

# افزایش دوام جاذب‌های هرمی به کار رفته در اتاق شبه بدون انعکاس

سید معین پیشنماز<sup>۱</sup> پریسا دهخدا<sup>۲</sup> احد توکلی<sup>۳</sup> سید حسین حسام‌الدین صادقی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد مخابرات میدان، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

[pishnamaz@aut.ac.ir](mailto:pishnamaz@aut.ac.ir)

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

[pdehkhoda@aut.ac.ir](mailto:pdehkhoda@aut.ac.ir)

۳- استاد، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

[tavakoli@aut.ac.ir](mailto:tavakoli@aut.ac.ir)

۴- استاد، دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران- ایران

[sadeghi@aut.ac.ir](mailto:sadeghi@aut.ac.ir)

**چکیده:** جاذب‌های هرمی به کار رفته در کف اتاق شبه بدون انعکاس به دلیل جابجایی مداوم در معرض ساییدگی و فرسودگی قرار دارند. در این مقاله، برای افزایش دوام این جاذب‌ها یک راهکار عملی ارائه شده است که عملکرد آنها را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. در این راهکار، با قرار دادن هر واحد جاذب در یک جعبه با ابعاد مشخص از جنس MDF به عنوان پایه از تماس مستقیم دست با سطح جاذب به هنگام حمل و نقل جلوگیری می‌شود و به این ترتیب، عمر مفید جاذب افزایش می‌یابد. با شبیه‌سازی ساختار جدید جاذب که در داخل پایه قرار گرفته، تاثیر استفاده از پایه با ابعاد داده شده بر عملکرد جاذب نشان داده شده است. از سوی دیگر نتایج اندازه گیری میدان در اتاق شبه بدون انعکاس پس از اضافه شدن ساختار جدید جاذب‌ها، نشانگر آن است که جعبه‌های استفاده شده شرایط استاندارد لازم جهت انجام آزمون مصونیت در مبحث سازگاری الکترومغناطیسی را برآورده می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** جاذب هرمی، اتاق شبه بدون انعکاس، سازگاری الکترومغناطیسی، آزمون مصونیت

**نوع مقاله:** پژوهشی

DOI: 10.29252/jiaeee.18.3.998

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۷/۱۹

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۳/۲۴

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر پریسا دهخدا

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - تهران - خیابان حافظ - پلاک ۴۲۴ - دانشگاه صنعتی امیر کبیر - دانشکده‌ی برق

## ۱- مقدمه

نویسندگان مقاله اطلاع دارند، تا کنون برای افزایش عمر مفید جاذب‌ها پس از اتمام ساخت آنها پژوهشی گزارش نشده است.

در این مقاله یک راهکار عملی، ارزان قیمت و با حداقل تاثیر بر عملکرد الکترومغناطیسی جاذب‌ها ارائه می‌شود. در این روش که در مرکز سازگاری الکترومغناطیسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر عملیاتی شده است، یک جعبه با ابعاد معین از جنس MDF (که مشخصات الکترومغناطیسی آن نزدیک به هواست) به عنوان پایه مورد استفاده قرار گرفته و هر واحد جاذب از قسمت پایینی داخل آن قرار می‌گیرد. این مسأله سبب می‌شود که به هنگام جابجایی جاذب‌ها، از تماس مستقیم دست با بدنه‌ی آنها جلوگیری شود. با این کار، قسمت‌هایی از جاذب که در معرض ساییدگی است محافظت می‌شود و عمر مفید آن افزایش می‌یابد.

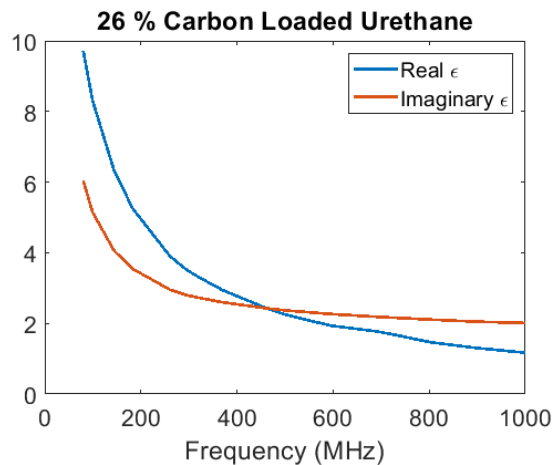
ساختار این مقاله به شرح زیر است: ابتدا در بخش بعدی، عملکرد جاذب‌های هرمی موجود در مرکز سازگاری الکترومغناطیسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر به عنوان نمونه در نرم افزار CST مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در بخش سوم، تاثیر قرار دادن یک واحد جاذب در یک جعبه‌ی MDF توسط CST شبیه‌سازی و مطالعه می‌شود. پس از حصول اطمینان از تاثیر حداقل جعبه بر عملکرد الکترومغناطیسی جاذب‌ها، در بخش چهارم، به تعداد واحد جاذب‌ها جعبه‌ی طراحی شده ساخته شده و اندازه‌گیری لازم جهت اطمینان از عملکرد ساختار جدید جاذب‌ها از حیث برآورده کردن شرایط مورد نیاز استاندارد در اتاق شبه بدون انعکاس انجام می‌شود.

## ۲- جاذب‌های هرمی

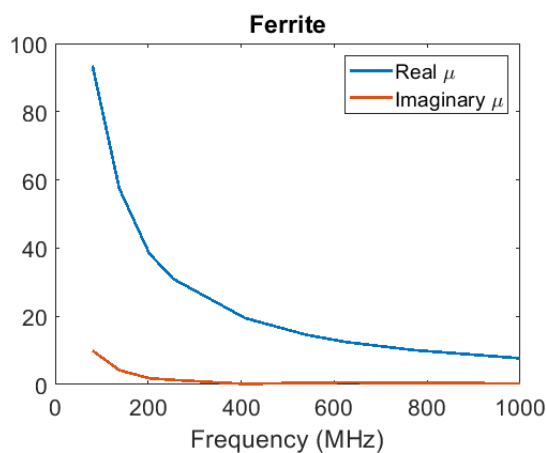
در این بخش، به بررسی جاذب‌های هرمی توسط نرم افزار CST Microwave Studio می‌پردازیم. به عنوان نمونه، جاذب‌های به کار رفته در کف اتاق شبه بدون انعکاس مرکز سازگاری الکترومغناطیسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر در دو مدل TYPE1 و TYPE2 در قالب‌های مربعی شکل طبق شکل‌های (۱) و (۲) مورد بررسی قرار می‌گیرند. ابعاد این قالب‌ها در جدول (۱) آورده شده است. از آنجایی که ماده‌ی سازنده‌ی جاذب‌ها اورتان حاوی کربن است، از اطلاعات موجود در [۵] برای استخراج پارامترهای ساختاری جاذب‌ها استفاده شده است. در [۵] مقادیر حقیقی و موهومی ضریب دی الکتریک،  $\epsilon$ ، برای سه درصد مختلف کربن ارائه شده است. با توجه به این که در این مرجع درصد کربن ۲۶٪ به عنوان مقدار مورد استفاده در جاذب‌های تجاری معرفی شده است، شبیه‌سازی‌ها با استفاده از این مقادیر انجام شده است. مقادیر  $\epsilon$  در فرکانس ۸۰ تا ۱۰۰۰ مگاهرتز در شکل (۳) ارائه شده است. توجه شود که جاذب TYPE2 همراه با یک لایه فریت به ضخامت ۱٫۵ سانتی‌متر در زیر استفاده می‌شود. مقادیر حقیقی و موهومی ضریب تراوایی مغناطیسی،  $\mu$ ، برای فریت استفاده شده نیز در شکل (۴) نشان داده شده است [۵]. حضور فریت

امروزه بر مبنای الزام صریح استانداردهای وضع شده توسط سازمان‌های بین‌المللی و داخلی، باید کلیه تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی پیش از رسیدن به مصرف‌کننده تحت آزمون‌های متفاوتی قرار گرفته و شرایط خاصی را برآورده کنند. یکی از این شرایط، آزمون‌های مرتبط با سازگاری الکترومغناطیسی است. این آزمون‌ها در دو دسته‌ی کلی مصونیت و گسیلش طبقه‌بندی می‌شوند. هدف از انجام آزمون‌های مصونیت، حصول اطمینان از صحت عملکرد تجهیز هنگامی که در معرض موج تابشی یا هدایتی قرار گرفته است، می‌باشد. در آزمون‌های گسیلش نیز میدان گسیل شده‌ی تابشی یا هدایتی از یک تجهیز اندازه‌گیری شده و با حدود مجاز بیان شده در استانداردها مقایسه می‌شود. برای انجام هر دو آزمون مصونیت و گسیلش تابشی، از اتاق‌های شبه بدون انعکاس استفاده می‌شود تا شرایط فضای آزاد برای آزمون احراز شود. در این اتاق‌ها با استفاده از انواع مختلف جاذب‌های الکترومغناطیسی روی دیوارها، بازتاب از دیوارها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. ولی بر خلاف اتاق بدون انعکاس، در اتاق شبه بدون انعکاس کف اتاق از جاذب پوشیده نمی‌شود و تنها قسمتی از کف اتاق بر مبنای استاندارد آزمون که قرار است انجام شود جاذب قرار داده می‌شود. طبق استانداردهای بین‌المللی CISPR11، CISPR22 و CISPR25 و کلیه استانداردهای مشابه که روش آزمون گسیلش تابشی را بیان می‌کنند، برای اندازه‌گیری تا فرکانس ۱ گیگاهرتز نیازی به گذاشتن جاذب روی کف اتاق جهت حذف انعکاس میدان از کف اتاق نیست ولی طبق استاندارد بین‌المللی IEC610004-3 در آزمون مصونیت تابشی، باید جاذب‌هایی از انواع متفاوت بر روی کف اتاق قرار گیرند تا از بازتاب از کف اتاق جلوگیری شود. عدم انعکاس میدان از کف اتاق سبب سهولت ایجاد میدانی با دامنه یکنواخت در یک ناحیه مشخص از اتاق می‌شود. تقابل دو آزمون گسیلش و مصونیت در استفاده از جاذب‌ها در کف اتاق سبب می‌شود که پیش از هر نوبت آزمون مصونیت یا گسیلش متناظراً جاذب‌ها در کف اتاق قرار داده شده و یا از اتاق خارج شوند. همین جابجایی مداوم جاذب‌های هرمی به علت برخورد مستقیم دستکش به بدنه‌ی آنها در دراز مدت باعث فرسودگی آن‌ها شده و عمر مفیدشان را کاهش می‌دهد.

پیش از این برای افزایش دوام جاذب‌های الکترومغناطیسی، راهکارهایی ارائه شده اند که اکثر آن‌ها مربوط به راه حل‌هایی در مرحله‌ی ساخت جاذب‌ها هستند. برای مثال گروه Microwave Vision، علاوه بر جاذب‌های عادی با متوسط عمر مفید ۵ سال، جاذب‌هایی با روکش پلاستیک ارائه می‌دهد که با مقاومت در برابر ساییدگی، می‌توانند بیش از ۱۰ سال عملکرد مطلوب خود را حفظ کنند [۱]. استفاده از مواد اولیه متفاوت نظیر پسماندهای گیاهی [۲]، بتن اسفنجی [۳] و لاستیک طبیعی [۴] از دیگر روش‌های ساخت جاذب‌های الکترومغناطیسی با استحکام بیشتر است. با همه‌ی این‌ها، تا جایی که



شکل (۳): ضریب دی الکتریک اورتان ۲۶٪ کربن [۵]



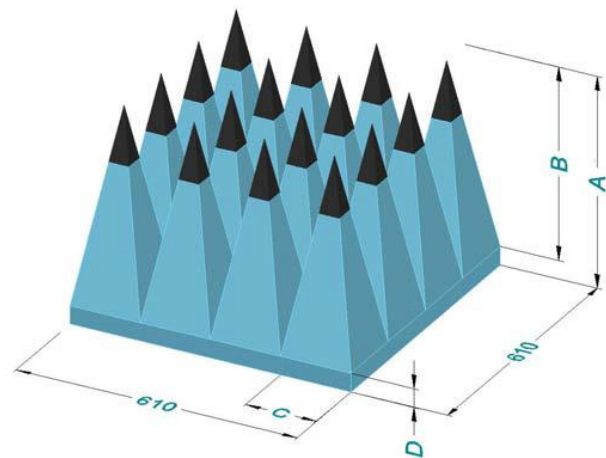
شکل (۴): ضریب تراوایی مغناطیسی فریت مورد استفاده در زیر

#### جاذب TYPE2 [۵]

در رابطه‌ی (۱)،  $\Gamma$  ضریب بازگشت موج مسطح یکنواخت از جاذب است. در شبیه‌سازی در نرم‌افزار CST با قرار دادن شرایط مرزی متناوب در چهار وجه و استفاده از مرز فلوک در بالای ساختار، پارامتر  $S_{11}$  به دست می‌آید که همان  $\Gamma$  مورد نظر است. همچنین در نرم افزار مذکور، مرز پایینی ساختار به صورت هادی کامل تعریف می‌شود که بیانگر کف اتاق شبه بدون انعکاس است. در شکل (۵) و (۶) نمودار اندازه کمیت بازتابش برای دو جاذب به ازای دو زاویه تابش عمود و مایل (۴۵ درجه) در بازه‌ی فرکانسی آزمون مصونیت تابشی (۸۰ تا ۱۰۰۰ مگاهرتز) رسم شده است.

از آنجایی که میدان تابشی بر جاذب‌های قرار گرفته بر روی زمین، عموماً به صورت مایل است، صحیح بودن شبیه‌سازی‌ها برای این تابش حائز اهمیت می‌باشد. برای صحت‌سنجی نمودارهای بازتابش، نتایج ارائه شده در [۵] به ازای تابش ۴۵ درجه برای یک نوع جاذب TYPE1 با ارتفاع  $A=60$  سانتی‌متر با نتایج شبیه‌سازی در شکل (۷) مقایسه شده است. از این مقایسه مشخص می‌شود که نتایج شبیه‌سازی‌ها با نتایج روش تحلیلی به کار رفته در این مرجع از مطابقت بسیار مطلوبی برخوردار است.

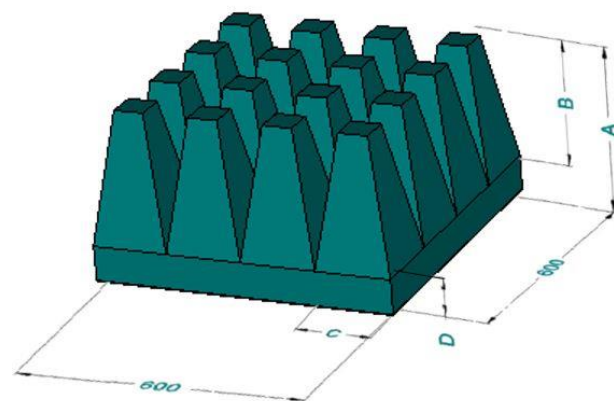
در زیر جاذب سبب کاهش میدان مغناطیسی بازتابشی از کف اتاق در فرکانس‌های پایین می‌شود.



شکل (۱): جاذب TYPE1

برای بررسی عملکرد جاذب‌ها، از کمیت بازتابش<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$R = 20 \log_{10}(|\Gamma|) [dB] \quad (1)$$

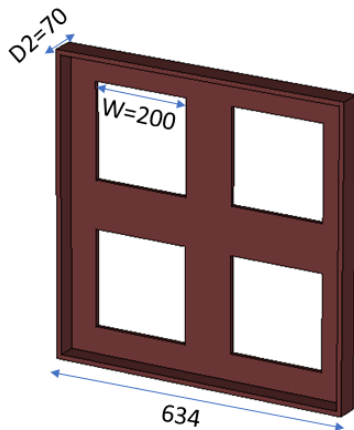


شکل (۲): جاذب TYPE2

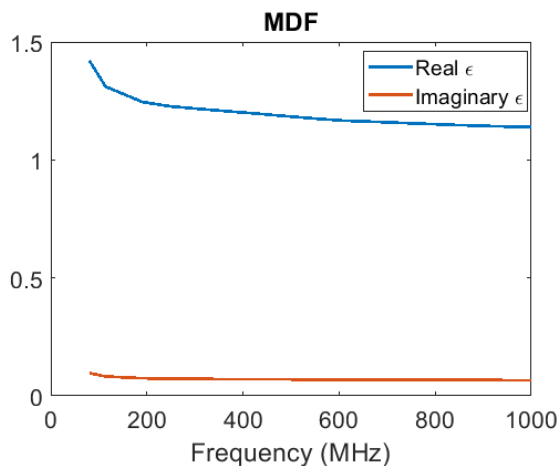
جدول (۱): ابعاد قالب جاذب نشان داده شده در شکل (۱) و (۲)

ابعاد (cm)	A	B	C	D
نوع جاذب				
TYPE1	۴۵٫۷	۴۱٫۷	۱۵٫۳	۴
TYPE2	۳۲٫۵	۲۵٫۳	۱۵	۷٫۲

به ابعاد  $20 \times 20$  سانتی‌متر مربع از کف هر جعبه برش و درآورده شده است. ساختار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار CST در شکل (۸) نشان داده شده است. ضریب دی‌الکتریک MDF در بازه‌ی فرکانسی مورد نظر در شکل (۹) و نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) ارائه شده است. در شبیه‌سازی جاذب TYPE2 لایه‌ی فریت زیر جعبه و بالای سطح هادی کامل قرار گرفته است.



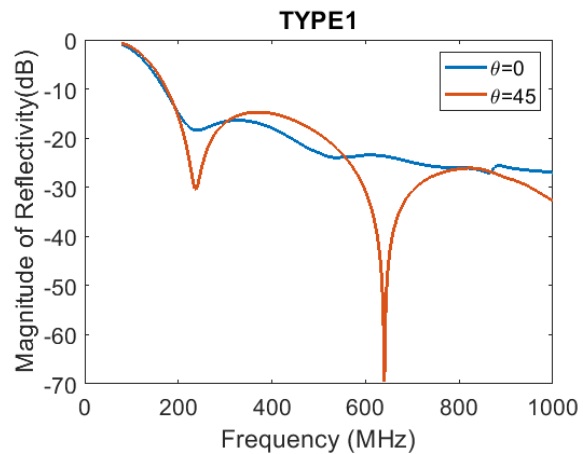
شکل (۸): جعبه طراحی شده (ابعاد به میلی‌متر)



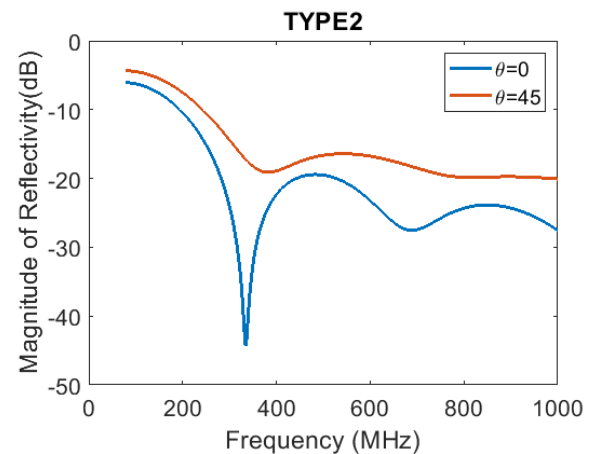
شکل (۹): ضریب دی‌الکتریک MDF [۶]

همانطور که در دو نمودار نتیجه‌ی شبیه‌سازی مشخص است، جعبه بر عملکرد الکترومغناطیسی جاذب تاثیر کمی گذاشته است. طبق یک دستورالعمل تجربی ارائه شده در [۵] جاذب‌های هرمی که ضریب بازتابش آن‌ها در تابش عمود در بازه‌ی ۸۰ تا ۱۰۰۰ مگاهرتز از ۱۸- dB کمتر باشد، شرایط استاندارد آزمون مصونیت تابشی (IEC-3-61000) را برآورده می‌کنند. این شرایط در بخش بعد بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

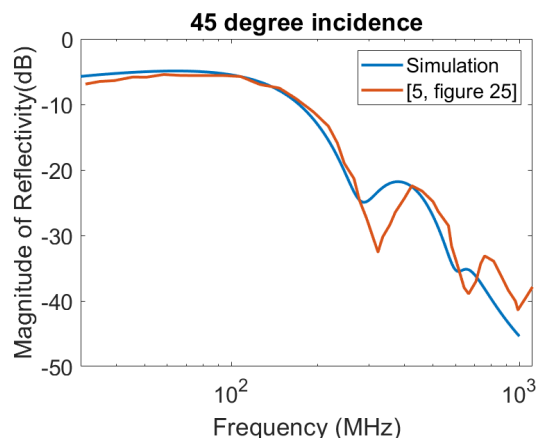
حد آستانه‌ی ۱۸- dB در نمودارهای (۱۰) و (۱۱) با خط‌چین سیاه مشخص شده است. درصد پهنای باند نسبی کمتر از ۱۸ dB هر دو نوع جاذب در حضور و عدم حضور جعبه در جدول (۲) با یکدیگر مقایسه شده اند. این پهنای باند از تقسیم طول بازه‌ی فرکانسی که در آن بازتابش زیر ۱۸- dB است بر کل بازه‌ی ۸۰ تا ۱۰۰۰ مگاهرتز به دست



شکل (۵): بازتابش جاذب TYPE1، شبیه‌سازی توسط CST



شکل (۶): بازتابش جاذب TYPE2، شبیه‌سازی توسط CST



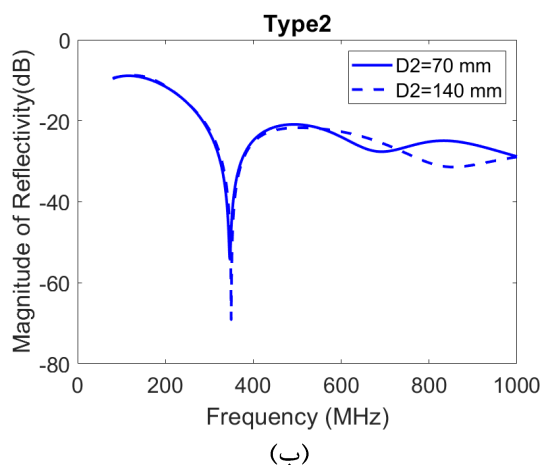
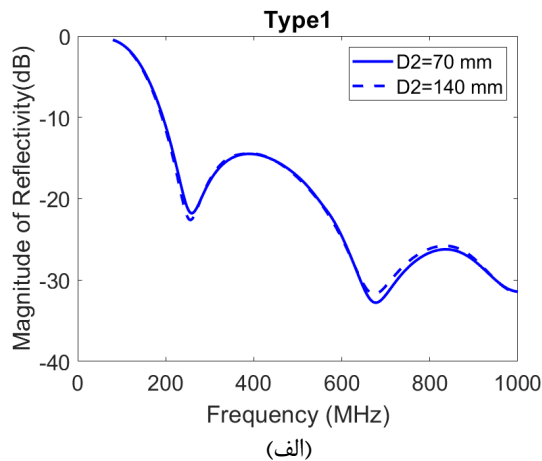
شکل (۷): صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی با نتایج روش تحلیلی به کار رفته در [۵] برای جاذب TYPE1 با ارتفاع  $A=60$  سانتی‌متر.

### ۳- اثر جعبه بر رفتار جاذب هرمی

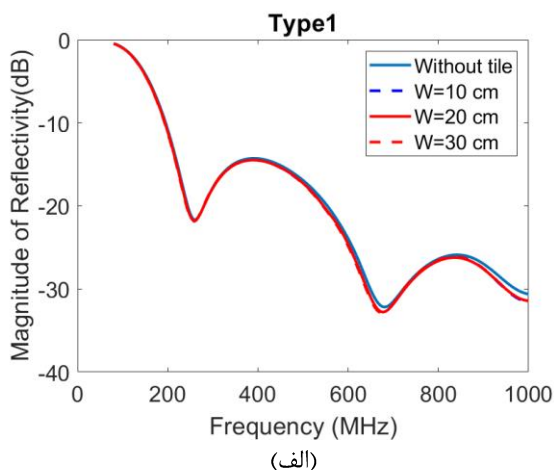
در این بخش اثر قرار دادن هر یک واحد از جاذب‌های هرمی در یک جعبه‌ی توخالی MDF با سطح مقطع  $610 \times 610$  سانتی متر مربع، ارتفاع ۷۰ میلی‌متر و ضخامت ورق ۱۲ میلی‌متر بررسی می‌شود. برای کمتر شدن وزن جعبه و تسهیل در جابجایی آن، چهار مکعب مستطیل

جدول (۲): درصد پهنای باند نسبی -18 dB جاذب‌ها

نوع جاذب/حضور جعبه	TYPE1	TYPE2
بدون جعبه	۶۸,۵۳	۷۹,۲۲
با جعبه	۶۴,۰۴	۷۹,۷۲

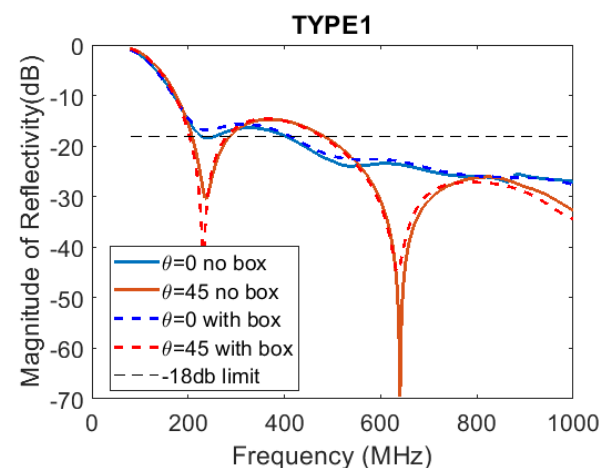


شکل (۱۲): بررسی اثر تغییر ارتفاع جعبه بر ضریب بازتاب جاذب (الف) TYPE1 و (ب) TYPE2

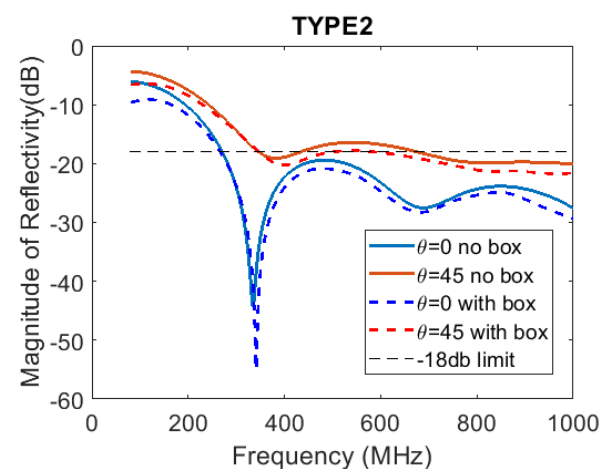


می‌آید. از درصدهای ارائه شده در این جدول می‌توان نتیجه گرفت قرار دادن جاذب TYPE2 در جعبه عملاً تاثیری در عملکرد آن ندارد و جاذب TYPE1، ۹۶ درصد پهنای باند اولیه خود را حفظ می‌کند.

برای بررسی اثر ارتفاع جعبه و همچنین ابعاد مکعب مستطیل‌های درآورده شده از کف جعبه، شبیه‌سازی‌ها برای مقادیر متفاوت دو متغیر  $D2$  و  $W$  (نشان داده شده در شکل (۸)) تحت تابش ۴۵ درجه، تکرار شد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها در شکل (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است. لازم به ذکر است، کمتر کردن ارتفاع جعبه از ۷ سانتی‌متر سبب ارتباط مستقیم دست اپراتور با قاعده‌ی جاذب شده لذا وجود جعبه را بی‌اثر میکند. همانطور که در شکل (۱۲) دیده می‌شود، افزایش ارتفاع جعبه تا ۱۴۰ میلی‌متر در عملکرد جعبه تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. ولی با افزایش ارتفاع جعبه به وزن آن افزوده می‌شود. در نتیجه، ارتفاع ۷۰ میلی‌متر که برابر با ارتفاع قاعده‌ی جاذب است، مقداری مناسب است. همچنین، از شکل (۱۳) مشخص است که برای هر دو نوع جاذب، تغییر ابعاد مکعب مستطیل درآورده شده از کف، تاثیری بر عملکرد جاذب ندارد.



شکل (۱۰): شبیه‌سازی جاذب TYPE1 در داخل جعبه



شکل (۱۱): شبیه‌سازی جاذب TYPE2 در داخل جعبه



گرفت. شکل (۱۴) دو نوع جاذب TYPE1 و TYPE2 که در جعبه‌های ساخته شده قرار گرفته اند را نشان می دهد. طبق استاندارد یاد شده، ارزیابی اتاق با ساختار جدید جاذب‌ها با تابش موج CW و با اندازه‌ی ۱۸ ولت بر متر انجام می شود و نحوه‌ی واسنجی<sup>۲</sup> اتاق به این صورت است که در هر فرکانس:

- مقدار بیشینه‌ی شدت میدان در چهار نقطه‌ی اندازه‌گیری شده تعیین می شود.
- اگر اندازه‌ی میدان در سه نقطه‌ی دیگر در بازه‌ی 0 تا 6-dB از مقدار بیشینه قرار داشته باشند واسنجی اتاق شرایط استاندارد مصونیت را برآورده می کند.

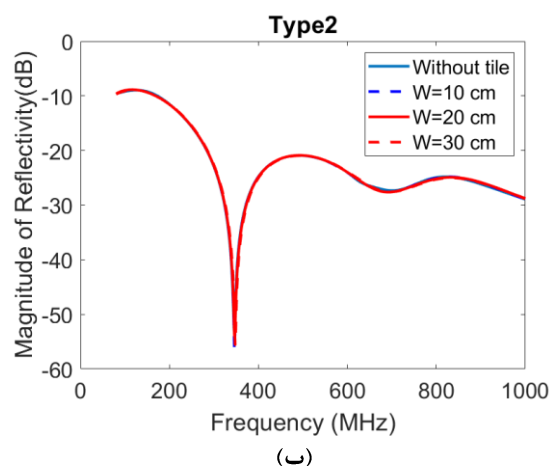
در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) در هر فرکانس تفاوت شدت میدان در سه نقطه نسبت به نقطه‌ی بیشینه به ترتیب پیش و پس از اضافه کردن جعبه‌ها نشان داده شده است. همانطور که مشخص است اضافه شدن جعبه‌ها شرایط اتاق برای انجام آزمون مصونیت بر هم نزنده است.



شکل (۱۴): دو نمونه از جاذب‌ها قرار گرفته در جعبه‌های ساخته شده

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور جلوگیری از تماس مستقیم دست با جاذب‌های هرمی و افزایش دوام آن‌ها یک راهکار عملی و ارزان قیمت مبتنی بر ساخت جعبه‌هایی از جنس MDF پیشنهاد شده است.



شکل (۱۳): بررسی اثر تغییر ابعاد مکعب مستطیل در آورده شده از کف جعبه بر ضریب بازتابش جاذب الف) TYPE1 و ب) TYPE2

## ۴- اندازه‌گیری یکنواختی میدان در اتاق شبه بدون انعکاس

استاندارد IEC-61000-4-3 انجام‌دهندگان آزمون مصونیت تابشی را ملزم می کند تا اتاق شبه بدون انعکاس را که بخشی از کف آن طبق استاندارد مذکور با جاذب پوشانده شده است، طبق شرایط خاصی مورد ارزیابی قرار دهند. بر اساس این استاندارد، باید اندازه‌ی میدان در ۱۶ نقطه با فواصل مساوی روی یک صفحه فرضی با ابعاد  $1.5 \times 1.5$  مترمربع که در فاصله‌ی ۳ متری روبروی آنتن قرار دارد یکنواخت باشد. این الزام به این معنی است که در هنگام آزمون مصونیت یک تجهیز، به کلیه نقاط آن تجهیز میدان به یک اندازه بتابد. طبق استاندارد مذکور، اگر اندازه‌ی میدان در حداقل ۱۲ نقطه از ۱۶ نقطه نسبت به هم کمتر از 6 dB اختلاف داشته باشند آنگاه اتاق شبه بدون انعکاس فضای مناسب و استاندارد جهت انجام آزمون مصونیت می باشد [۷]. البته همانطور که واضح است سطح فرضی  $1.5 \times 1.5$  متر مربع نسبت به ابعاد بسیاری از تجهیزات بزرگ بوده و اکثراً تجهیزات تحت تست دارای ابعاد کوچکتری می باشند. در این مورد نیز برای تجهیزات کوچکتری با ابعاد  $0.5 \times 0.5$  مترمربع در نظر گرفت. در این حالت به جای ۱۶ نقطه، فقط ۴ نقطه در چهار گوشه صفحه‌ی  $0.5 \times 0.5$  مترمربعی در نظر گرفته می شود. برای حالت فوق، اختلاف اندازه‌ی میدان نمونه برداری شده در هر ۴ نقطه باید کمتر از 6 dB باشد. طبق استاندارد، با هر تغییری در پیکربندی اتاق آزمون، از جمله تغییر در جاذب‌ها، اندازه‌گیری میدان در نقاط گفته شده باید مجدداً انجام شود تا اطمینان حاصل شود که با وجود ایجاد تغییر در پیکربندی اتاق، اندازه‌ی میدان دارای مقدار یکنواخت می باشد.

بر این اساس و طبق مطالب بخش قبل، به تعداد واحد‌های جاذب به کار رفته در کف اتاق، جعبه‌هایی از جنس MDF با ابعاد و طراحی شکل (۸) ساخته شد و هر واحد جاذب درون یکی از این جعبه‌ها قرار

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از پرسنل فنی مرکز سازگاری الکترومغناطیسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر برای یاری در بخش واسنجی اتاق بی‌پژواک سپاسگزاری می‌کنند.

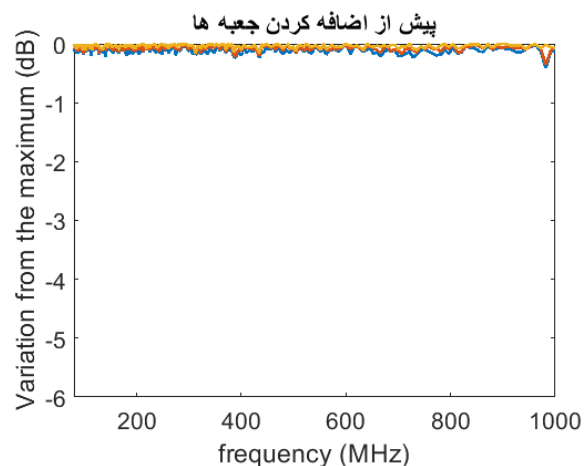
## مراجع

- [1] Microwave Vision Group, RF Absorbers Catalog, 2011
- [2] Kaur, Rajanroop, Gagan Deep Aul, and Vikas Chawla. "Improved reflection loss performance of dried banana leaves pyramidal microwave absorbers by coal for application in anechoic chambers." *Progress In Electromagnetics Research* 43 (2015): 157-164
- [3] Laukaitis, Antanas, Saulius Balevičius, and Borisas Levitas. "Investigation of electromagnetic wave absorber based on carbon fiber reinforced aerated concrete using time-domain method." *Proceedings of the 13th International Symposium UFPS*, (2008).
- [4] Salayong, Kiadtisak, et al. "Electromagnetic Absorber Made by Natural Rubber." *IEICE Transactions on Communications* (2018).
- [5] Holloway, Christopher L., et al. "Comparison of electromagnetic absorber used in anechoic and semi-anechoic chambers for emissions and immunity testing of digital devices." *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 39.1 (1997): 33-47.
- [6] Zhou, Jianhui, et al. "Measurements of thermal and dielectric properties of medium density fiberboard with different moisture contents." *BioResources* 8.3 (2013): 4185-4192.
- [7] IEC 61000-4-6, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test.
- [8] واثقی نوشین، ابریشمیان محمدصادق. طراحی و بهینه سازی نوعی جدید از مواد جاذب راداری در پهنای باند وسیع و پلاریزاسیون دلخواه به کمک الگوریتم ژنتیک. *مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران*. ۱۳۸۹؛ ۷ (۱): ۷-۱۷
- [9] Pometcu, Laura, et al. "Combination of artificial materials with conventional pyramidal absorbers for microwave absorption improvement." *Materials Research Bulletin* 96 (2017): 86-93.

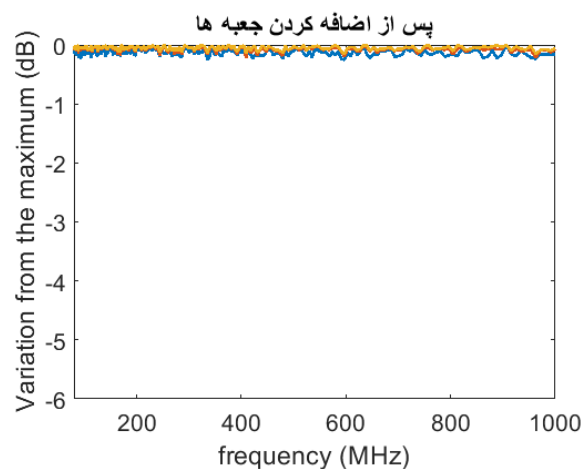
<sup>1</sup> Carbon Loaded Urethane

<sup>2</sup> Reflectivity

<sup>3</sup> Calibration



شکل (۱۵): اندازه‌گیری یکنواختی میدان پیش از اضافه کردن جعبه‌ها



شکل (۱۶): اندازه‌گیری یکنواختی میدان پس از اضافه کردن جعبه‌ها

ورق‌های MDF علاوه بر استحکام مکانیکی بالا، مشخصات الکترومغناطیسی نزدیک به هوا دارند. بنابراین می‌توان انتظار داشت جعبه‌های ساخته شده حداقل تأثیر را بر عملکرد جاذب‌ها داشته باشند. پس از حصول اطمینان از تأثیر حداقلی جعبه‌ها بر پارامتر بازتابش جاذب‌ها با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار CST، به تعداد جاذب‌های به کار رفته در کف اتاق بی‌پژواک مرکز سازگاری الکترومغناطیسی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جعبه ساخته شد. سپس واسنجی اتاق نشان داد که قرار دادن جاذب‌ها در جعبه‌های ساخته شده تأثیری بر واسنجی اتاق شبه بدون انعکاس ندارد. به هم نخوردن شرایط اتاق برای انجام آزمون مصونیت به این معنی است که تغییر ایجاد شده در اتاق شبه بی‌پژواک، نتایج آزمون‌ها را نیز تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. یکسان بودن نتیجه‌ی آزمون سیستم‌های تحت تست پیش و پس از اضافه کردن جعبه‌ها شاهی بر این مدعا است. به عنوان ادامه‌ی این پژوهش، وجود جعبه این امکان را فراهم می‌کند که با قرار دادن جاذب‌های فرامواد [۸] داخل جعبه و در زیر جاذب هرمی، عملکرد جاذب‌ها را تقویت کرد [۹].