

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای

طراحی و ساخت فانتوم ژل پلیمر MAGIC و بررسی اثر چیدمان نانو ذرات طلا بر دُز جذبی

پرتوهای گاما با انرژی کمتر از 1MeV

پژوهشگر: ابوالفضل محمودی

استاد راهنما: دکتر حسین توکلی عنبران

تابستان ۹۷



## تقدیم به خانواده‌ی عزیزم

شکر پروردگار عالمیان که میل به دانستن و تلاش برای رسیدن به هدف را در وجودمان پروراند و توانایی برای رسیدن به مقصود را به ما عطا فرمود. حال که پس از چندین سال تحصیل قطره‌ای از دریای بیکران علم را در وجودم احساس می‌کنم، تکلیف خود می‌دانم از زحمات مادر مهربانم، پدر بزرگوام و خواهران مهربانم که همواره، همراه و پشتبانم بوده‌اند و با مهربانی، شرایط آرامش را برایم فراهم نمودند. تا با کمترین دغدغه، تمام تلاشم را در جهت کسب علم، هدفمند و مستمر قراردهم، قدردانی کنم و از خداوند سلامتی و موفقیت‌شان را طلب می‌کنم.

# تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از استاد راهنمای گرامی، جناب آقای دکتر توکلی عنبران، برای راهنمایی‌های مشفقانه و تذکرات هدفمند و بجا قدردانی نمایم. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سربلندی در تمام زمینه‌های مادی و معنوی را دارم.

همچنین، از تمامی اساتید بزرگواری که در طول این دوره من را در راه کسب علم و دانش یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

## تعهد نامه

اینجانب ابوالفضل محمودی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته‌ای دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: طراحی و ساخت فانتوم ژل پلیمر MAGIC و بررسی اثر چیدمان نانو ذرات طلا بر دز جذبی پرتوهای گاما با انرژی کمتر از 1MeV تحت راهنمایی دکتر حسین توکلی عنبران متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی - سویی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

## تاریخ

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

پرتودرمانی در برگیرنده همه روش‌های است که بتواند اندازه ویژه ای از تابش‌های یونیزان را به بافت‌های بدخیم برساند با این فرض که حداقل آسیب به بافت‌های سالم رسانده شود. ما به دنبال یک روش ارزشمند و قابل اعتماد در اندازه‌گیری دُز جذبی هستیم و همین‌طور توانایی اندازه‌گیری توزیع دُز جذبی در سه بعد، که امروزه تنها روش دُزیمتری سه بعدی به کارگیری ژل‌های پلیمری حساس به پرتو می‌باشد. هدف از مطالعه حاضر، محاسبه مقدار افزایش دُز جذبی با حضور محلول نانوذرات طلا و نقره به طور یکنواخت، متمرکز در مرکز فانتوم و به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم با عدد اتمی بالا در ژل پلیمر نوع نورموکسیک می‌باشد. بر اساس قوانین برهمکنش فوتون با ماده، احتمال جذب فوتوالکتریک تقریباً با توان سوم عدد اتمی ماده هدف، رابطه مستقیم و با توان سوم انرژی فوتون تابشی نسبت عکس دارد. از این رو، استفاده محلول نانوذرات طلا و نقره با عدد اتمی بالا به همراه پرتوهای فوتونی کم انرژی افزایش دُز جذبی را به همراه دارد.

محاسبات به صورت آزمایشات تجربی و مونت‌کارلو برای تعیین دُز جذبی ناشی از چشمه ایریدیم-<sup>192</sup> با کد MCNPX انجام شد. از ژل پلیمری نوع نورموکسیک به عنوان فانتوم برای اندازه‌گیری مقدار افزایش دُز جذبی با چیدمان محلول نانوذرات طلا و نقره در ژل پلیمر با غلظت‌های مختلف تحت تابش پرتوهای چشمه ایریدیم-<sup>192</sup> قرار گرفتند، استفاده شد.

نتایج و بررسی‌های این مطالعه که به صورت شبیه‌سازی و آزمایشات تجربی به‌دست آمدند، نشان می‌دهند که بهینه غلظت محلول نانوذرات طلا و نقره در ژل پلیمر نوع نورموکسیک به طور یکنواخت و پوسته‌ای برای رسیدن به بیشینه مقدار دُز جذبی در غلظت ۱/۵ mm با افزایش ۰/۲۴ درصد در حالتی که محلول نانوذرات به طور یکنواخت هستند و ۲۰ درصد هنگامی که محلول نانوذرات به صورت پوسته-ای در اطراف فانتوم قرار می‌گیرند، در انرژی ۱ MeV می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ژل پلیمر نوع نورموکسیک همانند فانتوم آب می‌تواند به عنوان فانتوم بافت نرم بدن انسان قرار گیرد و اضافه شدن

محلول نانوذرات طلا و نقره با عدد اتمی بالا و غلظت به دست آمده می‌تواند بیشترین افزایش دُز را به

همراه داشته باشد که از این روش برای انجام مطالعات کلینیکی می‌توان استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** دُز جذبی، نانوذرات طلا و نقره، ژل پلیمر، فانتوم، شبیه‌سازی مونت‌کارلو.



## مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- افزایش دُز جذبی با حضور نانوذرات طلا در ژل پلیمرنوع نورموکسیک: به روش مونت کارلو، کنفرانس

فیزیک پزشکی ایران. تیر ۹۷

۲- مقدار دُز جذبی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر نوع نورموکسیک: به روش مونت کارلو، کنفرانس

فیزیک ایران. شهریور ۹۷

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: دُزیمترهای سه بعدی
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تاریخچه
۳	۳-۱ تابش‌ها
۳	۴-۱ پرتو
۳	۱-۴-۱ پرتوهای باردار
۴	۲-۴-۱ پرتوهای بدون بار
۴	۵-۱ برهمکنش پرتوهای ایکس یا گاما با ماده
۴	۱-۵-۱ فوتوالکتریک
۵	۱-۱-۵-۱ ضریب تضعیف خطی فوتوالکتریک
۵	۲-۱-۵-۱ ضریب تضعیف جرمی فوتوالکتریک
۶	۲-۵-۱ پراکندگی کامپتون
۶	۱-۲-۵-۱ ضریب تضعیف خطی کامپتون
۶	۲-۲-۵-۱ ضریب تضعیف جرمی کامپتون
۷	۳-۵-۱ تولید زوج
۷	۱-۳-۵-۱ ضریب تضعیف خطی تولید زوج
۷	۲-۳-۵-۱ ضریب تضعیف جرمی تولید زوج
۸	۶-۱ چشمه گاما و کاربردهای آن
۸	۱-۶-۱ پرتو گاما
۸	۲-۶-۱ کاربرد پرتو گاما

۹	۷-۱ چشمه ایریدیم-۱۹۲
۱۱	۸-۱ کمیت‌های مورد استفاده در دُزیمتری و تابش پرتوها
۱۱	۱-۸-۱ دُز پرتو، D
۱۱	۲-۸-۱ آهنگ دُز پرتو
۱۱	۳-۸-۱ دُز معادل
۱۲	۴-۸-۱ معادل دُز
۱۲	۵-۸-۱ دُز مؤثر، دُز معادل مؤثر
۱۳	۹-۱ پرتودرمانی
۱۴	۱۰-۱ دُزیمترهای شیمیایی و سه‌بعدی
۱۴	۱۰-۱ دُزیمتر ژل فریک
۱۵	۲-۱۰-۱ ژل‌های پلیمری
۱۷	۳-۱۰-۱ ژل پلیمر نورموکسیک
۱۹	<b>فصل دوم: طراحی و ساخت فانتوم ژل پلیمر MAGIC</b>
۲۰	۱-۲ مقدمه
۲۰	۲-۲ تاریخچه کد MCNP
۲۰	۳-۲ ساختار فایل ورودی
۲۱	۴-۲ کارت‌های مورد نیاز کد
۲۱	۱-۴-۲ کارت سلول
۲۱	۲-۴-۲ کارت سطوح
۲۱	۳-۴-۲ کارت داده
۲۲	۱-۳-۴-۲ کارت چشمه SDEF
۲۲	۲-۳-۴-۲ کارت مواد
۲۲	۱-۲-۳-۴-۲ تعریف یک ماده معمولی

- ۲۳ ۲-۴-۳-۲ تعریف آلیاژ
- ۲۳ ۲-۴-۳-۳ تعریف محلول
- ۲۳ ۲-۴-۳-۳ کارت تالی (خروجی برنامه MCNP)
- ۲۴ ۲-۵ مواد و روش کار
- ۲۶ ۲-۵-۱ فرآیند ساخت ژل پلیمر MAGIC حساس به پرتو
- ۲۸ ۲-۵-۲ محاسبه درصد وزنی و چگالی عناصر در ژل پلیمر
- ۳۰ ۲-۵-۳ علم و کاربردهای نانو
- ۳۰ ۲-۵-۳-۱ نانوذرات
- ۳۱ ۲-۵-۳-۲ نانوذرات طلا
- ۳۲ ۲-۵-۳-۲-۱ محاسبه درصد وزنی عناصر در محلول نانوذرات طلا
- ۳۳ ۲-۵-۳-۲-۲ محاسبه حجم محلول نانو ذرات طلا در ژل پلیمر برای غلظت‌های مختلف
- ۳۴ ۲-۵-۳-۲-۳ محاسبه مقدار گرم طلای موجود در محلول نانوذرات طلا
- ۳۵ ۲-۵-۳-۲-۴ محاسبه درصد وزنی عناصر در ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات طلا با غلظت‌های مختلف
- ۳۷ ۲-۵-۳-۲-۵ محاسبه چگالی فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا
- ۳۸ ۲-۵-۳-۳ محلول نانوذرات نقره
- ۳۹ ۲-۵-۳-۳-۱ محاسبه درصد وزنی عناصر در محلول نانوذرات نقره
- ۴۰ ۲-۵-۳-۳-۲ محاسبه حجم محلول نانو ذرات نقره در ژل پلیمر با غلظت مختلف
- ۴۰ ۲-۵-۳-۳-۳ محاسبه مقدار گرم نقره موجود در محلول نانوذرات نقره
- ۴۱ ۲-۵-۳-۳-۴ محاسبه درصد وزنی عناصر در ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات نقره با غلظت‌های مختلف
- ۴۳ ۲-۵-۴ فاکتور افزایش دُز

۴۴	۶-۲ دُزیمتر ترمولومینسانس
۴۴	۱-۶-۲ تاریخچه
۴۴	۲-۶-۲ پدیده ترمولومینسانس
۴۵	۳-۶-۲ کاربردهای ترمولومینسانس
۴۶	۴-۶-۲ دُزیمتری بیماران و فانتومها
۴۸	۵-۶-۲ سیستم خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس
۴۹	۶-۶-۲ خواندن قرص TLD
۵۱	۷-۶-۲ ویژگی‌های یک دُزیمتر ایده‌آل
	<b>فصل سوم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC و اثر چیدمان محلول نانوذرات طلا در دُز جذبی</b>
۵۳	
۵۴	۱-۳ مقدمه
۵۴	۲-۳ چگونگی نوشت کد MCNP
۵۵	۱-۲-۳ حالت اول: محاسبه دُز جذبی در فانتوم آب
۵۷	۲-۲-۳ حالت دوم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC
۵۸	۳-۲-۳ حالت سوم: مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC
۵۹	۴-۲-۳ حالت چهارم: بررسی دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت
۶۱	۵-۲-۳ حالت پنجم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا با مقادیر مختلف در مرکز فانتومها
۶۳	۶-۲-۳ حالت ششم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر
۶۶	۷-۲-۳ حالت هفتم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC
۶۶	۸-۲-۳ حالت هشتم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت

- ۹-۲-۳ حالت نهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت  
۶۶
- ۱۰-۲-۳ حالت دهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر  
۶۸
- ۱۱-۲-۳ حالت یازدهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر  
۶۹
- ۳-۳ ساخت فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC و محاسبه دُز جذبی در فانتوم‌ها  
۷۰
- ۱-۳-۳ حالت اول: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC  
۷۱
- ۲-۳-۳ حالت دوم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت  
۷۲
- ۳-۳-۳ حالت سوم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت  
۷۳
- ۴-۳-۳ حالت چهارم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای  
۷۴
- ۵-۳-۳ حالت پنجم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای  
۷۶
- ۳-۴ مقایسه نتایج دُز جذبی تئوری با نتایج دُز جذبی آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر  
۷۹
- ۵-۳ مقایسه نتایج دُز جذبی تئوری با نتایج دُز جذبی آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت  
۸۰
- ۶-۳ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت  
۸۱
- ۷-۳ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای  
۸۲
- ۸-۳ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای  
۸۳
- ۹-۳ بررسی اثر جذب فتوالکتریک و ضریب تضعیف جرمی در فانتوم‌های آب، ژل پلیمر MAGIC و ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا  
۸۴

## فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری

۸۷

۸۸

۱-۴ مقدمه

۸۸

۲-۴ بحث و نتیجه گیری

۹۱

منابع و مراجع

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۲۵	شکل ۱-۲. هندسه و مدل شبیه‌سازی فانتم
۲۷	شکل ۲-۲. فانتم ژل پلیمر MAGIC
۳۱	شکل ۳-۲. محلول نانوذرات طلا
۳۹	شکل ۴-۲. محلول نانوذرات نقره
۴۵	شکل ۵-۲. شماتیکی از پدیده ترمولومینسانس
۴۷	شکل ۶-۲. تصویری از قرص‌های ۱۰۰-TLD
۴۸	شکل ۷-۲. سیستم خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس
۵۰	شکل ۸-۲. منحنی درخشندگی ماده ترمولومینسانس
۵۴	شکل ۱-۳. طیف ورودی چشمه ایریدیم-۱۹۲
۵۵	شکل ۲-۳. هندسه و مدل شبیه‌سازی فانتم آب
۵۶	شکل ۳-۳. محاسبه دُز جذبی در فانتم آب با استفاده از تالی F8*
۵۷	شکل ۴-۳. محاسبه دُز جذبی در فانتم ژل پلیمر MAGIC
۵۸	شکل ۵-۳. بررسی دُز جذبی برای فانتم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC
۵۹	شکل ۶-۳. اختلاف نسبی بین مقادیر دُز جذبی در فانتم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC بر حسب انرژی
۶۰	شکل ۷-۳. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا در فانتم ژل پلیمر به طور یکنواخت در غلظت‌های مختلف
۶۱	شکل ۸-۳. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت با غلظت‌های مختلف بر حسب انرژی
۶۲	شکل ۹-۳. هندسه و چیدمان محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتم ژل پلیمر MAGIC



شکل ۳-۱۰. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتوم‌ها ۶۳

شکل ۳-۱۱. هندسه و چیدمان محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر MAGIC ۶۴

شکل ۳-۱۲. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر ۶۵

شکل ۳-۱۳. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم بر حسب انرژی ۶۵

شکل ۳-۱۴. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره در فانتوم ژل پلیمر به طور یکنواخت در غلظت 1.5mM ۶۷

شکل ۳-۱۵. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت با غلظت 1.5mM بر حسب انرژی ۶۸

شکل ۳-۱۶. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر ۶۹

شکل ۳-۱۷. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم بر حسب انرژی ۷۰

شکل ۳-۱۸. فانتوم ژل پلیمر MAGIC و قرار گرفتن چشمه ایریدیم در مرکز آن و قرص‌ها TLD در اطراف فانتوم ۷۲

شکل ۳-۱۹. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت ۷۳

شکل ۳-۲۰. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت ۷۴

شکل ۳-۲۱. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای ۷۶

شکل ۳-۲۲. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای ۷۸

شکل ۳-۲۳. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC به دو روش شبیه‌سازی و تجربی ۷۹

شکل ۳-۲۴. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت با غلظت 1.5mM به دو روش شبیه‌سازی و تجربی ۸۰

شکل ۳-۲۵. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت با غلظت 1.5mM به دو روش شبیه‌سازی و تجربی ۸۱

شکل ۳-۲۶. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور پوسته‌ای با ضخامت  $0/182$  cm به دو روش شبیه‌سازی و تجربی

۸۲

شکل ۳-۲۷. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور پوسته‌ای با ضخامت  $0/182$  cm به دو روش شبیه‌سازی و تجربی

۸۳

شکل ۳-۲۸. نمودار جذب فوتوالکتریک بر حسب انرژی در فانتوم‌های آب، ژل پلیمر MAGIC و ژل پلیمر MAGIC با حضور نانوذرات طلا

۸۴

شکل ۳-۲۹. نمودار ضریب تضعیف جرمی بر حسب انرژی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC

۸۵

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۹	جدول ۱-۱. ویژگی هسته‌ای چشمه ایریدیم
۹	جدول ۱-۲. واپاشی چشمه ایریدیم
۱۰	جدول ۱-۳. مشخصات چشمه ایریدیم
۱۳	جدول ۱-۴. ضریب وزنی و احتمال خطر برای اثرات تصادفی در بافت
۲۶	جدول ۲-۱. مشخصات چشمه ایریدیم مورد استفاده در کد MCNPX
۲۸	جدول ۲-۲. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC
۳۵	جدول ۲-۳. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا
۴۱	جدول ۲-۴. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره
۴۸	جدول ۲-۵. انواع مختلفی از دُزیمترهای ترمولومینسانس

## فصل اول

### دُزیمترهای سه بعدی

## ۱-۱ مقدمه

از آنجا که هدف پرتودرمانی رساندن حداکثر دُز به سلول‌های سرطانی و کمترین تابش‌دهی به سلول‌های سالم است، پرتوگیری بافت سالم غالباً یک نگرانی در فرآیند درمان به روش پرتودرمانی محسوب می‌گردد. تکنیک‌های پرتودرمانی به طور مداوم در حال به کارگیری برای تحویل دُزهای تابشی با قابلیت درمانی بالاتر هستند. این درمان به روش تحویل دُز و خطاهای موجود در آن بسیار حساس است. برای کاهش چنین خطاهایی، دزیمترهای سه بعدی به عنوان یک روش نسبی برای بررسی و تحویل دقیق دُز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. دزیمترهای شیمیایی همواره یکی از کاندیدهای مناسب برای اندازه‌گیری دُز به صورت سه بعدی بوده‌اند. انواع مختلفی از دزیمتری‌های سه بعدی که معمولاً با نام ژل پلیمر دزیمتر استفاده می‌شوند معرفی شده‌اند که در ادامه به توضیح آن‌ها خواهیم پرداخت.

## ۱-۲ تاریخچه

در سال ۱۸۹۵، رونتگن<sup>۱</sup> اشعه‌ی ایکس را کشف کرد و چند ماه بعد ماری کوری<sup>۲</sup> این پدیده‌ی جدید را رادیواکتیویته<sup>۳</sup> نامید. اوایل قرن بیستم، پرتوگاما و ویژگی‌های ذرات آلفا و بتا شناخته شد [۱]. یکی از مهم‌ترین دزیمترهای شیمیایی، دزیمتر فریک می‌باشد. که توسط فرایک<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۱۹۲۷ معرفی شد [۲]. به دلیل محدودیت‌های ژل فریک و از جمله پخش‌شدگی یون فریک در ماتریس ژل که به آن اشاره شد، ژل دزیمترهای پلیمری برای غلبه بر این محدودیت‌ها پیشنهاد شدند. نخستین ژل پلیمری که برای اندازه‌گیری سه بعدی دُز استفاده شد توسط ماریانسکی<sup>۵</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۳ معرفی شد [۳]. در سال ۲۰۰۱، فانگ<sup>۶</sup> و همکارانش نوعی ژل پلیمری جدید معرفی کردند که حاوی

---

۱. Roentgen

۲. Marie curie

۳. Radioactivity

۴. Fricke

۵. Maryanski

۶. Fong

مواد گیراندازی و شکار کننده اکسیژن بود. در نتیجه ساخت، نگهداری و استفاده از این نوع ژل در شرایط نرمال دما و فشار وجود داشت از این رو به آن ژل نورموکسیک<sup>۷</sup> گفته می‌شود. کار کردن با این نوع ژل مخاطرات کمتری داشت. با توجه به اینکه این ژل در شرایط نرمال اتمسفر قابل ساخت بود و برای ساخت آن، نیازی به تجهیزات پیچیده نبود، لذا امکان استفاده از این ژل پلیمر برای دُزیمتری پرتوها در کلینیک به وجود آمد [۴].

### ۳-۱ تابش‌ها

مطالعه اثر تابش بر انسان، فیزیک بهداشت نام دارد. فیزیک بهداشت غالباً به عنوان بهداشت پرتوشناختی آن، بخشی از مهندسی بهداشت محیط است که با حفاظت افراد و مردم در برابر خطرات تابش‌های یوننده سرو کار دارد. تابش‌هایی که ما در زندگی روزمره در معرض آن قرار می‌گیریم، هم از منابع طبیعی و هم به طور مصنوعی ایجاد می‌شوند [۵].

### ۴-۱ پرتوها

پرتو یا تشعشع عبارت است از انرژی که به صورت امواج یا ذرات در خلاء یا در محیط مادی منتشر می‌شود. به طور ساده پرتوها را می‌توان انرژی عبوری تعریف کرد. پرتوها با توجه به میزان انرژی، دارای قدرت نفوذ در ماده هستند. منشع پرتوها چشمه‌ها، راکتور و شتاب دهنده‌ها هستند. پرتوها به طور کلی به دو دسته زیر می‌باشند:

#### ۱-۴-۱ پرتوهای باردار

یک ذره‌ی باردار به هنگام حرکت در ماده از طریق نیروهای کولنی با الکترون‌های منفی و هسته‌های مثبتی که اتم‌های آن ماده را تشکیل می‌دهد برهم‌کنش می‌کند. پرتوهای باردار به دو دسته یون‌های سبک ( $A \leq 4$ ) و یون‌های سنگین ( $A > 4$ ) تقسیم می‌شوند.

---

۷. Normoxic

## ۱-۴-۲ پرتوهای بدون بار

پرتوهای بدون بار، پرتوهای ایکس، گاما و نوترون هستند. تولید پرتوهای ایکس عموماً در اثر گذارهای اتمی مدل برانگیزش و یونش صورت می‌گیرد، پرتوهای گاما در گذارهای هسته‌ای گسیل می‌شوند. پرتوهای ایکس و گاما از اتم‌ها و هسته‌هایی گسیل می‌شوند که تک انرژی هستند. ما در این تحقیق در ادامه به مطالعه پرتوهای گاما خواهیم پرداخت.

## ۱-۵-۵ برهم‌کنش پرتوهای ایکس یا گاما با ماده

پرتوهای ایکس یا پرتوهای گاما تابش الکترومغناطیسی هستند. اگر آن‌ها به صورت ذره در نظر بگیریم، وقتی با سرعت نور  $c$  حرکت می‌کنند، جرم سکون و بار آن‌ها صفر است. نام مشترک برای پرتوهای ایکس و گاما وقتی به صورت ذره در نظر گرفته شوند فوتون است، رابطه بین انرژی، بسامد و طول موج عبارت‌اند از:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (1-1)$$

تمایز روشنی بین پرتوهای ایکس و گاما وجود ندارد. عموماً، فوتون‌های با  $E < 1 \text{ MeV}$  را پرتو ایکس می‌نامند و گاماها، فوتون‌های با  $E > 1 \text{ MeV}$  هستند. پرتوهای گاما ۱۲ نوع برهم‌کنش دارند که سه نوع برهم‌کنش غالب آن شامل:

## ۱-۵-۱ فوتوالکتریک

برهم‌کنش فوتون با الکترون اتمی مقید را فوتوالکتریک می‌گویند. در اثر این برهم‌کنش فوتون ناپدید می‌شود و یکی از الکترون‌های اتم به صورت یک الکترون آزاد به بیرون رانده خواهد شد. انرژی جنبشی این الکترون به صورت زیر است:

$$T_{e^-} = E_{\gamma} - B \cdot E \quad (2-1)$$

که در این رابطه:  $E_\gamma$  انرژی فوتون و B.E انرژی بستگی الکترون است [۶].

### ۱-۱-۵-۱ ضریب تضعیف خطی فوتوالکتریک

احتمال رخداد پدیده فوتوالکتریک در واحد طول مسیر پیموده شده توسط فوتون ضریب تضعیف خطی فوتوالکتریک نامیده می‌شود، که به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$\tau \left( \frac{1}{m} \right) = aN \frac{Z^m}{E_\gamma^n} [1 - e(Z)] \quad (۳-۱)$$

که در این رابطه:

احتمال رخداد اثر فوتوالکتریک بر واحد راهی که فوتون پیموده  $\tau$  =

یک ضریب ثابت، مستقل از  $Z$  و  $a = E_\gamma$

$N$  = تعداد اتم‌ها در واحد حجم

$Z$  = عدد اتمی ماده

$E_\gamma$  = انرژی فوتون

در انرژی بالا  $5 \leq n$  و  $3 \leq m$  در انرژی پایین

### ۱-۱-۵-۲ ضریب تضعیف جرمی فوتوالکتریک

اگر ضریب تضعیف خطی فوتوالکتریک ( $\tau$ ) به چگالی ( $\rho$ ) تقسیم شود، ضریب تضعیف جرمی فوتوالکتریک به دست می‌آید که مستقل از حالت ماده می‌شود. که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\tau \left( \frac{m^2}{Kg} \right) = \frac{\tau \left( \frac{1}{m} \right)}{\rho \left( \frac{Kg}{m^3} \right)} \quad (۴-۱)$$



## ۱-۵-۲ پراکندگی کامپتون

در پراکندگی کامپتون، برخورد بین فوتون و یک الکترون آزاد است. پس از پراکندگی، فوتون ناپدید نمی‌شود بلکه تنها راستای حرکت و انرژی آن تغییر می‌کند. موضوع مهم در اینجا انرژی بیشینه و کمینه فوتون و الکترون بعد از برخورد است. زمانی که زاویه پراکندگی  $180^\circ$  درجه باشد انرژی فوتون کمینه است [۶].

### ۱-۵-۲-۱ ضریب تضعیف خطی کامپتون

احتمال رخداد پراکندگی کامپتون را، ضریب تضعیف خطی کامپتون می‌نامند. این ضریب تابع پیچیده‌ای از انرژی فوتون است، که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\sigma \left(\frac{1}{m}\right) = N Z F(E_\gamma) \quad (5-1)$$

احتمال رخداد اثر برهمکنش کامپتون بر واحد راهی که فوتون

پیموده  $\sigma =$

تابعی از انرژی فوتون  $F(E_\gamma) =$

$$N = \rho \frac{N_A}{A} = \text{چگالی اتم}$$

### ۱-۵-۲-۲ ضریب تضعیف جرمی کامپتون

اگر ضریب تضعیف خطی کامپتون ( $\sigma$ ) به چگالی ( $\rho$ ) تقسیم شود، ضریب تضعیف جرمی کامپتون به دست می‌آید. که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\sigma \left(\frac{m^2}{Kg}\right) = \frac{\sigma \left(\frac{1}{m}\right)}{\rho \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} \quad (6-1)$$

### ۱-۵-۳ تولید زوج

در فرآیند تولید زوج نیز، برهم کنش بین فوتون و هسته است که فوتون برخوردی به طور کامل جذب شده و یک زوج الکترون-پوزیترون تولید می‌شود [۶].

### ۱-۳-۵-۱ ضریب تضعیف خطی تولید زوج

احتمال رخداد تولید زوج، ضریب تضعیف خطی تولید زوج نامیده می‌شود. که تابع پیچیده ای از  $E_\gamma$  و  $Z$  است، که می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$K \left(\frac{1}{m}\right) = N Z^2 F(E_\gamma, Z) \quad (7-1)$$

احتمال رخداد اثر تولید زوج بر واحد راهی که فوتون پیموده  $K =$

تابعی از انرژی فوتون  $F(E_\gamma, Z) =$

$$N = \rho \frac{N_A}{A} = \text{چگالی اتم}$$

### ۱-۳-۵-۲ ضریب تضعیف جرمی تولید زوج

اگر ضریب تضعیف خطی تولید زوج ( $K$ ) به چگالی ( $\rho$ ) تقسیم شود، ضریب تضعیف جرمی تولید زوج به دست می‌آید. که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$K \left(\frac{m^2}{Kg}\right) = \frac{K \left(\frac{1}{m}\right)}{\rho \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} \quad (8-1)$$

احتمال آن که فوتون (پرتو ایکس و گاما) در واحد طول مسیر یکی از سه اندرکنش فوتوالکتریک، کامپتون و یا تولید زوج اتفاق بیفتد به آن ضریب تضعیف خطی کلی می‌گویند. که می‌توان آن را به صورت زیر نشان داد:

$$\mu = \tau + \sigma + k \quad (9-1)$$

## ۱-۶ چشمه گاما و کاربردهای آن

چشمه‌های پرتوزا شامل چشمه‌های ذرات باردار، گاما (ایکس) و چشمه‌های نوترونی می‌باشند که با توجه با این‌که پایان‌نامه مربوط به محاسبه دُز با پرتوهای گاما می‌باشد، در ادامه چشمه گاما تشریح می‌شود.

چند نوع از چشمه های رادیواکتیو گاما :

چشمه سلنیوم-۷۵

چشمه ایریدیم-۱۹۲

چشمه سزیم-۱۳۷

چشمه کبالت-۶۰ و ...

### ۱-۶-۱ پرتو گاما

پرتوهای گاما فوتون‌های پر انرژی هستند که از یک چشمه ایزوتوپی تابش می‌شوند. این فوتون‌ها در ماده مورد تابش می‌توانند موجب جدا شدن الکترون‌ها از اتم شوند. تابش گامای پر انرژی در برخورد با هر ماده‌ای موجب یونیزاسیون می‌شود، در تغییر ناشی از ورود فوتون در سطح مولکولی، ممکن است منجر به از بین رفتن (مرگ) ارگانیسم یا عدم توانایی آن در باروری (تولید مثل) شود.

### ۱-۶-۲ کاربرد پرتو گاما

از پرتوگاما در درمان سرطان، تومورها و پرتودرمانی استفاده می‌شود. همچنین از پرتو گاما در صنعت، بررسی چاه‌های نفت، تشخیص ترکیدگی لوله‌ها و برای پیدا کردن حفره‌های ریز و شکستگی‌های قطعات فلزی استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای پرتو گاما در پزشکی می‌توان به استریل کردن تجهیزات پزشکی مانند سرنگ که قابل استریل شدن در دمای بالا نیستند اشاره کرد [۸و۷].

## ۱-۷ چشمه ایریدیم-۱۹۲

ایریدیم عنصر شیمیایی با نماد Ir و عدد اتمی ۷۷ است. این عنصر در سال ۱۸۰۳ کشف شد و یکی از نادرترین عناصر در پوسته زمین است. بسیار سخت و شکننده، به رنگ سفید نقره‌ای فلز از خانواده پلاتین و فلز مقاوم در برابر خوردگی است. وزن اتمی استاندارد آن ۱۹۲/۲۱۷ است.

ایریدیم در فاز جامد است و چگالی آن  $\frac{gr}{cm^3}$  ۲۲/۵۶ است و نقطه ذوب یا گذار  $2466^\circ C$  است. ایریدیم ترکیباتی را در حالت‌های اکسیداسیون بین -۳، -۱، ۰، +۱، +۲، +۳، +۴، +۵، +۶ دارد، که معمولی‌ترین حالت‌های اکسیداسیون +۳ و +۴ است.

به طور طبیعی تنها دو  $^{191}_{77}Ir$  و  $^{193}_{77}Ir$  وجود دارد. این دو ایزوتوپ با فراوانی ۳۷/۳٪ و ۶۲/۷٪ است و ۳۴ رادیوایزوتوپ نیز سنتز شده است و پایدارترین ایزوتوپ رادیواکتیو  $^{192}_{77}Ir$  است. ویژگی هسته‌ای و واپاشی چشمه ایریدیم در جداول ۱-۱ و ۲-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱. ویژگی هسته‌ای چشمه ایریدیم [۹]

Nuclide	Z	N	Decay mode	Half life	$E_x(keV)$	$J^\pi$
$^{192}_{77}Ir$	۷۷	۱۱۵	$\beta^-$ , E	۷۳/۸۳۱ d	.	۴(+)

جدول ۲-۱. واپاشی چشمه ایریدیم [۹]

Mode	Branching (%)	Q-value (keV)	Daughter isotope(s)
$\beta^-$	۹۵/۲۴	۱۴۵۹/۷۱۹	$^{192}_{78}Pt$
E	۴/۷۶۴	۱۰۴۶/۲۲۳	$^{192}_{76}Os$

جدول ۱-۳. مشخصات چشمه ایریدیم [۹]

انرژی (MeV)	شدت (%)
۰/۱۱۰۰۹	۰/۰۱۲۶۹
۰/۱۳۶۳۴	۰/۱۸۳۸
۰/۱۷۶۹۸	۰/۰۰۴۳۱۲
۰/۲۰۱۳۱	۰/۴۷۲۶
۰/۲۰۵۸	۳/۳۰۰۱۷
۰/۲۱۴۷۵	۰/۰۰۲۶
۰/۲۸۰۰۴	۰/۰۲۳۱۱
۰/۲۸۳۲۷	۰/۲۶۲۴
۰/۲۹۵۹۶	۲۸/۶۷۹
۰/۳۰۸۴۹	۳۰/۰۰۸
۰/۳۱۴۸۳	۰/۰۷
۰/۳۱۶۵۱	۸۲/۸۱۲۱
۰/۳۲۹۳۱	۰/۰۱۸۵۱۱
۰/۳۷۴۴۹	۰/۷۲۱۵
۰/۴۱۵۴۵	۰/۰۰۹
۰/۴۱۶۴۷	۰/۶۶۴۷
۰/۴۲۰۵۳	۰/۰۷۳۷۲۵
۰/۴۶۸۰۷	۴۷/۸۳۱۷
۰/۴۸۴۵۸	۳/۱۸۴۱۱
۰/۴۸۵۳	۰/۰۰۲۲۵
۰/۴۸۹۰۴	۰/۴۴۳۴
۰/۵۸۸۵۸	۴/۵۱۵۱۴
۰/۵۹۳۳۷	۰/۰۴۲۶۱۵
۰/۵۹۹۳۵	۰/۰۰۳۹۱۷
۰/۶۰۴۴۱	۸/۲۳۶
۰/۶۱۲۴۷	۵/۳۰۹۱۷
۰/۷۰۳۹۸	۰/۰۰۵۳۹
۰/۷۳۹	۰/۰۰۵۰
۰/۷۶۵۸۲	۰/۰۰۱۴۹۲۵
۰/۸۸۴۵۴	۰/۲۹۲۳۲۵
۱/۰۶۱۴۸	۰/۰۵۲۸۸
۱/۰۸۹۷۳	۰/۰۰۱۰۸۲۰
۱/۳۷۸۳۵	۰/۰۰۱۲۴۲۵

چشمه ایریدیم-۱۹۲ به طور گسترده برای کاشت درون بافتی و یا فانتومها استفاده می شود. ایریدیم-۱۹۲ یکی از مهم ترین چشمه هایی است که غالباً در پرتودرمانی و براکی تراپی استفاده می شود. تاکنون چندین مدل تجاری از این نوع چشمه برای کاربردهای آنکولوژی تابش کلینیکی شناخته شده است. که ما هم در این پایان نامه از چشمه ایریدیم-۱۹۲ استفاده می کنیم.

## ۸-۱ کمیت‌های مورد استفاده در دُزیمتری و تابش پرتوها

به منظور درمان تابشی مناسب، فهم یکای تابش‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در کارهای تجربی برای این کار از دُزسنج‌های مناسب استفاده می‌شود.

### ۱-۸-۱ دُز پرتو، D

دُز پرتو یا به عبارت دقیق‌تر دُز جذبی پرتوهای یون‌ساز، مقدار کل انرژی پرتو جذبی در یک گرم ماده است. واحد قدیمی آن RAD<sup>۱</sup> می‌باشد. یک راد برابر با انرژی جذب شده ۱۰۰erg در یک گرم ماده یا بافت است.

$$1\text{rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}} \quad (10-1)$$

در سیستم SI یکای گری<sup>۲</sup>، جایگزین راد می‌شود. یک گری انرژی جذب شده یک ژول از پرتوهای یون‌ساز در هر کیلوگرم ماده است، که به صورت زیر می‌باشد:

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (11-1)$$

### ۲-۸-۱ آهنگ دُز پرتو

آهنگ دُز پرتو  $\frac{dD}{dt}$ ، مقدار انرژی جذب شده در واحد زمان و واحد جرم بافت است. یکای آن ممکن است به صورت‌های مختلف راد یا (mGy) در دقیقه، راد یا (cGy) در ساعت، راد یا (Gy) در روز بیان شود.

### ۳-۸-۱ دُز معادل

اثرات بیولوژیک در واحد دُز جذبی بافت، تابع نوع پرتو است (اشعه X و  $\gamma$  در مقایسه با ذرات پروتون و آلفا). بنابراین ضریب وزنی  $W_R$  برای هر نوع پرتو بر مبنای این اختلافات تعریف شده است.

---

۸. Radiation Absorb Dose

۹. Gray

دُز ضربدر ضریب وزنی پرتو، دُز معادل نامیده می‌شود. برای تشخیص آن از دُز جذبی،  $D$ ، واحد آن در سیستم قدیمی رم (rem) و در سیستم جدید SI سیورت (SV) نامیده و با حرف  $H$  نشان داده می‌شود:

$$H = D \times W_R \quad (1-12)$$

برای پرتوهای مورد استفاده در رادیولوژی و پزشکی هسته‌ای (پرتوهای  $X$  و  $\gamma$ ، الکترون و پوزیترون)،  $W_R$  مساوی یک است. بنابراین، دُز ( $D$ ) و دُز معادل ( $H$ ) دارای مقادیر مشابه ولی واحدهای متفاوت می‌باشند. برای ذرات نوترون و آلفا،  $W_R$  دارای مقادیر بیشتر (۵ تا ۲۰) می‌باشند.

#### ۴-۸-۱ معادل دُز

در قوانین NRC از معادل دُز استفاده می‌شود که با معادله‌ای مشابه معادله (۱-۶) تعریف می‌شود ولی به جای ضریب وزنی پرتو ( $W_R$ ) از ضریب کیفی پرتو ( $Q_R$ ) استفاده می‌شود. برای پرتوهای مورد استفاده پزشکی هسته‌ای،  $Q_R$  نیز یک است. تفاوت دیگر این که در معادله بالا،  $D$  متوسط دُز یک بافت است، در حالی که برای محاسبه معادل دُز، دُز یک نقطه در بافت در نظر گرفته می‌شود. در پزشکی هسته‌ای برای تمام مقاصد عملی، این دو واژه جایگزین یکدیگر می‌شوند.

#### ۵-۸-۱ دُز مؤثر، دُز معادل مؤثر

به منظور تعیین استانداردهای ایمنی تابش فرض می‌کنیم که احتمال اثرات تصادفی در هر بافت با دُز معادل آن بافت متناسب است. اما به دلیل برابر نبودن حساسیت بافت‌های گوناگون، مقدار ضریب تناسب در بافت‌های متفاوت یکسان نیست. اگر دُز تابش در سرار بدن یکنواخت باشد، ضریب خطر کل برابر یک است. برای تابش نایکنواخت، مثل پرتوگیری قسمتی از بدن از یک میدان تابشی خارجی، یا پرتوگیری داخلی وقتی تراکم ایزوتوپ در اندام‌های مختلف متفاوت است، برای محاسبه دُز معادل

مؤثر از ضرایب وزنی که متناسب با پذیرفتاری نسبی اندامها در برابر اثرات تصادفی هستند، استفاده می‌کنیم. دُز معادل مؤثر  $H_E$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H_E = \sum W_T H_T \quad (13-1)$$

که در آن  $W_T$ ، ضریب وزنی بافت T است، که به صورت جدول (۴-۱) می‌باشد و  $H_T$  دُز معادل بافت T است [۵].

جدول ۴-۱. ضریب وزنی و احتمال خطر برای اثرات تصادفی در بافت [۵].

$W_T$	ملاحظات	احتمال خطر به ازای هر Sv	بافت
۰/۲۵	احتمال آسیب ژنتیکی در ۲ نسل اول	$4/0 \times 10^{-3}$	غدد تناسلی
۰/۱۵	میانگین برای کلیه‌ی سن‌ها در هر دو جنس	$2/5 \times 10^{-3}$	پستان
۰/۱۲	سرطان خون	$2/0 \times 10^{-3}$	مغز قرمز استخوان
۰/۱۲	سرطان	$2/0 \times 10^{-3}$	ریه
۰/۰۳	سرطان بدخیم	$5/0 \times 10^{-3}$	غده‌ی تیروئید
۰/۰۳	سرطان استخوان	$5/0 \times 10^{-3}$	سطح استخوان
۰/۳۰	سرطان، با فرض اینکه هر بافت بیش از ۱/۵ این مقدار کل دریافت نکند	$5/0 \times 10^{-3}$	بافت‌های دیگر

## ۹-۱ پرتودرمانی

برای درمان انواع سرطان‌ها می‌توان از روش‌های درمانی مختلف مثل، جراحی، شیمی‌درمانی و پرتودرمانی استفاده کرد. پرتودرمانی خارجی و پرتودرمانی داخلی، دو روش اصلی پرتودرمانی را تشکیل می‌دهند [۱۰]. پرتودرمانی استفاده از پرتوهای یونیزان (از قبیل پرتو ایکس، گاما، الکترون و غیره) جهت درمان تومورها است. در پرتودرمانی روش‌های طراحی درمان به طور مداوم در حال پیچیده‌تر شدن و دگرگون شدن هستند. به این منظور بررسی دُز داده شده با دقت و صحت بیشتری ضروری به



نظر می‌رسد. از آن جا که هدف درمان‌های پرتودرمانی رساندن حداکثر دُز به سلول‌های توموری و کمترین تابشی‌دهی به سلول‌های سالم است، در نتیجه پرتوگیری بافت سالم غالباً یک نگرانی در پرتودرمانی محسوب می‌گردد [۱۱ و ۱۲]. این درمان به روش تحویل دُز و خطاهای موجود در آن بسیار حساس است. در دهه‌های گذشته از آب به عنوان فانتوم برای بررسی دُز استفاده می‌کردند، که خواصی مشابه با بافت نرم بدن انسان دارد. که این روش دارای خطاهایی نیز بوده است. برای کاهش چنین خطاهایی، دزیمترهای سه بعدی به عنوان یک روش نسبی برای بررسی و پایش تحویل دقیق دُز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند.

### ۱-۱۰- دزیمترهای شیمیایی و سه‌بعدی

دزیمترهای شیمیایی همواره یکی از کاندیدهای مناسب برای اندازه‌گیری دُز به صورت سه بعدی بوده‌اند. انواع مختلفی از دزیمتری‌های سه بعدی که معمولاً با نام ژل دزیمتر استفاده می‌شوند معرفی شده‌اند، که در ادامه به تشریح آن‌ها خواهیم پرداخت.

#### ۱-۱۰-۱- دزیمتر ژل فریک

در این دزیمتر یون فرو  $Fe^{2+}$  در اثر پرتوگیری به یون فریک  $Fe^{3+}$  تبدیل می‌شود و این تغییر با ابزارهای مختلفی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. استفاده از دزیمتر شیمیایی فریک برای اندازه‌گیری سه بعدی دُز باعث ایجاد نوعی از ژل دزیمترهای پلیمری شده است که به دزیمترهای ژل فریک معروف می‌باشند [۲].

تابش‌دهی ژل فریک که منجر یک توزیع دُز غیریکنواخت فضایی در ژل شد، باعث ایجاد گرادیان غلظت یون فریک در ژل می‌شود. به علت ثابت نبودن این یون‌ها در ماتریس ژل، پخش‌شدگی یون فریک اتفاق می‌افتد و اطلاعات فضایی دُز حذف می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت، یکی از معایب

بزرگ ژل فریک، پخش‌شدگی یون‌های فریک در ماتریس ژل می‌باشد. که این موضوع نخستین بار توسط شولز<sup>۱۰</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۰ بیان شد. آن‌ها نشان دادند توزیع دُز به دست آمده از ژل فریک در زمان‌های پس از پرتودهی پایدار نمی‌ماند که این به دلیل پخش‌شدگی یون‌های فرو و فریک در ماتریس ژل می‌باشد. در نتیجه برای جلوگیری از پخش‌شدگی زیاد و از بین رفتن جزئیات توزیع سه بعدی دُز در ماتریس ژل، تصویر گرفتن از ژل می‌بایست در کمتر از ۲ ساعت پس از پرتودهی انجام شود [۱۳].

تلاش‌های زیادی برای غلبه بر مشکل پخش‌شدگی ژل‌های فریک انجام شده است. در تحقیقی، از ماتریس پلی‌ونیل‌الکل به جای ماتریس ژلاتین استفاده کردند که منجر به کم شدن سرعت پخش‌شدگی یون‌های فریک در ماتریس می‌شود. محققین دیگری نیز روش‌هایی را برای کم کردن سرعت پخش‌شدگی توسعه داده‌اند اما به طور کلی در استفاده از ژل فریک، تصویربرداری از ژل می‌بایست پس از پرتودهی هرچه سریع‌تر انجام شود [۱۴].

## ۱-۱۰-۲ ژل‌های پلیمری

در ژل دُزیمترهای پلیمری، به جای قرار گرفتن یون‌های فریک در ماتریس ژل، منومرها در ماتریس ژل قرار می‌گیرند. چند مزیت مهم برای ژل‌های پلیمری نسبت به ژل‌های فریک عنوان کرده‌اند که عبارت‌اند از: برخلاف ژل‌های فریک که پخش‌شدگی یون فریک باعث از بین رفتن اطلاعات توزیع فضایی دُز در چند دقیقه پس از پرتودهی می‌شود، در ژل‌های پلیمری، توزیع فضایی زمان آسایش پروتون‌های مجاور زنجیره‌های پلیمری با زمان ثابت می‌ماند و یا به عبارتی توزیع فضایی دُز ثابت می‌ماند. در نتیجه در هر زمان پس از پرتودهی می‌توان از ژل‌های پلیمری تصویر گرفت و توزیع دُز را به دست آورد.

ژل‌های پلیمری نسبت به ژل‌های فریک حساسیت قابل توجه بیشتری به دُز پرتوها از خود نشان می‌دهند. پس از معرفی ژل پلیمری BANANA<sup>۱۱</sup> فرمولاسیون‌های دیگری نیز به منظور بهبود مشخصه‌های ژل پلیمرها برای دُزیمتری پرتوها ارائه شدند. از مهم‌ترین ژل پلیمرهای معرفی شده می‌توان به نوع BANG<sup>۱۲</sup> و PAG<sup>۱۳</sup> اشاره کرد [۱۶ و ۱۵].

علی‌رغم خصوصیات مثبت ژل پلیمرها، مشکلات و محدودیت‌هایی نیز در استفاده از آن‌ها وجود دارد. یکی از مشکلات اصلی ژل پلیمرها این است که پاسخ آن‌ها به حضور اکسیژن به شدت حساس است و در صورتی که در محیط ژل، اکسیژن به صورت غیر محلول وجود داشته باشد پاسخ ژل به دُز کاهش می‌یابد. این مسئله به خاطر این است که اکسیژن دارای خاصیت گیراندازی و شکار رادیکال‌های آزاد می‌باشد و در نتیجه رادیکال‌های آزاد تولید شده حاصل از رادیولیز آب در اثر تابش پرتوها، توسط اکسیژن جذب می‌شوند و از واکنش پلیمریزاسیون منومرها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌شود. برای رفع این مشکل در دُزیمترهای BANG و PAG اکسیژن آزاد را از ژل خارج می‌کنند. برای این منظور ژل پلیمرها، در محفظه بسته که از نیتروژن پر شده است ساخته می‌شوند و در حین فرآیند ساخت، در محلول ژل، گاز نیتروژن دمیده می‌شود. پس از ساخت ژل نیز آن را در فانتوم‌ها و یا ظرف‌هایی که نسبت به اکسیژن نفوذناپذیر هستند می‌ریزند. یکی از محدودیت‌های ژل پلیمرهای نوع BANG و PAG، سمی بودن مواد استفاده شده در ساخت آن‌ها می‌باشد. یکی دیگر از محدودیت‌ها و مشکلات ژل‌های پلیمری نوع BANG و PAG و شرایط دشوار ساخت آن‌ها است که استفاده گسترده از آن‌ها را در کلینیک محدود کرده است. لذا محققین را بر آن داشت تا نوعی از ژل پلیمرها را معرفی کنند که مشکلات فوق را نداشته باشد [۱۷ و ۱۸].

---

۱۱. Bas, Acrylamide, Nitrous oxide And Agarose

۱۲. Bis, Acrylamide, Nitrogen, Gelation

۱۳. Polyacryl Amide Gel

## ۱-۱۰-۳ ژل پلیمر نورموکسیک

در سال ۲۰۰۱، فانگ و همکارانش نوعی ژل پلیمری جدید معرفی کردند که به آن ژل نورموکسیک گفته می‌شود. ژل پیشنهاد شده حاوی متاکریلیک اسید<sup>۱۴</sup>، اسکوربیک اسید<sup>۱۵</sup>، هیدروکینون<sup>۱۶</sup>، سولفات مس<sup>۱۷</sup> و ژلاتین<sup>۱۸</sup> بود و به نام ژل MAGIC<sup>۱۹</sup> شناخته شد. کار کردن با این نوع ژل مخاطرات کمتری داشت، با توجه به اینکه این ژل در شرایط نرمال اتمسفر قابل ساخت بود و برای ساخت آن، نیازی به تجهیزات پیچیده نبود، لذا امکان استفاده از این ژل پلیمر برای دُزیمتری پرتوها در کلینیک به وجود آمد [۴]. به طور خلاصه، ژل نورموکسیک با توجه به نکات زیر بر ژل‌های دیگر برتری دارد:

- ۱- ساخت آن نیاز به زمان، تجربه و تجهیزات کمتر دارد.
- ۲- این ژل کمتر در معرض اثرات پخش‌شدگی قرار دارد.
- ۳- هیچ‌گونه آستانه‌ای برای پاسخ به دُز ندارد و بدین ترتیب عدم قطعیت اندازه‌گیری در دُزهای پایین، کاهش می‌یابد.

---

۱۴. C<sub>4</sub> H<sub>6</sub> O<sub>2</sub>

۱۵. C<sub>6</sub> H<sub>8</sub> O<sub>6</sub>

۱۶. C<sub>6</sub> H<sub>6</sub> O<sub>2</sub>

۱۷. Cu So<sub>4</sub>

۱۸. C<sub>6</sub> H<sub>12</sub> O<sub>6</sub>

۱۹. Meta acrylic acid and Ascorbic acid in Gelatin Initiated with Copper



## فصل دوم

### طراحی و ساخت فانتوم ژل پلیمر MAGIC

کد MCNP یکی از قوی‌ترین کدهای محاسباتی هسته‌ای است که بر اساس روش مونت کارلو کار می‌کند. این کد در طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای و بررسی ایمنی آن‌ها، محاسبات مصرف سوخت، پرتوپزشکی، طراحی حفاظ و ... کاربردهای فراوانی دارد. در این فصل ضمن معرفی اجمالی کد MCNP، اقدام به طراحی و شبیه‌سازی فانتوم ژل پلیمر و انجام دُزیمتری برای پرتوهای گاما می‌کنیم. و همچنین کارتهای مورد استفاده در این کد را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. سپس بر اساس داده‌های شبیه‌سازی اقدام به ساخت ژل پلیمر MAGIC خواهیم کرد.

## ۲-۲ تاریخچه کد MCNP

کد MCNP برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ در آزمایشگاه لوس آلاموس<sup>۲۰</sup>، تحت عنوان MCS، تهیه شد و در سال ۱۹۹۷ برای اولین بار به نام MCNP ارائه گردید و در ادامه نسخه‌های ۴A و ۴B، که تنها ذرات نوترون و فوتون را در نظر می‌گرفت، ارائه شد. در سال ۲۰۰۰ ذره‌ی الکترون به نسخه قبلی آن اضافه شد و با نام MCNP4C به بازار آمد. بعد از آن نسخه‌های X، ۵ و ۶ ارائه گردید که دارای قابلیت فراوانی می‌باشند. MCNP یک کد بین‌المللی برای آنالیز ترابرد نوترون‌ها و پرتوهای گاما به وسیله‌ی روش مونت کارلو می‌باشد. ما در این کد از نسخه MCNPX 2.6 استفاده می‌کنیم [۱۹].

## ۳-۲ ساختار فایل ورودی

برای استفاده از این کد باید یک فایل ورودی، شامل اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه‌ی پرتو، خروجی‌های مورد نظر و ... تهیه شود. این فایل، یک فایل متنی است که می‌توان با استفاده از هر نرم افزار ویرایش فایل‌های متنی نوشته شود. هر فایل ورودی شامل یک قسمت اصلی است که هر قسمت

---

<sup>۲۰</sup>. Los Alamos National Laboratory

با یک خط خالی از قسمت قبلی و بعدی جدا می‌شود. اولین قسمت اصلی، بخشی است که شامل تعریف سلول‌های مسئله می‌باشد. دومین قسمت فایل ورودی، شامل تعریف سطوحی است که در مسئله استفاده می‌شود. سومین و آخرین قسمت اصلی فایل ورودی شامل داده‌های مسئله مثل چشمه، مواد، نوع خروجی و ... می‌باشد.

## ۴-۲ کارت‌های مورد نیاز کد

برخی از کارت‌های مورد استفاده به صورت زیر می‌باشند:

### ۲-۴-۱ کارت سلول

سلول هر ناحیه‌ای از فضا است که توسط سطح یا سطوحی محدود می‌شود. کارت سلول شامل شماره سلول، شماره ماده، چگالی ماده و شماره سطوح است.

### ۲-۴-۲ کارت سطوح

سطوح مختلفی در این کد قابل استفاده است که شامل سطوح کروی، صفحه، استوانه، مکعبی و ... است. با استفاده از این کارت می‌توان حجم‌های با شکل‌های مختلف و پیچیده را تعریف نمود.

### ۲-۴-۳ کارت داده

این کارت دارای سه قسمت کارت چشمه، کارت مواد و کارت تالی‌ها می‌باشد که در ادامه توضیح داده می‌شوند.



## ۲-۴-۳-۱ کارت چشمه SDEF

هر فایل ورودی دارای حداقل یک چشمه‌ی ذرات است که برای تعریف آن در کد با استفاده از دستور SDEF در قسمت داده تعریف می‌شود. پارامترهای قابل تعریف برای چشمه نوع ذره، انرژی، مکان و ... است.

## ۲-۴-۳-۲ کارت مواد

هر ماده‌ای که سلولی را پر کرده است و یا برای محاسبات تالی استفاده می‌شود، باید در قسمت کارت داده‌ها تعریف شود. هر ماده در قسمت داده‌ها به صورت دستور Mn شماره گذاری می‌شود که n یک عدد درست و حداکثر پنج رقمی است که ماده مورد نظر به کمک این عدد شناسایی و فراخوانی می‌شود. برای تعریف هر ماده باید چگالی و درصد وزنی یا اتمی عناصر تشکیل دهنده آن معلوم باشد.

## ۲-۴-۳-۱ تعریف یک ماده معمولی

یک ماده ممکن است ترکیبی از چند ایزوتوپ و یا به صورت یک ایزوتوپ خالص باشد. یک ایزوتوپ  ${}^A_ZX$  به صورت یک عدد درست، که آن را ZAID آن ایزوتوپ می‌نامیم، به شکل زیر تعریف می‌شود:

$${}^A_ZX = (1000 \times Z) + A \quad (1-2)$$

که در این رابطه Z عدد اتمی و A عدد جرمی است.

برای تعریف یک ماده باید ایزوتوپ‌های تشکیل دهنده آن و درصد وزنی یا اتمی آن‌ها در ماده مورد نظر را مشخص کنیم. یک ماده به طور کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Mn \text{ ZAID}_1 f_1 \text{ ZAID}_2 f_2 \dots \quad (2-2)$$

که در آن  $f_i$  درصد وزنی یا اتمی آن ایزوتوپ است. درصد وزنی را با علامت منفی و درصد اتمی را با علامت مثبت (یا بدون علامت) درج می‌کنیم.

#### ۲-۴-۳-۲ تعریف آلیاژ

اگر ماده مورد نظر ترکیبی از چند ماده و سهم هر یک از مواد در آلیاژ معلوم باشد، آنگاه با کمی محاسبه می‌توان درصد اتمی یا وزنی ایزوتوپ‌های موجود در آلیاژ را بدست آورد. که در ادامه برای پیدا کردن درصد وزنی عناصر ژل پلیمر MAGIC، به بررسی آن خواهیم پرداخت.

#### ۳-۴-۳-۲ تعریف محلول

تعریف یک محلول که درصد وزنی اجزای آن و غلظتش مشخص باشد، ساده است. به کمک غلظت محلول ابتدا درصد وزنی ماده حل‌شونده را حساب می‌کنیم، سپس درصد وزنی تک تک عناصر تشکیل دهنده یک محلول را محاسبه می‌کنیم. که در ادامه به محاسبه درصد وزنی تک تک عناصر تشکیل دهنده محلول نانوذرات طلا و نقره خواهیم پرداخت.

#### ۳-۴-۳-۲ کارت تالی (خروجی برنامه MCNP)

به کمک تعریف تالی‌ها در برنامه می‌توان کمیت‌های مختلف مانند: جریان، شار، انرژی تخلیه شده و کمیت‌های دیگر را محاسبه کرد. یک تالی با تعیین نوع آن و نوع ذره، به صورت  $F_n:pl$  تعریف می‌شود که  $pl$  معرف نوع ذره است و  $n$ ، یک عدد صحیح و حداکثر سه رقمی است که رقم آخر آن نوع تالی را مشخص می‌کند. اضافه کردن ستاره (\*) به صورت  $*F_n$  باعث ضرب تالی در انرژی و در نتیجه تغییر یکای تالی می‌گردد.

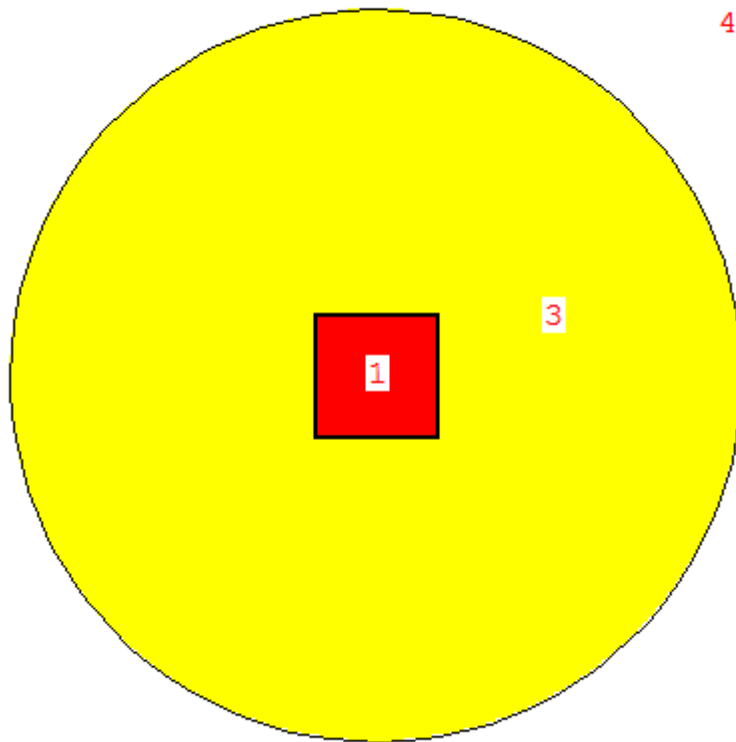
## ۲-۵ مواد و روش کار

در مطالعه حاضر از مونت کارلو توسط کد شبیه‌سازی MCNPX 2.6 محاسبات، انجام شد. شبیه‌سازی فانتوم‌های لایه‌ای پرسپکسی از جنس پلی‌اکریلیک با چگالی  $1/18 \text{ g.cm}^{-3}$  به صورت مکعبی با اضلاع  $10 \text{ cm}$  و همچنین به صورت شکل استوانه با ارتفاع  $9 \text{ cm}$  و شعاع‌های  $6 \text{ cm}$  و  $5/1$  طراحی شد، که حاوی ترکیبات ژل پلیمر MAGIC و یا آب است. و از چشمه ایریدیم  $^{192}\text{Ir}$  به صورت نقطه‌ای که در مرکز فانتوم‌ها قرار دارد، استفاده شد که شکل ۱-۲ هندسه و مدل شبیه‌سازی فانتوم‌ها را نشان می‌دهد. مشخصات چشمه ایریدیم در جدول (۱-۳) نشان داده شده است. که برای استفاده از این چشمه در کد MCNPX باید ستون دوم جدول را تبدیل به احتمالات کنیم و نرمال به یک شود، که از رابطه (۲-۳) به دست می‌آید. و جدول ۱-۲ انرژی چشمه ایریدیم را بر حسب احتمال نشان می‌دهد.

$$P(E_i) = \frac{F(E_i)}{\sum F(E_i)} \quad (3-2)$$

در برنامه MCNPX تالی \*F8 (بر حسب MeV) و تالی  $F5(\frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2})$  به ازای تعداد یکسانی از ذرات ترابرد شدند، که این مقدار تالی‌ها را در فانتوم ژل پلیمری و فانتوم‌های ژل پلیمر حاوی محلول نانوذرات طلا و نقره با غلظت‌های مختلف به طور جداگانه محاسبه خواهیم کرد.

به این نکته باید اشاره کرد که خروجی تالی \*F8 بر حسب MeV می‌باشد، که برای محاسبه دُز جذبی بر جرم سلول تقسیم می‌شود که واحد آن بر حسب  $\frac{\text{MeV}}{\text{g}}$  بدست آید. که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت. برای رسم نمودارها از نرم افزار اورجین استفاده کردیم.



شکل ۱-۲. هندسه و مدل شبیه‌سازی فانتوم‌ها

در این شبیه‌سازی فانتوم، در سلول ۱ ماده ژل پلیمر MAGIC و یا آب قرار دارد و سلول ۲ ظرفی که ژل پلیمر و یا آب درون آن قرار گرفته است. سلول ۳ را محیط آزمایش و هوا تعریف کرده‌ایم. و سلول ۴ فضایی بیرون آزمایشگاه و به صورت خلاء در نظر گرفته شده است.

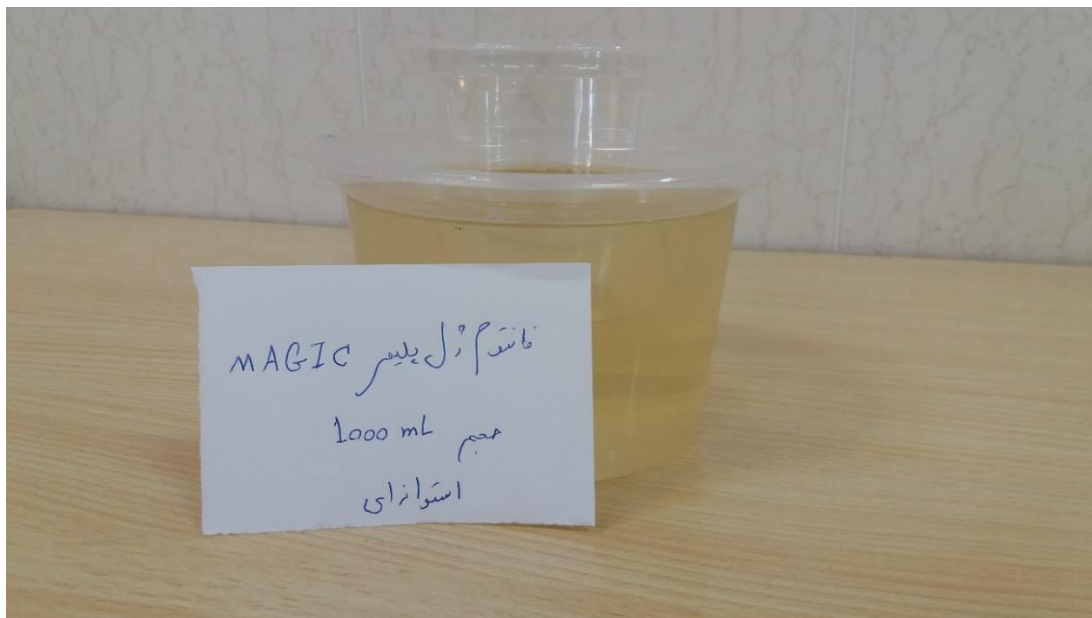
جدول ۱-۲. مشخصات چشمه ایریدیم مورد استفاده در کد MCNPX [۹].

انرژی (MeV)	احتمال
۰/۱۱۰۰۹	۵/۸۳۹۲۲×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۱۳۶۳۴	۸/۴۵۷۴۴×۱۰ <sup>-۴</sup>
۰/۱۷۶۹۸	۱/۹۸۴۱۳×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۲۰۱۳۱	۰/۰۰۲۱۷
۰/۲۰۵۸	۰/۰۱۵۱۹
۰/۲۱۴۷۵	۲/۳۹۲۷۴×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۲۸۰۰۴	۱/۰۶۳۳۹×۱۰ <sup>-۴</sup>
۰/۲۸۳۲۷	۰/۰۰۱۲۱
۰/۲۹۵۹۶	۰/۱۳۱۹۶
۰/۳۰۸۴۹	۰/۱۳۸۰۸
۰/۳۱۴۸۳	۶/۴۴۲۰۱×۱۰ <sup>-۴</sup>
۰/۳۱۶۵۱	۰/۳۸۱۰۵
۰/۳۲۹۳۱	۸/۵۱۷۷۲×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۳۷۴۴۹	۰/۰۰۳۳۲
۰/۴۱۵۴۵	۸/۲۸۲۵۸×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۴۱۶۴۷	۰/۰۰۳۰۶
۰/۴۲۰۵۳	۳/۳۹۲۴۱×۱۰ <sup>-۴</sup>
۰/۴۶۸۰۷	۰/۲۲۰۰۹
۰/۴۸۴۵۸	۰/۰۱۴۶۵
۰/۴۸۵۳	۱/۰۳۵۳۲×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۴۸۹۰۴	۰/۰۰۲۰۴
۰/۵۸۸۵۸	۰/۰۲۰۷۸
۰/۵۹۳۳۷	۱/۹۶۰۹×۱۰ <sup>-۴</sup>
۰/۵۹۹۳۵	۱/۸۰۲۳۸×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۶۰۴۴۱	۰/۰۳۷۹
۰/۶۱۲۴۷	۰/۰۲۴۴۳
۰/۷۰۳۹۸	۲/۴۸۰۱۷×۱۰ <sup>-۵</sup>
۰/۷۳۹	۴/۶۴۷۴×۱۰ <sup>-۶</sup>
۰/۷۶۵۸۲	۶/۸۶۷۶×۱۰ <sup>-۶</sup>
۰/۸۸۴۵۴	۰/۰۰۱۳۵
۱/۰۶۱۴۸	۲/۴۳۳۲۴×۱۰ <sup>-۴</sup>
۱/۰۸۹۷۳	۴/۹۷۸۸×۱۰ <sup>-۶</sup>
۱/۳۷۸۳۵	۵/۷۱۷۸×۱۰ <sup>-۶</sup>

## ۲-۵-۱ فرآیند ساخت ژل پلیمر MAGIC حساس به پرتو

روش ساخت ژل مشابه روش ارائه شده توسط فانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ است. به طور خلاصه جهت ساخت ۱۰۰۰ گرم از این نوع ژل ۸۰ گرم (۸ درصد وزنی) ژلاتین (۳۰۰ بلوم، نوع A)، ۹۰ گرم (۹ درصد وزنی) اسید متاآکریلیک، ۰/۳۵۲ گرم (۰/۳۵۲ درصد وزنی) اسید آسکوربیک، ۰/۰۲ گرم (۰/۰۰۲

درصد وزنی) سولفات مس پنتا هیدرات، ۲ گرم (۰/۲ درصد وزنی) هیدروکینون، ۸۲۸ گرم (۸۲/۷۶۲۸ درصد وزنی) آب دوبار تقطیر شده مورد نیاز است که به کمک ترازوی دیجیتالی جدا شدند. ابتدا ژلاتین را با حدود ۶۹۳ سی سی آب در داخل بشر ریخته و برای مدت ۲۵ دقیقه اجازه داده شده تا کاملاً ببندد، در این مرحله ژل حالتی بین جامد و مایع داشت. سپس به آن به تدریج حرارت داده شد تا به دمای ۵۰ درجه سانتیگراد برسد، در این مرحله ترکیب، ظاهری شفاف پیدا می کند. در این دما هیدروکینون که در ۵۰ سی سی آب حل شده بود به ترکیب اضافه شد و هیتر خاموش گردید. پس از این که دمای محلول به ۳۷ درجه سانتیگراد رسید، ابتدا اسید آسکوربیک که در ۵۰ سی سی آب حل شده بود، اضافه گردید، سپس سولفات مس را که در ۳۵ سی سی آب حل شده بود اضافه شد، حدود ۳۰ ثانیه بعد اسید متاآکریلیک اضافه گردید. دما در حین فرآیند ساخت به دقت به کمک دماسنج الکلی مورد اندازه گیری قرار گرفت. پس از چند دقیقه هم زدن، محلول درون فانتومها ریخته و پس از بستن درب آنها در داخل یخچال گذاشته شدند تا به دمای ۴ درجه سانتیگراد برسند که در شکل ۲-۲ فانتوم ژل پلیمر MAGIC نشان داده شده است. در هیچ کدام از مراحل، هم زدن ژل متوقف نشد [۴].



شکل ۲-۲. فانتوم ژل پلیمر MAGIC.

## ۲-۵-۲ محاسبه درصد وزنی عناصر و چگالی در ژل پلیمر

محاسبه درصد وزنی عناصر در ژل پلیمر:

ترکیب ژل پلیمر، از چند ماده و سهم هر یک از مواد در ژل پلیمر معلوم است مطابق با جدول ۲-۲.

حال با اندکی محاسبات می توان درصد وزنی ایزوتوپ های موجود در ژل پلیمر را بدست آورد.

جدول ۲-۲. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC

ماده	زلاتین	اسید متاآکریلیک	اسید آسکوربیک	سولفات مس پنتاهیدرات	هیدروکینون	آب دوبار تقطیر
فرمول شیمیایی	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	Cu So <sub>4</sub> - 5 (H <sub>2</sub> o)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> o
درصد وزنی ماده	۸	۹	۰/۰۳۵۲	۰/۰۰۲	۰/۲	۸۲/۷۶۲۸
چگالی جرمی	۱/۵۴	۱/۰۱۵	۱/۶۵	۲/۲۸	۱/۳	۱
جرم ماده (g)	۱۸۰	۸۶	۱۷۶	۲۴۹/۵۴	۱۱۰	۱۸

با توجه به درصدهای وزنی مواد داده شده، درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده را به صورت زیر محاسبه

خواهیم کرد:

$$M(C) = 12 \quad M(H) = 1 \quad M(O) = 16 \quad M(Cu) = 63.54 \quad M(S) = 32$$

$$W_f(C) = 0.08 \left( \frac{6 M(C)}{M(C_6 H_{12} O_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{4 M(C)}{M(C_4 H_6 O_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(C)}{M(C_6 H_8 O_6)} \right) + 0.002 \left( \frac{6 M(C)}{M(C_6 H_6 O_2)} \right) = 0.083682$$

$$W_f(H) = 0.08 \left( \frac{12 M(H)}{M(C_6 H_{12} O_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{6 M(H)}{M(C_4 H_6 O_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(H)}{M(C_6 H_8 O_6)} \right) + 0.00002 \left( \frac{10 M(H)}{M(Cu So_4 - 5(H_2O))} \right) + 0.002 \left( \frac{6 M(H)}{M(C_6 H_6 O_2)} \right) + 0.827628 \left( \frac{2 M(H)}{M(H_2O)} \right) = 0.1037168$$

$$W_f(\text{O}) = 0.08 \left( \frac{6 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{2 M(\text{O})}{M(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{6 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)} \right) \\ + 0.00002 \left( \frac{9 M(\text{O})}{M(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))} \right) + 0.002 \left( \frac{2 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.827628 \left( \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \right) = 0.81259354$$

$$W_f(\text{Cu}) = 0.00002 \left( \frac{M(\text{Cu})}{M(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))} \right) = 0.0000051$$

$$W_f(\text{S}) = 0.00002 \left( \frac{M(\text{S})}{M(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))} \right) = 0.00000256$$

$$\sum W_f(\text{i}) = 1$$

محاسبه چگالی فانتوم ژل پلیمر MAGIC:

با استفاده از جدول ۲-۲ که مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC در آن مشخص شده است. مقدار چگالی کل را برای فانتوم ژل پلیمر MAGIC را محاسبه می‌کنیم. برای ترکیبات ژل پلیمر مقدار وزن ماده با چگالی ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) آن مشخص است، که با این مقادیر مقدار حجم هر یک از مواد را پیدا می‌کنیم. سپس با استفاده از رابطه چگالی با داشتن حجم کل مواد و وزن آن مقدار چگالی کل به دست می‌آید.

محاسبه حجم هر یک از مواد از رابطه (۴-۲) به دست می‌آید:

$$V_i(\text{cm}^3) = \frac{M_i(\text{g})}{\rho_i(\text{g} \times \text{cm}^{-3})} \quad (4-2)$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{828}{1} = 828 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)}{\rho(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)} = \frac{80}{1.54} = 51.95 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)}{\rho(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)} = \frac{90}{1.015} = 88.67 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)}{\rho(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)} = \frac{0.352}{1.65} = 0.2133 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O})) = \frac{m(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))}{\rho(\text{Cu So}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))} = \frac{0.02}{2.28} = 0.00877 \text{ cm}^3$$



$$V(C_6H_6O_2) = \frac{m(C_6H_6O_2)}{\rho(C_6H_6O_2)} = \frac{2}{1.3} = 1.54 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{total}) = \sum V_i = 970.38 \text{ cm}^3$$

$$\rho(\text{total}) = \frac{M(\text{total})}{V(\text{total})} = \frac{1000}{970.38} = 1.0305 \text{ g.cm}^{-3}$$

## ۲-۵-۳ علم و کاربردهای نانو

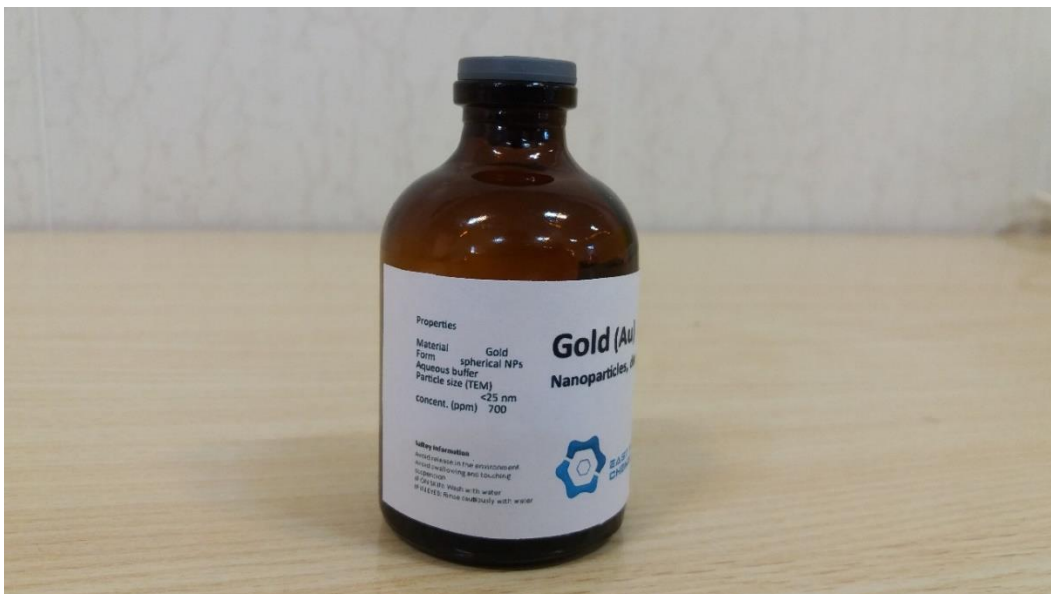
نانو کلمه‌ای یونانی و به معنای کوتوله بوده و در سیستم متریک به معنای  $10^{-9}$  است. و کاربرد این واژه امروزه بیشتر در فناوری نانو است. در سال‌های اخیر استفاده از علم و کاربردهای نانو در اکثر عرصه‌های علمی به شدت مورد توجه قرار گرفته است [۲۰]. اندازه کوچک نانوذرات به همراه قابلیت نفوذ بالا به داخل بافت‌های هدف و امکان قرار گرفتن آن‌ها در کنار سلول‌های داخل بافتی، امیدهای فزاینده‌ای را در زمینه‌های پزشکی ایجاد کرده است.

## ۲-۵-۳-۱ نانوذرات

نانوذره، ذره‌ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. نانو بلورها و نقاط کوانتومی نیمه‌هادی نیز زیر مجموعه نانوذرات هستند. روش‌های متنوعی جهت تولید نانو ذرات وجود دارد که به سه روش کلی فیزیکی، شیمیایی و زیستی طبقه‌بندی شده‌اند. تولید به روش شیمیایی ساده است ولی احتمال اینکه مواد سمی حاصل از واکنش بر روی نانوذرات تولیدی باقی بماند وجود دارد. در روش فیزیکی نانوذرات دارای سمیت کمی می‌باشند ولی تولید آن زمان‌بر است. با توجه به معایب و مشکلات استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی امروزه روش تولید زیستی معرفی گردیده است که روش آسان و ارزان بوده و دارای سمیت کم و سازگاری بالا با بدن انسان دارد. این روش از تولید نانوذرات، به نام تکنولوژی سبز خوانده می‌شود [۲۱ و ۲۲].

## ۲-۵-۳-۲ محلول نانوذرات طلا

نانوذرات طلا که آن را با علامت اختصاری GN<sup>۲۱</sup> نشان می‌دهیم، همانند نانوذرات دیگر به علت اندازه بسیار کوچک، قابلیت نفوذ بالا از طریق عروق خونی به داخل تومور دارد. و همچنین با بالا بودن عدد اتمی طلا موجب افزایش دُز تومور می‌باشد. پارامتر مهم دیگر نانوذرات طلا سازگار بودن با بدن و سمی نبودن آن است، از این رو می‌توان در زمینه پزشکی بسیار مؤثر واقع شود [۲۳]. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه علم شیمی امکان ساخت نانوذرات طلا با شکل‌های متنوع (مثل کره، مثلث، منشور، میله و مکعب)، با اندازه قابل کنترل فراهم شده است. با تغییر شکل هندسی سطح، چگالی میدان الکتریکی روی سطح تغییر کرده و این باعث تغییر در فرکانس ارتعاشی الکترون‌ها می‌شود. به طوری که شکل نانوذرات در رابطه با جذب سلولی بسیار مهم است. مطالعات نشان می‌دهد که نانوسامانه‌های حاوی ذرات کروی شکل طلا، نسبت به نانوسامانه‌های حاوی ذرات میله‌ای، جذب سلولی بیشتری دارند [۲۴]. در شکل ۲-۳ محلول نانوذرات طلا نشان داده شده است.



شکل ۲-۳. محلول نانوذرات طلا.

---

۲۱. Gold Nano Particle

در سال‌های اخیر، تلاش‌های فراوانی برای افزایش دُز با اضافه کردن نانوذرات به تومور صورت گرفته است، اولین مطالعه در سال ۲۰۰۴ توسط هینفلد<sup>۲۲</sup> و همکارانش انجام شد که با تزریق نانوذرات طلا به داخل تومور ایجاد شده در موش و سپس با تحت تابش قرار دادن آن توسط اشعه X، تومورهای به وجود آمده در بدن موش را از بین بردند [۲۵].

برای تعیین دقیق ویژگی‌های دُزیمتری چو و ژانگ<sup>۲۳</sup> و همکارانش با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو میزان افزایش دُز تومور ناشی از چشمه‌های پرتوهای مختلف را در حضور غلظت‌های متفاوتی از نانوذرات طلا محاسبه کردند [۲۶ و ۲۷]. و همچنین محققان دیگر در این زمینه مطالعاتی را گزارش کرده‌اند که به طور کلی نتایج این تحقیقات اثر بخشی این روش، در افزایش دُز رسیده به تومور را نشان می‌دهند [۲۸ و ۲۹].

## ۲-۵-۳-۲-۱ محاسبه درصد وزنی عناصر در محلول نانوذرات طلا

نانوذرات طلای مورد استفاده در این تحقیق به صورت محلول و اندازه ذرات کمتر از ۲۵ nm با غلظت ۷۰۰ ppm می‌باشد. که در شرکت نانو فن آوران سپهر شرق تولید و تهیه شده است. در صد وزنی تک تک عناصر تشکیل دهنده یک محلول آب شامل نانوذرات طلا با غلظت ۷۰۰ ppm را محاسبه خواهیم کرد.

$$W_f(\text{Au}) = 700 \times 10^{-6} = 7 \times 10^{-4}$$

$$W_f(\text{H}_2\text{O}) = 1 - (7 \times 10^{-4}) = 0.9993$$

$$W_f(\text{H}) = 0.9993 \times \frac{2 M(\text{H})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 0.111033333$$

$$W_f(\text{O}) = 0.9993 \times \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 0.8882666668$$

$$\sum W_f(i) = 1$$

---

۲۲. Hainfeld

۲۳. Cho and Zhan

## ۲-۵-۳-۲ محاسبه حجم محلول نانو ذرات طلا در ژل پلیمر برای غلظت‌های مختلف

با حضور محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC می‌خواهیم غلظت‌های مختلف ۰/۱ mM، ۰/۵ mM، ۱ mM و ۱/۵ mM را در ژل پلیمر MAGIC بسازیم. محلول نانوذرات طلا مورد استفاده در این تحقیق با غلظت ۷۰۰ ppm است. قبل از محاسبات به تعریف‌های غلظت می‌پردازیم:

**غلظت (C):** مقدار ماده حل‌شونده (بر حسب گرم) بر حجم محلول (بر حسب لیتر)

**غلظت مولار (M):** مقدار ماده حل‌شونده (بر حسب مول) بر حجم محلول (بر حسب لیتر)

**غلظت ppm:** یک هزارم گرم ماده حل‌شونده در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر محلول را ۱ ppm می‌گویند.

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg solute per liter solution} = \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

$$1 \text{ ppm} = \text{parts per million} = 10^{-6}$$

$$\text{ppm} = M \times m \times 1000 \text{ ml} \quad (۵-۲)$$

که در این رابطه:

$m \left( \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)$  جرم مولی ماده حل‌شونده =

$M$  = غلظت مولار

$$M = \frac{\text{ppm}}{m \times 1000 \text{ ml}} \quad (۶-۲)$$

تبدیل ppm به مولار (M) برای محلول نانوذرات طلا با غلظت ۷۰۰ ppm با استفاده از رابطه (۶-۲)

محاسبه می‌شود:

$$700 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ mol}}{197 \text{ g} \times 1 \text{ l}} = 3.55 \times 10^{-3} \left( \frac{\text{mol}}{\text{l}} \right)$$

که در این رابطه جرم مولی طلا برابر با  $197 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$  است.

برای محاسبه حجم محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC با غلظت‌های مختلف از رابطه زیر

استفاده می‌کنیم:

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 \quad (7-2)$$

$n_1 =$  غلظت مولار ژل پلیمر MAGIC

$v_1 =$  حجم ژل پلیمر MAGIC

$n_2 =$  غلظت مولار محلول نانوذرات طلا

$v_2 =$  حجم محلول نانوذرات طلا

به عنوان مثال برای این که ژل پلیمر MAGIC به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر با حضور محلول نانوذرات طلا به غلظت ۰/۱ mM برسد، حجم مورد نیاز از محلول نانوذرات طلا را از رابطه (۷-۲) محاسبه می‌کنیم:

$$0.1 \times 10^{-3} \text{ (M)} \times 1000 \text{ ml} = 3.55 \times 10^{-3} \text{ (M)} \times V$$

$$V = \left(\frac{0.1}{3.55}\right) \times 1000 = 28.17 \text{ ml}$$

### ۲-۵-۳-۲ محاسبه مقدار گرم طلای موجود در محلول نانوذرات طلا

برای محاسبه مقدار گرم طلای موجود در محلول نانوذرات طلا با در نظر گرفتن غلظت محلول نانوذرات طلا ( غلظت محلول مورد استفاده در این تحقیق ppm ۷۰۰ است )، ابتدا با استفاده از رابطه (۶-۲) مقدار مولار محلول نانوذرات طلا را حساب می‌کنیم. سپس مقدار به‌دست آمده بر حسب مولار را در جرم مولی طلا ضرب می‌کنیم، تا مقدار گرم طلای موجود در محلول به‌دست آید:

$$700 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \text{ mol}}{197 \text{ g} \times 1 \text{ l}} = 3.55 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)$$

$$3.55 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}}\right) \times 197 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) = 0.7 \frac{\text{g}}{\text{l}}$$

## ۲-۵-۳-۲-۴ محاسبه درصد وزنی عناصر در ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات

### طلا با غلظت‌های مختلف

ترکیبات ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا، از چند ماده تشکیل شده و سهم هر یک از مواد در ژل پلیمر معلوم است مطابق با جدول ۲-۳. که می‌خواهیم برای غلظت‌های مختلف درصد وزنی عناصر را پیدا کنیم، مانند قسمت (۲-۲-۵) محاسبات انجام می‌شود، برای نمونه غلظت حضور محلول نانوذرات را در ژل پلیمر MAGIC،  $0.1 \text{ mM}$  در نظر می‌گیریم و محاسبات را انجام می‌دهیم. که ابتدا مقدار محلول نانوذرات طلا را در ژل پلیمر از رابطه (۲-۷) محاسبه کرده، سپس مقدار گرم طلای موجود در محلول نانوذرات طلا را مانند حالت قبل محاسبه می‌کنیم.

جدول ۲-۳. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا

ماده	ژلاتین	اسید متاآکریلیک	اسید آسکوربیک	سولفات مس پنتاهیدرات	هیدروکینون	طلا	آب دوبار تقطیر
فرمول شیمیایی	$C_6 H_{12} O_6$	$C_4 H_6 O_2$	$C_6 H_8 O_6$	$Cu SO_4 - 5 (H_2 O)$	$C_6 H_6 O_2$	AU	$H_2 O$
درصد وزنی ماده	۸	۹	۰/۰۳۵۲	۰/۰۰۲	۰/۲	۰/۰۰۱۹۷۲	۸۲/۷۶۲۸
چگالی جرمی	۱/۵۴	۱/۰۱۵	۱/۶۵	۲/۲۸	۱/۳	۱۹/۳	۱
جرم ماده (g)	۱۸۰	۸۶	۱۷۶	۲۴۹/۵۴	۱۱۰	۱۹۷	۱۸

با توجه به درصدهای وزنی مواد داده شده، درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده را به صورت زیر محاسبه

خواهیم کرد:

$$\begin{aligned} M(\text{H}) &= 1 & M(\text{O}) &= 16 & M(\text{Cu}) &= 63.54 & M(\text{C}) &= 12 \\ M(\text{S}) &= 32 & M(\text{AU}) &= 197 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f(\text{C}) &= 0.08 \left( \frac{6 M(\text{C})}{M(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{4 M(\text{C})}{M(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(\text{C})}{M(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)} \right) \\ &+ 0.002 \left( \frac{6 M(\text{C})}{M(\text{C}_6 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) = 0.083682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f(\text{H}) &= 0.08 \left( \frac{12 M(\text{H})}{M(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{6 M(\text{H})}{M(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(\text{H})}{M(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)} \right) \\ &+ 0.000002 \left( \frac{10 M(\text{H})}{M(\text{Cu So}_4\text{-5}(\text{H}_2\text{O}))} \right) + 0.002 \left( \frac{6 M(\text{H})}{M(\text{C}_6 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.827628 \left( \frac{2 M(\text{H})}{M(\text{H}_2\text{O})} \right) = 0.10371517 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f(\text{O}) &= 0.08 \left( \frac{6 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{2 M(\text{O})}{M(\text{C}_4 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{6 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_6)} \right) \\ &+ 0.000002 \left( \frac{9 M(\text{O})}{M(\text{Cu So}_4\text{-5}(\text{H}_2\text{O}))} \right) + 0.002 \left( \frac{2 M(\text{O})}{M(\text{C}_6 \text{H}_6 \text{O}_2)} \right) + 0.827628 \left( \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \right) = 0.81257545 \end{aligned}$$

$$W_f(\text{Cu}) = 0.000002 \left( \frac{M(\text{Cu})}{M(\text{Cu So}_4\text{-5}(\text{H}_2\text{O}))} \right) = 0.0000051$$

$$W_f(\text{S}) = 0.000002 \left( \frac{M(\text{S})}{M(\text{Cu So}_4\text{-5}(\text{H}_2\text{O}))} \right) = 0.00000256$$

$$W_f(\text{S}) = 0.00001972 \left( \frac{M(\text{AU})}{M(\text{AU})} \right) = 0.00001972$$

$$\sum W_f(\text{i}) = 1$$

## ۵-۲-۳-۵-۲ محاسبه چگالی فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا

با استفاده از جدول ۳-۲ که مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت در آن با غلظت ۰/۱ mM مشخص شده است، مقدار چگالی کل را برای فانتوم محاسبه می‌کنیم. که برای ترکیبات فانتوم، مقدار گرم ماده با چگالی ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) آن مشخص است، که با این مقادیر مقدار حجم هر یک از مواد را پیدا کرد. سپس با استفاده از رابطه چگالی با داشتن حجم کل مواد و وزن آن‌ها مقدار چگالی کل بدست می‌آید.

محاسبه حجم هر یک از مواد از رابطه (۴-۲) به دست می‌آید:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{827.98}{1} = 827.98 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{\rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{80}{1.54} = 51.95 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)}{\rho(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)} = \frac{90}{1.015} = 88.67 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)}{\rho(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)} = \frac{0.352}{1.65} = 0.2133 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{CuSO}_4 - 5(\text{H}_2\text{O})) = \frac{m(\text{CuSO}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))}{\rho(\text{CuSO}_4 - 5(\text{H}_2\text{O}))} = \frac{0.02}{2.28} = 0.00877 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2)}{\rho(\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2)} = \frac{2}{1.3} = 1.54 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{AU}) = \frac{m(\text{AU})}{\rho(\text{AU})} = \frac{0.01972}{19.3} = 0.00102 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{total}) = \sum V_i = 970.36 \text{ cm}^3$$

$$\rho(\text{total}) = \frac{M(\text{total})}{V(\text{total})} = \frac{1000}{970.36} = 1.03055 \text{ g.cm}^{-3}$$



## ۲-۵-۳-۳ محلول نانوذرات نقره

نانوذرات، ذرات جامد کلونیدی با ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند، که نانوذرات نقره از جنس نقره است. در حالی که اغلب با عنوان نقره شناخته می‌شوند، اما برخی از آن‌ها از درصد زیادی اکسید نقره تشکیل یافته و این به دلیل نسبت سطح بزرگ به میزان اتم‌های نقره می‌باشد. اشکال متعددی از نانوذرات را می‌توان بسته به نرم افزار در دسترس ایجاد نمود، به طور معمول نانوذرات کروی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بررسی‌های انجام گرفته حاکی از آن است که ۵۶٪ از سهم نانوذرات جهان به نانوذرات نقره اختصاص یافته است [۳۰]. لذا این ذرات به صورت گسترده در توسعه و بهبود کیفیت بسیاری از محصولات زیستی و دارویی استفاده می‌شوند.

اصلی‌ترین ویژگی نانوذرات نقره خاصیت ضد باکتریایی این ذرات است، بنابراین از این ویژگی در زخم پوش‌ها، پانسمان زخم، پمادهای زخم پوستی، ضدعفونی‌کننده‌ها و پوشش‌های ابزار پزشکی استفاده می‌شود [۳۱]. به کارگیری نانوذرات نقره در بیوسنسورها از دیگر کاربردهایی است که می‌توان به آن اشاره نمود. خواص دی‌الکترونیک این ذرات در بیوسنسورها امکان تشخیص اختلالات و بیماری‌ها (مانند سرطان) را فراهم می‌سازد. ویژگی‌های پلاسمونیک نانوذرات نقره سبب شده است که از آن‌ها در تصویربرداری‌های پزشکی و حسگرهای پلاسمونیک نیز استفاده شوند. مکانیزم عملکرد این حسگرها به این ترتیب است که نور با الکترون‌های سطح حسگرها برهم‌کنش داده و آن‌ها را به نوسان در می‌آورد، در نهایت نور جذب شده و پراش می‌یابد و امکان شناسایی ویروس و باکتری‌ها را فراهم می‌کند. به علاوه جذب این نور به وسیله سلول‌های کانجوگه شده سبب تولید انرژی حرارتی و تخریب سلول هدف (سلول سرطانی) می‌شود. و همچنین با بالا بودن عدد اتمی نقره همانند طلا موجب افزایش دُز تومور می‌باشد. پارامتر مهم دیگر نانوذرات نقره و طلا سازگار بودن با بدن و سمی نبودن آن است، از این رو می‌توان در زمینه پزشکی بسیار مؤثر واقع شود [۳۲ و ۳۳].

## ۲-۵-۳-۱ محاسبه درصد وزنی عناصر در محلول نانوذرات نقره

نانوذرات نقره مورد استفاده در این تحقیق به صورت محلول و اندازه ذرات کمتر از ۲۵ nm با غلظت ۲۰۰۰ ppm می‌باشد، که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. این محلول در شرکت نانو فن آوران سپهر شرق تولید و تهیه شده است.

در صد وزنی تک تک عناصر تشکیل دهنده یک محلول آب شامل نانوذرات نقره با غلظت ۲۰۰۰ ppm را محاسبه خواهیم کرد:

$$W_f(\text{Au}) = 2000 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-3}$$

$$W_f(\text{H}_2\text{O}) = 1 - (2 \times 10^{-3}) = 0.998$$

$$W_f(\text{H}) = 0.998 \times \frac{2 M(\text{H})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 0.1108888889$$

$$W_f(\text{O}) = 0.998 \times \frac{M(\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 0.8871111111$$

$$\sum W_f(i) = 1$$



شکل ۲-۴. محلول نانوذرات نقره.

## ۲-۵-۳-۳-۲ محاسبه حجم محلول نانو ذرات نقره در ژل پلیمر با غلظت مختلف

با حضور محلول نانوذرات نقره در ژل پلیمر MAGIC می‌خواهیم غلظت‌های ۰/۱ mM و ۱/۵ mM را در ژل پلیمر MAGIC بسازیم. محلول نانوذرات نقره مورد استفاده در این تحقیق با غلظت ۲۰۰۰ ppm است.

تبدیل ppm به مولار (M) با استفاده از رابطه (۶-۲) برای محلول نانوذرات نقره با غلظت ۲۰۰۰ ppm محاسبه می‌شود:

$$2000 \frac{mg}{l} \times \frac{1 mol}{108 g \times 1 l} = 18.518 \times 10^{-3} \left(\frac{mol}{l}\right)$$

که در این رابطه جرم مولی نقره برابر با  $108 \frac{g}{mol}$  است.

به عنوان مثال برای این که ژل پلیمر MAGIC به حجم ۷۳۰ میلی‌لیتر با حضور محلول نانوذرات نقره به غلظت ۰/۱ mM برسد، حجم مورد نیاز از محلول نانوذرات نقره را از رابطه (۲-۷) محاسبه می‌کنیم:

$$0.1 \times 10^{-3} (M) \times 730 \text{ ml} = 18.518 \times 10^{-3} (M) \times V$$

$$V = \left(\frac{0.1}{18.518}\right) \times 730 = 3.942 \text{ ml}$$

## ۲-۵-۳-۳-۳ محاسبه مقدار گرم نقره موجود در محلول نانوذرات نقره

برای محاسبه مقدار گرم نقره موجود در محلول نانوذرات نقره با در نظر گرفتن غلظت محلول نانوذرات نقره، که غلظت محلول مورد استفاده در این تحقیق ۲۰۰۰ ppm است. ابتدا با استفاده از رابطه (۲-۶) مقدار مولار محلول نانوذرات طلا را حساب می‌کنیم. سپس مقدار بدست آمده بر حسب مولار را در جرم مولی نقره ضرب می‌کنیم، تا مقدار گرم نقره موجود در محلول بدست آید:

$$2000 \frac{mg}{l} \times \frac{1 \text{ mol}}{108 \text{ g} \times 1 \text{ l}} = 18.518 \times 10^{-3} \left(\frac{mol}{l}\right)$$

$$18.518 \times 10^{-3} \left(\frac{mol}{l}\right) \times 108 \left(\frac{g}{mol}\right) = 2 \frac{g}{l}$$

۲-۵-۳-۳-۴ محاسبه درصد وزنی عناصر در ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات

نقره با غلظت‌های مختلف

ترکیبات ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات نقره، از چند ماده تشکیل شده و سهم هر یک از مواد در ژل پلیمر معلوم است مطابق با قسمت ۲-۵-۳-۲ می‌خواهیم برای غلظت‌های مختلف درصد وزنی عناصر را پیدا کنیم، برای نمونه غلظت حضور محلول نانو ذرات را در ژل پلیمر MAGIC، ۰/۱ mM در نظر می‌گیریم و محاسبات را انجام می‌دهیم.

جدول ۲-۴. مشخصات ترکیب ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانو ذرات نقره.

آب دوبار تقطیر	نقره	هیدروکینون	سولفات مس پنتاهیدرات	اسید آسکوربیک	اسید متاآکریلیک	ژلاتین	ماده
H <sub>2</sub> O	Ag	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	CuSO <sub>4</sub> - 5 (H <sub>2</sub> O)	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	فرمول شیمیایی
۸۲/۷۶۳۷	۰/۰۰۱۰۸	۰/۲	۰/۰۰۲	۰/۰۳۵۲	۹	۸	درصد وزنی ماده
۱	۱۰/۵	۱/۳	۲/۲۸	۱/۶۵	۱/۰۱۵	۱/۵۴	چگالی جرمی
۱۸	۱۰۸	۱۱۰	۲۴۹/۵۴	۱۷۶	۸۶	۱۸۰	جرم ماده (g)

با توجه به درصدهای وزنی مواد داده شده، درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده را به صورت زیر محاسبه

خواهیم کرد:

$$M(H) = 1 \quad M(O) = 16 \quad M(Cu) = 63.54 \quad M(C) = 12$$

$$M(S) = 32 \quad M(Ag) = 108$$

$$\begin{aligned} W_f(C) &= 0.08 \left( \frac{6 M(C)}{M(C_6 H_{12} O_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{4 M(C)}{M(C_4 H_6 O_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(C)}{M(C_6 H_8 O_6)} \right) \\ &+ 0.002 \left( \frac{6 M(C)}{M(C_6 H_6 O_2)} \right) = 0.083682 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f(H) &= 0.08 \left( \frac{12 M(H)}{M(C_6 H_{12} O_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{6 M(H)}{M(C_4 H_6 O_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{8 M(H)}{M(C_6 H_8 O_6)} \right) \\ &+ 0.00002 \left( \frac{10 M(H)}{M(Cu So_4-5(H_2O))} \right) + 0.002 \left( \frac{6 M(H)}{M(C_6 H_6 O_2)} \right) + 0.827637 \left( \frac{2 M(H)}{M(H_2O)} \right) = 0.1037152 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_f(O) &= 0.08 \left( \frac{6 M(O)}{M(C_6 H_{12} O_6)} \right) + 0.09 \left( \frac{2 M(O)}{M(C_4 H_6 O_2)} \right) + 0.000352 \left( \frac{6 M(O)}{M(C_6 H_8 O_6)} \right) \\ &+ 0.00002 \left( \frac{9 M(O)}{M(Cu So_4-5(H_2O))} \right) + 0.002 \left( \frac{2 M(O)}{M(C_6 H_6 O_2)} \right) + 0.827637 \left( \frac{M(O)}{M(H_2O)} \right) = 0.81258434 \end{aligned}$$

$$W_f(Cu) = 0.00002 \left( \frac{M(Cu)}{M(Cu So_4-5(H_2O))} \right) = 0.0000051$$

$$W_f(S) = 0.00002 \left( \frac{M(S)}{M(Cu So_4-5(H_2O))} \right) = 0.00000256$$

$$W_f(Au) = 0.00001972 \left( \frac{M(Au)}{M(Au)} \right) = 0.0000108$$

$$\sum W_f(i) = 1$$

## ۲-۵-۴ فاکتور افزایش دُز

مقدار فاکتور افزایش دُز جذبی که آن را با علامت اختصاری DEF<sup>۲۴</sup> نشان می‌دهند، پس از محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC و محاسبه دُز جذبی در این فانتوم با حضور محلول نانوذرات طلا و نقره در غلظت‌های مختلف از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$DEF = \frac{\text{Dose(NP MAGIC)} - \text{Dose(MAGIC)}}{\text{Dose(MAGIC)}} \times 100 \quad (۸-۲)$$

و برای محاسبه خطای DEF از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\sigma_{DEF} = \frac{\text{Dose(NP MAGIC)}}{\text{Dose(MAGIC)}} \times 100 \times (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} \quad (۹-۲)$$

که در این رابطه:

a = Dose(NP MAGIC) خطایی نسبی شبیه‌سازی

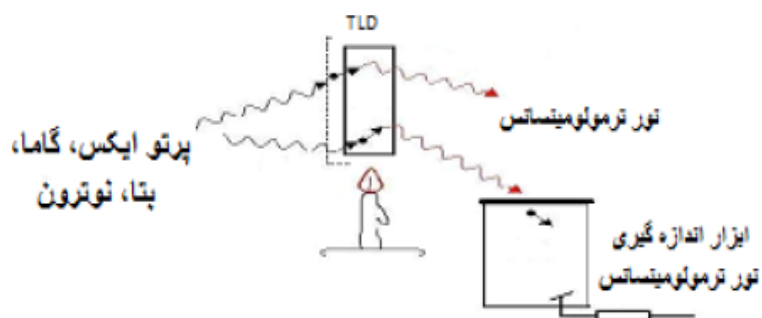
b = Dose(MAGIC) خطایی نسبی شبیه‌سازی

---

<sup>۲۴</sup>. Dose Enhancement Factor



مسیر بازگشت در دام‌های الکترونی که به واسطه ناخالصی و نقایص ذاتی در ماده ایجاد شده به دام می‌افتند، و تا زمانی که مجددا انرژی دریافت نکنند در دام باقی می‌مانند. به این ترتیب می‌توان گفت پرتوی برخوردی به ماده در آن ذخیره شده است. در صورتی که به وسیله گرما دوباره به ماده انرژی داده شود الکترون‌ها از دام آزاد شده و انرژی اضافی خود را با انتشار فوتون ترمولومینسانس انتشار می‌دهند مطابق شکل ۲-۵. معمولا گرمادهی به صورت خطی و تا دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد صورت می‌پذیرد.



شکل ۲-۵. شماتیکی از پدیده ترمولومینسانس [۳۴].

## ۲-۶-۳ کاربردهای ترمولومینسانس

مهم‌ترین کاربردهای مواد ترمولومینسانس، استفاده از این مواد برای هدف‌های دُزیمتری و عمرسنجی می‌باشد. تاریخ استفاده از پدیده ترمولومینسانس برای هدف‌های دُزیمتری، به دهه ۱۹۵۰ باز می‌گردد. تا این زمان، دُزیمتری عمدتاً با استفاده از فیلم‌های حساس به پرتوهای مختلف صورت می‌گرفت. که دارای محدودیت‌های از جمله محوشدگی، حساسیت به عوامل محیط و نیاز به کاربرد فرآیندهای نسبتاً پیچیده‌ای در اتاق تاریک است. بنابراین در اوایل دهه ۱۹۵۰، اقدامات جدی برای یافتن جانشین



مناسب‌تر آغاز شد. به دنبال آن دُزیمترهای رادیوفوتولومینسانس در ابعاد وسیع تولید و برای اهداف نظامی به کار رفت، که عمده آنها توسط کیرک در سال ۱۹۵۷ صورت گرفت. در سال ۱۹۶۱ کارون و همکارانش با ادامه تحقیقات دانیلز در سال ۱۹۵۳ در خصوص ماده لیتیوم فلوئوراید و با افزایش ناخالصی‌های منیزیم و تیتانیوم به عنوان فعال‌ساز موفق به ساخت دُزیمتری شدند که امروزه نیز به طور وسیع تحت عنوان TLD-100 مورد استفاده قرار می‌گیرد. با گسترش استفاده از مواد ترمولومینانس برای دُزیمتری پرتوهای مختلف، دو نمونه دیگر از ترکیبات لیتیوم فلوئوراید تحت عناوین TLD-600 و TLD-700 با درصد تغییر ایزوتوپ  ${}^6\text{Li}$  و  ${}^7\text{Li}$  در ترکیب طبیعی و برای اندازه‌گیری هم‌زمان دُز پرتوهای گاما، بتا و نوترون عرضه گردیدند [۳۴ و ۳۵].

یکی از روش‌های عمده در دُزیمتری ترمولومینسانس، استفاده از شدت یک پیک مشخص و حساس در منحنی تابش می‌باشد. کاربرد این روش وقتی اهمیت می‌یابد که به دلیل هم‌پوشی پیک‌های واقع در داخل محدوده دمای اعمال شده به وسیله آشکارساز با پیک‌های واقع در خارج این محدوده، کاربرد مساحت زیر منحنی - متداول‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقدار پرتو - امکان‌پذیر نباشد.

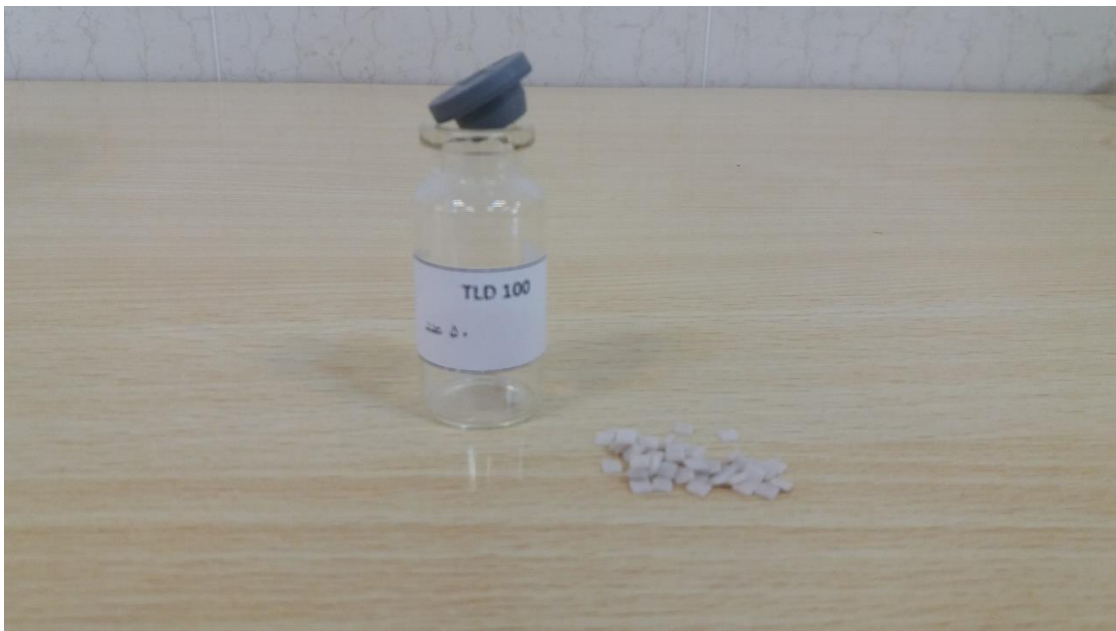
## ۲-۶-۴ دُزیمتری بیماران و فانتوم‌ها

کریستال‌های TLD<sup>۲۵</sup> دارای ابعاد کوچک حدود  $3/1 \times 3/1$  میلی‌متر و به ضخامت  $0/4$  یا  $0/8$  میلی‌متر بوده و یا به شکل قرص به قطر  $4/5$  و ضخامت  $0/9$  میلی‌متر مطابق با شکل ۲-۶ می‌باشند. ابعاد کوچک دُزیمترهای TLD و معادل بافت بودن، عدد اتمی موثر آنها این امکان را می‌دهد تا بتوان از آنها در دُزیمتر بیماران بدون اینکه در کیفیت تصویربرداری پزشکی خللی ایجاد کند استفاده نمود. با توجه به این‌که دُزیمترها معادل بافت بدن می‌باشند در هر نقطه‌ای که داخل بافت قرار گیرد دُز مربوط به همان

---

۲۵. Thermo Luminescent Dosimeter

بافت را در پرتوگیری بیماران اندازه گیری می نمایند. کریستال ها را روی بدن بیمار نصب می نمایند و یا آن ها را در حفره های داخل فانتوم ها قرار می دهند و در فرآیند پرتوتشخیصی و پرتودرمانی پرتوگیری بیمار و اندام های داخل بدن او را اندازه گیری می نمایند. دُزیمتر TLD و فانتوم ها دو ابزار ویژه ای هستند که در پژوهش های پرتودرمانی و پرتوتشخیصی در مراکز پزشکی به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند [۳۴ و ۳۵].



شکل ۲-۶. تصویری از قرص های ۱۰۰-TLD

دزیمترهای ترمولومینسانس دارای انواع مختلفی با ترکیب شیمیایی و نام تجاری متفاوت می باشند، که در جدول ۲-۵ نشان داده شده است.

جدول ۲-۵. انواع مختلفی از دُزیمترهای ترمولومینسانس [۳۴].

Dosimeter	Peak Temp(°C)	Sensitivity	Z eff	Dosimetry Application
LiF:Mg, Ti (TLD-۱۰۰)	۲۱۰	۱	۸/۳	X, $\gamma$ , $\beta$
$^6_3\text{LiF:Mg,Ti}$ (TLD-۶۰۰)	۲۱۰	۱	۸/۳	X, $\gamma$ , $\beta$ , n
$^7_3\text{LiF:Mg,Ti}$ (TLD-۷۰۰)	۲۱۰	۱	۸/۳	X, $\gamma$ , $\beta$
LiF:Mg, Cu, P(GR-۲۰۰)	۲۲۰	۲۵	۸/۳	X, $\gamma$ , $\beta$
$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu}$	۲۰۵	۸	۷/۴	X, $\gamma$ , $\beta$
$\text{CaSO}_4\text{:Dy}$	۲۲۰	۲۵	۱۵/۳	X, $\gamma$ , $\beta$
$\text{CaF}_2\text{:Dy}$	۲۱۵	۱۵	۱۶/۳	X, $\gamma$ , $\beta$

### ۲-۶-۵ سیستم خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس

سیستم خوانش دُزیمتر TLD دارای چندین قسمت اصلی شامل المان حرارت‌دهی، لامپ تکثیرکننده فوتونی، نمایشگر منحنی درخشندگی، کامپیوتر داخلی و سایر بردهای الکترونیکی است، که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است. سیستم‌های جدید بسیار پیشرفته و با قابلیت منحصر بفرد می‌باشند. در این سیستم‌ها حرارت‌دهی دُزیمتر از طریق گاز داغ انجام می‌شود. و به طور کلی دخالت عوامل انسانی در فرآیند خوانش و دُزیمتری جهت دوری از بروز خطا و افزایش دقت در دُزیمتری حذف شده است.



شکل ۲-۷. سیستم خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس

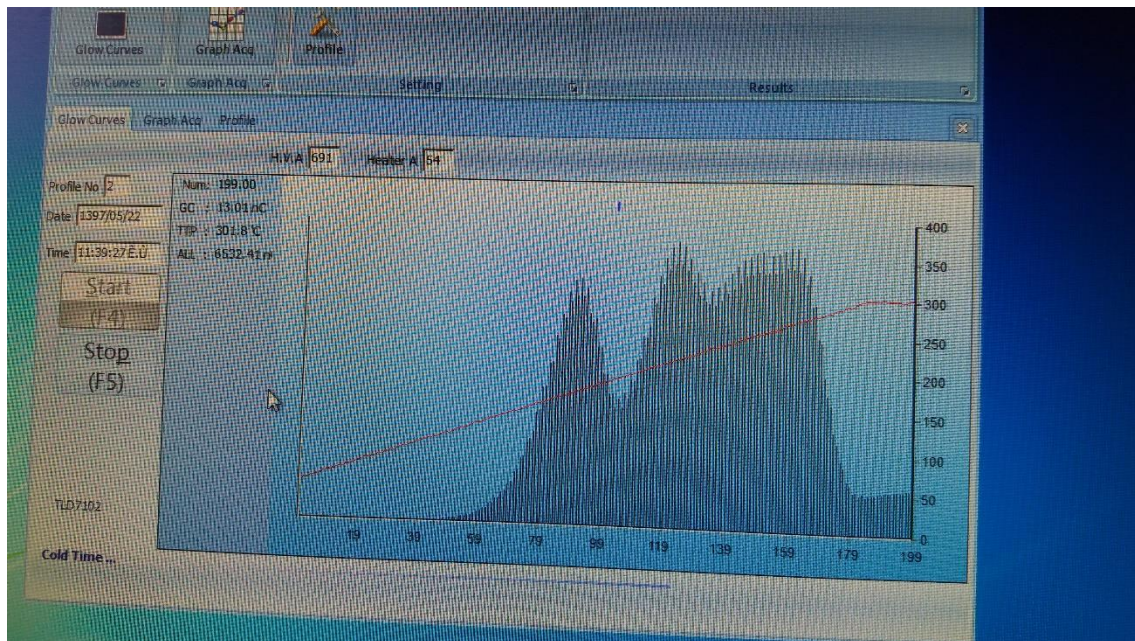
این دستگاه از نرم‌افزار قرائت‌گر TLD مدل ۷۱۰۳ تحت ویندوز XP اجرا شده و دارای چندین صفحه برای عملیات مربوط به گرم کردن و خواندن کارت‌های چهار قرصه ساخت شرکت هارشا می‌باشد. قبل از قرائت قرص‌های TLD باید پروفایل دمایی متناسب با آن قرص انتخاب گردد. و لازم به ذکر است که پروفایل شماره ۱۰ مربوط به اندازه‌گیری نور زمینه و نور مرجع می‌باشد.

## ۲-۶-۶ خواندن قرص TLD

عملیات خواندن قرص شامل مراحل زیر می‌گردد:

- ۱) تنظیم پارامترهای پروفایل حرارتی با استفاده از صفحه Profile.
- ۲) با فشار کلید کشویی، کشوی حاوی پلانچت بیرون می‌آید.
- ۳) با فشار مجدد کلید کشوی، کشوی حاوی پلانچت داخل رفته و در محل قرائت قرار می‌گیرد.
- ۴) با کلیک روی کلید Start روی صفحه Glow Curves عملیات مربوط به خواندن قرص آغاز می‌گردد. این عملیات شامل مراحل زیر می‌گردد:
  - شروع عملیات گرمادهی متناسب با پروفایل انتخاب شده، جهت دیدن پروفایل و چگونگی تنظیم پارامترهای پروفایل حرارتی به صفحه Profile رجوع می‌کنیم.
  - نمایش منحنی دما و روشنایی در محل‌های مربوطه.
  - ذخیره منحنی‌های دما و روشنایی درون فایلی که مسیر آن توسط کاربر در صفحه Profile مشخص شده و نام آن نیز برحسب تاریخ و زمان قرائت کارت می‌باشد. این فایل در فرمت اکسل میکروسافت بوده و به راحتی توسط نرم‌افزار اکسل باز می‌شود.

در دستگاه قرائت گر شدت فوتون‌های انتشار یافته بر حسب دما رسم می‌شود منحنی بدست آمده را منحنی درخشندگی ماده ترمولومینسانس می‌نامند، که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است. سطح زیر منحنی درخشندگی متناسب با مقدار دُز پرتوهای است که به ماده برخورد نموده است. این پدیده جالب باعث شده تا موادی که این رفتار را از خود نشان می‌دهند به عنوان آشکارساز و یا دُزیمتر پرتوهای یون‌ساز مانند ایکس، گاما، بتا و نوترون مورد استفاده قرار گیرند و آن‌ها را دُزیمتر ترمولومینسانس با علامت اختصاری TLD می‌نامند.



شکل ۸-۲. منحنی درخشندگی ماده ترمولومینسانس

## ۲-۶-۷ ویژگی‌های یک دُزیمتر ایده‌آل

بلوری که برای اهداف دُزیمتری مورد استفاده قرار می‌گیرد باید دارای حساسیت بالا باشد. به این معنا که نسبت به کمترین دُزها، حساس بوده و تابشی را تولید کند. به خصوص در دُزیمتری محیطی که میزان دُز آن خیلی کوچک بوده و در حد میکرو گری می‌باشد. بلورهایی که به عنوان دُزیمترهای شخصی و بالینی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید معادل بافت بدن باشند یعنی از نظر تحریک‌پذیری و دریافت دُز، مشابه بافت بدن عمل کنند. از دیگر خصوصیات یک بلور مناسب برای دُزیمتری، تکرارپذیری آن است یعنی باید بتوان یک بلور را برای دفعات زیاد مورد پرتودهی قرار داد در حالی که پاسخ TL در هر بار قرائت تغییرات محسوسی نداشته باشد. در یک دُزیمتر ایده‌آل باید بتوان با اعمال رژیم گرمایی آسان، ترازهای عمیق را تخلیه کرد و برای استفاده مجدد آماده نمود. به عنوان مثال، TLD-100 در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۰ دقیقه، GR-200 در دمای  $240^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱۰ دقیقه، TLD-200 در دمایی  $450^{\circ}\text{C}$  به مدت نیم ساعت و بلور TLD-400 و TLD-500 در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت گرمادهی می‌شود. برای این که کاهش حساسیت دُزیمتر به هنگام گرمادهی کمتر باشد، بهتر است گرمادهی در یک محیط خلاء یا گاز نیتروژن به جای هوا صورت گیرد. یک دُزیمتر باید پایداری زیاد و محو شدگی پایین داشته باشد. به عبارت دیگر، هنگامی که دُزیمتر مورد بررسی قرار می‌گیرد باید تا زمانی که روش‌های گرمایی به آن اعمال نشده پایدار و ثابت باشد [۳۴ و ۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸].



## فصل سوم

محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC

و

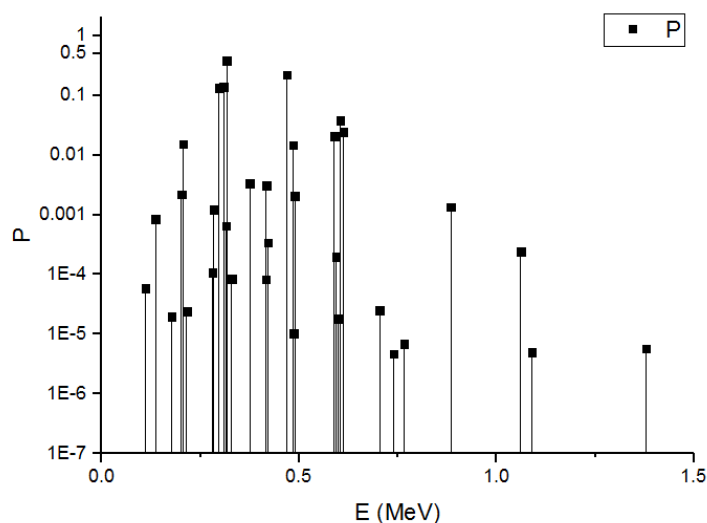
اثر چیدمان محلول نانوذرات طلا ونقره در دُز جذبی



بعد از طراحی و شبیه‌سازی فانتوم ژل پلیمر MAGIC و اثر حضور محلول نانوذرات طلا و نقره به انجام دُزیمتری برای پرتوهای گاما بر اساس داده‌های شبیه‌سازی اقدام به ساخت ژل پلیمر MAGIC و انجام آزمایشات تجربی پرداختیم. و اثر حضور محلول نانوذرات طلا و نقره در فانتوم ژل پلیمر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. و دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات طلا و نقره، اندازه‌گیری شد و نتایج این آزمایشات را با نتایج شبیه‌سازی مقایسه خواهیم کرد.

### ۲-۳ چگونگی نوشت کد MCNP

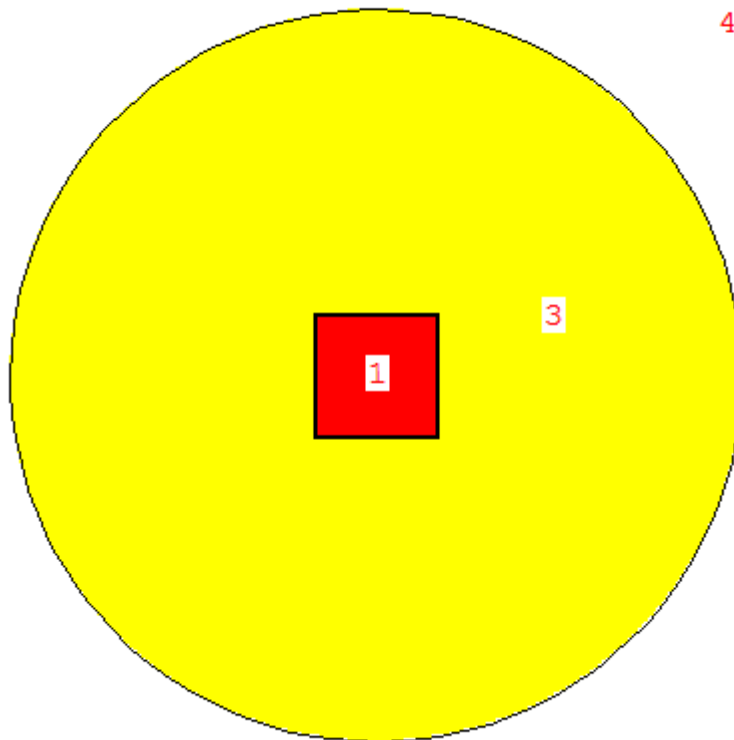
برای استفاده از این کد یک فایل ورودی، شامل اطلاعات مسئله از جمله هندسه، مواد، چشمه‌ی پرتو، خروجی‌های مورد نظر و ... آماده می‌شود. که در فصل قبل به توضیحات آن پرداخته شد. حال با استفاده از اطلاعات قبل، به محاسبه دُز جذبی در حالت‌های مختلف فانتوم‌های ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات طلا و نقره می‌پردازیم. با استفاده از جدول ۱-۲ که مشخصات چشمه ایریدیم مورد استفاده در کد MCNP را بیان می‌کند، طیف ورودی پرتوهای گامای این چشمه به زیر شکل ۱-۳ خواهد بود.



شکل ۱-۳. طیف ورودی چشمه ایریدیم-۱۹۲ [۹].

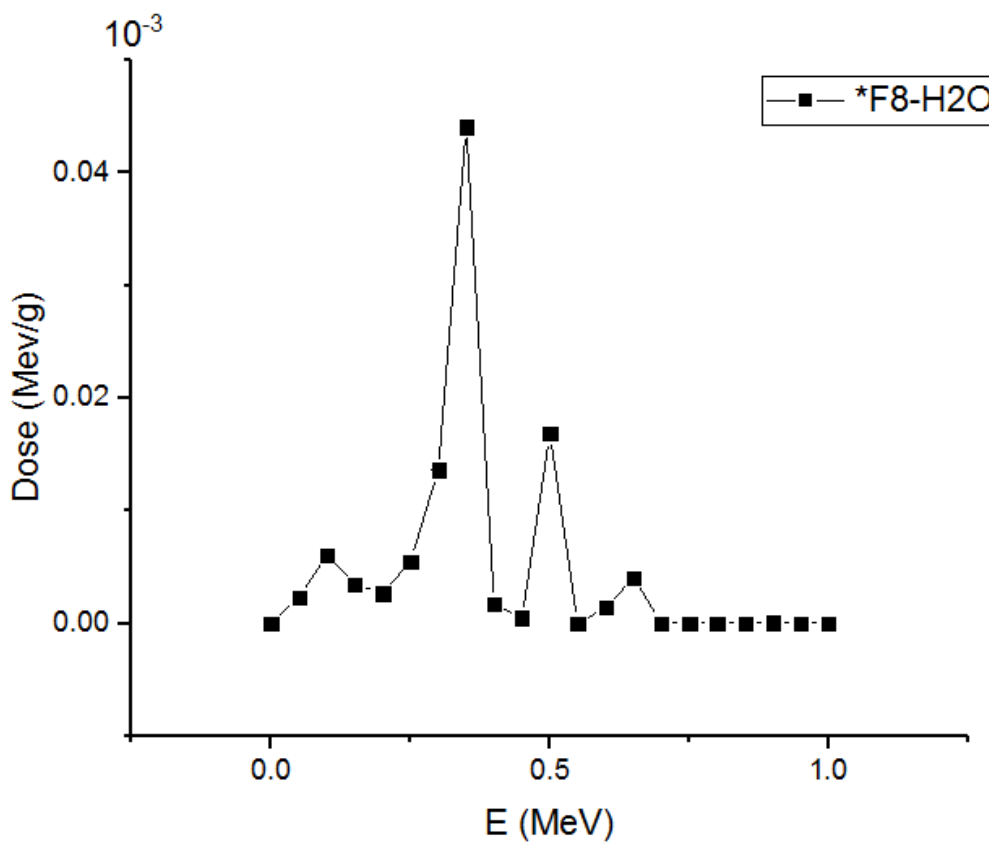
### ۳-۲-۱ حالت اول: محاسبه دُز جذبی در فانتوم آب

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های آب و استفاده از چشمه ایریدیم - ۱۹۲ و دیگر مشخصات ذکر شده که در فصل قبل در جدول ۲-۱ به آن اشاره شد، فانتوم حاوی آب را شبیه سازی کردیم که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. و دُز جذبی در این فانتوم برحسب انرژی محاسبه می‌شود که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. برای محاسبه دُز جذبی از تالی  $^{*}F8$  استفاده کردیم که واحد آن برحسب (MeV) می‌باشد، که با تقسیم کردن این مقدار خروجی تالی به جرم سلول واحد دُز جذبی بر حسب (MeV/g) بدست می‌آید.



شکل ۳-۲. هندسه و مدل شبیه‌سازی فانتوم آب

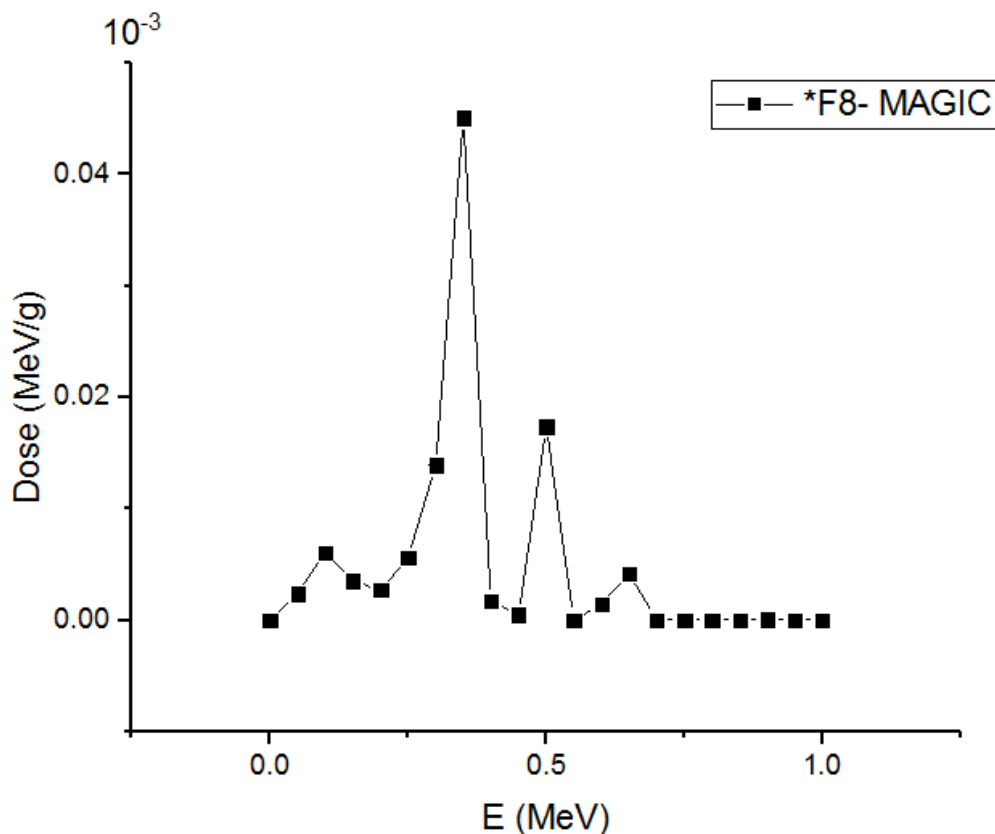
در این حالت درون سلول ۱ ماده آب قرار دارد و توسط سطح مکعب شکلی محدود شده است، ابعاد مکعب به اضلاع ۱۰ cm می باشد. درون سلول ۳ را هوا در نظر گرفته ایم که توسط کره ای محدود شده است. و سطح کره مشخص کننده مرکز آزمایش می باشد. سلول ۴ را خلاء و محیط بیرون آزمایش در نظر گرفته ایم.



شکل ۳-۳. محاسبه دُز جذبی در فانتوم آب با استفاده از تالی \*F8

### ۲-۲-۳ حالت دوم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC

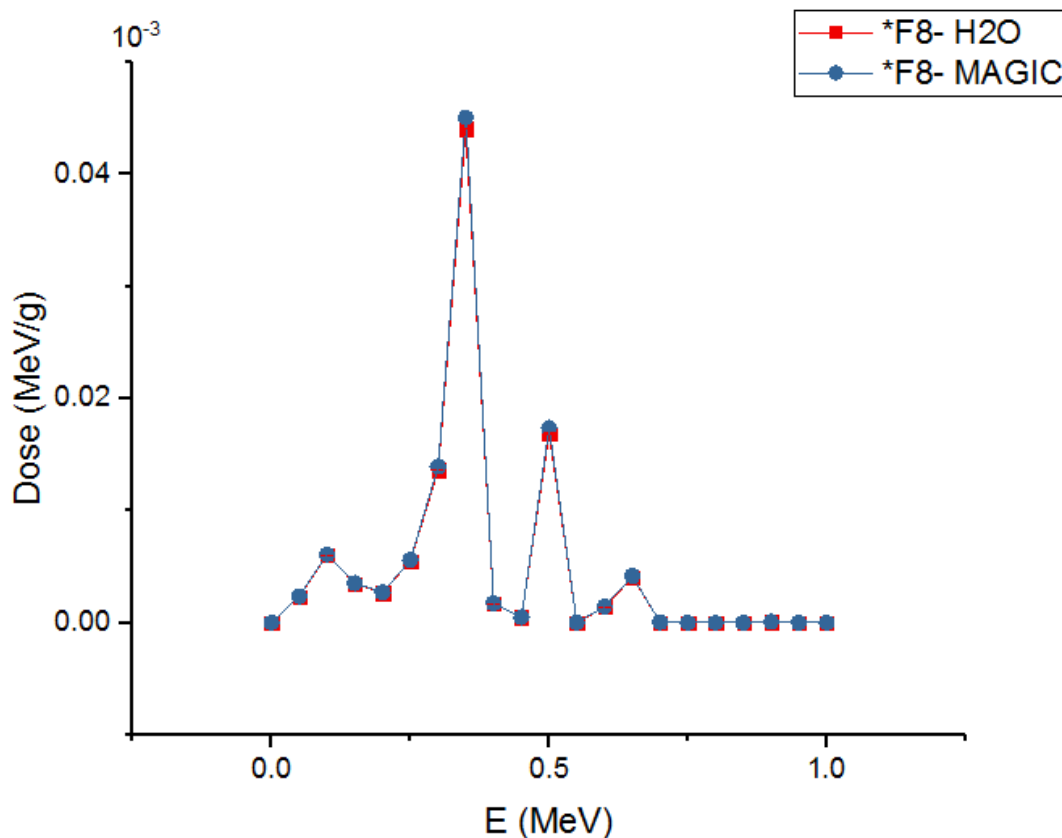
در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده آن که در جدول ۲-۲ نشان داده شد. و استفاده از چشمه ایریدیم - ۱۹۲ و دیگر مشخصات ذکر شده که در فصل قبل در جدول ۱-۲ نشان داده شد، فانتوم حاوی ژل پلیمر MAGIC را مطابق با شکل ۱-۲ شبیه سازی کردیم. و دُز جذبی در این فانتوم برحسب انرژی محاسبه شد که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. برای محاسبه دُز جذبی از تالی \*F8 استفاده کردیم که واحد آن برحسب (MeV) می‌باشد، که با تقسیم کردن این مقدار به جرم سلول، واحد دُز جذبی بر حسب (MeV/g) بدست می‌آید.



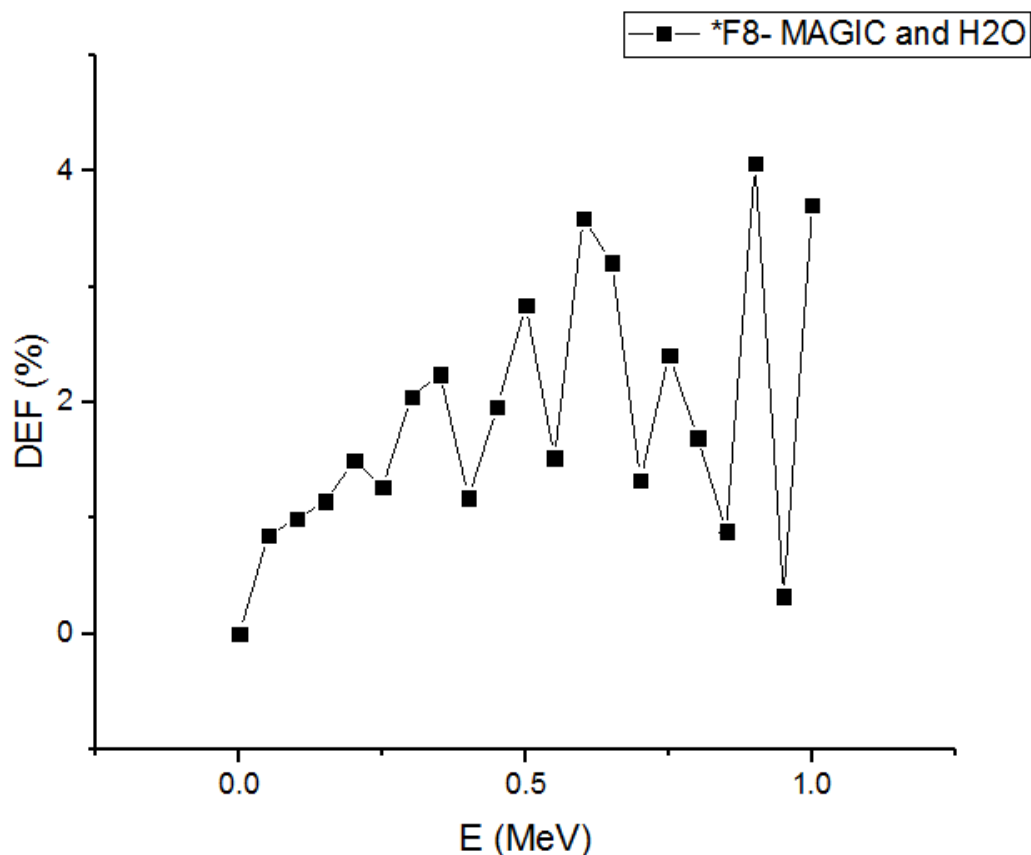
شکل ۳-۴. محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC

### ۳-۲-۳ حالت سوم: مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC

با استفاده از کد شبیه‌سازی شده مقدار دُز جذبی را در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر محاسبه کردیم. در شکل ۳-۵ مقدار دُز جذبی را با استفاده از تالی \*F8 برای فانتوم آب و ژل پلیمر محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. و اختلاف نسبی یا همان فاکتور افزایش دُز جذبی را که در فصل قبل در مورد آن بحث کردیم را محاسبه کردیم که بیشینه اختلاف این فانتوم‌ها ۴٪ می‌باشد، نمودار اختلاف نسبی بین این مقادیر دُز جذبی برای فانتوم‌ها در شکل ۳-۶ بر حسب انرژی رسم شده است.



شکل ۳-۵. بررسی دُز جذبی برای فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC.

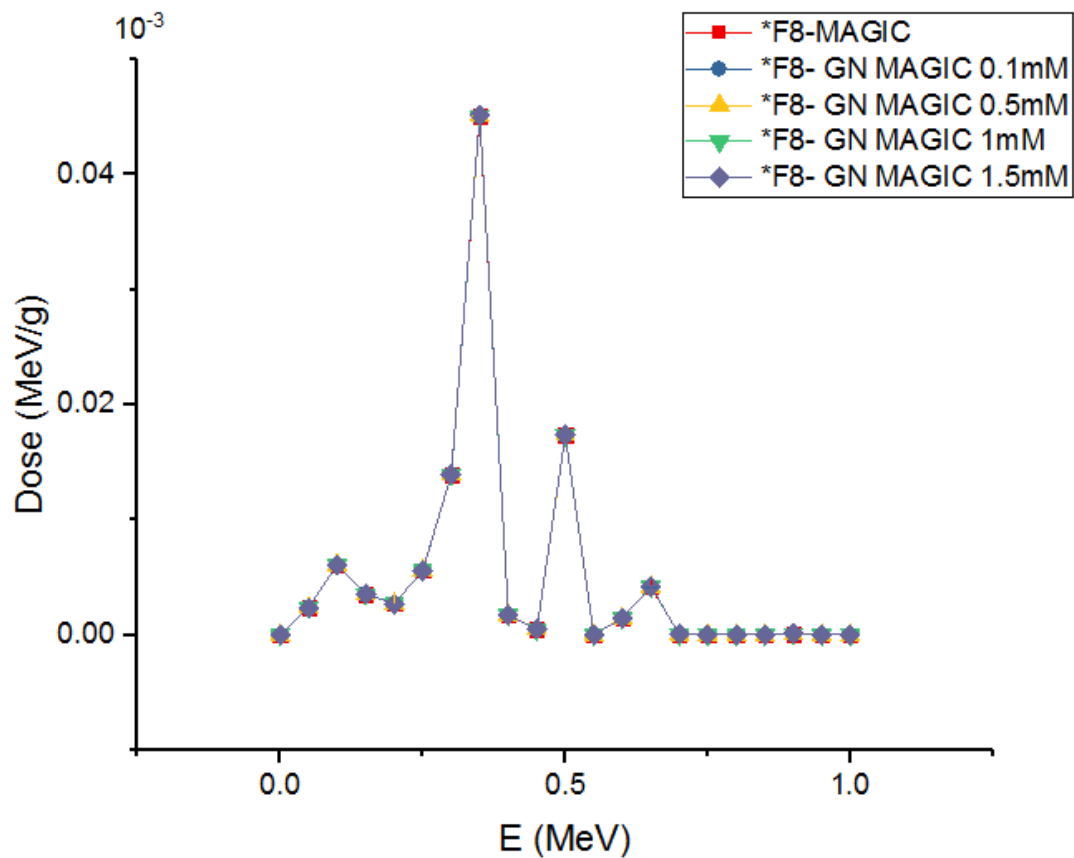


شکل ۳-۶. اختلاف نسبی بین مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC بر حسب انرژی.

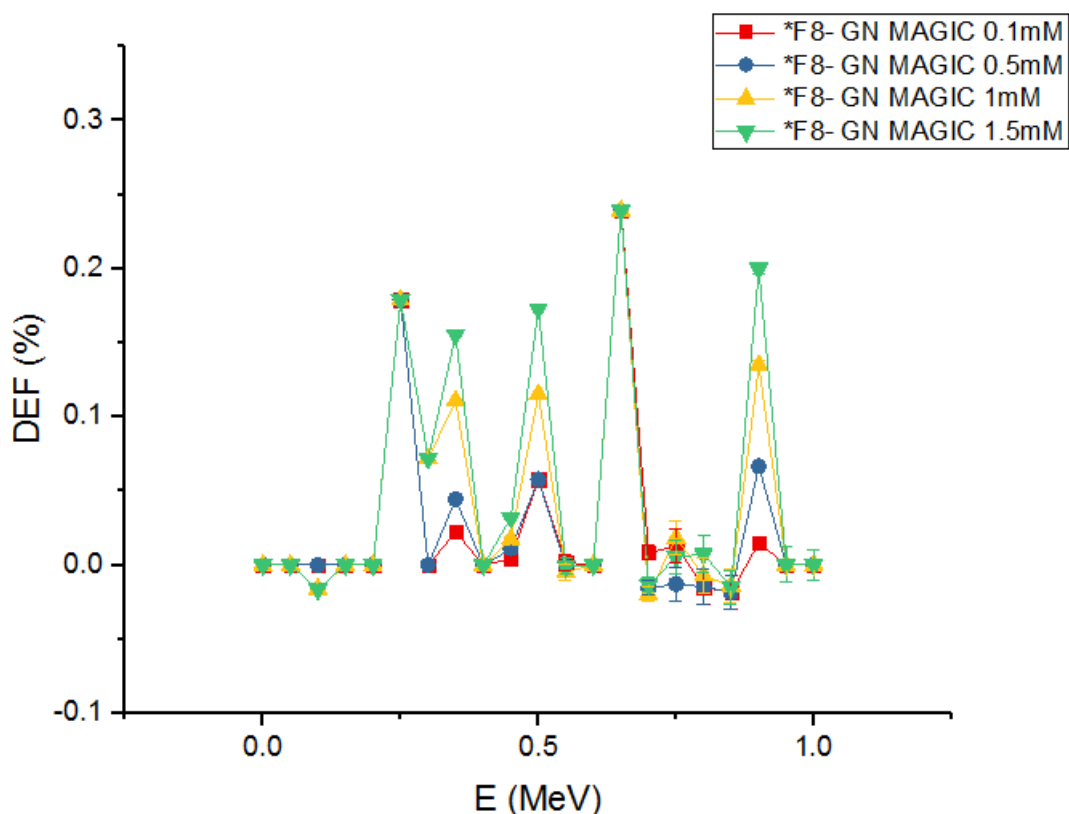
### ۴-۲-۳ حالت چهارم: بررسی دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت‌های مختلف ۰/۱ mM ، ۰/۵ mM ، ۱ mM و ۱/۵ mM ، ابتدا با استفاده از رابطه (۲-۷) مقدار حجم محلول نانوذرات طلا را برای غلظت‌های بالا محاسبه کردیم. سپس فانتوم‌ها را مطابق با شکل ۲-۱ شبیه‌سازی کردیم. و مقادیر دُز جذبی در این فانتوم‌ها محاسبه شد که در شکل ۳-۷ نشان داده شده است. و با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر فاکتور افزایش دُز جذبی DEF را برای فانتوم‌ها با حضور محلول نانوذرات طلا در غلظت‌های مختلف را محاسبه و بررسی کردیم و بیشینه

خطای DEF را با استفاده از رابطه (۹-۲) محاسبه کردیم که در حد ۰/۰۱۲۴ است، که در شکل ۳-۸ نشان داده شده است.



شکل ۳-۷. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا در فانتوم ژل پلیمر به طور یکنواخت در غلظت‌های مختلف.

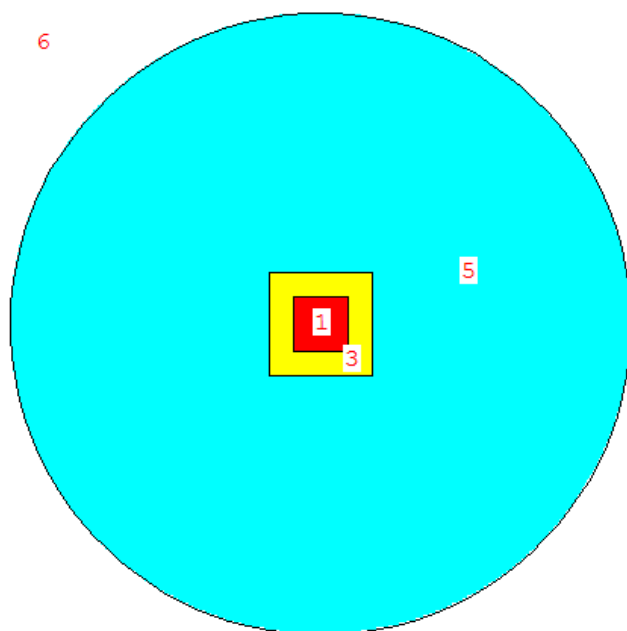


شکل ۳-۸. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت با غلظت‌های مختلف بر حسب انرژی.

### ۳-۲-۵ حالت پنجم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا با مقادیر مختلف در مرکز فانتوم‌ها

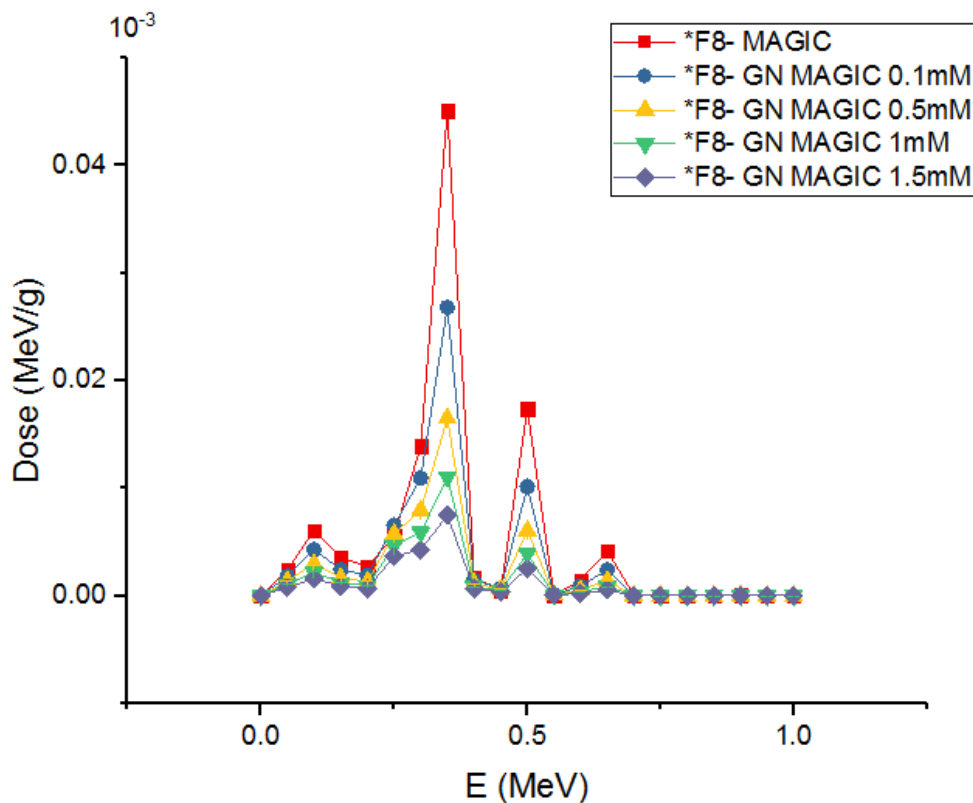
در این حالت مثل حالت قبل فانتوم مکعبی شکل با اضلاع ۱۰ cm طراحی و شبیه‌سازی شد، و محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتوم با مقادیر مختلف مکعبی شکل قرار گرفت. که شکل ۳-۹ هندسه و چیدمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. که با استفاده از تالی \*F8 دُز جذبی را در این فانتوم‌ها محاسبه کردیم، و در شکل ۳-۱۰ مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌ها با مقادیر مختلف محلول نانوذرات طلا بر حسب انرژی بررسی کردیم.





شکل ۳-۹. هندسه و چیدمان محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتوم ژل پلیمر MAGIC.

در این حالت سلول ۱ را محلول نانوذرات طلا در نظر می‌گیریم که توسط سطح مکعب محدود شده است. سلول ۲ همان ظرف مکعب شکل می‌باشد، که با ابعاد مختلف مکعب، مقدار حجم حضور محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتوم تعیین می‌شود. در واقعا ابعاد مکعب را طوری انتخاب می‌کنیم که مقدار محلول نانوذرات طلا در این حالت با حالت قبل که محلول نانوذرات طلا در فانتوم ژل پلیمر به طور یکنواخت ترکیب شده بود، به طور یکسان باشند. سلول ۳ ژل پلیمر MAGIC می‌باشد. سلول ۴ مربوط به سطح مکعبی است که ترکیبات ژل پلیمر در آن قرار گرفته است. و سلول ۵ را محیط آزمایشگاه در نظر گرفته که توسط سطح کره از محیط بیرون که مرکز آزمایشگاه را تعیین می‌کند، جدا شده است.



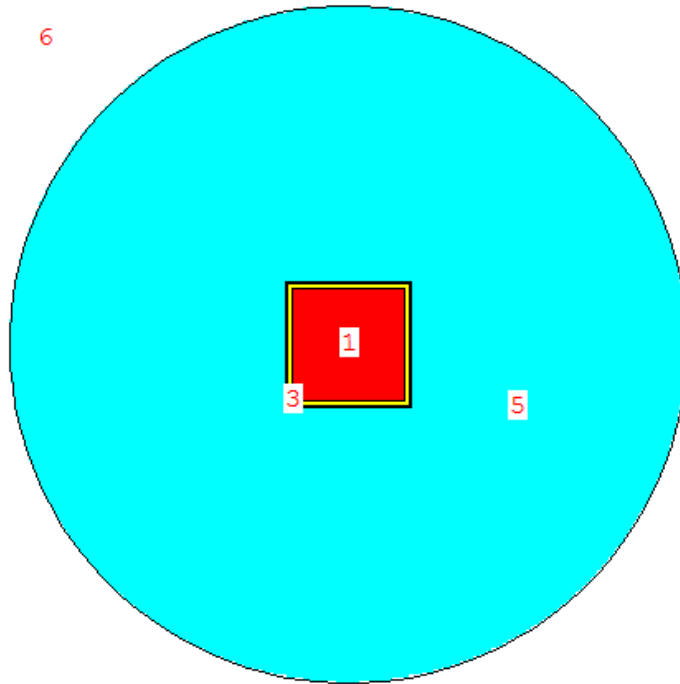
شکل ۳-۱۰. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا در مرکز فانتوم

### ۳-۲-۶ حالت ششم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر

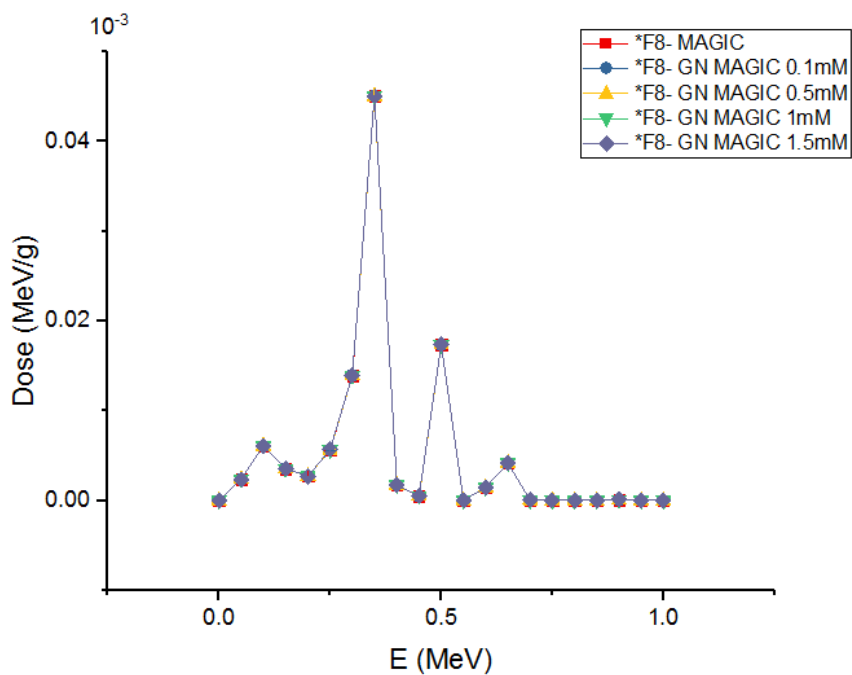
در این حالت مثل حالت قبل فانتوم مکعبی شکل با اضلاع ۱۰ cm طراحی و شبیه‌سازی شد، و محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای مکعبی شکل اطراف فانتوم ژل پلیمر MAGIC قرار گرفت. که شکل ۳-۱۱ هندسه و چیدمان شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. که با استفاده از تالی \*F8 دُز جذبی را در این فانتوم‌ها محاسبه کردیم، و در شکل ۳-۱۲ مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌ها با مقادیر مختلف محلول نانوذرات طلا بر حسب انرژی بررسی کردیم. و با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر فاکتور افزایش دُز جذبی DEF را برای فانتوم‌ها با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم‌ها را محاسبه و بررسی

کردیم و بیشینه خطای DEF را با استفاده از رابطه (۲-۹) محاسبه کردیم که در حد ۰/۰۱۳ است، که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده است.

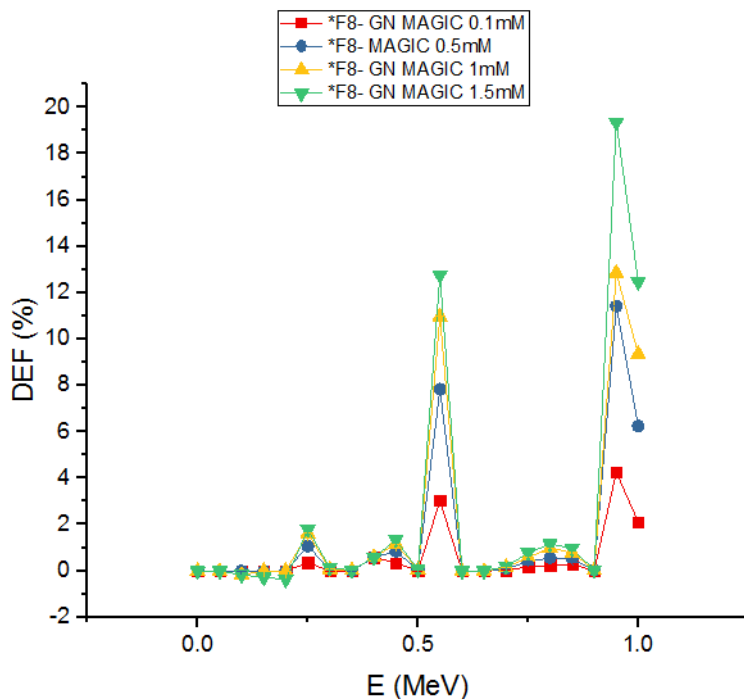


شکل ۳-۱۱. هندسه و چیدمان محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطرف فانتوم ژل پلیمر MAGIC.

در این حالت سلول ۱ را ژل پلیمر MAGIC در نظر می‌گیریم و سلول ۲ توسط مکعب که ظرف فانتوم هست محدود شده است. و سلول ۳ محلول نانوذرات طلا می‌باشد، که توسط سطح مکعب شکل سلول ۴ محدود شده است. در واقع حجم مکعب بیرونی تعیین کننده مقدار محلول نانوذرات طلا می‌باشد. و سلول ۵ هوا در نظر گرفته شده است که توسط کره، محیط آزمایشگاه را از محیط بیرون که سلول ۶ می‌باشد، جدا کرده است.



شکل ۳-۱۲. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر.



شکل ۳-۱۳. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم بر حسب انرژی.

### ۷-۲-۳ حالت هفتم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده آن که در جدول ۲-۲ نشان داده شد. و استفاده از چشمه ایریدیم - ۱۹۲ و دیگر مشخصات ذکر شده که در فصل قبل در جدول ۱-۲ نشان داده شده است، فانتوم حاوی ژل پلیمر MAGIC را به صورت استوانه‌ای با ارتفاع ۹cm و شعاع ۶ cm شبیه سازی کردیم و چشمه ایریدیم در مرکز فانتوم قرار گرفت است. و دُز جذبی در این فانتوم برحسب انرژی محاسبه شد. برای محاسبه دُز جذبی از تالی F5\* استفاده کردیم که واحد آن برحسب  $(\text{MeV}/\text{cm}^2)$  می‌باشد.

### ۸-۲-۳ حالت هشتم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC با حضور

#### محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت

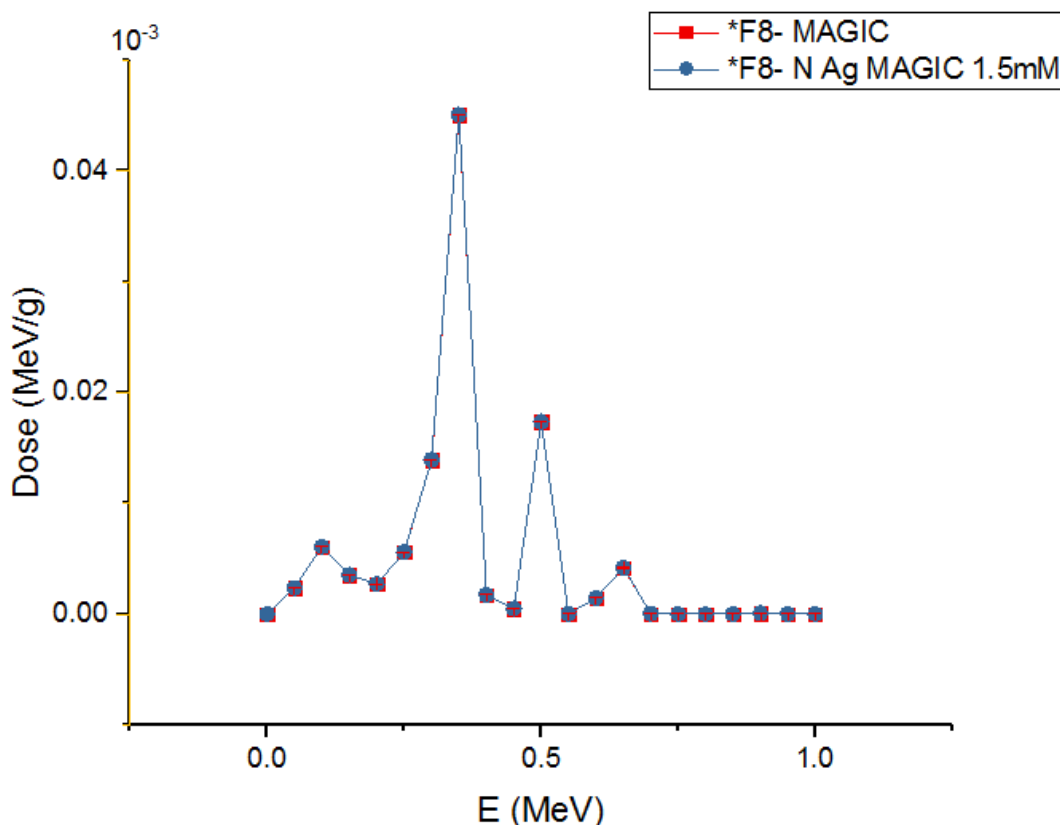
در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت ۱/۵ mM، ابتدا با استفاده از رابطه (۷-۲) مقدار حجم محلول نانوذرات طلا را برای غلظت ذکر شده در این فانتوم استوانه‌ای محاسبه کردیم. سپس این فانتوم به صورت استوانه‌ای با ارتفاع ۹cm و شعاع ۵/۱cm طراحی و شبیه‌سازی شد و مقادیر دُز جذبی در این فانتوم با استفاده از تالی F5\* محاسبه شد.

### ۹-۲-۳ حالت نهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات نقره به طور یکنواخت

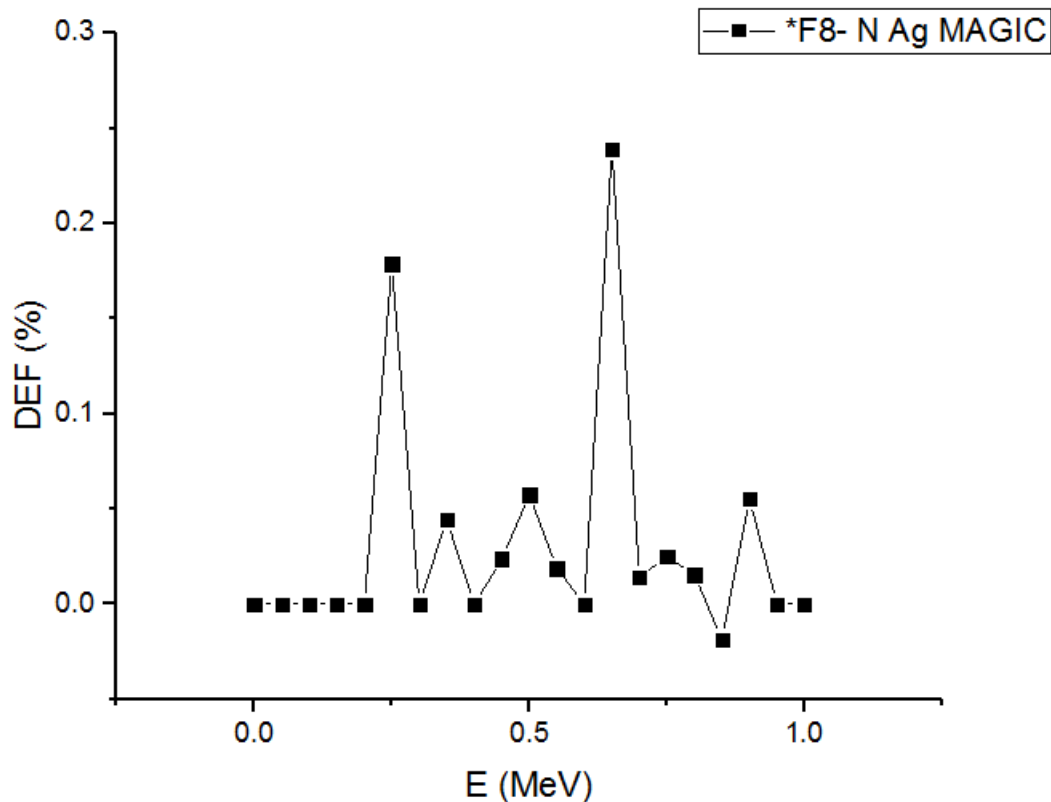
در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات نقره در ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت ۱/۵ mM، ابتدا با استفاده از رابطه (۷-۲) مقدار حجم محلول

نانوذرات نقره را برای غلظت ذکر شده در این فانتوم استوانه‌ای محاسبه کردیم. سپس این فانتوم به صورت استوانه‌ای با ارتفاع ۹cm و شعاع ۵/۱cm طراحی و شبیه‌سازی شد و مقادیر دُز جذبی در این فانتوم با استفاده از تالی \*F5 محاسبه شد. و همچنین برای به دست آوردن مقدار دُز جذب شده در ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات نقره را به کمک تالی \*F8 محاسبه کردیم، با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر فاکتور افزایش دُز جذبی DEF را برای فانتوم‌ها با حضور محلول نانوذرات نقره در غلظت ذکر شده را محاسبه و بررسی کردیم که مطابق با شکل ۳-۱۴ می‌باشد. و بیشینه خطای DEF را با استفاده از رابطه (۲-۹) محاسبه کردیم که در حد ۰/۰۱۲ است، که در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۴. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره در فانتوم ژل

پلیمر به طور یکنواخت در غلظت 1.5mM



شکل ۳-۱۵. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت با غلظت 1.5mM بر حسب انرژی.

### ۳-۲-۱۰ حالت دهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات

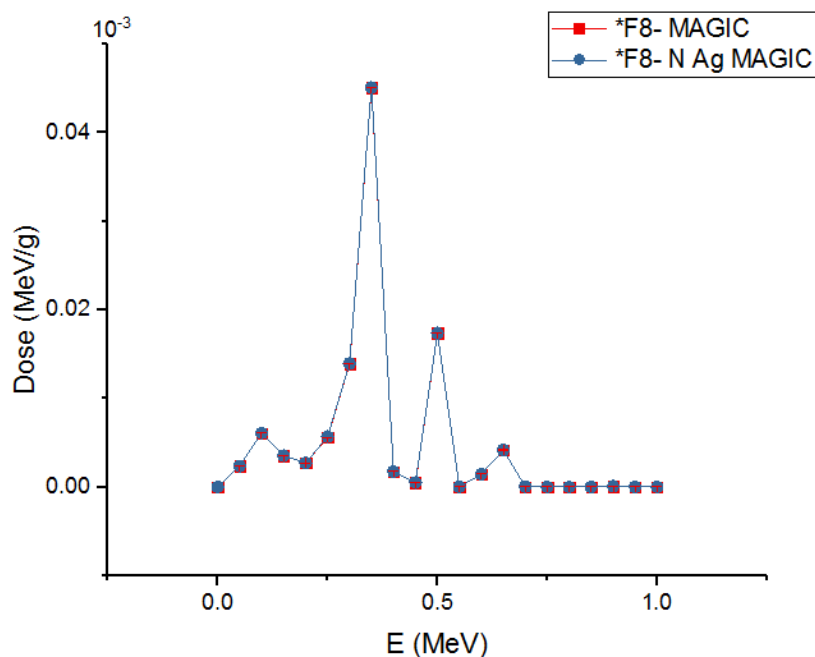
#### طلا به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر

در این حالت فانتوم استوانه‌ای شکل با ارتفاع ۷/۵cm و شعاع ۲/۴۹۴cm طراحی و شبیه‌سازی شد، و محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای شکل اطراف فانتوم ژل پلیمر MAGIC با ضخامت پوسته ۰/۱۸۲ cm قرار گرفت و چشمه ایریدیم در مرکز فانتوم طراحی شده است. و در شبیه‌سازی‌ها با استفاده از تالی \*F5 دُز جذبی را در این فانتوم محاسبه کردیم.

### ۳-۲-۱۱ حالت یازدهم: محاسبه دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

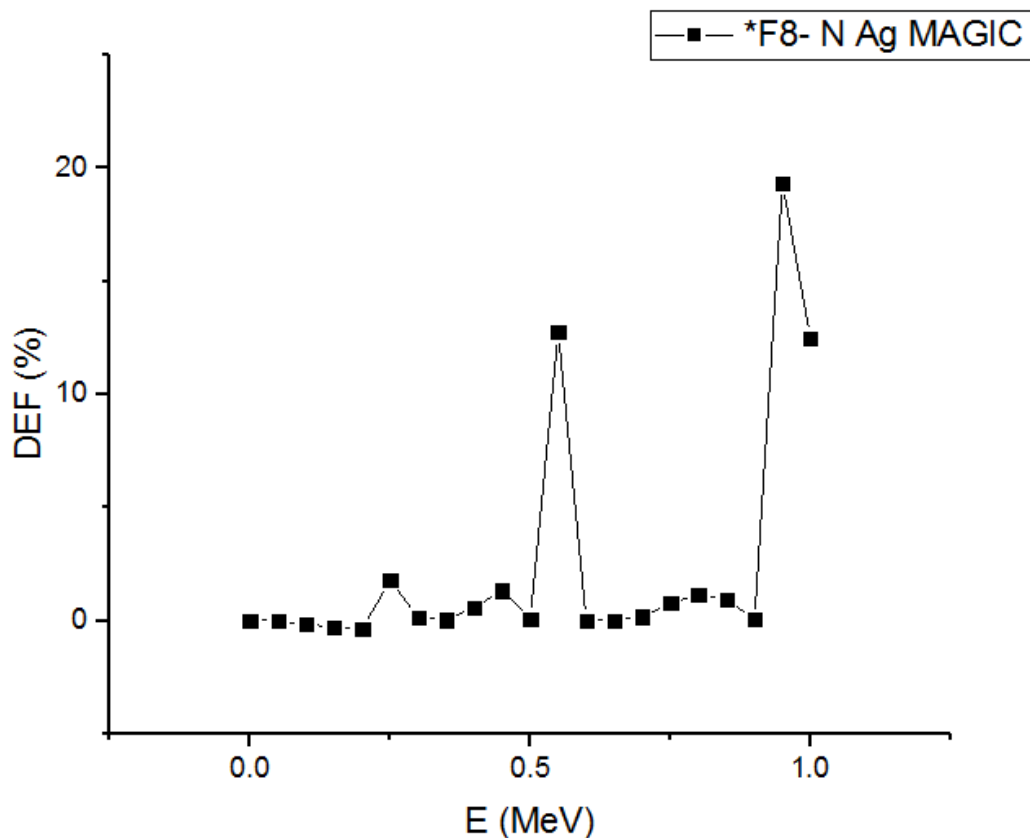
#### نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر

در این حالت فانتوم استوانه‌ای شکل با ارتفاع ۷/۵cm و شعاع ۲/۴۹۴cm طراحی و شبیه‌سازی شد، و محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای شکل اطراف فانتوم ژل پلیمر MAGIC با ضخامت پوسته ۰/۱۸۲ cm قرار گرفت و چشمه ایریدیم در مرکز فانتوم طراحی شده است. و در شبیه‌سازی‌ها با استفاده از تالی \*F5 دُز جذبی را در این فانتوم محاسبه کردیم. و همچنین برای به دست آوردن مقدار دُز جذب شده در ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات نقره را به کمک تالی \*F8 محاسبه کردیم، با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر فاکتور افزایش دُز جذبی DEF را برای فانتوم‌ها با حضور محلول نانوذرات نقره در غلظت ذکر شده را محاسبه و بررسی کردیم که مطابق با شکل ۳-۱۶ می‌باشد. و بیشینه خطای DEF را با استفاده از رابطه (۲-۹) محاسبه کردیم که در حد ۰/۰۱۲ است، که در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۶. بررسی مقادیر دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم ژل پلیمر.





شکل ۳-۱۷. مقدار فاکتور افزایش دُز در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای در اطراف فانتوم بر حسب انرژی.

### ۳-۳ ساخت فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC و اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم‌ها

بعد از طراحی و شبیه‌سازی فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC و اثر حضور محلول نانوذرات طلا و نقره، و انجام دُزیمتری برای پرتوهای گاما بر اساس داده‌های شبیه‌سازی اقدام به ساخت فانتوم استوانه‌ای ژل پلیمر MAGIC و انجام آزمایشات تجربی پرداختیم. و اثر حضور محلول نانوذرات طلا و نقره در این فانتوم ژل پلیمر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. و دُز جذبی را در فانتوم‌های ژل پلیمر با حضور محلول نانوذرات طلا و نقره را به صورت تجربی اندازه‌گیری می‌کنیم.

### ۳-۳-۱ حالت اول: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و استفاده از چشمه ایریدیم - ۱۹۲ که در فصل قبل به آن اشاره شد، فانتوم حاوی ژل پلیمر MAGIC به صورت استوانه‌ای ساخته شد و چشمه ایریدیم با رعایت نکات ایمنی و بدون تماس با بدن در مرکز فانتوم قرار گرفت، و قرص‌های TLD را در اطراف فانتوم با زوایه‌های ۰ تا ۸۰ درجه به فاصله ۲۰ درجه از یکدیگر قرار دادیم و برای اندازه‌گیری دُز جذبی از آنها استفاده شد، و به کمک دستگاه خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس میزان دُز جذبی اندازه‌گیری شد. که در شکل‌های ۳-۱۸ فانتوم حاوی ژل پلیمر MAGIC نشان داده شده است.





شکل ۳-۱۸. فانتوم ژل پلیمر MAGIC و قرار گرفتن چشمه ایریدیم در مرکز آن و قرص‌ها TLD در اطراف فانتوم

### ۳-۳-۲ حالت دوم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات نقره به طور یکنواخت

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات نقره در ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت  $1/5 \text{ mM}$  فانتوم استوانه‌ای مطابق با شکل ۳-۱۹ ساخته شد. و چشمه ایریدیم با رعایت نکات ایمنی و بدون تماس با بدن در مرکز فانتوم قرار گرفت، و قرص‌های TLD را در اطراف فانتوم با زوایه‌های ۰ تا ۸۰ درجه به فاصله ۲۰ درجه از یک‌دیگر قرار دادیم و برای اندازه‌گیری دُز جذبی از آن‌ها استفاده شد، و به کمک دستگاه خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس میزان دُز جذبی اندازه‌گیری شد.



شکل ۳-۱۹. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت

### ۳-۳-۳ حالت سوم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات طلا به طور یکنواخت

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت  $1/5 \text{ mM}$  فانتوم استوانه‌ای مطابق با شکل ۳-۲۰ ساخته شد. و چشمه ایریدیم با رعایت نکات ایمنی و بدون تماس با بدن در مرکز فانتوم قرار گرفت، و قرص‌های TLD را در اطراف فانتوم با زوایه‌های ۰ تا ۸۰ درجه به فاصله ۲۰ درجه از یک‌دیگر قرار دادیم و برای اندازه‌گیری دُز جذبی از آن‌ها استفاده شد، و به کمک دستگاه خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس میزان دُز جذبی اندازه‌گیری شد.

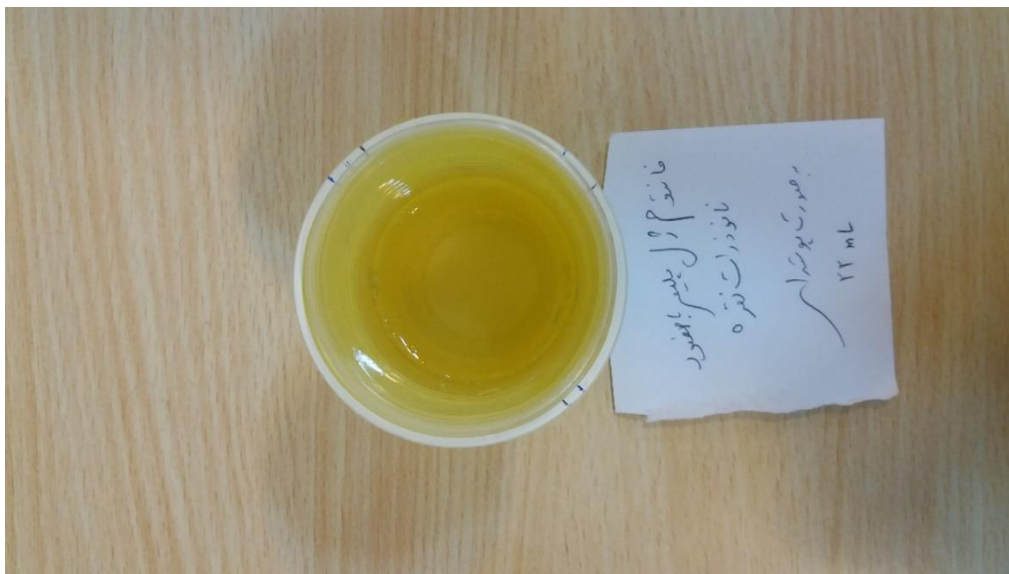
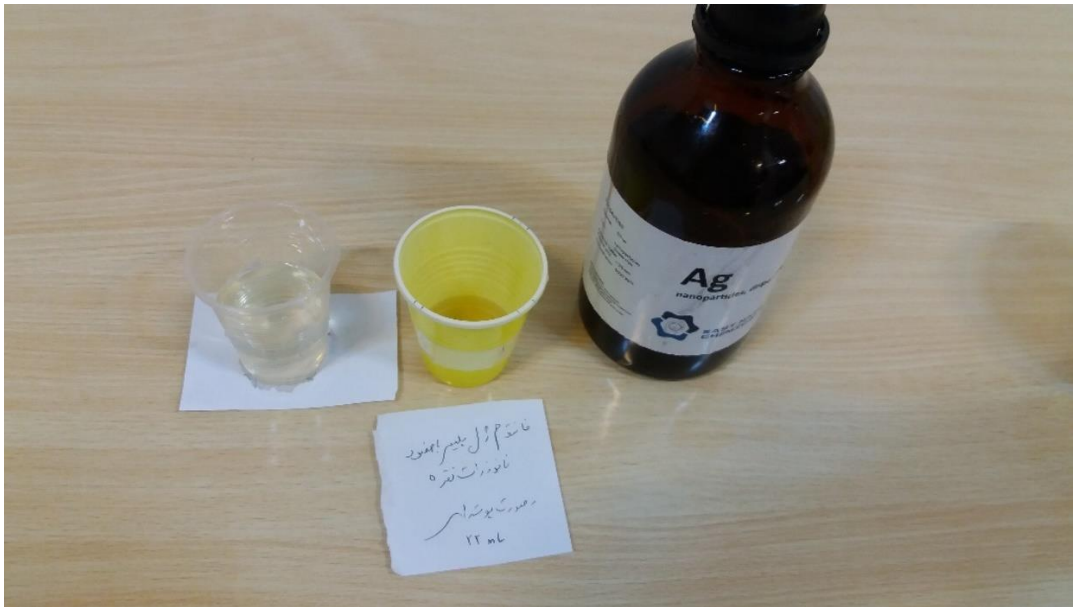


شکل ۳-۲۰. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت

### ۴-۳-۳ حالت چهارم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای

در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات نقره در ژل پلیمر MAGIC به صورت پوسته‌ای با ضخامت پوسته  $0.1182 \text{ cm}$  فانتوم استوانه‌ای مطابق با شکل ۳-۲۱ ساخته شد. و چشمه ایریدیم با رعایت نکات ایمنی و بدون تماس با بدن در مرکز فانتوم قرار گرفت، و قرص‌های TLD را در اطراف فانتوم با زوایه‌های  $0$  تا  $90$  درجه به فاصله  $45$  درجه از یک‌دیگر قرار دادیم و برای اندازه‌گیری دُز جذبی از آن‌ها استفاده شد، و به کمک دستگاه خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس میزان دُز جذبی اندازه‌گیری شد.





شکل ۳-۲۱. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای.

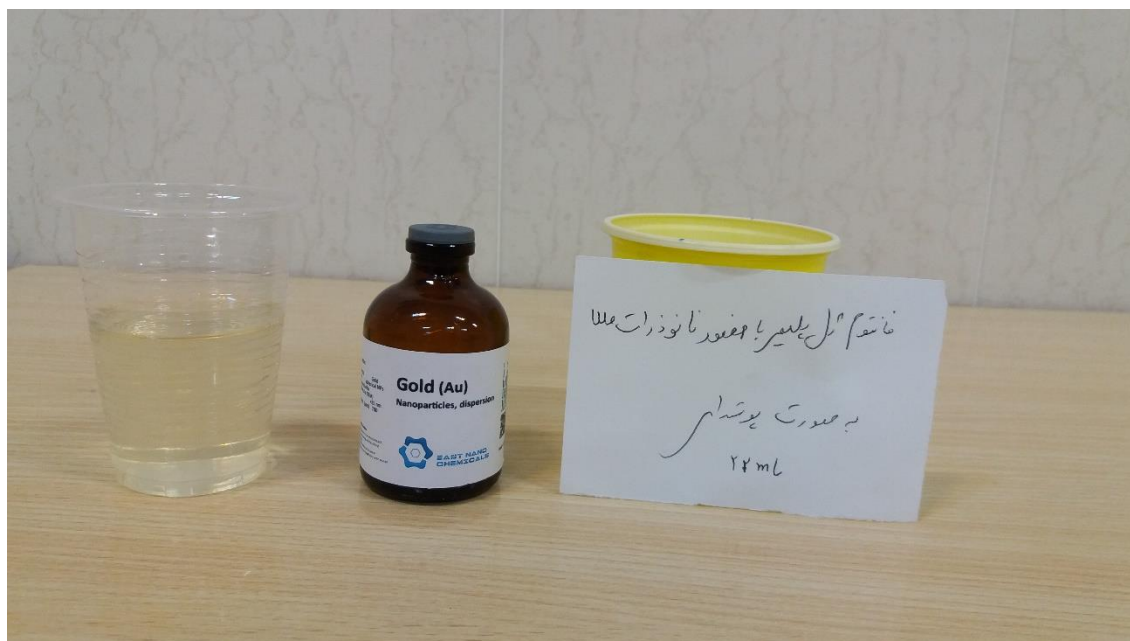
### ۳-۳-۵ حالت پنجم: اندازه‌گیری دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

#### نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای

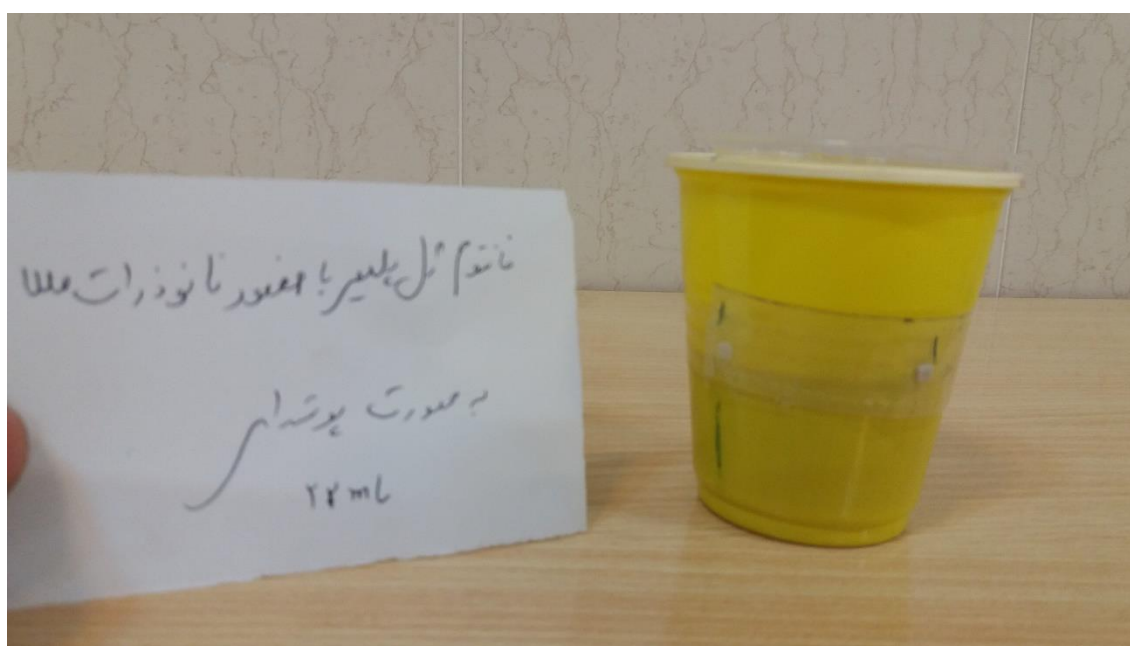
در این حالت با استفاده از ترکیب‌های ژل پلیمر MAGIC و حضور محلول نانوذرات طلا در ژل پلیمر MAGIC به صورت پوسته‌ای با ضخامت پوسته  $0.182 \text{ cm}$  فانتوم استوانه‌ای مطابق با شکل ۳-۲۲ ساخته شد. و چشمه ایریدیم با رعایت نکات ایمنی و بدون تماس با بدن در مرکز فانتوم قرار گرفت، و قرص‌های TLD را در اطراف فانتوم با زوایه‌های  $0$  تا  $90$  درجه به فاصله  $45$  درجه از یکدیگر قرار



دادیم و برای اندازه‌گیری دُز جذبی از آن‌ها استفاده شد، و به کمک دستگاه خوانش کارت دُزیمتر ترمولومینسانس میزان دُز جذبی اندازه‌گیری شد.



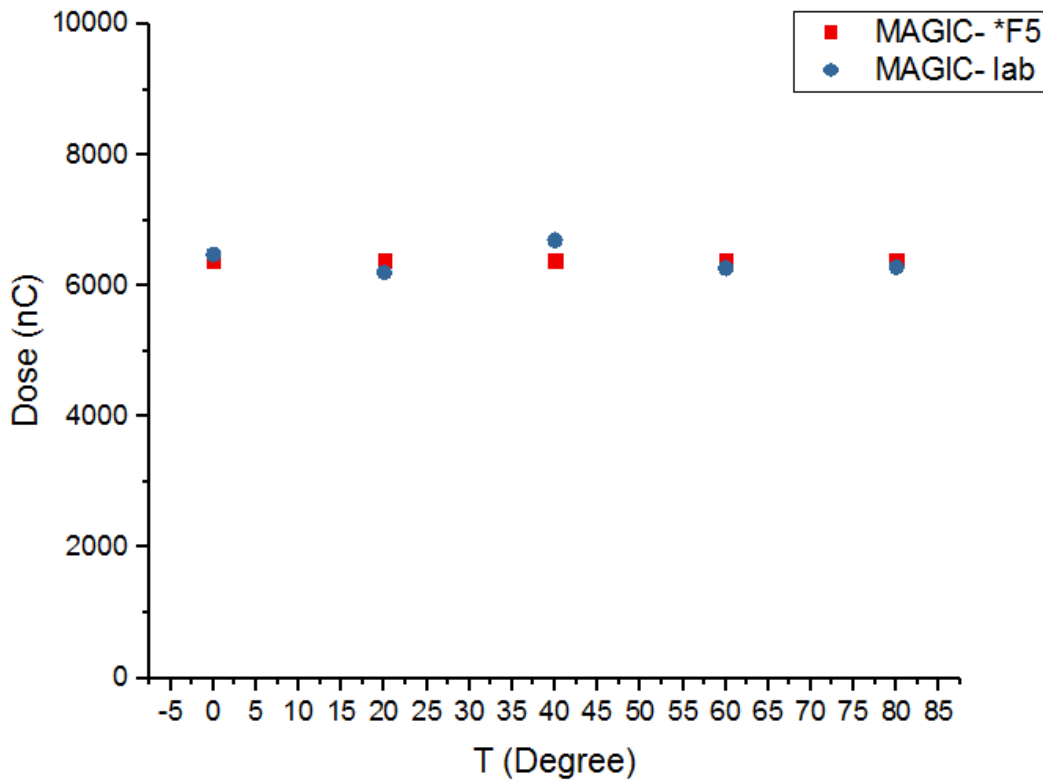




شکل ۳-۲۲. فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای.

### ۳-۴ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر MAGIC

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی به کمک MCNPX برای دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC که در قسمت ۳-۲-۷ مورد مطالعه قرار گرفته بود را با نتایج تجربی حاصل از آزمایشگاه که بعد از ساخت و پرتودهی با چشمه ایریدیم و استفاده از قرص‌های TLD و اندازه‌گیری دُز به کمک دستگاه خوانش TLD، مورد مقایسه قرار می‌دهیم، که در شکل ۳-۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۳. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC به دو روش شبیه‌سازی و تجربی.

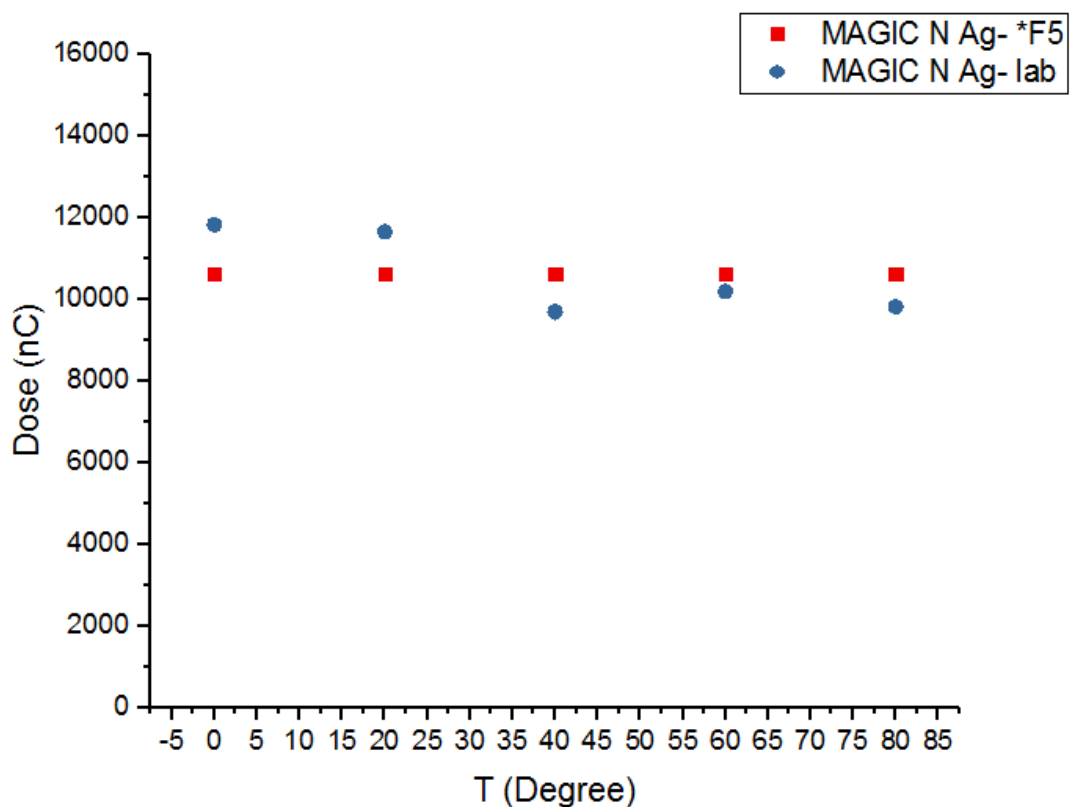
### ۳-۵ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول

#### نانوذرات نقره به طور یکنواخت

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

نانوذرات نقره را با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات تجربی، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم

که در شکل ۳-۲۴ نشان داده شد.



شکل ۳-۲۴. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور یکنواخت با

غلظت 1.5mM به دو روش شبیه‌سازی و تجربی.

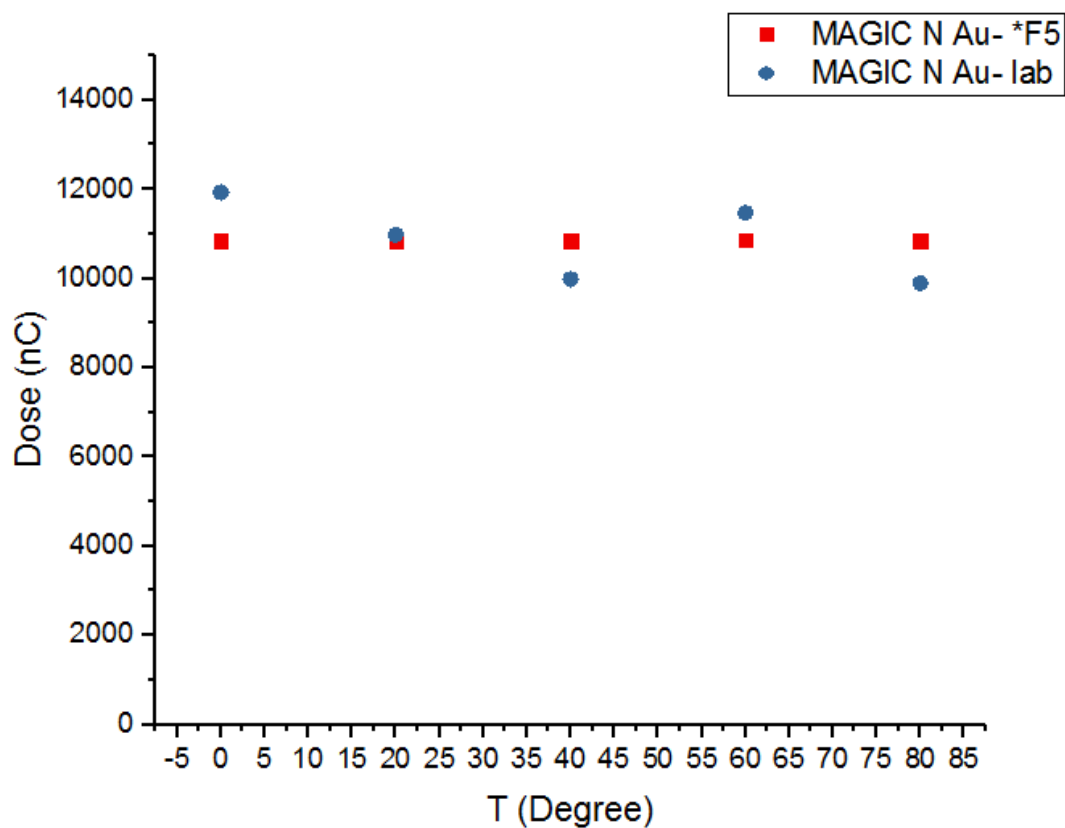
### ۳-۶ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول

#### نانوذرات طلا به طور یکنواخت

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

نانوذرات طلا را با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات تجربی، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم

که در شکل ۳-۲۵ نشان داده شد.



شکل ۳-۲۵. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور یکنواخت با

غلظت 1.5mM به دو روش شبیه‌سازی و تجربی.

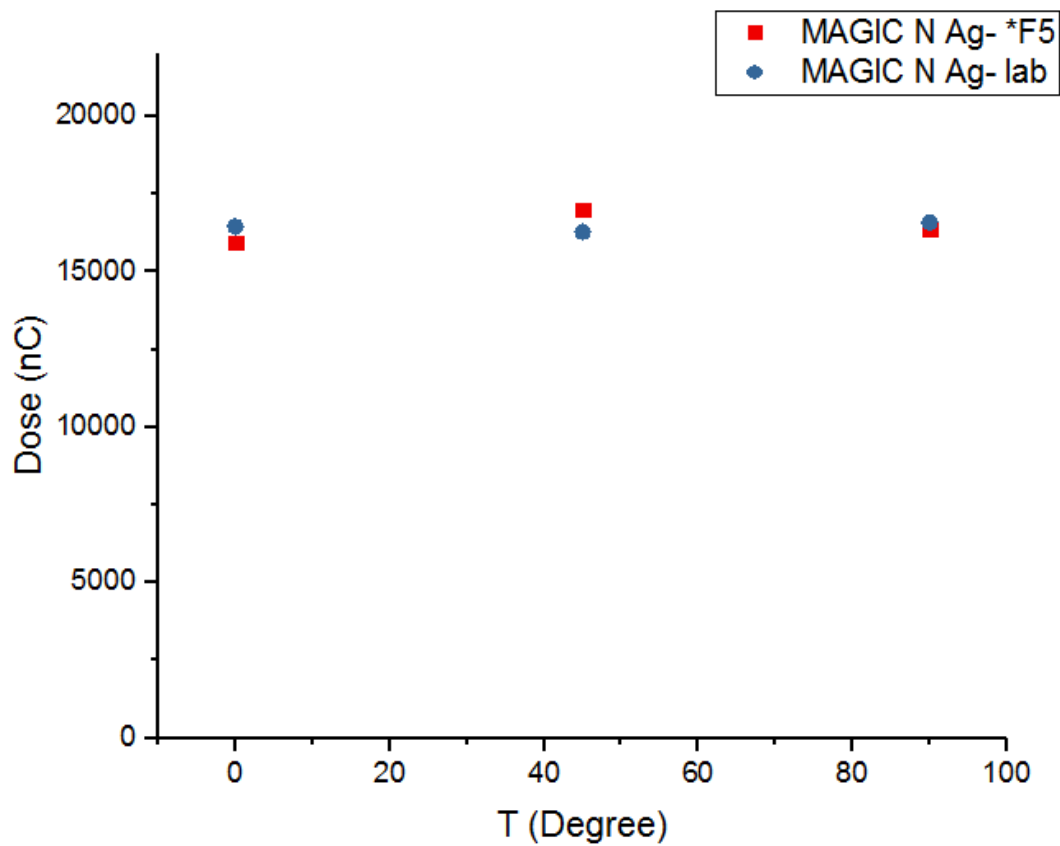
### ۷-۳ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول

نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای را با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات تجربی، مورد بررسی و

مقایسه قرار می‌دهیم که در شکل ۳-۲۶ نشان داده شد.



شکل ۳-۲۶. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات نقره به طور پوسته‌ای با

ضخامت ۰/۱۸۲ cm به دو روش شبیه‌سازی و تجربی.

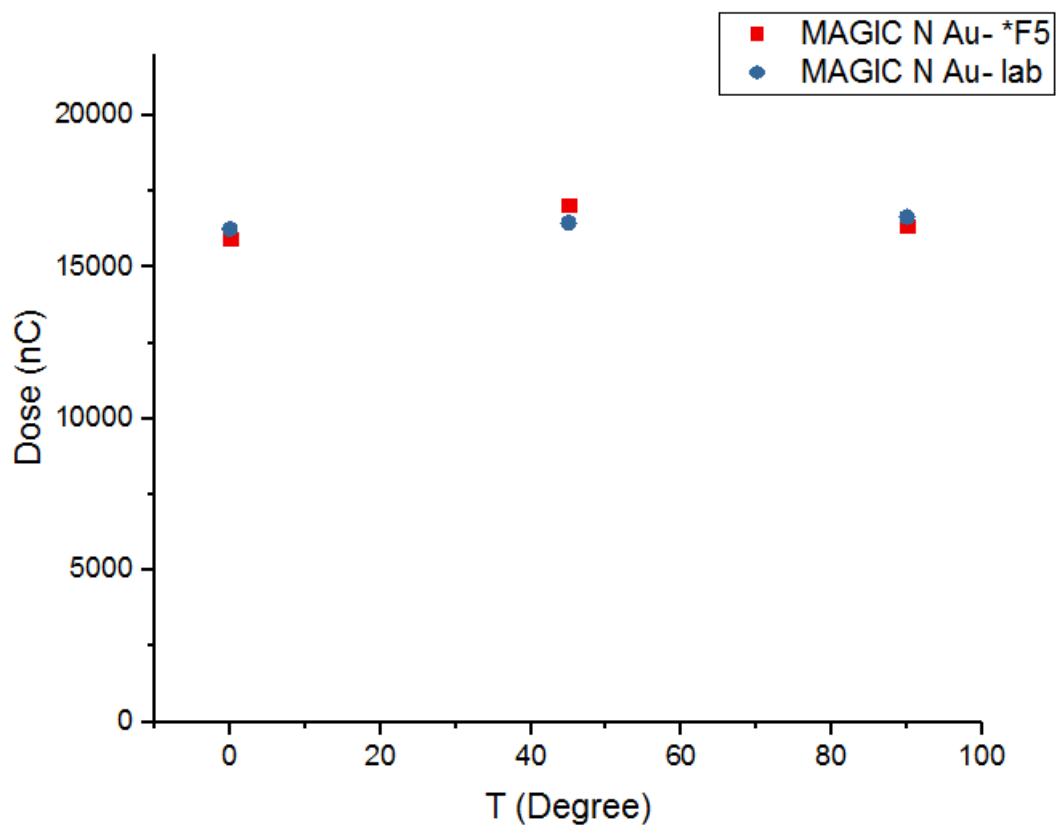
### ۳-۸ مقایسه نتایج دُز جذبی شبیه‌سازی و آزمایشگاه برای فانتوم ژل پلیمر با حضور محلول

#### نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول

نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای را با نتایج تجربی بدست آمده از آزمایشات تجربی، مورد بررسی و

مقایسه قرار می‌دهیم که در شکل ۳-۲۷ نشان داده شد.



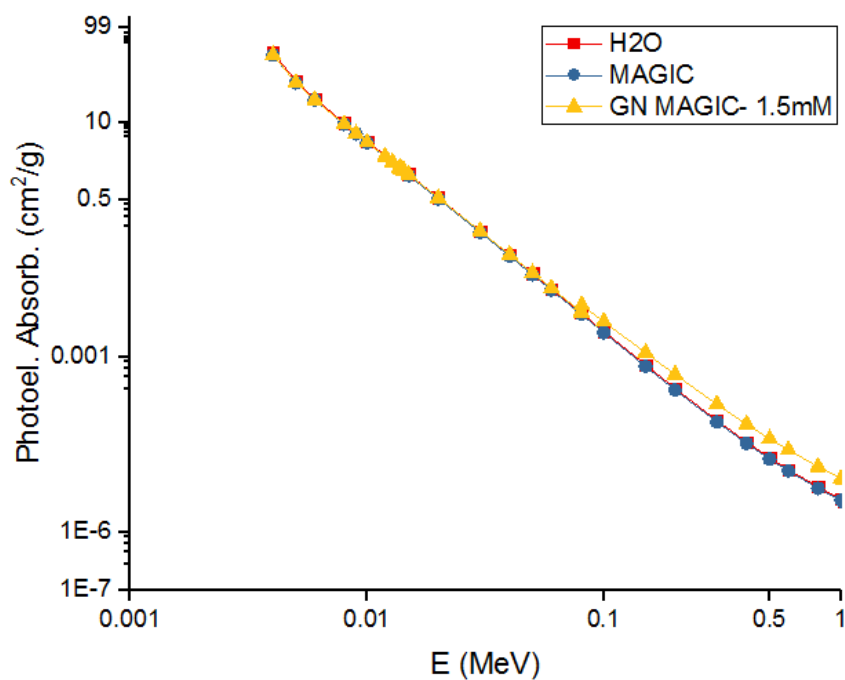
شکل ۳-۲۷. مقایسه دُز جذبی در فانتوم‌های ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا به طور پوسته‌ای با

ضخامت ۰/۱۸۲ cm به دو روش شبیه‌سازی و تجربی.

### ۹-۳ بررسی اثر جذب فتوالکتریک و ضریب تضعیف جرمی در فانتوم‌های آب، ژل پلیمر

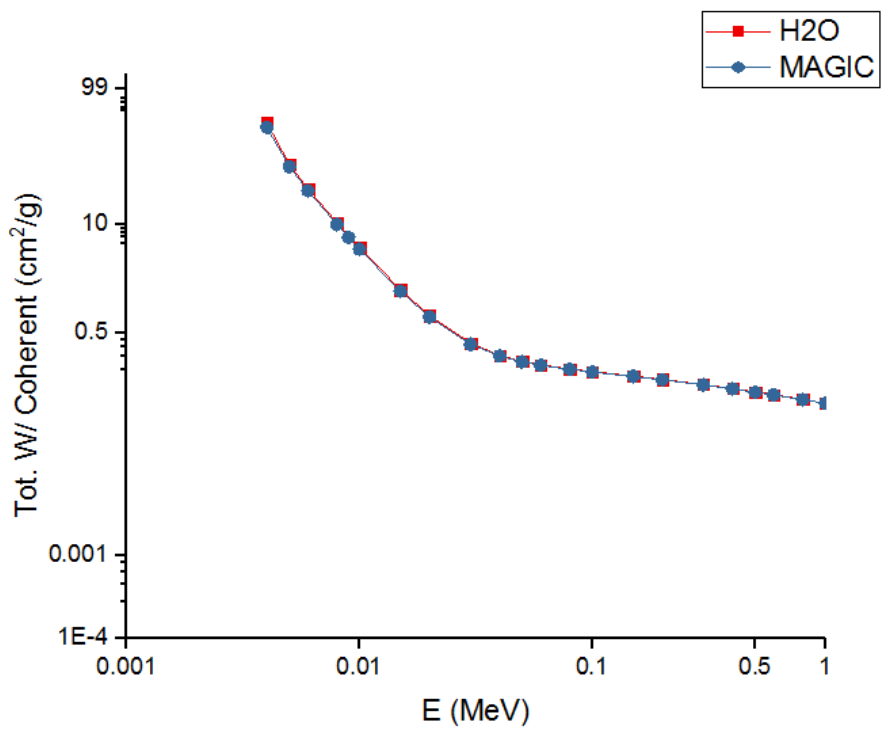
#### MAGIC و ژل پلیمر MAGIC با حضور محلول نانوذرات طلا

با توجه به اثر فتوالکتریک و احتمال رخداد آن و ضریب تضعیف جرمی، که در فصل ۱ به تعریف آن پرداختیم. با در نظر گرفتن ترکیب‌های فانتوم‌های آب، ژل پلیمر MAGIC و ژل پلیمر MAGIC با حضور نانوذرات طلا به بررسی جذب اثر فتوالکتریک در این فانتوم‌ها پرداختیم. که در شکل ۳-۲۸ مورد مقایسه قرار گرفت. و همچنین برای فانتوم‌ها ضریب تضعیف جرمی را بررسی کردیم که در شکل ۳-۲۹ نشان داده شده است، که تطابق مناسبی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۸. نمودار جذب فتوالکتریک بر حسب انرژی در فانتوم‌های آب، ژل پلیمر MAGIC و ژل پلیمر MAGIC

با حضور نانوذرات طلا [۳۹].



شکل ۳-۲۹. نمودار ضریب تضعیف جرمی بر حسب انرژی در فانتوم‌های آب و ژل پلیمر MAGIC [۳۹].





## فصل چهارم

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده در فصول قبل، از قبیل: شبیه‌سازی فانتوم، چشمه، با در نظر گرفتن شرایطی تقریباً نزدیک به شرایط واقعی، همچون در نظر گرفتن ابعاد فانتوم و چشمه ایریدیم طراحی شده به منظور هر چه بهینه کردن آن، در این بخش از پایان‌نامه به تحلیل و جمع‌بندی نتایج بدست آمد از شبیه‌سازی‌ها و آزمایشات خواهیم پرداخت.

#### ۴-۲ بحث و نتیجه‌گیری

به کمک شبیه‌سازی مونت‌کارلو و استفاده از تالی‌های \*F5، \*F8 و انجام آزمایشات تجربی در آزمایشگاه، به طور جداگانه مقدار دُز جذبی برای هر یک از فانتوم‌ها محاسبه شد. با مقایسه داده‌های بدست آمده در شکل‌های ۳-۵ و ۳-۶، بیشینه اختلاف نسبی بین نتایج فانتوم آب و ژل پلیمر MAGIC ، ۴٪ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده و مقایسه‌ای که در شکل ۳-۲۹، بین ضریب تضعیف جرمی ژل پلیمر MAGIC و ضریب تضعیف جرمی آب انجام شده است، می‌توان نتیجه گرفت که فانتوم ژل پلیمر MAGIC همانند فانتوم آب می‌تواند به عنوان فانتوم بافت نرم بدن انسان قرار گیرد. با این مزیت که فانتوم ژل پلیمر تنها دُزیمتر سه بعدی حساس به پرتو می‌باشد. و با توجه به نمودار شکل ۳-۶ به این نتیجه می‌رسیم که مقدار دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر MAGIC نسبت به دُز جذبی در فانتوم آب ۴٪ افزایش یافته است. و در شکل ۳-۲۳ مقایسه‌ای بین نتایج دُز جذبی بین شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاه صورت گرفت که نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین این دو نتایج وجود ندارد.

با اضافه کردن محلول نانوذرات طلا به فانتوم ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت‌های مختلف، مقدار دُز جذبی را به روش MCNP و آزمایشگاه که نتایج مشابه‌ای داشتند، محاسبه کردیم و در شکل ۳-۷ دُزهای جذبی با غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. و با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر افزایش دُز DEF را محاسبه کردیم و در شکل ۳-۸ مورد بررسی قرار گرفت که با حضور محلول

نانوذرات طلا در فانتوم ژل پلیمر، مقدار دُز جذبی افزایش یافته است. و بیشینه مقدار افزایش دُز ۰/۲۴ درصد محاسبه شد.

با بررسی نتایج حضور محلول نانوذرات طلا به صورت متمرکز در مرکز فانتوم ژل پلیمر که در شکل ۱۰-۳ مورد بررسی قرار گرفت، دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر با افزایش غلظت محلول نانوذرات طلا کاهش پیدا کرد. زیرا در شبیه‌سازی‌ها چشم‌آیریدیم را در مرکز فانتوم در نظر گرفته بودیم، که به دلیل جذب بالای طلا پرتوهای گاما عبوری جذب محلول نانوذرات طلا شده و دُز جذبی در سلول ژل پلیمر کاهش پیدا کرده است.

با بررسی نتایج حضور محلول نانوذرات طلا به صورت پوسته‌ای با ابعاد مختلف در اطراف فانتوم ژل پلیمر، که در شکل ۱۲-۳ مورد بررسی قرار گرفت، دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر با افزایش غلظت محلول نانوذرات طلا افزایش می‌یابد. و با استفاده از رابطه (۸-۲) مقادیر افزایش دُز DEF را محاسبه کردیم و در شکل ۱۳-۳ مورد بررسی قرار گرفت که با افزایش حضور محلول نانوذرات طلا در اطراف فانتوم ژل پلیمر، مقدار دُز جذبی افزایش یافته است. و بیشینه مقدار افزایش دُز DEF در انرژی ۱ MeV، برای غلظت ۱/۵ mM به مقدار ۲۰٪ محاسبه شد.

با اضافه کردن محلول نانوذرات نقره به فانتوم ژل پلیمر MAGIC به طور یکنواخت با غلظت‌های مختلف، مقدار دُز جذبی را به روش شبیه‌سازی MCNP و آزمایشگاه که نتایج مشابه‌ای داشتند، محاسبه کردیم و در شکل ۱۴-۳ دُزهای جذبی با غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. و با استفاده از رابطه (۸-۲) مقادیر افزایش دُز DEF را محاسبه کردیم و در شکل ۱۵-۳ مورد بررسی قرار گرفت که با حضور محلول نانوذرات نقره در فانتوم ژل پلیمر، مقدار دُز جذبی افزایش یافته است. و بیشینه مقدار افزایش دُز ۰/۲۴ درصد محاسبه شد.

با بررسی نتایج حضور محلول نانوذرات نقره به صورت پوسته‌ای با ابعاد مختلف در اطراف فانتوم ژل پلیمر، که در شکل ۱۶-۳ مورد بررسی قرار گرفت، دُز جذبی در فانتوم ژل پلیمر با افزایش غلظت محلول

نانوذرات نقره افزایش می‌یابد. و با استفاده از رابطه (۲-۸) مقادیر افزایش دُز DEF را محاسبه کردیم و در شکل ۳-۱۷ مورد بررسی قرار گرفت که با افزایش حضور محلول نانوذرات نقره در اطراف فانتوم ژل پلیمر، مقدار دُز جذبی افزایش یافته است. و بیشینه مقدار افزایش دُز DEF در انرژی ۱ MeV، برای غلظت ۱/۵ mM به مقدار ۲۰٪ محاسبه شد.

بر اساس قوانین برهمکنش فوتون با ماده، احتمال جذب فتوالکتریک تقریباً به صورت  $\frac{Z^3}{E^3}$ ، با توان سوم عدد اتمی ماده هدف، رابطه مستقیم و با توان سوم انرژی فوتون تابشی نسبت عکس دارد. از این رو، ایده استفاده از مواد با عدد اتمی بالا به همراه پرتوهای فوتونی کم انرژی به منظور افزایش دُز می‌باشد. که طلا با بالا بودن عدد اتمی، باعث افزایش دُز جذبی چشم‌گیری در فانتوم ژل پلیمر شده است. و شکل ۳-۲۸ نشان دهنده جذب فتوالکتریک می‌باشد، که با حضور محلول نانوذرات طلا در فانتوم ژل پلیمر جذب افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آزمایشگاه نشان داد که فانتوم ژل پلیمر MAGIC همانند فانتوم آب می‌تواند به عنوان فانتوم بافت نرم بدن انسان قرار گیرد. با این ویژگی که فانتوم ژل پلیمر تنها دُزیمتر سه بعدی حساس به پرتو می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** بررسی‌ها و نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی و تجربی نشان داد که حضور محلول نانوذرات طلا با غلظت ۷۰۰ ppm و نقره با غلظت ۲۰۰۰ ppm در فانتوم ژل پلیمر MAGIC به صورت ترکیب یکنواخت با غلظت ۱/۵ mM موجب افزایش دُز جذبی تا ۰/۲۴٪ و در حالت پوسته‌ای در اطراف فانتوم با غلظت ۱/۵ mM موجب افزایش دُز جذبی ۲۰٪ می‌شود. و این روش به ما کمک می‌کند تا بتوانیم بیشترین افزایش دُز را داشته باشیم. و این روش آغاز کننده راه برای ادامه مطالعات به صورت کلینکی می‌باشد.

## منابع و مراجع

- [1] J. K. Shultis, R.E. Faw, (1996), Radiation Shielding, published by American nuclear society.
- [2] H. Fricke, S. Morse, (1927), The chemical action of roentgen rays on dilute ferrosulphate solutions as a measure of dose. Am J Roentgenol Rad Ther, 18: 430-432.
- [3] M.J Maryanski, J.C core, R.P Kennan, R.J Schulz, (1993), NMR relaxation enhancement in gels polymerized and cross-linked by ionizing radiation: a new approach to 3D dosimetry by MRI. Magnetic Resonance Imaging, 11: 253-258.
- [4] P.M fong, D.Z Kiel, M.D Does, J.C Core, (2001), Polymer gels for magnetic resonance imaging of radiation dose distributions at normal room atmosphere. Phys med boil, 46: 3105-3113.
- [5] هرمان. سمبر، ۱۳۸۰، فیزیک بهداشت از دیدگاه پرتوشناسی، ابراهیم ابوکاظمی، انتشارات نشر دانشگاهی، تهران، ص ۲۳۲.
- [6] نیکلاس سولفانیدس، ۱۳۷۱، اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای، رحیم کوهی، انتشارات کتابستان مشهد.
- [7] [www.gammatech.ir](http://www.gammatech.ir).
- [8] <https://fa.m.wikipedia.org/wiki/gamma>.
- [9] WWW. Table of Radioactive Isotopes. Nuclear Data. nuclear. lu. Se /toi/ radSearch. asp.
- [10] R.P. Symonds, K. Principles, (2006), Chemotherapy and Radiotherapy. Curr Obstet Gynaecol, 16(1): 106-108.
- [11] P. Mayles, A. Nahum Rosen Wald JC, (2007), Hand book of Radiotherapy Physics: Theory and Practice. 1<sup>st</sup> ed. Taylor & Francis Group, Cscpress.
- [12] R. Baskar, KN. Lee and R. Yeo and KW. Yeoh, (2012), Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. Int. J. Med. Sci; 9: 193-199.

- [13] R.J. Schulz, A.F. de Guzman, D.B. Nguyen, J.C. Gore, (1990), Dose-response curves for Fricke infused agarose gels as obtained by nuclear magnetic resonance. *Phys Med Biol*; 35: 1611-1622.
- [14] R.G. Kelly, K.J. Jordan, J.J. Battista, (1998), Optical CT reconstruction of 3D dose distributions using the ferrous-benzoic-xyleneol (FBX) gel dosimeter. *Med Phys*; 25: 1741-1750.
- [15] G.S. Ibbott, (2006), Applications of Gel Dosimeters. *J Phys Conf Ser*; 56: 108-181.
- [16] C. Baldock, R.P. Burford, N. Billingham, et al,(1998), Experimental procedure for the manufacture and calibration of polyacrylamide gel (PAG) for magnetic resonance imaging (MRI) radiation dosimetry. *Phys Med Biol*; 43: 695-702.
- [17] C. Baldock, L. Rintoul, et al, (1998), Fourier transform Raman spectroscopy of polyacrylamide gel (PAGs) for radiation dosimetry. *Phys Med Biol*; 43: 3617-3627.
- [18] M. Sittig, (1985), Handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens. 2<sup>nd</sup> ed. New Jersey, USA: Noyes publications.
- [19] D.B. Pelowitz, (2005), MCNPXTM user manual. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.
- [20] S.H. Cho, (2005), Estimation of tumour dose enhancement due to gold nanoparticles during typical radiation treatments: a preliminary Monte Carlo study. *Phys Med Biol*; 50(15): N163-73.
- [21] S. Kurnr, M. Abyaneh, et al, (2007), sulfite reductase-mediated synthesis of gold nanoparticles capped with phytochelatin. *Biotechnol Appl Biochem*; 47: 191-195
- [22] X. Zhang, S. Yan, et al, (2011), Synthesis of nanoparticles by microorganisms and their application in enhancing microbiological reaction rates. *Chemosphere*; 82: 489-494.
- [23] J.F. Hainfeld, F.A. Dilmanian, D.N. Slatkin, H.M. Smilowitz,(2008), Radiotherapy enhancement with gold nanoparticles. *JPharm Pharmacol*;60(8):977-85.
- [24] R. Arvizo, R. Bhattacharya, P. Mukherjee, (2010), Gold nanoparticles: opportunities and challenges in nanomedicine, *Expert opinion on drug delivery*;7(6):753-63.
- [25] A. Laguna, (2008), Modern Supramolecular Gold Chemistry: Gold-Metal Interactions and Applications, Wiley.

- [26] T.R. Jensen, M.L. Duval, K.L. Kelly, A.A. Lazarides, G.C. Schatz, R.P. Van Duyne, (1999), Nanosphere lithography: effect of the external dielectric medium on the surface plasmon resonance spectrum of a periodic array of silver nanoparticles, *The Journal of Physical Chemistry B*; 103(45): 9846-53.
- [27] J.F. Hainfeld, H.M. Smilowitz, M.J. O'Connor, F.A. Dilmanian, D.N. Slatkin, (2013) Gold nanoparticle imaging and radiotherapy of brain tumors in mice, *Nanomedicine*;8(10):1601-9.
- [28] S.H. Cho, B.L. Jones, S. Krishnan, (2009), The dosimetric feasibility of gold nanoparticle-aided radiation therapy (GNRT) via brachytherapy using low-energy gamma-/x-ray sources. *Phys Med Biol*;54(16):4889-905.
- [29] F. Van den Heuvel, J.P. Locquet, S. Nuyts, (2010), Beam energy considerations for gold nano-particle enhanced radiation treatment. *Phys Med Biol*;55(16):4509–20.
- [30] H. R. Salari, M. R. Kalbassi, A. Johari, (2010), *Iran J Health of Environ*, 52: 121-132.
- [۳۱] فرناز قربانی، ۱۳۹۳، کاربرد نانوذرات نقره در پزشکی، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، علم و پژوهش.
- [32] W. Zhou, Y. Ma, H. Yang, Y. Ding, X. Luo, (2011), *international journal of nanomedicine*, 6: 381-386.
- [33] M. D. Keare, S. S. Bukhari, A. Swann, P. Spier, I. McLaren, J. Myers, (2007), *Journal of Infection*, 54: 146-150.
- [34] [www.partopayesh.com/abot-TLD.html](http://www.partopayesh.com/abot-TLD.html).
- [35] <https://radiopaedia.org/articles/thermoluminescent-dosimeter>.
- [36] <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Thermoluminescent-dosimetry>.
- [37] <https://www.adinehbook.com/gp/product/9649362266>
- [38] <https://www.gammadata.se/products/radiation-detection/dosimetry/tld>.
- [39] <https://physics.nist.gov/physRefData/Xcom/html/xcom1.html>.



## Abstract

Radiotherapy include all the methods that can radiate special measure of ionized radiation to malignity tissues, theoretically the healthy tissue stays safe or get minimum harm. We look for a method that can measure the absorbed dose and be able to measure absorbed dose distribution in three dimensional. Nowadays the only dosimetry method in three dimensional is using ray-sensitive polymer gels.

In this research we calculated enhancement of absorbed dose when a uniformly solution of Gold and Silver-Nano particles is existing, and concentrated on center of phantom like shells around it with high atomic number in some kind of polymer gel like Normoxic. According the photon interaction with matter rules, photoelectric absorb probability is almost having direct relation with cube of atomic number of target matter and has reverse relation with cube of radiate photon, so using the solution of Gold and Silver-Nano particles with high atomic number and radiative photon in low energy can enhance the absorbed dose.

Experimental calculations and Montcarlo method were used for calculating absorbed dose of Ir-192 with MCNPX code. We used Normoxic polymer gel as phantom for measuring absorbed dose enhancement that set under Ir-192 sours rays with solution of Gold and Silver -Nano particles in polymer gel and different density.

The result of this investigation that we got it from experimental experiment and simulation, shows that the best density of Gold and Silver -Nano particles solution in uniformly Normoxic polymer gel is 1.5 Mm for maximum value of absorbed dose with increasing 0.24% when Nano-particles solution is uniformly and it is 20% when Nano-particles solution is like shells around of phantom, in 1 MeV energy.

The result show that Normoxic polymer gel can use as soft tissue phantom of human body like water phantom, and increasing the Nano-particles solution with high atomic number and receiving density can have maximum dose enhancement, and we can use this method for medicine research.

**Key Words:** Absorbent Dose, Gold and Silver Nano Particles, Polymer gel, Phantom, Mont Carlo Simulation.



Faculty of Physics and Nuclear Engineering

M.Sc. Thesis in Nuclear Physics

**Design and construction of MAGIC polymer gel and study of Nano Gold configuration effect on gamma ray dose with energy less than 1MeV**

**Supervisor**

Dr. Hossein Tavakoli-Anbaran

**By**

Abolfazl Mahmoodi

September 2018