دزیمتری پرتوکاران پزشکی هسته‌ای در حین آماده‌سازی رادیودارو Tc-99m با استفاده از روش مونت‌کارلو

فخری، ناهید[۱]؛اطهری، میترا[۱]*؛ حدادی، اصغر[۱]

[۱]دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده فنی-مهندسی، گروه مهندسی هسته ای

چکیده:

استفاده از پرتوهای یونیزان امری اجتناب‌ناپذیر است .تعیین مقدار اشعه‌ای که پرتوکار دریافت می‌کند از کارهای اصلی مراکز حفاظتی بوده، تا با استفاده از روش‌های مناسب حفاظتی، میزان دزهای دریافتی را بکاهند. با وجود پیشرفت‌های بسیاری در اندازه‌گیری عملی، دزیمتری با دقت زیاد امکان‌پذیر نیست. این امر سبب ظهور روش‌های محاسباتی مونت‌کارلو شده است. در این مطالعه با استفاده از کد MCNPX، به بررسی دز دریافتی اعضای بدن پرتوکار هنگام کار با رادیودارو Tc-99m پرداخته شده است. با استفاده از فانتوم MIRD و با شبیه‌سازی روپوش سربی و گلوباکس، تاثیر انواع حفاظ‌ها بررسی شده است. به طوری که گلوباکس به عنوان موثرترین حفاظ انتخاب شده است.

کلمات کلیدی: *دزیمتری پرتوکاران ,MCNPX*

dosimetry of Nuclear medicine's staff during radiopharmacy preparation(Tc099m) by using Monte Carlo simulation

Fakhri, Nahid[1] , Athari, Mitra[1*], Haddadi, Asghar[۱]

[1] Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran

The use of ionizing radiation in research, treatment and diagnosis is inevitable and expanding over the years. Thus in developed countries it is vital to determine the received radiation of radiographers and patients by dosimetery tools in order to apply the appropriate protection's methods to reduce staff's doses. Despite the achieved progress in practical measurements, dosimetery with high precision is not possible. Therefore, it has led to the emergence of Monte Carlo simulation in dosimetery. In this study, vial and syringe containing Tc-99m, Glove box and lead coat is simulated by MCNPX. Also dose distribution and the effect of different shields and thicknesses has been investigated. According to the simulation result, it can be concluded that the glove box is the most effective shield for decreasing the received dose.

Key words: Personnel's dosimetry, MCNPX

مقدمه :

کاهش پرتوگیری کارکنان نیاز به آگاهی از نحوه‌ی پرتوگیری، میزان پرتوگیری و میزان تاثیر روش‌های کاهش پرتوگیری از طریق اندازه‌گیری دارد. بدیهی است که کاهش پرتوگیری کارکنان با در نظر گرفتن مفهوم

آلارا[1] تنها از طریق استناد به نتایج اندازه‌گیری صحیح و معقول خواهد بود [۱]. منابع پرتوگیری پرتوکاران پزشکی هسته ای شامل پرتوگیری از رادیوداروی مورد استفاده و همچنین بیماران پرتوزا می‌باشد. در اسپکت[2] دز اندازه‌گیری شده در آماده‌سازی رادیوداروها بیشتر از دز دریافتی در طول تزریق است زیرا اکتیویته‌ای که در طول آماده‌سازی در دست پرتوکار است و همچنین زمانی که برای آماده‌سازی و تقسیم رادیودارو طول می کشد بیشتر از زمان تزریق رادیودارو به بیمار است [۲].

از آنجایی که بیشترین میزان پرتوگیری دست کارکنان در قسمت هات‌لب[3] می‌باشد، در این پژوهش افرادی که فعالیت‌های مختلفی در هات‌لب، از دوشیدن ژنراتور تا تهیه رادیودارو را انجام می‌دهند، بررسی می‌شوند. با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه‌ی دز دریافتی دست پرتوکار در طول آماده‌سازی رادیودارو به روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، همخوانی خوبی بین کد MCNPX و دزیمتری عملی مشاهده شده است، به طوری که مقادیر محاسبه شده از شبیه‌سازی در محدوده‌ی اندازه‌گیری شده با TLD قرار دارد [۳]. بنابراین با اطمینان از صحت و دقت کد، پروسه‌ی شبیه‌سازی دز دریافتی اعضای مختلف بدن پرتوکار با استفاده از فانتوم ریاضی سه بعدی MIRD، انجام می‌شود.

در صورتی که شبیه‌سازی به طور دقیق انجام گیرد، قادر به پیش‌بینی و تعیین توزیع دز در محیط هدف خواهد بود. کاربرد روزافزون این روش‌ها و افزایش دقت و صحت آن‌ها در شرایط مختلف پرتودهی، سبب شده است که از روش مونت‌کارلو به عنوان یک روش استاندارد در دزیمتری یاد شود[٤]. بنابراین با این شبیه‌سازی دز هر نقطه‌ی مورد نظر از بدن پرتوکار ناشی از سرنگ و ویال با حفاظ‌ها و ضخامت‌های مختلف بررسی می شود.

روش کار :

در این مطالعه میزان پرتوگیری بدن پرتوکاران پزشکی هسته‌ای در حین آماده‌سازی رادیوداروهای Tc-99m که با احتمال ٪۹۰ پرتوهای گاما با انرژی ۱٤۰keV ساطع می‌کنند (با احتمال ٪۱۰ الکترون تبدیل داخلی تولید می‌شود که به دلیل برد کوتاه از محاسبه ی دز آن صرف‌نظر می‌شود)، با استفاده از کد محاسباتی MCNPX نسخه ۲,٦ ، محاسبه می‌شود.

در بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه دزیمتری با استفاده از مونت‌کارلو پس از ساخت فانتوم مورد نظر با ماده‌ی وکس[4]، آن را در سی‌تی‌اسکن[5] گذاشته و با استفاده از برنامه‌ای واسط آن را به ورودی فایل MCNP تبدیل می‌کنند [٤].

[1] -ALARA: As Low As Reasonably Achievable
[2]- SPECT
[3] -Hot Lab
[4] – Wax
[5] - CT scan

به دلیل اینکه حجم‌های تعریف شده ی فانتوم ریاضی نسبت به فانتوم وکسل[6] کمتر است، محاسبات کسر جذبی ویژه در آن‌ها بسیار سریع‌تر انجام می‌شود. همچنین در فانتوم وکسل سطوح بین اعضا مشخص نیست بنابراین در مواردی که دز رسیده به سطح یک عضو خواسته شود، مناسب نمی‌باشد [۵].

در این شبیه سازی از فانتوم ریاضی شبیه‌سازی بدن زن بالغ MIRD استفاده شده است و محیط هات‌لب با کمک کد MCNPX شبیه‌سازی انجام شده است. روپوش سربی به صورت مکعبی ۶۸×۳۳×۰/۰۳cm درفاصله‌ی ٤/۲cm از بدن قرار گرفته و از گردن تا کمر فرد را پوشانده است.(شکل ۱-ب) گلوباکس به صورت مکعبی سربی است که دو طرف آن دریچه‌ای برای ورود دست دارد، همچنین برای دیدن درون گلوباکس قطعه‌ای ۲۸×۲۸×۱/۲cm از جنس شیشه‌ی سربی درون گلوباکس قرار داده شده است.(شکل ۱-الف)

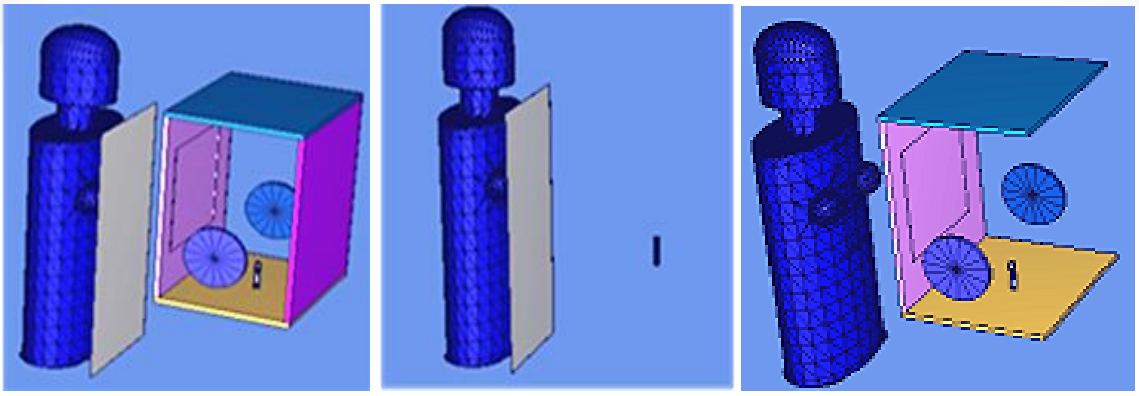
با بررسی چند مرکز پزشکی هسته‌ای مشاهده می‌شود که به طور میانگین روزانه ٤ بار باید به آماده‌سازی رادیودارو پرداخت و تقریبا در هر بار آماده‌سازی رادیودارو، پرتوکار مقداری تکنسیوم با اکتیویته‌ی حدود ۷٤۰۰ MBq را برمی‌دارد. با مشاهده‌ی دقیق فعالیت‌های پرتوکارانی با سابقه‌ی کاری بین ۱تا۲ سال، کل مدت زمان مجاورت چشمه‌ی پرتوزا و دست در طول یک روز به طور تقریبی به صورت زیر می‌باشد:

- بدن ویال بدون حفاظ(۳۰s)
- بدن ویال حفاظدار- گلوباکس(٦۰s)
- بدن سرنگ بی‌حفاظ- گلوباکس(۱٤۰s)
- بدن سرنگ بی‌حفاظ(۱۳۰s)
- بدن ویال حفاظدار(۱۱۰s)

بااستفاده از تالی F6، تاریخچه‌ی 10^8 ذره و سلول‌های تعریف شده در نقاط مختلف ، متوسط انرژی آزاد شده در سلول‌های مورد نظر به دست می‌آید و در اکتیویته رادیودارو که متناسب با نوع اسکن، وزن، سن و... بیمار است(در اینجا۷٤۰۰MBq)، ضرب می‌شود.

رحم، تخم‌دان، سینه، کلیه و تیروئید، به دلیل حساسیت و موقعیت مکانیشان در بدن، اعضای منتخب برای بررسی دز دریافتی هستند.

[6] - Voxel



الف- ب- ج-

شکل ۱- تصاویری سه بعدی از هندسه‌ی شبیه‌سازی شده در کنار فانتوم MIRD که با استفاده از نرم‌افزار MCNPX Visual Editor version X22s رسم شده‌اند. الف- گلوباکس و ویال. ب- روپوش سربی و ویال ج- وجود همزمان گلوباکس و روپوش سربی.

$$D = F6\ (MeV/g) \times 160e\text{-}12 = j/kg\ (Gy) \quad (۱)$$

$$D\ (Gy) \times 7400E6\ (\#/s) = Gy/s \quad (۲)$$

با ضرب مقدار حاصل از رابطه۲ در زمان های ذکر شده در بالا دز جذبی اولیه در یک روز پرتوکار به دست می‌آید. این مقادیر را در ۰,۹ ضرب کرده (در صد پرتوهای تولیدی گاما ۱٤۰ MeV) و جایگزین D. در رابطه۳ می‌شود:

$$D = D./\lambda\ (1-e^{-\lambda t})\ (Gy) \quad (۳)$$

$$\lambda = \ln 2/T_{1/2}\ (1/s) \quad (٤)$$

t مدت زمان مجاورت چشمه و دست و $T_{1/2}$ نیمه عمر Tc-99m است. (٦ساعت)

برای به دست آوردن دز معادل:

$$D(Gy) \times W_R = H\ (Sv) \quad (٥)$$

برای پرتوهای گاما، W_R برابر یک است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدول ۱ گردآوری شده‌است.

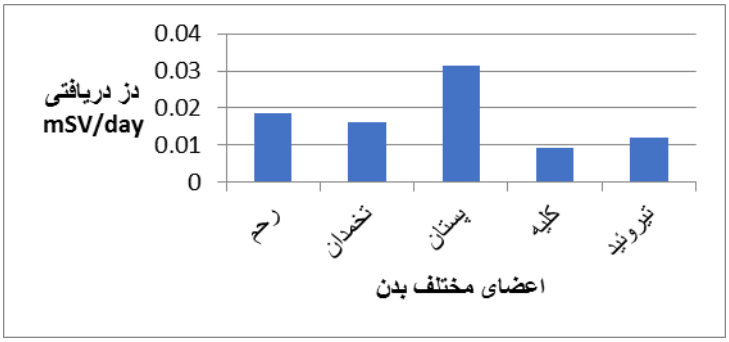
نتایج :

دز دریافتی اعضای مختلف بدن پرتوکار در طول آماده‌سازی رادیودارو در جدول ۱ جمع‌آوری شده است.

جدول۱- دز دریافتی اعضای مختلف بدن برحسب mSv/day در طول آماده‌سازی رادیودارو ^{99m}Tc با استفاده از شبیه‌سازی .

	دز دریافتی	دز دریافتی عضو	دز دریافتی	دز دریافتی	دز دریافتی	دز دریافتی

	عضو در حالت گلوباکس- سرنگ بی حفاظ	در حالت گلوباکس-ویال حفاظ دار	عضو در حالت سرنگ بی حفاظ	عضو در حالت ویال حفاظ دار	عضو در حالت ویال بی حفاظ	عضو در طول کل فرایند آماده سازی رادیودارو
رحم	۲,۱۶e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۲	۰	۰,۰۱۵ -/+۰,۰۰۰۰۶	۳,۸۲e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۳	۰,۰۰۳۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۸	۰,۰۱۸۶ -/+۰,۰۰۰۰۶
تخمدان	۲,۴۴e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۳	۰	۰,۰۱۳ -/+۰,۰۰۰۰۸	۳,۳۵e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۴	۰,۰۰۳۱ -/+۰,۰۰۰۰۱	۰,۰۱۶۱ -/+۰,۰۰۰۰۸
پستان	۶,۲۵e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۲	۰	۰,۰۲۶ -/+۰,۰۰۰۰۴	۶,۶۴e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۲	۰,۰۰۵۵ -/+۰,۰۰۰۰۰۵	۰,۰۳۱۵ -/+۰,۰۰۰۰۴
کلیه	۱,۵۷e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۱	۰	۰,۰۰۷۵ -/+۰,۰۰۰۰۲	۲,۲۴e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۱	۰,۰۰۱۷ -/+۰,۰۰۰۰۰۳	۰,۰۰۹۲ -/+۰,۰۰۰۰۲
تیروئید	۳,۹e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۴	۰	۰,۰۱ -/+۰,۰۰۰۰۶	۲,۱۵e-۶ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۳	۰,۰۰۲۱ -/+۰,۰۰۰۰۰۰۸	۰,۰۱۲۱ -/+۰,۰۰۰۰۶



شکل۲- دز دریافتی اعضای مختلف بدن برحسب mSv/day در طول آماده‌سازی رادیودارو ^{99m}Tc با استفاده از شبیه‌سازی.

به طور کل عوامل بسیاری در تعیین دز دریافتی پرتوکار برای فرایندی یکسان موثر است و دز دریافتی متناسب با تجربه و عادات کاری پرتوکار، نوع چشمه و اکتیویته‌ی آن، تعداد بیماران، موقعیت سرنگ یا ویال در دست و... متغیر است.

پس از اندازه‌گیری دز دریافتی کارکنان، به بررسی تاثیر انواع حفاظ در کاهش دز دریافتی پرداخته شده است. و نتایج حاصل از استفاده‌ی روپوش ۰/۵mm و ۰/۳mm با شرایطی که روپوش استفاده نمی‌شود، و همچنین نتایج حاصل از وجود و یا عدم وجود گلوباکس، بررسی شده است.(جدول۲و۳)

جدول۲- تاثیر روپوش ۰/۳ mm و ۰/۵mm سربی در پرتوگیری بدن در حالت سرنگ بدون حفاظ حاوی ^{99m}Tc.

	دز دریافتی در حضور روپوش ۰/۵ mm سربی. (nSv/MBq.s)	دز دریافتی در حضور روپوش ۰/۳mm سربی. (nSv/MBq.s)	دز دریافتی بدون وجود روپوش. (nSv/MBq.s)
پستان	۸E-۳	۱,٤E-۲	۲,۷E-۲
تخمدان	٤E-۳	٦E-۳	۱,۳E-۲
تیروئید	۳E-۳	٥E-۳	۱,۱E-۲
کلیه	۲E-۳	٤E-۳	۸E-۳
رحم	٥E-۳	۷E-۳	۱,٥E-۲

جدول ۳- بررسی تاثیر وجود و عدم وجود گلوباکس در حالت سرنگ بدون حفاظ حاوی ^{99m}Tc برحسب nSv/MBq.s.

عضو بدن	با گلوباکس	بدون گلوباکس
پستان	٦,۲E-٦	۲,۷E-۲
تخمدان	۱,٥E-٦	۱,۳E-۲
تیروئید	٤E-٦	۱,۱E-۲
کلیه	۱E-٦	۸E-۳
رحم	۱,۷E-٦	۱,٥E-۲

بحث ونتیجه گیری :

در میان اعضای مورد بررسی در کد (پستان، تیروئید، کلیه، تخمدان، رحم)، دز دریافتی پستان بیشترین مقدار را دارد به همین دلیل بهترین مکان برای نصب دزیمتر روزانه می‌باشد. همچنین در میان اعضای بررسی شده، تاثیر فاصله بر کاهش دز دریافتی مشاهده می‌شود. با بررسی دز دریافتی اندام‌های مختلف، میزان دز دریافتی در محدوده‌ای مجاز قرار دارد. اما طبق اصل آلارا باید مقدار دز دریافتی را به کمترین حد ممکن رساند. به همین دلیل استفاده از ابزارهای حفاظتی ضروری است. عدم استفاده از وسایل حفاظتی یا طراحی ناصحیح موضع پرتودارو منجر به پرتوگیری بسیار زیاد پرتوکار خواهد شد. انتخاب روش کاهش پرتوگیری غیرکارآمد علاوه بر بار مالی به علت محدودیت‌هایی که ایجاد می‌کند حتی ممکن است با افزایش زمان پرتوگیری، دز پرسنل را افزایش دهد.

یک روپوش سربی با ضخامت ۰/۳mm سرب، کاهش دز در حدود ۵۰٪ برای ^{99m}Tc ایجاد می‌کند و یک روپوش سربی با ضخامت۰/۵mm سرب کاهش دز در حدود ۷۰٪ برای ^{99m}Tc خواهد داشت.

اگرچه روپوش ۰/۳mm سربی تقریبا باعث کاهش پنجاه درصدی میزان دز دریافتی ناشی از تکنسیوم می‌شود، به علت جذب پرتوهای فقط با انرژی پایین و محدود کردن فعالیت پرتوکار مورد توجه پرتوکاران نمی‌باشد. در حالی که استفاده از گلوباکس به دلیل ضخامت بیشتر سرب، علاوه بر محدود نکردن فعالیت پرتوکار، در کاهش پرتوگیری پرتوکاران بسیار موثر می‌باشند و طبق مقایسه‌ی انجام شده، گلوباکس باعث کاهش بسیار زیادی در دز دریافتی ناشی از تکنسیوم می‌شود.

مراجع :

[۱] حجازی، پیمان؛ "اندازه گیری پرتوگیری، پرتوکاران پزشکی هسته ای از دو موضع اصلی پرتوگیری پرتودارو و بیماران پرتوزا و میزان تاثیر استفاده از حفاظ سرنگ در کاهش پرتوگیری پرتوکاران"؛ *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان*، سال **۲**، جلد۲، شماره۲.

[2] A.L.S.L. Kubo, C.L.P. Mauricio ,"TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine", *radiation measurements* **71** ,2014, p 442-446.

[۳] دزیمتری دست پرتوکاران پزشکی هسته‌ای در حین آماده‌سازی رادیودارو با استفاده از روش مونت کارلو، کنفرانس فیزیک ایران، دانشگاه یزد، شهریور۱۳۹۶.

[4] P. Ferrari, M. Sans-Merce, A. Carnicer, , "Main results of the Monte Carlo studies carried out for nuclear medicine practices within the ORAMED project", *Radiation Measurements* , **46** (2011) 1287-1290.

[5] MG. stabin, H. yoriaz, A.B. brill, " Three dimensional dosimetry analyses in radionuclide therapy using IPL & MCNP based software tools".