

علمی - پژوهشی

محاسبه سطح مقطع راداری آنتن پلاسمایی مغناطیده با سطح مقطع بیضوی

سمیه پیریزاد هجران دوست^۱، عباس عبدلی آرانی^{۲*}، زینب رحمانی^۳

۱- دانشجوی دکتری، ۲- دانشیار، ۳- استادیار، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱، انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰)



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

چکیده

در این پژوهش پراکندگی امواج الکترومغناطیسی با طول موج بلند از دو ساختار و پیکربندی متفاوت با سطح مقطع بیضوی بررسی می‌شود. ستون پلازما در معرض میدان مغناطیسی B_0 قرار دارد. در ساختار اول ستون پلازما به وسیله یک لایه دی‌الکتریک پوشانده شده است و در ساختار دوم یک هسته دی‌الکتریک هم‌محور با ستون پلازما قرار گرفته و در ستون پلازما به وسیله لایه دی‌الکتریک پوشانده شده است. با حل معادلات پیوستگی، انتقال تکانه و معادله پواسون و نیز با استفاده از شرایط مرزی مناسب، پتانسیل و میدان الکتریکی در نواحی مختلف محاسبه می‌شود. سطح مقطع پراکندگی و راداری محاسبه می‌شوند و نمودارهای مربوط به بسامد تشدید، میدان الکتریکی، سطح مقطع پراکندگی و راداری ترسیم می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: پراکندگی، بسامد تشدید، سطح مقطع بیضوی، سطح مقطع پراکندگی

۱- مقدمه

ویژگی‌های جسم هدف، مطالعه پراکندگی امواج رادیویی و مایکروویو به عنوان یک ابزار تشخیصی شناخته می‌شوند [۱۵]. از طرفی استفاده از فراماده به عنوان پوشش جسم پراکنده به منظور حذف پراکندگی و کمینه کردن احتمال شناسایی بررسی شده است [۱۶]. اما استفاده از فراماده برای مخفی محدودیت‌هایی مانند باریک بودن پهنای باند بسامدی به همراه دارد و با حذف این لایه، می‌توان مخفی سازی را غیرفعال نمود که کنترل پذیری مخفی سازی مشکل می‌شود. بنابر این پلازما به دلیل ویژگی‌های خاص آن، می‌تواند به عنوان یک جایگزین مورد توجه قرار گیرد [۱۹-۷۱]. امروزه به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد و انعطاف پذیری فوق العاده استفاده از محیط پلازما به ویژه در آنتن‌های مدرن، کاربردهای پنهان کاری و استتار، سنجش از راه دور عملیات تشخیص، به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. پراکندگی از اجسام با اشکال مختلف مانند استوانه، مستطیل، نوار و غیره در مواد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۲۲-۲۰].

اخیراً توجه زیادی به تحقیق و توسعه در زمینه آنتن‌های تکرارپذیر باهدف تنوع بخشیدن به الگوی تابش بسامد کاری آنتن و کاهش پیچیدگی آنتن‌های مخابراتی شده است [۱-۴]. به طور کلی، مطالعه پراکندگی امواج الکترومغناطیسی از ساختارهای مختلف به دلیل کاربردهای مختلف در زمینه‌های نظامی، راداری و شناسایی اشیاء ناشناخته پراکندگی داده‌ها از موضوعات جالب توجه تاکنون بوده از یک شی پیچیده می‌تواند اطلاعاتی در مورد ساختار داخلی آن به عنوان مثال ناهمگنی، ناهمسان گردی، چگالی و دما ارائه دهد. [۱۰-۱۵].

مطالعات تحلیلی و عددی در مورد پراکندگی امواج الکترومغناطیسی توسط ساختارهای استوانه‌ای با پیکربندی‌های مختلف و شامل مواد متفاوت [۱۲-۱۱] و همچنین توسط ستون‌هایی با سطح مقطع دایروی یا بیضوی شامل هسته‌های فلزی با روکش دی‌الکتریک یا بالعکس [۱۴-۱۳]، انجام شده است. به هر حال برای شناسایی

چگالی پلاسما قابل تنظیم با توان الکتریکی اعمال شده است و حتی می‌توان با خاموش کردن مولد توان، پلاسما را کاملاً از ساختار آنتن حذف نمود. این ویژگی‌های پلاسما، باعث کنترل عبور، جذب و انعکاس موج الکترومغناطیسی از لایه پلاسما می‌شود. سطح مقطع راداری و میدان‌های الکترومغناطیسی در اطراف یک آنتن بیضوی ویژگی‌های سازه است، فرآیند تشدید رخ می‌دهد و دامنه موج پراکنده به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پراکندگی و محاسبه تشدید یک ستون پلاسما با سطح مقطع بیضی شکل که توسط یک لایه دی‌الکتریک احاطه شده است ارائه شده و نتایج به دست آمده رسم شده است.

در این پژوهش به بررسی پراکندگی امواج الکترومغناطیس با طول موج بلند، در دو پیکربندی متفاوت با سطح مقطع بیضوی می‌پردازیم، با استفاده از حل معادلات پیوستگی، تکانه و پواسون و نیز استفاده از شرایط مرزی مناسب، پتانسیل و میدان الکتریکی را در نواحی مختلف به دست می‌آوریم. نمودارهای بسامد تشدید و سطح مقطع پراکندگی و راداری را رسم می‌کنیم.

۲- بررسی تشدید ستون پلاسما مغناطیده سرد با پوشش دی‌الکتریک

روابط تبدیلی بین مختصات دکارتی و بیضوی به صورت زیر بیان می‌شوند [۲۵]:

$$x=1/2 \quad \text{acos}\eta \quad \text{cos}\eta \quad (1)$$

$$y=1/2a \sinh \xi \sin \eta \quad \text{و} \quad z=z \quad (2)$$

که دامنه تغییرات مختصه زاویه‌ای و شعاعی بیضوی به ترتیب $0 \leq \eta \leq 2\pi$ و $\xi \leq \infty$ می‌باشد. نیم قطر بزرگ و کوچک بیضی به ترتیب b_0, a_0 می‌باشند و مرز ستون پلاسمایی توسط $\xi = \xi_0$ مشخص می‌شود که $\xi_0 = \tanh^{-1}(b_0/a_0)$

شکل (۱) سطح مقطع دستگاه مختصات بیضوی را نشان می‌دهد.

پلاسما، یک محیط یونیزه پاشنده است که می‌تواند یک گاز شبه خنثی شامل ذرات باردار و خنثی باشد که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهند و بین آن‌ها برهم‌کنش‌های بلند برد کولنی حاکم است. در یک پلاسمای سرد نا مغناطیده غیربرخوردی در شرایط مختلف گذردهی دی‌الکتریک پلاسما می‌تواند مثبت یا منفی باشد. از طرفی دارای پوشش پلاسمای مغناطیده با استفاده از روش انتگرال مرزی المان محدود مطالعه شده است [۲۳].

در سال‌های اخیر برای بهینه‌سازی شرایط در کاربردهای مختلف پراکندگی مانند تشخیصی، رادار، آنتن و غیره، پیکربندی‌هایی پیچیده‌تر مانند همگن/ناهمگن و همسانگرد/ناهمسانگرد غیرعادی، بیضوی، کروی، اجسام کروی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۲۴-۲۵].

در مرجع ۲۳ پراکندگی امواج (EHF) از یک آنتن مرکب بیضوی پلاسمایی با استفاده از روش انتگرال‌گیری مرزی المان محدود بررسی شده است که آنتن مورد استفاده شامل یک ستون بیضوی دی‌الکتریک است و توسط یک لایه ی پلاسما پوشاننده شده است، آنچه که در این مقاله مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، پیکربندی‌های مختلفی از آنتن با تغییر وضعیت قرار گیری ستون دی‌الکتریک نسبت به لایه پلاسمای مورد بحث می‌باشد و همچنین الگوریتم حل مورد استفاده در این مقاله به روش حل عددی است که به بررسی ارتباط بین سطح مقطع راداری و تغییر شدت میدان مغناطیسی خارجی و قطبش موج فرودی کرده است.

در مرجع ۲۴ با استفاده از تانسور گذردهی دی‌الکتریک پلاسمای کره‌وار کشیده و پخت مغناطیده، پراکندگی امواج الکترومغناطیسی با طول موج بلند از جسم مذکور انجام می‌شود. فرکانس تشدید و سطح مقطع پراکندگی برای یک کره پلاسمایی در تابش مایل مورد بررسی قرار گرفته است.

در این پژوهش انجام شده فعلی موج الکترومغناطیسی فرودی دارای طول موج بسیار بزرگ‌تر از ابعاد مقطع فرضی ستون است. با استفاده از شرایط مرزی، میدان‌های الکتریکی و فرکانس‌های تشدید یک ستون پلاسمای بیضوی پوشیده شده توسط یک دی‌الکتریک برای دو پیکربندی محاسبه گردید. در این پژوهش، ما پراکندگی امواجی را که به طور مایل بر یک ستون پلاسمایی طویل با مقطع بیضوی پوشیده شده توسط یک لایه دی‌الکتریک و یک ستون پلاسمایی طویل با مقطع بیضی شکل با هسته دی‌الکتریک که توسط یک لایه دی‌الکتریک، برخورد می‌کنند، بررسی می‌کنیم. در این شرایط، الکترون‌های پلاسما به دلیل میدان الکتریکی شروع به نوسان می‌کنند. برای فرکانس خاصی از موج فرودی که مربوط به

$\epsilon_{\perp} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 - \omega_c^2}$	(۵)
$g = \frac{\omega_c \omega_p^2}{\omega(\omega^2 - \omega_c^2)}$	(۶)
$\epsilon_{\parallel} = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$	(۷)

ω_p بسامد پلاسمایی و ω_c بسامد سیکلوترونی هستند. پتانسیل الکتریکی باید معادله لاپلاس در دو بعد را برآورده کند و فرض بر این است که تغییرات در راستای محور Z قابل صرف نظر کردن است و به طور کلی بار اضافی در مرز وجود ندارد و در نتیجه پتانسیل الکتریکی می تواند در رابطه زیر صدق کند:

$\epsilon_{\perp} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial x^2} + \epsilon_{\perp} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial y^2} + \epsilon_{\parallel} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial z^2} = 0$	(۸)
---	-----

و چنانچه تغییر مختصات به مختصات بیضوی داشته باشیم:

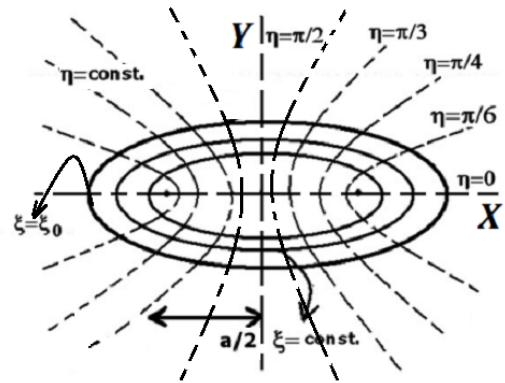
$\epsilon_{\perp} \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial \xi^2} + \epsilon_{\perp} \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial \eta^2} + \epsilon_{\parallel} \frac{1}{h^2} \frac{\partial^2 \varphi_{in}}{\partial z^2} = 0$	(۹)
--	-----

که در آن h از رابطه زیر به دست می آید:

$h = 1/2a\sqrt{\cosh^2 \xi^2 - \cos^2 \eta^2}$	(۱۰)
--	------

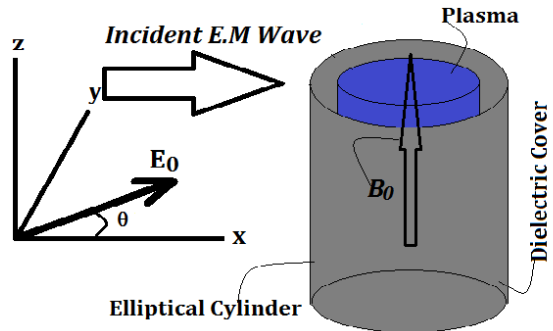
تابع های پتانسیل به صورت زیر در نواحی مختلف در نظر گرفته می شوند:

$\varphi_{in} = a_1 \cosh \xi \cos \eta + a_2 \sinh \xi \sin \eta$	(۱۱)
$\varphi_{dielectric} = a_3 e^{\xi} \cos \eta + a_4 e^{-\xi} \sin \eta + a_4 e^{-\xi} \cos \eta + a_5 e^{\xi} \sin \eta$	(۱۲)
$\varphi_{out} = -1 / 2aE_0 (\cosh \xi \cos \eta \cos \theta + \sinh \xi \sin \eta \sin \theta) + a_7 e^{-\xi} \cos \eta + a_8 e^{-\xi} \sin \eta$	(۱۳)



شکل (۱). سطح مقطع دستگاه مختصات بیضوی

در پیکربندی اول ستون پلاسمای در حضور میدان مغناطیسی محوری در راستای Z می باشد و توسط لایه دی الکتریک پوشانده شده است. در شکل (۲) ساختار مورد نظر نشان داده شده است.



شکل (۲). ستون پلاسمای مغناطیده با سطح مقطع بیضوی با لایه

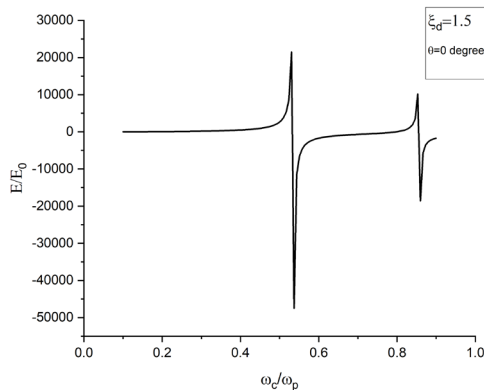
دی الکتریک

پیکربندی شامل ستون پلاسمای مغناطیده با سطح مقطع بیضوی تحت تابش مایل قرار می گیرد. در اینجا امواج فرودی با طول موج بلند در نظر گرفته می شود به طوری که که طول موج فرودی بسیار بزرگ تر از ابعاد سطح مقطع ستون بیضوی باشد که در نتیجه می توان میدان الکتریکی موج را غیر چرخشی در نظر گرفت و به صورت زیر نوشت [۲۶]:

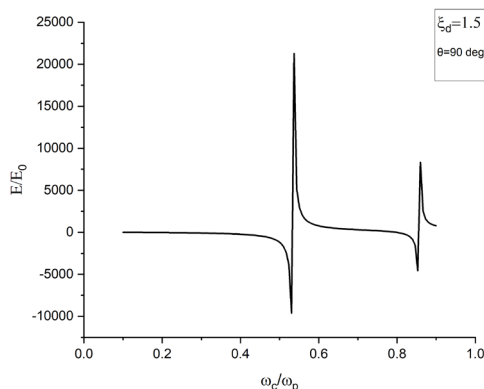
$$E = -\nabla \phi \tag{۳}$$

تانسور گذردهی دی الکتریک یک پلاسمای سرد مغناطیده و غیربرخوردی به صورت زیر نوشته می شود [۲۶]:

$\tilde{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_{\perp} & -ig & 0 \\ ig & \epsilon_{\perp} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\parallel} \end{bmatrix}$	(۴)
--	-----



شکل (۳). نمودار تغییرات میدان الکتریکی بهنجار شده بر حسب بسامد سیکلوترونی و زاویه تابش مماس

$$= -1/2aE_0 [\cosh\xi \cos\eta \cos\theta / \sinh\xi \sin\eta \sin\theta]$$


شکل (۴). نمودار تغییرات میدان الکتریکی بهنجار شده بر حسب بسامد سیکلوترونی با زاویه تابش عمود

همان طور که از مقایسه این دو شکل برمی آید علاوه بر موارد بیان شده در خصوص میدان الکتریکی، زاویه تابش به سطح نیز تأثیرگذار می باشد که در تطابق کامل با مرجع شماره [23] می باشد. پیک های میدان الکتریکی در ستون پلاسما در نتیجه تحریک تشدید امواج در پلاسما است، امواج در پلاسما مجموعه ای از نوسانات ذرات باردار در پلاسما است که به وسیله میدان های الکترومغناطیسی تحریک می شوند. هنگامی که بسامد میدان خارجی با بسامد پلاسما یکی می شود پدیده تشدید رخ می دهد و دامنه موج به طور فزاینده ای افزایش می یابد. هنگامی که بسامدهای موج ورودی در یک بازه خاص جاروب می شود مدهای مختلف روز ناسی تحریک می گردد. نکته قابل تأمل در این زمینه تأثیر چگالی پلاسما، دما و میدان مغناطیسی در تحریک مدهای مختلف می باشد.

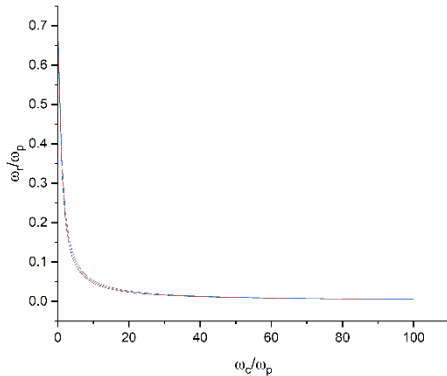
a_n ها ثابت هایی هستند که در مسئله و با استفاده از شرایط مرزی به دست آمده و میدان و پتانسیل الکتریکی در نواحی مختلف پیکربندی مفروض محاسبه می گردد. با نوشتن کد متلب، ضرایب توسط نرم افزار متلب محاسبه شده است و نمودارها هم توسط نرم افزار متلب ترسیم شده اند. البته محاسبات و روابط کاملاً به روش تحلیلی انجام شده است که کاملاً واضح است.

شایان ذکر است که پتانسیل در بین هایت باید به فرم پتانسیل تابشی در حالت زیر برسد:

و شرایط مرزی مناسب به صورت زیر می باشد:

$\left[\varepsilon_{\perp} \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \xi} - ig \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \eta} \right]_{\xi=\xi_1}$ $= \left[\varepsilon_{dielectric} \frac{\partial \varphi_{dielectric}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_1}$	(۱۴)
$\left[\frac{\partial \varphi_{out}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_2}$ $= \left[\varepsilon_{dielectric} \frac{\partial \varphi_{dielectric}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_2}$	(۱۵)
$\varphi_{in} _{\xi=\xi_1} = \varphi_{dielectric} _{\xi=\xi_1}$	(۱۶)
$\varphi_{out} _{\xi=\xi_2} = \varphi_{dielectric} _{\xi=\xi_2}$	(۱۷)

در شکل های (۳) و (۴) تغییرات میدان الکتریکی بر حسب بسامد سیکلوترونی بهنجار شده رسم گردیده است. تغییرات میدان الکتریکی در ستون پلاسما به پارامترهای مختلفی همچون چگالی پلاسما، دما، فشار، میدان مغناطیسی خارجی و درجه یونیزاسیون بستگی دارد. در کل می توان بیان کرد که تغییرات میدان الکتریکی در ستون پلاسما برای کاربردهای مختلفی همچون فیوژن، کاربردهای پلاسما در صنعت و رادار کاربرد دارد. در شکل ۳ زاویه تابش صفر درجه می باشد، و در شکل ۴ زاویه تابش 90° می باشد.



شکل (۷). نمودار مطالعه پارامتریک بسامد تشدید بهنجار شده بر حسب بسامد پلاسمایی بر اساس بسامد سیکلوترونی

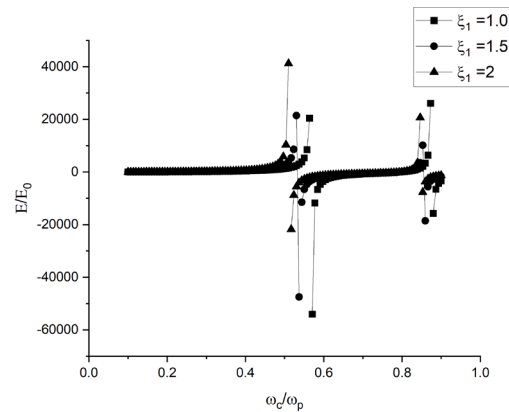
سطح مقطع پراکندگی در یک ستون پلازما با لایه دی الکتریک با استفاده از تئوری Mie قابل محاسبه است، در این تئوری، پراکندگی امواج الکترومغناطیس به وسیله ذرات کروی با تغییر ضریب شکست در نتیجه حضور لایه دی الکتریک قابل محاسبه می باشد. سطح مقطع پراکندگی به طور کلی نسبت توان پراکنده شده به توان تابانده شده به سطح می باشد، در این تئوری به حل هم زمان معادلات ماکسول برای ذرات پلازما که تحت تأثیر موج الکترومغناطیس هستند، پرداخته می شود. پراکندگی میدان الکتریکی در چنین پیکربندی از رابطه زیر به دست می آید:

$$E_{\text{scatt}} = f(\hat{i}, \hat{f}) \frac{e^{-ikr}}{r} \quad (18)$$

در مباحث پراکندگی فاکتورهای مهمی سطح مقطع پراکندگی را تحت تأثیر قرار می دهند که می توان به اندازه و هندسه ستون پلازما، جهت گیری موج فرودی نسبت به ستون پلازما اشاره کرد. به طور کلی در این تئوری یک چارچوب محاسباتی برای بررسی و تحلیل سطح مقطع پراکندگی و همچنین محاسبه میدان های الکتریکی در داخل و خارج از ستون پلازما ارائه می دهد. به طور کلی محاسبه سطح مقطع پراکندگی معیاری از میزان تابش از ذرات پلازما در جهات مختلف است که به وسیله پارامترهای مختلفی همچون دما، چگالی پلازما، زاویه تابش و طول موج فرودی تحت تأثیر قرار می گیرد. در نتیجه سطح مقطع پراکندگی از رابطه زیر به دست می آید:

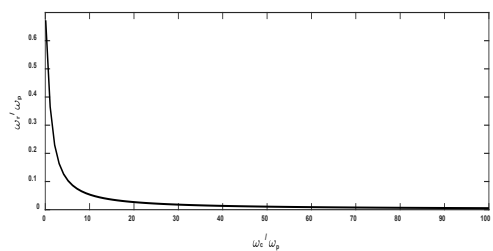
$$\sigma_s = \frac{8\pi^3 V^2}{3\lambda^4} \left\{ |(\epsilon_{\perp} - 1)E_x - igE_y|^2 + |(\epsilon_{\perp} - 1)E_y + igE_x|^2 \right\} \quad (19)$$

یکی از پارامترهای مهم در تعیین مشخصات ستون پلازما برای اهداف مشخص تعیین ضخامت لایه دی الکتریک در این پیکربندی می باشد، لذا برای دستیابی به این مهم مطالعه پارامتریک در ضخامت های مختلف انجام گردید که نمودارهای مربوطه در شکل (۵) نشان داده شده است.

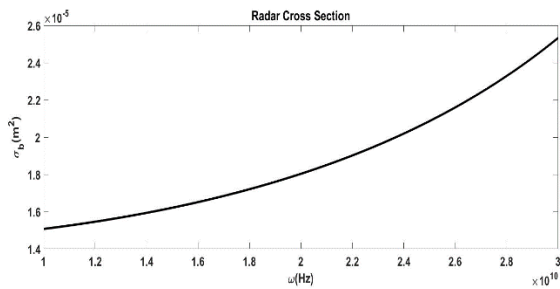


شکل (۵). مطالعه پارامتریک میدان الکتریکی بر حسب بسامد سیکلوترونی در ضخامت های متفاوت

در نمودارهای (۶) کمیت بسامد تشدید بهنجار شده بر حسب بسامد پلاسمایی بر اساس تغییرات بسامد سیکلوترونی بهنجار شده رسم گردیده است، و در نمودار (۷) مطالعه پارامتریک جهت بررسی تغییرات بسامد تشدید بر حسب ضخامت لایه دی الکتریک رسم گردیده است که همانطور که از نمودار مشخص است، تغییرات بسیار ناچیز بوده است.



شکل (۶). نمودار تغییرات بسامد تشدید بهنجار شده بر حسب بسامد پلاسمایی بر اساس بسامد سیکلوترونی

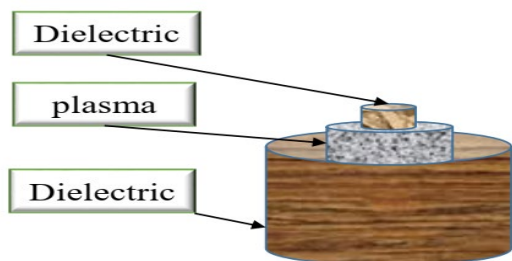


شکل (۹). تغییرات سطح مقطع راداری بر حسب بسامد موج تابشی

همان‌طور که از نمودارهای (۹) و (۸) برمی‌آید که در تطابق کامل با مرجع شماره [24] می‌باشند. در واقع سطح مقطع راداری پارامتری از میزان آشکارسازی راداری اشیا می‌باشد که بوسیله فاکتورهای مختلفی تاثیر پذیر می‌باشد. سطح مقطع راداری بزرگ نشانه این است که شی قابلیت ره‌یابی بوسیله رادار را دارا می‌باشد

۳- بررسی تشدید ستون پلاسمای سرد مغناطیده حلقوی هم‌محور با یک هسته دی‌الکتریک و پوشش دی‌الکتریک

در این بخش پیکربندی جدیدی که به صورت شکل (۱۰) نمایش داده شده است مورد بررسی و بحث قرار می‌گیرد. در این حالت یک لایه دی‌الکتریک هم‌محور با پلازما در مرکز پلازما ی مغناطیده قرار دارد در این حالت نیز میدان مغناطیسی هم راستا با ستون پلازما به پیکربندی تابانده می‌شود.



شکل (۱۰). ستون پلازما ی مغناطیده حلقوی هم‌محور با یک هسته دی‌الکتریک و پوشش دی‌الکتریک

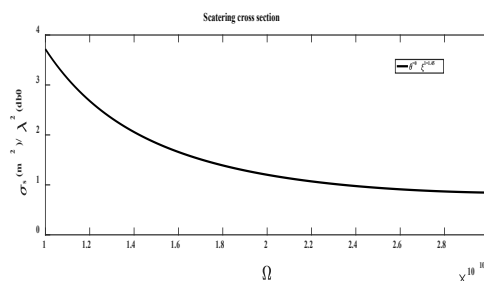
پتانسیل الکتریکی در نواحی مختلف به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

شکل (۸) تغییرات سطح مقطع پراکندگی بر حسب بسامد نشان داده شده است که در تطابق کامل با مرجع شماره [۲۴] می‌باشند.

از عوامل تأثیرگذار بر سطح مقطع پراکندگی می‌توان به شکل و اندازه ستون پلازما اشاره کرد، به‌طور کلی هرچه ستون پلازما بزرگ‌تر باشد میزان پراکندگی از سطح نیز افزایش می‌یابد و درک عمیق از این سازوکار می‌تواند به محققان در زمینه سیستم‌های تشخیصی و ابزارهای فتواسپکترومتری مورد توجه قرار گیرد.

شدت میدان مغناطیسی نیز از عوامل مهم در بررسی سطح مقطع پراکندگی می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش میدان مغناطیسی سبب افزایش محصورسازی در ستون پلازما گردیده و سطح مقطع پراکندگی را افزایش می‌دهد.

سطح مقطع پراکندگی با افزایش بسامد کاهش پیدا می‌کند که این مهم می‌تواند در نتیجه افزایش چگالی الکترون‌های آزاد در پلازما باشد که منجر به کاهش سطح مقطع پراکندگی می‌گردد. در چگالی‌های بالاتر با افزایش چگالی الکترون‌های آزاد، احتمال برخورد افزایش پیدا کرده که منجر به کاهش سطح مقطع پراکندگی می‌گردد.



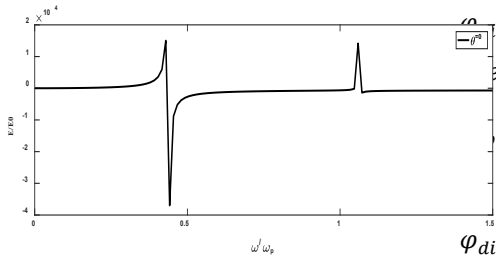
شکل (۸). تغییرات سطح مقطع پراکندگی بر حسب بسامد

یکی از پارامترهای مهم در بررسی ستون پلازما سطح مقطع راداری است که توسط رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\sigma_b = \frac{4\pi^3 V^2}{\lambda^4} \left\{ |(\epsilon_{\perp} - 1)^2 E_x^2 + E_y^2 g^2|^2 \right\} \quad (20)$$

که پارامتر σ_b به اختصار سطح مقطع راداری^۱ گفته می‌شود، نمودار تغییرات در در شکل ۹ نشان داده شده است.

^۱Radar cross section



$$\varphi_{dielectric1} = a_1 e^{\xi} \sin \eta + a_2 e^{\xi} \cos \eta + a_3 e^{-\xi} \cos \eta + a_4 e^{-\xi} \sin \eta \quad (21)$$

$$\varphi_{plasma} = a_5 \cosh \xi \cos \eta + a_6 \sinh \xi \sin \eta \quad (22)$$

$$\varphi_{dielectric2} = a_7 e^{\xi} \cos \eta + a_8 e^{\xi} \sin \eta + a_9 e^{-\xi} \cos \eta + a_{10} e^{-\xi} \sin \eta \quad (23)$$

شکل (۱۱). تغییرات میدان الکتریکی بر حسب بسامد بهنجار شده به

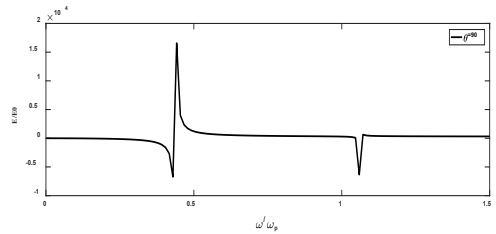
$$\varphi_{out} = -1/2aE_0(\cosh \xi \cos \eta \cos \theta$$

$$+ \sinh \xi \sin \eta \sin \theta) + a_{11} e^{-\xi} \cos \eta$$

$$+ a_{12} e^{-\xi} \sin \eta \quad (24)$$

در شکل (۱۲) زاویه تابش به صورت عمود بر سطح

پیکربندی فوق می‌باشد.

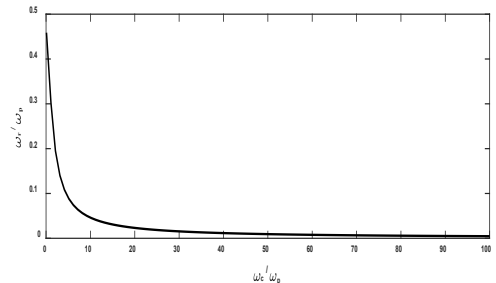


شکل (۱۲). تغییرات میدان الکتریکی بر حسب بسامد بهنجار شده به

بسامد پلاسمایی در فرود عمود

در شکل (۱۳) تغییرات بسامد تشدید بر حسب بسامد

سیکلوترونی بهنجار شده به بسامد پلاسمایی رسم گردیده است.



شکل (۱۳). تغییرات بسامد تشدید بهنجار شده به بسامد پلاسمایی بر حسب

بسامد سیکلوترونی بهنجار شده به بسامد پلاسمایی

با استفاده از شرایط مرزی برطبق روابط زیر میدان الکتریکی و پتانسیل در نواحی مختلف به دست می‌آید:

$$\left[\varepsilon_{\perp} \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \xi} - ig \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \eta} \right]_{\xi=\xi_1} = \left[\varepsilon_{dielectric1} \frac{\partial \varphi_{dielectric}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_1} \quad (25)$$

$$\left[\varepsilon_{\perp} \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \xi} - ig \frac{\partial \varphi_{in}}{\partial \eta} \right]_{\xi=\xi_2} = \left[\varepsilon_{dielectric2} \frac{\partial \varphi_{dielectric}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_2} \quad (26)$$

$$\left[\frac{\partial \varphi_{out}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_3} = \left[\varepsilon_{dielectric2} \frac{\partial \varphi_{dielectric}}{\partial \xi} \right]_{\xi=\xi_3} \quad (27)$$

$$\varphi_{in}|_{\xi=\xi_1} = \varphi_{dielectric}|_{\xi=\xi_1} \quad (28)$$

$$\varphi_{out}|_{\xi=\xi_2} = \varphi_{dielectric}|_{\xi=\xi_2} \quad (29)$$

در شکل (۱۱) تغییرات میدان الکتریکی بر حسب بسامد بهنجار شده رسم گردیده است، که زاویه تابش صفر می‌باشد.

زمانی که موج الکترومغناطیس به ستون پلاسمای فرود می‌آید، الکترون‌های آن در بسامد خاصی در پاسخ به میدان موج شروع به نوسان با بیشترین دامنه می‌کنند که به آن بسامد تشدید گویند که

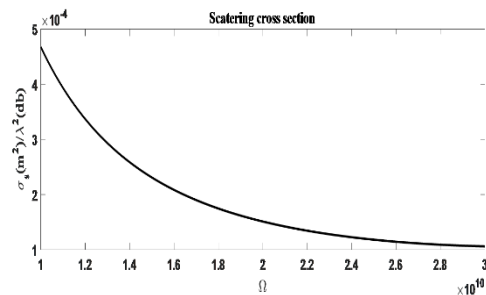
پارامتریک در خصوص یافتن ضخامت بهینه در حالت بیشینه میدان الکتریکی انجام گردید، با افزایش ضخامت لایه شاهد افزایش پراکنده شده بودیم. نمودار بسامد بهنجار شده تشدید نیز رسم گردید، مطالعه پارامتریک بسامد تشدید نسبت به ضخامت لایه دی الکتریک انجام و مشاهده شد، تغییرات بسامد تشدید نسبت به ضخامت لایه بسیار ناچیز و قابل صرف نظر کردن است. تغییرات سطح مقطع پراکنده‌گی نسبت به بسامد رسم گردید، سطح مقطع راداری به‌عنوان پارامتری مهم در طراحی سیستم‌های تشخیصی و آنتن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفت که تغییرات آن نسبت به بسامد رسم گردید و شاهد افزایش سطح مقطع پراکنده‌گی با افزایش انرژی موج ورودی بودیم.

در پیکربندی دوم یک هسته دی الکتریک هم‌محور با ستون پلاسما در مرکز آن در نظر گرفته شد که به‌وسیله لایه دی الکتریک پوشیده شده بود. در این حالت نیز تغییرات میدان نسبت به بسامد در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه سطح مقطع پراکنده‌گی و رسم مقطع راداری نیز انجام گردید. به‌طور کلی می‌توان گفت حضور ستون دی الکتریک در مرکز پلاسما می‌تواند با تغییر ویژگی‌های موج الکترومغناطیس سطح مقطع پراکنده‌گی و سطح مقطع راداری را تحت تأثیر قرار دهد، به‌طوری‌که ستون دی الکتریک می‌تواند به‌عنوان یک موج‌بر و یا یک رزونانس در مرکز بر روی انتشار و یا بازتاب موج الکترومغناطیس ورودی تأثیر گذارد. البته شایان ذکر است در بررسی دقیق‌تر باید به پارامترهایی همچون جنس دی الکتریک، بسامد و قطبش مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این مقاله به‌دست آوردن پارامترها و کمیت‌های مورد نظر در جهت استفاده از ستون‌های پلاسمایی در طراحی آنتن‌ها و رادارها می‌باشد.

۵- مراجع

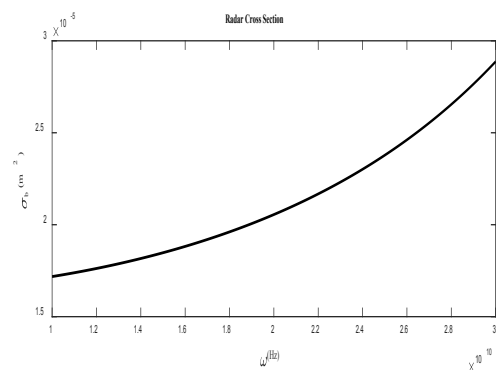
- [1] R S Chen et al, High-Isolation In-Band Full-Duplex Cavity-Backed Slot Antennas in a Single Resonant Cavity, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, IEEE Trans. Antennas Propag 69, 7092 (2021)
- [2] C Goodbody, T Karacolak and N Tran, Dual-polarised patch antenna for in-band full-duplex applications, IET Electron. Lett. 54, 1255 (2018)

این بسامد به شکل هندسه و ویژگی‌های محیطی آن بستگی دارد.



شکل (۱۴). تغییرات سطح مقطع پراکنده‌گی نسبت به بسامد سیکلوترونی

همان‌طور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌گردد، تغییرات سطح مقطع پراکنده‌گی نسبت به بسامد سیکلوترونی رسم گردیده است، که در تطابق کامل با مرجع شماره [24] می‌باشند. در شکل (۱۵) تغییرات نمودار سطح مقطع راداری نسبت به بسامد موج ورودی رسم گردیده است،



شکل (۱۵). تغییرات سطح مقطع راداری نسبت به بسامد

۴- نتیجه گیری

پراکنده‌گی امواج الکترومغناطیسی از ستون پلاسمایی استوانه‌ای با مقطع بیضوی در حوزه تشخیص پلاسمایی و رادارها توسط محققان زیادی انجام شده است؛ لذا جهت این مهم دو ساختار متفاوت در نظر گرفته شد، در هر دو این ساختارها حضور میدان مغناطیسی هم‌راستا با محور ستون پلاسما در نظر گرفته شد. در هر دو حالت طول موج تابشی باید بسیار بزرگ‌تر از ابعاد ستون پلاسما در نظر گرفته شود. در پیکربندی اول که ستون پلاسما با سطح مقطع بیضوی به‌وسیله لایه دی الکتریک پوشانده شده است و میدان مغناطیسی B_0 هم‌راستا با محور Z در نظر گرفته شده است. تغییرات میدان الکتریکی نسبت به بسامد در دو حالت تابش صفر درجه و تابش عمود بر سطح رسم گردید. همچنین مطالعه

- lossy composite elliptical dielectric cylinders,” *JOSA A*, vol. 30, pp. 196-205, 2013.
- [15] M. Ostovan, S. Samadi, M. S. Helfroush, “Ground Moving Target Indicator Based on Generalized Likelihood Ratio Test (GLRT) in Single Channel SAR using Signal Space Mapping Method,” *Journal of Radar*, vol.7 pp. 79-91, 2019. (In Persian)
- [16] B. Edwards, A. Alù, M.G. Silveirinha, N. Engheta, “Experimental verification of plasmonic cloaking at microwave frequencies with metamaterials,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 103 pp. 153901, 2009.
- [17] T. Naito, T. Tanaka, Y. Fukuma, O. Sakai, “Electromagnetic wave cloaking and scattering around an antiresonance-resonance symmetrical pair in the frequency domain,” *Phys. Rev. E*, vol. 99 pp. 013204, 2019.
- [18] T. Naito, O. Sakai, “Analytical formulation for radiation characteristics of a surface wave sustained plasma antenna,” *Phys. Plasmas*, vol. 26 pp. 073506, 2019.
- [19] M. Dehghan, R. Razavi, M. Ramezani, “Radar Cross Section Reduction of a Flat Square Plate Using Plasma Coating Caused By Alpha Particles,” *Advanced Defence Sci.& Technol*, vol. 03 pp. 123-129, 2019. (In Persian)
- [20] R Holl and V P Cable, *Mathieu Functions and Their Applications to Scattering by a Coated Strip*, *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* 34, 9 (1992)
- [21] D Qian, D Jun, G C Jiang and S Lei, On Characteristics of a Plasma Column Antenna, in *IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, *IEEE Int. Conf. Microwave Millimeter Wave Technol.* 6, 413 (2008)
- [22] J R Roth, Back-scattering cross-section of a cylindrical uniform plasma column, Mounir Laroussi, *Int. J. Infrared Millimeter Waves* 14, 1601 (1993)
- [23] Z. Rahmani, M. Jodeiri, A. Soltani, Investigation of Radar Cross Section and Electromagnetic Fields Around an Elliptical Antenna Including Magnetized
- [3] Z Zhang, X Cao, J Gao, S Li and J Han, Broadband SIW cavity-backed slot antenna for endfire applications, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* 17, 1271 (2018)
- [4] J Wu, M Li and N Behdad, A wideband, unidirectional circularly polarized antenna for full-duplex applications, *IEEE Trans. Antennas Propag.* 66, 1559 (2018)
- [5] H Ye and Y Q Jin, Parameterization of the tapered incident wave for numerical simulation of electromagnetic scattering from rough surface, *IEEE Trans. Antennas Propag.* 53, 1234 (2005)
- [6] J Liu, S He, L Zhang, Y Zhang, G Zhu, H Yin and H Yan, An Automatic and Forward Method to Establish 3-D Parametric Scattering Center Models of Complex Targets for Target Recognition, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 58, 8701 (2020)
- [7] S H Tseng, Investigating the Optical Phase Conjugation Reconstruction Phenomenon of Light Multiply Scattered by a Random Medium, *IEEE Photon. J.* 2, 636 (2010)
- [8] W Chen, L Guo, J Li and S Liu, Research on the FDTD Method of Electromagnetic Wave Scattering Characteristics in Time-Varying and Spatially Nonuniform Plasma Sheath, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 44, 3235 (2016)
- [9] C Paoloni et al, THz Backward-Wave Oscillators for Plasma Diagnostic in Nuclear Fusion, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 44, 369 (2016)
- [10] G Wang, L Zhang, F He and J Ouyang, Numerical Study on Microwave Scattering by Various Plasma Objects, *Plasma Science and Technol.* 18, 791 (2016)
- [11] R. Eaves, “Electromagnetic scattering from a conducting circular cylinder covered with a circumferentially magnetized ferrite,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.24 pp. 190-197, 1976.
- [12] P. Darvish, B. Zakeri, A. Gorji, “Design and Implementation of a VHF Plasma Antenna,” *Journal of Radar* Vol. 2, No. 4, pp. 31-38, 2015. (In Persian)
- [13] G. P. Zouros, G. C. Kokkorakis, “Electromagnetic scattering by an inhomogeneous gyroelectric sphere using volume integral equation and orthogonal Dini-type basis functions,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 63 pp. 2665-2676, 2015.
- [14] G. P. Zouros, “Oblique electromagnetic scattering from lossless or

much greater than the dimensions of the plasma cross-section, *Waves Random Complex Media* 22, 370 (2012)

[25] P.M. Morse and H. Feshbach, *Methods of Theoretical Physics*, Vol. 1, McGraw-Hill, New York, 1953.

[26] N.A. Krall and A.W. Trivelpiece, *Principles of Plasma Physics*, McGraw-Hill, New York, 1973.

Plasma Cover, *Journal of Radar* Vol. 8, No. 1, 2020. (In Persian)

[24] Y Ahmadizadeh, B Jazi and A Abdoli-Arani, Analysis of long wavelength electromagnetic scattering by a magnetized cold plasma prolate spheroid, *Waves Random Complex Media* 23, 336 (2013)

[25] A Abdoli-Arani, R Ramezani-Arani, B Jazi and S

Golharani, Scattering from an elliptical cylindrical plasma for electromagnetic waves with wavelength



Scientific Journal of Radar
Vol. 10, No. 1, Spring & Summer 2022, Serial No. 27
ISSN: 2345-4024, E-ISSN: 2345-4032

Calculation of radar cross section of the magnetized plasma antenna with elliptical cross-section

S. Pirizad Hejrandoost, A. Abdoli Arani*, Z. rahmani

* Associate Professor, Kashan University, Kashan, Iran

(Received: 17/04/2022, Revised: 01/08/2022, Accepted: 23/08/2022, Published: 21/09/2022)

Abstract

In this research, the scattering of long-wavelength electromagnetic waves from an elliptical cross-section in two different structures and configurations are investigated. The plasma column is exposed to the magnetic field B_0 . In the first structure, the plasma column is covered by a dielectric layer, and in the second structure, a dielectric core is coaxial with the plasma column and placed in its center, and the plasma column is covered by a dielectric layer. By solving the equations of continuity, momentum transfer and Poisson's equation, as well as by using the boundary conditions regarding the electric field and potential, we calculate the electric field in different regions. The scattering and radar cross section are calculated. The figures related to the resonance frequency, the electric field, the scattering and radar cross section are plotted.

Keywords: Scattering, resonant frequency, elliptic cross section, scattering cross section

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

Authors

