

استفاده از جرقه های رادیو اکتیو برای تولید آستانه ولتاژ شکست قابل اعتماد در محافظ گیرنده

مرتضی رهمانی^۱، روح اله رضوی نژاد^۱، فرهاد خالوزاده^۲

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران - ایران
۲. دانشگاه هوا فضا عاشورا، تهران - ایران

چکیده:

محافظ گیرنده در کنار گیرنده های راداری، گیرنده را از آسیب در حین انتقال توان رادار محافظت می کند. در سال های اخیر، استفاده از جرقه های رادیو اکتیو به عنوان منبع کمکی الکترونی در محافظ گیرنده با ولتاژ شکست منظم شده، یکی از راه های جلوگیری از این آسیب می باشد. در این مقاله از مخلوط چشمه کبالت (به عنوان چشمه رادیو اکتیو) و گاز هلیوم برای تولید جرقه رادیو اکتیو استفاده می گردد. از کد MCNPX نسخه 2.6 برای محاسبه مقدار انرژی برجای مانده در محفظه گیرنده استفاده شده است و سپس از نرم افزار CST در فرکانس کاری ۱۰ گیگا هرتز برای تعیین میدان الکتریکی ناشی از یونیزاسیون چشمه پرتوزا در فعالیتهای متفاوت و گاز مورد مطالعه (به عنوان منبع الکترونی کمکی) استفاده شده است.

کلیدواژه ها: جرقه رادیواکتیو، محافظ گیرنده رادار، ولتاژ شکست.

Use of radioactive ignitrons to generate a reliable breakdown voltage threshold in the receiver protection

M. Ramezani¹, R. Razavi¹, F. Khaloozadeh²

1. Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran.
2. Aerospace Group Ashura University, Tehran, Iran.

Abstract:

Receiver protection are generally provided in radar receivers to protect the receiver from wear or damage during radar power transmission. In recent years, the use of radioactive ignitrons as an auxiliary electron source is one way to prevent this damage. In this paper, a mixture of cobalt source (as a radioactive source) and helium gas are used to produce a radioactive ignitrons. The MCNPX code is used to calculate the deposition energies in the receiver chamber. Then with CST software at a working frequency of 10 GHz to determine the electrical potential energy caused by ionization of radioactive source in different activities and the studied gas.

Keywords: radioactive ignitrons, receiver protection breakdown voltage.

Email: morteza_ramezani@ihu.ac.ir

۱. مقدمه

در کاربرد معمول رادارها ممکن است که توان انتقال رادار 10^6 وات باشد در حالی که حداکثر توانی که یک گیرنده رادار می‌تواند داشته باشد حدود چند وات می‌باشد [1]. بدیهی است که بین فرستنده و گیرنده نوعی عایق محافظ لازم است تا کار محافظت از گیرنده راداری را انجام دهد، محافظ گیرنده رادار به طور کلی در گیرنده‌های راداری، گیرنده را از فرسودگی یا آسیب در حین این انتقال توان رادار محافظت می‌کند [2]. محافظ‌های گیرنده رادار به طور کلی محدود کننده ایده آلی نیستند و در برخی از آنها توان انتقالی به گیرنده نشت می‌کند. جرقه‌های مستقیم^۱ در محافظ گیرنده‌های معمول دارای مضرات زیادی می‌باشند که از جمله ۱- کاهش حساسیت گیرنده به دلیل ایجاد نویز ۲- نیاز به یک منبع ولتاژ بالا در محدوده ۱۰۰۰ ولتی ۳- طول عمر نسبتاً پایین بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت به دلیل فرسایش الکترودها می‌باشد [3]. برای فائق آمدن بر معایب فوق، اخیراً از جرقه‌های رادیو اکتیو^۲ به عنوان منبع الکترونیکی کمکی در محافظ گیرنده استفاده شده و جایگزین جرقه‌های مستقیم می‌شود. لذا در این مقاله از ابعاد واقعی یک محافظ گیرنده و چشمه کبالت و گاز هلیوم برای تولید منبع الکترونی کمکی برای ایجاد ولتاژ شکست قابل اعتماد و بی خطر استفاده کرده‌ایم.

۲. روش کار

هندسه مورد استفاده در شبیه سازی به صورت یک محفظه مکعب مستطیلی به ابعاد $10/16$ میلی‌متر، $22/86$ میلی‌متر و 50 میلی‌متر در نظر گرفته شد. تراپزد ذرات بتا و انرژی ذخیره شده در محفظه با استفاده از کد محاسباتی مونت کارلو MCNPX انجام شده است [4]. برای محاسبه نرخ تولید الکترون در محفظه از رابطه (۱) استفاده می‌شود [5].

$$(1) \quad q = \frac{5N\alpha}{2\pi} \int_0^{50} \int_0^{22.8} \frac{n(z) dx dy}{z^2}$$

Z فاصله در راستای ارتفاع محفظه، $n(z)$ تعداد زوج یون ها تولید شده بر حسب ارتفاع محفظه و $5N\alpha$ تعداد واپاشی بر ثانیه می باشد.

سپس در محیط گازی یونیزه شده میزان فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد با استفاده از رابطه (۲) و (۳) محاسبه می‌گردد.

$$(2) \quad \omega_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}}$$

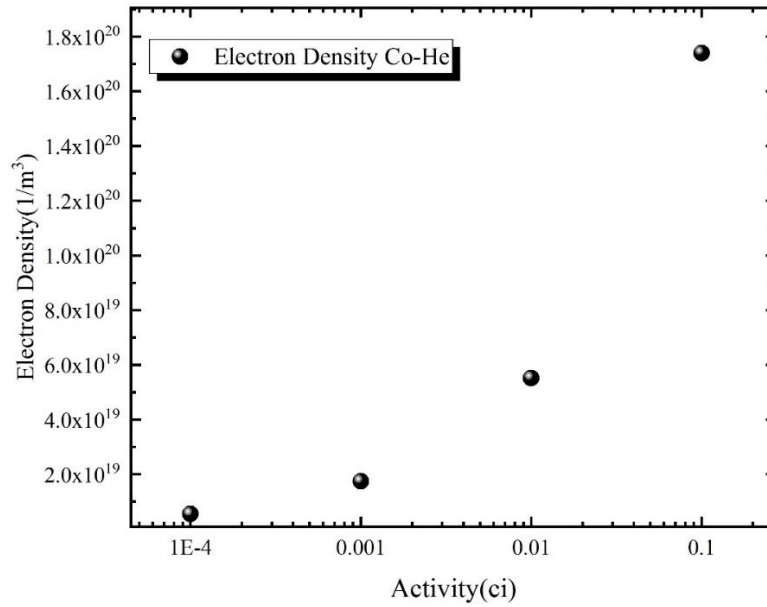
که n_e چگالی تعادلی الکترون، e بار الکترون برابر با 1.6×10^{-19} C، m_e جرم الکترون برابر با 9.1×10^{-31} kg و ϵ_0 نفوذپذیری الکتریکی فضای آزاد می‌باشند [6].

$$(3) \quad \gamma_c = 8.3 \times 10^5 \pi a_{He}^2 \sqrt{T} n_e$$

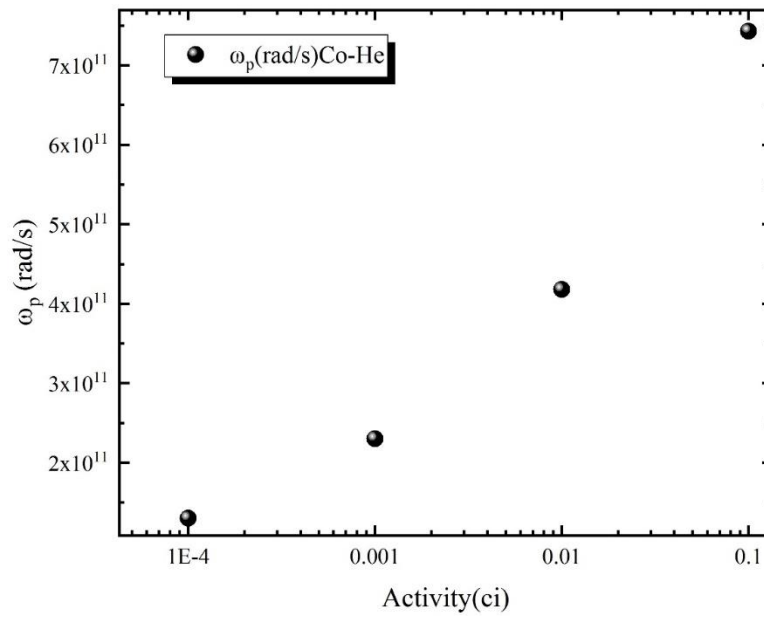
a شعاع مولکول هلیوم و T دما است [7]. چگالی الکترونی، فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد در اکتیویته‌های مختلف در محیط گازی یونیزه محاسبه شده در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب نمایش داده شده است.

¹ D-C ignitrons

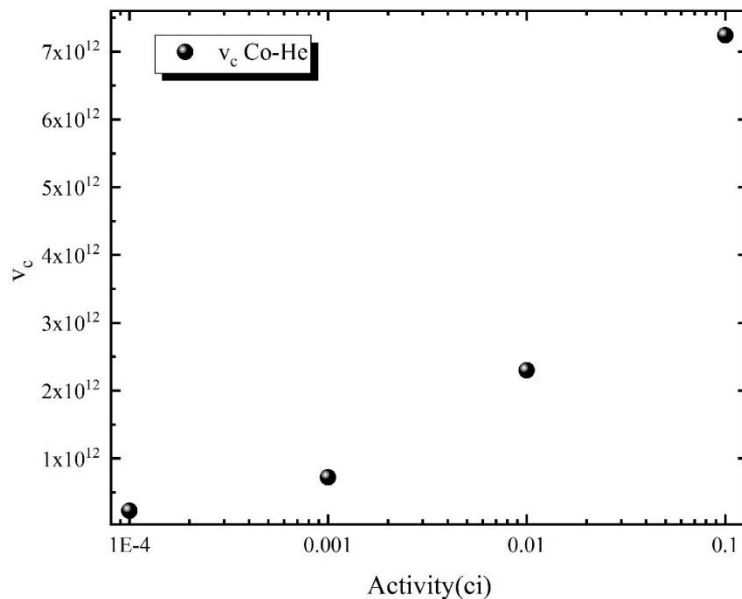
² radioactive ignitrons



شکل ۱: چگالی الکترونی محفظه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف



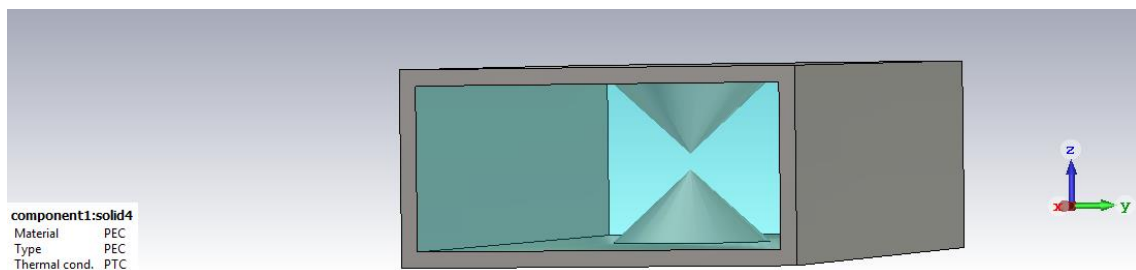
شکل ۲: فرکانس پلاسما مخلوط گاز و چشمه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف



شکل ۳: فرکانس برخورد مخلوط گاز و چشمه مورد مطالعه در اکتیویته‌های مختلف

همانطور که از شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود با افزایش اکتیویته چشمه، میزان چگالی الکترون، فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد در محیط مخلوط چشمه و گاز نیز افزایش می‌یابند.

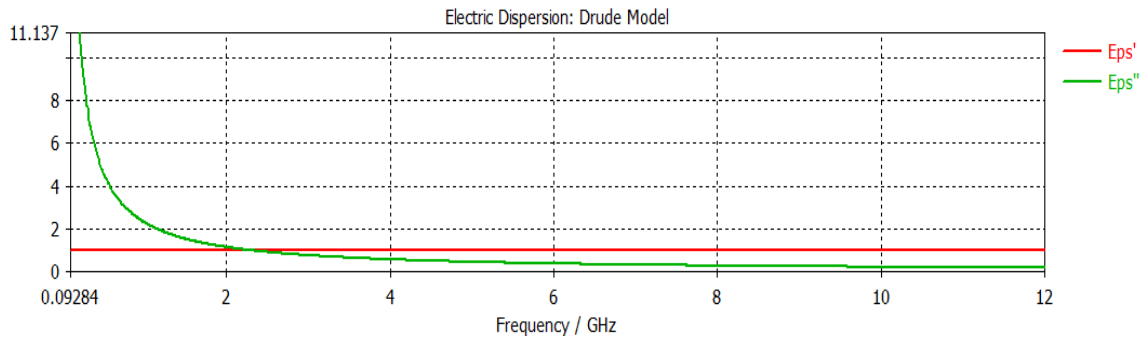
در ادامه برای تعریف مخلوط چشمه و گاز (ماده یونیزه شده) از نرم افزار CST [8]، از بسته ماکروویو و افزونه Drude-Lorentz که رفتار دی الکتریک محیط یونیزه یا پلاسما را توصیف می‌کند استفاده می‌کنیم و با استفاده از مقادیر فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد محاسبه شده در شکل (۲) و (۳)، محیط یونیزه (پلاسما) را شبیه‌سازی می‌کنیم که در شکل (۴) شبیه‌سازی محیط یونیزه را نشان داده‌ایم.



شکل ۴: شبیه سازی محفظه و محیط یونیزه با نرم افزار CST

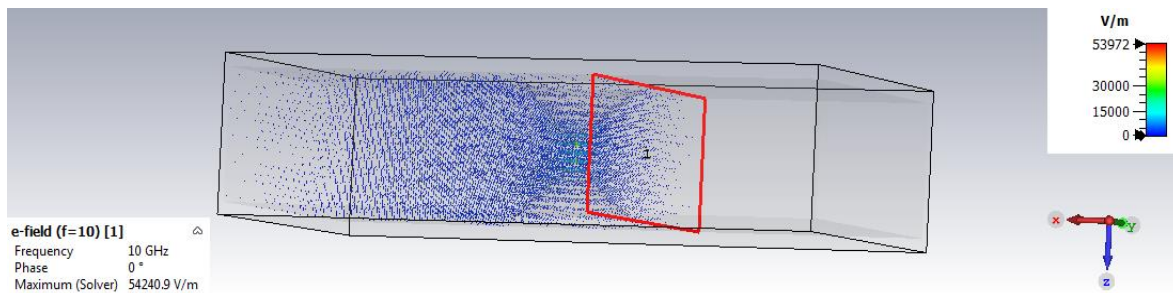
دی الکتریک محیط یونیزه (پلاسما) با استفاده از رابطه (۴) بدست می‌آید که از دو جمله حقیقی و موهومی تشکیل شده و با استفاده از نرم افزار CST دو بخش حقیقی و موهومی این ثابت دی الکتریک برای محیط یونیزه شبیه سازی شده بدست آمده که در شکل ۵ نمایش داده شده است

$$(۴) \quad \epsilon_r = 1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 + \gamma^2)} - \frac{i\omega_p^2\gamma}{\omega(\omega^2 + \gamma^2)}$$

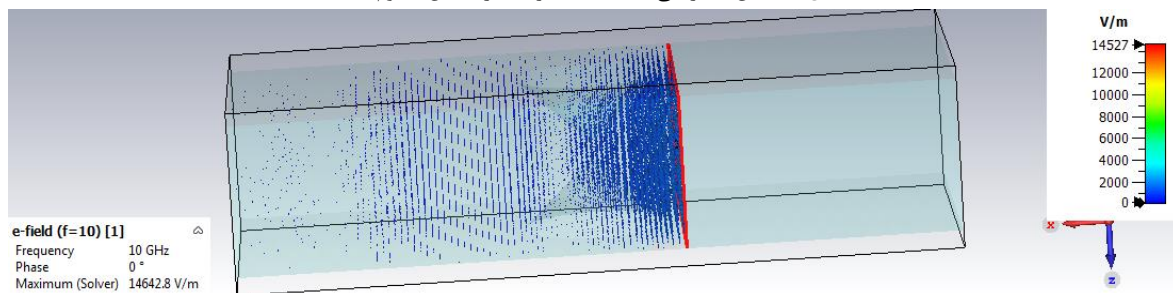


شکل ۵: ثابت دی الکتریک محیط یونیزه به ازای ۱۰۰ میلی کوری

از آنجائیکه می‌دانیم محافظ گیرنده در نقش یک موجبر می‌باشد، لذا پورت ورودی استاندارد که شامل (امپدانس ۵۰ اهم و فرکانس ۱۰ گیگا هرتز) می‌باشد را برای این محیط یونیزه (چشمه کبالت و گاز هلیوم) در نظر می‌گیریم و مقدار میدان الکتریکی در ناحیه بین دو مخروط در محافظ گیرنده را به دست می‌آوریم و مجدداً با همان پورت اینبار فقط برای گاز خالص هلیوم این کار را انجام می‌دهیم و میدان را استخراج می‌کنیم. در شکل (۶) و (۷) مقادیر مربوط به میدان الکتریکی بدست آمده برای محیط خالص (گاز هلیوم) و محیط مخروط (چشمه کبالت و گاز هلیوم) نشان داده ایم.



شکل ۶: میدان الکتریکی بدست آمده برای گاز خالص هلیوم

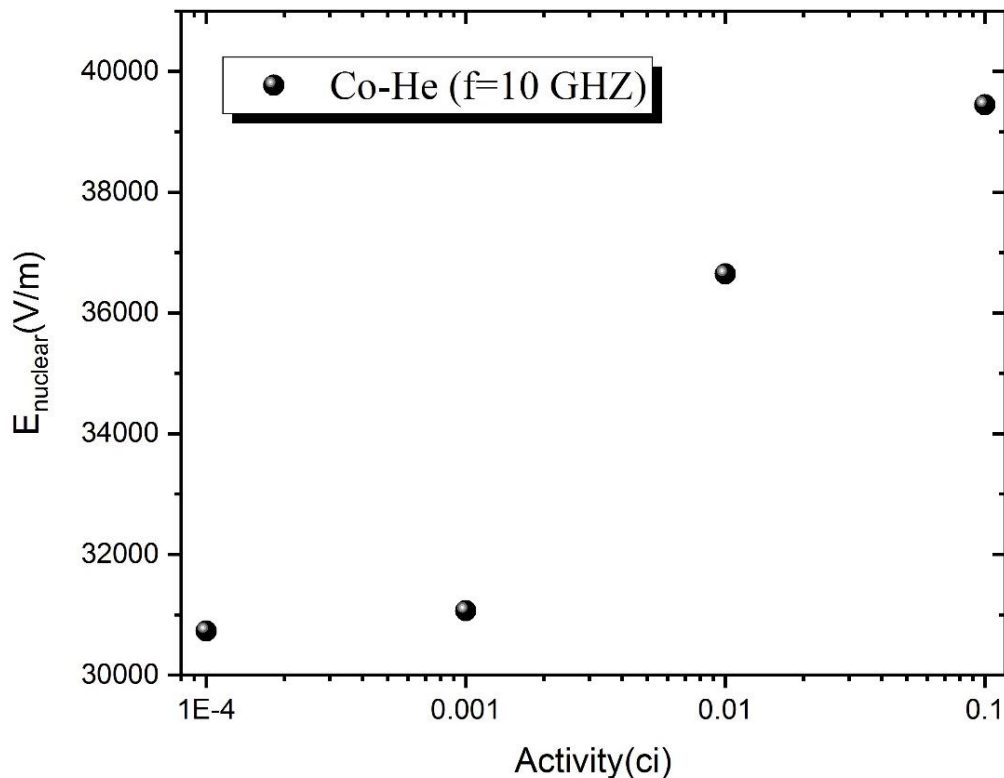


شکل ۷: میدان الکتریکی بدست آمده برای گاز مخلوط (کبالت + هلیوم)

همانطور که از شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود مقدار ماکزیمم میدان الکتریکی مربوط به گاز هلیوم ۵۳۹۷۲ V/m می‌باشد در حالی که دقیقاً برای همان پورت، ماکزیمم میدان الکتریکی مربوط به گاز (هلیوم + کبالت) برابر ۱۴۵۲۷ V/m می‌باشد. لذا می‌تواند گفت اختلاف بین این دو مقدار میدان الکتریکی می‌تواند ناشی از میدان الکتریکی مربوط به چشمه ی رادیو ایزوتوپ که به گاز هلیوم اضافه شده است باشد، زیرا به نظر می‌رسد که محیط یونیزه می‌تواند یک میدان الکتریکی مخالف میدان الکتریکی ایجاد شده از موج ورودی ایجاد کند و سبب کاهش میدان الکتریکی کل می‌شود، پس خواهیم داشت:

$$(۳) \quad E_{\text{nuclear}} = E_{\text{pour}} - E_{\text{com}}$$

که $E_{nuclear}$ میدان کمی الکترونی، E_{pour} میدان الکتریکی گاز هلیوم و E_{com} میدان الکتریکی گاز هلیوم و چشمه کبالت می باشد. در شکل ۸ میزان میدان الکتریکی کمی ناشی از چشمه کبالت در اکتیویته های ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری در گاز هلیوم را نشان داده ایم.



شکل ۸: میدان الکتریکی هسته ای (کمی) بدست آمده برای گاز مخلوط (کبالت + هلیوم) در فرکانس ۱۰ گیگا هرتز

با توجه به شکل می توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان اکتیویته چشمه کبالت، میزان میدان الکترونی کمی که می تواند ولتاژ شکست قابل اعتماد و بدون خطر را برای محافظ گیرنده ایجاد نماید افزایش یابد و از طرف دیگر این افزایش میزان میدان الکترونی کمی سبب کاهش ولتاژ شکست در محافظ گیرنده می شود و باعث کاهش آسیب هایی که ممکن است در محافظ گیرنده وارد شود، گردد.

۳. نتیجه گیری

در این مقاله به محاسبه میدان الکتریکی ناشی از مخلوط چشمه رادیو اکتیو کبالت با گاز هلیوم به عنوان یک ولتاژ کمی الکترونی در محافظ گیرنده رادار پرداخته ایم، ابتدا با استفاده از کد محاسباتی MCNPX به محاسبه انرژی برجای مانده و سپس، چگالی الکترونی در اکتیویته ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری استخراج کرده ایم (شکل ۱ را مشاهده کنید). در ادامه فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد را در این اکتیویته ها را بدست آورده ایم (شکل های ۲ و ۳ را مشاهده کنید). با استفاده از فرکانس پلاسما و فرکانس برخورد بدست آمده به شبیه سازی محیط مخلوط (یونیزه) از نرم افزار CST استفاده کرده ایم و میدان الکتریکی را برای فرکانس ۱۰ گیگا هرتز و امپدانس ۵۰ اهم را بدست آورده ایم. (شکل ۶ و ۷ را مشاهده کنید). در شکل ۸ میدان الکتریکی کمی در اکتیویته ۱۰۰ میکرو کوری، ۱ میلی کوری، ۱۰ میلی کوری و ۱۰۰ میلی کوری را برای محافظ گیرنده بدست آورده ایم که نشان می دهد با افزایش

میزان اکتیویته میزان میدان الکتریکی کمکی افزایش یافته که می تواند منجر به تولید ولتاژ شکست قابل اعتماد برای موج های ورودی تخریبی در گیرنده های رادار گردد.

۴. مراجع

- [1]. Roy Lake. et al. U.S. Patent No. 3,781.719 (25 Dec, 1973).
- [2]. A. Cook, M. Shapiro, R. TemkinLi, *Pressure dependence of plasma structure in microwave gas breakdown at 110 GHz*, Appl. Phys. Lett. **97**, 011504 (2010).
- [3]. Marvin L. Nussbaum and W. E. Zitelli, U.S. Patent No. 4,245,197 (13 Jan, 1981).
- [4]. D. P. Landau and K. Binder, *A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics*. (Cambridge university press, 2014).
- [5]. محسن دهقان، روح اله رضوی نژاد، مرتضی رضانی، کاهش سطح مقطع راداری یک صفحه تخت مربعی با استفاده از پوشش پلاسمایی ناشی از ذرات آلفا، مجله علمی و پژوهشی علوم و فناوری های پدافند نوین، سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸؛ ص ۱۲۳-۱۲۹ (In Persian).
- [6]. H. Singh, S. Antony, M. Rakesh, *Plasma-based Radar Cross Section Reduction*. (Singapore, Springer, 2016).
- [7]. J. Loschmidt, *On the Size of the Air Molecules*, J. Chem. Educ. **72**, 870-875 (1995).
- [8] مریم مستأجران، فیروزه کاظمی، سعید حجازی، آموزش شبیه سازی ساختارهای الکترومغناطیسی با استفاده از نرم افزار CST STUDIO SUITE، انتشارات دانشگاه یزد، سال ۱۳۹۵ (In Persian).