

شبیه سازی انتشار آلاینده های هسته ای در جو با استفاده از مدل های پیش بینی هواشناسی در یک حادثه فرضی در نیروگاه بوشهر

امیر خانجانی بیجارگاه^۱، بایرامعلی محمد نژاد^{۱*}، بهزاد لایقی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم

۳- مدیر کل مرکز علوم جوی و اقیانوس شناسی، سازمان هواشناسی کشور

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۰۶)

چکیده

اهمیت استفاده از انرژی های پاک با توجه به بروز مشکلات عدیده، در بخش های دیگر انرژی بر همگان آشکار گردیده است. در این میان، انرژی هسته ای و استفاده از آن در تولید برق جزء انرژی های نسبتاً پاک به شمار می آید. از طرفی بروز حادثه در نیروگاه های هسته ای مثل حوادث چرنوبیل و فوکوشیما تأثیرات درازمدت و نامطلوبی بر روی محیط زیست و سلامتی انسانها می گذارد. همچنین این حوادث دارای مقیاس قاره ای بوده و پخش، انتقال و نهشت مواد رادیو اکتیو ناشی از آن تا کیلومترها دورتر از محل حادثه می باشد. با توجه به اهمیت استفاده از مدل های هواشناسی در پیش بینی و ردیابی مسیر انتقال آلاینده ها و از طرفی تلفیق آن با مدل های پخش آلودگی می توان تا اندازه ای از پیامدها و اثرات سوء آن کاست.

هدف از این مقاله بررسی انتشار ماده رادیواکتیو 131 به دلیل آثار بیولوژیکی این ماده در صورت بروز حادثه در نیروگاه بوشهر است که با توجه به عواملی مثل جهت و سرعت باد و شرایط توپوگرافی محیط به میزان پخش و انتشار این ماده می پردازد. بدین منظور با استفاده از مدل پیش بینی **WRF** داده های ورودی هواشناسی به مدل گوسی **AERMOD** داده شد. سپس به کمک نرم افزار **AERMOD** توزیع مواد رادیو اکتیو مدل سازی گردید. با استفاده از میانگین غلظت در خروجی **AERMOD**، اکتیویته این محصول برحسب گرم بر ثانیه بر مترمربع محاسبه شده و میزان واپاشی و پخش آن در شعاع ۵۰ کیلومتری اطراف نیروگاه در یک ساعت اول وقوع حادثه و ۱۲۰ ساعت پس از وقوع حادثه در چهار فصل مختلف سال مورد بررسی قرار گرفت. خروجی مدل نشان می دهد که جهت ریزش مواد رادیواکتیو در اکثر فصول سال به سمت جنوب شرقی بوده و فقط در فصل پاییز به دلیل اثر بادهای محلی جهت آن به سمت شرق تغییر یافته است. بیشترین مقدار غلظت در فصل زمستان مربوط به منطقه خورموج در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته بلافاصله پس از وقوع، به ترتیب $21620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل بهار مربوط به روستای بندرگاه در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته بلافاصله پس از وقوع به ترتیب $6686 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $87,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل تابستان در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته بلافاصله پس از وقوع به ترتیب $7265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $200,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در فصل پاییز مربوط به منطقه برازجان در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته بلافاصله پس از وقوع به ترتیب $15481 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد.

واژه های کلیدی: آلاینده های هسته ای، شبیه سازی، پیش بینی کیفیت هوا، نیروگاه بوشهر، **AERMOD**.

مقدمه

فوکوشیما دایچی با استفاده از مدل تحقیقات و پیش بینی آب و هوایی-شیمیایی بررسی شده است. مقادیر زیادی از رادیونوکلئیدها، بعد از حادثه هسته ای در فوکوشیما (FDNPP) در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ به اتمسفر آزاد شده بودند. بعدها دولت ژاپن گزارش کرد که مواد رادیو اکتیو در منابع غذایی و آب در فوکوشیما و مناطق مجاور یافت شده اند. رادیونوکلئیدها می توانند به طور عمده سلامتی بشر را به خطر اندازند، باعث سرطان و بیماریهای ناشی از مجاورت زیاد با اشعه شوند [۴]. دانستن توزیع مکانی و زمانی رادیونوکلئیدها، کلید ارزیابی و کاهش اثر روی سلامتی مواد رادیواکتیو آزاد شده است. بنابراین مهم است که قادر

تهدیدات بشر و مخاطرات طبیعی نظیر سیل و زلزله، می تواند پیامدهای جبران ناپذیری برای انسان و محیط زیست به همراه داشته باشد که اثرات آن در اکثر موارد تا قرن ها ادامه دارد. از طرفی تمامی نیروگاه های هسته ای در حالت عادی کارکرد خود، مقدار کمی مواد رادیواکتیو تابش می کنند. حوادث چرنوبیل در اوکراین در سال ۱۹۸۶ میلادی که در اثر خطای انسانی و فوکوشیما دایچی در ژاپن بر اثر زلزله در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ نمونه هایی از این گونه حوادث اند.

انتقال اتمسفری و رسوب زمینی ایزوتوپ های رادیواکتیو 131 و سزیم-۱۳۷ در طول و بعد از حادثه نیروگاه هسته ای

مدل های پیش بینی هواشناسی و مدل پخش آلودگی

مدل پیش بینی WRF

مدل (WRF (Weather Research and Forecasting) یا مدل پیش بینی وضعیت آب و هوا، یک مدل عددی میان مقیاس است که نیازهای روزافزون تحقیقاتی و نیز پیش بینی های محیطی را جوابگو می باشد.

این مدل یک مدل کاملاً تراکم پذیر، اویلری و ناآب ایستایی است که از یک دستگاه مختصات قائم فشاری آب ایستایی تابع عوارض زمین به همراه شبکه قائم نایکنواخت است به طوری که سطوح قائم نزدیک سطح زمین به هم نزدیک می شوند و با دور شدن از سطح زمین، فاصله آنها افزایش می یابد. برای هسته دینامیکی ARW نوع شبکه افقی آرکاوا- C است. برای انتگرال گیری زمانی معادلات، از یک طرحواره رونگ-کوتا و با گام زمانی کوچکتر برای امواج تند (مانند امواج صوتی) استفاده می شود [۲].

همچنین برای اجرای مدل مجموعه ای از برنامه ها و زیر برنامه ها برای پارامترسازی مؤلفه های فیزیکی، مانند تابش، پارامتری کردن لایه مرزی، پارامتری کردن همرفت، پخش پیچکی ریز شبکه ای و خرد فیزیک لازم است.

مدل پخش آلودگی AERMOD

در فوریه سال ۱۹۹۱، انجمن هواشناسی آمریکا (AMS)^۱ و سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)^۲، کمیته ای تشکیل دادند که هدف از این کمیته همکاری و تلاش برای دستاوردهای جدید علمی، مخصوصاً در بحث مفاهیم لایه مرزی جو (PBL)^۳ در مدل های کاربردی بود که منجر به ساخت مدل پیشرفته AERMOD شد. این نرم افزار، مدل پراکنش برای تعیین غلظت آلاینده های مختلف، در مناطق شهری و روستایی، هموار و ناهموار قابل استفاده می باشد [۹].

باشیم به طور دقیق حمل اتمسفری و رسوب زمینی شان را مدل کنیم [۵].

مدل سازی و آنالیز حساسیت حمل و رسوب رادیونوکلئیدها از حادثه فوکوشیما دایچی با استفاده از WRF-CHEM نشان می دهد که آیتم های هواشناسی نظیر باد، بارش و نرخ انتشار در حمل و رسوب یُد-۱۳۱ و سزیم-۱۳۷ موثر است [۵].

شبه سازی انتقال و پخش آلاینده های هسته ای رها شده از حادثه فرضی در نیروگاه بوشهر با استفاده از مدل HYSPLIT نشانگر آن است که در صورت بروز حادثه شرایط جوی حاکم در زمان وقوع تأثیر زیادی بر پراکنش آلاینده ها می گذارد [۱].

با استفاده از مدل ترکیبی ایجاد شده به وسیله مدل کیفیت هوای Models-3/ CMAQ و مدل جوی WRF مسیر انتقال و توزیع آلاینده های هسته ای نیروگاه فوکوشیما را در فاصله های خیلی طولانی و خیلی کوتاه شبه سازی کردند [۶]. شبه سازی انتشار آلاینده های خروجی از دودکش نیروگاه بوشهر با استفاده از مدل HYSPLIT انجام شده است که از داده های خروجی هواشناختی مدل میان مقیاس WRF استفاده می شود [۳].

بررسی پخش و انتقال آلاینده های رها شده به جو از حادثه فرضی نیروگاه هسته ای متسامور در ارمنستان بر روی ترکیه با استفاده از دو روش متفاوت، یکی تحلیل خط سیر و دیگری مدل ردیاب MM5 صورت پذیرفته است [۷].

هدف از این تحقیق، شبه سازی میزان و جهت انتشار مواد رادیواکتیو با استفاده از تلفیق مدل های پیش بینی هواشناسی با مدل آلودگی هوا به منظور مقابله با کاهش اثرات زیست محیطی در صورت بروز حادثه در واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر است که مناطق متأثر از این پدیده را در فصول مختلف سال مورد بررسی قرار می دهد.

¹ American Meteoroidal Society

² Environmental Protection Agency Regularity Model Improvement

³ Planetary Boundary Layer

ساختمان به دام افتاده، با فرض اختلاط یکنواخت صورت گرفته و وابسته به هندسه سازه است. به دنبال ناحیه فرورفته، این جرم به دنباله منتشر می‌شود و در آنجا با جرم پلوم پیرامونی آمیخته شده و با نرخ بیشتری نسبت به منطقه با هوای آزاد پراکنده می‌شود که این پراکنش به محل منبع و ارتفاع آزادسازی آلاینده، همچنین هندسه سازه بستگی دارد [۹ و ۱۲].

مدل **AERMOD** برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها از دو پیش‌پردازنده **AERMET** و **AERMAP** بهره می‌گیرد. پیش‌پردازنده **AERMET** داده‌های هواشناسی را پردازش کرده و مشخصه‌های لایه مرزی را به منظور استفاده در مدل تخمین می‌زند و پیش‌پردازنده **AERMAP** که اطلاعات توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را آماده‌سازی می‌کند. حداقل داده‌های هواشناسی که برای مدل‌سازی لازم است عبارتند از سرعت باد، جهت باد، سال، ماه، روز، ساعت، دمای هوای خشک، پوشش ابر، رطوبت، بارندگی و فشار. توپوگرافی نیز روی میدان سرعت باد تاثیر می‌گذارد و شرایط پایداری لایه مرزی را می‌تواند تغییر دهد و اگر در شعاع مدل‌سازی باشد باید لحاظ شود.

تلفیق مدل WRF با AERMOD

AERMOD نیاز به مشاهدات سطحی ساعتی پایدار و داده‌های هواشناسی جو بالا دارد. این مدل داده یک ایستگاه را می‌پذیرد و فرض می‌کند که وضعیت هوا به صورت افقی روی کل ناحیه تحت مطالعه، همگن باشد [۱۵].

بنا به اهمیت پارامترهای جوی در مطالعات کیفیت هوا، دقت و صحت دسته پارامترها که معرف و بیانگر وضعیت جو هستند، بسیار قابل اعتناست. با این حال، داده‌های مشاهداتی پیوسته و یکنواخت، به طور دائم در دسترس نیست و برای عموم ایستگاه‌های هواشناسی نیز پارامترهای لایه بالایی جو تهیه نمی‌شود.

در غیاب مشاهدات هواشناسی در یک بازه زمانی، پارامترهای هواشناسی از مدل‌های هواشناسی استخراج می‌گردد که مدل **WRF** برای این منظور مدل مناسبی است. کوپل‌کننده موردنیاز برای سیستم کوپل شده آفلاین **AERMOD-**

مدل **AERMOD** مدل پراکنشی حالت دائمی است که برای تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف، در مناطق شهری و حومه‌ای، انتشار سطحی و در ارتفاع از منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی قابل استفاده است، که بیشتر برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌ها در محدوده‌های تا ۵۰ کیلومتر پیشنهاد می‌شود.

در این نرم‌افزار فرض شده است که توزیع غلظت در لایه مرزی پایدار (SBL)^۱ در هر دو جهت قائم و افقی، همچنین در لایه مرزی همرفتی (CBL)^۲ در جهت افقی، گوسی می‌باشد و در جهت عمودی دو گوسی می‌باشد [۱۰ و ۱۱].

در زمین‌های ناهموار، مدل **AERMOD** از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده [۱۱] و غلظت نهایی را از مجموع وزنی غلظت‌های حاصل از دو حالت پلوم افقی و پیرو عوارض زمین تعیین می‌کند که در زمین‌های صاف هر دو حالت یکسان هستند [۹ و ۱۲]. تحت شرایط بسیار پایدار، پلوم در مواجهه با مانع تمایل دارد افقی باقی بماند و در شرایط ناپایدار پلوم از روی سطح مانع حرکت می‌کند. از این رو در تعیین غلظت نهایی از برآیند وزنی این دو حالت استفاده می‌شود. هریک از این حالت‌ها براساس مفاهیم خط جریان بحرانی و مقیاس ارتفاعی هر پذیرنده، وزن‌دهی می‌شوند [۱۳]. این وزن‌دهی به میزان جرم انتقالی در آن حالت بستگی دارد که این تقسیم جرم براساس ارتباط بین ارتفاع تقسیم خط جریان بحرانی و توزیع قائم غلظت در هر پذیرنده صورت می‌گیرد [۹].

AERMOD از مدل افزایش ارتفاع صعود پلوم (PRIME)^۳، به منظور اعمال اثر ساختمان‌ها بر صعود پلوم و نحوه پراکنش آلاینده‌ها^۴ استفاده می‌کند [۱۴].

در مدل **PRIME**، تقسیم جرم پلوم مابین دنباله و ناحیه فرورفتگی که براساس مرزهای حاصل از تفکیک افقی و عمودی خطوط جریان به وجود آمده‌اند انجام می‌گیرد. در این مدل پراکنش، جرمی از پلوم، که در ناحیه فرورفتگی

¹ Stable Boundary Layer

² Convective Boundary Layer

³ Plume Rise Model Enhancement



شکل ۱- آشیانه سازی در منطقه مورد مطالعه (بوشهر)

طرحواره های مورد استفاده برای پارامترسازی فیزیکی شامل طرحواره های خردفیزیک لین، لایه مرزی سیاره ای ACM2، همرفت کومه ای کین فریج، تابش موج بلند RRTM، تابش موج کوتاه گودارد، لایه سطحی و سطح زمین PLEIM-XIU می باشد.

شرایط جوی در اطراف نیروگاه بوشهر

محاسبه غلظت آلاینده های رادیواکتیو با استفاده از مدل های پراکندگی نیازمند دانستن شرایط آب و هوایی است. شبیه سازی دقیق انتشار جوی مواد رادیواکتیو نیازمند ارایه تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هواشناسی در محل حادثه و مناطق اطراف آن است. شرایط جوی مثل جهت و سرعت باد، از مهمترین پارامترها در تعیین غلظت و دوز توزیع شده در مناطق اطراف می باشد. برای مثال، جهت باد تاثیر عمده ای در روش های پخش مواد رادیواکتیو و تعیین بالاترین غلظت و رسوب در یک جهت خاص و فاصله از منبع نقطه ای دارد. نیروگاه اتمی بوشهر در عرض و طول جغرافیایی ۳۴،۴۷۸۸۴۷ و ۲۷،۲۴۹۱۲۴ متر و ارتفاع ۱۶،۷۷ متر (۵۶ فوت) از سطح دریا واقع شده است. شکل ۲ منطقه جغرافیایی نیروگاه را نشان می دهد.

WRF به عنوان یک بخش از این کار ایجاد شده است. این کوپلر، PBL و پارامترهای سطحی برای یک موقعیت داده شده از خروجی مدل WRF به دست می آورد و مستقیماً فایل های ورودی هواشناسی AERMOD را با عبور از نیاز به پیش پردازنده AERMET و بنابراین هر الزام داده مشاهداتی به وجود می آورد [۱۵].

روش تحقیق

در این تحقیق فرض شده است که حادثه بزرگی در نیروگاه هسته ای بوشهر رخ داده و مقادیر زیادی هسته های پرتوزا وارد محیط گردیده است. مشابه حادثه چرنوبیل که در مدت زمان وقوع حادثه و پس از آن، مقدار ۸،۰۰۰ کیلوگرم ذرات پرتوزا به محیط رها شدند [۱۶]. این حادثه بزرگ در نیروگاه بوشهر می تواند ناشی از قطع خنک کننده باشد. اگر خنک کننده عمل نکند و همزمان در دستگاه های اضطراری نقص فنی به وجود آید طوری که این دستگاه ها نتوانند قلب را خنک کنند، منجر به ذوب قلب راکتور می شود. در این گونه حوادث با ذوب قلب راکتور و عملکرد نامناسب دستگاه های اضطراری، مواد پرتوزای زیادی به محیط زیست منتشر شده و عواقب جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد. داده های اولیه و مرزی مورد استفاده هواشناسی در این تحقیق برای اجرای مدل WRF، از مدل GFS^۱ اخذ شده است که دارای تفکیک ۰،۵ در ۰،۵ درجه بوده و برای هر ۳ ساعت در دسترس است. این داده ها به عنوان شرایط اولیه و مرزی هواشناسی در اجرای مدل استفاده شده است. در این شبیه سازی دو آشیانه با تفکیک های افقی ۹ و ۲۷ کیلومتر، پیکربندی شده است که داخلی ترین آشیانه منطقه تحت تاثیر مواد رادیواکتیو در شعاع مورد نظر را پوشش می دهد. در شکل ۱ نمایی از آشیانه سازی طرح شده در شبیه سازی این پژوهش آورده شده است.

^۱ Global Forecast System

شامل احتمالاً جهت و سرعت پراکندگی یا بیشترین پراکندگی در امتداد مناطق پرجمعیت انتخاب کرد. در مطالعه حاضر، داده‌های هواشناسی در چهار دوره مختلف سال به مدت یک ساعت پس از وقوع حادثه و ۱۲۰ ساعت پس از آن در نیمه فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان یعنی ماه‌های می، آگوست، نوامبر و فوریه در منطقه بوشهر و مناطق اطراف در سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد رادیواکتیو آزاد شده در صورت بروز حادثه

در صورت بروز حادثه عناصر رادیواکتیو مختلفی از قلب راکتور انتشار خواهند یافت. دو عنصر یُد-۱۳۱ و سزیم-۱۳۷ از نقطه نظر آثار بیولوژیکی مهم‌تر از بقیه می‌باشند [۱۷] زیرا یُد فراریت بالایی داشته، در غده تیروئید جذب شده و باعث سرطان تیروئید خواهد شد. سزیم نیز فرار بوده و پس از انتشار در جو با فرونشست روی زمین برای مدت طولانی در لایه‌های سطحی خاک باقی مانده و پرتوزایی خواهد کرد.

نتایج و بحث

فرض شده است که حادثه در چهار دوره از چهار فصل مختلف سال ۲۰۱۸ روی داده است. با توجه به حوزه صحت مدل‌سازی نرم‌افزار **AERMOD**، این مدل برای شعاع ۵۰ کیلومتر اطراف نیروگاه بوشهر اجرا گردیده است.

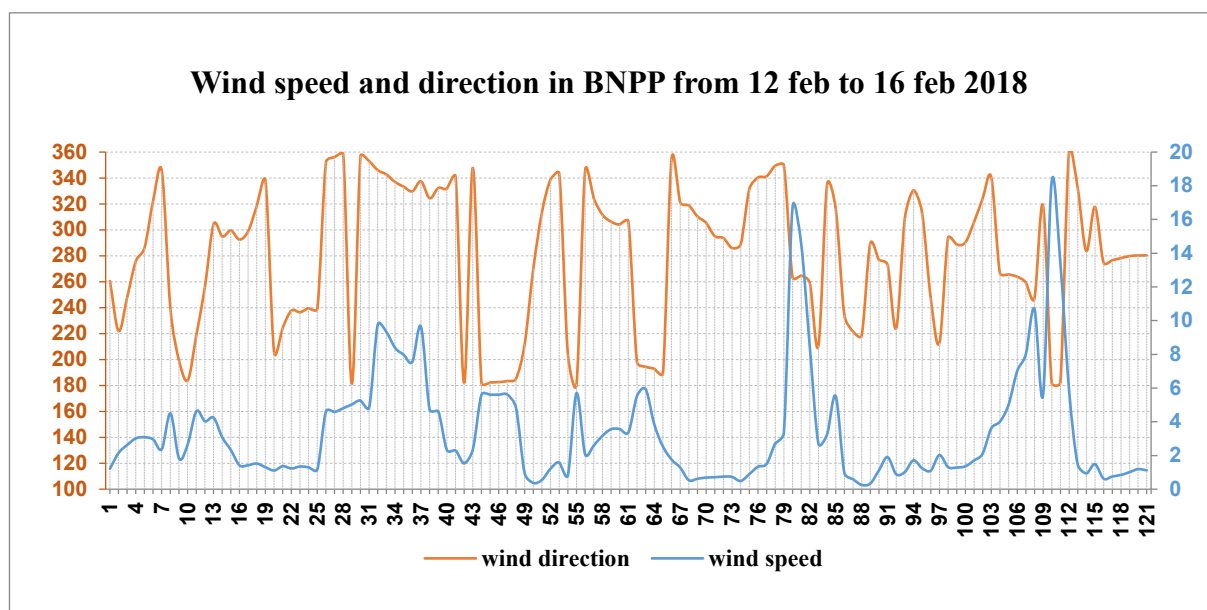


شکل ۲- منطقه جغرافیایی بوشهر و موقعیت قرارگیری نیروگاه اتمی آن از پارامترهای دیگری که در مدل‌سازی پخش آلاینده‌ها در محیط زیست تاثیر دارد، اطلاعات هواشناسی از جمله جهت باد، سرعت باد، ابرناکی، دما، فشار و تابش در محیط اطراف نیروگاه بوشهر می‌باشد.

زمان انتشار

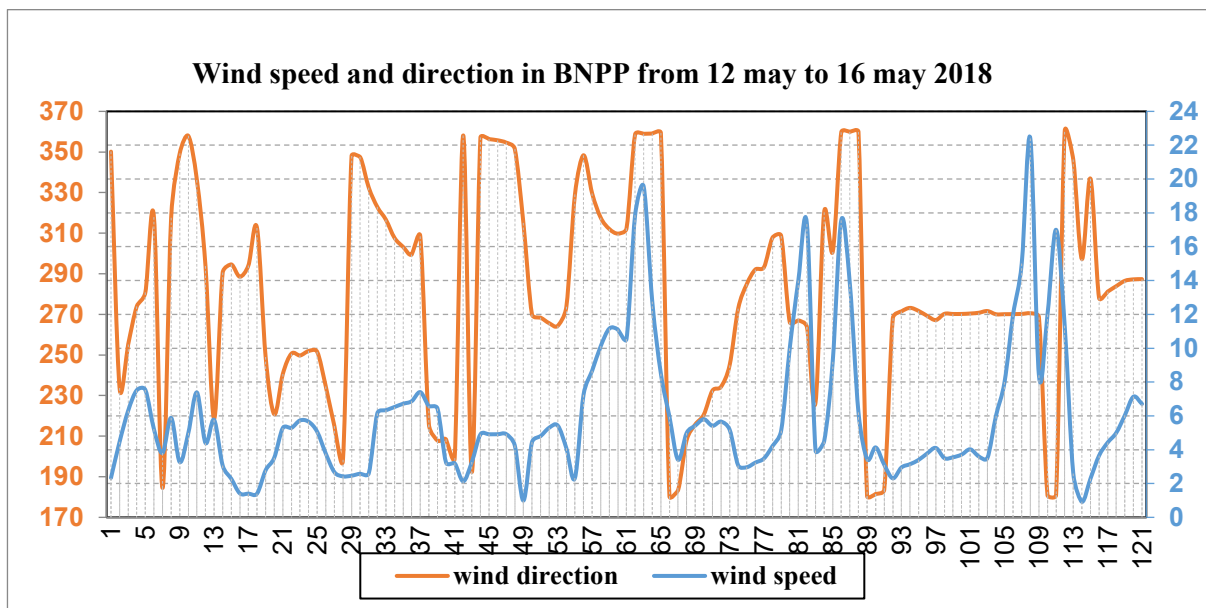
زمان انتشار مواد رادیواکتیو عامل مهمی است که با توجه به ارتباط آن با شرایط آب و هوایی در محاسبات غلظت تاثیر می‌گذارد.

از آنجا که سرعت و جهت باد، برف و باران و دیگر پارامترهای هواشناسی در طول یکسال متفاوت است بنابراین پراکندگی هوا، آلودگی و دوز دریافتی توسط مردم نیز تغییر می‌کند. زمان انتشار را می‌توان با توجه به معیارهای مختلف



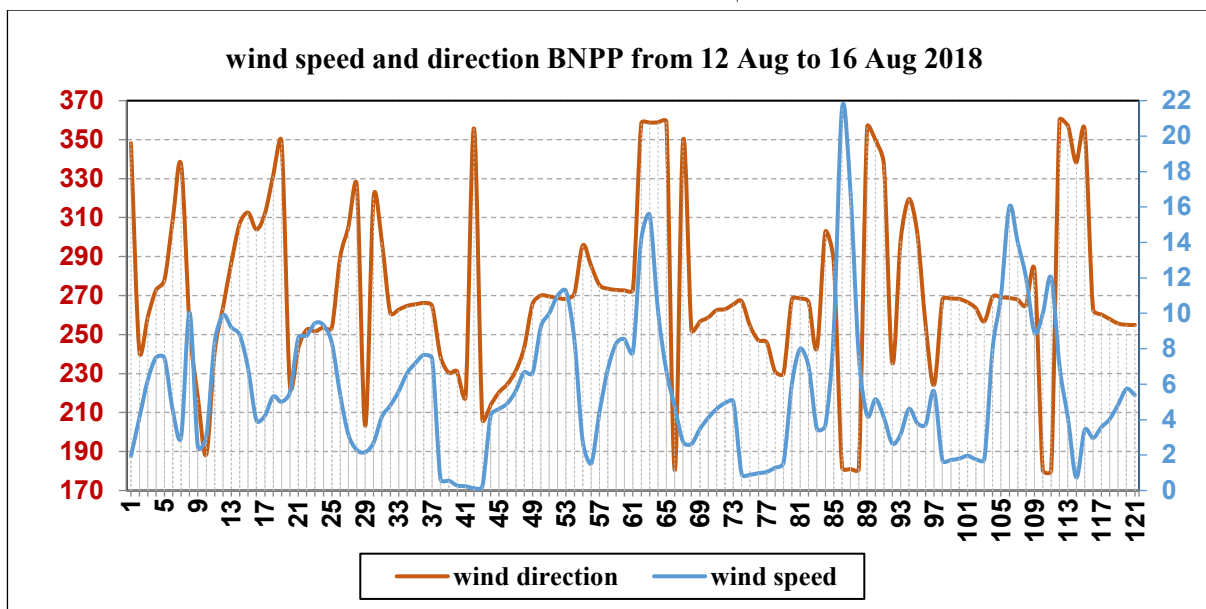
شکل ۳- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ فوریه

در شکل ۳، نمودار جهت و سرعت باد در مدت پنج روز (۱۲۰ ساعت) در روزهای ۱۲ تا ۱۷ فوریه ملاحظه می شود در این شکل تقریباً دو توفان با سرعت باد بالای ۱۰ متر بر ثانیه مشاهده می شود که در روزهای ۱۴ و ۱۶ اتفاق افتاده اند و جهت باد در هر دو توفان شمال-شمال غربی می باشد.



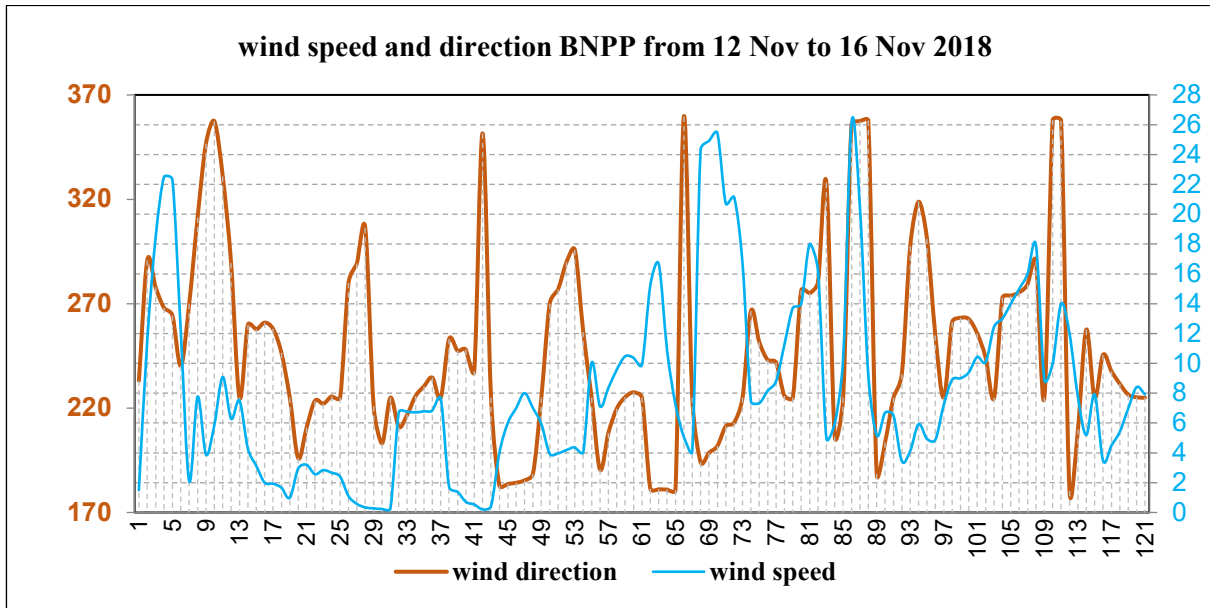
شکل ۴- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ می

در شکل ۴، نمودار جهت و سرعت باد در مدت پنج روز (۱۲۰ ساعت) در روزهای ۱۲ تا ۱۷ می ملاحظه می شود. در این شکل سه توفان در روزهای ۱۳، ۱۵ و هفدهم مشاهده می شود که جهت باد در مورد اول شمال غربی و در مورد های دوم و سوم غرب-جنوب غربی می باشد.



شکل ۵- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ آگوست

در شکل ۵، نمودار جهت و سرعت باد در مدت پنج روز (۱۲۰ ساعت) در روزهای ۱۲ تا ۱۷ آگوست ملاحظه می شود. سه توفان در روزهای ۱۴، ۱۵ و ۱۶ با سرعت باد بالای ۱۰ متر بر ثانیه اتفاق افتاده است که جهت باد در هر سه مورد غرب-جنوب غربی می باشد.



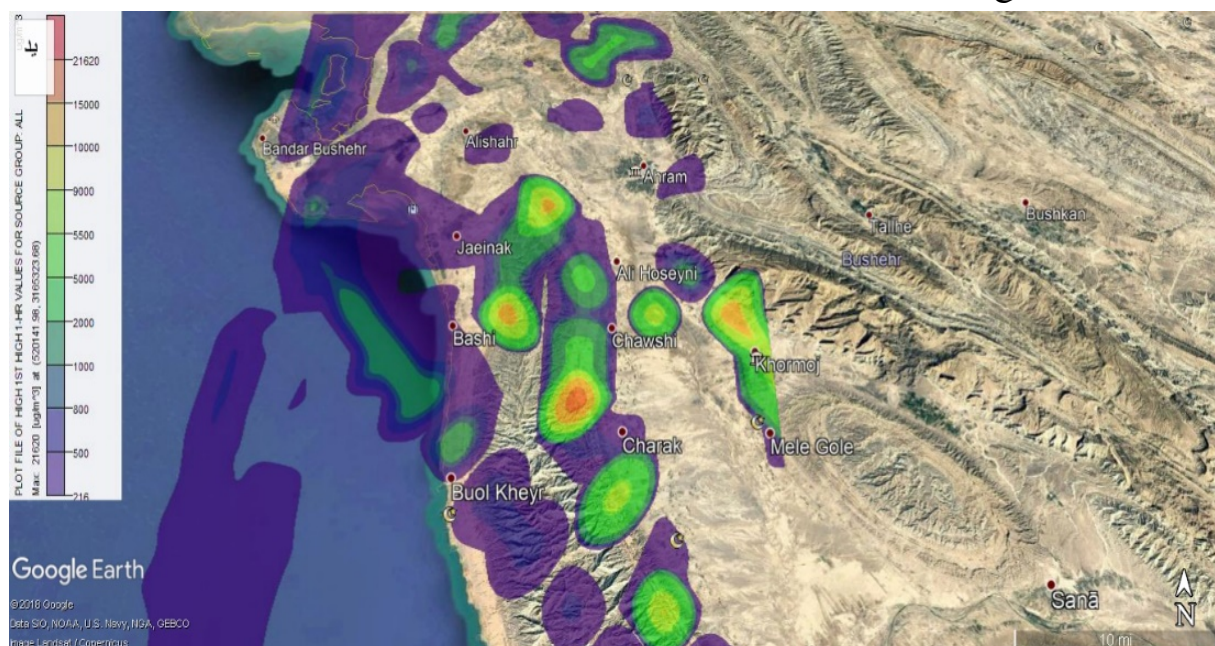
شکل ۶- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ نوامبر

از وقوع برای آلاینده یُد-۱۳۱ آمده است. شعاع پراکنش و مقادیر غلظت متوسط این عنصر برای مدت زمان یک ساعت پس از وقوع حادثه و در بازه زمانی ۱۲۰ ساعته پس از وقوع حادثه در زیر آمده است:

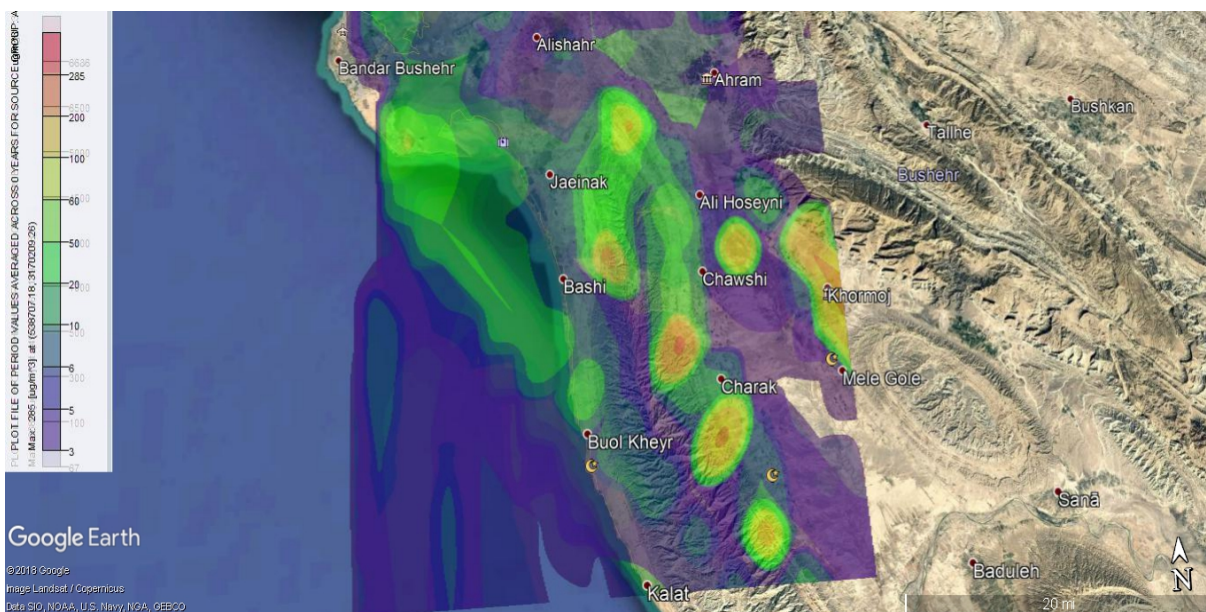
در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۷ ماه فوریه (یک ساعت پس از وقوع حادثه و بازه زمانی ۱۲۰ ساعته)

در شکل ۶، نمودار جهت و سرعت باد در مدت پنج روز (۱۲۰ ساعت) در روزهای ۱۲ تا ۱۷ نوامبر ملاحظه می‌شود. چهار توفان با سرعت باد بالای ۱۰ متر بر ثانیه در روزهای ۱۲، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ مشاهده می‌شود که جهت آنها شمال-شمال غربی است.

با توجه به داده‌های هواشناسی تأثیرگذار بر نحوه پراکنش آلاینده‌ها، نتایج خروجی از مدل AERMOD در بازه‌های یک ساعت پس از وقوع حادثه و مدت زمان ۱۲۰ ساعت پس



شکل ۷- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در ماه فوریه (۱۲ ام این ماه) یک ساعت پس از وقوع حادثه

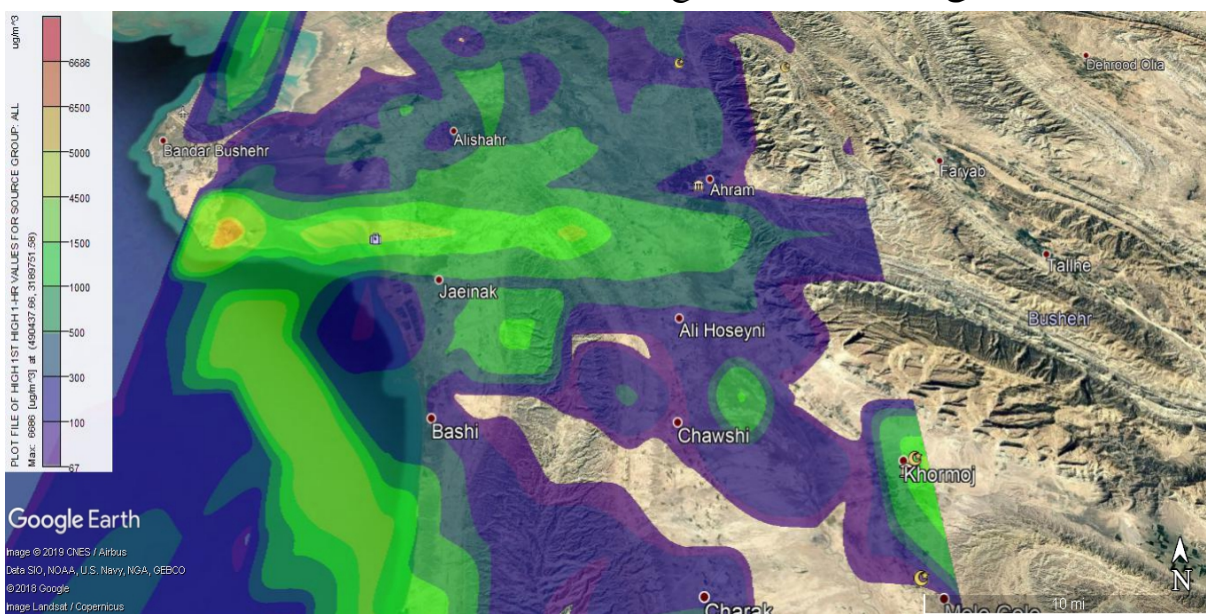


شکل ۸- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۷ تا ۱۲) ماه فوریه سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع حادثه

دوره زمانی ۱۲۰ ساعته به ترتیب $21620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۸۵ می باشد.

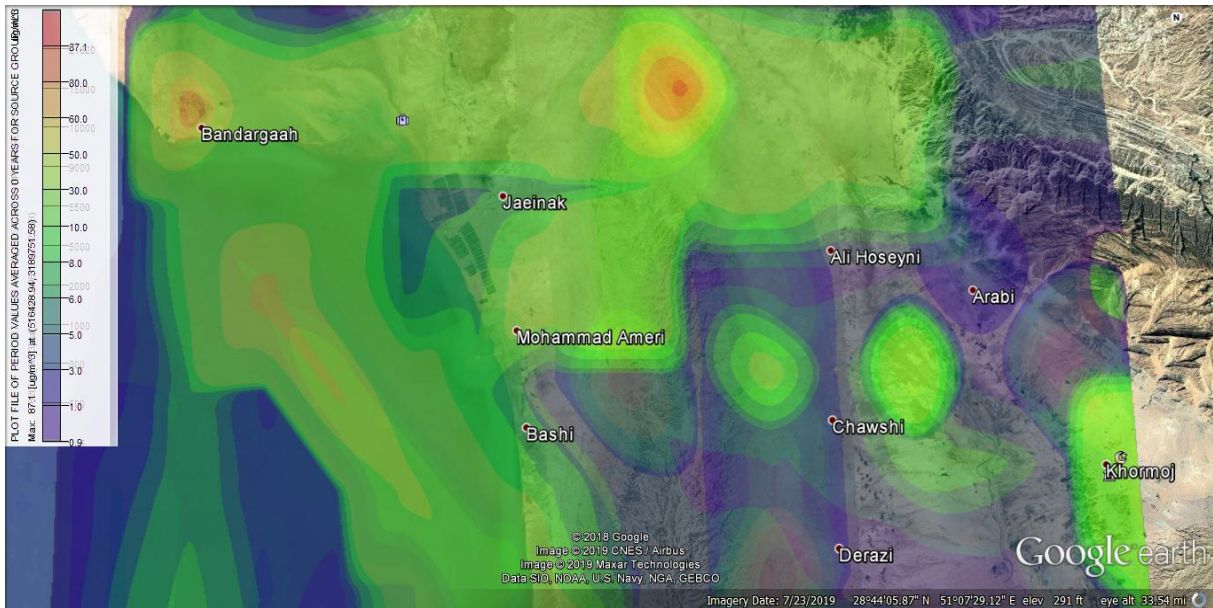
سناریوی دوم: بازه زمانی ۱۲ تا ۱۱۷ ام ماه می (یک ساعت پس از وقوع حادثه و بازه زمانی ۱۲۰ ساعته)

در این فصل با توجه به جهت باد و سایر پارامترهای هواشناسی تأثیر گذار بر پخش آلاینده، الگوی انتشار این ماده در جهت جنوب شرقی خواهد بود. بیشترین مقدار غلظت در شکل های فوق با رنگ های نارنجی و زرد مشخص شده است که مربوط به منطقه خورموج در یک ساعت پس از وقوع و



شکل ۹- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در ماه می (۱۲ ام این ماه) سال ۲۰۱۸ یک ساعت پس از وقوع حادثه

نیوار، دوره ۴۴، شماره ۱۰۹-۱۰۸، بهار و تابستان ۱۳۹۹ (دو فصلنامه)

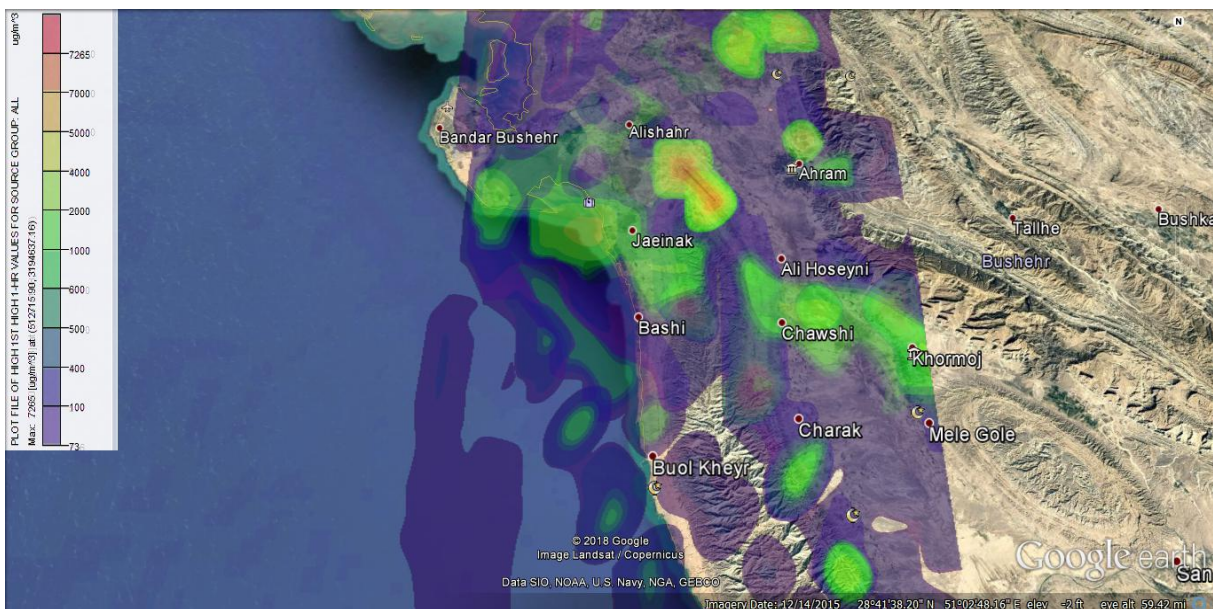


شکل ۱۰- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۲ تا ۱۷ ام) ماه می سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع

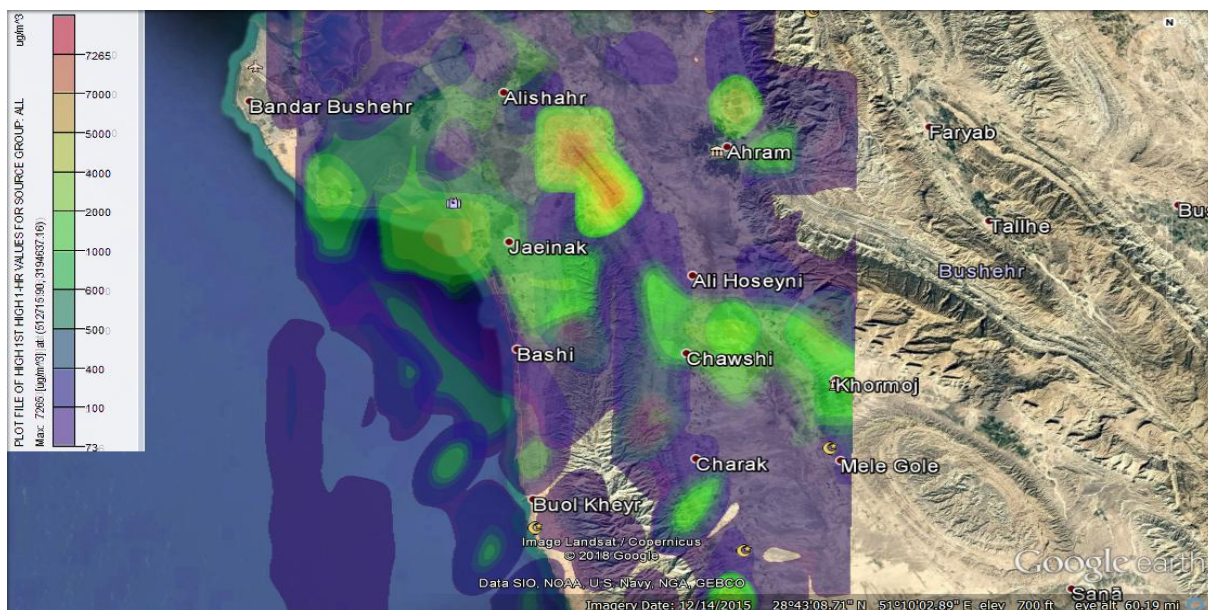
از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته پس از وقوع به ترتیب $6686 \text{ g/m}^3 \mu$ و $87.1 \text{ g/m}^3 \mu$ می باشد.

سناریوی سوم: بازه زمانی ۱۲ تا ۱۷ ام ماه آگوست (یک ساعت پس از وقوع حادثه و بازه زمانی ۱۲۰ ساعته)

در این فصل با توجه به جهت باد و سایر پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر پخش آلاینده، الگوی انتشار این ماده در جهت جنوب و جنوب شرقی خواهد بود. بیشترین مقدار غلظت در شکل های فوق با رنگ های نارنجی و زرد مشخص شده است که مربوط به روستای بندرگاه در یک ساعت پس



شکل ۱۱- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در ماه آگوست (۱۲ ام این ماه) سال ۲۰۱۸ یک ساعت پس از وقوع حادثه

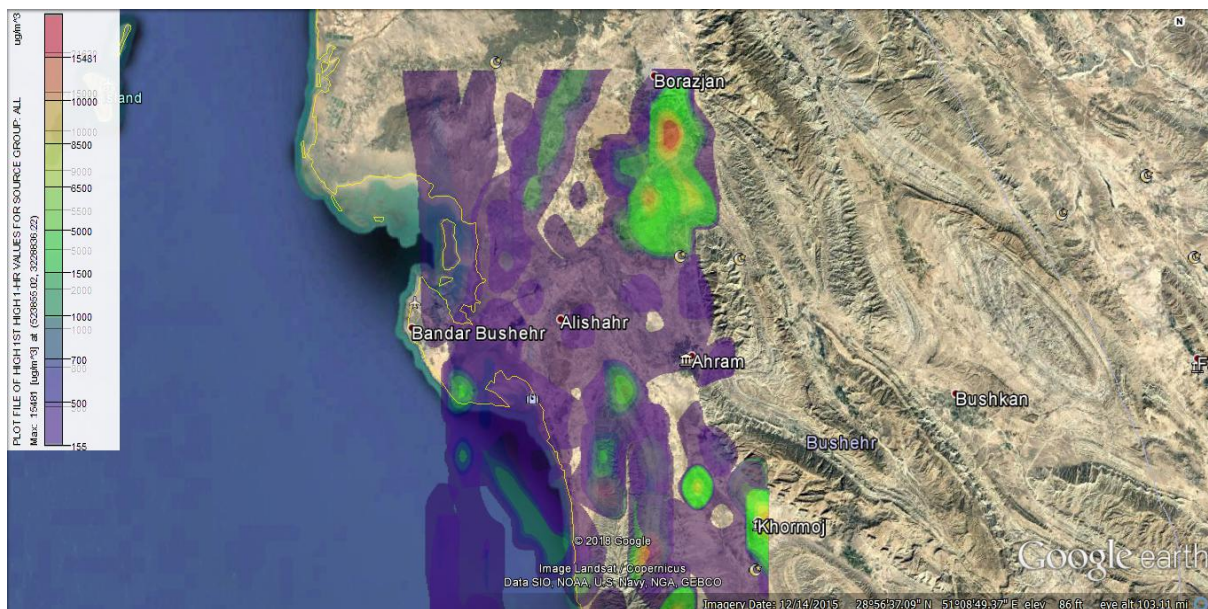


شکل ۱۲ - پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۲ تا ۱۷ ام) ماه آگوست سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع

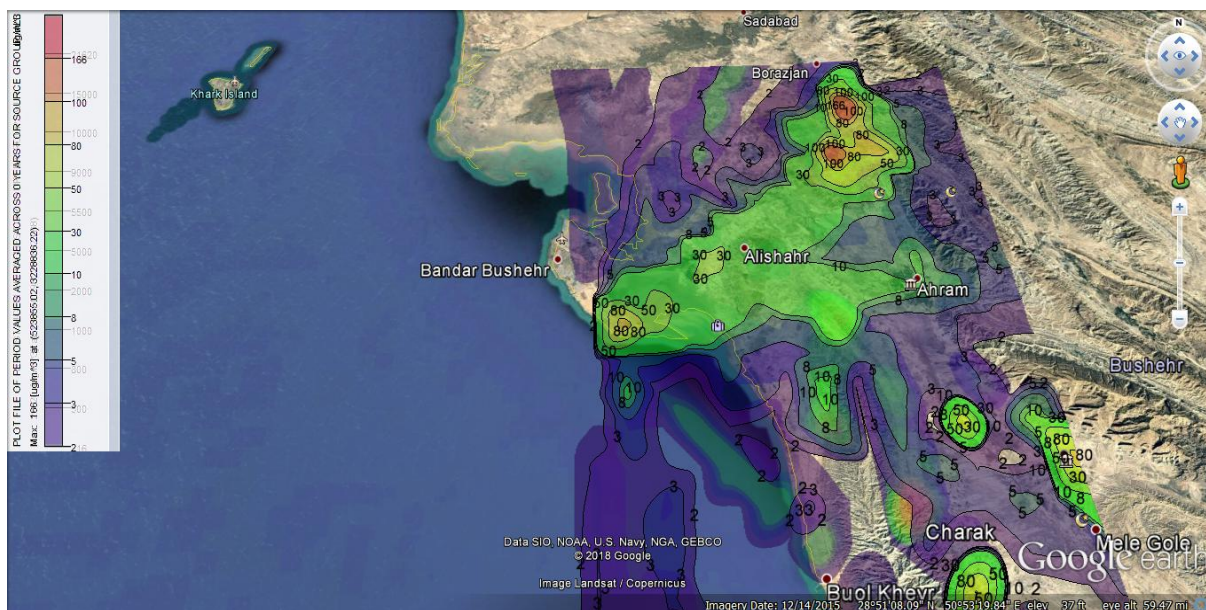
وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته پس از وقوع به ترتیب g/m^3 و 7265μ و $200,2 g/m^3 \mu$ می باشد.

سناریوی چهارم: فصل پاییز و ماه نوامبر (یک ساعت پس از وقوع حادثه و بازه زمانی ۱۲۰ ساعته)

در این فصل با توجه به جهت باد و سایر پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار بر پخش آلاینده، الگوی انتشار این ماده در جهت جنوب و جنوب شرقی خواهد بود. بیشترین مقدار غلظت در شکل های فوق با رنگ های نارنجی و زرد مشخص شده است که مربوط به منطقه عالی شهر در یک ساعت پس از



شکل ۱۳ - پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در ماه نوامبر (۱۲ ام این ماه) سال ۲۰۱۸ یک ساعت پس از وقوع حادثه



شکل ۱۴- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۲ تا ۱۷ ام) ماه نوامبر سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع

- ۱- مقایسه خروجی مدل **AERMOD** با **HYSPLIT** یا مدل‌های دیگر در مکان‌ها و شرایط مشابه.
- ۲- استفاده از داده‌های ورودی با دقت بالاتر برای ارتقای خروجی مدل عددی هواشناسی.
- ۳- اجرای مدل تلفیقی در نیروگاه‌های مشابه و شرایط آب و هوایی دارای متغیرهای بیشتر از منظر هواشناسی.
- ۴- استفاده از اجراهای مدل با میزان تفکیک زمانی و مکانی بیشتر.
- ۵- بررسی و ارزیابی زیست محیطی (EIA) فجایع آلودگی‌های هسته‌ای در ساعات اولیه حادثه و در دراز مدت پس از وقوع حادثه
- اجرای مدل تلفیقی برای عناصر رادیواکتیو دارای نیمه عمر و غلظت متفاوت.
- ۶- جانمایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری آلاینده‌ها و پایش کیفیت هوا در منطقه بوشهر در شرایط عادی و اضطرار.

منابع

- ۱- معماریان و همکاران، شبیه‌سازی انتقال، پخش جوی و نهشت آلاینده‌های هسته‌ای رها شده از یک حادثه‌ی فرضی در نیروگاه بوشهر، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۶۳۵-۶۵۰.
- ۲- لایقی و همکاران، حساسیت سنجی شبیه‌سازی‌های مدل **WRF** به پارامترسازی‌های فیزیکی در محدوده خلیج فارس و

در فصل پاییز با وزش بادهای محلی، الگوی انتشار یُد تغییر یافته و در جهات شمال شرقی با بیشترین غلظت و جنوب شرقی انتشار یافته است. بیشترین مقدار غلظت در شکل‌های فوق با رنگ‌های نارنجی و زرد مشخص شده است که مربوط به منطقه برازجان در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته به ترتیب $15481 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد. با توجه به انتشار یُد به سمت شهر برازجان، لازم است تا تدابیر ویژه‌ای برای مقابله با اثر این ماده رادیواکتیو در ساعات اولیه بعمل آید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق نحوه پخش مواد رادیواکتیو در شرایط حادثه‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر در فصول مختلف سال با استفاده از مدل عددی پخش آلودگی **AERMOD** شبیه‌سازی گردید. برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی مورد نیاز اجرای مدل پخش از مدل **WRF** استفاده گردید که این روش امکان استفاده از داده‌های شبکه‌ای به عنوان ورودی مدل پخش را برای افزایش دقت مکانی مدل به دست می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت مواد رادیواکتیو مربوط به فصل پاییز و زمستان و محدوده مورد تاثیر مواد آلاینده در شرق نیروگاه می‌باشد. در راستای نتیجه‌گیری بهتر، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- 10- Perry, S.G., et al., AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases. 2005. 44(5): p. 694-708.
- 11- Snyder, W.H., et al., The structure of strongly stratified flow over hills: dividing-streamline concept. 1985. 152: p. 249-288.
- 12- Cimorelli, A.J. and e. al., AERMOD: description of model formulation. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Quality Planning and Standards. Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park. North Carolina, EPA-454/R-03-004, 91 PP. 2004.
- 13- Venkatram, A., et al., A complex terrain dispersion model for regulatory applications. 2001. 35(24): p. 4211-4221.
- 14- Schulman, L.L., et al., Development and evaluation of the PRIME plume rise and building downwash model. 2000. 50(3): p. 378-390.
- 15- Kesarkar, A.P., et al., Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM10 dispersion over Pune, India. 2007. 41(9): p. 1976-1988.
- 16- Sandalls, F., M. Segal, and N.J.J.o.E.R. Victorova, Hot particles from Chernobyl: a review. 1993. 18(1): p. 5-22.
- 17- Nuclear Energy Agency, "Assesment of Radiological and Health Impact". 2002: NEA opublications.
- دریای عمان در زمان مونسون تابستانی، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۱، ۱۳۹۶، صفحه ۱-۱۹.
- ۳- قادر و همکاران، شبه‌سازی انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه بوشهر، مجموعه مقالات پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت، صفحه ۲۹-۳۲.
- 4-Till, J.E. and Grogan, H. A.: Radiological risk assesment environmental analysis, Oxford Univercity Press, Oxford, New York, 702 pp, 2008.
- 5-Hu, X., et al., Modeling and sensitivity analysis of transport and deposition of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi accident. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014. 14(20): p. 11065-11092.
- 6-Fei, J. F., Wang, P. F., Cheng, X. P., Huang, X. G. and Wang, Y., 2014, A regional simulation study on dispersion of nuclear pollution from the damaged Fukushima Nuclear Power Plant, Science China: Earth Sciences, 57. 1513-1524.
- 7- Kindap, T., Turuncoglu, U. U., Chen, S. H., Unal, A. and Karaca, M., Potential Threats from a Likely Nuclear Power Plant Accident: a Climatological Trajectory Analysis and Tracer Study, Water Air Soil Pollut, 2008.
- 8- Stockwell, W.R., et al., The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling. Journal of Geophysical Research, 1990. 95(D10): p. 16343.
- 9- Cimorelli, A.J., et al., AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. 2005. 44(5): p. 682-693.