

شبیه‌سازی عددی الگوی پخش مواد رها شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران

حسین یوسفی^{۱*} - سرمد قادر^۲ - اصغر صدیق‌زاده^۳

۱ سازمان انرژی اتمی ایران، نظام ایمنی هسته‌ای کشور

۲ مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳ سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، آزمایشگاه مهندسی محیط زیست

چکیده

با توجه به اهمیت روز افزون تعیین و شبیه‌سازی عددی الگوی پاشندگی آلاینده‌ها در کلیه مراکز صنعتی، کار حاضر به "شبیه‌سازی عددی الگوی پخش مواد رها شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران" بدون بررسی واکنش‌های شیمیایی می‌پردازد. برای تعیین الگوی پاشندگی آلاینده‌های خارج شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران از یک سامانه جفت شده هواشناسی- پاشندگی استفاده شد نحوه جفت شدن دو مدل به گونه‌ای بود که از خروجی مدل میان مقیاس هواشناسی بعنوان ورودی برای تعیین چگونگی پاشندگی آلاینده‌ها در مدل پاشندگی استفاده شد. در قسمت سامانه هواشناسی از مدل میان مقیاس WRF^۱ برای حل عددی معادلات تراکم پذیر و غیرهیدروستاتیک حاکم بر جو و همچنین از مدل HYSPLIT^۲ برای تعیین پاشندگی آلاینده‌های خروجی از دودکش راکتور بدون بررسی واکنش‌های شیمیایی استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد حداکثر مقادیر آلاینده‌ها در طی هر شبیه‌سازی بر اساس نوع آلاینده و مقدار غلظت رهاسازی متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال برای آلاینده‌ای با میزان رهاسازی ۲- $2.05E$ بکرل بر ساعت، از مرتبه 10^{-12} تا 10^{-8} بکرل بر مترمکعب متغیر می‌باشد. همچنین میزان نهشت آلاینده‌ها حداکثر از مرتبه 10^{-6} بکرل بر مترمربع می‌باشد که از لحاظ پرتوگیری داخلی (بویژه برای افراد شاغل^۳) خیلی کمتر از مقادیر مجاز (ICRP-^۴ ۶۰) می‌باشد.

۱ مقدمه

نتایج حاصل از شبیه‌سازی ناپایای (غیردائم) نحوه انتقال و پاشندگی^۵ جوی آلاینده‌های خروجی از نیروگاه‌ها و سایر صنایع می‌تواند اطلاعات مناسبی را در مورد نحوه انتشار مکانی و زمانی این آلاینده‌ها در محیط اطراف در اختیار محققان قرار دهد. لذا با توجه به اهمیت انجام مطالعات زیست محیطی و تعیین الگوی پاشندگی

^۱ Weather Research and Forecasting

^۲ Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

^۳ Driven Air Consumption (DAC)

^۴ International Commission Radiological Protection

^۵ Dispersion

جوی در نزدیکی مراکز صنعتی، مدل‌های عددی بسیاری برای انجام شبیه‌سازی توسط محققان مختلف توسعه داده شده‌اند. در بیشتر این موارد در این مدل‌های عددی از مدل‌های گوسی (مانند نرم افزارهای CAP88, RASCAL, PCCREAM) برای تعیین الگوی پاشندگی جوی استفاده می‌شود. با توجه به محدودیت‌ها، معایب و دامنه عمل کوتاه مدل‌های گوسی و همچنین پایا^۶ بودن آنها، استفاده عملیاتی از این مدل‌ها و به ویژه برای حالات ناپایا^۷، در عمل با خطای زیادی همراه خواهد بود.

هدف کار حاضر ایجاد و استقرار یک سامانه جفت شده برای پیش‌بینی میزان و نحوه پاشندگی آلاینده‌های خروجی از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران بصورت ناپایا بدون بررسی واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. مدل WRF یک مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا است که به حل عددی شکل پایستار معادلات تراکم پذیر و غیرهیدروستاتیک حاکم بر جو می‌پردازد. مدل HYSPLIT نیز برای شبیه‌سازی پاشندگی آلاینده‌های رها شده در هوا به کار می‌رود. محاسبات مربوط به پاشندگی در این مدل بصورت ترکیبی بوده و در عمل پیوندی از روش‌های لاگرانژی و اوپلری می‌باشد.

۲ عضوهای سامانه

۲-۱ مدل WRF

برای شبیه‌سازی میدان باد در منطقه مورد مطالعه در کار حاضر از مدل میان‌مقیاس WRF استفاده شد. با توجه به تاثیر پارامتر سازی‌های فیزیکی بر میدان باد شبیه‌سازی شده در مدل WRF، نسبت به بررسی تعدادی از پارامتر سازی‌های فیزیکی مانند میکروفیزیک ابر، طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای و طرح‌واره سطح زمین برای تعدادی از روزهای منتخب سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ اقدام شد. با استفاده از برنامه فرترنی تهیه شده بود اقدام به قرائت میدان باد در خروجی‌های مدل WRF و مقایسه آنها با داده‌های مشاهداتی دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و فرودگاه دوشان‌تپه مندرج در گزارشات اداره هواشناسی ایستگاه‌های مربوطه، گردید تا مناسب‌ترین ترکیب فیزیکی از نظر شبیه‌سازی میدان باد در منطقه مورد بررسی در مدل WRF فراهم گردد.

۲-۲ مدل HYSPLIT

۲-۲-۱ مشخصات مدل HSPLIT

برای تعیین نحوه پاشندگی مکانی و زمانی آلاینده‌های خارج شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران از مدل HYSPLIT نسخه ۴ استفاده گردید. این مدل توسط NOAA و WMO و آژانس بین‌المللی انرژی اتمی که

^۶ Steady
^۷ Unsteady

مسئولیت پیش‌بینی پاشندگی جوی در حوادث بزرگ هسته‌ای را دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل این مطلب توانایی مناسب مدل و همچنین مناسب بودن آن برای انجام چنین شبیه‌سازی‌هایی می‌باشد. از جمله موارد کاربرد اصلی این مدل می‌توان به ردیابی و پیش‌بینی انتشار مواد رادیواکتیو، خاکسترهای آتشفشانی، دود حاصل از آتش‌سوزی و آلاینده‌های ناشی از منابع آلودگی ساکن و متحرک، در جو اشاره نمود.

۱-۲-۲ پارامترهای پاشندگی مورد استفاده در مدل HYSPLIT

با مشخص شدن ترکیب بهینه از نظر شبیه‌سازی میدان باد منطقه مورد بررسی، اقدام به اجرای مدل پاشندگی HYSPLIT، با استفاده از خروجی مدل WRF برای ۲۸ دسامبر ۲۰۱۰ در ۱۵ تراز در راستای قائم اقدام شود و در نهایت نتایج حاصل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. برای تعیین الگوی پاشندگی آلاینده‌های خروجی از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران، از آلاینده‌هایی مانند سرنیوم-۱۳۹، سزیم-۱۳۸، جیوه-۱۰۴ و سدیم-۲۴ استفاده شد که در اینجا بدلیل حجم زیاد تصاویر، نتایج مربوط به پاشندگی سرنیوم-۱۳۹ آورده می‌شود.

۳ نتایج

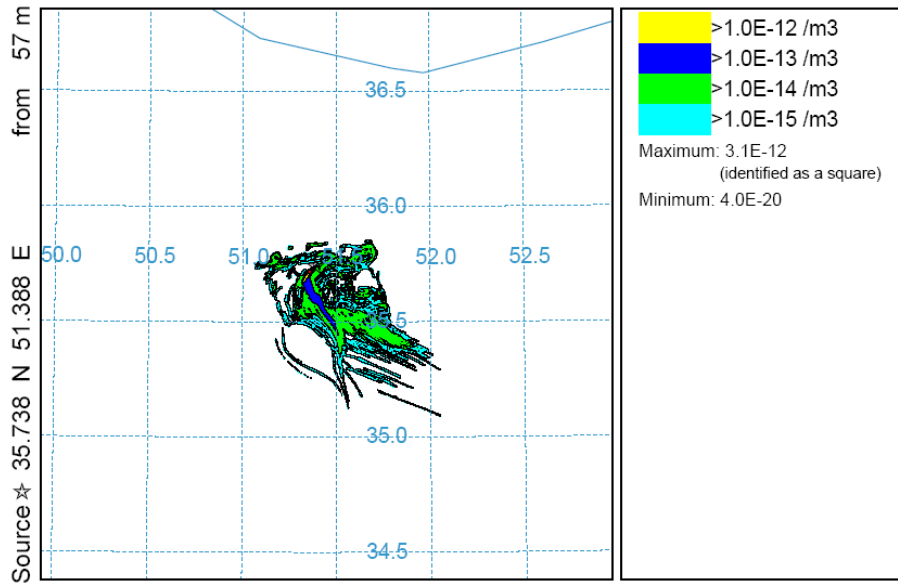
شبیه‌سازی‌های پاشندگی توسط مدل HYSPLIT در ۱۵ تراز متفاوت با ارتفاع‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ متر انجام شد. بدلیل حجم زیاد نتایج، ارائه نتایج شبیه‌سازی الگوی پاشندگی فقط برای رادیونوکلیئید Ce^{139} در ترازهای ۱۰۰۰ متر مورد بررسی قرار گرفته‌است.

۱-۳ آلاینده Ce^{139}

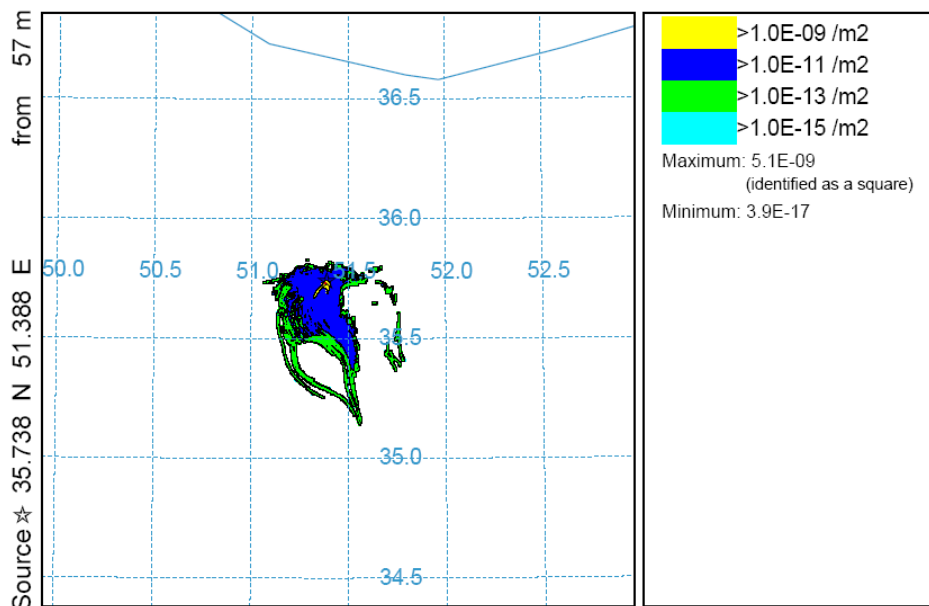
نیمه عمر Ce^{139} ، ۱۳۸ روز می‌باشد. غلظت رهاسازی آن برابر $2.054E-2$ بکرل بر ساعت (Bq/h) در نظر گرفته شد. همچنین فرض گردید که در طول مدت رهاسازی با غلظت یکنواخت از دودکش راکتور خارج شود.

شکل ۱، حرکت آلاینده سرنیوم-۱۳۹ را بعد از ۲۴ ساعت از شروع اجرای مدل نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که بعد از گذشت ۲۴ ساعت از شروع شبیه‌سازی، آلاینده مورد نظر در حدود ۱ درجه بسمت جنوب و ۱ درجه بسمت شرق حرکت کرده است. همچنین بعد از ۲۴ ساعت، ماکزیمم غلظت از مرتبه 10^{-12} بکرل بر مترمکعب می‌باشد.

شکل ۲، توزیع مکانی - زمانی نهشت آلاینده سرنیوم-۱۳۹ بعد از ۲۴ ساعت از شروع پاشندگی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹، حداکثر غلظت نهشت ذرات سرنیوم-۱۳۹ بعد از ۱۵ ساعت از شروع پاشندگی اتفاق افتاده و از مرتبه 10^{-9} می‌باشد که از لحاظ پرتوی بسیار ناچیز می‌باشد.

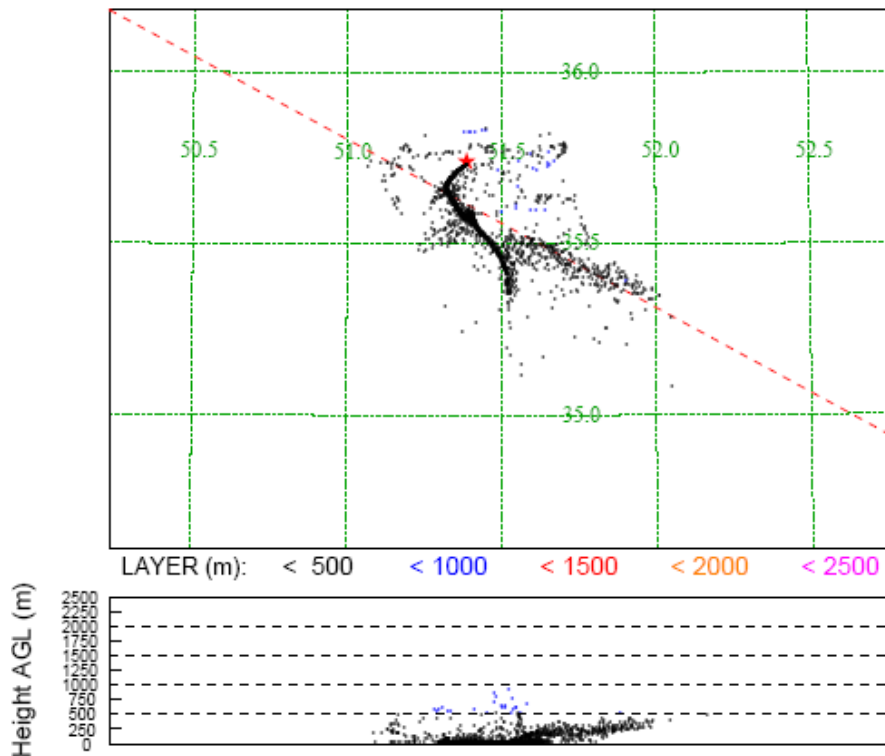


شکل ۱: الگوی پاشندگی ^{139}Ce بر اساس میاگین ترازهای مورد استفاده ۲۴ ساعت (UTC) بعد از شروع پاشندگی



شکل ۲: الگوی پاشندگی ^{139}Ce بر اساس نهشت آن: ۲۴ ساعت (UTC) بعد از شروع شبیه‌سازی پاشندگی

با توجه به شکل ۹، همزمان پاشندگی افقی و پاشندگی در راستای قائم (در راستای خط چین قرمز رنگ) آلاینده سرنیوم-۱۳۹ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ذرات در راستای مشخص شده تا ارتفاع ۷۵۰ متری بالاتر از سطح منطقه به سمت بالا حرکت کرده‌اند.



شکل ۳: الگوی پاشندگی ^{139}Ce بر اساس ۲۴ ساعت (UTC) بعد از شروع شبیه‌سازی پاشندگی

۴ جمع بندی و نتیجه گیری

برای تعیین رابطه پاشندگی آلاینده‌های خارج شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران بدون بررسی واکنش‌های شیمیایی، از یک سامانه هواشناسی میان مقیاس (WRF) جفت شده با یک مدل پاشندگی (HSPLIT) استفاده گردید. نحوه جفت شدگی به این صورت بود که از خروجی مدل WRF بعنوان ورودی برای مدل HYSPLIT استفاده گردید.

برای اجرای مدل WRF، از یک شبکه تو در تو (لانه‌ای) با فاصله شبکه‌ای ۱۸، ۶ و ۲ کیلومتر استفاده گردید. با توجه به تاثیر پارامتر سازی‌های فیزیکی بر میدان باد شبیه‌سازی شده در مدل WRF، نسبت به بررسی تعدادی از پارامتر سازی‌های فیزیکی مانند میکروفیزیک ابر، طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای و طرح‌واره سطح زمین اقدام گردید. همچنین برای بررسی میدان باد شبیه‌سازی شده از داده‌های مشاهداتی دو ایستگاه فرودگاه مهرآباد و فرودگاه دوشان‌تپه استفاده گردید. با مشخص شدن ترکیب بهینه از نظر شبیه‌سازی میدان باد منطقه مورد بررسی، اقدام به اجرای مدل پاشندگی با استفاده از خروجی مدل WRF برای تاریخ مورد نظر گردید.

همچنین برای شبیه‌سازی پاشندگی از ۱۵ تراز (به ترتیب ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰۰ متر) در راستای قائم استفاده گردید. با توجه به آلاینده‌ها و زمان‌های اجرای متفاوت مدل، نوع پاشندگی ذرات آلاینده با یکدیگر به علت تفاوت در میدان باد مورد استفاده متفاوت بود. نکته مهم و حائز اهمیت این است که حداکثر غلظت آلاینده‌ها در کلیه حالات از مرتبه 10^{-8} (بکرل بر متر مکعب) بیشتر نگردید که با توجه به حداکثر غلظت مجاز انتشار آلاینده‌ها در جو، از مرتبه بسیار پائینی می‌باشد و با توجه ریسک کاهش امید به زندگی، میزان غلظت‌های آلاینده‌های مورد بررسی در حد بسیار ناچیزی می‌باشند.

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که استفاده از سامانه میان مقیاس جفت شده هواشناسی-پاشندگی امکان تعیین الگوی پاشندگی مواد رها شده از دودکش راکتور تحقیقاتی تهران را فراهم می‌آورد.

۵ منابع

- ۱۰ CFR-Part ۲۰ – Standards For Protection Against Radiation, Appendix B
- Draxler, R.R., and G.D. Hess, ۱۹۹۸: An overview of the HYSPLIT_۴ modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. Aust. Meteor. Mag., ۴۷, ۲۹۵-۳۰۸.
- Draxler, R.R., ۱۹۹۹: HYSPLIT_۴ user's guide. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-۲۳۰, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Draxler R. R., Jean M., Hicks B., and Randerson D., ۱۹۹۷: Emergency preparedness-regional specialised meteorological centres at washington and montreal, Radiation Protection Dosimetry, Vol. ۷۳(۱-۴), pp. ۲۷-۳۰.
- International Commission Radiological Protection ۶۰, ۱۹۹۰
- Skamark W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Duda M.G., Huang X., Wang W., Powers J., (۲۰۰۸). A Description of the Advanced Research WRF Version ۳, NCAR/TN-۴۷۵+STR