



بررسی تأثیر ناخالصی موجود در دیواره اتاقک یونش گرافیتی بر اندازه گیری مطلق

آهنگ کرمای هوای چشمه کبالت-۶۰

صدیقه کاشیان^۱، محسن صالح کوتاهی^{۲*}، امیر مصلحی^۱، فاطمه دستوری^۲

۱- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

۲- دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

در آزمایشگاه های دزیمتری استاندارد اولیه، اندازه گیری مطلق آهنگ کرمای هوا با استفاده از اتاقک های یونش با دیواره گرافیتی انجام می شود. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ناخالصی موجود در گرافیت بر اندازه گیری آهنگ کرمای هوا می باشد. برای این منظور، یک اتاقک یونش گرافیتی با ضخامت دیواره 4 mm و حجم حساس 1.022 cm³، با استفاده از کد MCNPX شبیه سازی شد. سپس میزان انرژی جذب شده در واحد جرم حجم حساس به ازای درصد خلوص های متفاوت گرافیت محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد، با بکارگیری گرافیت با درصد خلوص 95٪، خطای ناشی از ناخالصی گرافیت 4.5٪ خواهد بود. با افزایش درصد خلوص تا 98٪، این خطا به کمتر از 0.5٪ کاهش می یابد. با توجه به اینکه با کاهش میزان ناخالصی تا 0.1 درصد، خطای ناشی از ناخالصی به کمتر از 0.2٪ کاهش می یابد، لذا برای ساخت اتاقک یونش استاندارد باید از گرافیت با درجه خلوص بالاتر از 99.9٪ استفاده کرد.

کلید واژه: اتاقک یونش گرافیتی، استاندارد اولیه، آهنگ کرمای هوا، چشمه کبالت 60

Investigation of the Effect of Impurities in the Wall of Graphite Ionization Chamber on the Absolute Air Kerma Rate Measurement of ⁶⁰Co

S. Kashian¹, M. Saleh Kotahi^{,2}, A. Moslehi¹, F. Dastoori²*

¹Atomic Energy Organization of Iran, Nuclear Science and Technology Research Institute, Radiation Applications Research School

²K. N. Toosi University of Technology, Faculty of Science, Physics Department

Abstract:

In the primary standard dosimetry laboratories, the absolute measurement of the air kerma rate is carried out using graphite ionization chambers. The aim of this study was to investigate the impact of impurities in graphite on the absolute measurements of the air kerma rate. Hence, a cylindrical graphite ionization chamber with a sensitive volume of 1.022 cm³ and a wall thickness of 4 mm was simulated using MCNPX. Then, the amount of absorbed energy per unit mass of in the sensitive volume was calculated for different percentage purity of graphite. The results show that, using graphite with a percent purity of 95%, the uncertainty in air kerma rate was about 4.5%. By increasing the percent purity of graphite to 98%, the uncertainty was decreased to less than 0.5%. By decreasing the impurity in graphite to 0.1%, the uncertainty due to impurity decreases to less



than 0.2%. Therefore, for the construction of a primary standard ionization chamber, graphite with a percent purity greater than 99.9% must be used.

Keywords: Graphite Ionization Chamber, Primary Standard, Air Kerma Rate, Co-60

مقدمه:

کالیبراسیون تجهیزات دزیمتری مراکز پرتودرمانی، مشخصه یابی میدانهای پرتوهای ایکس و گاما در حوزه های پرتودرمانی، تحقیقاتی و صنعتی و همچنین کالیبراسیون تجهیزات سنجش پرتو فردی و محیطی در سطح حفاظتی عمدتاً در میدانهای چشمه کبالت و در آزمایشگاه های استاندارد ثانویه انجام می گردد. در کشور ما نیز این مسئولیت بر عهدهی آزمایشگاه SSDL پژوهشکده کاربرد پرتوها می باشد. با توجه به اینکه استفاده از استانداردهای ثانویه منوط به کالیبراسیون آنها با استفاده از اتاقک های یونش استاندارد اولیه است، لذا تجهیزات اندازه گیری به صورت دوره ای برای کالیبراسیون به آژانس بین المللی انرژی اتمی فرستاده می شوند و ضرایب کالیبراسیون آنها تعیین می گردد. با گسترش مراکز درمانی و صنعتی در کشور و افزایش نیاز به کالیبراسیون تجهیزات و میدانهای تابشی، لزوم طراحی و ساخت سیستم های اندازه گیری در سطح استاندارد اولیه، بویژه طراحی و ساخت اتاقک یونش گرافیتی که برای اندازه گیری مطلق آهنگ گرمای هوای چشمه های کبالت مورد استفاده قرار می گیرند، بیش از پیش ضروری به نظر می رسد. به این ترتیب علاوه بر عدم وابستگی به آزمایشگاه های استاندارد اولیه دنیا امکان کالیبراسیون تجهیزات کشورهای منطقه نیز فراهم خواهد شد. اولین گزارش از نمونه اتاقک یونش استوانه‌ای که برای اندازه‌گیری مطلق پرتوگیری توسط Boutillon و Niatel در مؤسسه استاندارد فرانسه ساخته شده است، در سال ۱۹۷۳ منتشر گردید [۸]. در سال ۱۹۷۴ نمونه‌ی دیگری در مؤسسه استاندارد آمریکا ساخته شد [۹]. اتاقک یونش ساخته شده در این مرکز از نوع کروی بود و چند نمونه از آن و در حجم‌های ۱ سی سی تا ۵۰ سی سی طراحی و ساخته شدند. نمونه‌ی بعدی که اطلاعات مربوط به آن به چاپ رسیده است، در مؤسسه استاندارد ایتالیا قرار داد و توسط Toni و Laitano ساخته شده است. این اتاقک از نوع استوانه‌ای با الکتروود مرکزی میله‌ای شکل می باشد [۱۱].

آهنگ گرمای هوا در یک اتاقک یونش استوانه‌ای از رابطه (۱) محاسبه می شود [۳]:

$$\dot{K} = \frac{I}{\rho_{air} V} \frac{W}{e} \frac{1}{1-\bar{g}} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c} \bar{S}_{c,a} \prod_i k_i \quad (1)$$

که در این رابطه، $W/e = 33/97 \text{ eV}$ میانگین انرژی لازم برای تولید جفت یون در هوا، ρ_{air} چگالی هوا در دما و فشار استاندارد، V حجم اتاقک، I میانگین جریان اندازه‌گیری شده در حالیکه پلاریته اتاقک مثبت و منفی باشد، \bar{g} کسری از انرژی الکترون‌های اولیه است که در اثر تابش ترمزی در هوا از بین میروند، $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c}$ نسبت ضریب جذب انرژی جرمی هوا به گرافیت، $\bar{S}_{c,a}$ ، نسبت توان توقف جرمی گرافیت به هوا و k_i ها ضرایب تصحیح هستند.



به دلیل نزدیک بودن عدد اتمی گرافیت به عدد اتمی مؤثر هوا اندرکنش پرتوها در این دو ماده تا حدود زیادی مشابه یکدیگر خواهد بود. لذا استفاده از این ماده در طراحی و ساخت یک دزیمتر استاندارد اولیه خطای حاصل از بکارگیری این ماده را به حداقل ممکن کاهش خواهد داد. از طرفی گرافیت بدلیل رسانا بودن می تواند نقش الکتروود را نیز داشته باشد. علاوه بر این گرافیت حداقل میزان جذب و پراکندگی را هنگام عبور پرتو گاما ایجاد خواهد کرد و خطای ناشی از جذب و پراکندگی را به کمینه مقدار ممکن کاهش می یابد. یکی از موانع در طراحی اتاقک یونش گرافیتی استاندارد، تهیه گرافیت خالص است. زیرا عمده شرکت های تولید کننده گرافیت خالص در آمریکا هستند و با توجه به کاربردهای گوناگون گرافیت در صنایع مختلف، این ماده در فهرست اقلام تحریمی ایران وجود دارد.

هدف از این تحقیق بررسی تاثیر میزان ناخالصی گرافیت بر اندازه گیری مطلق آهنگ گرمای هوای چشمه کبالت ۶۰ است. برای این منظور شبیه سازی هایی با استفاده از کد MCNPX و به روش مونت کارلو به ازای درصد ناخالصی های مختلف در گرافیت انجام شد تا میزان حساسیت پاسخ آهنگ گرمای هوا به ناخالصی گرافیت در طراحی و ساخت اتاقک یونش گرافیتی تعیین گردد و در نهایت حداکثر میزان ناخالصی که امکان ساخت اتاقک یونش گرافیتی در سطح استاندارد با آن وجود داشته باشد، مشخص شود.

مواد و روش ها:

اتاقک های یونش گرافیتی استاندارد در دو شکل کروی و استوانه ای طراحی و ساخته می شوند. در این اتاقک ها دیواره بیرونی به دلیل خاصیت رسانایی گرافیت، نقش الکتروود را نیز برعهده دارد. ضخامت دیواره باید به گونه ای انتخاب شود که شرط برقراری تعادل الکترونی را نیز فراهم آورد. محاسبات انجام شده نشان می دهد که ضخامت ۴ میلیمتر از گرافیت برای برقراری تعادل الکترونی در میدان کبالت-۶۰ مناسب می باشد.

به منظور بررسی تأثیر ناخالصی موجود در گرافیت بر آهنگ گرمای هوا، میزان انرژی جذب شده در حجم حساس اتاقک یونش مورد نظر به ازای درصد خلوص های متفاوت از گرافیت باید محاسبه شود. در این تحقیق، میزان انرژی جذب شده در حجم اتاقک یونش استوانه ای به ارتفاع ۱۱/۰ mm، قطر داخلی ۱۱/۰ mm و حجم حساس $1/022 \text{ cm}^3$ که مشابه با اتاقک یونش گرافیتی موجود در مرکز استاندارد ایتالیا می باشد [۱۰]، محاسبه شد. دیواره گرافیتی اتاقک یونش، ۴ میلیمتر در نظر گرفته شد تا شرط برقراری تعادل الکترونی نیز فراهم گردد. برای انجام شبیه سازی ها از تالی F8* استفاده شد. زمان اجرای برنامه به گونه ای تنظیم شد که خطای اجرای برنامه در حدود ۰/۱٪ باشد. محاسبات برای درصد خلوصهای ۹۵٪، ۹۶٪، ۹۷٪، ۹۸٪، ۹۹٪، ۹۹٫۲٪، ۹۹٫۴٪، ۹۹٫۷٪، ۹۹٫۹٪ و ۱۰۰٪، انجام شد. بررسی های انجام شده نشان می دهد، عمده ناخالصی های موجود در گرافیت شامل عناصری همچون Sn، Zn، Pb و Cd است [۹]. در

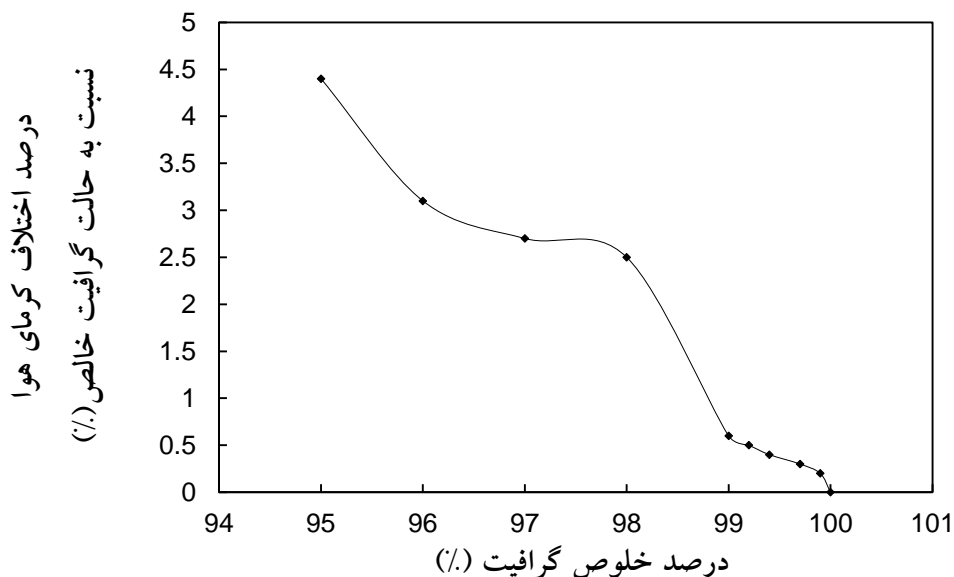


یک نمونه از گرافیت فوق خالص، در ۰/۱ گرم گرافیت، به ترتیب برابر با ۰/۱۷ ppm، ۰/۲۵ ppm، ۰/۲۸ ppm و ۰/۱۱ ppm باشد [۹].

نتایج :

نتایج انجام شبیه سازی ها برای درصد خلوص های متفاوت از گرافیت در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، با افزایش درصد ناخالصی، میزان انرژی جذب شده در هوا افزایش می یابد. شکل ۱ نمودار درصد اختلاف مقادیر گرمای هوا ناشی از ناخالصی گرافیت را به ازای درصد خلوص های متفاوت گرافیت نشان می دهد. جدول ۱- میزان انرژی جذب شده در واحد جرم هوای حجم حساس اتاقک یونش گرافیتی برای درصد خلوص های متفاوت گرافیت.

میزان انرژی جذب شده در هوا ($\times 10^{-6} \text{MeV/g}$)	خلوص گرافیت (%)
$1241/88 \pm 6/88$	۹۵/۰
$1227/45 \pm 6/26$	۹۶/۰
$1222/03 \pm 6/47$	۹۷/۰
$1219/81 \pm 6/34$	۹۸/۰
$1196/80 \pm 5/98$	۹۹/۰
$1195/52 \pm 6/57$	۹۹/۲
$1194/81 \pm 5/73$	۹۹/۴
$1193/73 \pm 5/96$	۹۹/۷
$1191/68 \pm 5/95$	۹۹/۹
$1189/49 \pm 5/70$	۱۰۰/۰



شکل ۱- نمودار درصد اختلاف مقادیر گرمای هوای محاسبه شده در حجم حساس اتاقک یونش نسبت به حالت گرافیت خالص بر حسب درصد خلوص گرافیت.

همانطور که از نمودار شکل ۱ ملاحظه می شود، درصد اختلاف گرمای هوای محاسبه شده در حجم حساس اتاقک یونش با دیواره گرافیتی ناخالص نسبت به حالت گرافیت خالص، با افزایش ناخالصی افزایش می یابد. با توجه به اینکه از این اتاقک به عنوان استاندارد اولیه استفاده خواهد شد، لذا خطای کل سیستم ناشی از بخش های مختلف باید کمتر از یک درصد باشد. به همین منظور باید خطای ناشی از ناخالصی گرافیت در اندازه گیری آهنگ گرمای هوا در حدود چند دهم درصد باشد تا در مجموع خطای کل کمتر از ۱٪ باشد. با بکارگیری گرافیت با درصد خلوص ۹۵ درصد خطای ناشی از ناخالصی گرافیت ۴/۵ درصد خواهد بود. با افزایش درصد خلوص از ۹۸٪ به ۹۹٪ این خطا از ۲/۵٪ به کمتر از ۰/۵٪ کاهش می یابد که این میزان کاهش چشمگیر می باشد. با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار شکل ۱ امکان استفاده از گرافیت های با درصد خلوص بیش از ۹۹/۹٪ که خطای ناشی از ناخالصی کمتر از ۰/۲٪ باشد، برای ساخت اتاقک یونش گرافیتی در سطح استاندارد اولیه، مناسب خواهد بود.

بحث و نتیجه گیری:

همانطور که از جدول ۱ ملاحظه می شود، با افزایش میزان درصد ناخالصی ها در گرافیت، میزان انرژی جذب شده در واحد جرم افزایش می یابد. این کاهش به دلیل تغییر در نسبت توان توقف گرمی و ضریب جذب انرژی گرمی گرافیت



به ازای درصد خلوص های متفاوت می باشد. انتظار می رود با افزایش میزان ناخالصی که عمدتاً از مواد سنگین تر از گرافیت هستند، ضریب جذب انرژی جرمی گرافیت افزایش یابد و بنابراین نسبت ضرایب جذب در مجموع کاهش یابد. از طرفی با توجه به اینکه توان توقف با توان دوم عدد اتمی رابطه مستقیم دارد، با افزایش ناخالصی توان توقف گرافیت ناخالص افزایش و نسبت توان توقف گرافیت به هوا افزایش می یابد. روند افزایشی میزان انرژی جذب شده نشان می دهد، میزان افزایش توان توقف جرمی از میزان کاهش ضریب جذب انرژی جرمی بیشتر است. بررسی های انجام شده نشان می دهد، برای ساخت یک اتاقک یونش استاندارد گرافیتی که امکان اندازه گیری به صورت مطلق را داشته باشد و خطای آن در سطح سیستم های استاندارد اولیه دنیا باشد و خطای زیر ۱ درصد داشته باشد، باید خطای ناشی از ناخالصی گرافیت کمتر از ۰/۲ درصد باشد تا خطای مجموع کمتر از یک درصد باشد. لذا برای ساخت اتاقک یونش استاندارد اولیه نیاز به استفاده از گرافیت با درجه خلوص حداقل ۹۹/۹ درصد می باشد.

مراجع:

- [۱] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, Fourth Edition, John Wiley & Sons, (2010).
- [۲] Chamber, H., Johnson, T.E., "Introduction to Health Physics", Medical, (2009).
- [۳] Attix, F.H., Victor, H.R., "A Determination of the Gamma-Rays Emission of Radium", J. Res. Nat. Bureau. Stand. 59, 293-305, (1957).
- [۴] Ana P. Perini, Locio P. Neves, Linda V. E. Caldas, "Development and Characterization of a Graphite-Walled Ionization Chamber as a Reference Dosimeter of ^{60}Co Beams", 104, 248-251, (2014).
- [۵] Boutillon, T. E., "Drift Velocities of Electrons in some Commonly Used Counting Gases", Rev. Sci. Instrum. 28, 103, (1957).
- [۶] Allisy-Roberts, P. J., D. T., Kessler, C., "Comparison of the Standards for Air Kerma of the ENEA-INMRI and the BIPM for ^{60}Co and ^{137}Cs Gamma Rays", Metrologia 48, Tech. Supl, (2011).
- [۷] Delaunay, M.D., Gouriou, j., Leroy, e., Ostrowsky, a. "New KNHB Primary Standard for ^{60}Co Air Kerma", Metrologia 47, 652-658, (2010).
- [۸] Leftus, T. P., Weaver, J. T., "Standardization of ^{60}Co and ^{137}Cs Gamma Ray Beams in Terms of Exposure", J. Res. Natl. Bur. Stand. (U.S.), 78A, 456-476, (1974)
- [۹] Zacharia, R., Guser, S., Izgi, B., Chebotarev, A., Karaaslan, H., "Direct Atomic Absorption Spectrometry Determination of Tin, Lead, Cadmium and Zinc in High-Purity Graphite With Flame Furnace Atomizer", Talanta 72, 825-830, (2007).
- [۱۰] Laitano, R. F., Lamperti, P. J., Toni, M. P., "Comparison of the NIST and ENEA Air Kerma Standards", J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 103, 365, (1998).



[۱۱] غ. رئیس علی، ص. کاشیان، گزارش فاز مطالعاتی و امکان‌سنجی، امکان‌سنجی طراحی و ساخت اتاقک‌های یونش‌گرافیتی برای اندازه‌گیری مطلق کرمای هوای چشمه‌های ^{60}Co و ^{137}Cs ، (۱۳۹۵).