

## یک مطالعه روی اثر فیلترهای مختلف بر روی اشعه ایکس در دستگاه سی تی اسکن با منبع دوگانه با معرفی فیلتر جدید اربیوم

احمد اسماعیلی ترشابی، مینا انقلابی و محمدعلی بیجاری\*

دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

\* کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، کدپستی: ۷۶۳۱۸۸۵۳۵۶.

پست الکترونیکی: [bijari\\_7798@yahoo.com](mailto:bijari_7798@yahoo.com)

### چکیده

در این پژوهش به منظور تعیین فیلتراسیون بهینه در تصویربرداری و تأثیر آن بر افزایش تفکیک انرژی بین دو طیف انرژی بالا و پایین و همچنین میزان هم‌پوشانی طیف‌ها بررسی‌هایی بر روی سی تی اسکن منبع دوگانه انجام شد. در ابتدا، تیوب اشعه ایکس با آند تنگستن و فیلتر ذاتی ۱/۶ میلی‌متر آلومینیومی در نرم افزار فلوکا طراحی گردید. سپس یک فیلتر اضافه برای تیوب با انرژی بالای ۱۴۰ keV اعمال گردید و تیوب کم انرژی ۸۰ keV برای جلوگیری از کاهش بیشتر انرژی در خروجی، فقط با فیلترهای کارخانه باقی ماند. در گام بعدی، برای به حداقل رساندن هم‌پوشانی بین طیف‌ها بر روی هر دو تیوب، فیلتر پیشین اعمال شد و تفاوت میانگین انرژی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. فیلترها از موادی با شرایط و ضخامت‌های مناسب انتخاب شدند که قلع و برنز گزینه‌های مطلوب‌تری بودند. در نتیجه، استفاده از فیلتر قلع با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر اختلاف میانگین انرژی را از ۱۷/۸ KeV به ۴۰/۶ KeV افزایش داد. در ادامه، روند آزمایش فیلتر برنز بر روی تیوب پر انرژی و اربیوم بر روی تیوب کم انرژی اعمال گردید. اختلاف میانگین انرژی در این حالت از ۱۷/۸ به ۴۵/۸۷ کیلو الکترون ولت افزایش قابل ملاحظه‌ای داشت. بنابراین هم‌پوشانی طیف‌های کم انرژی و پر انرژی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است و انتظار می‌رود این افزایش عملکرد، کارایی سی تی اسکن منبع دو گانه را در افزایش کنتراست و کاهش دز را بهبود بخشد.

کلیدواژه‌گان: فیلتر، سی تی اسکن منبع دوگانه، کیفیت پرتو ایکس، هم‌پوشانی، جداسازی طیف، شبیه‌سازی مونت کارلو.

### ۱. مقدمه

رادیوگرافی معمولی [۴، ۵]، فلوروسکوپی [۶]، ماموگرافی [۷] و مقطع‌نگاری کامپیوتری [۸-۱۰] اشاره نمود. در اکثر روش‌های موجود از جمله مقطع‌نگاری کامپیوتری استفاده از پرتوهای ایکس اجتناب ناپذیر است [۱۱]. توموگرافی یا مقطع‌نگاری کامپیوتری در اوایل دهه ۱۹۷۰ از نظر بالینی در دسترس قرار

امروزه روش‌های متعددی جهت تصویربرداری و دریافت اطلاعات از درون بدن بیمار وجود دارد که بسته به شرایط و نوع اطلاعات مورد نیاز می‌توان از آن‌ها استفاده نمود [۱]. از انواع مختلف روش‌های تصویربرداری در پزشکی می‌توان به سونوگرافی [۲]، تصویربرداری تشدید مغناطیسی [۳]،

گرفت و اولین دستگاه تصویر برداری است که کارکرد آن با کامپیوتر امکان پذیر است. تصاویر سی تی اسکن با عبور اشعه ایکس در بدن، در زوایای متعدد توسط چرخش گانتری که شامل تیوب اشعه ایکس و آشکارسازهای پرتو هستند، تشکیل می‌شوند [۱۲].

برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ اولین نمونه تجاری از دستگاه توموگرافی با دو منبع متفاوت انرژی موسوم به سی تی اسکن انرژی دوگانه رونمایی شد [۱۳، ۱۴]. همان‌طور که از نام آن پیداست دستگاه فوق با استفاده از دو طیف بالا و پایین انرژی اشعه ایکس فرایند مقطع نگاری را انجام داده تا بافت‌های بدن را بر اساس عدد اتمی مؤثرشان متمایز کند. فرایند تولید پرتوهای ایکس در تیوب اشعه ایکس، بدین صورت است که فیلامان توسط ولتاژ متناوب منبع را دریافت کرده و پس از آن شروع فرایند انتشار الکترون در فضای خلأ صورت می‌گیرد. الکترون‌های تولیدی توسط فیلامان کاتد به هدفی از جنس تنگستن که در آند تیوب قرار داشته برخورد کرده و در اثر عبور الکترون‌های پر انرژی از نزدیکی هسته اتم‌های تنگستن پرتوهای ایکس ترمزی تولید شده که از پنجره موجود در تیوب خارج می‌شوند [۱۵]. راهکارهای متعددی جهت بهینه سازی تصویر و کاهش دز بیمار ارائه گردیده است که یکی از آن‌ها استفاده از فیلتر در پنجره خروجی تیوب اشعه ایکس است [۱۶]. لازم به ذکر است در نواحی وسط بدن بیمار به واسطه ضخامتی که دارد بیشترین تضعیف پرتو نسبت به نیم تنه‌های بالا و پایین اتفاق می‌افتد. بنابراین باید بیشترین تابش به این قسمت از بدن رسیده و حداکثر تضعیف در بخش‌هایی که ضخامت آن‌ها کمتر است اتفاق بیافتد [۱۷].

در این پژوهش دستگاه سی تی اسکن با منبع دوگانه که طراحی و شبیه‌سازی فیلتر برای آن انجام پذیرفته است در محدوده تشخیصی دارای طیف انرژی ۸۰-۱۴۰ کیلوالکترون

ولت است. طیف اشعه ایکس در دو نرم افزار فلوکا و اسپکتر طراحی و شبیه‌سازی گردیده و درصد هم‌پوشانی این دو طیف در انرژی‌های بالا و پایین مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، فیلترهای کارخانه که به صورت پیش فرض در دستگاه قرارداداشته در درجه خروجی تیوب طراحی گردید تا شرایط هندسی شبیه‌سازی کاملاً مشابه دستگاه باشد. سپس فیلترهایی با جنس و ضخامت‌های گوناگون طراحی و مورد بررسی قرار گرفته که در میان آن‌ها فیلترهای برنز برای تیوب ۱۴۰ کیلوالکترون ولت و فیلترهای اریبوم برای تیوب ۸۰ کیلوالکترون ولت هم‌پوشانی دو طیف انرژی پرتو ایکس را به حداقل می‌رساند. از آن‌جا که در طیف ۱۴۰ کیلوالکترون ولت انرژی‌های کمتر از ۱۴۰ عملاً دز اضافی به شمار می‌آیند هرچه هم‌پوشانی دو طیف کمتر باشد دز دریافتی بیمار کمتر خواهد شد.

## ۲. روش انجام کار

### ۱.۲. نرم افزار فلوکا

کد مونت کارلویی شبیه‌سازی فلوکا (FLUKA<sup>1</sup>) یک کد چند منظوره برای محاسبه ترابرد ذرات و واکنش‌های هسته‌ای است که در مسائل مختلف فیزیک پزشکی از جمله رادیولوژی، رادیوتراپی و پزشکی هسته‌ای استفاده فراوان می‌شود. از کاربردهای این کد می‌توان به شبیه‌سازی شتاب‌دهنده‌ها، محاسبه اکتیویته، دزیمتری داخلی و خارجی، طراحی آشکارسازها و حتی تابش‌های کیهانی اشاره نمود [۱۸]. یکی دیگر از ویژگی‌های این کد، رابط گرافیکی بسیار مناسب آن به نام فلر (FLAIR) است که تعریف هندسه، عیب‌یابی و سایر کدنویسی‌ها از این طریق انجام می‌شود. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی طیف اشعه ایکس از کد فلوکا ورژن ۲۰۱۱ استفاده گردیده است.

<sup>1</sup> FLUKtuierende KAskade

## ۲.۲. نرم افزار اسپکتر

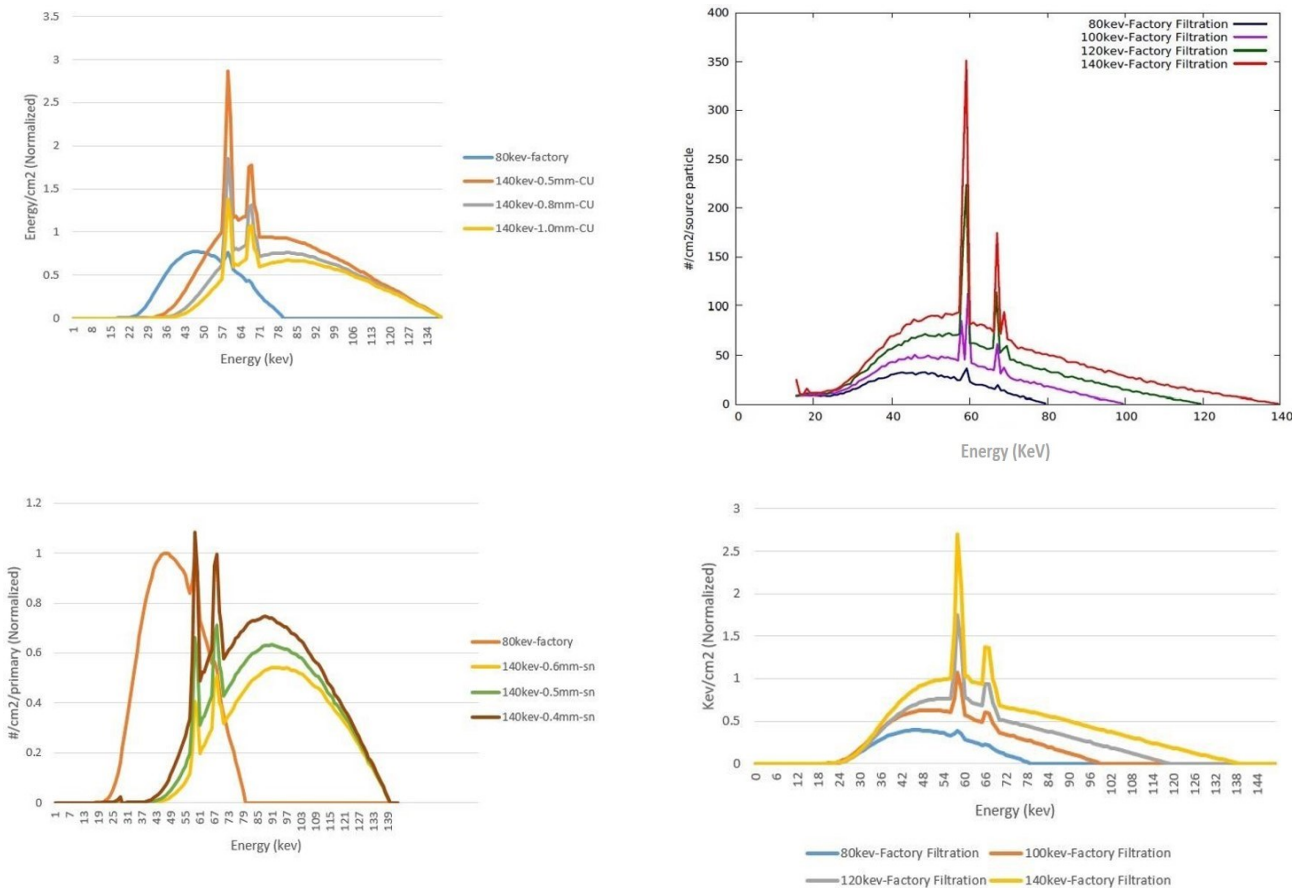
اسپکتر (SPEKTER) یک ابزار محاسباتی مشخصاً برای طیف اشعه ایکس طراحی و پیاده سازی شده است. ابزار اسپکتر بر پایه محاسبه و تجزیه و تحلیل طیف اشعه ایکس در محدوده انرژی‌های تشخیصی برای انواع سیستم‌های تصویربرداری و مدل‌سازی عملکرد آن‌ها، تجزیه و تحلیل طیف‌های انرژی، بررسی آشکارسازهای اشعه ایکس، شبیه‌سازی پدیده‌های پراکندگی و سخت شدن پرتو و کاهش دز تابشی استفاده شده است. این کد، شامل یک کتابخانه جامع بوده که توانایی تولید اشعه ایکس ترمزی در محدوده ۱ تا ۶۴۰ کیلو الکترون ولت را دارد [۱۹].

برای انجام این کار ابتدا هندسه تیوب اشعه ایکس به همراه یک هدف از جنس تنگستن با زاویه مناسب جهت تولید پرتو ایکس با نقطه کانونی ۱/۲ میلی‌متر به همراه یک فیلتر آلومینیومی با ضخامت ۱/۶ میلی‌متر در نرم‌افزار فلوکا طراحی شده است. از طرفی برای بررسی تأثیرات فیلتر ذاتی بر روی فوتون‌های عبوری دو ناحیه قبل و بعد از فیلتر تعبیه گردیده است. تنظیمات پیش‌فرض فلوکا برای تولید فوتون از ۵۰ به ۱۰ کیلو الکترون ولت کاهش پیدا کرده و جهت اعمال فیلترهای ترکیبی، سه ناحیه برای مواد مختلف در هندسه موردنظر ما تعبیه شده است. اشعه ایکس در انرژی‌های ۸۰-۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰ کیلو الکترون ولت آنالیز و طیف‌های خروجی ترسیم شده‌اند. انتخاب ماده فیلتر با استفاده از مطالعات گذشته و بررسی ماده‌های جدید از نظر غیرسمی بودن، جامد بودن در دمای محیط، نقطه ذوب بالا و فراوانی در طبیعت مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به ذکر است در فرایند شبیه‌سازی، تعداد ذرات بیم اولیه باید به گونه‌ای انتخاب گردند که خطای عدم قطعیت به زیر ۵٪ کاهش یابد تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی از نظر آماری و علمی قابل ارائه و استناد باشد که برای این منظور در این تحقیق تعداد ذرات بیم اولیه پنج میلیون در نظر گرفته شد.

## ۳. نتایج

در این پژوهش در ابتدا هدف تولید اشعه ایکس در محدوده تشخیصی ۸۰ و ۱۴۰ کیلو الکترون ولت به روش تولید بیم الکترونی و برخورد به هدف تنگستنی است. لازم به ذکر است شبیه‌سازی بیم الکترونی و برخورد آن به هدف تنگستنی باعث می‌شود خروجی‌های حاصل از کد بیشترین مشابهت را با حالت واقعی تولید پرتو در تیوب اشعه ایکس واقعی صورت بگیرد. در ادامه و پس از تولید اشعه ایکس ترمزی، هدف بعدی بررسی تأثیر فیلتراسیون بر رفتار طیف‌ها است. جدایی طیف‌های مورد استفاده در سی تی اسکن با منبع دوگانه و درصد هم‌پوشانی این دو طیف در انرژی‌های بالا و پایین اندازه‌گیری شده و نتایج پس از استخراج مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در ابتدا، جهت بررسی دو کد فلوکا و اسپکتر و مقایسه عملکرد آن‌ها با هم، با استفاده از اطلاعات ارائه شده توسط سازنده سیستم، شبیه‌سازی در انرژی‌های متنوع ۸۰-۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰ کیلو الکترون ولت با فیلتر آلومینیومی کارخانه انجام گردیده که نتایج آن‌ها را در شکل ۱ مشاهده می‌کنید. همان‌طور که از مقایسه نتایج در این شکل بر می‌آید، طیف‌ها در هر انرژی دارای مشابهت قابل قبولی بوده که نشان از صحت عملکرد این دو کد دارد.

طیف انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت که در سی تی اسکن در محدوده انرژی‌های بالا محسوب می‌شود، هدف بررسی فیلترهای مختلف بر روی تیوب پراانرژی است. بنابراین فیلترهای اعمال شده فقط در انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت بررسی و آنالیز می‌گردد. در شکل ۲، به ترتیب تأثیرات فیلتر از جنس مس با ضخامت‌های ۰/۵، ۰/۸ و ۱ میلی‌متر (تصویر بالا) و فیلتر از جنس قلع با ضخامت‌های ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۶ میلی‌متر (تصویر پایین) را بر روی طیف اشعه ایکس در انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت را به صورت نرمالیزه نشان می‌دهد.



شکل (۲): تأثیرات فیلترهای مس (بالا) و قلع (پایین) بر طیف اشعه ایکس با انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت.

جداسازی بین میانگین انرژی طیف‌ها برای ۸۰ و ۱۴۰ کیلو الکترون ولت محاسبه شده است که نتایج را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید. درصد هم‌پوشانی از محاسبه سطح مشترک طیف انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت تقسیم بر سطح زیر منحنی طیف انرژی ۸۰ کیلو الکترون ولت به دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بیشترین مقدار جداسازی با اعمال فیلترهای مس و قلع به ترتیب با ضخامت‌های ۱ و ۰/۶ میلی‌متر است که منجر به کاهش درصد هم‌پوشانی به مقادیر ۱۵/۴ و ۱۵/۷ درصد گردیده‌اند. همان‌طور که از نتایج این جدول مشاهده می‌شود عملکرد فیلتر قلع نسبت به مس بهتر است. به‌عنوان مثال، در ضخامت یکسان ۰/۵ میلی‌متر، درصد هم‌پوشانی برای دو فیلتر مس و قلع به ترتیب ۲۱/۷ و ۱۵/۷ درصد است.

شکل (۱): شبیه‌سازی طیف اشعه ایکس در انرژی‌های

۸۰-۱۰۰-۱۲۰-۱۴۰ کیلو الکترون ولت شبیه‌سازی شده با ابزار فلوکا (بالا) و اسپکتر (پایین) با اعمال فیلتر (آلومینیومی) کارخانه.

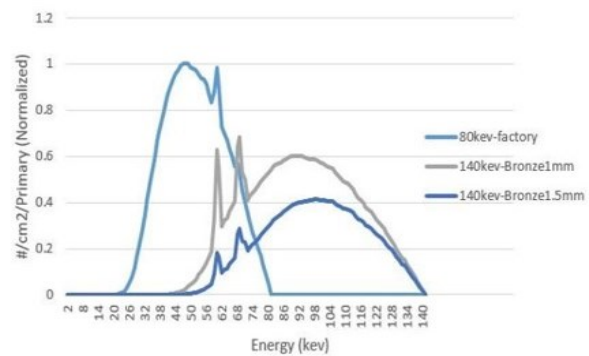
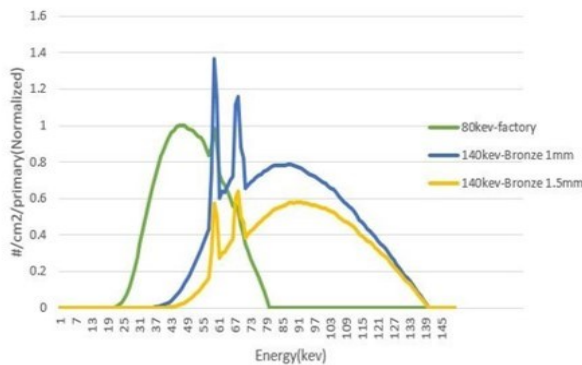
در این شکل طیف انرژی پایین ۸۰ کیلو الکترون ولت نیز نمایش داده شده است تا مقایسه‌ای از نظر بصری با طیف‌های انرژی‌های بالا صورت بگیرد. لازم به ذکر است بررسی دقیق هم‌پوشانی و جداسازی طیف‌ها در نتایج بعدی آمده است. به‌طور کلی، با افزایش ضخامت فیلتر کیفیت پرتو ایکس افزایش یافته است حال آن‌که پرتوهای ایکس شاخص در مقدار انرژی خود برای هر دو فیلتر مس و قلع ثابت مانده‌اند. با استفاده از ضخامت فیلتر مطلوب برای تیوب پراثری، طیف‌ها با استفاده از دو اندازه‌گیری متفاوت، جداسازی میانگین انرژی و هم‌پوشانی دو طیف از نظر کمی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول (۱): نتایج آنالیز عددی فیلتراسیون قلع و مس شامل مقدار جداسازی و درصد هم پوشانی و تفاوت آن‌ها با فیلتراسیون کارخانه.

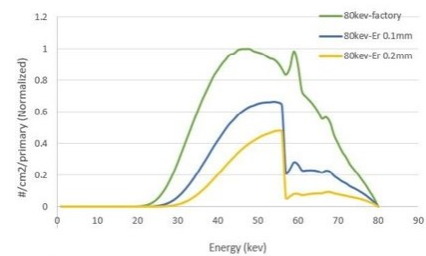
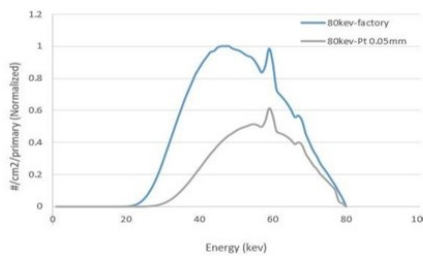
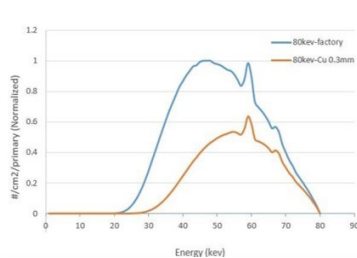
درصد هم پوشانی	مقدار جداسازی (KeV)	میانگین انرژی در ۱۴۰ KeV	میانگین انرژی در ۸۰ KeV	ضخامت (mm)	نوع فیلتر
۳۱/۷	۱۷/۸	۶۸/۷	۵۰/۹	-	کارخانه
۲۱/۷	۲۷/۹	۷۸/۸	۵۰/۹	۰/۵	مس
۲۰/۵	۳۱/۸	۸۲/۷	۵۰/۹	۰/۸	مس
۱۵/۴	۳۴/۱	۸۵	۵۰/۹	۱	مس
۲۱/۷	۳۷/۸	۸۸/۷	۵۰/۹	۰/۴	قلع
۱۵/۷	۴۰/۶	۹۱/۵	۵۰/۹	۰/۵	قلع
۱۵/۷	۴۳	۹۳/۹	۵۰/۹	۰/۶	قلع

مشاهده می‌گردد، عملکرد فیلتر برنز ۸٪ در افزایش کیفیت پرتو مشهودتر است و فیلتر برنز ۱۴٪ منجر به کاهش کمیت پرتو به‌طور قابل ملاحظه‌ای گردیده است. در ادامه، فیلترهایی از جنس مس، اربوم و پلاتین بر روی طیف اشعه ایکس ۸۰ کیلو الکترون ولت اعمال گردید که تأثیرات آن‌ها را در شکل ۴ مشاهده می‌کنید.

در این تحقیق، علاوه بر عناصر مذکور در پژوهش فوق از آلیاژ برنز نیز به‌عنوان فیلتر استفاده گردید. همان‌طور که می‌دانیم برنز آلیاژی از مس و قلع با درصدهای متفاوتی از ترکیب این دو فلز است. در این پژوهش آلیاژهای برنز ۸٪ و ۱۴٪ با چگالی‌های متفاوت استفاده شده که نتایج تأثیرات آن را بر طیف اشعه ایکس ۱۴۰ کیلو الکترون ولت در شکل ۳ آمده است. همان‌طور که



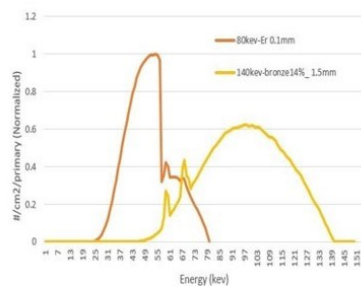
شکل ۳: تأثیرات فیلتر برنز با آلیاژهای ۸ درصد (چپ) و ۱۴ درصد (راست) بر طیف اشعه ایکس با انرژی ۱۴۰ کیلو الکترون ولت.



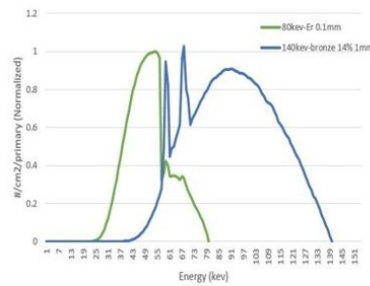
شکل (۴): تأثیرات فیلترهای مس با ضخامت ۰/۳ میلی‌متر (چپ)، اربوم با ضخامت‌های ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌متر (راست) و پلاتین با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر (وسط) بر طیف اشعه ایکس با انرژی ۸۰ کیلو الکترون ولت.

در پایان نتایج به دست آمده از مواد مختلف بر روی یک منحنی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به رفتار متفاوت عنصر اربیم در طیف کم انرژی (۸۰ کیلو الکترون ولت) از نتایج اثر این عنصر برای فیلتر تیوب کم انرژی و همچنین با توجه به رفتار آلایز برنز ۱۴٪ در طیف اشعه ایکس پر انرژی (۱۴۰ کیلو الکترون ولت) از نتایج اثر این آلایز برای فیلتر تیوب پر انرژی استفاده گردید که نمودارهای حاصله در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

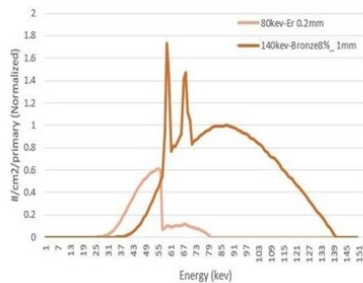
فیلتر پیشنهادی جدید در این تحقیق از جنس اربیم است که عملکرد قابل ملاحظه ای در طیف کم انرژی از خود نشان داده است. این فیلتر اولین بار در این تحقیق مورد ارزیابی و مقایسه با فیلترهای رایج قرار گرفته است که با توجه به عملکرد خوبی که در طیف‌های کم انرژی دارد می‌تواند نقش به‌سزایی در استفاده در سی‌تی‌اسکن با منبع دوگانه بازی کند. از آنجا که فیلترهای رایج اثر نرم و ملایمی در کاهش شدت پرتوها دارند، کاهش ناگهانی این شدت بعد از انرژی ۵۷ کیلو الکترون ولت افت سریع طیف با اعمال فیلتر اربیم بسیار قابل توجه است.



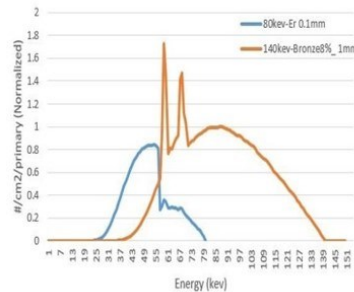
ب



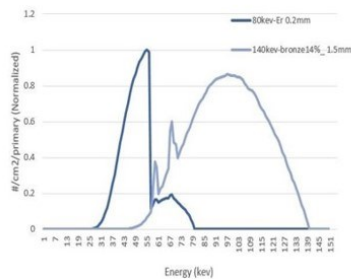
الف



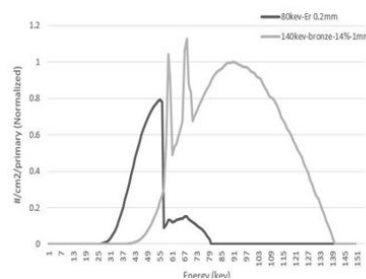
د



ج



ی



ح

شکل (۵). نمودارهای هم‌پوشانی طیف اشعه ایکس با فیلترهای اربیم ۰/۱ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (الف)، اربیم ۰/۱ و آلایز برنز ۱۴٪/۱/۵ میلی‌متر (ب)، اربیم ۰/۱ و آلایز برنز ۸٪/۱ میلی‌متر (ج)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (د)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (ه)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۸٪/۱ میلی‌متر (و)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (ز)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (ح)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (ط)، اربیم ۰/۲ و آلایز برنز ۱۴٪/۱ میلی‌متر (ی) در انرژی‌های ۸۰ و ۱۴۰ کیلو الکترون ولت.

در این جدول مشاهده می‌شود، بهترین نتیجه با کمترین درصد هم‌پوشانی متعلق به اعمال فیلتر اربیوم با ضخامت ۰/۱ میلی‌متر برای طیف کم انرژی و فیلتر برنز ۰/۱۴ با ضخامت ۱ میلی‌متر برای طیف پرانرژی است که منجر به کاهش درصد هم‌پوشانی دو طیف به مقدار ۰/۶٪/۱۰ درصد گردیده است.

در جدول ۲، نتایج منحنی‌های فوق به صورت عددی بررسی و میانگین انرژی هر طیف به صورت جداگانه محاسبه شده است. لازم به ذکر است که یکی از رفتارهای خاص اربیوم در میانگین انرژی آن است که با افزایش ضخامت فیلتر، افزایشی در میانگین انرژی حاصل نشده، در حالی که سایر فیلترها رفتار مشابهی در افزایش میانگین انرژی داشته‌اند. همان‌طور که از ارزیابی کمی

جدول (۲): نتایج آنالیز عددی طیف‌های ترسیم شده با اربیوم، مس برای طیف کم انرژی و برنز برای طیف پرانرژی.

درصد هم‌پوشانی	مقدار جداسازی (KeV)	میانگین انرژی در ۱۴۰ KeV	میانگین انرژی در ۸۰ KeV	ضخامت (mm)	نوع فیلتر برای انرژی ۱۴۰ KeV	ضخامت (mm)	نوع فیلتر برای انرژی ۸۰ KeV
۳۱/۷	۱۷/۸	۶۸/۷	۵۰/۹	-	کارخانه	-	کارخانه
۲۱/۸	۳۵/۹۲	۸۶/۹۲	۵۱	۱	برنز ۰/۸	۰/۱	اریبوم
۱۰/۶	۴۰/۵	۹۱/۵	۵۱	۱	برنز ۰/۱۴	۰/۱	اریبوم
۱۲/۶	۴۵/۸۷	۹۶/۸۷	۵۱	۱/۵	برنز ۰/۱۴	۰/۱	اریبوم
۳۴	۳۵/۹۲	۸۶/۹۲	۵۱	۱	برنز ۰/۸	۰/۲	اریبوم
۱۴/۳	۴۰/۵	۹۱/۵	۵۱	۱	برنز ۰/۱۴	۰/۲	اریبوم
۴/۵	۴۵/۸۷	۹۶/۸۷	۵۱	۱/۵	برنز ۰/۱۴	۰/۲	اریبوم
۲۸	۳۱/۱۲	۸۶/۹۲	۵۵/۸	۱	برنز ۰/۸	۰/۳	مس
۳۴	۳۵/۷	۹۱/۵	۵۵/۸	۱	برنز ۰/۱۴	۰/۳	مس
۱۹	۴۱/۰۷	۹۶/۸۷	۵۵/۸	۱/۵	برنز ۰/۱۴	۰/۳	مس

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

فیلتر کارخانه طیف انرژی را در ناحیه کمتر از ۱۲ کیلو الکترون ولت به خوبی تضعیف می‌کند و میزان تضعیف در انرژی‌های بالاتر تقریباً ثابت است. در شکل‌های ۲ و ۳، اثر فیلترهای مس، قلع و برنز با درصد آلایزی ۸ و ۱۴ درصد به‌عنوان فیلترهای رایج مورد بررسی قرار گرفتند که همان‌طور که مشاهده گردید با افزایش ضخامت فیلترها کیفیت پرتو یافت و پرتوهای ایکس شاخص در مقادیر انرژی منحصر به فرد خود برای هر دو فیلتر مس و قلع ثابت است. در این دو فیلتر نیز کاهش کمیت پرتوها در انرژی‌های بالا به صورت نرم و ملایم است و با افزایش انرژی، عملکرد دو فیلتر در افزایش کیفیت پرتو کاهش می‌یابد. طبق شکل ۲، مس دارای کمترین و قلع بیشترین تضعیف را در ضخامت‌های یکسان داشتند. لازم به ذکر است که ایجاد چنین

یکی از نگرانی‌های اساسی در تصویربرداری با استفاده از روش توموگرافی کامپیوتری، احتمال ابتلا به سرطان به دلیل تابش مستقیم اشعه ایکس با دز بالا بر بدن بیمار است [۲۰-۲۲]. به همین دلیل تحقیقات زیادی جهت کاهش میزان دز اشعه ایکس در کنار کیفیت بالای تصویر طبق اصل آلا (ALARA) انجام شده است.

در پژوهش فوق در ابتدا نسبت طیف اشعه ایکس قبل و بعد از اعمال فیلتر با استفاده از ابزار مونت کارلوی شبیه ساز فلوکا و اسپکتر محاسبه گردید، چرا که اولاً در عمل این کار در داخل تیوب اشعه ایکس به دلیل شرایط اعمال خلاً امکان پذیر است و ثانیاً عملکرد دو کد شبیه ساز با هم مقایسه می‌گردند. از تحلیل و بررسی شکل ۱ مشاهده گردید که فیلتر آلومینیومی به‌عنوان

با توجه به نتایج موجود در جدول‌های ۱ و ۲ این نتیجه حاصل می‌شود که استفاده از فیلتراسیون مناسب برای تیوب پر انرژی در سی‌تی انرژی دوگانه می‌تواند به شکل چشم‌گیری مقدار جداسازی را افزایش دهد. به طور مثال، نسبت انرژی دوگانه محاسبه شده با فیلتر کارخانه در طیف ۱۴۰ کیلو الکترون ولت برابر ۱۷.۸ کیلو الکترون ولت بوده که با اضافه شدن فیلتر قلع به ضخامت ۰/۶ میلی‌متر این نسبت به ۴۳ کیلو الکترون ولت یا به ۴۵/۹ کیلو الکترون ولت در ضخامت ۱/۵ میلی‌متر آلیاژ برنز افزایش پیدا کرده است.

در پایان نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد استفاده از فیلترهای برنزی برای تیوب ۱۴۰ کیلو الکترون ولت و فیلترهای اربیم برای تیوب ۸۰ کیلو الکترون ولت حداکثر اختلاف در نسبت‌های انرژی دوگانه و جداسازی را ایجاد خواهد کرد. بدین ترتیب حداقل دز تابش اشعه برای انجام تمایز مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت استفاده از رویکرد منبع دوگانه و امکان بهینه‌سازی فیلتراسیون طیف به صورت مستقل برای هر دو تیوب و امکان افزایش جداسازی طیفی را فراهم می‌کند، که خود منجر به افزایش کیفیت تصویر نیز می‌شود.

اختلاف بزرگی در تضاد انرژی دوگانه می‌تواند عملکرد الگوریتم‌های انرژی دوگانه را که به تفکیک بین مواد مختلف منجر می‌گردند، به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

شکل ۴، اثر فیلتر پیشنهادی جدید در این تحقیق که از جنس اربیم است را در مقایسه به فیلترهای مس و پلاتین نشان می‌دهد. همان‌طور که استنتاج می‌شود، این فیلتر عملکرد قابل ملاحظه‌ای در کاهش ناگهانی شدت پرتوها در طیف کم انرژی دارد که می‌تواند در سی‌تی‌اسکن با منبع دوگانه بسیار حائز اهمیت باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مقایسه با فیلتر مس و پلاتین که اثر نرم و ملایمی در کاهش شدت پرتوها دارند، کاهش ناگهانی این شدت بعد از انرژی ۵۷ کیلو الکترون ولت با اعمال اربیم بسیار قابل توجه است. جالب توجه است که این تضعیف ویژه در محدوده هم‌پوشانی دو طیف بوده و قادر است تا هم‌پوشانی بین دو تیوب را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. از طرفی با افزایش ضخامت اربیم، میانگین انرژی با تغییر بسیار کمی همراه است. برای فیلتراسیون تیوب ۱۴۰ کیلو الکترون ولت نیز فیلتر برنز مورد بررسی قرار گرفت و ترکیب فیلتر برنز و اربیم نشان داد که هم‌پوشانی کم و اختلاف انرژی در حدود ۴۶ الکترون ولت افزایش یافته است.

## ۵. مراجع

1. A. Bharath. *Introductory Medical Imaging*. Springer Nature, 2022.
2. F. Draghi, G. Cocco, F. M. Richelmi, C. Schiavone. Abdominal wall sonography: a pictorial review. *J. Ultrasound* 23 (3) (2020) 265-278.
3. S. Noble, A. F. Mejia, A. Zalesky, D. Scheinost. Improving power in functional magnetic resonance imaging by moving beyond cluster-level inference. *Proc. Nat. Academy Sci.* 119 (32) (2022) e2203020119.
4. Q. B. Carroll. *Radiography in the Digital Age: Physics-exposure-radiation Biology*. Charles C Thomas Publisher, 2023.
5. C. J. Harvey. *Principles of Radiology*. Surgery (Oxford) 26 (6) (2008) 235-238.
6. N. E. Shalom, G. X. Gong, M. Auster. Fluoroscopy: An essential diagnostic modality in the age of high-resolution cross-sectional imaging. *World J. Radiol.* 12 (10) (2020) 213.
7. M. S. Jochelson, M. B. I. Lobbes. Contrast-enhanced Mammography: State of the Art. *Radiol.* 299 (1) (2021) 36-48.
8. P. J. Withers, C. Bouman, S. Carmignato, V. Cnudde, D. Grimaldi, C. K. Hagen, E. Maire, M. Manley, A. Du Plessis, S. R. Stock. X-ray computed tomography. *Nat. Rev. Methods Primers* 1 (2021) 18.
9. H. Villarraga-Gómez, E. L. Herazo, S. T. Smith. X-ray computed tomography: from medical imaging to dimensional metrology. *Precision Eng.* 60 (2019) 544-569.
10. A. Axiaq, A. Almohtadi, S. A. Massias, D. Ngemoh, A. Harky. The role of computed tomography scan in the diagnosis of COVID-19



- pneumonia. *Curr. Opin. Pulm. Med.* 27 (3) (2021) 163-168.
11. X. Ou, X. Chen, X. Xu, L. Xie, X. Chen, Z. Hong, H. Bai, X. Liu, Q. Chen, L. Li, H. Yang. Recent development in X-ray imaging technology: future and challenges. *Research (Wash D C)* (2021) 9892152.
  12. J. T. Bushberg, J. M. Boone. *The Essential Physics of Medical Imaging*. 3rd Ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2011.
  13. G. N. Hounsfield. Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. *British J. Radiol.* 46 (552) (1973) 1016-1022.
  14. C. H. McCollough, S. Leng, L. Yu, J. G. Fletcher. Dual-and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiol.* 276 (3) (2015) 637-653.
  15. J. A. Seibert. X-ray imaging physics for nuclear medicine technologists. Part 1: Basic principles of x-ray production. *J. Nuclear Med. Tech.* 32 (3) (2004) 139-147.
  16. R. Liu, S. Zhang, T. Zhao, J. A. O'Sullivan, J. F. Williamson, T. Webb, M. Porrás-Chaverri, B. Whiting. Impact of bowtie filter and detector collimation on multislice CT scatter profiles: A simulation study. *Med. Phys.* 48 (2) (2021) 852-870.
  17. D. Tack, P. A. Gevenois (Eds). *Radiation Dose from Adult and Pediatric Multidetector Computed Tomography*. Medical Radiology. Springer, Berlin, Heidelberg. 2007.
  18. C. Ahdida, D. Bozzato, D. Calzolari, F. Cerutti, N. Charitonidis, A. Cimmino, A. Coronetti, G. D'Alessandro, A. Donadon Servelle, L. Esposito, R. Froeschl, R. García Alía, A. Gerbershagen, S. Gilardoni, D. Horváth, G. Hugo, A. Infantino, V. Kouskoura, A. Lechner, B. Lefebvre, G. Lerner, M. Magistris, A. Manousos, G. Moryc, F. Ogallar Ruiz, F. Pozzi, D. Prelipcean, S. Roesler, R. Rossi, M. Sabaté Gilarte, F. Salvat Pujol, P. Schoofs, V. Stránský, C. Theis, A. Tsinganis, R. Versaci, V. Vlachoudis, A. Waets, M. Widorski. New capabilities of the FLUKA multi-purpose code. *Frontiers Phys.* 9 (2022) 788253.
  19. J. Punnoose, J. Xu, A. Sisniega, W. Zbijewski, J. H. Siewerdsen. spektr 3.0-A computational tool for x-ray spectrum modeling and analysis. *Med. Phys.* 43 (8) (2016) 4711-4717.
  20. A. J. Einstein, M. J. Henzlova, S. Rajagopalan. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 298 (3) (2007) 317-323.
  21. D. Manning. The risk of cancer from radiography. *Radiography* 10 (3) (2004) 171-172.
  22. Y. -H. Shao, K. Tsai, S. Kim, Y. -J. Wu, K. Demissie. Exposure to tomographic scans and cancer risks. *JNCI Cancer Spectr.* 4 (1) (2020) pkz072.