

## طراحی رادیولوژیکی انبار موقت نگهداری پسمان های گروه ۲ نیروگاه اتمی بوشهر

ابطحی، سید محمد مهدی\*<sup>۱</sup> - خلفی، حسین<sup>۲</sup> - مالکی فارسانی، اصغر<sup>۳</sup> - آقامیری، سید محمود رضا<sup>۱</sup>

۱. دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده مهندسی هسته ای - گروه پرتوپزشکی

۲. سازمان انرژی اتمی ایران - پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای - پژوهشگاه کاربردی پروتونا

۳. سازمان انرژی اتمی ایران - شرکت پسمانداری صنعت هسته ای ایران

### چکیده:

بنا بر آمار اعلام شده، نیروگاه اتمی بوشهر سالانه تعداد ۱۵۸۰ درام پسمان پرتوزا با فعالیت سطح میانی تولید خواهد کرد که این بشکه ها برای مدت ۵ سال قبل از دفع در یک انبار به طور موقت نگهداری خواهند شد. در این پژوهش ضخامت حفاظ برای قسمت های مختلف انبار موقت نگهداری پسمان های گروه II نیروگاه اتمی بوشهر بدست آمد. در نهایت ضخامت مناسب درپوش سلول ها ۳۵ cm، دیواره بتنی انبار ۳۰ cm، دیواره بتنی اتاق کنترل ۳۰ cm و شیشه سربی اتاق کنترل معادل ۴ cm سرب برآورد شد. برای این ضخامت ها بیشینه مقدار دز بر روی سطح درپوش سلول ها  $62/6 \pm 3/8 \mu\text{Sv/hr}$ ، پشت دیواره انبار  $16/2 \pm 0/8 \mu\text{Sv/hr}$  و در داخل اتاق کنترل  $4/47 \pm 0/27 \mu\text{Sv/hr}$  بدست آمد. در نهایت نقشه دز برای کل سایت محاسبه شد. با توجه به مدت زمان حضور ماده رادیواکتیو و همچنین مدت زمان حضور پرسنل در مکان های مذکور، دز جذبی افراد در این مکان ها از مقدار توصیه شده  $5 \text{ mSv/y}$  کمتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: پسمان های گروه ۲ - نیروگاه اتمی بوشهر - انبار موقت نگهداری پسمان - رسوبات ته نشینی - توزیع دز

### ۱. مقدمه

بنا بر آمار اعلام شده، نیروگاه اتمی بوشهر سالانه تعداد ۱۵۸۰ درام پسمان پرتوزا تولید خواهد کرد. موضوعات مربوط به پسمان های حاصل از شکافت به سه قسمت تقسیم می شود: (۱) انتقال به انبار موقت یا سایت بازیافت، (۲) دفع و دفن پسمان، (۳) بازیافت در صورت امکان [۲]. بنابر استاندارد های موجود لازم است در تمامی این مراحل با طراحی حفاظ های رادیولوژیکی مناسب دز افراد از مقدار توصیه شده بیشتر نشود [۳].

پسمان های گروه II بر اساس روش تولید به چهار نوع نمک ته نشینی، فیلتر های پودر تیتانیم بالا، فیلترهای جاذب تبادل یونی و پسمان لجن تقسیم بندی می شود [۱]. Shandala و همکارانش آهنگ دز در اطراف و درون یک انبار نگهداری پسمان های رادیواکتیو در روسیه را بررسی نمودند و مقدار آهنگ دز را در سایت  $60 \mu\text{Sv/hr}$  و در خارج سایت در حداکثر  $8 \mu\text{Sv/hr}$  برآورد کردند [۴]. در پژوهشی دیگر Arturas Smaizys و

همکارانش به بررسی آهنگ دز اطراف حفاظ انبار نگهداری پسمان های رادیواکتیو در تنها نیروگاه هسته ای کشور لیتوانی (INPP) پرداختند. آنها به روش point kernel و با استفاده از کد MERCURE آهنگ دز در مجاورت دیوارهای جانبی را برای پسمان های گروه ۳،  $4/4 - 5/8 \mu\text{Sv/hr}$  برآورد کردند. هدف از این پژوهش محاسبه حفاظ رادیولوژیکی بهینه برای قسمت های مختلف انبار موقت نگهداری پسمان های گروه ۲ نیروگاه اتمی بوشهر می باشد. همچنین محاسبه نقشه دز در مکان سایت مد نظر می باشد. محاسبات برای پسمان رسوبات ته نشینی به عنوان فعال ترین درام پسمان گروه II انجام گرفت که متعاقباً برای دیگر پسمان های گروه II نیروگاه اتمی نیز قابل استفاده است. محاسبات توزیع دز و طراحی های رادیولوژیکی انبار با استفاده از روش مونت کارلو بوسیله کد MCNP5 [۵] و با اجرای موازی کد انجام پذیرفته است.

## ۲. مواد و روش ها

### ۱.۲. ترکیبات موجود در بشکه های حاوی پسمان رسوبات ته نشین

میزان فعالیت کل یک بشکه برای پسمانهای رسوبات ته نشین  $4/72 \times 10^{11} \text{Bq}$ ، برآورد شد. همچنین چگالی ترکیبات بر اساس اسناد موجود  $2000 \text{Kg/m}^3$  می باشد. مواد تشکیل دهنده پسمان رسوبات ته نشین برای غلظت های مختلف نمک به صورت جدول (۱) می باشد [۱]. با توجه به اینکه فعال ترین پسمان تولیدی گروه ۲ رسوبات ته نشین می باشد، طراحی ها برای این جنس پسمان صورت گرفت که متعاقباً برای انواع دیگر پسمان ها نیز قابل کاربرد می باشد.

جدول ۱- مواد تشکیل دهنده پسمان رسوبات ته نشین [۱]

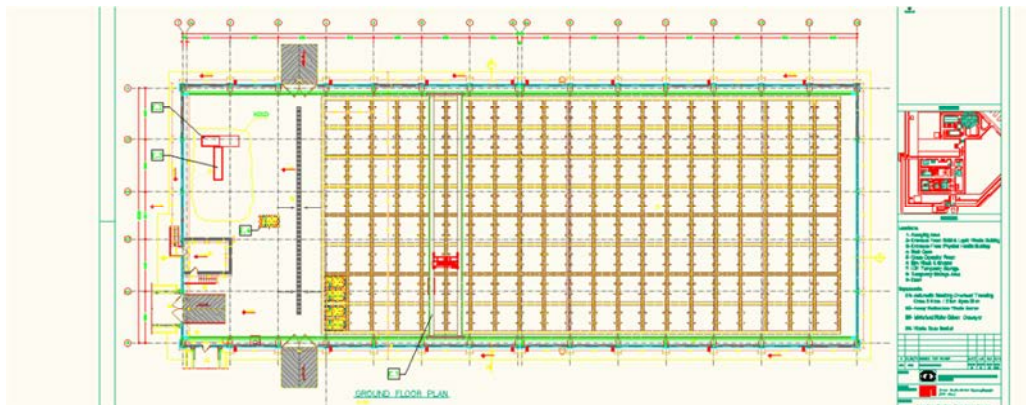
Radionuclide	Strontium-89	Tellurium-132	Cesium-134	Cesium-137	Barium-140	Zirconium-95	Iron-59	Cobalt-58	Chromium-51	Manganese-54	Cobalt-60
Specific activity (salt content 200g/l)Bq/m <sup>3</sup>	$3.16 \times 10^8$	$1.15 \times 10^8$	$2.47 \times 10^{10}$	$4.11 \times 10^{10}$	$2.00 \times 10^8$	$2.71 \times 10^8$	$2.35 \times 10^8$	$1.79 \times 10^9$	$2.58 \times 10^9$	$1.14 \times 10^9$	$1.46 \times 10^{10}$

### ۲.۲. فرضیات مربوط به فیزیک بشکه

هندسه بشکه به صورت استوانه ای با ارتفاع  $79/5 \text{ cm}$  و شعاع  $28/55 \text{ cm}$  در نظر گرفته شد که درای یک پوسته استوانه ای به ضخامت  $3 \text{ mm}$  از جنس فولاد می باشد و سطح بالائی و پائینی استوانه با ورقه هائی از جنس فولاد با ضخامت هائی به ترتیب  $10 \text{ mm}$  و  $5 \text{ mm}$  پوشانده شده بود [۱].

### ۳.۲. سازه انبار

انبار موقت ساختمانی می باشد به طول ۸۴۷۵ cm عرض ۳۲۷۵.۲۵ cm و ارتفاع ۷۰۰.۵ cm. این انبار دارای ۸۴ سلول می باشد که به صورت ۲۱ سلول در طول و ۴ سلول در عرض طراحی شده است. سلول مکعبی است به طول ۷۳۳ cm، عرض ۳۰۶ cm و ارتفاع ۵ m. درب سلول در هنگام قراردادن و یا تخلیه سبدها بوسیله یک جرثقیل سقفی برداشته می شود. درون هر سلول ۹۶ بشکه حاوی پسمان سیمانی شده قرار داده می شود. دیواره انبار از جنس بتن می باشد برش مقطعی از انبار در شکل ۱ نمایش داده شده است. درون این انبار یک اتاق کنترل تعبیه شده است که یک اپراتور برای کنترل دستی در زمان بارگذاری در این اتاقک قرار می گیرد. دیواره های جانبی این اتاقک از جنس بتن و دیواره مقابل آن از جنس شیشه سربی در نظر گرفته شد. بر اساس سناریوی پیشبینی شده فرض شد در بدترین حالت، روزانه یک سبد ۲۴ بشکه ای از پسمان به مدت ۲ ساعت، در مکان مشخص شده در شکل ۱ (مقابل اتاق کنترل) قرار داده شود و همچنین فرض شد یک سبد ۲۴ بشکه ای از پسمان بر روی نزدیک ترین سلول به دیواره قرار داده شود.

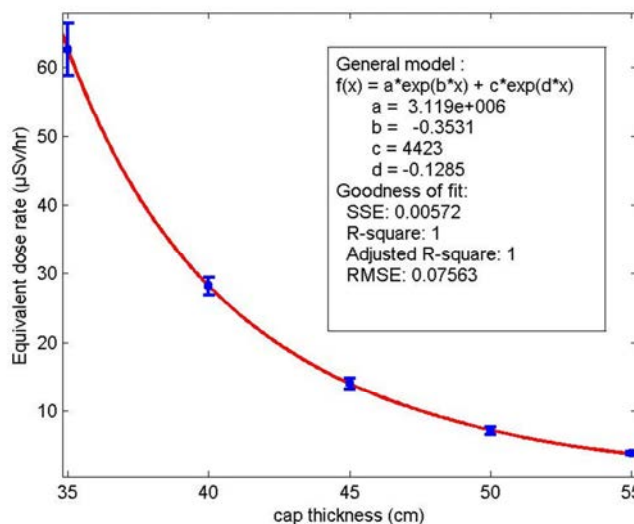


شکل ۱- نمایی از سازه انبار موقت نگهداری پسمان های گروه ۲ نیروگاه اتمی بوشهر

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. تعیین ضخامت درپوش سلول ها

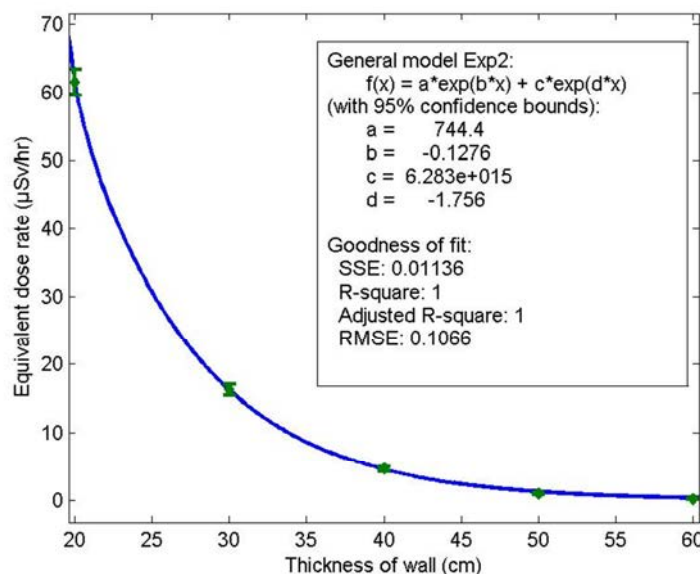
نمودار تغییر بیشینه آهنگ دز بر روی سطح سلول بر حسب ضخامت درپوش بتنی در شکل (۲) داده شده است.



شکل ۲- نمودار تغییرات دز بالای درپوش سلول

#### ۲.۳. تعیین ضخامت حفاظ دیواره های انبار

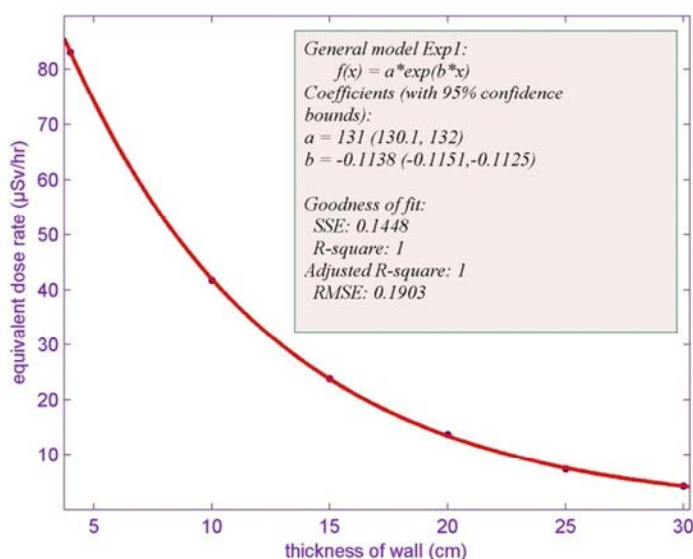
نمودار تغییر بیشینه آهنگ دز در پشت دیواره انبار بر حسب ضخامت دیواره بتنی در شکل (۳) داده شده است.



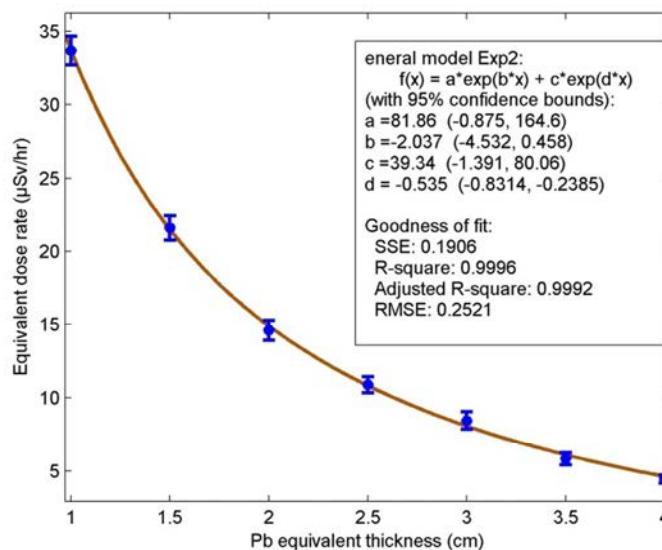
شکل ۳- تغییر بیشینه آهنگ دز بر روی سطح خارجی دیواره انبار موقت نگهداری پسمان های رادیواکتیو گروه ۲

### ۳.۳. طراحی رادیولوژیکی اتاق کنترل

اتاق کنترل باید به گونه ای طراحی شود که بر اساس سناریوی مطرح شده پرسنلی که در آن قرار می گیرند دز کمتر از ۵ mSv/y شود. نمودار تغییرات آهنگ دز بر حسب ضخامت دیواره بتنی جانبی در شکل ۴ و بر حسب شیشه سربی مقابل اتاقک کنترل در شکل ۵ نمایش داده شده است.



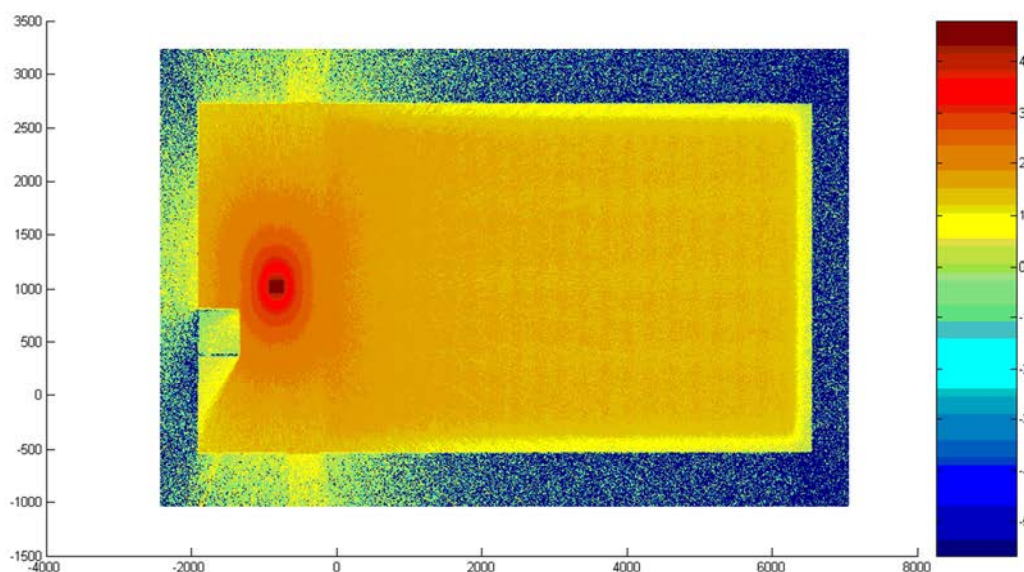
شکل ۴- نمودار تغییرات آهنگ دز بر حسب ضخامت دیواره بتنی اتاق کنترل



شکل ۵- نمودار تغییرات آهنگ دز بر حسب ضخامت شیشه سربی اتاق کنترل

### ۴.۳. نقشه دز انبار

پس از محاسبه حفاظ های رادیولوژیکی انبار نقشه دز با رزولوشن بالا در مکان سایت در درون و بیرون انبار موقت محاسبه شد. شکل ۶ نقشه دز را برای انبار موقت پسمان های رادیواکتیو نمایش می دهد. نقاط با آهنگ دز بالا در اطراف سبد پسمان، میزان فعالیت پشت درب ها و دیواره نزدیک به اتاق کنترل و مقدار دز در تمامی نقاط انبار قابل استخراج است.



شکل ۶- نقشه دز انبار موقت نگهداری پسمان های گروه ۲ نیروگاه اتمی بوشهر

### ۴. بحث و بررسی

همانطور که ملاحظه شد، ضخامت حفاظ رادیولوژیکی برای قسمت های مختلف انبار موقت نگهداری پسمان های گروه ۲ نیروگاه اتمی بوشهر به دست آمد. نتایج حاصله با نتایج به دست آمده برای سایت پسمانداری USSR در شرق روسیه [۴] مطابقت دارد. همانطور که ملاحظه شد دز در پشت حفاظ ها بر حسب فاصله به صورت دو نمایی افت میکرد. میزان انطباق به همراه منحنی مربوط نشان می دهد که برازش از صحت بسیار بالایی برخوردار بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده و با توجه به فاکتور اشغال (occupancy factor) و فاکتور بار گذاری (load factor) در انبار موقت ضخامت ۳۵ cm برای درپوش سلول ها، دز پرسنل را به کمتر از مقدار توصیه شده کاهش می دهد. با این ضخامت آهنگ دز بالای درپوش  $62/6 \pm 3/8 \mu\text{Sv/hr}$  می باشد. با بررسی نمودار شکل ۳ می توان دریافت که ضخامت لازم دیواره های انبار، برای کاهش دز پرسنل به کمتر از مقدار توصیه شده، برابر با cm

۳۰ می باشد. با این ضخامت آهنگ دز در پشت دیواره  $16/2 \pm 0/8 \mu\text{Sv/hr}$  می باشد. اما در طراحی حفاظ رادیولوژیکی اتاق کنترل با توجه به نیاز حضور پرسنل توجه بیشتری لازم است بنابراین سعی شد همه چیز دست بالا طراحی گردد. ضخامت مناسب براس کاهش دز اتاق کنترل ۳۰ cm بتن برای دیواره های جانبی و معادل ۴ cm سرب برای شیشه سربی به دست آمد. با این ضخامت ها آهنگ دز در داخل اتاق کنترل  $4/47 \pm 0/27 \mu\text{Sv/hr}$  بدست آمد. که کمتر از مقدار توصیه شده می باشد. البته این نکته لازم به ذکر است که طول مدت وجود سبد حداکثر ۲ ساعت در روز است بنابراین آهنگ دز در تمام نقاط کمتر از مقدار توصیه شده خواهد بود. با استفاده از نقشه دز حاصل امکان تهیه سناریوی مدت زمان مجاز حضور پرسنل در نقاط مختلف انبار موقت به دست می آید.

#### منابع و ماخذ

۱. Atomic Energy Organisation Of Iran. *Nuclear Power Plant Division*. 49.BU.1.0.0.OO.FSAR.RDR001 Tehran. (2005.)
۲. E. T. Cheng, 'Waste management aspect of low activation materials', Fusion Engineering and Design. Vol 48, pp. 455-465, (2000)
۳. Herman Cember and Thomas E. Johnson, *INTRODUCTION TO Health Physics*, ed. FOURTH EDITION, New York: McGraw-Hill Companies, Inc. (2010).
۴. N. K. Shandala, S. M. Kiselev, A. I. Lucyanec, A. V. Titov, V. A. Seregin, et al., '*INDEPENDENT REGULATORY EXAMINATION OF RADIATION SITUATION IN THE AREAS OF SPENT NUCLEAR FUEL AND RADIOACTIVE WASTES STORAGE IN THE RUSSIAN FAR EAST*', Radiation Protection Dosimetry. Vol 146 (1-3), pp. 129-132, (2011)
۵. LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, *MCNP A General Monte Carlo N-Particle Transport Code*, "User's Guide". 2003.