نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، دوره ٤، شماره ٣، پاییز ١٣٩٦

طراحی حفاظ تیوب تابش ایکس بر اساس جریان و ولتاژ کاری تیوب

سید مرتضی اسمعیلی[1*] ، روح‌الله قادری[2]

[1] گروه کاربرد پرتوها، دانشکدهٔ مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، تهران، ایران

[2] دانشیار، گروه کاربرد پرتوها، دانشکدهٔ مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله:١٣٩٦/٠٤/١٢ - تاریخ پذیرش مقاله: ١٣٩٦/٠٦/٠٩)

چکیده

سامانه تجسس و بازرسی بوسیلهٔ تابش ایکس که در مبادی فرودگاهی، گمرکات، ادارات پست و... مورد استفاده قرار می‌گیرد، نقش مهمی را در حفظ و تأمین جان انسان و حفظ سرمایه‌های ملی ایفاء می‌کند. در این پژوهش قسمت تولید تابش ایکس و بدنهٔ این سامانه بوسیلهٔ کد MCNPX2.6 شبیه سازی شده است. در لامپ تابش ایکس این سامانه انرژی و جریان الکترون‌های گسیل شده به سمت آند به ترتیب ١٦٠keV و ٠/٦ mA می‌باشد. آند از جنس تنگستن، در فاصله ٣/٥ cm از کاتد درون محفظه شیشه‌ای لامپ مولد تابش ایکس قرار گرفته است. تونل در نظر گرفته شده دارای ابعاد ١٢٠ cm در راستای حرکت شیء (راستای Z)، ١٠٠ cm در راستای لامپ مولد ایکس (راستای Y) و ١٠٠ cm در راستای X می‌باشد. در بدنهٔ تونل ١ mm سرب و ٢ mm آهن بکار رفته است. به وسیله کد MCNPX2.6، مقدارآهنگ دُز در هر یک سانتی متر از تونل و بیرون از تونل (دُز نشت کرده به بیرون) محاسبه شده است. مقدار دُز در وسط تونل و دقیقاً در زیر لامپ مولد تابش ایکس بیشترین مقدار به دست آمده است و مقدار دُز در هر چهار طرف بیرون از تونل از مقدار ٥ $\frac{\mu sv}{h}$ کمتر شده است و این مطلب نشان‌دهنده این موضوع است که مقدار ضخامت ١ mm سرب و ٢ mm آهن برای بدنهٔ تونل مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سامانه بازرسی اشیاء، تابش ایکس، دُزیمتری در گیت‌های فرودگاه، شبیه‌سازیMCNPX

[*] تهران، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها، کد پستی: ١٤٣٩٣-٨٧٣٨١

پست الکترونیکی:seyedmortezaesmaeili91@gmail.com

۱. مقدمه

دستگاه بازرسی چمدان فرودگاهی ایکس ری مدل IAP100100، دارای لامپ تابش ایکسی است که با توجه به مشخصات این لامپ (از جمله انرژی کاتد، جریان باریکه الکترونی از کاتد به آند، جنس و ابعاد آند) تابش ایکسی به داخل تونل این دستگاه هدایت می‌شود. بوسیلهٔ تابش ایکس و آشکارسازهای اطراف تونل، تصویری از اجسام عبوری از تونل به دست می‌آید. همچنین دُزی نیز از طریق تابش ایکس به بیرون از تونل نشت می‌کند که مقدار این دُز به خاطر مسائل ایمنی افراد، باید در حد مجاز باشد [۱،۲]. برای اینکه این مقدار دُز نشت کرده در حد مجاز باشد باید لایه‌هایی از سرب و آهن در بدنهٔ تونل قرار داده شوند. بنابراین باید ضخامت این لایه‌ها به طور دقیق محاسبه گردند تا بتوانند دُز نشت کرده را در حد مجاز برسانند [۳،٤]. در این پژوهش ابتدا تعداد فوتون‌های گسیل شده از آند محاسبه شده است سپس دُز برجاگذاشته شده در هر سانتی‌متر داخل تونل، محاسبه شده است. در نهایت مقدار ضخامت سرب و آهن مورد نیاز بدنهٔ تونل برای اینکه دُز نشت کرده از تونل در حد مجاز باشد محاسبه شده است.

۲. تعداد فوتون گسیل شده از سطح شیب‌دار آند در یک ثانیه

برای محاسبه دُز بوسیله کد MCNPX2.6 می‌توان از توابع آماده در این کد استفاده نمود که این توابع مقدار دُز را برحسب $\frac{\text{Sv/h}}{\text{Source particle}}$ محاسبه می‌کنند، بنابراین باید خروجی MCNPX2.6 را در تعداد فوتون گسیل شده از سطح شیب‌دار آند (سطح روبروی کاتد) ضرب نمود، تا مقدار دُز برحسب Sv/h به دست آید [۲،۵]. بوسیلهٔ کد MCNPX2.6 تعداد فوتون‌های گسیلی از سطح شیب‌دار آند در یک ثانیه به ازای برخورد یک الکترون، $۵/۳۳\times ۱۰^{-٤}$ به دست آمده است. که با در نظر گرفتن جریان الکترون‌ها از کاتد به سمت آند که mA ۰/٦ است می‌توان تعداد الکترونی که در یک ثانیه به آند برخورد می‌کنند را بوسیلهٔ رابطهٔ (۱) به دست آورد.

$$۰/٦\ \text{mA}=۰/٦\times۱۰^{-۳}\ \frac{\text{c}}{\text{s}}\times\frac{۱\text{e}}{۱/٦۰۲\times۱۰^{-۱۹}\ \text{c}}= \quad (۱)$$

$$۳/۷٤٥\times۱۰^{۱٥}\ \frac{\text{e}}{\text{s}}$$

بنابراین تعداد فوتون‌هایی که در یک ثانیه از سطح شیب‌دار آند گسیل می‌شود بوسیلهٔ رابطهٔ ۲ به دست می‌آید.

$$۵/۳۳۸۱\times۱۰^{-٤}\ \frac{\text{p}}{\text{e}}\times۳/۷٤٥\times۱۰^{۱٥}\ \frac{\text{e}}{\text{s}}= \quad (۲)$$

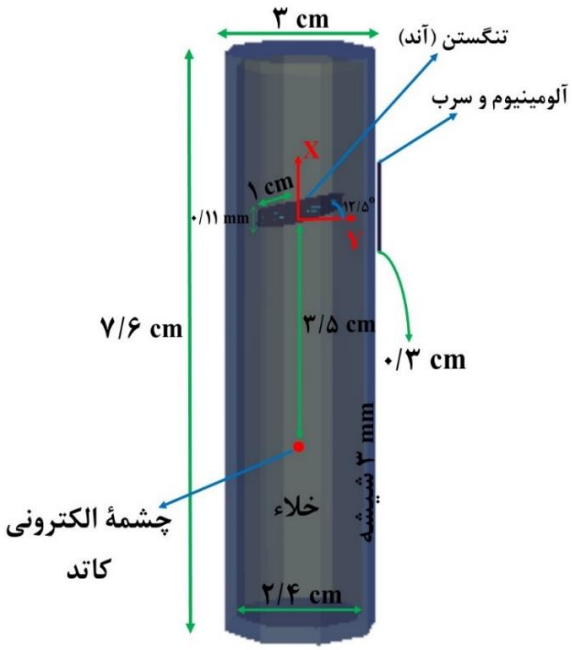
$$۱/۹۹\times۱۰^{۱۲}\ \frac{\text{p}}{\text{s}}$$

در نتیجه هر مقدار دُزی که بوسیلهٔ کد MCNPX2.6 محاسبه شد باید در مقدار $۱/۹۹\times۱۰^{۱۲}$ ضرب شود.

۳. طیف تابش ترمزی از سطح شیب‌دار آند و آلومینیوم

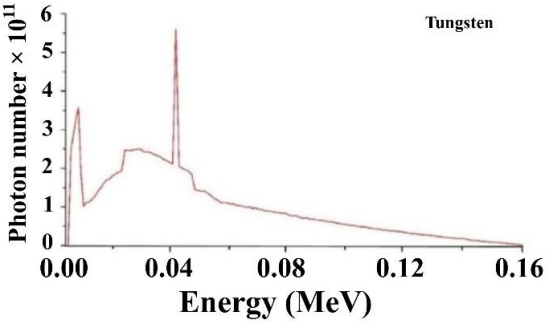
لامپ تابش ایکس دستگاه بازرسی چمدان فرودگاهی ایکس ری مدل IAP100100 به‌صورت یک استوانه‌ای با شعاع cm ۱/٥ و ارتفاع cm ۷/٦ که در داخلش خلأ است، در نظر گرفته شده است. فوتون‌هایی گسیل شده از سطح آند در تمام جهات پراکنده می‌شوند و برای اینکه از این پراکندگی جلوگیری شود، به فاصلهٔ cm ۰/٥ از بدنه لامپ تابش ایکس، یک صفحهٔ دایره-ایی شکل به شعاع cm ۱/٥ و به ضخامت mm ۲ از سرب قرار گرفته است که این لایهٔ سربی به دو قسمت مساوی تقسیم شده و فاصلهٔ cm ۰/٥ بین این دو قسمت، برای عبور فوتون‌ها در نظر گرفته شده است. برای جذب فوتون‌های کم انرژی نیز چسبیده به این صفحهٔ سربی، یک صفحهٔ mm ۱ از آلومینیوم

در نظر گرفته شده است [٦،٧]. شکل ١ هندسهٔ شبیه سازی شده از لامپ تابش ایکس را نشان می‌دهد.

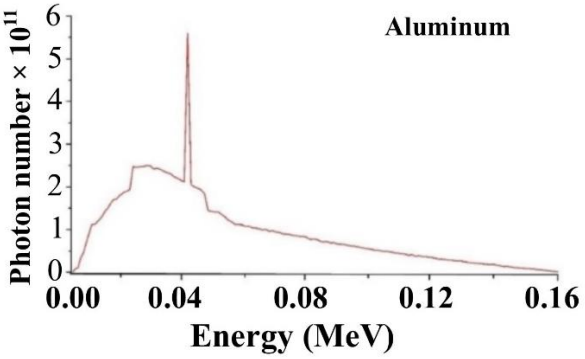


شکل ١.کاتد، آند، سرب و آلومینیوم شبیه سازی شده در فضای MCNPX2.6

شکل‌های ٢ و ٣ به ترتیب طیف تابش ترمزی حاصل از سطح شیب‌دار آند و آلومینیوم را نشان می‌دهند.



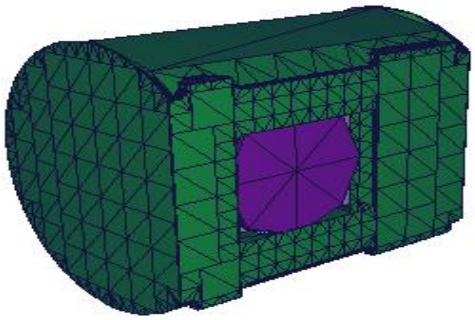
شکل ٢. طیف تابش ترمزی حاصل از آند



شکل ٣. طیف تابش ترمزی حاصل از سطح آلومینیوم

٤. محفظهٔ ژنراتور،

لامپ تابش ایکس در داخل یک محفظه استوانه‌ای شکل به ارتفاع ٢٠ cm و شعاع داخلی ٤ cm و شعاع خارجی ٥/٤ cm که از ٤ mm سرب و ١٠ mm آهن تشکیل شده است، قرار گرفته است [٦،٨]. شکل ٤ هندسهٔ شبیه سازی شده در فضای MCNPX2.6 مربوط به این محفظه را نشان می‌دهد.

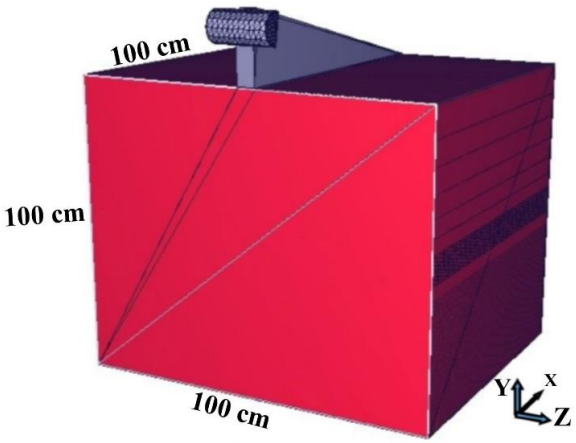


شکل ٤. هندسهٔ شبیه سازی شده از محفظهٔ لامپ تابش ایکس در فضای MCNPX2.6

٥. بدنهٔ تونل، موازی ساز و تقسیم بندی فضای داخلی تونل

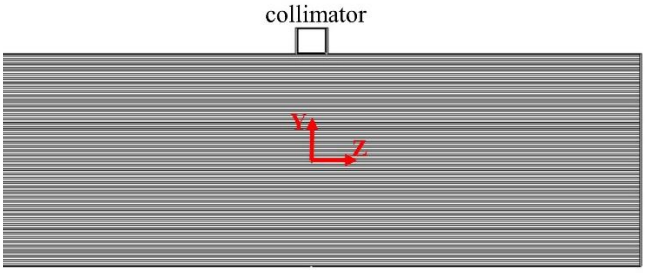
به منظور محدود کردن تشعشع پرتوX در محدودهٔ مکانی بازرسی بسته‌ها، از تونلی استفاده می‌شود که قسمت‌های داخلی

آن کاملاً با لایهٔ سربی پوشانده می‌شود. برای شبیه سازی تونل سامانه بازرسی اشیاء، یک مکعب مستطیل به ابعاد Z(۱۲۰ cm)، Y(۱۰۰cm) و X(۱۰۰cm) در نظر گرفته شده است و در بدنهٔ تونل یک لایه ۲ mm آهن و یک لایهٔ ۱mm سرب قرار داده شده است. برای شبیه سازی موازی‌ساز از۳ mm سرب و۲ mm آهن استفاده شده است که مقدار پهنای سرب دقیقاً در قسمت سقف تونل و روبروی سامانه تولید تابش ۵ mm است. موازی-ساز به صورت یک مثلث قائم‌الزاویه در سقف تونل قرار گرفته است. شکل ۵ هندسهٔ شبیه سازی شده از تونل، موازی‌ساز و ژنراتور تابش ایکس را نشان می‌دهد.

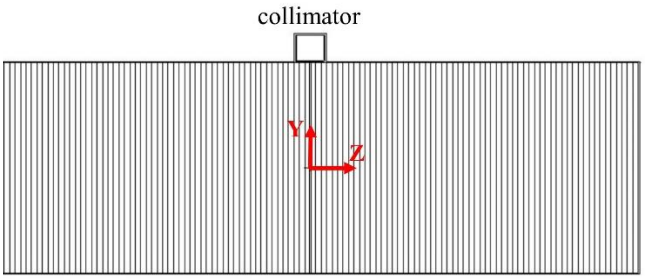


شکل ۵ . هندسهٔ شبیه سازی شده از تونل، موازی‌ساز در فضای MCNPX2.6

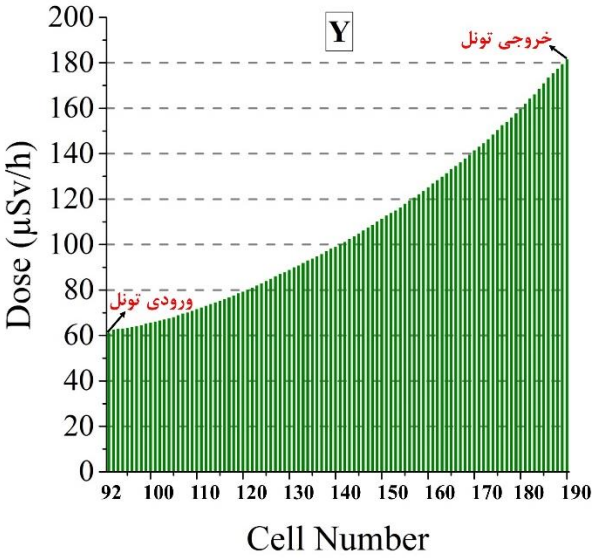
داخل تونل در راستاهای Y و Z (به جز در زیر لامپ تابش ایکس که دقیقاً در مرکز تونل در راستای Z می‌باشد) به قسمت-های ۱cm تقسیم شده است و در زیر لامپ یک قسمت ۲mm در راستای Z در نظر گرفته شده است و این قسمت نیز دربرگیرندهٔ آشکارسازها می‌باشد. هرچقدر به این قسمت ۲mm نزدیک شده مقدار دُز بیشتر می‌شود و دقیقاً در مرکز تونل (همان قسمت ۲mm) مقدار دُز ماکزیمم است. شکل‌های ٦ و٧ به ترتیب تقسیم بندی داخل تونل در راستای Y و Z و شکل-های ۸ و ۹ مقدار آهنگ دُز برجا گذاشته شده در قسمت‌های تقسیم شدهٔ داخل تونل را نشان می‌دهند.



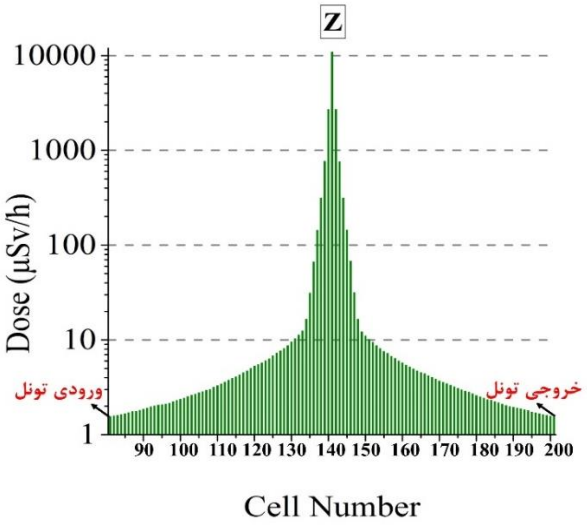
شکل ٦ . تقسیم بندی در راستای Y



شکل ٧ . تقسیم بندی در راستای Z



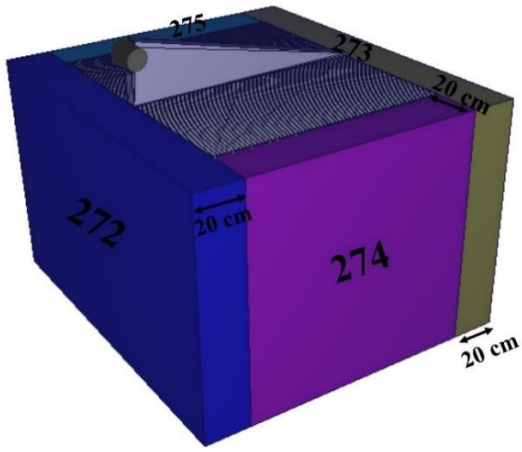
شکل ۸ . تغییرات آهنگ دُز در راستای Y



شکل ۹. تغییرات آهنگ دُز در راستای Z

٦. تقریب ضخامت سرب مورد نیاز برای بدنهٔ تونل

در این قسمت مقدار دُز برجا مانده در بیرون از تونل، در فاصله ۲۰ cm از بدنه تونل بوسیلهٔ کد MCNPX2.6 محاسبه شده است. برای این منظور در اطراف تونل به جز زیر تونل و بالای تونل (چهار طرف تونل) مکعب‌هایی در نظر گرفته شده است و در هر مکعب مقدار دُز نشت کرده از تونل محاسبه شده است. شکل ۱۰ هندسهٔ شبیه سازی شده از مکعب‌های اطراف تونل را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. هندسهٔ شبیه سازی شده از مکعب‌های اطراف تونل

جدول ۱ مقدار دُز بجا گذاشته شده برحسب $\frac{\mu Sv}{h}$ در مکعب-های اطراف تونل را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقدار دُز بجا مانده برحسب $\frac{\mu Sv}{h}$ در مکعب‌های اطراف تونل

مکعب اطراف تونل	مقدار آهنگ دُز($\frac{\mu Sv}{h}$)
پشت لامپ (۲۷۲)	۹/٤۷ × ۱۰$^{-۲}$
جلو لامپ (۲۷۳)	۱/۲۱
ورودی تونل(۲۷٤)	۹/۰۲ × ۱۰$^{-٤}$
خروجی تونل(۲۷۵)	۸/۵۰ × ۱۰$^{-٤}$

۷. نتیجه‌گیری

سامانه‌های بازرسی بوسیلهٔ تابش ایکس که مدل IAP100100 یکی از این سامانه‌ها می‌باشد، نقش مهمی را در مبادی فرودگاهی و مناطق امنیتی ایفاء می‌کنند. با توجه به انرژی و جریان الکترون‌های گسیل شده به سمت آند این سامانه (که به ترتیب ۱٦۰keV و ۰/٦ mA) می‌باشد، درهر ثانیه تعداد ۱۰^{۱۲}× ۱/۹۹ فوتون از سطح آند به سمت تونل بازرسی اشیاء گسیل می‌شود. در مسیر حرکت فوتون‌ها به سمت داخل تونل بازرسی، باید موازی‌سازها و فلزهایی قرار داده شود تا از پراکندگی فوتون‌ها جلوگیری کنند و همچنین کمی از انرژی فوتون‌ها را جذب کنند. فوتون‌ها با عبور از فیلترهایی که در مسیرشان قرار داده شده است، مقداری دُز در داخل و خارج تونل برجا می‌گذارند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهند که دقیقاً در وسط تونل که محل قرارگیری آشکارسازها می‌باشد، مقدار دُز ماکزیمم است و هرچقدر به ورودی یا خروجی تونل نزدیک شویم مقدار دُز کمتر می‌شود. از طرفی هرچقدر از کف تونل به سقف تونل (محل قرارگیری موازی‌سازها) نزدیک شویم،

مقدار دُز افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در تمام نواحی داخل تونل مقدار دُز در حد مجاز است. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد مقدار دُز در خارج از تونل در هر طرف از آن، از مقدار $\frac{\mu Sv}{h}$ ۵ کمتر است در نتیجه ۱mm سرب و ۲ mm آهن برای حفاظ‌گذاری بدنهٔ تونل، کافی است.

۸. مراجع

[۱] ع. عادلی اسکوئی، سیستم تجسس و دستگاه بازرسی اشعهٔ X فرودگاه، کارشناسی ، دانشگاه شهید رجایی، دانشکده فنی مهندسی ، بخش برق ،گروه الکترونیک ، ۷۰ ۱۰ ، ۸٤

[۲] ی. کاسه ساز، م. حسن زاده، آموزش کد "MCNP . چاپ اول . تهران ، ۳-۱ ، ۱۳۹٤.

[3] H. Cember, "Introduction to health physics," Introduction to health physics, 1969.

[4] G. F. Knoll, Radiation detection and measurement: John Security Operation: John Wiley & Sons, 2010.

[5] D. B. Pelowitz, "MCNPXTM user's manual," Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, 2005.

[6] http://rsdco.ir/

[7] http://security.adanisystems.com/

[8] N. E. Shanks and A. L. Bradley, Handbook of Checked Baggage Screening Advanced Airport.

[9] W. Xie, "Simulation of X ray imaging systems for luggage inspection," Virginia Tech, 1995.

Journal of Radiation and Nuclear Technology

JRNT
Journal of Radiation and Nuclear Technology

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 04 / No. 03 / Autumn 2017

X-ray tube design based on current and voltage of tube

Seyyed Morteza Esmaeili[1*], Ruhollah Ghaderi[2]

1. Application Group Beams, School of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Professor, Application Group Beams, School of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Corresponding author's E-mail: seyedmortezaesmaeili91@gmail.com
(Received: 03/07/2007 - Accepted: 31/08/2017)

ABSTRACT

Cargo inspection systems using X-Ray that is widely used in airports and transportation systems are play an important role in supplying the countries security. In this study, the X-Ray production system and its body has been simulated using MCNPX2.6 Monte Carlo code. In X-Ray lamp of this system, the energy of electrons emitted to anode is 160 keV and its current is 6.0 mA. The tungsten anode is located in glass chamber of X-ray lamp with distance of 5.3 from cathode. The considered tunnel's dimensions are 120cm in Z (object path), 100cm in Y (align with X-ray lamp) and 100cm in X. the body of tunnel has 1mm lead and 2mm iron. The dose rate in 1cm in and out of the tunnel (leaked dose) is calculated using MCNPX2.6. The most amount of dose is in center of the tunnel exactly below the X-ray lamp and dose in 4 sides of outer of the tunnel is less than 5 μSv/h. these results show that the 1mm thickness of lead and 2mm thickness of iron is appropriate for tunnel body.

Keywords: *X-ray inspection system, dosimetry at airport gates, MCNPX simulation*