

## **The computation of co-site interference in crowded electromagnetic environments**

**S. M. J Razavi\***

\* Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 03/10/2020; Accepted: 05/02/2022)

### **Abstract**

*In this paper the co-site interference in systems involving multiple radios has been studied. This type of interference occurs when a receiver is receiving a weak transmitting signal in the presence of transmitters or even high power jammers. The components of this interference include the power spectrum of the transmitter outputs, the electromagnetic coupling between the antennas, the level of sensitivity of the receiver and the possible intermodulations between different frequencies in the co-location system. The frequency and amplitude of interference at the input of receivers are calculated and reported by a software provided in MATLAB environment. In this software, the radio transmitters and receivers and their antennas can be modeled based on factory information, simulations and measurements.*

**Keywords:** Co-site interference, Transmitter power spectrum, Receiver sensitivity, Coupling of antennas.

---

\* Corresponding author E-mail: razavismj@mut.ac.ir

## محاسبه تداخل هم‌مکان در محیط‌های شلوغ الکترومغناطیسی

سید محمدجواد رضوی

دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶)

### چکیده

در این مقاله تداخل هم‌مکان در سامانه‌های شامل چندین رادیو مورد بررسی قرار گرفته است. این نوع تداخل زمانی رخ می‌دهد که یک گیرنده در حضور فرستنده‌ها و یا حتی جمرهای پروتون در حال دریافت سیگنال ضعیف ارسالی مرتبط با خود می‌باشد. اجزای تشکیل‌دهنده این تداخل شامل طیف توان خروجی فرستنده‌ها، تزویج الکترومغناطیسی بین آنتن‌ها، سطح حساسیت گیرنده‌ها و اینترمدولاسیون‌های احتمالی بین فرکانس‌های مختلف موجود در سامانه هم‌مکان می‌باشند. با تهیه نرم‌افزاری در محیط متلب فرکانس و دامنه تداخل در ورودی گیرنده‌ها محاسبه و گزارش شده است. در این نرم‌افزار می‌توان فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی و آنتن‌های آنها را براساس اطلاعات کارخانه‌ای، شبیه‌سازی و یا اندازه‌گیری مدل کرد.

### کلیدواژه‌ها: تداخل هم‌مکان، طیف توان فرستنده، حساسیت گیرنده، تزویج آنتن‌ها

#### ۱. مقدمه

آنتن‌ها در سامانه‌های رادیویی و یا استفاده از بلوک‌های غیرخطی مانند میکسر و یا به اشباع رفتن تقویت‌کننده توان از مهم‌ترین عوامل ایجاد رفتار غیرخطی می‌باشد [۲،۳]. محاسبه و تخمین تداخل هم‌مکان برای جایابی آنتن‌ها و سامانه‌های رادیویی اهمیت ویژه‌ای دارد و برای انواع اتاقک‌ها و یا خودروهای فرماندهی نظامی انجام می‌شود [۴].

برای تحلیل و تخمین تداخلات الکترومغناطیسی نرم‌افزارهای گوناگونی وجود دارد که هر یک توانمندی خاصی دارند که شامل چهار دسته می‌شوند [۵-۹].

۱- نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و تحلیل تمام‌موج الکترومغناطیس مثل CST، FEKO و HFSS که به کاربر توانایی تحلیل و تقریب زدن تزویج متقابل آنتن‌های فرستنده و گیرنده را در محیط‌های گوناگون و پیچیده می‌دهد.

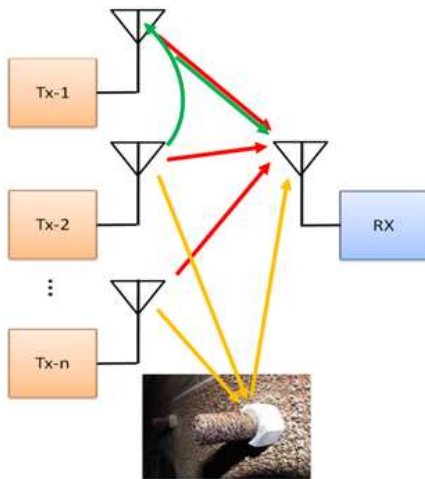
۲- نرم‌افزارهای تحلیل اثرات متقابل درون مدارات الکترونیکی و مایکروویو مانند ANSYS Siwave، CST EMC، STUDIO و Em integrity در مدل‌سازی و فهم تداخلات مغناطیسی داخل هر فرستنده و گیرنده کمک می‌کنند (اثراتی مثل نشت تشعشعی و هدایتی، تخلیه بار الکتریکی استاتیکی، برخورد صاعقه، میدان تشعشعی چگال).

۳- نرم‌افزارهایی مثل EMIT و EMCAnalyzer، در مدل کردن

سامانه‌های نظامی و غیرنظامی معمولاً شامل چندین سامانه رادیویی (فرستنده و گیرنده) و راداری هستند که ممکن است در فاصله نزدیک یکدیگر قرار گیرند، با توجه به سطح توان ارسالی سامانه‌ها، اثرات ناخواسته روی یکدیگر ایجاد می‌کنند، که تحت عنوان "تداخل سامانه‌های هم‌مکان" شناخته می‌شود [۱].

از نظر سازگاری الکترومغناطیسی، سیگنال ارسالی فرستنده از دید گیرنده هم‌مکان که بدان قربانی اتلاق می‌گردد، سیگنال نامطلوب و تداخل تفسیر خواهد شد.

در فرستنده‌های چندکاناله و یا چندین فرستنده نزدیک هم، از تکنیک مالتیپلکس فرکانسی برای جلوگیری از تداخل کانال‌های مختلف استفاده می‌شود. اگر ملزومات طراحی سامانه و حاشیه‌های اطمینان به‌درستی رعایت شود و هیچ زیرسامانه غیرخطی در رادیوها و رادارها وجود نداشته باشد، هرگز پدیده تداخل و کور شدن گیرنده و یا حساسیت‌زدایی روی نخواهد داد. مشکل تداخل زمانی پدیدار می‌گردد که سامانه کاری، از محدوده عملکرد خطی خارج شود. استفاده از عناصر غیرخطی مداری و یا مواد غیرخطی در سامانه‌های ارتباطی و راداری اجتناب‌ناپذیر است. به‌عنوان مثال، استفاده از فریت در بارگذاری و یا بالن

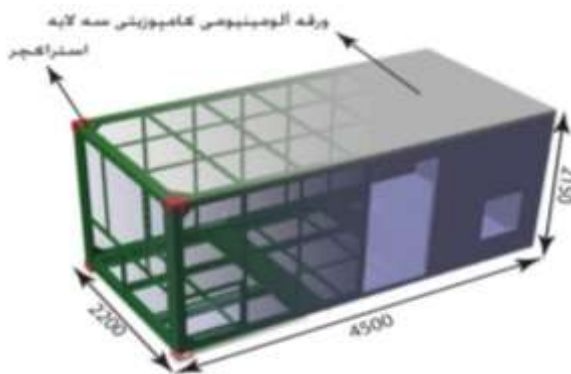


شکل (۱): نمایی از تزویج‌های تداخلی هم‌مکان بر روی گیرنده

توان تداخلی محاسبه شده بین فرستنده‌ها (رابطه (۲)) باید با طیف توان فرستنده قربانی جمع شده و اثر تداخلی آن با استفاده از رابطه (۱) در محل گیرنده محاسبه شود. دامنه طیفی تداخلی باید برای همه مسیرهای ممکن محاسبه شود و با هم جمع شده (به صورت نرمال) تا دامنه تداخل کل در محل هر گیرنده به دست آید.

### ۳. مدل‌سازی اجزای تداخل هم‌مکان

اجزای تشکیل‌دهنده این تداخل، فرستنده‌ها و گیرنده‌ها و آنتن‌های آنها می‌باشند که در یک مکان محدود مانند اتاقک یا هواپیما یا شناور نصب شده‌اند. به‌عنوان مثال، در شکل (۲) اتاقک حاوی رادیوها و محل نصب آنتن‌های مربوطه نشان داده شده است. آنتن‌ها روی سقف اتاقک و در راستای طول آن و به‌فاصله ۴۰ سانتی‌متر از لبه‌ها نصب شده‌اند. فاصله آنتن‌ها از هم بیشتر از ۱۲۵ سانتی‌متر و کمتر از ۲ متر در نظر گرفته شده است.



شکل (۲): شماتیک اتاق (ابعاد برحسب سانتی‌متر)

در ادامه به مدل‌سازی اجزای مختلف این تداخل پرداخته می‌شود.

ساختار کلی فرستنده و گیرنده مثل بررسی اثرات غیرخطی تقویت‌کننده‌ها، میکسرها یا هارمونیک‌های اسیلاتورها و اثرات تناوبی اجزای گوناگون مثل فیلترها به کار می‌روند.

۴- نرم‌افزارهایی مثل Rigo's DSA ۸۰۰ و NARDA PMM ۹۰۱۰ در کنار تحلیل گره‌های شبکه برای بررسی حالت واقعی تداخلات مغناطیسی در یک محیط و پس از ساخته شدن دستگاه به کار گرفته می‌شوند.

نرم‌افزارهای فوق یا در دسترس نبوده و یا به‌طور کامل توانایی تحلیل تداخل هم‌مکان را نداشتند. هدف از این مقاله پیش‌بینی تداخلات الکترومغناطیسی بین رادیوهای هم‌مکان می‌باشد. برای پیش‌بینی این تداخلات لازم است که رفتار فرکانسی فرستنده‌ها (طیف توان) و گیرنده‌ها (حساسیت گیرندگی) و تزویج بین آنتن‌های منصوب در یک سامانه شناخته شود. بخشی از تحلیل شامل تزویج متقابل بین آنتن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تمام موج انجام شده است و مابقی شامل مدل فرستنده‌ها و گیرنده‌ها و تحلیل تداخل هم‌مکان در MATLAB کد نویسی شده است. در ادامه مفاهیم و روابط تداخل هم‌مکان و نتایج محاسبات آن می‌آید.

### ۲. تداخل هم‌مکان

در شکل (۱) انواع تزویج‌های ممکن و تداخلی بین فرستنده‌ها و گیرنده (قربانی) نشان داده شده است. برای تحلیل دقیق‌تر باید تداخل ناشی از تزویج بین فرستنده‌ها را در محل گیرنده در نظر گرفت.

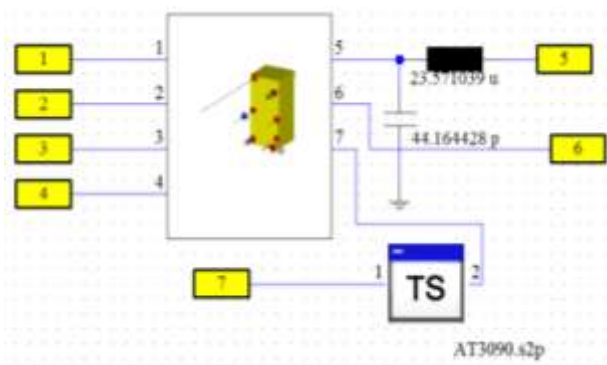
$$P_{in-rx} \cong P_{Tx-i}(f) + T_{Tx-i}(f) + ATA(f) + T_{rx-v}(f) \quad (1)$$

رابطه (۱) دامنه طیف توان تداخلی ( $P_{Tx-i}$ ) فرستنده شماره  $i$  را در محل گیرنده شماره  $v$  بر حسب dBm ( $P_{in-rx}$ ) نشان می‌دهد. در این رابطه  $T_{Tx-i}$  و  $T_{rx-v}$  به ترتیب تابع تبدیل مجموع اجزای فرستنده و گیرنده و ATA تزویج آنتن فرستنده و گیرنده همه برحسب dB می‌باشد.

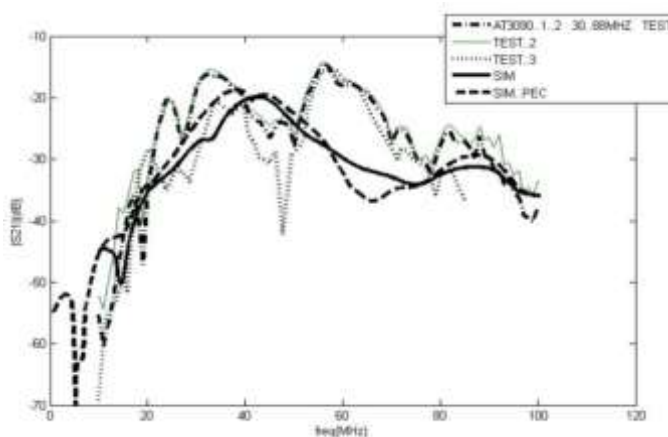
$$P_{in-tx} \cong P_{Tx-i}(f) + T_{Tx-i}(f) + ATA(f) + T_{tx-v}(f) \quad (2)$$

رابطه (۲) مشابه با رابطه (۱) دامنه طیف تداخلی ( $P_{Tx-i}$ ) فرستنده شماره  $i$  را در محل فرستنده شماره  $v$  برحسب dBm ( $P_{in-tx}$ ) نشان می‌دهد. در این رابطه  $T_{Tx-i}$  و  $T_{tx-v}$  به ترتیب تابع تبدیل مجموع اجزای فرستنده‌های شماره  $i$  و  $v$  و ATA تزویج آنتن این دو فرستنده همه برحسب dB می‌باشد.

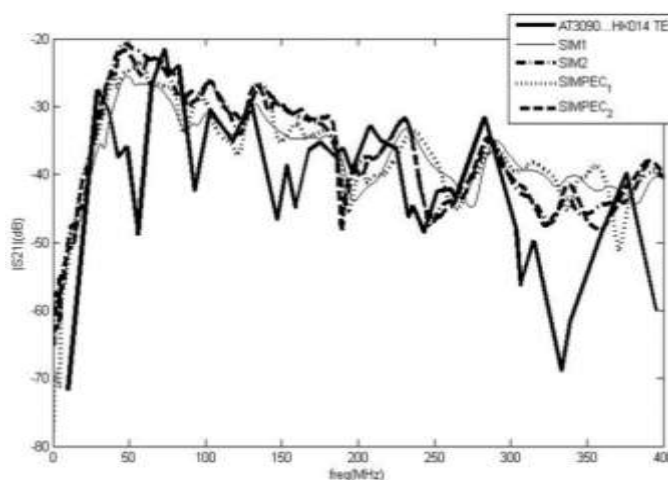
سوم، پنجم و گاهی اوقات هفتم از فرکانس اصلی فرستنده قابل توجه می‌باشند و نمی‌توان از آنها چشم‌پوشی کرد.



شکل (۳): تعریف مدار تطبیق آنتن HF و اعمال فایل S2P در محیط شماتیک CST



شکل (۴): تزویج بین دو آنتن AT3090



شکل (۵): تزویج بین دو آنتن AT3090 و HK014

علاوه بر این هارمونیک‌ها، بیشتر مواقع خروجی‌هایی از فرستنده‌ها منتشر می‌شود که از درون بخش‌های سخت‌افزاری

### ۱-۳. مدل‌سازی تزویج بین آنتن‌ها

آنتن‌های منصوب بر روی یکی از اتاقک‌های فرضی (شکل (۲)) عبارتند از:

۱- آنتن AC-marine برای رادیوهای باند HF (۳۰ MHz - ۱/۶ MHz) [۱۰]

۲- آنتن AT3090 (دو عدد) برای رادیوهای باند VHF-LB (۳۰ MHz - ۸۸ MHz) [۱۱]

۳- آنتن HK014 (دو عدد) برای رادیوهای باند VHF-HB (۱۰۸ MHz - ۴۰۰ MHz) & UHF [۱۲]

۴- آنتن MC-101 برای رادیوهای باند VHF-HB (۱۳۶ MHz - ۱۷۴ MHz) [۱۳]

۵- آنتن ADF19-400 برای رادیوهای باند UHF (۲۲۵ MHz - ۴۰۰ MHz) [۱۴]

مطابق با رابطه (۱) و (۲) برای محاسبه کلیه حالات تداخل باید تزویج متقابل بین هر دو آنتن محاسبه شود که برای اتاقک مفروض با ۷ آنتن باید  $21 = 7 \times 6$  نمونه  $S_{ij}$  شبیه‌سازی یا اندازه‌گیری شود.

آنتن AC-marine که برای رادیوهای HF به کار می‌رود باید برای هر فرکانس با استفاده از یک مدار LC تطبیق شود.

برای انجام این مهم بعد از شبیه‌سازی اتاقک و آنتن‌ها در محیط الکترومغناطیسی CST، آنرا به محیط شماتیک برده و مطابق شکل (۳) به درگاه مربوطه مدار LC اضافه می‌شود. فایل S2P اندازه‌گیری شده برای بعضی از آنتن‌ها نیز در این محیط به شماتیک اضافه می‌شود. مقادیر L و C با استفاده از بهینه‌سازهای موجود در نرم‌افزار CST با هدف دستیابی به تطبیق در فرکانس مورد نظر به دست می‌آیند.

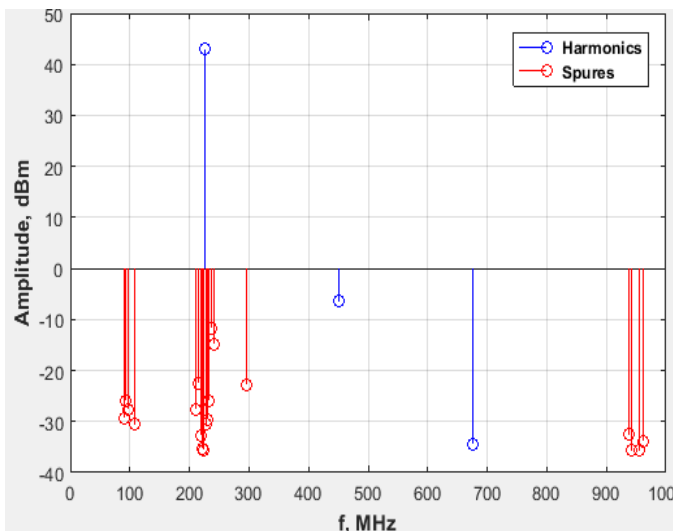
هر ۲۱ نمونه  $S_{ij}$  (اطلاعات تزویج بین آنتن‌ها به صورت اندازه‌گیری و شبیه‌سازی) در کتابخانه‌ای برای محاسبات تداخل ذخیره شده است. در شکل‌های (۴) و (۵) دو نمونه تزویج شبیه‌سازی شده در CST و FEKO و در حضور صفحه PEC به عنوان زمین و اندازه‌گیری شده بین آنتن‌ها نشان داده شده است.

### ۲-۳. مدل‌سازی فرستنده‌ها

فرستنده‌ها به خاطر مشخصات انتقالی غیرخطی، سیگنال‌هایی را روی هارمونیک‌های فرد خروجی اصلی‌شان ایجاد می‌نمایند. این هارمونیک‌ها به عنوان ارسال‌های ناخواسته، در هارمونیک‌های

جدول (۱): مشخصات فرکانسی رادیوهای کاربردی [۱۸]

نام رادیو	باند فرکانسی
VRC12-110	VHF/LB ۳۰-۸۸ MHz
MRC11-150	HF ۱/۶-۲۹/۹۹۹۹ MHz
GRC-411	UHF ۲۲۵-۴۰۰ MHz
GBR-160	VHF/HB ۱۰۸-۱۱۶ MHz



شکل (۶): طیف فرکانسی اندازه‌گیری شده فرستنده GRC-411 در فرکانس ۲۲۵ MHz و توان ۴۳ dBm

### ۳-۳. مدل‌سازی گیرنده‌ها

برای مطالعه پدیده تداخل و کور شدن گیرنده و یا حساسیت‌زدایی آن، مهم‌ترین مؤلفه، حساسیت گیرنده در فرکانس نامی و کانال‌های مجاور و خروجی‌های ناخواسته فرستنده‌های مجاور است. برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی، استاندارد‌های تجاری شامل [۱۹] ETSI و [۲۰] TIA و استاندارد‌های نظامی [۲۱، ۲۲] MIL-STD توسعه یافته‌اند. حساسیت‌های گیرنده مطابق جدول (۲) برابر با سطح سیگنال ورودی به گیرنده است که سیناد<sup>۲</sup> خروجی در سطح استاندارد باشد. نسبت مجموع دامنه سیگنال با نویز و اعوجاج وارد شده به سامانه، به همان نویز و اعوجاج ورودی را سیناد می‌گویند. طبق تعریف سیناد استاندارد در استاندارد ETSI برابر ۲۰ dB، استاندارد TIA برابر ۱۲ dB و استاندارد MIL-STD برابر ۱۰ dB در نظر گرفته می‌شود. به دلیل ماهیت تصادفی سیناد باید چندین بار اندازه‌گیری را انجام داد و متوسط‌گیری کرد.

فرستنده در هنگام انجام فرایندهای تولید سیگنال مانند خروجی سیلاتور، خروجی ضرب‌کننده و یا خروجی مدولاتورها ایجاد می‌گردند. این خروجی‌ها دارای دامنه قابل ملاحظه در فرکانس‌های کاملاً تصادفی هستند که اسپور<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند. زمانی که دو فرستنده و یا یک فرستنده و یک گیرنده در مجاورت یکدیگر همزمان کار کنند، محصولات درون مدولاسیونی تولید می‌شوند که بیشتر به رفتار غیرخطی طبقه آخر قربانی وابسته هستند. به طور مثال، برای دو فرکانس نزدیک به هم  $f_A$  و  $f_B$  نتایج قابل توجهی در فرکانس‌های  $f_A - f_B$  و  $f_A + f_B$  و مرتبه‌های فرد،  $2f_A - 3f_B$  و  $3f_B - 2f_A$  حاصل می‌گردند. معمولاً نتایج حاصل از مرتبه‌های  $2f_A + 2f_B$ ،  $2f_A - f_B$ ،  $f_A + 2f_B$ ،  $2f_A + f_B$  و  $4f_A - 4f_B$  و مرتبه‌های فرد بالاتر به خاطر دامنه کوچکی که دارند، چندان قابل توجه نمی‌باشند. برای به دست آوردن دامنه این فرکانس‌ها باید نقاط برخورد اینترمدولاسیون مراتب مختلف (IIP<sub>N</sub>) تقویت‌کننده طبقه آخر مشخص باشد. با اندازه‌گیری بهره فشرده‌گی 1-dB (P<sub>1dB</sub>) [۱۵] و روابط تقریبی (۳) می‌توان آنها را به دست آورد.

$$IIP_2 = P_{1dB} + 27$$

$$IIP_3 = P_{1dB} + 10 \quad (3)$$

$$IIP_N = IIP_{N-1} - 2$$

اگر توان فرکانس متداخل  $f_B$  برابر با  $P_B$  و توان فرکانس اصلی  $f_A$  برابر با  $P_A$  باشد، توان محصولات اینترمدولاسیون با فرکانس  $nf_A \pm mf_B$  از رابطه (۴) به دست می‌آید [۱۶، ۱۷]. البته فرکانس‌های خارج از باند توسط فیلترهای طبقه آخر فرستنده به میزان قابل توجهی تضعیف می‌شوند.

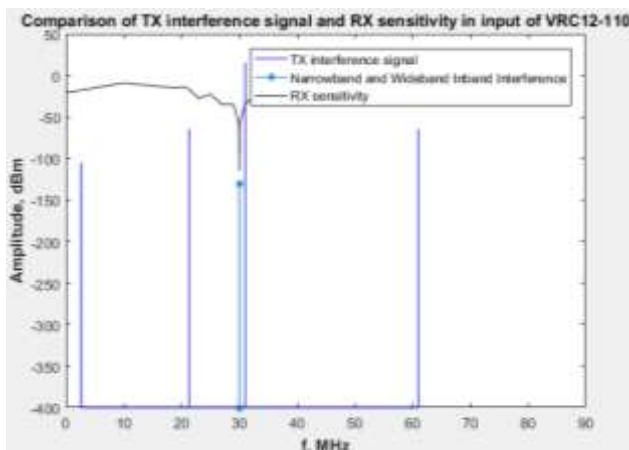
$$PIM_{n+m} \cong nP_A + mP_B - (n+m-1)IIP_{n+m} \quad (4)$$

برای چهار رادیو پرکاربرد صنعت (جدول (۱)) این اندازه‌گیری‌ها در توان‌ها و فرکانس‌های مختلف انجام شده و در کتابخانه‌ای برای نرم‌افزار محاسبه تداخل ذخیره شده است. در شکل (۶) به عنوان نمونه اطلاعات اندازه‌گیری شده طیف فرکانسی فرستنده GRC-411 در فرکانس ۲۲۵ MHz و توان ۴۳ dBm رسم شده است. نرم‌افزار تهیه شده این توانایی را دارد که کاربر بتواند مشخصات فرستنده را براساس اطلاعات کارخانه‌ای آن وارد کند.

<sup>۲</sup> SINAD

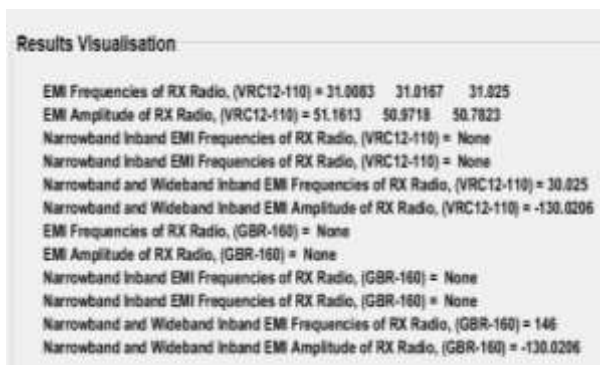
<sup>۱</sup> Spurious

محاسبه‌شده و با هم به‌صورت نرمال جمع می‌شوند. مجموع طیف تداخلی در ورودی هر گیرنده با حساسیت گیرنده مقایسه شده و اگر از سطح حساسیت گیرنده بالاتر باشد در فرکانس مربوطه اختلال گزارش می‌شود. در این مثال در ورودی گیرنده GBR-160 تداخلی گزارش نشده است. اما مطابق شکل (۸) سطح تداخل از حساسیت گیرنده VRC12-110 در بعضی از فرکانس‌ها بالاتر شده است. منظور از تداخل پهن‌بند<sup>۲</sup> در شکل (۸) نویز سفید در پهنای باند گیرنده (KTB) می‌باشد.



شکل (۸): مقایسه تداخل کل فرستنده‌ها با حساسیت گیرنده در ورودی VRC12-110

نرم‌افزار تهیه شده این قابلیت را دارد که با مقایسه تداخل در ورودی گیرنده با سطح حساسیت آن فرکانس‌های مورد تداخل و سطح تداخل را مطابق شکل (۹) گزارش دهد.



شکل (۹): گزارش تداخل‌های رخ داده در ورودی گیرنده‌ها

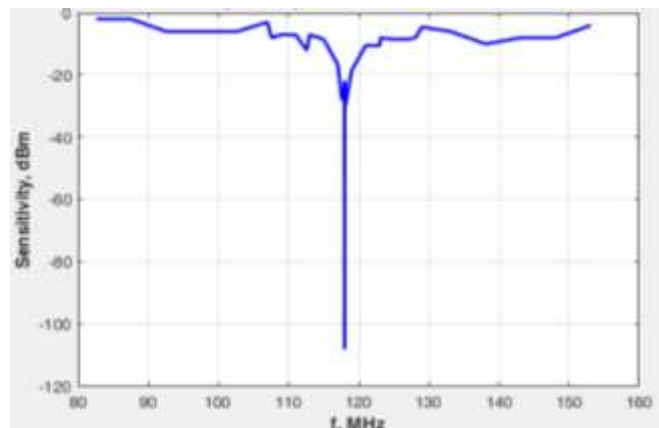
یکی دیگر از قابلیت‌های این نرم‌افزار توانایی تعریف فرستنده‌ها و گیرنده‌ها براساس اطلاعات کارخانه‌ای یا تلفیقی آنها توسط کاربر می‌باشد. به‌عنوان مثال، دو رادیو VRC12-110 و GRC-411 در حالت فرستندگی و به‌ترتیب در فرکانس و

## جدول (۲): حساسیت‌های گیرنده

ملاحظات	نوع حساسیت
در فرکانس کاری	مرجع گیرنده
در فاصله یک یا دوکانال از فرکانس کاری	کانال مجاور <sup>۱</sup>
در فرکانس‌های کاذب ناشی از ترکیبات فرکانس‌های نوسان‌سازهای میانی و محلی	فرکانس‌های کاذب

برای چهار رادیو جدول (۱) در حالت گیرندگی مطابق با جدول (۲) و حتی در فرکانس‌های بیشتر، حساسیت گیرنده محاسبه شده و مشابه فرستنده‌ها در کتابخانه‌ای ذخیره شده است.

در شکل (۷) به‌عنوان نمونه اطلاعات اندازه‌گیری شده حساسیت گیرنده GBR-160 در فرکانس ۱۱۸ MHz رسم شده است. مشابه فرستنده می‌توان بر اساس اطلاعات کارخانه‌ای، گیرنده را برای نرم‌افزار تعریف کرد.



شکل (۷): حساسیت اندازه‌گیری شده گیرنده GBR-160 در فرکانس ۱۱۸ MHz

## ۴. محاسبه تداخل هم‌مکان

برای محاسبه تداخل هم‌مکان در ورودی گیرنده‌ها فرض می‌شود دو رادیو MRC11-150 و GRC-411 در حالت فرستندگی و به ترتیب در فرکانس و توان ۱۷/۶۲۵ MHz، ۴۷ dBm و ۲۲۵ MHz، ۴۳ dBm کار کنند. و دو رادیو VRC12-110 و GBR-160 به‌ترتیب در حالت گیرندگی در فرکانس ۳۰ MHz و ۱۴۵ MHz تنظیم شده باشند. با استفاده از اطلاعات طیفی اندازه‌گیری شده فرستنده‌ها و تزویج بین آنتن‌های آنها مطابق با رابطه (۱) و (۲) دامنه تداخل از همه مسیرها به ورودی گیرنده‌ها

<sup>۲</sup> Wideband Inband Interferenc

<sup>۱</sup> Adjacent channel



در ضمیمه شکل‌های صفحات مهم GUI کد نوشته شده در MATLAB آمده است.

### ۵. تمهیدات کاهش تداخل

با شناخت حاصل شده از فرکانس‌ها و دامنه‌های تداخل هم‌مکان ایجاد شده، می‌توان راهکارهای حذف آنها را آگاهانه به کار بست. این راه‌کارها شامل جایابی مناسب آنتن‌ها با هدف کاهش تزویج الکترومغناطیسی بین آنها، روش‌های حذف فعال با به‌کارگیری یک سیگنال هم اندازه با دامنه سیگنال تداخل و فاز مخالف با آن، استفاده از فیلترهای سری شده با آنتن‌های فرستنده و یا گیرنده، مسدودسازی سیگنال از طریق استفاده از مالتی پلکسینگ و یا در ترکیب با روش حذف فعال از طریق استفاده از فیدبک منفی می‌باشد.

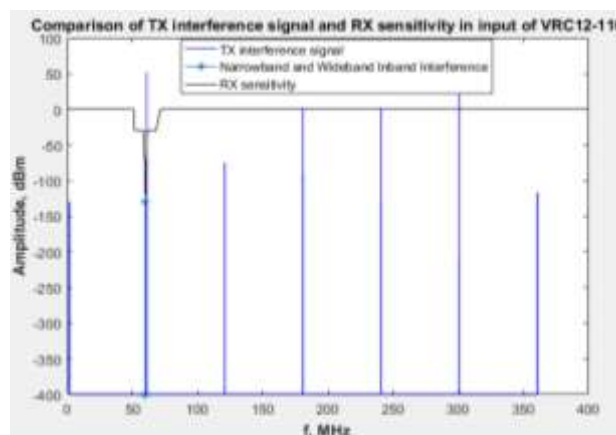
### ۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله اجزای تشکیل‌دهنده تداخل در سامانه‌های شامل چندین رادیو که به تداخل هم‌مکان معروف است مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین سهم را در ایجاد این تداخل رفتار غیرخطی فرستنده شامل هارمونیک‌ها و فرکانس‌های کاذب و محصولات درون مدولاسیونی فرستنده‌ها و ایزولاسیون نامناسب آنتن‌ها دارد. با اندازه‌گیری و مدل‌سازی طیف فرکانسی فرستنده‌ها، تزویج الکترومغناطیسی آنتن‌ها، سطح حساسیت گیرنده‌ها، مقادیر کمی تداخل در ورودی گیرنده‌ها محاسبه شد.

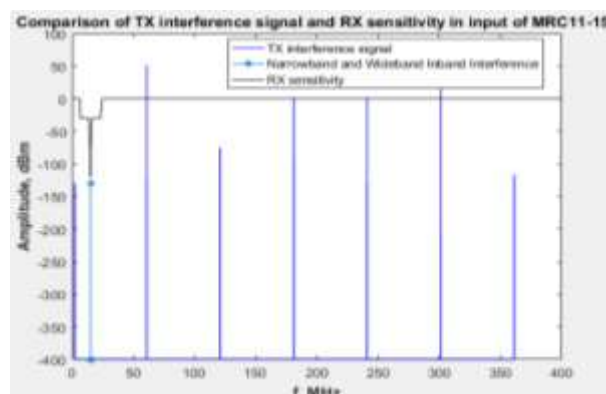
### ۷. مراجع

- [1] T. Baldwin and G. Capraro, "Intrasystem Electromagnetic Compatibility Program (IEMCAP)", IEEE Trans. EMC, vol. 22, pp. 224-228, 1980.
- [2] A. Drozd, A. Pesta, D. Weiner, P. Varshney, and I. Demirkiran, "Application and Demonstration of a Knowledge-based Approach to Interference Rejection for EMC," IEEE Int. Sym. on EMC, pp. 537-542, 1998.
- [3] PIE Version 3.3 Prediction of Intrasystem Electromagnetic Interference: User's Manual and Final Report, Naval Air Warfare Center Contract No. N00421-99-D-1433, 2000.
- [4] S. Karlsson, M. Grenvall, Å. Kvik, L. Eugensson, F. Grahn, and L. Pettersson, "Co-site Interference Analysis and Antenna System Integration on a Swedish Combat Vehicle Platform," MILCOM IEEE Military Communications Conference, pp. 369-374, 2013.

MRC11-۶۰MHz، ۴۶dBm و ۳۰۰MHz، ۴۷dBm و دو رادیو MRC11-150 و VRC12-110 به ترتیب در حالت گیرندگی در فرکانس ۶۰MHz و ۱۵MHz براساس اطلاعات کارخانه‌ای تنظیم می‌شوند. در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نتایج مقایسه تداخل با سطح حساسیت گیرنده‌ها آمده است و در شکل (۱۲) فرکانس‌های مورد تداخل و سطح تداخل گزارش شده است.



شکل (۱۰): مقایسه تداخل کل فرستنده‌ها با حساسیت گیرنده در ورودی VRC12-110



شکل (۱۱): مقایسه تداخل کل فرستنده‌ها با حساسیت گیرنده در ورودی MRC11-150

Results Visualisation

EMI Frequencies of RX Radio, (VRC12-110) =	60.95	60.975	61	120.925	120.975
EMI Amplitude of RX Radio, (VRC12-110) =	107.5236	105.7143	103.9046	2	2
Narrowband Inband EMI Frequencies of RX Radio, (VRC12-110) =	None				
Narrowband and Wideband Inband EMI Frequencies of RX Radio, (VRC12-110) =	60				
Narrowband and Wideband Inband EMI Amplitude of RX Radio, (VRC12-110) =	-130.0206				
EMI Frequencies of RX Radio, (MRC11-150) =	60.95	60.975	61	120.925	120.975
EMI Amplitude of RX Radio, (MRC11-150) =	52	52	52	2	2
Narrowband Inband EMI Frequencies of RX Radio, (MRC11-150) =	None				
Narrowband and Wideband Inband EMI Frequencies of RX Radio, (MRC11-150) =	15				
Narrowband and Wideband Inband EMI Amplitude of RX Radio, (MRC11-150) =	-130.0206				

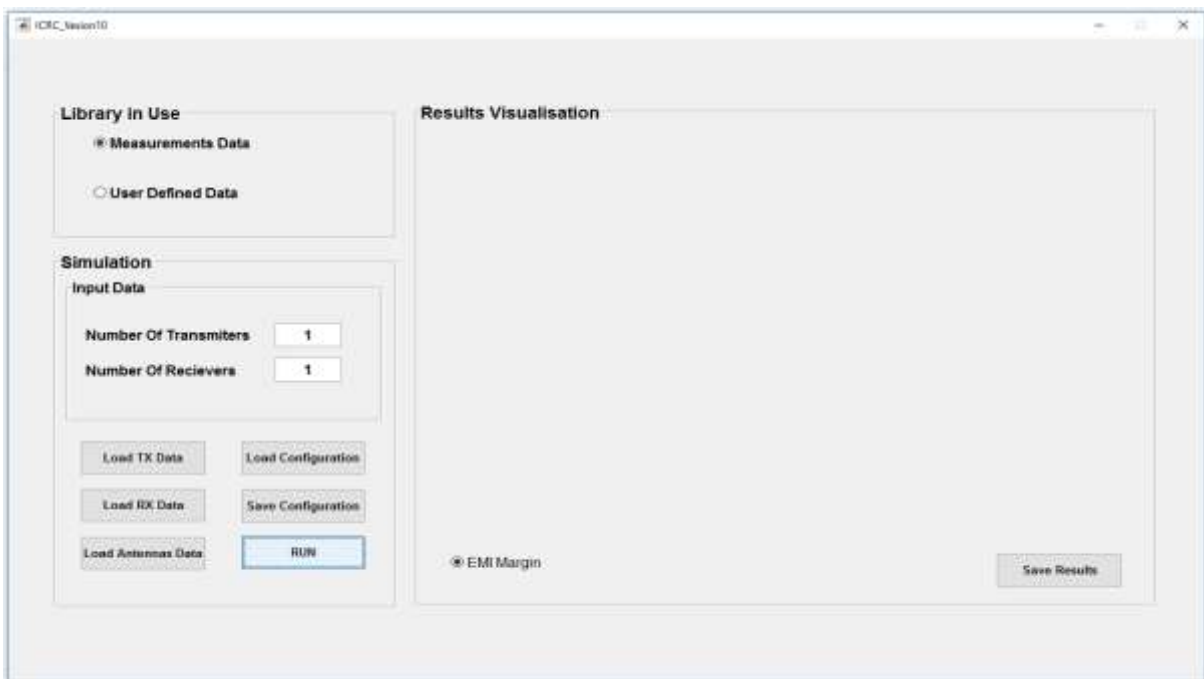
شکل (۱۲): گزارش تداخل‌های رخ داده در ورودی گیرنده‌ها

- [16] H. E. Lobaugh and R. Schulz, "Broad Spectrum and Intermodulation Characteristics of Communication Transmitters," Proc. IEEE Int. Symp. EMC (Boulder, CO), pp.199-203. 1981
- [17] [https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/M3TR\\_bro\\_en\\_5213-9228-12\\_v0700\\_120dpi.pdf](https://scdn.rohdeschwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/M3TR_bro_en_5213-9228-12_v0700_120dpi.pdf)
- [18] ETSI (European Telecommunications Standards Institute), 2018.
- [19] TIA/ANSI (Telecommunications Industry Association Standard), 2015.
- [20] MIL-STD-188/141A, Department of Defense Interface Standard: Interoperability and Performance Standards for Medium and High Frequency Radio Systems, 2003.
- [21] MIL-STD-188/242, Department of Defense Interface Standard: Interoperability and Performance Standards for Tactical Single Channel Very High Frequency, 2003.
- [5] Keysight Technologies, Keysight Technologies, [Online], 2016. Available: <http://www.keysight.com>
- [6] Efield AB, [Online]. Available: <http://www.efieldsolutions.com>.
- [7] GEMACS, "GEMACS Electromagnetic," [Online]. Available: <http://www.gemacs.com/>
- [8] Applied Simulation Technology, [Online]. Available: <http://www.apsimtech.com>
- [9] <http://www.malinsmarine.com/Entertainment/189.htm>
- [10] [https://www.cojot.com/wp-content/uploads/2018/05/COJOT\\_ATA3090M\\_V0.3w.pdf](https://www.cojot.com/wp-content/uploads/2018/05/COJOT_ATA3090M_V0.3w.pdf)
- [11] [https://www.rohde-schwarz.com/us/product/hk014-productstartpage\\_63493-9060.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/product/hk014-productstartpage_63493-9060.html)
- [12] <https://www.passion-radio.com/vhf-uhf/mc101-953.html>
- [13] <https://www.cobham.com/media/655047/Air%20Communication%20Reference%20Table.pdf>
- [14] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers" 2nd edition, Prentice Hall, 1997.
- [15] J. Gavan, "Analysis of Intermodulation Between Broadband Frequency Transmitters on Mobile Radio Networks," Proc. Int. Symp. EMC. (Santa Clara, CA), pp. 23-30, 1982.

#### ضمیمه

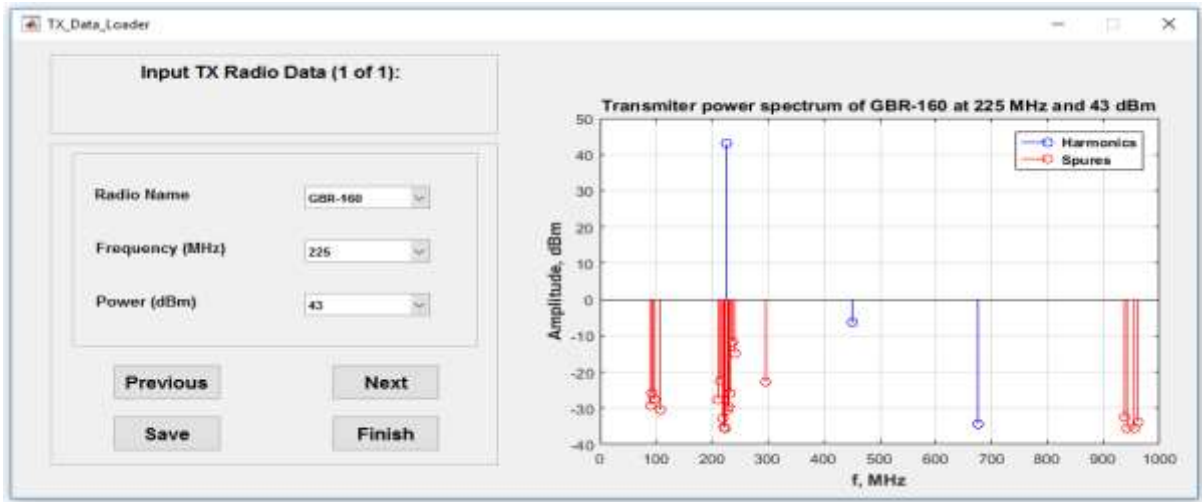
و یا اطلاعات کارخانه‌ای است، صفحات مختلفی دارد که برای نمونه در شکل‌های ضمیمه برخی از آنها آمده است.

کد نوشته برای ارتباط آسان با کاربر براساس اینکه اطلاعات فرستنده‌ها، گیرنده‌ها و آنتن‌ها به صورت اندازه‌گیری یا شبیه‌سازی

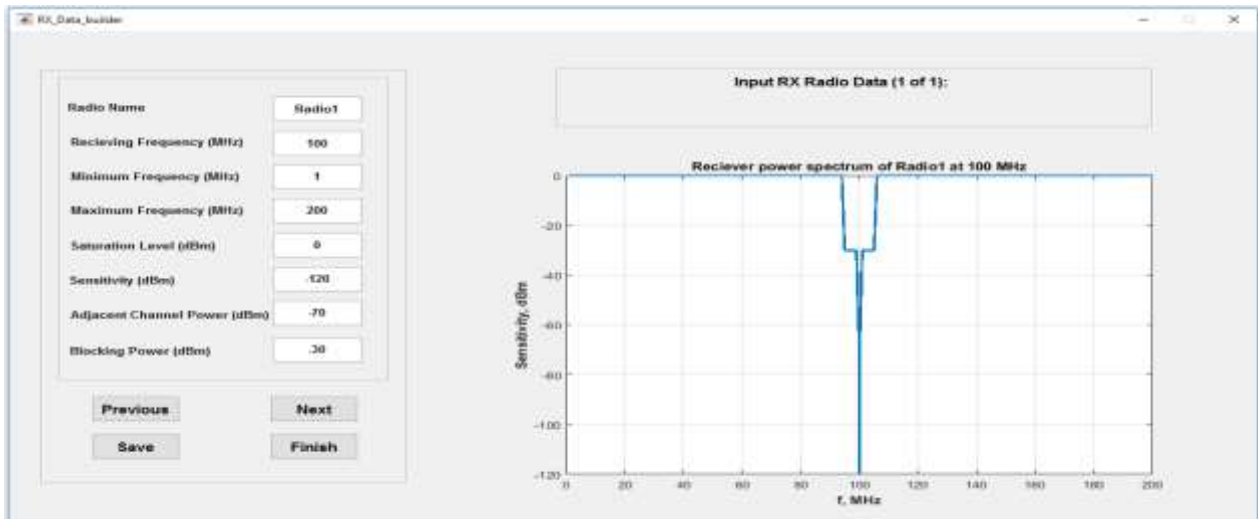


شکل (ضمیمه ۱-): صفحه اصلی کد نوشته شده برای محاسبه تداخل هم‌مکان

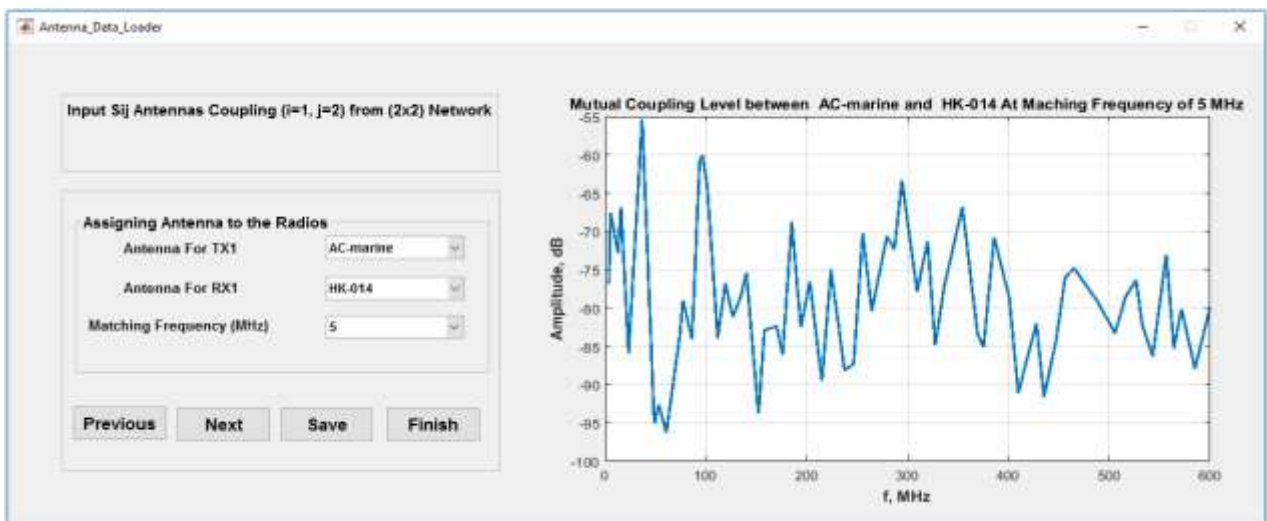




شکل (ضمیمه-۲): صفحه بارگذاری اطلاعات رادیوهای فرستنده با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده



شکل (ضمیمه-۳): صفحه بارگذاری اطلاعات رادیوهای گیرنده با استفاده از داده‌های کارخانه‌ای



شکل (ضمیمه-۴): صفحه بارگذاری اطلاعات کوپلینگ بین آنتن‌ها با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده