



# بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## طراحی باریکه مدادی شکل پرتو ایکس جهت سیستم تصویربرداری به روش پس پراکندگی

سپیده سادات عظیمی<sup>(۱)</sup>، فائزه رحمانی<sup>(۲)</sup>، اسماعیل بیات<sup>(۳)</sup>، وحید دوست محمدی<sup>(۳)</sup>

<sup>(۱)</sup> دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

<sup>(۲)</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>(۳)</sup> سازمان انرژی اتمی، پژوهشکده علوم و فنون هسته‌ای

### چکیده:

کاربرد سیستم‌های تصویربرداری مبتنی بر ایکس پس پراکنده در حال گسترش بوده و علیرغم قیمت بسیار بالاتر نسبت به سیستم‌های ایکس عبوری، به علت مزایای خاص آنها، تحقیق و توسعه آنها همچنان ادامه دارد. اجزای اصلی این سیستم‌ها لامپ ایکس، چرخ چاپر و آشکارساز می‌باشد که تولید باریکه ایکس مدادی شکل از پیچیدگی‌های این سیستم به شمار می‌رود. در این تحقیق با استفاده از کد MCNPX2.6، چرخ برشگر با قطرهای مختلف کانال شبیه‌سازی و بررسی شد. پارامترهای مختلف از جمله FWHM و میزان باز شدگی باریکه‌ی ایکس بعد از خروج از کانال چرخ برشگر در فواصل مختلف از چشمه محاسبه و روابطی جهت محاسبه سریع این پارامترها ارائه شد.

**کلمات کلیدی:** پرتو ایکس، پس پراکندگی، تصویربرداری، چرخ برشگر، MCNPX2.6

### مقدمه

امروزه روش‌های مختلف تصویربرداری اشعه X برای بازرسی از کانتینرها، وسایل نقلیه، انسان، چمدان و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های تصویربرداری ایکس معمولاً به دو دسته سیستم‌های عبوری و پس پراکندگی تقسیم می‌شوند. در سیستم‌های عبوری از پرتو با مقطع بادبزی<sup>۱</sup> و نیز پرتوهای ایکس flyingspot استفاده می‌شود که در این نوع سیستم‌ها چشمه و آشکارساز در دو طرف جسم مورد بررسی، قرار می‌گیرند. اما در سیستم‌های مبتنی بر پس پراکندگی ایکس، پرتوهای خارج شده از جسم توسط آشکارسازهای بزرگ که در همان سمت سیستم منبع اشعه X قرار دارد، جمع آوری می‌شوند<sup>[۱]</sup>. لذا هنگامی که جسم مورد نظر بزرگ یا حجیم باشد و یا در نزدیکی دیواری قرار گیرد، سیستم‌های قابل حمل پرتو ایکس پس پراکنده می‌تواند به عنوان یک راهکار مناسب برای بازرسی یک جسم مشکوک باشد<sup>[۲]</sup>. سیستم بازرسی خودرو مبتنی بر روش ایکس پس پراکنده که در یک خودرو ون قرار داده می‌شوند، بسیار مورد توجه هستند؛ زیرا می‌توانند در موقعیت‌هایی مورد استفاده قرار گیرند که سیستم‌های ایکس عبوری کارایی ندارند<sup>[۳]</sup>.

اساس کار سیستم‌های ایکس پس پراکنده مبتنی بر FlyingSpot، اسکن جسم توسط یک باریکه مدادی شکل پرتو ایکس و دریافت پرتوهای ایکس پس پراکنده توسط آشکارسازهای بزرگ تشکیل

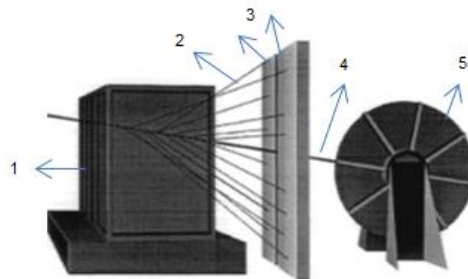
<sup>۱</sup>Fan beam



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و انشگاه اصفهان

است. تبدیل پرتو مخروطی گسیل شده از لامپ به یک باریکه موازی و مدادی شکل که پهن شدگی ناچیزی داشته باشد، در انرژی‌های بالا نسبت به انرژی‌های پایین‌تر، بخصوص برای لامپ‌های با جریان زیاد (مثلاً 10mA) مشکل‌تر است. برای ایجاد باریکه پرتودر سیستم FlyingSpot، از یک چرخ موازی‌ساز دوار بنام چرخ چاپر یا برشگر استفاده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است [۶]. چرخ برشگر معمولاً از سرب ساخته می‌شود تا به حد کافی نسبت به پرتوهای ایکس غیرشفاف باشد. علاوه بر این ضخامت این چرخ نیز باید برای متوقف نمودن غالب پرتوهای ایکس تولید شده توسط لامپ کافی باشد. از همین رو این چرخ بسیار سنگین و وزین است. لذا به حداقل رساندن ابعاد این موازی‌ساز جهت امکان‌پذیری گردش آن در دوره‌های مشخص بسیار ضروری خواهد بود [۶]. در این تحقیق، در طراحی چرخ چاپر، عواملی چون ابعاد پیکسل تصویر ایجاد شده، فاصله جسم تا خروجی باریکه، شدت مورد نیاز باریکه در محل برخورد با جسم، هزینه‌ی ساخت، وزن کمتر ، ... در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱. سیستم بازرسی ایکس پس‌پراکنده (۱ جسم ۲) پرتوهای بازگشتی از جسم (۳) آشکارسازهای پس‌پراکنده (۴) باریکه مدادی (۵) چرخ چاپر

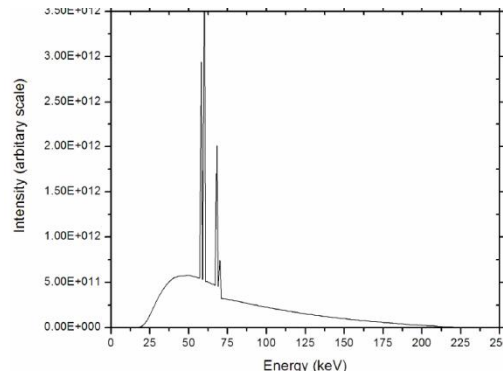
## روش کار

سیستم تصویربرداری مورد نظر این تحقیق برمبنای استفاده از یک لامپ 225kV با جریان 10mA می‌باشد. این لامپ حدود  $2.1 \times 10^{14}$  فوتون در ثانیه تولید می‌کند. طیف حاصل از این لامپ با استفاده از شبیه‌سازی فرآیند تولید ایکس توسط کد MCNPX 2.6 محاسبه شده است (شکل ۲). همین‌طور ضخامت مورد نیاز جهت تضعیف پرتو ایکس با طیف انرژی 225kV شبیه‌سازی و ضخامت مورد نیاز با توجه به در نظر گرفتن تعداد فوتون خروجی از لامپ ۳ سانتی‌متر محاسبه شد. بنابراین لازم است اطراف لامپ، بجز ناحیه ۹۰ درجه خروجی پرتو، حداقل با 3cm سرب پوشانده شود. در مرحله بعد تعدادی کانال روی یک چرخ دوار، مطابق شکل ۱، بصورت متقارن جهت تولید باریکه مدادی شکل پرتو ایکس بایستی طراحی شود تا هنگامی که از مقابل ناحیه خروجی پرتو عبور می‌کنند، پرتو باریکی از ایکس از آن خارج شود. بدیهی است که مشخصات کانال‌ها مانند طول کانال و قطر روزنه خروجی بر ابعاد پیکسل تصویر ایجاد شده اثر گذاشته و در نتیجه نوع کاربرد سیستم تصویربرداری را تعیین می‌کند.

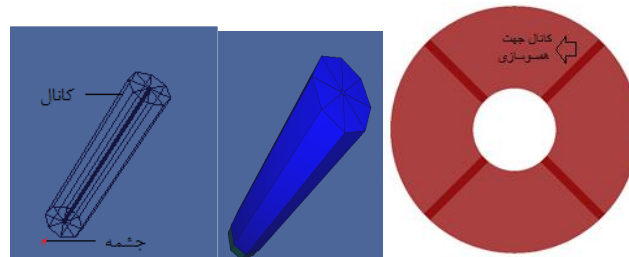


# بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و دانشگاه اصفهان



شکل ۲. طیف شبیه سازی شده لامپ ایکس 225kV



شکل ۳. کانال شبیه سازی شده با طول و با قطرهای مختلف و زوایای خروجی

جهت تعیین ابعاد پیکسل و نیز شدت باریکه در محل جسم، یک استوانه توپر از سرب با قطر خارجی ۶ سانتی‌متر و کانال هوا با قطرهای متفاوت از ۰.۵ تا ۲ میلی‌متری در مرکز شبیه‌سازی شد. چشمه ایکس با مساحت بسیار کم در ابتدای کانال با زاویه تابش ۹۰ درجه در نظر گرفته شد. همچنین در فواصل مختلف از چشمه (۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵) ارتفاع کانال (سانتی‌متر) در صفحه‌ای با مش‌بندی در راستای عمود بر باریکه تعداد ذرات ثبت شده محاسبه شد. برای تعیین ارتفاع کانال نیز طول‌های ۳ تا ۱۰ سانتی‌متری (با گام یک سانتی‌متر) مورد بررسی قرار گرفت. در کلیه حالات ذکر شده پارامترهای FWHM به عنوان معیاری از SNR<sup>۲</sup> و پهن شدگی به عنوان معیاری از PSF<sup>۳</sup> و شدت فوتون رسیده به جسم محاسبه و بررسی شد. شکل سه‌بعدی پرتوهای رسیده در فواصل مورد نظر با تبدیل داده‌های حاصل از مش تالی در MCNPX به داده‌های عددی بدست آمد. سپس بر اساس نمودار شبه گوسی ایجاد شده، FWHM که معیاری از ابعاد پیکسل بشمار می‌آید، محاسبه شد. پهن شدگی یا میزان بازشدگی باریکه بعد از بیرون آمدن کانال همسوساز هم با استفاده از پروفایل میانی همین داده‌ها حاصل شد. پس از شبیه‌سازی کانال‌ها با پارامترهای تعریف شده، توسط برآش روی نتایج، روابطی جهت تعیین طول و قطر کانال همسوساز متناسب با ابعاد پیکسل و شدت فوتون در محل جسم بدست آمد که محاسبات را بسیار ساده می‌کند. نسبت این دو پارامتر به هم یعنی "بیشترین شدت پرتو" به "توان دوم کمترین FWHM" برای تعیین حالت بهینه همسوساز در نظر گرفته شد. علاوه بر حالات ذکر شده، تفاوت کانالها

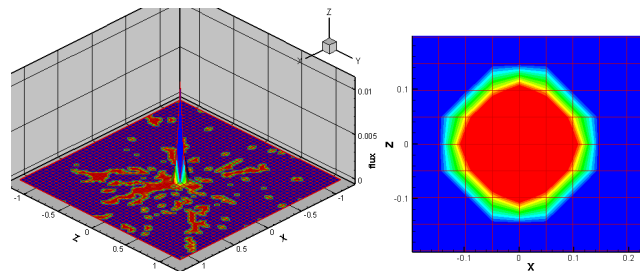
<sup>۲</sup>Signal to Noise Ratio

<sup>۳</sup>Point Spread Function

مقطع‌های دایروی و مربعی نیز بررسی گردید. خطای محاسبات در این طراحی‌ها در حد قابل قبول و کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد.

## نتایج

نمایی سه بعدی از پرتوهای رسیده در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه‌در شکل ۵ **Error! Unknown switch argument.** نمایش داده شده است.



شکل ۵. (راست): شکل نوعی سه بعدی از خروجی یک کانال همسوساز مقطع باریکه ایکس خروجی از کانال بطول ۷ سانتی‌متر و با قطر روزنه ۰.۱ سانتی‌متر، (چپ): تصویر ایجاد شده در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از چشمه

در **Error! Unknown switch argument.** نمونه‌ای از نتایج شبیه‌سازی FWHM و شدت باریکه برخوردی به ازای قطرها و طول‌های متفاوت کانال چرخ برشگر، در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری از چشمه نشان داده شده‌است. نتایج برای تمامی فواصل جسم از چشمه، روند یکسانی دارد. در شکل ۷ نسبت شدت باریکه به توان دوم FWHM رسم شده است. با توجه به این نمودار می‌توان هر حالت را با بهینه‌ترین حالت (طول کانال 10cm و قطر روزنه 0.5mm) مقایسه نمود. با استفاده از برآزش به روش حداقل مربعات، توابع FWHM و همچنین شدت باریکه ایکس بر حسب طول کانال و قطر روزنه در فواصل مختلف از چشمه بصورت ذیل تعیین گردید. لذا با داشتن این معادلات می‌توان در هر فاصله-ای برای کاربردهای مختلف FWHM و شدت را محاسبه و تصویربرداری انجام داد.

$$\ln(FWHM(15cm)) = -1.4677 - 0.3771x + 0.0150x^2 + 0.0042xy + 2.0161y - 0.4379y^2$$

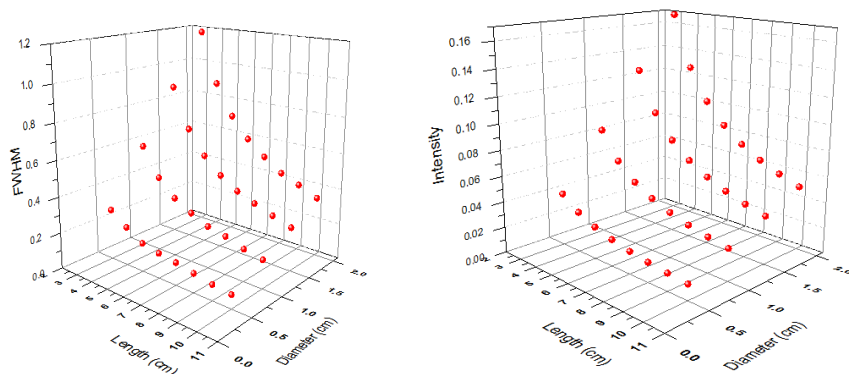


# بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکم ایران

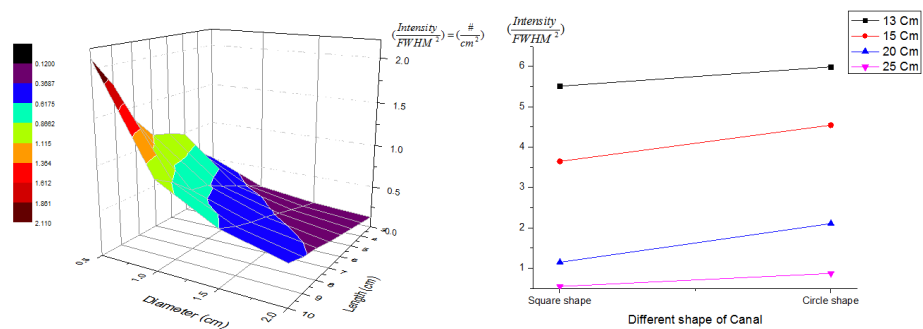
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

Ln(FWHM)

در حالت بهینه (طول همسوساز 10cm و قطر روزنه 0.5mm) کانال با مقطع دایره، کانال با مقطع مربعی قرار داده شد (Error! Unknown switch argument.) که باعث افزایش شدت و FWHM می شود. بنابراین کانال استوانه‌ای (مقطع دایره) ارجحیت دارد. در مجموع با توجه به محاسبات انجام شده، ابعاد چرخ چاپر و حفاظها، نمونه‌ای از سیستم تصویربرداری ایکس پس پراکنده مطابق شکل ۹ ارائه گردید. با تغییر قطر روزنه، امکان تغییر سرعت و کیفیت سیستم تصویربرداری میسر است.



شکل ۶. اثر قطر و طول کانال بر شدت پرتو رسیده به جسم و FWHM باریکه در فاصله‌ی 20 سانتی متری از چشمه



شکل ۸. تغییرات نسبت شدت به FWHM باریکه ایکس در فواصل مختلف از چشمه برای طول همسوساز 10cm و قطر

شکل ۷. نمودار نسبت بیشترین شدت پرتو به توان دوم کمترین FWHM باریکه در طول ها و قطر روزنه‌های

