



بررسی تجربی رادیونوکلیدهای تولید شده در اتاق شتاب‌دهنده خطی پزشکی با استفاده از آشکارساز ژرمانیم فوق خالص

مهدی تورنگ^۱، اصغر حدادی^{۱*}، میترا اطهری علاف^۲، داریوش سرداری^۱، محمدرضا زارع^۳

۱. گروه مهندسی پروتوزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵، تهران - ایران

۲. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صندوق پستی: ۱۴۵۱۵-۷۷۵، تهران - ایران

۳. گروه فیزیک هسته‌ای، دانشگاه اصفهان، کدپستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، اصفهان - ایران

*Email: haddadi14857@yahoo.com

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۸/۹

چکیده

فوتون‌های پرنرژی (۱۰ تا ۲۰ مگا‌ولت) ناشی از شتاب‌دهنده پزشکی در اتاق درمان رادیوتراپی باعث تولید نوترون در آن محیط می‌شود. نوترون‌های تولید شده توسط مواد مختلف موجود در شتاب‌دهنده و مواد اطراف و حتی بدن بیمار جذب شده و آن‌ها را رادیواکتیو می‌کند. تابش نوترون و گامای ناشی از رادیوایزوتوپ‌های تولید شده در اتاق درمان برای رادیوتراپیست‌ها که به طور متناوب رفت و آمد زیادی به اتاق درمان دارند ممکن است ریسک پرتوگیری داخلی علاوه بر پرتوگیری خارجی داشته باشد. در این تحقیق بعد از اکسپوز پرتو ایکس با انرژی ۱۸ مگا‌ولت توسط شتاب‌دهنده پزشکی (مدل ۲۳۰۰C/D Varian) با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیم فوق خالص قابل حمل زیر هد اصلی شتاب‌دهنده طیف‌نگاری انجام شد و ۱۹ رادیوایزوتوپ در شتاب‌دهنده و مواد اطراف آن شناسایی شد.

کلیدواژه‌ها: آشکارساز ژرمانیم فوق خالص قابل حمل، شتاب‌دهنده خطی پزشکی، رادیوتراپی، اتاق درمان، حفاظت در برابر تابش

An empirical investigation on radionuclides production in medical linear accelerator treatment room using HPGe detector

M. Tourang¹, A. Hadadi^{*1}, M. Athari-Allaf², D. Sardari¹, M. Zare³

1. Department of Medical Radiation Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 14515-775, Tehran-Iran

2. Department of Nuclear Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O. Box: 14515-775, Tehran-Iran

3. Department of Nuclear Physics, Faculty of Science, University of Isfahan, Postal code: 8174673441, Isfahan -Iran

Research Article

Received 17.7.2021, Accepted 31.10.2021

Abstract

High energy photons (10-20 MeV) that originate from medical linear accelerator in Radiotherapy treatment room, produce neutron. The produced neutrons are absorbed with different materials in the accelerator, the environment and even patient body that produced radioactive materials. These radioactive materials may pose a risk of radiation exposure to the radiotherapists who go to the treatment room frequently between patients. This process may cause internal radiation exposure in addition to external radiation exposure. In this research after the exposure of 18 MV X-Ray by medical accelerator (Varian 2300C/D), the spectrum of accelerator head was collected by portable HPGe detector and 19 radioisotopes were recognized.

Keywords: Portable High Purity Ge detector, Medical linear accelerator, Radiotherapy, Treatment room, Radiation protection



۱. مقدمه

رادیوتراپی با الکترون و فوتون به‌عنوان یکی از روش‌های در دسترس و معمولی است که به‌صورت تنها و یا ترکیبی با روش‌های دیگر، برای درمان سرطان استفاده می‌شود. گاهی اوقات در رادیوتراپی ممکن است به نفوذ تابش به عضوایی با عمق زیاد نیاز باشد که در این صورت انرژی‌های بیش‌تر باعث نفوذ بیش‌تر تابش در بافت خواهد شد. در انرژی‌های بالا نگرانی بیش‌تری در خصوص ایمنی و حفاظت در برابر تابش وجود دارد که توجهات ویژه‌ای را برای ساخت اتاق درمان در این موارد باید در نظر گرفت. رادیوتراپی با الکترون و فوتون در دسترس‌ترین تکنولوژی و شایع‌ترین استفاده را در دنیا دارد. برای جلوگیری از تابش‌های پراکنده‌شده در اتاق درمان معمولاً از بتون غنی‌شده با مواد سنگین استفاده می‌شود. سهم جذب نوترون در رادیواکتیو شدن مواد بیرون از میدان مورد استفاده در درمان، خیلی زیاد است. عناصر سبک مانند عناصر موجود در بتون نیز نوترون جذب می‌کنند و گامای آنی و یا تأخیری گسیل می‌کنند [۱]. رادیوتراپی با فوتون‌های پرنرژی ۱۰ تا ۲۰ مگا‌ولت باعث تولید نوترون به‌واسطه اندرکنش فوتون‌نوترون در مواد مختلف اتاق درمان می‌شود. فوتون‌های گامای تولید شده در نتیجه اندرکنش این نوترون‌ها با مواد مختلف با استفاده از طیف‌نگاری گامای قابل‌حمل قابل آشکارسازی هستند. نوترون‌های تولید شده توسط مواد مختلف جذب شده و با سیستم طیف‌نگاری گاما می‌توان آن‌ها را آشکارسازی کرد. تابش نوترون تولید شده و نیز تابش گامای تولید شده باعث افزایش ریسک پرتوگیری رادیوتراپیست‌ها و بیماران خواهد شد که بیش‌تر ناشی از عناصر سنگین موجود در هد، سیستم موازی‌ساز، سیستم شکل‌دهی باریکه و یا مواد موجود در اتاق شتاب‌دهنده است [۱-۵].

گزارش‌های متعددی از شناسایی رادیوایزوتوپ‌های مختلف در اطراف شتاب‌دهنده‌های درمانی با انرژی‌های مختلف ارائه شده است.

در شتاب‌دهنده خطی رادیوتراپی انرژی پرتو ایکس با انرژی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مگا‌ولت و باریکه الکترون با انرژی ۲۲ مگا‌الکترون‌ولت به‌دلیل وجود شار نوترون و رادیواکتیو شدن مواد اطراف شتاب‌دهنده، ۱۱ رادیوایزوتوپ آنتیموان ۱۲۲، منگنز ۵۶، باریوم ۱۳۱، سدیم ۲۴، تنگستن ۱۸۷، کروم ۵۱، کبالت ۵۷، نیکل ۵۷، بروم ۸۲، آنتیموان ۱۲۴ و کلر ۳۸ آشکارسازی شد [۶].

با استفاده از آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص قابل‌حمل در اطراف شتاب‌دهنده خطی درمانی رادیوتراپی پرتو ایکس با انرژی

۱۵، ۱۸ و ۲۰ مگا‌ولت به‌دلیل شار نوترون و رادیواکتیو شدن مواد اطراف شتاب‌دهنده، رادیوایزوتوپ‌های سدیم ۲۴، آلومینیم ۲۸، کلر ۳۸، منگنز ۵۶، آهن ۵۹، کبالت ۶۰، روی ۶۵، بروم ۸۲، آنتیموان ۱۲۲، آنتیموان ۱۲۴، باریوم ۱۳۹ و تنگستن ۱۸۷ آشکارسازی شد [۷].

در گزارش تحقیقاتی دیگری با شتاب‌دهنده با انرژی ۱۸ مگا‌ولت و با استفاده از آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص رادیوایزوتوپ‌های منگنز ۵۴، نیکل ۵۷، کبالت ۵۸، تنگستن ۱۷۹، طلا ۱۹۶، سدیم ۲۴، منگنز ۵۶، آهن ۵۹، کبالت ۶۰، مس ۶۴، بروم ۸۲، آنتیموان ۱۲۴، تانتالم ۱۸۲، تنگستن ۱۸۷، طلا ۱۹۸، کروم ۵۱، روی ۶۵، آنتیموان ۱۲۲ و سرب ۲۰۳ آشکارسازی شد [۸].

آقای راولینسون و همکارانش با استفاده از یک آشکارساز یدورسدیم که رزولوشن خیلی خوبی ندارد، رادیوایزوتوپ‌های تولید شده در اتاق درمان مانند آلومینیم ۲۸، منگنز ۵۶، سدیم ۲۴ و آنتیموان ۱۲۲ را شناسایی کرده‌اند [۹].

در گزارش تحقیقاتی دیگری که در لهستان انجام شده، با استفاده از شتاب‌دهنده‌های لینک مدل‌های ۲۳۰۰-Clinac، Elekta-Synergy، Primus در انرژی‌های مختلف استفاده شده و با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص قابل‌حمل رادیونوکلیدهای اطراف شتاب‌دهنده خطی آشکارسازی شده است [۱۰].

تولید رادیوایزوتوپ‌های مختلف در اتاق شتاب‌دهنده خطی به مواد و تجهیزات موجود در اتاق، نوع و انرژی شتاب‌دهنده، تخت بیمار و وابسته است. در این تحقیق با انجام طیف‌نگاری گاما با استفاده از یک آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص قابل‌حمل انواع رادیوایزوتوپ‌های گامازای تولیدی ناشی از فعال‌سازی نوترونی مورد تحقیق واقع شده‌اند و این کار برای اولین بار در کشور انجام شده است.

۲. چیدمان آزمایش

در این کار از شتاب‌دهنده الکترون و فوتون مدل Varian C/D ۲۳۰۰ استفاده شد. این شتاب‌دهنده قادر به گسیل تابش‌های الکترون و فوتون با انرژی‌های ۶ و ۱۸ مگا‌ولت است. برای شناسایی رادیوایزوتوپ‌های تولید شده، پس از یک اکسپوز فوتون ۱۸ مگا‌ولت (در زمان ۲۰ ثانیه) در شروع سیکل کاری آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص قابل‌حمل در زیر هد شتاب‌دهنده خطی قرار داده شده و طیف‌نگاری انجام شد.

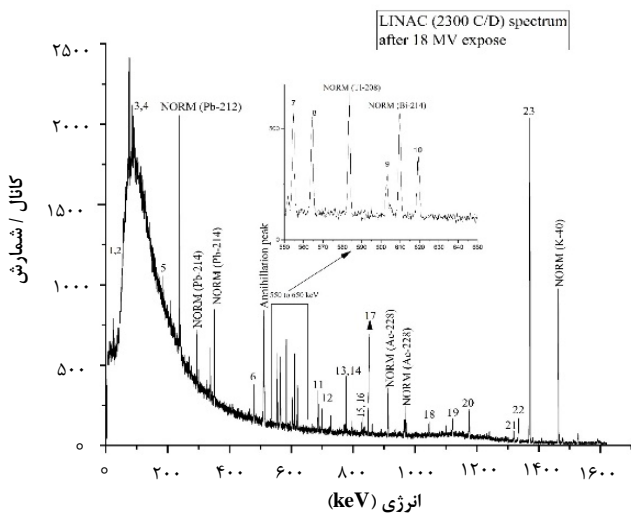


۳. نتایج

پس از طیف‌نگاری، لیست قله‌های رادیونوکلیدهای احتمالی موجود در اتاق درمان از مقالات استخراج شد. علاوه بر قله‌های انرژی مربوط به رادیویزوتوپ‌های تولید شده در اتاق درمان، برخی قله‌های انرژی مربوط به سری‌های واپاشی طبیعی نیز در طیف دیده شد. در شکل ۲ طیف گامای زیر هد شتاب‌دهنده خطی بعد از اکسپوز فوتون با انرژی ۱۸ مگا‌ولت با آشکارساز ژرمانیم فوق خالص قابل حمل نشان داده شده است.

با بررسی مقالات مشابه حدود ۳۰۰ قله‌ی انرژی ناشی از فعال‌سازی نوترونی و سری‌های واپاشی طبیعی در اطراف شتاب‌دهنده استخراج شد. با آنالیز طیف گرفته شده، قله‌های انرژی موجود در اتاق درمان با این بانک اطلاعاتی مقایسه شد و رادیویزوتوپ‌های موجود در طیف شناسایی شد. در جدول ۱ رادیویزوتوپ‌های شناسایی شده و قله‌های انرژی در این تحقیق گزارش شده است.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ۱۹ رادیونوکلید در اتاق درمان شناسایی شد.

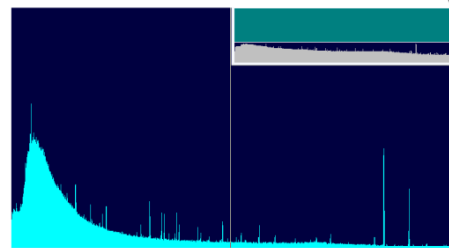


شکل ۲. طیف گامای زیر هد شتاب‌دهنده خطی بعد از اکسپوز فوتون ۱۸ مگا‌ولت با آشکارساز ژرمانیم فوق خالص قابل حمل.

آشکارساز ژرمانیم فوق خالص مورد استفاده Gamma-X نوع n و از نوع قابل حمل ساخت شرکت اورتک^۱ با بازدهی نسبی ۴۰ درصد است و سیستم الکترونیک دیجیتال مدل دیجی‌دارت^۲ برای ثبت نتایج آشکارسازی مورد استفاده واقع شد. شکل ۱ نمایی از چیدمان اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.

برای تشخیص نوع رادیونوکلیدها باید آشکارساز ژرمانیم فوق خالص برای انرژی‌های مختلف کالیبره انرژی شود. قله انرژی ۱۳/۹ کیلو‌الکترونولت مربوط به چشمه نقطه‌ای آمرسیوم ۲۴۱ و انرژی ۱۴۶۱ کیلو‌الکترونولت مربوط به پتاسیم ۴۰ موجود در طیف زمینه برای کالیبراسیون انرژی آشکارساز ژرمانیم فوق خالص مورد استفاده قرار گرفت. نرم‌افزارهای مسترو^۳ و امنیگم^۴ به ترتیب برای ثبت داده‌های طیف‌نگاری و آنالیز قله‌های ثبت شده استفاده گردید.

مدت زمان طیف‌نگاری ۲۲۳۸ ثانیه، آهنگ شمارش حدود ۹۱۹ شمارش بر ثانیه و زمان مرده کم‌تر از ۴ درصد بوده است.



شکل ۱. چیدمان آشکارساز HPGe استفاده شده در اتاق درمان.

1. ORTEC
2. digiDART
3. Maestro
4. OMNIGAM



جدول ۱. رادیوایزوتوپ‌های شناسایی شده در اتاق درمان

ردیف	نام رادیونوکلید	نیمه عمر	انرژی پرتوهای گامای اصلی (کیلو الکترونولت)	شماره قله در شکل ۳	نسبت انشعابی گسیل پرتو گاما (%)	شناسایی شده در مقالات دیگر
۱	کادمیم ۱۰۹	۴۶۲٫۶ روز	۲۱٫۹۹ ۲۲٫۱۶ ۸۸٫۰۳	۱ ۱ ۳	۲۹٫۱ ۵۵٫۲ ۳۶۱	-
۲	آنتیموان ۱۲۲	۲٫۷۲ روز	۵۶۴٫۲۴ ۲۶٫۱۱ ۲۶٫۳۶	۸ ۲ ۲	۷۰٫۶۷ ۸٫۸۰ ۱۶٫۵۰	[۹، ۸، ۷، ۶]
۳	باریم ۱۳۱	۱۱٫۵ روز	۴۸۶٫۵۲ ۴۹۶٫۳۳	* *	۲۰٫۹ ۴۶٫۸۰	[۶]
۴	تنگستن ۱۸۷	۲۳٫۷۲ ساعت	۴۷۹٫۵۵ ۵۵۱٫۵۲ ۶۱۸٫۲۶ ۶۸۵٫۷۳ ۷۷۲٫۸۹	۶ * * ۱۱ ۱۳	۲۱٫۸۰ ۵٫۰۸ ۶٫۲۸ ۲۷٫۳ ۴٫۱۲	[۱۲، ۱۰، ۸، ۷، ۶]
۵	مس ۶۷	۶۱٫۸۳ ساعت	۹۱٫۲۷ ۹۳٫۳۱ ۱۸۴٫۵۸	۴ ۴ ۵	۷ ۱۶٫۱۰ ۴۸٫۷۰	[۱۲]
۶	نیکل ۵۷	۳۵٫۶ ساعت	۱۲۷٫۱۶ ۱۳۷۷٫۶۳	* *	۱۶٫۷۰ ۸۱٫۷۰	[۱۲، ۸، ۶]
۷	نیکل ۶۵	۲٫۵۲ ساعت	۱۱۱۵٫۵۳ ۱۴۸۱٫۸۴	* *	۱۵٫۴۳ ۲۳٫۵۹	[۱۲]
۸	آنتیموان ۱۲۴	۶۰٫۲ روز	۶۰۲٫۷۳ ۷۲۲٫۷۸	۹ *	۹۸٫۳۰ ۱۰٫۸۱	[۸، ۷، ۶]
۹	بروم ۸۲	۳۵٫۳ ساعت	۵۵۴٫۳۵ ۶۱۹٫۱۱ ۶۹۸٫۳۷ ۷۷۶٫۵۲ ۸۲۷٫۸۳ ۱۰۴۴٫۰۰ ۱۳۱۷٫۴۷ ۱۴۷۴٫۸۸	۷ ۱۰ ۱۲ ۱۴ ۱۵ ۱۸ ۲۱ *	۷۰٫۸۰ ۴۳٫۴۰ ۲۸٫۵۰ ۸۳٫۵۰ ۲۴٫۰۰ ۲۷٫۲۰ ۲۶٫۵۰ ۱۶٫۳۲	[۸، ۷، ۶]
۱۰	بروم ۸۰	۱۷٫۷ دقیقه	۳۷٫۰۵ ۶۱۶٫۳۰ ۶۶۵٫۸۰	* * *	۳۹٫۱۰ ۶٫۷۰ ۱٫۰۸	-
۱۱	منگنز ۵۴	۳۱۲٫۳ روز	۸۳۴٫۸۵	۱۶	۹۹٫۹۸	[۱۲، ۸]
۱۲	منگنز ۵۶	۲٫۵۸ ساعت	۸۴۶٫۷۵	۱۷	۹۸٫۹۰	[۱۲، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶]
۱۳	روی ۶۵	۲۴۴٫۲۶ روز	۱۱۱۵٫۵۵	*	۵۰٫۶۰	[۸، ۷]
۱۴	کیالت ۶۰	۵٫۲۷ سال	۱۱۷۳٫۲۴ ۱۳۳۲٫۵۰	۲۰ ۲۲	۹۹٫۹۷ ۹۹٫۹۹	[۸، ۷]
۱۵	تانتالم ۱۸۲	۱۱۴٫۴۳ روز	۵۷٫۹۸ ۵۹٫۳۲ ۱۱۲۱٫۳۰ ۱۲۲۱٫۴۱	* * ۱۹ *	۱۰٫۵۶ ۱۸٫۴۰ ۳۴٫۹۰ ۲۷٫۰۰	[۸]
۱۶	سدیم ۲۴	۱۴٫۹۶ ساعت	۱۳۹۶٫۰۰ ۲۷۵۴٫۰۰	۲۳ *	۱۰۰ ۹۹٫۹۴	[۱۲، ۹، ۸، ۷، ۶]
۱۷	کیالت ۵۸	۷۰٫۸۶ روز	۸۱۰٫۷۸	*	۹۹٫۴۵	[۸]
۱۸	آرگون ۴۱	۱۰۹٫۳۴ دقیقه	۱۲۹۴٫۰۰	*	۹۹٫۱۰	[۱۱]
۱۹	منیزیم ۲۸	۲۰٫۹۱ ساعت	۳۰٫۶۴ ۴۰۰٫۶۹ ۹۴۱٫۴۵ ۱۳۴۲٫۲۵	* * * *	۶۶٫۰۰ ۳۶٫۶۰ ۳۸٫۳۰ ۵۲٫۶۰	-

*: انرژی‌هایی که با این علامت مشخص شده‌اند در طیف دیده می‌شوند و به دلیل پهن‌شدگی قله در گزارش آنالیز دیده نمی‌شوند.

۲۴، آلومینیم ۲۸، نیکل ۵۷، منگنز ۵۴ و نیکل ۶۵ که بیش‌تر آن‌ها در این تحقیق نیز شناسایی شده‌اند. تنها دو رادیوایزوتوپ مس ۶۴ و آلومینیم ۲۸ که در مرجع [۱۲] شناسایی شدند، در این تحقیق شناسایی نشد. اصلی‌ترین گامای رادیوایزوتوپ مس-۶۴ انرژی ۵۱۱ کیلو الکترونولت است و این انرژی مربوط به

در فعالیت مشابهی با این تحقیق [۱۲] با استفاده از آشکارساز یدورسیدیم زیر هد شتاب‌دهنده طیف‌نگاری انجام شده است. به دلیل رزولوشن نسبتاً ضعیف آشکارساز یدورسیدیم ۹ رادیوایزوتوپ شناسایی شد. رادیوایزوتوپ‌های شناسایی شده عبارتند از مس ۶۷، تنگستن ۱۸۷، مس ۶۴، منگنز ۵۶، سدیم



با توجه به انرژی مورد استفاده در شتاب‌دهنده خطی و سطح مقطع جذب مواد موجود در شتاب‌دهنده و اطراف آن و همچنین جنس مواد به کار رفته در هد، موازی‌ساز، مواد اطراف شتاب‌دهنده و مواد به کار رفته در حفاظسازی اتاق درمان رادیویوتوپ‌های مختلفی ممکن است تولید شوند و در هر مقاله‌ای تعدادی رادیویوتوپ گزارش شده است.

۴. نتیجه‌گیری

رادیواکتیو شدن هد و مواد اطراف در شتاب‌دهنده ممکن است در مواردی برای پرسنل و بیمار خطر پرتوگیری ناخواسته داشته باشد. به علت تراکم مریض‌ها معمولاً اپراتورها پس از اکسپوز پرتو ایکس، خیلی زود به اتاق درمان می‌روند تا طرح درمان را عوض کنند. گاهی این اپراتورها برای استفاده از وج و یا عوض کردن طرح درمان برای بیمار خیلی عجله می‌کنند و مکث کوتاه چند دقیقه‌ای می‌تواند دز دریافتی آن‌ها را خیلی کاهش دهد. پیشنهاد می‌شود برای راهنمایی بیمار با میکروفون با او صحبت کنند و برای استفاده از وج و دیگر ملزومات مدت کوتاهی صبر کنند تا رادیویوتوپ‌های کوتاه عمر واپاشی کنند و پرسنل دز زیادی دریافت نکنند.

در این تحقیق از آشکارساز ژرمانیم فوق‌خالص قابل حمل زیر هد شتاب‌دهنده بعد از اکسپوز پرتو ایکس ۱۸ مگاولت برای ثبت طیف گامای رادیویوتوپ‌های تولیدی گامازا در اتاق شتاب‌دهنده خطی پزشکی استفاده شد. در مقایسه با مقالات مشابه و تحلیل طیف‌ها ۱۹ رادیویوتوپ شناسایی شد. رادیویوتوپ‌های کادمیم ۱۰۹، بروم ۸۰ و منیزیم ۲۸ در این تحقیق شناسایی شد که در مقالات دیگر گزارش نشده است. تولید این رادیویوتوپ‌ها به جنس هد و موازی‌ساز و مواد اطراف موجود در اتاق شتاب‌دهنده پزشکی ارتباط دارد. در جدول ۴ محل قرارگیری و عناصر موجود در اتاق درمان ذکر شده است.

جدول ۴. محل قرارگیری و عناصر موجود در اتاق درمان

محل قرارگرفتن	نوع عنصر
عناصر موجود در هدف	تنگستن
عناصر موجود در موازی‌ساز	تنگستن - نیکل - مس - روی
عناصر موجود در حفاظ پیرامون هد	آنتیموان - باریم
عناصر موجود در دیواره اتاق و درب اتاق	کادمیم - سدیم
عناصر موجود در ماجول‌های الکترونیکی	آنتیموان - مس - بروم - روی - تانتالم
عناصر موجود در فیلتر تخت‌کننده	نیکل - منگنز - کبالت
پوشش خارجی شتاب‌دهنده	بروم - سدیم
هوای اطراف شتاب‌دهنده	آرگون
سینی وج	منیزیم

خیلی از رادیویوتوپ‌های دیگر هم هست و نمی‌توان به صرف این‌که چنین انرژی در طیف وجود دارد، نتیجه‌گیری کرد که این رادیویوتوپ حتماً وجود دارد. اصلی‌ترین گامای رادیویوتوپ آلومینیم ۲۸ انرژی ۱۷۷۸٫۸۵ کیلوالکترونولت است و این انرژی خارج از محدوده کالیبراسیون انرژی ما در چیدمان آشکارسازی بوده و آشکارسازی نشده است. به دلیل رزولوشن بالای آشکارساز ژرمانیم قابل حمل رادیونوکلیدهای بیش‌تری در این تحقیق نسبت به مرجع [۱۲] شناسایی شده است. علاوه بر این بیش‌تر رادیویوتوپ‌های شناسایی شده در این تحقیق، در مقالات مشابه دیگر نیز گزارش شده‌اند.

برخی رادیویوتوپ‌های مشاهده‌شده در این تحقیق در اثر اندرکنش فتوهسته‌ای (γ, n) تولید شده است. در جدول ۲ این رادیویوتوپ‌ها لیست شده است [۱۳].

برخی دیگر از رادیویوتوپ‌های مشاهده‌شده در این تحقیق در اثر واکنش گیراندازی (n, γ) تولید شده است. در جدول ۳ این رادیویوتوپ‌ها لیست شده است [۱۴، ۱۵].

جدول ۲. رادیویوتوپ‌های مشاهده‌شده در این تحقیق در اثر اندرکنش فتوهسته‌ای (γ, n)

هسته به وجود آمده	هسته هدف	درصد فراوانی	سطح مقطع (γ, n) در انرژی رزونانس (mb)	انرژی آستانه واکنش MeV
آنتیموان ۱۲۲	آنتیموان ۱۲۳	۴۲٫۶۴	۲۷۰	۸٫۹۷
نیکل ۵۷	نیکل ۵۸	۶۸٫۰۸	۳۵	۱۲٫۲۲
منگنز ۵۴	منگنز ۵۵	۱۰۰	۷۵	۱۰٫۲۳
کبالت ۵۸	کبالت ۵۹	۱۰۰	۱۰٫۴۵	۸۵

جدول ۳. رادیویوتوپ‌های مشاهده‌شده در این تحقیق در اثر واکنش گیراندازی (n, γ)

هسته به وجود آمده	هسته هدف	درصد فراوانی	سطح مقطع (n, γ) b	مرجع
کادمیم ۱۰۹	کادمیم ۱۰۸	۰٫۸۹	۵۲۷٫۹۱	[۱۴]
آنتیموان ۱۲۲	آنتیموان ۱۲۱	۵۷٫۴	۵۹	[۱۵، ۶]
باریم ۱۲۱	باریم ۱۳۰	۰٫۱	۴۰	[۶]
تنگستن ۱۸۷	تنگستن ۱۸۶	۲۸٫۶	۳۷٫۹	[۶]
مس ۶۷	مس ۶۶	-	۱۳۵	[۱۴]
نیکل ۶۵	نیکل ۶۴	۰٫۹	۱٫۴۸	[۱۴]
آنتیموان ۱۲۴	آنتیموان ۱۲۳	-	۱۵	[۶]
بروم ۸۲	بروم ۸۱	۴۹٫۳	۲۳۷	[۱۴]
منگنز ۵۶	منگنز ۵۵	۱۰۰	۱۳٫۲۸	[۱۴، ۶]
روی ۶۵	روی ۶۴	۴۸٫۶	۰٫۷۹	[۱۵، ۱۴، ۷]
کبالت ۶۰	کبالت ۵۹	۱۰۰	۳۷٫۲۰	[۱۵، ۱۴، ۷]
تانتالم ۱۸۲	تانتالم ۱۸۱	۹۹٫۹۹	۲۰٫۵	[۱۵]
سدیم ۲۴	سدیم ۲۳	۱۰۰	۰٫۵۳	[۱۴]
آرگون ۴۱	آرگون ۴۰	۹۹٫۶۰	۰٫۶۶	[۱۵]
منیزیم ۲۸	منیزیم ۲۷	-	۰٫۰۷	[۱۵]



6. Adam Konefal, et al, *Measurements of neutron radiation and induced radioactivity for the new medical linear accelerator, the Varian TrueBeam, Radiation Measurements*, **86**, 8-15 (2016).
7. Kinga Polaczek-Grelik, et al, *Nuclear reactions in linear medical accelerators and their exposure consequences*, *Applied Radiation and Isotopes*, **70**, 2332-2339 (2012).
8. M. Janiszewska1, et al, *Secondary radiation dose during high-energy total body irradiation*, *Strahlenther Onkol*, **190**, 459-466 (2014), DOI:10.1007/s00066-014-0635-z.
9. J. Alan Rawlinson, et al, *Dose to radiation therapists from activation at high-energy accelerators used for conventional and intensity-modulated radiation therapy*, *Medical Physics*, **29**, 598 (2002). <http://dx.doi.org/10.1118/1.1463063>.
10. Adam Konefal, et al, *Thermal and resonance neutrons generated by various electron and X-ray therapeutic beams from medical linacs installed in polish oncological centers*, *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, **17**, 339-346 (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.rpor.2012.06.004>.
11. J.H. Chao, et al, *Estimation of Argon-41 concentrations in the vicinity of a high-energy medical accelerator*, *Radiation Measurements*, **42**, 1538 - 1544 (2007).
12. Sh. Heydari Fashtali, *Amirkabir University master's thesis in the field of nuclear engineering*, *Radiation Application Trend*, February (2013).
13. IAEA-TECDOC-1178, *Handbook on Photonuclear Data for Applications Cross-sections and Spectra*, http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1178_prn.pdf.
14. <https://www.oecd-nea.org/janisweb/book/neutrons>.
15. <https://nuchart.software.informer.com/4.0/>.

برخی رادیوایزوتوپ‌های تولید شده نیمه‌عمر بالایی دارند و در بین آن‌ها برخی رادیونوکلییدها با نیمه‌عمر ۱ تا ۵ سال دیده می‌شود. به عبارتی حتی بعد از خاموش بودن شتاب‌دهنده در زمان طولانی، مواد اطراف شتاب‌دهنده و اتاق درمان ممکن است رادیواکتیو باشند و خطر پرتوگیری داشته باشد. گاهی ممکن است گرد و غبار موجود در اتاق درمان نیز رادیواکتیو شوند و یا ممکن است رادیوایزوتوپ‌های تولید شده به صورت هواپرد در هوای اطراف شتاب‌دهنده پخش شوند و توسط بیمار و یا پرسنل از طریق استنشاق جذب شوند و این مسأله خطر پرتوگیری داخلی را در پی خواهد داشت. در نهایت این تحقیق بر مبنای نتایج حاصله کمک می‌کند تا برای ارزیابی دز بیمار و پرسنل ارزیابی دقیق‌تر و کامل‌تری داشته.

تشکر و قدردانی

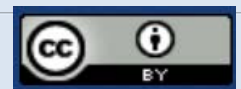
این آزمایشات در بیمارستان پارس تهران انجام شد. از جناب آقای دکتر مهدوی و کلیه پرسنل و رادیوتراپیست‌های این بیمارستان مخصوصاً جناب آقای مهندس شهربازی به‌صورت ویژه تشکر می‌شود.

مراجع

1. B. Almayahi, *Use of Gamma Radiation Techniques in Peaceful Applications*, *University of Kufa*; DOI: 10.5772/intechopen.82726; chapter 10.
2. P.D. Allen, M.A. Chaudhri, *Charged photoparticle production in tissue during radiotherapy*, *Medical Physics*, **24**, 837 (1997). doi: 10.1118/1.598004.
3. A. Konefal1, et al., *Correlation between radioactivity induced inside the treatment room and the undesirable thermal/resonance neutron radiation produced by linac*, *Physica Medica*, **24**, 212-218 (2008). doi:10.1016/j.ejmp.2008.01.014.
4. Rebecca M. Howell, et al, *Secondary neutron spectra from modern Varian, Siemens, and Elekta linacs with multileaf collimators*, *Medical Physics*, **36**, 4027 (2009), doi: 10.1118/1.3159300.
5. Toshio Ishikawa, et al, *Thermalization of Accelerator-Produced Neutrons in a Concrete Room*, *Health Physics*, **60** (2), 209-221 (February) (1991).

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

مهدی تورنگ، اصغر حدادی، میترا اطهری علاف، داریوش سرداری، محمدرضا زارع (۱۴۰۱)، بررسی تجربی رادیونوکلییدهای تولید شده در اتاق شتاب‌دهنده خطی پزشکی با استفاده از آشکارساز ژرمانیم فوق خالص، ۱۰۲، ۷۸-۸۳

DOI: 10.24200/nst.2022.1469

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1499.html

