

## بررسی پراکندگی جوی مواد از حادثه‌ی فرضی در نیروگاه هسته‌ای ارمستان طراحی شده بر اساس حادثه‌ی فوکوشیما با استفاده از مدل HYSPLIT

مهديه ميرزائی نیا، محمدرضا شجاعی\* و احسان ابراهیمی بسابی

دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران.

\*سمنان، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی هسته‌ای، کد پستی: ۳۶۱۹۹۹۵۱۶۱

پست الکترونیکی: Shojaei\_1151@yahoo.com

### چکیده

یکی از مهم‌ترین راه‌های گسترش آلودگی در صورت بروز حادثه در یک نیروگاه هسته‌ای پراکندگی جوی مواد است. در این پژوهش با استفاده از مدل HYSPLIT ابتدا مسیر ذرات به صورت افقی و عمودی برحسب فشار و ارتفاع از سطح زمین در دو ارتفاع ۰ و ۱/۵ متری از سطح زمین در دو اجرای مجزا طی دو دوره‌ی ۱۵ روزه با زمان شروع ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ محاسبه گردید. سپس مقادیر خروجی از حادثه‌ی فوکوشیما در روز ۱۲ و ۱۳ مارچ ۲۰۱۱ انتخاب و جمع‌آوری شد و تمامی این مقادیر به عنوان خروجی ساختمان راکتور شماره‌ی ۱ که توانی نزدیک به توان نیروگاه ارمستان دارد، در نظر گرفته شد. غلظت آلاینده‌ها با توجه به این مفروضات طی یک دوره‌ی ۱۵ روزه که از روز ۲۳ نوامبر ۲۰۰۶ آغاز گشته است، با استفاده از مدل HYSPLIT در دو ارتفاع ۰ و ۱/۵ متری از سطح زمین محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهند بروز حادثه در این بازه-ی زمانی منطقه‌ی شمال غرب کشور ایران را تحت تأثیر پراکندگی جوی مواد ناشی از حادثه در نیروگاه ارمستان قرار خواهد داد.

کلیدواژگان: پراکندگی جوی مواد، حادثه‌ی هسته‌ای، مسیریابی، نیروگاه ارمستان، HYSPLIT.

### ۱. مقدمه

نیروگاه هسته‌ای ارمستان واقع در متسامور، در ۱۶ کیلومتری مرز شرقی ترکیه و تقریباً در ۸۰ کیلومتری ایران، ۱۱۰ کیلومتری گرجستان و ۱۲۰ کیلومتری آذربایجان واقع شده است. نیروگاه ارمستان شامل دو واحد قدرت با راکتورهای WWER-440/270 است. واحد ۱ در تاریخ ۲۲ دسامبر ۱۹۷۶ و واحد ۲ در تاریخ ۵ ژانویه ۱۹۸۰ به بهره‌برداری رسید. در سال ۱۹۸۹ شوروی تصمیم گرفت که نیروگاه ارمستان را خاموش کند. واحد ۱ در ۲۵ فوریه ۱۹۸۹ و واحد ۲ در ۱۸ مارس ۱۹۸۹ تعطیل شدند. پس از سقوط اتحاد شوروی، حوادث بعد منجر به بحران شدید انرژی در ارمستان شد. در

احتمالی بر مردم و محیط زیست حائز اهمیت است. یکی از موارد مهم بررسی نحوه ی پخش جوی مواد ناشی از این حوادث است. در این پژوهش، تحلیل و ارزیابی نتایج حاصل از نحوه ی پخش مواد پرتوزا ناشی از حادثه ی فرضی نیروگاه هسته ای ارمنستان در بازه های زمانی کوتاه مدت با استفاده از مدل HYSPLIT<sup>۱</sup> مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. مواد و روش ها

### ۱.۲. مدل HYSPLIT

HYSPLIT یک ابزار محاسباتی است که توسط دراکسلر<sup>۲</sup> دراکسلر<sup>۲</sup> و هس<sup>۳</sup> در ۱۹۹۸ میلادی در آزمایشگاه منابع هوایی (ARL)<sup>۴</sup> مربوط به سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA)<sup>۵</sup> طراحی شد [۳ و ۴]. این مدل برای پاسخ سریع به فوریت های جوی، مطالعات موردی تشخیصی، همچنین تجزیه و تحلیل های اقلیم شناسی با استفاده از شبکه ای از داده های هواشناسی طراحی شده است [۵]. این نرم افزار یک سیستم کامل برای محاسبه ی خط سیر ساده و انتقال پیچیده، همچنین پخش، تحولات شیمیایی و نهشت مواد آلاینده همچون ریز گردها، آلاینده های شیمیایی، آتش فشانی و پرتوزا می باشد. مدل محاسباتی HYSPLIT ترکیبی از رویکرد لاگرانژی و اویلری است. رویکرد لاگرانژی یک روش مناسب برای محاسبات منابع آلودگی نقطه ای است و رویکرد اویلری یک شبکه ی ثابت سه بعدی به عنوان مرجع محاسبات غلظت آلاینده ها در فرآیندهای پیچیده ی انتشار مواد می باشد [۴].

تاریخ ۷ آوریل ۱۹۹۳، دولت ارمنستان تصمیم به راه اندازی مجدد واحد ۲ گرفت. در ۵ نوامبر ۱۹۹۵، واحد دوم نیروگاه ارمنستان مجدداً شروع به کار کرد. در حال حاضر ساختار توزیع انرژی الکتریکی ارمنستان متعادل است. ترکیب ظرفیت تولید انرژی شامل حدود ۴۲ درصد هسته ای، حدود ۴۰ درصد گازی و ۱۸ درصد ظرفیت هیدرولیکی است. در حال حاضر مهم ترین راه تولید انرژی در ارمنستان نیروگاه هسته ای است. وقتی که نیروگاه ارمنستان پس از زلزله مخرب ۱۹۸۸ بسته شد و ورود سوخت به نیروگاه های حرارتی غیر ممکن شد، اهمیت این نیروگاه به عنوان تنها راه تأمین انرژی بومی نمایان گشت. این بحران طی بازه ی زمانی (۱۹۹۱-۱۹۹۵) باعث شد در رابطه با خاموشی دائمی نیروگاه هسته ای تجدیدنظر شود. دو گزینه ی دیگر برای تأمین انرژی، نیروگاه های گازی و واردات برق هستند. استفاده از نیروگاه گازی در این کشور باعث آلودگی هوا می شود، همچنین هزینه ی تأمین برق از این دو روش برای کشور ارمنستان در طولانی مدت بسیار زیاد خواهد بود. طی دوره ی (۱۹۹۵-۲۰۰۸) پس از راه اندازی مجدد واحد دوم نیروگاه هسته ای ارمنستان ابزارهای فرسوده ی نیروگاه که بعضاً از ابتدای ساخت دارای نقص فنی بودند، تصحیح و یا جایگزین شدند [۱ و ۲]. در جدول ۱ خروجی های واحد دوم این نیروگاه پس از ترمیم و راه اندازی مجدد قابل مشاهده است.

جدول (۱): خروجی واحد دوم نیروگاه پس از راه اندازی مجدد [۲].

تولید برق (۱۹۹۵-۲۰۰۸)	۲۹۷۳۵ گیگاوات ساعت
مصرف داخلی برق	۷/۹۵ درصد

علیرغم تمام اصلاحات انجام شده در این نیروگاه طی سال های اخیر با توجه به اتمام عمر مفید این سازه و زلزله خیز بودن منطقه احداث نیروگاه، بررسی حوادث احتمالی این نیروگاه و خروجی ناشی از آن ها و تأثیر این خروجی های

<sup>۱</sup> HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

<sup>۲</sup> R. R. Draxler

<sup>۳</sup> G.D. Hess

<sup>۴</sup> Air Resources Laboratory

<sup>۵</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

کامل سایت و همچنین عدم وجود وسایل برقراری ارتباط در درون و بیرون سایت مواجه بودند. هیچ وسیله‌ای به‌منظور کنترل و یا خنک کردن راکتورهای که تا زمان وقوع زلزله در حال عملیات بودند وجود نداشت. علی‌رغم تلاش‌های کارکنان عملیاتی برای بازگرداندن کنترل و خنک کردن راکتورها و سوخت مصرفی، آسیب شدید سوخت و یک سری انفجار رخ داد. این انفجارها موجب تخریب بیشتر در سایت شد. طی این حادثه مقادیر بالای از آلاینده‌های پرتوزا وارد محیط‌زیست شد [۶ و ۷].

در این مطالعه مقادیر خروجی از حادثه‌ی فوکوشیما در روز ۱۲ و ۱۳ مارچ ۲۰۱۱ جمع‌آوری شده‌اند و با توجه به این‌که بیش‌ترین میزان نشر مواد در این روزها از راکتور شماره‌ی ۱ نیروگاه با توان ۴۶۰ مگاوات است تمامی این مقادیر به‌عنوان خروجی راکتور شماره‌ی ۱، که توانی نزدیک به توان نیروگاه ارمنستان دارد، در نظر گرفته شده است [۶ و ۸].

جدول (۲): مشخصات آلاینده‌ها در مدل HYSPLIT

$(\times 10^{12} \text{ Bq/h})$  [۶ و ۸]

تاریخ	$^{131}\text{I}$ ذره‌ای	$^{131}\text{I}$ گازی	$^{137}\text{Cs}$
۲۰۰۶/۱۱/۲۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۶/۸
۲۰۰۶/۱۱/۲۴	۱۵۴/۲	۱۵۴/۲	۲۵/۶

ورودی‌های نرم‌افزار HYSPLIT شامل پارامترهای گوناگونی از جمله داده‌های هواشناسی هم‌دید و باز پردازش شده، مشخصات نشر آلاینده‌ها و تعریف شبکه‌ی خروجی است. داده‌های ورودی در این پژوهش مربوط به حادثه فرضی در نیروگاه هسته‌ای ارمنستان می‌باشد. ابتدا مسیر ذرات با ارتفاع رهاسازی ۲۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ متری (ارتفاع

HYSPLIT به‌وسیله‌ی مقایسه با نتایج رویدادها و آزمایشات گوناگونی مانند نهشت ذرات ناشی از حادثه‌ی چرنوبیل مورد ارزیابی قرار گرفته است. یکی از نتایج این بررسی‌ها پی بردن به حساسیت این مدل نسبت به ساختار عمودی جو است. مسیر آلاینده‌ها در نزدیکی سطح زمین به جهت و گرادبان سرعت باد و غلظت آلاینده‌ها به تغییرات تلاطم عمودی وابسته است. نهشت مواد آلاینده نتیجه‌ای از توزیع عمودی آلودگی است [۵].

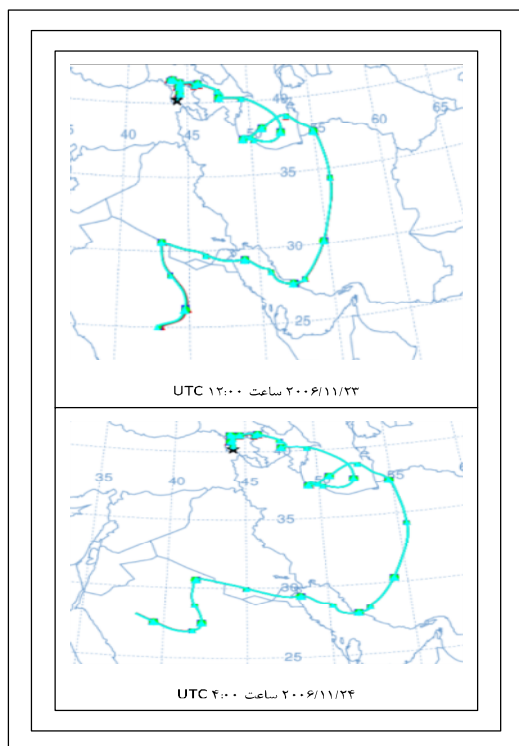
## ۲.۲. بررسی پراکندگی جوی مواد ناشی از حادثه‌ی

### فرضی نیروگاه متسامور بر اساس حادثه‌ی فوکوشیما

سایت فوکوشیما دای ایچی<sup>۱</sup> دارای شش راکتور است. واحد اول به‌عنوان اولین راکتور این مجموعه در ماه مارس ۱۹۷۱ راه‌اندازی شد و پس‌از آن به ترتیب راکتورهای بعدی ساخته شدند. در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ زلزله‌ای به بزرگی ۹ ریشتر در شمال شرق ژاپن رخ داد، این زلزله منجر به تولید امواج بزرگ سونامی گشت. ترکیب زلزله و سونامی ناشی از آن یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های خارجی است که هر راکتور هسته‌ای می‌تواند متحمل شود. هنگام وقوع زلزله واحدهای ۱، ۲ و ۳ نیروگاه فوکوشیما در حال عملیات بودند و واحدهای ۴، ۵ و ۶ تحت بازرسی دوره‌ای بودند. باوجوداینکه بلافاصله پس از وقوع زلزله اقدام به خاموشی واحدهای تحت عملیات شد، امواج بزرگ سونامی ناشی از وقوع زلزله عملکرد سیستم ایمنی را تحت تأثیر قرارداد وجدی‌ترین عواقب حادثه مربوط به آن بود. این امواج باعث صدمه به سیستم‌های برق اضطراری سایت شد. سونامی و عواقب آن سبب تخریب‌های گسترده در زیرساخت‌های سایت فوکوشیما دای ایچی شد. در پی سونامی اپراتورها با حجم گسترده‌ای از مشکلات ناشی از قطع برق

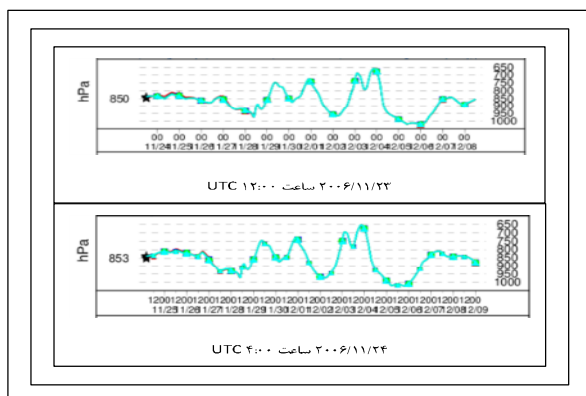
<sup>۱</sup> Fukushima Dai ichi

نشان می‌دهند که آلاینده‌ها در هر دو اجرا از سطح زمین تا ارتفاع بیشینه‌ی ۲۰۰۰ متری پراکنده خواهند شد. این ارتفاع‌ها تابعی از زمان هستند. به‌طور مثال ارتفاع مسیر آلاینده‌ها در روز ۲۸ ام نوامبر ۲۰۰۶، ۲۰ متر است سپس آلاینده‌ها صعود می‌کنند و نهایتاً در روز ۲۹ ام نوامبر ۲۰۰۶ به بیشینه ارتفاع ۲۰۰۰ متری از سطح زمین می‌رسند.



شکل (۱): گسترش افقی مسیرهای عبوری از ایران در روزهای ۲۳ و ۲۴

نوامبر ۲۰۰۶.



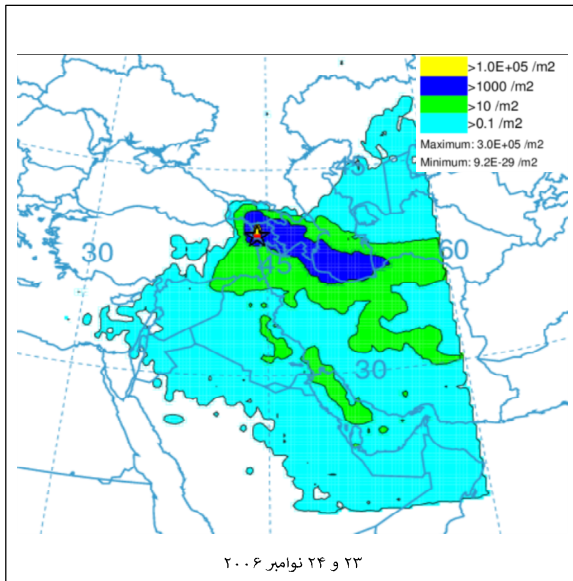
شکل (۲): گسترش عمودی مسیرهای عبوری از ایران در روزهای ۲۳ و ۲۴

۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ بر اساس فشار.

دودکش) از سطح زمین، برای دو اجرای مجزا، طی دوره‌های ۱۵ روزه با زمان شروع ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ که به‌صورت تصادفی از سال ۲۰۰۶ انتخاب شده‌اند، محاسبه گردید و سپس غلظت آلاینده‌های ید و سزیم طی یک دوره‌ی ۱۵ روزه در دو ارتفاع ۰ و ۱/۵ متر که متوسط قد یک فرد است، در یک شبکه‌ی ۳۰×۴۰ درجه به مرکزیت مکان نیروگاه با گام‌های ۰/۵×۰/۵ درجه که با توجه به‌وضوح داده‌های هواشناسی و مساحت منطقه‌ی موردبررسی انتخاب شد، محاسبه گردید. از فایل‌های هواشناسی GDAS ۱ درجه به‌عنوان ورودی هواشناسی مدل استفاده شد. این فایل‌ها به‌صورت هفتگی و همدیدی برای سراسر کره‌ی زمین در آرشیو وبسایت سازمان ملی اقیانوسی و جوی موجود و به‌عنوان ورودی مدل HYSPLIT قابل استفاده می‌باشند.

### ۳. نتایج

ابتدا مسیر آلاینده‌ها طی دو اجرای مجزا برای دوره‌های ۱۵ روزه با زمان شروع ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ محاسبه گردید. در شکل ۱ تصویر گسترش افقی مسیرهای عبوری از ایران در روزهای ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ قابل مشاهده است. رنگ‌های قرمز، آبی، سبز و فیروزه‌ای به ترتیب نمایش‌دهنده‌ی مسیر با ارتفاع رهاسازی ۲۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ متری از سطح زمین می‌باشند، اگرچه به دلیل یکسان بودن خطوط مسیر ناشی از این ارتفاع فقط رنگ فیروزه‌ای در شکل قابل مشاهده است. مسیرها از عرض ایران عبور کرده و به سمت بخشی از خاورمیانه حرکت می‌کنند. لازم به ذکر است که خطوط مسیر طی روزهای دیگری نیز بررسی شده است و الگوی آن‌ها دارای خطوط مسیر مجزا و متفاوت برای ۴ ارتفاع مذکور بوده است. در شکل ۲ و ۳ مسیرها با دو رویکرد نمایش بر اساس تغییرات فشار و تغییرات ارتفاع از سطح زمین قابل مشاهده است. نتایج

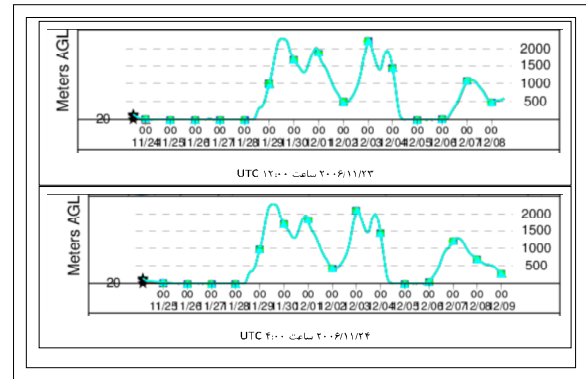


شکل (۵): غلظت مواد آلاینده ( $Bq/m^2$ ) در سطح زمین طی یک دوره- ۱۵ روزه ناشی از حادثه‌ی فرضی در روزهای ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

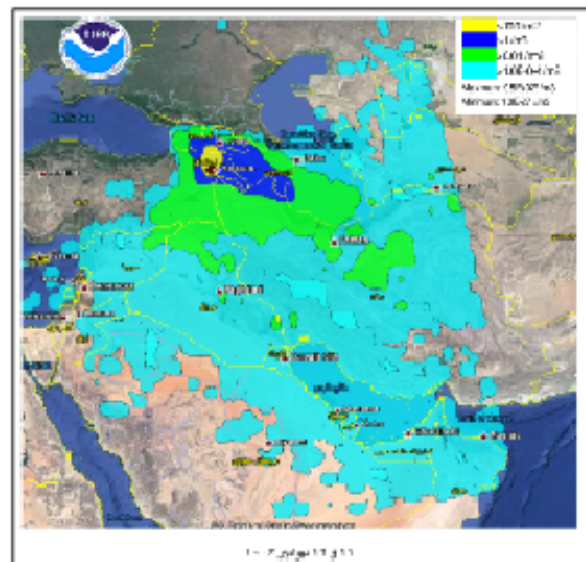
در صورت بروز حادثه در شرایط هواشناسی مستعد به گسترش پخش مواد آلاینده در سطح ایران نگرانی‌هایی در رابطه با اثرات این مواد بر مردم و محیط‌زیست وجود دارد. به‌ویژه در بخش‌های شمال غربی کشور، با توجه به وجود مرزهای خاکی و نزدیکی رودخانه‌ی ارس به این مرزها، نشت گسترده‌ی مواد و اثرات آن بر زنجیره‌ی غذایی مردم اهمیت پایش محیط‌زیستی و مطالعاتی از این دست را نمایان ساخته است.

با توجه به این نکته که پراکندگی جوی مواد وابسته به شرایط جوی منطقه است و این شرایط برحسب زمان متغیر هستند، مطالعات اقلیمی در این رابطه ضروری است. در این راستا در رابطه با پراکندگی جوی آلاینده‌های پرتوزا ناشی از حادثه‌ی فرضی نیروگاه ارنستان طی یک دوره‌ی بلندمدت نیز مطالعاتی صورت گرفته است، که نتایج آن به‌طور مبسوط در تحقیقات آتی گزارش خواهد شد.



شکل (۳): گسترش عمودی مسیرهای عبوری از ایران در روزهای ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶ بر اساس ارتفاع از سطح زمین.

در شکل ۴ و ۵ غلظت آلاینده‌ها طی ۱۵ روز در دو ارتفاع ۰ و ۱/۵ متری بالای سطح زمین قابل مشاهده است. با مقایسه‌ی شکل ۱، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که پخش مواد در عرض کشور ایران مطابق با الگوی شکل ۱ صورت گرفته است. رنگ‌های موجود در شکل‌های ۴ و ۵ نشان‌دهنده‌ی غلظت مواد آلاینده می‌باشند. رنگ زرد و فیروزه‌ای به ترتیب نماینده‌ی مقادیر بیشینه و کمینه‌ی کانتور رنگ هستند. در صورت بروز حادثه در این مقیاس و در این شرایط جوی، نواحی شمال غرب ایران بیش‌ترین غلظت را در سطح کشور دریافت می‌کنند.



شکل (۴): غلظت مواد آلاینده ( $Bq/m^3$ ) در ارتفاع ۱/۵ متری بالای سطح زمین، طی یک دوره‌ی ۱۵ روزه ناشی از حادثه‌ی فرضی در

روزهای ۲۳ و ۲۴ نوامبر ۲۰۰۶.

## ۵. مراجع

- [1] N. Simos, K. Perkins, J. Jo, J. Carew and J. Ramsey. Armenian nuclear power plant: USNRC assistance program for Seismic Upgrade and Safety Analysis, SMiRT 17, 34 (2003) 993–1003.
- [2] G. Sevikyan, M. Vardanyan, S. Apikyan, Nuclear energy in Armenia history, problems, possibilities and outlook. Nuclear Power and Energy Security. Springer, 1 (2009) 133–142.
- [3] G.D. Rolph, F. Ngan and R.R. Draxler. Modeling the fallout from stabilized nuclear clouds using the HYSPLIT atmospheric dispersion model. Journal of Environmental Radioactivity, 136 (2014) 41–55.
- [4] A.F. Stein, R.R. Draxler, G.D. Rolph, B.J.B. Stunder, M.D. Cohen & F. Ngan. NOAA'S HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. Bulletin of American meteorological society, 96 (2015) 2059–2077.
- [5] R.R. Draxler and G. Hess. An overview of the HYSPLIT\_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. Australian Meteorological Magazine. 47 (1998) 295–308.
- [6] I. Korsakissok, A. Mathieu, D. Didier. Atmospheric dispersion and ground deposition induced by the Fukushima Nuclear Power Plant accident: A local-scale simulation and sensitivity study. Atmospheric Environment. 70 (2013) 267–279.
- [7] P.P. Povinec, K. Hirose and M. Aoyama. Fukushima accident: radioactivity impact on the environment. Elsevier, Boston, 33 (2013) 56–101.
- [8] R.R. Draxler, G.D. Rolph. Evaluation of the Transfer Coefficient Matrix (TCM) approach to model the atmospheric radionuclide air concentrations from Fukushima, J. Geophys. Res., 117 (2012) D05107.