محاسبه آهنگ دز معادل چاهک راکتور V-446 نیروگاه اتمی مدل VVER-1000در زمان تعمیرات اساسی

سعید نوروزی[۱]، محمدحسن جلیلی بهابادی*[۲]

[۱]نیروگاه اتمی بوشهر

[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، یزد، ایران

چکیده

در این مقاله آهنگ‌های دز معادل چاهک راکتور VVER1000(V-446) در پایان سیکل سوم کاری محاسبه گردیدند. برای این منظور جدار حفاظتی، محفظه داخلی و محفظه تحت فشار به عنوان چشمه‌های حجمی پرتوزا در نظر گرفته شدند. طیف انرژی این چشمه های حجمی با استفاده از کد ORIGEN در پایان سیکل سوم کاری محاسبه و با استفاده از کد MCNPX نرخ دز معادل ناشی از چشمه های حجمی در ناحیه چاهک راکتور محاسبه گردید. نتایج حاصل از مدل سازی نشان می دهد حداکثر دز معادل در کف چاهک راکتور برابر ۸/۲۲۷ میلی‌سیورت بر ساعت و در تراز اصلی برابر ۱۹/۶۱ میکروسیورت بر ساعت است.

کلمات کلیدی:آهنگ دز معادل، چاهک راکتور، ORIGEN، MCNPX

Calculation of equivalent dose rate in cavity of VVER1000 (V446) reactor

Saied Norouzi[1], Mohammad Hasan Jalili Bahabadi[2*]

[1]Bushehr nuclear power plant

[2]Young Researchers and Elite Club, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran.

Abstract

In this paper, the equivalent dose rates in the cavity of VVER1000 (V-446) reactor were calculated at the end of the third cycle. For this purpose, the core barrel and baffle and the reactor pressure vessel were considered as radioactive volumetric sources. The energy spectrum of these volumetric sources were calculated by the ORIGEN code at the end of third cycle. Then, by using the MCNPX code, the equivalent dose rates from the volumetric sources in the cavity of the reactor were calculated. The results of modeling show that the maximum equivalent dose rates in the bottom of reactor cavity is 8.227 $\frac{mSv}{h}$ *and at the main level of reactor is 19.61*$\frac{\mu Sv}{h}$*.*

Keywords: *Equivalent dose rate, Reactor cavity, ORIGEN, MCNP*

مقدمه

نگرانی از انتشار تشعشعات رادیواکتیو از چالش‌های مهم پیشرفت در صنعت ساخت و بهره برداری ایمن نیروگاه های هسته ای می باشد. نیروهای متخصص از سرمایه های واقعی یک نیروگاه برق هسته ای هستند، که حفظ سلامت آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. آگاهی از نوع و میزان پرتوها در قسمت‌های مختلف یک نیروگاه هسته ای VVER-1000 به اتخاذ تدابیر حفاظت در برابر اشعه کارکنان کمک می‌کند. کارهای متفاوتی در این زمینه برای راکتورهای VVER انجام شده است. شریفلو و غلامپور، دز پرتودهی در نواحی مختلف ساختمان راکتور VVER1000 و راکتور تحت فشار آلمانی معادل آن، در زمان کاری راکتور را مقایسه کردند [۱] . ایوبیان و همکارانش به بررسی حفاظ های بیولوژیک استخر نگهداری سوخت مصرف شده نیروگاه بوشهر [۲] پرداختند. علی زاده و همکاران و همچنین جاویدی و همکاران، نرخ دز معادل نوترون

و گاما را در تراز اصلی راکتور VVER ۱۰۰۰ -بوشهر در زمان اولین تعویض سوخت محاسبه کردند [۳ و ۴] . رفیع خیری نیز به ارزیابی نقش حفاظ ثانویه در نیروگاه (WWER-1000) بوشهر [۵] پرداخته است.

پس از هردوره بارگذاری سوخت راکتور ، بازرسی های دوره ای برنامه ریزی شده فنی از محفظه اصلی و تجهیزات داخل راکتور انجام می شود. بازرسی های فنی محفظه تحت فشار، پس از انتقال تجهیزات داخلی راکتور به استخر میانی (بازرسی) انجام می گیرد. انتقال این تجهیزات از طریق چاهک راکتور مملو از آب و کانال ارتباطی چاهک راکتور به استخر میانی انجام می‌گیرد سپس دریچه کانال ارتباطی بسته خواهد شد و آب درون چاهک راکتور تا سطح بالای محفظه تحت فشار جهت بازرسی‌های دوره‌ای تخلیه می‌گردد. اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات میدانی نشان می‌دهد با وجود انتقال سوخت‌های مصرف شده به استخر نگهداری سوخت‌های مصرفی نرخ دز معادل قابل توجهی درون چاهک راکتور وجود دارد. به نظر می‌رسد واکنش‌های نوترون–هسته‌ای در آلیاژ محفظه تحت فشار، محفظه داخلی و جداره حفاظتی، آن‌ها را به یک چشمه رادیواکتیو تبدیل می‌کند و نرخ دز معادل موجود در چاهک راکتور ناشی از این مساله باشد. در مراجع [۳ و ۴] در زمان تعویض سوخت تنها دز معادل ناشی از پرتوزایی مجتمع‌های سوختهای مصرف شده در نظر گرفته شده و دز معادل محفظه تحت فشار و دیگر تجهیزات راکتور در نظر گرفته نشده است. در این کار تحقیقاتی، سعی شده است میزان نرخ دز معادل چاهک راکتور در پایان سیکل سوم کاری محاسبه گردد. برای این منظور طیف فوتون محفظه فشار، محفظه داخلی و جداره حفاظتی در پایان سه سیکل کاری ۳۰۰ روزه، در مجموع ۹۰۰ روز کاری و ۲ دوره ۶۰ روزه سوخت‌گذاری مجدد، محاسبه گردید. سپس محفظه تحت فشار و همچنین تجهیزات محفظه داخلی و جداره حفاظتی که به استخر میانی منتقل شده‌اند به صورت چشمه‌های رادیواکتیو در نظر گرفته شدند. با مدلسازی این چشمه‌های رادیواکتیو و ساختمان چاهک راکتور و استخرمیانی به همراه حفاظ‌های اطراف آن توسط کد MCNPX2.6 ، دز معادل در نقاط مختلف چاهک راکتور (در منطقه بالای محفظه فشار) در پایان سیکل سوم کاری محاسبه گردید.

روش کار

راکتور مورد نظر در این تحقیق از نوع آب سبک تحت فشار می باشد. توان حرارتی آن معادل ۳۰۰۰ مگا وات بوده و از پیشرفته ترین راکتورهای نیروگاه های هسته ای کشور روسیه می باشد. این نیروگاه در سیستم کشور روسیه به نام VVER-1000 و با راکتور مدل V-446 ثبت گردیده است. محفظه تحت فشار (Pressure vessel) استوانه ای به قطر ۴/۱۲ متر است و پایین آن بیضوی‌گون است. بالای محفظه فشار درپوش بیضوی گونی قرار دارد که توسط فلنج و پیچ و مهره به محفظه تحت فشار متصل شده است و در هنگام بارگذاری سوخت این درپوش برداشته می‌شود. در مجاورت چاهک راکتور، استخر بازرسی یا میانی تعبیه شده است که تجهیزات داخلی راکتور از جمله محفظه داخلی قلب (Core barrel)، جداره حفاظتی (Core baffle) و بلوک لوله‌های محافظ (Protective tube unit (PTU)) به درون آن منتقل می‌شود. در کنار استخر بازرسی،

استخر سوخت مصرف شده قرار دارد که سوخت‌های مصرف شده داخل راکتور در زمان بارگذاری مجدد سوخت در آنجا قرار می‌گیرد.

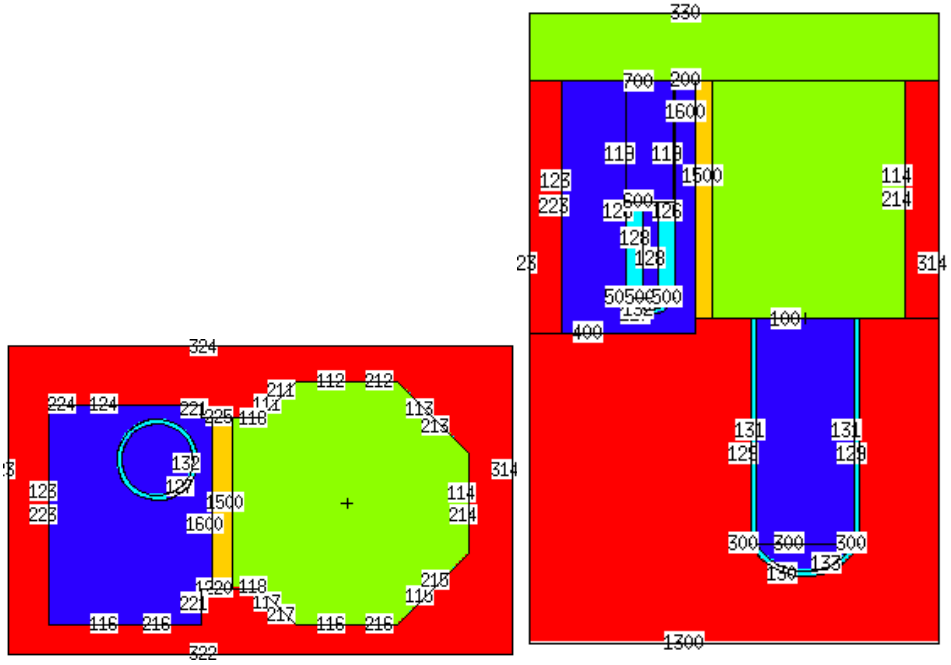
جهت محاسبه نرخ دز معادل چاهک راکتور، ابتدا توسط کد ORIGEN طیف انرژی فوتون در تجهیزات داخلی راکتور نظیر محفظه داخلی، جداره حفاظتی و محفظه تحت فشار در پایان سومین سیکل کاری راکتور محاسبه گردید. در این محاسبات هر سیکل کاری راکتور ۳۰۰ روز و دوره بارگذاری مجدد سوخت ۶۰ روز لحاظ گردید. شار متوسط یک گروهی در داخل محفظه داخلی، جداره حفاظتی و محفظه فشار از مرجع [۱] استخراج گردید که در جدول (۱) نشان داده شده است. در انجام محاسبات طیف انرژی فوتون (آهنگ انتشار فوتون ($\frac{Photon}{s}$) بر حسب انرژی) توسط کد ORIGEN، مقدار محافظه کارانه ۸/۶۰۷۴ × ۱۰^{۱۳} برای شار نوترونی محفظه داخلی و جداره حفاظتی و مقدار متوسط ۳/۴۲۸۴ × ۱۰^{۱۳} برای شار نوترونی محفظه تحت فشار در نظر گرفته شد. سپس مجموعه چاهک راکتور و استخر میانی به همراه تجهیزات درون آنها توسط کد محاسباتی MCNPX2.6 مدلسازی گردید که در شکل (۱) نشان داده شده است. محفظه تحت فشار و مجموعه محفظه داخلی و جداره حفاظتی به صورت چشمه‌های حجمی در نظر گرفته شدند. طیف‌های انرژی این چشمه‌های حجمی (که توسط کد ORIGEN محاسبه گردیدند) در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. برای بهنجارسازی نتایج کد MCNP، مقدار wgt (وزن ذره) در کارت SDEF برابر تعداد کل انتشار فوتون در هر ثانیه برای هر چشمه در نظر گرفته شد. در نهایت پس از طی مراحل مذکور، نرخ دز معادل در چاهک راکتور در پایان سیکل سوم کاری محاسبه گردید. کتابخانه مورد استفاده در کدهای ORIGEN و MCNPX2.6 به ترتیب PWRU و endf70c می‌باشد.

برای محاسبه نرخ دز معادل از کره استاندارد معادل بافت بدن به قطر ۳۰ سانتیمتر استفاده شده است [۶]. در جدول (۳) مشخصات این کره استاندارد نشان داده شده است. این کره استاندارد در امتداد پوسته محفظه تحت فشار و در ارتفاعات مختلف قرار داده شد. زیرا در این امتداد حداکثر دز معادل در هر ارتفاع موجود است. در این محاسبات از دو میلیارد ذره و در محاسبه دز معادل در کره استاندارد از توابع دز استاندارد ICRP-21 1971 استفاده گردید.

جدول (۱) شار نوترونی نقاط مختلف و در زمان کار راکتور [۱]

نقاط محاسبه شده	شار نوترون $\frac{1}{cm^2.s}$
بعد از جداره حفاظتی (baffle)	۸/۶۰۷۴× ۱۰^{۱۳}
بعد از محفظه داخلی (Core Barrel)	۲/۶۸۳۴×۱۰^{۱۱}
قبل از محفظه فشار راکتور	۷/۵۶۰۲×۱۰^{۹}
بعد از محفظه فشار راکتور	۱۱/۷۳۳۹×۱۰^{۸}
قبل از لایه داخلی بتون	۱۱/۴۳۷۵×۱۰^{۸}

بعد از لایه داخلی بتون	۵/۸۸۶۹×۱۰^{۷}
بعد از حفاظ بیولوژیکی	۲/۹۷۶۱×۱۰^{۲}



شکل (۱) هندسه چاهک راکتور و استخر میانی

جدول (۲) مواد ساختمانی راکتور و استخر میانی [۶]

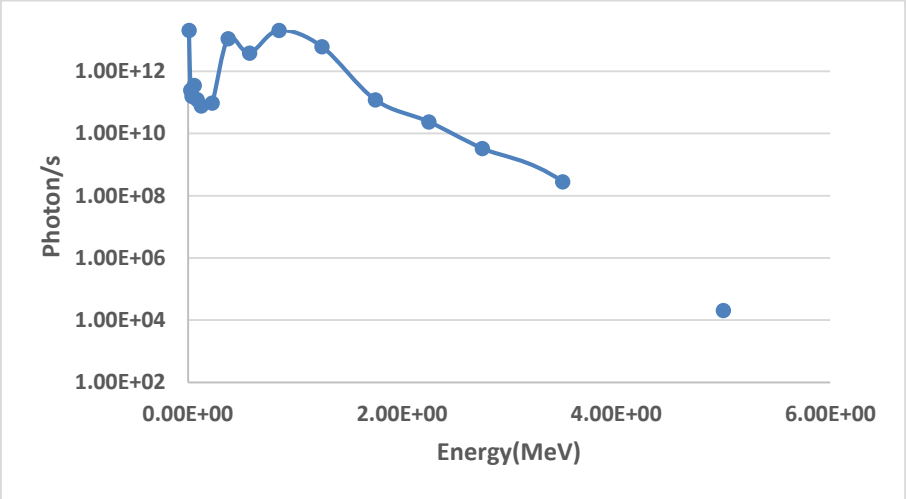
تجهیزات	ترکیب مواد
جداره حفاظتی (Baffle)	Stainless steel 08X18H10T
محفظه داخلی (Core Barrel)	Stainless steel 08X18H10T
محفظه فشار راکتور	Stainless steel 12X18H10T
حفاظ بتونی	بتن سرپانتی
حفاظ جدا کننده چاهک راکتور و استخر میانی	Stainless steel 12X18H10T (12Cr18Ni10T)

جدول (۳) مشخصات کره استاندارد معادل بافت بدن [V]

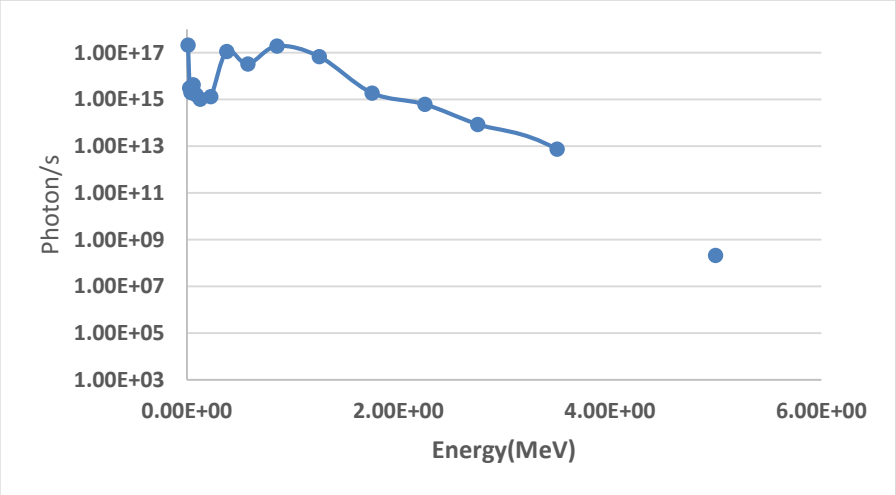
ماده	کسر جرمی
هیدروژن	۰/۱۰۱
کربن	۰/۱۱۱
نیتروژن	۰/۰۲۶
اکسیژن	۰/۷۶۲

نتایج

در شکل‌های (۲) و (۳) طیف فوتون در محفظه تحت فشار و مجموعه محفظه داخلی و جداره حفاظتی نشان داده شده است. در جدول (۴) نرخ دز معادل از استخر میانی در صفحه جداکننده و چاهک راکتور نشان داده شده است. با توجه به اینکه آهنگ دز معادل بافت بدن تقریبا معادل با آهنگ دز معادل هوا می‌باشد [۸] توزیع شعاعی نرخ دز معادل هوا در ارتفاعات مختلف چاهک راکتور به دست آورده شد که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. نرخ دز معادل کره استاندارد معادل بافت بدن که در امتداد پوسته محفظه تحت فشار و در ارتفاعات مختلف قرار گرفته شده است در جدول ۵ مشاهده می‌شود.



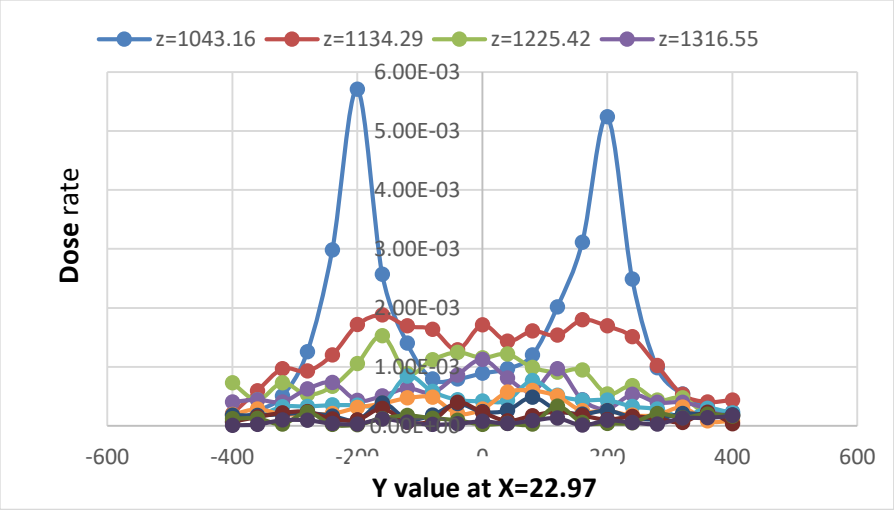
شکل (۲) محاسبه طیف فوتون توسط کد ORIGEN برای محفظه تحت فشار



شکل (۳) محاسبه طیف فوتون توسط کد ORIGEN برای محفظه داخلی و جداره حفاظتی

جدول (۴) نرخ دز معادل چاهک راکتور ناشی از محفظه داخلی و جداره حفاظتی در استخر میانی

نرخ دز جذب شده در صفحه جدا کننده و چاهک راکتور (بر حسب سیورت بر ساعت)	
چاهک راکتور	صفحه جدا کننده
0	5.75336E-01



شکل (۴) توزیع نرخ دز معادل در ارتفاعات مختلف چاهک راکتور در پایان سیکل سوم

جدول (۵) حداکثر نرخ دز معادل در ارتفاعات مختلف چاهک راکتور

ارتفاع (cm)	نرخ دز معادل (Sv/hr)	خطای نسبی
۱۰۵۲	۸/۲۲۷×۱۰$^{-۳}$	۰/۰۰۸۲
۱۱۵۲	۱/۳۲۹×۱۰$^{-۳}$	۰/۰۱۹۶
۱۲۵۲	۶/۸۳۱×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۲۶۳
۱۳۵۲	۴/۰۵۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۳۳۳
۱۴۵۲	۲/۸۴۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۴۰۳
۱۵۵۲	۱/۹۲۶×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۴۷۹
۱۶۵۲	۱/۳۳۵×۱۰$^{-۴}$	۰/۰۵۴۳
۱۷۵۲	۹/۱۹۶×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۶۶۲
۱۸۵۲	۵/۶۶۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۷۸۵
۱۹۵۲	۴/۰۰۷×۱۰$^{-۵}$	۰/۰۹۷۳
۲۱۳۵	۱/۹۶۱×۱۰$^{-۵}$	۰/۱۳۱۵

نتیجه گیری

در این مقاله ، محاسبه نرخ دز معادل در چاهک راکتور نیروگاه مدل VVER-1000 با استفاده از کد MCNPX2.6 انجام گرفت. با توجه نتایج به دست آمده از مدلسازی می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت:

محفظه تحت فشار در زمان تعویض سوخت و تعمیرات اساسی، منبع نسبتا قوی پرتو گاما می‌باشد. در نظر نگرفتن پرتوزایی محفظه تحت فشار در مراجع [۳ و ۴] موجب شده است نرخ دز معادل محاسبه شده در این مراجع مخصوصا در قسمت بالایی محفظه تحت فشار بسیار کمتر از مقدار واقعی آن باشد.

شکل ۴ نشان می‌دهد حداکثر آهنگ دز معادل در هر تراز در امتداد پوسته محفظه تحت فشار می‌باشد. با فاصله گرفتن از محفظه تحت فشار میزان آهنگ دز معادل کاهش و توزیع شعاعی آن یکنواخت‌تر می‌شود. جدول ۵ نیز نشان می‌دهد. میزان آهنگ دز معادل با دور شدن از محفظه تحت فشار کاهش می‌یابد. به طوریکه آهنگ دز معادل در تراز اصلی برابر ۱۹/۶۱ میکروسیورت بر ساعت است.

دو عامل فاصله مناسب استخر میانی تا چاهک راکتور و طراحی صفحه (حفاظ) جدا کننده (با توجه به نوع فولاد آلیاژی آن (12Cr18Ni10T)که قابلیت بالایی در جذب پرتوها دارد) از انتشار پرتوها به ناحیه چاهک راکتور جلوگیری می کند.

محاسبات انجام شده، نشان می دهد که دز موجود در منطقه چاهک راکتور ناشی از پرتوزایی محفظه تحت فشار می باشد و نرخ دز معادل با دور شدن از محفظه تحت فشار کاهش می‌یابد.

مراجع

1. Gholampour, M., Sharifloo, N., Comparison of radioactive doses beyond the final shielding inside reactor building of Russian VVER-1000 and German PWR-1300. 2007 (http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2009/disc/autorun/article10-en.htm)

۲. ایوبیان، ن؛ حداد، ک؛ نعمت اله، م؛ بررسی حفاظ های بیولوژیک استخر نگهداری سوخت مصرف شده نیروگاه بوشهر، مجله علوم و فنون هسته‌ای شماره ۱ (مسلسل ۳۹)، صفحه ۲۰-.۲۵، ۱۳۸۶.

۳. شیرانی،ا؛علیزاده، ع؛اکبری حصار، م؛ گلمرادی، د؛ محاسبه نرخ دز معادل نوترون و گاما در بالای محفظه تحت فشار راکتور VVER1000بوشهر در زمان اولین تعویض سوخت راکتور. پانزدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، دانشگاه گلستان، ۱۳۸۷.

۴. جاویدی، ح؛رحیمی، ا؛ علیزاده، م؛ عباسی، ک؛ محاسبه آهنگ دز پرتوها در زمان سوخت‌گذاری در انتهای چیدمان اول سوخت. اولین کنفرانس مهندسی قدرت و نیروگاههای هسته‌ای، بوشهر. ۱۳۹۵.

۵. رفیع خیری، ح؛ شمسایی، م؛ علیزاده، م؛ ارزیابی نقش حفاظ ثانویه در نیروگاه (WWER-1000) بوشهر، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر. ۱۳۸۶.

6. Final Safety Repore Analysis (FSAR) of BNPP."Chapter 12 ,Rev 1 , June 2007

۷. کمیسیون بین المللی واحدهای پرتو و اندازه‌گیری

۸. سمبر، ه؛ ترجمه: ابوکاظمی، م؛ سپهری، ه؛ بینش، ع؛ آشنایی با فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی. مرکز نشر دانشگاهی- تهران، صفحه ۹۵، ۱۳۸۵.