



## برآورد دز رسیده از یک سیستم مین یاب به روش پس پراکندگی نوترون

عفت عصار نوقایی؛ سیدهاشم میری حکیم آباد؛ لاله رفعت متولی

<sup>۱</sup>دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه علوم پایه

<sup>۲</sup>Asar\_ef1388@yahoo.com

### چکیده

سیستم‌های مین یابی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، اما در این مطالعات حفاظت شخص در برابر تابش به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. دزسنجی سیستم‌های مین یابی به دلیل دارا بودن چشمه نوترونی حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش دز رسیده به کاربر در فواصل مختلف کاربر از چشمه نوترونی سیستم با استفاده از مدل فانتوم ریاضی به وسیله شبیه سازی مونت کارلو برآورد شده است. به طور کل اگر چه دز مؤثر با افزایش فاصله روند نزولی داشته اما دز جذبی بعضی عضوها از قبیل شش، کلیه و معده تا فاصله ۱۰۰-۶۰ cm افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به دز مجاز سالانه مقدار روزی که فرد در یک سال با فرض ۶ ساعت در روز می‌تواند کار کند، محاسبه شده است. کلمات کلیدی:

سیستم‌های مین یابی، دز جذبی، دز مؤثر، مونت کارلو

### ***Dose estimation of a backscattering landmine-detection facility***

***Effat Assar; Hashem Miri Hakimabad; Lalle Rafat Motavalli***

*1 Physics Department, School of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad*

### **Abstract**

*landmine-detection systems have been studied widely, but the protection against radiation in these studies has rarely been studied. Systems dosimetry due to the neutron source is important. In this paper, the dose rate resived by an operator of a hand held instrument for landmine detection is analyzed using a computational phantom model with Monte Carlo simulation for different source-to-operator distances. although the effective dose decreases as a function of source-to-operator distance, the absorbed to some organs e.g. the lungs, kidney and stomach, increases with source-to-operator distances, up to 60-100 cm. Also according to the annual dose limits the number of days with assuming 6 hours in a day that the person can work in a year, is calculated.*

**Key Words:** *landmine-detection systems, Absorbed Dose, Effective Dose, Monte Carlo*  
**PACS No...**

## مقدمه

نوترون‌های حرارتی  $BF_3$  و سه پوشش پلی اتیلن، گرافیت و اسید بوریک می‌باشد. در این سامانه از طریق روش پس پراکندگی نوترون، مین‌های زمینی شناسایی می‌شود. قدرت چشمه بایستی به اندازه‌ای باشد که سیستم مین‌یاب قادر به شناسایی مین‌های زمینی باشد ( $10^7 - 10^9$  n/s). فعالیت چشمه Am-Be برابر با  $10^7$  نوترون در ثانیه می‌باشد. چشمه امرسیوم-بلریوم نیز گامای  $4/438$  MeV گسیل می‌نماید که تعداد فوتون گامای گسیل شده به ازای یک نوترون حدود  $0/66$  اندازه گیری شده است.

سیستم مین‌یاب روی سطح خاک قرار می‌گیرد. نوع و کسر وزنی عناصر تشکیل دهنده این خاک در جدول ۱ آورده شده است. [۴]

جدول ۱: کسر وزنی عناصر تشکیل دهنده خاک (تجربی)

کسر وزنی	عنصر
۰/۰۳۷۶۰	هیدروژن
۰/۰۵۹۳۶	کربن
۰/۴۴۱۴۴	اکسیژن
۰/۳۴۵۶۰	سیلیکون
۰/۰۰۹۴۰	آلمینیوم
۰/۰۲۳۸۱	آهن
۰/۰۴۴۹۴	کلسیم
۰/۰۰۰۸۳	پتاسیم
۰/۰۰۰۷۵	سدیم
۰/۰۳۶۲۷	منیزیم

در حال حاضر ۹۰ میلیون مین خنثی نشده در بیش از ۸۴ کشور جهان مدفون هستند. اکثر مین‌های ضد نفر که از جنگ جهانی دوم به بعد مورد استفاده قرار گرفته اند از نوع مین‌های پلاستیکی بوده که اولاً کوچک هستند (کمتر از ۳۰۰ گرم) و ثانیاً در ساختار آنها مواد فلزی بسیار کمی به کار رفته است بطوریکه با روش‌های معمول فلزیابی کشف آنها دشوار می‌باشد [۱]. به دلیل اهمیت موضوع در سال ۱۹۹۹ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)<sup>۱</sup> استفاده از تکنولوژی پیشرفته برای شناسایی مین‌های مدفون را به طور رسمی در دستور کار خود قرار داد. این تکنولوژی‌ها بر مبنای روش‌های هسته‌ای می‌باشد، در نتیجه امنیت کاربر سیستم مین‌یاب از لحاظ قرار گرفتن در معرض پرتو نکته حائز اهمیتی است. این امر سبب می‌شود محاسبات دزسنجی سیستم‌های مین‌یابی نقش بسزایی داشته باشد [۲]، به عبارتی یکی از کاربردهای برآورد دزمؤثر طراحی و بهینه سازی حفاظت در مقابل تابش می‌باشد.

در این پژوهش دز جذبی و دزمؤثر سیستم مین‌یاب در فواصل مختلف کاربر از سیستم مین‌یاب با استفاده از شبیه‌سازی کدمونت-کارلو و مدل فانتوم ریاضی، محاسبه شده است.

## فانتوم و سامانه شبیه‌سازی شده

فانتوم‌های ریاضی به طور گسترده در برآورد دز چشمه‌های رادیواکتیو در پرتوگیری‌های شغلی، پزشکی و محیط زیست کاربرد دارد. فانتوم‌های ریاضی ORNL<sup>۲</sup> برای یک فرد مرجع می‌باشد. در این پژوهش فانتوم ORNL بزرگسال [۳] که شامل سه ماده بافت نرم ( $1/04 \text{ gcm}^{-3}$ )، بافت سخت ( $1/4 \text{ gcm}^{-3}$ ) و شش ( $0/296 \text{ gcm}^{-3}$ ) می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است.

سیستم مین‌یابی که توسط دکتر میری و همکاران در دانشگاه فردوسی مشهد طراحی شده، شبیه‌سازی شده است. این سیستم شامل چشمه نوترونی  $^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$ ، آشکارساز حساس به

## محاسبات دز جذبی بافت و دزمؤثر

محاسبات دزسنجی در این تحقیق با استفاده از کدمونت کارلو MCNP انجام شده است. به دلیل محدودیت کدهای MCNP که همزمان نمی‌توان دو چشمه‌ی با تابش متفاوت را تعریف نمود، دو فایل ورودی مجزا جهت محاسبه دز جذبی نوشته می‌شود: ۱- فایل گامای گسیلی از چشمه نوترون که Mode p تعریف می‌شود. یعنی فوتون‌های گامای گسیل شده از چشمه ترابرد می‌شود. ۲- فایل ورودی نوترون و Mode n p تعریف می‌شود، یعنی نوترون و فوتون‌های گامای ثانویه ترابرد می‌شود.

<sup>۱</sup> International Atomic Energy Agency<sup>۲</sup> Oak Ridge National Laboratory

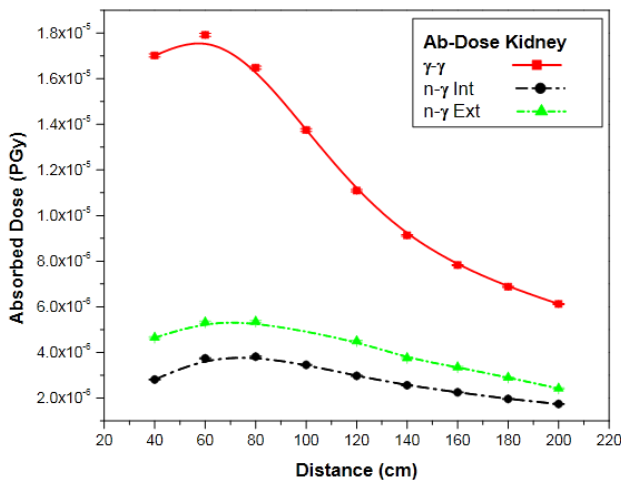
ثانویه تولید شده در داخل بدن، برای هر بافت یا عضو می‌باشد. سهم فوتون‌های ثانویه داخل و خارج بدن در دز جذبی توسط کارت PWT از یکدیگر تفکیک می‌شوند. نهایتاً دز مؤثر نوترون توسط رابطه زیر محاسبه شده است.

$$E = \sum_T w_T H_T = \bar{w}_R \sum_T w_T D_{T,R} \quad (4)$$

در محاسبات دزسنجی دز مؤثر با دز مجازی که فرد سالانه می‌تواند دریافت کند مقایسه می‌شود. در این مقاله از ضرایب وزنی پرتو و ضرایب وزنی بافت و میزان دز مجاز سالانه پیشنهاد شده در ICRP 103 (۲۰۰۷) [۵] استفاده شده است.

### نتایج و بحث

دز جذبی اعضا و بافت‌های بدن در فاصله‌های مختلف فانتوم از چشمه نوترون بر حسب پیکوگری محاسبه شده است. به عنوان نمونه نمودارهای دز جذبی گامای چشمه، گاماهاى ثانویه داخل و خارج بدن مربوط به کلیه، شکل ۱ و پوست، شکل ۲ آورده شده است. در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود فوتون‌های گامای چشمه سهم زیادی در دز رسیده به بدن دارند، بنابراین در محاسبات دزسنجی چشمه نوترونی مین‌یاب نمی‌توان فوتون‌های ساطع شده از چشمه را نادیده گرفت.



شکل ۱: دز جذبی گامای چشمه، گاماهاى ثانویه داخل بدن، و گاماهاى ثانویه خارج بدن در کلیه بر حسب فاصله کاربر از سیستم مین‌یاب.

از تالی F6 جهت محاسبه دز جذبی در سلول با تقریب کرما استفاده شده است، و تالی F4 به همراه دو کارت DE4 و DF4 برای محاسبه دز جذبی در مغز استخوان به کار برده شده است. پرتوهای مختلف اثرات متفاوتی در بافت بر جای می‌گذارد، بنابراین به وسیله ضرایب وزنی پرتو ( $w_R$ ) اثرات پرتو در دز جذبی لحاظ می‌شود، تا دز معادل ( $H_T$ ) بدست آید. همچنین آسیب‌پذیری بافت‌های متفاوت در بدن با هم اختلاف دارد. در نتیجه اثر جنس بافت‌های مختلف توسط ضرایب وزنی بافت ( $w_T$ ) در دز جذبی در نظر گرفته شده و نتیجتاً دز مؤثر ( $E$ ) با توجه به رابطه زیر بدست می‌آید.

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (1)$$

که  $w_T$  ضریب وزنی بافت،  $w_R$  ضریب وزنی پرتو،  $H_T$  دز معادل، و  $D_{T,R}$  دز جذبی متوسط در یک بافت یا عضو می‌باشد.

برای محاسبه دز معادل ضرایب وزنی پرتو باید مشخص گردد.  $w_R$  فوتون‌ها در همه‌ی انرژی‌ها برابر با مقدار ۱ می‌باشد، بنابراین دز معادل فوتون برابر با دز جذبی آن می‌باشد. اما نوترون‌ها با انرژی‌های مختلف مقادیر  $w_R$  متفاوتی دارند؛  $w_R$  نوترون از ۱ تا ۲۰ تغییر می‌نماید. این ضرایب بر اساس انرژی فرودی به بدن بدست آمده‌اند. در این تحقیق با استفاده از روش ضریب وزنی متوسط تابش نوترون ( $\bar{w}_R$ )، دز معادل نوترون محاسبه می‌شود، بدین صورت که مکعبی در اطراف فانتوم شبیه سازی شده و  $\bar{w}_R$  برای طیف انرژی نوترون فرودی به این مکعب بدست می‌آید.  $\bar{w}_R$  از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\bar{w}_R = \frac{\sum_R w_R f_i}{\sum_i f_i} \quad (2)$$

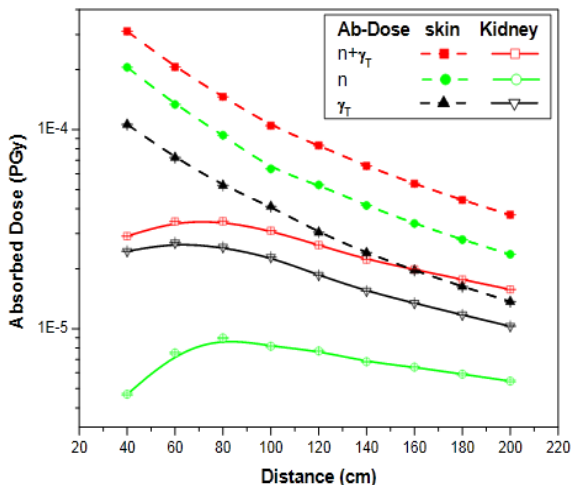
که  $f_i$  فراوانی نوترون‌ها در بازه انرژی  $i$ ام می‌باشد. توسط تالی n و کارت‌های F1، DE1، C1، DF1 و کارت‌های F11، E11 و C11 مخرج کسر رابطه (۲) توسط تالی n محاسبه می‌شود. بنابراین دز معادل عبارت است از:

$$H_T = \bar{w}_R D_{T,R} \quad (3)$$

که  $\bar{w}_R$  ضریب تابش متوسط برلی طیف انرژی نوترون فرودی به بدن است و  $D_{T,R}$  متوسط دز جذبی نوترون و دز جذبی فوتون‌های

<sup>†</sup>International Commission on Radiological Protection

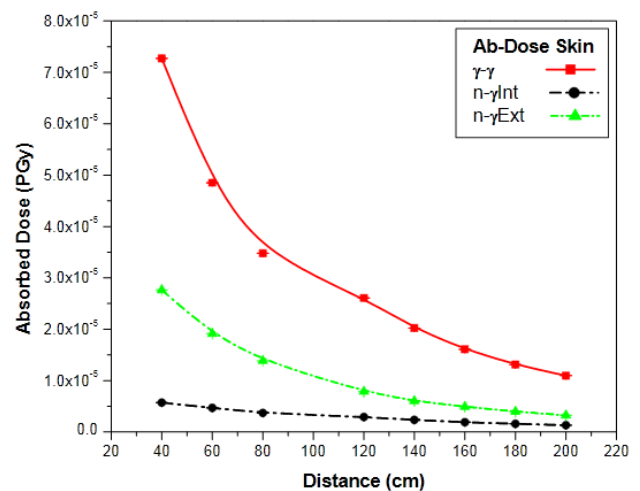
است. دزموثر نوترون به دلیل ضریب وزنی پرتو نوترون بیشتر از دزموثر فوتون‌های گاما بوده، همچنین همانطور که ملاحظه می‌شود با وجود اینکه دز جذب گاماها در داخل بدن کمتر از دز جذب گاماها در خارج بدن و گامای چشمه بوده اما دزموثرش بیشتر می‌باشد. دلیل این است دزموثر گاماها در داخل بدن نوترون ضربه می‌شود در حالی که این ضریب برای فوتون‌های گاما در خارج بدن و فوتون‌های گامای چشمه ۱ می‌باشد. در نهایت با توجه به دز مجاز سالانه تعداد روزی که فرد در موقعیت‌های پرتوگیری شغلی و عمومی در یک سال با فرض ۶ ساعت در روز می‌تواند کار کند، محاسبه شده است شکل ۵. فاصله شخص تا مین روب معمولاً ۱۰۰ cm است، در فواصل بیش از ۱۰۰ cm کاربر به راحتی قادر نیست سیستم را در دست نگه دارد و روی خاک حرکت دهد. به همین خاطر ترجیحاً تعداد روزها در این فاصله مدنظر بوده است. میزان دز مجاز پیشنهاد شده توسط ICRP 103 در پرتوگیری شغلی سالانه ۲۰ mSv و در پرتوگیری عمومی ۱ mSv می‌باشد. وضعیت سلامتی جسمی افرادی که در موقعیت پرتوگیری شغلی قرار دارند مرتباً کنترل می‌شود، در نتیجه دز مجاز پرتوگیری شغلی سالانه بیشتر پرتوگیری عمومی است.



شکل ۳: دز جذب نوترون، گامای کل (مجموع فوتون‌های گاما و نوترون و چشمه) و مجموع نوترون و گامای کل در اعضای کلیه و پوست

تعداد روزهایی که یک فرد در موقعیت شغلی در یک سال با فرض ۶ ساعت در روز در فاصله ۱۰۰ cm از مین‌یاب می‌تواند

دز جذب فوتون‌های مجموع گامای چشمه و نوترون، نوترون چشمه و دز جذب کل در اعضا و بافت‌های بدن نیز محاسبه شده است. به عنوان مثال نمودار مربوط به کلیه و پوست شکل ۳ آورده شده است. در بعضی اعضا از قبیل شش، کلیه، معده دز جذب ابتدا تا فاصله ۱۰۰-۶۰ cm افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. در دیگر اعضا از قبیل پوست، دز جذب با افزایش فاصله روند نزولی داشته است. دز جذب به طور کل در اعضا و بافت‌های سطحی از قبیل پوست، سلول‌های جنسی بیشتر از اعضا و بافت‌های داخلی می‌باشد، نیز دز جذب نوترون بیشتر از دز جذب فوتون‌های گاما در بافت‌های سطحی مانند پوست می‌باشد، اما در کلیه که یک عضو داخلی است بر عکس بوده، یعنی سهم دز جذب فوتون‌های گاما بیشتر از نوترون بوده است شکل ۳. دلیل این امر این است که نوترون در برخورد به بدن کند می‌شود، به عبارتی بدن یک پوشش نوترون محسوب می‌شود، در نتیجه سهم دز جذب مربوط به نوترون در اعضا یا بافت‌های داخلی کمتر از سهم دز جذب فوتون‌های گاما می‌باشد.



شکل ۲: دز جذب گامای چشمه و گاماها در داخل و خارج بدن در پوست بر حسب فاصله کاربر از مین‌یاب.

دزموثر فوتون‌های گاما و نوترون تولید شده در داخل بدن، گاماها در خارج بدن، فوتون‌های گامای چشمه و نوترون به طور جداگانه و دزموثر کل بر حسب میکروسیورت بر ساعت در فاصله‌های مختلف کاربر از مین‌یاب محاسبه شده است شکل ۴. دزموثر با افزایش فاصله کاربر از چشمه نوترونی کاهش یافته

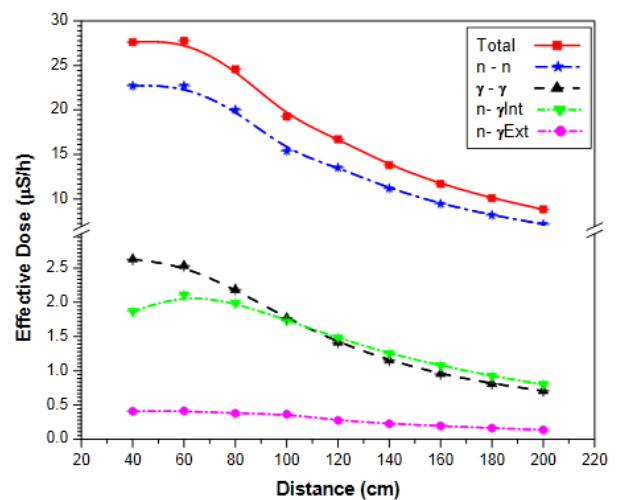
### نتیجه گیری

به دلیل استفاده از چشمه نوترونی در سیستم های مین یابی برآورد دز رسیده به بدن حائز اهمیت است. دزمؤثر با افزایش فاصله کاربر از مین یاب کاهش یافته ولی بهترین فاصله ای که شخص می تواند دستگاه را حمل کند و مین یابی نماید معمولاً ۱۰۰ cm می باشد. در این فاصله تعداد روزهایی که یک شخص در موقعیت شغلی در طول یک سال مجاز است مین یابی نماید، با فرض اینکه ۶ ساعت در روز کار کند ۱۷۲/۹۱ روز بدست آمده است. این تعداد روز با این ساعت کاری برای مین یابی بهینه نبوده، بنابراین پلیستی پوشش حفاظتی مؤثرتری برای این سیستم طراحی گردد.

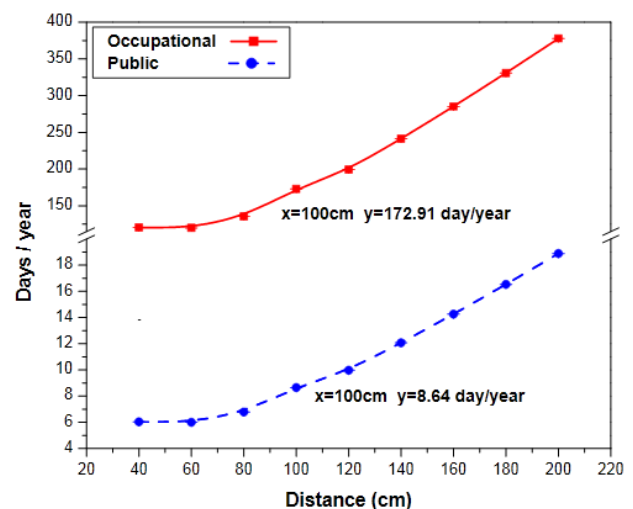
### مرجع ها:

- [۱] Brooks F D, Drosb M, Bufflera A, M.S. Allie (2004) "Detection of anti-personnel landmines by neutron scattering and attenuation". Applied Radiation and Isotopes 61 27-34
- [۲] Akkurt H, Wagner J, Eckerman K, (2007), "Hand held instruments for landmine detection : View from radiation dosimetry", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 579 (2007) 391-394
- [۳] Miri Hakimabad H and Rafat Motavalli L (2007)
- "Evaluation of Specific absorbed fractions from Internal photon sources in ORNL analytical adult phantom", Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol. 128, No. 4, pp. 427-431
- [۴] .Rezaei OCHBELAGHI D, Miri HAKIMABAD H, Izadi R (2007) " Investigations on landmine detection by BF3 detector", Nuclear Science and Techniques, Vol.18, No.4 (2007) 237-241
- [۵] ICRP, 2007d. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).

مین یابی نماید، ۱۷۲/۹۱ روز بدست آمده است. این نشان می دهد دز رسیده از این سیستم بالا بوده بنابراین بایستی این سیستم از لحاظ حفاظت پرتو تقویت شود؛ می توان میزان پوشش حفاظتی نوترون را افزایش داده یا پوشش نوترونی مناسبتری طراحی نمود، همچنین می توان حفاظ گامایی برای سیستم قرار داد؛ بدین وسیله حفاظت فرد در مقابل پرتو افزایش یافته و در نتیجه تعداد روز کاری در یک سال، افزایش می یابد. با توجه به میزان دزمؤثر نوترون، پوشش حفاظتی نوترون نسبت به حفاظ گاما از اهمیت بالاتری برخوردار است.



شکل ۴: دزمؤثر کل، نوترون، گامای چشمه، گامای ثانویه داخلی و خارجی بدن بر حسب فاصله کاربر از مین یاب



شکل ۵: تعداد روزهایی که فرد در طول یک سال با فرض ۶ ساعت کار در روز مجاز به انجام کار بر حسب فاصله اش با دستگاه مین یاب می باشد.