

رسد بر ابراس

تهیه فسفر-۳۲ با پرتوزایی ویژه بالا براساس واکنش $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$

حمید رفیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج
حسین ارباب‌زوار، سیما عوض‌مقدم، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

استفاده روزافزون از فسفر-۳۲ به عنوان چشمه پرتوزا در پزشکی هسته‌ای و همچنین به عنوان ردیاب در صنعت و کارهای پژوهشی ایجاب می‌کند که روشهای تهیه و تولید این رادیوایزوتوپ مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش، فسفر-۳۲ براساس واکنش هسته‌ای $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ در رآکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای تهران، به وسیله پرتودهی به پتاسیوم‌دی‌هیدروژن‌فسفات (KH_2PO_4) با نوترون حرارتی ($2/5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ شار نوترونی) تولید، و با استفاده از رزین آبیونی قوی Dowex-X8، براساس انرژی پس‌زنی در اتم داغ (واکنش زیلارد-چالمرز) از ماده پرتودیده جدا شد. بررسیهای به عمل آمده نشان می‌دهند که پرتوزایی ویژه محصول نهایی بستگی به زمان پرتودهی به هدف دارد و درجه خلوص شیمیایی، رادیونوکلئیدی و رادیوشیمیایی آن بسیار بالا ($>98\%$) می‌باشد.

مقدمه

رادیونوکلئیدهای مصنوعی به مقدار زیاد معمولاً از راههای فعال‌سازی نوترونی در رآکتورهای هسته‌ای، تصفیه سوختهای هسته‌ای مصرف شده و بمباران عناصر هدف به وسیله ذرات باردار پرتوزایی در شتابدهنده‌ها بدست می‌آیند. تاکنون حدود ۲۰۰۰ نوع از این رادیونوکلئیدها شناسائی شده‌اند که فسفر-۳۲ یکی از آنها است [۱].

فسفر-۳۲ رادیونوکلئیدی با نیمه عمر ۱۴/۳۱ روز می‌باشد که با گسیل یک ذره بتا (β^-) با انرژی ماکزیمم ۱۴/۳۱ MeV به گوگرد-۳۲ تبدیل می‌شود. از این رادیونوکلئید به عنوان چشمه پرتوزا برای درمان و تشخیص بعضی از تومورهای سرطانی و همچنین به عنوان ردیاب در بررسی سوخت و ساز فسفولیپیدها، مطالعه جذب و دفع فسفر و ارزیابی کودهای فسفردار به منظور دستیابی به محصول بهتر استفاده می‌شود [۲ و ۵].

فسفر-۳۲ را می‌توان با استفاده از گوگرد و فسفر، برطبق واکنشهای هسته‌ای $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ و $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ تهیه کرد. در روش استفاده از گوگرد و ترکیبات آن به عنوان هدف درجه خلوص رادیونوکلئیدی محصول نهایی چندان رضایت‌بخش نیست، زیرا هر سه ایزوتوپ طبیعی گوگرد و احتمالاً آرسنیک (ناخالصی عمده گوگرد طبیعی) بطور همزمان با جذب نوترون برطبق جدول ۱، به

فسفر-۳۲ و رادیونوکلئیدهای ناخواسته دیگر تبدیل می‌شوند [۲].

به دلیل صددردصد بودن فراوانی نسبی فسفر-۳۱ در طبیعت و سطح مقطع واکنش نسبتاً بالای آن (۰/۲۱ بارن) در واکنش هسته‌ای $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ ، احتمال تولید ناخالصیهای رادیونوکلئیدی بسیار کم است و تنها واکنش هسته‌ای مزاحم، تولید سیلیسیوم-۳۱ به صورت واکنش $^{31}\text{P}(n,p)^{31}\text{Si}$ می‌باشد. چون نیمه عمر سیلیسیوم-۳۱ در برابر فسفر-۳۲ بسیار کم است (۲/۶۲ ساعت)، این رادیونوکلئید قبل از تولید محصول نهایی از بین می‌رود و در نتیجه به عنوان ناخالصی رادیونوکلئیدی مطرح نخواهد بود [۲]. در واقع، آکتیویته ویژه فسفر-۳۲ حاصل در نمونه پرتودیده اولیه بسیار کم است ولی افزایش آن با استفاده از تغییرات شیمیایی حاصل از اثر انرژی پس‌زنی در اتم داغ^۴ (اثر زیلارد-چالمرز^۴) امکان‌پذیر است. توضیح مختصر اینکه، انرژی گرمایی هسته اتم پس از جذب نوترون به مراتب بیشتر از انرژی گرمایی محیط اطراف آن می‌شود، به همین جهت به آن اتم داغ می‌گویند. این هسته با انتشار پرتوگامای آنی^۵ با انرژی E_γ ، برای حفظ بقای اندازه حرکت خود، متحمل یک

۱- Target

۲- Recoil Energy

۳- Hot atom

۴- Szilard-Chalmers effect

۵- Prompt gamma

جدول ۱- ویژگیهای هسته‌ای ایزوتوپهای طبیعی گوگرد و اثر آنها بر تولید رادیوایزوتوپهای $S-35$ و $P-33$ به عنوان ناخالصیهای رادیونوکلئیدی فسفر-۳۲

ردیف	ایزوتوپهای طبیعی گوگرد	درصد فراوانی طبیعی	واکنش هسته‌ای محتمل	سطح مقطع واکنش (بارن)	نیمه عمر روز
۱	S-۳۲	۹۵	$^{32}S(n,p)^{32}P$	۰/۰۶	۱۴/۳
۲	S-۳۳	۰/۷۶	$^{33}S(n,p)^{33}P$	۰/۰۰۲۳	۲۴/۶
۳	S-۳۴	۴/۲۲	$^{34}S(n,\gamma)^{34}S$	۰/۲۶	۸۶/۷

ارزیابی گردیده و کنترل کیفی محصول بدست آمده از لحاظ درجه خلوص شیمیایی و رادیونوکلئیدی و رادیوشیمیایی مورد بحث قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

در کلیه آزمایشهای مربوط به این پژوهش از مواد شیمیایی ساخت شرکت Aldrich و Merk، که بالاترین درجه خلوص شیمیایی را داشته‌اند استفاده شده است؛ پرتودهی نمونه‌ها در رآکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای تهران در قدرت ۴ MW با شار نوترونی حدود $2/5 \times 10^{12}$ n/cm².sec انجام شده است؛ تعیین میزان پرتوزایی (آکتیویته) هر نمونه با آشکارساز بدورسديم (نوع Capintec, CRC^R-15R)، تعیین طیف گاما با استفاده از آشکارساز نیمه‌هادی (HPGe-PC-30180)Ge(Li)، تعیین طیف بتا با استفاده از آشکارساز Si(Li) (ساخت شرکت ORTEC، model 7013-04160) و طیف‌سنج سنتیلاسیون مایع (Liquid Scintillation Spectrometer, 1220 Quantulus TM, Wallac) و تعیین غلظت فسفر به وسیله طیف‌سنج نوری نوع Beckman UV. VIS DU(p) انجام گرفته است.

بررسی کیفی ارتوفسفات و پیروفسفات به وسیله روش کروماتوگرافی روی کاغذ^۶ با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ و مخلوطی از ۲-پروپانول، آب، آمونیوم هیدرواکسید غلیظ به ترتیب به نسبت‌های ۳:۱:۰/۱ و ۵:۰/۵ گرم تری‌کلرواستیک به عنوان حلال به عمل آمد. بعد از عمل جداسازی، مخلوط تازه تهیه شده‌ای از اسیدکلریک ۳/۰ نرمال، اسیدکلریدریک ۲/۰ نرمال و

حرکت پس‌زنی (با انرژی پس‌زنی Er) می‌شود که مقدار آن برحسب eV از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Er(eV) = 537 \times E_p(MeV)/A$$

در این رابطه A جرم اتمی است. در مورد فسفر-۳۲، انرژی پس‌زنی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Er = 537 \times \frac{62/39}{32} = 1047 \text{ eV}$$

مقدار این انرژی پس‌زنی به مراتب بیشتر از انرژی پیوندی فسفر (۱ تا ۵ الکترون‌ولت) در مولکول پرتودیده است. همین امر باعث جابجایی اتمها و تشکیل پیوند شیمیایی جدید و در نتیجه تغییر ساختار شیمیایی آن می‌شود [۱ و ۲ و ۹ و ۶]. بازده فسفر-۳۲ حاصل از دو روش استفاده از فسفر و گوگرد از رابطه زیر حساب می‌شود:

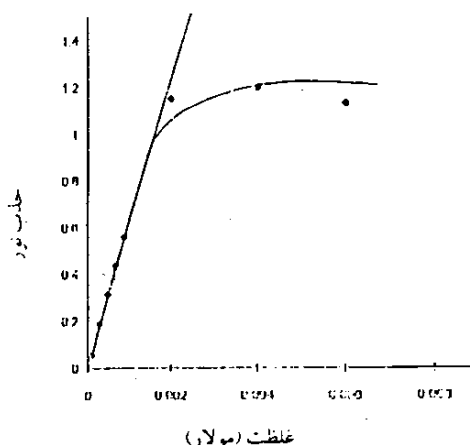
$$R, \theta = \text{بازده تولید } ^{32}P$$

در این رابطه θ فراوانی نسبی ایزوتوپ موردنظر در طبیعت، δ سطح مقطع مؤثر واکنش (بارن)، و R بازده شیمیایی است.

$$\frac{\text{بازده تولید } ^{32}P \text{ با استفاده از فسفر}}{\text{بازده تولید } ^{32}P \text{ با استفاده از گوگرد}} = \frac{1/00 \times 0/26 \times (0/4 \text{ تا } 0/1)}{0/95 \times 0/06 (1 \text{ تا } 0/95)}$$

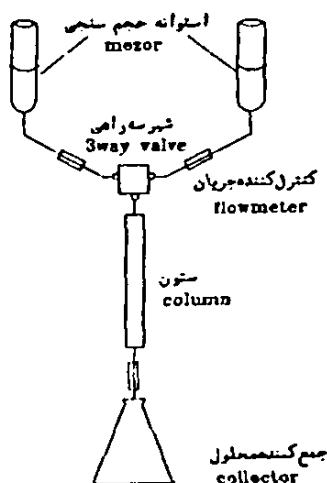
از این نسبت که برابر ۰/۳۹ تا ۱/۵۶ است و از آنچه که در پیش‌بدان اشاره شد، چنین استنباط می‌شود که با بهینه‌سازی شرایط روش استفاده از فسفر، می‌توان به مزایایی از جمله ساده‌تر بودن روش جداسازی فسفر-۳۲ از هدف، درجه خلوص رادیونوکلئیدی بالاتر، همچنین بازده تولید بهتر، دست یافت [۷].

در این پژوهش، تولید فسفر-۳۲ با استفاده از فعال‌سازی نوترونی KH_2PO_4 بررسی شده، شرایط بهینه جهت جداسازی آن از نمونه پرتودیده به منظور تهیه محصولی با آکتیویته ویژه بالا



شکل ۱- تعیین محدوده کاری غلظت KH_2PO_4 ، رابطه خطی بین غلظت ارتوفسفات و جذب فقط تا $2 \times 10^{-2} \text{ M}$ وجود دارد

[۷ و ۹ و ۱۲]. بنابراین لازم است شرایط جداسازی آنها بررسی شود. برای این منظور، ابتدا ۲۵ گرم رزین آنیونی (Dowex-X8, 100-200 mech, chlorine form) در ۴۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته و پس از ۱۵ دقیقه بهم زدن، آب روی آن تعویض شد و تا زلال شدن این آب عمل تعویض آن ادامه یافت؛ سپس برای جداسازی ارتوفسفات و پیروفسفات، اعمال شیمیایی زیر به ترتیب انجام گرفت:



شکل ۲- دستگاه ویژه جداسازی ترکیبات فسفر

آمونیم مولیدات 0.04% مولار به عنوان معرف روی کاغذ کروماتوگرافی پاشیده γ و با استفاده از لامپ UV، جای ترکیبات مورد نظر مشخص و مقدار R_f آنها برآورد شد و هر یک از ترکیبات به روش مقایسه با استاندارد مشخص گردید:

$$R_f(\text{پیروفسفات}) = 0.65 \text{ تا } 0.60$$

$$R_f(\text{ارتوفسفات}) = 0.78 \text{ تا } 0.85$$

برای تعیین غلظت فسفر در ترکیبات آن از روش رنگ سنجی (طیف سنجی نوری)، ترکیب مختلط (کمپلکس) حاصل از فسفات با آمونیم مولیدات $[(\text{NH}_4)_4\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ و آمونیم وانادات (NH_4VO_3) استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا رابطه غلظت فسفات و میزان اسیدی محلول با مقدار جذب، مورد بررسی قرار گرفته است [۸ و ۱۲].

۲-۱- تعیین محدوده کاری غلظت فسفات

هشت نمونه KH_2PO_4 با غلظتهایی از 10^{-2} M تا $6 \times 10^{-2} \text{ M}$ تهیه و میزان جذب ترکیب مختلط حاصل از آن با آمونیم وانادات و آمونیم مولیدات، در طول موج 465 nm اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که فقط تا $2 \times 10^{-2} \text{ M}$ تغییرات جذب نور بر حسب تغییرات غلظت ارتوفسفات از رابطه بیر- لامبرت پیروی می کند (شکل ۱):

$$y = 1/85 \times 10^{-2} x - 2/17 \times 10^{-2} \quad (1)$$

۲-۲- تعیین محدوده کاری غلظت HCl

مانند روش قبل میزان جذب ترکیب مختلط حاصل از KH_2PO_4 در غلظت ثابت با آمونیم وانادات و آمونیم مولیدات در حضور مقادیر مختلف HCl اندازه گیری شد. نتایج حاصل نشان می دهند که میزان اسیدی محلول تا 0.6% مولار تاثیر چندانی در مقدار جذب ندارد ولی فراتر از این حد، میزان جذب کاهش می یابد. در همه آزمایشها سعی شده است میزان اسیدی محلول طوری تنظیم شود که خطائی از این بابت به وجود نیاید.

۲-۳- تعیین میزان جذب ارتوفسفات و پیروفسفات بر روی رزین فرض بر این است که در اثر پرتو دهی ارتوفسفات، مقداری پلی فسفات- از جمله پیروفسفات- بوجود می آید

ستون را افزایش می‌دهد بدون این‌که در بازده عمل تاثیر قابل توجهی داشته باشد.

ج- ۱۰ میلی‌لیتر محلول $K_2P_2O_7$ ۰/۰۴ مولار و KH_2PO_4 ۰/۱ مولار در KCl ۰/۰۲۵ و HCl ۰/۰۲۵ نرمال از ستون محتوی رزین آماده شده عبور داده شد. (ستون برای آماده شدن، ابتدا با ۶۰ میلی‌لیتر حلال KCl ۰/۰۲۵ و HCl ۰/۰۲۵ نرمال به نام «حلال اولیه» و سپس با ۵۰ میلی‌لیتر حلال HCl ۸ نرمال «حلال ثانویه» شسته شد). طبق روش پیش‌گفته، بعد از تبدیل پیروفسفات (محلول ثانویه) به ارتوفسفات، مقدار جذب آنها با UV-VIS و سرانجام غلظت هر یک از این ترکیبات معین شد. نتیجه کار، مؤید آزمایشهای ۱ و ۲ می‌باشد:

- بازده خروج ارتوفسفات از ستون (محلول اولیه): ۹۸٪

- بازده خروج پیروفسفات از ستون (محلول ثانویه): ۹۵/۵٪

۴-۲- تولید فسفر-۳۲

یک ظرف پلی‌اتیلن خالص محتوی یک گرم بلور KH_2PO_4 خشک در یک قوطی آلومینیومی تمیز دیگر گذاشته شده و مجموعه به دفعات در مدت ۲/۵ و ۱۰ و ۲۰ ساعت درون قلب رآکتور، تحت تابش شار نوترون $2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ، در توان ۴ مگاوات قرار داده شد. در این عمل، فسفر موجود تحت واکنش $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ قرار گرفته و مقداری از آن به پلی‌فسفات تبدیل شد [۲ و ۷ و ۹].

۵-۲- تهیه ارتوفسفات حاوی فسفر-۳۲

به منظور حذف رادیونوکلئیدهای دارای نیمه عمر کوتاه، انجام عملیات جداسازی یک هفته بعد از عمل پرتودهی صورت گرفت. نمونه پرتودیده، به روش پیش‌گفته، در ۱۰ میلی‌لیتر حلال KCl ۰/۰۲۵ و HCl ۰/۰۲۵ نرمال حل و از ستون آماده شده عبور داده شد و با ۶۰ میلی‌لیتر از همین حلال مورد شستشو قرار گرفت. محلول خارج شده از ستون، محتوی ارتوفسفات و ترکیبات مشابه بود که به عنوان پسماند در نظر گرفته شد، سپس به وسیله ۵۰ میلی‌لیتر حلال HCl ۸ نرمال، ترکیبات پلی‌فسفات محتوی فسفر-۳۲ از ستون خارج و با عمل رفلاکس تبدیل به ارتوفسفات شد. زیادی میزان

الف- مقدار ۵ میلی‌لیتر از این رزین در ستونی به قطر ۸ mm و به طول ۱۵ cm (شکل ۲) ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر محلول KH_2PO_4 در HCl ۰/۰۲۵ نرمال و KCl ۰/۰۲۵ نرمال با سرعت ۰/۷ ml/min از آن عبور داده شد. سپس ستون با ۶۰ میلی‌لیتر مخلوط KCl ۰/۰۲۵ و HCl ۰/۰۲۵ نرمال و ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر شسته و محلول خارج شده از ستون در یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. ۵ میلی‌لیتر از این محلول با ۵ میلی‌لیتر محلول آمونیوم وانادات (۵ gr/lit) و ۵ میلی‌لیتر محلول آمونیوم مولیبدات (۵ gr/lit) و ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۰/۲۵ نرمال در یک بالن ۵۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شده و پس از ۳۰ دقیقه میزان جذب آن با دستگاه UV-VIS در طول موج ۴۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. با استفاده از معادله تغییرات میزان جذب برحسب غلظت محلول استاندارد ارتوفسفات و میانگین مقدار جذب عامل (۰/۶۴ ± ۰/۰۱)، مقدار ارتوفسفات خارج شده از ستون تعیین گردید (۰/۹۸).

ب- ۱۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیوم پیروفسفات ($K_2P_2O_7$) به غلظت ۰/۰۴ M در KCl ۰/۰۲۵ و HCl ۰/۰۲۵ نرمال از ستون آماده شده (شکل ۲) عبور داده شد، سپس ستون با ۵۰ میلی‌لیتر محلول HCl ۸ نرمال شسته شد. محلولهای خارج شده از ستون جمع‌آوری و هریک جداگانه به وسیله یک میرد به مدت دو ساعت در دمای حدود 150°C رفلاکس شدند. برای تنظیم میزان اسیدی محلول در حد محدوده کاری، HCl موجود در خروجی ثانویه از راه تبخیر در خلاء از محیط عمل حذف گردید. قبل از خشک شدن کامل محلول مقداری آب مقطر به آن اضافه و عمل تبخیر در خلاء تکرار شد (با دو بار تکرار این عمل، میزان اسیدی محیط به حد محدوده کاری رسید). محلولهای حاصل مانند روش قبل به حجم رسانده شده و میزان جذب آنها به وسیله UV-VIS در حضور آمونیوم وانادات و آمونیوم مولیبدات اندازه‌گیری گردید. با استفاده از معادله تغییرات جذب برحسب غلظت ارتوفسفات و میانگین مقدار جذب محلولهای فوق، نتایج زیر (با سه بار تکرار آزمایش) بدست آمد:

- درصد خروج پیروفسفات از ستون قبل از شستشوی با اسید: ۰/۰۶
- درصد خروج پیروفسفات از ستون بعد از شستشوی با اسید: ۹۶/۵
توضیح اینکه مصرف کردن زیادتر از حد HCl به منظور خارج کردن کامل پیروفسفات از ستون، فقط حجم محلول خارج شده از

متوسط، حاصل از نمونه‌ای که ۵ دقیقه بمباران نوترونی شده و دو ساعت از زمان پرتودهی آن گذشته است، نشان می‌دهد که در این نمونه رادیونوکلیدهای K-42 ، Na-24 و In-116 وجود دارند (شکل ۳). ولی چون نیمه عمر این رادیونوکلیدها حدود دقیقه و ساعت است، قبل از تهیه محصول نهایی بطور کامل از بین می‌روند (شکل ۴). مقایسه طیف گامای حاصل از نمونه‌ای که ۲۰ ساعت بمباران و ۴ هفته از زمان پرتودهی آن گذشته (شکل ۵)، با طیف گامای مربوط به شمارش زمینه (شکل ۶)، که تحت شرایط یکسان گرفته شده‌اند نشان دهنده حضور K-40 ، Co-60 و Sb-124 در آنها می‌باشد. از این میان K-40 مربوط به زمینه، Co-60 و Sb-124 مربوط به آلودگی محیط کار است. طیف بتای محصول نهایی مؤید

اسیدی محلول با استفاده از عمل تبخیر حذف و غلظت ارتوفسفات، مانند روش پیش‌گفته به کمک میانگین جذب و با استفاده از معادله تغییرات جذب بر حسب غلظت، تعیین شد.

با معلوم بودن غلظت فسفر-۳۲ به صورت ارتوفسفات و اندازه‌گیری میزان پرتوزایی (آکتیویته) آن، آکتیویته ویژه هر نمونه بر حسب میلی‌کوری بر گرم فسفر-۳۲ محاسبه شد. نتایج حاصل، که در جدول ۲ مندرج است، نشان می‌دهند که با افزایش زمان پرتودهی میزان آکتیویته ویژه هر نمونه نیز افزایش می‌یابد.

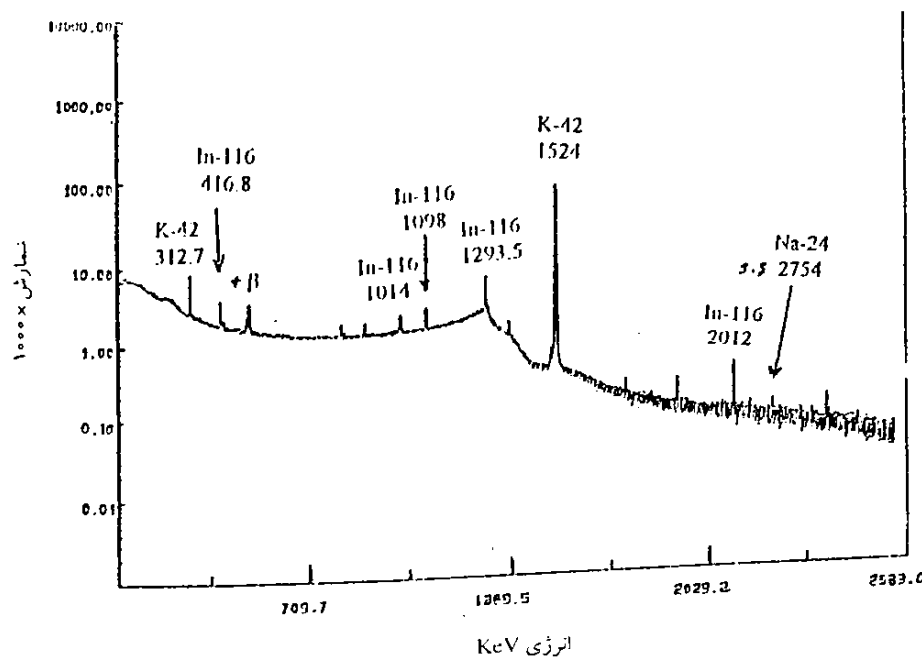
۳- بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- خلوص رادیونوکلییدی

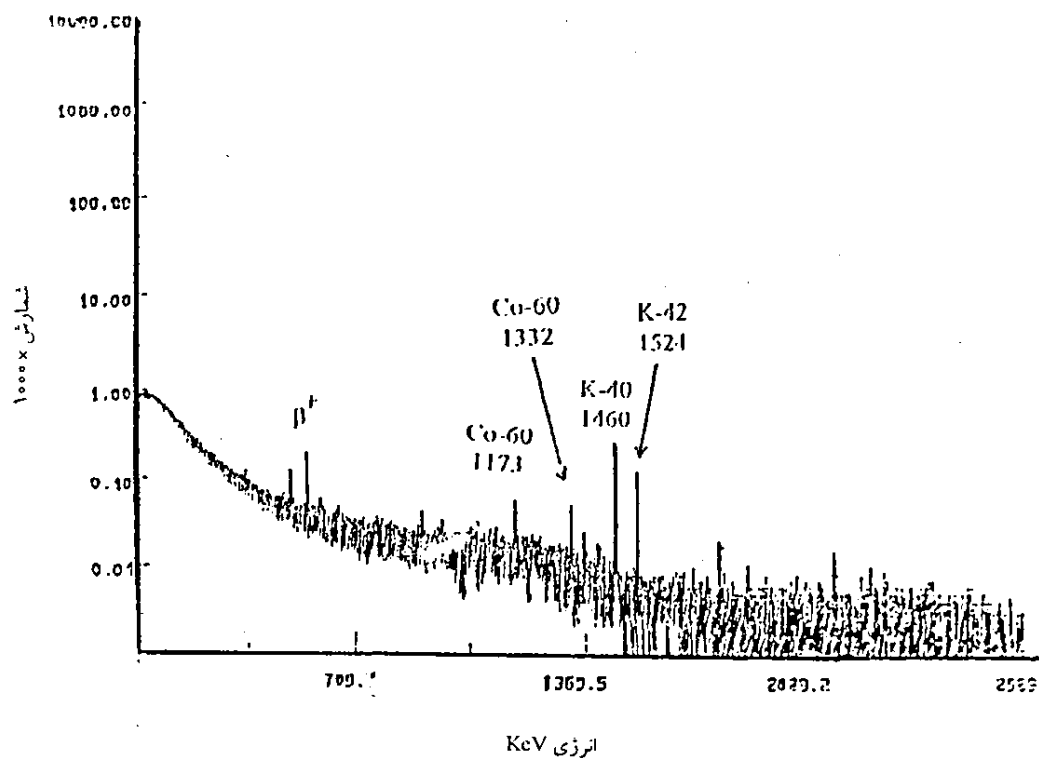
طیف گامای مربوط به رادیونوکلیدهای دارای نیمه عمر کوتاه و

جدول ۲- افزایش آکتیویته ویژه فسفر-۳۲ تولید شده بر حسب زمان پرتودهی

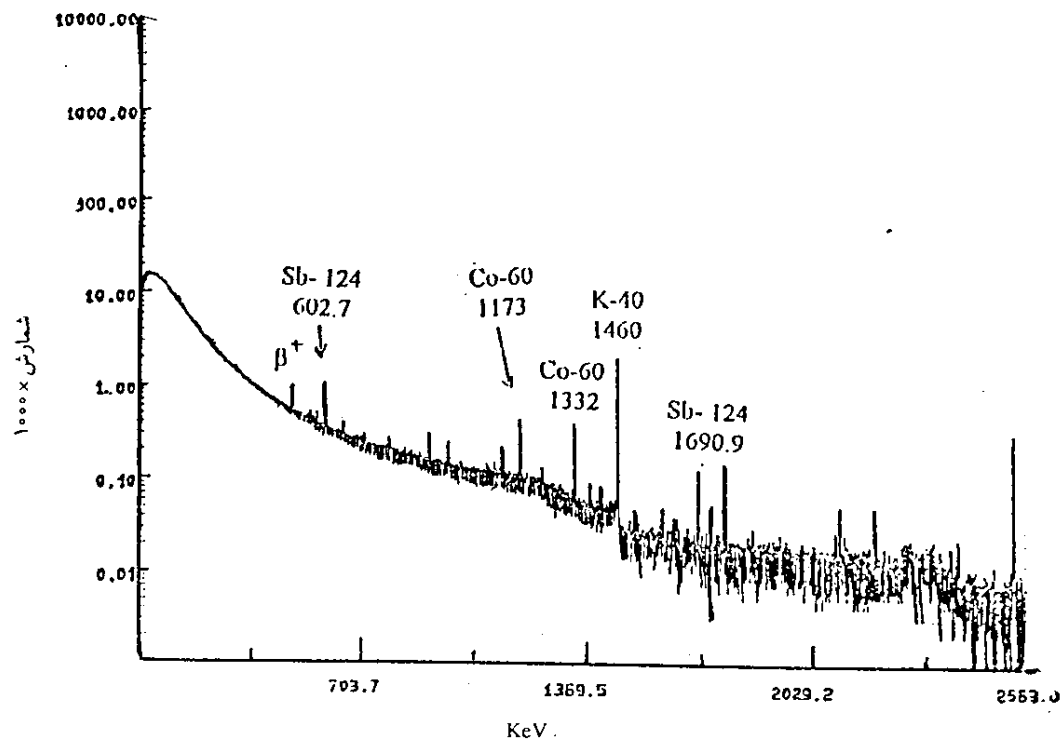
ردیف	زمان پرتودهی (ساعت)	غلظت ^{32}P به صورت ارتوفسفات (M)	آکتیویته ^{32}P ($\mu\text{Ci}/\text{g}$)	آکتیویته ویژه بعد از جداسازی (mCi/gr)
۱	۲/۵	$7/4 \times 10^{-4}$	۰/۱۶۹	۱۲۵/۸۴
۲	۱۰	$3/1 \times 10^{-4}$	۰/۰۷۲	۱۱۶۵/۸
۳	۲۰	$1/4 \times 10^{-4}$	۰/۰۲۰	۲۲۲۵/۵



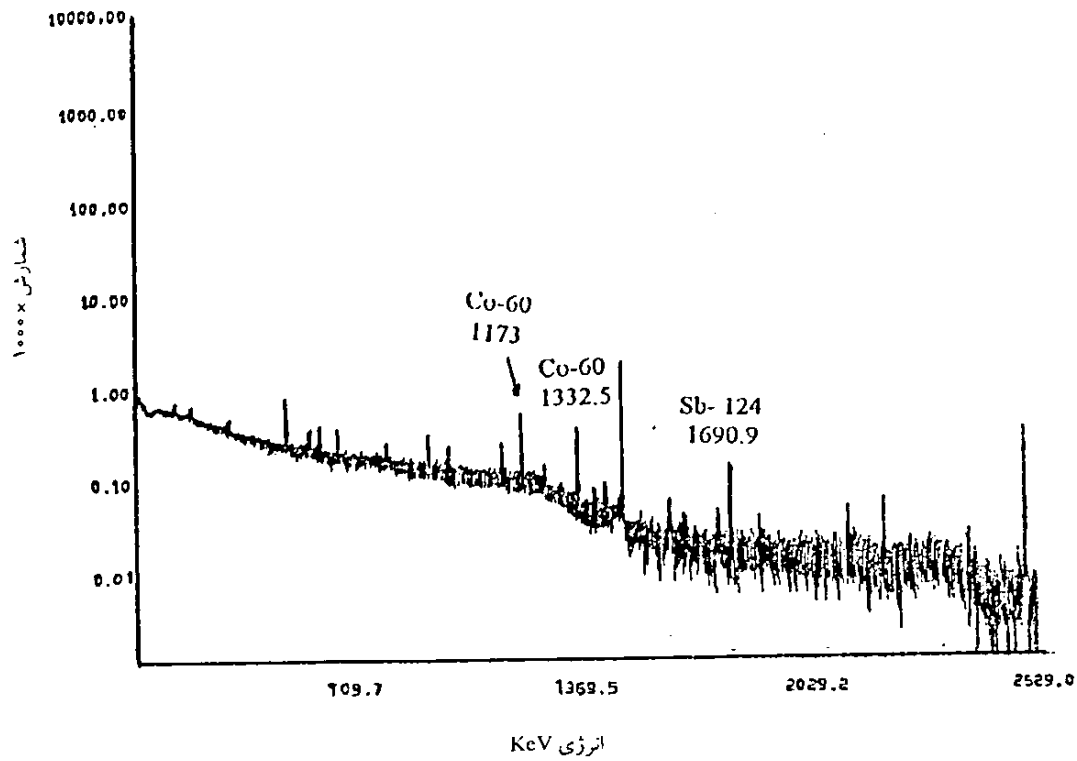
شکل ۳- طیف گامای نمونه KH_2PO_4 نمونه ۵ دقیقه پرتودهی شده و پس از گذشت ۲ ساعت با آشکارساز $\text{Ge}(\text{Li})$ به مدت ۱۰۰ ثانیه شمارش شده است.



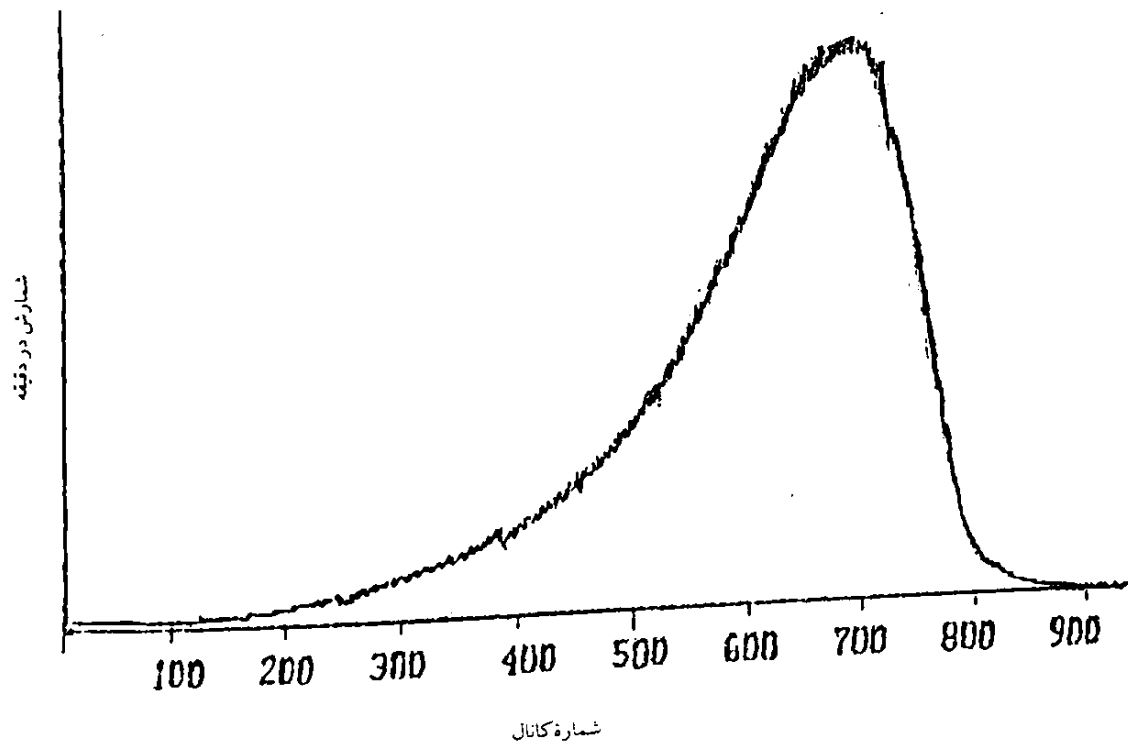
شکل ۴- طیف گامای نمونه KH_2PO_4 . نمونه ۵ دقیقه پرتو دهی شده و پس از گذشت یک هفته با آشکارساز Ge(Li) به مدت ۱۰۰۰۰ ثانیه شمارش شده است.



شکل ۵- طیف گامای نمونه KH_2PO_4 . نمونه ۲۰ ساعت پرتو دهی شده و پس از گذشت چهار هفته با آشکارساز Ge(Li) به مدت ۲۴ ساعت شمارش شده است.



شکل ۶- طیف گامای زمینه که با آشکارساز GeLi به مدت ۲۴ ساعت شمارش شده است.



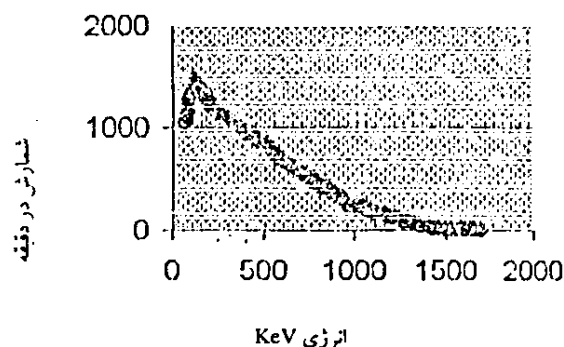
شکل ۷- طیف β نمونه فسفر-۳۲ تولید شده، حاصل از سنتیلاتور β کوانتولوس

۳-۴- بازده محصول نهایی و اکتیویته ویژه آن

در مقدمه بیان شد که بازده تهیه فسفر-۳۲ از طریق واکنش $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ براساس نظریه اتم داغ، بستگی زیادی به بازده عملیات شیمیایی آن دارد [۷]. در این پژوهش سعی شده است که قبل از کار روی نمونه رادیو آکتیو، شرایط بهینه جداسازی فسفر-۳۲ از نمونه پرتودیده براساس نظریه مذکور بررسی شود. بهمین جهت محصول نهایی با اکتیویته ویژه مناسب بدست آمده که مؤید بازده خوب این روش می باشد (جدول ۲). این نتایج نشان می دهند که با افزایش زمان پرتودهی، اکتیویته ویژه محصول نهایی نیز افزایش می یابد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از آقایان دکتر آفریده، دکتر غفوریان، دکتر اولیاء، دکتر لامعی، مهندس اصغری زاده، مهندس اعظمی و همچنین از همکاران بخش سیکلوترون مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته ای کرج و همکاران بخش کارگردانی رآکتور مرکز تحقیقات هسته ای تهران که در فراهم آوردن امکانات مورد نیاز این طرح تحقیقی همکاری صمیمانه ای داشته اند تشکر و قدردانی می شود.



شکل ۸- طیف β نمونه فسفر-۳۲ که با استفاده از آشکارساز $\text{Si}(\text{Li})$ بدست آمده است. ماکزیموم انرژی این طیف ۱۷۰۰ KeV است که با P-^{32} استاندارد مطابقت کامل دارد.

ماده بتادهنده با انرژی ماکزیموم حدود ۱۷۰۰ KeV است که مطابقت کامل با P-^{32} دارد (شکلهای ۷ و ۸).

مطالب بالا و طیف های ارائه شده نشان می دهند که خلوص رادیونوکلئیدی فسفر-۳۲ بدست آمده بیش از ۹۹٪ است.

۳-۲- خلوص رادیوشیمیایی

به طوری که اشاره شد، ماده پرتودیده به صورت ارتوفسفات بود که بیش از ۹۸٪ آن با ترکیبات مشابه در شستشوی اولیه از ستون خارج و به عنوان پسماند در نظر گرفته شدند. ترکیبات پلی فسفات که بر اثر انرژی پس زنی فسفر-۳۲ بوجود آمدند، در شستشوی دوم از ستون خارج و سرانجام به ارتوفسفات تبدیل شدند. بنابراین، محصول نهایی به صورت اسید فسفریک بوده و درجه خلوص رادیوشیمیایی آن تقریباً ۹۹٪ برآورد می شود [۲، ۷ و ۹].

۳-۳- خلوص شیمیایی

چون در کلیه آزمایشها از خالص ترین ترکیبات شیمیایی استفاده شده است، با توجه به این نکته که در عملیات جداسازی با رزین، یونهای پلی فسفات، هیدروژن و کلر از ستون خارج شده و یونهای پلی فسفات در اثر عمل رفلاکس به ارتوفسفات تبدیل و قسمت عمده یونهای کلر در اثر تبخیر از محیط حذف می شوند، بنابراین محصول نهایی به صورت اسید ارتوفسفریک پایدار با درجه خلوص شیمیایی بالا بدست خواهد آمد (بیش از ۹۸٪).

References

1. William D. Ehmann and Diane. E. Vance, Nuclear method of analysis, In: Radiochemistry, John Willey and Sons Inc. NeW York (1991).
2. Tokai Ibaraki, Phosphorus-32, In: Radioisotope Production and Quality Control, IAEA, Vienna, STI/DOC/10/1289 (1971).
3. Michael F.L. Annunziata, Radiotracers in Agricultural Chemistry, IAEA, Vienna, Austria Academic Press, London and New York (1979).
4. M. Tubiana, Therapeutic use of radioactive isotops, Radioisotops in Medical Diagnosis, E.H. Belcher and H. Vetter ed., London, Butterworths (1971).
5. C.L. Comar, Principles and practice, In: Radioisotops in Biology and Agriculture, Mc Graw-Hill, New York (1955).
6. G. Friedlander, et al, In: Nuclear and Radiochemistry, 3d ed. New York: wiley (1981).
7. N. Shibata and K. Tanaka, Procédés de preparation du phosphore-32 possédant une activité spécifique élevée, exemp de P-33. French Patent (1964) No. 1.371.171.
8. P.A. Sellers et al, Neutron irradiation of some crystalline salts of phosphoric acid, phosphorus, and hypophosphorus acids in Vacuum, J. Inorg. Nucl. Chem (1957) 5:31-42.
9. K. Tanaka, The preparation of phosphorus-32 in a high specific activity using the Szilard-Chalmers effect, Bull. Chem. Soc. Japan (1964) 37:1730-1733.
10. Foster Dee snell and lesies Ehreed, Phosphorus, In: Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis, Interscience publishers, Div. of John wiley and sons, New York (1973).
11. C.J. Barton, photometric analysis of phosphate rock, Anal. Chem (1948) 20(11):1068-1072
12. A.J. Mackenzie and J.W. Barland, Non orthophosphate contaminant of neutron irradiated rock phosphates, Anal. Chem. (1952)24(1):176-179.

PREPARATION OF CARRIER-FREE PHOPHORUS-32 FROM $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ REACTION

H. Rafii, Nuclear Research Center for Agriculture & Medicine,

AEOI, P.O. Box 31585-4395, Karaj-Iran

H. Arbab Zavar, S. Avaz Moghadam,

Facuty of Science, Ferdocie Mashad University

Abstract

The phophorus-32 is a widely used radioisotope as a tracer or radioactive source in nuclear medicine, and in many other biotechnical applications.

In this paper, the preparation of carrier-free P-32 with a high specific activity was studied by $^{31}\text{P}(n,\gamma)^{32}\text{P}$ reaction. The anhydrous KH_2PO_4 , as a target material, was irradiated in Tehran Nuclear Research Reactor with a neutron flux of $2.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$. The P-32 produced as a result of szilard-chalmers effect was isolated from the target by a strong anion exchange resin, (Dowex - X8).

The quality control of the product shows a high chemical, and radiochemical purity (>98%) and the increase specific activity depends on the irradiation time.