



## تولید چشمه باز و بسته رادیو ایزوتوپ آهن-۵۵ در ایران

اشتری، پرویز\* - فضائلی حسینی نژاد، سید یوسف - اصلانی، غلامرضا

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، تهران-ایران

### چکیده:

هدف این پژوهش بررسی امکان تولید آهن-۵۵ به روش قرصی و تولید به فرم چشمه خالص می باشد. برای نیل به این هدف از روش تولید رادیو نوکلید ها به روش قرصی و از قرص مسی به عنوان غلافی که ماده هدف (منگنز) داخل آن بصورت فشرده قرار میگیرد استفاده شد. محاسبات مربوط به انرژی پروتون مورد استفاده برای بمباران هدف با روش ALICE/ASH انجام شد. نمونه ها برای تعیین مقدار آهن-۵۵ تولیدی با روش اشعه ایکس نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. تولید آهن-۵۵ به همراه ناخالصی عمده منگنز-۵۴ تایید شد. در مرحله پایانی جداسازی آهن-۵۵ از منگنز با تلفیق روش رسوبگیری و استخراج مایع-مایع صورت گرفت.

کلمات کلیدی: چشمه باز و بسته، رادیو ایزوتوپ آهن-۵۵، ALICE/ASH

## Production of Open and Closed Iron-55 Radioisotope sources in Iran

Ashtari Parviz\*, Fazaeli Yousef, Aslani Gholamreza

Application Radiation Research School, Nuclear Science & Technology Research Institute, AEOI, Tehran, Iran.

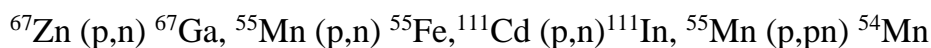
The purpose of this research is the feasibility study of producing iron-55 as the radioactive source with a simple method. In this way, the Iron-55 radionuclide is generated from proton irradiation of manganese compressed powder disk which is placed in copper disk as the holder and effective remove of the heat. Proton beam energy calculations for target bombardment are performed using the ALICE / ASH. The production of Iron-55 is evaluated in irradiated samples by the low energy X-ray. The production of iron-55 with the major impurity of manganese -54 is confirmed. In the final stage, the separation of iron -55 from manganese impurity is carried out by combination of the sedimentation and liquid-liquid extraction.

**Key words:** Open and closed source, Iron-55, Radioisotope, ALICE/ASH.



## مقدمه :

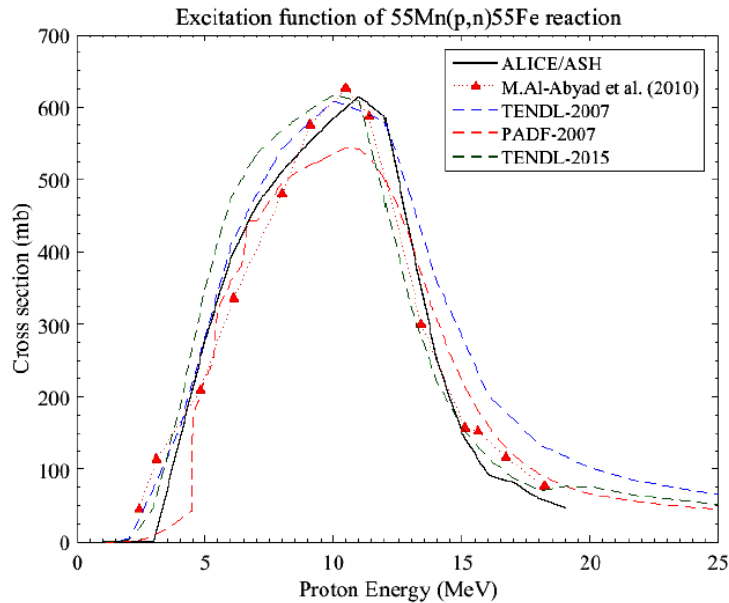
در تولید رادیو ایزوتوپها یا مواد رادیو اکتیو مصنوعی با استفاده از شتابدهنده سیکلوترون، معمولاً از ذرات باردار پروتون و دوترون برای پرتودهی استفاده میشود [۱-۳]. این ذرات در سیکلوترون شتاب داده شده و به انرژی مورد نظر میرسند. پس از تاباندن آنها به هدف و انجام واکنش هسته‌ای مورد نظر، رادیو ایزوتوپ دلخواه تولید میشود. به عنوان مثال میتوان موارد زیر را به عنوان محصولات سیکلوترون ذکر نمود:



آهن-۵۵ یکی از رادیو ایزوتوپهایی است که بطور طبیعی وجود ندارد و توسط بمباران هدف منگیزی با ذرات باردار پروتون، طی واکنش بالا در سیکلوترون تولیدی میشود. همچنین میتوان آنرا در راکتور با استفاده از بمباران ایزوتوپ آهن-۵۴ یا آهن-۵۶ تولید کرد. روش تولید با راکتور از دو جهت مقبولیت ندارد. اول اینکه جداسازی ایزوتوپ آهن-۵۵ از آهن-۵۴ یا آهن-۵۶ مشکل (فیزیکی) و نشدنی (شیمیایی) است. دوم قیمت بالای ایزوتوپ غنی شده آهن-۵۴ و آهن-۵۶ به عنوان پیش ماده برای تهیه این ایزوتوپ است. بنابراین تهیه این رادیو نوکلید با استفاده از سیکلوترون بهترین گزینه و در اولویت است. زیرا اولاً منگنز به صورت خالص و طبیعی دارای یک ایزوتوپ منگنز-۵۵ است. ثانیاً جداسازی محصول آهن از منگنز به راحتی و با روشهای موجود امکان پذیر میباشد. بنابراین با توجه به امکانات موجود و امکان بمباران پروتونی توسط سیکلوترون، روش دوم در این پروژه انتخاب و مورد بهره برداری قرار گرفت.

## روش کار :

ابتدا انرژی لازم برای بمباران هدف منگیزی با استفاده از محاسبات هسته‌ای و کدهای محاسباتی انجام گردید و انرژی بهینه بمباران پروتونی به روش قرصی منگنز برای نگهدارنده قرص مسی بدست آمد. سپس ساخت قرص هدف انجام شد. برای بدست آوردن و مقایسه نتایج تولید با محاسبات تئوری، بمباران در چند انرژی انجام گردید و انرژی بهینه تجربی بمباران نیز بدست آمد. بعد از بمباران اولیه و تایید تولید آهن-۵۵، هدف اصلی با همان شرایط بهینه تهیه و بمدت زمان طولانی تری بمباران آن انجام شد. از آنجاییکه اندازه گیری آهن-۵۵ با استفاده از طیف سنجی گاما امکان پذیر نمی باشد. پس از انجام جداسازی برای اندازه گیری با استفاده از اشعه ایکس با انرژی پایین به بخش واندوگراف ارسال گردید. نتایج حاصله بیانگر تولید و خالص سازی آهن-۵۵ بود. از آنجاییکه مقادیری ناخالصی منگنز-۵۴ نیز تولید میشود از حذف پیک منگنز-۵۴ و ردیابی آن با طیف سنجی گاما میتوان به جداسازی کامل منگنز از آهن پی برد. برای تولید آهن-۵۵ از واکنش  ${}^{54}\text{Mn}(p,n){}^{55}\text{Fe}$  استفاده شد. هدف پودر منگنز است که بصورت قرص داخل نگهدارنده مسی پرس شده است. انرژی بهینه بمباران طبق محاسبات شبیه سازی شده با استفاده از کدهای محاسباتی در محدوده 10~11 MeV پروتون ورودی میباشد. این محاسبات بصورت نمودار در شکل ۱ آمده است.



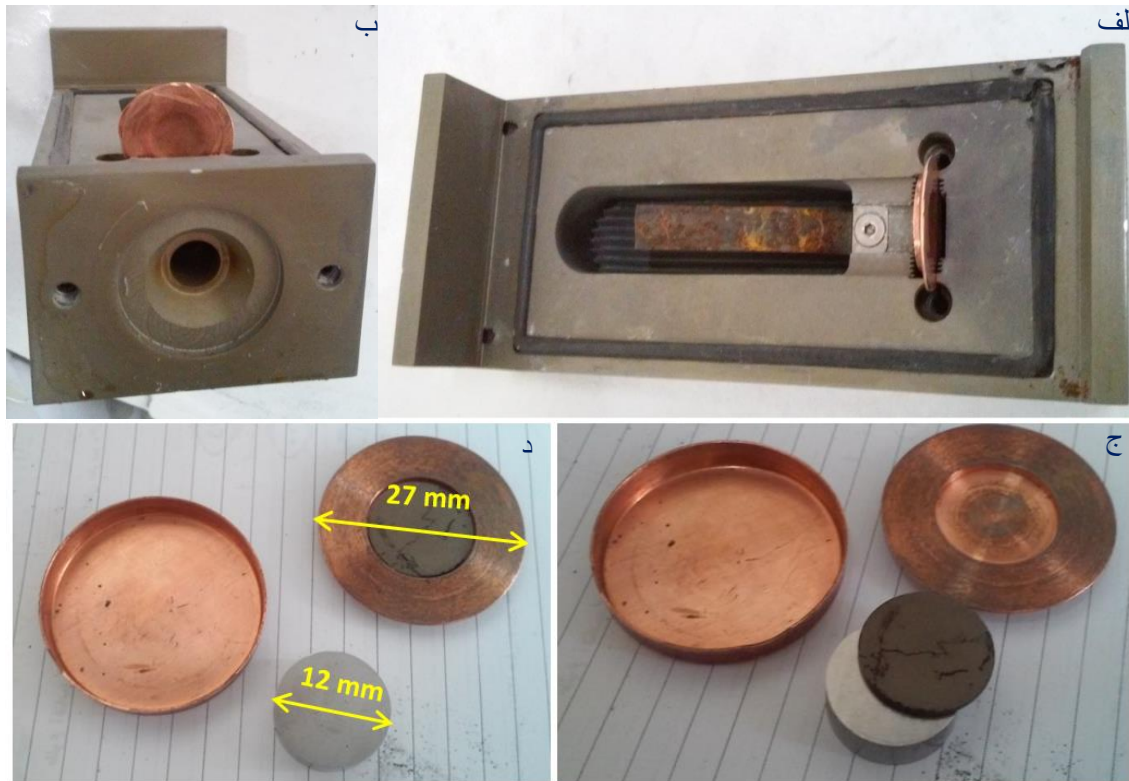
شکل ۱: محاسبات مربوط به انرژی پروتون لازم جهت تولید آهن-۵۵.

برای اینکه پروتون با انرژی محاسبه شده به قرص منگنز برسد بایستی از لایه های پنجره آلومینیم به ضخامت ۰/۶ میلیمتر، آب خنک کننده ۲/۷ میلیمتر و درپوش مسی با ضخامت ۰/۳ میلیمتر عبور نماید. این لایه ها باعث افت انرژی میشود که بایستی در انرژی اولیه پروتون لحاظ شود. مجموع افت انرژی برای این ۳ لایه در حدود 16.0 MeV میباشد که با استفاده از نرم افزار SRIM محاسبه شد. شکل ۲ شاتل نگهدارنده هدف قرصی برای بمباران در سیکلوترون و اجزای مربوطه را نشان میدهد.

پس از انجام بمباران و تایید اکتیو شدن و تولید محصول آهن-۵۵ به همراه ناخالصی های ناخواسته ، غلاف قرص با دستگاه مخصوص بریده شد. محتویات آن به ظرف مخصوص و سپس ویال منتقل شد. نمونه قرص پرتو دیده به همراه قرص باز شده در ظرف مخصوص در شکل ۳ نشان داده شده است.

پس از انتقال محتویات داخل ویال و انتظار چند روزه (۳ روز) برای تلاشی و کم شدن اکتیویته عناصر مزاحم تولید شده با نیمه عمر کوتاه، اندازه گیری با استفاده از طیف سنجی گاما و دتکتور ژرمانیم فوق خالص انجام گرفت. نمونه ها برای تعیین و تایید تولید آهن-۵۵ به آزمایشگاه طیف سنجی اشعه ایکس واقع در واندوگراف ارسال شدند. آزمایشگاه مذکور تولید آهن-۵۵ را با این روش تایید کرد. برای انجام جداسازی آهن-۵۵ از نمونه منگنز طبیعی هدف و منگنز-۵۴ رادیواکتیو، از تکنیک رسوبگیری به همراه استخراج مایع-مایع بصورت متوالی استفاده شد. در این روش پس از افزودن ۲/۰ میلی لیتر اسید نیتریک

غلیظ ، ۶/۰ میلی-لیتر اسید کلریدریک غلیظ ، ۱/۰ میلی لیتر آب اکسیژنه غلیظ و مقدار ۲۵/۰ میلی گرم سولفات آهن (II) حاوی حامل آهن طبیعی (حامل) به هر نمونه انحلال نمونه حاوی آهن-۵۵ انجام شد.



شکل ۲: تصاویر مکمل از دو جهت، شاتل نگهدارنده (الف و ب)، هدف قرصی و اجزا قرص تهیه شده (ج و د) برای بمباران هدف منگنز توسط سیکلوترون.

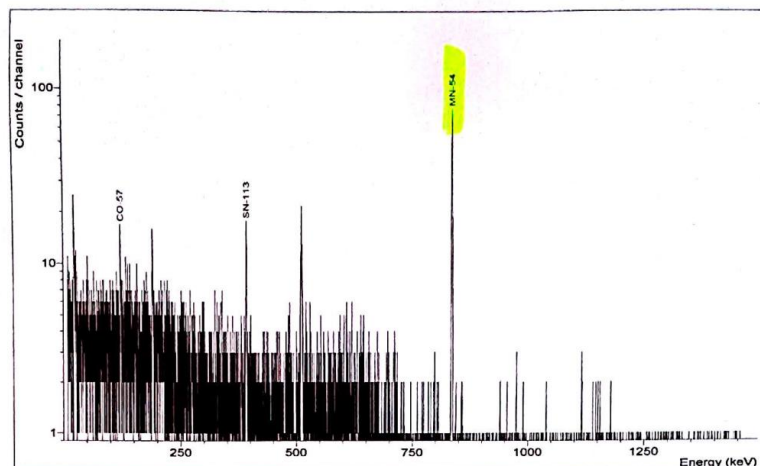


شکل ۳: نمونه قرص پرتودیده و باز شده که محتویات آن درون ظرف مخصوص تخلیه شده است.

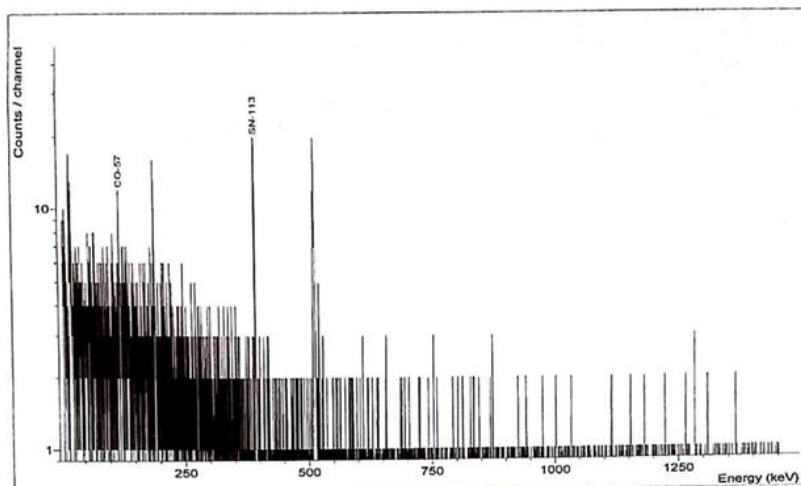
تمامی این مراحل برای یک نمونه شاهد نیز انجام شد. نمونه ها تا نزدیک خشک حرارت داده شد. با افزودن ۵/۰ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ نمونه ها شفاف شدند و حجم نمونه ها در ۵/۰ میلی لیتر تنظیم شد. محتوی آهن نمونه ها با افزودن ۱/۵ میلی لیتر آمونیاک غلیظ و تنظیم pH در ۹/۰ رسوب داده شد. با استفاده



از سانتیفریوژ، رسوبات از محلول جدا شد. سپس رسوبات در ۹/۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۸/۰ مولار حل شد. محتوی آهن این نمونه ها ۲ مرتبه و هر مرتبه با ۲/۰ میلی لیتر دی ایزو پروپیل اتر استخراج شد. محلول اتر کاملا سبز رنگ میشود که نشاندهنده استخراج کامل آهن است. محلول آبی شاهد که محتوی آهن خالص است کاملا بی رنگ میشود و فاز آلی سبز رنگ میشود. محلولهای نمونه حقیقی نیز به رنگ قهوه ای میباشند که پس از استخراج آهن، رنگ محلولها تیره باقی می ماند. طیف گامای این نمونه ها برای سنجش کارایی مراحل جداسازی و خالص سازی آهن-۵۵ ثبت شد. مشاهده میشود که عمده ناخالصی منگنز و ردیاب آن، منگنز-۵۴ در داخل محلول آبی باقی میماند. بدین ترتیب جداسازی آهن-۵۵ از منگنز همراه عملی میشود. یک نمونه از طیف ثبت شده برای فاز آبی اولیه و باقیمانده استخراج در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۴: طیف ثبت شده توسط طیف سنجی گاما برای محلول آبی اولیه قبل از استخراج آهن - ۵۵ حاوی منگنز.

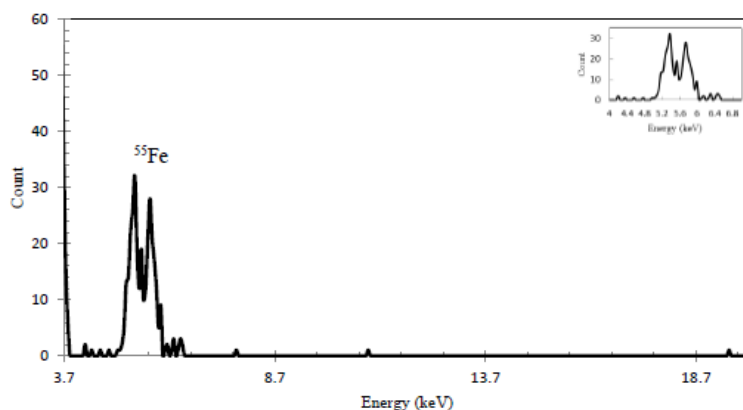


شکل ۵: طیف ثبت شده توسط طیف سنجی گاما برای محلول آبی استخراج برگشتی آهن - ۵۵ (فاقد منگنز).

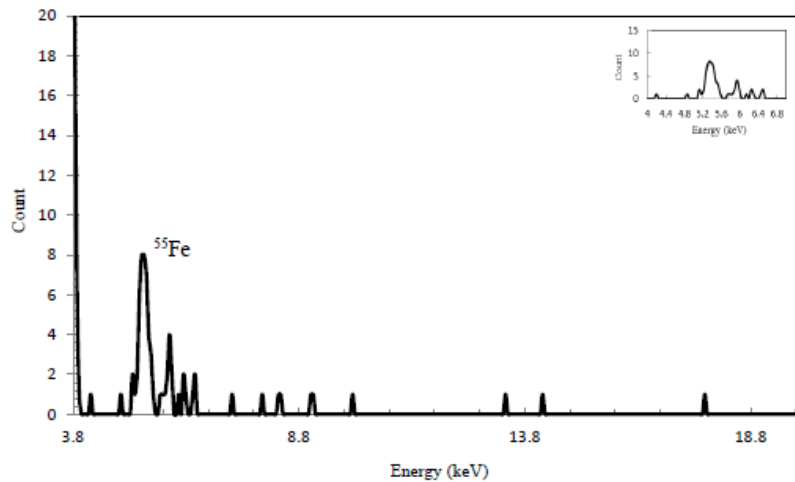
بحث و نتیجه گیری :



در این روش آهن-۵۵ با استفاده از بمباران پودرمگنز طبیعی غلاف شده توسط قرص مسی تهیه شد. محاسبات مربوط به انرژی و زمان بمباران انجام شد. نمونه‌های تولید شده توسط بمباران پروتونی در سیکلوترون با انرژی  $26/5 \text{ MeV}$  نشان از تولید مقادیر متناهی منگنز-۵۴ و روی-۶۵ داشت. ناخالصی روی-۶۵ حاصل از غلاف مسی است که به راحتی از محصول جدا می‌شود. ناخالصی منگنز-۵۴ به عنوان یک ردیاب عمل می‌کند و میتوان با ردیابی آن کارایی روش جداسازی و تخلیص مورد استفاده را تعیین نمود. در این روش جداسازی که برای مقادیر نیمه کمی (قابل انجام در مقیاس بزرگتر نیز میباشد) انجام شد، قابلیت توانایی روش رسوبگیری باکمک روش استخراج مایع-مایع تکمیل میشود. برای این که جداسازی به روش چشمی و معمول قابل پیگیری باشد به آن حامل (Carrier) اضافه شد و جداسازی انجام شد. در این تحقیق حامل مورد استفاده آهن طبیعی است که بصورت نمک سولفات آهن استفاده شد. با توجه به مقدار بسیار زیاد منگنز که مقداری از آن نیز تبدیل به منگنز-۵۴ شده است، آنچه از شواهد پس از جداسازی بر می آید جداسازی منگنز-۵۴ از آهن-۵۵ به طور کامل انجام شده است. طیف اشعه ایکس (کم انرژی) چشمه استاندارد آهن-۵۵ و نمونه تهیه شده به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است. امید است در آینده نزدیک و با تولید مقادیر بیشتری از آهن-۵۵، مقیاس تولید را از تولید آزمایشگاهی به نیمه صنعتی ارتقا دهیم.



شکل ۶: طیف اشعه ایکس (کم انرژی) برای چشمه آهن-۵۵ (۱/۰ میکروکوری).



شکل ۷: طیف اشعه ایکس (کم انرژی) برای نمونه‌ی تولیدی آهن-۵۵ حاصل از بمباران هدف با انرژی ۲۶ MeV در سیکلوترون.

مراجع:

- 1- Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods, Technical Reports Series No. 468, IAEA.
- 2- MANUAL FOR REACTOR PRODUCED RADIOISOTOPES IAEA, VIENNA, 2003, IAEA-TECDOC-1340.
- 3- I.J. Gruverman, P.Paul Kruger, Cyclotron production carrier-free radioisotopes, Int. J. Appl. Radiat Isot 5 (1959) 21.

تشکر و قدر دانی

با تشکر از شرکت پارس ایزوتوپ و مدیریت محترم تولید رادیو داروهای کرج.