دانشگاه زنجان
دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای

موضوع:

بررسی تولید رادیو ایزوتوپ گالیم-۶۸ تحت واکنش $^{68}Zn(p,n)^{68}Ga$

اساتید راهنما

دکتر طیب کاکاوند

دکتر مهدی صادقی

استاد مشاور

دکتر سعید رجبی فر

نگارنده

لیلا مختاری اورنج

دی ۱۳۸۷

بسم الله الرحمن الرحيم

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس فراوان به درگاه خدای متعال که مرا برای کسب علم و دانش بیشتر یاری نمود.

با تشکر از پدر، مادر و همسر مهربانم.

با تشکر از زحمات فراوان و راهنمایی های پربار اساتید عزیزم جناب آقای دکتر طیب کاکاوند، جناب آقای دکتر مهدی صادقی و جناب آقای دکتر سعید رجبی فر.

با تشکر از همکاریهای صمیمانه بخش سیکلوترون و رادیوایزوتوپ پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی هسته ای و صنعتی کرج.

تقدیم به:

تمام بیمارانی که تنها امیدشان خداست

«....

ما موجودات فانی چه وضع و تکلیف خارق العاده ای در اینجا داریم؟ ما که همه برای مدت کوتاهی در این کهنه سرا مقیمیم، گرچه گاهی این وضعیت و موقعیت ممتاز را از نزدیک حس می کنیم: چرا هیچ از آن درک نمی نماییم؟ به همین زندگی روزانه بنگرید نه دورتر و نه عمیق تر، محققا درک خواهید کرد که ما به خاطر همنوعانمان زندگی می کنیم. روزی چند بار به خاطرم می گذرد که زندگی درونی و بیرونی، ظاهری و باطنیم بکار همه انسانها یعنی آنها که هنوز راه می روند و آنها که خاک شده اند بستگی دارد. حس می کنم که با تمام نیروی خودم باید بکوشم که شاید دین عظیمی را که بر گردن دارم و هر روز هم سنگین تر می شود ادا کنم.

من هرگز خوشی و لذت را بعنوان هدف غایی حیات نشناخته و این اصل را به هدف یک گله خوک وحشی شبیه تر می دانم. عقایدی که راه مرا در زندگی روشن کرد و همه وقت در مواجهه با مشکلات حیات، دلیر از آنها بوده ام، حقیقت، نیکوکاری و زیبایی بوده اند.»

آلبرت اینشتاین

از کتاب: دنیایی که من می بینم

چکیده:

گالیم-۶۸ یکی از رادیوایزوتوپ های مهم گسیلنده پوزیترون است که در تصویر برداری PET[1] برای تشخیص تومور و بافت سرطان در پزشکی هسته ای مورد استفاده قرار می گیرد. در این پروژه تابع برانگیختگی گالیم-۶۸ توسط دو کد محاسباتی ALICE-91 وTALYS-1.0 برای واکنش های هسته ای $^{68}Zn(p,n)^{68}Ga$، $^{68}Zn(d,2n)^{68}Ga$، $^{70}Zn(p,3n)^{68}Ga$ و $^{65}Cu(\alpha,n)^{68}Ga$ بررسی شده است. پارامترهای تولید گالیم-۶۸ (ضخامت هدف مورد نیاز و بازده تولید گالیم-۶۸) برای واکنش های هسته ای ذکر شده، تعیین گردید. بهترین واکنش با توجه به شرایط موجود و پارامترهای تولید محاسبه شده، انتخاب گردید. جهت آماده سازی هدف، آبکاری روی در حمام سیانیدی انتخاب و با آزمایش های متعدد بهترین شرایط آبکاری (دما، pH، شدت جریان و میزان ترکیبات حمام) تعیین شد. برای ۲/۷ گرم در لیتر اکسید روی، ۷/۱ گرم در لیتر سیانید پتاسیم و ۱۱/۱ گرم در لیتر هیدروکسید پتاسیم در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد، pH ۱۴-۱۳ و چگالی جریان ۸/۵۵ میلی آمپر در سانتی مترمربع نیاز است. بازده جریان این حمام ۸۹٪ می باشد. روش های مختلف جداسازی گالیم از روی و مس مطالعه و در بین آنها روش رسوب دهی انتخاب و انجام شد و بهترین شرایط تعیین گردید. در پایان گالیم-۶۸ تحت واکنش مستقیم $^{68}Zn(p,n)^{68}Ga$ طی یک مرحله تولید گردید. هدف روی-۶۸ با شدت جریان باریکه پروتونی ۱۵۰ میکروآمپر به مدت ۱۵ دقیقه بمباران شده و پس از انحلال، گالیم-۶۸ تولید شده از ناخالصیهای غیر ایزوتوپی به وسیله ستون کروماتوگرافی جدا گردید.

[1].Positron Emission Tomography

عنوان شماره صفحه

فصل اول: گالیم-۶۸ و کاربردهای آن

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ اثرات گالیم در سلامتی انسان ۴
۱-۳ اثرات زیست محیطی گالیم ۴
۱-۴ کاربرد ها و مزایای گالیم-۶۸ ۶

فصل دوم: تعیین پارامترهای تولید گالیم-۶۸

۲-۱سطح قطع ۹
۲-۲ معرفی کدهای محاسباتی ALICE91 وTALYS1.0 ۱۰
۲-۳ بررسی سطح مقطع (احتمال واکنش) گالیم-۶۸ از طریق واکنش های مختلف ۱۱
۲-۳-۱ بررسی تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{70}Zn(p,3n)^{68}Ga$ ۱۴
۲-۳-۲ بررسی تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{68}Zn(d,2n)^{68}Ga$ ۱۵
۲-۳-۳ بررسی تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{65}Cu(\alpha,n)^{68}Ga$ ۱۶
۲-۳-۴ بررسی تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{68}Zn(p,n)^{68}Ga$ ۱۷
۲-۳-۵ بررسی تولید گالیم-۶۸ تحت واکنش غیر مستقیم $^{69}Ga(p,2n)^{68}Ge\rightarrow^{68}Ga$ ۱۸
۲-۴ محاسبه ضخامت هدف ۲۰
۲-۴-۱ توان ایستانندگی ۲۰
۲-۵ محاسبه بهره تولید گالیم-۶۸ ۲۳

عنوان شماره صفحه

فصل سوم: طراحی هدف به منظور تولید گالیم-۶۸

۳-۱ مقدمه ۲۶
۳-۲ آبکاری الکتریکی ۲۷
۳-۲-۱ هدایت الکتریکی محلول ۲۷
۳-۲-۲ کاتد و آند ۲۷
۳-۲-۳ الکترولیت ۲۸
۳-۲-۴ الکترولیز ۲۸
۳-۲-۵ قوانین الکترولیز ۲۸
۳-۲-۶ راندمان آند ۲۹
۳-۲-۷ تشکیل رسوب فلز ۲۹
۳-۳ انواع حمامهای آبکاری روی ۳۰
۳-۳-۱حمام های غیر سیانیدی قلیایی ۳۰
۳-۳-۲ حمام های اسیدی ۳۰
۳-۳-۳ حمام های سیانیدی ۳۰
۳-۳-۳-۱ پوشش حاصل از حمام های سیانیدی ۳۱
۳-۴ وسایل استفاده شده در آبکاری الکتروشیمیایی به روش سیانیدی ۳۲
۳-۵ تشریح ظرف آبکاری ۳۲
۳-۶ آزمایش های آبکاری ۳۴
۳-۶-۱آماده سازی زیرلایه مسی ۳۴
۳-۶-۲ بررسی دانسیته جریان ۳۴
۳-۶-۳ بررسی اثر pH ۳۵
۳-۶-۴ بررسی اثر دما ۳۶
۳-۶-۵ بررسی غلظت فلزروی ۳۶
۳-۶-۶ بررسی غلظت پتاسیم هیدروکسید ۳۷
۳-۶-۷ بررسی غلظت پتاسیم سیانید ۳۸

عنوان شماره صفحه

۳-۷ کنترل کیفی هدف..... ۳۸
۳-۷-۱ بررسی ریخت شناسی هدف..... ۳۹

فصل چهارم: بمباران هدف و تلخیص گالیم-۶۸

۴-۱بمباران هدف..... ۴۳
۴-۲ جداسازی شیمیایی گالیم از مس، روی..... ۴۳
۴-۲-۱ کروماتوگرافی تبادل یونی..... ۴۳
۴-۲-۲ استخراج حلالی..... ۴۴
۴-۲-۳ رسوب و همرسوبی..... ۴۵
۴-۲- ۴الکترولیز..... ۴۶
۴-۳ بررسی روش های جداسازی انجام شده برای جداسازی گالیم از روی و مس..... ۴۶
۴-۴ جداسازی گالیم از روی و مس در کار حاضر..... ۴۸
۴-۴-۱ بازیابی گالیم به روش ستون کروماتوگرافی..... ۴۸
۴-۴-۲ بازیابی گالیم به روش رسوب دهی..... ۴۸
۴-۵ تعیین بهره تولید و بررسی خلوص رادیونوکلیدی..... ۵۰

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱ نتیجه گیری..... ۵۵

مراجع..... ۵۸

فصل ۱

گالیم-۶۸

و

کاربرد های آن

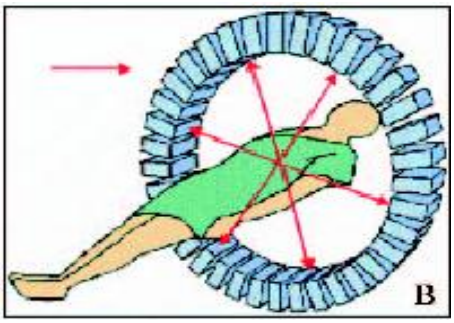
۱-۱ مقدمه

امروزه رادیوایزوتوپها نقشی مهم در زندگی بشر ایفا کرده و کاربرد وسیعی در بسیاری از رشته ها و زمینه ها دارند. رادیوایزوتوپها به طور گسترده در پزشکی، صنعت، کشاورزی و تحقیقات علمی استفاده شده و کاربردهای جدید آنها دائماً در حال توسعه است. در بسیاری از موارد جایگزینی برای رادیوایزوتوپها وجود نداشته و در بیشتر کاربردها نسبت به تکنیکها و شیوه های دیگر موثرتر و ارزانتر هستند.

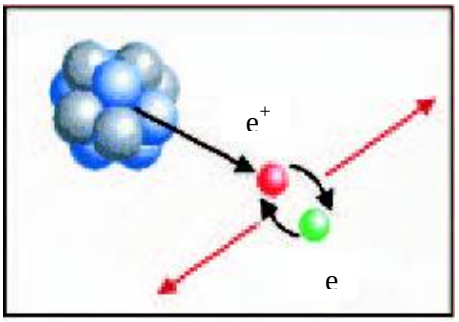
بیش از ۳۰ سال است که رادیوایزوتوپها به طور متداول در پزشکی استفاده می شوند. گئورگ دی هوسی[2] در سال ۱۹۲۳ میلادی اولین کسی بود که از رادیو ایزوتوپ ها به عنوان ردیاب در تکنیک تصویر برداری استفاده کرد[۱]. در پزشکی هسته ای، رادیونوکلیدها به ندرت در ساده ترین شکل شیمیایی شان مورد استفاده قرار می گیرند. رادیونوکلیدها با ترکیبات شیمیایی گوناگونی که به واسطه خواص بیوشیمیایی، فیزیولوژی یا متابولیکی مطلوبشان مورد توجه هستند آمیخته می شوند.

تصویر برداری PET دارای دقت، حساسیت و کیفیت بالایی می باشد. این روش توسط ترپوگوسین[3] و همکارانش در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد[۳،۲]. عناصر بیولوژیکی مانند ($^{11}C,^{13}N,^{15}O$) و رادیوهالوژن هایی مانند ($^{18}F,^{76}B,^{124}I$) و رادیو فلزاتی مانند ($^{64}Cu,^{66}Ga,^{68}Ga$) برای گسیل پوزیترون در این نوع تکنیک تصویربرداری با توجه به نیمه عمر و انرژی پرتو گسیل دهنده و خصوصیات شیمیایی استفاده می شوند [۴،۳]. PET می تواند اثرات دینامیکی مثل جریان خون را ردیابی، مشخص و ثبت نماید[۵]. در PET رادیونوکلیدهای تابش کننده پوزیترون، اشعه گاما تشعشع نمی کنند بلکه پوزیترون انرژی اش را در اثر برهم کنش با محیط اطراف در طی مسافت کوتاهی از محل تولید از دست می دهد و از ترکیب با یک الکترون، به طور همزمان دوپرتو گاما با انرژی ۵۱۱ کیلوالکترون ولت تولید می کند. این دو پرتو گاما در جهت خلاف هم (۱۸۰°) حرکت می کنند. طراحی شماتیک از دستگاهPET و نابودی زوج الکترون و پوزیترون در شکل ۱-۱ و۲-۱ نشان داده شده است.

[2].George de Hevesy
[3].Ter-Pogossian



شکل ۱- ۱طراحی شماتیک از دستگاهPET



شکل ۲-۱ نابودی زوج الکترون و پوزیترون

بیشترین کاربرد PET در زمینه تومورشناسی[۴]، قلب شناسی[۵] و عصب شناسی[۶] می باشد[۷،۶]. گالیم-۶۸ یکی از ایزوتوپهای پرتوزای عنصر گالیم است که به عنوان عامل تشخیصی و تصویربرداری به روش PET در پزشکی هسته ای کاربردگسترده ای دارد.

اولین نشانه های گالیم در طبیعت در سال ۱۸۷۱ توسط دیمیتری مندلیف به خاطر فضای خالی که در جدول تناوبی جدید عناصر ایجاد شده بود، کشف شد. گالیم در سال ۱۸۷۵ توسط شیمیدان فرانسوی Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran، با روش طیف سنجی بدست آمد. مقدار اندکی از گالیم در ژرمانیت و بوکسیت و فرآورده های حاصل از زغال سوخته یافت می شود. برخی از غبارهای حاصل از زغال دارای ۱/۵ درصد گالیم می باشند. گالیم یکی از چهار فلزی است که در شرایط دمای اتاق به حالت مایع باشد. این چهار عنصر شیمیایی عبارتند از جیوه، سزیم، روبیدیم و گالیم. گالیم خالص ظاهر نقره ای و زیبا دارد و فلز جامد آن ساختار صدفی مشابه شیشه دارد. گالیم بر روی شیشه و پرسلان به کار برده می شود و زمانیکه گالیم بر روی شیشه کشیده می شود، آینه های درخشان تشکیل می دهد. گالیم به راحتی با بسیاری از فلزات در تشکیل آلیاژها به کار می رود و سبب ساخته شدن آلیاژهای با دمای ذوب پایین می شود. گالیم به عنوان ماده ناخالص در نیمه رساناها به کار می رود و برای تولید قطعات الکترونیکی مانند ترانزیستورها و دیود های انتشار نور مورد استفاده قرار می گیرد. آرسنید گالیم می تواند مستقیماً نور لیزر را از الکتریسیته تولید کند.

[4].Oncology
[5].Cardiology
[6].Neurology

۱-۲ اثرات گالیم در سلامتی انسان

گالیم یکی از عناصری است که در بدن انسان یافت می شود، اما مقدار آن بسیار اندک است. به عنوان مثال، در بدن انسانی به جـــرم تقریبی ۷۰ کیلوگرم، حـدود ۰/۷ میلی گـــرم گالیم وجود دارد. در طبیعت تنها مقدار اندکی گالیم یافت می شود. گالیم در آب، سبزیجات و میوه ها وجود دارد. برخی از ویتامینها و آبهای معدنی مقدار اندکی گالیم دارند. این مقدار یک قسمت در میلیون است. گالیم خالص برای انسان ضرر ندارد. گالیم بر اثر حرارت دست انسان ذوب می شود. بر اثر ذوب گالیم در دست انسان فقط لکه ای بر روی پوست باقی می ماند. اگرچه مقدار اندک گالیم خطرناک نمی باشد، لیکن گالیم نباید به مقدار زیاد مصرف شود. برخی از ترکیبات گالیم بسیار خطرناک هستند.

۱-۳ اثرات زیست محیطی گالیم

یکی از مشکلات عمده ای که در ارتباط با گالیم وجود دارد این است که این عنصر شیمیایی در تسلیحات هسته ای به کار می رود و باعث آلودگیهای زیست محیطی می شود. گالیم برای نگهداری برخی از بمبهای هسته ای در گودالهای خاصی مورد استفاده قرار می گیرد. زمانیکه گودال کنده می شود، پودر اکسید پلوتونیم تشکیل می شود و گالیم در پولوتونیم باقی می ماند. این نوع پلوتونیم به عنوان سوخت غیر قابل استفاده است زیرا گالیم همراه آن به سایر عناصر تجزیه می شود. اگر گالیم حذف شود، پلوتونیم مفید خواهد بود و می توان از آن استفاده کرد. مشکلی که برای جداسازی پلوتونیم از گالیم وجود دارد این است که آلودگی رادیواکتیو وسیع آبی را سبب می شود. گالیم یکی از عناصر مفید برای استفاده در بمبهای رادیواکتیو است ولی آلودگی ایجاد می کند و آلودگی حاصل از آن اثرات مخربی برای زمین و سلامتی ساکنان آن دارد. اگر چه تلاشهای بسیاری برای برطرف کردن آلودگی آب انجام شده است اما روشهایی که برای تبدیل و تهیه سوخت پلوتونیم به کار می رود، هزینه سنگینی برابر با ۲۰۰ میلیون دلار دارد. دانشمندان برای برطرف کردن آلودگی حاصل از پلوتونیم بر روی روشهای جدیدتری کار می کنند، اما برای تکمیل این روشها زمان زیادی احتیاج است.

گالیم طبیعی شامل دو ایزوتوپ، گالیم-۶۹ با فراوانی ۶۰/۱ درصد و گالیم-۷۱ با فراوانی ۳۹/۹ درصد می‌باشد. سه رادیوایزوتوپ این عنصر(گالیم-۶۶، گالیم-۶۷ وگالیم-۶۸) در تصویربرداری پزشکی هسته ای کاربرد دارند. گالیتم-۶۷ به روش (گیراندازی الکترون) EC[7] فروپاشی نموده و دو پرتو گاما با انرژی های ۹۳/۳ و ۱۸۶ کیلوالکترون ولت همراه با دیگر پرتوهای گاما گسیل می نماید که برای عکسبرداری به روش SPECT[8] کاربرد دارد. گالیم-۶۶ و گالیم-۶۸ به روش β^+ فروپاشی نموده و برای تصویربرداری به روش PET مورد استفاده قرار می گیرند. ایزوتوپهای گالیم در جدول۱-۱ ذکر شده است.

جدول۱-۱ ایزوتوپ های گالیم **(Ga)**

نیمه عمر	عدد جرمی	نیمه عمر	عدد جرمی
h۴/۸	۷۳	s۶۱	۶۱
min۸/۱	۷۴	ms۱۱۶/۲	۶۲
s۱۲۶	۷۵	s۳۲۴	۶۳
s۳۲/۶	۷۶	min۲/۶۴	۶۴
۱۳/۲ s	۷۷	min۱۵/۲	۶۵
۵ s	۷۸	h۹/۴	۶۶
۲/۸ s	۷۹	h۷۶/۸	۶۷
۱/۶ s	۸۰	min۶۸	۶۸
۱/۲ s	۸۱	پایدار	۶۹
۰/۵ s	۸۲	min۲۱/۴	۷۰
۰/۳ s	۸۳	پایدار	۷۱
۰/۰۸ s	۸۴	h۱۴/۱	۷۲

[7].Electron Capture
[8].Single Photon Emission Computed Tomography

۱-۴ کاربردها و مزایای گالیم-۶۸

استفاده از وسایل تصویربرداری و رادیوایزوتوپهای مناسب (گسیلنده گاما یا پوزیترون) امکان کسب اطلاعات مربوط به توزیع بیولوژیکی و دزیمتری پیش بالینی غیرتهاجمی را فراهم می سازد. گالیم-۶۸ با نیمه عمر فیزیکی ۶۸ دقیقه و ۸۹ درصد واپاشی پوزیترون، در تصویربرداری PET برای تشخیص تومور ها و سرطان کاربرد فراوان دارد. این رادیوایزوتوپ با داروها و مواد شیمیایی (پروتئین، پپتید و...) پیوند شده و تشکیل یک رادیودارو را می دهد. از ترکیبات نشاندار این ایزوتوپ می توان به موارد زیر اشاره کرد[۱۰،۹،۸]:

- ^{68}Ga-DOTATOC[9] برای تشخیص تومورهای نوروآندوکراین[10] در بافت نرم [۱۴،۱۳،۱۲،۱۱].
- ^{68}Ga-EDTMP[11] برای تصویر برداری از استخوان و اسکلت بدن[۱۵].
- ^{68}Ga-EDTA[12] برای تشخیص تومورهای مغز[13] و تصویر برداری از کلیه[۱۶،۱۵].
- ^{68}Ga-Citrate برای تشخیص عفونت های ریوی[۱۷].
- ^{68}Ga-MAA[14] برای تصویر برداری از ششها[۱۸].
- ^{68}Ga-DTPA-HSA[15] برای تصویر برداری از استخوان و تشخیص استخرهای خونی مانند قلب[۱۹].

- ترکیب نشان دار ^{68}Ga-DOTATOC نسبت به دیگر ترکیبات به دلیل خصوصیات ویژه ای که دارد، کاربرد فراوان دارد و در حال حاضر بر روی این ترکیب نشان دار تحقیقات گسترده ای انجام می شود. باند شدن ^{68}Ga به طور محکم به DOTATOC[1] آن را قادر می سازد که با یک پیوستگی بالا برای گیرنده های سوماتواستاتین به منظور تشخیص تومورهای neuroendocrine به کار رود[۱۴،۱۳،۱۲،۱۱].
- تحقیقات ثابت کرده است که با مقایسه توزیع بیولوژیکی ^{68}Ga و ^{111}In و اندازه گیری مقادیر نسبی تراکم دز در بافتهای مختلف برای این دو ایزوتوپ، تصویربرداری به روش PET توسط ^{68}Ga قبل از درمان با ^{90}Y ابزار

[9].4,7,10-Tricarboxymethyl-1,4,7,10- tetraazacyclododecane-1,4,7,10-tetraacetic acid
[10].Neuroendocrine
[11].Ethylenediaminetetramethylene phosphonate
[12].Ethylenediaminetetraacetic acid
[13].Blood-Brain Barrier
[14].Macroaggregated Human Serum Albumin
[15].Diethylenetriamine pentaacetic acid-human serum albumin

دزیمتری دقیق تری را نسبت به تصویربرداری به روش SPECT با ^{111}In نشاندار شده فراهم ساخته و اطلاعات مفیدی مربوط به خصوصیات درون بافتی رادیوداروی درمانی توسعه یافته برای درمان تومورهای گیرنده سوماتواستاتین در اختیار می گذارد[۲۱،۲۰].

- به دلیل حساسیت ذاتی و قدرت تفکیک فضایی بالای سیستم تصویرگر PET، استفاده از ^{68}Ga با این تکنیک، ضایعات تومور به ویژه تومورهای کوچک را نسبت به روش SPECT با ^{111}In بهتر آشکار کرده، گسترش بیماری را بیشتر مشخص می کند و بنابراین علاوه بر اطلاعات مربوط به توزیع بیولوژیکی و سینتیک دارویی، دزیمتری تومور و بافتهای سالم نیز امکانپذیر خواهد بود[۲۰،۱۹،۱۴،۱۳].
- اگرچه نیمه عمر گالیم-۶۸ (۶۸ دقیقه) بسیار کمتر از نیمه عمر ایندیوم-۱۱۱ (۲/۷ روز) است، اما حساسیت به مراتب بالاتر دوربینهای PET نسبت به SPECT امکان تصویربرداری کلینیکی با کیفیت بالا و موضع یابی عالی تومور را پس از تزریق فراهم می سازد.
- ^{68}Ga-DOTATOC در مقایسه با ^{18}F-FDG در تشخیص تومورهای neuroendocrine دارای پیوستگی و قدرت ترکیب بالایی برای گیرنده های سوماتواستاتین می باشد. آزمایشات انجام شده بر روی یک بیمار نشان می دهد که در ارگان هدف (پانکراس) تجمع پرتو دارو ^{18}F تزریق شده نرمال بوده، در حالی که در مورد ^{68}Ga افزایش تجمع پرتو وجود داشته است[۲۲].

فصل ۲

تعیین پارامترهای تولید گالیم-۶۸

۲-۱ سطح مقطع[۱۶]

سطح مقطعهای واکنشهای هسته ای ایجاد شده توسط ذرات باردار در بسیاری از کاربردها مورد توجه هستند. به زبان ساده، سطح مقطع معیاری است که احتمال نسبی وقوع واکنش را نشان می دهد[۲۳]. این داده ها در بسیاری از زمینه ها از قبیل تولید رادیوایزوتوپ و اساساً برای کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار می گیرند. توابع برانگیختگی فرآیندهای هسته ای، امکان محاسبه بازده را با دقتی قابل قبول فراهم می سازند. نکته مهم دیگر تعداد کانالهای واکنش ممکنه می باشد که شناخت سطح مقطع های تمام آن فرآیندها الزامی می باشد. بنابراین ممکن است داده های مورد نیاز گسترده باشد. در سیکلوترونهای کوچک، واکنشهای کم انرژی نظیر(p,n)، (p,α)، (d,n)، (d,α) و ... مورد توجه هستند. در روش کار تولید رادیوایزوتوپ، داده های هسته ای بیشتر برای بهینه سازی مسیر تولید مورد نیازمی باشد. این داده ها شامل انتخاب گستره انرژی پرتابه می باشد، به گونه ای که بازده تولید حداکثر و میزان ناخالصیهای رادیواکتیو حداقل شود. نظر به اینکه ناخالصیهای غیر ایزوتوپیک تولید شده از طریق جداسازی شیمیایی قابل رفع هستند، سطح ناخالصیهای ایزوتوپیک فقط با استفاده از ایزوتوپهای غنی شده به عنوان ماده هدف و یا با یک انتخاب دقیق گستره انرژی موثر پرتابه در هدف، قابل کنترل است. ناخالصیهای رادیو اکتیو دارای دو اثر هستند: (الف) روی خط عملکرد انتشار در تصویربرداری تاثیر منفی دارند، (ب) باعث دز تابشی اضافی به بیمار می شوند. اگر مقدار ناخالصی با نیمه عمر بالا بسیار زیاد باشد، ممکن است تمام مزایای رادیوایزوتوپ استفاده شده با نیمه عمر کوتاه را از بین ببرد. بنابراین جستجو برای یافتن یک روش تولید دیگر برای رادیوایزوتوپ مورد نظر ضروری خواهد بود.

برای بسیاری از واکنشها داده های تجربی زیادی موجود است. اما برای سایر آنها این داده ها اندک می باشند. برخی از واکنشها توسط تعداد بیشماری از محققان در دهه های اخیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. تکنیکهای تجربی در طی این سالها دائماً پیشرفت کرده است.

برخی از محققان در فرآیند تولید فقط به داده های تجربی بسنده می کنند. این داده ها صرفاً شرایط متداول خاصی را شامل می شوند، در صورتیکه تولید قویاً وابسته به عواملی نظیر زمان پرتودهی، جریان پرتو، فرم

[16].Cross Section

فیزیکی ماده هدف و ... می باشد. بنابر این آگاهی دقیق از عملکرد برانگیختگی و بازده تئوری به طراحی سیستمهای هدف طوریکه بازده شان بهینه باشد، کمک می کند. همچنین برای درک بهتر داده های تجربی، انجام محاسبات مربوط به مدلهای هسته ای و مقایسه داده های تجربی و محاسبه شده آموزنده و مفید خواهد بود. اکثر مدل ها و معادلات بدست آمده در واکنشهای هسته ای از طریق تجربه بدست آمده و عمدتاً بسیار پیچیده می باشند. از آنجائیکه آزمایشهای هسته ای اصولاً پرهزینه و مشکل بوده، برخی از آنها در حال حاضر عملاً امکانپذیر نیستند و مدلها و معادلات مربوط به محاسبات واکنشهای هسته‌ای بسیار پیچیده و طولانی می‌باشند، لذا از طریق کامپیوتر می‌توان سهولت، سرعت و دقت را در این زمینه افزایش داد.

۲-۲ معرفی کدهای محاسباتی ALICE-91 وTALYS-1.0

کدهای مختلفی نظیر GROGI, STAPRE, ALICE, TALYS, GNASH, SPEC و اصلاحاتشان بر اساس مکانیسم واکنش تعادل و پیش از تعادل توسعه یافته اند. این کدها از نظر فیزیکی مشابه بوده و تفاوت هایی در پیچیدگی تهیه داده های ورودی و زمان لازم برای محاسبه دارند[۲۴].

یکی از این کدها، کد ALICE بوده که به منظور بررسی و مطالعه واکنشهای هسته ای توسط بلان[۱۷] و همکارانش عرضه گردیده است[۲۴]. اولین برنامه آن به منظور تحلیل توابع برانگیختگی در سال ۱۹۶۲ در دانشگاه روچستر، روی کامپیوتر IBM اجرا گردید. آخرین ویرایش آن ALICE/ASH است که در سال ۲۰۰۶ توسط برودرز[۱۸] و همکاران اصلاح شده است[۲۵]. نسخه در دسترس این کد که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته ALICE91 است. اصل برنامه نسخه ALICE91 به زبان فرترن ۷۷ در حدود ۶۷۰۰ خط نوشته شده است. این کد قادر به محاسبه سطح مقطع دیفرانسیلی برای ذرات خروجی نوترون و پروتون و نیز سطح مقطع انواع تولیدات نوترون، پروتون، دوترون، آلفا ومحصولات شکافت می باشد. همچنین قادر به انجام محاسبات مربوط به طیف اشعه γ و نیز توزیع زاویه ای گسیل n وp می باشد. حداکثر انرژی ورودی پرتابه در کد نزدیک به MeV ۳۰۰ می‌باشد. محور اساسی محاسبه سطح مقطع در کد آلیس در حوزه واپاشی هسته مرکب یا هسته

[17].Blann
[18].Broeders

باقیمانده تعادل یافته، مدل تبخیری وایسکوف[19] و در حوزه واپاشی هسته مرکب پیش از تعادل، مدل هایبریدی[20] و مدل وابسته هندسی هایبرید می باشد[۲۵،۲۴].

کد محاسباتی TALYS-1.0 یک برنامه کامپیوتری برای واکنش های هسته ای می باشد که در NRG Petten فرانسه تهیه شده است. این کد قادر به شبیه سازی واکنش های هسته ای با ذره پرتابه ی نوترون، فوتون، پروتون، دوترون، تریتون، ^3He و آلفا، در بازه انرژی ۱ کیلوالکترون ولت تا ۲۰۰ مگاالکترون ولت برای هسته هایی با جرم حداقل ۱۲ می باشد. فایل ورودی کد تالیس تنها به ۴ داده (واژه کلیدی) نیاز دارد. این واژه ها عبارتند از ۱- نام ذره پرتابه ۲- نام عنصر هدف ۳- عدد جرمی هدف ۴- انرژی ورودی ذره پرتابه. کد TALYS می تواند سطح مقطع کل تولید یک ایزوتوپ را که از کانال های مختلف در یک عنصر طبیعی تولید می شود، محاسبه کند. همچنین قادر به محاسبه سطح مقطع تولید حالت های برانگیخته یک ایزوتوپ می باشد[۲۷،۲۶].

کد TALYS در حوزه واپاشی هسته مرکب یا هسته باقیمانده تعادل یافته از مدل فشباخ[21] و در حوزه واپاشی هسته مرکب پیش از تعادل از مدل اکسایتون[22] استفاده می کند[۲۷،۲۶].

این کد نسبت به کد آلیس دارای توانایی بیشتر می باشد و همچنین اجرای برنامه کد TALYS ساده تر از کد ALICE می باشد.

۲-۳ بررسی سطح مقطع (احتمال واکنش) گالیم – ۶۸ از طریق واکنشهای مختلف

اصولا" در بررسی سطح مقطع تولید یک رادیوایزوتوپ مسائل زیر حائز اهمیت هستند:

الف- تعیین انرژی بهینه ذره پرتابی: یعنی محدوده‌ای از انرژی که در آن بیشترین بهره برای تولید یک رادیوایزوتوپ و کمترین میزان تولید رادیوایزوتوپهای ناخواسته وجود داشته باشد. که این محدوده انرژی با بررسی نمودار سطح مقطع بر حسب انرژی[23] بدست می‌آید.

ب- تعیین وجود ناخالصی: در کنار هر واکنش شیمیایی و یا هسته‌ای، واکنش های مزاحم وجود دارد. پیدا

[19].Weisskopf-Ewings Evaporation Model
[20].Hybrid Model
[21].Hauser-feshbach Model
[22].Exciton Model
[23].Excitation Function