

## شبیه سازی و طراحی سیستم الکتروود دزیمتر کامپوزیت پلیمری جهت یکنواختی میدان الکتریکی و کاهش نوفه سیگنال آشکار سازی

شهریار ملکی\*، فرهود ضیائی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

### چکیده

نویسندگان در پژوهشهای پیشین یک دزیمتر فعال بر پایه کامپوزیت پلیمر- نانو لوله کربن به منظور آشکار سازی و دزیمتری پرتوهای گاما معرفی نمودند که در آن، اندازه گیری بار الکتریکی در غیاب تابش و در حین پرتو دهی گاما به روش دو پروبی توسط الکترومتر صورت گرفت. در این پژوهش، شبیه سازی و طراحی سیستم گردآوری بار الکتریکی این کامپوزیت از طریق افزودن الکتروود گارد به منظور یکنواخت کردن میدان الکتریکی و کاهش نوفه سیگنال با استفاده از نرم افزار COMSOL بر مبنای روش المان محدود انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که با حضور الکتروود گارد، میدان الکتریکی دزیمتر یکنواخت تر شده، به طوری که اثرات لبه تعدیل شده، مقدار متوسط میدان الکتریکی در دزیمتر با وجود الکتروود گارد در مقایسه با سیستم بدون گارد در ولتاژ ثابت  $100 V$  تقریباً دو برابر افزایش نشان داد.

کلمات کلیدی: شبیه سازی COMSOL، دزیمتری، کامپوزیت پلیمری، یکنواختی میدان، الکتروود گارد

### مقدمه

به منظور ساخت یک دزیمتر فعال که در صورت تجاوز از حد بحرانی آهنگ دز تابشی آستانه، سیستم هشدار دهنده صوتی/تصویری شروع به کار کند، ایده استفاده از نانو کامپوزیت های پلیمری مطرح گردیده است. کامپوزیت پلیمر- نانو لوله کربن در پژوهشهای قبلی توسط نویسندگان چه در مقالات شبیه سازی و چه تجربی به عنوان یک دزیمتر تابشی مطرح شد [۱-۸]. ایده اصلی در این نوع دزیمتر، تغییر جریان الکتریکی در اثر جذب

پرتو است. لذا این تغییر جریان یا به اصطلاح جریان تابشی<sup>۱</sup> بایستی توسط الکترومتر اندازه گیری و قرائت شود تا بتوان از طریق کالیبراسیون با چشمه های استاندارد به میزان دز یا آهنگ دز پی برد. در الکترومتر معمولاً برای اندازه گیری بار الکتریکی از کانکتورهای BNC یا TNC استفاده می شود که در آن دو رشته از سیمهای این نوع کانکتورها مربوط به قطبهای مثبت و منفی قسمت<sup>۲</sup> HV متصل بوده و رشته سیم دیگر مربوط به سیستم گارد است که به منظور کاهش نوفه<sup>۳</sup> سیگنال اندازه گیری شده به کار می رود. در این پژوهش، شبیه سازی و طراحی سیستم گردآوری بار الکتریکی کامپوزیت پلیمری از طریق افزودن الکتروود گارد به منظور یکنواخت کردن میدان الکتریکی و کاهش نوفه سیگنال با استفاده از نرم افزار COMSOL بر مبنای روش المان محدود انجام شده است.

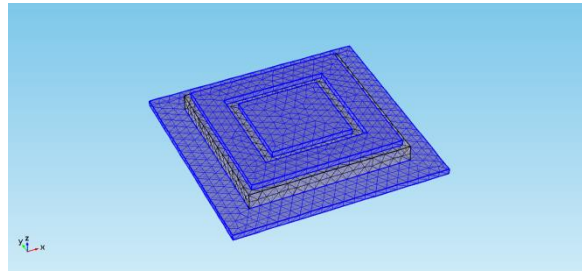
## مواد و روشها

بر اساس پیشرفتهای چشمگیر در قدرت پردازش کامپیوترهای امروزی، این امکان فراهم شده است تا بتوان رفتار دی الکتریک مواد نانو ساختار و ناهمگن را توسط نرم افزار COMSOL شبیه سازی کرد. یکی از قابلیت های اصلی این نرم افزار حل معادلات دیفرانسیل سیستم های غیر خطی توسط مشتق های جزئی به روش المان محدود در فضاهای دو و سه بعدی است [۹]. افزودن نانولوله کربن به بستر پلیمر، میدان الکتریکی در راستای اعمال میدان افزایش یافته، دو نوع قطبش الکتریکی در محیط بوجود می آید: یکی قطبش حاصل از بستر پلیمر و دیگری قطبش موضعی مربوط به نانو لوله های کربن. برآیند این دو قطبش در نهایت منجر به افزایش گذردهی الکتریکی و متعاقب آن ثابت دی الکتریک کامپوزیت پلیمر- نانو لوله کربن خواهد شد [۹]. شکل ۱ نمایی از نحوه مش بندی سیستم توسط نرم افزار COMSOL به تصویر کشیده شده است. به منظور برآورد میدان الکتریکی دی الکتریک HDPE در نرم افزار مذکور از مدل Electrostatics در حالت Stationary بهره گیری شد.

<sup>1</sup> Photocurrent

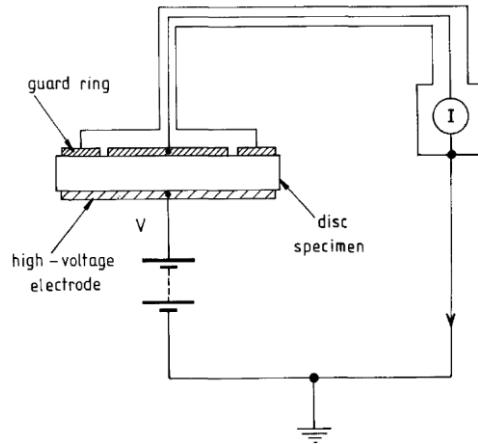
<sup>2</sup> High Voltage

<sup>3</sup> Noise



شکل ۱: نحوه‌ی مش بندی دزیتر کامپوزیت پلیمری توسط نرم افزار COMSOL.

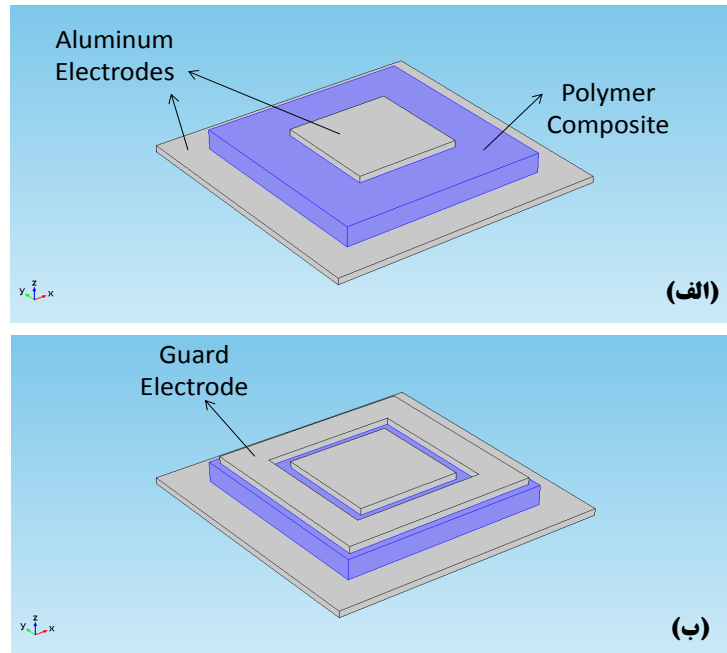
به منظور اندازه گیری مقاومت یا هدایت الکتریکی مواد عایق و نیمه هادی، چندین روش استاندارد از جمله ASTM D257 و ASTM D4496 وجود دارد [۱۰، ۱۱]. موادی که مقاومت ویژه حجمی آنها در محدوده  $10^7 - 10^{17} \Omega \cdot m$  بوده، عایق به حساب آمده و از استاندارد ASTM D257 برای اندازه گیری مقاومت و هدایت الکتریکی آنها استفاده شده و نمونه هایی که مقاومت ویژه حجمی آنها در محدوده  $1 - 10^7 \Omega \cdot m$  بوده، نیمه هادی به شمار رفته و اندازه گیری های مقاومت و رسانندگی الکتریکی آنها از طریق استاندارد ASTM D4496 مطابق شکل ۲ خواهد بود. از طریق اندازه گیری های مذکور و تعیین ابعاد هندسی نمونه ها و الکترودها می توان به اندازه گیری مقاومت های حجمی و سطحی آنها پرداخت. مطابق شکل ۳ می توان یکنواختی میدان الکتریکی برای دی الکتریک HDPE به ابعاد  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$  و ضخامت 3 mm تحت ولتاژ ثابت 100 V را در دو حالت بررسی نمود: بدون الکتروود گارد و با حضور الکتروود گارد. بدین منظور ابعاد الکترودهای بالایی و پایینی که از جنس آلومینیوم انتخاب شده اند به ترتیب عبارتند از:  $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$  و  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  و همچنین اندازه گاف بین الکتروود بالایی و الکتروود گارد در این شبیه سازی برابر 2 mm و پهنای الکتروود گارد 4.5 mm در نظر گرفته شد.



شکل ۲ سیستم الکترودهای طراحی شده جهت اندازه گیری جریان تابشی و جریان تاریک در کامپوزیت پلیمری [۱۲].

## نتایج

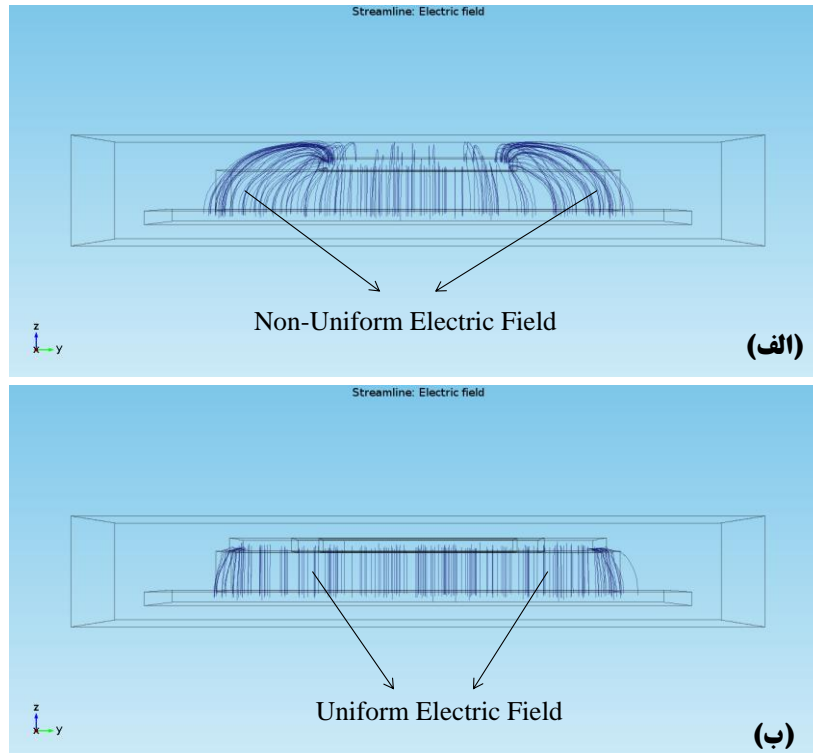
در شکل ۴ نمایی از خطوط میدان الکتریکی برای ماده دی الکتریک در حین اعمال ولتاژ 100 V در دو حالت (الف) بدون الکتروود گارد و (ب) با الکتروود گارد نمایش داده شده است. همانطوری که از این شکل دیده می شود، در حالت بدون الکتروود گارد، خطوط میدان در لبه های دی الکتریک، یکنواختی خود را از دست می دهند. مقدار متوسط میدان الکتریکی شبیه سازی شده در ماده دی الکتریک در این حالت برابر  $14.459 \text{ kV/m}$  است. با حضور الکتروود گارد، یکنواختی میدان الکتریکی بهتر شده، به طوری که اثرات لبه در یکنواختی میدان الکتریکی تعدیل شده است. مقدار متوسط میدان الکتریکی شبیه سازی شده در ماده دی الکتریک در این حالت برابر  $32.075 \text{ kV/m}$  است.



شکل ۳ نمایی از کامپوزیت پلیمری و سیستم الکترودهای آن در دو حالت الف) بدون الکترود گارد و ب) با الکترود گارد.

جدول ۱ مقایسه میدان الکتریکی کل در ماده دی الکتریک در دو حالت بدون الکترود گارد و با وجود الکترود گارد

| سیستم الکترودها   | میدان الکتریکی (kV/m) |
|-------------------|-----------------------|
| بدون الکترود گارد | 14.459                |
| با الکترود گارد   | 32.075                |



شکل ۴ خطوط میدان الکتریکی کامپوزیت پلیمری، ولتاژ 100 V (الف) بدون الکتروود گارد و (ب) با الکتروود گارد.

### بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، نتایج شبیه سازی با نرم افزار COMSOL نشان داد که الکتروود گارد نقش مؤثری در یکنواخت کردن میدان الکتریکی و همچنین کاهش نوفه سیگنال بار الکتریکی گردآوری شده برای کامپوزیتهای پلیمری در سیستمهای آشکارسازی و دزیمتری ایفا می کند. همچنین نتایج شبیه سازی نشان داد که مقدار متوسط میدان الکتریکی در ماده دی الکتریک در حالت دارای الکتروود گارد در مقایسه با سیستم بدون گارد در ولتاژ ثابت 100 V تقریباً دو برابر افزایش نشان می دهد.

## مراجع

- [۱] ملکی، شهریار؛ ضیائی، فرهود؛ فیضی، شهزاد؛ مجتهد زاده لاریجانی، مجید؛ " ساخت یک دزیمر فعال بر پایه نانوکامپوزیت پلی اتیلن سنگین-نانولوله کربن چند دیواره"، بیست و دومین کنفرانس هسته ای ایران، یزد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۴.
- [2] S. Malekie, F. Ziaie, S. Feizi, and A. Esmaeli, "Dosimetry characteristics of HDPE-SWCNT nanocomposite for real time application," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 833, pp. 127-133, 2016.
- [3] S. Malekie and F. Ziaie, "A two-dimensional simulation to predict the electrical behavior of carbon nanotube/polymer composites," *Journal of Polymer Engineering*, 2016.
- [۴] صفوی، فائزه؛ ملکی، شهریار؛ ضیائی، فرهود؛ " بررسی پایداری دمایی کامپوزیت پلیمر/نانولوله کربن با اهداف دزیمتری"، بیست و دومین کنفرانس هسته ای ایران، یزد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۴.
- [5] فیضی، شهزاد؛ ملکی، شهریار؛ ضیائی، فرهود؛ " سنتز و مشخصه یابی نانوصفحات اکسید گرافین و کاربرد آن در ساخت یک دزیمر نانوکامپوزیتی فعال"، بیست و دومین کنفرانس هسته ای ایران، یزد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۴.
- [6] S. Malekie, F. Ziaie, and A. Esmaeli, "Study on dosimetry characteristics of polymer-CNT nanocomposites: Effect of polymer matrix," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 816, pp. 101-105, 2016.
- [7] S. Malekie and F. Ziaie, "Study on a novel dosimeter based on polyethylene-carbon nanotube composite," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 791, pp. 1-5, 2015.
- [8] F. Ziaie and S. Malekie, "Study of electrical properties of a novel dosimeter based on polymer-carbon nanotube nano-composite," *Iranian Journal of Radiation Safety and Measurement*, vol. 2, pp. 17-20, 2014.
- [9] ملکی، شهریار؛ ضیائی، فرهود؛ " شبیه سازی گذردهی الکتریکی مؤثر نانوکامپوزیت پلی اتیلن-نانولوله کربن به روش المان محدود"، کنفرانس فیزیک ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۴۱۰-۴۰۷ (۱۳۹۳).
- [10] "ASTM D4496-04, Standard Test Method for D-C Resistance or Conductance of Moderately Conductive Materials," ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

- [11] "ASTM D257-07, Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials," ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012.
- [12] A. R. Blythe, "Electrical Resistivity Measurements of Polymer Materials," *Polymer Testing*, vol. 4, pp. 195-209, 1984.