شبیه سازی و ارزیابی آلودگی های داخلی حوادث پرتویی به کمک فانتوم BOMAB و کد MCNP

ع. کمالی اصل[1*]، ح.پوربیگی[2]، ش. اخلاقپور[3]، م.شهریاری[4]

1- استادیار گروه پرتو پزشکی دانشکده مهندسی هسته ای- دانشگاه شهید بهشتی

2- دانشجوی دکترای پرتوپزشکی- دانشکده مهندسی هسته ای- دانشگاه شهید بهشتی

3- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقاتی انستیتو نوین

4- دانشیار دانشکده مهندسی هسته ای- دانشگاه شهید بهشتی

محل انجام : مرکز تحقیقاتی انستیتو پرتوپزشکی نوین

چکیده:

مقدمه: *یکی از سیستمهای مورد استفاده در تعیین آلودگی های رادیو اکتیو داخل بدن ، سیستمهای شمارنده کل بدن (WBC) میباشد که قابلیت اندازه گیری آلودگی را بصورت مستقیم داراست. با توجه به شرایط فیزیکی این سیستم و محدودیت داشتن این نوع سیستم در مناطق مختلف ، داشتن یک راهکار مناسب برای ارزیابی آلودگیهای رادیواکتیو در داخل بدن انسان در رویارویی با حوادث پرتویی در مقیاس بزرگ به عنوان یک نیاز مطرح میباشد. با توجه به نوع عملکرد سیستمهای WBC ها و مقایسه مشابهت های آنها با سیستمهای پزشکی هسته ای ، بهره گیری از این نوع سیستمها میتوان، یک تخمین و دسته بندی اولیه ای از آلودگی رادیواکتیو در داخل بدن ارائه نمود.*

مواد و روشها: *برای تحقیق موجود ، مراحل کار انجام شده عبارتند ازشبیه سازی سیستم دوربین گاما و ارزیابی آن با نتایج تجربی، شبیه سازی فانتوم BOMAB، ساخت فانتوم BOMAB ودر انتها به پیاده سازی ایجاد شرایط مختلف حوادث پرتویی و ارزیابی MDA برای چشمه های مختلف پرداخته ایم.*

نتیجه و بحث: *مشاهده شد در بازه 50-450 keV نتایج شبیه سازی با نتایج کار تجربی بیشترین همخوانی را دارد و اختلاف مشاهده شده با توجه به شرایط آزمایش و وجود برخی منابع پراکنده ساز سهم زمینه قابل توجیه میباشد.*

مقادیر کمی برخی از شرایط پرتویی برای فانتوم حاوی سزیوم و ید ارایه شده است. همچنین پاسخهای اکتیویته های مخلوط با درصدهای مختلف در ارگانهای مختلف بدست آمده است.

در مجموع محاسبات نشان داد دوربین گاما میتواند یک ابزار مناسب برای ارزیابی آلودگی داخلی افراد در حوادث پرتویی باشد که بهتر است از دوربین گامای بدون کولیماتور استفاده شود . البته وجود تابش زمینه پایین در صحت نتایج و تحلیل آنها بسیار موثر است تعیین بازه انرژی و فاصله سطح آشکارساز تا بدن با توجه به فانتوم و شرایط آزمایشگاهی متغیر است.

واژه های کلیدی: شبیه سازی ، کمترین حد آشکارسازی (MDA) ، دوربین گاما ، محیط پراکنده ساز، MCNP

مقدمه:

یکی از سیستمهای مورد استفاده در تعیین آلودگی های رادیو اکتیو داخل بدن ، سیستمهای شمارنده کل بدن (WBC) میباشد که قابلیت اندازه گیری آلودگی را بصورت مستقیم داراست.[1] محدودیت داشتن این نوع سیستم در مناطق مختلف ، داشتن یک راهکار مناسب برای ارزیابی آلودگیهای رادیواکتیو در داخل بدن

انسان در رویارویی با حوادث پرتویی در مقیاس بزرگ به عنوان یک نیاز مطرح میباشد. با توجه به نوع عملکرد سیستمهای WBC ها و مقایسه مشابهت های آنها با سیستمهای پزشکی هسته ای ، بهره گیری از این نوع سیستمها میتواند بسیار مفید باشد[2]. در واقع میتوان به کمک این سیستم، یک تخمین و دسته بندی اولیه ای از آلودگی رادیواکتیو در داخل بدن ارائه نمود.[1]

با توجه به دامنه انرژی گاماهای ساطع شده از رادیوایزوتوپهای مورد استفاده در پزشکی هسته ای که معمولاً زیر 511keV قرار دارند ، آشکارسازی ایزوتوپهایی مانند سزیم-137 با انرژی 662 keV و کبالت-60 با انرژی میانگین1250 keV ، با مشکلاتی از جمله کاهش حساسیت آشکارسازی ، مواجه خواهد بود که با تعیین دقیق پارامترهای شمارش و تصویر برداری، می توان حساسیت آشکارسازی را در ازای کاهش تفکیک مکانی به اندازه ای بالا برد که قادر به تخمین آلودگی های بالا باشیم ولیکن این موضوع در کنار داشتن اطلاعاتی پیرامون فاکتور کمترین حد آشکارسازی (MDA) که برای هر رادیوایزوتوپ ، مقدار مشخصی می باشد امکانپذیر میباشد.[3]

با توجه به اینکه ماهیت کار در پزشکی هسته ای بر اساس نشر پرتوهای گاما در یک محیط و جمع آوری آنها با سیستم تصویربرداری کامپیوتری به کمک نشرتک فوتونی(SPECT) می باشد کدهایی که بتواند کلیه برهمکنشهای فوتونی را پوشش دهد میتواند در این راستا مفید باشند. در کار حاضر با توجه به قابلیتهای کد شبیه سازی مونت کارلو (MCNP)، سیستم دوربین گاما را با توجه به کاربرد شمارش تمام بدن (WBC) مدل و شبیه سازی نموده ایم.[4] هدف از این کار استخراج اطلاعات پرتویی و میزان جذب قابل رویت در عضوهای مختلف ناشی از پرتوگیریهای محیطی و داشتن نرم افزاری جامع برای ارزیابی MDA و رفتار دزی بیمار[13] برای ایزوتوپهای مختلف در حوادث رادیولوژیکی میباشد. درکارحاضر برای ارزیابی MDA پس از شبیه سازی سیستم دوربین گاما ، فانتوم BOMAB مطابق با استاندارد ICRP[3] شبیه سازی و ساخته شده و به اندازه گیری نتایج تجربی و اطلاعات شبیه سازی پرداخته ایم که در بخش نتایج آورده شده است.

مواد و روشهای بکار گرفته شده:

برای پیاده سازی تحقیق موجود ، مراحل کار انجام شده عبارتند از شبیه سازی سیستم دوربین گاما و ارزیابی آن با نتایج تجربی، شبیه سازی فانتوم BOMAB، ساخت فانتوم BOMAB وایجاد شرایط مختلف حوادث پرتویی و ارزیابی MDA برای چشمه های مختلف .

با توجه به قابلیت کد مونت کارلو (MCNP) برای شبیه سازی سیستمهای هسته ای[5] ، سیستم دوربین گاما را مدل نموده و در این کد، هندسه سلولهای آشکارسازی[6]، مواد این سلولها، دانسیته و سطح سلولی لحاظ شده است. باتوجه به نوع مطالعه که میتواند در دو مد دزیمتریک[3] و تصویربرداری باشد آشکارساز دوربین گاما به دو فرم کریستال یک تکه و بصورت پیکسلی در شبیه سازی لحاظ شده[6] تا بتوان هر یک را بصورت مجزا

مورد ارزیابی قرار داد. قدرت تفکیک مکانی ذاتی سیستم آشکارسازی دوربین گاما با توجه به سیستم موجود 4/2mm در انرژی 140keV در نظر گرفته شده است[4]. جنس آشکارساز دوربین گاما کریستال سوسوزن NaI(Tl) می باشد که دارای ضخامت 0/9525cm می باشد. در حالت اول شبیه سازی،آرایه 100×100 پیکسلی با ابعاد 4/2mm×4/2mm برای آشکار سازها در نظر گرفته شده است

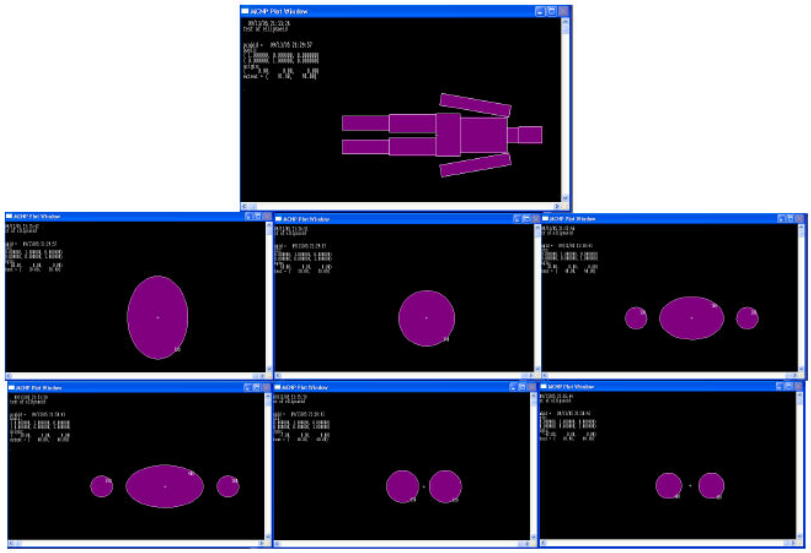
در تحقیق حاضر از دوربین گامای شرکت زیمنس مدل OPEN ORBITER[7] که با کار انجام شده توسط سایر محققین بیشترین همخوانی رادارد با مشخصات فنی زیر (جدول 1) برای شبیه سازی و انجام اندازه گیری استفاده شده است.

جدول 1: مشخصات فنی سیستم مورد شبیه سازی توسط کد مونت کارلو

	SPECIFICATION
Imaging Mode	Planar-SPECT-WholeBody
Intrinsic Spatial Resolution	FWHM ~ 4.2mm
System Sensitivity	≥351 cpm/μCi(±10%)
Detector Field of View	38.7cm (15.25 inch)
Crystal Size	44.5 cm (17.5inch)
Thickness	0.95 cm (0.37 inch)
Bed Thickness	13cm polyester

دوربینی که با آن اندازه گیریها صورت گرفته است امکان اتصال به سیستم آنالیزکننده چندکاناله سیگنال(MCA) برای اندازه گیری بازه انرژی ^{137}Cs را دارد. همچنین در تمام اندازه گیریها از فانتوم BOMAB پر شده با آب بهمراه ^{137}Cs، ^{131}I و یا پتاسیم، استفاده شده است.

پس از شبیه سازی دوربین گاما[8و9]، برای بررسی اثر شمارش تمام بدن، فانتوم BOMAB مطابق با استاندارد ICRP بصورت زیر شبیه سازی و ساخته شده است.(شکل 1)



شکل 1: نمای پلانار از شبیه سازی فانتوم BOMAB با MCNP به همراه سطح مقطعهای مختلف فانتوم مذکور

در اندازه گیریها ، فانتوم بر روی یک سطح صاف قرار داده میشود بطوریکه سطح فوقانی فانتوم در سه فاصلهٔ مختلف 35,20,5 سانتیمتری که نشان دهندهٔ فاصله فانتوم تا آشکارساز می باشد ، درنظر گرفته میشود. با توجه به اینکه حجم بدن در نواحی مختلف متفاوت میباشد میزان شدت پالس بدست آمده نیز متفاوت میباشد از اینرو در فانتوم BOMAB در نظر گرفته شده 5 ناحیه مختلف سر وگردن، قفسه سینه، لگن، ران و ساق پا بصورت (Spot View) مورد اندازه گیری قرار میگیرند. برای انجام اندازه گیریها، دوربین گاما بدون کولیماتور در بازه انرژی (450–50) کیلو الکترون ولت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

با توجه به ناحیه بندی فانتوم به 5 ناحیه اصلی ، در ادامه با توجه به میزان اکتیویته های مختلف شدت سیگنال بدست آمده از این نواحی بصورت مستقل مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین اثر مجموع اکتیویته ها در تمامی 5 ناحیه برای اکتیویته های مختلف با فراوانیهای متفاوت از چشمه های سزیم و ید که دو عنصر مهم در اکتیویته های محیطی میباشند مورد توجه قرار گرفته است.

در بیان نتایج از کمیت حساسیت و واحد CPS/Bq برای چشمه ها استفاده شده است.[5] در تمامی شبیه سازیها سعی شده با انتخاب تعداد مناسب ذرات مورد شبیه سازی ، خطای آماری نتایج کمتر از 5٪ قرار بگیرد.[8]

پس از ارزیابی نتایج شبیه سازی با اطلاعات تجربی و صحت نتایج شبیه سازی ، به بررسی سناریوهای مختلف اکتیویته پرداخته ایم . برای این منظور با در نظر گرفتن سهم اکتیویته برای ترکیبات مختلف ید و سزیم با نسبتهای 10٪–90٪ ، 50٪–50٪ و 90٪–10٪ به بررسی در ارگانهای مختلف پرداخته ایم.

نتایج :

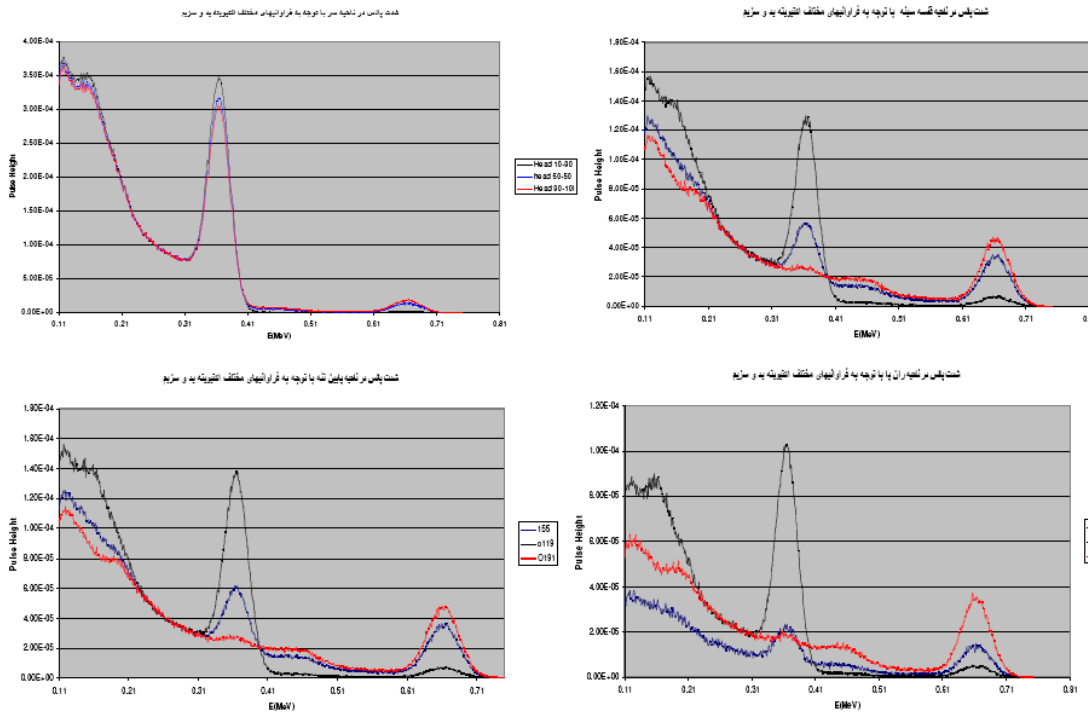
مقادیر عددی نتایج شبیه سازی و نتایج تجربی برای چشمه سزیم 137 در جدول 2 نشان داده شده است.

جدول 2: مقایسه نتایج شبیه سازی به روش مونت کارلو و داده های تجربی برای سزیم 137

بازه انرژی	چشمه	Collimator	نتایج کار تجربی	نتایج شبیه سازی
بین 450–50	Cs-137	No	2/1e-2	2/04e-2
بین 450–50	I-131	No	4/70e-2	4/31e-2

پس از ارزیابی نتایج شبیه سازی سزیم، به ارزیابی نتایج شبیه سازی برای چشمه I-131 با انرژی 365 keV پرداخته ایم. ید دارای 14 انرژی مختلف بوده که بیشترین فراوانی آن در انرژی 364/48 keV با فراوانی 81٪ میباشد. در پیاده سازی شرایط مختلف سعی شده تا تمامی انرژیهای ید در نظر گرفته شود. در بدست آوردن نتایج ارزیابی ید، همان شرایط در نظر گرفته شده برای ارزیابی سزیم در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده از کد شبیه سازی برای چشمه ید در جدول 2 آورده شده است. نتایج اعلام شده مجموع شمارش برای کانالهای 50 تا 450keV در نتایج جدول ذکر شده است. .با توجه به نتایج بدست آمده برای ارزیابی شبیه‌سازی و اعتبار نتایج بدست آمده حال به انجام اندازه‌گیری با توجه به کد شبیه سازی میپردازیم.

در شکل 3 نتایج بدست آمده از بررسی انجام شده بر روی فانتوم BOMAB برای نواحی 5 گانه فانتوم نشان داده شده است. در این بررسی میزان اکتیویته سزیم و میزان اکتیویته ید متغیر میباشد. در ادامه برای 3 مد در نظر گرفته شده برای اکتیویته سزیم و ید یعنی سزیم 90٪–ید 10٪ ، سزیم 50٪– ید 50٪ و سزیم 10٪ – ید 90٪ ، به بررسی شدت سیگنال در نواحی 5 گانه برای اکتیویته های مختلف فوق در هر یک از نواحی بصورت مجزا پرداخته ایم. در منحنیها به ترتیب از رنگهای قرمز ، آبی و مشکی برای نمایش اکتیویته های فوق استفاده شده است.در شکل 3 ، شدت سیگنال برای 3 مد اکتیویته در نظر گرفته شده در ناحیه سر نشان داده شده است.



شکل 3: طیف بدست آمده برای فانتوم BOMAB

(فراوانی اکتیویته– مشکی I=90% & Cs=10% ، آبی I=50% & Cs=50% ، قرمز I=10% & Cs=90%)

بالا چپ – سر ، بالا راست– قفسه سینه ، وسط چپ– لگن ، وسط راست – ران

حساسیت و زمینه وMDA در زمان 1 دقیقه اندازه گیری شده است. دوربین گاما در ارتفاع 35 سانتیمتر بالای فانتوم بالغ کل بدن(سزیم–137) و فانتوم تیروئید(ید–131) اندازه گیری شده است .

جدول 4: مقادیر MDA برای مواد رادیواکتیو سزیوم و ید اندازه گیری شده با کولیماتور وبدون آن

Energy range(keV)	collimator	Sensitivity Cs-137 (cps/Bq)	Sensitivity I-131 in thyroid	Back ground Counter [cps]	MDA Cs-137 (Bq)	MDA I-131 (Bq)
50–450	No	2/1 E– 02	4/7 E–02	3200	1000	450

بحث و نتیجه گیری:

همانطورکه مشاهده شد در بازه 50-450 keV نتایج شبیه سازی با نتایج کار تجربی بیشترین همخوانی را دارد و اختلاف مشاهده شده نیز با توجه به شرایط آزمایش همانند وجود زمین و یا وجود برخی منابع پراکنده ساز در داخل تخت همانند فلزات و... سهم زمینه قابل توجیه میباشد.

برای فانتوم حاوی ^{137}Cs ، هنگامیکه فاصله آشکارساز از سطح فانتوم مقدار ثابتی است، میزان حساسیت با افزایش طول، پهنا و قطر فانتوم کاهش پیدا می کند. زمینه با افزایش سطح فانتوم از آشکارساز افزایش می یابد و از طرفی مقدار زمینه با افزایش طول ، عرض و قطر فانتوم کاهش می یابد.

جهت دوری از تغییرات عمده در مقادیر زمینه و حساسیت ناشی از ابعاد بدن که به شدت در دقت اندازه گیریها تاثیر گذار است، دوربین بایستی بدون کولیماتور استفاده شود و دامنه انرژی پایین بایستی انتخاب گردد

هنگامیکه اندازه گیری نواحی پایین آلودگی مد نظر می باشد فاصله کوتاهتر آشکارساز از سطح بدن توصیه می شود و از طرفی هنگامیکه اندازه گیری مخلوطی از گسیلنده های گاما مانند ید-131 و سزیم – 137 مورد نظر می باشد برنامه کالیبراسیون جامعتری نیاز است .

در مجموع میتوان گفت دوربین گاما میتواند یک ابزار مناسب برای ارزیابی آلودگی داخلی افراد در حوادث پرتویی باشد که بهتر است از دوربین گامای بدون کولیماتور استفاده شود . البته وجود تابش زمینه پایین در صحت نتایج و تحلیل آنها بسیار موثر است تعیین بازه انرژی و فاصله سطح آشکارساز تا بدن با توجه به فانتوم و شرایط آزمایشگاهی متغیر است. با توجه به حساسیت معمول دوربینهای گامای موجود در سیستمهای پزشکی هسته ای که نوعاً از مرتبه 10^{-4} می باشد بهتر آنست که برای بررسیهای تعیین آلودگی و دسته بندی آلودگی داخلی افراد ، از دوربینهایی با ضخامت کریستال بالاتر و حساسیت بیشتر همانند BGO استفاده نمود.

Reference:

1- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADILOGICAL UNITS AND EASUREMENTS ,"Direct Measurements of body contents of radionuclides", *2003* .
2- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Direct Methods for Measuring radionuclides in the Human body,*IAEA, Vienna,1996 Safety Series No.114.*
3- Griffith R.V. "The role of intercomparisons and inter calibration in the improvement of internal dose assessment" *Radiat. Protec. Dosi. , Vol.89, pp:163-172(2000)*
4- Ljungberg M and Strand S E. A Monte-Carlo program for the simulation of scintillation camera characteristics *Comp. Meth. Prog. Biomed. 29 257-72(1989)*
5- Rogers D W O. More realistic Monte Carlo calculations of photon detector response functions *Nucl. Instrum. Methods 199 531-48(1982)*
6- Saito K and Moriuchi S, Monte Carlo calculation of NaI(Tl) detector response functions for low-energy gamma rays *Nucl. Instrum. Methods226 449-54 (1984)*
7- Technical Data sheet of SIEMENS – ORBITER. (1995)
8- E. Wallstorm et al, 'The gamma camera as an emergency Whole-body counter for contamination persons.'
9- Beck J W, Jaszczak R J, Coleman R E, Starmer C F and Nolte L W. Analysis of SPECT including scatter and attenuation using sophisticated Monte Carlo modelling methods *IEEE Trans. Nucl. Science NS-29 506-11 (1982)*