

شبیه سازی انتشار آلاینده های هسته‌ای 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

(دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۵، بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶، پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶، انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۰۱/۰۱)

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 هسته‌ای و استفاده از آن در تولید برق جزء انرژی های نسبتاً پاک به شمار می آید. از طرفی بروز حادثه در نیروگاه های هسته‌ای مثل حوادث چرنوبیل و فوکوشیما تأثیرات درازمدت و نامطلوبی بر روی محیط زیست و سلامتی انسانها می گذارد. همچنین این حوادث دارای مقیاس قاره‌ای 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 اندازه‌ای از پیامدها و اثرات سوء آن کاست.

هدف از این مقاله بررسی انتشار ماده رادیواکتیو یُد-۱۳۱ 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 بر حسب 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 $15481 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، 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 هسته‌ای، شبیه سازی، پیش بینی کیفیت هوا، نیروگاه بوشهر، AERMOD.

مقدمه

۱۳۱ و سزیم-۱۳۷ در طول و بعد از حادثه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما دایچی با استفاده از مدل تحقیقات و پیش بینی آب و هوایی-شیمیایی بررسی شده است. مقادیر زیادی از رادیونوکلئیدها، بعد از حادثه هسته‌ای 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

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 قرنها ادامه دارد. از طرفی تمامی نیروگاه های هسته‌ای 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 یُد-

مدل (WRF (Weather Research and Forecasting) یا مدل پیش بینی وضعیت آب و هوا، یک مدل عددی میان‌مقیاس است که نیازهای روزافزون تحقیقاتی و نیز پیش بینی‌های محیطی را جوابگو می‌باشد.

این مدل یک مدل کاملاً تراکم‌پذیر، اویلی و ناآب‌ایستایی است که از یک دستگاه مختصات قائم فشاری آب‌ایستایی تابع عوارض زمین به همراه شبکه قائم نایکنواخت است به طوری که سطوح قائم نزدیک سطح زمین به هم نزدیک می‌شوند و با دور شدن از سطح زمین، فاصله آنها افزایش می‌یابد. برای هسته دینامیکی ARW نوع شبکه افقی آرکاوا-C است. برای انتگرال‌گیری زمانی معادلات، از یک طرح‌واره رونگ-کوتا و با گام زمانی کوچکتر برای امواج تند (مانند امواج صوتی) استفاده می‌شود [۲].

همچنین برای اجرای مدل مجموعه‌ای از برنامه‌ها و زیر برنامه‌ها برای پارامترسازی مؤلفه‌های فیزیکی، مانند تابش، پارامتری کردن لایه مرزی، پارامتری کردن همرفت، پخش پیچکی ریز شبکه‌ای و خوردفیزیک لازم است.

مدل پخش آلودگی AERMOD

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

شده است. بنابراین مهم است که قادر باشیم به طور دقیق حمل اتمسفری و رسوب زمینی‌شان را مدل کنیم [۵].

مدل‌سازی و آنالیز حساسیت حمل و رسوب رادیونوکلوئیدها از حادثه فوکوشیما دایچی با استفاده از WRF-CHEM نشان می‌دهد که آیتم‌های هواشناسی نظیر باد، بارش و نرخ انتشار در حمل و رسوب یُد-۱۳۱ و سزیم-۱۳۷ موثر است [۵].

شبیه‌سازی انتقال و پخش آلاینده‌های هسته‌ای 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 آلاینده‌ها می‌گذارد [۱]. با استفاده از مدل ترکیبی ایجاد شده به وسیله‌ی مدل کیفیت هوای Models-3/ CMAQ و مدل جوی WRF مسیر انتقال و توزیع آلاینده‌های هسته‌ای نیروگاه فوکوشیما را در فاصله‌های خیلی طولانی و خیلی کوتاه شبیه‌سازی کردند [۶].

شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه بوشهر با استفاده از مدل HYSPLIT انجام شده است که از داده‌های خروجی هواشناختی مدل میان‌مقیاس WRF استفاده می‌شود [۳].

بررسی پخش و انتقال آلاینده‌های رها شده به جو از حادثه فرضی نیروگاه هسته‌ای 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، شبیه‌سازی میزان و جهت انتشار مواد رادیواکتیو با استفاده از تلفیق مدل‌های پیش‌بینی 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 می‌دهد.

مدل‌های پیش بینی هواشناسی و مدل پخش آلودگی

مدل پیش بینی WRF

³ Planetary Boundary Layer

¹ American Meteoroidal Society

² Environmental Protection Agency Regularity Model Improvement

پیش پردازنده **AERMET** داده های هواشناسی را پردازش کرده و مشخصه های لایه مرزی را به منظور استفاده در مدل تخمین می زند و پیش پردازنده **AERMAP** که اطلاعات توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را آماده سازی می کند.

حداقل داده های هواشناسی که برای مدل سازی 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 می گذارد و شرایط پایداری لایه مرزی را می تواند تغییر دهد و اگر در شعاع مدل سازی باشد باید لحاظ شود.

تلفیق مدل WRF با AERMOD

AERMOD نیاز به مشاهدات سطحی ساعتی پایدار و داده های هواشناسی جو بالا دارد. این مدل داده یک ایستگاه را می پذیرد و فرض می کند 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، داده های مشاهداتی پیوسته و یکنواخت، به طور دائم در دسترس نیست و برای عموم ایستگاه های هواشناسی نیز پارامترهای لایه بالایی جو تهیه نمی شود.

در غیاب مشاهدات هواشناسی در یک بازه زمانی، پارامترهای هواشناسی از مدل های هواشناسی استخراج می گردد که مدل **WRF** برای این منظور مدل مناسبی است. کوپل کننده مورد نیاز برای سیستم کوپل شده آفلاین **AERMOD-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 نرم افزار 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 می باشد و در جهت عمودی دو گوسی می باشد [۱۰ و ۱۱].

در زمین های ناهموار، مدل **AERMOD** از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده [۱۱] و غلظت نهایی را از مجموع وزنی غلظت های حاصل از دو حالت پلوم افقی و پیرو عوارض زمین تعیین می کند که در زمین های 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 می کند. از این رو در تعیین غلظت نهایی از برآیند وزنی این دو حالت استفاده می شود. هریک از این حالت ها براساس مفاهیم خط جریان بحرانی و مقیاس ارتفاعی هر پذیرنده، وزندهی می شوند [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 می گیرد [۹].

AERMOD از مدل افزایش ارتفاع صعود پلوم (**PRIME**)^۳، به منظور اعمال اثر ساختمان ها بر صعود پلوم و نحوه پراکنش آلاینده ها^۴ استفاده می کند [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 آمده اند انجام می گیرد. در این مدل پراکنش، جرمی از پلوم، که در ناحیه فرورفتگی 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 می شود و در آنجا با جرم پلوم پیرامونی آمیخته شده و با نرخ بیشتری نسبت به منطقه با هوای آزاد پراکنده می شود که این پراکنش به محل منبع و ارتفاع آزادسازی آلاینده، همچنین هندسه سازه بستگی دارد [۹ و ۱۲].

مدل **AERMOD** برای شبیه سازی پراکنش آلاینده ها از دو پیش پردازنده **AERMET** و **AERMAP** بهره می گیرد.

³ Plume Rise Model Enhancement
4

¹ Stable Boundary Layer

² Convective Boundary Layer

RRTM، تابش موج کوتاه گودارد، لایه سطحی و سطح زمین PLEIM-XIU می‌باشد.

شرایط جوی در اطراف نیروگاه بوشهر

محاسبه غلظت آلاینده‌های رادیواکتیو با استفاده از مدل‌های پراکندگی نیازمند دانستن شرایط آب و هوایی است.

شبهه 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 می‌باشد. برای مثال، جهت باد تاثیر عمده‌ای در روش‌های پخش مواد رادیواکتیو و تعیین بالاترین غلظت و رسوب در یک جهت خاص و فاصله از منبع نقطه‌ای دارد.

نیروگاه اتمی بوشهر در عرض و طول جغرافیایی ۴۸۸۸۴۷.۳۴ و ۳۱۸۹۱۲۴.۲۷ متر و ارتفاع ۱۶.۷۷ متر (۵۶ فوت) از سطح دریا واقع شده است. شکل ۲ منطقه جغرافیایی نیروگاه را نشان می‌دهد.

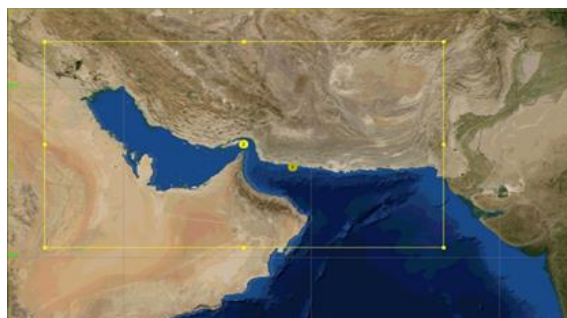


شکل ۲- منطقه جغرافیایی بوشهر و موقعیت قرارگیری نیروگاه اتمی آن از پارامترهای دیگری که در مدل‌سازی پخش آلاینده‌ها در محیط زیست تاثیر دارد، اطلاعات هواشناسی از جمله جهت باد، سرعت باد، ابرناکی، دما، فشار و تابش در محیط اطراف نیروگاه بوشهر می‌باشد.

زمان انتشار

در این تحقیق فرض شده است که حادثه بزرگی در نیروگاه هسته‌ای بوشهر رخ داده و مقادیر زیادی هسته‌های 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 می‌تواند ناشی از قطع خنک‌کننده باشد. اگر خنک‌کننده عمل نکند و همزمان در دستگاه‌های اضطراری نقص فنی به وجود آید طوری که این دستگاه‌ها نتوانند قلب را خنک کنند، منجر به ذوب قلب راکتور می‌شود. در این گونه حوادث با ذوب قلب راکتور و عملکرد نامناسب دستگاه‌های اضطراری، مواد پرتوزای زیادی به محیط زیست منتشر شده و عواقب جبران ناپذیری را به دنبال داشته باشد.

داده‌های اولیه و مرزی مورد استفاده هواشناسی در این تحقیق برای اجرای مدل WRF^۱ 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 داده‌ها به عنوان شرایط اولیه و مرزی هواشناسی در اجرای مدل استفاده شده است. در این شبهه سازی دو آشیانه با تفکیک‌های افقی ۹ و ۲۷ کیلومتر، پیکربندی شده است که داخلی‌ترین آشیانه منطقه تحت تاثیر مواد رادیواکتیو در شعاع مورد نظر را پوشش می‌دهد. در شکل ۱ نمایی از آشیانه‌سازی طرح شده در شبهه‌سازی این پژوهش آورده شده است.



شکل ۱- آشیانه‌سازی در منطقه مورد مطالعه (بوشهر)

طرح‌واره‌های مورد استفاده برای پارامترسازی فیزیکی شامل طرح‌واره‌های خردفیزیک لین، لایه مرزی سیاره‌ای ACM2، همرفت کومه‌ای کین فریج، تابش موج بلند

¹ Global Forecast System

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 مهم تر از بقیه می باشند [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 لایه های سطحی خاک باقی مانده و پرتوزایی خواهد کرد.

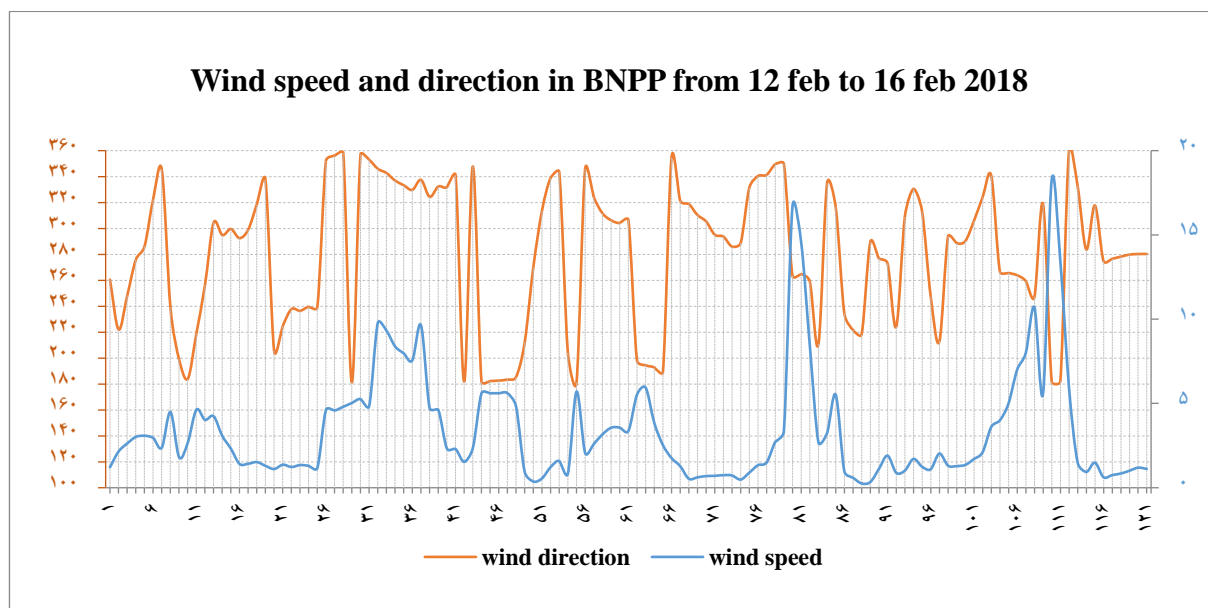
نتایج و بحث

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

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

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 می کند. زمان انتشار را می توان با توجه به معیارهای مختلف شامل احتمالا جهت و سرعت پراکندگی یا بیشترین پراکندگی در امتداد مناطق پرجمعیت انتخاب کرد.

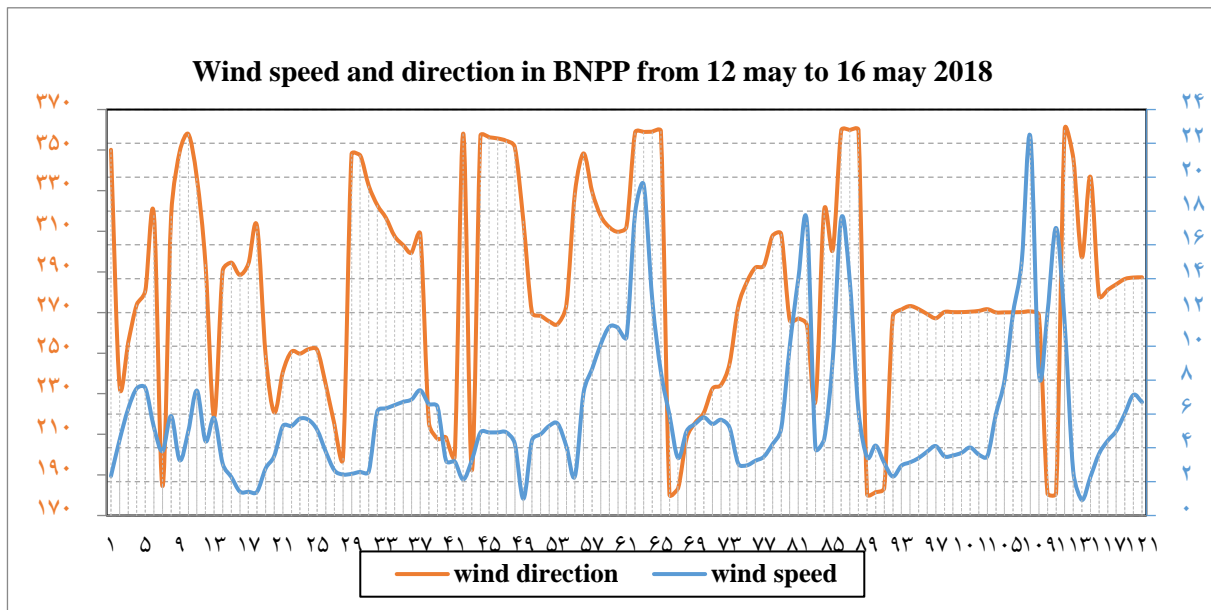
در مطالعه حاضر، داده های هواشناسی در چهار دوره مختلف سال به مدت یک ساعت پس از وقوع حادثه و ۱۲۰ ساعت پس از آن در نیمه فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان یعنی ماه های می، آگوست، نوامبر و فوریه در منطقه بوشهر و مناطق اطراف در سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفته است.



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

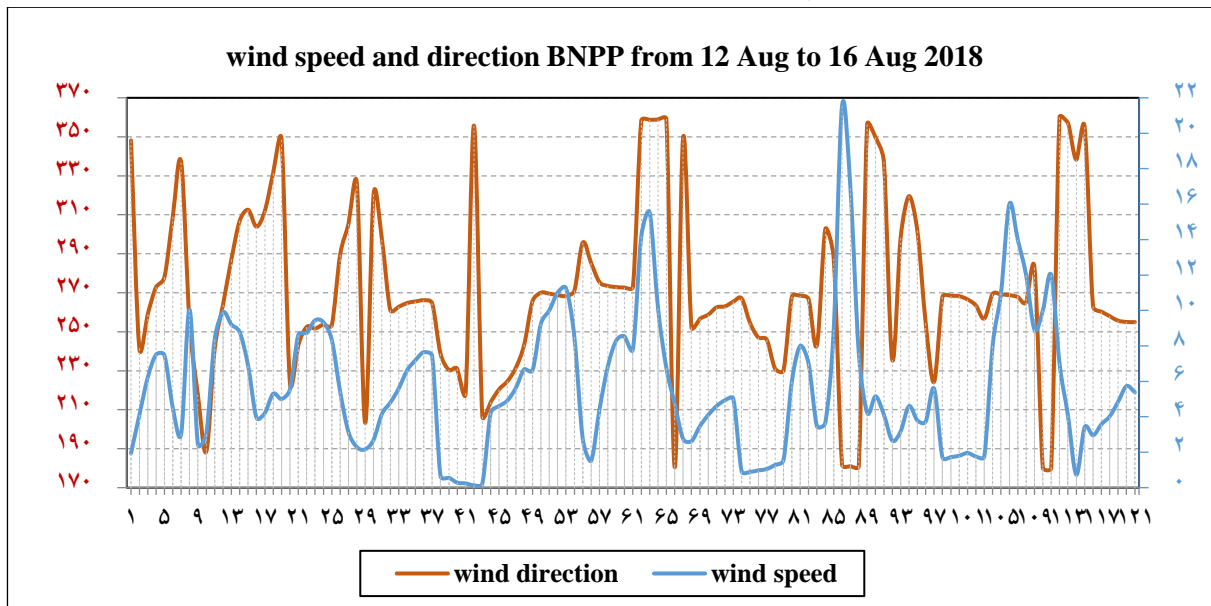
می شود که در روزهای ۱۴ و ۱۶ اتفاق افتاده اند و جهت باد در هر دو توفان شمال-شمال غربی می باشد.

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



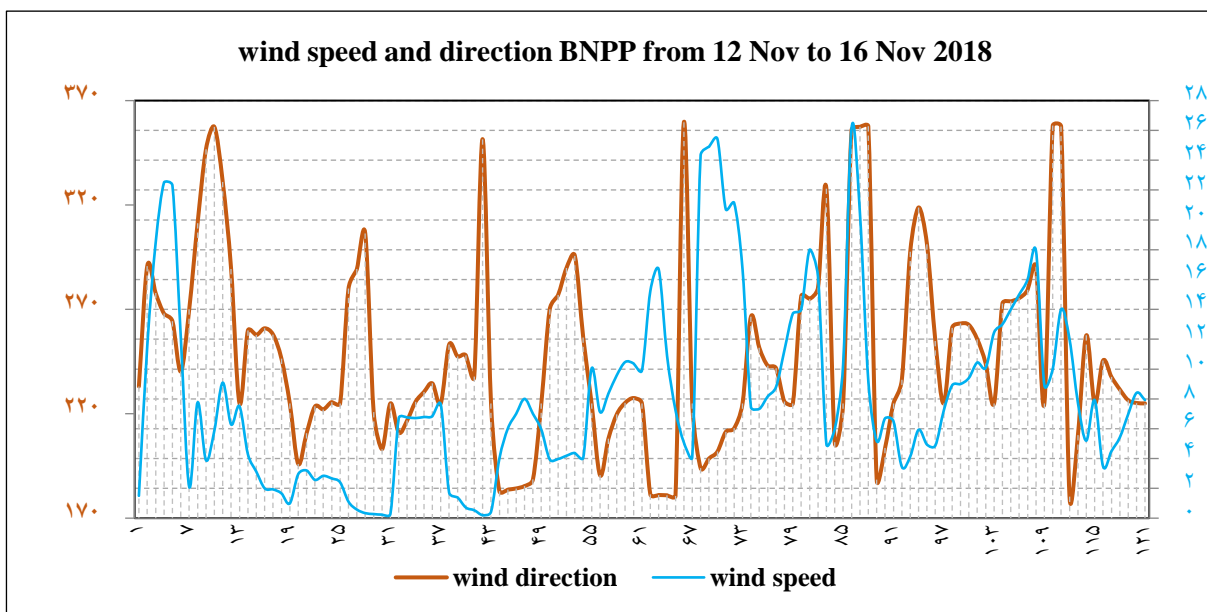
شکل ۴- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ می

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



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 می‌شود. 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 می‌باشد.



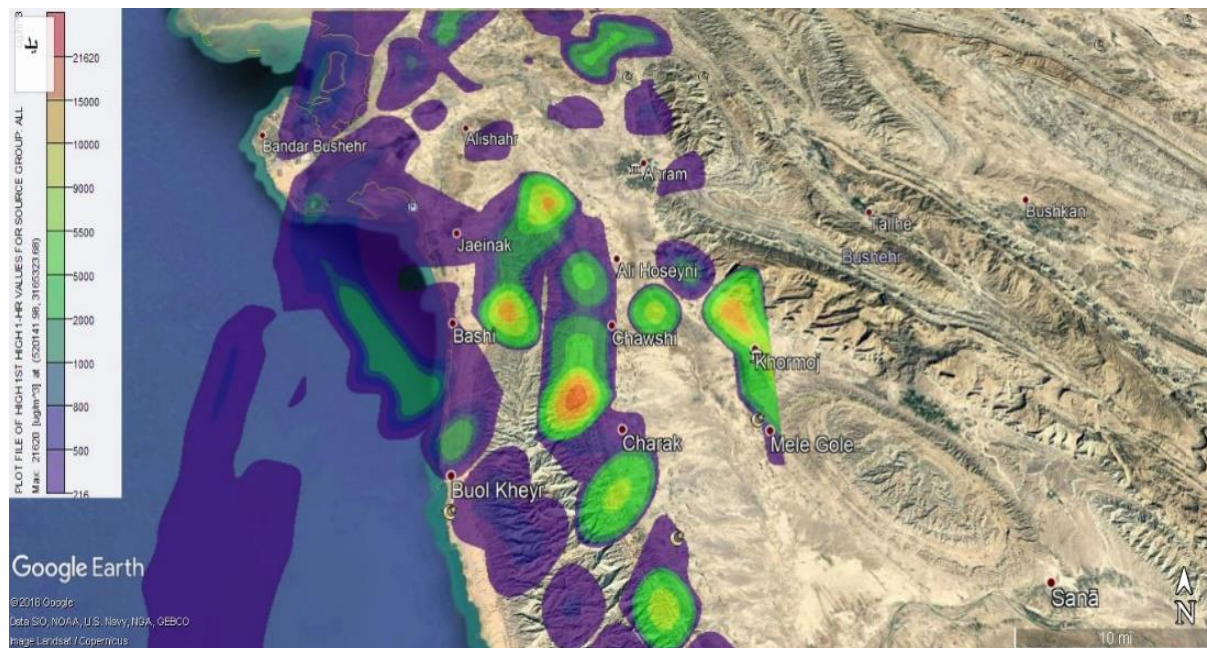
شکل ۶- نمودار جهت و سرعت باد روزهای ۱۲ تا ۱۷ نوامبر

یک ساعت پس از وقوع حادثه و مدت زمان ۱۲۰ ساعت پس 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:

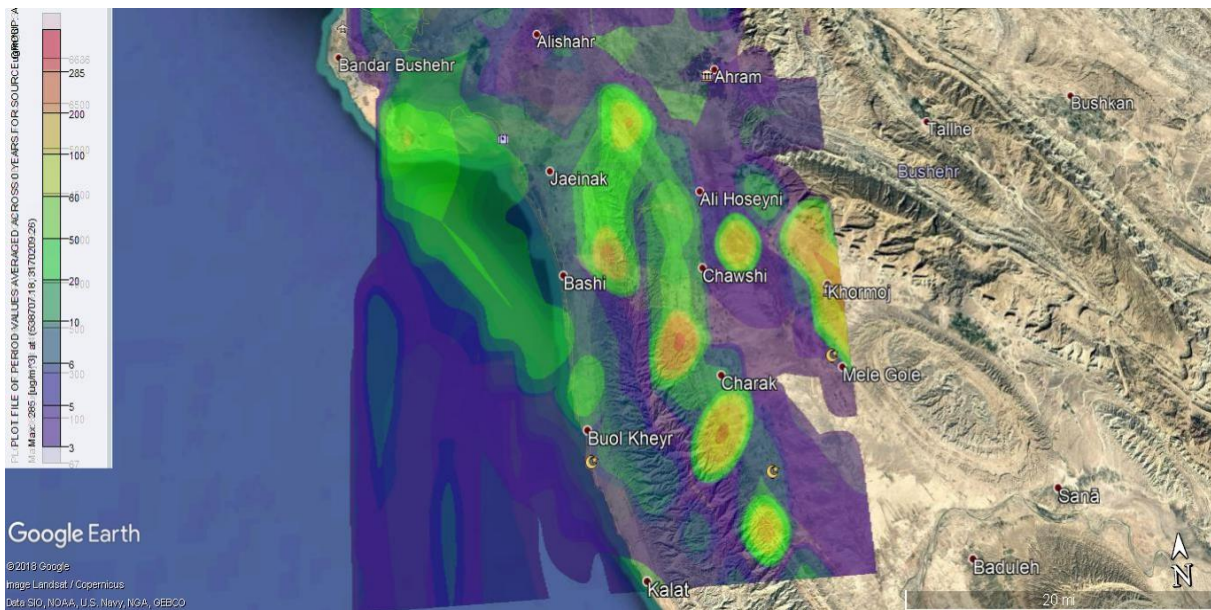
در بازه زمانی ۱۲ تا ۱۷م ماه فوریه (یک ساعت پس از وقوع حادثه و بازه زمانی ۱۲۰ ساعته)

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

با توجه به داده های هواشناسی تأثیرگذار بر نحوه پراکنش آلاینده ها، نتایج خروجی از مدل AERMOD در بازه های



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

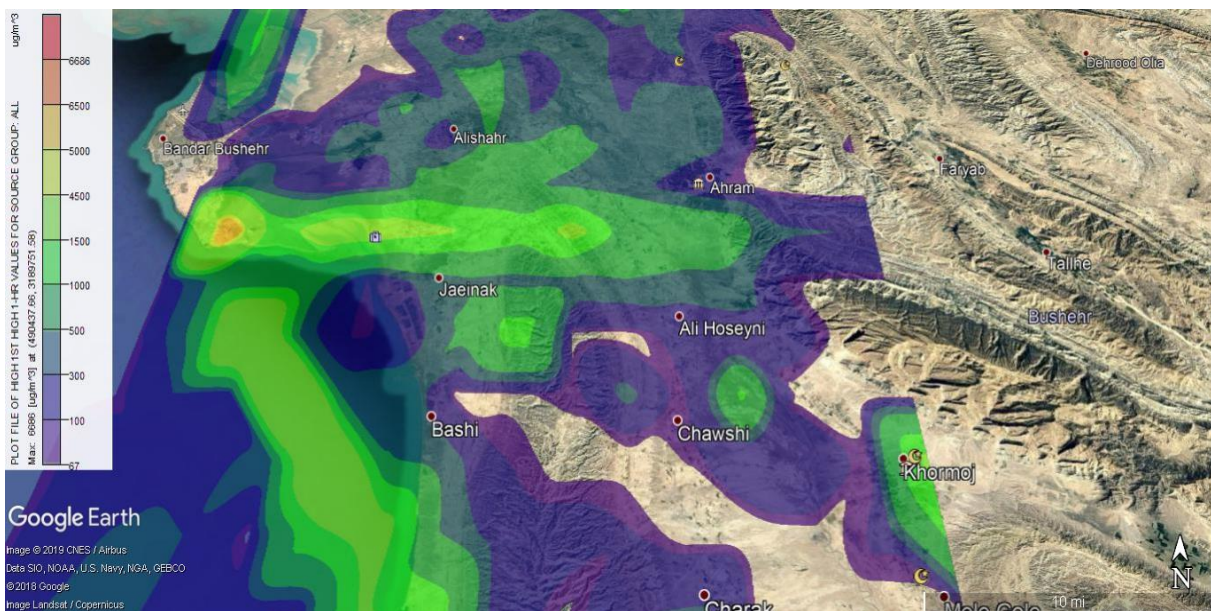


شکل ۸- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۷ تا ۱۲) ماه فوریه سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع حادثه

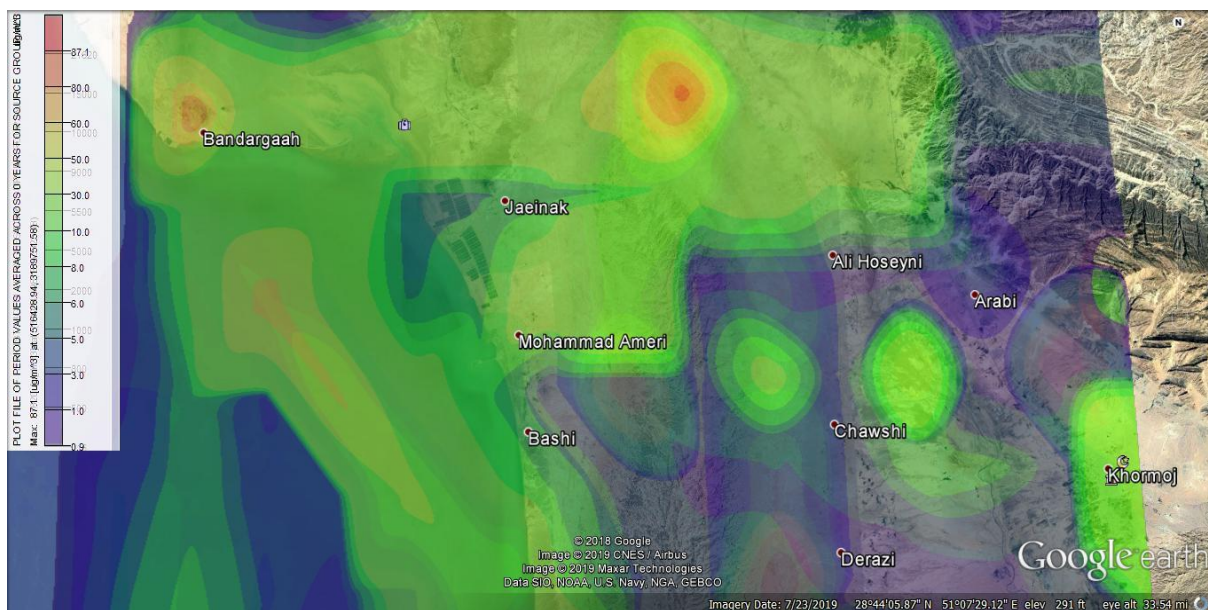
به منطقه خورموج در یک ساعت پس از وقوع و دوره زمانی ۱۲۰ ساعته به ترتیب $21620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد.

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 تأثیرگذار 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



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

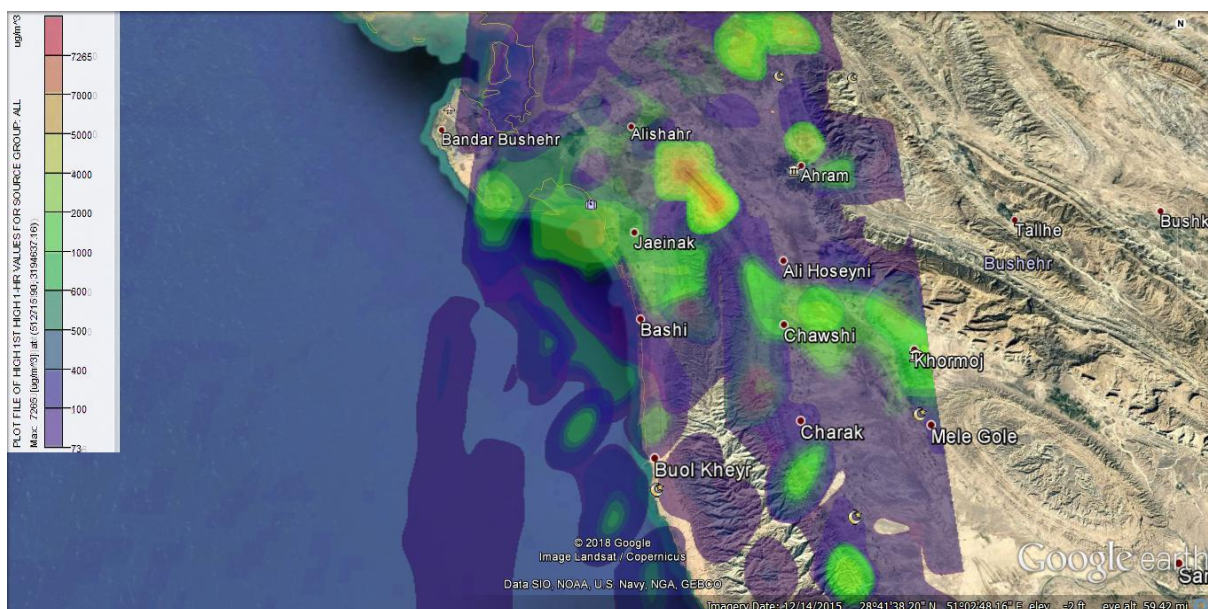


شکل ۱۰- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۲ تا ۱۷ ام) ماه می سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع

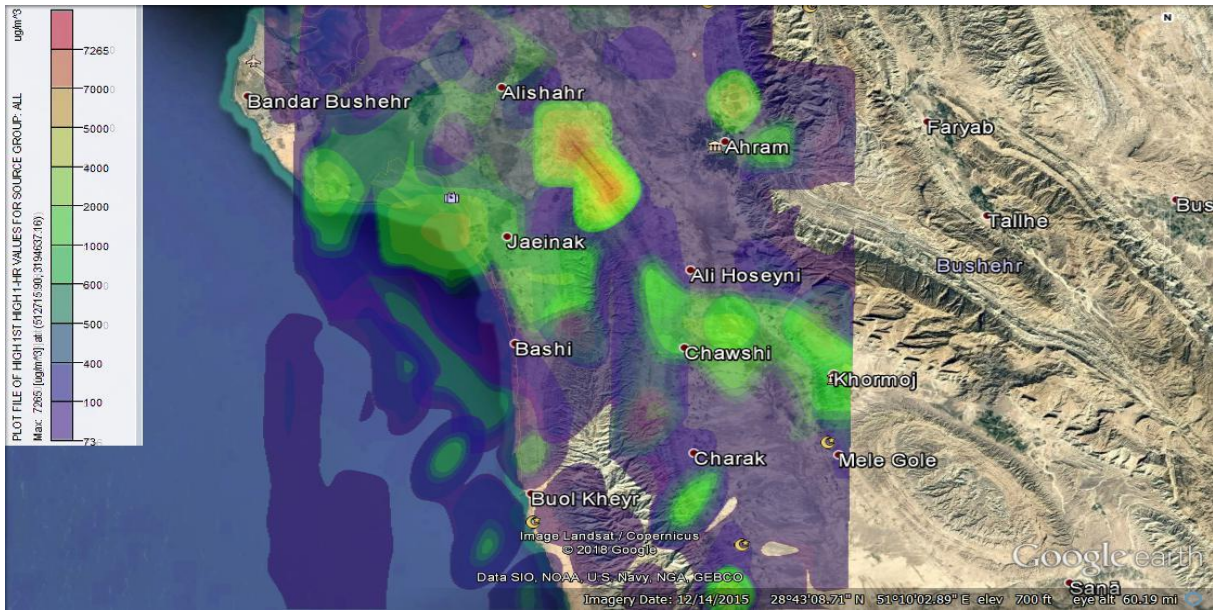
دوره زمانی ۱۲۰ ساعته پس از وقوع به ترتیب $6686 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $87.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد.

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 از وقوع و



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

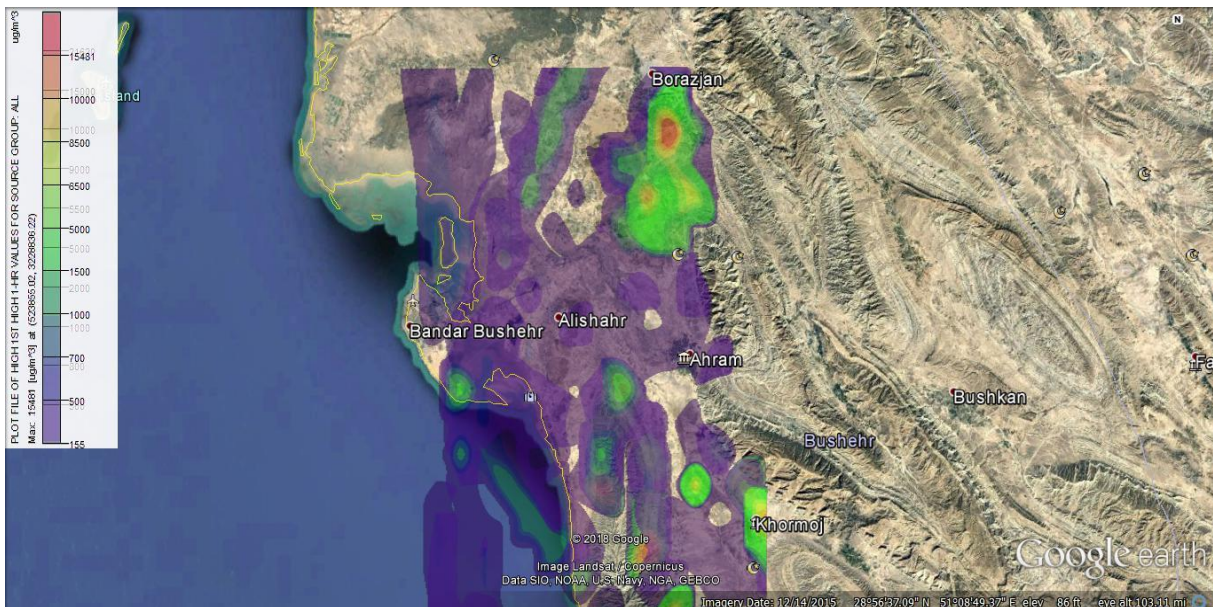


شکل ۱۲- پراکندگی و غلظت یُد-۱۳۱ در پنج روز (۱۲ تا ۱۷ ام) ماه آگوست سال ۲۰۱۸ به مدت ۱۲۰ ساعت پس از وقوع

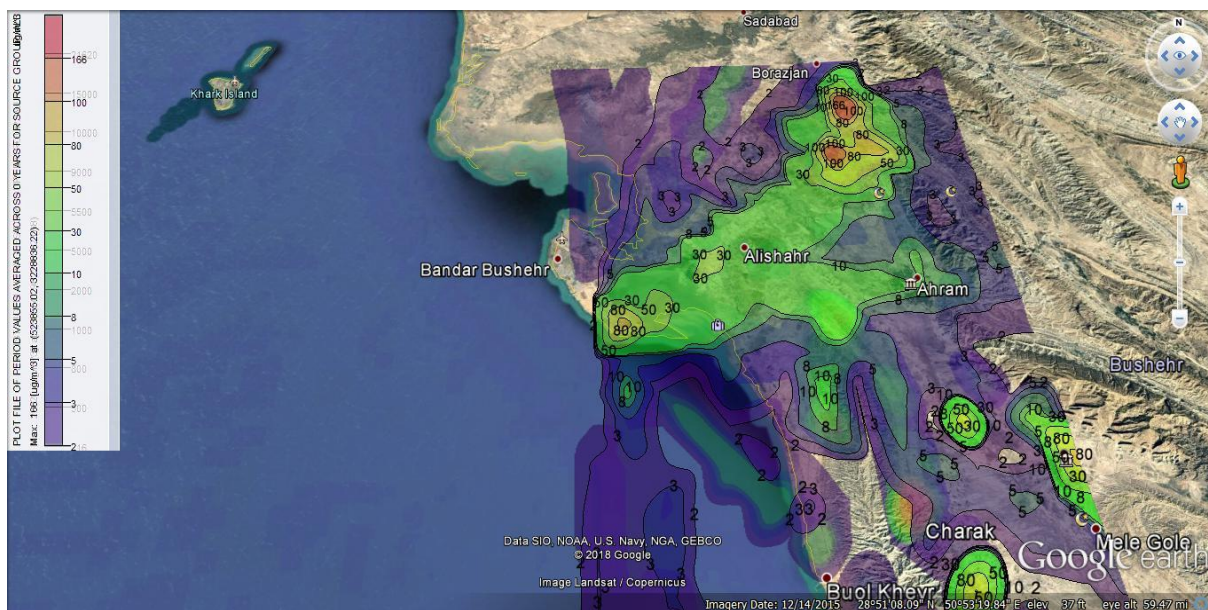
دوره زمانی ۱۲۰ ساعته پس از وقوع به ترتیب $7265 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $200.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد.

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 وقوع و



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

در راستای نتیجه گیری بهتر، موارد زیر پیشنهاد می شود:

- ۱- مقایسه خروجی مدل **AERMOD** با **HYSPLIT** یا مدل های دیگر در مکان ها و شرایط مشابه.
- ۲- استفاده از داده های ورودی با دقت بالاتر برای ارتقای خروجی مدل عددی هواشناسی.
- ۳- اجرای مدل تلفیقی در نیروگاه های 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 آلودگی های هسته ای 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 ایستگاه های اندازه گیری آلاینده ها و پایش کیفیت هوا در منطقه بوشهر در شرایط عادی و اضطرار.

منابع

- ۱- معماریان و همکاران، شبیه سازی انتقال، پخش جوی و نهشت آلاینده های هسته ای رها شده از یک حادثه فرضی در نیروگاه بوشهر، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۶۳۵-۶۵۰.

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 شکل های فوق با رنگ های 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 $166 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می باشد. با توجه به انتشار یُد به سمت شهر برازجان، لازم است تا تدابیر ویژه ای برای مقابله با اثر این ماده رادیواکتیو در ساعات اولیه بعمل آید.

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق نحوه پخش مواد رادیواکتیو در شرایط حادثه ای در نیروگاه اتمی بوشهر در فصول مختلف سال با استفاده از مدل عددی پخش آلودگی **AERMOD** شبیه سازی گردید. برای شبیه سازی پارامترهای هواشناسی مورد نیاز اجرای مدل پخش از مدل **WRF** استفاده گردید که این روش امکان استفاده از داده های شبکه ای به عنوان ورودی مدل پخش را برای افزایش دقت مکانی مدل به دست می دهد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که بیشترین مقدار غلظت مواد رادیواکتیو مربوط به فصل پاییز و زمستان و محدوده مورد تاثیر مواد آلاینده در شرق نیروگاه می باشد.

- 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.
- 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.
- ۲- لایقی و همکاران، حساسیت سنجی شبیه سازی های مدل WRF به پارامترسازی های فیزیکی در محدوده خلیج فارس و دریای عمان در زمان مونسون تابستانی، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۱، ۱۳۹۶، صفحه ۱-۱۹.
- ۳- قادر و همکاران، شبیه سازی انتشار آلاینده های 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.

Simulation of nuclear atmospheric emission for hypothesis accident in Bushehr NPP using numerical weather prediction model

amir khanjani^{1*}, Bayramali Mohammadnezhad², Behzad Layeghi³

1- Master of Environmental Civil Engineering, Faculty of Engineering, Qom University of Technology

2- Department of Civil Engineering; Faculty of Technical Engineering; Qom University of Technology (QUT)

3- General Manager of the Center for Atmospheric Science and Oceanology, National Meteorological Organization

(Received: 06 Sep 2019, Revised: 25 Feb 2020, Accepted: 25 Feb 2020, Published online: 20 Mar 2020)

Abstract

The importance of using clean energies with regard to the occurrence of many problems in other parts of the energy has become apparent to everybody. In the meantime, nuclear energy and its use in generating electricity is part of a relatively clean energy. On the other hand, the incident at nuclear power plants, like the Chernobyl and Fukushima incidents, has long-term and adverse effects on the environment and human health. It also has a continental scale, and the transmission, transference, and transport of radioactive material caused by it is miles away from the site of the incident. Considering the importance of using meteorological models in predicting and tracking the transmission paths of pollutants and, on the other hand, integrating them with pollution diffusion models can reduce some of its consequences and impacts. The purpose of this paper is to investigate the distribution of radioactive substance such as iodine 131 due to the biological effects of this substances in the event of an accident at Bushehr Power Plant, Which due to factors like wind direction and wind speed and topographic conditions of the environment, the amount of propagation and release of this substance is discussed. For this purpose, using the WRF-chem prediction model, the meteorological data input were obtained to the AERMOD Gaussian model. Then, using AERMOD software, was calculated and modeled for dispersion and propagation of this material. For the purpose of model verification and closer examination, meteorological data were simulated in four different seasons of 2018.

Keywords: WRF-chem, Distribution of radioactive substances, Simulation, Bushehr Power Plant, AERMOD

* Corresponding author:

Email Address: abbasi9999@yahoo.com