک عبور کرده و در برخی مناطق، به ویژه در رسوبات یک دریاچه، تراکم بالایی از پلوتونیوم مشاهده شده است. [(۱۳)]نعناکاروهمکاران با استفاده از شبیهسازی، به بررسی پخش مواد رادیواکتیو ناشی از انفجار انواع مختلف بمبهای هستهای پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش قدرت انفجار بمب هستهای، منجر به گسترش بیشتر منطقه آلوده به مواد رادیواکتیو میشود. [(۳)]**نعناکارم ه**مکاران به بررسی پتانسیل استفاده از سلاحهای هستهای کمبازده و تأثیر ارتفاع انفجار بر روی ریزشهای هستهای رخ میدهد، نقش سلاحهای هستهای کمبازده و تأثیر ارتفاع انفجار بر روی ریزشهای هستهای رخ میدهد، نقش بسیار مهمی در میزان و گستره آلودگی رادیواکتیو ناشی از ریزشهای هستهای دارد.[(۴۱)] نتایج این تحقیق نشان میدهد که ارتفاعی که در آن انفجار هستهای رخ میدهد، نقش بسیار مهمی در میزان و گستره آلودگی رادیواکتیو ناشی از ریزشهای هستهای دارد.[(۴۱)] نتایج این تحقیقات آنها نشان میدهد که مواد پرتوزا قبل از رسوب در یخچالهای طبیعی ژاپن، اقیانوس آرام، اروپا و آسیای مرکزی، مسافتهای طولانی را طی کرده و حتی به لایه استراتسفر جو زمین نیز رسیدهاند. [(۱۵)]هدف از این مطالعه، واکاوی نحوه انتقال و پخش میزان دوز دریافتی بر جمعیتهای انسانی است. این بررسی میتواند به درک بهتر خطرات بالقوه چنین رویدادی و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش آسیبهای احتمالی کمک کند .

۲.روش شناسی

در این پژوهش، سناریویی شبیه سازی شده که در آن انفجار یک بمب پلوتونیومی ۲۸. کیلوتنی در مرکز ایران (با مختصات جغرافیایی ۳۱.۰۰ درجه شمالی و ۵۴.۰۰ درجه شرقی) منجر به رهاسازی ۱۰۰۰ کیلوگرم مواد پرتوزا در محیط زیست شده است. در این بخش ۲ هدف عمده دنبال میشود . دراولین قدم میزان غلظت انتشار و ته نشست موادپرتوزا درارتفاع متا۱۰۰ متری ازسطح زمین وبرروی زمین ، سپس میزان دوز دریافتی توسط افراددرارتفاع ۲۰۱۰۰ متری ازسطح زمین وبروی سطح زمین محاسبه میشود . همچنین از تاثیر آلاینده ها برمحیط صرف نظر شده وتنها الگوی پاشندگی بررسی شده است . درهنگام وقوع چنین برمحیط صرف نظر شده وتنها الگوی پاشندگی بررسی شده است . درهنگام وقوع چنین موادثی ،برای پیش بینی دقیق نحوه پراکندگی آلودگی رادیواکتیو ، بحث فصول ومیانگین شرایط هواشناختی ماههای هرفصل مطرح نیست بلکه روز و ساعت دقیق وقوع حادثه مهم و گسترش آلودگی رادیواکتیو دارند. [(۴)]. برای محاسبه میزان غلظت و ته نشست مواد پرتوزا و دوز دریافتی افراد مدل HYSPLIT نسخه ۴ به کار گرفته شده است . (۴, ۶۲, محاسبه Hyspito ایران الودگی به صوری این محاسبه میزان زاد گرفته شده است . (۴, ۶۴, ۲۰)]کلمهhybideدر TLSPLi میکندر صورتیکه برای محاسبا میزان علظت و مو ما مروز محاسبه الاکالان به میزاد مدل محرد این این محاسبه میزان ملطت و مور است . (۴, ۶۲, ۲۰)] کلمهلی الودگی رادیواکتیو دارند. [۲] صورت ذره رفتارمیکند .[(۱۸)]پارامترهای گوناگونی برای شبیه سازی در مدل HYSPLIT اعم از داده های هواشناسی ، ته نشست خشک ، تـه نشست مرطوب ، بازتعلیق ذرات تـه نشست شده ، چگالی ، شکل ، قطر ونیمه عمر ذرات ، موردنیازاست . در این پژوهش از دادههای هواشناسی IGDAS با مختصات مکانی یک درجه و شرایط فشاری ایزوبار استفاده شده است . شبکه مدل سازی با تفکیک مکانی ۳۰ درجه و مرکز آن استان یزدباطول وعرض جغرافیایی۳۱.۹۰۵۵۴۱۵و۵۴.۳۲۷۳۹۲۶ در نظر گرفته شده است. پس از گذشت چندین روز تعدادبسیارزیادی ازهسته های پرتوزا بدلیل نیمه عمر پایین خـود از بـین خواهند رفت وتنهاعناصري بانيمه عمربالا درفواصل بسياردورازچشمه تاثير گذارخواهندبود بنابراین این مدل برای شبیه سازی ۱۲ ساعت ابتدایی روز اول ماه می سال ۲۰۲۳ اجرا شده است.برای تخمین حدودی میزان انتشار ایزوتوپ های رادیواکتیو ازیک بمب اتمبی میتوان ازتخمین های کلی و داده های موجود استفاده کرد . گرچه این مقادیرمیتواند بسته به شرایط مختلف متفاوت باشد ولی بطورکلی تخمین زده میشود از یک بمب هسته ای باقدرت۲۵۵کیلوتن چنددرصدمعین از جبرم کیل بمب سه هرکیدام از ایزوتوپهای رادیواکتیوتبدیل میشود که بااستفاده از فرمولهای ریاضی موجود میزان انتشار هرکدام از آلاينده هابرحسب بكرل برساعت تعيين ميشوند . نتايج شبيهسازي غلظت انتشار و رسوب مواد پرتوزا و دوز دریافتی افراد در ارتفاعهای صفر و ۲۰ ۱۰۰ متری از سطح زمین را بـرآورد می کند. برای مدل سازی سریع ریزش اتمی، بجای محاسبه تکامل پیچیده ابر،تعیین دقیـق ویژگیهای ابر هستهای پس از تثبیت آن ضروری است. [۳)]درشکل ۱ شمایی ازابرحاصل ازانفجاريمب اتمى ١٠ كيلوتني آورده شده است . ناحيه سايه دار لايه هـايي رانشـان ميدهدكـه كلاهك ابررامشخص ميكند .



شکل(۱) شماتیک ابراتمی حاصل انفجاربمب ۱۰ کیلوتنی[(۱۱)]

ابر هسته ای زمانی تثبیت میشود که دمای آن بادمای هوای مجاورش به تعادل برسد . در این هنگام رشد عمودی ابرمتوقف میشود .ذرات هسته ای بطورمستقیم توسط واکنش شکافت خارج شده و بر اساس اندازه ،شکل وچگالی ذره درجو سقوط میکنند .در این مطالعه، برای ساده کردن ابر هسته ای تثبیت شده به شکل یک استوانه فرض و به ۶ لایه (دیسک) تقسیم شده است . این تکنیک پیش بینی بر اساس دستورالعمل ۱۲ (۲۰۱۲) NATO تعریف شده است . ضخامت وارتفاع هرلایه به بازده هسته ای بمب بستگی دارد .

		()]	.0	1 .	0.0	• • • • •	10	1.	· ()	/0]
بازدہ(کیل	<=	<=	<=1	<=1	۲=>	۲=>	<=٣	<=٣	۲ =۲	<=٤
وتن)	۲.۵	۷.۵	۲.۵	۷.۵	۲.۵	۵.۷	۵.۲	۷.۵	۲.۵	۵۰
س_طح	۳۷۰۰	۶۳۰۰	۸۲۰۰	۹۲۰۰	۱۰۸۰۰	117	118	119	177	۱۲۵۰
۷(مىر)										•
سطح	8185	5426	7188	۸۵۳۲	۹۵۳۲	۹۹۰۰	1.777	1.0	1.188	11
ع(متر)										•
س_طح	7088	4087	۶۱۳۰	7788	۸۲۶۶	٨۶٠٠	899,1	٩١٠٠	٩٣٣٣	۹۵۰۰
۵(متر)										
ســـطح	7	۳۷۰۰	۵۱۰۰	87	γ	۷۳۰۰	۷۵۰۰	۷۷۰۰	۷۹۰۰	٨
۴(متر)										
ســـطح	1866	7499	34	4177	4999	4768	۵۰۰۰	۵۱۳۲	5775	۵۳۳۲
۳(متر)										
سطح	88Y	۱۲۳۳	۱۲۰۰	7088	۲۳۳۳	۲۴۳۳	۲۵۰۰	2088	7577	7888
۲(متر)										
س <u>طح</u> ۱(متر)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

جدول (۱) مشخصات ابر حاصل ازانفجار بمب های اتمی بااندازه های مختلف[(۱۱)]

همچنین فرض شده است که تمام ذرات از یک خط عمودی از طریق مرکز بجای کل قطر ابر آزدامیشوند این فرض طبق مقاله Rolfe وهمکاران ثابت کرده نبایدبطور قابل توجهی برنتایج تاثیربگذارد . [(۱۱)]برای توصیف هر لایه، ۱۴ نوع ذره با اندازههای مختلف در نظر گرفته شده است. این ذرات شامل یک نوع ذره نماینده گازهای نجیب و ۱۳ نـوع ذره پرتوزا با نیمهعمرهای متفاوت هستند. بافرض اینکه بخش عمده ای ازموادرادیواکتیوب ه ذرات خاک چسبیده اند، فرض شده است که ذرات شکل کروی داشته و چگالی آنها بـه طور متوسط ۲.۵ گرم بر سانتیمتر مکعب است[(۳)]. اندازه ذرات بین ۲۰ تا ۵۰۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. سرعت ته نشست ذرات بر اساس نـوع پوشش زمین و فرآیندهای درون وزیـر ابـری محاسـبه شـده است. درات بر اساس نـوع پوشش زمین و فرآیندهای درون مدلسازیهابسیارحساس ونامطمئن است . زیرااین پارامتر به تاثیرمتقابل بین پارامترهای مـدل شده و پوشش زمین حساس است که با زمان ومکان تغییرمیکند . رویکردته نشست خشـک شده و پوشش زمین حساس است که با زمان ومکان تغییرمیکند . رویکردته نشست خشک رویکردبسیارنامطمئن است . ایراین درایس نـوع یو به کارفته است . اگرچـه ایـن رویکردبسیارنامطمئن است امابطورگسترده درمدلهای سینوپتیک به کارمیرود . بـرای مناطق شهری، سرعت متوسط ته نشست خشک ۵۰۰۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است . اگرچه ایـن [(۱۸)]حذف ذرات خشک براساس سرعت ته نشینی گرانشی ذرات محاسبه میشود . برای تـه نشست مرطوب فرآیندهای درون وزیرابری مانند برخورد و چسبندگی ذرات به قطرات آب، با ضرایب۴+۴ و۵–۵۵ مدلسازی شدهاند. فرآینـد بـازتعلیق ذرات بـا ضـریب ۶–۱۶ وبـرای گازهای نجیب در نظر گرفته شده است وبه این معنی است که ازهریک میلیون ذره ای کـه درزمین مینشیندتنهایک ذره دوباره ازسطح زمین جداشده وواردهوامیگردد.[(۳)]بیشترداده هـا برای نرخ بازتعلیق بعد از مطالعه بر روی حادثه چرنوبیل به دست آمـده است . [(۱۸)]نیمـه عمرذرات در جدول۲تعیین گردید.

رديف	•	7	*	Š,	0	٢	~	~	4	. ("	11	11
ذر م پر توز ا	1.4.1	Batt	CSITT	Ruver	SrA9	Cett	Ruvi	Sr ⁴ ·	۲H	Putti	$C_S \iota r v$	C) t	ΡυΥέ · + ΥΥ٩
نیمه عمر	۲۰٬۸	۱۲, Adays	۱۳,۲days	۳۹,۴days	۰, °days	۲۸°days	۳٧٤days	۲۸,°year	۱۲,۲year	۲٤,٤year	r., vear	٥ ^٧ yea	107.yea rs
قطرذرات(•••	ro.	2 10	110	111/0	177,0	151/0	117,0	٥/٧٨	۷.	٥٧/٥	έo	۲.

جدول ۲ : نیمه عمرمواد پرتوزا در ابر حاصل از انفجار اتمی[(۳)]

برای مدلسازی دقیق ۳بعدی پراکندگی ذرات ناشی ازبمب هسته ای بدلیل زیادبودن ذرات نیازمندمحاسبات فراوانی است . از این رو اعمال یکسری قیود درقسمت تنظیمات پیشرفته نرم افزار ضروری است .[(۳)]دراین تحقیق به منظورشبیه سازی انتشارازرویکرد ذره ای ۳بعدی و PUFF برای رهاشدن درراستای عمودی وافقی استفاده شده ونرخ رهاشدن ذرات وبیشینه ذرات قابل تعریف درهرشبکه طبق راهنمای وب سایت HYSPLIT [(۱۹)]برای بمب هسته ای به ترتیب۵۵۰۰ و۲۰۰۰۰ مشخص شده که نشان دهنده این است هنگامی که تعدادذرات ازبیشینه آن بیشترشودقطع میگردد همچنین بازه زمانی ۳ساعته تنظیم شده است .[(۲)]

۳.نتایج و بحث



شــکل ۱ و۲ :میـدان بـادبرداری سـطحی بـرای تـاریخ شـروع سـاعت •روزاول مـی وپایـان ساعت۱۲روزاول می باشد.

در شکلهای ۳ تا ۶ انتشار و رسوب هستههای پرتوزا در منطقهای با طول و عرض جغرافیایی ۳۱.۰۰ و ۵۴.۰۰ درجه به تصویر کشیده شده است شکل۳ و۴ نشان میدهد که بیشینه غلظت انتشار و رسوب ذرات در مناطق شمال شرقی محل انفجار و در فاصلهای حدود ۲۰۰ کیلومتر از آن قرار دارد. مقایسه بین رسوب و غلظت ایزوتوپها نشان میدهد که پخش این مواد در هر دو حالت بیشتر به سمت شمال شرقی و تا حدودی به سمت جنوب شرقی انجام می شود.



شکل۳ :شبیه سازی انتشارموادهسته ای ناشی از بمب اتمی درارتفاع ۲۰۱۰متری از سطح زمین



شکل ۴ : شبیه سازی نهشت موادهسته ای ناشی از بمب اتمی برروی سطح زمین

اشکال ۵و۶ نشان میدهند که گسترش مواد پرتوزا ۱۲ ساعت پس از وقوع انفجار به نواحی حدود ۳۰۰ کیلومتر میرسد. به عبارت دیگردر این بازه زمانی، توده پرتوزا از محدوده استان یزد خارج میشود اما همچنان در داخل مرزهای کشور باقی میماند.



شکل۵: شبیه سازی انتشارموادهسته ای ناشی از بمب اتمی درارتفاع ۲۰۰۰متری ازسطح زمین درایران



شکل۶: شبیه سازی نهشت موادهسته ای ناشی از بمب اتمی برروی سطح زمین درایران

در حوادث هسته ای، مواد پرتوزا به دلیل دما و سرعت بالای انتشار، با ارتفاع مؤثر بیشتری در جو پراکنده می شوند. این افزایش ارتفاع تأثیر قابل توجهی بر توزیع مواد پرتوزا در اطراف محل انفجار دارد. به طور کلی هرچه ارتفاع مؤثر بیشتر باشد غلظت کل مواد پرتوزا در نـواحی اطراف محل حادثه کاهش می یابد. این نکته به ویژه در شرایط آب و هوایی مختلف(از جملـه جهت و سرعت باد)اهمیت پیدا می کند و می تواند نحوه پخش هسته های پرتوزا را تحت تأثیر قرار دهد[(۱۸)]. با توجه به تغییرات در جهت باد در فواصل مختلف، غلظت مواد کر وزا ممکن است در نواحی نزدیک به محل حادثه در ابتدا با افزایش فاصله از محل حادثه انـدکی افزایش یابد اما به طور کلی با فاصله گرفتن از محل حادثه، مقدار غلظت مواد کاهش می یابد. ممکن است در نواحی نزدیک به محل حادثه در ابتدا با افزایش فاصله از محل حادثه انـدکی محتلفی مختلفی که برای هر ناحیه تعیین شـدهاند، نمایـانگر مقـدار غلظت در آن ناحیـه افزایش یابد اما به طور کلی با فاصله گرفتن از محل حادثه، مقدار غلظت در آن ناحیـه رنگهای مختلفی که برای هر ناحیه تعیین شـدهاند، نمایـانگر مقـدار غلظـت در آن ناحیـه رنگهای مختلفی که برای هر ناحیه تعیین شـدهاند، نمایـانگر مقـدار منظـت در آن ناحیـه داده شده و کمترین مقدار غلظت رسوب بیش از ۱ بکرل بر مترمکعب با رنگ زرد نماین رداده شده و کمترین مقدار غلظت رسوب کمتر از ه-اکرل بر مترمربع به رنگ آبـی است. این مقادیر نشان دهنده تأثیرات جدی مواد پرتوزا بـر محـيط زيسـت و سـلامت سـاکنين در فاصلهای بین ۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر از محل حادثه می باشد.(شکل ۹۸)



شـــکل۷: غلظــت(Bq/m^۳)ناشــی از کــل هســته هــای پرتــوزای انتشــاریافته ازبمــب اتمــی درار تفاع ۲۰ ۱۰۰متری ازسطح زمین



شکل ۸ : غلظت(Bq/m^۲)ناشی از کل هسته های پرتوزای رسوب یافته ازبمب اتمی بـرروی سـطح زمین

شکلهای ۹و۱۰ مقطع عمود بر توده گرد و غبار را در وضعیت افقی و انتشار ذرات در بازههای ۳ ساعته پس از وقوع انفجار نشان میدهند. رنگ ذرات نمایانگر ارتفاع آنها است و طبق مقیاس رنگی، ارتفاع توده بین ۲ تا ۵۰۰۰ متر متغیر است. این شکلها به وضوح چگونگی پخش و گسترش مکانی ذرات را به تصویر میکشند. توده گرد و غبار با حرکت در راستای شمال شرقی و جنوب شرقی، نواحی اطراف را تحت تأثیر قرار داده است و بیشینه ارتفاع توده به ۵۰۰۰ متر با رنگ آبی نمایش داده شده است. در ساعت ۳ توده گرد و غبار تقریباً ۱۰۰ کیلومتر در جهت طول و ۵۰ کیلومتر در جهت عرض به سمت شمال شرقی پیشرفت کرده و تا ارتفاع ۲۰۰۰ متر با رنگ آبی کمرنگ و ذرات پراکندهای به ارتفاع ۲۰۰۰ متر با رنگ سیاه، تقریباً ۱۰ کیلومتر در طول و عرض در جهت عرض به سمت شمال شرقی مشاهده میشود. پس از گذشت ۳ ساعت و در ساعت ۶ توده گرد و غبار کیلومتر در طول و ۱۰۰ کیلومتر در عول در میهت عرض به ارتفاع ۲۰۰۰ متر با رنگ سیاه، تقریباً ۱۰ کیلومتر در عول و عرض در جهت جنوب شرقی ازمخل انفجار کیلومتر در طول و ۱۰۰ کیلومتر در عول و می می شال شرقی گسترش یافته و همچنان تا مشاهده میشود. پس از گذشت ۳ ساعت و در ساعت ۶ توده گرد و غبار به حدود ۱۵۰ کیلومتر در طول و ۱۰۰ کیلومتر در عول به سمت شمال شرقی گسترش یافته و همچنان تا مرابا رنگ سیاه، در حدود ۴۰ کیلومتر در جهت عرف مرد ی به ارتفاع ۲۰۰۰ کیلومتر در طول و ۲۰۰ کیلومتر در عرف به سمت شمال شرقی گسترش یافته و همچنان تا مرابا رنگ سیاه در حدود ۴۰ کیلومتر در جهت طول و ۶۰ کیلومتر در جهت عرض



شکل ۹: سطح مقطع عمودبر توده گردوغباراتمی درساعت ۳ روزاول می باشد.



شکل ۱۰ : سطح مقطع عمود برتوده گردوغباراتمی درساعت ۲ روزاول می باشد.

با توجه به شکل ۱۱و۱۲ مشاهده می شود توده گرد و غبار در ساعت ۹ صبح حدود ۲۰۰ کیلومتر در جهت طول و ۱۲۰ کیلومتر در جهت عرض به سمت شمال شرقی گسترش یافته است . این توده به طور کلی تا حدود ۲۰۰ کیلومتر در مسافت افقی توسعه یافته و ۶۰ کیلومتر در طول و ۶۰ کیلومتر در عرض جغرافیایی می باشد. . در ساعت ۱۲ توده گرد و غبار به حدود ۳۰۰ کیلومتر در عرض و ۲۰۰ کیلومتر در طول در جهت شمال شرقی گسترش یافته و در جهت جنوب شرقی نیز به طول ۱۵۰ کیلومتر و عرض ۸۰ کیلومتر توسعه یافته است . با توجه به مقیاس رنگی به کاررفته با گذشت زمان مشاهده می شود که ارتفاع ذرات به طور تدریجی کاهش یافته و بیشتر ذرات در ارتفاع ۰ تا ۲۰۰۰ متر با رنگ سیاه رسوب کردهاند. این تغییرات در ارتفاع نشان دهنده فرآیندهای رسوب گذاری و کاهش تحرک ذرات در جو در اثر جاذبه زمین و عوامل دیگر است. ایـن نتایج همچنین بـر اهمیت توجه بـه الگوهای رسوب و توزیع مواد معلق در جو تأکید می کند.



شکل ۱۱ : سطح مقطع عمودبرتوده گردوغباراتمی درساعت ۹روزاول می باشد.



شکل ۱۲ : سطح مقطع عمودبرتوده گردوغباراتمی درساعت ۱۲روزاول می باشد.

با توجه به اینکه فرآیند انتشار و حل مواد در این مدل به صورت ذره ای و سه بعدی صورت می گیرد، امکان نمایش خروجی مدل در راستای قائم وجود دارد. [(۷)]ایـن نمایش می توانـد به گونه ای باشد که در دو راستای عرض جغرافیایی (برش شمال به جنوب) و طول جغرافیایی (برش شرق به غرب) ارتفاع توده ذرات به دست آید. شکلهای ۱۳تا ۲۴ به ترتیب وضعیت قرار گیری ارتفاعی انتشار ذرات را در روز اول و در بازه های ۳ ساعته پس از وقوع انفجار نشان می دهند. در آغاز حرکت، توده گرد و غبار به سرعت رشد کرده و به ارتفاع حدود ۵۰۰۰ متر با رنگ قرمز می رسد. در ساعتهای ۳ و ۶ بعد از انفجار، توده گرد و غبار به سمت جنوب شرقی حرکت کرده و به تدریج ارتفاع ذرات کاهش یافته است. ایـن کاهش ارتفاع می تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند جاذبه زمین، فرآینـدهای رسـوب گذاری و همچنین تغییرات در شرایط جوی مانند تغییر در سرعت و جهت باد باشد .



شکل ۱۳ : وضعیت قرار گیری ارتفاعی تـوده گردوغبـار اتمـی درسـاعت۳ روزاول مـاه مـی درد و محورطولی و عرضی جغرافیایی



شکل ۱٤ : وضعیت قرارگیری ارتفاعی توده گردوغباراتمی درساعت ۲ روزاول ماه مـی در دو محـور طولی و عرضی جغرافیایی

با گذشت زمان و در ساعات ۹ و ۱۲ توده گرد و غبار به سمت شمال شرقی حرکت کرده و ارتفاع ذرات بهطور قابل توجهی کاهش یافته است. بیشتر ذرات در ارتفاع ۲۰ تا ۲۰۰۰ متر با رنگ سیاه قرار گرفته و رسوب کردهاند. با این حال کل ارتفاع توده همچنان در بازه ۲۰ تا ۵۰۰۰ متر باقی مانده است. شکل (۱۵) وضعیت قرارگیری ارتفاعی توده گرد و غبار را در ساعت ۹ روز اول ماه می در دو محور طولی و عرضی جغرافیایی نمایش میدهد. این شکل نمایانگر گسترش اولیه توده و توزیع عمودی آن در جو را نشان می دهد. شکل (۱۶) نیز وضعیت قرارگیری ارتفاعی توده گرد و غبار را در ساعت ۱۲ روز اول ماه می در دو محور طولی و عرضی جغرافیایی نشان میدهد. در این شکل، تغییرات در ارتفاع و حرکت توده به سمت شمال شرقی به وضوح قابل مشاهده است .



شکل ۱۵ : وضعیت قرارگیری ارتفاعی توده گردوغباراتمی درساعت ۹ روز اول ماه مـی دردو محـور طولی وعرضی جغرافیایی



شکل ۱٦ : وضعیت قرارگیری ارتفاعی توده گردوغباراتمی د رساعت ۱۲روز اول ماه می در دو محور طولی و عرضی جغرافیایی

شکل (۱۷) میزان دوز دریافتی افراد را در ارتفاع ۲ تا ۱۰۰ متر و شکل(۱۸)میزان دوز دریافتی افراد را در سطح زمین ۱۲ ساعت پس از وقوع انفجار نشان میدهد. درهردوم ورد بیشترین مقدار دوز دریافتی در مناطق شمال شرقی محل وقوع انفجار مشاهده می شود. رنگ هر ناحیه و منطقه نمایانگر میزان دوز کل دریافتی در آن منطقه است. نتایج نشان میدهد ته نشینی مواد پرتوزا تأثیر بیشتری نسبت به غلظت مواد در دوزگیری افراد دارد .در هر دو ارتفاع، مقدار بیشینه دوز دریافتی بیش از ۱۰۰ میلی سیورت با رنگ قرمز در جهت شمال شرقی منطقه است. در مقابل کمترین مقدار دوز دریافتی کمتر از ۰.۱ میلی سیورت با رنگ آبی در جهت جنوب شرقی منطقه است. مقادیر دوز به دست آمده نشان دهنده این واقعیت است که این حادثه برای ساکنین این مناطق یک تهدید جدی به شمار می رود و به ویژه ساکنین شمال شرقی محل وقوع حادثه بیشترین تأثیر را از این رویداد خواهند پذیرفت.



شکل ۱۷: نحوه توزیع دوز کل درارتفاع ۲۰۱۰متری ازسطح زمین درسناریوی انفجاربمب اتمی



شکل ۱۸ : نحوه توزیع دوز کل درروی سطح زمین درسناریوی انفجاربمب اتمی

شکلهای ۱۹و۲۰مسیر کلی انتقال و حرکت توده گرد و غبار را ۱۲ ساعت پس از انتشار نشان میدهند. طبق این اشکال، حرکت توده تحت تأثیر جهت باد و سامانههای فشاری در راستای شمال شرقی و جنوب شرقی صورت گرفته است . در این اشکال، مسیر توده در ۷ سطح فشاری مختلف شامل ۸۲۲، ۸۷۵، ۷۰۶، ۵۹۱، ۶۰۷، ۵۶۴ و ۵۲۲ هکتوپاسکال مشخص شده است. هر یک از این سطوح فشاری با رنگهای مختلف مانند قرمز، آبی، سبز، آبی کمرنگ، صورتی، زرد و بنفش نمایش داده شدهاند. این رنگها بهصورتی طراحی شدهاند که به وضوح مسیر حرکت توده را در سطوح مختلف فشار جو نمایان کنند[(٤)].



شکل ۱۹ : مسیرانتقال وجابجایی مواد هسته ای ناشی ازبمب اتمی



شکل ۲۰ : مسیرانتقال و جابجایی مواد هسته ای ناشی از بمب اتمی درایران

شکل(۲۱) تصویر ماهوارهای پخش مواد پرتوزا را نمایش میدهد و این تصویر امکان پایش انتشار ذرات را بر روی زمین فراهم میکند. استفاده از تصاویر ماهوارهای به عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت بحران و ارزیابی خطرات زیستمحیطی، میتواند به بهبود واکنش به حوادث هستهای و دیگر رویدادهای مشابه کمک کند.



شکل(۲۱) الف) نقشه ماهواره ای منطقه شبیه سازی شده ب) نقشه جهانی منطقه شبیه سازی شده

نتایج شبیه سازی پخش جوی و رسوب ذرات و دوز دریافتی افراد در این سناریو نشان می دهد که جهت حرکت توده گرد و غباراتمی و انتشار و رسوب ذرات ۱۲ ساعت پس از وقوع حادثه بیشتر به سمت شمال شرقی و اندکی به سمت جنوب شرقی محل حادثه است . با گذشت زمان، ارتفاع ذرات کاهش یافته و بیشتر آنها رسوب می کنند به طوری که مقدار بیشینه غلظت رسوب ذرات بیشتر از مقدار غلظت انتشار آنها است. همچنین میزان دوز کل دریافتی افراد بر روی سطح زمین بیشتر از دوز کل دریافتی در ارتفاع ۲۰ متر است. با گذشت زمان، غلظت ابر اتمی کاهش یافته و در نتیجه دوز دریافتی افراد نیز کاهش می یابد و انتشار و رسوب ذرات و توزیع دوز به شدت به شرایط آب و هوایی منطقه وابسته است. میزان دوز دریافتی افراد در اکثر نواحی بسیار بیشتر از حد مجاز تعیین شده توسط کمیسیون بین المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) می باشد. حد مجاز بر طبق ICRP برای افراد جامعه ۵ میلی سیورت در سال است[(۱۸]. از نظر پرتوزایی، تعداد کمی از مناطق جزو ناحیه کنترل شده و اکثر مناطق جزو ناحیه ممنوعه به دست آمدند.

دوزدریافتی (mSv)		دوزدریافتی(mSv)		(bq/m	نهشت(۲	(bq/m٣)	پاشندگی	زمان(ساعت)		
	•تا ۱۰۰متر	سطح زمين		۱۰۰–۰متر		۱۰۰–۰متر				
MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN			
E+11	V,1E-1.1	۳.۱E+۱۱	8.8E-11	۵.٨Ε+۱	V.VE-77	۵.۰Ε+۰۰	۱.۰E-۶	۱۲ساعت		
	١.									

جدول (۳)نتایج نهایی شبیه سازی

۴.بحث و نتیجهگیری

این مطالعه به بررسی انتشار و پخش جوی ونهشت آلایندههای پرتوزا ومیزان دوز کل دریافتی ناشی از انفجار یک بمب هسته ای فرضی در مرکز ایران بااستفاده از کدمحیطی HYSPLIT پرداخته است. شبیه سازی ها نشان داد که مواد پرتوزای زیادی به سرعت از محل انفجار خارج شده وتا حدود ۳۰۰ کیلومتراز محل انفجار گسترش داشتند و مسافتهای قابل توجهی را به سمت شمال شرقی واندکی به سمت جنوب شرقی طی میکنند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین غلظت انتشار و رسوب مواد پرتوزا در نواحی شمال شرقی محل انفجار و در فاصله ای حدود ۲۰۰ کیلومتر از آن قرار دارد. این یافته ها نشان دهنده الگوی انفجار و در فاصله ای حدود ۲۰۰ کیلومتر از آن قرار دارد. این یافته ا نشان دوز دریافتی مرکتی مشخصی است که ممکن است در زمان واقعی نیز مشاهده شود. تحلیل دوز دریافتی انسانها در ارتفاعه ای مختلف (۰ تا ۱۰۰ متر) نشان داد که در مناطقی با بالاترین غلظت مواد پرتوزا، دوز دریافتی به بیش از ۱۰۰ میلی سیورت رسیده است . این مقدار دوز میتواند عواقب جدی برای سلامت داشته باشد. با توجه به اینکه محل انفجارمنطقه شهری است ، ضرورت ایجاد برنامههای فوری برای ارزیابی و مدیریت خطرات به وضوح محسوس است. مدل HYSPLIT به عنوان یک ابزار کلیدی در شبیه سازی و پیش بینی نحوه انتشار مواد پرتوزا عمل کرده است. این مدل با ترکیب روش های لاگرانژی و اویلری، توانسته است دقت بالایی در ارزیابی مسیر و غلظت آلاینده ها بصورتmaximum و maximum ارائه دهد. برای صحه گذاری الگوی پاشندگی بدست آمده ازاجرای مدل HYSPLIT بهتراست ازروشهای اندازه گیری دقیق تری ماننداستفاده ازمواد فلورسنت ورهاسازی آنها در محیط باآهنگ مشخص جهت تعیین میزان غلظت آلاینده ها در نقاط شبکه موردبررسی استفاده شود. بااین کار صحه گذاری الگوی پاشندگی بجای کیفی بصورت کمی صورت گرفته و عدم شود. بااین کار صحه گذاری الگوی پاشندگی بجای کیفی بصورت کمی صورت گرفته و عدم شود. بااین کار صحه گذاری الگوی پاشندگی بجای کیفی بصورت کمی صورت گرفته و عدم ماهیت های حاصله قابل محاسبه خواهند بود .[(۱۸)]نتایج این مطالعه نشان میدهد که داده های دقیق جوی و شرایط آبوهوایی لحظهای برای بهبود دقت پیش بینی ها ضروری می گذارد. آلودگی خاک و آب های زیرزمینی، و همچنین تأثیرات درازمدت بر تنوع زیستی از جمله عواقب احتمالی چنین حوادثی است. این مطالعه تأکید می کند که باید مطالعات بیشتری در زمینه تأثیرات زیست محیطی به عمل آید تا بتوان به درک بهتری از پیامدهای ناشی از در زمینه تأثیرات زیست محیطی به عمل آید تا بتوان به درک بهتری از پیامدهای ناشی از دانتشار مواد پرتوزا رسید و راهکارهایی برای به حداق رساندن این تأثیرات ارائه داد.

۵-تشکر و قدردانی

در این قسمت نویسندگان می توانند در صورت لزوم مراتب تشکر و قدردانی خود را از حامیان تحقیق که به صورت غیرمستقیم در پیشبرد آن نقش داشتهاند، بیان کنند.

6-تعارض منافع

نویسنده(گان) اعلام می دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل دادهها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

۷–دسترسی آزاد این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هـر شـکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را میدهد.

۸-منابع

- ۱. رضا و, محمدعماد عخ, سیدامیرحسین ف. بررسی پخش اتمسفری تشعشعات پرتوزای در سناریوی عملکرد عادی راکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از نرم افزار 2015 HYSPLIT.
- ۲. فهیمه م, سمیه ک, مریم ا. ردیابی منابع گرد و غبار در سطوح مختلف جو تهران با استفاده از مدل HYSPLIT. 2016
- ۳. تيغ حنف. HYSPLIT شبيه سازى پخش موادراديواكتيوناشي از بمب هاى هسته اى بانرم افزار.
 فصلنامه علمى((دفاع هوافضايي)). ۱۴۰۱.
- ۲. کاویانی, معماریان, کلانتری ا. شبیه سازی انتقال، پخش جوی و نهشت آلاینده های هسته ای رها شده از یک حادثهٔ فرضی در نیروگاه بوشهر. فیزیک زمین و فضا. ۲۷ ۲۰۱۲(۳):۶۳۵-۵۰.
- ۵. زاده د, مهدوی, نوروزی, غلامی, حلیساز, ارشک. بررسی مسیرهای انتشار گرد و غبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT مهندسی و مدیریت آبخیز. ۲۰۲۱(۲):۲۴-۴۴.
 ۶. محمودآبادی اسسهز. شبیه سازی پراکنش آلاینده Cs137ازدودکش رآکتورتحقیقاتی تهران درشرایط حادثه با استفاده ازنرم افزار HYSPLIT پژوهش های محیط زیست وکشاورزی ایران, ۱۳۹۴.
- علیرضااصلمند. شبیه سای مسیرهای گردوغباری برفرازایران. ۱۳۹۱. ۷.
- A. Moroz BE, Beck HL, Bouville A, Simon SL. Predictions of dispersion and deposition of fallout from nuclear testing using the NOAA-HYSPLIT meteorological model. Health physics. 2010;99(2):252-69.
- Beck HL, Bouville A, Moroz BE, Simon SL. Fallout deposition in the Marshall Islands from Bikini and Enewetak nuclear weapons tests. Health physics. 2010;99(2):124-42.
- 1. Wendel CC, Fifield LK, Oughton DH, Lind OC, Skipperud L, Bartnicki J, et al. Long-range tropospheric transport of uranium and plutonium weapons fallout from Semipalatinsk nuclear test site to Norway. Environment International. 2013;59:92-102.
- 11.Rolph G, Ngan F, Draxler R. Modeling the fallout from stabilized nuclear clouds using the HYSPLIT atmospheric dispersion model. Journal of environmental radioactivity. 2014;136:41-55.

- 17. Suh K-S, Park K, Min B-I, Kim S, Jung Y. Development of the trajectory model for tracking release area of the radioactive materials. 2015.
- IT. Philippe S, Alzner S, Compo GP, Grimshaw M, Smith M. Fallout from US atmospheric nuclear tests in New Mexico and Nevada (1945-1957).: TT-V11-F-. T-TT.
- 14. Lisowski E. Potential Use of Low-Yield Nuclear Weapons in a Korean Context. Journal for Peace and Nuclear Disarmament. 2022;5:85-1...
- 12. Yao T, Thompson LG, Davis ME, Xu B, Wu G, Liang S, et al. Westerly drives long-distance transport of radionuclides from nuclear events to glaciers in the Third Pole. Journal of Environmental Radioactivity. 2022;255:107016.

- آبروش, صادق, محمدخان, ثروتی, قهرودی. مسیر یابی و بررسی روند حرکت منابع تولید گرد ۱۷. (مطالعه موردی: شرق HYSPLITوغبار در شکل گیری تپه های ماسه ای با استفاده از مدل استان قم، ماسه زار جلالی). نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری. ۲۰۲۱;۲۰۲۲-۸۶.
- درشرایط بهره MWیوسفی پش. بررسی پخش موادرادیواکتیوازیک رآکتورهسته ای فرضی۱۸.۵ برداری عادی وبعدازوقوع حادثه درسطح شهرتهران. ۱۳۹۲. ۱۹.https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php.