

طراحی هدف و مطالعه پارامترهای تولید رادیوایزوتوپ کبالت-۵۵

طیب کاکاوند^۱، محمد میرزایی^۲، مطهره طالبی فتیهدی^{۱*}

۱- دانشگاه زنجان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

۲- سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

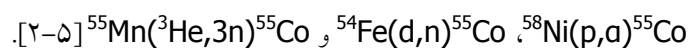
چکیده:

رادیوایزوتوپ کبالت-۵۵ یکی از مهم ترین گسیلنده های پوزیترون است و در پزشکی هسته ای برای تصویربرداری به روش PET^۱ از آن استفاده می شود. در این مقاله به بررسی واکنش هایی که منجر به تولید کبالت-۵۵ شده پرداخته و بهترین واکنش برای تولید با توجه به امکانات موجود در کشور تعیین گردید. تابع برانگیختگی^۲ برای واکنش مورد نظر توسط کد تالیس (TALYS) محاسبه شد و نتایج آن با مقادیر اندازه گیری شده تجربی مقایسه گردیده است. با انتخاب بازه انرژی مناسب ذره فرودی، ضخامت بهینه هدف توسط کد SRIM محاسبه شد. آبکاری آهن توسط حمام کلریدی بر روی زیر لایه مسی با توجه به بهترین شرایط لایه نشانی انجام شد.

کلید واژه: کبالت-۵۵، تابع برانگیختگی، کد TALYS، زیر لایه مسی، آبکاری الکتریکی

۱-مقدمه:

کبالت-۵۵ یکی از رادیوایزوتوپ های گروه کبالت با نیمه عمر ۱۷/۶ ساعت است، و با داشتن ۷۷ درصد واپاشی β^+ در تصویربرداری PET و در تشخیص تومورها و سرطان ها کاربرد گسترده ای دارد. از عمده ترین کاربردهای آن می توان به نشاندار کردن Bleomycin، آنتی بادی ها و تزریق وریدی برای مطالعات قلبی و مغزی اشاره نمود. ترکیب نشاندار $^{55}\text{Co-Bleomycin}$ در تشخیص متاستاز در مغزو سرطان ریه بکار برده می شود [۱]. واکنش هایی که منجر به تولید ^{55}Co می شوند عبارتند از: $^{56}\text{Fe}(p,2n)^{55}\text{Co}$



به دلیل عدم دسترسی به باریکه ^3He ، از بررسی تولید کبالت-۵۵ از ^{55}Mn با استفاده از واکنش $^{55}\text{Mn}(^3\text{He},3n)^{55}\text{Co}$ ، منصرف شدیم.

۱-Positron Emission Tomography

۲-Excitation Function

تولید کبالت-۵۵ از ^{58}Ni با استفاده از کد تالیس در کانال های مختلف واپاشی پس از بمباران نشان می دهد که میزان ناخالصی ^{58}Ni به دلیل همراه بودن با سایر ایزوتوپ های پایدار نیکل زیاد است، در نتیجه اکتیویته ویژه و درجه خلوص رادیونوکلئید پایین می باشد. بنابراین این واکنش مناسب نیست [۲].

بررسی تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{54}\text{Fe}(d,n)^{55}\text{Co}$ با استفاده از کد تالیس نشان می دهد که محدوده انرژی پرتابه دوترون (۳ تا ۱۶ مگاالکترون ولت)، حداکثر تولید را ایجاد می کند، اما با توجه به درصد فراوانی ^{54}Fe (۰.۵/۴٪) غنی سازی تا میزان ۹۰٪ نیاز به صرف وقت و هزینه بالایی دارد و چندان مقرون به صرفه نخواهد بود.

محاسبات کد تالیس برای تولید کبالت-۵۵ با استفاده از بمباران پروتونی هدف ^{56}Fe مناسبترین بازه انرژی را ۲۳ تا ۳۰ مگاالکترون ولت پیش بینی می کند که تطابق خوبی با مقادیر اندازه گیری شده تجربی دارد [۶ و ۷].

تولید کبالت-۵۵ از طریق واکنش $^{56}\text{Fe}(p,2n)^{55}\text{Co}$ به بالاترین اکتیویته ویژه نسبت به سایر واکنش ها می انجامد. استفاده از آهن طبیعی بر طبق محاسبات کد تالیس تقریباً مشابه محاسبات این کد با استفاده از هدف ^{56}Fe می باشد و با توجه به درصد فراوانی این عنصر که ۹۱/۴٪ است نیاز به صرف هزینه برای غنی سازی رفع خواهد شد.

۲- روش کار:

۲-۱ محاسبه ضخامت مورد نیاز هدف

یکی از مسائل مهم در طراحی هدف، محاسبه ضخامت بهینه هدف است. میزان از دست رفتن انرژی پروتون ها (dE) در یک بازه معین (dX) را قدرت ایستاندگی (Stopping Power) می نامند، که بستگی به جرم پرتابه و هدف، انرژی پرتابه، دانسیته هدف و بار پرتابه دارد [۸]. با استفاده از کد SRIM ضخامت مورد نیاز هدف به گونه ای محاسبه می گردد که پروتون فرودی با زاویه تابش عمودی نسبت به هدف و با انرژی فرودی تعیین شده وارد لایه هدف شده و با افت انرژی مورد نظر از آن خارج شود. با اجرای این کد در مورد ماده هدف ^{nat}Fe و پرتابه پروتونی در گستره انرژی ۲۳ تا ۳۰ مگاالکترون ولت ضخامتی از ماده در حدود ۶۵۰ میکرو متر لازم است و به دلیل زاویه پرتو با هدف، ضخامت ماده به ۶۵ میکرو متر کاهش می یابد.

۲-۲ طراحی هدف

هدف های جامد در سیکلوترون کرج به دو صورت قرصی توسط رسوب نشانی Sedimentation و هدف های آبکاری شده تهیه می شوند. در این مقاله به منظور تولید کبات-۵۵ از روش آبکاری الکتریکی استفاده شد.

پوشش حاصل از حمام های کلریدی، زودتر و ساده تر از پوشش ایجاد شده توسط الکترولیت سولفات دچار زنگ زدگی می شوند اما الکترولیت کلریدی هدایت الکتریکی بیشتری دارد که در نتیجه می تواند فشار بیشتری از چگالی جریان را تحمل کند و همچنین جریان پخش الکترولیت کلریدی بهتر از الکترولیت اسید سولفوریک است. به دلیل کار در دمای بالا پوشش آهن در اینگونه الکترولیت ها عملا بدون حضور هیدروژن صورت گرفته و در نتیجه پوشش شکننده نخواهد بود [۹ و ۱۰]. محلول آبکاری شامل ۵۰۰ میلی لیتر آب، ۸ گرم بر لیتر $FeCl_2$ ، ۲ گرم بر لیتر $CaCl_2$ و جریان بین دو الکترود ۲/۵A است.

محفظه آبکاری شامل یک استوانه توخالی از جنس پلکسی گلاس که آند پلاتینی از کف عبور کرده و در دیواره آن چهار پنجره با مساحت $11/69 cm^2$ تعبیه شده، ساخته شده است که زیر لایه در این پنجره قرا می گیرد. محفظه توسط کمر بند PVC محکم می شود و این کمر بند به همراه چهار پایه اجزا موتور و همزن را نگه می دارد. همزن استوانه توخالی که آند را محاصره می کند. سرعت چرخش همزن در این آزمایش ۵۰۰ دور بر دقیقه تنظیم شد که پس از ۸ ثانیه جهت چرخش معکوس می شود تا لایه گذاری یکنواخت صورت گیرد. توسط یک مقاومت دمای محلول ثابت نگه داشته می شود که با استفاده از شش مقاومت $1 \Omega / IV$ که با هم سری شده اند و با جریان DC کار می کنند ساخته شده است. آبکاری در حمام کلریدی با تغییر شرایط آبکاری، از جمله تغییر دما، اسیدیته، غلظت محلول و چگالی جریان صورت می گیرد.

۲-۳ آبکاری آهن با استفاده از حمام کلریدی

سطح قطعه فلزی معمولا حاوی گرد و خاک و پوسته های اکسیدی است، بنابراین برای ایجاد چسبندگی مطلوب تر بایستی سطح زیر لایه قبل از شروع آبکاری با مایع و استن شسته شود. آزمایشات اولیه در چگالی جریان در حدود mA / cm^2 بررسی شد و نتایج قابل ملاحظه ای در بر نداشت. با افزایش چگالی جریان به A / dm^2 شاهد روند رو به رشدی در پوشش دهی با ضخامت قابل توجه و افزایش بازده جریان بودیم. کنترل PH فاکتور مهم در حمام های کلریدی است، به دلیل تاثیر در بهره کاری

حمام و خواص فیزیکی پوشش. اگر PH حمام کنترل نشود سبب ایجاد پوشش شکننده خواهد شد، از طرفی اسید بیش از حد در محلول سبب کاهش بازده کاتدی می شود. از دیگر فاکتورهای مهم می توان به دما اشاره کرد. دماهای پایین سبب ایجاد پوشش ناهمگون و نامناسب می شوند. بهترین کیفیت پوشش در چگالی جریان $21/3 A / dm^2$ ، اسیدیته ۱ و دمای ۷۵ درجه سلسیوس برای ۸ گرم بر لیتر $FeCl_2$ ایجاد می شود.

۳- نتایج و بحث ها

۳-۱ محاسبه بهره تولید

با استفاده از معادله (۱) و برنامه نوشته شده توسط نرم افزار MATLAB می توان بهره را به روش انتگرال عددی سیمپسون محاسبه نمود. بهره تولید کبات-۵۵ برای انرژی پروتون ورودی $MeV 30$ در مدت زمان بمباران ۱ ساعت و شدت جریان $133 \mu A$ ، $296 mci$ بدست آمد.

$$Yield = 0.102 * H (1 - e^{-\lambda t}) / M \int [\sigma(E) / S_p(E)] dE \quad (1)$$

۳-۲ آزمایش شوک حرارتی پوشش

زیر لایه مسی آبکاری شده به مدت ۱ ساعت توسط کوره الکتریکی در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از این مدت قطعه به سرعت در آب ۸ درجه فربرده شد. در این آزمایش هیچ گونه ترک خوردگی و عدم چسبندگی در پوشش مشاهده نشد.

۳-۳ بررسی مورفولوژی سطح قطعه آبکاری شده

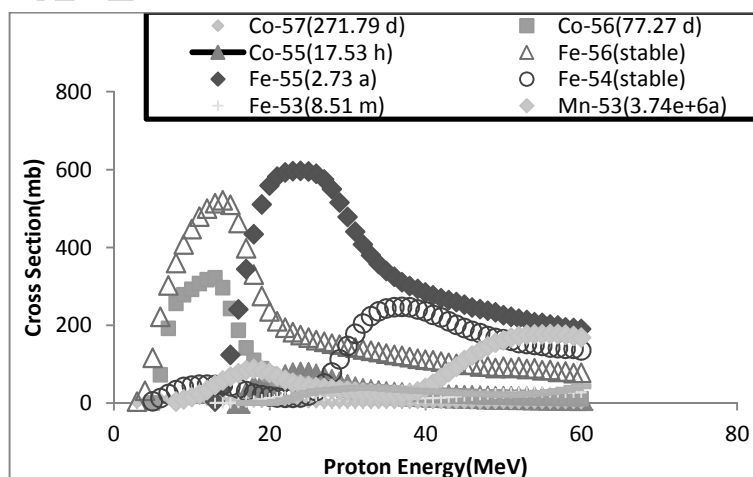
مناسب ترین هدف های پوشش دهی شده با روش اسکن میکروسکوپ الکترونی (SEM) بررسی شدند. دانه بندی ریزتر، رشد هم اندازه دانه ها و عدم حضور شاخه های دندریتی نشان دهنده کیفیت بهتر پوشش است. (شکل ۳)

نتیجه گیری

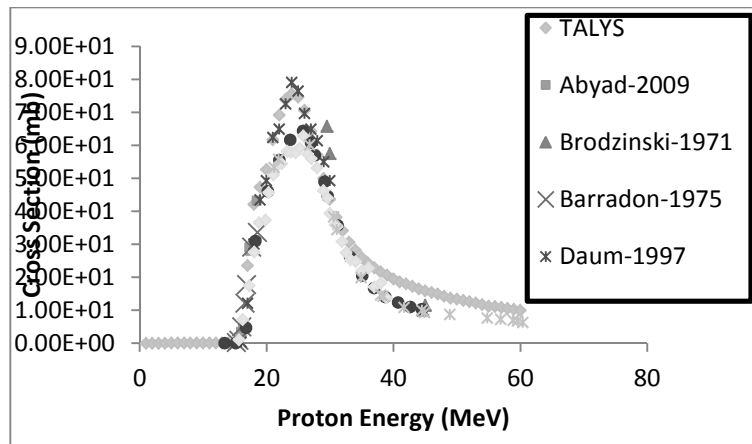
با استفاده از کد TALYS بهترین انرژی پرتابه پروتونی برای تولید کبالت-۵۵ حدود 30 MeV بیش بینی شد که در آن تولید سایر رادیوایزوتوپ های ناخالص بسیار کم است. مقدار ضخامت محاسبه شده حدود $65 \mu\text{m}$ است که با احتساب زاویه ۶ درجه پرتو با هدف به $65 \mu\text{m}$ کاهش می یابد. آبرکاری الکتریکی آهن بر روی زیر لایه مسی با استفاده از حمام کلریدی انجام شد و بهترین کیفیت پوشش در چگالی جریان $21/3 \text{ A/dm}^2$ ، اسیدیته ۱ و دمای ۷۵ درجه سلسیوس برای ۸ گرم بر لیتر FeCl_2 ایجاد شد.

جدول ۱. واکنش های هسته ای تولید کبالت-۵۵

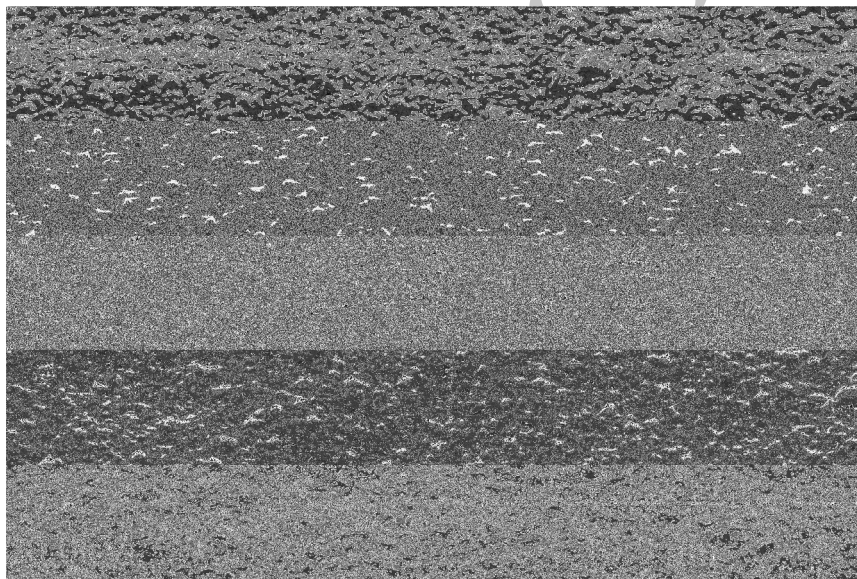
Nuclear Reaction	Energy Range(MeV)	Abundance(%)
$^{58}\text{Ni}(p,\alpha)^{55}\text{Co}$	۶-۱۳	۶۸/۳
$^{56}\text{Fe}(p,2n)^{55}\text{Co}$	۲۳-۳۰	۹۱/۷
$^{54}\text{Fe}(d,n)^{55}\text{Co}$	۳-۱۶	۵/۱
$^{55}\text{Mn}(^3\text{He},3n)^{55}\text{Co}$	۱۵-۲۸	۱۰۰



شکل ۱. تابع برانگیختگی واکنش هسته ای $^{nat}\text{Fe}(p,xn)^{55}\text{Co}$ با استفاده از کد TALYS



شکل ۲. تابع برانگیختگی واکنش $^{nat}\text{Fe}(p,xn)^{55}\text{Co}$ در مقایسه با مقادیر تجربی



شکل ۳. عکس SEM گرفته شده برای هدف آبکاری شده با 2 g.l^{-1} CaCl_2 ، $\text{pH}=1$ ، دما 75°C و جریان آبکاری $2/5 \text{ A}$. پوشش ایجاد شده یکنواخت بود.

مراجع:

- [1] Zaman, M. R, Spellerberg, S, Qaim, S. M. Production of ^{55}Co via the $^{54}\text{Fe}(d,n)$ -process and excitation functions of $^{54}\text{Fe}(d,t)^{53}\text{Fe}$ and $^{54}\text{Fe}(d,\alpha)^{52}\text{Mn}$ reactions from threshold up to 13.8 MeV. *Radiochim. Acta.* **91**, 105-108, 2003.
- [2] Spellerberg, S., Reimer, P., Blessing, G., Coenen, H.H., Qaim, S.M., Production of ^{55}Co and ^{57}Co via proton induced reactions on highly enriched ^{58}Ni , *Appl. Radiat. Isot.* **49**, 1519–1522, 1998.
- [3] Goethals, P., Sambre, J., Volkaert, A., Dams, R., Production and applications of ^{55}Co in PET, *Proc. 7th Workshop on Targetry and Target Chemistry*, Heidelberg (abstract) 217, 1997.
- [4] Zaman, M.R., Qaim, S.M., Excitation functions of (d, n) and (d, α) reactions on ^{54}Fe : Relevance to the production of high purity ^{55}Co at a small cyclotron, *Radiochim. Acta*, **75**, 59–63, 1996.
- [5] Wantanabe, M., Nakahara, H., Murakami, Y., ^3He bombardment of manganese for the production of ^{55}Co , *Radiat. Isot.*, **30**, 625–630, 1979.
- [6] ZhaoWenrong, LuHanlin, YuWeixiang., Measurement of cross sections by bombarding Fe with protons up to 19 MeV, *Chinese Nuclear Physics.*, **15**, 337, 1993.
- [7] Jenkins, I. L., Wain, A. G., Excitation functions for bombardment of Fe-56 with proton, *Inorganic and Nuclear Chemistry*, **32**, 1419, 1970.
- [8] Ziegler, J. F., Biersack, J. P., Littmark, U., The stopping and range of ions in matter, SRIM code. *NY. USA*, 2006.

[۹] منابع علمی و عملی آبکاری - مهندس محسن غفاری

- [10] Modern technology of electroplating anodizing and other surface treatments. Siri board of consultants and engineers.