

## تغییراتی در یک PET Scanner برای انجام PEPT

علیرضا صدر ممتاز

رشت-دانشگاه گیلان- خیابان نامجو-دانشکده علوم پایه-گروه فیزیک-کد پستی ۱۹۱۴-۴۱۳۳۵

۰۱۳۱-۳۲۲۰۹۱۲ Email:sadre\_momtaz@yahoo.com ،Sadremomtaz@guilan.ac.ir.

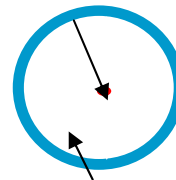
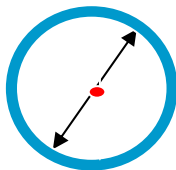
### چکیده:

PET یک روش تشخیصی است که بر مبنای آشکارسازی همزمان دو فوتون که از واپاشی پوزیترون ترکیب شده با الکترون تولید شده است قرار دارد. تعداد بسیار زیادی دستگاه PET در جهان وجود دارند. در طول مدت ۳۰ سال گذشته مرکز تصویر برداری پوزیترون دانشگاه بیرمنگام تنها مرکزی است که از PET در صنعت استفاده کرده است. این موضوع به گسترش تکنیک دیگری به نام PEPT انجامیده است.

در سال ۲۰۰۲ بیمارستان HAMMERSMITH در لندن یک دوربین تصویر برداری بنام ECAT 931 را به مرکز تصویر برداری دانشگاه بیرمنگام هدیه نمود تا از آن برای مطالعه PEPT استفاده شود. مقایسه خصوصیات ECAT 931 با دوربین ADAC که در مرکز تصویر برداری دانشگاه بیرمنگام موجود است نشان میدهد که دوربین جدید قابلیت شمارش حادثه های بیشتری را دارد. بنابراین با این دوربین بهتر و دقیقتر میتوان در سرعتهای بالاتر نره را دنبال کرد. همچنین بخاطر اینکه بر خلاف دوربین ADAC (که از دو کریستال بزرگ  $NaI(Tl)$  تشکیل شده است) دوربین جدید از ۳۲ قالب بسته هایی که هر یک را باکت (Bucket) نامیده ایم و هر یک از این باکتها به صورت قطعات کوچک  $4 \times 8$  از کریستالهای BGO تشکیل شده است بنابراین میتوان با چیدمان جدید این باکتها از این دوربین در مطالعه سیستمهای بزرگ بهره گرفت.

### ۱-مقدمه

PET یک روش عکسبرداری هسته ای است که بر مبنای آشکارسازی زوج پرتوهای گامایی است که در اثر ترکیب پوزیترون با الکترون، با زاویه  $180^\circ$  نسبت به یکدیگر تولید می شوند (شکل ۱). آشکارسازی این دو فوتون به صورت همزمان (که معروف به حوادث واقعی است) خطی را تعریف می کند که از نزدیکی محل واپاشی پوزیترون و الکترون می گذرد (شکل ۲). با آشکارسازی تمام زوج پرتوهای گاما در جهات مختلف سیستم و استفاده از روش بازسازی تصویر، می توان سطح مقطع توزیع ماده رادیواکتیو را داخل سیستم جستجو کرد.



شکل ۱- دو پرتو گاما با زاویه ۱۸۰

شکل ۲- بازسازی تصویر و تعیین مکان واپاشی

PET کاربرد گسترده‌ای در پزشکی برای تشخیص رشد تومورها دارد. از این تکنیک در دانشگاه بیرمنگهام برای سیستم‌های مهندسی نیز استفاده می‌شود. علاوه بر این، تکنیک دیگری بنام PEPT [۱] که در این دانشگاه اختراع شده است. در PEPT؛ برخلاف PET بجای استفاده از مایع پوزیترون ساطع کننده پوزیترون، از یک ذره اکتیو شده که از خود پوزیترون ساطع می‌کند استفاده می‌شود. در اثر واپاشی پوزیترون با الکترون حوادث متفاوتی ایجاد می‌گردد. اگر فقط حوادث واقعی را بشماریم در این صورت آشکارسازی دو حادثه برای تعیین محل واپاشی کافی است (شکل ۲). اما در عمل یک بخش بزرگی از حوادث شمارش شده، زاید (Corrupt) می‌باشند. این حوادث عبارتند از: ۱- حوادث اتفاقی (Random events): که مربوط به دو پرتوگامای مرتبط به دو واپاشی مختلف می‌باشند که در واحد زمانی آشکارساز شمرده می‌شوند. ۲- حوادث پراکنده شده (Scatter events) که مربوط به دو یا یک پرتوگامایی است که بعد از واپاشی، پراکنده شده و در واحد زمانی آشکارساز شمرده می‌شوند.

این حادثه‌های زاید؛ پراکندگی دارند، بنابراین اگر به تعداد کافی حادثه شمرده شود در این صورت می‌توان خوشه حوادث واقعی را از زمینه ناشی از حوادث زاید تشخیص داد و سپس مکان تقریبی ذره اکتیو را تعیین کرد. در الگوریتم PEPT سعی می‌شود که با محاسبه مرکز ثقل، حوادث زاید به وسیله مرحله تکرار حذف شوند و این عمل آتقدر تکرار می‌شود تا مضربی از حوادث شمارش شده اولیه باقی بماند. بنابراین مکان تقریبی ذره نشان دار به

وسيله رابطه 
$$\Delta \cong \frac{\delta}{\sqrt{N_f}}$$
 بدست خواهد آمد که در این رابطه  $N_f = fN$  است و  $N_f$  مقدار نهایی زوج پرتوهای گاماهایی است که در محاسبات نهایی، بعد از دور ریختن پرتوهای زاید مورد استفاده قرار گرفته است و  $\delta$  جداسازی فضایی دستگاه است. [2]

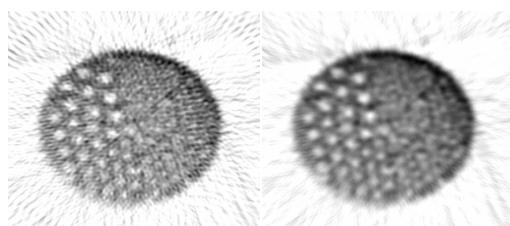


## ECAT Scanner-2

در سال ۱۹۹۷ در دانشگاه بیرمنگهام، تکنیک PEPT بر روی دوربین ADAC که شامل دو دکتور بزرگ  $\text{NaI(Tl)}$  است مورد استفاده قرار گرفت. این کار تحقیقی است بر روی امکان سوار کردن تکنیک PEPT بر روی دوربین دیگری بنام ECAT 931. این دوربین شامل ۳۲ دکتور باکت (Bucket) است. هر باکت شامل ۴ کریستال بیسموت ژرمانیوم است. که هر کریستال بیسموت ژرمانیوم به  $8 \times 4$  قطعه کوچک بیسموت ژرمانیوم تقسیم میشود. بنابراین در کل این اسکنراز ۴۰۹۶ قطعه بیسموت ژرمانیوم تشکیل شده است. مقایسه این اسکنر با اسکنر ADAC دو مزیت بزرگ را برای قابلیت بخشی به این سیستم برای انجام PEPT نشان میدهد. اول آنکه بیسموت ژرمانیوم دانسیته بیشتری نسبت به  $\text{NaI(Tl)}$  دارد بنابراین حساسیت برای آشکارسازی گاما توسط آن به مراتب بیشتر از ADAC است. این بدان معنی است که ECAT، آهنگ شمارش بسیار بیشتری نسبت به ADAC خواهد داشت یعنی دقیقتر میتوان عمل Track را انجام داد. و دوم اینکه ساختار ECAT این امکان را میدهد که بتوان آن را به اسکنری با قابلیت هندسی متحرک تبدیل کرد تا بتوان تکنیک PEPT را برای سیستمهای بزرگ توسط آن انجام داد.

### PET, PEPT-3 در سیستم اولیه

پس از اینکه ECAT از بیمارستان به دانشگاه منتقل شد نصب و راه اندازی مجدد آن آغاز گردید. نتایج اولیه از تست باکتهای نصب شده در آرایش حلقوی ECAT (آرایش اولیه) به صورت زیر است. نخست از یک فانتوم استفاده شد که از پرسپکس ساخته شده و شامل تعدادی میله است که دارای قطرهای ۴ تا ۱۲ میلیمتر میباشد. این فانتوم بوسیله ۶ لیتر آب مخلوط شده با  $^{18}\text{F}$  با اکتیویته 91MBq پر میشود. شکلهای زیر دو تصویر PET بدست آمده بوسیله این دوربین را نشان میدهد. همچنین تصویر بدست آمده از یک منبع خطی نشان میدهد که جداسازی فضایی این اسکنر تقریباً حدود ۹ میلیمتر است.



شکل ۵- دو تصویر از فانتوم

سپس سیستم جمع آوری داده‌ها را طوری تغییر می‌دهیم تا بتوان تکنیک PEPT را با این دوربین انجام داد و اولین آزمایش PEPT را بوسیله قرار دادن یک منبع نقطه ای ( $^{18}\text{F}$ ) با اکتیویته  $37 \text{ MBq}$  بر روی یک چرخ دوار که با سرعت ۳,۴ دور در ثانیه (۲ متر بر ثانیه) حرکت می‌کند انجام داده ایم. برای این منبع نقطه ای ۷۰ هزار حادثه PEPT در ثانیه شمارش میشود که تقریباً ۲۷۰ بار مکان را در هر ثانیه با دقتی حدود ۱,۳ میلیمتر مشخص میکند. این محاسبات مربوط است به انتخاب  $N=250$ ,  $f=0.3$ .

#### 4- چهار چوب جدید

همانطور که بیان شد تعداد قطعات کریستالی ECAT پیشنهاد می‌کند که میتوان آن را دوباره در یک هندسه جدید چید. برای این منظور یک چهار چوب جدید طراحی شد که شامل دو مکعب مستطیل طبقه طبقه ای است که هر طبقه آن دو باکت را در خود جای میدهد. این طبقه ها در راستای عمودی میتوانند تنظیم شوند. عکسی از این چهار چوب جدید در شکل زیر نشان داده شده است. هر نیم این چهار چوبها دو ستون از این

باکت ها را در خود جای میدهد که فاصله مراکز آنها

۳۸۰ میلیمتر با فاصله ۱۸۰ میلیمتر بین آنهاست. فا

صله مراکز این باکتها بطور عمودی در هر مکعب

مستطیل حدود ۱۰۰ میلیمتر با فاصله ۴۴ میلیمتر بین

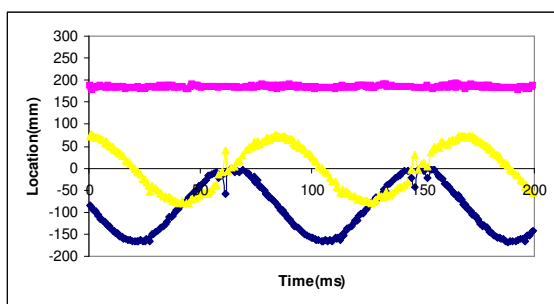
آنهاست.



شکل ۶- عکسی از یک چهار چوب با ۶ باکت

در مرحله اول آزمایش ۱۴ باکت با آرایش ۸ باکت در یک مکعب مستطیل و ۶ باکت در یک مکعب مستطیل دیگر مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل 7 یک بخش کوچک از نتایج را که برای یک منبع نقطه ای ( $^{18}\text{F}$ ) با اکتیویته  $37 \text{ MBq}$  که روی یک صفحه دوار به شعاع  $75$  میلی‌متر قرار دارد نشان میدهد. این صفحه  $12$  دور در ثانیه ( $6$  متر بر ثانیه) میچرخد. متوسط آهنگ شمارش بدست آمده برابر  $120000$  حادثه در ثانیه است. با استفاده از انتخاب  $N=100$  و  $f=0.3$  مکان ذره در هر  $850$  میکرو ثانیه یکبار مشخص می‌شود.

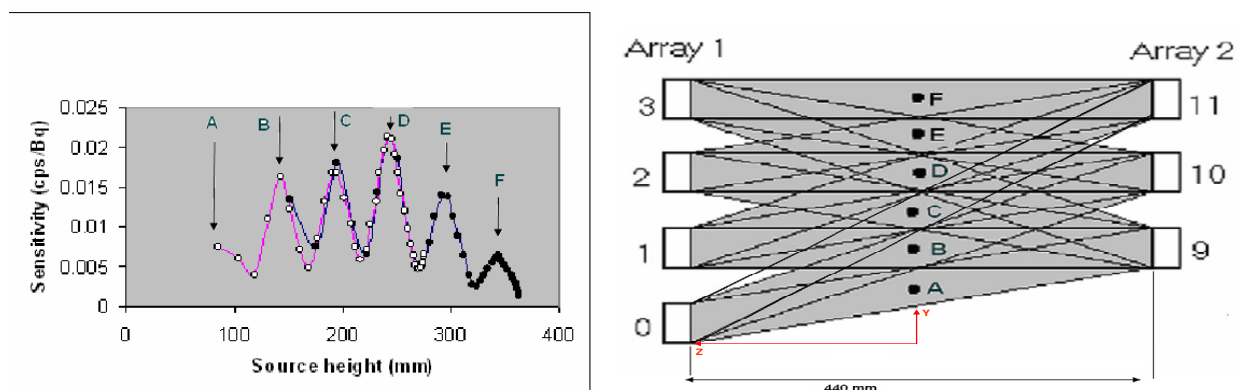


شکل ۷ مکانهای تولید شده بوسیله الگوریتم PEPT ناشی از صفحه دواری که در صفحه x,y میچرخد

برنامه Excel نشان میدهد که بهترین نمودار قابل سوار کردن بر روی این نمودار وقتی است که حدود  $9$  میلی‌متر در سه بعد انحراف از معیار داشته باشیم. افزایش آهنگ شمارش بدلیل حذف Septa از سیستم است اما این خطای بزرگ ناشی از این است که وقتی منبع نزدیک یکی از طبقه‌ها قرار میگیرد به دلیل نامتقارن بودن تعداد باکتها، تعداد کمی داده همزمان میتواند جمع آوری شود. اگر آهنگ شمارشی که توسط باکتها بی که در قسمت مقابل باکتی وجود ندارد را حذف کنیم در این صورت مقدار انحراف از معیار  $4$  میلی‌متر بدست می‌آید.

### ناحیه های حساس برای چهار چوب جدید

سپس یک منبع نقطه ای شامل  $^{18}\text{F}$  بر روی یک بالابرنده قرار داده میشود و این منبع در راستای عمود در روی محور این قفسه‌ها حرکت داده میشود. شکل ۸ (سمت چپ) هندسه قرار گرفتن دو ناحیه و شکل سمت راست ناحیه های حساس بدست آمده را نشان میدهد. ناحیه ای با حساسیت بیشتر ناحیه ای است که در مرکز بین باکتها قرار دارد و ناحیه کمتر حساس ناحیه ای است که در گوشه های دتکتور قرار دارد.



شکل ۸- نمای روبرو برای ترکیب باکتها با یکدیگر (سمت راست) -نتایج بدست آمده از محاسبه حساسیت بر حسب ارتفاع کمترین ناحیه حساس در A و F واقع است جایی که دتکتورهای (۰+۹) در A و دتکتورهای (۱۱+۳) در F مشارکت میکنند. و ناحیه حساسیت بزرگ ناحیه ای است مانند D که در آن باکتهای زیر با هم مشارکت میکنند (۳+۹ و ۲+۱۰ و ۱+۱۱). تمام حساسیتهای بدست آمده بیشتر از حساسیتهای بدست آمده در حالتی است که باکتها در آرایش اولیه خود در روی حلقه قرار داشتند. و این به دلیل برداشتن Septa است.

### نتیجه

نتیجه اولیه از بازسازی ECAT 931 نشان میدهد که این دوربین دارای قابلیت بالا برای مطالعه PEPT است. مطالعه تکنیک PEPT بر روی ECAT نشان از قابلیت این تکنیک برای پیاده شدن بر روی دوربینهای دیگر دارد. استفاده از ۱۴ باکت (از مجموع ۳۲ باکت) میدان دیدی به ابعاد  $۴۵ * ۳۰ * ۶۰ \text{ cm}^3$  ایجاد کرده است که قابلیت شمارش ۱۲۰۰۰۰ حادثه را دارد. میتوان با بهینه کردن الگوریتم PEPT و کاهش فاصله بین دتکتورها تا حد امکان نتایج به مراتب بهتری برای دنبال کردن ذرات نشاندار شده بدست آورد. همچنان که دیده میشود چیدمان جدید میدان دید بزرگتری ایجاد کرده است که در نمودار مربوط به ناحیه حساس دیده میشود این موضوع به کاهش حجم ناحیه حساس منتهی میشود که میبایستی با بهینه کردن برنامه PEPT، حوادث نواحی کمتر حساس را نیز در محاسبات برای کاهش انحراف از معیار (و در نتیجه بهتر تعیین کردن مکان ذره) در محاسبات وارد کرد.



## References

- 1- Forster R.N, Seville J.P.K, Parker DJ & Ding Y, Tracking Single Particles in Process Equipment or Probing Processes Using Positrons, KONA, No18 (2000)139-148
- 2- Parker DJ, Forster R.N, Fowles P and Takhar,P.S, Positron Emission Particle Tracking Using the New Birmingham Positron camera, Nuclear Instruments & methods in physics research A 477(2002)540-545