

ارزیابی میزان غلظت و دز استنشاقی آلاینده‌های محیطی پرخطر I-131 و Te-132 در اثر اعوجاج و تلاطم ساختمانهای محدوده منبع آلودگی پرتوی

قاسم سوری^{۱*}، مسعود عبدالله زاده^۲، محسن شایسته^۲، اردشیر باقری^۳، حسین طاووسی^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۳- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۴- کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

چکیده:

در این تحقیق اثرات ساختار فیزیکی بناها و ساختمانهای شهری بر میزان غلظت و پخشیدگی آلاینده‌های پرتوزای محیطی در محدوده منبع رهاسازی مواد پرتوزا در یک حادثه فرضی با استفاده از نرم افزار محیطی (AERMOD) بر مبنای گوسی پراکنش آلاینده‌های محیطی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از کد HYSPLIT محدوده غلظت منابع آلاینده با توجه به پارامترهای هواشناسی تعیین گردید. در پایان منحنی های همتراز غلظت آلاینده‌های پرتوزای مهم از جمله I-131 و Te-132 در دو حالت بودن و نبودن بناها و ساختمانها در محدوده راکتور مورد بررسی و مقایسه گردید. نتایج نشان می دهند در ارتفاعهای پایین رهاسازی آلاینده‌ها ساختمان های نزدیک به محل حادثه راکتور با ارتفاع زیاد، اثرات افزایشی قابل چشمگیری بر غلظت آلاینده‌ها پرتوزا دارند که برای I-131 حدود ۵/۸ برابر و برای Te-132 این مقدار حدودا ۲/۵ برابر است. همچنین با دور شدن از محل حادثه حدودا در ۱۰ کیلومتری راکتور اثرات ساختمانها کاهشی می باشد. میزان پخشیدگی به دلیل اثر فروکشی جریانات هوا در اطراف ساختمان کاهش می یابد. در حالت با ساختمانها و بناهای شهری بیشترین و کمترین غلظت محاسبه شده برای آلاینده I-131 به ترتیب $3690 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ و $141 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ است. که نسبت به حالت بدون ساختمانها به طور متوسط حدودا ۴/۹ و ۳/۱ برابر می باشد. میزان دز استنشاقی ساکنین در اطراف ساختمانهای حادثه به دلیل افزایش غلظت آلاینده‌های محیطی هوا بخصوص I-131 افزایش یافته و احتمال ریسک خطر ابتلاء به سرطان تیروئید افزایش می یابد.

کلید واژه‌ها: ساختار ساختمانها، غلظت آلاینده‌های پرتوزا، AERMOD

Evaluation of Concentration And Inhalation Dose of High-Risk Environmental Pollutants I-131 and Te-132 Due to Distortion and Turbulence of Buildings in the Area of the Source of Radiation Pollution

GH. Soori*, M. Abdollahzadeh, M. Shayesteh, I. Bagheri, H.Tavsei
Imam Hossein University

Abstract:

In this study, the effects of physical structure of buildings and urban buildings on the concentration and dispersion of radioactive pollutants in the source of radioactive material release in a hypothetical accident using environmental software (AERMOD based on Gaussian distribution of environmental pollutants) were investigated. Then using HYSPLIT code the concentration range of pollutant sources was determined according to meteorological parameters. In the end, the curves equal to the concentration of important radioactive pollutants such as I-131 and Te-132 in the presence or absence of buildings and structures in the reactor area were examined and compared. Release of Contaminants Buildings near the site of a high-altitude reactor accident have a significant increase in the concentration of radioactive contaminants, which is about 5.8 times for I-131 and about 2.5 times for Te-132. The accident is about 10 km from the reactor. The effects of the buildings are reduced. The emission rate is reduced due to the effect of the reduction of air currents around the building. The I-131 is $3690 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ and $141 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, respectively.

Keywords: Structure of buildings, Concentration of radioactive contaminants, AERMOD

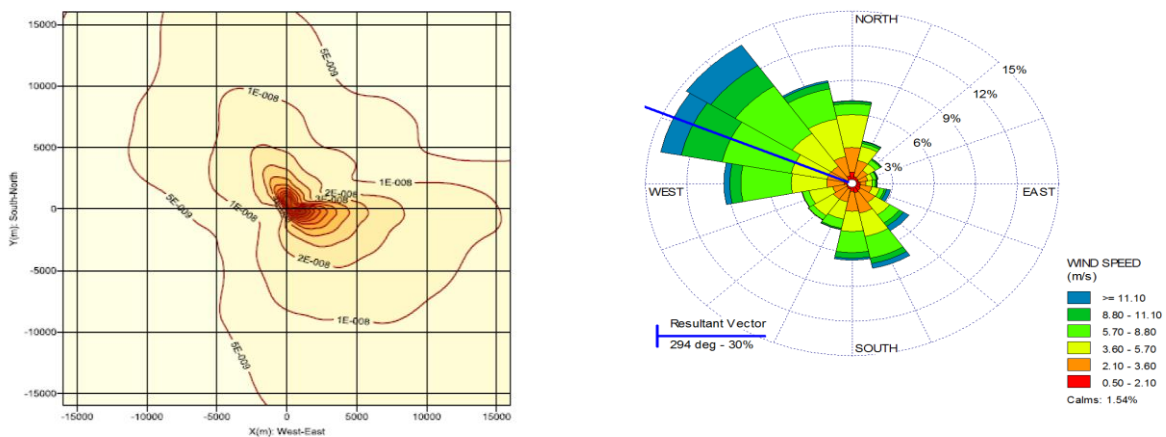
۱. مقدمه

در طراحی راکتورهای هسته‌ای یکی از مهمترین مسائل زیست محیطی که مورد توجه سازمانهای حفاظت از محیط زیست قرار می‌گیرد اثرات ساختمانها و عوارض زمین بر نحوه پخش و توزیع آلایندهای پرتوزای محیطی است. تجمع مواد رادیواکتیو در اطراف راکتورهای هسته‌ای می‌تواند ناشی از عوارض و بناهای ساختمانی باشد که تاثیر زیادی بر سلامت کارگران و ساکنین اطراف نیروگاه دارد. در اثر برخورد پولوم های پرتوزا ناشی از خروج مواد رادیواکتیو با ساختمانها و عوارض زمین بدلیل اعوجاج و تلاطم بناها یک حفره بزرگ ایجاد می‌شود که باعث افزایش پخش شدگی پولوم پرتوزا به صورت عمودی و کاهش غلظت و تراکم مواد پرتوزا در محیط می‌شوند. اندازه این حفره ایجاد شده بستگی به شکل ساختمانها و ارتفاع آنها دارد. یکی از مدل‌های که این اثر را شبیه سازی می‌کند مدل PRIM است. برای بررسی اثرات تضعیف ساختمانها بر نحوه انتشار پولوم های پرتوزا از مدل ترکیبی پخش گوسین^۱ AERMOD و مدل افزایش عمودی پولوم PRIM^۲ استفاده می‌شود [۱]. در این مقاله تاثیرات ساختمانها و عوارض زمین منطقه اطراف راکتور بوشهر بر میزان پخش و غلظت مواد پرتوزا ناشی از حادثه شدید راکتور که منجر به ذوب شدن قلب راکتور و رها شدن محصولات پرتوزا به محیط می‌شود بر اساس مدلسازی AERMOD این دو مدل برای دو حالت با در نظر گرفتن ساختمانها و عوارض زمین و بدون در نظر گرفتن ساختمانها و عوارض بررسی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقادیر غلظت و دز دریافتی ساکنین اطراف راکتور تا فاصله ۴۰ کیلومتری با کدهای پخش HYSPLIT و HOTSPOT بررسی گردید و مقایسه ای با نتایج AERMOD صورت گرفت.

۲. مواد ورودیها

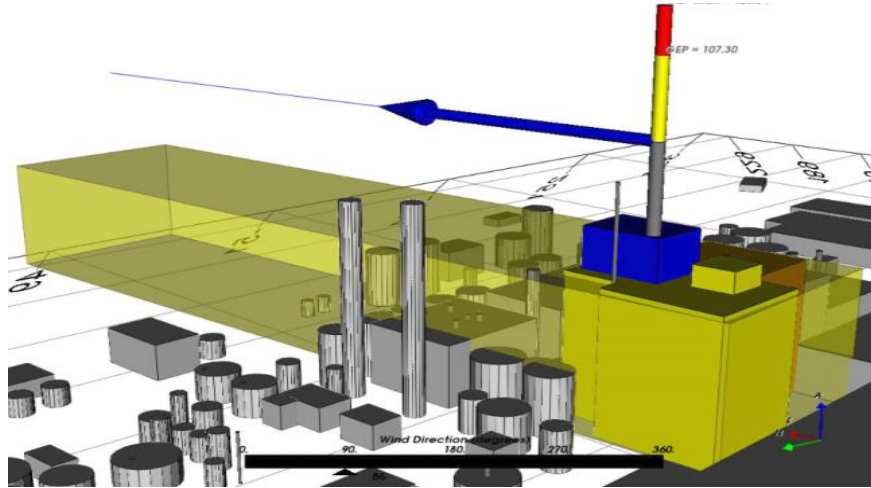
۱.۲ اطلاعات هواشناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه، منطقه خلیج فارس و منطه بوشهر است که دارای الگوهای پخش اتمسفریک مختلفی است که بر اساس الگوهای گلبادسالیانه منطقه قابل بررسی و تحلیل است در شکل های (۱) و (۲) الگوهای های پخش منطقه بوشهر نشان داده شده است.



شکل ۱. گلباد منطقه مورد مطالعه بر اساس اطلاعات سال ۲۰۱۹ [۲]. شکل ۲. الگوی انتشار الودگی مواد پرتوی منطقه بر اساس گلباد منطقه [۲].

مشخصات ساختمانهای اطراف منبع آلودگی پرتویی شامل پهنا و ارتفاع را در تمامی جهت ها داده می‌شود. پس از دادن این پارامترها به کد یک تصویری سه بعدی از ساختمانها و عوارض زمینی طراحی و شبیه سازی می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. مدل‌سازی ساختمانهای اطراف منبع آلودگی پرتوزا.

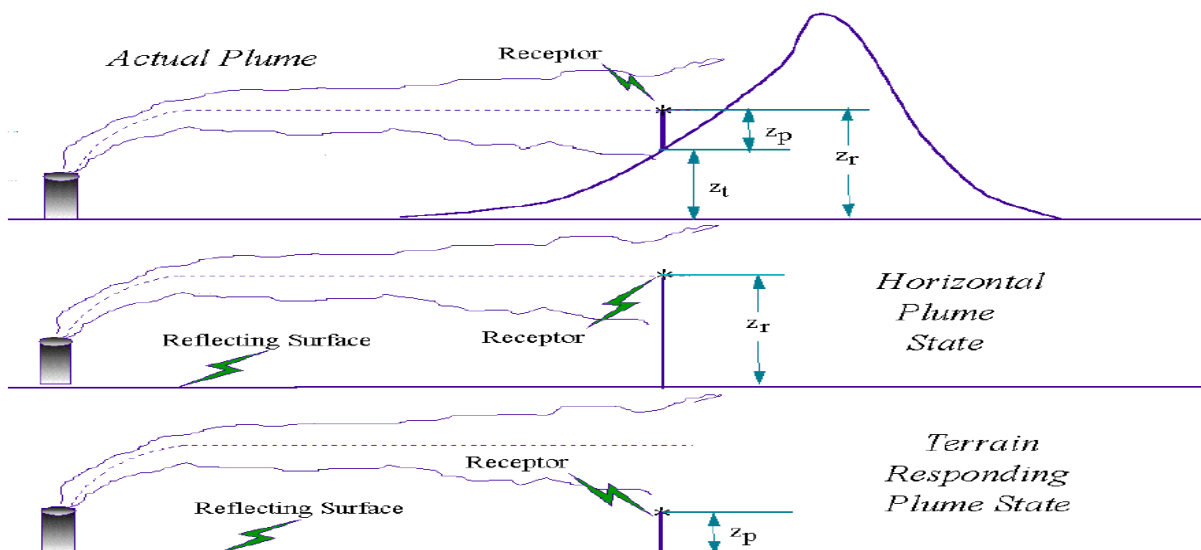
۳. محاسبه غلظت در برخورد با موانع

غلظت در برخورد با موانع در کد محیطی AERMOD بر اساس دو مولفه محاسبه می‌گردد. مطابق شکل (۴) یکی مولفه حالت حرکت آلاینده‌ها به سمت بالا (Horizontal Plume State) و دیگری مولفه حالت برخورد و انعکاس آلاینده به عوارض زمین که به صورت معادله (۱) بیان می‌شود. در این رابطه f درصد وزنی حالت پلوم است. C_T غلظت کل در مکانی که اندازه‌گیری می‌شود که x_r, y_r, z_r مولفه‌های مکان Receptor می‌باشد. اندیس C, S به ترتیب شرایط قراردادی و پایدار جوی بر می‌گردند [۳-۵].

$$C_T\{x_r, y_r, z_r\} = f \cdot C_{C,S}\{x_r, y_r, z_r\} + (1 - f)C_{C,S}\{x_r, y_r, z_r\}$$

$$C_T = Y \cdot C_{prime} + (1 - Y)C_{AERMOD}$$

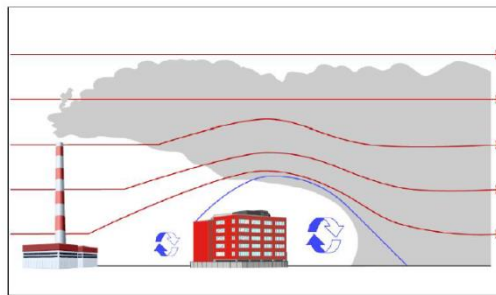
$$Y = \exp\left(\frac{-(x - \sigma_{xg})^2}{2\sigma_{xg}^2}\right) \exp\left(\frac{-(y - \sigma_{yg})^2}{2\sigma_{yg}^2}\right) \exp\left(\frac{-(z - \sigma_{zg})^2}{2\sigma_{zg}^2}\right) \quad (1)$$



شکل ۴. مدل‌سازی نحوه محاسبه غلظت آلاینده‌های پرتوزا در برخورد با موانع [۳].

۴. معرفی مدل AERMOD

مدل AERMOD بر اساس مدل پخش گوسین (شکل الف- ۴) با کمک مدل رشد افزایشی پولوم (PRIME) اثرات ساختمانها در تضعیف مسیر پولوم پرتوزا در جهت خطی و افقی به علت انعکاس و تلاطم ساختمانها که ایجاد یک حفره ی بزرگ می کند را مورد بررسی قرار می دهد [۱]. در شکل (۵) اثرات تضعیف پولوم در مسیر افقی و حرکت افزایشی پخش عمودی پولوم به دلیل ایجاد یک حفره در برخورد مواد پرتوزا با ساختمانها نشان داده است. مدل PRIME میزان رشد پولوم در جهت عمودی را در میدان های گردابی و متلاطم بر حسب ابعاد ساختمان محاسبه می کنند [۲]. سه ناحیه جریان اطراف ساختمانها تشکیل می شود ناحیه گودالی دقیقا در پشت ساختمان ایجاد می گردد و ناحیه خیزش با مقداری فاصله از ساختمان و ناحیه جابجایی در ارتفاعی بالاتر از ساختمان ایجاد می شود. هنگامی که ارتفاع رهاسازی بیشتر از ۲/۵ برابر ارتفاع مرتفع ترین ساختمان موجود می شود می توان از اثر ناحیه گودالی و ناحیه خیزش صرفنظر کرد و فرض کرد که آشفستگی در منطقه جابجایی رخ داده است.

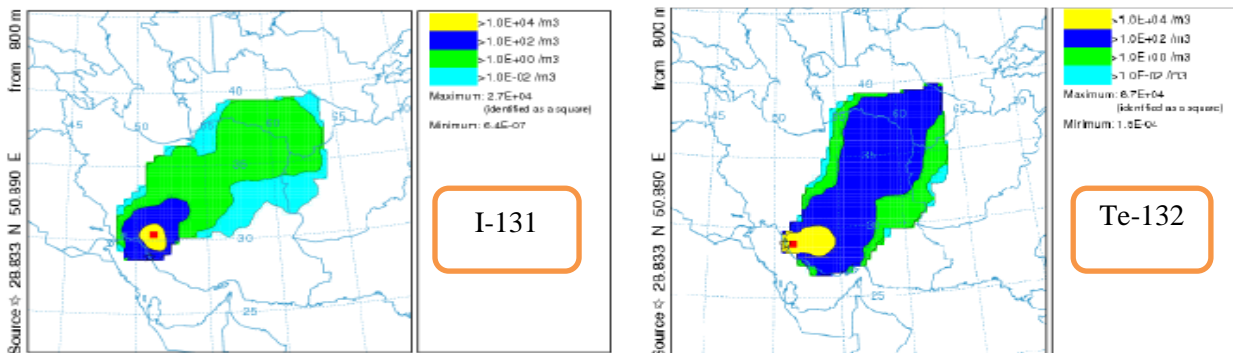


شکل ۵. اثرات تضعیف ساختمان بر نحوه ی پخش آلودگی.

غلظت مواد پرتوزا در برخورد با ساختمانها از مدل پخش گوسین بصورت معادله (۱) می باشد.

$$\frac{x}{Q} = \frac{1}{(\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + C \cdot A) \cdot \mu} \quad (2)$$

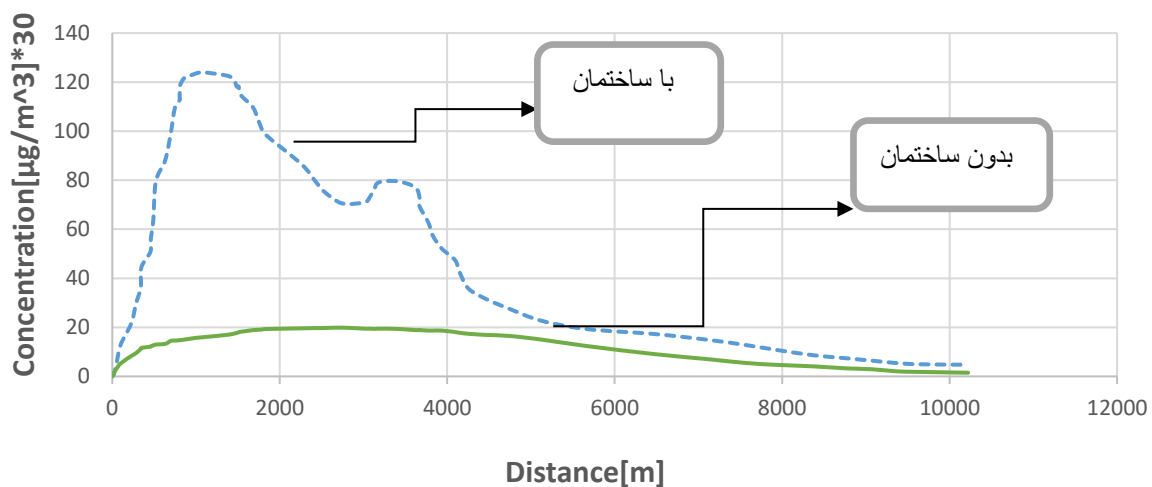
در این رابطه A مساحت سطح مقطع ساختمان، C یک فاکتور شکلی که تابعی از سطح مقطع که پولوم در آن سطح پخش می شود، μ مقدار ثابتی است که عموماً مقدار آن ۰/۵ می باشد. پارامترهای σ_y و σ_z انحراف استاندارد از توزیع غلظت (C) را در دو جهت Y و Z نشان می دهند. پارامترهای σ_y و σ_z بر حسب فاصله از چشمه (پارامتر X) تعیین می شود که این توابع بستگی به شرایط جوی پاسکویل دارند جدول (۱) [۳]. مدل‌های رها سازی دو رادیونوکلوئید مهم تلوریم -۱۳۲ و ید -۱۳۱ برای مدت ۱۲ ساعت در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به جهت باد از شمال غربی به جنوب شرقی و مسیر محصولات پرتوزا محدوده داخلی در جهت قطبی ۱۳۵ درجه نشان داده شده است.



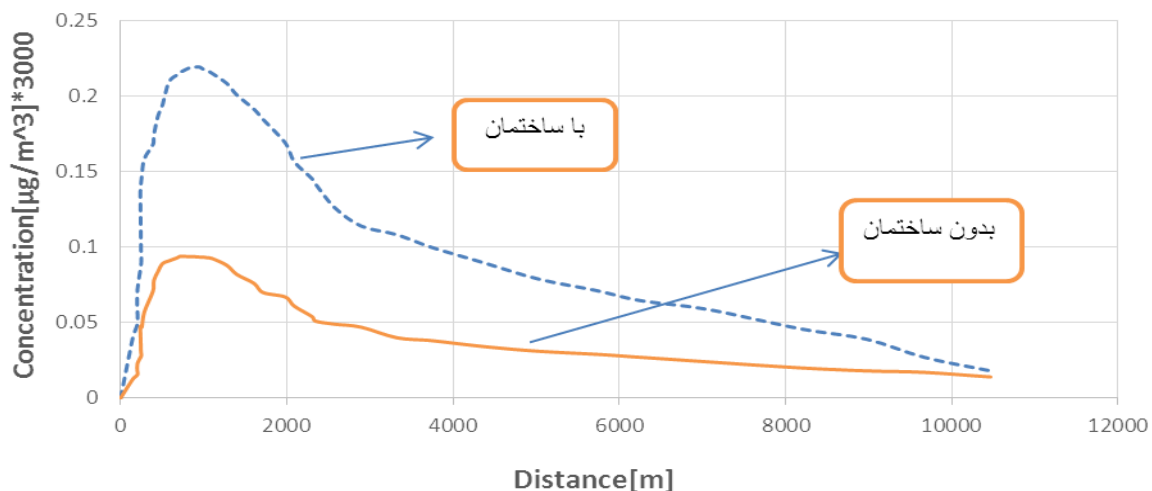
شکل ۶. مدل‌های پخش ید و تلوریم.

۵. نتایج و یافته‌ها

میانگین سالانه غلظت مواد پرتوزا در دو حالت شبیه سازی محیطی با در نظر گرفتن ساختمانها و عوارض زمینی و بدون در نظر گرفتن اثرات ساختمانها و عوارض زمینی با استفاده از مدل AERMOD نشان می دهد که میزان غلظت در حالت به دلیل کاهش میزان پخشیدگی و آثار تلاطم ساختمانها در ایجاد حفره های بزرگ که مسیر حرکت آلایندهای پرتوزا در جهت عمودی تغییر می دهد، بیشتر از حالتی است که این عوامل در نظر گرفته نمی شود. در نمودار شکل (۷) مقایسه ای از میزان غلظت آلاینده I-131 در دو حالت با بناها شهری و بدون بناها نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد این نسبت حدوداً ۶ برابر در فاصله ۱ کیلومتری است. همچنین میانگین سالیانه غلظت آلاینده پرتوزای Te-132 برای دو حالت با و بدون ساختمانها و بناهای شهری نشان می دهد که در فاصله حدوداً ۸۵۰ متری این نسبت حدوداً ۲/۵ برابر است (شکل ۸). در تمامی فواصل از محل رها سازی مواد پرتوزا، بیشترین غلظت مواد پرتوزا مربوط به حالتی است که ساختمانها و عوارض زمینی در نظر گرفته می شوند.



شکل ۷. مقایسه‌ی میزان غلظت آلاینده‌ی I-131 در دو حالت با بنا و بدون بنا.



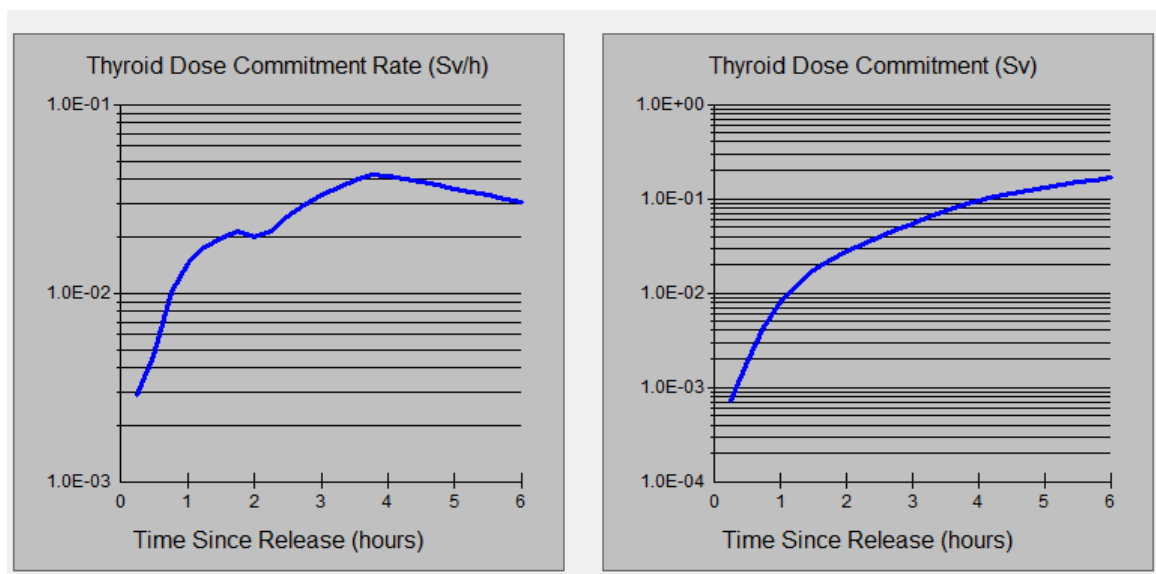
شکل ۸. مقایسه‌ی میزان غلظت آلاینده‌ی Te-132 در دو حالت با بنا و بدون بنا.

۶. مقایسه دز تیروئید

دزهای دریافتی تیروئید در افرادی که حوادث پرتویی محل زندگی خود را تخلیه کرده اند تا حدی زیادی در اثر استنشاق رادیونوکلوئیدهای با نیمه عمر کوتاه و تلوریم-۱۳۲ می باشد.

طبق گزارشات Goulko و همکارانش [۲۱]، دز تیروئید در اطفال ۳-۰ سال بالاترین میزان حدوداً ۱/۴ Gy و به طور متوسط ۰/۲ گری می باشد عامل مهم این میزان دز تیروئید سن افراد و فاصله از محل حادثه پرتویی و تراکم ساختمانی است. [۲۲] در شکل (۸) و (۹) مقایسه ای بین آهنگ و دز تجمعی تیروئید در مدت زمانپس از رهاسازی آلاینده ید-۱۳۱ در سناریوی حادثه این مطالعه نشان داده شده است. این مقایسه نشان می دهد آهنگ دز در حالت ساختمانیها با تراکم زیاد به دلیل افزایش غلظتید در هوانسبت به حالت بدون ساختمانیها افزایش یافته در زمان ۵ ساعت پس از رها سازی به ۴ برابر رسیده که اثر زیادی در افزایش تراکم ساختمانی بدون تراکم تیروئید دارد. ماکزیمم دز تیروئید دریافتی در ۶ ساعت اول در حالت تراکم ساختمانی حدوداً ۱/۲Gy در حالت تراکم ساختمانی بدون تراکم ساختمانی ۰/۳Gy می باشد. برای محاسبه دز تیروئید با توجه به سن افراد و میزان دز دریافتی از رابطه (۳) استفاده می شود [۲۳]. دز متوسط برای بزرگسالان و کودکان بر اساس ضرایب a و b که بیانگر ارتباط سنی (n) با دز تیروئید در مکان (روستا یا شهر) دارند در جدول (۲) آورده شده است.

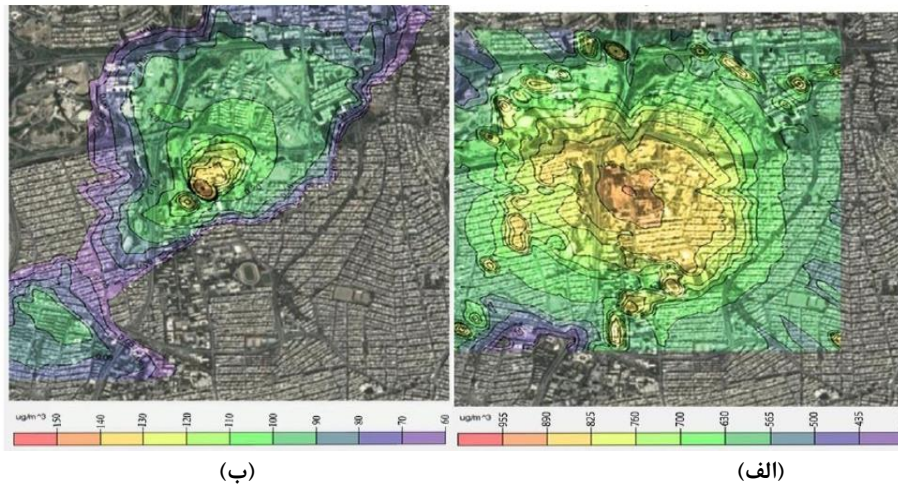
$$D(n) = ka^t.t=e^{-bn} \quad (3)$$



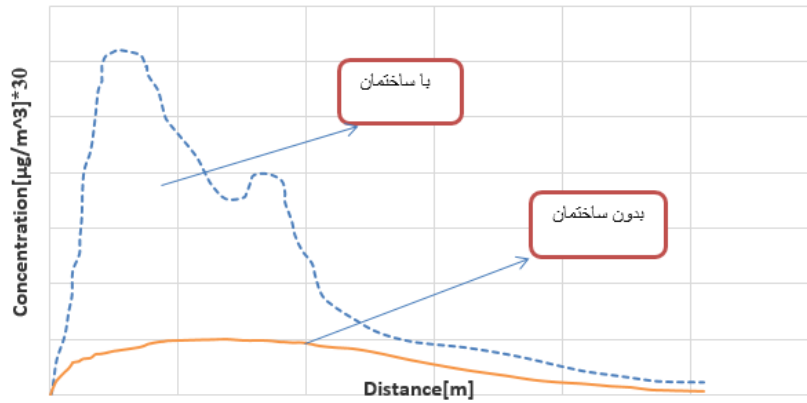
شکل ۱۲. آهنگ و دز تجمعی تیروئید در اثر استنشاق ید-۱۳۱ در حالت بدون ساختمانیها و بناها.

۷. نتایج غلظت و پخش اتمسفریک

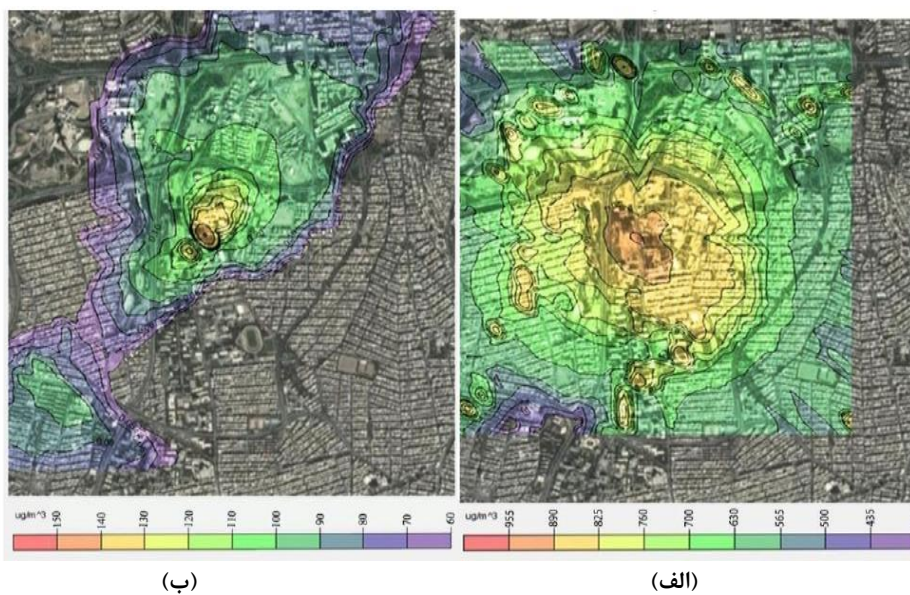
در شکل (۸) میانگین سالانه غلظت مواد پرتوزا در دو حالت شبیه سازی محیطی با در نظر گرفتن ساختمانیها و عوارض زمینی و بدون در نظر گرفتن اثرات ساختمانیها و عوارض زمینی با استفاده از مدل AERMOD نشان داده شده است. همانطور که مشخص است میزان غلظت در حالت (الف) به دلیل کاهش میزان پخشیدگی و آثار تلاطم ساختمانیها در ایجاد حفره های بزرگ که مسیر حرکت آلایندهای پرتوزا در جهت عمودی تغییر می دهد بیشتر از حالتی است که این عوامل در نظر گرفته نمی شود. در نمودار شکل (۹) مقایسه ای از میزان غلظت آلاینده گسی I-131 در دو حالت با بناها شهری و بدون بناها نشان داده شده است. که نمودار نشان می دهد این نسبت حدوداً ۶ برابر در فاصله ۱ کیلومتری است. همچنین در شکل (۱۰) میانگین سالیانه غلظت آلاینده پرتوزای Te-132 برای دو حالت با و بدون ساختمانیها و بناهای شهری نشان می دهد که در فاصله حدوداً ۸۵۰ متری این نسبت حدوداً ۲/۵ برابر است که در نمودار شکل (۱۱) این مقایسه نشان داده شده است. در شکل (۱۲) مقادیر غلظت بر حسب فاصله از محل رهاسازی مواد پرتوزا در سه حالت در نظر گرفتن ساختمانیها، عوارض زمینی، بدون در نظر گرفتن ساختمانیها نشان داده شده است. در تمامی فواصل از محل رهاسازی مواد پرتوزا، بیشترین غلظت مواد پرتوزا مربوط به حالتی است که ساختمانیها و عوارض زمینی در نظر گرفته می شوند. در فاصله ۵ کیلومتری این افزایش حدوداً ۲ برابر می باشد با افزایش فاصله از محل رهاسازی اثرات ساختمانیها و عوارض در غلظت مواد پرتوزا کمتر می شود.



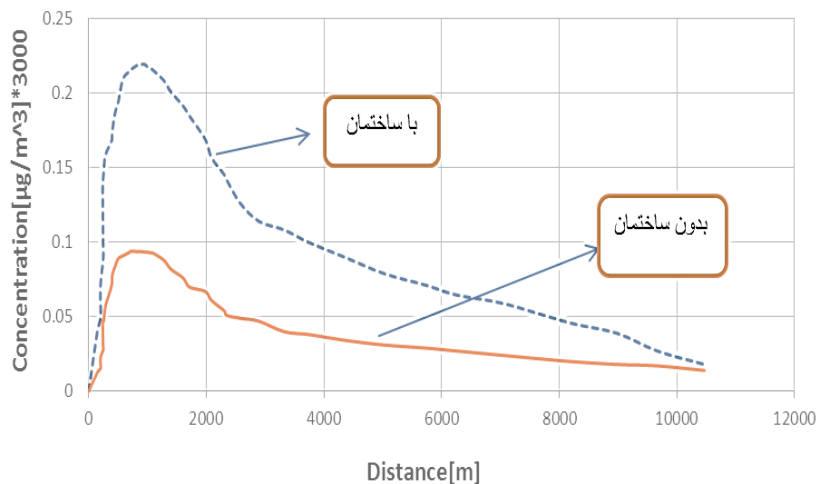
شکل ۱۰. میانگین غلظت سالیانه I-131 رها شده از منبع آلودگی در دو حالت الف: در نظر گرفتن عوارض زمینی و ساختمانها ب: بدون در نظر گرفتن عوارض زمینی و ساختمانها.



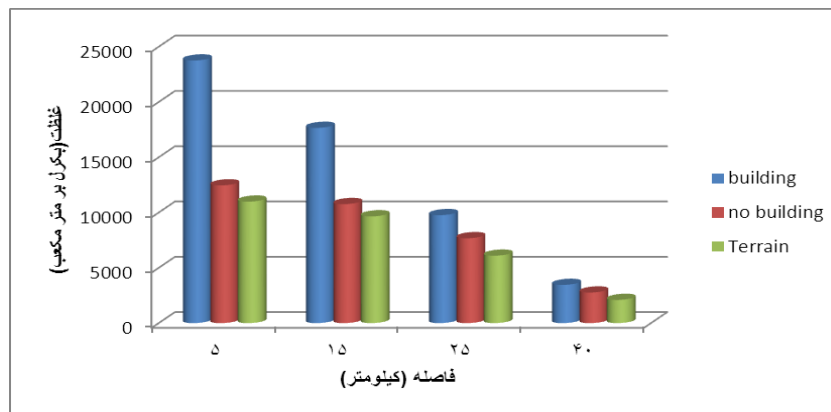
شکل ۱۱. مقایسه‌ی میزان غلظت آلاینده‌ی I-131 در دو حالت با بنا و بدون بنا.



شکل ۱۲. میانگین غلظت سالیانه Te-131 رها شده از منبع آلودگی در دو حالت الف: در نظر گرفتن عوارض زمینی و ساختمانها ب: بدون در نظر گرفتن عوارض زمینی و ساختمانها.



شکل ۱۳. مقایسه‌ی میزان غلظت آلاینده‌ی Te-132 در دو حالت با بنا و بدون بنا.



شکل ۱۴. مقادیر غلظت مواد پرتوزا بر حسب فاصله از محل رها سازی در حالت‌های مختلف اعمال اثرات ساختمانها و عوارض.

۸. نتیجه‌گیری

دز دریافتی افراد در مناطق پرجمعیت و پرتراکم تابعی از سن افراد است که برای کودکان و نوزادان خطر نسبی و احتمال ابتلاء افزایش می‌یابد. این افزایش در محیط‌های شهری نسبت به روستایی حدوداً ۲/۵ برابر می‌باشد. ماکزیمم دز تیروئید در اثر بلع و استنشاق ید-۱۳۱ و تلوریم-۱۳۲ در زمانهای ابتدای رها سازی آلاینده‌ها پرتویی ۱/۲ Gy می‌باشد در مناطق روستایی و کم تراکم حدوداً ۱/۴ این مقدار می‌باشد. پارامترهای محیطی و جوی و نوع طراحی ساختمانها بسیار تاثیر گذار در افزایش غلظت آلاینده‌ها و کاهش پخشیدگی آلاینده‌ها پرتویی می‌باشد در این مقاله نتایج بدست آمده از مدلسازی با AERMOD نشان می‌دهد که در منطقه بوشهر با در نظر گرفتن ساختمانها با ارتفاع متوسط و وجود عوارض محیطی غلظت مواد پرتوزا در برخورد با ساختمانها و بناهای موجود در مسیر حرکت پلوم‌های پرتوزا بیشتر میشود و میزان پخش شدگی کاهش می‌یابد. در مناطق با تراکم جمعیت بالا بدلیل ساختار ساختمانی این میزان ممکن است کمی بیشتر شود. همچنین نتایج مدلسازی با کدهای پخش اتمسفریک HYSPLIT تا فاصله ۴۰ کیلومتری از مرکز نیروگاه نشان دهنده تاثیر عوارض محیطی و بناهای موجود در مسیر حرکت مواد پرتوزا است و وابسته به شرایط آب و هوایی است. با افزایش ارتفاع عوارض محیطی در منطقه طبق خروجی‌ها غلظت مواد پرتوزا با تغییرات بسیار آرامی کم میشود. که این مقادیر در روستاها و مناطق بندری بیشتر وجود دارد. در مناطق پرتراکم شهری این تغییرات حدوداً دو برابر می‌شود. دز دریافتی ساکنین که در محدوده راکتور زندگی می‌کنند مانند روستاهای بندر هلیله و بندرگاه به دلیل اینکه یک منطقه دشت مانند است و ساختمانها و عوارض ارتفاع بسیار پایینی دارند. میزان غلظت کمتر می‌باشد و دز دریافتی نسبت به مناطق پرجمعیت و شهری کمتر است. میزان دز استنشاقی ساکنین در اطراف ساختمانهای حادثه به دلیل افزایش غلظت آلایندهای محیطی هوا بخصوص I-131 افزایش یافته و احتمال ریسک خطر ابتلاء به سرطان تیروئید افزایش می‌یابد. نتایج این مدلسازی‌ها برای سازمانها حفاظت از محیط و سازمان پدافند پرتوی بسیار موثر و لازم می‌باشد.



مراجع

1. IAEA, Generic Models and Parameters for Assessing the environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, IAEA, 1982
2. Schulman, L. L., D. G. Strimaitis, and J. S. Scire, 2000: Development and evaluation of the PRIME plume rise and building downwash model. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **50**, 378-390.
3. AEOI, Atomic Energy Organization of Iran, 2003, Bushehr Nuclear Power Plant: Environmental Report (ER).
4. United States Regulatory Commission, Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequences at Nuclear Power Plant, Regulatory Guide 1.145, 1979
5. United States Regulatory Commission, Atmospheric Dispersion Models for Potential Accident Consequences at Nuclear Power Plant, Regulatory Guide 1.145, 1979
- 6.
7. AEOI, Atomic Energy Organization of Iran, 2003, Bushehr Nuclear Power Plant: Environmental Report (ER).
8. IAEA, Generic Models and Parameters for Assessing the environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, IAEA, 1982
9. R. SICH, "The Chernobyl Accident Revisited: Source Term Analysis and Reconstruction of Events During the Active Phase," Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1994
10. Picano, E; Vano, E.; Semelka, R.; Regulla, D. The American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine: deep impact on the practice of cardiovascular imaging. *Cardiovasc. Ultrasound* 2007, **5**, 37.
11. Report of the United States National Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. Annex G: Biological effects at low radiation doses; UNSCEAR United Nations, New York, USA, 2001
12. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation; Nuclear and Radiation Studies Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. In Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. The National Academies Press: Washington, DC, USA, 2006.
13. Hampton, T. Researchers examine long-term risks of exposure to medical radiation. *JAMA* 2006, **296**, 913-920.
14. Egan, B. A., Numerical Modeling of Advection and Diffusion of Urban Area Source Pollutants, 1972
15. Draxler, R., An Overview of the HYSPLIT Modeling System for Trajectory and Dispersion Applications, Available: <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>.



بیست و هفتمین کنفرانس هسته‌ای ایران



۱۱ الی ۱۴ اسفند ۱۳۹۹-دانشگاه فردوسی مشهد (مجازی)
