

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَاتِ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَاتِ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَاتِ

بسمه تعالی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده فیزیک و علوم هسته ای

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای گرایش پرتو پزشکی

کنترل کیفی و بهینه سازی تولید رادیوداروی $^{153}\text{Sm-EDTMP}$

نگارش:

محمود نوبخت

اساتید راهنما:

دکتر محمد قنادی مراغه دکتر حسین آفریده

استاد مشاور:

مهندس علی بهرامی سامانی

اردیبهشت ۱۳۸۷

تقدیم به

پدر ، مادر

و

همسر مهربانم

قدر دانی و تشکر :

نخست خداوند بزرگ و مهربان را سپاس می گویم که بی تردید بدون توکل بر او یارای به پایان بردن این پروژه را در خود سراغ نداشتم.

سپس از اساتید ارجمند دکتر محمد قنادی و دکتر حسین آفریده قدردانی می کنم که راهنماییها و حمایتهای ایشان در انجام این پروژه راه گشا بوده است. و لازم است از زحماتی که آقای مهندس سامانی در راستای انجام پروژه بصورت عملی و تئوری، متحمل شده اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از خانواده خوبم و از همسر مهربانم که همواره پشتیبان و همراه من بوده اند کمال تشکر را دارم. همچنین شایسته است از همه دوستانی که مرا در انجام این پروژه راهنمایی و یاری نموده اند قدردانی نمایم.

چکیده

در حال حاضر استفاده از رادیونوکلیدها در درمان بیماریهای سرطانی و غیر سرطانی روبه افزایش است. رادیونوکلید ^{153}Sm یکی از این نوع رادیونوکلیدها می باشد که در چندین سال گذشته در زمینه درمان تسکینی درد متاستاز استخوان، در بیماران سرطانی حاد با درد بهبود ناپذیر در کشورهای پیشرفته مورد استفاده واقع شده است. و تهیه و تولید این رادیونوکلید درمانی در کشورمان نیز، از اهمیت اساسی برخوردار میباشد. در این پروژه سعی شده است با انجام محاسبات و آزمایشات لازم و بررسی مشخصات محصول تولید شده، جهت بهینه سازی فرایند تولید رادیوداروی $^{153}\text{Sm-EDTMP}$ ، در آزمایشگاه تحقیقاتی جابرین حیان سازمان انرژی اتمی تهران، گامی در این راستا برداشته شود. و پرتودهی رادیونوکلید ^{152}Sm در راکتور تحقیقاتی تهران، با کد MCNP شبیه سازی گردیده است. و همچنین محاسبات و آزمایشات عملی مربوط به خلوص رادیونوکلیدی و خلوص رادیوشیمیایی این رادیودارو انجام شده است.

کلمات کلیدی: رادیو داروهای درمانی (Therapeutic radiopharmaceuticals) - ساماریوم (Samarium) - کنترل کیفی

(Quality control)

فهرست

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول : رادیوداروها
۳	۱-۱ کاربرد رادیویزوتوپها در پزشکی هسته ای
۵	۲-۱ رادیونوکلیدهای مورد استفاده در تشخیص امراض
۷	۱-۲-۱ اساس روشهای تشخیصی
۸	۳-۱ رادیونوکلیدهای مورد استفاده در درمان امراض
۱۰	فصل دوم : تولید رادیونوکلیدها
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۱	۲-۲ تولید رادیونوکلیدهای مصنوعی
۱۲	۱-۲-۲ تولید به وسیله شتابدهنده ها
۱۳	۲-۲-۲ تولید بروش شکافت نوکلیدهای سنگین تر
۱۵	۳-۲-۲ تولید بروش پرتودهی نوکلیدهای پایدار در راکتور
۱۶	۴-۲-۲ فعالسازی یا پرتودهی مستقیم نوترونی
۱۷	۵-۲-۲ فعالسازی یا پرتودهی غیر مستقیم نوترون
۱۹	۳-۲ بهره پرتودهی
۲۳	۴-۲ نقش هدفهای غنی شده
۲۴	فصل سوم : رادیونوکلیدهای درمانی و روشهای کلی درمان با رادیوداروها
۲۴	۱-۳ مقدمه
۲۵	۲-۳ مشخصات فیزیکی رادیونوکلیدهای درمانی
۲۶	۱-۲-۳ مد واپاشی آلفا

۲۸	۲-۲-۳ مد واپاشی الکترون اوژر و الکترون کاسترکرونیک
۲۹	۳-۲-۳ مد واپاشی بتا
۳۱	۳-۳ روشهای کلی درمان با رادیوداروها
۳۱	۱-۳-۳ درمان ناهنجاریهای تیروئید با ید رادیواکتیو
۳۱	۲-۳-۳ رادیونوکلید تراپی هدف دار تومور
۳۲	۳-۳-۳ رادیوایمونوترابی و آلفا ایمونوترابی
۳۴	۴-۳-۳ رادیونوکلیدهای قابل استفاده در رادیونوکلیدتراپی هدف دار تومور
۳۷	۴-۳ رادیونوکلید تراپی بیماریهای مفاصل
۳۸	۱-۴-۳ لایه سینویال داخل مفصلی
۳۸	۲-۴-۳ عارضه لایه سینویال و درمان آن
۴۰	۳-۴-۳ خصوصیات رادیوداروهای ایده ال برای درمان بیماریهای سینویال
۴۲	۵-۳ دزیمتری مفصل
۴۳	فصل چهارم : رادیوداروهای درمانی مورد استفاده در تسکین درد متاستاز استخوان
۴۳	۱-۴ مقدمه
۴۴	۲-۴ تله تراپی
۴۵	۳-۴ اصول درمان با چشمه های باز
۴۶	۴-۴ مشخصات فیزیکی رادیونوکلیدهای مطلوب برای درمان درد استخوان
۴۶	۱-۴-۴ نیمه عمر
۴۷	۲-۴-۴ گسیل فوتونی
۴۷	۳-۴-۴ گسیل الکترونی
۴۸	۴-۴-۴ نقش عوامل دیگر در انتخاب رادیونوکلید
۴۸	۵-۴ رادیوداروها
۴۹	۶-۴ کسر جذب رادیودارو
۵۰	۷-۴ مقایسه رادیوداروها
۵۰	۱-۷-۴ فسفر-۳۲

۵۱	۴-۷-۲ کلراید استرانسیم-۸۹
۵۲	۴-۷-۳ $^{153}\text{Sm-EDTMP}$
۵۲	۴-۷-۴ مشخصات فیزیکی رادیونوکلید ساماریم-۱۵۳
۵۵	فصل پنجم کنترل کیفی و بهینه سازی تولید رادیوداروی ساماریم
۵۵	۱-۵ آزمایشات کنترل کیفی
۵۶	۲-۵ خلوص رادیونوکلیدی
۵۸	۳-۵ روش تعیین درجه خلوص رادیونوکلیدی
۶۰	۴-۵ تعیین درجه خلوص رادیونوکلیدی ^{153}Sm
۶۳	۵-۵ تغییرات خلوص رادیونوکلیدی با زمان
۶۴	۶-۵ خلوص رادیوشیمیایی
۶۷	۷-۵ امکان سنجی بکارگیری ساماریم طبیعی بجای ساماریم غنی شده
۶۹	۱-۷-۵ محاسبه اکتیویته ناخالصیهای حاصل از پرتودهی اکسید ساماریم طبیعی
۷۱	۲-۷-۵ محاسبه اکتیویته ^{150}Eu
۷۲	۳-۷-۵ محاسبه اکتیویته ^{156}Eu
۷۶	۸-۵ تاریخچه و قابلیت های کد MCNP
۷۸	۹-۵ تولید و پرتودهی رادیونوکلید ^{153}Sm
۸۱	۱-۹-۵ تأثیر سطح مقطع جذب و چگالی بر روی بازدهی پرتودهی
۸۲	۱۰-۵ محاسبه اکتیویته اشباع ساماریم با استفاده از کد MCNP
۸۵	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۸۷	مراجع
۸۹	پیوستها

مقدمه

از زمان کشف رادیم توسط مادام کوری در اوایل قرن بیستم، استفاده از تشعشعات رادیواکتیو برای درمان برخی از بیماریها جزو رویاهای جامعه پزشکی بوده است. در آن زمان مادام کوری و همکارانش دریافتند. که تشعشعات رادیواکتیو میتوانند برخی از بیماریهای پوستی را تحت تاثیر قابل توجهی قرار دهند. و بدین ترتیب باب جدیدی در علم پزشکی بنام رادیوبیولوژی و غده شناسی تابشی (Radiation Oncology) باز شد.

در دوره سی ساله پس از جنگ جهانی دوم رادیوایزوتوپهای جدید بسیاری کشف شد و برای استفاده در پزشکی خالص سازی گردید. و میتوان گفت همزمان با پیشرفت در سایر کاربردهای انرژی اتمی، پیشرفت در زمینه کاربرد و تحقیقات رادیوایزوتوپهای درمانی نیز توسعه یافت. طلای کولئیدی و ^{32}P از ابتدایی ترین رادیوایزوتوپهای مورد استفاده برای درمان در پزشکی بوده است. و سپس بموازات کشف رادیوایزوتوپهای جدید، توسعه و کشف شیوه های جدید رادیوشیمی برای

نشان دار کردن عوامل بیولوژیکی و داروها پیشرفت قابل توجهی در پزشکی هسته ای بوجود آورد. ریشه درمان با چشمه های باز را میتوان با شروع عصر اتمی پی گیری نمود. تولد رادیوشیمی به عنوان شاخه ای از علم در این زمینه منجر به ابداع روشهای جدید درمانی و تشخیصی از قبیل رادیوایمونواسی و تصویربرداری پیشرفته هسته ای گردیده است [۹].

انقلاب بوجود آمده در بکارگیری رادیوداروهای درمانی در طول چندین سال گذشته، قسمتی ناشی از تواناییهای تولید رادیونوکلیدهایی با مشخصه های هسته ای مناسبتر و قابلیت بالاتر بوده و قسمت دیگر ناشی از تولید و توسعه مولکولهای همراه بر با مشخصه های توسعه یافته میباشد.

اگرچه رادیونوکلیدهایی مانند ^{131}I ، ^{89}Sr ، ^{32}P از آغازین روزهای پزشکی هسته ای در اواخر دهه ۱۹۳۰ و اوایل دهه ۱۹۴۰ مورد استفاده واقع شدند. ورود سایر رادیونوکلیدها به عرصه پزشکی هسته ای خیلی بعدها صورت گرفت. و از اوایل دهه ۱۹۸۰ به بعد مقالات علمی شروع به نشان دادن پتانسیلهای سایر رادیونوکلیدهای بتازای تولید شده در راکتور مانند ^{153}Sm ، ^{186}Ho ، ^{165}Dy و $^{186/188}\text{Re}$ کردند. عوامل استخوان خواهی که با رادیونوکلیدهای بتازای ذکر شده در بالا، نشاندار میشوند. در پایین آوردن درد ناشی از متاستازهای سرطانی سینه - شش - پروستات، بسیار موثر واقع میشوند [۱۰].

فصل اول

رادیوداروها

۱-۱ کاربرد رادیونوکلیدها در پزشکی هسته ای

پیش از تولید مواد رادیواکتیو مصنوعی از ویژگیهای درمانی پرتوهای ساطع شده از مواد رادیواکتیو طبیعی مانند ^{226}Ra و ^{210}Po استفاده میکردند. ولی جهش بزرگ در کاربرد مواد رادیواکتیو در پزشکی هسته ای هنگامی آغاز شد که مواد رادیواکتیو مصنوعی تولید گردید. تولید اولین رادیونوکلید مصنوعی در سال ۱۹۳۶ گزارش شده است [۵]. در همان سال رادیونوکلیدی ویژه برای کاربرد بالینی تهیه گردید. این تحول، تهیه و تولید رادیوداروها را در پی داشت. امروزه این رادیونوکلیدها جهت تشخیص و درمان در کلیه مراکز عمده پزشکی، بسیاری از بیمارستانهای کوچک و کلینیکها مورد استفاده قرار میگیرند [۳].

با پیشرفت تکنولوژی، رادیونوکلیدهایی با نیمه عمر کوتاه، بتدریج جایگزین رادیونوکلیدهای با نیمه عمر طولانی تر مانند ید و فسفر شده اند. بمنظور کاهش دز دریافتی توسط بیمار پیش بینی میشود که در آینده رادیونوکلیدهایی با نیمه عمر کوتاه تر (در حد ساعت و دقیقه) کاربرد گسترده تری پیدا بکنند. در حال حاضر کاربرد رادیونوکلیدها در پزشکی هسته ای را میتوان در سه زمینه متمرکز کرد.

۱. تشخیص

۲. درمان

۳. تحقیق

فعلا کاربرد اصلی رادیونوکلیدها در حرفه پزشکی هسته ای، تشخیص امراض است، در مرحله دوم درمان و تحقیق در درجه سوم اهمیت قرار دارد.

در تشخیص و درمان امراض توسط رادیونوکلیدها نیازی به جراحی نیست و با استفاده از تجهیزات پیشرفته پزشکی با بکار بردن آنها، بسیاری از ناشناخته های داخل بدن هویدا شده اند، علم پزشکی هسته ای خود، مدیون این رادیونوکلیدهاست. از اینرو تولید و استفاده از آنها در ۲۰ سال گذشته رشد چشمگیری داشته است. در پزشکی هسته ای، رادیوداروها به ندرت در ساده ترین شکل شیمیایی خود مورد استفاده قرار می گیرند. بلکه رادیونوکلیدها با ترکیبات شیمیایی گوناگونی که بواسطه خواص بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی یا متابولیکی مطلوبشان مورد توجه هستند آمیخته شده و وارد بدن انسان میشوند.

هرگاه هدف از مصرف رادیودارو تشخیص باشد توزیع ماده پرتوزا در بدن بوسیله یک آشکارساز در خارج از بدن اندازه گیری میشود. این روش علاوه بر بدست آوردن یک تصویر ساده ای از یک عضو و یا تمام بدن، اطلاعاتی درباره عملکرد برخی از اعضاء مثل قلب، غده تیروئید و یا کلیه ها فراهم می آورد. و در زمینه درمان، رادیودارو توسط یک ترکیب شیمیایی مناسب جذب عضو معیوب می شود، و عضو مورد نظر با دریافت دز معینی تحت درمان قرار میگیرد. آنچه در زیر می آید بحث مربوط به معیارهای انتخاب رادیونوکلید، و ترکیب شیمیایی مناسب آن برای بکار گیری آنها در زمینه های تشخیصی و درمان می باشد [۱].

۲-۱ رادیونوکلیدهای مورد استفاده در تشخیص امراض

مهمترین شرط برای انتخاب یک رادیونوکلید برای مقاصد تصویربرداری این است که دارای پرتو گاما باشد، زیرا پرتو گاما بدون بارالکتریکی بوده و قدرت نفوذ بالایی دارد و ضمن اینکه به بافتهای سالم چندان آسیبی نمیرساند، بتعداد کافی به آشکارساز میرسد. پرتوهای آلفا و بتا بدلیل باردار بودنشان نه تنها برد زیادی ندارند، بلکه تخریب زیادی در بافتهای بدن ایجاد میکنند. بنابراین بعنوان یک عامل سمی و مخرب برای بافت بدن انسان مطرح میباشند. در انتخاب یک رادیونوکلید برای تهیه یک رادیودارو، علاوه بر خصوصیت فوق، بایستی به حداقل دز دریافتی توسط بیمار و نیز پارامترهای آشکارسازی تجهیزات پزشکی نیز توجه نمود.

برای به حداقل رساندن دز دریافتی بیمار، رادیونوکلید باید نیمه عمری کوتاه و متناسب با پدیده بیولوژیکی مورد بررسی، داشته باشد. مثلاً رادیودارویی با نیمه عمر چند ساعت، علیرغم دز ناچیز دریافتی توسط بیمار نمی تواند در مطالعات فیزیولوژیکی که ماهها طول میکشد مورد استفاده قرار

گیرد. معمولاً نیمه عمر فیزیکی رادیونوکلید مورد استفاده برای تشخیص باید تقریباً برابر با $0.693 \times T_{abs}$ باشد که در آن T_{abs} فاصله زمانی بین زمان تزریق رادیودارو و زمان اندازه گیری یا تصویربرداری از بدن بیمار است.

جدول (۱-۱) فهرست بعضی از رادیوداروهای تشخیصی

کاربرد	شکل شیمیایی	رادیونوکلید
مغز، تیروئید، غدد بزاقی، عکسبرداری استخر خونی، مکان یابی جفت جنین	پرتکتنتات سدیم	^{99m}Tc
تشخیص کار تیروئید، عکسبرداری تیروئید	یدید سدیم	^{131}I
تعیین حجم خون و پلاسما، بررسیهای کلی	آلبومین	^{125}I
تشخیص کار تیروئید، عکسبرداری تیروئید	یدید سدیم	^{131}I
عضلات قلب، گردش خون	کلرید تالوس	^{201}Tl
عکسبرداری تنفسی، مطالعات جریان خون	گاز	^{133}Xe
عکسبرداری تومور	سیترات گالیم	^{67}Ga

از طرف دیگر رادیونوکلید باید یک پرتو گامای تکفام در محدوده $300 - 100 \text{ keV}$ گسیل نماید حد بالای این محدوده به این دلیل است که قدرت نفوذ پرتو گاما با افزایش انرژی افزایش می یابد، لذا اگر انرژی این پرتو بالاتر از 300 keV باشد. احتمال اینکه پرتو خارج شده از بدن بیمار در داخل آشکاساز تجهیزات پزشکی برهمکنشی نداشته باشد زیاد است. حد پایین این محدوده نیز به این

خاطر است که انرژیهای کمتر از آن ممکن است در بدن انسان تضعیف شود و به آشکارساز نرسد. علاوه بر دلایل فوق، رادیونوکلید مورد استفاده در پزشکی هسته ای باید براحتی و عاری از هر گونه از ناخالصیهای رادیواکتیو و غیررادیواکتیو، قابل تهیه باشد. جدول (۱-۱) فهرست بعضی از رادیوداروها و زمینه بکارگیری آنها را در پزشکی هسته ای، نشان می دهد.

۱-۲-۱ اساس روشهای تشخیصی

کاربردهای رادیوداروها در زمینه تشخیص سطح وسیعی را پوشش میدهد. بعضی از مثالهای مهم در جدول (۱-۱) آمده اند. سینتگرافی عضو اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با اندازه، شکل و محل اعضاء و ضایعات بافتها میدهد. در بسیاری از حالات بافتهای با فعالیت عادی، ردیاب را بخود میگیرند و سطوح غیر فعال و معیوب به صورت نقاط سرد (Cold Spots) دیده میشوند. مثالهایی از این نوع، عکسبرداری تیروئید با ید رادیواکتیو، عکسبرداری کبد با کلونیدهای رادیواکتیو و عکسبرداری جریان خون به عضلات قلب و مغز هستند.

در بعضی حالات دیگر ردیاب تنها به وسیله بافتهای معیوب جذب شده و بوسیله بافتهای عادی جذب نمیشوند. لذا، سطوح غیر عادی به صورت نقاط داغ (Hot Spots) آشکار میشوند. مثالهایی از این نوع عبارتند از محللهای متاستاز سرطان تیروئید، با ید رادیواکتیو و یا متاستازهای استخوانی در سرطانهای شش، سینه و یا پروستات [۷].

۳-۱ رادیونوکلیدهای مورد استفاده در درمان امراض

عمده ترین کاربرد درمانی تابشهای هسته ای استفاده از آنها در از بین بردن بافتهای ناخواسته یا معیوب مثل غده های سرطانی و یا غده تیروئید با فعالیت زیاد در بدن است. این اثر در اصل بر پایه خاصیت یونندگی تابشهای هسته ای انجام می پذیرد ناپود کردن بافت در اساس به این ترتیب انجام می پذیرد

۱. تابش فرودی اتمهای موجود در مولکول مورد نظر را یونیده میکند. این اثر فیزیکی در زمان 10^{-16} ثانیه یا کمتر صورت می گیرد.

۲. مولکولهای یونیده با شرکت در واکنشهای شیمیایی باعث تولید رادیکال های آزاد میشوند. این تغییر شیمیایی در فاصله زمانی ۱۵-۱۰ ثانیه صورت می پذیرد.

۳. سپس این رادیکالهای آزاد می توانند در سطح مولکولی وارد ساختمان پیچیده زیست شناختی شوند و عمل زیست شناختی آنها را تغییر دهند. ظهور این تغییرات زیست شناختی ممکن است ساعتها یا سالها طول بکشد.

امکان دارد با پرتودهی مولکلهای حساس بتوان نتیجه مستقیمی از تغییرات زیست شناختی بدست آورد و بدین ترتیب از مرحله دو چشم پوشی کرد.

رادیونوکلیدهای بکار گرفته شده در درمان بصورت چشمه های باز دارای یک سری از مشخصات معینی میباشند که از رادیونوکلیدهای تشخیصی متفاوت میباشند. این رادیونوکلیدها بطور برجسته آلفا یا بتا هستند و در برخی موارد از رادیوایزوتوپهایی که از خود الکترون اوژه ساطع می کنند، استفاده میگردد. در جدول (۱-۲) برخی از رادیونوکلیدهای مورد استفاده برای اهداف درمانی نشان

داده شده است. رادیوداروهای درمانی بر اساس گسیل الکترونی رادیونوکلیدهای خاصی و بعضاً همراه با پرتو گاما خاصیت درمانی خود را برجای میگذارند. وجود پرتو گاما با شدت پایین به همراه تابش اصلی رادیودارو، میتواند در تصویربرداری و مطالعه توزیع بیولوژیکی رادیوداروهای درمانی کاربرد پیدا کند و میتوان با استفاده از آن مدت زمان توزیع رادیودارو و همچنین مقدار دز جذب شده در بافتهای مورد نظر را بصورت تخمینی برآورد نمود.

جدول (۱-۲) برخی از رادیونوکلیدهای مورد استفاده برای اهداف درمانی

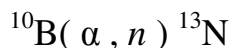
ویژه هسته پرتوزا	روش تولید	نیمه عمر	مدوآپاشی انرژی (keV)	کاربرد درمانی
^{32}P	راکتور	(روز) ۱۴.۲۶	(۱۷۱۰) β^-	بیوشیمی (اسکلت و استخوان) درمان (لوسمی)
^{131}I	راکتور	(روز) ۸.۰۲	β^- (۶۰۶) γ (۳۶۴)	درمان (پرکاری تیروئید، سرطان تیروئید) و تشخیص (فعالیت تیروئید، کلیه)
^{186}Re	راکتور	(روز) ۳.۷۲	\mathcal{E} (۱۳۷) β^- (۱۰۷۵)	متاستازهای استخوانی و رادیونوکلیدتراپی هدف دار تومور
^{153}Sm	راکتور	(روز) ۱.۹	β^- (۸۱۰)	متاستازهای استخوانی و رادیونوکلیدتراپی هدف دار تومور
^{125}I	راکتور	(روز) ۰.۲۵	الکترون اوژه	رادیونوکلیدتراپی هدف دار تومور
^{89}Sr	راکتور	(روز) ۵۰.۵	بتا	متاستازهای استخوانی و رادیونوکلیدتراپی هدف دار تومور

فصل دوم

تولید رادیونوکلیدها

۱-۲ مقدمه

در سال ۱۸۹۶ برای اولین بار هانری بکرل رادیواکتیویته طبیعی را در معادن پتاسیم کشف کرد. و بعد از آن رادیونوکلیدهای طبیعی دیگری از قبیل رادیم و پلوتونیوم کشف گردیدند. تمامی کشفیات انجام گرفته در پیدا نمودن رادیونوکلید طبیعی دانشمندان را به این نتیجه رسانید که تمامی عناصر دارای عدد اتمی بیشتر از ۸۳ (بیسموت)، رادیواکتیو میباشند. از مشخصات رادیونوکلیدهای طبیعی نیمه عمرهای بالای آنها (از مرتبه هزار سال) میباشد. در سال ۱۹۳۴ اولین رادیونوکلید مصنوعی توسط ذرات آلفای حاصل از تلاشی Po توسط F. joliot و I. curie تولید گردید:



این کشف، گستره مهم جدیدی را در تولید رادیونوکلیدهای مصنوعی پدید آورد. و از آن زمان به بعد اختراع سیکلوترون ها و راکتورها، تولید رادیونوکلیدهای مصنوعی را امکان پذیر نمود. در حال حاضر

بیشتر از ۲۷۰۰ رادیونوکلید مصنوعی توسط شتابدهنده ها، راکتورها، نوترون ژنراتورها و شتابدهنده های خطی ذرات تولید میشوند. نوع رادیونوکلیدی که در شتابدهنده ها و یا راکتورها تولید میشوند به نوع هسته هدف، انرژی و نوع پرتابه، بستگی دارد. از آنجایی که امکانات تهیه و تولید رادیونوکلیدهای مصنوعی دارای هزینه بالایی میباشد. نمی توان رادیونوکلیدهای با نیمه عمر پایین را در مراکز مصرف تهیه نمود. و بسیاری از رادیونوکلیدهای با نیمه عمر کوتاه در مراکز که دارای شتابدهنده و یا امکانات راکتور میباشند قابل تهیه میباشند. و به دلیل نیمه عمر خیلی پایین، استفاده از این رادیونوکلیدها در مراکز درمانی یا بیمارستانهایی که امکان دسترسی به این مراکز را ندارند، امکان پذیر نمی باشد. بطوریکه برای برخی از این رادیونوکلیدها بایستی محل تولید و مصرف یکی باشد. اما یک منبع ثانویه برای تأمین این نوع رادیونوکلیدها، ژنراتورهای رادیودارویی میباشند که امکان بسیار مناسبی را جهت استفاده از رادیونوکلیدهای با نیمه عمر کوتاه را در محل مصرف و مراکز درمانی فراهم آورده است [۸].

۲-۲ تولید رادیونوکلیدهای مصنوعی

در حال حاضر رادیونوکلیدهای مصنوعی به سه طریق تولید میشوند:

(۱) پرتودهی نوکلیدهای پایدار در شتابدهنده

(۲) شکافت نوکلیدهای سنگینتر

(۳) پرتودهی نوکلیدهای پایدار در راکتور

۲-۲-۱ تولید به وسیله شتابدهنده ها

انواع مختلف شتابدهنده ها امکان به کارگیری انواع بسیار متفاوتی از پرتابه ها با انرژیهای مختلف را فراهم می آورد. غالباً پرتابه های مورد استفاده عبارتند از پروتون (p)، دوترون (D)، و ذرات آلفا (${}^4\text{He}/{}^3\text{He}$).

برای انجام واکنش بین این ذرات باردار با هسته های هدف انرژی آستانه ای وجود دارد که اگر انرژی ذرات کمتر از آن باشد واکنش انجام نخواهد شد. علت این امر وجود نیروهای دافعه کولنی قوی بین ذرات باردار مثبت و هسته هدف میباشد. غالباً واکنشهای بالا در محدوده انرژی ۵ الی ۳۰ Mev انجام میگردد. تفاوت عمده این روش با تولید بروش پرتودهی در راکتور این میباشد که در این جا محصول واکنش معمولاً دارای عدد اتمی متفاوتی با نوکلید هدف میباشد، لذا محصول واکنش میتواند براحتی با استفاده از روشهای شیمیایی از هدف اولیه جداسازی گردد. بطور کلی در تولید ذرات در شتابدهنده ها باید نکات زیر در نظر گرفته شوند:

۱. هسته های حاصل معمولاً بطریق β^+ یا EC فروپاشی میکنند.
۲. با توجه به اینکه تغییر عنصر وجود دارد بنابراین محصولات بدون همراه بر (carrier free) بوده نیاز به استخراج شیمیایی از هدف دارند.
۳. هدف بطور قابل ملاحظه ای داغ میشود و بنابراین در انتخاب مواد بایستی محدودیتهایی قایل شد و یا بنحوی آنرا خنک کرد.
۴. باریکه ذرات کوچک است و لذا تعداد هدفهایی که بطور همزمان میتوانند مورد پرتوگیری قرار گیرند محدود است.