



بررسی دز جذبی اندام‌های مهم پرتوکاران رآکتور تحقیقاتی تهران با استفاده از فانتوم معادل بافت و دزیتر TLD

الهام شاه‌حسینی*، نویده آقایی امیرخیزی، فرهاد منوچهری، احمد حاجی محمدزاده
پژوهشکده علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران-ایران

چکیده: در این کار تحقیقاتی با بازسازی شرایط کاری پرتوکاران با استفاده از فانتوم معادل بافت RANDO و با بهره‌گیری از دزیترهای TLD100H (LiF:Mg:P:Cu) و TLDخوان مدل Harshaw 4500، دز جذبی پرتوهای گاما و ایکس پراثری در قرنیه چشم، تیروئید و گنادها برحسب μSv اندازه‌گیری شد. بازسازی‌ها در وضعیت‌های عادی و اضطراری و در نقاط از پیش تعیین شده انجام شدند. نتایج حاصل از این طرح تحقیقاتی نشان می‌دهد که میزان دز جذبی در اندام‌های مختلف پرتوکاران در شرایط طبیعی کار و برای حضور در محل‌های مجاز کم‌تر از استانداردهای ملی و بین‌المللی بوده و میزان پرتوگیری چندین ساعته‌ی تمام بدن و اندام‌های مختلف پرتوکاران در محل‌های کنترل شده و یا ممنوعه علی‌رغم این که ۱۰ برابر شرایط کاری طبیعی است، هم‌چنان کم‌تر از حدود تعیین شده می‌باشد. حوادث ناشی از خطای انسانی در حین ترخیص نمونه‌های پرتوزا از استخر رآکتور ممکن است در صورت چندین نوبت تکرار در سال، میزان پرتوگیری تمام بدن پرتوکار را به بیش‌تر از حد تعیین شده‌ی 20mSv [۱] در سال برساند.

واژه‌های کلیدی: دزیتری ترمولومینسانس، دز جذبی بافت، پرتوگیری شغلی، شبیه‌سازی

Analysis of Absorbed Dose in Vital Organs of Radiation Workers at Tehran Research Reactor (TRR) with the use of RANDO Phantom and TLD Method

E. Shahhoseini*, N. Aghaei, F. Manouchehri, A.H. Mohammadzadeh

Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran-Iran

Abstract: In this work, using simulation in the working conditions for the radiation workers the gamma and high energy X-rays' absorbed dose in the eye cornea, thyroid and testicles were measured by the RANDO phantom, TLD 100H (Li:Mg:P:Cu) dosimeters and Harshaw 4500 reader. The measurements were performed on pre-determined parts in both normal and emergency conditions. The result of this research indicates that the lower absorbed dose in various body parts of radiation workers in an ordinary working condition and in permissible areas is lower than the allowable absorbed dose. Moreover, despite the fact that the irradiation level for the whole body and different body parts are 10 times more in restricted and prohibited areas, the absorbed dose is yet measured to be less than the allowable dose. However, incidences such as human error in discharging radioactive samples from the reactor pool can cause the whole body irradiation of a radiation worker to exceed the allowable dose of 20 mSv per year.

Keywords: TLD, Organ Absorbed Dose, Radiation Worker's Irradiation, Simulation

*email: eshahhoseini@aeoi.org.ir



شکل ۱- فانتوم معادل بافت Rando.

۲-۲ دزیمتری

دزیمتری با استفاده از قرص‌های TLD 100H با ترکیب شیمیایی LiF:Mg:P:Cu انجام شد. با چگالی 2.64 g cm^{-3} و عدد اتمی مؤثر ۸٫۲ (نزدیک به عدد اتمی مؤثر بافت بدن) یکی از رایج‌ترین مواد ترمولومینسانس برای دزیمتری بافت بدن می‌باشد [۳].

۲-۳ روش آماده‌سازی و خواندن قرص‌های TLD

قرص‌ها ابتدا به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 240°C در کوره (مدل Thermolyne 47900) باز پخت شده و قبل از نصب شدن در حفره‌های کاشت فانتوم، دمای آن تا دمای محیط پایین آورده می‌شود. در پایان زمان نصب در محل مورد نظر، قرص‌ها از فانتوم خارج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در کوره در دمای 130°C به منظور حذف قله‌های کم دما پیش گرمادهی می‌شوند. پس از پایین آمدن دمای آن‌ها تا دمای محیط عملیات خواندن TLDها انجام می‌شود. در این طرح پژوهشی عمل خواندن به وسیله TLD خوان مدل Harshaw 4500 و پس از رساندن دمای آن‌ها به دمای 250°C با نرخ گرمایش 5°C/s صورت گرفت. در این مرحله، نمودار درخشش^(۱) توسط نرم‌افزار سیستم رسم، و عدد معرف سطح زیر منحنی توسط TLD خوان برحسب نانوکولن (nC) ارایه گردید.

۱- مقدمه

راکتور تحقیقاتی تهران از سال ۱۳۴۶ شروع به کار کرده است [۲]. این رآکتور یک رآکتور تحقیقاتی از نوع استخری با کندکننده و خنک‌کننده‌ی آب معمولی بوده و با سوخت اورانیم با غنای ۲۰٪ کار می‌کند. از بدو شروع به کار این رآکتور، گروه فیزیک بهداشت پژوهشکده‌ی علوم هسته‌ای، با بهره‌مندی از کارشناسان آموزش دیده، کلیه‌ی فعالیت‌های هسته‌ای این بخش را تحت نظارت داشته است. این گروه با به کارگیری کلیه‌ی روش‌های دیدبانی در دسترس، نظیر اندازه‌گیری ۲۴ ساعته‌ی میزان رادیونوکلیدهای موجود در هوای زیر گنبد رآکتور، اندازه‌گیری دز پرتوهای گاما و ایکس انرژی بالا، نوترون و اندازه‌گیری فعالیت سطوح تردد و کار در محوطه‌ی رآکتور، استفاده از دزیمترهای فردی فیلم بچ و دزیمترهای جیبی هشداردهنده، امر نظارت را انجام داده است. در تمامی روش‌های ذکر شده، میزان دز محیط و پرتوایی هوا و سطوح اندازه‌گیری می‌شود. روش‌های دزیمتری فردی، بدون تفکیک دز جذبی اندام‌های مختلف دز تمام بدن را نشان می‌دهند. در این کار تحقیقی با استفاده از دزیمتر TLD^(۱) و فانتوم معادل بافت، دز دریافتی اندام‌های مختلف چون قرنیه‌ی چشم، تیروئید و گنادها به تفکیک و در شرایط کاری طبیعی و اضطراری اندازه‌گیری شد.

۲- روش کار

۱-۲ فانتوم معادل بافت بدن

مدل یا فانتوم مورد استفاده ساخت شرکت RANDO می‌باشد. این مدل، معادل یک مرد با قد ۱۷۵ سانتی‌متر و وزن ۷۳٫۵ کیلوگرم بوده و از جنس یک ماده‌ی پلاستیکی ترکیبی و شامل مواد معادل اسکلت کامل بدن، مواد معادل ریه‌ها و غیره است (شکل ۱). این فانتوم در مقاطع ۲۵ میلی‌متری دارای ۳۵ برش عرضی بوده و مجموعاً دارای ۳۰۰۰ حفره به قطر ۵ میلی‌متر برای جاسازی بلورهای TLD می‌باشد. در این طرح تعداد هفت TLD در بافت تیروئید، سه TLD بر روی هر چشم برای تعیین دز قرنیه، هشت TLD در محل گنادها، هفت TLD در بافت پروستات و شش TLD بر روی سینه‌ی چپ (محل استاندارد نصب دزیمتر فردی) به منظور اندازه‌گیری دز تمام بدن جاسازی شد.



۲-۴ روش محاسبه‌ی دز

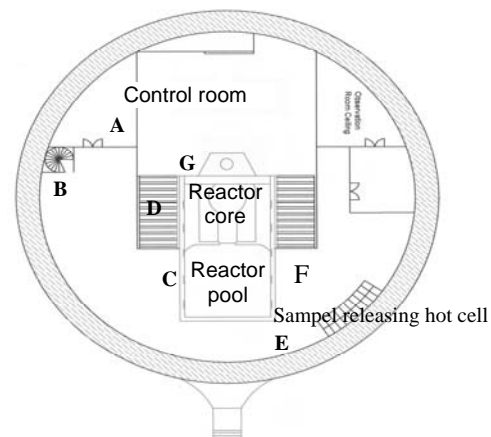
تبدیل عدد خوانده شده (برحسب nC) به دز برحسب mSv با استفاده از رابطه‌ی زیر انجام شد

$$\text{Dose} = \text{TL} \times \text{ECC} \times (\text{RL}_0/\text{RL}) \times \text{CF}^1 \quad (1)$$

که در آن، Dose دز جذبی (برحسب mSv)، $\text{TL}^{(3)}$ عدد خوانده شده (برحسب nC) توسط TLD خون، $\text{ECC}^{(4)}$ ضریب تصحیح حساسیت فردی دزیمترها، $\text{CF}^{(5)}$ ضریب درجه‌بندی (برحسب mSv/nC)، $\text{RL}_0/\text{RL}^{(6)}$ ضریب تصحیح نسبت میانگین شمارش نور مرجع TLD خون در هنگام درجه‌بندی به شمارش آن در هر زمان دیگری است. پس از نصب قرص‌های TLD در اندام‌های مورد نظر، به منظور بازسازی شرایط کاری پرتوکاران در وضعیت‌های عادی و اضطراری رآکتور، فانتوم در نقاط از پیش تعیین شده (A, B, C, D, E, F, G) در درون محوطه‌ی رآکتور قرار گرفت (شکل ۲).

۳- بحث و نتیجه‌گیری

تعدادی از نقاط نشان داده شده در شکل ۲ بر اساس برنامه‌ی کاری مصوب پرتوکاران رآکتور انتخاب شده‌اند. به عنوان مثال نقاط A و B مکان‌های حضور گروه کارگردانی و گروه فیزیک بهداشت در طول نوبت کاری رآکتور و نقطه‌ی E محل ترخیص نمونه‌ی پرتودیده از استخر رآکتور است. بنابراین، حضور پرتوکاران در این مکان‌ها در ساعات کار امری اجتناب‌ناپذیر بوده و اندازه‌گیری‌ها در این محل‌ها در شرایط عادی کار،



شکل ۲- محل‌های قرارگیری فانتوم در محوطه‌ی رآکتور تحقیقاتی تهران.

پرتوگیری شغلی پرتوکاران را به دست می‌دهد که نباید از حدود تعیین شده برای پرتوگیری شغلی تجاوز کند. سایر نقاط مورد بررسی یعنی نقاط C، D، G و F محل‌هایی هستند که حضور پرتوکار در آن‌ها در هنگام کار رآکتور با محدودیت زمانی همراه است و برای بازدیدکنندگان ممنوع می‌باشند. بنابراین، اندازه‌گیری‌ها در این نقاط میزان پرتوگیری در شرایط اضطراری را به دست می‌دهد. یکی از اهداف این طرح پژوهشی برآورد دز تمام بدن و دز فردی اندام‌ها در شرایط غیرطبیعی کار مانند تعمیرات و عملیات داوطلبانه‌ی رفع آلودگی در شرایط فوق‌العاده می‌باشد. در واقع در یک نوبت کاری مشخص، حضور در مکان‌های مختلف ممکن است فرد را در وضعیت عادی و یا اضطراری قرار دهد. در شکل ۳ میزان پرتوگیری اندام‌های مختلف و تمام بدن در یک نوبت کاری در نقطه‌ی A، یعنی در اتاق کنترل رآکتور نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود حداکثر پرتوگیری تمام بدن اپراتورهای رآکتور در یک نوبت کاری در حدود $40 \mu\text{Sv}$ می‌باشد، که کم‌تر از حدود تعیین شده‌ی جهانی است. در شکل ۴ میانگین میزان پرتوگیری پرتوکاران در حین عملیات در یک نوبت کاری ترخیص دو نمونه نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که میزان دز دریافتی اندام‌ها بسته به نوع فعالیت نمونه بسیار متفاوت است. یک چنین تفاوت چشم‌گیر در نوبت‌های کاری مختلف فقط در مورد عملیات ترخیص نمونه و آن هم به دلیل تنوع نمونه‌های پرتودهی شده در قلب رآکتور ملاحظه می‌شود. انجام عملیاتی مانند ترخیص نمونه‌ی A می‌تواند پرتوگیری‌های تمام بدن حدود $1300 \mu\text{Sv}$ را در مدت کم‌تر از یک ساعت به دنبال داشته باشد. با توجه به تقسیم کار بین اعضای گروه و نظر به این که چنین عملیاتی در طول یک سال بیش از ۱۰ بار تکرار نمی‌شود، میزان پرتوگیری این پرتوکاران از حدود تعیین شده‌ی ملی و بین‌المللی فراتر نمی‌رود. نتایج بررسی دزیمتری فیلم بچ‌های این پرتوکاران نیز این امر را تأیید می‌کند. در شکل ۵ میانگین میزان پرتوگیری اندازه‌گیری شده در نقاط C، D، G و F مقایسه شده‌اند. همان‌سان که گفته شد، این نقاط به منظور بررسی شرایط اضطراری انتخاب شده‌اند. اندازه‌گیری‌ها در این نقاط در چند نوبت کاری تکرار شدند. در خلال اندازه‌گیری‌ها در نقطه‌ی C، یک مورد از حوادث محتمل اتفاق افتاد که در شکل ۵ با نماد Ci



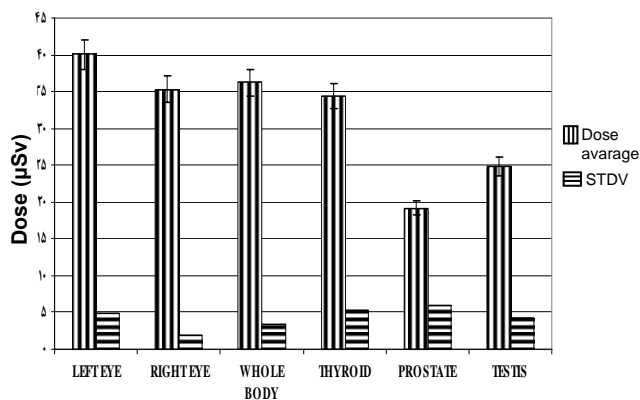
حوادثی نظیر آنچه برای مورد Ci ذکر شد، حداکثر میزان پرتوگیری تمام بدن وی از $300 \mu\text{Sv/h}$ تجاوز نمی‌کند. نکته‌ی قابل ذکر دیگری که در اندازه‌گیری‌ها مشاهده شد، اثر قابل ملاحظه‌ی ارتفاع در پرتوگیری بافت بدن می‌باشد. با توجه به انتشار پرتوهای گاما از سطح استخر رآکتور و وجود دیواره در اطراف استخر مشاهده می‌شود که میزان پرتوگیری اندام‌های فوقانی نظیر چشم‌ها بیش‌تر از اندام‌های میانی بدن نظیر قفسه‌ی سینه می‌باشد. اختلاف دز جذبی در بین چشم‌های راست و چپ احتمالاً به دلیل وضعیت قرار گرفتن فانتوم نسبت به منبع پرتو و اثر تضعیف بافت مجسمه است که بر سر راه پرتو و چشم مخالف قرار دارد، که با توجه به عدم تحرک فانتوم اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. این عیب در مقایسه با توان شبیه‌سازی شرایط پرتوگیری بالا که انجام آن با پرتوکاران خارج از تصور است، قابل چشم‌پوشی می‌باشد. اثر عمق اندام مورد مطالعه نیز در شکل ۵ به وضوح مشاهده می‌شود. در اندام‌هایی نظیر تیروئید و پروستات، میزان پرتوگیری به دلیل اثر تضعیف خود بافت، بسیار کم‌تر است.

پی‌نوشت‌ها:

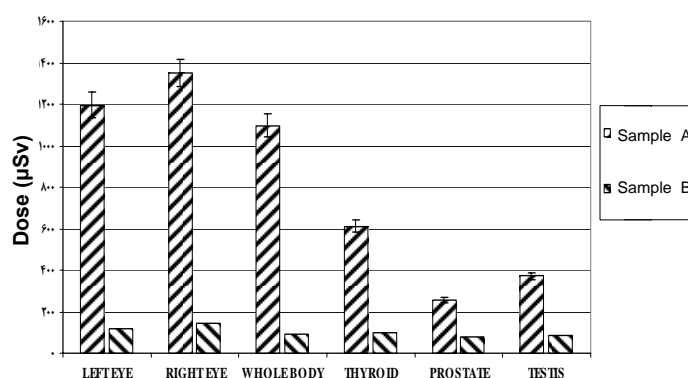
- ۱- TLD: Thermo Luminescence Dosimeter
- ۲- Glow Curve
- ۳- TL: Thermo Luminescence
- ۴- ECC: Elemental Correction Coefficient
- ۵- CF: Calibration Factor
- ۶- RL: Reference Light

References:

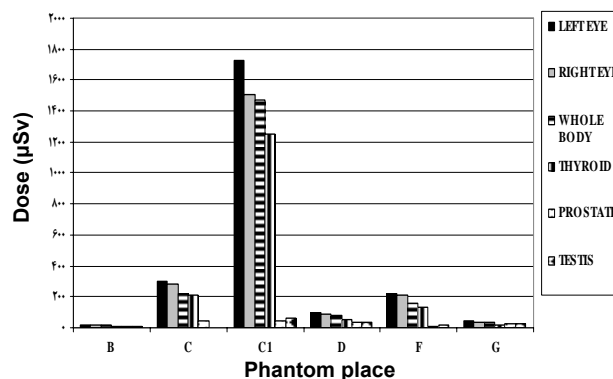
1. "استانداردهای پایه حفاظت در برابر اشعه"، سازمان انرژی اتمی ایران، معاونت نظام ایمنی هسته‌ای، ۵۴، (تیرماه ۱۳۸۰).
2. "گزارشات وقایع اتفاق افتاده در طول فعالیت رآکتور تحقیقاتی تهران TRR"، سازمان انرژی اتمی، ۳، تهران (۱۳۸۱).
3. A.F. McKinlay, "Thermo luminescence Dosimetry," Adam Hilger Ltd (1981).
4. "برنامه اضطراری رآکتور مرکز تحقیقات هسته‌ای"، مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، ۵-۱۱، تهران، (۱۳۸۳).



شکل ۳- میزان پرتوگیری اندام‌های مختلف و تمام بدن در یک نوبت کار ۸ ساعته در نقطه‌ی A (اتاق کنترل).



شکل ۴- میانگین میزان پرتوگیری اندام‌های مختلف پرتوکاران در حین ترخیص دو نمونه: A و B.



شکل ۵- میانگین میزان پرتوگیری اندام‌های مختلف پرتوکاران در شرایط اضطراری.

نشان داده شده است. این حادثه بر اثر یک خطای انسانی، یعنی به‌جا ماندن نگاه‌دارنده‌ی نمونه‌ی فعال در بیرون از آب استخر، اتفاق افتاد. حضور پرتوکار در چنین شرایطی در نقطه‌ی C ممکن است پرتوگیری تمام بدن وی در حد $1500 \mu\text{Sv/h}$ را به دنبال داشته باشد. مشاهده می‌شود که در سایر نقاط کنترل شده و ممنوعه با فرض حضور فرد در یک نوبت کاری و بدون وقوع