

## تعیین پارامترهای دزیمتری دومین دانه پالادیم-۱۰۳ تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی

غلامرضا رئیس علی<sup>۱\*</sup>، مهدی صادقی<sup>۲</sup>، حبیله عطائی نیا<sup>۳</sup>،  
ارزنگ شاهور<sup>۴</sup>، مریم قاسمی غنچه نازی<sup>۴</sup>

۱-پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۳۱۳۶۵، تهران- ایران

۲-پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی:

۳۱۴۸۵-۴۹۸، کرج- ایران

۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی هسته‌ای

۴- دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده پزشکی، گروه فیزیک پزشکی

### چکیده

دانه برآکی تراپی پالادیم-۱۰۳ NRCAM12 در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران، ساخته شده است. پارامترهای دزیمتری این دانه بر اساس پروتکل TG43-U1 با روش محاسبات مونته کارلو(کد MCNP4C) و اندازه گیری با استفاده از دزیمترهای TLD-GR200A در فانتوم پلکسی گلاس تعیین شد. ثابت آهنگ دز محاسبه شده با کد MCNP4C در آب برابر با  $(cGy \cdot h)^{-1} U^1 \pm 0.7\% / 0.72$  و در فانتوم پلکسی گلاس برابر با  $(cGy \cdot h)^{-1} U^1 \pm 0.1\% / 0.78$  تعیین شد. ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در آب  $\pm 0.116\%$ ، در پلکسی گلاس  $\pm 0.195\%$  و اندازه گیری شده در پلکسی گلاس  $\pm 0.112\%$  تعیین شد. اختلاف کمتر از  $10\%$  بین مقادیر بدست آمده از محاسبات مونته کارلو و اندازه گیریهای تجربی نشان‌دهنده صحت و اعتبار شیبیه سازی مساله و اندازه گیریهای انجام شده است. پارامترهای دزیمتری این دانه، با اولین دانه پالادیم-۱۰۳ ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی مقایسه شد. نتایج نشان داد که اولین دانه رفتار دزیمتری بهتری دارد.

کلید واژه‌ها: برآکی تراپی، دانه پالادیم-۱۰۳، پروتکل TG-43U1، محاسبات مونته کارلو، دزیمتری ترمولومینسانس.

### ۱- مقدمه

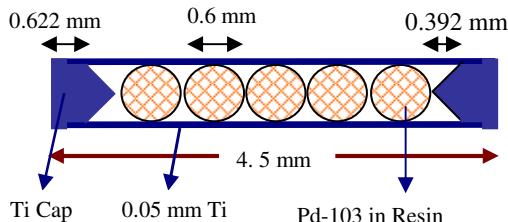
امروزه استفاده از رادیو نوکلئید  $^{103}\text{Pd}$  برای درمانهای برآکی تراپی داخل نسجی، مخصوصا سرطان پروستات افزایش یافته است[۱]. در همین راستا، پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی ایران اقدام به طراحی و ساخت انواع مختلف دانه پالادیم-۱۰۳ کرده است. هدف، انتخاب بهترین دانه از نظر دزیمتری، برای تولید نهایی است. لازم است مشخصات دزیمتری این دانه ها بطور دقیق اندازه گیری و محاسبه شود. برای بیان دقیق پارامترهای توزیع دز از پروتکل TG-43U1 که شامل فرمولبندی برای محاسبات دز و مجموعه داده هایی برای پارامترهای دزیمتری چشممه های برآکی تراپی است، استفاده می شود[۲]. در این

تحقیق پارامترهای دزیمتری دومین دانه پالادیم- $10^3$  ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی به روش محاسباتی مونته کارلو با استفاده از کد MCNP4C و روش تجربی با استفاده از دزیمترهای TLD-GR200A تعیین و با یکدیگر مقایسه شده است. همچنین پارامترهای دزیمتری این دانه، با اولین دانه پالادیم- $10^3$  ساخته شده، مقایسه شده است.

## ۲- مواد و روشها

### ۱-۲- توصیف دانه

دومین نمونه دانه پالادیم- $10^3$  ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی سازمان انرژی اتمی (NRCA12) (شکل ۱)، به صورت تیوب استوانه‌ای از جنس تیتانیوم با قطر داخلی ۰.۷ میلی‌متر و قطر خارجی ۰.۸ میلی‌متر و طول ۰.۵ میلی‌متر می‌باشد. کلاهک دانه از جنس تیتانیوم به طول ۰.۶۲۲ میلی‌متر و قطر داخلی ۰.۶۹۵ میلی‌متر و قطر خارجی ۰.۷۸۷ میلی‌متر ساخته شده است که به انتهای آن زائده‌ای مخروطی شکل به طول متوسط ۰.۳ میلی‌متر وصل شده است. داخل کپسول، پنج رزین کروی به قطر متوسط ۰.۶۲۳±۰.۰۴۵۹ میلی‌متر که پالادیم- $10^3$  بطور یکنواخت و به صورت حجمی در آنها توزیع شده است، قرار گرفته‌اند. رزین، یک نوع ماده آلی با دانسیتی  $1.14 \text{ g/cm}^3$  و ترکیبات N, 9.09%; C, 18.18%; H, 63.63%; O, 9.09% می‌باشد. با توجه به نحوه توزیع رزینهای اکتیو پالادیم، طول فعال مؤثر ( $L_{\text{eff}}$ ) برابر  $3/1$  میلی‌متر در نظر گرفته شد.



شکل ۱- دومین دانه رزینی پالادیم- $10^3$  تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی.

### ۲-۲- اندازه گیری توزیع دز اطراف دانه با استفاده از دزیمترهای TLD

توزیع دز اطراف دانه پالادیم- $10^3$  مدل NRCA12 با استفاده از دزیمترهای TLD-GR200A و در فانتوم پلکسی گلاس اندازه گیری شد. دزیمترهای TLD-GR200A به شکل قرصهایی به قطر ۰.۵ میلی‌متر و ضخامت ۰.۸ میلی‌متر می‌باشند<sup>[۴]</sup>. فانتوم بصورت حجمی مکعبی، به ابعاد  $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$  شامل ۱۵ صفحه پلکسی گلاس در نظر گرفته شد تا تمام پرتوهای پراکنده را در بر گیرد. صفحه میانی صفحه قرار گیری دانه و دزیمترهای TLD می‌باشد<sup>[۵]</sup>. دو نوع فانتوم پلکسی گلاس برای صفحه میانی در نظر گرفته شد<sup>[۷]</sup>. اولین فانتوم برای اندازه گیری تابع دز شعاعی و دومین فانتوم برای اندازه گیری تابع ناهمسانگردی چشممه طراحی گردید<sup>[۴]</sup>. دزیمترهای TLD پس از مراحل کالیبراسیون و گرمادهی<sup>[۳]</sup>، به همراه دانه در محلهای تعییه شده در فانتوم قرار داده و پرتودهی

شدند. با تکرار هر آزمون و بدست آوردن میانگین قرائت TLD ها، مقدار دز جذب شده در هر مکان توسط دزیمترهای TLD بدست می‌آید. فرمول محاسبه دز بصورت رابطه (۱) می‌باشد [۶].

$$\dot{D}(r, \theta) = \frac{R}{CF \times EF \times T} \quad (1)$$

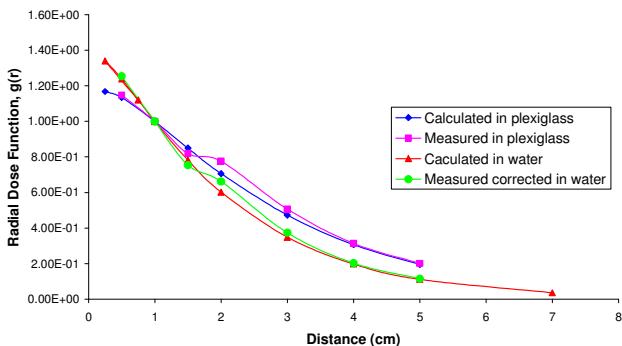
در این فرمول:  $\dot{D}(r, \theta)$  آهنگ دز در نقطه  $(r, \theta)$ ، R خوانش TLD با اعمال ضریب تصحیح تراشه‌های TLD (ECC) و کسر دز زمینه، CF فاکتور کالیبراسیون هر TLD (c/ $\mu$ Gy) برای پرتو کالیبره شده کیالت ۶۰، EF فاکتور تصحیح انرژی هر TLD برای چشممه پالادیم با انرژی ۲۰ keV که با توجه به مطالعات دیگران برابر با  $1/40$  در نظر گرفته شد [۲] و T مدت زمان پرتودهی قرص‌های TLD می‌باشد [۴].

### ۳-۲- محاسبات مونته کارلو

به منظور تایید روش تجربی، توزیع دز اطراف دانه  $^{103}\text{Pd}$  با روش محاسباتی مونت‌کارلو با بکارگیری کد MCNP4C تعیین شد. این کد جذب فوتوالکترویک و تابش اشعه ایکس مشخصه لایه‌های K و L و پراکنده‌گی کامپتون و ریلی را شبیه سازی می‌کند [۴، ۲]. دانه  $^{103}\text{Pd}$ -103 مدل NRCAM12، در مرکز کره‌ای فرضی به شاعع  $15\text{ cm}$  شبیه سازی شد. فانتوم به سلولهایی محصور به پوسته‌های کروی و مخروطی تقسیم شد. بدلیل کم بودن انرژی چشممه و برد کوتاه الکترونهای ثانویه تولید شده توسط فوتونهای گسیل شده از این چشممه، انتقال الکترونهای ثانویه شبیه سازی نشد و با فرض تعادل الکترونی، کرما با دز برابر در نظر گرفته شد [۴]. محاسبه توزیع دز در آب با استفاده از تالی F6 با تعداد تاریخچه‌های  $10^9 \times 1/8$  برای رسیدن به خطای زیر ۰/۰۵٪ انجام شد. پارامترهای دزیمتری دانه بر اساس پروتکل TG43-U1 تعیین شد. به منظور مقایسه با کار تجربی توزیع دز در فانتوم پلکسی‌گلاس با استفاده از تالی F4 به همراه ضرایب تبدیل شار به دز در آب محاسبه گردید. فانتوم جامد به جنس پلکسی‌گلاس ( $\text{C}_5\text{O}_2\text{H}_8$ ) و با دانسیته  $1/19\text{ g/cm}^3$  شبیه سازی گردید.

### ۳- نتایج و بحث

ثابت آهنگ دز دانه پالادیم-۱۰۳ تولید شده، در فانتوم آب برابر با  $(\text{cGyh}^{-1}\text{U}^{-1})^{1/0.072} \pm 0.076$  و در فانتوم پلکسی‌گلاس برابر با  $(\text{cGyh}^{-1}\text{U}^{-1})^{1/0.078} \pm 0.050$  محاسبه شد.تابع دز شعاعی محاسبه شده توسط روش مونت‌کارلو در فانتوم‌های آب و پلکسی‌گلاس با مقادیر اندازه‌گیری شده با دزیمترهای TLD در فانتوم پلکسی‌گلاس و تبدیل شده در آب مقایسه گردید و نتایج در جدول ۱ و شکل ۲ آمده است. متاسفانه هنگام انجام آزمایش تجربی دانه خم شد. انحنای نمودار تابع دز شعاعی اندازه گیری شده در فانتوم پلکسی‌گلاس بدلیل خم شدن دانه می‌باشد که باعث ۹٪ اختلاف بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار محاسبه شده در نقطه دو سانتیمتر و ۷٪ اختلاف بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار محاسبه شده در نقطه سه سانتیمتر شده است. این اثر هنگام تبدیل مقادیر اندازه گیری شده با دزیمترهای TLD در فانتوم پلکسی‌گلاس به مقادیر تصحیح شده در فانتوم آب نیز مشهود است. در سایر نقاط خطای کمتر از ۴٪ مشاهده می‌شود. در جدول ۲ تابع ناهمسانگردی این دانه که با روش مونته کارلو در آب و بر اساس پروتکل TG43-U1 محاسبه شده است آمده است. عدم



قطعیت روی محور طولی بیشترین مقادیر را دارد. نمودارهای شکلهای ۲-الف تغییرات تابع ناهمسانگردی را در آب، در فاصله‌های مختلف از مرکز دانه بر حسب زاویه نشان می‌دهد.

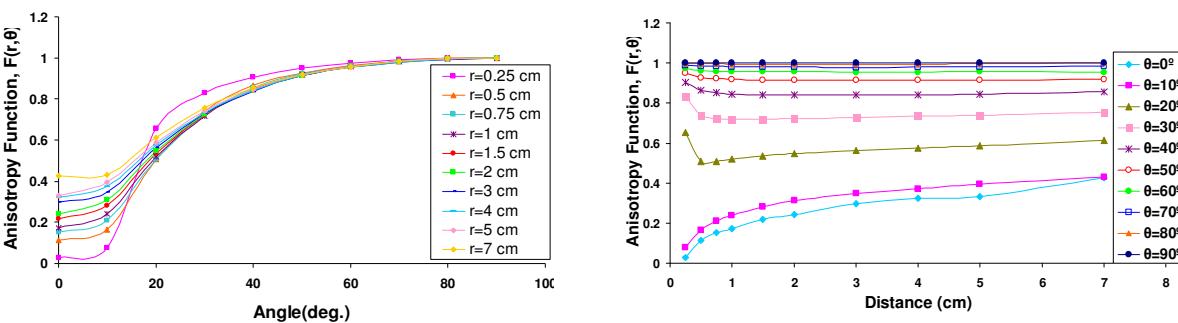
شکل ۲- مقایسه تابع دز شعاعی محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتوم‌های آب و پلکسی‌گلاس و اندازه‌گیری شده با دزیمترهای TLD در فانتوم پلکسی‌گلاس و

تبدیل شده در آب برای فواصل مختلف از چشمیه برای دومین نمونه چشمیه دانه‌ای پالادیم  $10^{3}-10$  تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی و پژوهشی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی. انحنای نمودار تابع دز شعاعی اندازه گیری شده در فانتوم پلکسی‌گلاس بدليل خم شدن دانه می‌باشد. این اثر در نمودار مقادیر اندازه گیری شده در فانتوم پلکسی‌گلاس و تعیین شده در آب نیز مشهود است.

جدول ۱- تابع دز شعاعی دانه NRCAM12. اندازه گیری شده با دزیمترهای TLD و محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتوم آب و پلکسی‌گلاس.

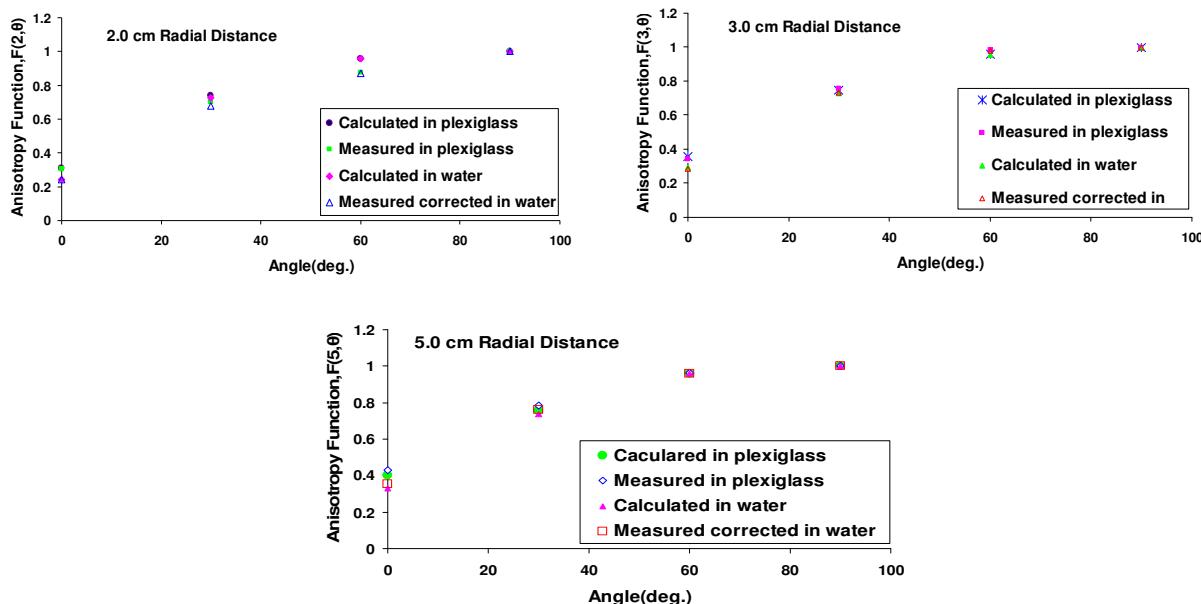
Distance(cm)	TLD Measured (plexiglass)	MCNP Calculated(plexiglass)	MCNP Calculated (Water)
0.25			1.34
0.5	1.15	1.17	1.24
0.75		1.13	1.12
1	1	1	1
1.5	0.819	0.850	0.783
2	0.776	0.706	0.602
3	0.507	0.473	0.348
4	0.313	0.306	0.198
5	0.201	0.195	0.111
7			0.0354

همانطور که از نمودارها بر می‌آید، برای همه فواصل، در زاویه صفر درجه ناهمسانگردی بیشترین مقدار را دارد و بتدریج با افزایش زاویه کاهش می‌یابد. شکل ۳-ب تغییرات تابع ناهمسانگردی را در آب، در زوایای مختلف، بر حسب فاصله از مرکز دانه نشان می‌دهد. در زوایای کوچکتر، ناهمسانگردی زیاد و وابستگی محسوسی به فاصله وجود دارد. این وابستگی به فاصله، در زوایای بزرگتر کاهش می‌یابد. در نمودارهای رسم شده در شکل ۴ تابع ناهمسانگردی محاسبه شده توسط روش مونت‌کارلو در فانتوم‌های آب و پلکسی‌گلاس با مقادیر اندازه گیری شده با دزیمترهای TLD در فانتوم پلکسی‌گلاس و تبدیل شده در آب مقایسه شده است.

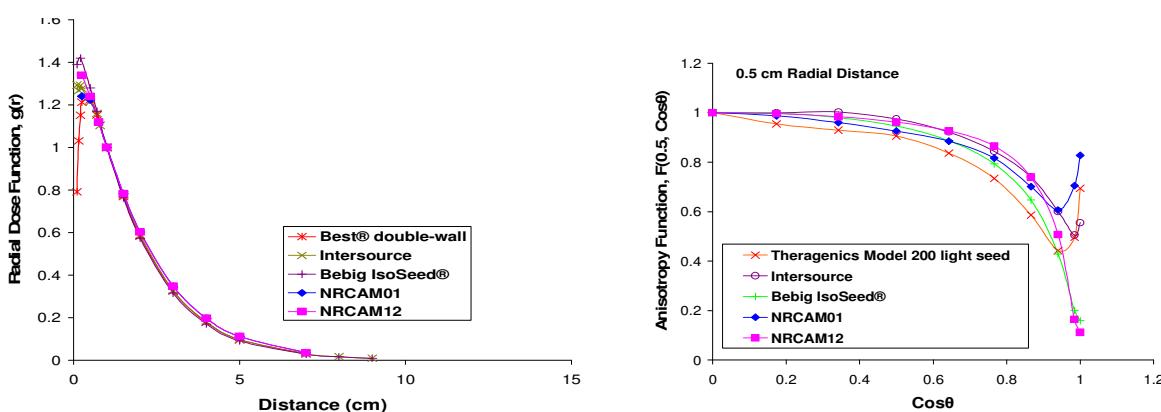


شکل ۳- تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای دانه NRCAM12 : (الف) تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای فاصله‌های مختلف از مرکز دانه بر حسب زاویه، (ب) تغییرات تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب برای زوایای مختلف از مرکز دانه بر حسب فاصله.

اختلاف مقادیرتابع ناهمسانگردی بدست آمده از اندازه‌گیری و محاسبه  $1/0\%$  تا  $9\%$  است. ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در فانتوم‌های آب و پلکسی‌گلاس به روش مونت‌کارلو با مقادیر اندازه‌گیری شده با دزیمترهای TLD مقایسه گردید. ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در آب  $886\%$ ، محاسبه شده در پلکسی‌گلاس  $895\%$  و اندازه‌گیری شده در پلکسی‌گلاس  $882\%$  تعیین شد. به منظور مقایسه این دانه با اولین دانه پالادیم- $103$  ساخته شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (NRCAM01)، تابع دز شعاعی و تابع ناهمسانگردی این دانه‌ها و چند دانه پالادیم- $103$  ساخته شده در دنیا که توسط سایر محققین دزیمتری شده‌اند، در نمودارهای شکل‌های ۵-الف و ۵-ب آورده شده است. ثابت ناهمسانگردی محاسبه شده در آب دانه NRCAM01 برابر با  $922\%$  تعیین شده است.

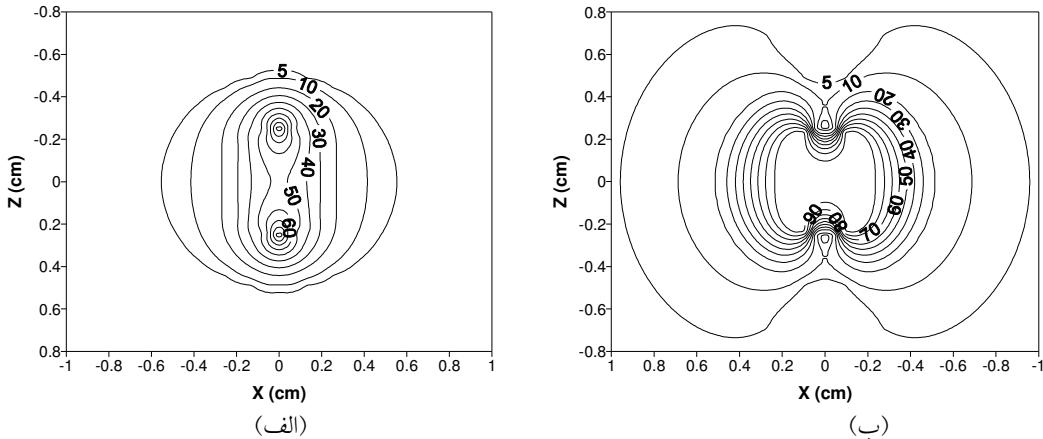


شکل ۴- مقایسه تابع ناهمسانگردی محاسبه شده با کد MCNP4C در فانتوم‌های آب و پلکسی‌گلاس و اندازه‌گیری شده با دزیمترهای TLD در فانتوم پلکسی‌گلاس و تبدیل شده در آب برای زوایای مختلف در فاصله‌های  $2$ ،  $3$ ،  $5$  سانتی‌متر برای دانه NRCAM12.



ل-۵- (الف) مقایسه تابع دز شعاعی محاسبه شده در آب مربوط به دانه NRCAM12 و دانه NRCAM01 با تابع دز شعاعی محاسبه شده چند دانه پالادیم- $103$  ساخته شده در دنیا، (ب) مقایسه تابع ناهمسانگردی محاسبه شده در آب در فاصله  $0.5$  سانتی‌متراز مرکز چشم مربوط به دانه NRCAM12 و دانه NRCAM01 با تابع ناهمسانگردی محاسبه شده چند دانه پالادیم- $103$  ساخته شده در دنیا.

با استفاده از دزهای بدست آمده در فانتوم آب با کد MCNP4C و تالی F6، منحنیهای ایزو دز دانه های NRCAM01 و NRCAM12، رسم شده و در شکل ۶ آمده اند. محور Z در راستای محور طولی دانه است.



شکل ۶- منحنیهای ایزو دز رسم شده با استفاده از محاسبات مونت کارلو برای: (الف) دانه NRCAM01 و (ب) دانه NRCAM12

#### ۴- نتیجه گیری

پارامترهای دزیمتری دومین چشمیه دانه‌ای  $Pd-103$  تولید شده در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، توسط محاسبات مونت کارلو و روش تجربی براساس توصیه‌های پروتکل TG-43U1 تعیین شدند. اختلاف کمتر از ۱۰٪ بین نتایج بدست آمده از محاسبات و اندازه‌گیری، نشاندهنده صحت و اعتبار شبیه‌سازی دانه و اندازه‌گیری انجام شده در این تحقیق می‌باشد. مقایسه پارامترهای دزیمتری این دانه با اولین دانه ساخته شده در شکلهای ۵ و ۷ نشان می‌دهد که دانه NRCAM01 رفتار دزیمتری بهتری دارد. همچنین پارامترهای دزیمتری این دانه با دیگر دانه‌های تولید شده توسط سایر محققین مقایسه شد. نتایج در شکلهای ۵ و ۶ نشان می‌دهد که دانه‌های NRCAM01 و NRCAM12 در حد استانداردهای جهانی می‌باشند.

#### مراجع

- 1- Bernard S., Vynckier S., "Dosimetric study of a new polymer encapsulated palladium-103 seed". Phys. Med. Biol. 50:1493-1504, January 2005.
- 2- Rivard M. J., Coursey B. M., DeWerd L. A., Hanson W. F., Huq M. S., Ibbott G. S., Mitch M. G., Nath R., Williamson J. F., "Update of AAPM Task Group No.43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations". Med. Phys. 31(3):633-674, March 2004.
- 3- PTW. "TL Detectors". D577.131.0/2: 1-9,
- 4- Anagnostopoulos G., Baltas D., Karaiskos P., Sandilos P., Papagiannis P. and Sakellou L., "Thermoluminescent dosimetry of the selectseed  $^{125}I$  interstitial brachytherapy seed". Med. Phys. 29(5), May 2002.
- 5- مریم قاسمی غنچه نازی، "تعیین پارامترهای دزیمتری چشمیه پلاذریم-۱۰۳ با استفاده از دزیمتر TLD و روش شبیه‌سازی مونت کارلو"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اساتید راهنمای: غلامرضا رئیس علی، پروانه شکرانی، ۱۳۸۵.
- 6- Meigooni A. S., Bharucha Z., Yoe-Sein M., Sowards K., "Dosimetric characteristics of the Best double-wall  $Pd^{103}$  brachytherapy source". Med. Phys., 28:2568-2575,2001.