



بررسی تأثیر نوع آلیاژ آلومینیوم بکار رفته در دیواره اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد بر پاسخ اتاقک در انرژی پرتوهای گامای ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am

غلامرضا رئیس‌علی^{۱،۲*}، معصومه دهقانی‌مقدم^۳، سعید حمیدی^۳، مصطفی غفوری^۱، عبدالرضا سلیمانان^۱،
ارژنگ شاهر^۱، کورش اربابی^۱

۱- پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج-ایران
۲- پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران
۳- گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، صندوق پستی: ۳۸۱۵۶-۸۷۹، اراک - ایران

چکیده: اتاقک‌های یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد در مراکز پرتو درمانی برای اندازه‌گیری شدت چشمه‌های براکی تراپی به کار می‌روند. در این کار پژوهشی با استفاده از کد مونت کارلوی MCNP-4C، اتاقک یونش چاهکدار مدل HDR-33004 شبیه‌سازی شده است. پاسخ اتاقک (جریان الکتریکی) شبیه‌سازی شده برای مکانهای مختلف چشمه در طول محور مرکزی اتاقک، رفتار مشابهی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری داشت و مکان مرجع اندازه‌گیری در اتاقک شبیه‌سازی شده با مکان مرجع اندازه‌گیری شده در اتاقک مدل HDR 33004 یکسان بود. نتایج حاصل نشان داد که مقدار جریان حساب شده به ازای واحد شدت برای چشمه ^{137}Cs بستگی چندانی به نوع آلیاژ آلومینیوم به کار رفته در دیواره اتاقک ندارد، ولی برای چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am ، نوع آلیاژ آلومینیوم دیواره اتاقک تأثیر قابل ملاحظه‌ای در پاسخ اتاقک دارد و وجود عناصری با عدد اتمی بالا مانند روی در آلیاژهای آلومینیوم بکار رفته در دیواره اتاقک، باعث افزایش در پاسخ اتاقک برای چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am می‌شود. همچنین مشخص شد که برای آلیاژهای مشابه Al-7091 پاسخ‌های حساب شده آشکارساز و اندازه‌گیری شده برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در توافق خوبی با یکدیگرند که این نشان‌دهنده بکارگیری آلیاژهایی مانند Al-7091 در ساخت اتاقک مدل HDR-33004 می‌باشد. از نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان در طراحی اتاقک‌های یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد برای چشمه‌های گامای کم انرژی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اتاقک یونش چاهکدار، پاسخ انرژی، دیواره اتاقک، چشمه‌های گاما، شدت کرمای هوا، MCNP

Investigation on the Effect of Chamber Wall Aluminum Alloy on the Response of Free-Air Well-Type Ionization Chamber for ^{137}Cs , ^{57}Co and ^{241}Am Gamma Rays

G. Raisali^{1,2*}, M. Dehghani Moghadam³, S. Hamidi³, M. Ghafouri¹, A. Solimanian¹, A. Shahvar¹, K. Arbabi¹

1- Agricultural, Medical and Industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 31485-498, Karaj-Iran
2- Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran - Iran
3- Physics Department, Faculty of Science, Arak University, P.O.Box: 38156-879, Arak - Iran

Abstract: Free-air well-type ionization chambers are used in brachytherapy medical centers for measurement of brachytherapy source strengths. In this investigation, the HDR-33004 free-air well-type ionization chamber has been simulated using MCNP-4C computer code for several aluminum alloys as chamber wall material. The relative response (electric current) behavior of the simulated chamber for various source positions along the chamber central axis has been calculated and shows good agreement with measured values. We have also observed that the calculated and measured reference points are situated at the same positions. The results showed that the calculated electric current for unit source strength of ^{137}Cs does not depend on the chamber wall aluminum alloy type, but for ^{57}Co and ^{241}Am sources, a strong dependency on the type of aluminum alloy as chamber wall material is observed. The presence of high atomic number elements such as zinc in some aluminum alloys resulted in higher response of the chamber. It is also found that for similar Al-7091 alloys the calculated and measured responses for ^{137}Cs , ^{57}Co and ^{241}Am sources are in good agreement, showing that the alloy type of the chamber wall material would likely be an alloy similar to Al-7091. The results of this investigation can be applied for design of free-air well-type ionization chambers for low energy gamma sources.

Keywords: Well-type Ionization Chamber, Energy Response, Chamber Wall, Gamma Sources, Air-Kerma Strength, MCNP

*email: graisali@aeoi.org.ir



۱- مقدمه

اتاقک‌های یونش مرتبط با هوای آزاد، ساده‌ترین نوع آشکارسازهای گازی هستند که برای اندازه‌گیری هر نوع تشعشعی که یونیزاسیون اولیه یا ثانویه تولید کند بکار برده می‌شوند و ممکن است در اندازه‌ها و شکل‌های متعددی طراحی شوند [۱ تا ۴].

اتاقک‌های یونش چاهکدار، قابلیت اندازه‌گیری نرخ کرمای هوای مرجع چشمه‌های HDR و LDR را دارند [۵ تا ۸]. کالیبره کردن متداول چشمه‌های براکی‌تراپی معمولاً به وسیله اتاقک‌های یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد انجام می‌گیرد که در آنها دیواره‌های اتاقک، چشمه را محاط می‌کنند [۳ و ۴]. با توجه به انرژی و محدوده شدت چشمه‌های موردنظر در اندازه‌گیری با این اتاقکها و در نتیجه کم بودن شدت جریان تولیدی (در حد پیکوآمپر)، انتخاب جنس ماده دیواره اتاقک نقش اساسی در پاسخ اتاقک دارد. اکثر کارخانه‌های سازنده این نوع اتاقکها از جمله PTW، از آلومینیوم برای ماده دیواره اتاقک استفاده می‌کنند.

با در نظر گرفتن هندسه این اتاقکها و استفاده از کد مونت کارلوی MCNP-4C [۹] اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ [۱۰] شبیه‌سازی شده و با در نظر گرفتن آلومینیوم خالص به عنوان ماده دیواره اتاقک، مقدار جریان اتاقک به ازای واحد شدت کرمای هوای چشمه برای مکان‌های مختلف چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{241}Am در طول محور اتاقک حساب شد و با مقایسه نتایج حاصل از این محاسبه با جریان اندازه‌گیری شده به ازای واحد شدت کرمای هوای چشمه برای مکان‌های مختلف چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{241}Am در طول محور اتاقک، صحت عملکرد دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق پاسخ اتاقک شبیه‌سازی شده با در نظر گرفتن آلیاژهای مختلف آلومینیوم به عنوان ماده دیواره اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{241}Am حساب شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

در این کار پژوهشی با در نظر گرفتن هندسه اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ و با استفاده از کد MCNP-4C [۹] این

اتاقک شبیه‌سازی شده و با در نظر گرفتن آلومینیوم خالص به عنوان ماده دیواره اتاقک، پاسخ اتاقک برای مکان‌های مختلف چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{241}Am در طول محور آن حساب شده است. برای محاسبه شدت کرمای هوای این چشمه‌ها با کد MCNP-4C، محاسبه کرمای هوا در اتاقک یونش کروی مدل PTW LS-01 [۱۱] شبیه‌سازی شده و با مقایسه مقدار جریان حساب شده به ازای واحد شدت کرمای هوای هر چشمه با مقادیر اندازه‌گیری شده، درستی فرضیات و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین پاسخ اتاقک یونش چاهکدار شبیه‌سازی شده، با در نظر گرفتن آلیاژهای مختلف آلومینیوم به عنوان ماده دیواره اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{60}Co و ^{241}Am در مکان مرجع اتاقک حساب و با نتایج اندازه‌گیری مقایسه شده است. اندازه‌گیری شدت کرمای هوای چشمه‌ها با استفاده از اتاقک یونش کروی مدل PTW LS-01 انجام گرفته است.

۲-۱ اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴

اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴، اتاقکی مرتبط با هوای آزاد است که برای کالیبره کردن چشمه‌های براکی‌تراپی بکار می‌رود و از محفظه‌ای استوانه‌ای تشکیل شده است که در وسط آن و در امتداد محورش چاهکی استوانه‌ای برای قرار دادن چشمه‌های مورد اندازه‌گیری تعبیه شده است (شکل ۱). مشخصات هندسی این اتاقک در جدول ۱ مندرج است [۱۰]. در اندازه‌گیری پاسخ اتاقک‌های یونش مرتبط با هوای آزاد باید تصحیح چگالی هوا (فشار و دما) با استفاده از رابطه (۱) انجام گیرد:

$$K_{TP} = \frac{1013.25(273.15 + T)}{(273.15 + T_0)p} \quad (1)$$



شکل ۱- اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴



جدول ۱- مشخصات اتاقک یونشی چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴.

حداکثر جریان نشتی (A)	ماکزیموم آکتیویته قابل اندازه گیری (TBq)	ماکزیموم ولتاژ پلاریزه V _p (volts)	عمق چاهک (cm)	قطر دهانه چاهک (cm)	حجم (cm ³)
۵*۱۰ ^{-۱۳}	۴	۵۰۰	۱۵	۳/۲	۲۰۰

۳-۲ نرخ کرمای هوای مرجع چشمه

نرخ کرمای هوای مرجع چشمه برای تعیین مشخصات چشمه‌های براکی‌تراپی به کار می‌رود [۱۳]. انجمن فیزیک پزشکی آمریکا (AAPM) شدت کرمای هوای مرجع چشمه را به صورت حاصلضرب نرخ کرمای هوای چشمه K_δ در خلا ناشی از فوتون‌های با انرژی بزرگتر از δ در مجذور فاصله d از چشمه معرفی کرده است.

$$S_K = K_{\delta} d^2 \quad (2)$$

فاصله d باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتوان چشمه را نقطه‌ای در نظر گرفت. محاسبه در خلا به این منظور است که اندازه‌گیری‌ها باید برای تضعیف فوتون و پراکندگی در هوا یا هر محیط دیگر که بین چشمه و آشکارساز وجود دارد، همچنین پراکندگی فوتون‌ها از سقف، دیواره و کف اتاق آزمایشگاه تصحیح شود.

مقدار δ نوعاً برای چشمه‌های با انرژی پایین، ۵keV در نظر گرفته می‌شود. واحد شدت کرمای هوا μGym²h⁻¹ است که با نماد U نشان داده می‌شود (U=μGym²h⁻¹=cGycm²h⁻¹) [۱۳ و ۱۴].

برای تعیین قدرت چشمه‌های ^{۱۳۷}Cs، ^{۵۷}Co و ^{۲۴۱}Am موجود در آزمایشگاه استاندارد ثانویه پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی از اتاقک یونش کروی نوع PTW LS-01 استفاده شده است. مشخصات چشمه ^{۱۳۷}Cs در جدول ۳ داده شده است [۱۲]، چشمه ^{۵۷}Co با آکتیویته ۱۳/۸۶mCi در فاز آبی به صورت محلول در VCC آب است که در بخش سیکلوترون پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی تولید شده است و چشمه ^{۲۴۱}Am، از نوع کپسولی X101RCC ساخت شرکت Nycomed Amersham انگلستان با آکتیویته ظاهری ۱۴mCi می‌باشد [۱۱]. بیناب انرژی و نیمه‌عمر این چشمه‌ها در جدول ۴ مندرج است [۱۵].

که T دما (برحسب درجه سلسیوس)، P فشار هوا (برحسب میلی‌بار) در مدت اندازه‌گیری پاسخ اتاقک و T₀ دمای مرجع کالیبره کردن اتاقک (معمولاً ۲۰°C) می‌باشد [۱].

۲-۲ اتاقک یونش کروی مدل PTW LS-01

اتاقک یونش کروی مدل PTW LS-01 مورد استفاده در بخش دزیمتری استاندارد ثانویه پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، دزیمتری در سطح استاندارد ثانویه است که با پرتوهای ایکس و گاما در آزمایشگاه دزیمتری آرآنس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) کالیبره شده است [۱۲]. کروی بودن اتاقک سبب می‌شود که پاسخ آن نسبت به جهت تابش یکنواخت باشد. حجم حساس این اتاقک از طریق یک منفذ با هوای بیرون در ارتباط است (شکل ۲). بازه‌های شدت میدان پرتوهای یوننده مورد اندازه‌گیری با این اتاقک از ۰/۱ mSvh⁻¹ تا ۰/۳Svh⁻¹ می‌باشد [۱۱]. مشخصات هندسی این اتاقک در جدول ۲ مندرج است.



شکل ۲- اتاقک یونش کروی PTW LS01.

جدول ۲- مشخصات هندسی اتاقک کروی PTW LS01.

جریان نشتی A	ماکزیموم ولتاژ V	قطر الکترود جمع کننده cm	قطر خارجی cm	حجم فعال (cm ³)
۱*۱۰ ^{-۱۴}	۴۰۰	۵	۱۴	۱۰۰۰

جدول ۳- مشخصات چشمه براکی تریبی ^{137}Cs (ساخت شرکت Nycomed-Amersham).

کد چشمه	نوع	پرتو زایی اسمی ($\mu\text{Ci}/\text{h}$)	ضخامت کپسول (mm)	درجه خلوص	طول (mm)	قطر (mm)
CDCSJ5	Tube	۲۰۲۰/۰۵ MBq	۰/۵	>۹۹/۵	۲۰	۲/۶۵

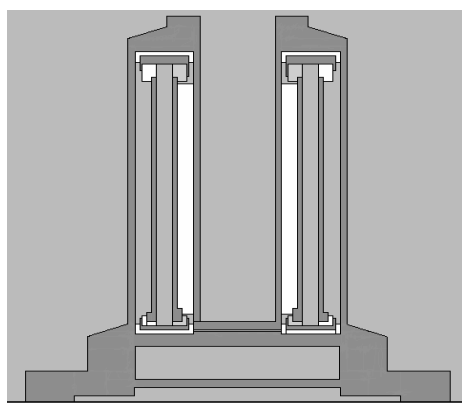
۲-۴ نقطه مرجع اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am

ناحیه مناسب اندازه‌گیری در اتاقک یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد (نقطه مرجع) مکانی است که اگر مرکز چشمه در آنجا قرار بگیرد پاسخ اتاقک بیشینه باشد. در این صورت، عدم قطعیت در تعیین نرخ کرمای هوای مرجع کمینه خواهد بود [۱] و [۱۶].

پاسخ اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ برای مکانهای مختلف چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در طول محور چاه اتاقک با استفاده از الکترومتر نوع PTW UNIDOS 10002 اندازه‌گیری و نقطه مرجع اتاقک برای هر یک از این چشمه‌ها تعیین شد.

۳- محاسبات

با توجه به اینکه در محدوده ولتاژ کاری اتاقک‌های یونش، آهنگ باز ترکیب شدن یون‌های تولید شده در حجم حساس اتاقک ناچیز است، می‌توان تعداد یون‌های تولید شده در اتاقک و در نتیجه جریان تولید شده در مدار متصل به الکترومتر را با استفاده از روش مونت کارلو شبیه‌سازی کرد. بدین منظور برای شبیه‌سازی اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ کد مونت کارلوی MCNP-4C بکار رفته [۹] و هندسه شبیه‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. چگالی هوای حجم



شکل ۳- نمای ساده شده اتاقک شبیه‌سازی شده با کد MCNP

جدول ۴- طیف انرژی فوتون‌های گسیلی چشمه‌ها.

چشمه	نیمه‌عمر	E_i (MeV)	Yi (%)
^{137}Cs	۳۰/۰۴(y)	۰/۶۶۱۷	۸۵/۱۰
		۰/۱۲۲۱	۸۵/۶
^{57}Co	۲۷۱/۷۹(d)	۰/۱۳۶۵	۱۰/۷
		۰/۰۱۴۴	۹/۱۶
		۰/۰۵۹۵	۳۵/۹
^{241}Am	۴۳۲/۲(y)	۰/۰۲۶۴	۲/۴۰
		۰/۰۳۳۲	۰/۱۲۶
		۰/۰۳۳۲	۰/۰۷۴
		۰/۰۴۳۴	۰/۰۷۴

اندازه‌گیری پاسخ اتاقک کروی LS01 برای چشمه‌های مذکور در ناحیه مرکزی اتاقی به ابعاد $۱۳\text{m} \times ۷\text{m} \times ۴\text{m}$ با استفاده از الکترومتر نوع PTW UNIDOS 10002 صورت گرفته است. برای چشمه ^{137}Cs سهم پرتوهای پراکنده در فواصل زمانی اندازه‌گیری، ثابت در نظر گرفته شده [۱۲] ولی در مورد چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am با توجه به پایین بودن بیناب انرژی آنها، سهم پرتوهای پراکنده در همه فواصل اندازه‌گیری شده یکسان نیست و برای تعیین آن در هر فاصله اندازه‌گیری از روش حفاظ سایه (Shadow shielding) استفاده شده است. پس از تصحیح سهم پرتوهای پراکنده و تصحیح تضعیف فوتون‌های اولیه در مسیر هوای بین اتاقک کروی و چشمه، تصحیحات دما، فشار و نایکناختی شاریدگی الکترون در حجم حفره اتاقک یونش، قدرت چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am با قطعیتی حدود ۹۵٪ (با فاکتور پوششی $k=2$) تعیین شد. بدین ترتیب در مدت آزمایش شدت چشمه ^{137}Cs برابر با $۱۶۸\mu\text{Gym}^{-2}\text{h}^{-1}$ (با خطای نسبی ۲٪)، شدت چشمه ^{57}Co برابر با $۷/۲۴\mu\text{Gym}^{-2}\text{h}^{-1}$ (با خطای نسبی ۳٪) و شدت چشمه ^{241}Am برابر با $۰/۵۴۵\mu\text{Gym}^{-2}\text{h}^{-1}$ (با خطای نسبی ۳٪) بدست آمد.



است. بدین منظور پاسخ اتافک به ازای واحد شدت کرمای هوا برای هر چشمه، مدنظر قرار گرفته است. برای محاسبه شدت کرمای هوای چشمه‌ها، اتافک کروی LS01 با مشخصات مندرج در جدول ۲ با کد MCNP شبیه‌سازی شده و چشمه‌ها در خلا در فاصله ۱m از مرکز اتافک فرض شده‌اند و با استفاده از تالی F6 در حجم حساس اتافک، قدرت چشمه برای یک ذره در واحد زمان با استفاده از رابطه (۵) حساب شده است.

$$S_K(\mu\text{Gym}^2\text{s}^{-1}) = 1/6 * 10^{-4} * F6 \quad (5)$$

بنابراین مقدار جریان به ازای واحد قدرت کرمای هوای چشمه از رابطه (۶) بدست می‌آید:

$$I\left(\frac{A}{\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}}\right) = 8/17 * 10^{-15} * F8 / F6 \quad (6)$$

همچنین به منظور بررسی تأثیر نوع آلیاژ به کار رفته در دیواره بر پاسخ اتافک، با در نظر گرفتن آلیاژهای مختلف آلومینیوم (آلیاژهای مندرج در جدول ۵) به عنوان ماده دیواره اتافک مقدار جریان به ازای واحد شدت کرمای هوای چشمه برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در مکان مرجع اتافک با استفاده از کد MCNP-4C حساب شده است [۱۸].

حساس اتافک، با توجه به میزان دما و فشار آزمایشگاه در مدت اندازه‌گیری برای هر چشمه با استفاده از رابطه (۳) منظور شده است [۱۷].

$$\rho = 0.001293 \frac{273.2P}{1013.25(273.2+T)} \quad (3)$$

به منظور حساب کردن پاسخ اتافک برای چشمه‌های مندرج در جدول ۲ از تالی‌های F6 و F8* استفاده شده است. تالی F8* انرژی جذب شده در حجم سلول تعریف شده را حساب می‌کند و واحد آن MeV است؛ تالی F6 برای محاسبه کرمای فوتونها در سلول مورد نظر به کار می‌رود و واحد آن MeV/gr است [۹].

با توجه به این که مقدار انرژی یونش برای هوا حدود ۳۴eV است [۱۷]، با استفاده از مقدار تالی F8* در حجم حساس اتافک، جریان الکتریکی برحسب آمپر به ازای یک ذره در واحد زمان از رابطه (۴) حساب شده است.

$$I(A) = 4/70.59 * 10^{-15} * F8 \quad (4)$$

با در نظر گرفتن نکات فوق، ابتدا پاسخ اتافک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در موقعیت‌های مختلف، با فرض آلومینیوم خالص به عنوان ماده دیواره اتافک حساب شده

جدول ۵- میزان درصد وزنی عناصر موجود در آلیاژهای مختلف آلومینیوم.

Designation	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Co/O/Zr	Ti	Others (a)		Al
											Each	Total (b)	
3102	0.40	0.7	0.10	0.05-0.40	-	-	-	0.30	-	0.10	0.05	0.15	rem
6253	(m)	0.50	0.10	-	1.0-1.5	0.04-0.35	-	1.6-2.4	-	-	0.05	0.15	rem
7277	0.50	0.7	0.8-1.7	-	1.7-2.3	0.18-0.35	-	3.7-4.3	-	0.1	0.05	0.15	rem
7475	0.1	0.12	1.2-1.9	0.06	1.9-2.6	0.18-0.25	-	5.2-6.2	-	0.06	0.05	0.15	rem
7091	0.12	0.15	1.1-1.8	-	2.0-3.0	-	-	5.8-7.1	0.20-0.6 Co, 0.20-0.50 O	-	0.05	0.15	rem
7093	0.12	0.15	1.1-1.9	-	2.0-3.0	-	0.04-0.16	8.3-9.7	0.08-0.20 Zr, 0.05-0.50 O	-	0.05	0.15	rem
4048	9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.07	0.07	0.07	-	9.3-10.7	(h)	-	0.05	0.15	rem

(a) شامل عنصرهای لیست شده که برای آنها هیچ حد مشخصی وجود ندارد و عنصرهای فلزی لیست نشده. (b) مجموع "Others" برابر با ۰/۰۱ درصد یا بیشتر است. (h) ۰/۰۰۰۸ درصد وزنی بریلیم برای محصولات ناشی از جوش کاری. (m) ۴۵-۶۵ درصد از Mg واقعی.



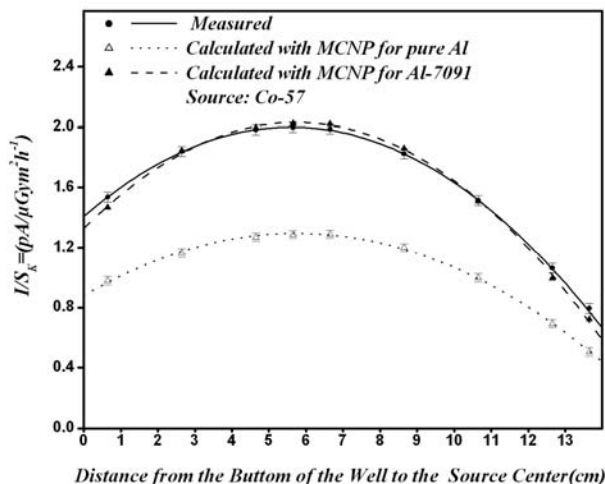
۴- نتایج

در جدول ۶ نتایج شبیه‌سازی برای تعیین شدت چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am برای هر ذره تابش شده از چشمه در واحد زمان آورده شده است.

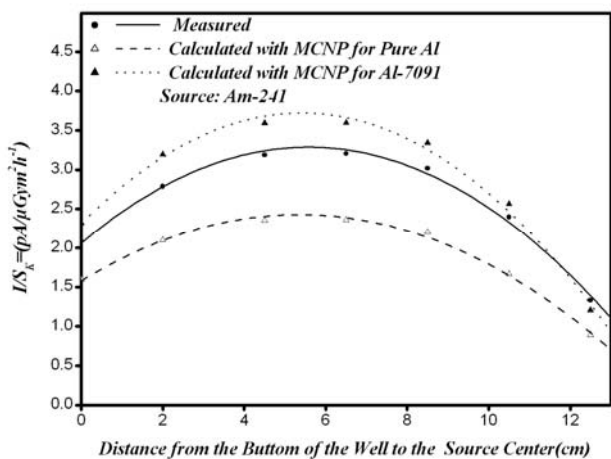
مقدار جریان به ازای واحد شدت چشمه در حجم حساس اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ شبیه‌سازی شده با فرض آلومینیوم خالص به عنوان ماده دیواره اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am با استفاده از رابطه (۶) حساب شده است. نتایج حاصل از این محاسبات و مقدار جریان اندازه‌گیری شده در حجم حساس اتاقک چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ به ازای واحد شدت چشمه برای مکان‌های مختلف چشمه در طول محور اتاقک، برای هر یک از چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am با در نظر گرفتن مقدار خطا، در شکل ۴ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر تجربی و محاسباتی در شکل ۴ نشان می‌دهد که پاسخ اتاقک شبیه‌سازی شده برای مکان‌های مختلف چشمه در طول محور اتاقک برای هر یک از چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am رفتار مشابهی با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی برای هر یک از چشمه‌های مذکور دارد و مکان مرجع پیش‌بینی شده با شبیه‌سازی مونت کارلو، با مکان مرجع اندازه‌گیری شده در اتاقک چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ یکسان است. مقدار جریان حساب شده به ازای واحد شدت چشمه ^{137}Cs در اتاقک شبیه‌سازی شده با فرض آلومینیوم خالص به عنوان ماده دیواره اتاقک، با مقدار جریان اندازه‌گیری شده به ازای واحد شدت چشمه ^{137}Cs در اتاقک چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ توافق بسیار خوبی دارد، ولی برای چشمه‌های ^{241}Am و ^{57}Co اختلاف قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. در شکل ۵ جریان حساب شده در حجم حساس اتاقک به ازای واحد شدت چشمه برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در مکان مرجع چاه اتاقک با در نظر گرفتن آلیاژهای مختلف (مندرج در جدول ۵) به عنوان ماده دیواره اتاقک، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که پاسخ آشکارساز در مورد چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am وابستگی قابل توجهی به نوع آلیاژ به کار رفته در دیواره اتاقک دارد و این وابستگی با کاهش انرژی چشمه افزایش می‌یابد.

جدول ۶- شدت کرمای هوا چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am به ازای یک ذره در واحد زمان، حساب شده با روش مونت کارلو.

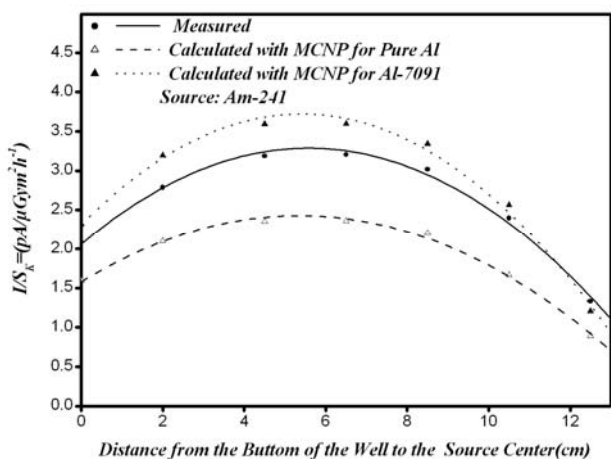
Source	^{137}Cs	^{57}Co	^{241}Am
$F_6(\frac{\text{MeV}}{\text{gr}})$	$1/49 * 10^{-7}$	$1/13 * 10^{-8}$	$4/734 * 10^{-9}$
$S_K(\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1})$	$2/38 * 10^{-11}$	$1/80 * 10^{-12}$	$7/574 * 10^{-13}$



چشمه ^{137}Cs (a)



چشمه ^{57}Co (b)



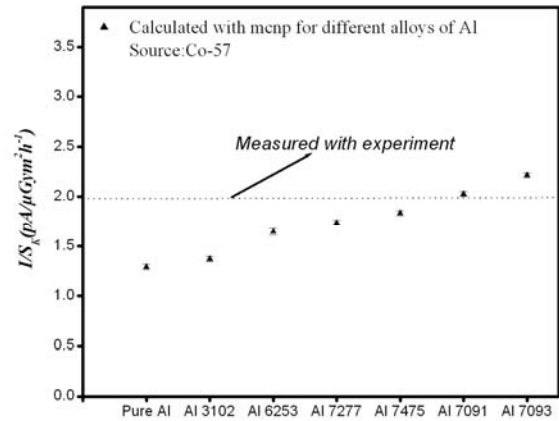
چشمه ^{241}Am (c)

شکل ۴- مقایسه مقدار جریان حساب شده به ازای واحد شدت چشمه با فرض آلومینیوم خالص و Al-7091 به عنوان ماده دیواره اتاقک بر حسب مکان‌های مختلف چشمه در طول محور اتاقک با مقدار جریان اندازه‌گیری شده متناظر با اتاقک یونش چاهکدار مدل ۳۳۰۰۴ برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am .

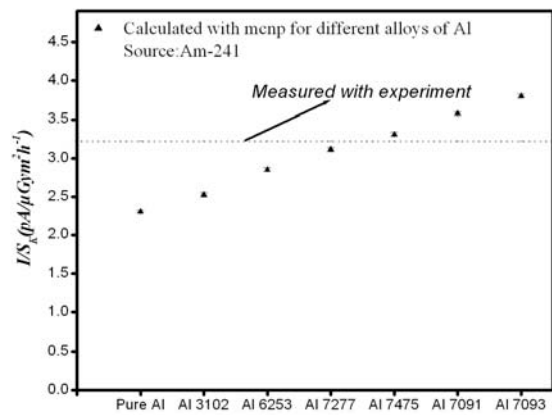


نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های تجربی برای هر یک از چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am دارد و مکان مرجع اندازه‌گیری تقریباً برای هر سه چشمه یکی است و به انرژی چشمه مورد اندازه‌گیری بستگی چندانی ندارد. در شکل ۵، بررسی مقادیر جریان حساب شده به ازای واحد شدت چشمه در مکان مرجع اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am با مقادیر استفاده از آلیاژهای مختلف آلومینیوم و مقایسه آن با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده برای هر یک از چشمه‌های مذکور نشان می‌دهد که در مورد چشمه ^{137}Cs ، نوع آلیاژ به کار رفته در دیواره اتاقک تأثیر چندانی بر پاسخ آن ندارد ولی در مورد چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am وابستگی شدیدی به نوع آلیاژ به کار رفته در دیواره‌ی اتاقک مشاهده می‌شود. با توجه به ترکیبات آلیاژهای مختلف آلومینیوم (جدول ۵) مشاهده می‌شود که افزایش پاسخ اتاقک شبیه‌سازی شده برای چشمه‌های ^{57}Co و ^{241}Am همراه با افزایش درصد وزنی روی در ترکیب آلیاژهای آلومینیوم به کار رفته در اتاقک است و این در مورد چشمه ^{241}Am برجسته‌تر است.

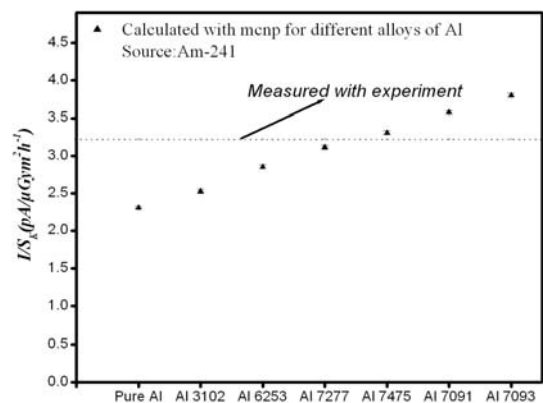
مقایسه نمودارهای a، b و c در شکل ۵ نشان می‌دهد که برای آلیاژهای Al-6253، Al-7277، Al-7475، Al-7091 پاسخ حساب شده برای هر سه چشمه ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am توافق خوبی با مقدار اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار حساب شده با آلیاژ Al-7091 توافق بسیار خوبی با مقدار اندازه‌گیری شده برای چشمه ^{57}Co دارد، همچنین اطلاعات کاملی در مورد ساختار داخلی چشمه ^{241}Am وجود ندارد، با در نظر گرفتن آلیاژ Al-7091 به عنوان ماده دیواره اتاقک، جریان حساب شده به ازای واحد شدت چشمه برحسب مکان آن در طول محور اتاقک برای چشمه‌های ^{137}Cs ، ^{57}Co و ^{241}Am در شکل ۴ رسم شده است. بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی شده با استفاده از آلیاژ Al-7091 توافق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده برای مکان‌های مختلف چشمه در طول محور اتاقک دارد. این توافق چند جانبه شامل سه نوع چشمه با گستره قابل ملاحظه‌ای از انرژی و قرار گرفتن چشمه‌ها در مکان‌های مختلف اتاقک، می‌تواند مؤید درستی اندازه‌گیری‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام شده باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که آلیاژ بکار رفته در اتاقک مورد نظر به احتمال زیاد Al-7091 یا آلیاژ مشابه آن می‌باشد.



چشمه ^{137}Cs (a)



چشمه ^{57}Co (b)



چشمه ^{241}Am (c)

شکل ۵- جریان حساب شده به ازای واحد شدت چشمه در مکان مرجع اتاقک با در نظر گرفتن آلیاژهای مختلف آلومینیوم به عنوان ماده دیواره اتاقک برای (a) چشمه ^{137}Cs ، (b) چشمه ^{57}Co و (c) چشمه ^{241}Am .

۵- بحث و نتیجه‌گیری

شکل ۴ نشان می‌دهد که پاسخ اتاقک شبیه‌سازی شده برای مکان‌های مختلف چشمه در طول محور اتاقک رفتار مشابهی با



References:

1. International Atomic Energy Agency "Calibration of Photon and Beta Source Used in Brachytherapy," IAEA- TECDOC- 1274, March (2002).
2. F.M. Khan, "The Physics of Radiation Therapy," 3rd edition, Lippincott Williams and Wilkins (2003).
3. Glenn F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement," 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc (1999).
4. N. Ahmad, Nasir M. Mirza, Sikander M. Mirza, T. Rashid, M. Tufail, Liaquat A. Khan, "Design and study of the characteristics of a three electrode experimental ionization chamber for gamma ray dosimetry of spent fuel," Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A321403-409 (1992).
5. Sujatha Pai and Lawrence E. Reinstein, "Evaluation of a new sealed reentrant well chamber for HDR and LDR brachytherapy calibration", Med. Phys. **25**, No. 5 (1998).
6. Anthon. K. Ho, Ph. D., Claudio H. Sibata, Ph. D., Cleber N. Desouza, M. Sc. Robert Castighone, B. Sc. and KYU. H. Shin, M. D., "Evaluation of a well-type ionization chamber for calibration of HDR and LDR brachytherapy sources," Medical Dosimetry, **20**, No. 1, pp 31-34 (1995).
7. IR J Meiler, C H Sibata, A K Ho, C De Souza and KH Shin, "A well-type ionization chamber geometric correction factor," Phys. Med. Biol, **41**, pp 1141-1148 (1996).
8. L. Buerman, H. -M. Kramer, H. Schrader, H. -J. Selbach, "Activity determination of ¹⁹²Ir solid sources by ionization chamber measurement using calculated corrections for self-absorption," Nuclear Instruments and Method in Physics Research **A**, **339**, pp 369-376 (1994).
9. Briesmeister, J. F. Editor, "MCNP-4C, A General Monte Carlo N Particle Transport Code System Version 4C," Los Alamos National Laboratory LA-13709-M (2000).
10. Instruction Manual, HDR Chamber Type 33004, [d432.131.0/1].
11. Austrian Research Center Seibersdorf, "Secondary Standard Ionization Chamber Type LS-01," November(1984).
- در پایان، نتیجه می‌گیریم که وجود عناصری با عدد اتمی بالا مانند روی در ناخالصی‌های موجود در آلیاژهای آلومینیوم برای چشمه‌های کم انرژی، تأثیر قابل توجهی بر پاسخ اتاقک‌های یونش چاهکدار مرتبط با هوای آزاد دارد و این موضوع می‌بایست در طراحی و ساخت اتاقک‌های یونش به ویژه برای اندازه‌گیری شدت چشمه‌های کم انرژی، که امروزه در براکی‌تراپی کاربرد فوق‌العاده‌ای یافته‌اند، مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از آقایان پژمان روشن فرزاد، رفیعی رحیمی، علی سرلک و مهربان پولادی به خاطر همکاری‌های صمیمانه آنان در انجام این تحقیق و از سرکار خانم لیلا محرمی‌نژاد به خاطر مساعدت در تایپ این مقاله سپاسگزاریم.

ع. سلیمانان، آ. عالیپور، م. غفوری، "سنجه‌بندی استاندارد 12. چشمه‌های Cs مورد استفاده در براکی‌تراپی، مجله علوم و فنون هسته‌ای،" شماره ۳۴، صفحات ۵۶-۵۳ (۱۳۸۴).

13. Mark J. Revard, Bert M. Coursey, Larry A. Dewerds, William F. Hanson, M. Saiful Huq, Geoffrey S. Ibbott, Michael G. Mitch, Ravinder Nath, Jeffrey F. Williamson, "Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A Revised AAPM Protocol for Brachytherapy Dose Calculations," Med. Phys. **31**(3), March (2004).

14. Stephen M. Seltzer, Paul J. Lamperti, Robert Loevinger, Michael G. Mitch, James T. Weaver, and Bert M. Coursey, "New national air-kerma-strength standards for ¹²⁵I and ¹⁰³Pd brachytherapy seeds," J. Res. Inst. Stand. Technol. **108**, pp 337-358 (2003).

15. James E. Martin, "Physics for Radiation Protection," John Wiley & Sons, Inc., New York (2000).

16. Michael G. Mitch, Brian E. Zimmerman, Paul J. Lamperti, Stephen M. Seltzer, and Bert M. Coursey, "Well-ionization chamber response relative to NIST air kerma strength standard for prostate brachytherapy seeds," Med. Phys. **27**(10), October (2000).

17. Arthur B. Chilton, J. Kenneth Shultis, Richard E. Faw, "Principles of Radiation Shielding," Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632 (1984).

18. John P. Frick, Ph. D. (Editor), "Woldmans Engineering Alloys," 8th edition, ASM International, second printing, USA, Feb (1996).