



## فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

دوره ۱، شماره ۳، آذر ۱۴۰۱

عنوان مقالات

### مقاله پژوهشی

## شبیه‌سازی پخش مواد رادیواکتیو ناشی از بمب‌های هسته‌ای با نرم‌افزار

### HYSPLIT

حسن نعناکار<sup>۱</sup>، فرهاد جهان تیغ<sup>۲</sup>

۱- استادیار فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، تهران، ایران

۲- استادیار فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، تهران، ایران

#### چکیده

امروزه تروریسم تهدید جدی برای تمامی جوامع محسوب می‌شود. دستیابی این گروه‌ها به سلاح‌های اتمی امنیت جهانی را دچار مشکلات اساسی خواهد نمود. از این رو بررسی روش‌های پدافند غیرعامل هسته‌ای در برابر حملات اتمی و پیش‌بینی جهت انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از آن می‌تواند آمادگی جامعه را در برابر این‌گونه حملات افزایش داده و جان بسیاری از انسان‌ها را نجات دهد. نرم‌افزارهای فراوانی به منظور شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از سلاح‌های اتمی و حوادث نیروگاه‌های هسته‌ای به وجود آمده‌اند. مدل **HYSPLIT** یکی از کارآمدترین مدل‌ها در این زمینه می‌باشد. این مدل قابلیت شبیه‌سازی با داده‌های هواشناسی مراکز مختلف را داراست. در این تحقیق از این مدل به همراه داده‌های هواشناسی (GDAS) برای شبیه‌سازی جهت انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از انفجار بمب‌های اتمی با اندازه‌های مختلف در منطقه واقع در شمال ایران استفاده شده است. در این شبیه‌سازی فرض شده است که ابر اتمی حاصل از انفجار، از ۱۳ ذره با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که مدل مورد نظر به خوبی قادر به شبیه‌سازی جهت انتشار می‌باشد و افزایش در اندازه بمب باعث افزایش فاصله‌ی انتشار می‌گردد و تأثیری در جهت انتشار ندارد. همچنین شبیه‌سازی بمب‌های کوچک نتایج پیوسته‌تری را به دست می‌دهد.

#### اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

#### کلمات کلیدی:

HYSPLIT، انتشار، مواد رادیواکتیو، بمب اتمی، پدافند هسته‌ای.



نویسنده مسئول:

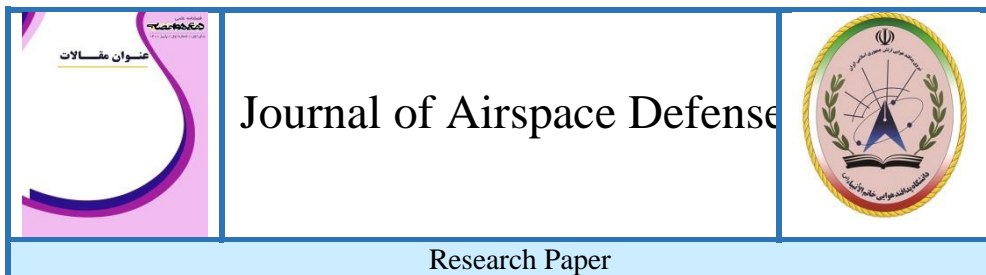
حسن نعناکار

ایمیل:

h\_nanakar2006@yahoo.com

**استناد به مقاله:** حسن نعناکار، فرهاد جهان تیغ، شبیه‌سازی پخش مواد رادیواکتیو ناشی از بمب‌های

هسته‌ای با نرم‌افزار HYSPLIT، مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۱، شماره ۳، آذر ۱۴۰۱.



## Propagation Simulation of Radioactive Particles from Nuclear Bombs with HYSPLIT Software

Hassan Nanakar<sup>1</sup>, Farhad Jahantigh<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran

### Article Information

Accepted: 1401/06/15

Received: 1401/02/12

### Keywords:

HYSPLIT, Radioactive particles, Propagation, Nuclear bomb, Nuclear defense.



### Corresponding author:

Hassan Nanakar

Email:

[h\\_nanakar2006@yahoo.com](mailto:h_nanakar2006@yahoo.com)

### Abstract

Today, terrorism is a serious threat to all societies. The acquisition of nuclear weapons by these groups will pose serious problems for global security. Therefore, studying the methods of passive nuclear defense against nuclear attacks and predicting the direction of radioactive materials can increase the preparedness of society against such attacks and save the lives of many people. Numerous pieces of software have been developed to simulate the release of radioactive material from nuclear weapons and nuclear power plant accidents. The HYSPLIT model is one of the most efficient models in this field. This model has the ability to simulate meteorological with data from different centers. In this research, this model along with meteorological data (GDAS) has been used to simulate the release of radioactive material caused by the explosion of atomic bombs in north of Iran. In this simulation, it is assumed that the atomic cloud resulting from the explosion is composed of 13 particles of different sizes. The results show that the model is well able to simulate the direction of propagation and increasing the size of the bomb will increase the distance of propagation and has no effect on the direction of propagation. Small bomb simulations also give more consistent results.

**HOW TO CITE:** Hassan Nanakar , Farhad Jahantigh, Propagation Simulation of Radioactive Particles from Nuclear Bombs with HYSPLIT Software, Journal of Airspace Defense, Vol. 1, No, 3, 1401.

## ۱. مقدمه

ایالت متحده امریکا بیش از ۱۰۰ آزمایش هسته‌ای را در منطقه‌ی نوادا در بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ انجام داده است. آزمایش‌های مشابه دیگری نیز توسط کشورهای انگلستان، فرانسه و شوروی در مکان‌های دیگر انجام گرفته است. همچنین حوادث بسیاری نیز در راکتورهای اتمی در کشورهای ژاپن، ایالت متحده امریکا، فرانسه، برزیل، بریتانیا، روسیه، اکراین و ... رخ داده، که باعث انتشار و پخش مواد رادیواکتیو خطرناک در محیط زیست شده است. وقوع جنگ اتمی بین کشورها نیز بسیار خطرناک بوده و تأثیرات جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. عناصر رادیواکتیو در دزهای مختلف می‌تواند آثار متفاوتی با توجه به شدت دز بروز دهد و این آثار از جهش‌های ژنتیکی ساده تا از بین بردن موجودات زنده می‌تواند در چرخه زندگی منطقه تأثیرگذار باشد [۱ و ۲].

پخش آلودگی‌های مختلف در هوا، به انتقال آلاینده به‌وسیله بادها و پخش همزمان به‌وسیله آشفستگی جوی و همچنین فرایندهای تعدیل مانند فرسایش بستگی دارد. مدل‌های پخش اتمسفریک فراوانی به وجود آمده‌اند، که به‌طور کلی به سه نوع مدل‌های گوسی، مدل‌های مسیر حرکت یا پف دوبعدی و مدل‌های سه‌بعدی تقسیم‌بندی می‌گردند [۳ و ۴]. نرم‌افزارهای فراوانی جهت شبیه‌سازی این نوع آلودگی وجود دارند [۵-۷]. نرم‌افزار HYSPLIT در آزمایشگاه تحقیقات هوایی سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالت متحده امریکا به‌منظور محاسبه مسیر حرکت بسته‌های هوا یا انتقال پراکندگی و ته‌نشست آلودگی‌ها توسط دراکسلر و هس در سال ۱۹۹۷ توسعه یافت [۸].

## ۲. بحث

بمب اتمی نام رایج وسایل انفجاری است که در آن‌ها از انرژی آزادشده در فرایند شکافت هسته‌ای، یا گداخت هسته‌ای برای تخریب استفاده می‌شود. انرژی یک انفجار هسته‌ای به طرق مختلفی آزاد می‌شود که عبارت‌اند از: موج انفجار، تابش هسته‌ای مستقیم، تابش گرمایی مستقیم، پالس الکترومغناطیسی و تولید ذرات رادیواکتیو که در اثر انفجار به هوا پرتاب شده و ریزش اتمی نامیده می‌شود [۹]. به‌منظور شبیه‌سازی ابر حاصل از انفجار بمب اتمی، آن را به ۶ قسمت با ضخامت‌های مختلف مطابق جدول ۱ تقسیم‌بندی کردیم. ابر اتمی حاصل از ۱۴ ذره با اندازه و نیمه‌عمرهای مختلف در نظر گرفته می‌شود که یکی از ذرات بیانگر کلیه گازهای نجیب و ۱۳ ذره دیگر برای توصیف ذرات باقی‌مانده می‌باشد. پارامترهای مختلفی برای شبیه‌سازی در مدل HYSPLIT موردنیاز می‌باشد که عبارت‌اند از داده‌های هواشناسی، ته‌نشست خشک، ته‌نشست مرطوب، باز تعلیق ذرات ته‌نشست شده، چگالی، شکل، قطر و نیمه‌عمر ذرات. در این پژوهش از داده‌های هواشناسی جهانی (GDAS) استفاده شده است.

گردآوری داده‌های جهانی GDAS با فرمت خروجی GRIB از دسامبر سال ۲۰۰۴ آغاز گردید. این داده‌ها در فواصل مکانی ۱ درجه طول و ۱ درجه عرض جغرافیایی در دسترس می‌باشد. ثبت داده‌ها در هر روز در ۴ نوبت در ساعات ۰۰، ۰۶، ۱۲، ۱۸ ساعت جهانی (UTC) انجام می‌گیرد [۱۰].

جدول ۱: تقسیم‌بندی ابر اتمی حاصل از بمب‌های مختلف به سطوح گوناگون

اندازه بمب (کیلو تن)	۲/۵	۴۵
سطح ۶	۳۷۰۰	۱۲۵۰۰
سطح ۵	۳۱۳۲	۱۱۰۰۰
سطح ۴	۲۵۶۶	۹۵۰۰
سطح ۳	۲۰۰۰	۸۰۰۰
سطح ۲	۱۳۳۴	۵۳۳۲
سطح ۱	۶۶۷	۲۶۶۶

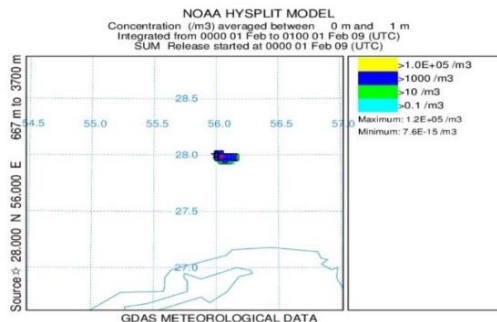
ضرایب مربوط به ته‌نشست خشک بسیار پیچیده بوده و با رویکرد سرعت ته‌نشست خشک محاسبه می‌گردد و پوشش زمین تأثیر بسزایی در آن ایفا می‌کند. شار ته‌نشست برابر با ضرب غلظت سطحی ایزوتوپ‌ها در سرعت ته‌نشست خشک است. غلظت‌های سطحی توسط مدل محاسبه می‌شوند ولی در هر حال سرعت ته‌نشست برای پارامتر مدل شده با نوع پوشش زمین تغییر می‌کند، زیرا به اثر متقابل بین پارامتر و سطح بستگی دارد. مقادیر سرعت ته‌نشست خشک برای انواع سطوح و گروه‌های ایزوتوپی متفاوت توسط باکلانوف و سرنسن محاسبه شده است [۱۱]، با توجه به اینکه منطقه‌ی مورد نظر ما ترکیبی از مناطق شهری، جنگلی، علفزار و ... است، بنابراین مقدار میانگین  $0.01$  را برای سرعت ته‌نشست خشک در نظر گرفتیم. ته‌نشست مرطوب به وسیله فرایندهای درون‌ابر و زیرابر محاسبه می‌شود که به ترتیب  $4 \times 10^{-4}$  و  $5 \times 10^{-6}$  در نظر گرفته می‌شوند. شکل ذرات به صورت کروی و چگالی آن‌ها  $2.5$  گرم بر سانتی‌متر مکعب با قطرهای متفاوت  $20$  تا  $500$  میکرومتر در نظر گرفته شد. بازتعلیق ذرات نیز  $1.0 \text{ e}^{-6} \text{ m}^{-1}$  و برای گازهای نجیب صفر قرار داده شد این بدین معنی است که از هر ذره‌ای که در زمین می‌نشیند تنها یک ذره دوباره از سطح زمین جدا شده و وارد هوا می‌گردد. نیمه‌عمر ذرات نیز به صورت جدول ۲ تعیین گردید [۱۲].

در شکل‌های ۱ تا ۶ نتایج شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب ۲/۵ کیلو تنی در فواصل زمانی ۱، ۶، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸ ساعت پس از انفجار در منطقه با طول و عرض جغرافیایی ۲۸ و ۵۶ درجه نشان داده شده است.

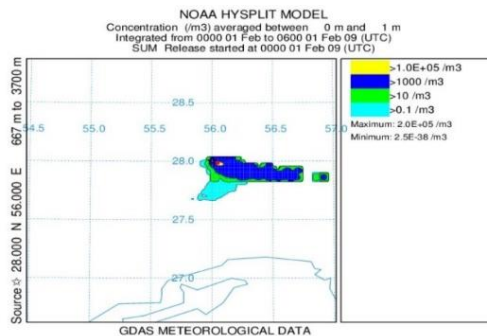
جدول ۲: نیمه‌عمر مواد پرتوزا در ابر حاصل از انفجار اتمی

ردیف	ذره پرتوزا	نیمه‌عمر	قطر ذرات (میکرومتر)
۱	$^{131}\text{I}$	8.02 days	۵۰۰
۲	$^{140}\text{Ba}$	12.8 days	۳۵۰
۳	$^{136}\text{Cs}$	13.2 days	۲۷۵

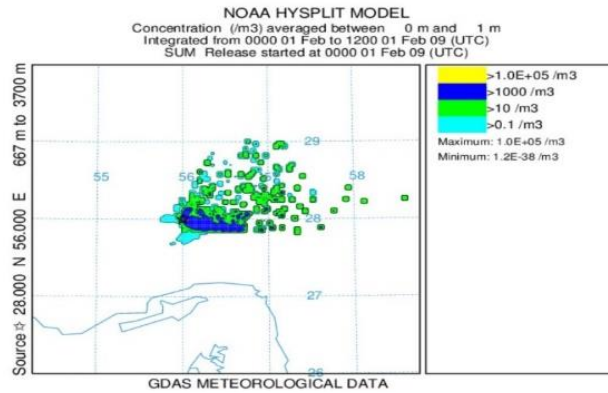
۲۲۵	39.3 days	$^{103}\text{Ru}$	۴
۱۸۷/۵	50.5 days	$^{89}\text{Sr}$	۵
۱۶۲/۵	285 days	$^{144}\text{Ce}$	۶
۱۳۷/۵	374 days	$^{106}\text{Ru}$	۷
۱۱۲/۵	28.5 years	$^{90}\text{Sr}$	۸
۸۷/۵	12.3 years	$^3\text{H}$	۹
۷۰	14.4 years	$^{241}\text{Pu}$	۱۰
۵۷/۵	30.1 years	$^{137}\text{CS}$	۱۱
۴۵	5700 years	$^{14}\text{C}$	۱۲
۲۰	6560 years	$^{239+240}\text{Pu}$	۱۳



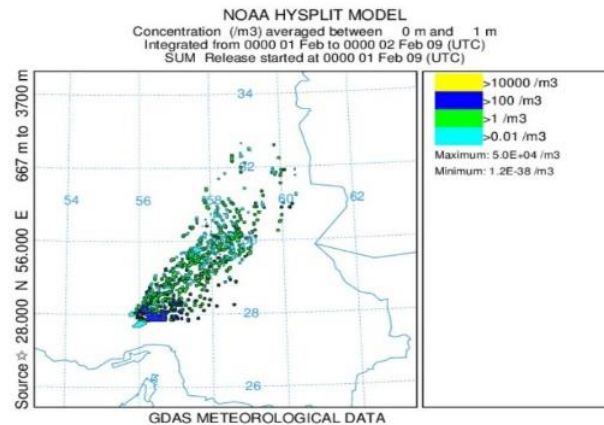
شکل ۱: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲/۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۱ ساعت پس از انفجار



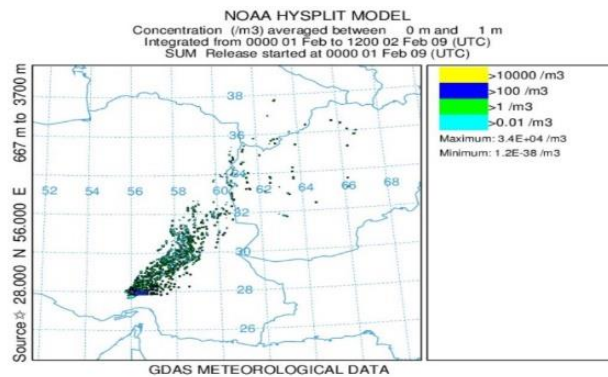
شکل ۲: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲/۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۶ ساعت پس از انفجار



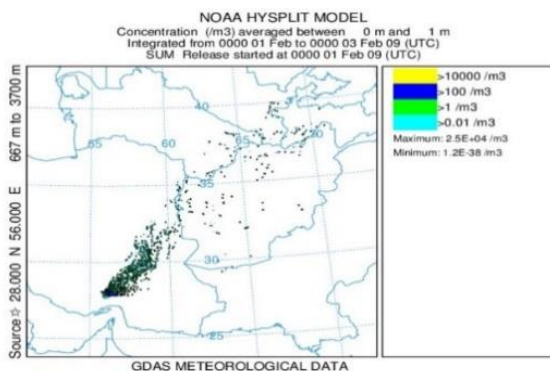
شکل ۳: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲/۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۱۲ ساعت پس از انفجار



شکل ۴: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲.۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۲۴ ساعت پس از انفجار



شکل ۵: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲/۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۳۶ ساعت پس از انفجار

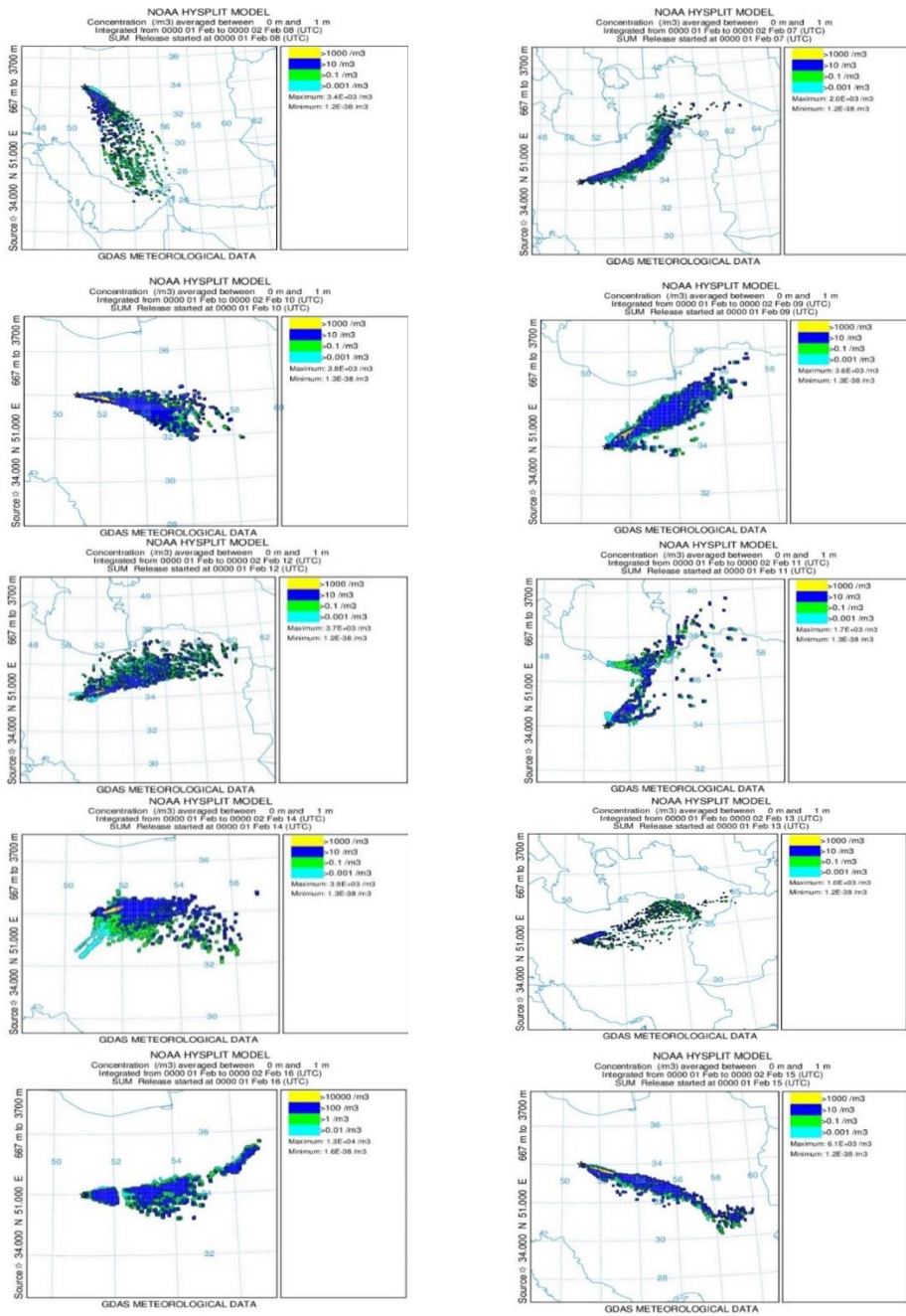


شکل ۶: شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب اتمی ۲/۵ کیلوتنی در فاصله زمانی ۴۸ ساعت پس از انفجار

همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌گردد انتشار در ساعات اولیه به سمت شرق و سپس به سمت شمال شرقی منطقه انفجار می‌باشد و با گذشت زمان از غلظت مواد رادیواکتیو کاسته می‌شود. تغییرات آب و هوایی یک ناحیه سیکل ۱۰ ساله دارد از این‌رو به‌منظور دستیابی به پاسخ دقیق ما شبیه‌سازی را برای یکم فوریه ۱۰ سال متوالی از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ برای بمب‌هایی با اندازه‌های مختلف ۲/۵ و ۴۵ برای منطقه شمال با طول و عرض جغرافیایی ۳۴ و ۵۱ درجه انجام دادیم. بازه‌ی اجرای برنامه تا ۲۴ ساعت پس از لحظه‌ی انفجار می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ذیل آورده شده است.

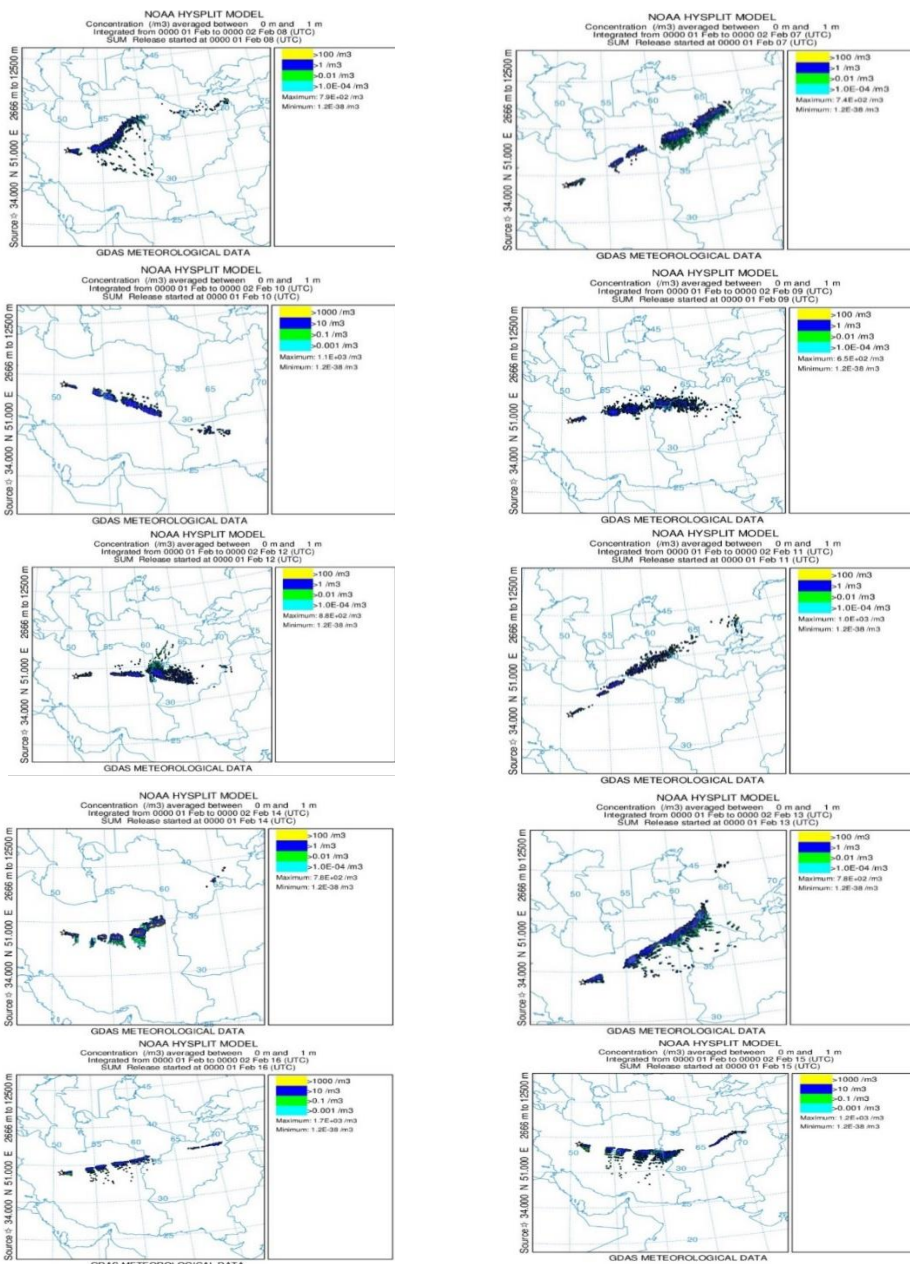
شکل ۷ نتایج حاصل از شبیه‌سازی بمب ۲/۵ کیلوتنی را در منطقه‌ای در شمال ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در ۶ مورد جهت انتشار به سمت شمال شرق، ۱ مورد به سمت شرق و در ۳ مورد به سمت جنوب شرق منطقه‌ی انفجار می‌باشد. در نتیجه بهترین مکان جهت تخلیه جمعیت مناطق غربی محل انفجار می‌باشد. با فاصله گرفتن از مرکز انفجار از غلظت مواد پرتوزا کاسته می‌شود. در نتیجه با توجه به جهت انتشار مواد پرتوزا بیشتر نواحی شمال شرق و شرق محل انفجار را در معرض خطر آلودگی قرار می‌دهند. گسترش مواد پرتوزا از محل انفجار تا نواحی مرزی می‌باشد به‌عبارت‌دیگر در مدت‌زمان ۲۴ ساعت پس از انفجار این مواد از کشور خارج نمی‌شوند.

در شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی انتشار مواد پرتوزای ناشی از انفجار بمب ۴۵ کیلوتنی در منطقه شمال ایران نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد جهت انتشار مواد پرتوزا در ۵ مورد به سمت شمال شرق، ۴ مورد به سمت شرق و ۱ مورد به سمت جنوب شرق می‌باشد. به علت بزرگ‌تر بودن بمب، ارتفاع ابر حاصل از انفجار نیز بزرگ‌تر از بمب ۲/۵ کیلوتنی می‌باشد، در نتیجه مواد رادیواکتیو در طول ۲۴ ساعت پس از انفجار مسافت بیشتری را طی کرده و وارد کشورهای مجاور ایران می‌شوند و کشورهای همسایه‌ی شرقی را آلوده می‌کنند. همچنین به علت ارتفاع بالای ابر حاصل، نتایج حاصل دارای ناپیوستگی در برخی از مناطق می‌باشند.



شکل ۷: نتایج شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب ۲/۵ کیلوتنی در منطقه‌ی شمال برای یکم فوریه ۱۰ سال متوالی از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶





شکل ۸: نتایج از شبیه‌سازی انتشار مواد رادیواکتیو ناشی از بمب ۴۵ کیلوتنی در منطقه‌ی شمال برای یکم فوریه ۱۰ سال متوالی از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶

مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد که جهت انتشار هر دو بمب با یکدیگر انطباق بالایی داشته و افزایش در اندازه بمب تنها سبب افزایش فاصله انتشار می‌شود. همچنین شبیه‌سازی بمب‌های کوچک در مقایسه با بمب‌های بزرگ به دلیل کوتاه‌تر بودن ابر اتمی حاصله نتایج پیوسته‌تری را به دست می‌دهد.

### ۳. نتیجه‌گیری

جهت انتشار نتایج حاصله در طول ۱۰ سال انطباق بالایی با یکدیگر دارند که این عامل بیانگر دقت و صحت بالای نتایج حاصله می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که جهت انتشار ناشی از بمب‌ها با اندازه‌های مختلف در یک جهت می‌باشد و افزایش در اندازه‌ی بمب باعث افزایش در فاصله‌ی انتشار می‌گردد که کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. پس از گذشت ۴۸ ساعت از زمان انفجار به مقدار بسیار زیادی از غلظت مواد رادیواکتیو کاسته می‌شود و ابر حاصل به مقدار زیادی رقیق می‌شود. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی بمب‌ها با اندازه‌های مختلف نشان می‌دهد که در شبیه‌سازی بمب‌های کوچک نتایج پیوسته‌تری به دست می‌آید. در ۲۴ ساعت پس از شروع انفجار مواد پرتوزا حاصل از انفجار بمب کوچک تا نواحی مرزی ایران در سمت شرق می‌رسد و در بمب بزرگ از کشور خارج می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که انفجار بمب حتی در مرکز ایران سایر کشورهای همسایه را نیز تهدید می‌کند. با استفاده از نتایج حاصله می‌توان برنامه‌ریزی‌هایی را جهت تخلیه جمعیت و هدایت مردم به پناهگاه‌های ریزش اتمی در مناطق آلوده انجام داد.

### ۴. منابع

- [1] M. F. Kozhevnikova and V. V. Levenets, Propagation Analysis of Pu Radionuclides as a Result of Fire Incidents in the Exclusion Zone of the Chernobyl NPP in April 2020, East European Journal of Physics. (2021) 161-168
- [2] M. Kozhevnikova and V. Levenets, Simulation of Entry and Propagation of Pu Isotopes ,and 241 Am on Ukraine Territory
- [3] C. L. Zoellick, Source Term Estimation of Atmospheric Pollutants Using an Ensemble (۲۰۱۹), of HYSPLIT Concentration Simulations
- I. Rolik and A. Shchur, The radioactive contamination , [4] M. Kozhevnikova, V. Levenets territory of Ukraine by Pu and 241Am radionuclides due to the Chernobyl accident, Problems of Atomic Science and Technology. (2017) 109
- [5] M. Kozhevnikova, V. Levenets and V. Voyevodin, Validation of Pollutant Source Identification Method Exemplified by Environmental Impact of Chornobyl Accident in (۲۰۱۴). ZNPP Location Area, Ядерна та радіаційна безпека
- [6] P. Povinec, M. Gera, K. Holý, K. Hirose, G. Lujaniené, M. Nakano, W. Plastino, I. Bartok and M. Gažák, Dispersion of Fukushima radionuclides in the global .Sýkora, J atmosphere and the ocean, Applied Radiation and Isotopes. 81 (2013) 383-392
- [7] M. Ramana, A. Nayyar and M. Schoeppner, Nuclear High-level Waste Tank and Impacts of a Hypothetical Accident at India's Kalpakkam Explosions: Potential Causes .Reprocessing Plant, Science & Global Security. 24 (2016) 174-203

- [8] R. Draxler and G. Hess, Description of the HYSPLIT 4 modeling system (NOAA technical memorandum ERL ARL-224), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring (۲۰۰۴)
- [9] U. S. C. O. o. T. Assessment and U. S. C. T. A. Board, The Effects of Nuclear War (۱۹۷۹)
- [10] R. Draxler, B. Stunder, G. Rolph, A. Stein and A. Taylor, HYSPLIT4 User's Guide (۲۰۱۲), Version 4. Last Revision March 2012
- [11] A. Baklanov and J. Sørensen, Parameterisation of radionuclide deposition in atmospheric long-range transport modelling, Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere. 26 (2001) 787-799
- [12] G. Rolph, F. Ngan and R. Draxler, Modeling the fallout from stabilized nuclear clouds using the HYSPLIT atmospheric dispersion model, Journal of environmental radioactivity. 136 (2014) 41-55