

## شبیه سازی انتشار امواج WIFI در ساختمان جهت تعیین بهترین مکان گیرنده

حمیدرضا عطایی<sup>۱</sup>، مژده مهدوی<sup>۲\*</sup> و محسن معدنی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه الکترونیک- واحد شهرقدس- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران،

<sup>۲</sup> گروه الکترونیک- واحد شهر قدس- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران، [m.mahdavi@godsiau.ac.ir](mailto:m.mahdavi@godsiau.ac.ir)

<sup>۳</sup> گروه الکترونیک- واحد شهر قدس- دانشگاه آزاد اسلامی- تهران- ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۶

### چکیده

با گسترش استفاده از شبکه‌های WIFI، نیاز به بهینه‌سازی محل قرارگیری نقاط دسترسی برای بهبود عملکرد شبکه در ساختمان احساس می‌شود. انتشار امواج در درون ساختمان، یکی از مسایل چالش برانگیز در طراحی شبکه و مکان‌یابی بهینه است. قسمت‌های مختلف ساختمان تاثیرات متفاوتی بر پدیده انتشار امواج در درون ساختمان دارند که از آن جمله می‌توان به تضعیف، محو شدگی، پراکندگی و انتشار چند مسیره امواج نام برد. در این میان قسمت‌های فلزی ساختمان با توجه به ماهیت امواج الکترومغناطیسی، تاثیر بسیاری در پدیده انتشار امواج خواهند داشت. در این مقاله تاثیر قسمت‌های مختلف فلزی ساختمان شامل تیر آهن‌ها و قاب‌های در و پنجره به صورت منفرد و در ابعاد استاندارد، بر انتشار امواج WIFI با استفاده از الگوریتم رهگیری پرتو (Ray Tracing) و نرم افزار CST مدل سازی می‌شود و الگوهای انتشاری برای زوایای تابش و فواصل متفاوت به دست می‌آید. به کمک نرم افزار CST سایر حالت های متنوع دیگر مثل اتاق‌هایی با ابعاد مختلف قابل مدل شدن است. در هریک از مراحل با توجه به نتایج حاصله، بهترین مکان برای قرار گیری گیرنده محاسبه می‌شود. نتایج حاصله بیانگر آن است که روش موردنظر قابلیت بهتری را نسبت به روشهای آماری و آنالیز عددی برای تعیین بهترین مکان گیرنده در ساختمان فراهم می‌کند.

واژه های کلیدی: انتشار امواج، رهگیری پرتو، WIFI، نرم افزار CST.

### ۱- مقدمه

امروزه کاربران فناوری‌های مخابرات سیار می‌توانند با هرکسی در هر زمان و هر مکان، انواع اطلاعات را مبادله کنند. این ارتباط که به صورت سیار است مستلزم دستگاه‌ها و سیستم‌هایی است که به طور هم زمان به عنوان فرستنده و گیرنده عمل می‌کنند [۱]. در کلیه ابزارهایی که از سیستم‌های ارتباط سیار بهره برداری می‌کنند عموماً واحدهای سیار نیاز به برقراری ارتباط رادیویی با یک ایستگاه کنترل‌کننده مرکزی را دارند. در این سیستم‌ها تعداد زیادی کاربر سیار با مرکز ثابت مربوط به خود در تماس هستند و ابزارهای مختلف باید به طور هم زمان و بدون ایجاد تداخل با یکدیگر قادر به برقراری تماس مورد نیاز باشند. در این سیستم‌ها، نیاز به آنتن‌هایی است که به صورت همه جهتی و به موازات سطح زمین از ایستگاه‌های ثابت، اطلاعات را پخش و جمع آوری نمایند. آنتن‌های سیار نیز باید با راندمان مناسب جهت نصب بر روی واحد سیار طراحی و بهینه سازی شده باشند [۲]. در محیط‌های شهری امواج رادیویی باید قدرت نفوذ و قابلیت انتشار از میان ساختمان‌های مرتفع را داشته باشند. همچنین به دلیل محدودیت در باندهای رادیویی، این سیستم‌ها باید قابلیت استفاده از باندهای رادیویی مشابه در ایستگاه‌های مختلف که در فاصله مناسبی از یکدیگر قرار دارند را به صورت مکرر داشته باشند. WIFI شبکه بی‌سیم است که ارتباط بی‌سیم بین یک وسیله و یک شبکه یا اینترنت را فراهم می‌کند و به عنوان یک استاندارد

برای تمام تولید کنندگان محصولات مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11 به کار می‌رود [۲].

آنتن‌ها، ساختارهایی هستند که برای تشعشع مؤثر انرژی الکترومغناطیسی به شکلی از پیش تعیین شده، طراحی می‌شوند. بدون یک آنتن کارآمد، انرژی الکترومغناطیسی در یک محل جمع می‌شود، و انتقال بی‌سیم اطلاعات به فواصل دور غیر ممکن می‌گردد [۴]. [۳]. یک آنتن می‌تواند یک سیم مستقیم تنها، یا یک حلقه‌ی هادی باشد که توسط یک منبع ولتاژ تحریک می‌شود. از بازتابنده‌ها و عدسی‌ها نیز می‌توان برای برجسته نمودن بعضی از مشخصات تشعشعی سود برد. در شکل ۱ ساختار WIFI بصورت نمادین نمایش داده شده است [۴].



شکل ۱: نمایش نمادین ساختار ارتباطی و کاربرد WIFI [۴].

یکی از مشکلات بررسی مدل انتشار امواج WIFI در درون ساختمان، انتشار چند مسیره است. سیگنال ارسالی توسط فرستنده از مسیرهای متفاوتی به گیرنده می‌رسد. انعکاس‌های متفاوت سیگنال ارسالی از موانع طبیعی موجود در مسیر، هر کدام با اختلاف زمانی متفاوتی به آنتن گیرنده می‌رسد. این اختلاف زمانی خود را به صورت اختلاف فاز در سیگنال دریافتی بر روی آنتن گیرنده نشان می‌دهد. اختلاف فاز ایجاد شده گاهی باعث تقویت امواج دریافتی و گاهی باعث حذف کامل امواج دریافتی می‌شود. انتشار چند مسیره اغلب در محیط‌های داخل ساختمان و در مکان‌هایی که سطوح فلزی وجود دارند خود را نشان می‌دهد که نیاز به بررسی دقیق دارد.

مرجع [۳] به معرفی روش اثر انگشت و مزایا و معایب آن پرداخته است. در روش اثر انگشت از یک یا تعدادی گیرنده WIFI که قابلیت اندازه‌گیری و ثبت قدرت سیگنال را دارند استفاده می‌شود. با قرار دادن گیرنده در مکان‌های مختلف و ثبت قدرت سیگنال در آن مکان‌ها، داده‌های عددی به دست می‌آید. آنالیز این داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی موجود در نرم افزار متلب انجام می‌شود. با این روش می‌توان شدت سیگنال را به صورت تابعی از مکان بیان کرد. از مزایای این روش می‌توان به امکان استفاده از آن در هر نقطه از ساختمان و در حالات مختلف چینش تجهیزات داخل ساختمان اشاره کرد. از معایب آن می‌توان به حالات مختلف زاویه قرار گیری آنتن گیرنده اشاره کرد که تأثیر زیادی در شدت سیگنال دریافتی دارد. همچنین برای به دست آوردن مدل دقیق باید نقاط بسیار زیادی اندازه‌گیری شود که این امر زمان بر بوده و خطاهای کاربری ناخواسته را سبب می‌شود.

مرجع [۴] به بررسی انتشار امواج در فضاهای داخل ساختمان با رویکرد ساختارهای موج‌بر پرداخته است. در این روش فضاهایی مانند اتاق‌ها و راهروها به عنوان موج‌بر دی‌الکتریک فرض شده و انتشار امواج درون این موج‌برها بررسی می‌شود. این روش معایب بسیاری

دارد که از آن جمله می توان به عدم امکان تعیین دقیق گذردهی الکتریکی هر یک از اجزای ساختمان اشاره کرد. به عنوان مثال دیوارهای ساختمان از مواد گوناگونی شامل سیمان و گچ و مواد دیگر تشکیل شده که هر کدام از آن ها گذردهی الکتریکی و همچنین ضخامت متفاوتی دارند. در این روش اثر قسمت های فلزی ساختمان که بیشترین تأثیر را در انتشار امواج دارند قابل بررسی نیست و نمی توان آن ها را به عنوان موجبر دی الکتریک فرض کرد. همچنین در این روش محل قرارگیری فرستنده تأثیر بسیاری در نتایج حاصله خواهد داشت. به عنوان مثال با قرار گیری فرستنده در مرکز اتاق، فضای داخل اتاق بیشتر به صورت یک تشدید کننده دی الکتریک عمل می کند و رفتاری مشابه موجبر دی الکتریک نخواهد داشت. همچنین ابعاد موجبر در این روش نسبت به طول موج بسیار بزرگ بوده و انتشار چند مسیره در درون موجبر خواهیم داشت که تحلیل معادلات موج را در درون موجبر با مشکل مواجه می کند.

در مرجع [۵] برای حذف اثر انتشار چند مسیره از اتاق جاذب امواج استفاده شده است. در اتاق های جاذب امواج (اتاق آنتن) دیوارهای اتاق با مواد جاذب پوشیده شده و در نتیجه انعکاس از دیوارهای اتاق بسیار ناچیز است. این روش فقط برای بررسی اثر مسیر مستقیم در انتشار امواج مناسب است. در کاربردهای عملی انتشار چند مسیره روی می دهد و اثر آن قابل چشم پوشی نیست.

بطور کلی آنچه که تاکنون بیشتر در تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته، اثر دیوارهای ساختمان بر پدیده انتشار امواج بدون در نظر گرفتن اثر قسمت های فلزی آن بوده است. روش مرسوم در بیشتر این تحقیقات بر مبنای اندازه گیری های عملی با استفاده از دستگاه های اندازه گیری و روش های آنالیز عددی و آماری است. در این روشها، اندازه گیری های متعدد در محیط انجام گرفته و سپس با استفاده از نظریه آمار و احتمال به تحلیل داده ها می پردازند. بدیهی است که این مدل ها نمی توانند بطور کامل ویژگی های انتشار را در نظر بگیرند بنابراین از دقت کافی برخوردار نیستند، از طرف دیگر استفاده از روشهای حل عددی در الکترومغناطیس مانند رهگیری پرتو اخیرا رشد چشمگیری داشته اند که برای محیطهای با ابعاد بزرگ و ساده نتایج مناسبی را ارائه می کند و هیچ محدودیتی ندارد و شبیه سازی کاملی در دوبعدی و سه بعدی ارائه می دهد.

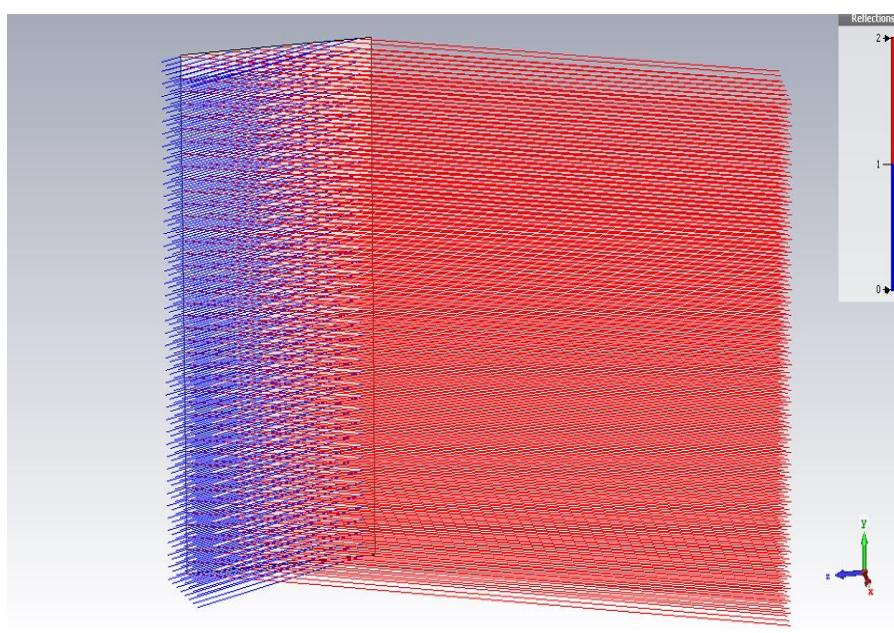
قسمت های فلزی ساختمان با توجه به ماهیت امواج الکترومغناطیسی، تأثیر بسیاری در پدیده انتشار امواج دارند. هر کدام از قسمت های فلزی ساختمان با توجه به فرکانس کاری، ابعاد و زاویه تابش، امواج متفاوتی ایجاد می کند که باعث انعکاس، پراش و تفرق سیگنال ارسالی شده و تأثیرات منفی بر روی سیگنال ایجاد می کند. بررسی اثر بخش های فلزی ساختمان بر انتشار امواج WIFI برای یافتن بهترین مکان گیرنده، هدف اصلی مقاله حاضر است بدین صورت که در ابعاد استاندارد، سناریوی مکان قرارگیری گیرنده در بهترین مکان ممکن تعیین می شود. برای بررسی و مقایسه عملکرد روش مورد نظر با مقالات مشابه از طریق اثر انگشت، مشخصات بدست آمده از روش اثر انگشت در نرم افزار MATLAB با روش مورد نظر مقایسه شده و قابلیت بهتر روش پیشنهادی مشخص می شود.

در مقاله حاضر، با استفاده از روش رهگیری پرتو به قسمت های فلزی ساختمان در انتشار امواج WIFI بر اساس استاندارد IEEE 802.11b تمرکز شده است. در بخش بعد به توضیح مسیرهای انتشار امواج در نرم افزار CST و معرفی روش رهگیری پرتو می پردازیم. سپس در بخشهای بعدی به شبیه سازی آنتن مورد نظر و بررسی بهترین مکان قرارگیری گیرنده، خواهیم پرداخت.

## ۲- روش پیشنهادی برای بررسی مدل انتشار

یکی از روشهای متداول برای بررسی نحوه انتشار امواج در محیطهای با هندسه پیچیده و بزرگ، روش رهگیری پرتو است. در این روش بجای حل رابطه دیفرانسیلی در محیط های بزرگ، امواج الکترومغناطیسی بصورت پرتوهای نوری فرض شده و نحوه انتشار و تداخل این امواج با همدیگر، و با شرایط مرزی مختلف مورد بررسی قرار می گیرد، که با این فرض سرعت حل و حجم محاسبات کاهش می یابد [۶-۸]. زمانی که ابعاد ساختار شبیه سازی شده نسبت به طول موج بسیار بزرگ است، استفاده از روش های متداول محاسبات و شبیه سازی در نرم افزارهای مختلف امکان پذیر نیست. این امر به دلیل بزرگ بودن ابعاد مش بندی ساختار است. باید توجه داشت که

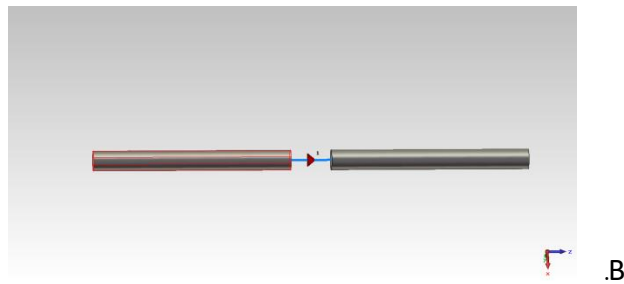
نرم افزارهای شبیه ساز امواج، ساختار مورد شبیه سازی را با توجه به طول موج مش بندی می کنند. در این حالت با فرض امواج الکترومغناطیسی به صورت پرتوهای نور و بررسی رفتار این پرتوها در محیط، به شبیه سازی می پردازیم. به این روش رهگیری پرتو می گویند. نرم افزار CST با فرض فرستنده امواج به صورت منبع نور، به بررسی پرتوهای منعکس شده و متفرق شده در محیط می پردازد و سیگنال دریافتی توسط آنتن گیرنده را با فرض وجود موانع فلزی تعریف شده محاسبه می کند. نرم افزار CST معادلات ماکسول را در شکل انتگرالی بر روی ساختار مربوطه به صورت گسسته حل می کند. برای حل فرم انتگرالی معادلات ماکسول باید ساختار به اجزای کوچکی تقسیم شود تا بتوان از روش های عددی استفاده کرد. به این تقسیم بندی ساختار به اجزای کوچک تر مش بندی ساختار گویند که یکی از اصلی ترین مراحل شبیه سازی در نرم افزار شبیه ساز مورد نظر است. در واقع بدون مش بندی امکان حل معادلات ماکسول در ساختارهای بزرگ نسبت به طول موج فراهم نیست. لازم به ذکر است که این روش شبیه سازی رفتار امواج در ساختارهای بزرگ به صورت پیش فرض در نرم افزار CST موجود است. در شکل پرتوهای تابشی و بازتابشی در روش رهگیری پرتو مشخص شده اند [۸-۱۱].



شکل ۲: الگوی پرتوهای تابشی و بازتابشی در روش رهگیری پرتو در نرم افزار CST [۵]

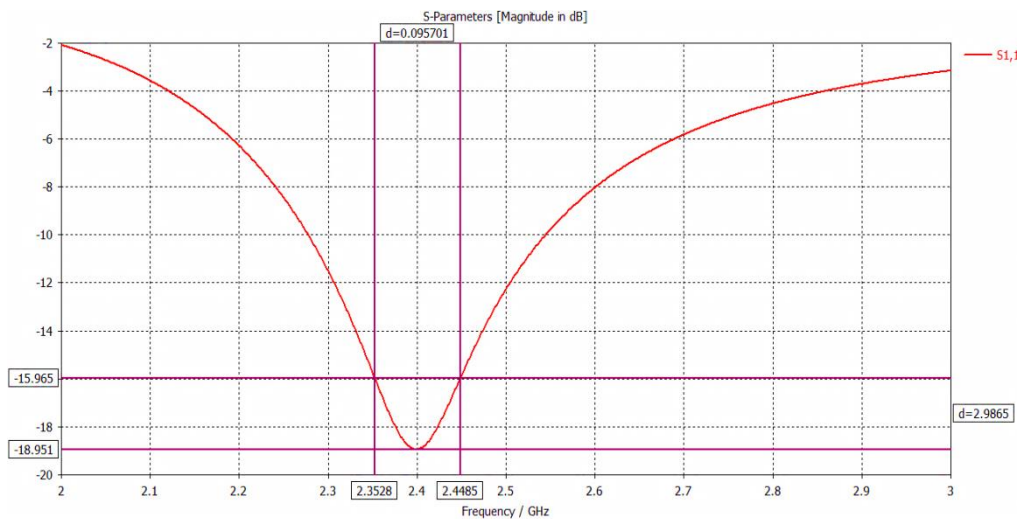
برای استفاده از روش رهگیری پرتو در این مقاله به کمک نرم افزار CST یک فرستنده متداول امواج WIFI را در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز شبیه سازی می کنیم و الگوی انتشاری امواج را در فضای آزاد به دست می آوریم. سپس با فرض فرستنده به عنوان منبع نوری که الگوی انتشار نوری آن معادل الگوی انتشار امواج به دست آمده در مرحله قبل است، به بررسی رفتار این امواج در ابعاد ساختمان و پراکندگی و تفرق ایجاد شده در آن بر اثر برخورد با عناصر فلزی ساختمان می پردازیم. به این ترتیب شبیه سازی قابل پیاده سازی بر روی رایانه بوده و دقت کافی خواهد داشت. با توجه به عدم محدودیت شبیه سازی، مدل به دست آمده کاربردی بوده و امکان محاسبه آن برای تمامی حالات موجود فراهم است. به گونه ای که می توان مدل را بر اساس حرکت فرستنده یا گیرنده در کل مختصات فضایی به دست آورد، همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی، مکان بهینه قرار گیری نقاط دسترسی در قسمت های مختلف ساختمان به دست می آید.

در شکل ۳ آنتن دایپل طراحی شده در این مقاله، برای کاربردهای WIFI در فرکانس ۲,۴ گیگاهرتز نشان داده شده است.



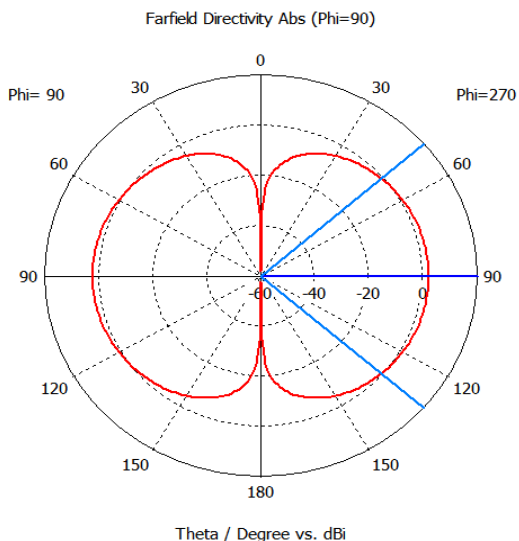
شکل ۳: آنتن دایپل طراحی شده

در طراحی اولیه این آنتن شعاع هادی  $R=1\text{ mm}$ ، طول هر بازوی آنتن  $L=32\text{ mm}$  و فاصله بین دو بازو  $GAP=5\text{ mm}$  در نظر گرفته شده است. این مقادیر با توجه به طول موج در فرکانس کاری آنتن به دست آمده است. بر این اساس با توجه به طول موج که  $12/5$  سانتی متر است طول آنتن برابر با نیم طول موج یا  $6/25$  سانتی متر در نظر گرفته شده است. بر این اساس طول هر بازوی آنتن که نصف طول آنتن است برابر با  $3/125$  سانتی متر به دست می آید که به  $3/2$  سانتی متر گرد شده است. در شکل ۴ پارامتر برگشتی آنتن مشاهده می شود.

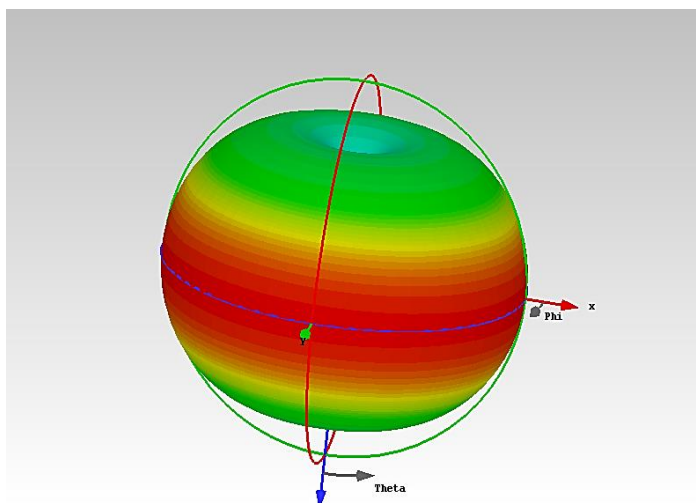


شکل ۴: پارامتر برگشتی آنتن موردنظر

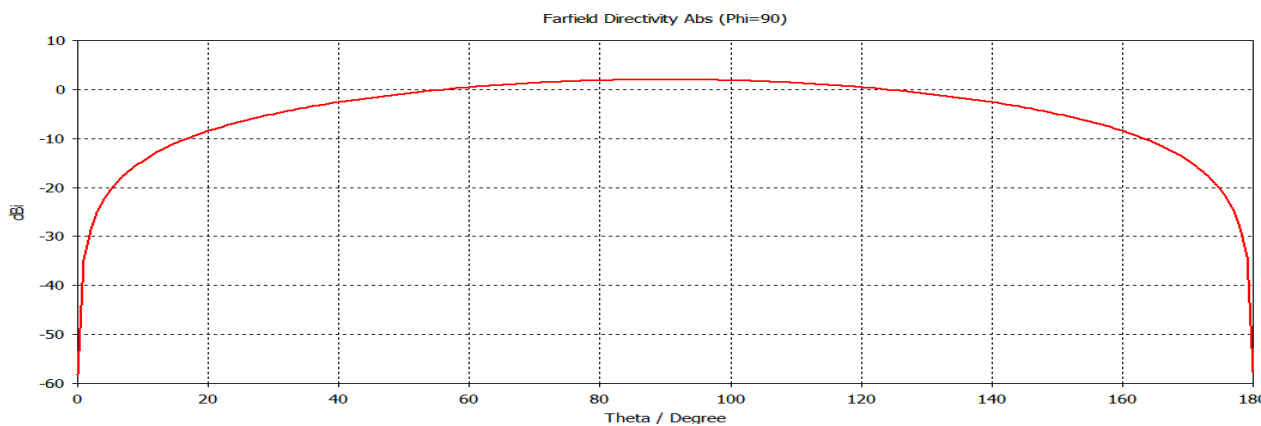
همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود پارامتر برگشتی ( $S_{11}$ ) آنتن در فرکانس  $2.4\text{ GHz}$  در حدود  $-19$  دسی بل بوده که مقدار بسیار مطلوبی است. همچنین پهنای باند  $3$  دسی بل آنتن حدود  $100$  مگاهرتز است. در شکل ۵، ۶ و ۷ زیر پترن آنتن در مختصات قطبی و کارتزین آمده است. همان طور که مشاهده می شود، ماکسیمم گین در زاویه  $90$  درجه نسبت به راستای آنتن قرار داشته و مقدار آن  $2$  دسی بل است. همچنین پهنای پرتو  $3$  دسی بل آنتن برابر  $82/2$  درجه است.



شکل ۵: زیر پترن آنتن در مختصات قطبی

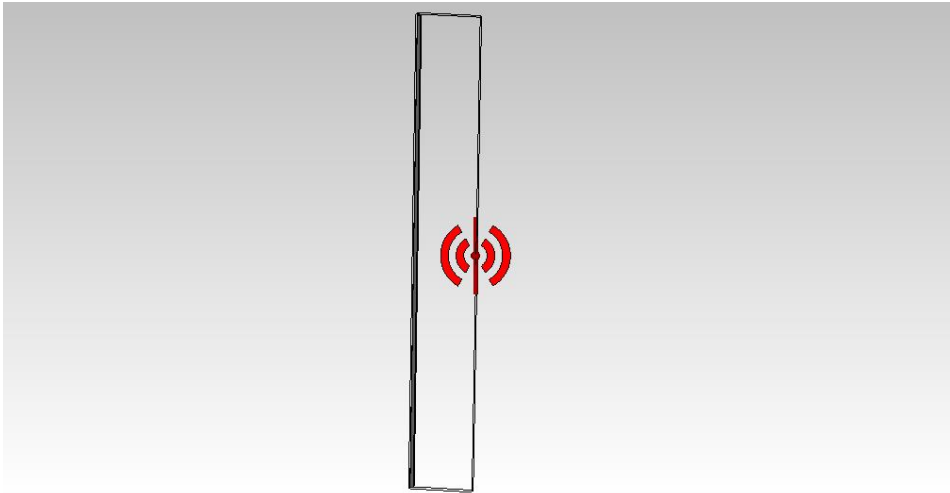


شکل ۶: پترن سه بعدی آنتن طراحی شده در مختصات قطبی



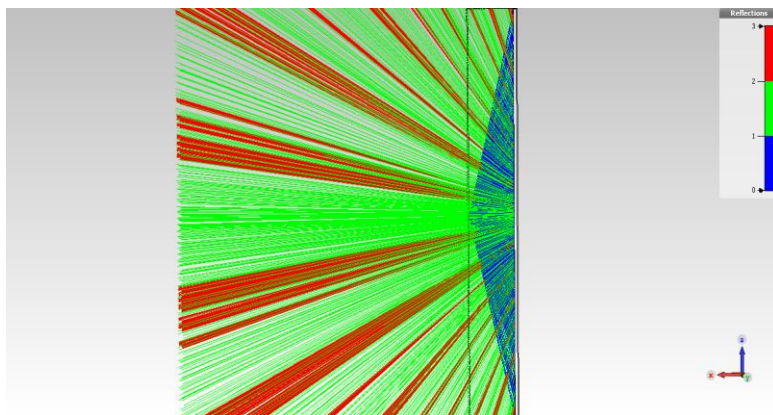
شکل ۷: پترن آنتن طراحی شده در مختصات قطبی و کارترین

پس از شبیه سازی آنتن دایپل و به دست آمدن الگوهای تشعشعی، الگوی میدان دور آنتن به صورت فایل توسط نرم افزار CST ذخیره سازی شده و در مراحل بعد به عنوان مرجع برای بررسی الگوهای میدان منتشر شده در فضای ساختمان استفاده می شود. شبیه سازی بعدی، قرار گیری پروفیل IPE140 در فاصله ۱٫۵ متری از فرستنده امواج و به صورت موازی با آن در فرکانس ۲٫۴ گیگاهرتز است. در شکل ۸ قرار گیری پروفیل IPE140 را در فاصله ۱٫۵ متری از فرستنده امواج و به صورت موازی با آن در فرکانس ۲٫۴ گیگاهرتز مشاهده می کنید.



شکل ۸: قرار گیری آنتن فرستنده در مجاورت پروفیل IPE140

در اثر برخورد امواج تابشی آنتن با پروفیل، انعکاس های متعددی روی می دهد [۱۲-۱۵]. امواج منتشر شده از آنتن ابتدا به سطح پروفیل برخورد کرده سپس منعکس می شوند. امواج منعکس شده از سطح پروفیل بخشی در فضای آزاد منتشر شده و بخشی دیگر به سطح آنتن فرستنده برخورد می کنند. امواج برخورد کرده به سطح آنتن بار دیگر منعکس شده بخشی از آن در فضای آزاد منتشر شده و بخشی دیگر به سطح پروفیل برخورد می کنند. این انعکاس ها تا بی نهایت تکرار می شوند. با توجه به اینکه در هر مرحله بخشی از پرتوهای انعکاسی در فضای آزاد منتشر می شود، تعداد پرتوهای منعکس شده در هر مرحله کاهش می یابد. در شکل ۹ پرتوهای منعکس شده در خروجی نرم افزار برای زاویه تابش صفر درجه نسبت به راستای آنتن را تا مرحله سوم بر اساس منبع پترن آنتن مشاهده می شود.

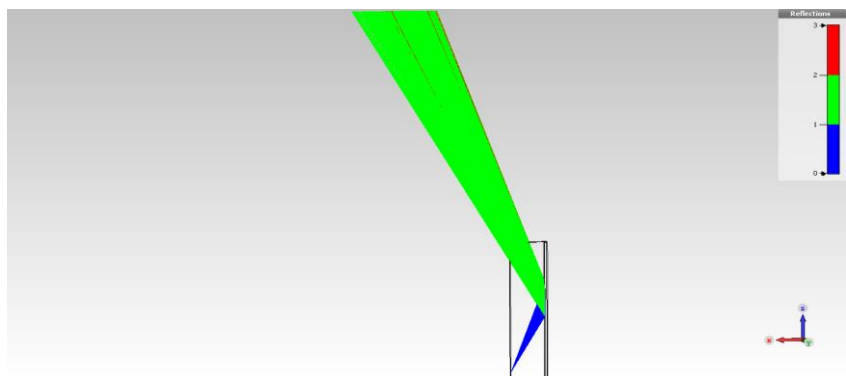


شکل ۹: پرتوهای تابشی و بازتابی از سطح پروفیل IPE140

در شکل ۹ اولین انعکاس به رنگ آبی و انعکاس های دوم و سوم به رنگ های سبز و قرمز مشاهده می شوند. همانگونه که در شکل

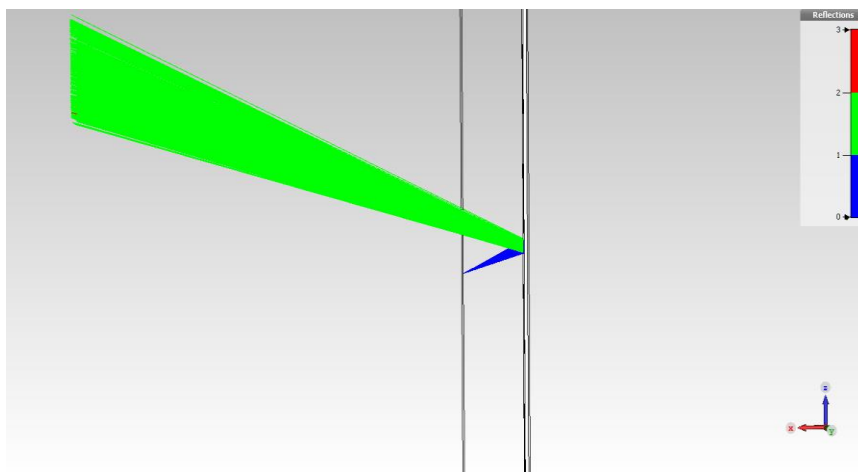


نیز مشخص است با بزرگتر شدن زاویه نسبت راستای انتشار، چگالی خطوط منعکس شده کاهش می‌یابد و بیشترین انعکاس‌ها در زوایای نزدیک به صفر و انعکاس دوم است. در نرم‌افزار CST، انعکاس و تفرق و پراکندگی بدقت محاسبه می‌شود و نرم افزار قابلیت درنظر گرفتن و شبیه سازی دقیق کلیه موارد را دارد.



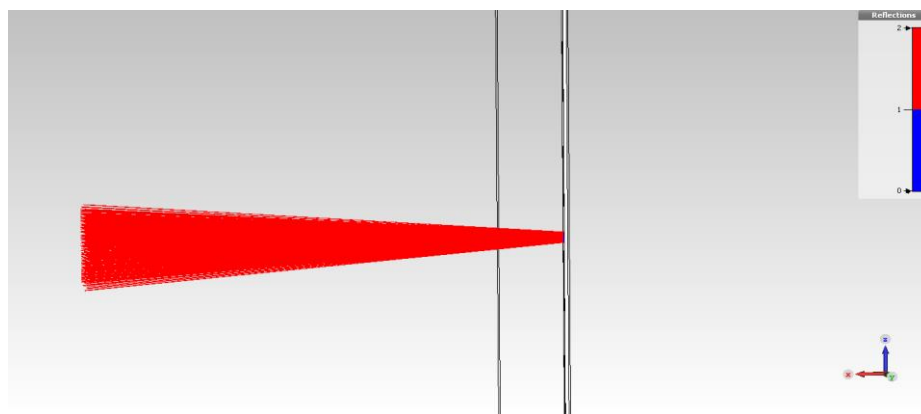
شکل ۱۰: انعکاس در زاویه تابش ۲۵ درجه نسبت به محور آنتن

همان‌طورکه در شکل ۱۰ نیز مشخص است در این حالت بیشترین انعکاس مربوط به انعکاس دوم از سطح پروفیل بوده و انعکاس سوم درصد بسیار کمی را شامل می‌شود.



شکل ۱۱: انعکاس در زاویه تابش ۷۰ درجه نسبت به راستای آنتن

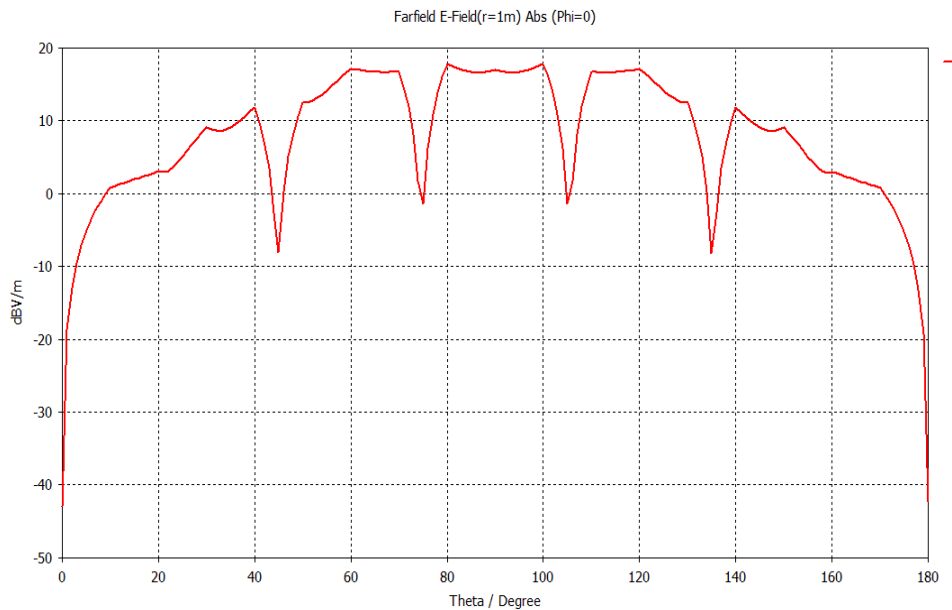
همان‌طورکه در شکل ۱۱ نیز مشخص است در این حالت انعکاس مرتبه سوم تقریباً صفر بوده و فقط انعکاس مرتبه دوم از سطح پروفیل موجود است.



شکل ۱۲: انعکاس در زاویه تابش ۹۰ درجه نسبت به راستای آنتن

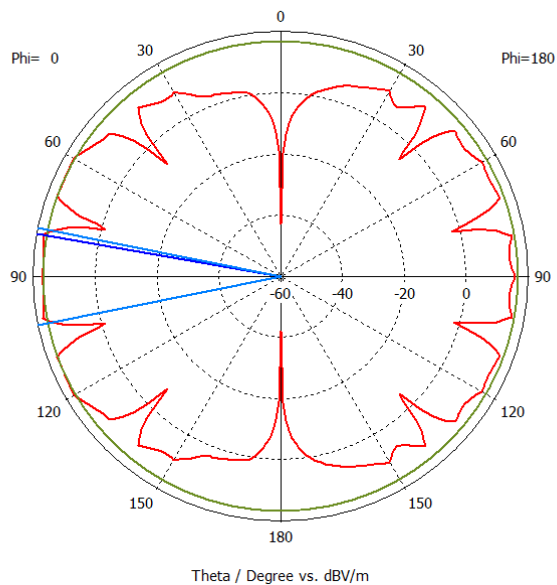


در این حالت انعکاس مرتبه سوم وجود ندارد و تنها انعکاس دوم از سطح پروفیل موجود است. با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش زاویه تابش نسبت به سطح آنتن به تدریج انعکاس سوم حذف شده و فقط انعکاس دوم از سطح پروفیل اتفاق می افتد. برای به دست آوردن بهترین مکان قرار گیری آنتن گیرنده در این حالت می بایست شدت میدان الکتریکی در فضای اطراف آنتن را به دست آوریم. قدر مسلم در مکان هایی که شدت میدان الکتریکی بیشینه است، بهترین مکان قرار گیری آنتن گیرنده است [۱۶-۱۸]. در شکل ۱۳ شدت میدان الکتریکی در فاصله یک متری از آنتن را بر حسب زاویه نسبت به محور آن مشاهده می شود.

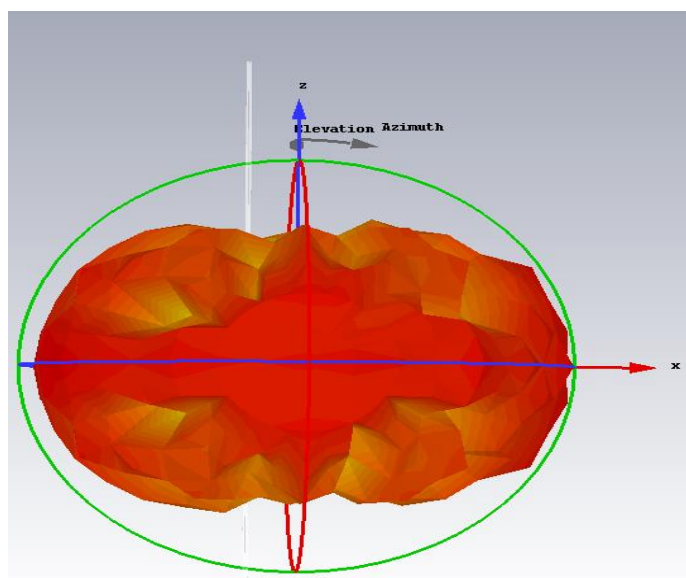


شکل ۱۳: شدت میدان الکتریکی ناحیه میدان دور

همان طور که در شکل ۱۳ نیز مشخص است، ماکسیمم شدت میدان الکتریکی در زوایای ۸۰ الی ۱۰۰ درجه نسبت به راستای آنتن فرستنده اتفاق می افتد. بر این اساس بهترین مکان برای قرار گیری آنتن گیرنده در این زوایا و به صورت موازی با آنتن فرستنده است. در اطراف ناحیه ماکسیمم، شدت میدان الکتریکی به صورت ناگهانی افت می کند که این افتها در زوایای ۷۵ درجه و ۱۰۵ درجه روی می دهند. این امر به دلیل تداخل امواج ارسالی و انعکاسی به صورت غیر هم فاز است که باعث افت شدید دامنه شدت میدان الکتریکی برآیند می شود. قرار گرفتن آنتن گیرنده در این زوایا باعث کاهش قدرت سیگنال دریافتی می شود. با عبور از این نواحی بار دیگر شدت میدان الکتریکی تقریباً به اندازه ماکسیمم افزایش می یابد [۱۹]. با افزایش زاویه آنتن گیرنده به صفر یا ۱۸۰ درجه شدت میدان الکتریکی تقریباً به صفر رسیده و هیچ سیگنالی دریافت نمی شود. در شکل ۱۴ نمای قطبی نمودار را مشاهده می کنید.



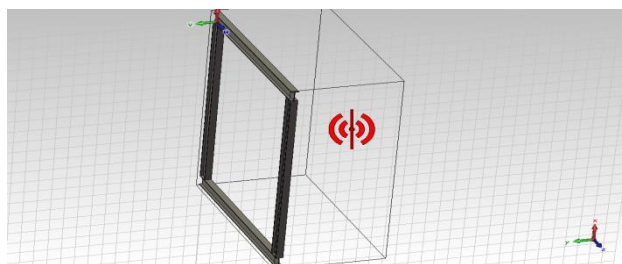
شکل ۱۴: نمای قطبی شدت میدان الکتريکی ناحیه میدان دور



شکل ۱۵: نمای قطبی و سه بعدی شدت میدان الکتريکی ناحیه میدان دور

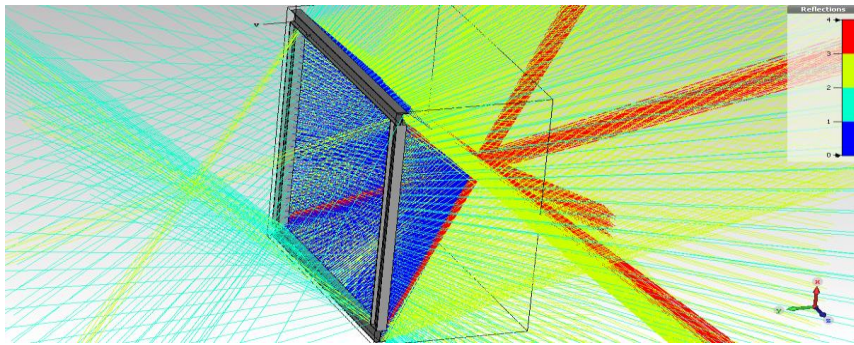
## ۲- تابش از بیرون به داخل پنجره‌ای با ابعاد ۱,۵\*۱,۵ متر مربع

شکل ۱۶ نمای قرار گیری آنتن فرستنده در فاصله یک متری از مرکز پنجره‌ای با ابعاد ۱,۵\*۱,۵ متر مربع را نشان می‌دهد.



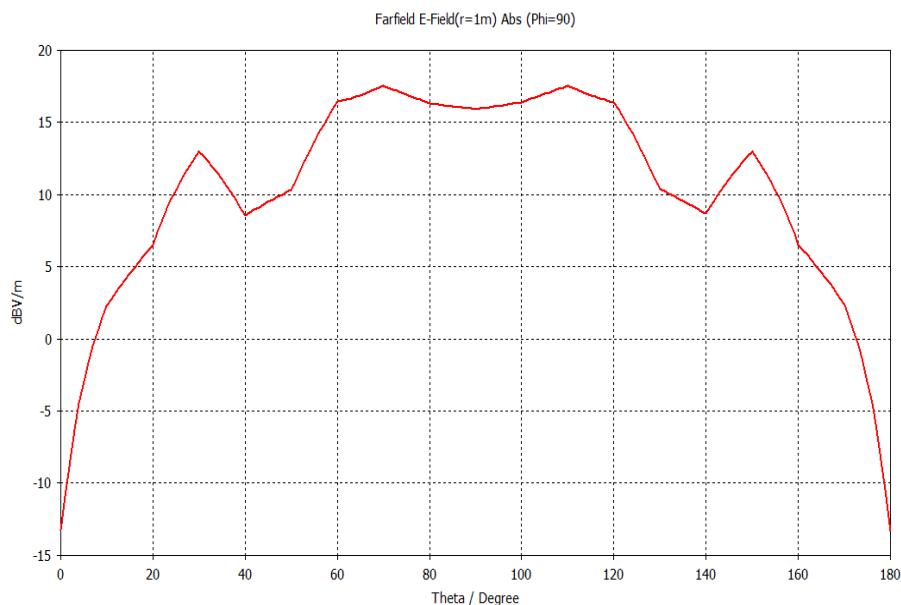
شکل ۱۶: نمای قرار گیری آنتن فرستنده در فاصله یک متری از مرکز پنجره

همانند قسمت قبل پرتوهای ارسالی توسط آنتن فرستنده پس از برخورد با پروفیل پنجره بارها منعکس می شوند. شکل ۱۷ نمای پرتوهای ارسالی و منعکس شده را تا انعکاس ۴ نمایش می دهد. همانگونه که در شکل ۱۷ نیز مشخص است، درصد بالایی از انعکاس دوم و درصد کمی از انعکاس سوم از داخل پنجره عبور می کنند. این در حالی است که انعکاس چهارم از پنجره عبور نمی کند. انعکاس های سوم و چهارم بیشتر در نواحی گوشه های روی می دهند.



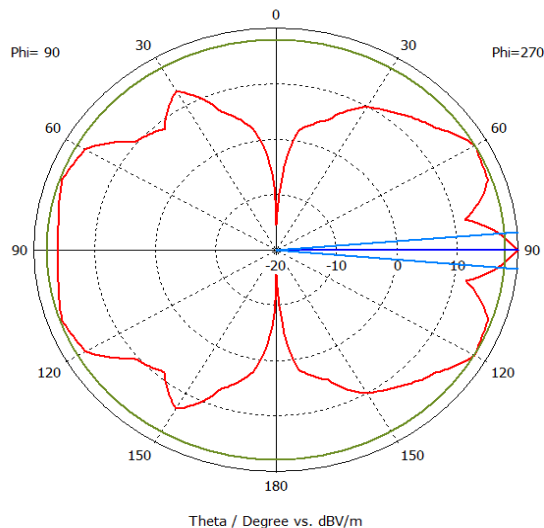
شکل ۱۷: پرتوهای تابشی و باز تابشی از لبه های پنجره

برای بررسی بهترین محل قرار گیری آنتن گیرنده، باید شدت میدان الکتریکی حول آنتن فرستنده را به دست آوریم. در شکل ۱۸ شدت میدان الکتریکی در کره ای به شعاع یک متر حول آنتن فرستنده آورده شده است.



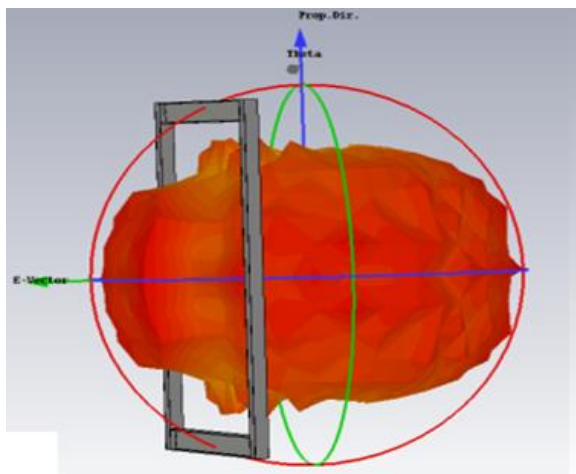
شکل ۱۸: شدت میدان الکتریکی حول آنتن فرستنده در مجاورت پنجره

همانگونه که در شکل ۱۸ مشاهده می شود بیشترین شدت میدان الکتریکی در زوایای ۶۰ تا ۱۲۰ درجه نسبت به راستای آنتن فرستنده قرار دارد. بنابراین بهترین مکان برای قرار گیری آنتن گیرنده در این زوایا و به صورت موازی با آنتن فرستنده است. در زوایای کمتر از ۶۰ درجه و یا بیشتر از ۱۲۰ درجه با افت شدت میدان الکتریکی روبه رو هستیم. قرار گیری آنتن گیرنده در این زوایا باعث کاهش توان دریافتی خواهد شد. در شکل ۱۹ نمودار شدت میدان الکتریکی در مختصات قطبی آورده شده است. همانگونه که در شکل ۱۹ نیز مشاهده می شود شدت میدان الکتریکی در نواحی بین آنتن و پنجره یکنواخت تر است.



شکل ۱۹: نمودار قطبی شدت میدان الکتریکی حول آنتن فرستنده در مجاورت پنجره

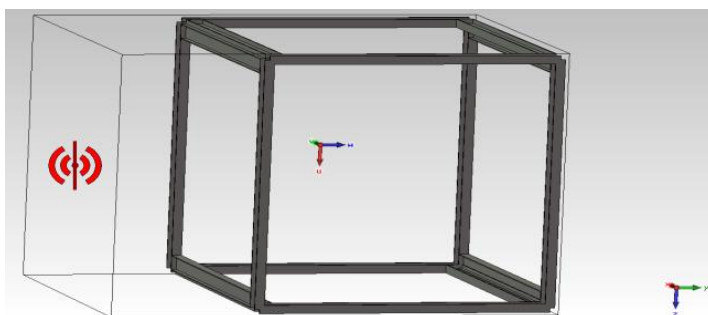
در شکل ۲۰ نمودار سه بعدی شدت میدان الکتریکی آورده شده است. با توجه به شکل ۲۰ بیشترین شدت میدان الکتریکی در سمت مقابل پنجره نسبت به فرستنده دیده می‌شود. بنابراین بهترین مکان قرارگیری آنتن گیرنده در طرف مقابل پنجره و در زوایای ۶۰ تا ۱۲۰ درجه نسبت به آنتن فرستنده است.



شکل ۲۰: نمای سه بعدی شدت میدان در اطراف پنجره

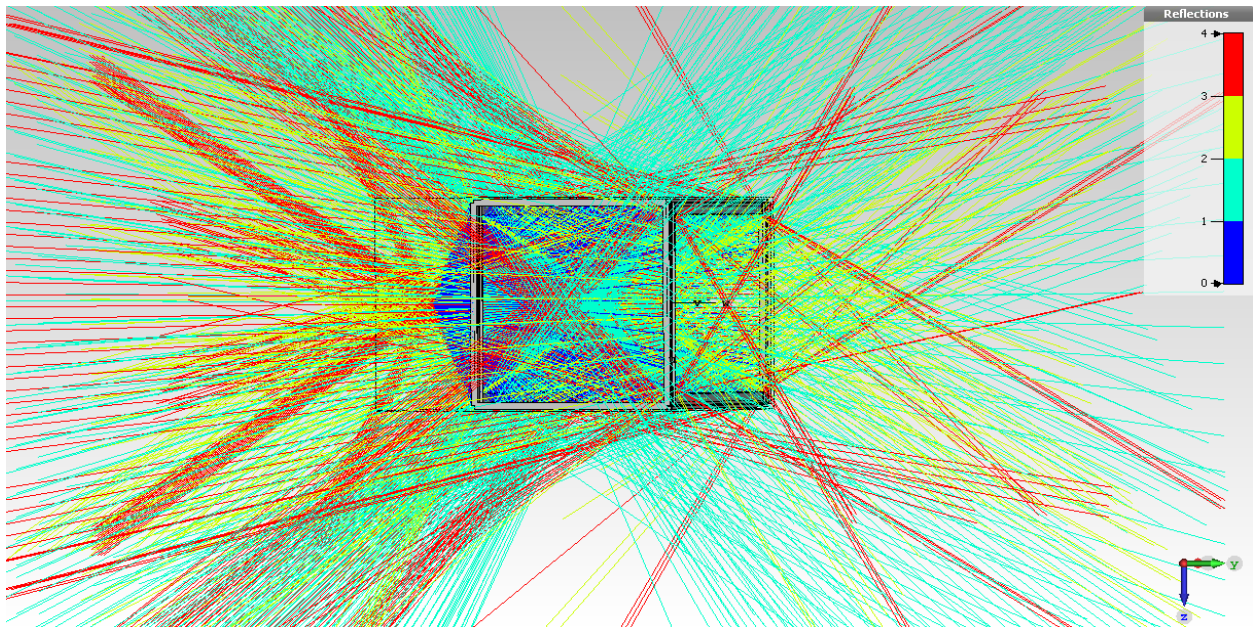
### ۲-۲ تابش از بیرون به داخل اتاقی با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

شکل ۲۱ نمای قرارگیری آنتن فرستنده را به فاصله یک متر در بیرون یک اتاق ۳\*۲ متر مربع نشان می‌دهد.



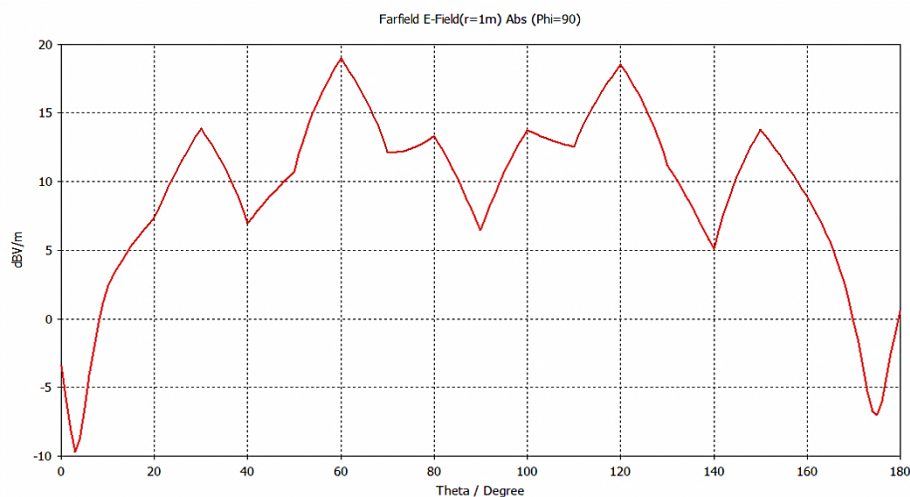
شکل ۲۱: قرارگیری آنتن فرستنده در مجاورت اتاقی با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

در شکل ۲۲ بازتاب‌های مرتبه اول تا چهارم مشاهده می‌شود. همانگونه که مشخص است الگوهای بازتاب پیچیده بوده و نظم مشخصی ندارند. در این میان نقش گوشه‌ها در بازتاب‌های مرتبه بالاتر مشهود است.



شکل ۲۲: بازتاب‌های اول تا چهارم برای تابش از بیرون به درون اتاقی با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

برای تعیین بهترین محل قرار گیری آنتن گیرنده شدت میدان الکتریکی در کره‌ای به شعاع یک متر حول آنتن فرستنده را به دست می‌آوریم. شکل ۲۳ این شدت میدان را نشان می‌دهد.

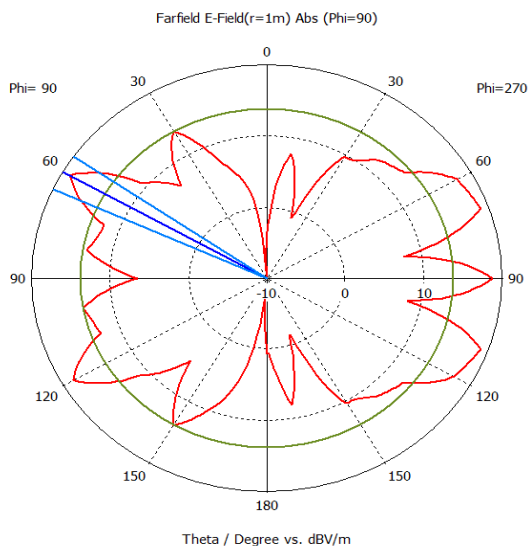


شکل ۲۳: شدت میدان الکتریکی حول آنتن فرستنده در مجاورت اتاق با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

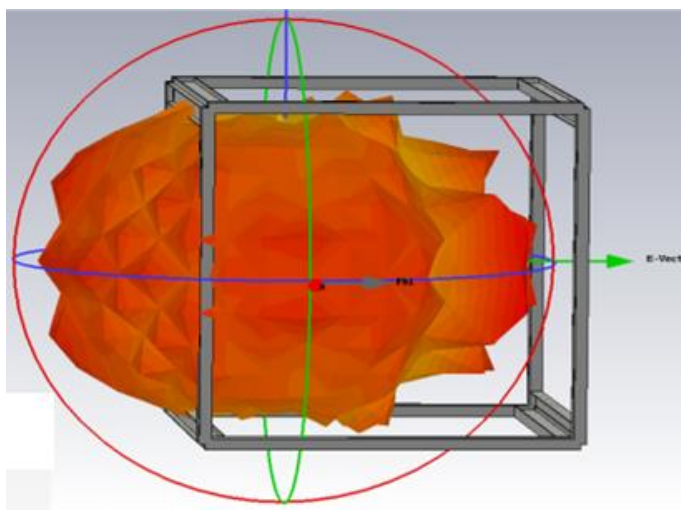
همانگونه که در شکل ۲۳ نیز مشاهده می‌شود، شدت میدان الکتریکی به شدت با تغییر زاویه تغییر می‌کند. بیشترین شدت میدان در زوایای ۶۰ و ۱۲۰ درجه دیده می‌شود. این در حالی است که با تغییر ۱۰ درجه‌ای در زاویه نسبت به مقادیر ماکسیمم، شدت میدان الکتریکی به شدت افت پیدا می‌کند. بر خلاف انتظار، شدت میدان الکتریکی در زاویه ۹۰ درجه که معادل قرارگیری آنتن گیرنده در



مقابل آنتن فرستنده است دچار افت شدیدی می‌شود. این به این معناست که برای داشتن حداکثر توان دریافتی نباید آنتن گیرنده و فرستنده را در مقابل هم قرار داد. قرار دادن آنتن گیرنده در ارتفاعهایی که معادل زوایای ۶۰ و ۱۲۰ درجه نسبت به راستای آنتن فرستنده است، سطح توان دریافتی را تا حد زیادی بالا می‌برد [۲۰]. در شکل ۲۴ شدت میدان الکتریکی در مختصات قطبی برای اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع نشان داده شده است. در شکل ۲۵ شدت میدان الکتریکی سه بعدی نشان داده شده است.



شکل ۲۴: شدت میدان الکتریکی در مختصات قطبی برای اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع

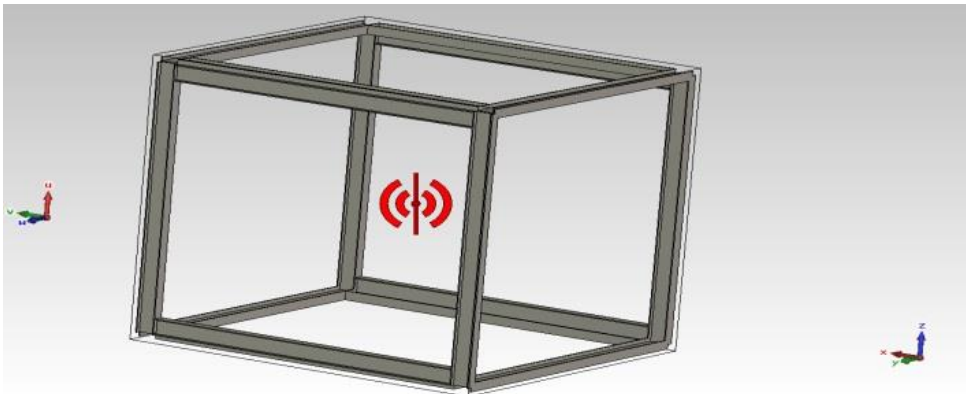


شکل ۲۵: نمای سه بعدی شدت میدان الکتریکی در داخل اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع

وجود پروفیل‌های فلزی باعث افزایش دامنه شدت میدان الکتریکی در مرکز اتاق شده است. این امر به دلیل جمع شدن بردارهای شدت میدان به صورت هم فاز در داخل اتاق است. بنابراین بهترین مکان قرارگیری آنتن گیرنده در داخل اتاق و در زاویه‌های ۶۰ یا ۱۲۰ درجه نسبت به راستای آنتن فرستنده است.

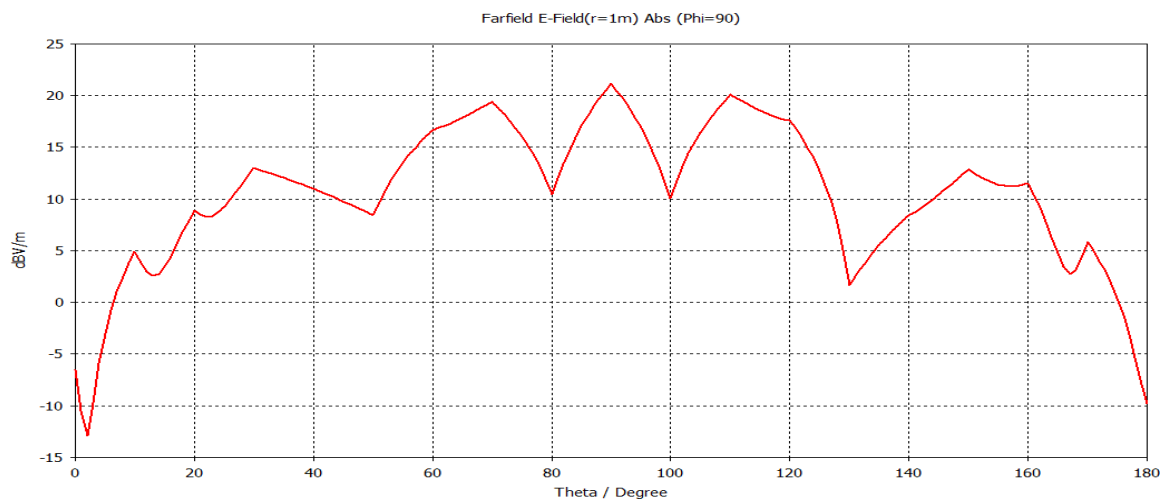
### ۲-۳- تابش از داخل اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع

شکل ۲۶ محل قرارگیری آنتن فرستنده را در مرکز اتاقی به ابعاد ۳\*۲ متر مربع نشان می‌دهد.



شکل ۲۶: قرار گیری آنتن فرستنده در داخل اتاقی با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

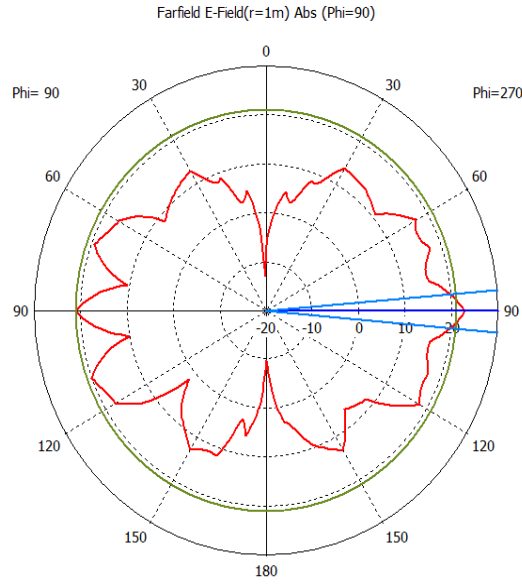
برای مشخص کردن بهترین مکان قرار گرفتن آنتن گیرنده، شدت میدان الکتریکی را در کره‌ای به شعاع یک متر حول آنتن فرستنده به دست می‌آوریم. در شکل ۲۷ شدت میدان الکتریکی برآیند نشان داده شده است. با توجه به شکل ماکسیمم شدت میدان الکتریکی در زاویه ۹۰ درجه روی می‌دهد. این به این معناست که بهترین محل قرار گیری آنتن گیرنده در نقطه‌ای هم ارتفاع با آنتن فرستنده و به صورت هم راستا با آن است. در این حالت تنها با تغییر ۱۰ درجه‌ای در زاویه، شدت میدان به سرعت افت می‌کند. با قرار گرفتن آنتن گیرنده در زوایای ۰ یا ۱۸۰ درجه شدت میدان بسیار ناچیز بوده و توان بسیار کمی به آنتن گیرنده منتقل می‌شود. بنا براین بدترین مکان برای قرار گیری آنتن گیرنده در بالا و یا پایین آنتن فرستنده است که معادل زوایای ۰ یا ۱۸۰ درجه است.



شکل ۲۷: شدت میدان الکتریکی حول آنتن فرستنده در داخل اتاقی با ابعاد ۳\*۲ متر مربع

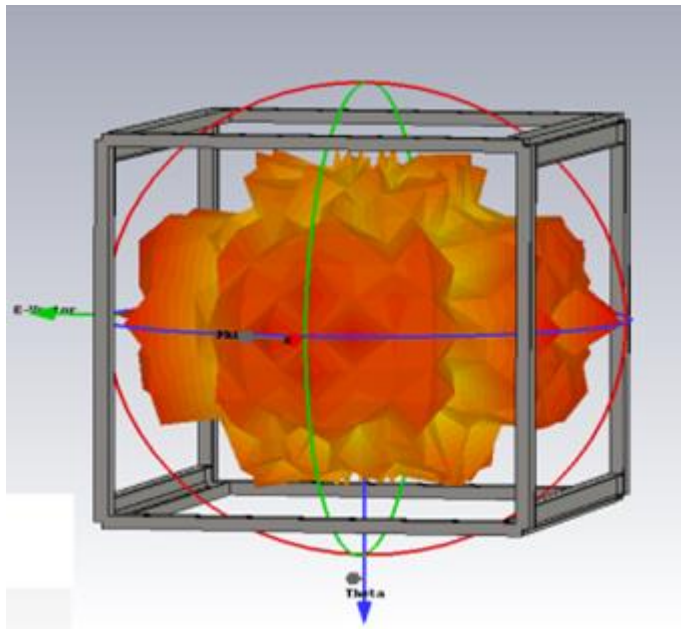
در شکل ۲۸ نمودار قطبی شدت میدان الکتریکی نیز آورده شده است. با توجه به شکل ۲۸ بهترین مکان قرار گیری آنتن گیرنده در نقطه‌ای هم ارتفاع با آنتن فرستنده و با اختلاف زاویه‌ی حداکثر ۷ درجه نسبت به آنتن فرستنده است.





شکل ۲۸: نمودار قطبی شدت میدان در داخل اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع

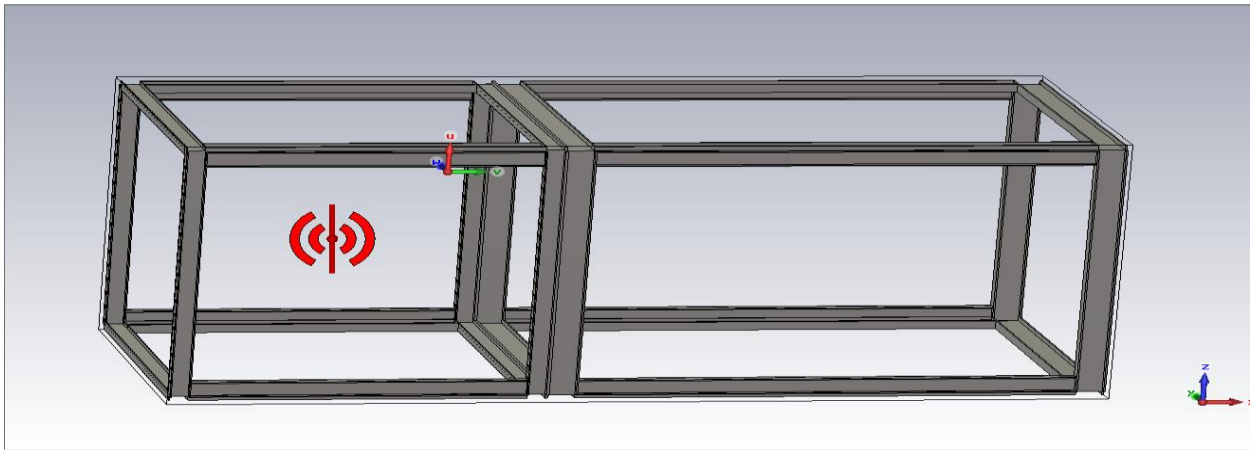
در شکل ۲۹ نمودار سه بعدی شدت میدان الکتریکی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲۲ در می یابیم که با نزدیک شدن به دیواره ها شدت میدان الکتریکی افزایش یافته در نتیجه توان دریافتی توسط آنتن گیرنده نیز افزایش خواهد یافت. بنا براین قرارگیری آنتن گیرنده در مکان هایی نزدیک به دیواره ها و هم ارتفاع با آنتن فرستنده بهترین نتیجه را خواهد داشت.



شکل ۲۹: نمای سه بعدی شدت میدان در داخل اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع

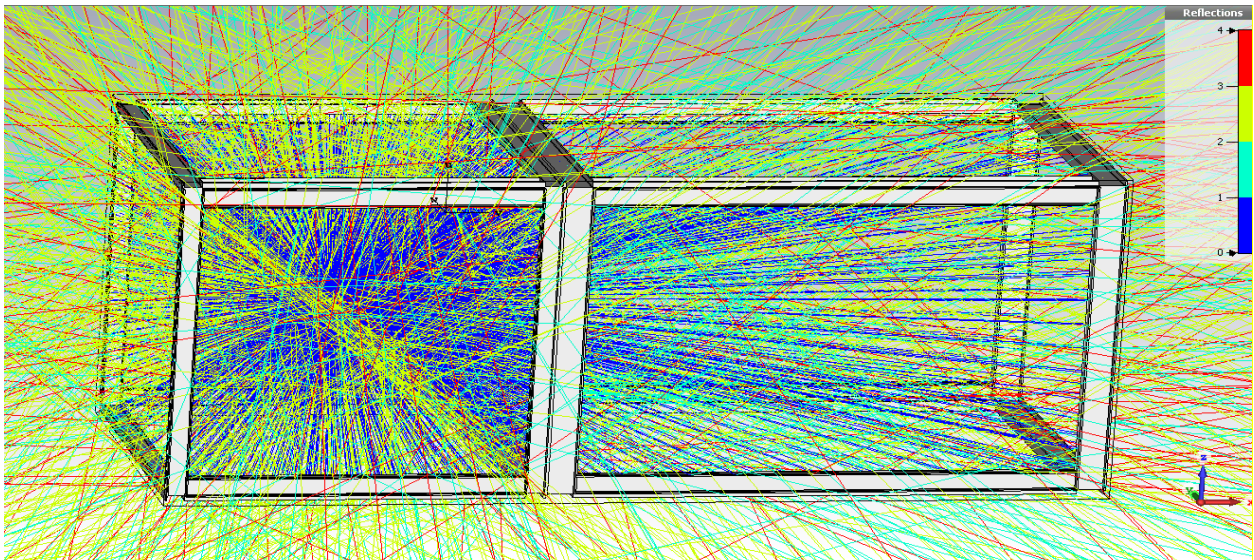
۴-۲ تابش از داخل اتاقی با ابعاد ۲\*۳ متر مربع در مجاورت اتاقی با ابعاد ۳\*۴ متر مربع

شکل ۳۰ نمای قرار گیری آنتن فرستنده را در یک اتاق ۲\*۳ در مجاورت اتاق ۳\*۴ نشان می دهد.



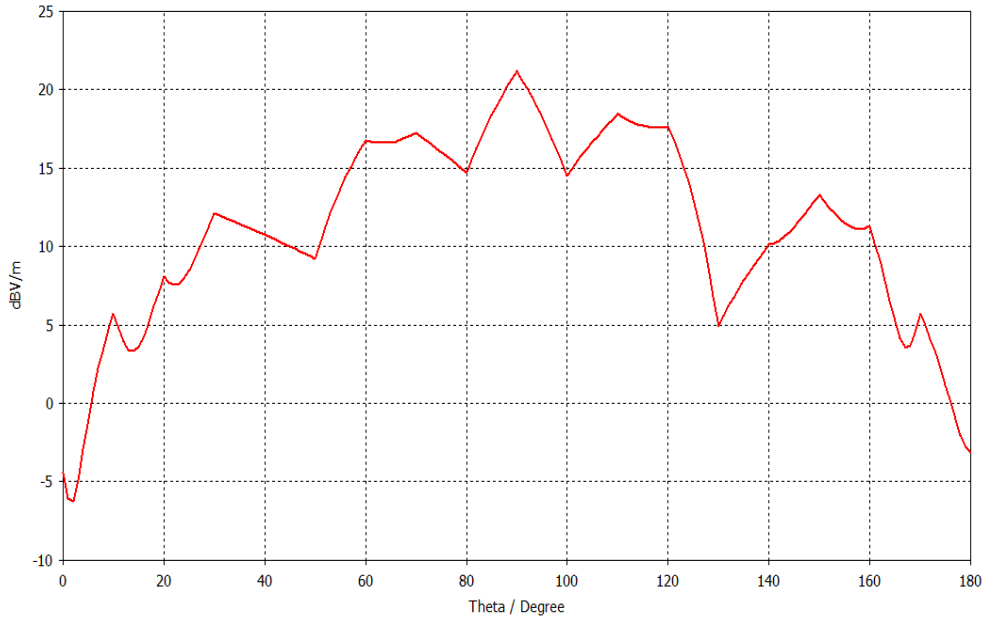
شکل ۳۰: قرار گیری آنتن فرستنده در اتاق های مجاور

شکل ۳۱ نمای پرتوهای بازتابشی را تا مرتبه ۴ نشان می دهد.



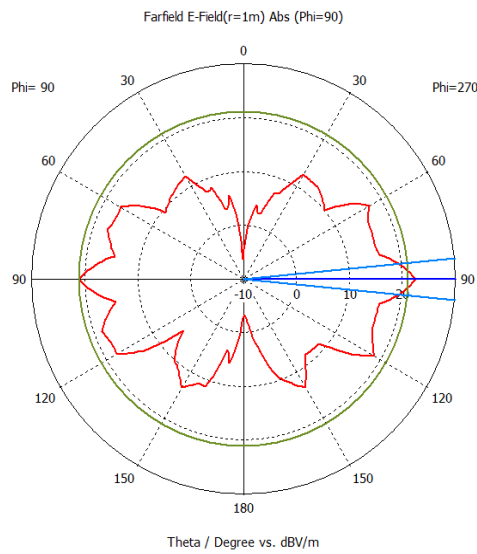
شکل ۳۱: الگوی پرتوهای بازتابشی تا مرتبه چهارم در اتاق های مجاور

شدت میدان الکتریکی برآیند در شکل ۳۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است ماکسیمم شدت میدان الکتریکی در زاویه ۹۰ درجه روی می دهد. با افزایش یا کاهش ۱۰ درجه ای زاویه نسبت به زاویه ۹۰ درجه شدت میدان الکتریکی افت کرده و توان دریافتی توسط آنتن گیرنده کاهش خواهد یافت. بر این اساس بهترین مکان قرار گیری آنتن گیرنده در ارتفاعی برابر با ارتفاع آنتن فرستنده و اختلاف زاویه ای حد اکثر ۱۰ درجه ای نسبت به راستای آنتن فرستنده است



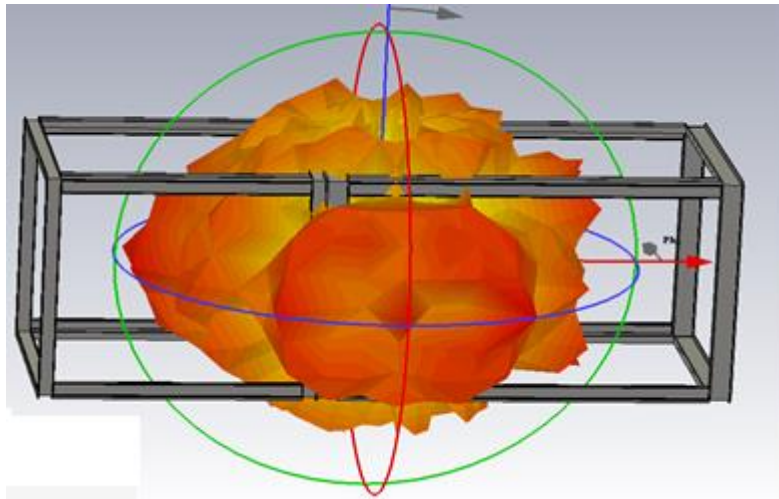
شکل ۳۲: شدت میدان الکتریکی آنتن فرستنده در اتاق‌های مجاور

در شکل ۳۳ نمای قطبی شدت میدان الکتریکی به نمایش آمده است.



شکل ۳۳: نمای قطبی شدت میدان الکتریکی در اتاق‌های مجاور

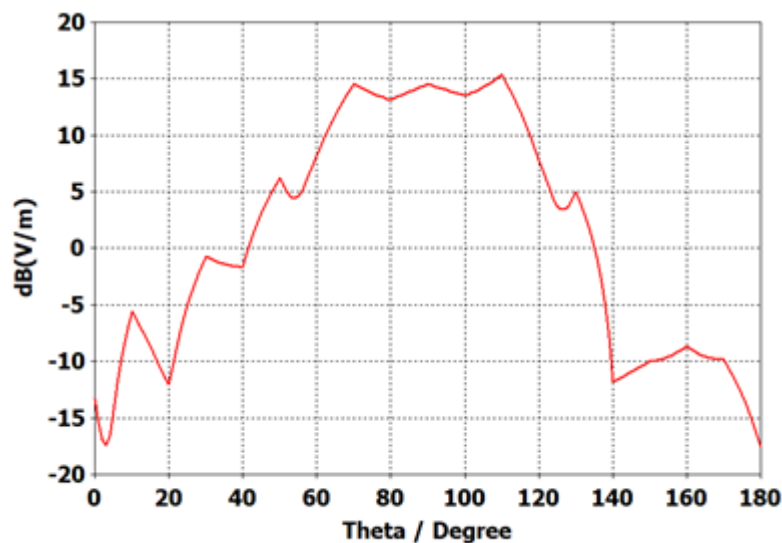
نمای سه بعدی شدت میدان الکتریکی در شکل ۳۴ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۳۴ نیز پیداست نزدیک شدن به دیواره‌های اتاق سبب افزایش دامنه شدت میدان الکتریکی خواهد شد. بنابراین بهترین مکان قرار گیری آنتن گیرنده در ارتفاعی برابر با آنتن فرستنده و اختلاف زاویه‌ای حداکثر ۱۰ درجه‌ای با آن و نزدیک دیواره‌های اتاق است.



شکل ۳۴: نمای سه بعدی شدت میدان الکتریکی در اتاق‌های مجاور

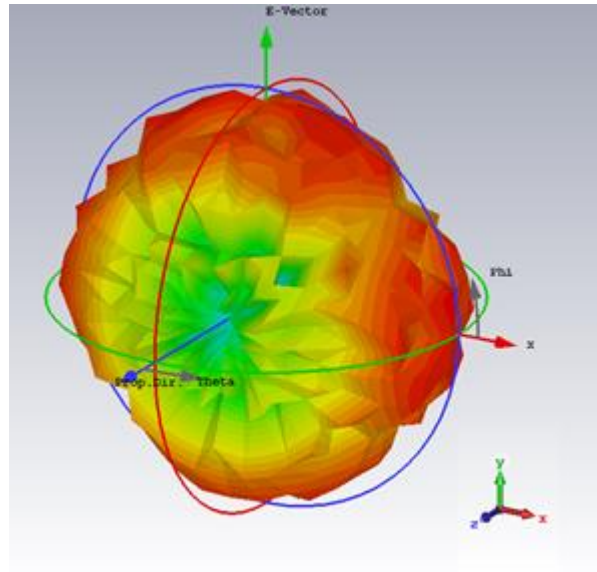
## ۲-۵ نتایج شبیه سازی در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز

برای بررسی تغییر فرکانس در شرایط ایجاد شده، فرکانس کاری را تغییر داده و با فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز در اتاق ۳\*۲ متر مربع در حالات متقارن و نامتقارن بررسی را انجام می‌دهیم. در شکل ۳۵ شدت میدان الکتریکی نمایش داده شده است.



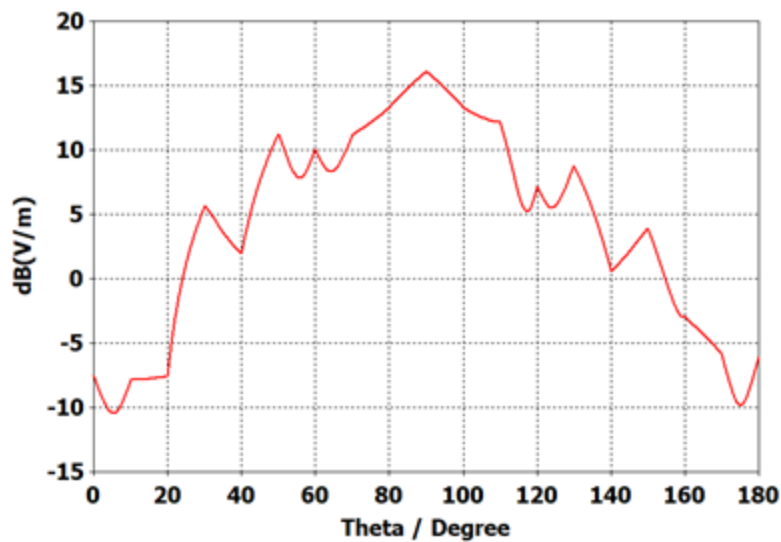
شکل ۳۵: شدت میدان الکتریکی آنتن فرستنده در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز

با توجه به شکل ۳۵ در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز ماکسیمم شدت میدان الکتریکی در زاویه ۹۰ درجه روی می‌دهد ولی در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز، ماکسیمم شدت میدان الکتریکی در زاویه ۱۱۰ درجه روی می‌دهد. بنابراین بهترین مکان قرارگیری گیرنده در زاویه ۱۰ درجه نسبت به راستای آنتن است. در فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز دامنه شدت میدان الکتریکی حول زاویه ۹۰ درجه نوسان می‌کند ولی در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز شدت میدان از زاویه ۷۰ الی ۱۱۰ تقریباً یکنواخت است. همانند فرکانس ۲/۴ گیگاهرتز در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز نیز کمینه شدت میدان در زوایای ۰ و ۱۸۰ درجه روی می‌دهد که بدترین مکان برای قرارگیری گیرنده است.



شکل ۳۶: نمای سه بعدی شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز

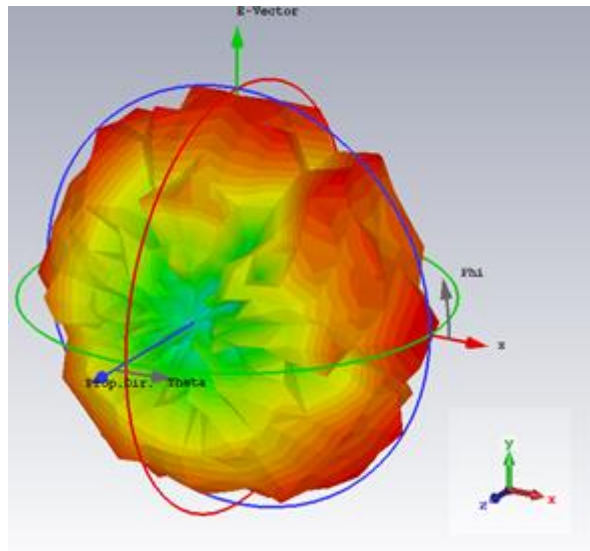
قرار گیری فرستنده به صورت نامتقارن در فرکانس ۵,۸ در ارتفاع یک متری از کف اتاق در شکل ۳۷ شبیه‌سازی شده است.



شکل ۳۷: شدت میدان الکتریکی آنتن فرستنده در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز به صورت نامتقارن

با توجه به شکل ولی در فرکانس ۵/۸ گیگا بصورت نامتقارن دامنه شدت میدان الکتریکی در زاویه ۹۰ درجه است ولی در فرکانس ۵,۸ گیگا هرتز شدت میدان از زاویه ۷۰ الی ۱۱۰ تقریباً یکنواخت است. همانند فرکانس ۲,۴ گیگا هرتز در فرکانس ۵,۸ گیگا هرتز نیز کمینه شدت میدان در زوایای ۰ و ۱۸۰ درجه روی می‌دهد که بدترین مکان برای قرارگیری گیرنده است.



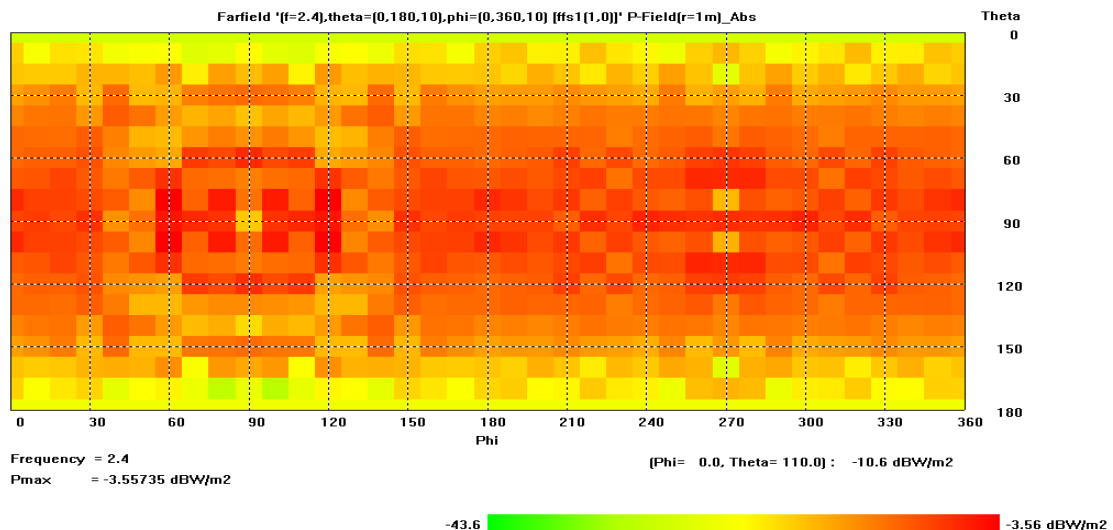


شکل ۳۸: نمای سه بعدی شدت میدان الکتریکی در فرکانس ۵/۸ گیگاهرتز نامتقارن

### ۳- سناریوی بهترین مکان قرار گیری نقاط دسترسی در حالات مختلف

برای محاسبه بهترین مکان قرارگیری در نقاط مختلف ساختمان می‌بایست توان دریافتی در هرکدام از نقاط ساختمان را به دست آورد [۲۱]. با فرض قرارگیری آنتن فرستنده در مکان‌های اشاره شده، چگالی توان منتشر شده در هر نقطه از اتاق بر حسب زوایای ارتفاع و سمت ( $\theta$ ,  $\phi$ ) محاسبه شده و الگوی آن به دست می‌آید. طبیعی است که در مناطقی که چگالی توان حداکثر است، بهترین نقاط برای قرارگیری آنتن گیرنده است.

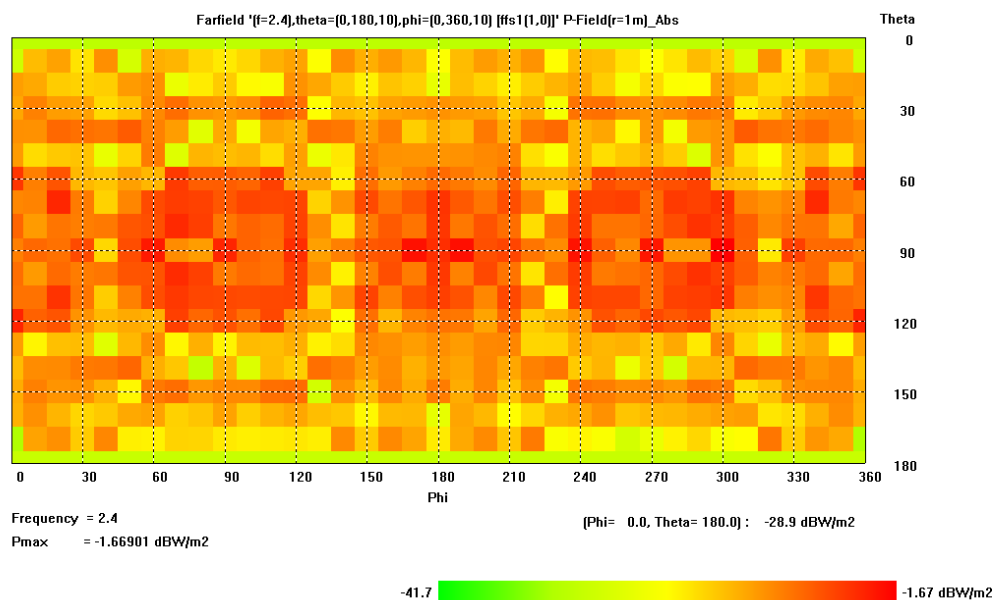
شکل ۳۹ چگالی توان ارسالی از آنتن فرستنده را به فاصله یک متر از دیواره در بیرون یک اتاق  $۲ \times ۳$  نشان می‌دهد.



شکل ۳۹: چگالی توان ارسالی از آنتن فرستنده در فاصله یک متر از دیواره در بیرون یک اتاق  $۲ \times ۳$

در شکل ۳۹ نقاط پررنگ‌تر نشان دهنده چگالی توان بیشتر است. حداکثر چگالی توان ارسالی برابر  $۳/۵$  -  $\text{dBW/m}^2$  است. به تدریج و با کاهش شدت رنگ از چگالی توان نیز کاسته می‌شود. با توجه به شکل بیشترین چگالی توان در زوایای سمت  $۶۰$  الی  $۱۲۰$  درجه و  $۲۴۰$  الی  $۳۰۰$  درجه و در زوایای ارتفاع  $۶۰$  الی  $۱۲۰$  درجه روی می‌دهد. برای زوایای ارتفاع بین  $۶۰$  الی  $۳۰$  درجه و  $۱۲۰$  الی  $۱۵۰$  درجه چگالی توان افت می‌کند. چگالی توان برای زوایای ارتفاع کمتر از  $۳۰$  درجه و نیز بیشتر از  $۱۵۰$  درجه دچار افت شدید شده و تقریباً به صفر میل می‌کند. در زوایای سمتی معادل  $۹۰$  درجه و  $۲۷۰$  درجه شاهد نقاط کور هستیم که این نقاط دقیقاً در میان مناطقی

با حداکثر چگالی توان هستند. این امر به دلیل اثر متقابل غیر هم فاز بردار شدت میدان الکتریکی در این نقاط است [۲۲]. با فاصله اندکی از این نقاط بار دیگر توان دریافتی به حداکثر می‌رسد. در شبکه‌های تلفن همراه نیز این مسئله بسیار روی می‌دهد که با جابجایی اندک نسبت به این نقاط کور مشکل حل می‌شود. برای داشتن حداکثر گیرندگی، آنتن گیرنده می‌بایست در زوایای ارتفاعی بین ۶۰ الی ۱۲۰ درجه و زوایای سمتی به غیر از ۹۰ و ۲۷۰ درجه قرار داشته باشد. شکل ۴۰ چگالی توان ارسالی از آنتن فرستنده را در اتاق‌های مجاور نشان می‌دهد.



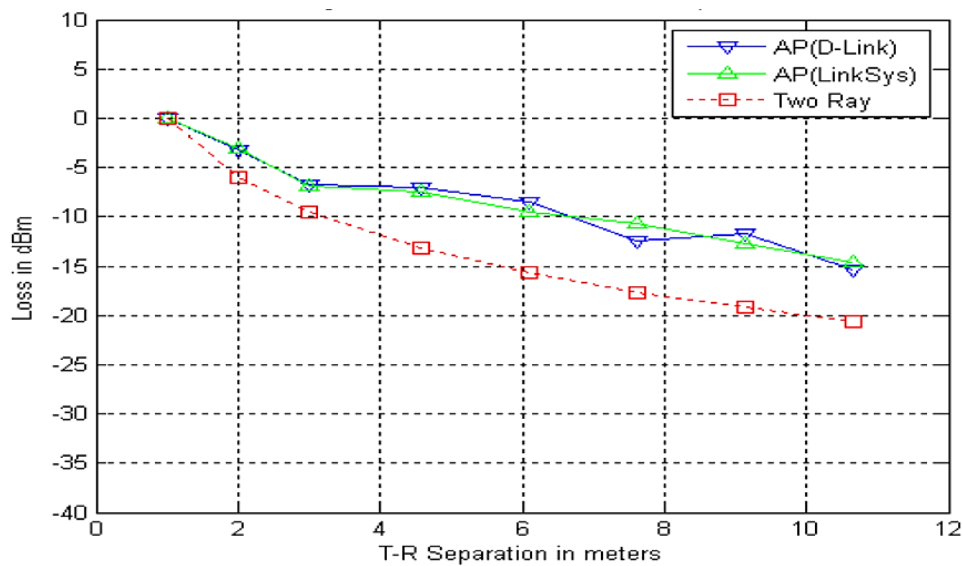
شکل ۴۰: چگالی توان ارسالی از آنتن فرستنده در اتاق‌های مجاور

در این حالت نیز حداکثر چگالی توان منتشره در زوایای ارتفاع ۶۰ الی ۱۲۰ درجه روی می‌دهد. در زوایای ارتفاع کمتر از ۶۰ درجه و بیشتر از ۱۲۰ درجه شاهد افت شدید چگالی توان منتشره هستیم. در جهت زاویه سمت نیز شاهد نقاط کور متعددی هستیم که در مجاورت نواحی با چگالی توان حداکثر هستند. همانند قسمت‌های قبل قرار گیری آنتن گیرنده در این نواحی سبب افت شدید توان دریافتی خواهد شد.

برای مقایسه این روش با روش مرجع [۳]، ابتدا قدرت سیگنال دریافتی از یک فرستنده مشخص در مکان‌های متفاوت ساختمان اندازه‌گیری می‌شود و نتایج به دست آمده به صورت نموداری رسم می‌شود. سپس با استفاده از نرم افزار MATLAB، مدل انتشاری به صورت تقریبی به دست می‌آید. برای این منظور اطلاعات حاصل از مقاله موردنظر را که بصورت عملی جمع آوری شده است به کمک نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی و با روش پیشنهادی مقایسه شده است. روش مدل‌سازی در بیشتر این تحقیقات بر مبنای اندازه‌گیری‌های عملی با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری و مدل‌سازی به روش‌های آنالیز عددی است. در این تحقیقات با فرض فرکانس کاری مشخص، اندازه‌گیری‌ها در سناریوهای متفاوت از ترکیب اتاق‌ها و راهروهای ساختمان انجام شده سپس نتایج حاصله با استفاده از نرم افزار MATLAB آنالیز شده و الگوی انتشاری برای این سناریوها به دست می‌آید.

با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری‌های عملی، مدل به دست آمده چندان کاربردی برای تمامی حالات ندارد و فقط حالت‌های خاص را شامل می‌شود. برای مقایسه نتایج، نمودار تلفات بر حسب فاصله به دست آمده در مقاله فوق را با نمودار مقاله حاضر با نرم افزار CST، مقایسه می‌کنیم. در شکل ۴۱ نمودار موردنظر مشاهده می‌شود.





شکل ۴۱: مقایسه نتایج حاصله از اندازه گیری عملی [۳] و شبیه سازی مقاله حاضر

در شکل ۴۱ نمودار تلفات بر حسب فاصله اندازه گیری شده توسط دو دستگاه D-Link و LinkSys را در مقایسه با نمودار تلفات شبیه سازی شده با استفاده از روش رهگیری پرتو تا مرتبه دوم مشاهده می شود.

همانگونه که در شکل ۴۱ نیز مشاهده می شود تشابه بسیار خوبی بین نتایج حاصل از اندازه گیری دستی و نتایج حاصل از شبیه سازی وجود دارد. در فواصل کم و تلفات نزدیک به صفر دسی بل نتایج حاصل از اندازه گیری و شبیه سازی تا حدود زیادی برابر است. با افزایش فاصله و در نتیجه افزایش تلفات، این دو نمودار از یک دیگر فاصله گرفته ولی رفتار مشابهی را دنبال می کنند. برای تلفاتی کمتر از  $-10$  دسی بل حداکثر اختلاف بین اندازه گیری و شبیه سازی ۲ دسی بل است که تفاوتی قابل قبول بوده و می توان آن را به خطاهای اندازه گیری نسبت داد. برای تلفات بیشتر از  $-10$  دسی بل اختلاف دو نمودار افزایش می یابد که این امر با توجه به اینکه مقیاس نمودارها لگاریتمی بوده و مقادیر کمتر از  $-10$  دسی بل بسیار کوچک است، چندان قابل توجه نیست. در کل می توان نتیجه گیری کرد که تشابه بالایی بین نتایج حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری موجود است با این تفاوت که روش شبیه سازی قابلیت و سرعت بسیار بالایی را فراهم می کند.

جدول ۱: مقایسه نتایج شبیه سازی روش اثر انگشت با دو دستگاه و روش رهگیری پرتو

فاصله (متر)	تلفات در روش پیشنهادی	تلفات در روش اثر انگشت (Link Sys) مرجع [۳]	تلفات در روش اثر انگشت (D-link) مرجع [۳]
۱	۰	۰	۰
۲	-۶	-۳	-۳
۳	-۹	-۶	-۶
۴	-۱۲	-۶	-۶
۶	-۱۵	-۹	-۹
۸	-۱۸	-۱۲	-۱۲
۱۰	-۲۰	-۱۴	-۱۴

## ۴- نتیجه‌گیری

قسمت‌های فلزی ساختمان، با توجه به ماهیت امواج الکترومغناطیسی، تأثیر بسیاری در پدیده انتشار امواج دارند. در این مقاله قدرت سیگنال دریافتی از یک فرستنده مشخص در مکان‌های متفاوت ساختمان با استفاده الگوریتم رهگیری پرتو شبیه سازی شد و سناریوی انتشاری بر اساس نتایج شبیه سازی به دست آمد. در این روش بجای حل رابطه دیفرانسیلی در محیط‌های بزرگ، امواج الکترومغناطیسی بصورت پرتوهای نوری فرض شده و نحوه انتشار و تداخل این امواج با همدیگر، و با شرایط مرزی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد، که با این فرض سرعت حل و حجم محاسبات کاهش می‌یابد. با توجه به عدم محدودیت شبیه سازی، مدل به دست آمده کاربردی بوده و امکان محاسبه آن برای تمامی حالات موجود فراهم است، به گونه‌ای که می‌توان مدل را بر اساس حرکت فرستنده یا گیرنده و در کل مختصات فضایی به دست آورد.

## ۵- مراجع

- [1] G. Miao, J. Zander, K. Won Sung and B. Slimane, “*Fundamentals of Mobile Data Networks.*” Cambridge University Press, ISBN 1107143217, 2016.
- [2] N. Sudhakar Reddy, K. Siddappa Naidu, S. Ashok Kumar, “Performance and design of antenna for UWB band applications.” *Alexandria Engineering Journal*, vol.57, no. 2, pp. 67, 2018.
- [3] S. Xia, Y. Liu, G. Yuan, M. Zhu and Z. Wang. “Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi.” *International Journal of Geo-Information*, vol.6, no.5, pp. 135, 2017.
- [4] A. V. Gureev, Y. I. Shtern, M. Y. Shtern Thurain Tun and I. S. Karavaev. “Mathematical Simulation of Indoor Wireless Networks.” *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol.12, no. 5, pp. 4001, 2016.
- [5] Y. Wang, C. Xiu, X. Zhang, and D. Yang. “WiFi Indoor Localization with CSI Fingerprinting-Based Random Forest.” *Sensors*, vol.18, no.9. 2018.
- [6] A.F. Agelet, A. Formella, J.M.H. Rabanos, I.F. de Vicente, and P.F. Fontan. “CST ray-tracing techniques for radio propagation modeling.” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, 2000, pp. 2089–2104.
- [7] V.Garmash, S.Matveev, Y.Petrov, V.Rogozhin and S.Rudika, “Processing of radar images containing objects with significantly different radar cross-section in the onboard remote sensing complex for search and rescue operations in the Arctic Region.” *ITM Web Conf.*, 2019, pp.15023.
- [8] Y. Zhengqing and I. Magdy. “Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications. Access.” *IEEE transaction Principles and Applications*, vol.3, pp.1089, 2015.
- [9] S. Ahsan, A. Zeeshan and A. Iftikhar, “Analysis and Measurement of WIFI Signals in Indoor Environment.” *International journal of Advances in Engineering & Technology*, vol.6, no 2. pp 678, 2014.
- [10] A. V. Gureev, “Abstraction in Simulation of Indoor Wireless Networks.” *Global Journal of Pure and Applied Mathematics* vol.12, no. 5, 2016.
- [11] A. Alhamoud, M. Kreger, “Empirical investigation of the effect of the door's state on received signal strength in indoor environments at 2.4 GHz.” in *IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2014, pp. 652-657.
- [12] A.R Sandeep, Y.Sheryas. “Wireless Network Visualization and Indoor Empirical Propagation Model for a Campus WIFI Network.” *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol.2, pp. 150–153, 2014.
- [13] R. Mardeni, Y. Solahuddin. “Path loss model development for indoor signal loss prediction at 2.4 GHz” *Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), International Conference*, 2012, pp1-4.
- [14] T.T. Khanh, V. Nguyen, XQ. Pham et al. “Wi-Fi indoor positioning and navigation: a cloudlet-based cloud computing approach.” *Hum. Cent. Comput. Inf. Sci.* vol.10, no.32, 2020.
- [15] S. Garcia-Villalonga and A. Perez-Navarro, “Influence of human absorption of Wi-Fi signal in indoor positioning with Wi-Fi fingerprinting,” *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-10, 2015.

- [16] K. Ullah, I. V. Custodio, N. Shah and E. D. S. Moreira, "An Experimental Study on the Behavior of Received Signal Strength in Indoor Environment," in *International Conference on Frontiers of Information Technology*, pp. 259-264, 2013.
- [17] L. Zhang, S. Valace, Y. Xu, L. Ma and, F. Vedadi "Graph-based semisupervised learning for indoor localization using crowdsourced data." *Appl. Sci.* vol.7, pp. 467, 2017.
- [18] Z. Zhang, Z. Tian, M. Zhou, Z. Li, Z. Wu and Y. Jin, "WIPP: Wi-Fi compass for indoor passive positioning with decimeter accuracy." *Appl. Sci.* vol.6, pp. 108, 2016.
- [19] N. Hernández, M. Ocaña, J. Alonso and E. Kim, "Continuous space estimation: Increasing WiFi-based indoor localization resolution without increasing the site-survey effort." *Sensors*, vol.17,no.1, pp. 147, 2017.
- [20] L. Zheng, B. Hu, H. A, Chen," high accuracy time-reversal based WiFi indoor localization approach with a single antenna" *Sensors*, vol.18, no.10, pp. 3437, 2018.
- [21] C. Zhenghua, H. Zou, J. Yang, H. Jiang, and Lihua Xie. "WiFi fingerprinting indoor localization using local feature-based deep LSTM." *IEEE Systems Journal*, vol.14, no. 2, pp.3001-3010, 2019.
- [22] Y. S. Chen, F. P. Lai and J. W. You, "Analysis of Antenna Radiation Characteristics Using a Hybrid Ray Tracing Algorithm for Indoor WiFi Energy-Harvesting Rectennas," in *IEEE Access* ,vol.7, pp. 38833-38846, 2019.

## Simulating of Indoor WIFI Wave Propagation to Select Receiver Localization

Hamidreza Ataii<sup>1</sup>, Mojdeh Mahdavi<sup>1\*</sup>, Mohsen Maadani<sup>1</sup>

1\*: Department of Electronics, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
Mahdavi.qodsiau@gmail.com

### ABSTRACT:

With the widespread use of WIFI networks, access location optimization is needed to improve network performance in the buildings. Wave propagation inside the building is one of the most challenging issues in network design and optimal location. Different parts of the building have different effects on the propagation of waves inside the building, such as fading, scattering and propagation of waves in several directions. Due to the nature of electromagnetic waves, the metal parts of the building have a great effect on the propagation of waves. In this paper, the effect of different metal parts of the building, including beams and door and window frames in standard dimensions, on the propagation of WIFI waves using Ray Tracing algorithm and CST software is modeled, and propagation patterns for different angles and distances are obtained. With the using of CST software, various modes such as rooms with different dimensions can be modeled. Then, based on the results, calculate the best location for the receiver. The results show that this method provides better capabilities than statistical methods to determine the best location of the receiver in the building.

**KEYWORDS:** Wave propagation, Ray Tracing, WIFI, CST Simulator.