

## مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵) طراحی و تحلیل محیطی برای کاهش سرعت امواج الکترومغناطیسی مایکروویو

رضوی، سید محمد جواد<sup>۱</sup>؛ نعیم آبادی، شهریار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مخابرات، دانشکده برق مالک اشتر

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه بیرجند

چکیده

به امواج الکترومغناطیسی با طول موج کمتر از امواج رادیویی و بیشتر از امواج فرسوخ، ریزموج گفته می‌شود. که ما در این مقاله باند ایکس این امواج را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این مقاله، به بیان روش محاسبه سرعت، توصیف تاثیرگذاری محیط‌های اطراف (دی الکتریک) و موادی با ضریب شکست‌های گوناگون (فرومغناطیس، دیامغناطیس، آلیاژهای ترکیبی) و ضریب شکست منفی (نانوساختارهای میله‌ای-فرا موادها) و تداخل گرهای گوناگون بر کاهش سرعت این دسته امواج مایکروویو باند X خواهیم پرداخت، و میزان کاهش افت زمانی انرژی این امواج هنگامی که از یک محیط دی الکتریک عبور می‌نمایند را محاسبه خواهیم نمود. باید اشاره کرد که ما در این مقاله با مطالعه بر روی کاواک‌های مکعبی، تغییرات سرعت و نمودار پاشندگی این دسته از امواج را نسبت به فرکانس گسیلی این باند را با برنامه مطلب شبیه‌سازی نمودیم. که کاهش سرعت این امواج در جلوگیری از اثرات تخریبی بمب‌های الکترومغناطیسی (E-BOMB) کاربرد گسترده‌ای دارد.

### کاهش سرعت امواج مایکروویو باند ایکس تحت برهمکنش با مواد گوناگون

فرکانس باند X بین ۸ الی ۱۲ گیگا هرتز می‌باشد. و تغییرات طول موج این باند بین ۲۵ میلی‌متر الی ۳۷٫۵ میلی‌متر است.

که برای نمونه به محاسبه تغییرات سرعت این دسته از امواج هنگامی که با مواد هایی که دارای خاصیت مغناطیسی گوناگون (مواد اپتیکی، فرومغناطیس، پارامغناطیس، دیامغناطیس) و ضرایب شکست متفاوت است، می‌پردازیم.

جدول ۳- کاهش سرعت باند ایکس به ازای ضرایب شکست موادی با خاصیت‌های الکتریکی و مغناطیسی و فرومغناطیسی گوناگون (درمدای اتاق)

$$K_m = \frac{\mu}{\mu_0} = 1 + X_m - V = \frac{V_0}{\sqrt{\mu_r}}$$

Material	$\mu_r$	$V_x \text{ band}(10^8) \frac{m}{s}$
Ferrite (nickel zinc)	640	0.11
Nickel	600	0.12
Per mallow	8000	0.033
Cobalt-Iron	18000	0.022
Material	$K_m$	$V_x \text{ band}(10^8) \frac{m}{s}$
آهن	۵۵۰۰	0.04
مونتال	۱۰۰۰۰۰	0.0094
فریت منگنز	۲۵۰۰	0.06

جدول ۴- کاهش سرعت باند ایکس به ازای ضرایب شکست موادی با خاصیت‌های الکتریکی و مغناطیسی و پارامغناطیسی و دیامغناطیسی گوناگون

$$\mu_r = \mu_0 \rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r} \text{ یا } \sqrt{1 + X_m} - V = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Material	$X_m$	n	$V_x \text{ band}(10^8) \frac{m}{s}$
منیزیم	۱٫۲	1.48	2.02
تیتانیوم	۱٫۸	4.35	0.68
بیسموت	-۱۶٫۶	3.92	0.76
تنگستن	۷٫۶	2.93	1.02

جدول ۱- کاهش سرعت باند ایکس به ازای ضرایب شکست مواد و آلیاژهای ترکیبی و مواد اپتیکی گوناگون

$$V = \frac{V_0}{n} \rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

Material	n	$V_x \text{ band}(10^8) \frac{m}{s}$
Silicon	3.48	0.86
Germanium	4.01	0.74
Gallium(phosphide)	3.05	0.98
Cubic zirconia	2.15	1.39
Pyrex	1.47	2.04
crvolite	1.33	2.25
Petg	1.57	1.91
Water	1.34	2.23

جدول ۲- کاهش سرعت باند ایکس به ازای ضرایب شکست مواد مغناطیسی گوناگون

$$\mu_r = \mu_0 \text{ غیر مغناطیسی} \rightarrow n = \sqrt{\epsilon_r} \text{ یا } \sqrt{1 + X_m} - V = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Material	$\epsilon_r$	$V_x \text{ band}(10^8) \frac{m}{s}$
PTEE	2.1	2.07
Polyimide	3.4	1.62
Paper	3.85	1.52
Mica	6	1.22
Sapphire	11.1	0.90

## مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

کاهش سرعت امواج الکترومغناطیسی میکروویو تحت برهمکنش با موادی با ضریب شکست منفی (فرا موادها)

این مواد دارای ضرایب شکست منفی می باشد، که می توان در ۲ دسته آنها را طبقه بندی نمود. در گروه اول موادی قرار می گیرند که گذر دهی الکتریکی آنها منفی می باشد. مانند فلزات در فرکانس های نوری و شبکه سیمی در فرکانس های پایین. در گروه دوم موادی قرار می گیرند که گذر دهی مغناطیسی منفی دارند. مانند، تشدید گر های حلقه ای مجزا و استوانه های فلزی. البته باید متذکر بشویم که مثلاً در حالت تولید شبکه سیمی در فرکانس های پایین که تولید ضرایب شکست منفی می کنند، از نانو میله های طلایی موازی استفاده شده است که یک ضریب شکست منفی در نزدیکی مادون قرمز رخ می دهد. که به عنوان مثال ما به بررسی تغییرات سرعت امواج میکروویو باند ایکس، هنگامی که با فلزاتی در فرکانس های نوری برهمکنش می کنند، می پردازیم.

جدول ۵- جدول تغییرات سرعت امواج الکترومغناطیسی میکروویو باند ایکس تحت برهمکنش با فلزات در فرکانس های نوری				
فرکانس پلاسما ی الکتریکی $\omega_p = \sqrt{\frac{ne^2}{m\epsilon_0}}$ - گذر دهی الکتریکی فلز $\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)}$				
Material	Li	Na	K	Rb
$\omega_p(10^{16} s^{-1})$	1.22	0.89	0.593	0.55
$\lambda_p(A)$	1550	2100	3150	4500
Material	$\epsilon(\omega)(10^{10})$	$\epsilon(\omega)(10^{10})$	V. band $10^8 \frac{m}{s}$	V. band $10^8 \frac{m}{s}$
Li	۲,۶۰	۵,۸۶	۰,۴۲	۰,۶
K	۰,۶۱	۱,۲۸	۰,۸۵	۱,۲۹
Rb	۰,۵۲	۱,۱۸۸	۰,۹۲	۱,۴۰

کاهش سرعت امواج میکروویو باند ایکس بر محیط های دی الکتریکی

اگر ساده ترین حالت محیط های دی الکتریک یعنی خطی، غیرپاشنده، همگن و ایزوتروپیک، را در نظر بگیریم، که علاوه بر محاسبه تغییرات سرعت به بررسی نوع و تغییرات موج ورودی و نوع موج خروجی پس از برهمکنش نیز خواهیم پرداخت.



شکل ۱- یک محیط خطی، غیرپاشنده، همگن و ایزوتروپیک تماماً با یک ثابت مشخص می شود، (حساسیت الکتریکی)

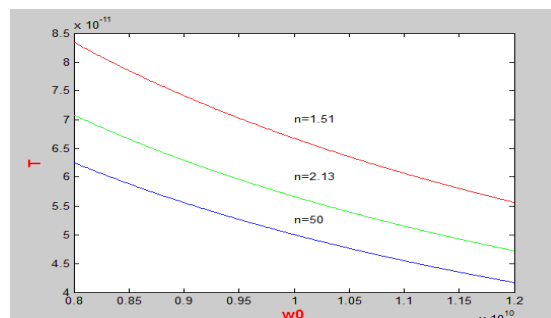
جدول ۶- جدول تغییرات میدان و قطبش امواج الکترومغناطیسی میکروویو باند ایکس تحت تاثیر محیط های دی الکتریکی متفاوت				
$p = \epsilon_0 \chi E$ $p = \epsilon_0 (n^2 - 1) E$ $p = \epsilon_0 (k - 1) E$ $E(r, t) = E_0 (\sin \omega t - kr)$ $\Delta P = \epsilon_0 \Delta (n^2 - 1) E = 2 \epsilon_0 n \Delta n E$	X band			
	<table border="1"> <tr> <td>F(GHz)</td> <td>8-12</td> </tr> <tr> <td><math>\lambda</math>(mm)</td> <td>25-۳۷/۵</td> </tr> </table>	F(GHz)	8-12	$\lambda$ (mm)
F(GHz)	8-12			
$\lambda$ (mm)	25-۳۷/۵			
ثابت تراوایی نسبی	نوع محیط			
5500	آهن			
100000	مومتال			
2500	فریت نیکل			
2500	فریت منگنز			
X BAND				
$E_i$	فریت نیکل - P			
$E = 0.21 \sin(50.24t - 167.46r)$	$p = \epsilon_0 (k - 1) E \rightarrow p = 8.85 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2499 \sin(50.24t - 167.46r)$			

## مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

### شبیه سازی افت زمانی انرژی در امواج الکترومغناطیسی مایکروویو

با استفاده از برنامه مطلب افت زمانی انرژی (اتلاف انرژی متوسط) یک موج الکترومغناطیسی مایکروویو باند ایکس که تحت تاثیر یک محیط دی الکتریک قرار گرفته است، بر طبق روابط و نمودار زیر محاسبه شده است.

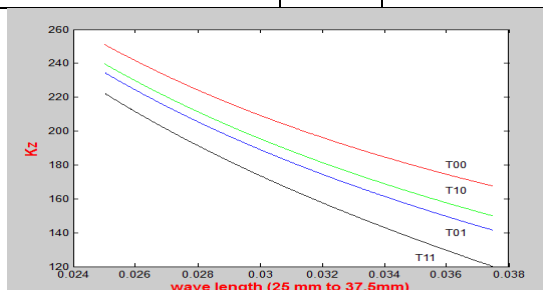
$\tau = \frac{1}{2\sqrt{(\omega_1)^2 - (\omega_0)^2}}$	جدول ۷- افت زمانی انرژی امواج مایکروویو	
	X band (۱۹-۲)	
	F(GH)	8-12
	$\lambda$ (mm)	25-۳۷/۵
ضریب دی الکتریک محیط	نوع محیط دی الکتریک	
$\epsilon/\epsilon_0$	آلومینیوم اکسید	
۵۰	فریت نیکل	



نمودار ۲- نمودار افت زمانی انرژی یک موج الکترومغناطیسی مایکروویو باند ایکس نسبت به گستره فرکانس ورودی به محیط دی الکتریک

### شبیه سازی نمودار پاشندگی یک موج مایکروویو باند ایکس در کاواکی مکعبی

$(k_z)^2 = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 - \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2$ $a = 4.2 \text{ cm} \quad b = 3.5 \text{ cm}$ $T_{mn} = T_{00} \rightarrow m = 1 \quad n = 0$ $T_{mn} = T_{01} \rightarrow m = 0 \quad n = 1$ $T_{mn} = T_{11} \rightarrow m = 1 \quad n = 1$ $T_{mn} = T_{00} \rightarrow m = n = 0$	جدول ۸- ساختار کاواک مکعبی در باند ایکس	
	X band	
	F(GH)	8-12
	$\lambda$ (mm)	25-۳۷/۵



نمودار ۳- نمودار پاشندگی امواج الکترومغناطیسی مایکروویو باند ایکس با استفاده از برنامه مطلب

### نتیجه گیری

کاهش سرعت امواج الکترومغناطیسی مایکروویو در جلوگیری از اثرات تخریبی بمب های الکترومغناطیسی (E-BOMB) کاربرد گسترده ای دارد. و می توان با پیشنهادات زیر مواد و محیطی مناسب جهت کاهش امواج این نوع بمب ها، استفاده نمود. در بررسی و محاسبات انجام شده می توان به طور خلاصه به این نتایج رسید که برای کاهش بیشتر سرعت امواج الکترومغناطیسی مایکروویو باند ایکس بهتر است به ترتیب این محیط ها را در نظر گرفت. ۱- محیط های دی الکتریک (مانند مومتال یا پرمالوی در گستره ی ۰،۰۰۹۴ الی ۰،۰۱۳) ۲- محیط هایی با خاصیت های پارا مغناطیسی (مانند بیسموت یا تیتانیوم یا گادیوم کلرید در گستره ی ۰،۰۲ الی ۰،۰۶) ۳- فرومغناطیسی (مانند نانو پرن یا کبالت آهن در گستره ی بین ۰،۰۵ الی ۰،۱) ۴- مواد دیا مغناطیسی گوناگون ۵- محیط هایی که حاوی مواد آلیازی

## مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

و مواد اپتیکی (مانند SI-GE-TITADioxis در گستره ی ۰,۱۳ الی ۰,۲۲). ۶- موادی با ساختار های نانویی و فرامواد ها(مانند موادی که دارای ضریب گذردهی الکتریکی منفی می باشند. Na-Rb-Li در گستره ی ۰,۴ الی ۰,۶). البته در این طرح بررسی عمق پوسته ، ضریب نفوذ، کاهش زمانی انرژی (با استفاده از برنامه مطلب) این دسته از امواج نیز پرداخته شده است. و برای آنکه دیدی کامل تر داشته باشیم با استفاده از برنامه ی مطلب نمودار پاشندگی این دسته از امواج را هنگامی که از فضای مکعبی شکل با ابعاد مفروض عبور داده می شود رسم نموده ایم. مواد پیشنهادی در جداول و نمودار ها باید توسط یک مهندس مواد ارزیابی گردد. که آیا از نظر تولید می تواند مقرون به صرفه باشد یا خیر ، همچنین ابعاد طرح نیز حائز اهمیت می باشد. ۷- امروزه با ساختن و طراحی محیط های متا موادی و کاواک های اپتیکی حاوی مواد هایی با ضریب شکست منفی ، نتایج مناسبی برای کاهش سرعت امواج به وقوع پیوسته است. که نیازمند به علم نانو مواد هستیم. امروزه تلاش جهانی را فیزیکدانان برای کاهش سرعت نور انجام می دهند. ، می توان با مشابه سازی عوامل کاهش دهنده سرعت نور ، همین موارد را برای امواج میکروویو نیز به کار برد. که کاهش سرعت امواج در ابعاد نظامی کاربرد گسترده ای دارا می باشند.

### مرجع ها

- [1] Gaponov-Grekhov A V and Granatstein V L, Eds., *Applications of High-Power Microwaves*. Boston, MA: Artech House, 1994.
- [2] Pozar, David M. (1993). *Microwave Engineering Addison-Wesley Publishing Company*. ISBN 0-201-50418-9.
- [3] Shelby, R. A.; Smith D.R.; Shultz S.; Nemat-Nasser S.C. (2001). "Microwave transmission through a two-dimensional, isotropic, left-handed metamaterial". *Applied Physics Letters* 78 (4): 489.
- [4] Palik (ed.) (1991) *Handbook of Optical Constants of Solids II*, Academic Press, London