

گزارش کار شبیه سازی میدان ها و امواج

دکتر معماریان

محمد صدرا حسینی
۴۰۱۱۰۴۴۸

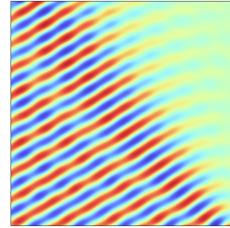
۱ فایل های شبیه سازی

در همین فolder ۴ فایل شبیه سازی دارم. فایل *part1* برای شبیه سازی سوال اول، فایل *part2* و نیز *part2d* به ترتیب برای بخش های اول و دوم و سوم، و بخش چهارم سوال دوم و در نهایت *part3* برای شبیه سازی سوال سوم هستند.

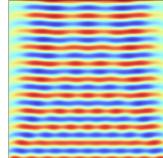
۲ آشنایی با شرایط مرزی مختلف و تحریک با موج تخت

۱.۲ الف

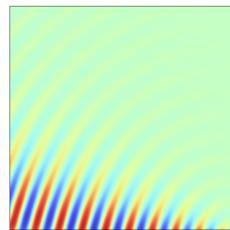
ابتدا در محیط کامسول هنسه و پارامتر های هندسی مسئله را تعریف می کنیم. سپس می بایست پارامتر های مسئله شامل ضرایب شکست محیط ها، طول موج تحریک فضای آزاد ، زاویه موج با محور عمودی و ثوابت انتشار در راستاهای مختلف را در بخش پارامتر ها وارد کنیم. در مرحله بعد نوع شرایط مرزی و تحریک ها را مشخص می کنیم و در انتها باید مش بندی (من مش بندی را $\lambda/6$ گرفتم) و نیز فرکانس تحریک را مشخص کنیم و محاسبات را انجام دهیم. پس از اجرای محاسبات نیز در بخش *results* می بایست نمودار رسم شده را از نرم میدان الکترونیکی به مولفه z تغییر می دهیم. نتایج برای زوایای 0° ، 30° و 70° درجه در شکل ۱ آمده است.



(ب) زاویه فرودی ۳۰ درجه



(آ) زاویه فرود ۰ درجه



(ج) زاویه فرودی ۷۰ درجه

شکل ۱: بخش الف سوال ۱، زوایای فرودی مختلف برای شرایط مرزی پراکندگی

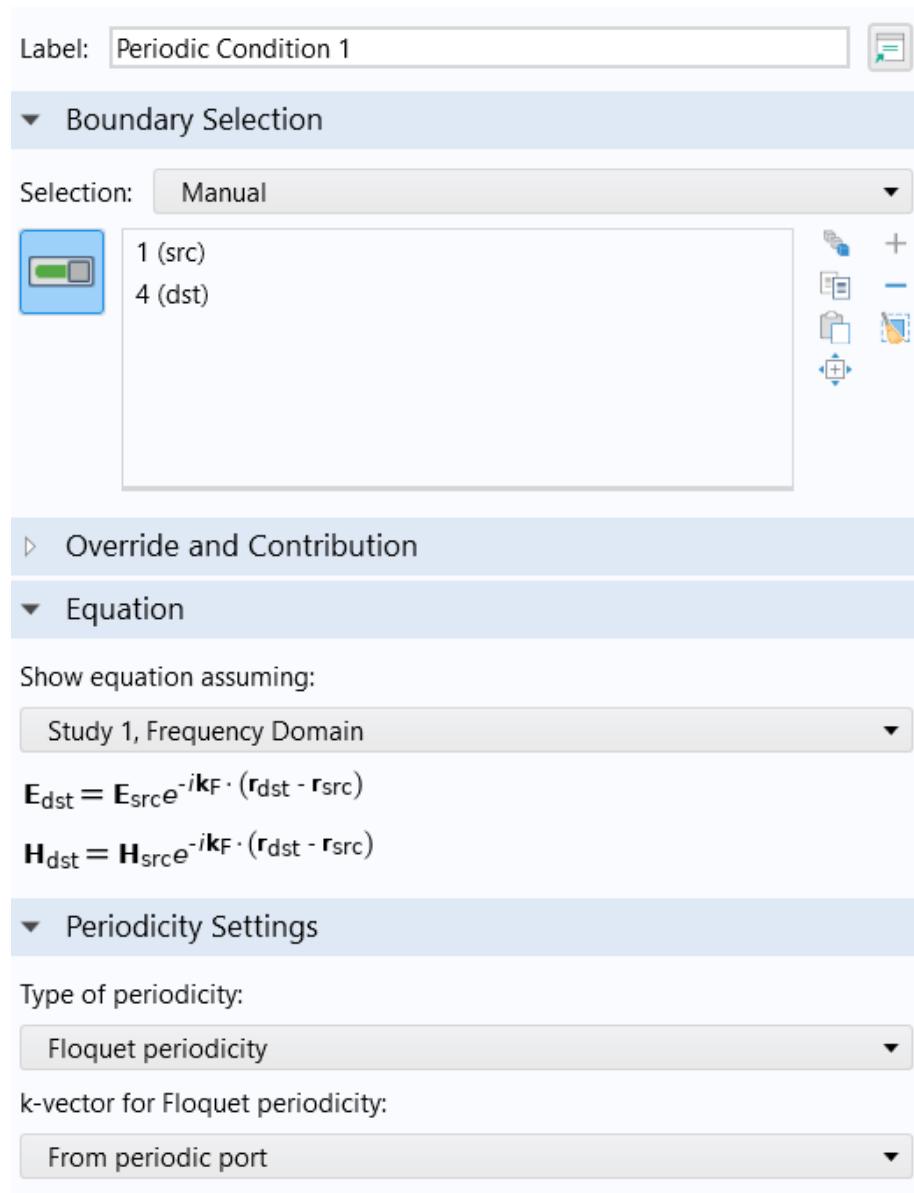
مطابق با نوشته های *scattering documentation* کامسول، شرایط مرزی بدین گونه است که میدان کل در هر نقطه از رابطه زیر تعیت می کند

$$E = E_{sc}e^{-jk\vec{n}.\vec{r}} + E_0e^{-j\vec{k}.\vec{r}}$$

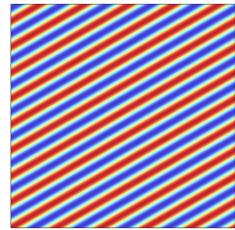
که معادله فوق برای *plane wave* است که تبعاً برای دستگاه های مختصات کروی و استوانه ای به فراخور توان انتقالی با ضرایب $\frac{1}{r}$ و $\frac{1}{\sqrt{r}}$ اصلاح شده اند. نامناسب بودن این شرط مرزی در مسئله فعلی به این است که در بررسی انتشار موج تخت انتظار ما این است که این سمپل از فضای نمونه پریودیک باشد، در حالی که شرط مرزی پراکندگی اثر بازتاب روی لبه ها را نیز با موج تخت تحریکی برهمنهی می کند که مطلوب ما نیست. باید توجه داشته باشیم که میدان ناشی از پراکندگی متناسب با ضرب داخلی بردار نقطه اثر در بردار نُرمال سطح است، در نتیجه با افزایش زاویه فرودی مطابق شکل ۱، شرط مرزی پراکندگی تاثیر مخرب تری روی نتیجه حاصل خواهد داشت.

۲.۲ ب

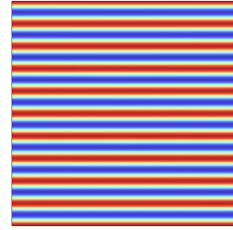
تغییر مورد نظر را انجام می دهیم و شرط مرزی پریودیک را مانند شکل ۲ تنظیم می کنیم. حاصل در شکل ۳ آمده است.



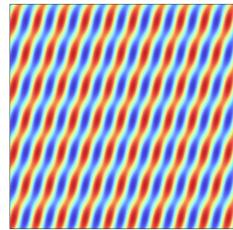
شکل ۲: نحوه تنظیمات شرط مرزی پریودیک



(ب) زاویه فرودی 30° درجه



(ا) زاویه فرود 0° درجه



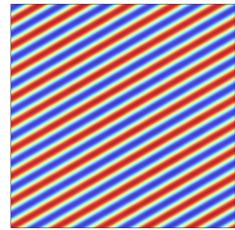
(ج) زاویه فرودی 70° درجه

شکل ۳: بخش ب سوال ۱، زوایایی فرودی مختلف برای شرایط مرزی پریودیک روی دیواره های افقی و شرط مرزی پراکندگی روی دیواره بالایی

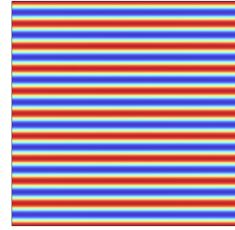
نتیجه با استفاده از توضیحات آخر بخش قبل، قابل توضیح است. در زاویه صفر شرط مرزی پراکندگی تداخلی ایجاد نخواهد کرد، زیرا تاثیر پراکندگی متناسب با زاویه بین بین بردار نرمال و بردار هر نقطه است. حال هر چقدر زاویه فرود را بیشتر کنیم، اثر پراکندگی از لبه بالایی بیشتر خودش را نشان خواهد داد.

۳.۲ ج

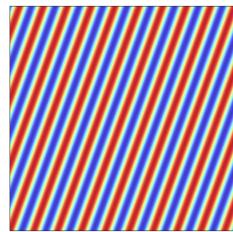
در این بخش کافیست لبه بالایی را نیز یک پورت پریودیک با تحریک غیرفعال قرار دهیم. نتیاج در شکل ۴ قابل مشاهده است.



(ب) زاویه فروودی ۳۰ درجه



(ج) زاویه فروودی ۰ درجه



(ج) زاویه فروودی ۷۰ درجه

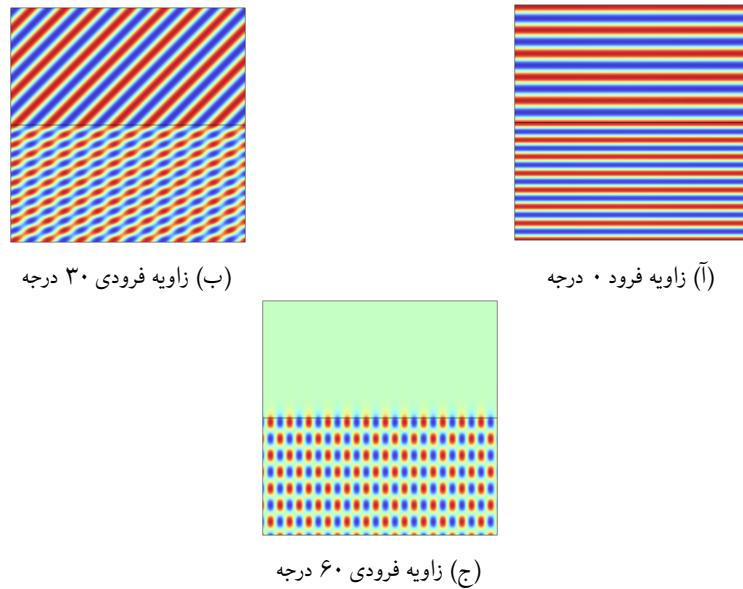
شکل ۴: بخش ج سوال ۱، زوایای فروودی مختلف برای شرایط مرزی پریویدیک روی دیواره های افقی و پورت غیرفعال روی دیواره بالایی

همانطور که پیداست شرط مرزی مناسب این مسئله را پیدا کرده ایم. این شرط مرزی هیچ بازتابی ندارد و موج تخت صفحه ای را به خوبی توصیف می کند.

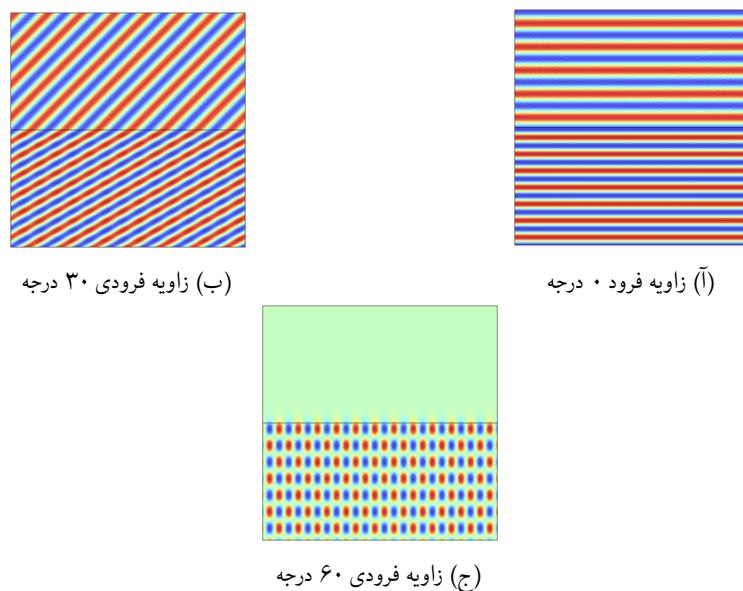
۳ برخورد موج تخت به محیط های لایه ای

۱.۳ الف

شرط مرزی پایین(محیط اول) را پورت تحریک کننده، شرط مرزی بالا را یک پورت با تحریک غیرفعال و شرط مرزی دیواره های عمودی باید پریویدیک باشد (زیرا در راستای افقی تا بینهایت تکرار شونده است). قطبش عمودی برای سه زاویه مذکور در شکل ۵ و قطبش افقی برای سه زاویه مذکور در شکل ۶ آمده است.



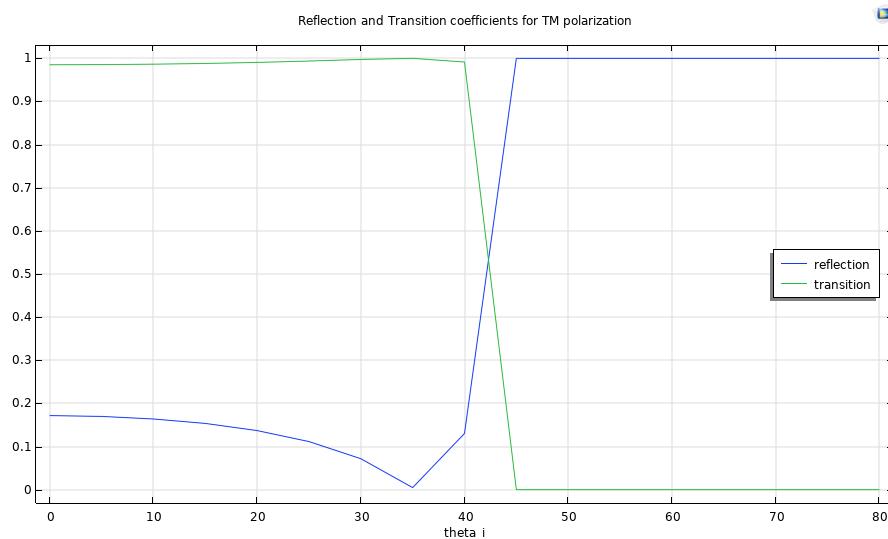
شکل ۵: بخش الف سوال ۲، زوایای فرودی مختلف برای میدان الکترومغناطیسی در قطبش عمودی



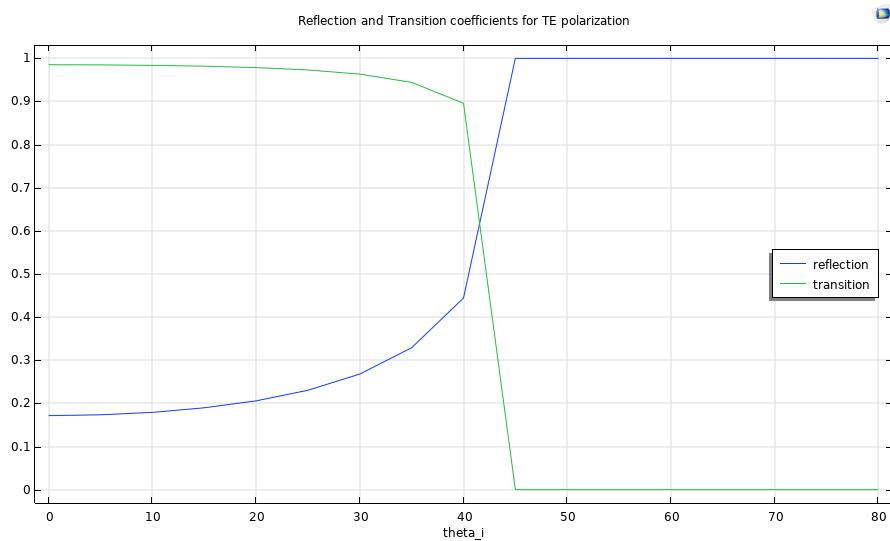
شکل ۶: بخش الف سوال ۲، زوایای فرودی مختلف برای میدان مغناطیسی در قطبش موازی

همانطور که پیداست، ضرایب بازتاب و عبور برای این دو قطبش متفاوت

خواهد بود. حال برای تغییر زاویه کافیست در بخش *sweep parameter* از *result* استفاده کنیم. برای رسم اندازه ضرایب بازتاب و عبور کافیست از بخش *expression* ، مقادیر *emw.S11* برای ضریب بازتاب و *emw.S21* برای ضریب عبور استفاده می کنیم. برای هر دو قطبش نمودارها را در شکل های و آورده ام. شکل ها با تئوری سازگار است زیرا توقع داشتیم در قطبش *TM* باید زاویه بروستر (جایی که ضریب بازتاب صفر است) داشته باشیم که همین گونه هم هست.



شکل ۷: نمودار اندازه ضرایب بازتاب و عبور در قطبش موازی بر حسب زوایای مختلف از ${}^{\circ}$ ۵ تا ${}^{\circ}$ ۸۰ درجه



شکل ۸: نمودار اندازه ضرایب بازتاب و عبور در قطبش عمودی بر حسب زوایای مختلف از 5° تا 80° درجه

برای رسم مولفه های مختلف بردار پوییتینگ کافیست در قسمت *result* و زیربخش *electricfield* بجای اندازه میدان الکتریکی از x - y - z استفاده کنیم تا توان را در هر ناحیه نشان دهد که در شکل های ۱۰، ۹ و ۱۱ نتایج برای سه زاویه مذکور آمده است. من توان ها را فقط برای قطبش عمودی رسم کرده ام که البته برای قطبش موازی نیز روال کار کاملاً به همین صورت است و صرفاً می بایست میدان عمود بر صفحه را از الکتریکی به مغناطیسی تغییر دهیم. از تصاویر مذکور پیدا است برای زاویه صفر عملأ انرژی فقط در راستای y منتشر می شود ولی برای زاویه 30° درجه توان در راستای x نیز انتشاری خواهد بود. در زاویه 60° نیز که زاویه حد را گذرانده ایم انرژی موج فقط در راستای افقی منتشر خواهد شد و صرفاً دامنه آن در محیط دوم به صورت نمایی افت می کند. در هر سه مورد هیچ انتقال توانی در راستای عمود بر صفحه رخ نمی دهد که بدیهی هم بود.

می دانیم اندازه ضریب بازتاب و عبور از روابط زیر بدست می آیند

$$perpendicular\ polarization : \begin{cases} R_{\perp} = \frac{n_i \cos(\theta_i) - n_t \cos(\theta_t)}{n_i \cos(\theta_i) + n_t \cos(\theta_t)} \\ T_{\perp} = \frac{2n_i \cos(\theta_i)}{n_i \cos(\theta_i) + n_t \cos(\theta_t)} \end{cases}$$

$$parallel\ polarization : \begin{cases} r_{\parallel} = \frac{n_i \cos(\theta_t) - n_t \cos(\theta_i)}{n_i \cos(\theta_t) + n_t \cos(\theta_i)} \\ t_{\parallel} = \frac{2n_i \cos(\theta_i)}{n_i \cos(\theta_t) + n_t \cos(\theta_i)} \end{cases}$$

که با جایگذاری برای زوایای 0° ، 30° و 60° به نتایج زیر می رسیم

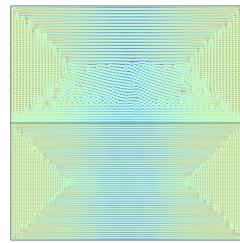
$$0[deg] : \begin{cases} r_{\perp} = r_{\parallel} \approx 0.172 \\ t_{\perp} = t_{\parallel} \approx 1.17 \end{cases}$$

$$30[deg] : \begin{cases} r_{\perp} \approx 0.268 \\ r_{\parallel} \approx 0.072 \\ t_{\perp} \approx 1.268 \\ t_{\parallel} \approx 1.313 \end{cases}$$

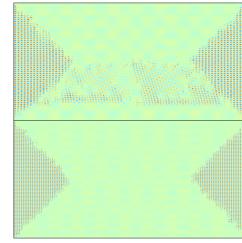
باید دقت کنیم که ضریب عبور به این دلیل متفاوت است که در جواب های من
باید ضریب اصلاح نیز ضرب کنیم، زیرا امپدانس دو محیط متفاوت است.

نتیجه تئوری برای زاویه 60° که بزرگتر از حد است به صورت زیر است

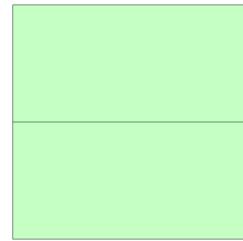
$$60[deg] : \begin{cases} r_{\perp} = r_{\parallel} = 1 \\ t_{\perp} = t_{\parallel} = 0 \end{cases}$$



emw.Poavy (ب)

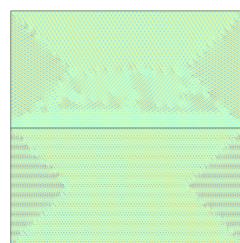


emw.Poavx (ج)

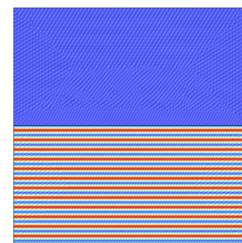


emw.Poavz (ج)

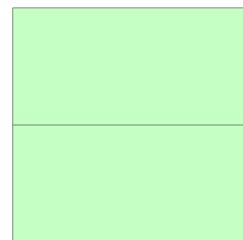
شکل ۹: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۰ درجه



emw.Poavy (ب)

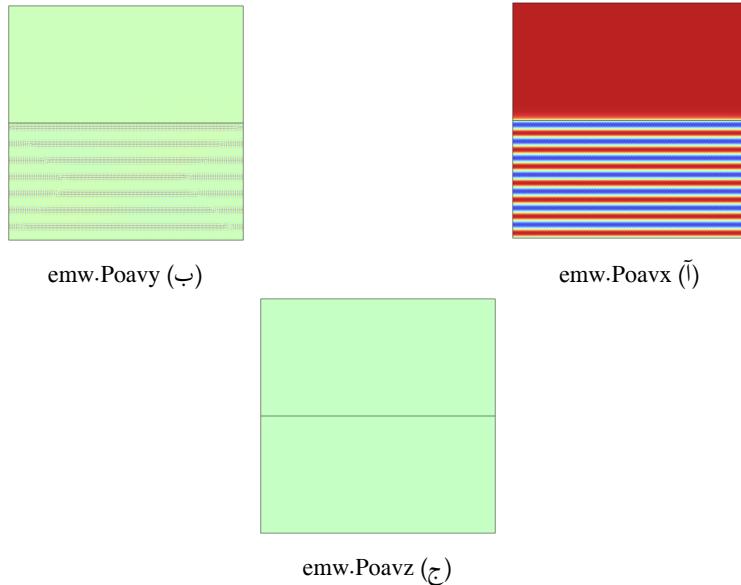


emw.Poavx (ج)



emw.Poavz (ج)

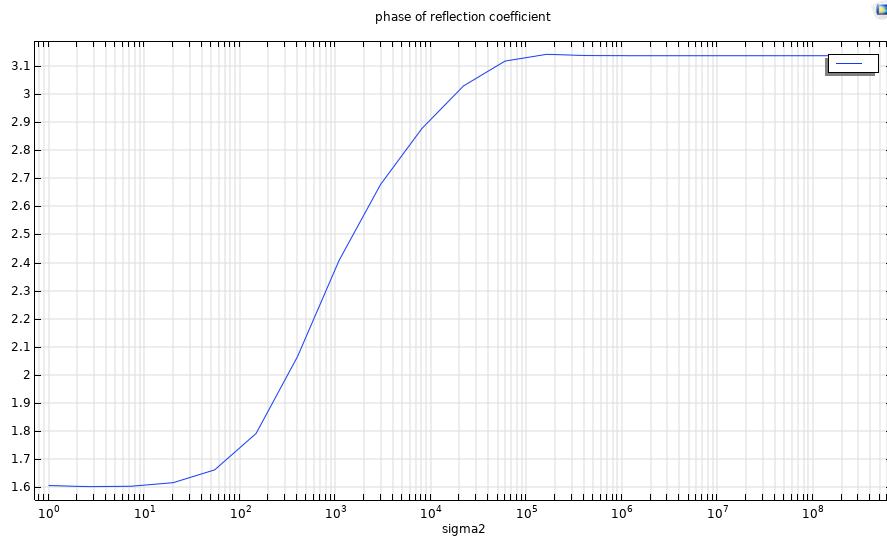
شکل ۱۰: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۳۰ درجه



شکل ۱۱: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۶۰ درجه

۲.۳ ب

در این بخش کافیست ضرایب شکست را برابر ۱ و رسانایی برای محیط دوم در نظر بگیریم که رسانایی محیط دوم همان پارامتر *sweep* خواهد بود. همچنین در بخش *sweep* می بایست مشخص کنیم که رسانایی به صورت نمایی بر حسب *range* تغییر کند. در نهایت نیز کافیست $abs(arg(emw.S11))$ را بر حسب پارامتر سوییپ رسم کنیم. نتیجه در شکل ۱۲ آمده است.

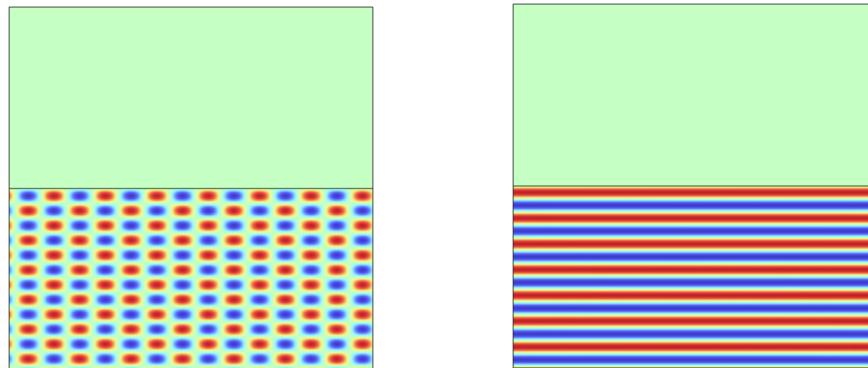


شکل ۱۲: نمودار اندازه فاز ضریب بازتاب بر حسب رسانایی(نمودار نیم لوگ است)

همانطور که در تصویر هم پیداست از اگر رسانایی از مرتبه 10^5 به بالاست باشد، رسانای خیلی خوبی داریم، زیرا فاز ضریب بازتاب برابر π است. یعنی تمام موج بازتاب شده است که همین توقع را از *PEC* داریم.

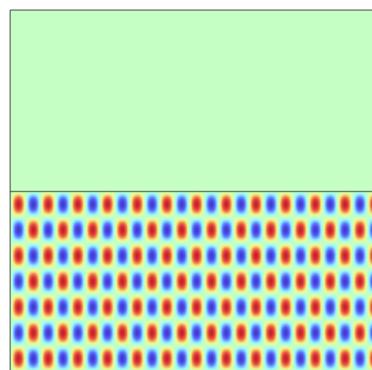
۳.۳ ج

در این بخش می بایست از *material library* در زیر بخش – *in* مس را انتخاب کنیم(سایر مس های موجود در برنامه قادر اطلاعات الکترومغناطیسی مورد نیاز هستند). در اینجا صرفاً نتایج را در اشکال ۱۳، ۱۷، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۴ و ۱۹ خواهیم آورد. نتایج کاملاً منطقی هستند، زیرا رسانایی مس در اردر ده به توان ۸ است و از بخش قبل می دانیم در این رسانایی مس عملاً *PEC* داریم. پس میدان نباید نفوذ کند بنابراین همه نتایج منطقی هستند.



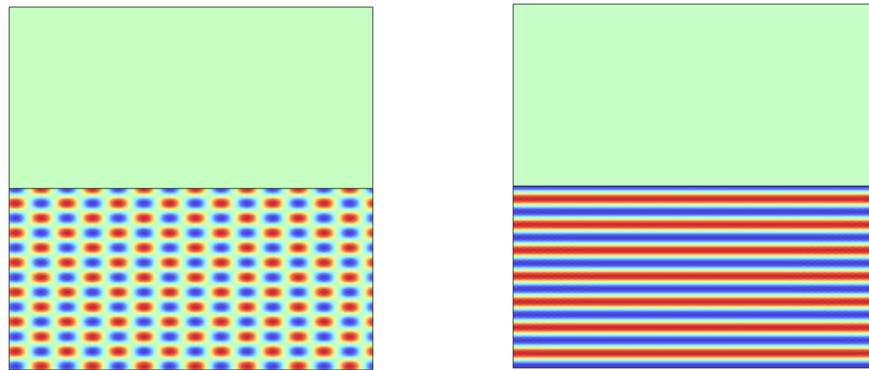
(ب) زاویه فرود 30° درجه

(ج) زاویه فرود 0° درجه



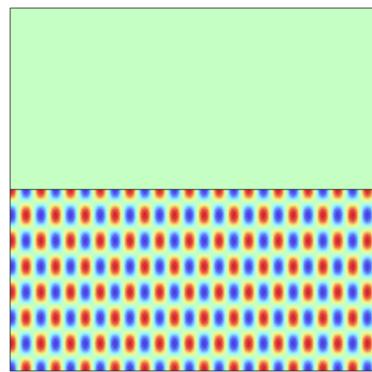
(ج) زاویه فرود 60° درجه

شکل ۱۳: بخش الف سوال ۲، زوایای فرودی مختلف برای میدان الکتریکی در قطبش عمودی



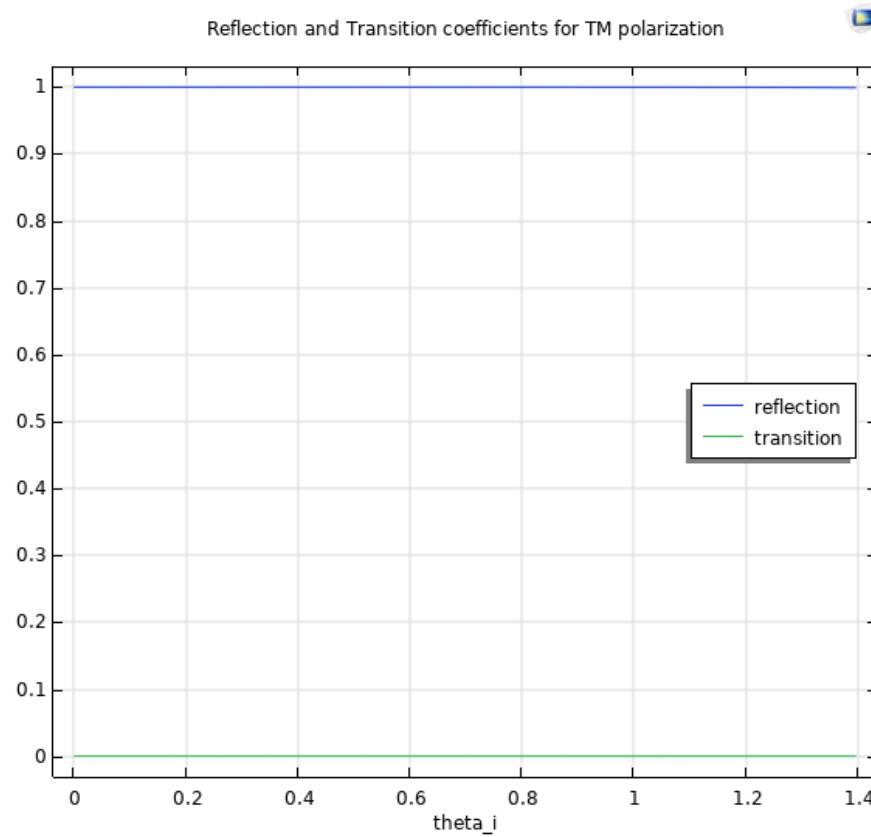
(ب) زاویه فرود 30° درجه

(ج) زاویه فرود 0° درجه

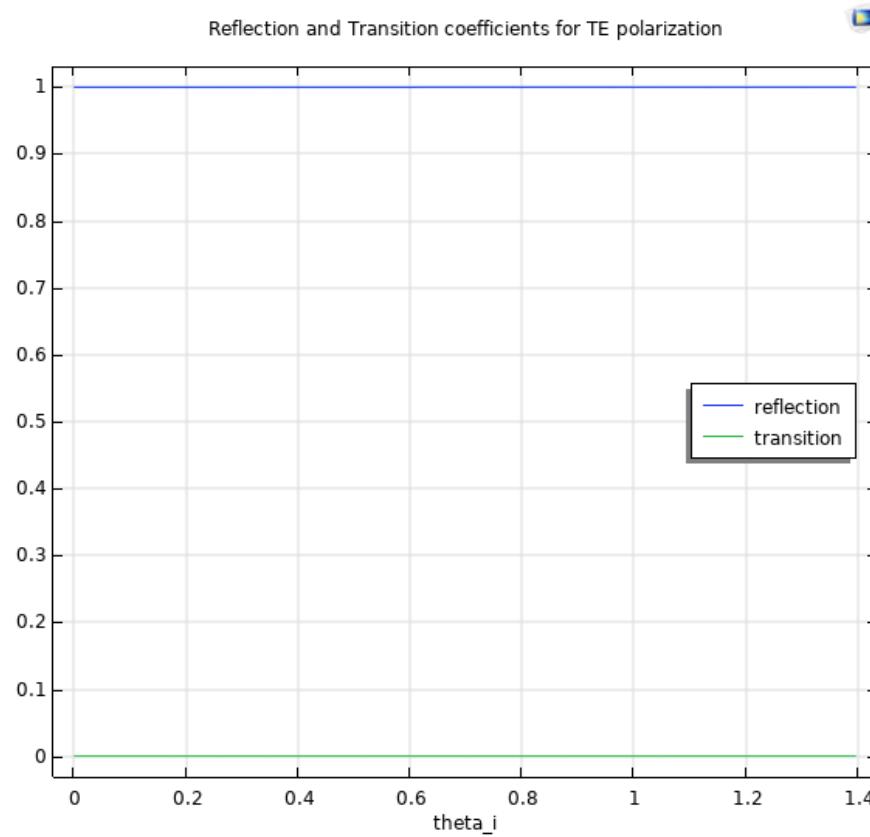


(ج) زاویه فرود 60° درجه

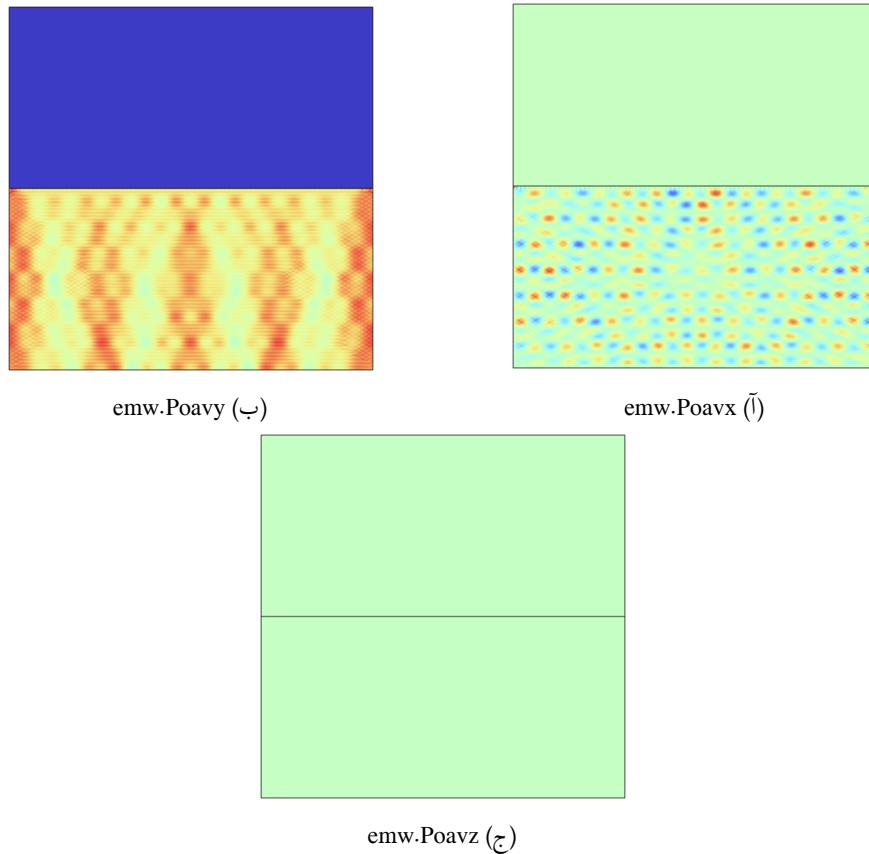
شکل ۱۴: بخش الف سوال ۲، زوایای فرودی مختلف برای میدان مغناطیسی در قطبش موازی



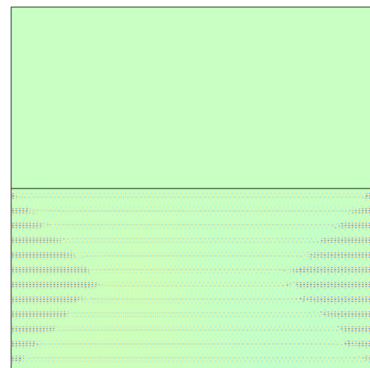
شکل ۱۵: نمودار اندازه ضرایب بازتاب و عبور در قطبش موازی بر حسب زوایای مختلف از ${}^{\circ} ۰$ تا ${}^{\circ} ۸۰$ درجه ${}^{\circ} ۵$ درجه



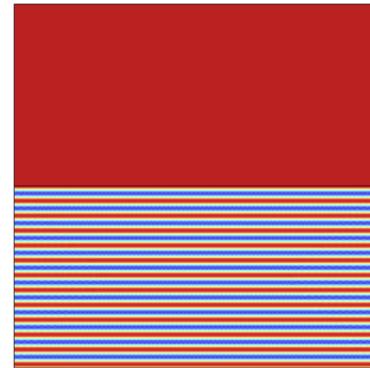
شکل ۱۶: نمودار اندازه ضرایب بازتاب و عبور در قطبش عمودی بر حسب زوایای مختلف از 0° تا 80° درجه ۵ درجه



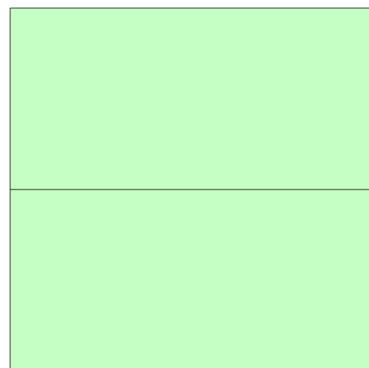
شکل ۱۷: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۰ درجه



emw.Poavy (β)

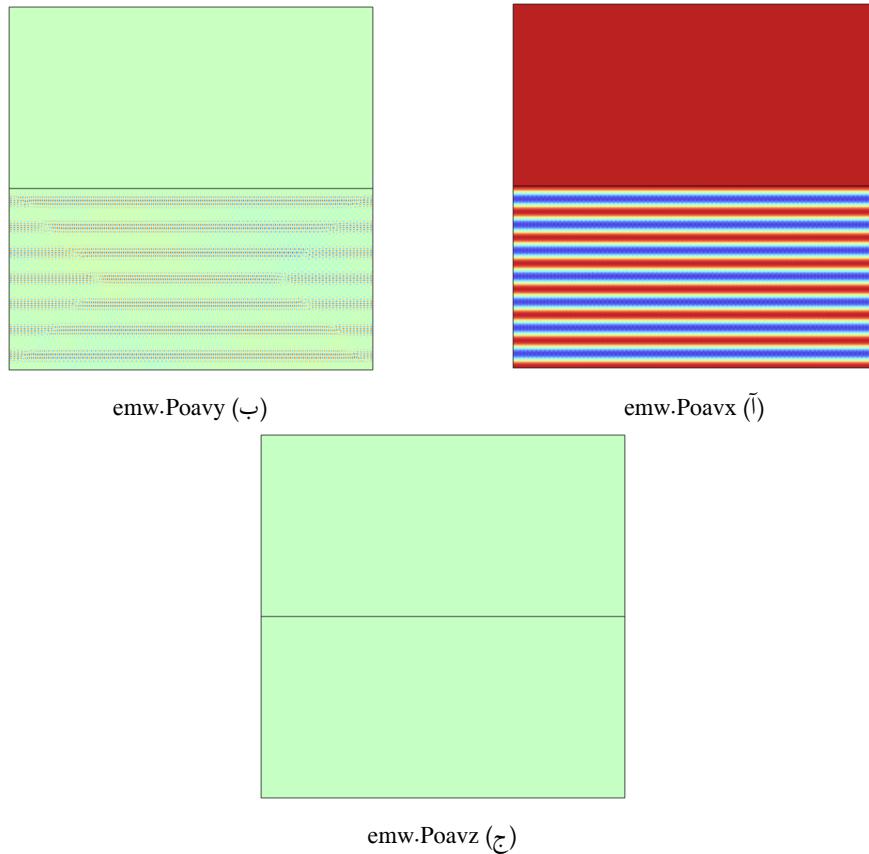


emw.Poavx (̄l)



emw.Poavz (γ)

شکل ۱۸: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۳۰ درجه



شکل ۱۹: توان در راستاهای مختلف برای زاویه ۶۰ درجه

۴.۳ د

ابتدا مانند بخش های قبل، هندسه و متریال مسئله را مشخص می کنیم. برای بخش تئوری مسئله، می دانیم اگر طول بخش میانی برابر با ربع طول موج آن محیط باشد، آنگاه امپدانس دیده شده از لبه محیط اول برابر با

$$Z_{in} = \frac{Z_{middle}^2}{Z_{up}}$$

و از آنجایی که می خواهیم بازتاب نداشته باشیم، این امپدانس باید به امپدانس محیط اول *match* شود. پس

$$Z_{middle} = \sqrt{Z_{up} Z_{down}} = \frac{Z_0}{\sqrt{2}}$$

که در آن Z_0 برابر امپدانس ذاتی خلا است. پس کافیست مقادیر زیر را برای پارامترهای الکترومغناطیسی ماده اتخاذ کنیم

$$\begin{cases} \epsilon_r = 2 \\ \mu_r = 1 \\ \sigma = 0 \end{cases}$$

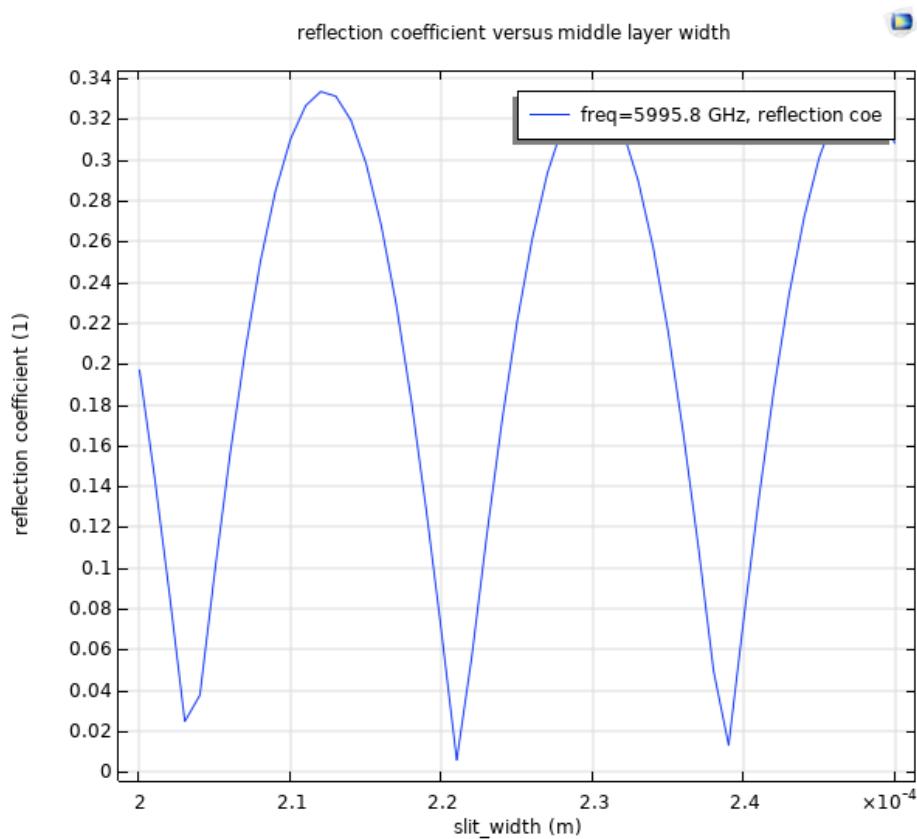
با این حساب، طول موج در این ماده برابر خواهد بود با

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{2}} \approx 35.36(\mu m)$$

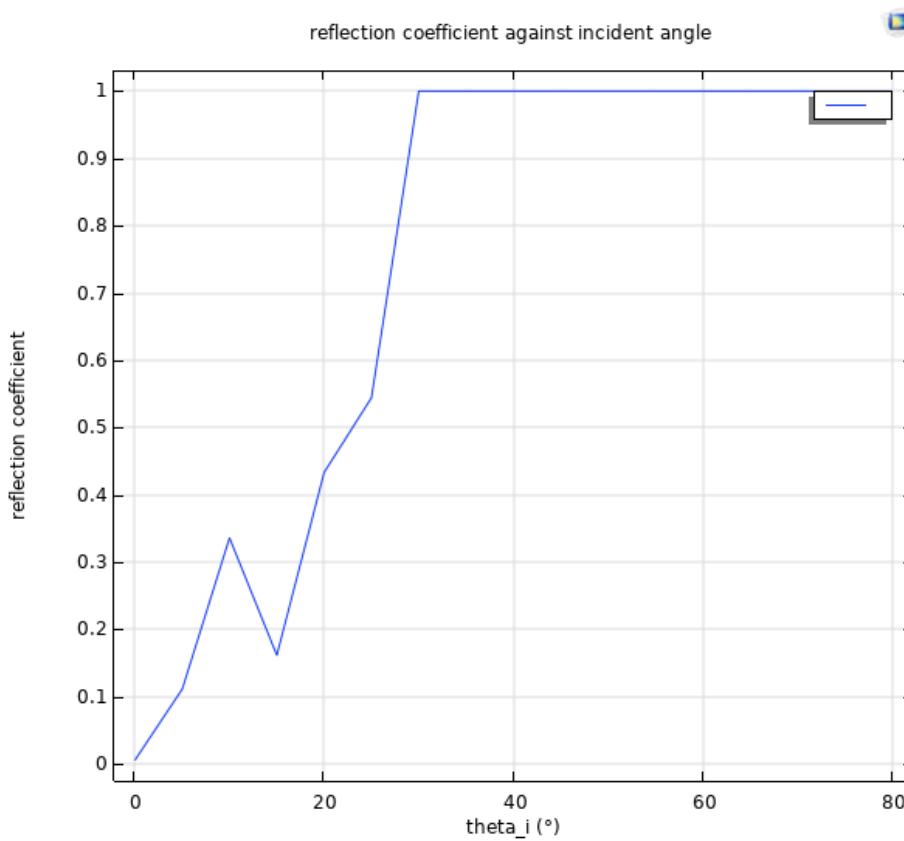
که در نتیجه توقع داریم اگر ضخامت به اندازه

$$d = 8.84(\mu m)$$

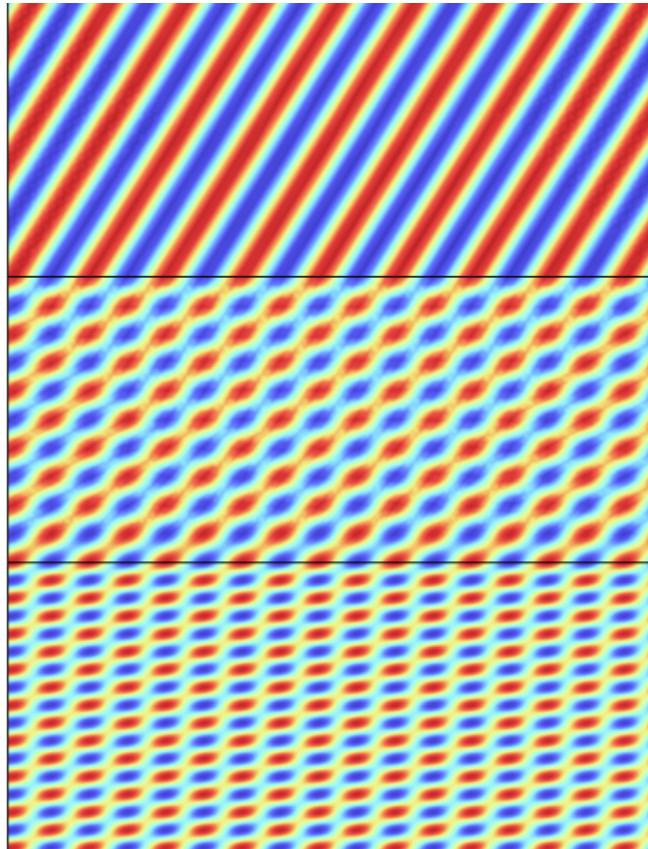
باشد، ضریب بازتاب صفر شود. طبیعیست که مقدار فوق الذکر با هر میزان نیم موجی که جمع شود نیز می تواند به عنوان ضخامت مدنظر باشد. در شکل نمودار اندازه ضریب بازتاب بر حسب ضخامت را رسم کرده ام و مطابق انتظار نوسانی شد. مینیمم در $(m) 2.21 \times 10^{-4}$ رخ می دهد که اگر تقسیم بر طول موج کنیم دقیقاً برابر ۶.۲۵ خواهد شد که نشان می دهد محاسباتمان دقیق است و شبیه سازی و تئوری در توافق هستند. در تصویر ۲۰ نمودار را آورده ام. همچنین در شکل ۲۱ ضریب بازتاب را بر حسب زاویه فروندی رسم کردم. همانطور که پیداست محاسبات برای فرود عمودی صحیح است و امپدانس ها مچ شده اند. در تصویر ۲۲ نیز میدان الکتریکی عمودی را در همه نواحی رسم کردم که زاویه فرودی را نیز ۲۵ درجه قرار داده ام.



شکل ۲۰: نمودار ضریب بازتاب بر حسب ضخامت لایه میانی در تابش عمودی



شکل ۲۱: نمودار ضریب بازتاب بر حسب تغییرات زاویه فروودی در ضخامت ۲۵.۶ طول موج در تابش عمودی



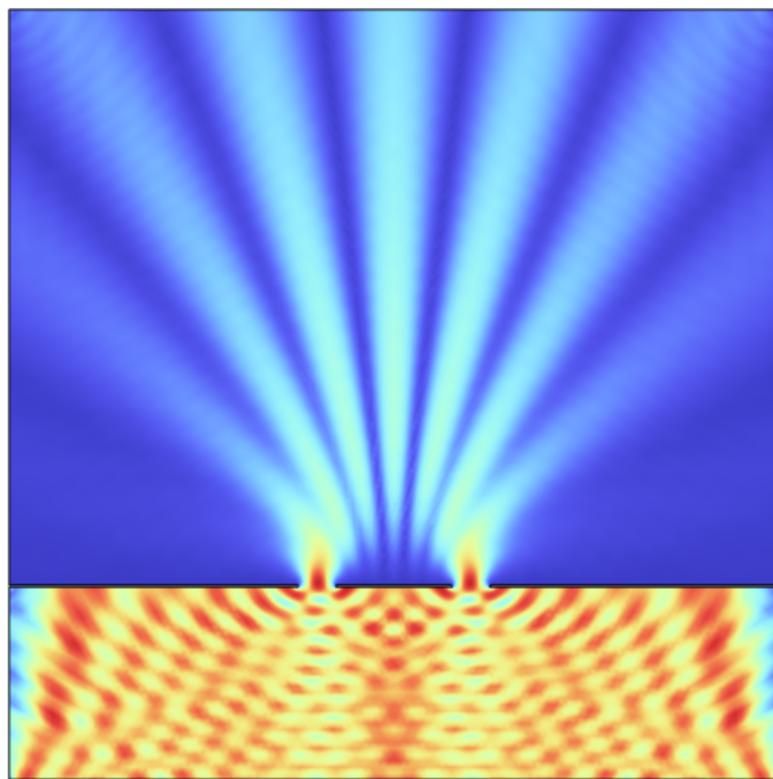
شکل ۲۲: شکل میدان درون صفحه در زاویه تابش ۲۵ درجه

۴ تعیین شرایط مرزی مناسب سوال ۲

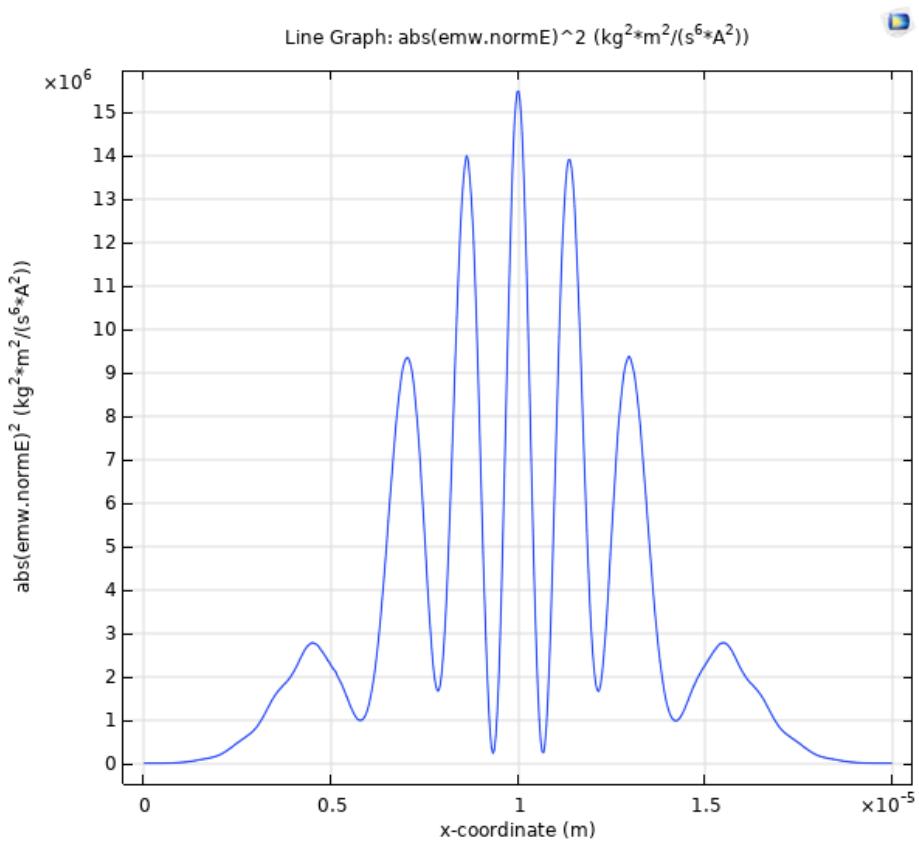
برای همه بخش های این مسئله فرض کردم پرتو های تابشی از خط افقی پایین وارد می شود پس این ضلع را پورت تحریک فعال در حالت پریودیک گرفتم. از طرفی فرض کردم پرتوهای خروجی از ضلع بالایی بدون تحریک خاصی باید خارج شوند، پس ضلع افقی بالایی را نیز یک پورت تحریک غیرفعال گرفتم. در تمامی بخش های این مسئله اصلاح افقی را در شرایط مرزی پریودیک قرار دادم که نوع پریودیک بودنش هم *floquet periodicity* قرار دادم و بردار موج تعیین کننده آن را نیز از پورت پریودیک گرفتم. اصلاح عمودی سمت چپ سورس و اصلاح عمودی سمت راست نیز مقصد هستند.

۵ آزمایش یانگ!

ابتدا شکل مسئله را می کشیم. ابتدا یک مربع در نظر گرفته و ۳ مستطیل نیز می کشیم. حال با استفاده از گوینه *difference* مربع را از این سه مستطیل خالی می کنیم. تمامی فضا را *Air* قرار داده و سراغ شروط مرزی می رویم. در این مسئله می خواهیم امواج از سوراخ ها پراکنده شوند، پس شروط مرزی مناسب این مسئله، شرط مرزی *scattering* است. همه دیواره های مربع بزرگ را *select* کرده و در این شرط مرزی قرار می دهیم. همچنین دیواره های پایینی و رویی را نیز باید پراکنده کنیم. برای سایر دیواره ها نیز علاوه بر شرط مرزی *PEC* نیاز داریم زیرا نه پراکنگی از آنها می خواهیم نه تابش نه جذب. صرفاً می بایست موج را درون لوله های باریک هدایت کنند. تنها لبه ای که می ماند لبه تحریک پایینی است که *port* قرار داده و قطبش عمودی در مسئله تولید می کنیم. پس از مش بندی کافیست مسئله را *compute* کنیم. الگوی تداخل در شکل ۲۳ و نیز دامنه میدان در $y = 10(\mu\text{m})$ در شکل ۲۴ به تصویر کشیده شده اند.



شكل ٢٣: الگوی تداخل



شکل ۲۴: دامنه میدان در فاصله ۱۰ میکرومتری

دلیل اینکه میدان دقیقاً صفر نمی شود این است که در هنگامی که تداخل ویرانگر را بررسی می کنیم، میدان در صورتی کامل صفر می شود که دامنه میدان هایی که به یک نقطه می رسند دقیقاً با یکدیگر برابر باشند که به دلیل عدم تقارن کم در بین سوراخ ها به میدان کاملاً صفر دست نمی یابیم. دلیل علمی تداخل و پراش نیز این است که موجی که به یک نقطه می رسد برهمنهی خواهد شد و برخلاف تصور از اپتیک هندسی، ماکسیمم مرکزی در وسط رخ می دهد نه در امتداد سوراخ ها. بر اساس تئوری بردار میدان

الکتریکی درون صفحه روی پرده باید از رابطه زیر تبعیت کند

$$\left\{ \begin{array}{l} I \propto |E|^2 = |E_0|^2 |e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}_1} + e^{-j\vec{k} \cdot \vec{r}_2}|^2 \\ \vec{r}_{1,2} = \vec{r} \pm \vec{\delta} \\ \delta = \frac{d}{2} \hat{x} \\ \sin(\theta) = \frac{x}{D} \end{array} \right.$$

که در روابط فوق \vec{r} از وسط دو شکاف سنجیده شده ، دلتا بردار مرکز یکی از شکاف ها نسبت به مبدا، x پارامتر پرمایش روی پرده و D نیز فاصله عمودی سوراخ ها از پرده است. با بسط شدت تا مرتبه اول به رابطه زیر می

رسیم

$$I \propto |E_0|^2 (\cos(k\delta \sin(\theta)))^2$$

که باید توجه داشته باشیم رفتاری که در نمودار ۲۴ می بینیم اثر افت دامنه ناشی از تقارن استوانه ای/کروی را نیز در بر دارد.