

محاسبه دُز جذبی یُد ۱۳۱ پرتوزا در اطراف بیمار تا فاصله سه متر با استفاده از قرص‌های TLD-100

سعیده خسروی^۱، محمدعلی شفاغی^{۱*}، وحید زند^۲

۱. بخش هسته‌ای، دانشکده فیزیک، پردیس علوم، دانشگاه یزد، بلوار دانشگاه، یزد، ایران

۲. بخش جراحی سرو گردن، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران

چکیده: اگرچه تاکنون درمان با یُد ۱۳۱، روشی مؤثر در رفع اختلال‌های مربوط به تیروئید بوده است اما یکی از دغدغه‌های بیماران بعد از تجویز یُد، تاثیر و ایجاد عوارض ممکن بر بدن اطرافیان بیمار است، در این پژوهش در مرکز یُد درمانی درمانگاه افشار یزد، با استفاده از دُزیمترهای گرمالیانی TLD-100 مقدار دُز جذبی در اطراف بیمار و در فاصله‌های ۱ تا ۳ متری از آنها در طول مدت ۲۴ ساعت بستری در این مرکز بعد از دریافت یُد پرتوزا به طور میانگین ۳۰/۹۳ سانتی‌گری محاسبه شد. که در مقایسه با استانداردهای تعیین شده آژانس اتمی احتمال خطر برای اطرافیان بیمار زیاد است. از طرفی نتایج این تحقیق با نتایج گروه تحقیقاتی مارینادراوسکا [۱] و دکتر شهبازی و همکارانش [۲] مقایسه شد. با توجه به مقدار دُز جذب شده در اطراف بیمار در فاصله نیم متر تا سه متر می‌توان نتیجه گرفت با افزایش فاصله تا چشمه، دُز جذبی کاهش پیدا می‌کند، لذا در این پژوهش سعی شده رابطه ریاضی کاهش دُز جذبی با افزایش فاصله تا چشمه دُز جذبی با دقت بالا تعیین شود. در این تحقیق با توجه به تئوری گسیل چشمه‌های نقطه‌ای ما انتظار کاهش دُز بر حسب فاصله به نسبت $1/d^2$ را داشتیم ولی با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش میزان کاهش دُز بر حسب فاصله d^2 با ضریب همبستگی ۰/۹ برای فاصله نیم متر تا یک متر و برای فاصله ۱ تا ۳ متر تعیین شد، که می‌توان برای هندسه چشمه و آشکارساز معادلات ریاضی جدیدی پیشنهاد داد.

کلید واژه‌ها: یُد درمانی، دُزیمتری، یُد ۱۳۱ پرتوزا، گرمالیانی

Calculation of 131 radioactive iodine absorption dose around the patient up to a distance of three meters using TLD-100 chips

Khosravi, Saeide¹; Shafaei, Mohammad Ali^{1*}; Zand, Vahid²

1. Nuclear Physics Division, Department of physics, Science Schools, Yazd University, Yazd, Iran

2. Department of Otolaryngology Head and Neck surgery, Shahid Sadoughi University of Medical science, Yazd, Iran

Abstract: Although treatment with iodine 131 has been an effective way to treat thyroid disorders so far, one of the concerns of patients after iodine administration is the effect and possible side effects on the body of those around the patient, this study was done in the iodine therapy Center of Afshar Clinic in Yazd, using TLD-100 thermal dosimeters, the dose was calculated around the patient and at intervals of 1 to 3 meters from them during 24 hours of hospitalization after receiving iodine. The average radiation is 30.93 cGy that compared to the standards set by the Atomic Agency, there is a high risk for those around the patient. On the other hand, the results of this study were compared with the results of the M. Draveska research group [1] and Dr. Shahbazi et al [2]. According to the amount of absorbed dose around the patient at a distance of half a meter to three meters, it can be concluded that with increasing distance to the source, the absorbed dose decreases. Determined with high accuracy. In this study, according to the emission theory of point source, we expected a dose reduction in terms of distance of $1/d^2$, but the results of this study, the rate of dose reduction in terms of distance $-d^2$ with a correlation coefficient of 0.9 was determined for a distance of half a meter to one meter and for a distance of 1 to 3 meters, which can be based on the theory of source geometry and detector will be suggested new mathematical equations.

Keywords: Thyroid radio iodine therapy, Dosimetry, Thyroid cancer, Iodine 131, Thermoluminescence dosimetry.

۱. مقدمه:

تاکنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با دُزیمتری انواع پرتوها در زمینه پزشکی هسته‌ای انجام شده است که نتایج آن تأثیرات زیادی در بهبود کیفیت درمان گذاشته است. در این پژوهش نیز دُزیمتری در بیماران مبتلا به سرطان تیروئید پاپیلری صورت گرفته که بعد از جراحی بافت تیروئید یا تیروئیدکتومی تحت ید درمانی با ید ۱۳۱ پرتوزا قرار گرفته و سلول‌های سرطانی ایجاد شده یا باقی‌مانده در ناحیه تیروئید آنها بعد از جراحی، پرتودهی می‌شود. گروه تحقیقاتی مارینا دروسکا [۱]، دُز مؤثر برای اعضای خانواده بیماران مبتلا به سرطان تیروئید تحت درمان با ید ۱۳۱ پرتوزا را با استفاده از دُزیمترهای گرمالیانی (TLD 100) و همچنین با استفاده از یک دستگاه ارزیابی دُز پرتو به نام رادار، اندازه‌گیری کرده و مقدار اندازه‌گیری شده میانگین دُز مؤثر توسط دُزیمترهای گرمالیانی، برای نزدیکان بیمار تحت درمان با ید ۱۳۱ که با وی ارتباط داشتند 0.21 mSv بود و مقدار دُز مؤثر محاسبه شده توسط رادار برای فاصله‌های 0.25 m ، 0.5 m و 1.0 m به ترتیب 17 mSv ، 4.20 mSv ، 1 mSv و 0.26 mSv برای میزان اکتیویته 3700 MBq ید پرتوزا معادل 100 میلی کوری ید 131 محاسبه شد. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که این نوع بیماران خود منبع تابش اشعه به اطرافیان هستند و با محدود کردن بیمار با اطرافیان در طول مدت درمان، می‌توان میزان دُز مؤثر برای بستگان بیمار را، به حداقل مجاز پیشنهاد شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه رساند. نتایج به دست آمده در این پژوهش نیز با نتایج پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده تطابق دارد و میزان دُز محاسبه شده در اطراف بیمار می‌تواند برای اطرافیان به خصوص کودکان و زنان باردار خطرناک باشد. دکتر شهبازی و همکارانش نیز [۲]، دُز جذبی اندام‌های تیروئید، قفسه سینه و مهره گردن را، در بیماران مبتلا به سرطان تیروئید تحت درمان با ید 131 ، با استفاده از دُزیمتر گرمالیانی TLD-100، محاسبه و بررسی کردند. دُزیمتری روی ناحیه پوست نواحی ذکر شده روی بدن 27 بیمار انجام گرفت. برای هر اندام از TLD 5، استفاده و دُزیمتری برای 4 ، 8 ، 12 ، 20 و 24 ساعت بعد از ید درمانی انجام شد. چندین TLD، نیز در سطح تیروئید بر روی فانتوم قرار داده و دُزیمتری برای 24 ساعت انجام شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که، میزان دُز جذبی تابش اشعه تجمع یافته در تیروئید برای تجویز 100 ، 150 و 175 میلی کوری ید 131 به ترتیب $3.15/6$ ، $3.84/1$ و $3.61/9$ سانتی‌گری می‌باشد. برای قفسه سینه این مقادیر به $2.01/5$ ، $2.75/2$ ، $2.42/6$ سانتی‌گری تغییر می‌کند و نتایج دُزیمتری برای مهره گردن $3.11/5$ ، $1.84/1$ ، $3.25/9$ سانتی‌گری محاسبه شد. و برای فانتوم، میانگین دُز $3.3/3$ سانتی‌گری بود. با توجه به هدف این پژوهش که محاسبه دُز اطراف بیمار و بررسی میزان خطر تابش بعد از تجویز ید، روی اطرافیان است و با توجه به این نتایج، در این پژوهش به جای دُزیمتر رادار از قرص‌های TLD-100 استفاده شده و دُز اندازه‌گیری شده با دُز محاسبه شده توسط رادار مقایسه شد و چگونگی روند نمودار آن بررسی شد [۱].

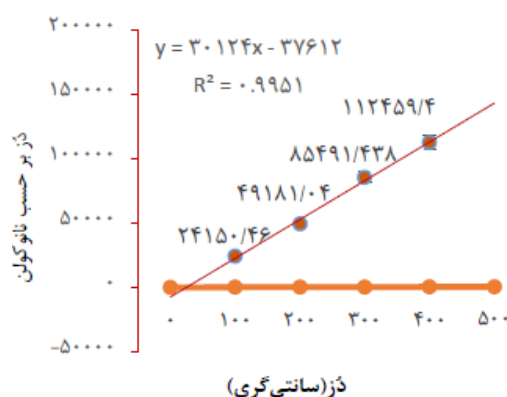
۲. روش کار:

در این پژوهش، روی چندین بیمار به صورت تصادفی، در محدوده سنی بین 20 تا 60 سال مطالعه انجام شد، که با توجه به میزان وخامت مشابه سرطان تیروئید، مقدار 150 میلی کوری ید 131 دریافت کردند و از دُزیمترهای گرمالیانی TLD-100 به دلیل آستانه آشکارسازی بسیار پایین و عدد اتمی مؤثر معادل بافت بدن انسان استفاده شده است. قرص‌های TLD-100، قبل از شروع مراحل دُزیمتری، در مرکز پرتوآیند یزد، با استفاده از چشمه کبالت 60 در محدوده مورد نظر کالیبره و قرص‌های TLD-100 با پاسخ دُز مشابه، در دسته‌های سه‌تایی دسته‌بندی شدند. بدین منظور، قرص‌ها را تحت تابش یکسان قرار داده و در دستگاه خوانش خوانده و شمارش متوسط تعیین و از تقسیم آن‌ها به شمارش هر قرص (تراشه)، ضریب تصحیح (ECC) هر دسته محاسبه شد و آن دسته از قرص‌هایی که ضریب تصحیح نزدیک به 1 داشتند، دسته‌بندی و انتخاب شد. در هر مرحله به مدت یک ساعت، در دمای 300 درجه سانتی‌گراد تحت عنوان پروسه بازپخت، آماده سازی جهت پرتو دهی بعدی انجام شد و سپس در مرکز یددرمانی درمانگاه افشار یزد، قرص‌ها را در محفظه‌هایی در اتاق بیماران قرار داده و دُزیمتری انجام شد. به این صورت که قبل از شروع فرایند درمان با ید 131 پرتوزا توسط پزشک، دُزیمترها را در نقاط مختلف در فاصله‌های 1 تا 3 متری از بیماران قرار داده و طی 24 ساعت بعد از تجویز ید، دُز جذبی اطراف بیمار خوانش شد، سپس در آزمایشگاه تحقیقات هسته‌ای دانشگاه یزد به وسیله‌ی دستگاه قرائت‌گر TLD مدل 7103 قرائت شد. از آن جایی که داده‌های حاصل از دستگاه خوانش، برای دُزیمتر گرمالیان TLD-100، براساس نانوکولن به دست می‌آید، داده‌ها باید با ضریب کالیبراسیون (Cf) به دُز بر

حسب سانتی‌گری تبدیل شوند. به این صورت که هر دسته از قرص‌ها در دُزهای متفاوت تحت تابش یکسان قرار گرفته و نمودار دُز به کولن آن را رسم کرده و از رسم شیب نمودار آن و محاسبه شیب، ضریب کالیبراسیون به دست آمده سپس از رابطه ۱، دُز آنها به دست می‌آید:

$$Dose = TL \times Ecc \times Cf \times RLo / RLi \quad (1)$$

مقدار خوانش شده توسط دستگاه خوانش	TL
ضریب تصحیح محاسبه شده هر قرص	Ecc
ضریب کالیبراسیون یا شیب نمودار کولن به دُز	Cf
متوسط نور مرجع دستگاه برای کل خوانش	RLo
نور مرجع دستگاه در اولین خوانش	RLi

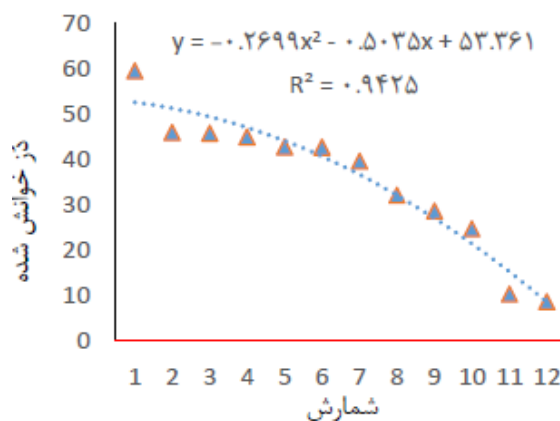
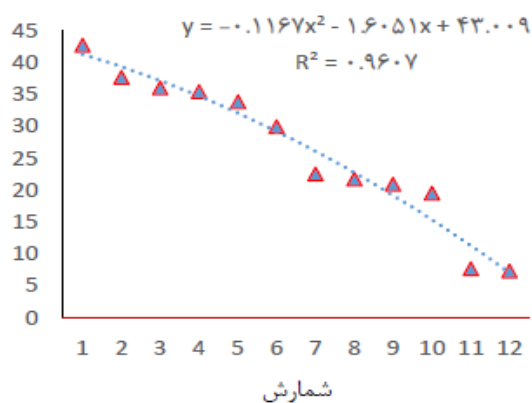


شکل ۱: نمودار دُز به کولن قرص‌های TLD

RLo / RLi در اینجا ۰/۸ درصد محاسبه شد. به منظور محاسبه ضریب کالیبراسیون (Cf) قرص‌ها از بازه ۱۰۰ تا ۴۰۰ سانتی‌گری توسط شتابدهنده Compact در مرکز پرتودرمانی شهید رضان‌زاده یزد پرتودهی شده بودند [۳] و نمودار دُز به کولن رسم و شیب نمودار محاسبه شد که مقدار آن ۳۰۱/۲ سانتی‌گری بر نانوکولن به دست آمد. نمودار (۱) میزان خطای تکرارپذیری $C.V$ به کمک مقدار انحراف استاندارد و میزان میانگین شمارش‌ها محاسبه گردید و میزان خطای تکرارپذیری ۰/۴۹ به دست آمد. دُز محاسبه شده در اطراف بیمار و در فاصله‌های ۱ تا ۳ متری از آنها طبق جدول ۲ خوانش و اندازه‌گیری و نمودارهای آن طبق شکل ۲ و ۳ رسم شدند. (نکته به دلیل عامل انسانی (مریض تحت درمان) اندازه‌گیری‌های دُز در بازه مکانی تعیین می‌شوند). در این جا میانگین دُز اطراف بیمار ۳۰/۹۳ سانتی‌گری محاسبه شد. سیر نزولی نمودار، نشان‌دهنده کاهش دُز با افزایش فاصله با ضریب (d^2) ۰/۲۶۹۹- برای فاصله نیم متر تا یک متر و (d^2) ۰/۱۱۶۷- برای فاصله ۱ تا ۳ متر، نشان‌دهنده کاهش دُز با افزایش فاصله است لذا رعایت حداکثر فاصله بیماران با اطرافیان در مدت یُد درمانی و تا اتمام نیمه‌عمر فیزیکی و بیولوژیکی یُد در بدن بیمار ضروری است. به دلیل اینکه ابعاد دُزیمتر بسیار کوچک است (۹ میلی‌متر مربع) لذا تمام روابط مربوط به شکل هندسی روزنه آشکارسازها مثل استوانه‌ای یا مستطیلی که می‌توان برای دُزیمتر TLD-100 استفاده کرد بسیار کوچک است و محاسبات به صفر میل می‌کند و بهترین حالت در نظر گرفتن روزنه و چشمه نقطه‌ایست. فاصله چشمه یُد تا دُزیمتر (حداقل نیم متر) خیلی بیشتر از شعاع دُزیمتر است لذا روابط ساده شده و به شکل معادله ۲ درمی‌آید. اگر یُد ۱۳۱ جذب شده در تیروئید بیمار را یک چشمه نقطه‌ای همسانگرد در نظر بگیریم، که در فاصله معینی از دُزیمتر قرار گرفته است، چون ذرات از چشمه با احتمال برابر در تمام جهت‌ها گسیل می‌شوند فقط بخشی از آنها شانس ورود به دُزیمتر را خواهند داشت.

جدول ۲: دُز اندازه گیری شده و محاسبه شده در اطراف بیمار در مدت ۲۴ ساعت

دُز محاسبه شده برحسب (cGy) با استفاده از فرمول (۱)	دُز خوانده شده در اطراف بیمار از ۱ متر تا ۳ متر (mC)	دُز محاسبه شده (cGy) با استفاده از فرمول (۱)	دُز خوانده شده در اطراف بیمار از ۰.۵ متر تا ۱ متر (mC)
۷/۲۶	۲۴/۴۹	۸/۵۳	۳۸/۳۱
۳۵/۴۷	۲۷/۷۱	۱۰/۲۹۶	۳۸/۹۴
۳۳/۸۲	۲۶/۳۰	۴۵/۹۷	۳۵/۳۴
۳۷/۶۹	۲۷/۵۷	۴۵/۸۳	۳۱/۳۷
۲۰/۸۷	۲۲/۴۰	۴۳/۷۱	۳۰/۶۲
۲۱/۷۱	۲۶/۶۹	۴۲/۷۷	۲۹/۲۴
۳۵/۹۹	۲۴/۷۴	۳۹/۵۸	۲۸/۷۸
۴۲/۷۱	۲۶/۷۹	۵۹/۵۶	۳۰/۹۲
۲۲/۵۲	۲۳/۴۹	۲۴/۶۹	۲۸/۴۳
۷/۶۱	۲۴/۶۲	۳۲/۱۲	۲۷/۰۳
۱۹/۴۹	۲۶/۵۱	۲۸/۵۹	۲۸/۹۳
۲۹/۹۲	۲۸/۹۱	۴۴/۹۹	۳۴/۴۷



شکل ۳: نمودار تغییرات دُز در فاصله یک تا سه متری از بیمار با خط برازش x^2 -

شکل ۲: نمودار تغییرات دُز در فاصله نیم متر تا یک متری از بیمار با خط برازش x^2 -

کل ذرات گسیل شده از چشمه که در هر ثانیه و وارد آشکارساز می‌شوند، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Omega = (R^2) / 4\pi d^2 \quad R \ll d \quad (2)$$

Ω	زاویه فضایی
R	شعاع روزنه آشکارساز
d	فاصله چشمه تا دژیمتر

که این حالت در صورتی که فاصله چشمه تا آشکارساز خیلی بزرگتر از تمام ابعاد خطی روزنه آشکارساز باشد، حتی برای آشکارسازهای استوانه‌ای هم معتبر است [۴]. که در اینجا با توجه به نسبت فاصله به شعاع دژیمتر که خیلی بزرگتر است، چشمه را می‌توان نقطه‌ای در نظر گرفت و از رابطه فوق زاویه فضایی را محاسبه و میزان پرتو دریافت شده به دژیمتر را محاسبه کرد که برای فاصله حداقلی ۰/۵ متری و شعاع ۳ میلی‌متر برای دژیمتر با زاویه فضایی ۰/۵۰ پرتوها وارد دژیمتر می‌شوند که این خود شامل بخش کمی از پرتوهای تابش شده از ید می‌شود.

شدت تابش پرتو گاما با حداکثر انرژی ۰/۳۶۴ MeV و با در نظر گرفتن مقدار چگالی هوا معادل ۱/۲۲۵ Kg/m³ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = I_0 \times e^{-\mu X} \quad \mu = 1/7 \times E_{max}^{-1/14} \quad (3)$$

I	شدت تابش کل
I_0	شدت تابش اولیه
μ	ضریب جذب پرتو گاما
X	فاصله چشمه تا دژیمتر یا آشکارساز

که بعد از محاسبات و جایگذاری مقادیر انرژی و چگالی هوا و با در نظر گرفتن دیمانسیون معادله ۳ به معادله زیر می‌رسیم:

$$I = 0.82 \times I_0 \quad (4)$$

که باتوجه به دژ محاسبه شده و جایگذاری این مقدار به عنوان I در معادله (۳) یا (۴) مقدار شدت اولیه ۳۷/۷۱۹ سانتی‌گری محاسبه می‌شود، که نسبت به دژ سطحی محاسبه شده در تیروئید، که مقدار میانگین آن ۳۴۸.۱ سانتی‌گری است، می‌توان نتیجه گرفت که دژ محاسبه شده در اطراف بیمار تنها بخشی از پرتوهایی است که در تمام جهات تابش می‌شوند و این از طرفی کوچک بودن زاویه فضایی دژیمتر را نیز نشان می‌دهد و از سوی دیگر می‌دانیم که وقتی پرتویی وارد محیطی می‌شود، واکنش آن در محیط بسته به نوع ذره به گونه‌ای است که باید یک سری فاکتورها را در محاسبات در نظر گرفت مثل هندسه چشمه، فاصله چشمه تا آشکارساز، ماده بین چشمه و آشکارساز و آثار چشمه مانند ضریب خودجذبی چشمه، به دلیل ضخامت چشمه و ضریب پس پراکندگی و عوامل دیگری که قطعاً در آشکارسازی و محاسبه دژیمتری نقش اساسی دارند. در این پژوهش از شمارشگر گایگرمولر مدل NT-112 و تامین ولتاژ CTHV نیز استفاده کرده و شمارش انجام شد، اما باتوجه به میزان تابش زمینه شمارش بدون حضور بیمار و در حضور بیمار بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ شمارش بر دقیقه متغیر بود، که موجب ایجاد خطای زیادی در اندازه‌گیری می‌شود. لذا با توجه به این موضوع استفاده از شمارشگر گایگرمولر در این پژوهش پیشنهاد نمی‌شود. با توجه به استانداردهای اساسی ایمنی، آژانس انرژی اتمی و کمیسیون بین‌المللی، برای خانواده به خصوص فرزندان و همکاران بیمار فقط ۱ تا ۵ میلی‌گری در سال، در حد مجاز است. این مقدار دژ برای اعضای خانواده بیمار به خصوص کودکان و زنان باردار و همکاران که بعد از دریافت ید با بیمار ارتباط دارند، طبق استانداردهای ایمنی تعیین شده احتمال خطرناک بودن زیاد است و توصیه می‌شود نزدیکان بیمار، در مدت درمان و حداقل تا دو هفته بعد از درمان از بیمار فاصله بگیرند.

۳. بحث و نتایج

باتوجه به نتایج گروه‌های تحقیقاتی مارینا دراوسکا [۱]، و دکتر شهبازی و همکاران [۲] که در مقدمه آورده و روش ما که از TLD برای دژیمتری استفاده شده، نتایج این پژوهش با درصد خیلی پایینی اختلاف با پژوهش‌های ذکر شده قبلی، مطابقت دارد که این اختلاف

کم می‌تواند مربوط به محدود بودن دُزیمترها، خطاهای مربوط به پاسخ دُز قرص‌ها، تعداد بیماران، تابش زمینه و عوامل دیگر باشد. طبق نتایج پژوهش‌های انجام شده، میزان ماده رادیواکتیو در بدن پس از درمان با یُد رادیواکتیو تا حدود ۳ نیمه‌عمر در بدن باقی می‌ماند و پس از این مدت به دُزی در حدود ۱ سانتی‌گری کاهش می‌یابد [۵]. دُز محاسبه شده در اطراف بیمار و در فاصله‌های ۱ تا ۳ متری از آنها بطور میانگین ۳۰/۹۳ سانتی‌گری محاسبه شد که باتوجه به دُز محاسبه شده و با استفاده از رابطه شدت تابش مقدار شدت اولیه ۳۷/۷۱۹ سانتی‌گری محاسبه می‌شود که نسبت به دُز محاسبه شده روی پوست که مقدار آن ۳۴۸/۱ سانتی‌گری است و با در نظر گرفتن فاصله می‌توان نتیجه گرفت که دُز محاسبه شده در اطراف بیمار تنها بخشی از پرتوهایی است که در تمام جهات تابش می‌شوند و این کوچک بودن زاویه فضایی دُزیمتر را نیز نشان می‌دهد که در اینجا ۰/۵۰ محاسبه شد که باید یک سری فاکتورها را مثل هندسه چشمه، فاصله چشمه تا آشکارساز، ماده بین چشمه و آشکارساز و آثار چشمه مانند ضریب خودجذبی چشمه، به دلیل ضخامت چشمه و ضریب پس پراکندگی و عوامل دیگری که قطعا در آشکارسازی و محاسبه دُزیمتری نقش اساسی دارند در محاسبات در نظر گرفت. در این تحقیق با توجه به تئوری ما انتظار کاهش دُز برحسب فاصله به نسبت $1/d^2$ را داشتیم ولی با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش میزان کاهش دُز بر حسب فاصله d^2 - با ضریب همبستگی ۰/۹ برای فاصله نیم متر تا یک متر و برای فاصله ۱ تا ۳ متر تعیین شد که می‌توان برای هندسه چشمه و آشکارساز معادلات ریاضی جدیدی را پیشنهاد داد. " نکته بدلیل عامل انسانی (مریض تحت درمان) اندازه‌گیری‌های دُز در بازه مکانی تعیین می‌شوند". پیشنهاد می‌شود در طول یُددرمانی، با توجه به مفهوم محدودیت دُز و به منظور بهینه‌سازی در روش درمان، اطرافیان بیمار نباید حداکثر در طول این ۲۰ روز نیمه‌عمر بیولوژیک و حداقل ۸ روز نیمه‌عمر فیزیکی، در فاصله نزدیکی از بیمار تردد کنند و پزشک معالج، دستوراتی در برنامه غذایی و دارویی بیمار قرار دهد، که در روند دفع سریع‌تر یُد پرتوزا از بدن بیمار و کاهش نیمه‌عمر بیولوژیک یُد ۱۳۱ و افزایش ضریب تضعیف یُد، مؤثر باشد.

۴. نتیجه

در این تحقیق با توجه به تئوری گسیل چشمه‌های نقطه‌ای ما انتظار کاهش دُز برحسب فاصله به نسبت $1/d^2$ را داشتیم ولی با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش میزان کاهش دُز بر حسب فاصله d^2 - با ضریب همبستگی ۰/۹ برای فاصله نیم متر تا ۳ متر تعیین شد و با افزایش فاصله تا چشمه، دُز جذبی با این ضریب کاهش پیدا می‌کند لذا با توجه به این موضوع و مقدار محاسبه شده دُز جذبی اطراف بیمار و مقایسه آن با محدودیت‌های کمیسیون بین‌المللی حفاظت از اشعه، رعایت حداکثر فاصله از بیماران به مدت دو الی سه هفته با توجه به نیمه‌عمر فیزیکی و بیولوژیک یُد الزامیست.

۵. سپاسگزاری

از همکاری جناب آقای دکتر اکبری و سرکار خانم عزیزی و بقیه همکاران در بخش یُد درمانی درمانگاه افشار یزد بابت همکاری در این پروژه صمیمانه تشکر می‌کنیم. این کار با پشتیبانی معنوی کلینیک نام برده و جناب آقای دکتر اکبری انجام شده است.

۶. مراجع

1. M. Zdraveska-Kocovska, O. Vaskova, V. Majstorov Institute of Pathophysiology and Nuclear Medicine, Akademik Isak S. Tadzher - Faculty of Medicine, University, Ss. Kiril and Metodij, Skopje, Republic of Macedonia, Macedonian Journal of Medical Sciences. 4(1):12. 2011
2. D. Shahbazi, S. Nikzad, Determination of Absorbed Dose of Organs (Thyroid, Sternum, Cervical vertebra) in Thyroid Cancer Patients Following Radioiodine Therapy, Iran J Nucl Med, 17(1): 27, 2009
3. A. Shiryazdi, Measurement of dose of non-involved organs in radiation therapy of breast cancer using thermoluminescence dosimeter, School of Physics, (2018), pp. 63 to 75. (In Persian)
4. N. Tsoulfanidis, in: Measurement and detection of nuclear radiation, edited by R. Koochi, M.H. Hadizade, (Mashhad Ferdowsi University, 2012), pp. 368-390
5. D. Shahbazi, Z. Shahi, Estimation of salivary gland absorbed dose in the treatment of thyroid with radioactive iodine, Iranian Journal of Nuclear Medicine, Volume 15, Number 2, 1, 2008. (In Persian).



-
6. A. Hooman, Evaluation of the severity of radiation-induced cellular damage in patients with differential iodine-treated differential thyroid cancer, Iranian Journal of Endocrinology and Metabolism, Shahid Beheshti University of Medical Sciences and Health Services, Volume 9, Number 4, 351, 2007.(In Persian)
 7. H.Taghavi. Kajidi, Prevalence of thyroid cancer in the Iranian population living in the Islamic Republic of Iran by province in the period 1990-2010, Iranian Journal of Diabetes and Metabolism, Volume 15, Number 2, 91, 2016.(In Persian)