# استفاده از پلاک طلا و آلیاژ طلا در براکی‌تراپی تومور مری جهت کاهش دوز رسیده به بافت سالم

**براتیان، شکوفه* – مسعودی ،سید فرهاد – اسدی، سمیه**

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک، گروه هسته‌ای

**چکیده:**

*در این مقاله با استفاده از کد محاسباتی MCNPX چشمه ایریدیم-۱۹۲ مدل microselectron-v2 با نیمه‌عمر ۷۳/۸۳ روز شبیه‌سازی شد و میزان دقت شبیه سازی چشمه با برر سی پارامترهای دزیمتری مطابق با قرارداد TG-43 مورد برر سی قرار گرفت. پس از اطمینان از صحت شبیه‌سازی چشمه ایریدیم، درمان تومور مری با استفاده از این چشمه و اثرات استفاده از پلاک طلا و آلیاژ طلا در کاهش دوز رسیده به بافت های سالم بدن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج شبیه سازی نشان داد که قرار دادن چشمه در تومور و استفاده از پلاک طلا به ضخامت ۵/۵ میلیمتر در مجاورت آن بهینه‌ترین پیکربندی برای کاهش حداکثری دوز رسیده به بافت های سالم است.*

***کلمات کلیدی:*** *براکی‌تراپی، ایریدیم، کد MCNPX، اعتبارسنجی، پلاک.*

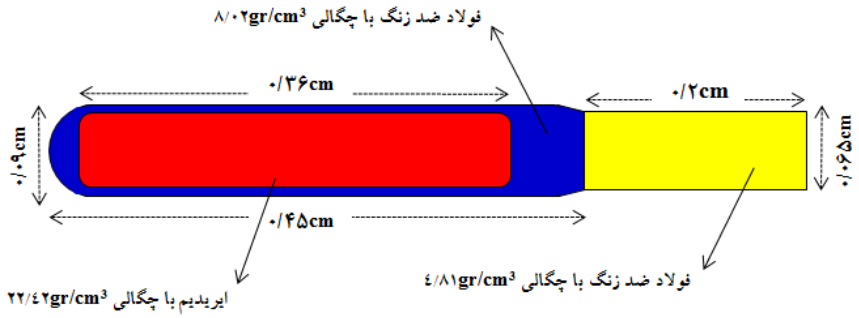
**مقدمه :**

از مهم‌ترین روش‌های درمان سرطان مری که به عنوان ششمین عامل مرگ و میر در دنیا شناخته شده است [۱]، می‌توان به جراحی، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی ا شاره کرد. پرتودرمانی به طور کلی شامل دو نوع پرتودرمانی خارجی و داخلی است. در پرتودرمانی داخلی، بر خلاف پرتودرمانی خارجی که در آن پرتو از طریق دستگاه در خارج از بدن بیمار تابیده می‌شود، ماده رادیواکتیو به شکل سیم کوچک، کپسول و یا دانه در نزدیکی یا داخل تومور قرار می‌گیرد. این روش درمانی که براکی‌تراپی نامیده می شود به دو صورت موقت و دائم صورت می‌گیرد. برای درمان سرطان به روش دائم، معمولا از چشمه‌های با نرخ دوز پایین مانند $^{103}Pd$ و $^{125}I$ استفاده می شود. درمان سرطان‌هایی مثل سرطان پرو ستات، سروگردن، مری، سینه و رحم با چشمه‌هایی با نرخ دوز بالا از جمله $^{60}Co$، $^{198}Au$، $^{192}Ir$ و $^{137}Cs$ صورت می‌گیرد [۲]. بنابر نتایج گزارش شده [۳] یکی از دغدغه‌های استفاده از چشمه‌های با نرخ دوز بالا در درمان سرطان مری، آسیب جدی به بافت‌های نزدیک تومور در حین درمان به وسیله این چشمه‌ها است. هدف از این مطالعه، بررسی اثرات تعریف پلاک در کاهش دوز رسیده به بافت‌های سالم و حساس از جمله قلب می‌باشد. به این منظور پلاک‌هایی به شکل پوسته

نیم کروی از جنس طلا و آلیاژ طلا با ضخامت‌های مختلف در چهار پیکربندی شبیه سازی شده و با بررسی میزان دوز رسیده به بافت‌های سالم، پیکربندی بهینه برای کاهش حداکثری دوز رسیده به بافت‌های سالم مطالعه شده است.

**روش کار :**

در این تحقیق، به منظور شبیه سازی درمان سرطان مری، ابتدا با استفاده از کد محاسباتی MCNPX چشمه ایریدیم-۱۹۲ مدل microselectron-v2 با نیمه‌عمر ۷۳/۸۳ روز و فعالیت ۲ میلی‌کوری شبیه سازی شد. گاماهای گسیل شده از این چشمه دارای رنج انرژی از ۱۰۰kev تا ۱۱۰۰ kev با میانگین انرژی ۳۶۰ kev می‌باشند. در شبیه‌سازی این چشمه از دو کارت si و sp برای تعریف انرژی استفاده شد. که در آن به ترتیب انرژی گاماهای گسیل شده از این چشمه و احتمالات گسیل این پرتوها ذکر شده است. تصویر مقطع عرضی این چشمه در شکل (۱) نشان داده شده است.




شکل (۱): تصویر مقطع عرضی چشمه ایریدیم مدل microselectron-v2

سپس به منظور اطمینان از صحت شبیه سازی چشمه طراحی شده، مطابق با قرارداد TG-43، پارامترهای دزیمتری از جمله ثابت آهنگ دوز (Dose rate constant) و تابع دوز شعاعی (Radial dose function) محاسبه شد [۴]. برای محاسبه آهنگ دوز ابتدا چنبره‌ای با ضخامت ۰/۰۵ سانتی‌متر از جنس آب در فانتوم آب ($۸۰\times۸۰\times۸۰cm^3$) شبیه‌سازی و میزان دوز در فاصله ۱ سانتی‌متر از مرکز چشمه و در راستای محور عرضی چشمه محاسبه گردید. از طرف دیگر، دوز جذبی به وسیله تالی F6 در وکسل‌های چنبره مانند به ضخامت ۰/۰۵ سانتی‌متر که حاوی هوا بوده و در فانتوم کروی خلا با شعاع ۱۰۰ سانتی‌مترتعریف شده‌اند، محاسبه شد. این چنبره‌ها از فاصله ۵ تا ۳۶ سانتی‌متری از چشمه تعریف شده‌اند. در نهایت با حاصلضرب مقادیر دوز بدست آمده در توان دوم فاصله هر چنبره از مرکز چشمه و میانگین‌گیری از مقادیر بدست آمده، پارامتر قدرت کرمای هوا ($S_k$) محاسبه شده و از تقسیم آهنگ دوز بر قدرت کرمای هوا، پارامتر ثابت آهنگ دوز ($\Lambda$) محاسبه گردید. همچنین جهت محاسبه پارامتر تابع دوز شعاعی (RDF)، با پیروی از روش ذکر

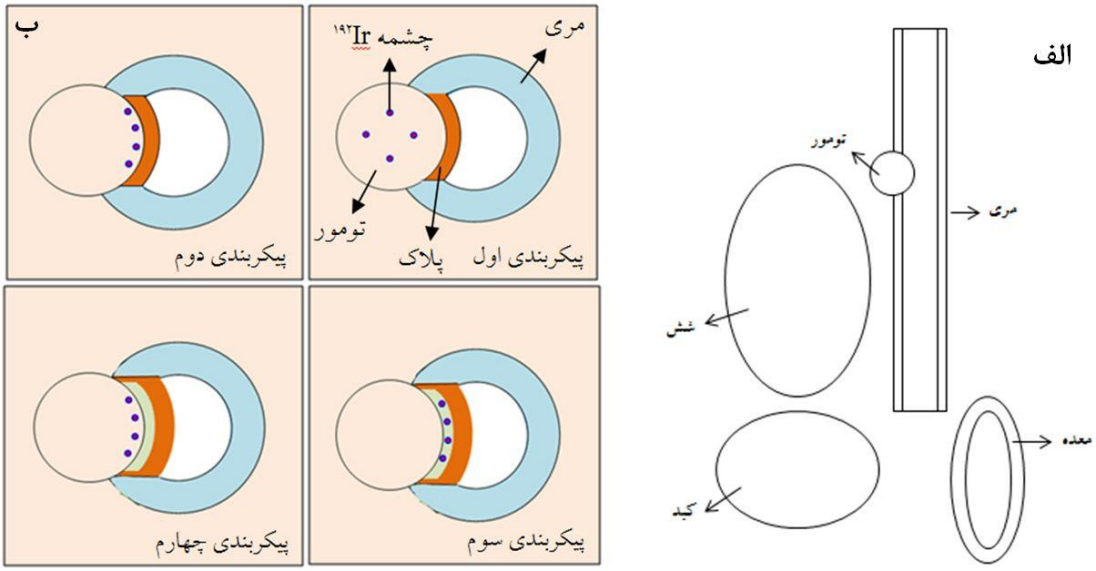
شده در مرجع [۴]، تعدادی چنبره از جنس آب با ضخامت‌های متفاوت در فانتوم آب ($80\times80\times80 cm^3$) و در فاصله ۰/۲ تا ۱۵ سانتی‌متری از مرکز چشمه چیده شدند.

پس از محاسبه پارامترهای دزیمتری و اعتبارسنجی چشمه ایریدیم طراحی شده، به منظور درمان سرطان مری و کاهش دوز رسیده به بافت‌های سالم، بافت‌هایی از جمله مری، تیروئید، قلب، معده، کبد و شش به پیروی از فانتوم MIRD شبیه‌سازی شد (شکل ۲). در این شبیه‌سازی، مری به صورت استوانه‌ای توخالی به ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر در راستای محور z و شعاع داخلی و خارجی ۰/۸۷ و ۱/۱۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تومور در نظر گرفته شده در این مطالعه دارای قطر ۲ سانتی‌متر می‌باشد و گستردگی آن در داخل مری به اندازه ۰/۵ سانتی‌متر است. پلاک‌های شبیه‌سازی شده شامل یک پوسته خارجی مقعر هستند که از طلا و آلیاژ طلا با ضخامت‌های متفاوت و قطر ۱/۹۴ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. چگالی پلاک طلا و آلیاژ طلا به ترتیب $15/8\ gr/cm^3$ و $19/3\ gr/cm^3$ می‌باشد. این پلاک‌ها در فاصله ۰/۰۰۵ سانتی‌متری از سطح خارجی تومور شبیه سازی شده‌اند. با توجه به ویزگی های شناخته شده ی طلا از جمله بی اثر بودن از نظر شیمیایی و سازگاری با بدن ، از بین عناصر با عدد اتمی بالا انتخاب طلا به عنوان یک محافظ در جذب سهمی از انرژی گسیلی، مناسب ترین انتخاب می باشد.

در این مرحله، به منظور بررسی شرایط بهینه در درمان سرطان مری و کاهش دوز جذبی در بافت‌های سالم، چهار پیکربندی به صورت مجزا در نظر گرفته شد. در پیکربندی اول، پلاکی از جنس طلا و آلیاژ طلا با ضخامت‌های ۱/۵ تا ۱۰/۵ میلی‌متر (با افزایش ۰/۱ میلی‌متر در ضخامت) در نزدیکی تومور در شبیه‌سازی‌های جداگانه در نظر گرفته شد. همچنین چهار چشمه ایریدیم مطابق با شکل (۲) در داخل تومور شبیه سازی و دوز جذبی در تومور، مری و بافت‌های سالم در هر سه مرحله بدون پلاک، با پلاک طلا و آلیاژ طلا با استفاده از تالی F6 محاسبه گردید. در پیکربندی دوم نیز به منظور بررسی اثرات تغییر جایگاه چشمه‌ها در تومور، چشمه‌های ایریدیم شبیه‌سازی شده با چیدمان نشان داده شده در شکل (۲) در داخل تومور شبیه‌سازی شدند و به ازای پلاک‌های طلا و آلیاژ طلا با ضخامت‌های ذکر شده، دوز رسیده به بافت‌های مورد نظر محاسبه شد.

در پیکربندی سوم از ماده سیلاستیک با ترکیبات هیدروژن، کربن، اکسیژن، سیلیکون و پلاتین با درصدهای ۶/۳، ۲۴/۹، ۲۸/۹، ۳۹/۹ و ۰/۰۰۵ و چگالی $1/12\ gr/cm^3$ در داخل پلاک استفاده شد. قابلیت انعطاف و شکل‌پذیری این ماده و ژله‌ای بودن آن، دلیل برتری این ماده در انتخاب نسبت به پلاستیک می‌باشد که هنگام جای‌گیری این ماده درون پلاک، به‌راحتی اطراف چشمه‌ها را می‌پوشاند. در این پیکربندی به منظور بررسی اثرات تعریف ماده سیلاستیک در کاهش دوز رسیده به بافت‌های سالم، چشمه‌های ایریدیم مطابق شکل (۲) در پلاک‌های طلا و آلیاژ طلا با ضخامت‌های ذکر شده

تعریف شـــدند و دوز رســـیده به بافت‌های مختلف در ســـه مرحله بدون پلاک، مرحله با پلاک طلا و آلیاژ طلا در شبیه سازی‌های جداگانه محا سبه شد. در پیکربندی چهارم، چ شمه‌ها در داخل تومور تعریف شد و پلاک طلا و آلیاژ طلای مورد ا ستفاده در این پیکربندی، حاوی ماده سیلا ستیک می‌با شد. مراحل انجام شده در این پیکربندی همانند سه پیکربندی قبل می‌باشد. تصاویری از چهار پیکربندی شبیه‌سازی شده در شکل (۲) نمایش داده شده است.




شکل (۲) : الف) بافت های شبیه سازی شده توسط کد MCNP ، ب) تصویر چهار پیکربندی از چشمه های ایریدیوم شبیه سازی شده (این چهار پیکربندی به منظور بررسی اثرات تعریف پلاک، تغییر در جایگاه چشمه‌ها و تعریف ماده سیلاستیک در میزان دوز رسیده به بافت‌ها شبیه‌سازی شده‌اند)

در مرحله بعد، به منظور بررسی دقیق‌تر میزان کاهش دوز در بافت‌های سالم به ازای تعریف پلاک، ردیفی از وکسل‌هایی به ابعاد ۰/۰۵ سانتی‌متر که اولین وکسل در فاصله ۱/۳۵ سانتی‌متری از لایه خارجی پلاک و آخرین وکسل در فاصله ۴/۶۵ سانتی‌متری از لایه خارجی پلاک قرار گرفته، شبیه‌سازی شد. به این منظور در تمام پیکربندی‌ها به ازای پلاک طلا با ضخامت ۳/۵ میلی‌متر، دوز عمقی در سه حالت بدون پلاک و حالت‌های با پلاک طلا و آلیاژ طلا بررسی شد.

**نتایج :**

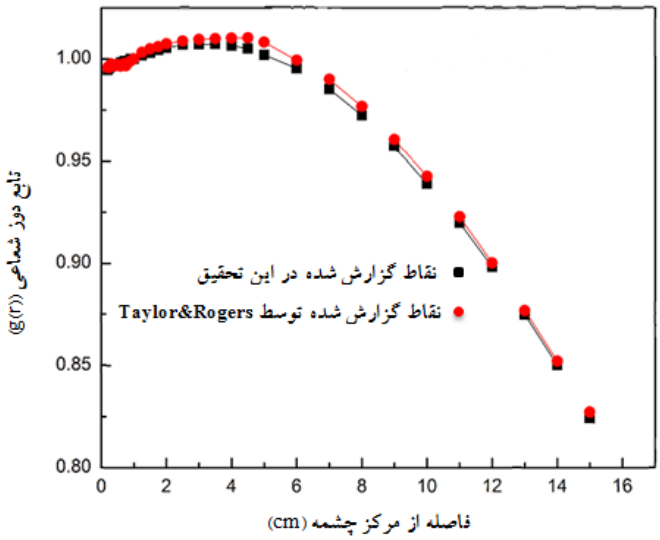
جدول (۱) مقای سه مقدار محا سبه شده پارامتر ثابت آهنگ دوز را با نتایج گزارش شده در دیگر مراجع ن شان می‌دهد. همچنین تابع دوز شعاعی (بر حسب فاصله از مرکز چشمه) در شکل (۳) نشان داده شده و نتایج با مرجع [۵] مقایسه شده است. نتایج به خوبی صحت شبیه‌سازی چشمه ایریدم را در این کار نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده از بررسی میزان دوز جذبی در بافت‌های ذکر شده در چهار پیکربندی نشان می‌دهد که درصد کاهش دوز در تمام پیکربندی‌ها برای پلاک طلا بیشتر از پلاک آلیاژ طلاست. همچنین در همه پیکربندی‌ها میزان درصد کاهش دوز به ازای ضخامت‌های ۵/۵ میلی‌متر تا ۱۰/۵ میلی‌متر تفاوت چندانی ندارد.

در جدول (۲) و (۳) نتایج دزیمتری در تومور، مری و بافت‌های سالم در دو حالت بدون پلاک و حالت با پلاک طلای ضخامت ۵/۵ میلی‌متر در تمام پیکربندی‌ها گزارش شده است. تمامی نتایج به دوز بیشینه هر پیکربندی که در تومور رخ می‌دهد نرمالیزه شده‌اند.

جدول (۱): مقایسه پارامتر ثابت آهنگ دوز با نتایج گزارش شده

| پژوهش حاضر | مرجع [۶] | مرجع [۵] | |
|---|---|---|---|
| ۱/۰۵۳ ± ۰/۰۰۵ | ۱/۱۰۸ ± ۰/۰۰۱ | ۱/۱۰۹ ± ۰/۰۰۲ | $\Lambda \pm \Delta\Lambda$ |




شکل (۳): نمودار تابع دوز شعاعی (RDF)

جدول (۲): دوز میانگین در نواحی مختلف بدن با پلاک ۵/۵ میلی‌متری در پیکربندی اول.

| کبد | معده | قلب | تیروئید | مری | تومور | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۰۶ | ۰/۰۷ | ۰/۵۶ | ۰/۹ | ۲/۴۷ | ۱۰۰ | بدون پلاک |
| ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۴۴ | ۰/۸ | ۱/۸۲ | ۱۰۰ | پلاک طلا |

جدول (۳): دوز میانگین در نواحی مختلف بدن با پلاک ۵/۵ میلی‌متر در پیکربندی ۴-۲.

| | تومور | مری | تیروئید | قلب | معده | کبد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بدون پلاک | ۱۰۰ | ۴/۸۶ | ۱/۴۸ | ۰/۹ | ۰/۱۱ | ۰/۰۸ |
| پیکربندی ۲ | ۱۰۰ | ۱/۵۹ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵ |
| پیکربندی ۳ | ۱۰۰ | ۲/۶۸ | ۰/۸ | ۰/۳۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۸ |
| پیکربندی ۴ | ۱۰۰ | ۲/۴۲ | ۰/۹ | ۰/۳۵ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ |

مقایسه دوز در تومور در پیکربندی های مختلف که در جدول گزارش نشده به صورت زیر است. در پیکربندی اول دوز جذبی در تومور در حالت بدون پلاک نسبت به حالتی که پلاک طلا و آلیاژ طلا قرار می‌گیرد، تفاوت چندانی ندارد. اما در پیکربندی دوم و چهارم این مقدار به به میزان اندکی افزایش می‌یابد. در پیکربندی سوم به دلیل قرار گرفتن چشمه‌ها در ماده سیلاستیک، تومور دوز خیلی کمی دریافت می‌کند. این در حالی است که میزان دوز جذبی در سایر بافت‌ها در تمام پیکربندی‌ها در حالت با پلاک طلا و آلیاژ طلا به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. به طور مثال، در پیکربندی اول درصد کاهش دوز در بافت حساسی چون قلب با اعمال پلاک طلا با ضخامت ۵/۵ میلی‌متر به میزان ۲۰/۴۵ درصد و در کبد ۵/۲۰ در صد کاهش و با اعمال پلاک آلیاژ طلا با همان ضخامت به ترتیب ۱۷/۱۷ و ۵/۵ در صد کاهش می‌یابد. این مقادیر در پیکربندی دوم به ازای پلاک طلا با ضخامت ۵/۵ میلی‌متر در بافت قلب و کبد به ترتیب ۷۶/۲۱ و ۳/۴۴ درصد و به ازای پلاک آلیاژ طلا به ترتیب ۶۸/۲۲ و۲۶/۴۴ در صد کاهش می‌یابد. در صد کاهش دوز در پیکربندی سوم به ازای پلاک طلا و آلیاژ طلا در دو بافت قلب و کبد به ترتیب ۷۵/۷۰، ۳۴/۳۸ و ۶۷/۵۸، ۲۸/۴۶ در صد می‌باشد. مقادیر در صد کاهش دوز در بافت‌ها در پیکربندی چهارم به مقادیر گزارش شده در پیکربندی دوم بسیار نزدیک می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:**

نتایج بررسی پارامترهای TG-43 برای چشمه ایریدیم شبیه سازی شده در این مقاله دلالت بر صحت شبیه سازی این چشمه دارد. با استفاده از این چشمه و استفاده از پلاک طلا و آلیاژ طلا در مجاورت این چشمه‌ها که در پیکربندی‌های مختلف برای درمان تومور مری از آنها استفاده شد نشان داد که استفاده از پلاک طلا با ضخامت ۵/۵ میلیتر بهینه‌ترین پیکربندی برای کاهش دوز در بافت های سالم اطراف تومور مری است. به عنوان مثال نسبت دوز در تومور به دوز در تیروئید در پیکربندی دوم منجر به افزایش ۸۱ درصدی نسبت به پیکربندی اول (عدم استفاده از پلاک) خواهد شد.

**مراجع :**

[1] Y. Zhang; “Epidemiology of esophageal cancer”; Pub Med, 19(34), 5598-5606, 14; (**2013**)

[2] N. Suntharalingam, E.B. Podgorsak, H.Tolli; "Brachytherapy Physical and Clinical Aspects"; Radiation Oncology Physics; (**2012**)

[3] L.P. Neves, W.S. Santos, R. Gorski, A.P. Perini, A.F. Maia, L.V.E. Caldas, G. Orengo; "Dosimertic study of a brachytherapy treatment of esophagus with Brazilian Ir-192 source using an anthropomorphic phantom"; Radiation Physics and Chemistry; Vol. 104, 240-243; (**2014**)

[4] M. J. Rivard, B. M. Coursey, L. A. Dewerd, W. F. Hanson, M. S. Huq, G. S. Ibbott, M. G. Mitch, R. Nath; "update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM Protocol for brachytherapy dose calculations"; Medical Physics, No. 3, Vol. 31, 633-679; (**2004**)

[5] R.E.P. Taylor, D.W.O. Rogers; "the CLRP TG-43 Parameter Data for brachytherapy"; Carleton laboratory for radiotherapy physics; (**2013**)

[6] R.E.P. Taylor, D.W.O. Rogers; "EGSnrc Monte Carlo calculated dosimetry parameters for $^{192}$Ir and $^{169}$Yb brachytherapy sources"; Medical Physics, No. 11, Vol. 35; (**2008**).