

مولد ^{99m}Tc (ژل ژنراتور) روشی نوین در تولید ^{99m}Tc برای مصرف در پزشکی هسته‌ای

کاظم حقیر ابراهیم‌آبادی، رضا نجفی: بخش رادیوایزوتوپ، مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران
حسین آقا بزرگ: آزمایشگاه شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه تربیت معلم، تهران
حسن فرسام: دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی، دانشگاه تهران
آزاده تجردی: مرکز تحقیقات سیمان، دانشگاه علم و صنعت، تهران

چکیده

^{99m}Tc رادیوایزوتوپ بر مصرفی در پزشکی هسته‌ای است که می‌توان آن را با دو روش تولید کرد: روش تولید مولد ^{99m}Tc به وسیله کروماتوگرافی مایع - جامد که در آن از ^{99}Mo محصول شکافت ^{235}U استفاده می‌شود و روش مولد ژل (ژل ژنراتور) که محصول واکنش $^{99}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ است. در روش مولد ژل از ترکیب زیرکونیوم و مولیدات ژلی تشکیل می‌شود که ^{99}Mo را در خود نگه می‌دارد و از فروپاشی آن ^{99m}Tc آزاد می‌گردد که با روش کروماتوگرافی مایع - جامد به وسیله محلول نسکی شونده از ستون کروماتوگرافی خارج می‌شود. عوامل متعددی از جمله pH، غلظت، درجه حرارت در کارایی سیستم مؤثرند که بررسی عسارت هر یک از آنها برای بدست آوردن نسخه مطلوب ضروری است. از سوی دیگر، بررسی ژل به لحاظ سازوکار عمل و ترکیب کسینکسهای تشکیل شده در ژل قابل توجه است. در این پژوهش مطالعاتی درباره تهیه مولد ژل و بررسی پاره‌ای از عوامل مؤثر بر آن به عمل آمده است.
واژه‌های کلیدی: تکسیم - ^{99m}Tc ، مولیدن - ^{99}Tc ، زیرکونیوم، ژل ژنراتور، بازدهی ژنراتور

Tc-99m gel generator; An alternative source of Tc-99m for medical uses

K.H. Ebrahimabadi, R. Najafi: Radioisotope Division, Nuclear Research Center,
AEOI, P.O. Box: 14155 - 1339, Tehran-Iran

H. Aghabozorg: Inorganic Chem. Lab., Faculty of Chem., Teacher Training Univ. Tehran

H. Farsam: Faculty of Pharmacy, Tehran Univ. of Med. Sciences. Tehran

A. Tajarodi: Cement Research Center, Univ. of Science and Industry, Tehran

E-mail: kebrahim_fb@yahoo.com

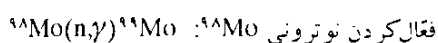
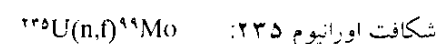
Abstract

Tc-99m is a widespread radioisotope in nuclear medicine and it can be produced by two different methods. The first method is performed by chromatographic generator by using Mo-99 prepared by fission of U-235, and another method is activation of Mo-98 to produce Mo-99 through Mo-98 (n,γ)Mo-99 reaction in a reactor. In the latter method, Mo-99 can be complexed by ZrOCl_2 and produce a gel. Mo-99 remains in this gel and Tc-99m elute with normal saline solution. Many factors such as pH, concentration of Mo in the gel structure, and drying conditions of gel affect on the efficiency of the generator. In this research the gel generator production and some factors which are effecting on the ^{99m}Tc production are presented.



۱- مقدمه

می‌کند. مزیت دیگر ^{99m}Tc امکان تهیه آن از فروپاشی ^{99}Mo است که نیمه عمر آن معادل ۶۶/۰۶ ساعت است؛ این امر تهیه آن را برای نواحی دور از مرکز تولید امکان‌پذیر می‌سازد. ^{99}Mo را به عنوان منبع تولید ^{99m}Tc می‌توان به روشهای زیر تهیه کرد [۱]:



۱-۱- روش شکافت اورانیوم

^{235}U را به صورت ورقه‌های همراه با آلومینیوم در رآکتور با نوترون بمباران می‌کنند. ^{235}U شکافته شده و رادیونوکلیدهای مختلفی تولید می‌شوند که حدود ۶٪ از محصول این شکافت ^{99}Mo است. ^{99}Mo را به روشهای پیچیده‌ای از محصول شکافت جدا کرده و به صورت مولیدات سدیم ($\text{Na}_2^{99}\text{MoO}_4$) در می‌آورند که این ترکیب روی ستون کروماتوگرافی آلومینا قرار می‌گیرد و مولیدن آن به روش کروماتوگرافی مایع - جامد در ستون آلومینا جدا می‌شود.

۱-۲- روش بمباران نوترونی ^{98}Mo

در این روش ^{98}Mo غنی‌شده یا طبیعی را که فراوانی مولیدن ۹۸٪ در آن حدود ۲۴٪ است، در رآکتور تحت بمباران نوترونی قرار می‌دهند و پس از خارج کردن از رآکتور، ^{99}Mo ایجاد شده را برای تهیه مولد ^{99m}Tc بکار می‌برند. جداسازی تکنسیوم با این روش به سه طریق صورت می‌گیرد [۱]:

الف) استخراج با حلال آلی (اتیل متیل کتون)

ب) روش تصعید

ج) روش مولد ژل

از میان این سه روش طریقه تهیه مولد ژل ساده‌تر و در دسترس‌تر است زیرا تعداد مراحل کار آن کمتر بوده و می‌توان آنرا به صورت مولد ساده و مناسبی طرح‌ریزی کرد که نیاز به وسایل و شرایط خاص روش‌های تصعید و استخراج را ندارد و در بعضی از کشورها به عنوان روش ثانوی تولید ^{99m}Tc مورد بررسی و تحقیق است.

در این روش ^{99}Mo را به وسیله Zr یا Ti به صورت ژل در

کشف ^{99m}Tc رویداد مهمی در تاریخ پزشکی هسته‌ای است. پیشرفت فزونی که به ما امکان بررسی ساختار تشریحی بدن را به روشی سالم و تمیز می‌دهد، مستقیماً در قلمرو گسترده‌ای به استفاده از این رادیونوکلئید مربوط می‌شود. این امر که ^{99m}Tc دارای خواص هسته‌ای مطلوبی برای تصویربرداری از اعضای درونی بدن است به توسط گروه Brookhaven تحقق یافت و مقبولیت جهانی را در راه استفاده از فنون هسته‌ای برای تصویربرداری از اعضای درونی بدن بدست آورد. در حال حاضر ^{99m}Tc متداول‌ترین رادیونوکلئید مورد استفاده در معاینه‌های پزشکی است [۲].

تکنسیوم عنصر ۴۳ جدول تناوبی است که بطور طبیعی وجود ندارد و در سال ۱۹۳۷ به توسط Perrier و همکاران در یک ورقه مولیدنیم که به مدت چند ماه در سیکلوترون برکلی بمباران شده بود کشف شد. پس از مطالعه دقیق پیشنهاد شد که این ماده جدید باید رادیوایزوتوپی از زیرکونیوم، نوبلیوم، مولیدنیم، روتنیوم یا منگنز باشد. آنان مشخص کردند که این ماده خواص شیمیایی مشابه خواص رنیوم دارد.

پیشرفت رآکتورهای هسته‌ای سبب شد که عنصر ۴۳ را از شکافت اورانیوم بدست آورند و آن را تکنسیوم بنامند. این عنصر حتی چند سال پس از کشف، به همان صورت تحقیقاتی باقی ماند تا این که هنگام مطالعه خواص بحرانی رادیوایزوتوپها بر روی موجود زنده مشخص شد که ^{99m}Tc خواص نسبتاً نادری برای تصویر برداری از اعضای داخلی بدن دارد.

^{99m}Tc با دو پدیده انتقال ایزومری و الکترون Auger واپاشیده می‌شود و پرتودهی اصلی آن گاما با انرژی 140KeV است. در این انرژی فوتونها دارای قابلیت نفوذ در بافتها هستند که برای تصویربرداری از اعضای داخلی بدن مناسب است. این مشخصه همراه با نیمه عمر فیزیکی ۶/۰۲ ساعت، تزریق چندین میلی‌کوری ^{99m}Tc با پرتودهی پایین را به مریض امکان‌پذیر می‌سازد و امکانات دسترسی به میزان شمارش بالا در مواردی که وسایل آشکارسازی خارج از بدن قرار دارند، حتی تصویرگیری از اعضای عمقی بدن با توان تفکیک بالا را فراهم



خلاء صاف و چند بار با آب مقطر شسته شد و بعد به مدت ۴ ساعت زیر تابش مستقیم لامپ فرورسرخ خشک گردید.

۷- ژل خشک بالای ستونی به قطر ۸ و به طول ۱۸ میلی متر محتوی ۲ گرم اکسید آلومینیوم اسیدی قرار گرفت و چند بار با محلول نمکی نرمال شسته شد.

۲-۲- تعیین pH بهینه برای تولید ژل

عواملی که در کارایی ژل برای آزادسازی ^{99m}Tc به صورت پرتکتات مؤثرند عبارتند از pH، غلظت Mo و شرایط خشک کردن ژل. بنابراین، بهینه سازی این شرایط به منظور بدست آوردن بازدهی بالا و آکتیویته ویژه مناسب ضروری است. براین اساس آزمایشهایی طرح ریزی شد و این شرایط مورد بررسی قرار گرفت:

تحقیقات قبلی نشان داده است که pH محلول زیرکونیوم تأثیر چندانی در کارایی ژل ندارد [۱]؛ بنابراین طراحی آزمایش به این طریق صورت گرفت که pH محلول زیرکونیوم ثابت بماند و pH محلول اکسید مولیبدن تغییر داده شود. براین اساس ۵ محلول با غلظت یکسان از اکسید مولیبدن تهیه کرده و pH آنها را به ترتیب از ۳ تا ۷ تنظیم کردیم، سپس بقیه مراحل ساخت ژل را بر طبق مطالب پیش گفته انجام دادیم. پس از پایان یافتن تهیه ژل و صاف کردن رسوب، آن را به مدت ۴ ساعت تحت تابش مستقیم لامپ فرورسرخ قرار دادیم تا ژل کاملاً خشک شود. در این مرحله ژل برای انتقال به ستون کروماتوگرافی حاوی آلومینای اسیدی آماده شد. نتایج بدست آمده در جدول ۱ خلاصه شده است.

۲-۳- بررسی اثر غلظت Mo و Zr بر بازدهی ژل

افزایش غلظت مولیبدن در ساختار ژل به لحاظ نظری ممکن است بازده ژنراتور را افزایش دهد [۲]. بنابراین آزمایشی طرح ریزی شد و در آن غلظت MoO_3 مورد آزمایش به ترتیب ۱/۵ و ۲ برابر غلظت اولیه (که برابر غلظت زیرکونیوم بود) انتخاب شد. تجزیه و تحلیل ژل غیرآکتیو با طیف سنج XRF نشان داد که در ساختار ژل تفاوت محسوسی در اثر افزایش غلظت Mo بوجود نمی آید، بنابراین در نمونه رادیوآکتیو فقط غلظت ۱/۵ برابر غلظت اولیه مورد بررسی قرار گرفت.

می آورند سپس ژل حاصل را بالای ستون کروماتوگرافی محتوی آلومینا قرار می دهند. با شستشو به وسیله محلول نمکی نرمال، ^{99m}Tc حاصل از راه تراویدن یا سازوکار مبادله یونی از شبکه ژل خارج و وارد محلول شوینده می شود در حالیکه Mo در شبکه ژل باقی می ماند و به این ترتیب جداسازی صورت می گیرد.

۲- مواد و روشها

مواد شیمیایی بکار رفته عبارتند از: MoO_3 و NH_4VO_3 و ZrOCl_2 ساخت کارخانه MERCK آلمان؛ دستگاههای مورد استفاده مشتملند بر:

۱- Reactor: AFOI Swimming pool Type research reactor

۲- XRF: ICP - Varian

۲-۱- روش تهیه ژل

ژل Zr/Mo طی مراحل زیر تهیه شد [۱ و ۲]:

۱- مقدار یک گرم MoO_3 درون یک قوطی آلومینیوم به مدت یک هفته در رآکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران تحت پرتودهی نوترونی با مجموع توان ۳۹۵ مگاوات - ساعت قرار گرفت؛ مشخصات پرتودهی به شرح زیر است:

فلوی نوترون: $1.8 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$

آکتیویته ویژه: 1.85 GBq/g

۲- اکسید مولیبدن پس از آکتیو شدن از قوطی آلومینیوم خارج و در حداقل مقدار سود ۵ نرمال حل شد و pH آن تنظیم گردید.

۳- مقدار ۲/۲ گرم $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر حل و pH آن در محدوده ۱/۵ - ۱ تنظیم شد.

۴- محلول زیرکونیوم در محدوده دمایی ۵۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس، قطره قطره به محلول اکسید مولیبدن آکتیو شده که به شدت به هم زده می شد اضافه گردید و نتیجه آن تشکیل رسوب سفید رنگ بود.

۵- به هم زدن این رسوب تا ۱۰ دقیقه دیگر ادامه یافت، سپس pH سوسپانسیون حاصل با سود ۵ نرمال به ۵ رسانده شد و این سوسپانسیون مدتی در جایی ساکن نگهداشته شد تا رسوب کامل شود.

۶- رسوب حاصل با کاغذ واتمن شماره ۴۱ در قیف بوختر و در



جدول ۱- نتایج بررسی اثر pH بر روی بازدهی مولد

۷	۶	۵	۴	۳	pH محلول مولیدن (اولیه)
۳۰/۸	۳۱/۲	۱۸/۲	۱۷/۷	۲۱/۲۲	آکتیویته اولیه مولیدن-۹۹ (بر حسب میلی کوری)
۸۱/۸	۱۰۹۲	۸	۱۱/۱۲	۱۳/۱۹	شدت آکتیویته در ژلین روز شششو (میلی کوری)
۳۵/۹۵	۴۷/۸	۶۴/۰۰	۹۱/۳	۹۳/۰۰	شدت درصد بازده ^{99m}Tc
<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۰۵	میزان آلودگی به ^{99}Mo

نتایج در جدول ۲ خلاصه شده است.

۳- نتایج

از آزمایشهای پیش گفته نتایج زیر بدست آمد:

با توجه به داده‌های جدول ۱، بازده مولد در pH اسیدی ۳ و ۴ بیشتر بوده و در حد قابل قبول می‌باشد. بنابراین، در آزمایش بررسی اثر غلظت Mo، از همین دو pH استفاده شد. نتیجه آکتیو کردن ژلی که در آن غلظت مولیدن ۱/۵ برابر غلظت زیرکونیوم بود به صورت زیر است:

$$^{99}\text{MoO}_4 = 21/0 \text{ mCi}$$

$$= 7 \text{ mCi}$$

$$= 50\% \text{ بازده}$$

از جدول ۲ نتیجه گرفته می‌شود که بهترین نسبت مولی مقرون به صرفه همان نسبت ۱:۱ است که در آن بیشترین بازده بدست می‌آید.

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل ژلهای مختلف Mo به روش XRF

غلظت اکسید مولیدن در ساختار ژل (درصد)	غلظت محلول مولیدن اولیه به غلظت محلول زیرکونیوم (مول)	نتیجه
۵۵/۲۰	۱	۱
۶۳/۷۱	۱/۵	۱/۵
۶۵/۵۰	۲	۲

۴- بحث

با توجه به مطالب پیش گفته چنین به نظر می‌رسد که بهترین پیردهی در مولد ژل تکنسیوم هنگامی حاصل می‌شود که نسبت

مولی Mo/Zr برابر ۱ و pH محلول اولیه MoO_4 در محدوده ۳ تا ۴ باشد. در این حالت بالاترین بازده بدست می‌آید. اما مسأله مهم در این نوع مولدها پایین بودن آکتیویته ویژه است که لازم است تحقیقات بیشتر در این باره به عمل آید. راه حل‌های پیشنهادی در این مورد شامل استفاده از ^{99}Mo غنی شده و بالا بردن غلظت مولیدن در ساختار ژل با استفاده از کمپلکسهای فلزی دیگر است که بررسی در این مورد ادامه دارد.

از نظر سازوکار عمل در مقایسه با مولدهای حاصل از عمل کروماتوگرافی که در آن از ^{99}Mo محصول شکافت ^{235}U به عنوان منبع تولید ^{99m}Tc استفاده می‌شود نکات زیر قابل توجه است:

در مولدهای حاصل از کروماتوگرافی که از ^{99}Mo ایجاد شده از شکافت ^{235}U استفاده می‌شود، ^{99}Mo در ستون آلومینا جذب می‌شود و TcO_4^- که ضریب جذب کمتری دارد توسط محلول شوینده که معمولاً محلول نمکی نرمال است شسته شده و زودتر از ستون خارج می‌شود. ژنراتور حاصل از کروماتوگرافی از نظر عملکرد ساده است و می‌تواند به صورت یک سیستم بسته طراحی شود تا کیفیت استریل بودن برقرار بوده و محلول بسیار خالص بدست آید. با وجود این به سبب ظرفیت محدود مولیدات در این سیستم (ظرفیت محدود بستر آلومینا برای جذب ^{99}Mo) نیاز به ^{99}Mo با آکتیویته ویژه بالا است که از محصولات شکافت مشتق می‌شود، و آن هم همراه با مشکلاتی همچون فرآوری پیچیده آکتیویته بالا، ذخیره‌سازی پسمان با آکتیویته ویژه بالا بوده و نیاز به خالص‌سازی ماهرانه محلولهای ^{99m}Tc دارد. مولدی که در اینجا توصیف شده است، بر این مشکلات با استفاده از یک ژل زیرکونیوم مولیدات فائق آمده

برده‌اند [۲]. در این تحقیق ما برای خشک کردن ژل از گرمای لامپ فرورسرخ استفاده کردیم که مدت ۳ تا ۴ ساعت برای آن کافی بوده و بازده بالایی نیز بدست آمده است.

باید توجه داشت که محصول پرتکتات که از مولد ژل بدست می‌آید بطورکلی دارای اکتیویته ویژه پایین است و این امر در عمل برای نشاندار کردن کیت‌های رادیودارویی مشکل‌ساز است. بنابراین تحقیقات برای بالا بردن اکتیویته ویژه ضروری است و استفاده از ترکیبات فلزی دیگر ممکن است در این مورد مفید باشد. در یک رشته تحقیقات از تیتانیوم برای ساختن ژل استفاده شده و در مواردی هم $Ce(IV)$ [۳] یا ترکیبات وانادیوم برای افزایش بازدهی ژل بکاررفته است [۴]. این مواد پایداری ژل را افزایش می‌دهند و از ورود مولیدین به داخل محلول شوینده جلوگیری می‌کنند که کارهای تحقیقاتی بر روی آنها هنوز ادامه دارد.

مصرف روزافزون تکنسیموم در کلینیک به لحاظ کاربرد بسیار قابل توجه است. با توجه به این که در زمان حاضر تمام ^{99m}Tc مورد استفاده در کشور از مولدهایی بدست می‌آید که از ^{99}Mo حاصل از شکافت ^{235}U تهیه می‌شوند و ^{99}Mo از خارج از کشور خریداری می‌شود، که مشکلات فراوانی دربردارد. تهیه ^{99m}Tc با استفاده از روش بمباران نوترونی می‌تواند روش مفید و قابل ملاحظه‌ای در قبال روش مولد حاصل از شکافت باشد. مزیت‌های این روش عبارتند از ایمنی (عدم تولید محصولات شکافت و آلفا دهنده‌ها)، اقتصادی بودن (فرآیند اکتیوسازی ساده و حذف فرآوری محصولات شکافت با اکتیویته بالا) و زیست محیطی (حذف مشکلات همراه با ذخیره‌سازی یا از بین بردن محصولات شکافت). دسترسی به آن نیز آسان است، زیرا اکتیوسازی ^{99}Mo در رآکتور تحقیقاتی سازمان انرژی اتمی ایران به آسانی امکان‌پذیر می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را از همکاران محترم در آزمایشگاه کنترل کیفی، آقایان حمزه‌ای و عبدالله پور و خانم ذوقی، که در انجام مراحل مختلف کار ما را

است. سازوکاری که برای عملکرد ژل در نظر گرفته شده بر این پایه است که ژل عمدتاً یک تعویض کننده کاتیونی با ساختاری باز است که تراوش آزاد TcO_4^- و در نتیجه شویندگی با بازدهی بالا در حجم نسبتاً کم را امکان‌پذیر می‌سازد. برخلاف مولدهای حاصل از کروماتوگرافی براساس شکافت، در این مولدها ^{99}Mo به لحاظ شیمیایی در ساختار ژل ترکیب شده و به آسانی به وسیله نیروهای جذب سطحی جدا نمی‌شود و نمی‌تواند از ماتریس (قالب) ژل شسته شود.

ژل به لحاظ شیمیایی، ساختمان پیچیده‌ای دارد. مولیدین و زیرکونیوم هر دو مستحتمل بسپارسازی آبکافت (پلی بریزاسیون هیدرولیتیک) وابسته به غلظت، pH، دما و زمان می‌شوند و کمپلکس‌های چند هسته‌ای تحت شرایط رسوب‌گذاری به وجود می‌آیند. رسوب‌گذاری سریع باعث تولید رسوب بی‌شکل (آمورف) می‌شود که در الگوی طیف پرتو ایکس ظاهر می‌گردد. ژلهای بی‌شکل دارای ظرفیت بالای مبادله یونی هستند. این کیفیت برخلاف خاصیت مبادله یونی ضعیف ترکیبات ریزپلوزی $ZrMo_4O_{14}(OH)_2(H_2O)_2$ است که با جوشاندن ژلهای بی‌شکل بدست می‌آید. ظاهراً خاصیت تراوش یونی آزاد که به ژل بی‌شکل خاصیت مبادله یونی برتر را می‌دهد برای جدا کردن TcO_4^- از قالب ژل ضروری است. مطالعه خاصیت بلوری برای پی بردن به سازوکار عمل ژل ممکن است راهنما باشد. از طرف دیگر بررسی کمپلکس‌های تشکیل شده نیز قابل توجه است [۲].

در مورد افزایش کارایی ژل علاوه بر مطالب پیش‌گفته، شرایط خشک کردن ژل نیز مطرح است. مقدار آب موجود در ژل نیز عامل مهمی است و آزمایش نشان داده است که خشک کردن در دماهای بالاتر از ۱۲۰ درجه سلسیوس کارایی شویندگی را کاهش می‌دهد و حرارت دادن تا ۲۰۰ درجه قابلیت شویندگی را کاملاً از بین می‌برد.

تغییر در ویژگیهای شویندگی، بنظر می‌رسد مربوط به تغییرات در اندازه تخلخل ژل باشد که قابلیت تراوایی پرتکتات را از داخل ژل کاهش می‌دهد. در بیشتر پژوهشهای انجام شده دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس را به مدت ۶ تا ۱۲ ساعت بکار



سوخت هسته‌ای آقای دکتر فتادی و دکتر خانچی به خاطر مساعدت در انجام طیف‌سنجی XRF و آقای مهندس کتابداری در گروه آنالیز واحد اکتشاف برای طیف‌سنجی XRD اعلام می‌داریم.

یاری داده‌اند، همچنین از آقایان اعظمی و سلیمانی و مرادی در بخش رادیوایزوتوپ و آقای مستوفی در واحد راکتور که در مراحل آکتیو کردن نمونه به ما کمک کرده‌اند اعلام می‌داریم. همچنین تشکر و سپاس خود را از همکاران معاونت محترم

References

1. "Alternative technologies for Tc-99m generators," IAEA. TECDOC-852, pp:1-48 (1995).
2. J.V. Evans, "Zirconium molybdate Gel as a Generator for Technetium-99m,1- The concept and its evaluation," APPL. RADIAT. ISOT. vol.38, No.1, pp:19-23 (1997).
3. R.E. Boyd, "The gel Generator Option," IAEA-TECDOC -1065, pp:147-155 (1999).
4. M.A. Rouf, "Development of New Target Materials for the production of Tc-99m Generators by column chromatography", INIS-Au-0011 (V.2), pp:126--134 (1997).
5. F.F. Knapp, "USE of A New Tandem cation/Anion Exchange system with clinical-scale generators provides High specific volume solutions of Technetium-99m and Rhenium-188," IAEA-TECDOC-1029, pp:419-425 (1998).
6. E.L.R. Hetherington, "Targets for the production of neutron activated Molybdenum-99," IAEA-TECDOC-1065, pp:19-23 (1999).