طراحی سیستم تحلیلگر عناصر سبک بافت به روش فعال‌سازی نوترونی(NAA) با استفاده از کد MCNP

جمال امیری[۱]، مجتبی شمسایی زفرقندی[۱]، سیدپژمان شیرمردی*[۳]، روح الله عادلی[۳]، شهین امیری[٤]

۱) دانشکده پیراپزشکی. دانشگاه علوم پزشکی ایلام

۲) دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک تهران

۳) پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای. سازمان انرژی اتمی تهران

۴) اداره آموزش و پرورش شهرستان ایوان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۳/۱۹

چکیده

مقدمه: شناسایی و تحلیل عناصر سبک با استفاده از روش های اتمی به دلیل ضعیف بودن انرژی لایه‌های ایکس روش مناسبی نیست و انرژی آن ها ضعیف بوده و به صورت محلی جذب می گردند. پرتوهای گاما انرژی کافی جهت آشکارسازی را دارند. در این مقاله، سیستمی طراحی گردیده که توان تحلیل کمی و کیفی عناصر بافت ها به صورت زنده و غیرزنده جهت بررسی میزان تغییرات درصد عناصر، رصد میزان دز دارو در یک قسمت مشخص بافت(بررسی موضعی) و... را دارد.

مواد و روش ها: پارامترهای مؤثر در تحلیل عناصر اعم از جنس اجزا سیستم، ابعاد اجزا، شکل و محل قرار گیری آن ها با نوشتن برنامه های متعدد توسط نرم افزار MCNP و تغییر پارامترهای آن ها مورد بررسی قرار گرفت.

یافته های پژوهش: در این پژوهش کلیه پارامترهای مؤثر بررسی گردید که عبارتند از: ۱-جنس کلیماتور از ترکیب اکسید بریلیم-بیسموت انتخاب گردید. ۲-با بررسی میزان شار با تغییر ضخامت کلیماتور، حاصل این که بیشتر از ۵cm شار افزایش چشمگیری ندارد.۳-دهانه کلیماتور باید متناسب با میدان مورد تابش باشد در صورتی که دهانه کلیماتور افزایش یابد پراکندگی نوترون زیاد می‌گردد و کوچک شدن دهانه باعث کاهش بهره خواهد شد. ۴-در محاسبات طول بهینه کلیماتور ۲۲cm به دست آمد.

بحث و نتیجه گیری: این سیستم در مقایسه با سایر دستگاه هایی که برای تحلیل عناصر سبک مانند راکتورها، به کار می‌روند دارای حجم کمتر، سرعت به کارگیری بالاتر، آلودگی کمتر و هزینه پایین تر می باشد. این سیستم جهت آنالیز عناصر سبک بافت های بدن به صورت موضعی و گسترده، رصد داروها در بافت ها و... به کار می رود.

واژه های کلیدی: طراحی سیستم، فعال سازی نوترونی، عناصر سبک بافت، MCNP

* **نویسنده مسئول:** پژوهشکده چرخه سوخت هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای. سازمان انرژی اتمی تهران

Email: p_shirmardi@yahoo.com

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

مقدمه

عناصر سنگین با استفاده از روش های اتمی قابل آشکارسازی هستند ولی عناصر سبک که تشکیل دهنده ساختمان بافت های بدن، داروها، مواد آلی، نفت و گاز و... هستند، با استفاده از روش اتمی به دلیل ضعیف بودن انرژی پرتو ایکس لایه‌های اتمی به نحو مقتضی قابل آشکارسازی نیستند و پرتوهای ایکس اکثراً به صورت محلی جذب می‌گردند و قابل آشکارسازی نیستند،(۱). عناصر سبک با استفاده از روش های هسته ای مانند فعال سازی نوترونی(NAA(neutron activation analysis به دلیل انرژی قابل آشکارسازی پرتو گاما استفاده می شوند،(۲،۹،۱۰). روش NAA یک تحلیل کمی و کیفی از عناصر(تجزیه عنصری) می باشد که پرتوهای گامای حاصل از آن دارای انرژی کافی برای آشکار-سازی می باشند،(۳،۱۳،۱۴). در فعال سازی نوترونی از چشمه های مختلف نوترون می توان استفاده نمود ولی چشمه کالیفرنیم cf ۲۵۲ به دلیل داشتن خواص مناسب آن(طیف نوترونی مناسب، قابلیت حمل در استفاده های پزشکی) برای این تحلیل انتخاب گردید

مواد و روش ها

ابتدا چشمه کالیفرنیم cf ۲۵۲ به دلیل خواص مناسب برای این کار به عنوان منبع تابش نوترون انتخاب، سپس پارامترهای مؤثر در تحلیل عناصر سبک تعیین، و هر پارامتر ابتدا به طور جداگانه بررسی و برای هر یک از پارامترهای با استفاده از نرم افزار MCNP طراحی ویژه ای صورت گرفت و با توجه به قابلیت نرم افزار در تغییر هندسه اجزا و توان هم زمان ترابرد ذرات نوترون، برای هر پارامتر یک نقطه بهینه مشخص گردید. پارامترهای مؤثر در تحلیل عناصر اعم از جنس اجزا سیستم، ابعاد اجزا، شکل و محل قرار گیری آن ها با نوشتن برنامه های متعدد توسط نرم افزار MCNP و تغییر پارامترهای آن ها مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مناسب ترین آن ها برای یک سیستم مناسب انتخاب شد. با استفاده از خروجی کار دستگاه به صورت شبیه سازی، محاسبات دزیمتری سیستم انجام گرفت و با مقادیر استاندارد مقایسه شد.

یافته های پژوهش

چون کالیفرنیم یک عنصر سنگین گسیل کننده نوترون است که در هر میکروگرم آن ۲/۳×۱۰۶ نوترون در ثانیه و یک طیف پهناوری دارد که محتمل ترین انرژی در حدود ۱MeV و مقدار متوسط انرژی نوترون آن ۲/۳ MeV می باشد،(۴،۷). در این مقاله، سیستمی طراحی گردیده است که با استفاده از آن می توان در کنار نوترون تراپی کار تحلیل عناصر موجود در محل درمان، بررسی عناصر سبک بدن به صورت زنده و غیرزنده، بررسی و رصد داروها در بافت بدن به صورت موضعی، بررسی عناصر بافت به صورت موضعی به کار برد. طریقه عمل سیستم به این صورت است که نوترون های با انرژی متناسب با هر مورد استفاده(درمانی یا آنالیز مواد) بر بافت می تابد و عناصر سبک فعال می شوند و هر عنصر انرژی مختص به خود را ساطع می نماید، مثلاً عنصر هیدروژن انرژی ۲/۲ MeV دارد، تعداد تابش ها توسط دتکتورها آشکارسازی می شوند و هر چه مقدار ماده موجود در محیط بیشتر باشد تعداد بیشتری فعال شده و ارتفاع طیف افزایش خواهد یافت.

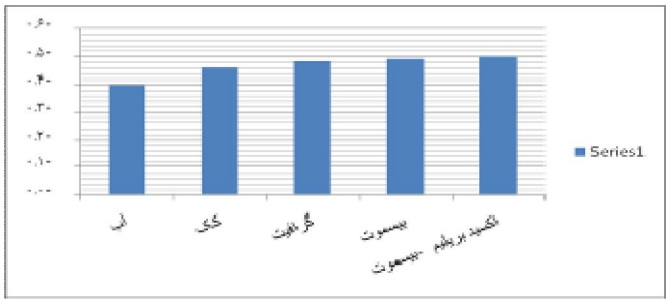
پارامترهای مؤثر در تحلیل عناصر سبک با استفاده از فعال سازی نوترونی در ذیل مورد بررسی قرار گرفتند عبارتند از:

۱-تغییرات شار نوترونی با تغییر جنس کلیماتور

کلیماتور که برای متمرکز کردن و هدایت تابش برروی نمونه(sample) به کار می رود. کلیماتور تابش نوترون باید از جنس ترکیباتی باشد که علاوه بر خواص فیزیکی مناسب(از نظر استحکام، شکل پذیری، دمای قابل تحمل و...) برای ساخت، دارای قدرت بازتابش قوی نوترون باشد. در این قسمت از موادی که بیشترین بر هم کنش با نوترون ها را دارند و بهترین نوترون ها را پس می زنند انتخاب گردیده اند بعضی از مواد مانند آب اگر چه با توجه به خواص آن برای ساخت کلیماتور قابل استفاده نیست ولی جهت مقایسه با توان پس زنی سایر مواد در این قسمت آورده شده است. ضخامت یکسانی از مواد را در نظر گرفته و جنس موادی که کلیماتور از آن ها ساخته می شود را تغییر داده و شار نوترونی خروجی روی دهانه کلیماتور اندازه گیری می

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

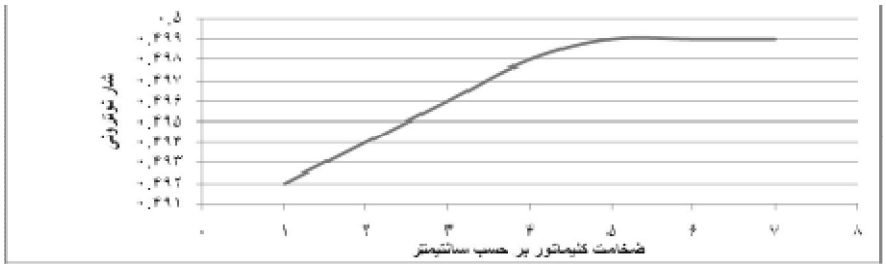
شود. همان طور که نمودار شماره ۱ نشان می دهد از مواد انتخاب شده ای مانند گرافیت، بیسموت، آب(جهت مقایسه)، کک(ترکیب عناصر سبک)و اکسید بریلیم- بیسموت مقدار شار نوترونی حداکثر روی دهانه خروجی کلیماتور مربوط به اکسید بریلیم با لایه ۲mm بیسموت با شار $۵/۱\times۱۰^{-۱}$ می باشد. پس از آن کک با $۴/۹۵\times۱۰^{-۱}$، گرافیت $۴/۸۵\times۱۰^{-۱}$، بیسموت $۴/۶۵\times۱۰^{-۱}$ و آب ۴×۱۰^{-۱} را دارد. در سیستم از اکسید بریلیم با لایه ۲mm بیسموت استفاده می گردد.



نمودار شماره ۱. تغییرات شار نوترونی بر حسب تغییر جنس کلیماتور

۲-تغییرات شار نوترونی با تغییرات ضخامت کلیماتور

ضخامت کلیماتور ها هر اندازه بیشتر باشند نوترون های بیشتری را منعکس می‌کنند و نوترون ها کمتر پراکنده می شوند. با به کارگیری یک کلیماتور ضخیم بهتر می توان نوترون ها را متمرکز کرد البته تا حدی افزایش ضخامت مفید است ولی از یک حدی بالاتر افزایش ضخامت تاثیر زیادی ندارد. ضخامت کلیماتور با ترکیب اکسید بریلیم- بیسموت(ضخامت ۲mm) از ۱cm تا ۷cm تغییر داده شد و نتایج در نمودار شماره ۲ آمده است مطابق نمودار ماکزیمم شار خروجی در ۵cm ملاحظه گردید و با افزایش بیشتر از آن شار خروجی افزایش چشمگیر نداشت. بنا بر این، در این سیستم حداقل ضخامتی که از کلیماتوری از جنس اکسید بریلیم- بیسموت ۵cm است.



نمودار شماره ۲. تغییرات شار نوترون را با تغییر ضخامت کلیماتور

۳-تغییرات شار نوترون با تغییرات شعاع دهانه کلیماتور

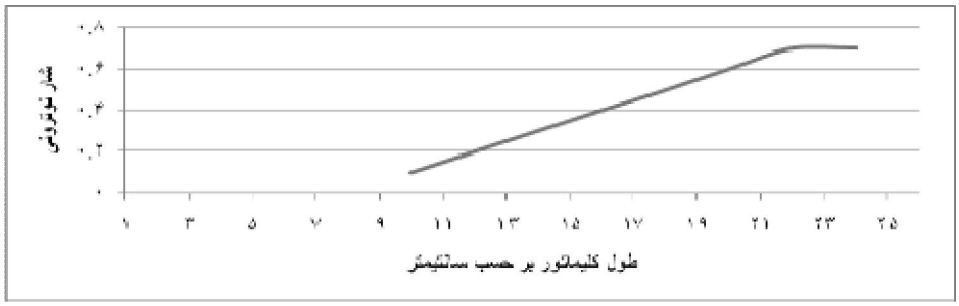
با تغییر زاویه دهانه کلیماتور میزان توان کلیماتور در متمرکز کردن پرتوها متفاوت خواهد بود، هر چه دهانه بازتر باشد تابش در سطح وسیع تری پخش خواهد شد. ابعاد و شکل دهانه کلیماتورها با توجه به ابعاد نمونه و میدان پرتودهی(Fild size) انتخاب می شوند. به طوری که دهانه کلیماتور از نمونه پرتودهی

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

کمتر نباشد. چنان چه دهانه کلیماتور کوچک تر باشد قسمتی از نمونه پرتو نخواهد دید و هم چنین اگر دهانه کلیماتور بزرگ تر باشد فضای اطراف که مورد هدف نیست اشعه خواهد خورد پس برای جلوگیری از پراکندگی و مسائل حفاظت پرتویی نباید بزرگ تر باشد. پس برای ایجاد یک پرتودهی مناسب و جلوگیری از پراکندگی و نیز عدم رسیدن تابش به تمام سطح نمونه باید مساحت دهانه کلیماتور و سطح مورد تابش منطبق شود. در این سیستم ها باید از کلیماتورهای مختلف یدکی با قطر دهانه مناسب استفاده نمود.

٤-طول کلیماتور و تغییرات شار نوترون

طول کلیماتور یکی از پارامترهای مهم برای هدایت نوترون ها است. طول کلیماتور از ۸cm تا ۲۶cm تغییر داده شد و همان طور که نمودار شماره ۳ نشان می دهد از ۸cm تا ۲۲cm با افزایش طول کلیماتور میزان شار خروجی افزایش می یابد و از ۲۲cm تا ۲۴cm ماکزیمم تقریباً تخت شده و با افزایش طول کلیماتور از ۲۴cm به بالا شار خروجی کاهش می یابد. پس حداکثر شار در ۲۲cm ایجاد می شود و مناسب ترین طول برای کلیماتور برای سیستم ۲۲cm در نظر گرفته شد.



نمودار شماره ۳. تغییرات شار نوترون با تغییرات طول کلیماتور

٥- فاصله آشکارساز تا نمونه و تغییرات شار فوتون

هر چه فاصله نمونه تا آشکارساز کمتر باشد پرتوهای ساطع شده مسافت کمتری را طی می کنند و به همان نسبت جذب آن ها کاهش می یابد. برای بررسی این پارامتر، ژئومتری طرح شد. سپس آشکارساز از فاصله ۱cm تا فاصله ۱۰cm از نمونه جا به جا شد و میزان تغییرات شار فوتونی که به آشکارساز می رسد اندازه گیری شد.

با افزایش فاصله آشکارساز از نمونه فعال سازی شار فوتون ها کاهش یافته است. نتیجه جالبی که در بررسی این پارامتر به دست آمد این بود که شدت پرتوها با افزایش فاصله به صورت نمودار تابع به صورت اکسپونانسیل کاهش می یابد.

دزیمتری سیستم

برای دزیمتری سیستم از تالی F۴ استفاده شد. به این ترتیب که، ضرایب DE(MeV) و $DF\left[\frac{\frac{rem}{h}}{\frac{n}{cm^2.s}}\right]$ که در کتابخانه های برنامهMCNP موجود است می توان دز را از خروجی تالی برای یک نوترون بر حسب $\left[\frac{\frac{rem}{h}}{\frac{n}{cm^2.s}}\right]$ به دست آورد. اگر برای فعال سازی از منبعی با توان $2/3\times10^{6}$ n/s استفاده شود، می توان دز را در سلول ۱۴ هدف که در مدت زمان ۵ s ثانیه پرتودهی می شود را به دست آورد.(۳)

شار منبع ایزوتروپیک با توان $2/3\times10^{6}$ n/s، با استفاده از تالی F۲ محاسبه می گردد.

تالی F۲ روی دهانه خروجی کلیماتور: $1/72542\times10^{-3}$

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

تالی F۴ در سلول: $۷/۵۳۴۳\times۱۰^{-۸}$

پس می توان حداکثر دز را از روابط حساب کرد.

$$2.3\times\left(\frac{n}{s}\right)\times 1.72542\times10^{-3}\left(\frac{\neq}{cm^2}\right)=2968.4\left(\frac{n}{cm^2s}\right)$$

$$7.53433\times10^{-8}\left[\frac{\frac{rem}{h}}{\frac{n}{cm^2s}}\right]\times2968.4\left(\frac{n}{cm^2s}\right)$$
$$=29899\times10^{-8}\frac{\text{rem}}{\text{h}}$$

آهنگ دزی که توسط سیستم ایجاد می شود در زیر بر حسب میکروسیورت بر ثانیه محاسبه می گردد.

$$29899\times10^{-8}\left(\frac{\text{rem}}{\text{h}}\right)\times\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}$$
$$=8.3\times10^{-4}\left(\frac{\mu sv}{s}\right)$$

مقدار حداکثر دز سالیانه برای یک پرتوکار برابر ۵rem می باشد که با محاسبات می توان مقدار دز مجاز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$5\frac{\text{rem}}{\text{y}}=5\left(\frac{rem}{365\times86400s}\right)$$
$$=15.8\times10^{-4}\frac{\mu sv}{s}$$

با توجه به محاسبات دز این سیستم که برای حداکثر دز هم در نظر گرفته شده است هیچ مشکلی وجود نخواهد داشت. زمان پرتودهی جهت آنالیز خیلی کم و در حد ۵s ثانیه می باشد که سیستم با آهنگ دزی که ایجاد می نماید در این مدت زمان پرتودهی کم کاملاً بی خطر است.

محاسبات حفاظ سیستم

حفاظ گذاری در برابر نوترون ها، بر پایه کندسازی نوترون های تند و جذب نوترون های گرمایی استوار است. برای نوترون هایی که انرژی آن ها حداکثر تا ۲۰MeV باشد سطح مقطع حذف در حدود سه چهارم سطح مقطع کل است. در طراحی حفاظ در برابر نوترون ها باید توجه داشت که جذب نوترون ممکن است به پرتوزایی القایی و هم چنین به تولید پرتوهای گاما بیانجامد.

حفاظی از آب را در نظر می گیریم شکل شماره ۱ که در داخل یک ظرف سربی به ضخامت یک سانتی متر قرار گرفته است. می دانیم که گیراندازی نوترون در هیدروژن منجر به تولید گامای ۲/۲۶ MeV می شود. برای آن که دز مربوط به گامای ناشی از گیراندازی نوترون را در نظر بگیریم حفاظ را چنان طراحی می کنیم که بیشینه دز نوترون های تند در خارج از آن برابر ۱۰ µSv/h باشد که متناظر با شار تند $۶\frac{n}{cm^۲}$ می باشد. سطح مقطع کل نوترون های ۵ MeV برای هیدروژن و اکسیژن به ترتیب برابر ۱/۹ و ۱/۷ بارن می باشند. چون در هر سانتی متر مکعب آب ۶/۷×۱۰۲۲ اتم هیدروژن و $۳/۳۵\times۱۰^{۲۲}$ اتم اکسیژن وجود دارد که نیم لایه متناظر با آن مساوی ۵/۰۱ cm می شود چشمه Pu-Be را می توان یک چشمه نقطه ای نوترون پنداشت که شار نوترونی در فاصله ای از آن هم به علت پاشیدگی نوترون در ثانیه مقدار نیم لایه را T سانتی متر، تعداد نیم لایه را n، و ضریب تولید و انباشت را B بگیریم. شار نوترون های تند پس از عبور از ضخامت nTcm چنین خواهد شد.(۶،۵،۸)

$$\varphi=\frac{BS}{4\pi(nT)^2}\times\frac{1}{2^N}\left(\frac{n}{cm^2.s}\right)\quad(1)$$

در مورد چشمه های نوترونی که فعالیت آن ها از مرتبه چند کوری باشد ضخامت حفاظ نسبتاً زیاد است و دز ناشی از تولید و انباشت نوترون های پراکنده قابل توجیه خواهد شد در یک حفاظ هیدروژنی که ۲۰ باشد ضریب تولید و انباشت cmضخامتش دستکم $T=۵cm$دز در حدود ۵ می شود. با قرار دادن مقادیر $\phi=۶\frac{n}{cm^۲.s}$ تقریباً برابر n در معادله مقدار B= و ۵ ۳۹ آب cm ۷/۸ به دست می آید که با HVL متناظر و برابر است. شار نوترون های گرمایی خارج شده از سطح یک حفاظ کروی از آب را می توان به کمک معادله زیر برآورد کرد.(۸،۱۱،۱۲)

$$\varphi=\frac{ne^{-\frac{R}{L}}}{2\pi RD}$$

از آن جا که شعاع حفاظ محاسبه شده در بالا خیلی بزرگ تر از طول پخش نوترون های تند ۵/۷۵ cm است، در این محاسبات می توان فرض کرد که همه نوترون های تند گرمایی می شوند و نوترون های گرمایی از مرکز چشمه به طرف خارج در حال پخش

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

اند. پس از قرار دادن مقادیر در معادله حاصل می شود. شار نوترون های گرمایی در مقایسه با بیشینه شار گرمایی $\frac{n}{cm^2.s}$ ۶۸۰ آن چنان کوچک است که در عمل می توان از آن صرف نظر کرد.

گیر اندازی یک نوترون گرمایی در یک اتم هیدروژن به گسیل فوتون گامای ۲/۲ MeV می انجامد. بنا برا ین، حفاظ آب همانند یک چشمه گسترده پرتوهای گاما عمل می کند. چون شار نوترون های خارج شده از سطح حفاظ(در مجموع) برابر 6.08 $n/cm^2.s$ است. تعداد کل نوترون های خارج شده از استوانه‌ای به شعاع ۳۹cm برابر $۱/۲\times۱۰^{۵}\frac{n}{s}$ یا تقریباً معادل ۲/۴ درصد از نوترون های چشمه خواهد شد. ۹۷/۶ درصد باقی مانده از نوترون های چشمه در حفاظ آبی جذب می شوند. به این ترتیب میانگین«فعالیت ویژه» فوتون های ۲/۲MeV عبارت است از:

$$\frac{4.9\times10^{6}\ \frac{atom}{mol(Boron)}}{\pi\times(39)^2\times40}=25.64\frac{Bq}{cm^3}$$

آهنگ دز در سطح کره ای که به طور یکنواخت محتوی گسیلنده گاما باشد بنا بر معادلات چنین تعریف می شود.

$$D=\frac{1}{2}\times\Gamma\times\frac{4\pi}{\mu}(1-e^{-\mu r}) \qquad (3)$$

پس از قرار دادن مقادیر $\Gamma=2.7\frac{m\,Gy}{h.MBq}$در یک متری، $\mu=۰/۰۴۶cm^{-1}$ برای فوتون های ۲/۲MeV در آب و $r=۳۹cm$ خواهیم داشت:

$$D=\frac{1}{2}\times25.32\times10^{-6}\times2.7\times\frac{4\pi}{4.6\times10^{-2}}(1-e^{-0.046\times39})=8.36\times10^{-3}\left(\frac{m.Gy}{h}\right)$$

بدین ترتیب آهنگ دز ناشی از نوترون ها و پرتوهای گاما در سطح حفاظ 20μ Sv/h یا 2mrem/h می شود که به رقم مورد نظر 1.5)sv/h(μmrem/h) خیلی نزدیک است. آهنگ دز گاما از دو راه قابل کاهش است: یا از طریق حل کردن ماده ای با عدد اتمی بالا(مثل $BaCl_2$) در آب، ضریب جذب پرتو گاما را در آب افزایش می دهیم یا این که آهنگ تولید پرتو گاما را در آب کاهش دهیم. از این دو راه حل، راه دوم آسان تر است. زیرا صرفاً با حل ترکیبی از(B) در آب به آسانی می توان به این هدف رسید. اتم بور نوترون های گرمایی را با سطح مقطع ۷۵۵ بارن گیر می اندازد و در اثر آن واکنش حاصل می شود در ۹ درصد از موارد گیراندازی گامای MeV ۰/۴۸گسیل می شود برای این گونه کاربردها از اسید بوریک(H_3BO_3) که در آب هم قابل حل است می توان استفاده کرد.

انحلال پذیری اسید بوریک در آب در دمای اتاق، برابر $۶۳/۲\frac{g}{l}$است وزن مولکولی H_3BO_3 برابر ۶۱/۸۴ است. تراکم اتم های بور در محلول اشباع شده اسید بوریک چنین به دست می آید.

$$\frac{63.2\frac{g}{l}\times10^{-3}\left(\frac{l}{ml}\right)\times6.03\times10^{23}\frac{molecul}{mol}\times1\frac{atom}{molecul}}{61.84\frac{g}{mol}}=6.17\times10^{20}\frac{atom}{mol}$$

چنان چه نسبت سطح مقطع های ماکروسکوپیک هیدروژن و بور را در گیراندازی نوترون های گرمایی در نظر بگیریم داریم:

$$\frac{\sum H}{\sum B}=\frac{0.13cm^{-1}}{0.42cm^{-1}}=0.31$$

شار پرتوهای گاما ۲/۲MeV ناشی از گیراندازی نوترون در هیدروژن و در نتیجه آهنگ دز گاما به همین نسبت کاهش خواهد یافت.

$$0.31\times8.36\times10^{-3}=2.59\times10^{-3}\left(\frac{m.Gy}{h}\right)=0.259\frac{m.rad}{h}$$

در اطراف سیستم حفاظی از سرب به ضخامت یک سانتی متر استفاده می شود که پرتوها را تا حد مطلوبی کاهش می دهد و این مقدار آهنگ تابش کمتر از مقادیر استاندارد ICRP می باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

با توجه به نتایج به دست آمده و محاسبات انجام شده می توان سیستمی جهت تحلیل عناصر سبک بافت های بدن به صورت invivo و invitro، رصد داروها در بافت های زنده، میزان دارو در بافت و... طراحی نمود که میزان دز تابشی آن با توجه به نتایج محاسبات کاملاً ایمن است و کلیه پارامترهای مؤثر در فعال سازی برای آن بررسی شده و مقادیر بهینه برای هر پارامتر مؤثر با توجه به نتایج به دست آمده انتخاب شده است. سیستم تحلیلگر با چشمه کالیفرنیم دارای مشخصات زیر است.

۱-جنس کلیماتور: ترکیب اکسید بریلیم-بیسموت می باشد و این ترکیب بیشترین مقدار شار نوترونی را بر روی نمونه متمرکز می نماید.

۲- ضخامت کلیماتور: حداقل ۵cm سانتی متر می باشد و افزایش ضخامت این مقدار باعث بالارفتن هزینه و مشکلات حمل و نقل را ایجاد خواهد کرد.

۳- طول کلیماتور: برابر ۲۲cm می باشد که افزایش بیشتر باعث گسترش میدان پرتودهی و کاهش آن باعث پراکندگی می گردد.

۴- قطر دهانه کلیماتور ۱۰cm انتخاب شده است، قطر دهانه کلیماتور باید متناسب با fild size مورد نیاز انتخاب شود.

۵-آشکارساز NaI در سطح استوانه ای قرار می گیرند و در سطح استوانه، از کنار هم قرار گرفتن چند کریستال تشکیل استوانه می‌دهند. یا به صورت رینگ هایی که

تشکیل استوانه می دهند، می توان استفاده نمود.

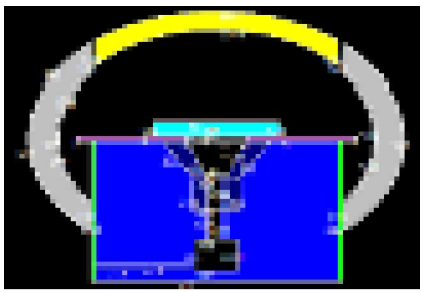
۶-حفاظ مقابل کلیماتور گرافیت است. چون کربن دارای یک گامای با انرژی۴/۳MeV است پس تداخل زیادی ایجاد نمی کند.

۷-میز نمونه، از آهن است که با سایر عناصر موجود تداخلی ندارد.

۸-حفاظ استوانه ای چشمه کالیفرنیم: دارای ضخامت لایه سربی ۱ cm و ضخامت لایه آب ۳۹ cm و ترکیبی از اسید بوریک H_3BO_3 و یک لایه سرب می باشد که نوترون ها و فوتون ها را جذب می کند.

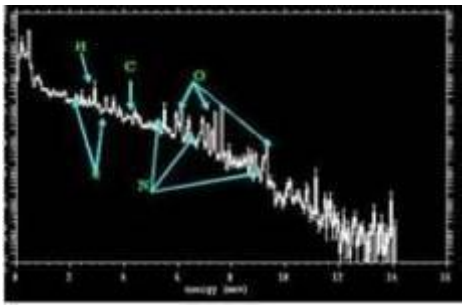
۹-جهت حفاظت بهتر چشمه کالیفرنیم باید در جعبه مخصوص نگهداری شود و در موقع نیاز به محل مورد نظر(دهانه کلیماتور) توسط پمپ جا به جا و پس از پرتودهی مجدداً به محل نگهداری در داخل حفاظ به صورت کنترلی برگردانده شود.

شکل شماره ۱ نمایی برشی از سیستم را نشان می دهند که با توجه به استانداردهای رعایت شده کار می کند و از محل مورد نظر در طراحی سلول ۳ به طور فرضی برای آن تعریف شده است. تحلیل عناصر آن مطابق شکل شماره ۲ شامل هیدروژن، اکسیژن، کربن، نیتروژن و گوگرد می باشد را انجام داده است.



شکل شماره ۱. پلات دستگاه آنالیز عناصر سبک

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]



شکل شماره ۲. طیف آنالیز مواد

References

1-Khabaz R, Crrillo HR. Improvement in practical implementation of neutron source strength calibration using prompt gamma rays. Appl Rad Iso 2013;78:46-50.

2-Fantidis JG, Nicolaou G, Tsagas NF. A monte carlo simulation of neutron activateion analysis of bulk objects. Rad Measuere 2009;44:273-7.

3-Ghassoun J. Effect of tissue inhemogeneetise on dose distributions from 252Cf brachytherapy source. Morocco 2013;71:1-6.

4-Ghassoun J. On the 252cf primary and secondary gamma rays and epithermal neutron flux for BNCT. Nuclear Instrument Methods Physics Res B 2007;263:231-3.

5-Kotiluoto P, Auterinen I. MCNP study for epithermal neutron irradiation of an isolated liver at the finish BNCT facility. Appl Radiat Isotopes 2004;61:781-5.

6-Naqvi AA, Abdelmonem MS, AL-Misned G. New source- moderator geometry to improve performance of 252cf and 241Am-Be source-based PGNAA setups. Nuclear Instrument Methods Physics Res A 2006; 562:358- 4.

7-El moussaoui F, Bardouni T, Azahra M, Kamili A, Boukhal H. Monte carlo calculation for the development of a BNCT neutron source (1ev- 10ev) using MCNP code. Can 2008;12:360-4.

8-Shamsaei M. A new monte carlo program for computing low-energy gamma and X-ray propagation in an axially-symmetric X-RF system. Appl Rad Isotopes 1998;5: 559-60.

9-Atanackovic J, Grinyer J, Chettle DR, Byun SH. The comparison of two MCNP models used for prompt gamma in vivo detection of cadmium and mercury. Appl Rad Isotopes 2007;32:721-8.

10-Rahmani F, Shahriari M. Dose calculatio and in- phantom measurement in BNCT using response matrix method. Appl Rad Isotopes 2011;69:1874-7.

11-Natto SA, Lewis DS. Benchmarking the MCNP Code for monte carlo modelling of an in vivo neutron activation analysis. Appl Rad Isotopes 1998;5:545-7.

12-Oak R. National laboratory, rsicc computer code collection, Contributy Los Alamos 2003;75:789-93.

13-Breimeister JF. MCNP general monte carlo N-partical transport code. Contributy Los Alamos 2001;34:889-94.

14-Amrani D, Tahtat M. Natural radioactivity in Algerian building materials. Appl Rad Isotopes 2000;54:687-9.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]

Designing Light Elements Analysis System With Neutron Activation Analysis(NAA) By Using MCNP Code

*amiri J[1], Shamsaei M[2], Shirmardi S.P[*3], adeli R[3], amiri Sh[4]*

(Received: 5 Feb. 2013 Accepted: 9 June. 2013)

Abstract

Introduction: Identification and analysis of light elements using atomic methods due to the low energy of their X layers are not suitable methods and they have a weak energy and are locally absorbed. Gamma rays have enough energy for detection. Nuc-lear methods have expensive equipment and high risk factors. In this paper, a system was designed that can be used for qualitative and quantitative analyses of tissues, in vivo and in vitro, to investigate the changes of elements percent and also to observe the drug dose in a certain tissue (local evaluation) and etc.

Materials & Methods: Effective parameters in the analyses including the constituent of system components, component dimensions, their shape and location and their parameters were studied by writing several programs using MCNP code.

Findings: All parameters which were evaluated in this study included: 1) Beryllium oxide - Bismuth was chosen for collimator material. 2) Change rate of flux with thickness of collimator was investigated; no significant increase in the flux for 5cm thickness. 3) Collimator opening angle should be proportional to the radiation field. If collimator opening angle increases, neutron scattering will increase. 4) Calculations showed the optimum point collimator length is 22cm.

Discussion & Conclusion: The system has a smaller volume, higher utilization rate, less pollution and lower cost in comparison with other devices that are used in light elements analysis such as reactors. System is used for light element analysis in local and extensive tissues and the monitoring of drugs in tissues and etc.

Keywords: system design, neutron activation, tissue light elements, MCNP

1. Faculty of Paramedical Science, Ilam University of Medical Science, Ilam, Iran
2. Faculty of Physics, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
3. Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran
4. Department of Education Iivan, Ilam, Iran
** (corresponding author)*

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-07]