

بررسی پارامترهای دزیمتری چشمه ترموبراکی تراپی I-125 با هسته فرومغناطیس نیکل-مس

محمد سلیمان پور^۱، شهاب شببانی^۲، الهام محقق پور^۲، سید ابوالفضل حسینی^۱، حسین پوربیگی^۲

^۱دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی، 1458889694، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، 14395836، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

ترموبراکی تراپی، یک روش درمانی است که در آن از دو فرآیند گرمادرمانی و براکی تراپی جهت از بین بردن بافت‌های توموری استفاده می‌شود. در این روش، چشمه درمانی موردنظر، با ساختاری مشابه چشمه براکی تراپی I-125 مدل BEST seed 2301 شبیه‌سازی شده که در آن ماده فرومغناطیس به عنوان هسته، جایگزین تنگستن و شکاف هوا شده است. همچنین با استفاده از مطالعه مونت کارلویی، ثابت نرخ دز و سایر فاکتورهای کارگروه ۴۳ برای چشمه موردنظر بررسی گردیده است. نتایج شبیه سازی چشمه ترموبراکی تراپی توسط کد MCNPX2.7 در مقایسه با پارامترهای دزیمتری پروتکل کارگروه ۴۳ چشمه مذکور و مقایسه آن با فاکتورهای متناظر مربوط به چشمه براکی تراپی I-125 نشان می‌دهد که روند تغییرات پارامترهای پروتکل کارگروه ۴۳ چشمه ترموبراکی تراپی با اختلاف اندکی مشابه با مدل BEST seed 2301 می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ترموبراکی تراپی، براکی تراپی، شبیه‌سازی مونت کارلو، MCNP، TG-43.

Evaluation of dosimetric parameters of thermobrachytherapy I-125 with nickel-copper ferromagnetic core

M.Solimanpoor¹, S.Sheibani², E.Mohaghehpour², S.A.Hosseini¹, H.poorbaygi²

1. Department of Energy Engineering, Sharif University of Technology, 1458889694, Tehran, Iran

2. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, 14395836, Tehran, Iran

Abstract :

Thermobrachytherapy is a treatment method that uses two processes of thermotherapy and brachytherapy to destroy tumor tissues. In this method, the desired source therapy is simulated with a structure similar to BEST seed 2301 model of brachytherapy I-125 source that ferromagnetic material as a core has replaced tungsten and air gap. Also, a Monte Carlo study has been investigated the constant dose rate and other factors of Task Group 43 for the source. The simulation results of thermobrachytherapy source by MCNPX2.7 code in the comparison with the dosimetric parameters of the protocol of TG-43 and its comparison with the corresponding factors related to brachytherapy I-125 show that the trend of the changes in the TG-43 protocol parameters of Thermobrachytherapy source has a little difference with the BEST seed 2301 model.

Keywords: Thermobrachytherapy, Brachytherapy, Monte Carlo simulation, MCNP, TG-43.

Email: mohammad.sfm9574@gmail.com

۱. مقدمه

پرتودرمانی یکی از رایج‌ترین روش‌های درمان سرطان است که می‌تواند به تنهایی یا همراه با سایر روش‌های درمانی مانند جراحی، شیمی‌درمانی یا هورمون‌درمانی مورد استفاده قرار گیرد. در پرتودرمانی از تابش پرتوهای گاما یا ایکس و یا ذرات شتاب‌دار برای از بین بردن سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود. هدف در این روش تخریب بافت‌های سرطانی با حداقل آسیب به بافت‌های سالم اطراف می‌باشد. پرتودرمانی گاهی به صورت خارجی (زمانی که منبع تولید پرتو از بیرون از بدن سلول‌های سرطانی را هدف قرار دهد) و گاهی به صورت داخلی (وقتی منبع تشعشع درون بدن در نزدیکی سلول‌های سرطانی قرار بگیرد) اجرا می‌شود. برای تراپی که گاهی اوقات کوری تراپی یا اندوکوری تراپی نیز نامیده می‌شود، عبارتی است که برای درمان سرطان به وسیله پرتوهای چشمه‌های رادیونوکلوئید به وسیله کپسول از فاصله نزدیک استفاده می‌شود. این نوع درمان با جایگذاری مستقیم چشمه درون یا نزدیک حجم هدف انجام می‌شود [۱، ۲].

رادیوایزوتوپ ^{125}I (عنصر پرتوزا در تحقیق حاضر) دارای نیمه عمر $59/4$ روز می‌باشد که طی فرآیند گیراندازی الکترون (EC) به تراز برانگیخته ^{125}Te رفته و پس از آن با گسیل فوتون با انرژی میانگین $35/5 \text{ keV}$ و همچنین تولید الکترون‌هایی طی فرآیند IC و تابش ترمزی به حالت پایدار ^{125}Te می‌رود. میانگین وزنی انرژی برای الکترون‌ها و فوتون‌ها به ترتیب $0/8$ و $1/1$ می‌باشد که با حذف الکترون‌ها و فوتون‌های زیر 5 keV میانگین وزنی انرژی این رادیوایزوتوپ به ترتیب در حدود $27/1 \text{ keV}$ و $28/4$ می‌شود. ^{125}I به عنوان محصول فروپاشی ^{135}Xe بدست می‌آید که این عنصر نیز از طریق واکنش $^{125}\text{I} \rightarrow ^{125}\text{Xe} + \gamma$ در یک راکتور هسته‌ای تولید می‌شود. از زمان معرفی دو مدل چشمه براکی تراپی ^{125}I در دهه ۱۹۶۰، تعداد زیادی از مدل‌های دیگر چشمه به صورت تجاری در دسترس قرار گرفته است. در یکی از مدل‌های اصلی، ^{125}I روی میله نقره‌ای که هسته مرکزی منبع است جذب می‌شود. میله در کپسولی از جنس تیتانیوم به ضخامت $0/5 \text{ mm}$ محصور شده است. در مدل اصلی دیگر، دانه‌هایی شامل کره‌های رزین تبادل یونی که حاوی ^{125}I هستند درون یک لوله تیتانیوم شامل نشانگرهای طلا یا تنگستن قرار گرفته‌اند. کپسول تیتانیومی برای جذب ذرات و پرتوهای کم انرژی بکار می‌رود. اصولاً کلیه مدل‌های چشمه به صورت استوانه به طول 5 mm و قطر $0/8 \text{ mm}$ می‌باشند. در این پروژه از ^{125}I بعنوان چشمه براکی تراپی استفاده می‌شود که در این چشمه از ماده فرومغناطیس برای اعمال هایپرترمی استفاده می‌کنند؛ در ادامه به مباحث مربوط به آن پرداخته خواهد شد [۱، ۳].

گرمادرمانی (افزایش کنترل شده حرارت تومور به میزان $3-8^\circ\text{C}$) روش درمانی الحاقی است که اصولاً به همراه پرتودرمانی و شیمی‌درمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و قادر است بدون افزایش عوارض جانبی، میزان پاسخ تومور به درمان و درصد بقای بیماران را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. امروزه در درمان سرطان سینه، ملانوم، گلیوبلاستوم سر و گردن، دهانه رحم، مثانه و رکتوم افزودن هایپرترمی به رژیم‌های درمانی معمول توصیه می‌شود. بدون شک دلیل استفاده از رژیم‌های درمانی متفاوت با همدیگر جلوگیری از عود مجدد تومور است [۴].

در سال ۱۹۸۹ میلر^۱ و همکارانش تأثیر استفاده همزمان هایپرترمی با هسته فرومغناطیس با براکی تراپی ^{125}I را در درمان ملانوم خرگوش بررسی کردند [۵]. بعد از آن در سال ۱۹۹۲، استیوز^۲ و همکارانش به بررسی ترکیب دو روش درمانی

¹ Mieler, W

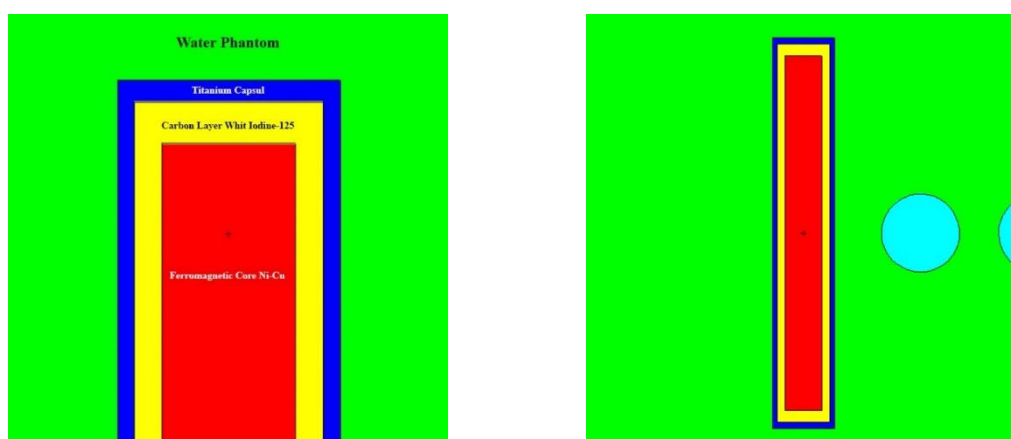
² Steeves, R

برای تراپی و هایپرترمی جهت درمان سرطان ملانوما کورئیدی خرگوش پرداختند [۶]. در سال ۲۰۰۲، سوارد و میگونی به بررسی پارامترهای دزیمتری چشمه برای تراپی مدل BEST seed 2301 پرداختند که نتایج این ارزیابی ثابت بودن مقدار دز در آب مایع را نشان می‌داد [۷]. در سال ۲۰۱۱، آدام شیکل^۳ و همکاران، مطالعاتی را بر روی اثرات گرمادرمانی همراه با برای تراپی برای درمان سرطان سینه انجام دادند [۸]. بعد از آن در سال ۲۰۱۲ گایتام^۴، پارسایی^۵ و همکاران، مطالعاتی را در مورد اثرات استفاده همزمان از گرما و پرتو بر روی تومورهای جامد توسط سیستم ترموبراکی تراپی با هسته فرومغناطیس و چشمه پرتوزا ^{۱۲۵}I انجام دادند و شبیه‌سازی توسط کد MCNPX2.7 را با گزارشات کارگروه ۴۳ مقایسه و نتایج را گزارش کردند [۴].

در تحقیق حاضر، تاثیر استفاده همزمان هایپرترمی و برای تراپی با استفاده از کد MCNPX2.7 شبیه‌سازی شده است، به این صورت که چشمه موردنظر بر اساس مدل BEST seed 2301 شبیه‌سازی شده، که در آن ماده فرومغناطیس به عنوان هسته، جایگزین تنگستن و شکاف هوا شده است. همچنین مطالعه مونت کارلو در مورد ثابت بودن میزان دز و سایر فاکتورهای کارگروه ۴۳ برای چشمه موردنظر ارائه خواهد شد.

۲. روش کار

در این مقاله، شبیه‌سازی صورت گرفته با کد MCNPX2.7 انجام شده است که در آن دو چشمه ترموبراکی تراپی و برای تراپی ۱۲۵-ید- شبیه‌سازی شده و نتایج با تحقیقات میگونی و همکارانش [۷] مقایسه شده است. چشمه ترموبراکی- تراپی مدنظر در این مقاله بر اساس مدل BEST seed 2301 طراحی شده است. در این مدل از یک قطعه میله‌ای شکل به طول ۳/۸ mm و قطر ۰/۲۵ mm از جنس تنگستن بعنوان هسته مرکزی استفاده می‌شود که بر روی این میله تنگستنی یک لایه کربن آغشته به ^{۱۲۵}I پوشانده شده و در نهایت این میله تنگستنی پوشیده شده از ^{۱۲۵}I در داخل یک کپسول تیتانیومی به طول ۵ mm و قطر بیرونی ۰/۸ mm قرار داده می‌شود. حال برای تبدیل یک چشمه برای تراپی به یک چشمه ترموبراکی تراپی، بجای میله تنگستنی یک هسته فرومغناطیس از جنس آلیاژ نیکل- مس (۷۰/۴٪ نیکل و ۲۹/۱۶٪ مس) به طول ۴/۶۴mm و قطر ۰/۴۴mm طبق مقاله گایتام و همکارانش [۴] قرار داده می‌شود و کل فضای داخل کپسول را اشغال می‌کند (شکل ۱). از هسته فرومغناطیس جهت تولید حرارت استفاده می‌شود و دلیل اشغال کردن کل فضای کپسول این است که انتقال حرارت بطور مناسب صورت گیرد.



شکل ۱. سلول‌های تعریف شده در کد MCNP چشمه ترموبراکی تراپی

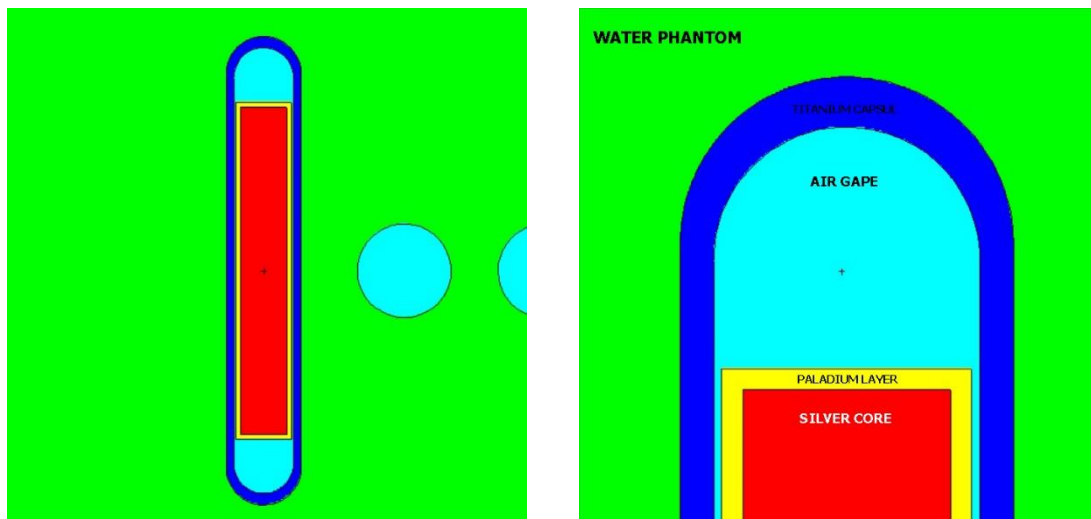
³ Adam Chichef

⁴ Bhoj Gautam, E

⁵ Ishmael Parsai

⁶ Task Group 43

شبیه‌سازی چشمه براکی‌تراپی شامل یک هسته از جنس نقره به طول $3/5 \text{ mm}$ و قطر $0/5 \text{ mm}$ می‌باشد که توسط یک لایه پالادیوم شامل ماده پرتوزا ید-۱۲۵ پوشانده شده است. این مجموعه در داخل یک کپسول تیتانیومی به طول 5 mm و قطر بیرونی $0/8 \text{ mm}$ و ضخامت $0/08 \text{ mm}$ قرار داده شده که مابقی حجم داخل کپسول هوا می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲. سلول‌های تعریف شده در کد MCNP چشمه براکی‌تراپی

برای محاسبه پارامترهای دزیمتری در شبیه‌سازی MCNP، یک چشمه در مرکز یک فانتوم آب کروی به قطر 15 سانتی متر قرار می‌گیرد. محور طولی منبع به عنوان محور Z در مختصات دکارتی و محور Y در امتداد عرضی چشمه انتخاب شده است. در فوتون‌های کم انرژی، دوز جذب شده در آب با کرما تقریباً برابر است. برای تعیین پارامترهای دزیمتری، دوز جذب شده به آب در کره‌هایی کوچک به شعاع $0/05 \text{ mm}$ با استفاده تالی F6 در شعاع از $0/3$ تا $10/0$ سانتی متر در امتداد محور عرضی و در زاویه‌های مختلف از 0 تا 180 درجه در هر 5 درجه به دست می‌آید. تالی F6 به طور کلی انرژی جذب شده در هر گرم از مواد تشکیل دهنده در هر یک از حجم‌های مختلف را محاسبه می‌کند. تعداد ذرات فوتون در حدود 400 میلیون می‌باشد. روابط جهت محاسبه دز، توسط کارگروه ۴۳ انجمن فیزیک پزشکی آمریکا پیشنهاد می‌شود که در آن پارامترهای کرمای هوا، ثابت نرخ دز، تابع هندسه، تابع دوز شعاعی و ناهمسانگردی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

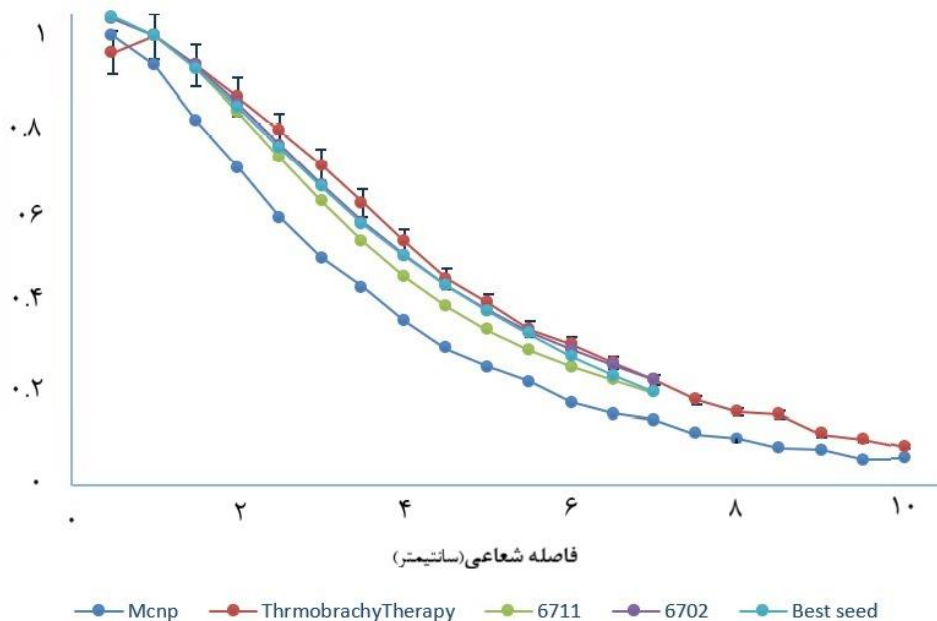
۳. نتایج

خروجی مونت کارلو برای آهنگ کرمای هوا محاسبه شد که به ترتیب برای دو چشمه ترموبراکی‌تراپی و براکی‌تراپی برابر بود با $2/61E-4 \text{ MeV/g photon}$ و $1/07E-4 \text{ MeV/g photon}$. همچنین با احتساب مقادیر آهنگ دز شعاعی در فاصله مرجع (یک سانتی‌متری)، مقادیر ثابت نرخ دز به ترتیب برای دو چشمه ترموبراکی‌تراپی و براکی‌تراپی برابر بود با $0/989 \text{ cGyhU}^{-1}$ و $0/855 \text{ cGyhU}^{-1}$.

پس از دریافت تالی F6 از خروجی MCNPX2.7 در فواصل تا 10 سانتی‌متر، تابع دز شعاعی براساس فرمول‌بندی TG-۴۳، 6702 ، 6711 و BEST seed 2301 مقایسه گردیدند. در نمودار شکل ۳، تغییرات تابع دز شعاعی برای مدل‌های 6711 ، 6702 و BEST seed 2301 به همراه نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای هر دو چشمه ترموبراکی‌تراپی و براکی‌تراپی مدنظر قابل مشاهده است.

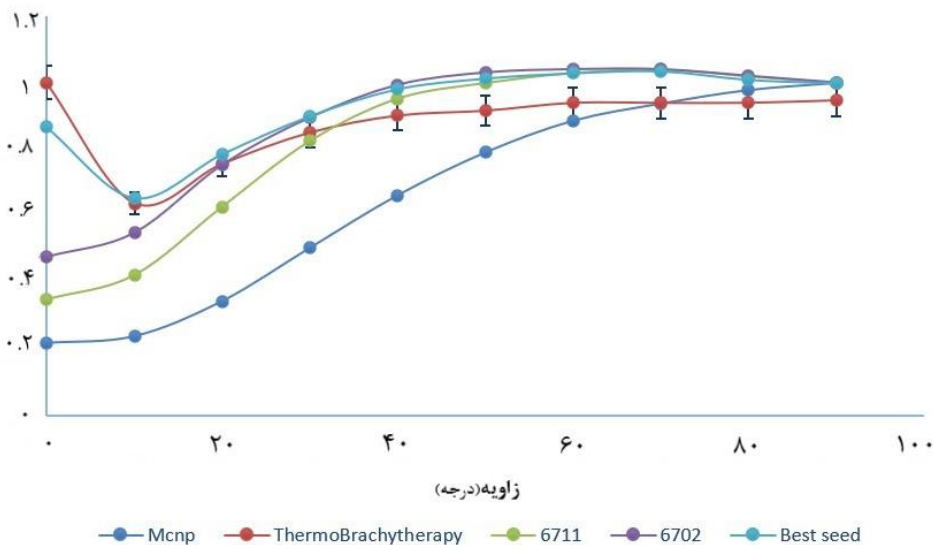
همچنین مقادیر تالی F6 در زوایای ۰ الی ۹۰ درجه و فاصله شعاعی مرجع استخراج گردید و براساس فرمول TG-۴۳، تابع ناهمسانگردی $(F(r,\theta))$ برای دو چشمه براکی تراپی و ترموبراکی تراپی محاسبه شد و مقایسه‌ای بین داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و مدل‌های مختلف چشمه‌های براکی تراپی انجام گرفت. در نمودار شکل ۴، مقایسه تغییرات تابع دز ناهمسانگردی در فاصله مرجع یک سانتیمتری برای مدل‌های ۶۷۱۱، ۶۷۰۲ و BEST seed 2301 نشان داده شده است.

تابع دز شعاعی



شکل ۳. پارامتر تابع دز شعاعی برای داده‌های کد MCNP در شبیه‌سازی چشمه براکی تراپی و چشمه ترموبراکی تراپی و همچنین مدل‌های BEST seed 2301 و ۶۷۱۱، ۶۷۰۲

تابع ناهمسانگردی



شکل ۴. پارامتر تابع ناهمسانگردی برای داده‌های کد MCNP در شبیه‌سازی چشمه براکی تراپی و چشمه ترموبراکی تراپی و همچنین مدل‌های BEST seed 2301 و ۶۷۱۱، ۶۷۰۲

۴. نتیجه گیری

طبق نمودار شکل‌های ۳، این نتیجه حاصل می‌شود که روند تغییرات تابع دز شعاعی برای چشمه ترموبراکی تراپی موردنظر تحقیق حاضر تقریباً مشابه با چشمه براکی تراپی مدل BEST seed 2301 است و اختلاف در میزان تغییرات در نمودارها، ناشی از وجود فضای هوا در اطراف هسته چشمه براکی تراپی مدل BEST seed 2301 است. در نتیجه منحنی مربوط به مدل BEST seed 2301 به علت تضعیف بیشتر پایین‌تر از چشمه ترموبراکی تراپی قرار گرفته است. همچنین طبق نمودار شکل ۴، این نتیجه حاصل می‌شود که روند تابع ناهمسانگردی برای چشمه ترموبراکی تراپی موردنظر تحقیق حاضر تقریباً مشابه با چشمه براکی تراپی مدل BEST seed 2301 است و اختلاف در میزان تغییرات در نمودارها، ناشی از متفاوت بودن طول موثر هسته است. با معلوم بودن منابع انحراف مقادیر آهنگ دز در اطراف دو چشمه بالا، می‌توان گفت که این همخوانی نتایج، تاییدیه برای اعتبار سنجی فایل ورودی نوشته برای کد MCNPX2.7 برای شبیه‌سازی در این تحقیق می‌باشد.

از طرفی تغییرات بیشتری در تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی ما بین چشمه براکی تراپی شبیه‌سازی شده و چشمه براکی تراپی مدل BEST seed 2301 دیده می‌شود که علت آن کوچکتر بودن هسته پرتوزا و وجود فضای بزرگتری از هوا ما بین هسته و کپسول نسبت به چشمه براکی تراپی مدل BEST seed 2301 می‌باشد.

۵. مراجع

1. Montemaggi, P., M. Trombetta, and L.W. Brady, *Brachytherapy: An International Perspective*. ۲۰۱۶: Springer.
2. Khan, F.M. and J.P. Gibbons, *Khan's the physics of radiation therapy*. ۲۰۱۴: Lippincott Williams & Wilkins.
3. Brady, L.W., D.E. Wazer, and C.A. Perez, *Perez & Brady's principles and practice of radiation oncology*. ۲۰۱۳: Lippincott Williams & Wilkins.
4. Gautam, B., et al., *Dosimetric and thermal properties of a newly developed thermobrachytherapy seed with ferromagnetic core for treatment of solid tumors*. *Medical physics*, ۲۰۱۲. ۳۹(۴): p. ۱۹۹۰-۱۹۸۰.
5. Mieler, W.F., G.J. Jaffe, and R.A. Steeves, *Ferromagnetic hyperthermia and iodine ۱۲۵ brachytherapy in the treatment of choroidal melanoma in a rabbit model*. *Archives of Ophthalmology*, ۱۹۸۹. ۱۰۷(۱۰): p. ۱۵۲۸-۱۵۲۴.
6. Steeves, R., et al., *Concurrent ferromagnetic hyperthermia and ۱۲۵I brachytherapy in a rabbit choroidal melanoma model*. *International journal of hyperthermia*, ۱۹۹۲. ۸(۴): p. ۴۴۹-۴۴۳.
7. Sowards, K.T. and A.S. Meigooni, *A Monte Carlo evaluation of the dosimetric characteristics of the EchoSeed™ Model ۱۲۵ ۶۷۳۳I brachytherapy source*. *Brachytherapy*, ۲۰۰۲. ۱(۴): p. ۲۳۲-۲۲۷.
8. Chichel, A., et al., *Thermal boost combined with interstitial brachytherapy in breast conserving therapy—Assessment of early toxicity*. ۲۰۱۱. ۱۶(۳): p. ۹۴-۸۷.