استفاده از روش مونت کارلو برای شبیه سازی دز معادل جذب شده در یک مدل انسانی ناشی از عملکرد راکتورتحقیقاتی تهران و گازهای رادیو اکتیو متصاعد شده از آن

توحید یوسف زاده حسنلوئی [1*]، محمدرضا رضایی راینی نژاد[1]، مصطفی حسن زاده [2]

۱. گروه مهندسی هسته ای، دانشکده برق وکامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، ایران

۲. پژوهشکده راکتور، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/٤/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/٦/۲۵

چکیده

در این تحقیق، دز معادل در یک ماه کاری و سالیانه ناشی از عملکرد راکتور تحقیقاتی تهران را در یک فانتوم معادل انسان در نواحی بالای استخر و اطراف گنبد که ناشی از گازهای رادیو اکتیو حاصل از شکافت رادیونوکلیدهای(Kr, Xe, Cs, Ar, S, N, C ,K, I) و ذرات ریز معلق خارج شده از استخر را به کمک کد MCNPX محاسبه می گردد. نتایج محاسبات نشان می دهند که دز دریافتی توسط کارکنان در بالا و اطراف استخر وقتی در حد مجاز است که ساعات کاری به ترتیب ٤۰۸ و ۱۸۳٦ ساعت در سال باشد یا سرعت تهویه به گونه ای باشد که اکتیویته گازهای متصاعد شده از استخر، به ترتیب مقادیر۱۰ و ۸۰ درصد از مقدار گزارش شده توسط FSAR کاهش یابند.

کلمات کلیدی: راکتور تحقیقاتی تهران(TRR)، دز معادل، کد MCNPX، گازهای رادیو اکتیو، گنبد راکتور، فانتوم معادل انسان.

مقدمه

مساله اصلی ایمنی در بهره برداری از راکتورهای تحقیقاتی انفجار قلب راکتور نیست چرا که چنین رویدادی در راکتورها تقریبا غیر ممکن است[1]. بلکه مساله اصلی محصولات حاصل از شکافت می باشند که عمدتا رادیو اکتیواند. این محصولات حاصل از قلب راکتور به ۳ دسته گازی، محلول در آب و جامد تقسیم می شوند. محصولات جامد رادیو اکتیو ایجاد شده در قلب ممکن است دز دریافتی کارکنان راکتور را بصورت روزانه افزایش دهد[1]. همچنین محصولات رادیو اکتیو محلول در آب خنک کننده حاصل از فعالیت قلب راکتور ممکن است وارد

* گروه مهندسی هسته ای، دانشکده برق وکامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، ایران

ایمیل: t.yoosefzadeh@student.kgut.ac.ir - **شماره تماس**: ۰۳٤۲-٦۲۲٦٦۱۱

چرخه محیط زیست شده و علاوه بر کارکنان، سلامت افراد جامعه را نیز تحت تاثیر قرار دهند. علاوه بر این، به علت خروج گازهای رادیو اکتیو خارج شده از قلب به هوای اطراف استخر سرپوشیده راکتور مقداری دز اضافی به کارکنان اضافه خواهد شد. این گازها عبارتند از: گازهای اصلی حاصل از شکافت (کریپتون و زنون)،گازهای فعال (Cs, Ar, S, N, C, K, I) و ذرات بسیار ریز معلق[۲].علاوه بر آن در صورت عدم تصفیه هوای خروجی تهویه شده از راکتور، این گاز در اثر جریان باد در فضای اطراف گنبد پخش شده و به علت پراکندگی ممکن است در فواصل دور، سلامت افراد جامعه را نیز تحت تاثیر قرار دهد. در این تحقیق، به بررسی میزان دز معادل ایجاد شده در یک ماه کاری و سالیانه ناشی از پاره های شکافت و گازهای رادیو اکتیو خارج شده از استخر آب در یک فانتوم معادل انسان که در فضای داخلی در دو فاصله مختلف زیر گنبد راکتور قرار گرفته اند، می پردازد. برای این کار، ابتدا در فایل برنامه ورودی کد MCNPX راکتور تحقیقاتی تهران، فضای استخر و گنبد اطراف آن تعریف می شوند[۳]. سپس با محاسبه طیف گامای محصولات گازی ناشی از عملکرد راکتور و تعریف آنها به عنوان چشمه در فایل ورودی این برنامه، میزان دز دریافتی در حالت های مختلف بررسی خواهند شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق، ابتدا بایستی فایل ورودی کد MCNPX راکتور تحقیقاتی تهران مربوط به محاسبه میزان دز دریافتی در حالت های مختلف ناشی از پاره های شکافت و گازهای رادیو اکتیو خارج شده از استخر آب در یک فانتوم معادل انسان در یک ماه کاری و سالیانه آماده گردد. علاوه بر این، از کارت Kcode (کارت مربوط به محاسبه ضریب تکثیر برای چشمه های شکافت) و طیف چشمه های گازی رادیو اکتیو در ورودی این برنامه استفاده شده است. همچنین علاوه بر هندسه راکتور، هندسه استخر، گنبد و بیرون آن و فانتوم معادل انسان را در مکان های مختلف به ورودی برنامه اضافه شده است. همچنین گازهای اصلی حاصل از شکافت (کریپتون و زنون)، گازهای فعال (Cs, Ar, S, N, C, K, I) و ذرات بسیار ریز معلق نیز در برنامه ورودی کد در نظر گرفته شده است. بنابراین در این مطالعه، میزان دز دریافتی در حالت های مختلف ناشی از پاره های شکافت و گازهای رادیو اکتیو خارج شده از استخر آب در یک فانتوم معادل انسان در یک ماه کاری و سالیانه با استفاده از کد MCNPX محاسبه شده است.

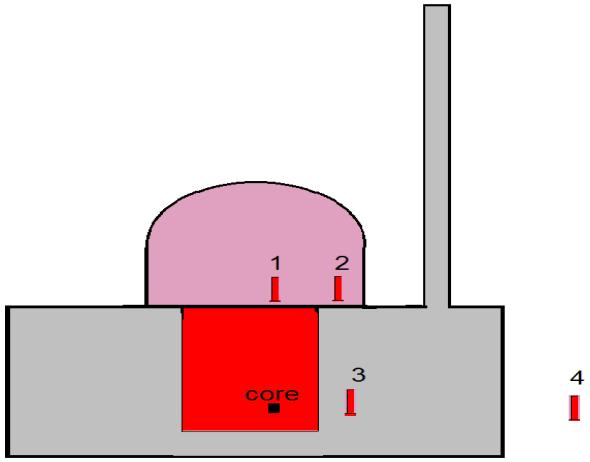
هندسه شبیه سازی راکتور تحقیقاتی تهران

راکتور تحقیقاتی تهران، یک راکتور تحقیقاتی MW ۵ از نوع استخری با نوع سوخت MTR است که در منطقه امیرآباد تهران واقع شده است. مشخصات اصلی راکتور تهران در جدول ۱ آمده است. آب سبک در این راکتور، نقش خنک کننده، کند کننده و حفاظ بیولوژیکی را برعهده دارد. استخر از سیمان و بتون آرمه ساخته شده و لایه داخلی آن از استیل پوشانیده شده است. استخر راکتور، دارای دو بخش مرتبط با هم می‌باشد که قلب می‌تواند در هرکدام از آنها قرار گیرد. ساختمان محفظه ایمنی راکتور به شکل گنبدی و استوانه ای قائم است که قطر آن حدود ۳۰ متر و ارتفاع آن حدود ١٤ متر می باشد. مساحت مقطع گنبد راکتور ۷۰۰ متر مربع با دیواری به ضخامت متغییر از ۸۰ سانتی متر تا ۱/۸۰ متر می‌باشد. ضخامت عرق چین فولادی گنبد ۸ میلی متر و وزن آن ١٤٠ تن است. حجم هوای درون این محفظه ایمنی در حدود ۱۵۰۰۰ متر مکعب است. آهنگ دمش و تخلیه هوا به گنبد و از زیر آن به ترتیب برابر ۵۰۰ و ۵۷۰ متر مکعب بردقیقه می باشد، لذا این اختلاف موجب ایجاد فشار منفی در حدود ۳ سانتی متر آب در زیر گنبد می‌گردد. این راکتور همچنین مجهز به سیستم تهویه جهت رفع آلودگی های ناشی از قلب راکتور است. سیستم تهویه یک راکتور هسته ای برای اهدافی مانند: کنترل و کاهش انتشار مواد رادیو اکتیو به محیط، محافظت کارکنان و محققان

راکتور از پرتوگیری بیش از حد مجاز، فراهم کردن فشار منفی در داخل ساختمان راکتور به منظور کاهش اثرات مواد رادیو اکتیو بخصوص گازهای رادیو اکتیو و در نهایت آماده سازی یک محیط مطلوب و مناسب برای کارکنان است. راکتور تحقیقاتی تهران، دارای یک دودکش به ارتفاع ۵۷ متر می باشد که در ساختمان راکتور قرار گرفته است و در جدول ۲ ویژگی‌های آن آورده شده است. همچنین برای تهویه هوای زیر گنبد نیز از فن استفاده شده است. سرعت خروج مواد رادیو اکتیو از دود کش ۸/۷ m/s می باشد[۴].

هندسه فانتوم معادل انسان

در این تحقیق، محاسبات مربوط به دز معادل در فانتوم معادل انسان و به صورت استوانه که با آب پر شده و به جرم ۱۰۰ kg می باشد که با استفاده از کد MCNPX شبیه سازی شده که در شکل ۱ نشان داده شده است. این فانتوم در داخل راکتور در فواصل مختلف قرار داده شده تا اثر دز دریافتی در یک نوبت کاری و سالیانه از پاره های شکافت و گازهای رادیو اکتیو حاصل از عملکرد راکتور محاسبه شود.



شکل ۱: هندسه راکتور تهران شبیه سازی شده با کدMCNPX (شماره‌های از ۱ تا ٤ به ترتیب اطراف قلب، بالای استخر، زیر گنبد و بیرون راکتور می‌باشند).

جدول ۱: مشخصات اصلی راکتور تحقیقاتی تهران

5 MW	توان حرارتی
U-235 با درصد غنی پایین،MTR با پوشش الومینیوم	سوخت
3.1×1013 n/cm2.sec	شار متوسط نوترون حرارتی در توان ۵ مگاواتی
19 عنصر سوخت استاندارد	تعداد صفحات در هر عنصر سوخت
14عنصر سوخت کنترلی	
40.5×38.54×89.7 cm3	ابعاد قلب
اب معمولی	خنک کننده و کندکننده
500 m3/h	جریان اولیه خنک کننده

37.8℃	دمای ورودی خنک کننده در توان ۵ مگاوات
46℃	دمای خروجی خنک کننده درتوان ۵ مگاوات

جدول ۲: مشخصات دودکش راکتور تهران

مشخصات دودکش	
۱	تعداد
۲/۵	قطر(m)
۵۷	ارتفاع (m)
۸/۷	سرعت خروج مواد رادیو اکتیو(m/s)

رادیو اکتیوهای پخش شده در محیط در حین کار قلب راکتور، به دو گروه تقسیم می شوند. این دو گروه به صورت گاز و یا ذرات ریز معلق در هوا منتشر می شوند. همچنین در کتابچه استانداردهای آژانس بین المللی انرژی اتمی، درصد رها شده گروه های مختلف رادیو اکتیو آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات رادیو نوکلیدهای پخش شده از راکتور تحقیقاتی تهران بر اساس شبیه سازی های انوری و همکارانش[۶].

رادیونوکلید	گروه	اکتیویته رها شده (بکرل)	درصد رها شده	رادیونوکلید	گروه	اکتیویته رها شده (بکرل)	درصد رها شده
Cs-137	فلز قلیایی	9.591 E+11	30	Kr-83m	گاز نجیب	1.754 E+14	100
Te-127	گروه تلریوم	9.964 E+12	5	Kr85m	گاز نجیب	2.823 E+14	100
Te-129	گروه تلریوم	2.865 E+13	5	Kr-87	گاز نجیب	4.110 E+14	100
Te-131	گروه تلریوم	8.874 E+13	5	Kr-88	گاز نجیب	7.688 E+14	100
Te-132	گروه تلریوم	1.408 E+14	5	Kr-89	گاز نجیب	7.844 E+14	100
Sr-90	گروه Br-Sr	0.208 E+11	2	Xe-131m	گاز نجیب	7.588 E+12	100
Zr-95	گروهBr-Sr	6.537 E+12	2	Xe-133	گاز نجیب	3.260 E+14	100
Ba-140	گروهBr-Sr	2.977 E+13	2	Xe-135m	گاز نجیب	6.989 E+14	100
Ru-103	فلز نجیب	9.851 E+11	0.25	Xe-135	گاز نجیب	5.712 E+11	100
Ru-106	فلز نجیب	1.807 E+11	0.25	Xe-137	گاز نجیب	3.569 E+15	100
Rh-105	فلز نجیب	0.578 E+11	0.25	Xe-138	گاز نجیب	3.187 E+15	100
Ce-141	گروه سریوم	2.201 E+11	0.5	I-131	هالوژن	5.434 E+14	40
Ce-143	گروه سریوم	1.199 E+12	0.5	I-132	هالوژن	1.281 E+15	40
Ce-144	گروه سریوم	0.442 E+11	0.5	I-133	هالوژن	1.515 E+15	40
Nd-147	لانتانید	0.172 E+11	0.02	I-134	هالوژن	1.732 E+15	40
Pr-143	لانتانید	0.3314 E+11	0.02	I-135	هالوژن	1.491 E+15	40

کل	1.71 E+16

جدول ٤: مشخصات نرخ آزاد شدن گازهای نجیب از راکتور تحقیقاتی تهران براساس گزارش FSAR[۷]

ایزوتوپ	نیمه عمر	اکتیویته (µci/sec)	ایزوتوپ	نیمه عمر	اکتیویته (µci/sec)
89-Kr	3.2 min	1.5E+2	88-Kr	2.8 hr	8E+3
137-Xe	3.8 min	4.5E+2	85m-Kr	4.4 hr	2.9E+3
135m-Xe	15 min	4E+3	135-Xe	9.2 hr	9E+3
138-Xe	17 min	1.3E+4	133m-Xe	2.3 days	1E+2
87-Kr	1.3 hr	8E+3	133-Xe	5.27 days	2.5E+3
83m-Kr	1.86 hr	1.2E+3	131m-Xe	12.0 days	5E0
85-Kr	10.4 yr	5E0	–	–	–
				کل	5.0E+3

برای گازهای نجیب، هالوژن، فلزات قلیایی، گروه توریوم، گروه Br-Sr، فلز نجیب، گروه سریوم و لانتانید و میزان درصد رها سازی و اکتیویته به شکل های مختلفی گزارش شده است (جداول۳ و٤)[۵].

محاسبه دز معادل

برای محاسبه دز معادل، بایستی مقدار دز در یک ضریب کیفیت که به نوع پرتوتابش وابسته است ضرب شود. در این تحقیق، که تابش های از نوع گاما و بتا وجود دارند؛ بنابراین ضریب کیفیت برابر با مقدار ۱ است. در این صورت واحد دز با دز معادل یکی می شود. همچنین برای محاسبه انرژی و دز بجا مانده در فانتوم بترتیب از تالی های F6 * و F8 * موجود در کدMCNPX استفاده شده است. به علت وجود گزارش های متفاوت برای میزان اکتیویته عناصر گازی راکتور تهران (جداول۳ و٤)، تصمیم بر این گرفته شد که میزان دز دریافتی به ازای هر میکروکوری برای هر گاز رادیو اکتیو محاسبه شود.

البته با توجه به مقادیر اندازه گیری شده اکتیویته گازهای آزاد شده برای هر راکتور قدرت و یا تحقیقاتی در منابع موجود برای نتایج این تحقیق نیز قابل استفاده باشند[۶و۸].

نتایج

ابتدا کارتKcode در برنامه ورودی کد فعال می شود، سپس میزان دز دریافتی در فانتوم معادل انسان در بالای استخر و در زیر گنبد و بیرون آن به صورتی که در شکل ۱ نشان داده شده است، محاسبه می شود. در جدول ۵، نتایج مربوط به مقادیر دز دریافتی ناشی چشمه های رادیو اکتیو گازی در فضای داخلی گنبد فعال شده و میزان دز دریافتی حاصل از تک تک گازها بر روی فانتوم های معادل انسان به ازای 1µci محاسبه شده است را نشان می دهد. در این جدول، فانتوم های ۱ و ۲ به ترتیب بالای استخر و بالای دیواره آن می باشند. همچنین تمام محاسبات برای گازهای نجیب، هالوژن، فلزات قلیایی،گروه توریوم،گروه Br-Sr، گروه سریوم و لانتانیدها، با در نظر گرفتن میزان درصد رها سازی و اکتیویته هر یک از این رادیو نوکلییدها انجام شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که میزان دز معادل دریافتی در یک ماه کاری ۱۷۰ ساعت و

همچنین برای یک دوره یک‌ساله ۲۰۴۰ ساعت ناشی از عملکرد راکتور و گازهای متصاعدشده از آن در فانتوم ۱ (بالای استخر)، به ترتیب برابر با مقـادیر ۲۱/۹ mSv/month و ۲٦۱ mSv/year است و در فانتوم ۲ (بالای دیواره استخر)، به ترتیـب برابـر بـا مقادیر ٤/۷ mSv/month و ٥٦/٤ mSv/year می‌باشد.

جدول ۵: میزان دز معادل دریافتی توسط فانتوم های ۱ و ۲ به ازای گازهای رادیو اکتیو مختلف راکتور تهران و دز معادل کل حاصل از آنها.

رادیـــو نوکلید	اکتیویته µci	در فانتوم هـای ۱ و ۲ nSv/µci		دز معادل دریافتی اطراف استخر توسط هر گاز با استفاده از کد MCNPX در فانتوم ۱ یکماه کاری (۱۷۰ساعت) nSv/month.µci	یکماه کاری (۱۷۰ساعت) nSv/month	سالیانه (۲۰٤۰ساعت) nSv/year.µci	سالیانه (۲۰٤۰ساعت) nSv/year	در فانتوم ۲ یکماه کاری (۱۷۰ساعت) nSv/month.µci	یکماه کاری (۱۷۰ساعت) nSv/month	سالیانه(۲۰٤۰ساعت) nSv/year.µci	سالیانه(۲۰٤۰ساعت) nSv/year
I-131	(3.5E-11)a	3.99E-4	8.61E-5	2.44E+2	8.60E-9	2.93E+3	1.03E-7	5.27E+1	1.86E-9	6.32E+2	2.22E-8
Cs-134	(1.76E-9)a	7.467E-4	1.59E-4	4.57E+2	8.04E-7	5.48E+3	9.65E06	9.73E+1	1.71E-7	1.17E+3	2.06E-6
Cs-137	(2E-9)a	7.12E-4	1.52E-3	4.36E+2	8.71E-7	5.23E+3	1.05E-5	9.30E+2	1.86E-6	1.12E+4	2.24E-5
Xe-133	(2.5E+3)b	1.01E-4	2.18E-5	6.14E+1	1.53E+5	7.37E+2	2.41E-2	1.34E+1	4.28E-4	1.60E+2	5.15E-3
Xe-135	(9E+3)b	2.88E-4	6.1E-5	1.76E+2	1.59E+6	2.12E+3	1.90E+7	3.73E+1	3.36E+5	4.48E+2	4.03E+6
85-Kr	(5E0)b	5.58E-4	1.2E-4	3.41E+2	1.71E+3	4.10E+3	2.05E+4	7.34E+1	3.67E+2	8.81E+2	4.41E+3
Ar-41	-	1.32E-3	2.81E-4	8.08E+2	-	9.69E+3	-	1.72E+2	-	2.06E+3	-
Rn-222	(2E-9)* a	1.51E-3	2.27E-4	6.43E+2	1.29E-6	7.72E+3	1.54E-5	1.39E+2	2.78E-7	1.67E+3	3.34E-6
N-16	-	4.36E-3	9.78E-4	2.67E+3	-	3.20E+4	-	5.99E+2	-	7.18E+3	-
C-14	-	1.75E-4	3.77E-5	1.07E+2	-	1.29E+3	-	2.31E+1	-	2.77E+2	
K-40	(6.75E-7)a	1.46E-3	3.11E-4	8.94E+2	6.03E-4	1.07E+4	7.24E-3	1.90E+2	1.28E-4	2.28E+3	1.54E-3
S-35	-	1.87E-4	4.01E-5	1.14E+2	-	1.37E+3	-	2.46E+1	-	2.95E+2	-
Kr-89	(1.5E+2)b	7.68E-4	1.672E-4	4.70E+2	7.05E+4	5.64E+3	8.46E+5	1.2E+2	1.53E+4	1.23E+3	1.85E+5
Xe-137	(4.5E+2)b	5.44E-4	1.16E-4	3.33E+2	1.50E+5	4.00E+3	1.80E+6	7.10E+1	3.20E+4	8.52E+2	3.83E+5
Xe-135m	(4E+3)b	5.72E-4	1.23E-4	3.50E+2	1.40E+6	4.20E+3	1.68E+7	7.53E+1	3.01E+5	9.3E+2	3.61E+6
Xe-138	(1.3E+4)b	8.72E-4	1.92E-4	5.34E+2	6.94E+6	6.41E+3	8.33E+7	1.18E+2	1.53E+6	1.41E+3	1.83E+7
Kr-87	(8E+3)b	9.23E-4	1.98E-4	5.65E+2	4.52E+6	6.78E+3	5.42E+7	1.21E+2	9.68E+5	1.45E+3	1.16E+7
Kr-83m	(1.2E+3)b	2.95E-6	1.66E-7	1.81E+00	2.17E+3	2.17E+1	2.60E+4	1.02E-1	1.22E+2	1.22E+0	1.46E+3
Kr-88	(8E+3)b	1.37E-3	2.94E-4	8.40E+2	6.72E+6	1.01E+4	8.06E+7	1.80E+2	1.44E+6	2.16E+3	1.73E+7
Kr-85m	(2.9E+3)b	1.96E-4	4.2E-5	1.20E+2	3.48E+5	1.44E+3	4.17E+6	2.57E+1	7.45E+4	3.08E+2	8.93E+5
Xe-133m	(1E+2)b	2.55E-4	5.49E-5	1.56E+2	1.56E+4	1.87E+3	1.87E+5	3.36E+1	3.36E+3	4.03E+2	4.03E+4
Xe-131m	(5E0)b	1.84E-4	3.93E-5	1.13E+2	5.63E+2	1.35E+3	6.76E+3	2.41E+1	1.21E+2	2.89E+2	1.45E+3
مجموع	-	-	-	-	2.19E+7	-	2.61E+8	-	4.70E+6	-	5.64E+7

a*چون رادیوم با رادون در حال تعادل هستند اکتیویته انها باهم برابراست[۸].

b اکتیویته بدست امده از جدول ۳

نتیجه‌گیری

براساس پروتکل هـای آژانـس بـین المللـی انـرژی اتمـی (IAEA) و حفاظت در برابر اشعه (ICRP)، دز جذبی سـالیانه مجاز برای عموم مردم و کارکنان مراکز هسته ای به ترتیب ۱ و ۵۰ میلی سیورت در سال تعیین شده است. در شـرایط خـاص، دز سالیانه می تواند تا ۵ میلی سیورت افزایش یابد مشروط بـر اینکه میانگین دز در پنج سال متوالی از ۱ میلی سیورت در سال تجاوز نکند[۹و۱۲]. نتایج استخراج شده در جدول ۵ نشان می دهد که میزان دز معادل دریافتی در یـک مـاه کـاری ۱۷۰ سـاعت و همچنـین بـرای یـک دوره یـک سـاله ۲۰٤۰ سـاعت ناشـی از عملکرد راکتور و گازهای متصاعد شده از آن در فـانتوم بـالای اسـتخر بـه ترتیـب برابـر بـا مقـادیر ۲۱/۹ mSv/month و ۲٦۱ mSv/year و در فانتوم بالای دیواره استخر به ترتیب برابر بـا مقـادیر ٤/۷ mSv/month و ٥٦/٤ mSv/year مـی باشـند. بنابراین میزان دز دریافتی کارکنان در بالای دیـواره اسـتخر، در حدود ۱۰ درصد بالاتر از استانداردهای ملی و بین اللملی بوده و میزان پرتوگیری سالیانه کارکنان در محل بالای اسـتخر، ۵/۲۲ برابر بیشتر از مقدار حدود تعیین شده می باشد. در نتیجه برای رسیدن به دز سالیانه msv ۵۰، یا باید سـاعات کـاری در طـول سال برای بالای دیواره با ۱۰ درصد کاهش به ۱۸۳٦ ساعت در

سال و برای بالای استخر با ۸۰ درصد کاهش به ٤٠٨ ساعت در سال برسد، یا اینکه سیستم تهویه قادر باشد با افزایش سرعت تهویه، اکتیویته گازهای گزارش شده توسط FSAR را با همین نسبت ها کاهش دهند. البته حوادث ناشی از خطای انسانی یا عمل نکردن سیستم تهویه ممکن است میزان دز دریافتی کارکنان را به بیشتر از حد مقادیر محاسبه شده نیز برساند[۷و۹].

منابع

1. The Technology of Nuclear Reactor Safety, T.J. Thomppson and J. G. Beckerley (Eds), M.LT.press, Cambridge ,1973.
2. Seddigh.Y, Emamjomeh.A, Nuclear Energy Policy, Planning and Project Management, 1386.
3. MCNPX- Monte Carlo N-Particle Transport Code System for Multiparticle and High Energy Applications, Version 2.4.0. Los Alamos National Laboratory, September, 2002.
4. Atomic Energy Organization of Iran, Safety analysis report for Tehran research reactor (TRR), 2007.
5. S.S. Raza, M. Iqbal, Atmospheric dispersion modeling for an accidental release from the Pakistan Research Reactor-1 (PARR-1), Annals of Nuclear Energy 32(2005) 1157-1166.
6. A. Anvari, L. Safarzadeh, Assessment of the total effective dose equivalent for accidental release from the Tehran Research Reactor, Annals of Nuclear Energy 50(2012) 251-255.
7. FSAR (Final Safety Analysis Report) for TRR Table 12.11 Emission Rates of Noble Gases Chapter: 12, 18 of 30.
8. FSAR (Final Safety Analysis Report) for TRR Table 3.27-Air borne Radionuclide Analysis Report Chapter: 3, 24 of 52 .
9. Atomic Energy Organization of Iran, Basic standards of radiation protection. Department of Nuclear Safety. July 1380, 54.
10. Table nuclide www.ie.lbl.gov .
11. International Commission on Radiological Protection, Human respiratory tract model for radiological protection, ICRP 66, Annals of ICRP, 24, 1–3, (1994).
12. International Commission on Radiological Protection, Age dependent doses to the members of the public from intake of radio nuclides, ICRP 72, Annals of ICRP, 26, 1, 1996.

The Monte Carlo Simulation of the Absorbed Equivalent Dose in Humans Modeling Due to Tehran Research Reactor and Radioactive Gases Released from It

Tohid Yousefzadeh Hassanluei[1*], Mohammad Reza Rayeni Nezhad[1], Mostafa Hassanzadeh[2]

1. Kerman Graduate University of Advanced Industrial Technology,Department of Electrical and Computer Engineering Department of Nuclear

2. Atomic Energy Agency, Institute of Nuclear Science and Technology, NSTRI

***E-mail:** t.yoosefzadeh@student.kgut.ac.ir*

***Received:** 5 Jul 2015 ; **Accepted:** 16 Sep 2015*

ABSTRACT

In this study, the annual and monthly equivalent dose of the operation of the Tehran Research Reactor in a human phantom in the pool and surrounding areas as well as the dome from the fission of radioactive gases (Kr, Xe, Cs, Ar, S, N, C, K, I) and suspended particulates emitted by the pool, were calculated by MCNPX code. The results show that the exposed doses by workers at the top and around the pool, when the limit was of the order of 408 hours and 1836 hours per year or speed of the air in such a way that the activity of gases given off by the pool, were reduced to 10% and 80% of the reported values explained by FSAR, respectively.

Keywords: Tehran Research Reactor (TRR), Dose Equivalent, Code MCNPX, Radioactive Gases Under The Dome of, Phantom the Human.