



تعیین بازه‌ی انرژی بهینه در تصویربرداری اسپکت با تالیوم-۲۰۱ و بررسی تأثیر اصلاح پراکندگی بر کیفیت تصاویر بدست آمده از بازه‌ی انتخابی

نوری اصل، مهسا*^(۱) - حسینی فر، حورا^(۱)

^(۱) دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده:

به علت اهمیت مسئله‌ی پراکندگی در تصویربرداری اسپکت، تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است، که بیشتر آنها اصلاح پراکندگی در استفاده از رادیوایزوتوپ تکنسیوم- 99m را مورد توجه قرار داده‌اند. مطالعات محدودی برای رادیوایزوتوپ‌های دیگر از جمله رادیوایزوتوپ پرکاربرد تالیوم-۲۰۱ وجود دارد. در این مطالعه قصد داریم ابتدا با توجه به شکل خاص طیف رادیوایزوتوپ تالیوم-۲۰۱، که انتخاب یک روش مناسب برای اصلاح پراکندگی آن را دشوار می‌سازد، یک بازه‌ی انرژی اصلی مناسب جهت اصلاح پراکندگی انتخاب کرده و سپس با اعمال یک روش اصلاح پراکندگی مناسب، شمارش‌های پراکنده‌ی بازه‌ی اصلی انتخابی را کاهش دهیم.

کلمات کلیدی: تصویربرداری اسپکت، تالیوم-۲۰۱، بازه‌ی انرژی، اصلاح پراکندگی

مقدمه:

تالیوم-۲۰۱ یکی از پرکاربردترین رادیوایزوتوپ‌های مورد استفاده در تصویربرداری اسپکت به ویژه در تصویربرداری قلب، غده‌ی پاراتیروئید و تومورها است [۱]. از این رو، تولید تصاویری با بالاترین سطح کیفیت جهت کمک به تشخیص درست بیماری در تصویربرداری با این رادیوایزوتوپ از اهمیت بسیاری برخوردار است. یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت تصاویر بدست آمده از این تصویربرداری، امکان آشکارسازی فوتون‌های پراکنده شده‌ی کامپتونی در بازه‌ی انرژی اصلی مورد استفاده در تصویربرداری است. بنابراین، تنظیم درست پهنا و مکان بازه‌ی انرژی اصلی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بدین منظور، ابتدا باید طرح واپاشی رادیوایزوتوپ مورد نظر را مورد بررسی قرار داد. رادیوایزوتوپ تالیوم-۲۰۱ از طریق فرایند گیراندازی الکترونی به جیوه-۲۰۱ واپاشی می‌کند. این واپاشی با گسیل دو نوع پرتو گاما با انرژی‌های 135 keV (فراوانی ۲/۵٪) و 167 keV (فراوانی ۹/۵٪) همراه است. عنصر دختر جیوه، طیف وسیعی از تابش‌ها را گسیل می‌کند، که از آن میان تنها پرتوی ایکس با انرژی $68-82 \text{ keV}$ و فراوانی ۹۵٪ برای تصویربرداری مناسب می‌باشد [۲]. روش‌های مختلفی برای تنظیم بازه‌های انرژی اصلی در تصویربرداری تالیوم-۲۰۱ وجود دارد [۳-۵]. رایج‌ترین روش شامل استفاده از دو بازه‌ی انرژی فوتوپیک، یکی در قله‌ی انرژی پرتوهای ایکس و دومی در قله‌ی انرژی پرتوهای گامای



۱۶۷ keV است [۲]. جهت بهبود آمار سیگنال-به-نویز، تصاویر حاصل از این دو بازه‌ی فوتوپیکِ در فرایند پردازش تصویری با یکدیگر جمع می‌شوند.

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی، نشان خواهیم داد که تنظیم درست اولین بازه‌ی انرژی، قرار گرفته در محدوده‌ی انرژی پرتوهای ایکس، در کاهش اولیه‌ی شمارش‌های پراکنده شده و همچنین انتخاب یک روش اصلاحی مناسب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در مرحله‌ی بعد، سعی می‌شود تا با اعمال یک روش اصلاحی مناسب، شمارش‌های این بازه تا حد امکان کاهش داده شود.

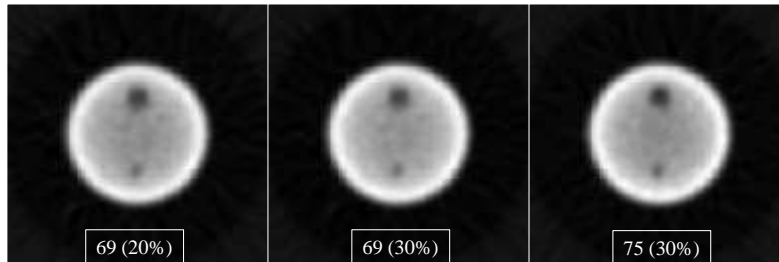
روش کار :

در این مطالعه از برنامه‌ی مونت کارلو SIMIND (نسخه V.6.1.2) جهت بدست آوردن تصاویر بازه‌های انرژی مختلف و همچنین، شبیه‌سازی فانتوم مورد نظر استفاده می‌شود. فانتوم شبیه‌سازی شده، یک فانتوم استوانه‌ای (قطر ۲۲ cm و ارتفاع ۲۰ cm) است که حاوی دو استوانه‌ی کوچکتر با قطرهای ۳/۲ cm و ۱/۶ cm و با ارتفاعی برابر با ارتفاع استوانه‌ی بزرگ می‌باشد. استوانه‌های کوچک بدون اکتیویته و استوانه‌ی بزرگ حاوی اکتیویته‌ی مشخصی (۰/۵ mCi) از تالیوم-۲۰۱ است (فانتوم میله‌های-سرد در زمینه‌ی-گرم). دوربین گامای شبیه‌سازی شده شامل یک بلور سوسوزن یدید سدیم استوانه‌ای با سطح مقطع دایره‌ای (قطر ۵۰ cm و ضخامت تقریباً ۰/۹ cm) است، که در سطح ورودی به یک موازی‌ساز انرژی-کم تفکیک-بالا (LEHR) متصل شده است. برای هر بازه‌ی انرژی مورد نظر، ۱۲۸ نگاره (ماتریس‌های ۱۲۸×۱۲۸) در یک چرخش ۳۶۰° دوربین جمع‌آوری می‌شوند. نگاره‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش تحلیلی FBP در فضای MATLAB بازسازی شده و تصاویر مقطعی حاصل می‌شوند. سپس، مقادیر کنتراست تصویری و نسبت‌های سیگنال-به-نویز [۶]، با در نظر گرفتن نواحی مورد نظر در تصاویر بازسازی شده، برای وضعیت‌های قبل و بعد از اصلاح پراکندگی محاسبه و مقایسه می‌شوند.

نتایج :

در این مطالعه برای تصویربرداری تالیوم-۲۰۱، از دو بازه‌ی انرژی، یک بازه‌ی انرژی اصلی واقع در محدوده‌ی طیف تابش ایکس و یک بازه‌ی انرژی دوم، متمرکز شده بر روی قله‌ی انرژی گامای ۱۶۷ keV با پهنای ثابت ۲۰٪، استفاده می‌شود. از آن جا که موقعیت و پهنای بازه‌ی انرژی اصلی مورد استفاده در تصویربرداری تالیوم-۲۰۱ در کیفیت تصاویر نهایی از اهمیت زیادی برخوردار است، ابتدا تمرکز خود را بر روی آن قرار می‌دهیم. برای بررسی تأثیر پهنای بازه‌ی انرژی اصلی، دو بازه‌ی انرژی، یکی با پهنای ۲۰٪ و دیگری با پهنای ۳۰٪ حول قله‌ی انرژی ۶۹ keV در نظر می‌گیریم. در مرحله‌ی

بعد، برای بررسی تأثیر مکان بازه‌ی انرژی اصلی، مرکز بازه‌ی انرژی اصلی را به انرژی ۷۵ keV منتقل می‌کنیم. یک برش دلخواه از تصویر بازسازی شده‌ی فانتوم استوانه‌ای حاوی میله‌های-سرد برای سه بازه‌ی انرژی مورد نظر در شکل (۱) نشان داده شده است. هم‌چنین، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی این سه بازه در جدول‌های (۱) و (۲) داده شده است.



شکل شماره (۱): تصویر فانتوم میله‌های-سرد در زمینه‌ی-گرم در سه بازه‌ی انرژی اصلی مختلف

جدول شماره (۱): مشخصه‌های سه بازه‌ی انرژی اصلی انتخاب شده در تصویربرداری تالیوم-۲۰۱

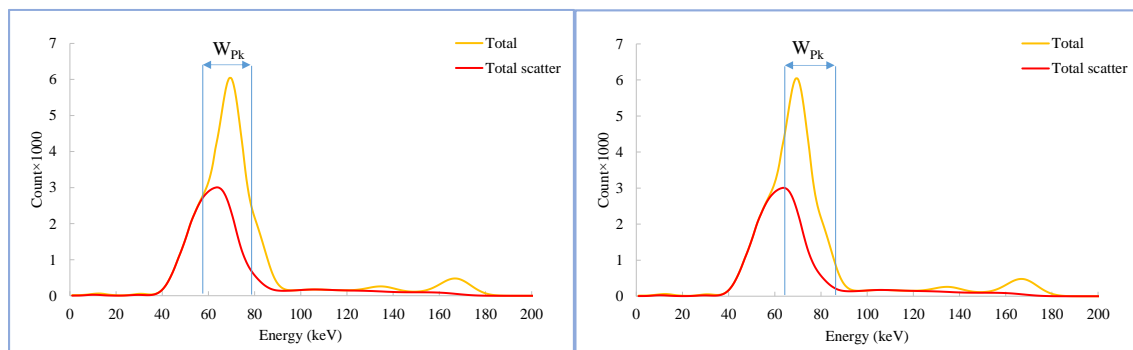
شماره بازه	مرکز انرژی (keV)	پهنای بازه (%)	نسبت شمارش‌های پراکنده به شمارش‌های اولیه (S/P)	نسبت شمارش‌های پراکنده به شمارش‌های کلی (S/T)	حساسیت (cps/MBq)
۱	۶۹	۲۰	۰/۶۹۸	۰/۴۱۱	۳۶/۲
۲	۶۹	۳۰	۰/۸۳۹	۰/۴۵۶	۴۶/۴
۳	۷۵	۳۰	۰/۵۳۸	۰/۳۵۰	۴۲/۱

جدول شماره (۲): مقادیر کنتراست تصویری و سیگنال-به-نویز برای سه بازه‌ی انرژی اصلی انتخابی (میله‌ی شماره ۱، میله با قطر بزرگ و میله‌ی شماره ۲، میله با قطر کوچک را نشان می‌دهد).

شماره بازه	شماره میله	کنتراست تصویری (%)	نسبت سیگنال-به-نویز
۱	۱	۴۹/۹۱	۱۴/۴۰
	۲	۱۷/۹۷	۵/۱۸
۲	۱	۴۶/۶۰	۱۶/۲۳
	۲	۱۶/۱۰	۵/۶۱
۳	۱	۵۴/۲۷	۱۸/۰۳
	۲	۱۹/۵۸	۶/۵۰

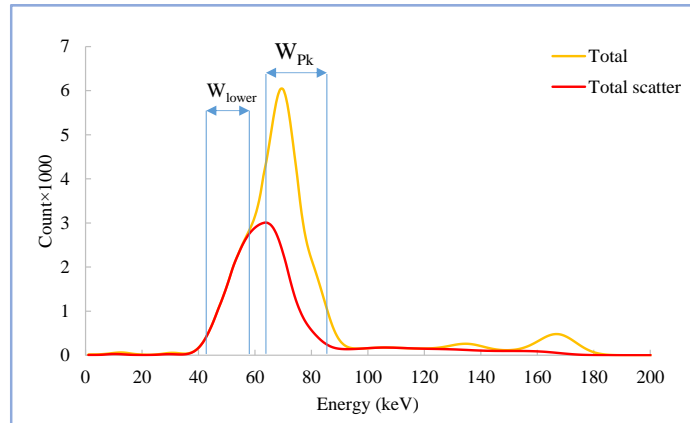


با توجه به داده‌های جدول (۱)، بازه‌ی شماره ۳ با انرژی مرکزی 75 keV و پهنای 30% ، نسبت به دو بازه‌ی دیگر کمترین مقدار را برای نسبت شمارش‌های پراکنده شده به شمارش‌های اولیه (S/P) و نسبت شمارش‌های پراکنده شده به شمارش‌های کلی (S/T) به دست می‌دهد. از سوی دیگر، با توجه به داده‌های جدول (۲)، استفاده از این بازه منجر به بالاترین مقادیر کنتراست تصویری و نسبت‌های سیگنال-به-نویز برای هر دو میله‌ی-سرد می‌شود. بنابراین، با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی، بازه‌ی شماره ۳ به عنوان مناسب‌ترین بازه برای تصویربرداری تالیوم-۲۰۱ معرفی می‌شود. انتخاب این بازه از جهت دیگری نیز حائز اهمیت است. شکل (۲) مکان دو بازه‌ی انرژی متمرکز شده حول انرژی‌های 69 keV و 75 keV را در طیف تالیوم-۲۰۱ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، توزیع انرژی شمارش‌های پراکنده شده در داخل این دو بازه متفاوت است. در مورد بازه‌ی متمرکز شده در انرژی 69 keV ، شکل طیف پراکندگی کاملاً نامتقارن بوده و از این رو امکان استفاده از یک روش اصلاحی مناسب را دشوار می‌سازد. در حالی که در مورد بازه‌ی متمرکز شده حول انرژی 75 keV ، طیف پراکندگی نیمه‌ای از یک طیف تقریباً متقارن است، طوری که با تنظیم درست یک بازه‌ی انرژی اضافی در مکان دیگری از طیف تالیوم-۲۰۱، امکان استفاده از یک روش اصلاحی مناسب جهت کاهش شمارش‌های پراکنده‌ی شامل شده در این بازه وجود خواهد داشت.



شکل شماره (۲): نمایش موقعیت بازه‌های انرژی اصلی متمرکز شده در انرژی‌های 69 keV و 75 keV

بعد از تعیین مکان و پهنای بازه‌ی انرژی اصلی، با توجه به تعداد زیاد شمارش‌های پراکنده‌ی شامل شده در این بازه، استفاده از یک روش اصلاحی مناسب می‌تواند در بهبود بیشتر کیفیت تصاویر تالیوم-۲۰۱ مؤثر باشد. بازه‌ی انرژی مناسب برای اصلاح پراکندگی با توجه به شکل طیف پراکندگی تالیوم-۲۰۱ و تعداد شمارش‌های پراکنده‌ی بازه‌ی انرژی اصلی $(107 \times 3/49)$ شمارش) انتخاب می‌شود. موقعیت بازه‌ی انرژی مورد استفاده برای اصلاح پراکندگی و مشخصه‌های سه بازه‌ی انرژی انتخابی به ترتیب در شکل (۳) و جدول (۳) داده شده است.

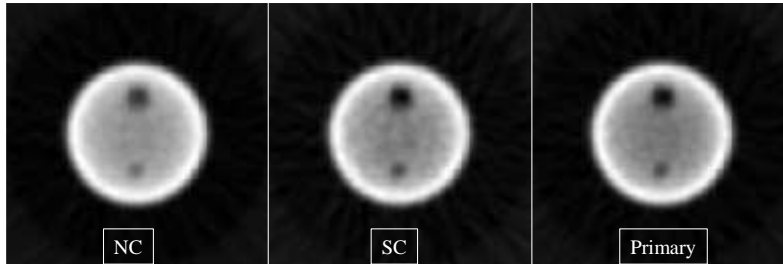


شکل شماره (۳): نمایش موقعیت بازه‌ی انرژی مورد استفاده برای اصلاح پراکندگی

جدول شماره (۳): مشخصه‌های سه بازه‌ی انرژی انتخابی جهت اصلاح پراکندگی بازه‌ی انرژی اصلی

نسبت شمارش‌های پراکنده شده به شمارش‌های کلی (S/T)	تعداد شمارش‌های کلی	پهنای بازه (%)	مرکز انرژی (keV)	شماره بازه
۹۹٪/۴	$۲/۷۵ \times ۱۰^۷$	۳۰	۵۰	۱
۹۹٪/۱	$۳/۱۲ \times ۱۰^۷$	۳۰	۵۱	۲
۹۸٪/۴	$۳/۴۹ \times ۱۰^۷$	۳۰	۵۲	۳

با توجه به داده‌های این جدول، با تقریب خوبی می‌توان تمام شمارش‌های این سه بازه را به عنوان شمارش‌های پراکنده شده در نظر گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بازه‌ی شماره ۳ با انرژی مرکزی ۵۲ keV و پهنای ۳۰٪ دارای تعداد شمارش‌های تقریباً برابر با تعداد شمارش‌های پراکنده‌ی بازه‌ی انرژی اصلی است. بنابراین، با تفریق پیکسل-به-پیکسل نگاره‌های بدست آمده از این بازه از نگاره‌های بدست آمده از بازه‌ی انرژی اصلی می‌توان تصویر اصلاح شده را بدست آورد. شکل (۴) یک برش دلخواه از تصویر بازسازی شده‌ی فانتوم مورد نظر را در سه وضعیت اصلاح شده، بدون اصلاح به همراه تصویر حاصل از شمارش‌های بدون پراکندگی (شمارش‌های اولیه) نشان می‌دهد. هم‌چنین، مقادیر کنتراست تصویری و نسبت‌های سیگنال-به-نویز برای میله‌های سرد در وضعیت‌های قبل و بعد از اصلاح پراکندگی در جدول (۴) داده شده‌اند.



شکل شماره (۴): یک برش از تصویر بازسازی شده‌ی فانتوم مورد استفاده در سه وضعیت اصلاح شده (SC)، بدون اصلاح (NC) به همراه تصویر بدست آمده از شمارش‌های اولیه

جدول شماره (۴): مقادیر کنتراست تصویری و سیگنال-به-نویز محاسبه شده قبل و بعد از اصلاح پراکندگی

وضعیت‌ها	شماره میله	کنتراست تصویری (%)	نسبت سیگنال-به-نویز
بدون اصلاح	۱	۵۴/۹۶	۱۹/۸۹
	۲	۲۰/۱۴	۷/۲۹
اصلاح شده	۱	۸۵/۰۰	۱۷/۰۰
	۲	۳۸/۶۴	۷/۷۳

با توجه به داده‌های جدول (۴)، اصلاح پراکندگی منجر به افزایش کنتراست تصویری میله‌های سرد ۱ و ۲ در حدود ۳۰٪ و ۱۸/۵٪ می‌شود. این در حالی است که نسبت سیگنال-به-نویز برای میله‌ی سرد ۱ نسبت به وضعیت قبل از اصلاح کاهش یافته، در حالی که برای میله‌ی سرد ۲ این مقادیر به یکدیگر نزدیک‌ترند.

بحث و نتیجه گیری :

یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت تصاویر بدست آمده از سیستم تصویربرداری اسپکت، آشکارسازی فوتون‌های پراکنده شده‌ی کامپتونی در داخل بازه‌ی انرژی اصلی مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌ها است. تعداد فوتون‌های پراکنده شده بسته به نوع رادیویزوتوپ مورد استفاده و نیز مکان و پهنای بازه‌ی انرژی مورد استفاده در تصویربرداری با رادیویزوتوپ خاص متفاوت می‌باشد. از آنجا که رادیویزوتوپ تالیوم-۲۰۱ یکی از پرکاربردترین رادیویزوتوپ‌های مورد استفاده در تصویربرداری اسپکت می‌باشد، استفاده از راهکارهای مناسب جهت کاهش سهم شمارش‌های پراکنده شده در بازه‌ی انرژی اصلی و در نتیجه تصویر بازسازی شده‌ی نهایی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

در این مطالعه، ابتدا به منظور کاهش سهم شمارش‌های پراکنده شده در تصویر بازسازی شده‌ی نهایی و نیز فراهم ساختن امکان استفاده از یک روش اصلاحی مناسب، مکان و پهنای بازه‌ی انرژی اصلی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج جدول‌های (۱) و (۲)، از میان سه بازه‌ی انرژی مورد بررسی، بازه‌ی انرژی به مرکزیت ۷۵ keV و پهنای ۳۰٪ به علت دارا



بودن بالاترین مقادیر کنتراست تصویری و نسبت‌های سیگنال-به-نویز و هم‌چنین کسر پراکندگی کوچکتر نسبت به دو بازه‌ی دیگر، به عنوان مناسب‌ترین بازه برای تصویربرداری تالیوم-۲۰۱ انتخاب شد. انتخاب این بازه به جای بازه‌ی رایج مورد استفاده (یک بازه‌ی انرژی ۳۰٪ حول قله‌ی انرژی اصلی ۶۹ keV) از جهت دیگری نیز حائز اهمیت می‌باشد؛ به علت شکل طیف شمارش‌های پراکنده‌ی شامل شده در این بازه، امکان استفاده از یک روش اصلاح پراکندگی با در نظر گرفتن یک بازه‌ی انرژی اضافی (به مرکزیت ۵۲ keV و پهنای ۳۰٪)، با تعداد شمارش‌های کلی برابر با شمارش‌های پراکنده‌ی طیف انرژی اصلی، وجود خواهد داشت. نتایج به دست آمده از اصلاح پراکندگی، افزایش قابل توجهی کنتراست تصویری میله‌های سرد را با کاهش جزئی نسبت‌های سیگنال-به-نویز نشان می‌دهد.

مراجع :

- [1] Kalantari F., Rajabi H., and Yaghoobi N., “Optimized Energy Window Configuration for ^{201}Tl Imaging”. *J Nucl Med Technol* 2008; 36:36–43.
- [2] Beller G. A., Bergmann S. R. “Myocardial perfusion imaging agents: SPECT and PET”. *J Nucl Cardiol.* 2004; 11: 71–86.
- [3] Hansen C. L., Goldstein R. A., Berman D. S., et al. “Myocardial perfusion and function single photon emission computed tomography”. *J Nucl Cardiol.* 2006; 13: e97–e120.
- [4] Cao Z., Chen C. C., Maunoury C., Holder LE, Abraham T. C., Tehan A. “Phantom evaluation of simultaneous thallium-201/technetium-99m acquisition in single photon emission tomography”. *Eur J Nucl Med.* 1996; 23: 1514–1520.
- [5] Knesaurek K., Machac J. “Comparison of correction techniques for simultaneous $^{201}\text{Tl}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ myocardial perfusion SPECT imaging: a dog study”. *Phys Med Biol.* 2000; 45: N167–N176.
- [6] Noori-Asl M., Sadremontaz A., Bitarafan-Rajabi A. “Evaluation of three scatter correction methods based on estimation of photopeak scatter spectrum in SPECT imaging: A simulation study”; *Physica Medica* 2014; 30: 947-953.