نشریه تابش و فناوری هسته ای، سال ۱۳۹۵، دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

ارزیابی خطر سرطان ارگان‌های مختلف بدن در اثر خروج ناگهانی مواد پرتوزا از دودکش راکتور بوشهر با استفاده از مدل BIER VII

میر رشید حسینی اقدم[1و5]، نعیم الدین متاج کجوری *[2] ، سید محمود رضا آقامیری[3]، رحمان قراری[4]، حمیدرضا همتی[1]

[1] کارشناسی ارشد، دانشکده هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[2] دانشیار، ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتویی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ، تهران، ایران

[3] استاد، دانشکده هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[4] دکتری، ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتویی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ، تهران، ایران

[5] کارشناسی ارشد، سازمان انرژی اتمی، آزمایشگاه کالیبراسیون آشکارسازها، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۱۲/۰۳ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۱)

چکیده

راکتورهای هسته‌ای در هنگام کارکرد عادی، همواره مقداری مواد پرتوزا که باید براساس ضوابط هر کشور به مراتب کمتر از مقداری باشد که توسط نظام ایمنی هسته‌ای همان کشور به عنوان مقدار مجاز تعیین می‌شود به محیط‌زیست رها می‌کنند. بنابراین عملکرد ایمن هسته‌ای و پرتویی راکتورها اهمیت ویژه‌ای از نظر بهداشت پرتو و حفاظت از سلامت کارکنان، مردم و محیط زیست دارد. در این کار فرض شده در اثر اختلال در عملکرد سیستم فیلتراسیون یا عواملی دیگر با خروج بیش از حالت مجاز مواد پرتوزا به محیط زیست مواجه هستیم. برای این منظور از نرم افزار HOTSPOT نسخه‌ی ۲/۷ استفاده شد و سپس در وضعیت کلاس‌های جوی مختلف برای سرعت‌های متوسط باد ۲ و ۱٤m/s و برای شعاع‌های مختلف میزان دز مؤثر محاسبه شد. در نهایت با استفاده از مدل BIER VII خطر سرطان برای سنین مختلف و ارگان های مختلف بدن ارزیابی شد. برای فواصل مختلف از مکان راکتور و در سرعت‌های متوسط باد ۲ و ۱٤m/s بدست آمد. خطر سرطان برای سنین ۵ سال به بالا ناشی از بیشینه دزهای توزیع شده محاسبه شد. مطابق نتایج حاصل شده رابطه معکوس بین دز پخش شده و سرعت باد وجود دارد. بنابراین میزان دز جذبی کارکنان و ساکنین اطراف راکتور در سرعت‌های باد پایین و شرایط جوی پایدار بیشتر است. همچنین خطر سرطان برای سنین زیر ۱۰ سال به ویژه برای جنسیت زن بالاتر می‌باشد.

واژه های کلیدی: نیروگاه اتمی بوشهر، خروج ناگهانی مواد پرتوزا، مدل BIER VII، نرم افزارHOTSPOT، خطر سرطان ارگان‌ها

* تهران، گروه پژوهشی ایمنی هسته‌ای و حفاظت پرتویی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

پست الکترونیکی: rashid.hoseyni@gmail.com

۱. مقدمه

در شرایط عادی تولید برق با استفاده از نیروگاه های هسته‌ای در مقایسه با نیروگاه های فسیلی میزان آلودگی به مراتب کمتری برای محیط‌زیست ایجاد می‌کند. از این نظر نیروگاه های اتمی نسبتاً پاک تلقی می‌شوند. همچنین استفاده از راکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی شکافت به عنوان چشمه تولید نوترون کاربرد های فراوان در تحقیقات بنیادی و کاربردی دارد. از طرفی نیاز به تولید انواع رادیوایزوتوپ ها با کاربرد های پزشکی و صنعتی موجب شده است تا استفاده از راکتورهای هسته‌ای روز به روز گسترش پیدا کند. با این حال همواره کاربرد راکتورهای هسته‌ای با دغدغه های متعددی از نقطه نظر ایمنی هسته‌ای و پرتوی همراه بوده است و لذا الزامات سخت و پیچیده‌ای در مورد طراحی، ساخت و بهره برداری از آنها توسط دولت‌ها اعمال می‌شود. یکی از موضوعاتی که در ایمنی راکتورهای هسته‌ای بسیار مهم محسوب می شود، بررسی موضوع تناسب محل ساختگاه و همچنین عواقب محیطی ناشی از کارکرد عادی یا حاصل از حادثه است. از جمله موضوعاتی که در زمینه عواقب محیطی باید بررسی شود وضعیت رادیولوژیکی و حفاظت کارکنان و جمعیت ساکن در اطراف راکتورها در برابر مواد پرتوزا منتشره از آن ها است[۱]. یکی از عمده‌ترین نگرانی هایی که در مورد راکتورهای هسته‌ای وجود دارد، حفاظت و کنترل رادیوایزوتوپ هایی است که از آن ها منشاء می‌گیرند و ممکن است در محیط اعم از هوا، خاک و یا آب پخش شوند. در هنگام کارکرد عادی راکتورهای هسته‌ای به دلیل استفاده و کاربرد اصل دفاع در عمق[۱] و ایجاد موانع متعدد مقابل نشت و خروج مواد رادیواکتیو مقادیر بسیار محدودی ماده رادیواکتیو می‌تواند رهاسازی شود ولی مقدار ماده رادیواکتیوی که به دلیل حوادث هسته‌ای و شکست عملکرد سیستم های ایمنی یا نقص آن ها به محیط به طور ناخواسته رها می‌شود، معمولاً از مقادیر تعیین شده تجاوز می‌کند. حوادث مختلفی وجود دارند که می‌توانند بر عملکرد یک راکتور تاثیر گذارند و لازم است در هنگام طراحی راکتور مدنظر قرار گرفته و روش های فنی حل آن ها در طراحی لحاظ شده و در ساخت اجرا شوند. علاوه بر انجام وظایف بهره برداری ایمن و مؤثر، حفظ کیفیت مناسب و سالم هوای محیط نیروگاه یکی از وظایفی است که سیستم راهبری نیروگاه به عهده دارد. این وظیفه مهم توسط سیستم تهویه[۲] انجام می‌شود که نقش آن کنترل و تصفیه مواد خروجی به جو از مواد پرتوزا تا حدی است که حداقل مقدار به لحاظ منطقی و معقول قابل دستیابی[۳] ماده پرتوزا به محیط رها شود. این مقوله با تنظیم جریان هوا و ملاحظات فنی دیگر از جمله ایجاد و کنترل فشارهای متفاوت در محیط‌های با آلودگی های متفاوت با در نظر گرفتن اصل عدم آلوده زا محیط های پاک و کمینه کردن خطر انتشار مواد پرتوزا است. این تمهیدات در نیروگاه بوشهر نیز به کار گرفته شده است. نیروگاه اتمی بوشهر یک راکتور تولید انرژی است که برای تولید برق از آن استفاده می‌شود و توان ناخالص خروجی آن ۱۰۰۰ مگاوات است. در این مطالعه با توجه به اهداف تجزیه و تحلیل ایمنی محاسبات با در نظر گرفتن دیدگاه محافظه کارانه (مبتنی بر این که با توجه به نتیجه محاسبات و کاربرد آن ها مناسب ترین اقدامات ممکن با توجه به اصول سه گانه حفاظت پرتوی برای حفاظت کارکنان، مردم و محیط زیست در نظر گرفته شود) بدترین حادثه رهاسازی مواد رادیواکتیو در هوا در نظر گرفته شد. فرض بر آن است که شخصی که در پایین دست رهاسازی قرار می‌گیرد در معرض بیشترین دز قرار گیرد، از طرف دیگر با اعمال ساده سازی در عبارت چشمه، فرض شده رها سازی از طریق

[۱] Defense In Depth

[۲] HVAC(Heating, Ventilating and air conditioning system)

[۳] As low as Reasonably Achievable(ALARA)

دودکش نیروگاه رخ دهد. عوامل محیطی از جمله جهت و سرعت وزش باد، دمای محیط و سرعت خروج مواد پرتوزا از دودکش راکتور در نحوه‌ی پخش دز در محیط‌زیست تأثیر ویژه‌ای دارد[۱،۲]. TED[۱] دز مؤثر کل تابش‌های یونیزان است که به میزان جذب شده در سیستم بیولوژیکی و فاکتور وزنی بافت بدن انسان وابسته است[۲،٦]. لذا برای ارزیابی میزان دز مذکور ناشی از مواد پرتوزا انتشار یافته در اطراف نیروگاه، از نرم افزار HOTSPOT استفاده شد. به طوری که در شبیه سازی با این نرم افزار مواد پرتوزا موجود در قلب راکتور، پارامترهای فیزیکی دودکش، دمای خروج مواد پرتوزا و همچنین شرایط محیطی گفته شده لحاظ گردیده است. نرم افزار HOTSPOT در یکی از توانمندترین نرم افزارها در زمینه بررسی میزان آلایندگی در اثر توزیع و پخش مواد پرتوزا در اثر انواع رخدادهای هسته‌ای است[۳].

BEIR[۲] یک کمیته علمی است که اثرات بیولوژیکی ناشی از تابش‌های یونیزان را بررسی می کند. این کمیته بر اساس مطالعه بر روی بازماندگان بمباران اتمی ژاپن معادلات مختلفی را به صورت مدل BEIR V و BEIR VII ارائه داده است که بر اساس این معادلات می‌توان خطر سرطان ناشی از تابش های یونیزان را محاسبه کرد. در این مطالعه ابتدا میزان دز ناشی از مواد پرتوزا خارج شده از دودکش راکتور به کمک نرم افزار HOTSPOT شبیه‌سازی و ارزیابی شده، سپس با استفاده از مدل BEIR VII میزان خطر سرطان ارگان‌های مختلف بدن برای جنسیت‌های زن و مرد با سنین مختلف در ناپایدار ترین شرایط جوی محاسبه شده است[٤،٥،١٣]. نرم افزار HOTSPOT توسط آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور[۳] آمریکا طراحی شده است و در آن از مدل توزیع گوسی برای محاسبات انتشار مواد پرتوزا استفاده شده است.

۲. مواد و روش‌ها

همواره در شرایط عملکرد عادی مقداری رادیونوکلئید از دودکش هر راکتوری وارد محیط‌زیست می‌شود. به طوری که دارندگان راکتورهای هسته‌ای سیستم تهویه را طوری طراحی می‌کنند که رادیونوکلید ها قبل از خروج توسط سیستم فیلتراسیون مواد پرتوزا فیلتر می‌شوند[۱]. در این مطالعه فرض شده است که وقوع حادثه موجب خروج رادیونوکلئید از دودکش نیروگاه و در مقادیری به مراتب بیش از حالت مجاز گردد. مواد پرتوزا خارج شده از دودکش راکتور به صورت گاز و ذرات معلق، در جو پخش می‌شوند. مطابق استاندارد های آژانس بین المللی انرژی اتمی، درصد رها شده برای گازهای نجیب، هالوژن ها و فلزات قلیایی در محیط زیست به ترتیب مقادیر ۱۰۰، ٤۰ و ۳۰ درصد می باشند. شاخص ترین رادیو نوکلئید هایی که در اثر واکنش هسته‌ای به صورت محصولات شکافت در داخل قلب راکتور بوشهر تولید می‌شوند با استفاده از کد Origin شبیه سازی شده و در جدول(۱) نشان داده شده‌اند. در این مطالعه TED ناشی از خروج ناگهانی مواد پرتوزا از دودکش نیروگاه اتمی بوشهر در اثر اختلال در سیستم فیلتراسیون ارزیابی شده است.

[۱] Total Effective Dose

[۲] Biological Effect Ionization Radiation

[۳] LLNL

جدول ۱. رادیونوکلئیدهای پخش شده در اطراف راکتور بر اساس شبیه سازی با استفاده از کد Origin

رادیونوکلئید	گروه	فعالیت(Bq)	درصد میزان پخش شده
Kr-85m	گاز نجیب	۱/۲۲E+۱۳	۱۰۰
Kr-87	گاز نجیب	۳/۷ E +۱۳	۱۰۰
Kr-88	گاز نجیب	٤/۸۱ E +۱۳	۱۰۰
Xe-133	گاز نجیب	۱/۷٤ E +۱۳	۱۰۰
Xe-135	گاز نجیب	۱/۰۷ E +۱۳	۱۰۰
Xe-138	گاز نجیب	٤/۸۱ E +۱۳	۱۰۰
I-131	گاز هالوژن	۳/۱۱ E +۱۳	٤۰
I-132	گاز هالوژن	۸/۵۱ E +۱۳	٤۰
I-133	گاز هالوژن	٦/٦٦ E +۱۳	٤۰
I-134	گاز هالوژن	٦/۲۹ E +۱۳	٤۰
I-135	گاز هالوژن	۵/۱۸ E +۱۳	٤۰
Cs-134	فلز قلیایی	۵/۲۲ E +۱۱	۳۰
Cs-137	فلز قلیایی	۸/٤۳ E +۱۱	۳۰

۲. ۱. شرایط جوی در اطراف نیروگاه بوشهر

شرایط جوی مهم ترین عامل در نحوه توزیع دز در شعاع های مختلف در اطراف راکتور بوشهر است[۷]. مکان راکتور بوشهر جزء نواحی ساحلی محسوب می‌شود، یکی از مهم ترین ویژگی نواحی ساحلی سیستم های نسیم دریا و خشکی بوده که باعث ایجاد پدیده وزش باد شمال غربی در منطقه می‌شود که با افزایش ارتفاع از سطح زمین به وزش باد شمال تبدیل می‌شود. همچنین وجود گردش‌های محلی میدان باد که مربوط به سیستم نسیم دریا خشکی است. سرعت و جهت وزش باد در جهت های مختلف در اطراف راکتور بوشهر در جدول(۲) نشان داده شده است. به طوری که غالب ترین جهت وزش باد مربوط به جهت های جغرافیایی NNW-N و NW است. سرعت های مختلفی برای وزش باد وجود دارد. در این مطالعه از سرعت های میانگین کمینه ۲ m/s و بیشینه ١٤ m/s استفاده شده است[۷].

۲. ۲. نرم افزار HOTSPOT

TED در اطراف راکتور بوشهر با استفاده از نرم افزار HOTSPOT محاسبه شده است. این نرم افزار قادر به بررسی اثرات بیولوژیکی ناشی از پخش مواد پرتوزا در محیط‌زیست است. این نرم افزار اغلب برای بررسی اثرات زیست شناختی ناشی از رخدادهای هسته‌ای از جمله راکتورها و یا انفجارات هسته‌ای و همچنین ریزش مواد پرتوزا در محیط به کار می‌رود. در این کد ابتدا نحوه خروج و یا انفجار هسته‌ای تعریف می‌شود و سپس رادیونوکلوئید های ناشی از حادثه همراه با فعالیت هر کدام تعریف می‌شود و در نهایت ویژگی های چشمه مثلاً در مورد راکتورهای هسته‌ای ارتفاع دودکش، قطر دودکش، سرعت خروج مواد پرتوزا از دودکش و عوامل محیطی همچون سرعت باد و دمای جو در محیط کار HOTSPOT وارد می‌شود. قسمت خروجی کد برای نمایش نمودار های توزیع دز در مسافت های مختلف و همچنین مقادیر دز در شعاع های مختلف لیست می‌شود[۳]. برخی از مشخصات راکتور بوشهر در جدول(۳) نشان داده شده است.

جدول۲. توزیع سالیانه میدان باد در جهت‌ها و ارتفاعات پایداری مختلف در اطراف نیروگاه اتمی بوشهر[۷].

جهت جغرافیایی	۱۶۰۰m	۱۰۰۰ m	۷۰۰ m	۵۰۰ m	۳۰۰ m	۲۰۰ m	کل
N	۰/۲۰	۰/۸۵	۰/۵۵	۳/۱٤	۳/۷۷	٤/٤۲	۱۲/۹۳
NNE	۰/۰٦	۰/۳٦	۰/۲۳	۱/۲۳	۱/۹۳	۲/٤۷	٦/۲۸
NE	۰/۰٦	۰/۱	۰/۰۹	۰/۷۱	۰/۹۳	۲/۰۳	۳/۹۲
ENE	۰/۰٤	۰/۱	۰/۰٤	۰/۳۸	۰/۵۵	۱/۵۲	۲/٦۳
E	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰٤	۰/٤۲	۰/٤۷	۱/۰٤	۲/۱۱
ESE	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/٦۸	۰/۳٦	۰/۹٦	۲/۲۲
SE	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۹	۲/۰۰	۰/۷۲	۱/۵۰	٤/۵۵
SSE	۰/۰٦	۰/۳٤	۰/۲۵	۱/۸۳	۰/۸۰	۱/۲۹	٤/۵۷
S	۰/۰۷	۰/۸۲	۱/۰۲	۲/۸٦	۰/۷۰	۱/۰۸	۵/۵۳
SSW	۰/۱۱	۰/۹۳	۱/۲۸	۱/۸۳	۰/۳۸	۰/٦۹	۵/۲۲
SW	۰/۰۹	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۸٦	۰/۱۹	۰/٤۵	۳/٦۳
WSW	۰/۰٤	۰/۹۸	۰/٦۷	۰/٦٦	۰/۲۸	۰/٤۹	۳/۱۲
W	۰/۰٤	۱/۲۸	۰/۸۹	۱/۰۳	۰/۵۱	۰/٤۱	٤/۱٦
WNW	۰/۰۹	۱/۰۹	۱/۷۲	۳/۷۱	۱/۲۸	۰/۹۲	۸/۸۱
NW	۰/۱۱	۰/۸۳	۲/٦٦	۷/۸۷	۱/۷۱	۱/۵۰	۱٤/٦۸
NNW	۰/۰۹	۰/۸۵	۱/٤٦	٦/٤۸	۲/٦۱	۳/۱۸	۱٤/٦۷

۲. ۳. خطر سرطان

یکی از شـــاخص هایی که در مطالعات اپیدمیولوژیکی کاربرد وسـیعی دارد، شـاخص خطر نسـبی می‌باشـد. این شـــاخص برای مقایســـه دو گروه جمعیت با توجه به یک پیشـامد مانند سـرطان یا مرگ مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. خطر نسبی فقط برای مطالعات آینده نگر به کار می‌رود و از نسبت میزان بروز سرطان در دو گروه به دست می‌آید[۱۰]. این محا سبات بر ا ساس معادلات BEIR VII می‌با شد، که بر اساس مطالعه بر روی بازماندگان بمباران اتمی ژاپن برای دز های کمتر ا ست. معادلات حا صل از این مطالعات خطر نسبی سرطان را پس از دریافت D گری دز برای ارگان های مختلف به جز سرطان خون به صورت معادله زیر محا سبه می‌کند[۱۰-۸].

$$ERR\ and\ EAR = \beta_s\ D \exp\left(\gamma\, e^*\right)\left(\frac{a}{60}\right)^{\eta} \qquad (۱)$$

D میزان دز دریافتی فرد بوده و η، β_s و γ ضرایب ثابت برای ارگان های مختلف جنسیت زن و مرد که در جدول(٤) آورده شده است. $e^* = \frac{(e-30)}{10}$ برای سنین $e < 30$ و $e^* = 0$ برای سنین $e > 30$ در نظر گرفته می شود که e سن فرد تحت تابش پرتو است[۱۳]. تشخیص این که سرطان فقط ناشی از پرتوگیری باشد بسیار مشکل است، بنابر این شاخص خطر ابتلا به سرطان در ارتباط با تاثیر سن در وقوع سرطان ناشی از پرتوگیری توسط موسسه بهداشت آمریکا[۱] در سال ۱۹۸۵ مطرح گردید. خطر ابتلا به سرطان نه تنها به جنسیت و سن افراد بستگی دارد، بلکه به عوامل دیگری مانند ژنتیک و سبک زندگی نیز مربوط می‌شود. بنابراین میزان خطر ابتلا به سرطان به طور معمول از داده های آماری، با در نظر گرفتن سن و جنسیت افراد قابل تخمین است. بنابراین محاسبات خطر ابتلا به سرطان بر پایه سن و جنسیت و مدت زمان پرتوگیری می‌باشد و از سایر مشخصات فردی چشم پوشی می‌شود[۱۱،۱۲].

جدول٤. مقادیر ارائه شده توسط کمیته BEIR برای ثابت های خطر سرطان ارگان های مختلف[۱۳].

ارگان	β_M	β_F	γ	η
معده	۰/۲۱	۰/٤۸	-۰/۳۰	-۱/٤
روده	۰/٦۳	۰/٤۳	-۰/۳۰	-۱/٤
کبد	۰/۳۲	۰/۳۲	-۰/۳۰	-۱/٤
ریه	۰/۳۲	۱/٤۰	-۰/۳۰	-۱/٤
پستان	-	۰/۵۱	۰	-۲/۰
پروستات	۰/۱۲	-	-۰/۳۰	-۱/٤
رحم	-	۰/۰۵۵	-۰/۳۰	-۱/٤
تخمدان	-	۰/۳۸	-۰/۳۰	-۱/٤
مثانه	۰/۵۰	۱/٦۵	-۰/۳۰	-۱/٤
تیروئید	۰/۵۳	۱/۰۵	-۰/۸۳	۰

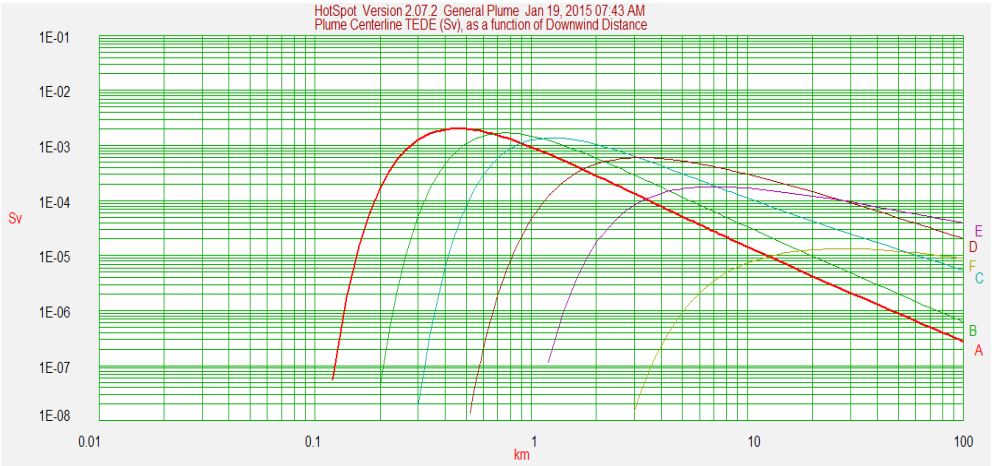
جدول۳. پارامترهای فیزیکی دودکش راکتور بوشهر[۷].

پارامترهای دودکش	مقدار
ارتفاع دودکش(m)	۱۰۰
قطر داخلی دودکش(m)	۳/٤۵
سرعت گاز خروجی(m/s)	٦/۳۵

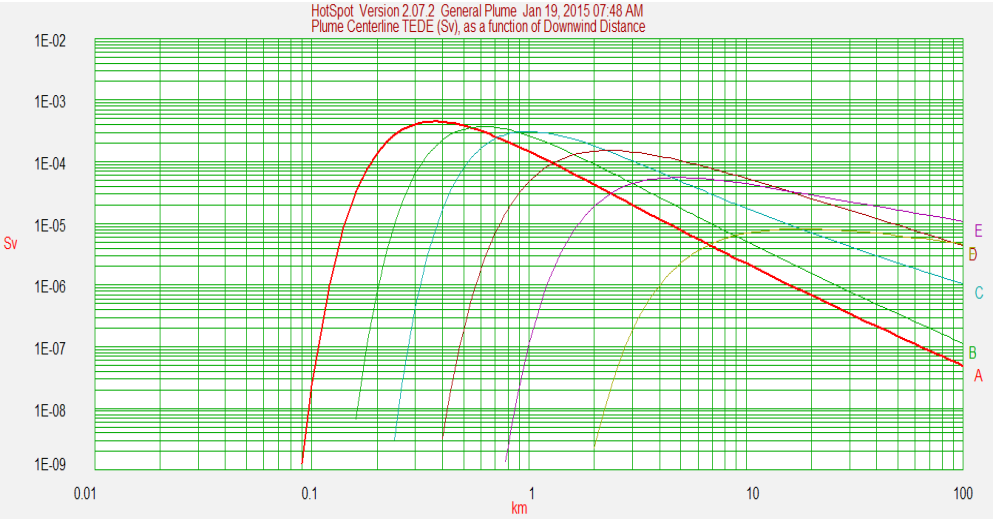
[۱] U.S. National Institutes of Health (NIH)

۳. نتایج

مطابق شکل(۱) میزان TED برحسب سیورت برای تمامی کلاس‌های جوی (A-F) در مسافت‌های مختلف برحسب km در اطراف راکتور بوشهر برای کمترین سرعت باد (۲m/s) محاسبه شده است. همچنین میزان TED در مسافت‌های مختلف برای بیشینه سرعت باد (۱٤m/s) نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. برای سرعت ۲ m/s بیشینه مقدار TED در کلاس A و در فاصله ۰/٤٦ km متری دودکش اتفاق افتاده و برابر با ۲/۰۳ mSv است و برای سرعت ۱٤ m/s نیز بیشینه مقدار TED برابر با ۰/٤٤۷ mSv که برای کلاس A و در فاصله ۰/۳۷ km از دودکش حاصل شده است. خطر ابتلا به سرطان در شرایط جوی ناپایدار کلاس A که بدترین حالت برای پخش مواد پرتوزا و میزان TED می‌باشد، به صورت تابعی از سن برای سرعت‌های ۲ و ۱٤ m/s در بیشینه مقدار TED محاسبه شده و در جداول (۵) و (٦) برای ارگان های مختلف بدن بر حسب درصد نشان داده شده است



شکل ۱. توزیع دز در اطراف راکتور هسته‌ای بوشهر برای سرعت باد ۲m/s در تمامی کلاس‌های جوی



شکل ۲. توزیع دز در اطراف راکتور هسته‌ای بوشهر برای سرعت باد ۱۴m/s در تمامی کلاس‌های جوی

جدول ۵. خطر بروز سرطان(ERR) برای ارگان‌های مختلف بر حسب درصد برای دز دریافتی (۲/۰۳(mSv

مشخصات		سن فرد پرتوگیر زن برحسب (سال)						سن فرد پرتوگیر مرد برحسب (سال)					
ارگان	سرعت باد	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	>۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	>۳۰
معده	۲ (m/s)	۹۰/۷۲	۵/۹۸	۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۱٤	۰/۰۹	۸۱/۰٦	۲/۷۰	۰/۳٤	۰/۱۱	۰/۰٦	۰/۰٤
روده	۲ (m/s)	۸۹/۷٦	۵/۳۹	۰/۷۰	۰/۲٤	۰/۱۲	۰/۰۸	۹۲/۷۷	۷/۷۰	۱/۰۱	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۱۲
کبد	۲ (m/s)	۸٦/۷۰	٤/۰٦	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰٦	۸٦/۷۰	٤/۰٦	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰٦
ریه	۲ (m/s)	۹٦/٦۱	۱۵/٦٤	۲/۲۵	۰/۷۸	۰/٤۲	۰/۲۸	۸٦/۷۰	٤/۰٦	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰٦
پستان	۲ (m/s)	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	–	–	–	–	–	–
پروستات	۲ (m/s)	–	–	–	–	–	–	۷۰/۹۸	۱/۵٦	۰/۱۹	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۰۲
رحم	۲ (m/s)	۵۲/۸۵	۰/۷۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	–	–	–	–	–	–
تخمدان	۲ (m/s)	۸۸/۵٦	٤/۷۹	۰/٦۲	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۰۷	–	–	–	–	–	–
مثانه	۲ (m/s)	۹۷/۱۱	۱۷/۹٤	۲/٦۳	۰/۹۲	۰/٤۹	۰/۳۳	۹۱/۰٦	٦/۲۱	۰/۸۱	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۱۰
تیروئید	۲ (m/s)	۱/٦٦	۱/۱۰	۰/۷۳	۰/٤۸	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۸٤	۰/۵٦	۰/۳۷	۰/۲٤	۰/۱٦	۰/۱۰

جدول ٦. خطر بروز سرطان(ERR) برای ارگان‌های مختلف بر حسب درصد برای دز دریافتی (mSv)۰/٤٤٧

مشخصات		سن فرد پرتوگیر زن برحسب (سال)						سن فرد پرتوگیر مرد برحسب (سال)					
ارگان	سرعت باد	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	>۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	>۳۰
معده	۲ (m/s)	٦٨/٤٤	١/٣٩	۰/١٧	۰/۰٦	۰/۰٣	۰/۰٢	٤٨/٦٩	۰/٦١	۰/۰٧	۰/۰٢	۰/۰١	۰/۰۰٩
روده	۲ (m/s)	٦٦/۰٢	١/٢٤	۰/١٥	۰/۰٥	۰/۰٢	۰/۰١	٧٤/۰۰	١/٨١	۰/٢٢	۰/۰٧	۰/۰٤	۰/۰٢
کبد	۲ (m/s)	٥٩/١١	۰/٩٣	۰/١١	۰/۰٤	۰/۰٢	۰/۰١	٥٩/١١	۰/٩٣	۰/١١	۰/۰٤	۰/۰٢	۰/۰١
ریه	۲ (m/s)	٨٦/٣٥	٣/٩٥	۰/٥۰	۰/١٧	۰/۰٩	۰/۰٦	٥٩/١١	۰/٩٣	۰/١١	۰/۰٤	۰/۰٢	۰/۰١
پستان	۲ (m/s)	۰/۰٢	۰/۰٢	۰/۰٢	۰/۰٢	۰/۰٢	۰/۰٢	–	–	–	–	–	–
پروستات	۲ (m/s)	–	–	–	–	–	–	٣٥/١٦	۰/٣٥	۰/۰٤	۰/۰١	۰/۰۰٨	۰/۰۰٥
رحم	۲ (m/s)	١٩/٩۰	۰/١٦	۰/۰٢	۰/۰۰٦	۰/۰۰٣	۰/۰۰٢	–	–	–	–	–	–
تخمدان	۲ (m/s)	٦٣/١٩	١/١۰	۰/١٣	۰/۰٤	۰/۰٢	۰/۰١	–	–	–	–	–	–
مثانه	۲ (m/s)	٨٨/١٧	٤/٦٢	۰/٥٩	۰/٢۰	۰/١١	۰/۰٧	٦٩/٣١	١/٤٤	۰/١٨	۰/۰٦	۰/۰٣	۰/۰١
تیروئید	۲ (m/s)	۰/١٨	۰/١٢	۰/۰٨	۰/۰٥	۰/۰٣	۰/۰٢	۰/٣٧	۰/٢٤	۰/١٦	۰/١۰	۰/۰٧	۰/۰٤

٤. بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی این مطالعه ارزیابی خطر سرطان ارگان های مختلف بدن در اثر خروج ناگهانی مواد پرتوزا از دودکش نیروگاه اتمی بوشهر براساس مدل BEIR VII است. در شرایط عملکرد نرمال راکتور بوشهر سالانه به‌طور متوسط ۰/۱mSv دوز ناشی از مواد پرتوزا، وارد محیط‌زیست می-کند[٦]. در این مطالعه نیز TED پخش شده در اثر خروج ناگهانی مواد پرتوزا بیش از حالت مجاز از دودکش نیروگاه اتمی بوشهر ارزیابی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که برای سرعت باد پایین بیشینه دز پخش شده با غلظت بالا و در مسافت کمتر از مکان راکتور نسبت به سرعت باد بالا اتفاق می‌افتد. بنابراین دز جذبی کارکنان و ساکنین برای سرعت های باد کمتر در اطراف راکتور بوشهر بیشتر است. همچنین مشاهده می‌شود که برای کلاس‌های جوی مختلف که کلاس A مربوط به ناپایدار ترین شرایط جوی است، میزان توزیع دز با غلظت بالا و بیشینه مقدار آن در مقایسه با شرایط کلاس های پایدارتر (E) در نزدیکی مکان راکتور بوشهر اتفاق می‌افتد. همچنین بر اساس نتایج با افزایش سن خطر سرطان برای تمامی ارگان های بدن کاهش می‌یابد. این امر به دلیل رشد و تکامل سلول های بدن است که برای سنین خرد سال سلول‌ها تکامل نیافته و حساسیت بیشتری نسبت به تابش‌های یونیزان دارند. همچنین سلول های بدن جنسیت زن نسبت به مرد حساسیت بیشتری به پرتو داشته لذا مشاهده می شود که میزان خطر سرطان است برای افراد زن نسبت به مرد بیشتر است. مطابق نتایج بدست آمده از این مطالعه نتیجه می‌شود که خطر سرطان تاثیر بیشتری به سن و جنسیت افراد دارد که بیشترین خطر سرطان برای سنین ۵ سال و جنسیت زن اتفاق می‌افتد.

منابع

[1] Iran Nuclear Regulatory Body documents:
1.1Safety regulation for storage, transportation and handling of fresh nuclear fuel at a nuclear power plant.
1.2.Instruction for Supervision over safety Assurance in BNPP-1 construction.

[2] A. Anvari, M.R. Hosseini. Biological Effects of Accidentally Released Radionuclides from Tehran Research Reactor. (1392). No-1, Vo-4.

[3] HotSpot cod. version 2.07.1, Health Physics Codes for the PC. Lawrence Livermore National Laboratory. Homann, The G. UCRL-MA-106315.

[4] V. BEIR, Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. National Academy of Sciences. National Academy Press. Washington DC, EEUU, (1990)

[5] (ICRP), Human respiratory tract model for radiological protection: A report of a task group of the International Commission on Radiological Protection. Elsevier Science Health Science Division, (1994).

[6] AEOI. Atomic Energy Organazation of Iran. NPP «Bushehr». FINAL SAFETY ANALYSIS REPORT. 49. BU.1 0.0.OO. FSAR. RDR001.

[7] M. feyzinezhad, Atmospheric Dispersion Modeling in Bushehr Nuclear Power Plants. Iranian nuclear scince, (1383)-No31,.

[8] C. Sistrom, C. Garvan, Proportions, Odds, and Risk1. Radiology, (2004). 230(1): p. 12-19.

[9] Cember, Introduction to health physics, Herman Johnson, Thomas E Alaei, Parham. *Medical Physics, (2009). 35: p. 5959.*

[10] T. Saint, et al. Terrorist Radiological Dispersive Device (RDD) Scenario and Cancer Risk Assessment. Human and Ecological Risk Assessment: *An International Journal, (2012). 18(5): p. 971-983*.

[11] IAEA, International Atomic Energy Agency, Methods for Estimating the Probability of Cancer from Occupational Radiation Exposure, IAEA-TECDOC-870, Editor. Vienna.

[12] (ICRP), Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: A Report. Ingestion dose coefficients.(1993). cited 67

[13] Estimating Cancer Risk. National Research Council. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: The National Academies Press, (2006)

Journal of Radiation and Nuclear Technology

JRNT
Journal of Radiation and Nuclear Technology

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 3 / No. 1 / Spring

Cancer Risk Estimates for Various Organs Using BEIR VII Models Du to Accidentally Released Radionuclides from Bushehr Nuclear Power Plant stack

M.R. Hosseini Aghdam [1, 5], N. Metaj [2]*, S. M. R. Aqamir [3], R. Gharari [4], H. Hemati [1]

1. M.Sc., Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Associated Professor, Institute of Nuclear Science and Technology, Tehran, Iran

3. Professor, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4. Ph.D, Institute of Nuclear Science and Technology, Tehran, Iran

5. M.Sc., Atomic Energy Organization, Tehran, Iran

** Corresponding author's E-mail: rashid.hoseyni@gmail.com*

(Received: 2016/02/22- Accepted: 2016/05/21)

ABSTRACT

As we know the nuclear reactors in normal operating conditions, always allowable amount of radioactive materials release into environment according to the Thus, nuclear reactors protections have particular important from the health physics aspect. The main objective of this study is to assess the cancer risk using BIER VII models for various organs due to accidentally released radioactive material from Bushehr nuclear power plant stack and within various distances around of reactor. At first, it is assumed due to the ventilation system of reactor stack perturbation, human error or any other factors removal of radioactive materials will be exceeded. For this purpose, Hotspot2.7 software has been used. Then in the various classes' atmosphere conditions for the wind average speeds of 2 and 14 m/s and various radii, amount of the total effective dose (TED) is calculated. Then, using the BIER VII equations, cancer risk is evaluated for various organs in the various male and female ages. TED has been obtained for different distances and average wind speeds 2 and 14 m/s at the steady state atmospheric condition, the cancer risk for ages upper 5 year is evaluated for the maximum distribution dose around the Bushehr Nuclear Power Plant. According to the obtained results, there is an inverse relation between distributed dose and wind speed. Therefore, amount of the absorbed dose rate by the reactor staff and crowd of the reactor around in the low wind speed is more. Also, cancer risk for ages under 10 year special female is more.

Keywords: *Nuclear Power Plant, Accidentally Radionuclides Release, BIER VII Models, HOTSPOT software, organ canc*