مقاله تحقیقی

مجلهٔ دانشگاه علوم پزشکی بابل
دوره پانزدهم، شمارهٔ ۲، اسفند۱۳۹۱، صفحه ۳۷-۳۱

# افزایش دز جذبی پرتوهای مگاولتاژ در ژل پلیمر دزیمتر حاوی نانوذرات طلا

محبوبه خادم ابوالفضلی(MSc)[۱]، سیدربیع مهدی مهدوی(PhD)[۲]، محمد مهدوی(PhD)[۳]، غلامرضا عطایی(MSc)[۱*]

۱- گروه پرتوپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بابل
۲- گروه فیزیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- گروه فیزیک هسته ای، دانشگاه مازندران

دریافت: ۹۱/۱/۹، اصلاح: ۹۱/۴/۱۴، پذیرش: ۹۱/۸/۱۷

## خلاصه

**سابقه و هدف:** امروزه تنها روش دزیمتری سه بعدی با استفاده از ژل های پلیمری حساس به پرتو می‌باشد، که در دهه اخیر به آن توجه چشمگیری شده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی مقدار افزایش دز جذبی با بکارگیری توزیع یکنواخت نانوذرات طلا به عنوان یک ماده کنتراست‌زا با عدد اتمی بالا در ژل پلیمر MAGICA می‌باشد.

**مواد و روشها:** در این مطالعه تجربی و شبیه سازی، از دزیمتر ژل پلیمری نوع MAGICA برای اندازه‌گیری مقدار افزایش دز جذبی پرتوهای مگاولتاژ با افزودن نانوذرات طلا که تحت تابش پرتو ایکس با انرژی ۱۸ MV از شتابدهنده خطی قرار گرفتند، استفاده شد. مراحل خوانش مقدار دز با کمک تصویربرداری MRI انجام گرفت و سپس با استفاده از کد محاسباتی MCNPX شبیه سازی شد و نتایج آن با آزمایش تجربی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت.

**یافته ها:** پاسخ دز ژل پلیمرMAGICA در محدوده دز ۰ تا ۶۰۰ سانتی گری خطی و قدرت تفکیک دز در ترازهای دز کمتر از ۳۰۰ سانتی گری، کمتر از ۰/۷ گری بوده است. فاکتور افزایش دز جذبی با اضافه شدن نانوذرات طلا به غلظت‌های ۰/۱ mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM به ترتیب ۱۰٪ ، ۲٪ و ۴٪ بوده است. همچنین فاکتور افزایش دز جذبی که با استفاده از کد محاسباتی MCNPX شبیه سازی شد برای غلظت‌های ۰/۱ mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM به ترتیب ۱۰٪ ، ۲٪ و ۳٪ بوده است.

**نتیجه گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه غلظت نانوذرات طلا برای رسیدن به بیشینه دز جذبی در هر دو مطالعه تجربی و شبیه سازی ۰/۱ mM می باشد، که برای انجام مطالعات کلینیکی می‌توان از آن استفاده کرد.

**واژه های کلیدی: دزیمتری، ژل پلیمر دزیمتر، مواد کنتراست‌زا، نانوذرات طلا.**

## مقدمه

در حال حاضر در مراکز پرتودرمانی جهت تأئید تکنیک‌های انتقال پرتویی از دزیمترهایی مانند دزیمترهای گرمالیان، چمبرهای فارمر و غیره استفاده می‌شود. هر کدام از این دزیمترها محدودیت و کاستی‌هایی داشته که آنها را در استفاده از ارزیابی کیفیت پرتو درمانی سه بعدی جهت دار با مشکل روبرو ساخته است (۱). ژل‌های پلیمری، کاربردهای مختلف کلینیکی در دزیمتری پایه ای شامل توزیع دز، تعیین دز درونی و سنجش یکنواختی بافت دارند (۲). توانایی ثبت دز در سه بعد، ژل‌های پلیمری را جزء ابزار جذاب دزیمتری برای اندازه گیری و صحت توزیع دز ساخته است. ژل‌های پلیمری را می‌توان برای تائید توزیع دز در فانتوم که با استفاده از طراحی درمان در رادیوتراپی کانفورمال بدست آمده، استفاده کرد (۳). همچنین کاربرد آنها در بررسی درمان IMRT(Intensity Modulated Radiotherapy) و تضمین کیفیت معمول اثبات گردیده است (۴). ژل‌های پلیمری به عنوان دزیمترهای سه بعدی برای تعیین شیب گرادیان دز و توزیع دز چشمه‌های براکی تراپی HDR (High Dose Rate) و LDR (Low Dose Rate) قابل استفاده می‌باشند (۵). علاوه بر آن استفاده از ژل‌های پلیمری در اندازه گیری توزیع دز ۳ بعدی در پرتوهای پروتون و یونهای سنگین نیز به طور چشمگیری موفقیت آمیز می‌باشند (۸-۶). مطالعه Farajollahi و همکارانش در استفاده از ژل‌های پلیمری در بورون نوترون کپچر تراپی (BNCT) نتایج قابل توجهی را در افزایش پاسخ دز در ژل پلیمر nPAG مضاعف با بور در مقایسه با nPAG بدون بور نشان داده است (۹). همچنین این مطالعه نشان داد که ژل‌های پلیمری می توانند عناصر دیگری مانند بور را در خود جای دهند. بعلاوه مطالعات دزیمتریی در درمان با رادیوتراپی با استفاده از داروهای unseald یدا۱۳۱ و فسفر ۳۲ قرار گرفته است (۱۰). بدلیل ویژگی هایی از قبیل

▣ این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی به شماره ۹۰۳۱۷۲۱ دانشگاه علوم پزشکی بابل می باشد.

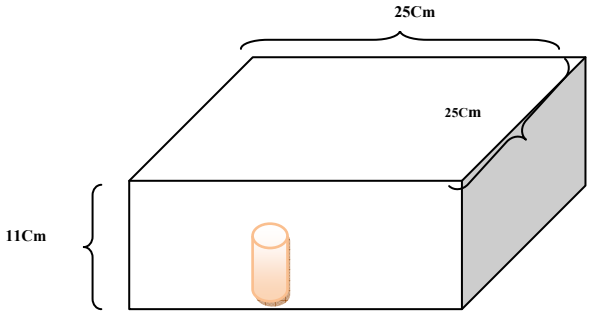
* مسئول مقاله:
آدرس: بابل، دانشگاه علوم پزشکی، دانشکده پیراپزشکی، گروه پرتوپزشکی، تلفن: ۲۲۳۴۱۴۲-۰۱۱۱
e-mail: golamrezaatae@yahoo.com

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]

پایداری، تمامیت فضایی، حساس نبودن به دما، وابستگی بـه آهنـگ دز، مسـتقل بودن نسبت به انـرژی و معـادل بافـت بـودن ژل‌هـای پلیمـری موجـب شـد تـا کاربردهای وسیعی داشته باشند (۲)، درکنار مزیت‌های فـراوان ژل‌هـای پلیمـری، محدودیت هایی مانند وقت گیر بودن آزمایشات ژل نیز وجود دارد، بطوریکه تمـام فرآیند از ساخت، تابش و خوانش آن به حداقل ۴۵ ساعت زمان برای کامل شـدن نیاز دارد (۲). همچنین آلودگی اکسیژن پیامد مهمی است که در دزیمتـری بـا ژل پلیمر باید مورد توجه قرار گیرد. این امر با استفاده از ویال هـای بـارکس (شیشـه هایی با درزگیری عالی) و دستورالعمل تجربی که بـه منظـور اجتنـاب از آلـودگی اکسیژن در ژل هاست، انجام خواهد شد. البته پارامترهـای تجربـی از قبیـل دمـا، آهنگ دز و پارامترهای اسکن باید کنترل و بهینه شود تا نتایج دارای عدم قطعیت کم، تکرارپذیر و قابل اعتماد باشند. در ژل دزیمتر، عامـل کنتراسـت را مـی تـوان داخل خود دزیمتر وارد کرد و سپس اثرات این مواد را بطور مستقیم تعیـین نمـود. ویژگی معادل بافت بودن ژل پلیمرها، می‌تواند آنها را به عنوان یک فـانتوم خـوب برای شبیه سازی بدن انسان معرفی نماید. انـدازه گیـری فیزیکـی در افـزایش دز تولید شده بوسیله مواد با عدد اتمی بالا با انواع دزیمترهای دیگر مانند فـیلم هـا و چمبر های یونیزان کاملاً پیچیده و مشکل است. هر چنـد تـاکنون تـلاش هـایی برای استفاده از این دزیمترها شده است (۱۲و۱۱). استفاده از این دزیمترهـا دارای محدودیت هایی است بنابراین محققان باید روی شبیه سازی مونت کارلو یا اندازه گیـری بیولـوژیکی بـرای بدسـت آوردن نتـایج invivo و invitro اتکاءکننـد. Heufelder و همکـارانش در کنـار کـار اصـلی خـود یعنـی انجام GNRT درون-تنی بر روی موش، کد EGS4 را برای برآورد دز سلولها و رگهای در برگیرنـده طـلا، بکـار بردنـد (۶). Cho انـدازه فـاکتور افـزایش دز (DEF) ناشی از نانوذره طلا را با بکارگیری شـبیه‌سـازی مونـت‌کـارلو و چنـدین فانتوم آزمون بدست آورد او DEF را برای چشمه‌های پرتوهای x-، ۱۴۰kVp و پرتوهای گامای چشمه براکـی‌تراپـی $^{192}Ir$ و باریکـه فوتـونی بـا انـرژی ۴ MV و۶ MV را در غلظت‌های گوناگون نانو ذره طلا بدست آورد (۱۳). اندازه گیریهای فیزیکی افزایش دز تولید شده نیز با مواد دارای عدد اتمی بـالا در ژل پلیمـرهـای اکسیژنه با استفاده از ید انجام شد (۱۵و۱۴). ایـن مطالعـات نشـان داد کـه عامـل کنتراست می تواند به nPAG اضافه شده، بدون اینکـه تغییـری در خصوصـیت خطی بودن دز در ژل یا هر اثر دیگری در اسکن MRI ایجاد کند. در این تحقیق مقدار فاکتور افزایش دز جـذبی در ژل پلیمـر MAGICA و اثـرات مربـوط بـه خصوصیات این ژل پلیمر با وارد کردن نانوذرات کلوئیدی طلا در ژل که به عنوان عنصری با عدد اتمی بالا مجسوب می شود، تحت تابش انرژی مگـا ولتـاژ مـورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روشها

**شبیه سازی مونت کارلو:** کد MCNPX یکی از نرم افزارهایی اسـت که کاربرد فراوان در زمینه دزیمتری و طراحـی درمـان دارد. از قابلیـت هـای کـد امکان به کار گیری مواد مختلف به صورت ترکیب یا آلیاژ می باشد. در این پـروژه از شتابدهنده خطی Varian۲۱۰۰C/D که دارای انرژی تابشی مختلف الکترون و فوتون پرتو ایکس بوده، استفاده شد. برای این طرح تمام اجزا و هد دسـتگاه بـا ساده سازی لازم شبیه سازی شد. شبیه سازی فـانتوم بـا انـرژی ۱۸ MV بـرای پلیمر ژل دزیمتـر MAGICA و GN_MAGICA مکعبـی بـا ابعـاد $cm^3$ ۱۱×۲۵×۲۵ در نظر گرفته شد. استوانه‌ای به قطر ۲/۵ cm و به ارتفاع ۸ cm که از ترکیبات ژل پلیمر پر شده بود، در فاصله ۳ cm زیر سطح مکعبـی شـکل قـرار گرفت (شکل ۱). برای اندازه گیری درصد دز عمقی، استوانه‌ای به قطر ۲/۵ cm و ارتفاع ۸ cm در نظر گرفته شد بگونه ای کـه منطقـه اسـتوانه‌ای ژل را کـاملاً محاط کرد. این استوانه دیسکی شکل به ۴۰ سـلول ۲ mm تقسـیم بنـدی شـد. تعداد ذات ترابرد شده در ایـن فـانتوم $۹/۵\times۱۰^{۸}$ در نظـر گرفتـه شـد، تـا کـاهش واریانس و کمترین خطا را داشته باشد. با اجرای کد، انـرژی واگـذار شـده در هـر سلول با تالی F8 بدست آمد.




**شکل ۱. مدل شبیه سازی شده فانتوم ژل پلیمر با نانو ذرات طلا**

بـا اسـتفاده از کـد MCNPX، ضـریب تضـعیف جرمـی ژل پلیمـر MAGICA را برای سطح مقطع‌هـای مربـوط بـه پدیـده‌هـای فوتوالکتریـک، کمپتون، رایلی و تولید جفت بررسی و با ضریب تضعیف جرمی آب مقایسه شد.

**ساخت ژل:** ژل مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلیمـر نورموکسـیک بـا نـام اختصاری MAGICA بوده اسـت. روش سـاخت ژل مشـابه روش ارائـه شـده توسط Zahmatkesh و همکارانش بود (۱۶). جهت ساخت هـزار گـرم از ایـن نوع ژل، ۸۰ گرم ژلاتین (۲۵۰ بلوم، نوع A )، ۹۰ گرم اسید متاآکریلیـک، ۰/۳۵۲ گرم اسید آسکوربیک، ۰/۰۱۵ گرم سولفات مس پنتاهیدرات، ۲ گرم هیـدروکینون، ۵ گرم آگاروز و ۸۲۳ میلی لیتر آب دیونیزه شده مورد نیاز است. ابتدا ژلاتین و آب دیونیزه شده تا دمای ۵۰ درجه سانتی گراد بـه کمـک هیتـر- اسـتیر هـم زده و حرارت داده شدند. سپس آگاروز را در دمای ۴۷ درجه سانتی گراد اضـافه نمـوده و پس از کاهش دمای ترکیب به ۴۵ درجه سانتی گـراد، هیـدروکینون اضـافه شـد. وقتی دمای ترکیب به ۳۷ درجه سانتی گراد رسید به ترتیب سایر مواد شامل اسـید آسکوربیک، سولفات مس و اسید متاآکریلیک اضافه شد. البته دما در حین فرآینـد ساخت به دقت به کمک دماسنج الکلی مورد اندازه‌گیری قرار گرفـت کـه پـس از رسیدن دمای ژل در حدود ۳۰ درجه سانتی گراد، ژل به سه قسمت مسـاوی ۲۱۰ میلی لیتری و یک قسمت ۳۷۰ میلی لیتری تقسیم شد. برای هـر قسـمت از ۲۱۰ میلی لیتری، نانوذرات طلا با غلظـت ۰/۱ mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM بـه آن اضافه شد و به روش مکانیکی با ژل، همزده شد بطوریکه ترکیب یکنواخت از ژل پلیمر بدست آمد. نانوکلوئید طلای موجود با غلظت C=۷۰۰۰ppm یـا mg/ml C=۷ است که به قطر ۵۰ نانومتر در شرکت (پیام آوران نانو فردانگر) PNF تولید و تهیه شده است.

یـک قسـمت ۳۷۰ میلـی لیتـری نیـز بـرای بررسـی خصوصـیات ژل MAGICA استفاده گردید و بعد از رسیدن دمای ژل ها به حدود دمـای اتـاق،

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]

نـانو ژل‌هـای GN_MAGICA(Gold Nano_MAGICA) را درون شیشه های مکارتی ۴۰ میلی لیتری و ژل‌های MAGICA را درون فالکونهای ۱۶ میلی لیتری ریخته و پـس از بسـته نمـودن درب آنهـا بـه کمـک پـارافیلم و درپوش، در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگه داری گردید تا قوام یابند.

**پرتـــودهی:** تـابش دهـی بـه شیشـه هـای مکـارتی حـاوی ژل GN_MAGICA و لوله های فالکونی حاوی ژلMAGICA، ۲۴ سـاعت پس از ساخت ژل با استفاده از شتابدهنده خطی Varian2100c پرتو فوتـونی با انرژی ۱۸ مگاولت انجام شد. جهت انجام کالیبراسیون ۱۲ لوله فالکونی حـاوی ژلMAGICA با ترازهای دز ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ سانتی گری مورد تابش دهی قرار گرفتند. یکی از لوله ها نیز بعنوان شاهد تابش دهی نشد. چـون در ایـن تحقیق دز تحویلی در ژل ۵۰۰ سانتی‌گری بوده است، از این محدوده ترازهـای دز استفاده شده است. این روش کالیبراسـیون، روش خـارجی نـام دارد (۱۷). سـپس شیشه های مکارتی حـاوی ژل پلیمـر GN_MAGICA بـا چیـدمان کـاملاً تصادفی به مقدار ۵۰۰ سانتی گری مورد تابش دهی قرار گرفتند. برای تابش دهی ژل پلیمر GN_MAGICA فاصله میدان تا سطح (SSD)، انـدازه میـدان و زمان تابش دستگاه به ترتیب برابر ۱۰۰ سانتیمتر، ۲۵×۲۵ سانتیمتر مربـع و MU ۴۲۴ تنظیم شد. ضریب کالیبراسیون اعمال شده برای زمان تابش دستگاه نسـبت به دز (MU/cGy) برابر ۰/۰۱۱۸ بـوده اسـت. همچنـین جهـت حفـظ تعـادل الکترونی، لوله های فالکونی و شیشه های مکارتی حاوی ژل در یک ظرف مکعبی شکل از جنس پرسپکس به ابعاد ۱۰×۲۵×۲۵ سـانتیمتر مکعـب و پـر از آب قـرار گرفتند.

**تصویربرداری:** تصـویربرداری از لولـه هـای فـالکونی حـاوی ژل پلیمـر MAGICA و شیشه های حاوی ژل پلیمر GN_MAGICA به صـورت همزمان و ۲۴ ساعت بعد از تابش دهی انجام شد. این فاصله زمانی جهت کـاهش خطا و تثبیت فرایند پلیمریزاسیون در ژل تابش دیده در نظـر گرفتـه شـد. جهـت تصـویربرداری از دسـتگاه ام آر آی سـاخت شـرکت زیمـنس واقـع در انیسـیتو پرتوپزشکی نوین تهران با قدرت ۰/۵ تسلا به همراه کویل سر اسـتفاده شـد. کـه فانتوم ژل‌ها در مرکز کویل سر قرار داده شد. همچنین به منظور هم دمـایی ژل و به حـداقل رسـانیدن تغییـرات دمـا حـین تصـویربرداری، لولـه هـای فـالکونی و شیشه های مکارتی به مدت ۳ ساعت درون اتاق ام آر آی نگهداری شدند و سپس تصویربرداری انجام شد (جدول ۱).

**جدول ۱. پروتکل تصویربرداری ام آر آی استفاده شده در این مطالعه (۱۶)**

| | |
|---|---|
| زمان تکرار(میلی ثانیه) | ۱۵۰۰ |
| زمان اکو(میلی ثانیه) | ۲۰-۱۶۰ |
| تعداد اکو ها | ۸ |
| اندازه میدان(میلیمتر) | ۲۳۰ |
| اندازه ماتریس (میلیمتر مربع) | ۲۵۶×۲۵۶ |
| میانگین تعداد تحریکها | ۳ |
| Shimming | done |
| تعداد اسلایس | ۵ |
| Thickness slice(کات دایروی) | ۵ میلیمتر |
| Thickness slice(فالکون ها) | ۳ میلیمتر |

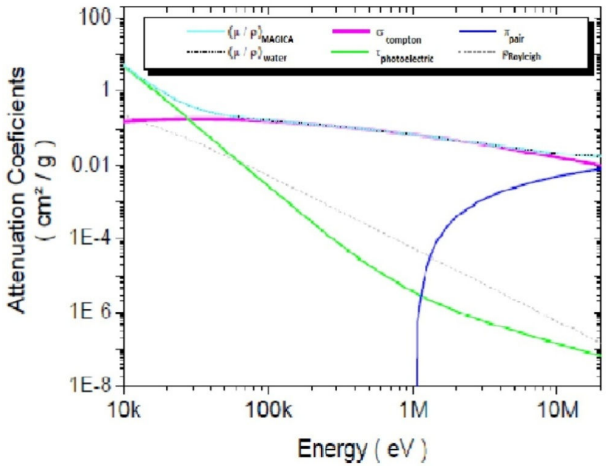
سپس تصاویر پایه ای ام آر آی به رایانه منتقل شـده و بـا اسـتفاده از یـک برنامـه محاسـباتی در محـیط نـرم افـزار Matlab (Math works) MATLAB$^{TM}$ (Version7.3.0.2.6) نقشـه $R_2(=1/T_2)$ و دز بـرای شیشه های مکارتی در عمق ۵ میلیمتری اندازه گیری شد. همچنین از لولـه‌هـای فالکونی با دز تابشی معلوم نیز، اندازه‌گیری و منحنی پاسخ دزیمتر ژلـی یـا همـان $R_2$-Dose به عنوان منحنی کالیبراسیون رسم گردید. مقدار فـاکتور افـزایش دز جذبی پس از بدست آوردن مقدار $R_2$ نسبت به غلظت نانوذرات مورد مطالعـه بـا استفاده از برنامه MATLAB$^{TM}$ از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$DEF = \frac{R_{2(GN_MAGICA)} - R_{2(MAGICA)}}{R_{2(MAGICA)}} \quad (۱)$$

## یافته ها

محاسبات شبیه سازی نشان داد که میزان فاکتور افـزایش دز جـذبی بـرای نانوذرات با غلظت‌های ۰/۱mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM بر اسـاس رابطـه (۱) به ترتیب برابر ۹/۲۸٪ ، ۱/۵٪ و ۳/۸۸٪ است.

با توجه به خروجی حاصل از محاسبات شـبیه سـازی مونـت کـارلو بـا کـد MCNPX، ضـریب تضـعیف جرمـی ژل پلیمـر MAGICA در مقایسـه بـا ضریب تضعیف جرمی آب برای انرژی های بالاتر از۱۰ Kev تطـابق مناسـبی را نشان داد (شکل ۲).




**شکل ۲. نمودار ضریب تضعیف جرمی بر حسب انرژی در ژل پلیمر MAGICA با استفاده از کدMCNPX .**

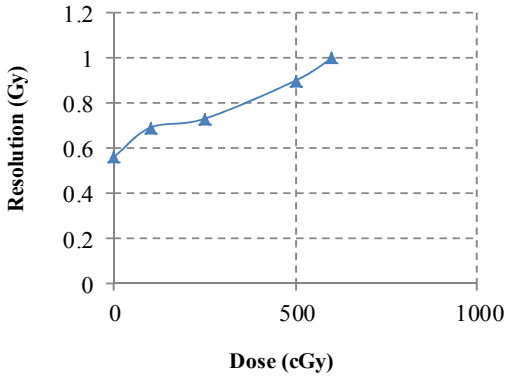
البته پاسخ ژل دزیمتر مورد مطالعه طبق نتایج آزمایشگاهی در محدوده دز ۰ الی ۶۰۰ سانتی گری خطی است($r^2$=0.9723). حساسیت به دز در این ناحیه برابر با $^{-1}$ (ثانیه.سانتی گری) ۰/۰۱۰۹ و مقدار $(R_2)_0$ برابر با $^{-1}$ (ثانیه.سانتی گری) ۹/۶۷۵ است. منحنی کالیبراسیون دزیمتر ژل پلیمر MAGICA که همان پاسخ دز یا تغییرات $R_2$ برحسب دز تابشی را نشان می دهد (شکل ۳).

همچنین با استفاده از رابطه (۲) قدرت تفکیک دز محاسبه شد.

$$D_{\Delta}^{P} = k_P\sqrt{2}\sigma_D \quad (۲)$$

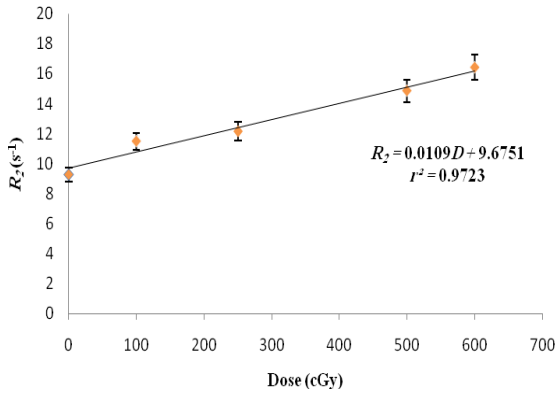
در این رابطه $\sigma_D$ میزان انحراف از معیار استاندارد $R_2$ می‌باشد و $k_P$ فاکتور پوشش است که توسط سازمان بین المللی استاندارد (ISO) برای سطح اطمینان مختلف اعلام شده است. $k_P$ برای سطح اطمینان ۹۵٪ در این مطالعه ۱/۹۶ استفاده شده است (۱۸).

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]



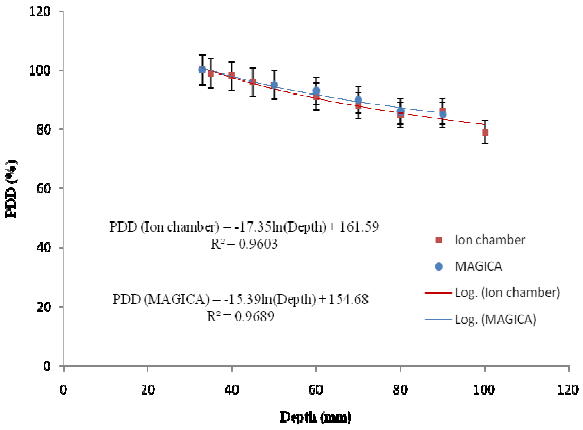

**شکل ۳. منحنی کالیبراسیون ژل پلیمر MAGICA**

در نمودار قدرت تفکیک دز، قدرت تفکیک دز برای ترازهای دز کمتر از ۳۰۰ سانتی گری، کمتر از ۰/۷ گری بود که این کمیت برای دزهای بالاتر تا ۱ گری افزایش می یابد (شکل ۴).



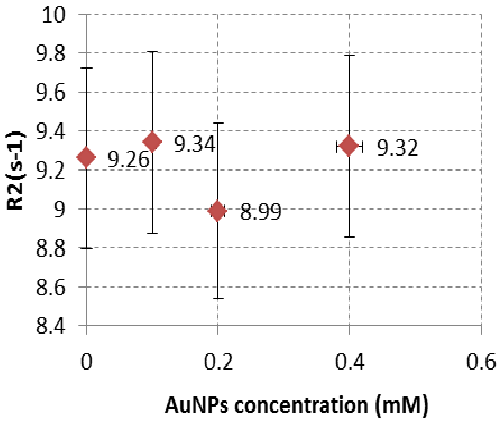

**شکل ۴. منحنی قدرت تفکیک دز برای سطح اطمینان ۹۵٪**

در این تحقیق برای تأیید رفتار دزیمتری ژل پلیمر MAGICA از دزیمتر اتاقک یونش فارمر (PTW) استفاده شد و منحنی درصد دز عمقی هر دو دزیمتر با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۵). در این مقایسه تطابق مناسبی بین درصد دز عمقی اتاقک یونش فارمر و ژل پلیمر MAGICA وجود دارد (p=۰/۰۰۱).

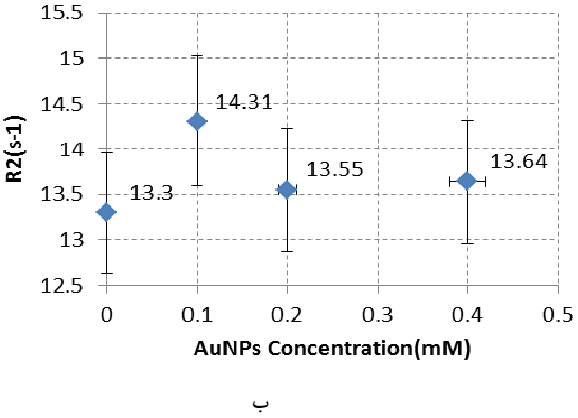



**شکل ۵. منحنی درصد دز عمقی مقایسه شده بین ژل پلیمر MAGICA و اتاقک یونش فارمر**

بر اساس پاسخ دز ژل پلیمر MAGICA بر حسب غلظت‌های نانوذرات مورد مطالعه می توان مقدار افزایش دز را بررسی کرد. سیگنال $R_2$ بر حسب غلظت‌های مورد مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است.




الف




ب

**شکل ۶. نمودار $R_2$ بر حسب غلظت نانوذرات طلا**

الف) نمودار $R_2$ بر حسب غلظت نانوذرات طلا در حالت تابش ندیده
ب) نمودار $R_2$ بر حسب غلظت نانوذرات طلا در حالت تابش دیده

با توجه به شکل (۶-الف) سیگنال $R_2$ برای ویالهای ژل MAGICA و GN_MAGICA با غلظت‌های متفاوت در حالت تابش ندیده مورد مقایسه قرار گرفته است. در شکل (۶-ب) سیگنال $R_2$ برای ۴ نمونه ویال ژل MAGICA و GN_MAGICA با غلظت‌های متفاوت تحت تابش ۱۸MV X-ray با دز یکسان ۵۰۰cGy مورد مقایسه قرار گرفتند که البته پهنای خطا در شکل (۶)، مقدار انحراف از استاندارد $R_2$ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار (۶-ب) افزایش سیگنال $R_2$ نسبت به نمودار (۶-الف) مشهود است که بیانگر به خوبی انجام شدن فرایند پلیمریزاسیون ژل پلیمر بعد از تابش می باشد. همچنین روند سیگنال $R_2$ نمودار (الف و ب) برای غلظت‌های مورد مطالعه یکسان بوده است. مقدار فاکتور افزایش دز جذبی را می‌توان با توجه به شکل (۶-ب) از رابطه (۱) محاسبه کرد. مقدار DEF با اضافه شدن نانوذرات طلا با غلظت‌های ۰/۱mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM به ترتیب برابر با ۱۰٪، ۲٪ و ۴٪ بدست آمد. نتایج تجربی و شبیه سازی تطابق خوبی باهم نشان داد. بطوریکه مقدار خطای محاسبه شده بین نتایج تجربی و شبیه سازی برای غلظت‌های ۰/۱mM، ۰/۲ mM و ۰/۴ mM به ترتیب ۰/۰۷۲،۰/۰۳۰ و ۰/۰۳ بدست آمد.

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج شبیه سازی با کد MCNPX، مقایسه‌ای که بین ضریب تضعیف جرمی ژل پلیمر MAGICA و ضریب تضعیف جرمی آب انجام شده است، تأیید کننده رفتار معادل بافت ژل پلیمر MAGICA می‌باشد.

در نتایج آزمایشگاهی ژل پلیمر MAGICA در محدوده دز مورد مطالعه رفتاری خطی نشان داد. با اضافه شدن نانو ذرات طلا به غلظت‌های مختلف در ژل پلیمر MAGICA مقدار فاکتور افزایش دز جذبی ۱۰٪ برای غلظت mM ۰/۱ بدست آمد، درصورتیکه برای غلظت mM ۰/۲ و mM ۰/۴ این مقدار به ترتیب ۲٪ و ۴٪ بوده است. با افزایش غلظت مقدار فاکتور افزایش دز جذبی کاهش یافته بود که نشاندهنده اثر شیلدینگ یا خود جذبی در غلظت‌های بیشتر از mM ۰/۱ بوده است. مطالعاتی که در زمینه ژل پلیمر انجام گرفت، بیشتر به خصوصیات ژل پلیمر پرداخت. در صورتیکه ماده مضاعف به ژل پلیمر برای مشاهده اثرات آن بر ژل پلیمر در این مطالعه بررسی شد. Marques و همکارانش که ژل دزیمتری با نانوذرات طلا در انرژی ۲۵۰ کیلو ولت با اندازه ۲ نانومتر را بررسی کردند، بهینه غلظت در mM ۰/۱ را بدست آوردند (۱۹). اثر شیلدینگ در مطالعه Marques دیده نشده بود بدلیل اینکه در انرژی کیلوولتاژ انجام شده بود. در این مطالعه ژل دزیمتری با نانوذرات طلا با اندازه ۵۰ نانومتردر انرژی مگاولتاژ انجام شده است، در حالیکه مطالعات تجربی که تاکنون انجام شد، محدوده اندازه نانوذرات طلا بین ۱ تا ۳ نانومتر بوده است (۱۹و۱۳). زیرا نانوذرات طلا در چنین محدوده هایی به عنوان حساس کننده پرتویی عمل می کنند. در حالتی که نانوذرات مورد استفاده در این مطالعه چنین خصوصیتی را نداشتند. برجسته ترین فرآیند فیزیکی در انرژی MV ۱۸ فرآیند تولید جفت است که احتمال انجام آن با $Z^2$ متناسب است. چون در انرژی MV ۱۸ فرآیند تولید جفت غالب است، اثر خود جذبی با افزایش غلظت بیشتر را می‌توان به پدیده تولید جفت نسبت داد.

نتایج حاصل از محاسبه شبیه سازی و آزمایشگاهی DEF نشان داد که اضافه شدن نانو ذرات با غلظت mM ۰/۱ یکی از روشهایی است که می‌توان بیشترین افزایش دز را در آن مشاهده کرد. این روش آغاز کننده راه برای ادامه مطالعات بصورت کلینیکی می‌باشد.

## تقدیر و تشکر

بدینوسیله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی بابل به دلیل حمایت مالی از تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]

# MegaVoltage Radiation Dose Enhancement in Polymer Gel Dosimeter Containing Gold Nanoparticles

**M. Khadem Abolfazli (MSc) [1], S.R.M. Mahdavi (PhD) [2], M. Mahdavi (PhD) [3], GH. Ataei (MSc) [1*]**

1. Department of Radiotherapy, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran
2. Department of Medical Physics, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Department of Nuclear Physics, Mazandaran University, Babolsar, Iran

**J Babol Univ Med Sci; 15(2); Mar 2013; pp: 31-37**

**Received: Mar 28th 2012, Revised: Jul 4th 2012, Accepted: Nov 7th 2012.**

## ABSTRACT

**BACKGROUND AND OBJECTIVE:** Today only three-dimensional dosimetry is used by polymer gel that it is sensitive to beam and in the recent decade it has been paid attention very much. The aim of this study was to evaluate the absorbed dose enhancement with the application of conformal distribution of gold nanoparticles as a contrast agent with high atomic number material in MAGICA polymer gel.

**METHODS:** In this experimental and modeling study, polymer gel dosimeter MAGICA was used for measuring absorbed dose enhancement by adding gold nanoparticles that irradiated with x-rays with energies of 18 MV linear accelerator. Reading of dose done with MRI, then it was simulated using MCNPX code and the results were compared with experimental results.

**FINDINGS:** MAGICA polymer gel dose response at the dose ranges of 0 to 600 cGy was linear and dose resolution in less than 300 cGy dose level was less than 0.7 Gy. Absorbed dose enhancement factor by adding 0.1, 0.2 and 0.4 mM gold nanoparticles concentration was 10%, 2% and 4%, respectively, also the absorbed dose enhancement factor simulated by MCNPX code for 0.1, 0.2 and 0.4 mM gold nanoparticle concentration was 10%, 2% and 3%, respectively.

**CONCLUSION:** The results of this study showed that for achieving maximum dose enhancement, the optimum concentration of gold nanoparticle was 0.1mM in modeling and experimental study that can be used for doing clinical study.

**KEY WORDS:** *Dosimetry, Polymer gel dosimeter, Contrast agent material, Gold nanoparticles.*

[*] **Corresponding Author;**
**Address:** Department of Radiotherapy, Faculty of Paramedical Sciences, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran
**Tel:** +98 111 2234142
**E-mail:** golamrezaatae@yahoo.com

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]

## References

1.Ibbott GS. Applications of gel dosimetry. Third International Conference on Radiotherapy Gel Dosimetry. J Phys Conf Ser 2004;3:58-77.

2.Baldock C, De Deene Y, Doran S, et al. Polymer gel dosimetry. Phys Med Biol 2010;55(5): R1-R63.

3.De Wagter C. The ideal dosimeter for intensity modulated radiation therapy (IMRT): what is required? J Phys Conf Ser 2004;3:4-8.

4.DeDeene Y. Gel dosimetry for the dose verification of intensity modulated radiotherapy treatments. Z Med Phys 2002;12(2):77-88.

5.De Deene Y, Reynaert N, De Wagter C .On the accuracy of monomer/polymer gel dosimetry in the proximity of a high-dose-rate 192Ir source. Phys Med Biol 2001;46(11):2801-25.

6.Heufelder J, Stiefel S, Pfaender M, Ludemann L, Grebe G, Heese J. Use of BANG polymer gel for dose measurement in a 68 MeV proton beam. Med Phys 2003;30(6):1235-40.

7.Gustavsson H, Bäck SA, Medin J, Grusell E, Olsson LE. Linear energy transfer dependence of a normoxic polymer gel dosimeter investigated using proton beam absorbed dose measurements. Phys Med Biol 2004;49(17): 3847-55.

8.Ramm U, Weber U, Bock M, et al. Three-dimensional BANG gel dosimetry in conformal carbon ion radiotherapy. Phys Med Biol 2000;45(9):N95-102.

9.Farajollahi AR, Bonnett DE, Tattam D, Green S. The potential use of polymer gel dosimetry in boron neutron capture therapy. Phys Med Biol 2000;45(4): N9-14.

10.Gear JI, Flux GD, Charles-Edwards E, Partridge M, Cook G, Ott RJ. The application of polymer gel dosimeters to dosimetry for targeted radionuclide therapy. Phys Med Biol 2006;51(4):3503-16.

11.Morris KN, Weil MD, Malzbender R. Radiochromic film dosimetry of contrastenhanced radiotherapy (CERT). Phys Med Biol 2006;51(22):5915-25.

12.Gastaldo J, Boudou C, Lamalle L, et al. Normoxic polyacrylamide gel doped with iodine: response versus Xray Energy. Eur J Radiol 2008;68(Suppl 3):S118-20.

13.Cho SH. Estimation of tumour dose enhancement due to gold nanoparticles during typical radiation treatments: a preliminary Monte Carlo study. Phys Med Biol 2005;50(15):N163-73.

14.Boudou C, Tropres I, Esteve F, Elleaume H. Preliminary study of a normoxic polyacrylamide gel doped with iodine. J Phys Conf Ser 2006;56:145-8.

15.Boudou C, Troprès I, Rousseau J, et al. Polymer gel dosimetry for synchrotron stereotactic radiotherapy and iodine dose enhancement measurements. Phys Med Biol 2007;52(16):4881-92.

16.Zahmatkesh MH, Kousari R, Akhlaghpour S, Bagheri SA. MRI gel dosimetry with methacrylic acid, ascorbic acid, hydroquinon and copper in agarose (MAGICA) gel. Preliminary Proceedings of DOSGEL Congress. Ghent, Belgium; 2004.

17.Cardenas RL, Cheng KH, Verhey LJ, Xia P, Davis L, Cannon B. A self consistent normalized calibration protocol for three dimensional magnetic resonance gel dosimetry. Magn Reson Imaging 2002;20(9):667-79.

18.Baldoc C, Lepage M, Back SA, et al. Dose resolution in radiotherapy gel dosimetry: effect of echo spacing in MRI pulse sequence. Phys Med Biol 2001;46(2):449-60.

19.Marques T, Schwarcke M, Garrido C, Zucolot V, Baffa O, Nicolucci P. Gel dosimetry analysis of gold nanoparticle application in Kilovoltage radiation therapy. J Phys Conf Ser 2010;250:012084. http://iopscience.iop.org/1742-6596/250/1/012084.

[ DOR: 20.1001.1.15614107.1391.15.2.5.6 ]
[ DOI: 10.18869/acadpub.jbums.15.2.31 ]