

## نرم افزار پوشش رادیویی باند VHF-UHF بر اساس توصیه نامه ITU-RP.1812

مرضیه ذکری اسکویی<sup>۱</sup>

سید احمد گلگون<sup>۲</sup>

### چکیده

پیش از انجام هرگونه طراحی یا بهینه‌سازی در یک شبکه رادیویی لازم است محاسبات کاملی مربوط به شبکه انجام شود. هدف در این شبکه‌ها، رسیدن به کیفیت خدمات مناسب به همراه کاهش هزینه‌ها می‌باشد، بنابراین لازم است پیش‌بینی دقیقی از نحوه انتشار امواج فرستنده‌های نصب شده بدست آید. همچنین این اطلاعات برای محاسبه تداخل در شبکه بکار رفته و می‌تواند دید کاملی نسبت به کیفیت و قابلیت شبکه ایجاد کند. همچنین با داشتن قابلیت محاسبه سطح سیگنال در محیط سرویس و پارامترهای شبکه، می‌توان بر روی آن، بهینه‌سازی لازم را نیز انجام داد. هدف این نرم‌افزار، ایجاد ابزاری برای شبیه‌سازی انتشار امواج بی‌سیم‌های تاکتیکی در باندهای VHF-UHF (۳۰۰-۳۰ MHz) می‌باشد. نرم‌افزار بطور کلی از چهار بخش تشکیل شده است: پایگاه داده، رابط کاربری، GIS و موتور محاسباتی.

### کلید واژه

انتشار امواج رادیویی، پرو فایل مسیر، پوشش، تداخل، جمر، تکرار کننده، دایورسیتی

---

۱. کارشناس ارشد مخابرات، دانشگاه خواجه نصیر طوسی marziehzekri@gmail.com

۲. کارشناس ارشد مخابرات، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

تاریخ پذیرش: ۳ اسفند ۱۳۹۰

تاریخ دریافت: ۲۵ آبان ۱۳۹۰

## مقدمه

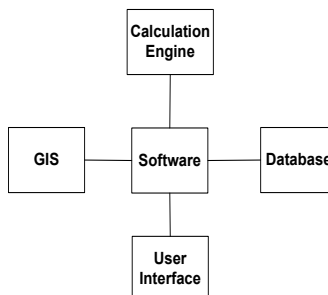
با توجه به نظامی بودن باند فرکانسی نرم افزار، بیشترین کاربرد آن در حوزه فرماندهی می باشد. به طوریکه در یک منطقه عملیاتی فرمانده می تواند با استفاده از این نرم افزار وضعیت سطح توان دریافتی در هر نقطه از منطقه را بررسی نموده، اگر احتیاج به تکرار کننده باشد مکان، توان و سایر مشخصات آن را تعیین نماید. همچنین اثر تداخلی ناشی از فرستنده های مختلف و جمرهای دشمن را مشاهده نماید. با توجه به سطح توان دریافتی و C/I و BER ارائه شده توسط نرم افزار می توان کیفیت صوت و داده های ارسالی را در هر نقطه از منطقه بررسی نمود و بر اساس آن تصمیم گیری های مقتضی را انجام داد و چیدمان مناسب تجهیزات مخابراتی را نه با روش سعی و خطا، بلکه به صورت کاملاً علمی ارائه نمود.

با توجه به نیاز فراوان و عمومی ارتباطات سیار GSM و نیز موبایل نسل سوم اکثر نرم افزارهای تجاری معرفی شده روی شبکه اینترنت با عناوین Network planning و یا Radio Planning به این حوزه اختصاص دارند و نرم افزارهای باند VHF, UHF به دلیل کاربردهای نظامی ارائه نمی شوند. البته با توجه به فعالیت گسترده کاربران رادیو آماتور در این باندها چند نرم افزارها پیش بینی انتشار توسط این دسته در دسترس است، که این نرم افزارها تنها فرایندهای کلی انتشار مثل انتشار دید مستقیم را برای پروفایل های مسیر بسیار ساده مدل می کنند. در حالیکه این نرم افزار تمامی پدیده های مختلف موثر در این باند فرکانسی از جمله آثار مشخصات جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و پستی بلندیهای زمین، موانع بین فرستنده و گیرنده (انواع Diffraction)، Ducting و ... بررسی می نماید و با در نظر گرفتن مشخصات بی سیمها و آنتنهای موجود در کشور می تواند کانال و سیستم های ارتباطی را به خوبی مدل و پیش بینی قابل قبولی ارائه می کند.

در این نرم افزار از جدیدترین توصیه نامه های ITU (ITU-1546, ITU-1812) برای انتشار امواج در باند VHF, UHF استفاده شده است. با توجه به اینکه کل نرم افزار به زبان C# نوشته شده، استانداردهای MSDN برای Net. بعنوان استاندارد کدنویسی و انتخاب گردیده است

## معماری سیستم

نرم افزار بطور کلی از چهار بخش تشکیل شده است:



شکل ۱. معماری سیستم

## GIS

با توجه به اهمیت عوارض جغرافیایی در انتشار امواج در اختیار داشتن یک سیستم GIS کارا و قابل اطمینان نقش بسزایی در عملکرد صحیح سیستم دارد. این بخش دو وظیفه مهم برعهده دارد. اول اینکه برای انجام محاسبات انتشار امواج اطلاعات جغرافیایی لازم (پروفایل زمین) را فراهم کند و دیگر اینکه امکان نمایش صحیح انواع نقشه‌ها و المانهای شبکه را ایجاد نماید. در هر دو مورد نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات کافی در مورد جغرافیا (انواع Datum, Projection و ...)، شناخت انواع نقشه و نحوه استخراج اطلاعات از آنها است. در عین حال با توجه به حجم زیاد نقشه‌ها سرعت اجرای نرم‌افزار نیز تا حد زیادی تحت تاثیر نحوه عملکرد این سیستم است. در کل، مشخصات یک سیستم GIS قابل قبول را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- پشتیبانی از سیستم‌های جغرافیایی مختلف (انواع Datum و Projection)
- شناخت انواع فایل‌های مختلف نقشه (SHP, GeoTIFF, DGN و ...)
- توانایی کار با لایه‌های مختلف اطلاعاتی
- امکانات نمایشی مانند Zoom, Pan و ...
- سرعت بالا در نمایش نقشه‌ها بدون اثرات بصری زائد مانند چشمک زدن صفحه
- تهیه اطلاعات لازم برای سایر قسمت‌های نرم‌افزار

## رابط کاربری

رابط کاربری قسمتی از نرم‌افزار است که کاربران از طریق آن از امکانات نرم‌افزار استفاده می‌کنند. در طراحی رابط کاربری توجه خاص به نیازهای کاربران و سهولت استفاده از امکانات نرم‌افزار ضروری است. البته برای منوهای که زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند Toolbar و Shortcut نیز تعریف شده است. با توجه به چند کاربره (Multi user) بودن نرم‌افزار قسمتی تحت عنوان User Management در آن در نظر گرفته شده است. در هنگام نصب نرم‌افزار یک کاربر اولیه بنام Admin ایجاد می‌شود که بصورت پیش فرض دارای اختیارات کار با تمام قسمت‌های نرم‌افزار است. با استفاده از قسمت User Management امکان ایجاد کاربران دیگر و تعیین حدود اختیارات آنها فراهم می‌شود. اختیارات هر کاربر نسبت به هر پروژه می‌تواند یکی از حالات زیر باشد:

- No Access -
- Read Only -
- Full Access -

علاوه بر این، ممکن است برای کاربر اختیارات لازم برای ایجاد پروژه جدید، یا مدیریت کاربران دیگر را نیز تعریف نمود.

## پایگاه داده

تمام اطلاعات سیستم (بجز نقشه‌ها) در مرکز داده ذخیره می‌شوند. این اطلاعات شامل مشخصات المانهای موجود در شبکه (بی‌سیم، Jammer, Repeater, BTS و ...)، اطلاعات کاربران (نام کاربران، اختیارات هر

کاربر و ... و سایر اطلاعات مورد نیاز هستند. با توجه به کاربرد سیستم، امکان دارد کاربران از آن بصورت تک کاربره (با امکانات سخت‌افزاری محدود) یا چندکاربره (با امکانات سخت‌افزاری بهتر) استفاده کنند. در حالت اول از Access بعنوان پایگاه داده استفاده خواهد شد زیرا نیازی به سرویس دهنده پایگاه داده ندارد. در حالت دوم از SQL Server استفاده می‌شود.

در طراحی نرم‌افزار یک لایه واسط بین پایگاه داده و قسمت‌های سطح بالاتر در نظر گرفته شده است. این لایه وظیفه تبادل اطلاعات بین پایگاه داده و بقیه نرم‌افزار را برعهده دارد. با این ترتیب عملکرد تمام قسمت‌های دیگر نرم‌افزار مستقل از نوع پایگاه داده می‌شود. نرم‌افزار در موقع نصب از کاربر در مورد نوع پایگاه داده مورد استفاده سوال خواهد کرد. در ضمن این امکان وجود دارد که بعداً بتوان پایگاه داده مورد استفاده را تغییر داد. برای سهولت استفاده از سیستم امکان تعریف انواع المانها در نرم‌افزار پیش‌بینی شده است. بعنوان مثال می‌توان چند نوع بی‌سیم مختلف را برای سیستم تعریف کرد و سپس در موقع اضافه کردن المانها به پروژه تنها با مشخص کردن نوع آن از مشخصاتی که قبلاً تعریف شده استفاده کرد. این اطلاعات به پروژه یا کاربر خاصی وابسته نیستند و باید در دسترس تمام پروژه‌ها و کاربران باشند.

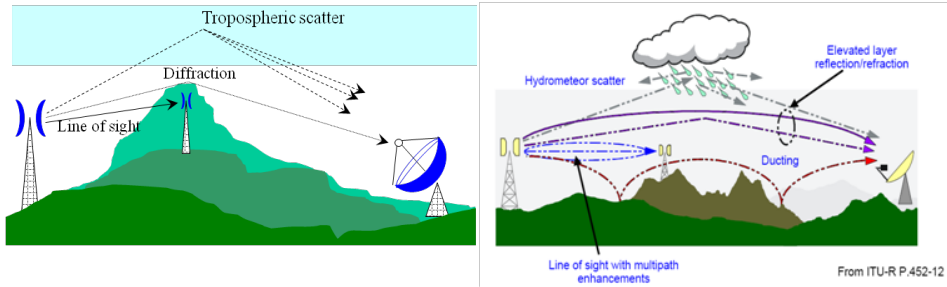
## Calculation Engine

قسمت اصلی نرم‌افزار مرکز محاسباتی آن می‌باشد. در این قسمت کلیه محاسبات مربوط به انتشار امواج انجام شده و نتیجه برای نمایش به سایر قسمت‌های نرم‌افزار انتقال می‌یابد. اطلاعات اولیه مورد نیاز این قسمت نیز از سایر قسمت‌های نرم‌افزار تهیه می‌شود (پروفایل زمین از قسمت GIS، المانها و مشخصات شبکه از پایگاه داده و رابط کاربری) با در اختیار داشتن این اطلاعات محاسبات انتشار امواج انجام می‌شود. این محاسبات در مرحله اول شامل محاسبه توان دریافتی در هر نقطه از منطقه از هر فرستنده می‌باشد. سایر محاسبات مانند تداخل (Interference) یا خطای انتقال اطلاعات (Bit Error Rate) بر پایه نتیجه این محاسبات انجام می‌شوند. با توجه به حجم عظیم و زمانبر بودن محاسبات کلیه تمهیدات لازم بکار بسته خواهد شد تا حداکثر صرفه‌جویی در زمان حاصل شود. با این حال انجام محاسبات عموماً نیاز به کامپیوتری با توان محاسباتی بالا خواهد داشت.

## پدیده‌های موثر بر انتشار در باند VHF, UHF

عمده پدیده‌های مهم و اساسی که در انتشار در باند VHF تاثیر گذار هستند شامل موارد زیر می‌باشند [۱۵-۱]:  
 انتشار فضای آزاد (انتشار دید مستقیم)  
 انتشار بوسیله پدیده تفرق  
 انتشار بواسطه پراکندگی از تروپوسفر  
 انتشار بواسطه پدیده‌های غیر عادی (مانند پدیده ducting)  
 اثر تغییرات آنتن‌های گیرنده و فرستنده  
 تغییرات ارتفاع مکانی  
 البته از آنجا که مدل‌های بکار رفته در این باند غالباً آماری و یا نیمه تجربی بوده، لذا بدست آوردن دقیق تلفات

در یک نقطه غیر ممکن خواهد بود و می توان با یک احتمالی میزان تلفات را پیش بینی کرد. اصولاً سطح سیگنال بدست آمده بیشتر از یک سطح معین برای  $p\%$  زمانی و  $PI\%$  مکانی بیان خواهد شد بدین معنی که بطور مثال  $p\%$  زمان سطح سیگنال از آنچه محاسبه شده بیشتر خواهد بود. لازم به ذکر است که این درصد توسط کاربر مشخص خواهد شد.



شکل ۲. پدیده‌های موثر بر انتشار در باند VHF, UHF

## پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تلفات [۱۵-۱]

پارامترهایی که می‌بایست از طریق کاربر مشخص گردد عبارتند از:

نقشه دیجیتالی  
فرکانس کاری

درصد متوسط زمانی در طول سال که سطح سیگنال از سطح آستانه محاسبه شده بیشتر می‌گردد.

طول جغرافیایی فرستنده

عرض جغرافیایی فرستنده

ارتفاع آنتن از زمین اطراف

الگو آنتن در فرکانس کاری

شعاع محاسبه سطح سیگنال

برخی از پارامترها نیز با استفاده از ورودی کاربر و همچنین نقشه‌های منطقه بدست می‌آید. برخی از این

پارامترها عبارتند از:

فاصله فرستنده تا نقطه مورد محاسبه بر روی دایره عظیمه سطح زمین

فاصله گیرنده و فرستنده تا افق متناظرشان

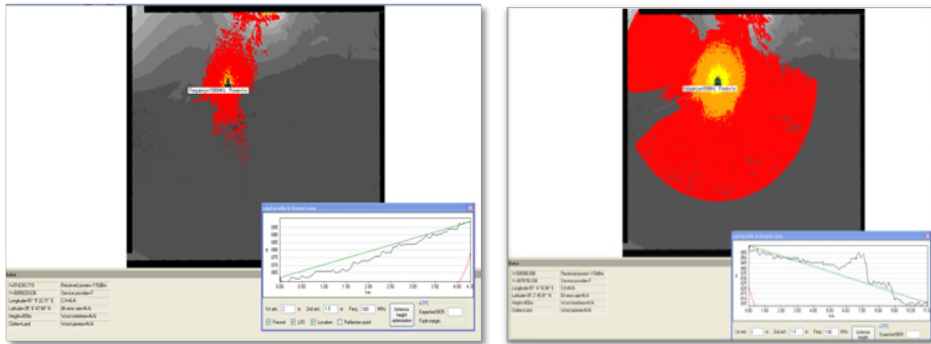
ارتفاع مرکز آنتن‌های گیرنده و فرستنده از سطح دریا

مجموع طول مسیر بر روی سطح دریا

همچنین پروسه محاسبه سطح سیگنال منوط به داشتن دو متغیر مهم آب و هوایی می‌باشد:

-  $\Delta N$  (N-Units/km): میزان کاهش متوسط ضریب شکست رادیویی در یک کیلومتر اول اتمسفر

-  $N_0$  (N-units): ضریب شکست سطح دریا که تنها در مدل پراکندگی از سطح تروپوسفر بکار می‌رود.



شکل ۲. مشاهده سیگنال دریافتی از یک فرستنده در فرکانس ۱۰۰MHz (شکل راست) و ۱GHz (شکل چپ) و مشاهده پروفایل مسیر و خط دید مستقیم و بیضی فرنل در هر دو شکل

### مدولاسیونهای دیجیتال تعریف شده در نرم افزار

این نرم افزار قادر به پشتیبانی از تعداد زیادی مدولاسیون دیجیتال به شرح زیر می باشد:

Coherent QPSK

Coherent FSK

Non-Coherent FSK

Coherent PSK

Non-Coherent PSK

Coherent QAM

MSK

GMSK

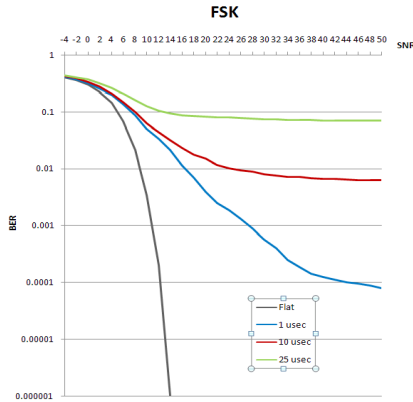
DPSK

DQPSK

### مدل کانال و نحوه محاسبه BER

کانال های انتشاری معمولاً بدلیل پدیده هایی از قبیل بازتاب، تفرق و پراکندگی سیگنال ارسالی انتشار چند مسیره از خود نشان می دهد. انتشار چند مسیره و اثرات داپلر ناشی از حرکت فرستنده/گیرنده و یا اجسام واقع در محیط انتشار، باعث ایجاد کانال محوشدگی چند مسیره می شود.

در یک کانال رابلی که Selective نباشد محاسبه Bit Error Rate از طریق فرمول و یا نمودار انجام می شود. اما در یک کانال Selective فرمول مشخصی برای انجام این محاسبات وجود ندارد. بنابراین تنها راه موجود برای این محاسبه انجام شبیه سازی با در نظر گرفتن اثر Multi path و بدست آوردن نمودار رابطه بین SNR و Bit Error Rate است. این شبیه سازی توسط MATLAB برای چند مدولاسیون مختلف انجام شده و از نتایج آن در نرم افزار استفاده شده است.



شکل ۴. رابطه بین SNR و BER به ازای مقادیر مختلف Delay در مدولاسیون FSK

در نرم افزار چهار حالت برای محاسبه BER در نظر گرفته شده است که کاربر با توجه به شرایط محیطی یکی را انتخاب می کند:

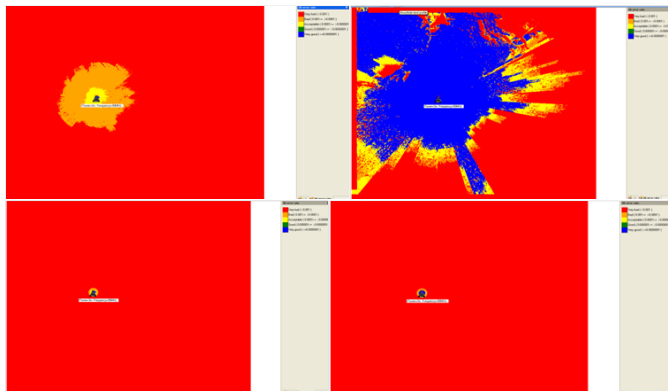
**Flat:** زمین صاف و بدون وجود موانعی که باعث ایجاد Multi path شوند. در این صورت محاسبه BER با استفاده از منحنی Flat انجام می شود.

**Urban:** محیط شهری. محیطی که موانع بزرگ در فواصل نزدیک وجود دارند و در نتیجه ایجاد Multi path در فواصل طولانی ممکن نیست. در این صورت محاسبه BER با استفاده از منحنی 1 usec انجام می شود.

**Field-Mountain:** محیط تپه ماهور. محیطی که شامل موانع نه چندان بزرگ اما پراکنده است. در این صورت محاسبه BER با استفاده از منحنی 10 μsec انجام می شود.

**Mountain:** محیط کوهستانی. محیطی که شامل موانع بزرگ در فواصل نسبتاً دور است. در این صورت محاسبه BER با استفاده از منحنی 25 μsec انجام می شود.

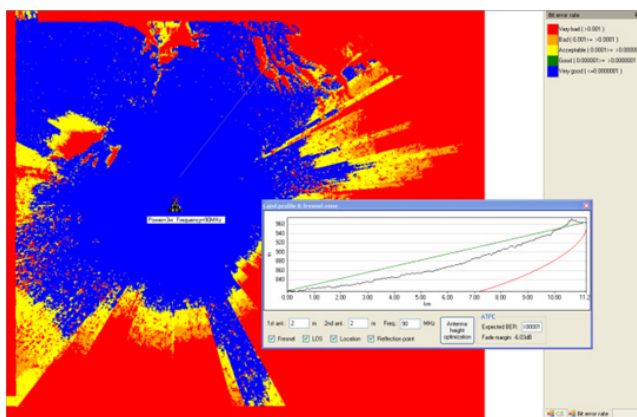
مقدار تاخیر برای محیطهای مختلف از توصیه نامه ۱۴۰۶-ITU استخراج شده اند.



شکل ۵. مشاهده BER به ترتیب در حالت Flat، urban، Field-Mountain و Mountain برای مدولاسیون DQPSK

## محاسبه ATPC

نرم‌افزار قادر است با توجه به مقدار قابل قبول BER که توسط کاربر وارد می‌شود Fade margin قابل قبول را محاسبه نماید. این ابزار نیز در پنجره پروفایل زمین قرار دارد. محاسبه ATPC به نوعی عکس محاسبه BER است. منظور از این محاسبات این است که مشخص کند که توان فرستنده را تا چه اندازه می‌توان کم کرد بدون اینکه BER در نقطه خاصی از مقدار مشخصی بدتر شود. که این مقدار تحت عنوان Fade Margin مشخص می‌شود.

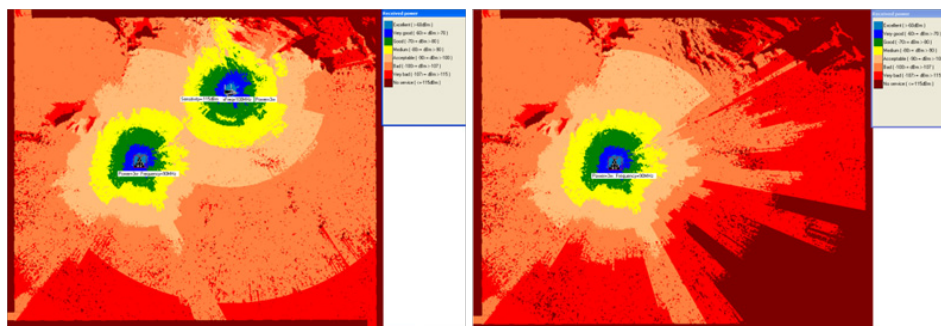


شکل ۶. مشاهده محاسبه ATPC با توجه به BER درخواستی در یک نقطه مشخص

## تکرار کننده اکتیو

تکرار کننده اکتیو دستگاهی است که سیگنال را در طرف ورودی دریافت کرده، آن را تقویت کرده و دوباره ارسال می‌کند.

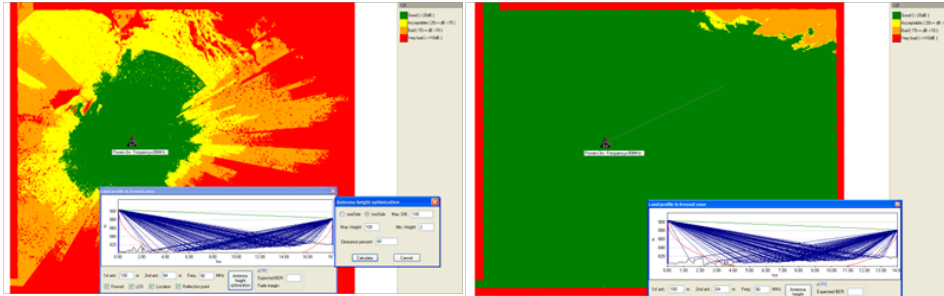
نرم‌افزار برای تعریف المان تکرار کننده مشخصه‌هایی را از کاربر دریافت می‌کند که شامل نوع و الگو آنتن‌های گیرنده و فرستنده، زاویه سمت و میل دو آنتن، ارتفاع تکرار کننده، حساسیت گیرنده تکرار کننده، و توان فرستنده تکرار کننده و مانند آن می‌باشد.



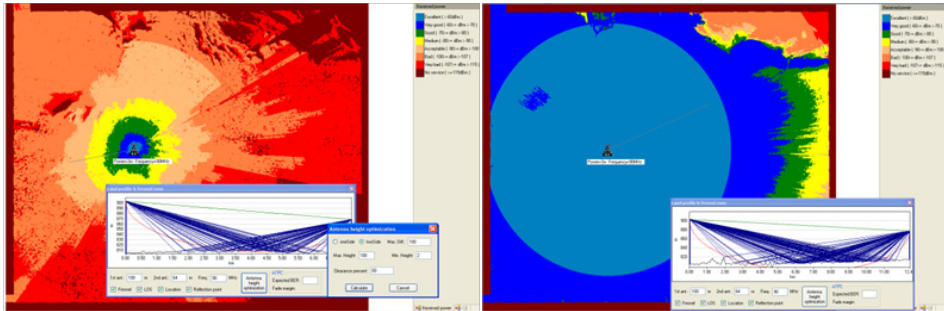
شکل ۷. مشاهده پوشش بدون تکرار کننده (شکل بالا)، با حضور تکرار کننده (شکل پایین)

## بهینه‌سازی ارتفاع آنتن

نرم‌افزار قادر است با توجه به محدودیتهایی که کاربر وارد می‌کند (حداکثر و حداقل ارتفاع آنتن ها و حداکثر اختلاف بین ارتفاع دو آنتن) ارتفاع یک آنتن یا هر دو آنتن را طوری بهینه کند که مقدار خواسته شده از بیضی فرنل (Clearance Percent) بالاتر از سطح پروفایل زمین قرار گیرد.



شکل ۸. مشاهده C/I قبل و بعد از تغییر ارتفاع آنتنها



شکل ۹. مشاهده پوشش قبل و بعد از تغییر ارتفاع آنتنها

## دایورسیتی

یکی از روش‌های شناخته شده جهت کاهش اثرات مربوط به محوشدگی استفاده از تکنیک دریافت دایورسیتی است. در عمل این تکنیک هم در فرستنده و هم در گیرنده قابل بکارگیری است. این تکنیک برپایه دریافت دو و یا چند نمونه از سیگنالهای دریافتی با همبستگی کم، در حالت ایده‌آل صفر، می‌باشد. براساس تئوری احتمالات، احتمال اینکه  $M$  نمونه ناهمبسته از فرآیندهای تصادفی که بصورت همزمان کمتر از سطح مشخصی باشد برابر می‌باشد که در آن احتمال آن است که یک نمونه زیر آن سطح مشخص باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که اگر سیگنال متشکل از ترکیب ورژن‌های مختلف از سیگنال دریافتی باشد بسیار کمتر از یک تک سیگنال تحت تاثیر پدیده محوشدگی واقع می‌شود.

در عمل چندین روش برای پیاده‌سازی این تکنیک وجود دارد. یکی از گسترده‌ترین تکنیک‌های موجود استفاده از ترکیب‌کننده‌های خطی است. در این روش سیگنال‌های ورودی پس از ضرب شدن در یک پارامتر وزن دهی با یکدیگر بصورت خطی جمع می‌شوند.

از انتخاب ضرایب وزن دهی تحقق‌های مختلف با کارایی مختلف حاصل می‌شود. سه نوع معروف از این تحقق‌ها عبارتند از:

## Scanning and selection combiners

در این روش ضریب وزن دهی مربوط به شاخه‌ای با بالاترین مقدار سیگنال به نویز برابر یک و بقیه صفر فرض می‌شوند.

## Equal-gain combiners

در این روش کلیه ضرایب برابر یک فرض می‌شود. هیچگونه کوششی جهت وزن دهی سیگنالها قبل از ترکیب انجام نمی‌شود.

## Maximal ratio combiners

در این روش ضرایب وزن دهی هر شاخه متناسب با ریشه دوم میانگین مربع سیگنال شاخه و متناسب با عکس میانگین مربع نویز آن شاخه می‌باشد. در نرم افزار دایورسیتی مکانی و فرکانسی در نظر گرفته شده است که در زیر به تشریح آن پرداخته می‌شود.

## دایورسیتی مکانی

دایورسیتی مکانی به استفاده از دو و یا چند آنتن گیرنده که به طور فیزیکی از یکدیگر مجزا و در فاصله از هم قرار گرفته‌اند اطلاق می‌گردد. این باعث بهبود عدم دسترسی لینک بر اثر پدیده‌های انتشاری مانند محوشدگی و تغییرات در ضریب شکست اتمسفر می‌گردد. گین دایورسیتی مکانی به عوامل مختلف بستگی دارد که مهمترین آنها شامل پارامترهای زیر می‌باشند:

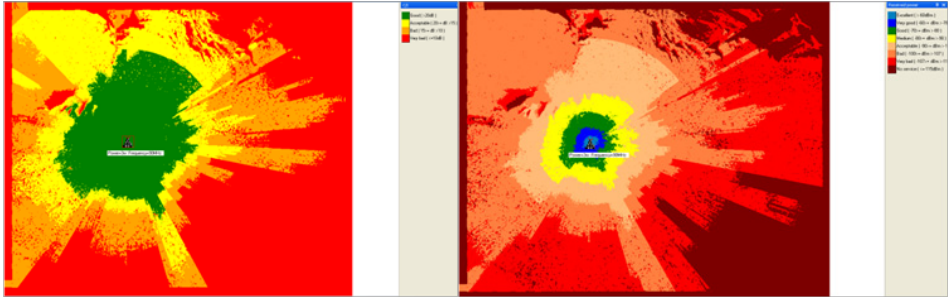
- جهت آنتن‌ها نسبت به موبایل
- ارتفاع آنتن‌ها
- فاصله آنتن‌ها
- اختلاف گین آنتن‌ها
- تعداد آنتن‌ها
- سایر موارد فیزیکی

## دایورسیتی فرکانس

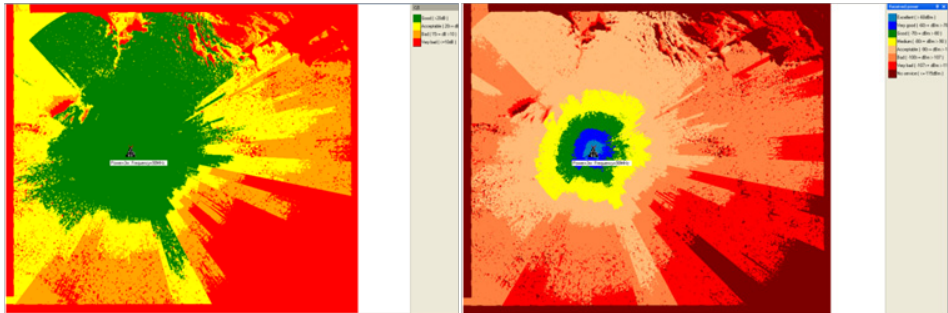
در این نوع دایورسیتی امکان استفاده از یک لینک به منظور ایجاد تنوع است. در صورتی که یکی از فرستنده‌ها یا گیرنده‌ها خراب شد، ترافیک به سایر گیرنده‌ها و فرستنده‌ها انتقال داده می‌شود. نقطه ضعف این نوع دایورسیتی لزوم استفاده از چندین تجهیزات فرستنده و گیرنده همچنین طیف فرکانسی می‌باشد.

بهره دایورسیتی فرکانسی به عوامل مختلف بستگی دارد که مهمترین آنها شامل پارامترهای زیر می‌باشند:

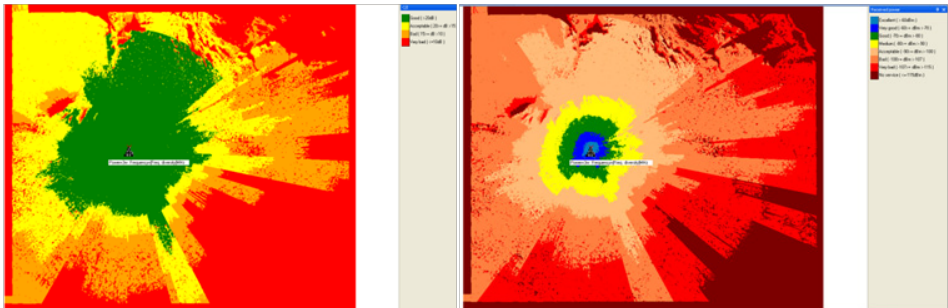
- فاصله فرکانسی
- پهنای باند دریافتی
- حداکثر اختلاف مسیر طی شده سیگنال از فرستنده تا گیرنده



شکل ۱۰. مشاهده سیگنال دریافتی (شکل سمت راست) و C/I (شکل سمت چپ) در حالت بدون داپورسیتی



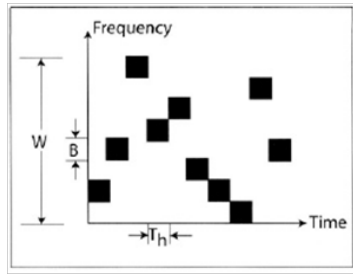
شکل ۱۱. مشاهده سیگنال دریافتی (شکل سمت راست) و C/I (شکل سمت چپ) در حالت داپورسیتی فاصله با چهار آنتن



شکل ۱۲. مشاهده سیگنال دریافتی (شکل سمت راست) و C/I (شکل سمت چپ) در حالت داپورسیتی فرکانس در دو فرکانس ۹۰,۱۰۰MHz

## پرش فرکانس

پرش فرکانسی، تغییر پریودیک فرکانس حامل سیگنال ارسالی می باشد. ترتیب فرکانس حامل را الگوی پرش فرکانسی می نامند. مجموعه  $M$  عضوی فرکانس های حامل مجموعه پرش و نرخ پرش که فرکانس حامل تغییر می کند نرخ پرش نامیده می شود. پرش فرکانسی بر روی باند فرکانسی که به آن باند پرش می گویند، اتفاق می افتد. این باند فرکانسی شامل  $M$  کانال فرکانسی می باشد. هر کانال فرکانسی به صورت طیف فرکانسی که فرکانس حامل پرش فرکانسی در وسط و پهنای باند  $B$  که اکثر توان سیگنال را شامل می شود، تعریف می گردد. شکل ۱۱ شمای گرافیکی پرش فرکانسی را تشریح می کند. مسلم است که رابطه می بایست برقرار باشد.



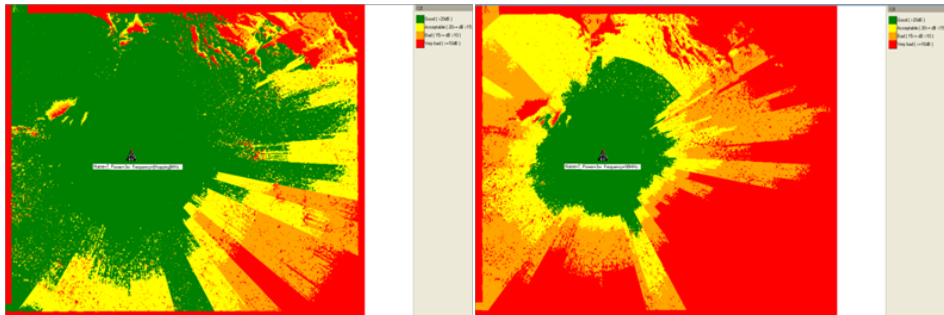
شکل ۱۳. پرش فرکانسی در طیف و زمان

اگرچه پرش فرکانسی هیچ گونه مزیتی در مقابل نویز سفید ایجاد نمی کند، ولی باعث می شود که سیگنال ها به خارج از کانالهایی با تداخل (خواسته یا ناخواسته) و یا محو شدگی کند وابسته به فرکانس پرش کنند.

پرش فرکانسی از یک جنبه به دو گروه پرش فرکانسی سریع و پرش فرکانسی کند تقسیم می شود. در پرش فرکانسی سریع نرخ پرش از نرخ ارسال سمبل بیشتر می باشد یا به عبارتی هر سمبل اطلاعات در تعدادی فرکانس پرش ارسال می گردد. در پرش فرکانسی کند در هر بازه زمانی بین هر دو پرش یک یا بیش از یک سمبل اطلاعاتی ارسال می شود.

#### محاسبه تداخل در حالت پرش فرکانسی

از آنجا که در هر فرکانس کاری تداخلی که گیرنده می بیند در حالت کلی متفاوت می باشد، بنابراین می بایست یک میانگین برای حالت پرش فرکانسی محاسبه شود. بدین معنی که حالت متوسط  $C/I$  در یک نقطه برابر میانگین اثر هر امکان در فضای انتخاب فرکانسی می باشد. بنابراین کلیه حالت های اختصاص می بایست بررسی شود. این حالت ها هم برای فرستنده سرویس دهنده در آن نقطه مد نظر می باشد و هم کلیه تداخلگر ها. برای محاسبه میانگین  $C/I$  در یک نقطه، ابتدا به ازای کلیه فرکانس های موجود فرستنده سرویس دهنده و فرستنده های تداخلگر، توان در آن نقطه بدست می آید. سپس به ازای هر فرکانس فرستنده سرویس دهنده، مجموع تداخل بدست می آید. برای بدست آوردن مجموع تداخل، به ازای هر فرکانس  $C/I$  بدست آمده و به BER تبدیل شده و سپس میانگین BER بدست آمده و سپس با استفاده از جدول زیر به  $C/I$  تبدیل شده و از آنجا مقدار تداخل میانگین بدست می آید.



شکل ۱۴. مشاهده  $C/I$  فرستنده. شکل راست بدون پرش فرکانس در فرکانس ۹۰ MHz و شکل چپ فرستنده با پرش فرکانس در بازه فرکانسی (۸۰-۱۲۰ MHz)

## Jammer

هدف از تمام انواع جمینگ تداخل با طیف فرکانسی دشمن می‌باشد. این تداخل، انتقال اطلاعات از یک نقطه به نقطه دیگر را مشکل می‌سازد. این اطلاعات ممکن است از نوع صدا یا انواع دیگری مانند اطلاعات تصویری یا دیجیتالی، سیگنال های فرمان برای وسایل بی‌سیم، اطلاعات ارسال شده توسط دستگاه های بی‌سیم یا مانند آن باشد.

جمینگ وقتی مؤثر است که سیگنال تداخل کننده در گیرنده بقدری قوی باشد که مانع از بازیابی اطلاعات لازم از سیگنال مطلوب گردد. این کار در دو صورت امکان پذیر است: یا سیگنال تداخل کننده بقدری قوی است که سیگنال مطلوب را در خود غرق می‌کند، یا سیگنالهای مطلوب و تداخل کننده که با هم ادغام شده‌اند بقدری شبیه هم باشند که پردازشگر گیرنده نتواند آنها را از هم جدا کند.

هر گیرنده رادیویی برای عملکرد صحیح باید امواجی دریافت کند که دارای نسبت مناسبی از سیگنال مطلوب به نویز (SNR) و یا (C/I) باشد. توان دریافتی سیگنال مطلوب به عواملی مانند توان فرستنده، فاصله فرستنده و گیرنده و فرکانس مورد استفاده دارد.

اگر برای ارتباط رادیویی از روش پرش فرکانسی یا روشهای طیف گسترده استفاده شود، اجرای جمینگ دشوارتر است. زیرا جمر باید در تمام جهتها، تمام فرکانسها و تمام مدت زمانی که احتمال کارکرد گیرنده می‌رود سیگنال ارسال کند. این به معنی صرف انرژی بسیار بیشتری توسط جمر است.

اثر تعدادی از جمر های متداول در نرم افزار آورده شده است. در واقع هر جمر بصورت یک ایستگاه فرستنده با مکان، الگو آنتن گیرنده/فرستنده مشخص، توان ارسال و نوع جمینگ معین و ... تعریف می‌گردد. نرم افزار چهار نوع جمر را در نظر می‌گیرد:

### BARRAGE NOISE JAMMER

این جمر در واقع خوش خیم‌ترین جمر می‌باشد. این جمر در کل پهنای باند یک نویز سفید گوسی با چگالی طیف توان یک طرفه تولید می‌کند. معمولاً فرض می‌شود که طیف توان این نوع جمر دقیقاً کل پهنای باند موجود را می‌پوشاند.

### PARTIAL-BAND JAMMER

وقتی که مؤلفه های پرش فرکانس در سیستم ارسال موجود می‌باشد، توان جمر می‌تواند به صورت مؤثرتری در پهنای فرکانسی کوچکتری از پهنای باند کل متمرکز شود و اثر مخرب بیشتری از خود نشان دهد. این نوع جمر تمام توان خود را در قسمت کوچکی از پهنای باند متمرکز می‌کند در نتیجه تاثیر آن برای فرستنده‌هایی که در این قسمت باند کار کنند بسیار بیشتر است.

در نرم افزار مجموعه فرکانس های پرش مشخص می‌باشد، لذا می‌توان دقیقاً مطلع بود چند حامل از کل حامل ها بر روی پهنای باند جمر خواهند بود. برای بدست آوردن میزان کریبر به تداخل، به ازای همه

فرکانس های فرستنده سرویس دهنده، میزان  $C/I$  بدست آمده و طبق جدول تبدیل احتمال خطا به  $C/I$  به BER تبدیل شده و در نهایت یک میانگین گیری بر روی آن انجام پذیرفته و حاصل به  $C/I$  تبدیل می شود.

### SINGLE-TONE JAMMER

این نوع جمر در واقع یک تن پیوسته با توان در نقطه‌ای از پهنای باند ایجاد می کند. این نوع جمر در سیستم‌هایی با پرش فرکانسی موثر نمی باشد مگر آنکه سیستم جمر فرکانس های پرش فرکانسی را شناسایی کرده و با نرخ بالاتری روی فرکانس ها جهش کند. در صورتی که این نوع جمر دارای پرش فرکانسی نباشد، به منظور شبیه سازی می توان آن را دقیقاً به عنوان یک فرستنده تداخلگر در نظر گرفت و مطابق محاسبات تداخل در حالت غیر پرش فرکانسی اثر آن را شبیه سازی کرد.

در صورتی که خود جمر دارای پرش فرکانسی بوده، فرض می کنیم که مجموعه پرش آن دقیقاً برابر مجموعه پرش فرستنده سرویس دهنده در محل جمر می باشد. بدین منظور توان کلیه فرستنده ها را در فرکانس

$$\sqrt{f_{i,\min} \times f_{i,\max}}$$

در مکان جمر محاسبه می کنیم، که در آن:

$$f_{i,\min} : \text{فرکانس کاری کمینه فرستنده ام و}$$

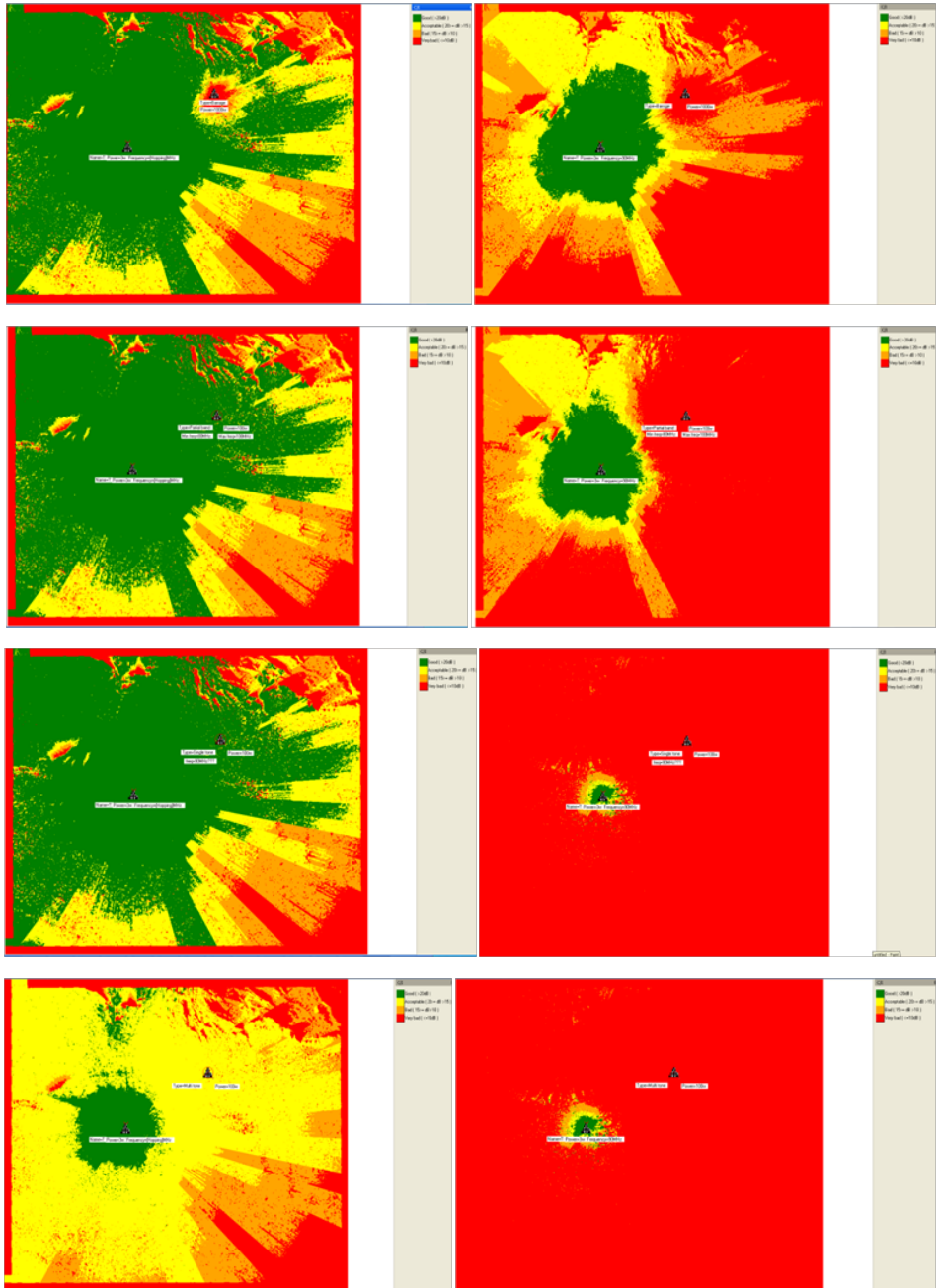
$$f_{i,\max} : \text{فرکانس کاری بیشینه فرستنده ام می باشد.}$$

مجموعه پرش جمر برابر با مجموعه پرش فرستنده ای خواهد بود که دارای بیشترین توان در فرکانس محاسبه شده می باشد.

### MULTI-TONE JAMMER

برای حالت پرش فرکانسی، استراتژی بهتری که به عنوان جمر می توان در نظر گرفت، استفاده از multi tone jammer می باشد. این نوع جمر چندین tone که هر یک سهمی از کل توان جمر را دارد در فرکانس های مختلف ساطع می کند. با این ترتیب جمر می تواند مانع از فعالیت فرستنده ها در چندین فرکانس مختلف شود.

در این جمر نیز در ابتدا در مکان جمر، بهترین فرستنده سرویس دهنده مشخص می شود، سپس کاربر مشخص می کند که آیا تعداد تن های جمر با تعداد اعضای مجموعه پرش فرستنده سرویس دهنده برابر می باشد و یا اینکه تعداد تن های جمر محدود به می باشد. توان کل جمر به نسبت مساوی بین تن ها تقسیم می گردد. مطابق قبل می توان اثر جمر را توسط یک فرستنده تداخلگر با تعداد فرکانس مشخص بدون پرش مدل کرد و میزان  $C/I$  را بدست آورد.



شکل ۱۵. مشاهده  $C/I$  به ترتیب: با جمر Barrage, Partial-band, Single-tone و Multi-tone jammer  
 شکل های سمت راست در فرکانس ۹۰MHz و شکلهای چپ فرستنده با پرش فرکانس در بازه فرکانسی (۸۰-۱۲۰MHz)

## تست نرم افزار

### مقایسه با نمودارهای ITU

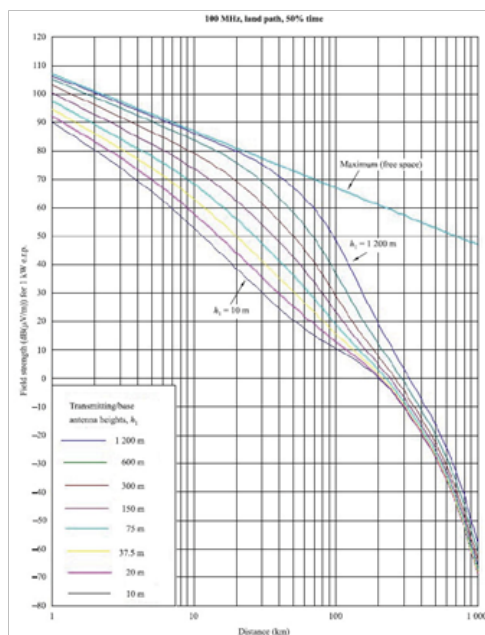
در توصیه نامه ITU-R P.۱۵۴۶ میزان شدت میدان به ازای توان تشعشعی موثر  $1\text{ kW}$  به ازای فرکانس های  $600\text{ MHz}$ ،  $100\text{ MHz}$ ، و  $2000\text{ MHz}$  مگاهرتز و پارامترهای مختلف داده شده است. این منحنی ها براساس داده های اندازه گیری برای شرایط آب و هوایی متوسط و معمول بدست آمده است بنابراین می توان از این نمودارها به منظور بررسی کردن صحت عملکرد نرم افزار استفاده نمود.

در شکل زیر نمونه ای از منحنی های مقدار شدت میدان برحسب فاصله متعلق به ITUR P.۱۵۴۶ و همچنین منحنی مشابه که از خروجی نرم افزار VUPlanner بدست آمده اند دیده می شود. چنانکه مشاهده می شود تطبیق بسیار خوبی بین منحنی ITU و نتایج نرم افزار وجود دارد. اندک اختلاف بین منحنی ها احتمالاً به دلایل زیر است:

- مشخص نبودن مقادیر پارامترها از قبیل  $\Delta N$ ،  $N_0$ ، ارتفاع آنتن گیرنده و ... در ITUR P.۱۵۴۶

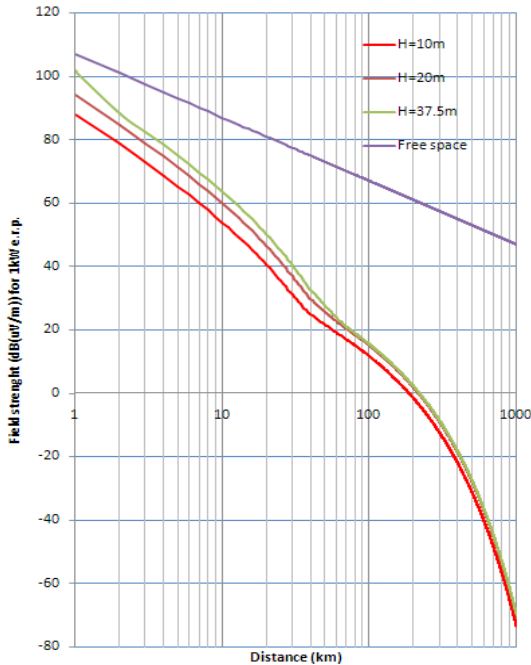
- مشخص نبودن ارتفاع کلاتر در ITUR P.۱۵۴۶

- جدیدتر بودن توصیه نامه های استفاده شده در نرم افزار نسبت به ITUR P.۱۵۴۶



شکل ۱۶. میزان شدت میدان به ازای توان تشعشعی موثر  $1\text{ kW}$  به ازای فرکانس های  $100\text{ MHz}$  بر اساس توصیه نامه ITU-R P.۱۵۴۶ ( $120-80\text{ MHz}$ )

100MHz, Land path, 50% time

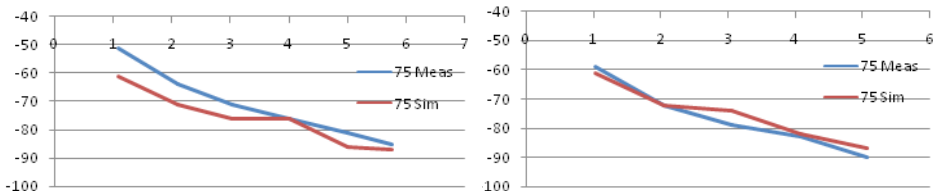


شکل ۱۷. شدت میدان دریافتی به ازای توان موثر تشعشعی یک کیلووات در مسیر خشکی و با فرکانس ۱۰۰MHz (نرم افزار VUPlanner)

تست عملی

نرم افزار در دو ناحیه سعادت آباد تهران و منطقه علی آباد قم مورد تست عملی قرار گرفت. به این معنی که نتایج شبیه سازی نرم افزار با مقداری که از اندازه گیری شدت سیگنال یک فرستنده خاص مقایسه گردید. در بیشتر فرکانس ها و بیشتر نقاط تطابق خوبی بین اندازه گیری و شبیه سازی وجود دارد. علل قابل توجه در وجود بعضی مغایرتها را می توان به شرح زیر برشمرد:

- صحیح نبودن الگو و گین آنتن مخصوصا در فرکانسهای پایین
- تقریبی بودن نقشه. چنانکه در محل دیده شد، مسیر آزمایش در واقع یک جاده نسبتا هموار و مستقیم بود اما به دلیل رزولوشن نقشه (۵۰ متر) بدیهی است که در بهترین حالت به جای جاده میانگینی از سطح جاده و تپه های اطراف در نقشه دیده می شود.



شکل ۱۸. نمونه ای از مقایسه نتایج شبیه سازی و اندازه گیری در فرکانس ۷۵MHz در نقاط مختلف

## نتیجه‌گیری

- در کل برخی از قابلیت‌های نرم افزار عبارتند از:
- قابلیت کاربرد در شبکه های تاکتیکی
- رسم دیاگرام پوشش منطقه
- رسم پروفایل مسیر
- پیش بینی دقیق از نحوه انتشار امواج در باند VHF, UHF
- بررسی اثرات انواع جمر و محاسبه تداخل در شبکه ها
- تخمین لینکهای رادیویی ثابت و جهش فرکانس
- پشتیبانی لینکهای point-to-point, point-to-area
- بررسی اثرات تکرار کننده ها
- مشاهده پروفایل زمین و منحنی فرنل
- محاسبه ارتفاع آنتن بهینه
- محاسبه BER برای مدولاسیونهای دیجیتال مختلف
- توانایی کار با لایه های مختلف اطلاعاتی
- شناخت انواع فایل های مختلف نقشه (SHP, GeoTIFF, DGN و ...)
- پشتیبانی از سیستم های جغرافیایی مختلف (انواع Datum و Projection)
- استفاده از تکنیکهای دایورسیتی مکانی و فرکانسی

## مراجع

- [1] ITU-R Recommendation P.370, VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30MHz to 1000MHz.
- [2] ITU-R Recommendation P.525, Calculation of free-space loss.
- [3] ITU-R Recommendation P.617, Propagation prediction techniques and data required for the design of trans-horizon radio-relay systems.
- [4] ITU-R Recommendation P.834, Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation.
- [5] ITU-R Recommendation P.1546, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz.
- [6] ITU-R Recommendation P.1812, A path-specific propagation prediction method for point-to-area predictions for terrestrial services in the VHF and UHF bands.
- [7] H. Sizun, "Radio Wave Propagation for Telecommunication Application",

Springer Verlag, 2005.

[8] ITU-R Recommendation P.453, The radio refractive index: its formula and refractivity data.

[9] ITU-R Recommendation P. 526, Propagation by diffraction

[10] OHLOSS PATH LOSS COMPUTATION with OHLOSS TUTORIAL, Recommendation WG 2.99.052, national spectrum managers association, October 2000.

[11] T. Kurner, M. Lebherz, W. Wiesbeck, W. Krank, "Signal Characteristics of the VHF/UHF Propagation Channel", Antenna and Propagation Society International Symposium (IEEE), June 1991, pp. 1530-1533, vol. 3.

[12] Manfred Lebherz, Werner Wiesbeck, and Wolfgang Krank, "A Versatile Wave Propagation Model for the VHF/UHF Range Considering Three-Dimensional Terrain", IEEE Transaction on Antenna and Propagation, vol. 40, no. 10, Oct 1992.

[13] Thomas Kurner, Dieter J. Cichon, and Werner Wiesbeck, "Evaluation and Verification of the VHF/UHF Propagation Channel Based on a 3-D-Wave Propagation Model", IEEE Transaction on Antenna and Propagation, vol. 44, no. 3, March 1996.

[14] David Farina, Jeffrey Bull, Jeffrey Wilcox and James Vance, "VHF PROPAGATION EXPERIMENT MEASUREMENT SYSTEM DESCRIPTION", Antenna and Propagation Society International Symposium (IEEE), June 1995, pp. 1698-1701, vol. 4.

[15] Adrian W. Graham, Nicolas C. Kirkman and Peter M. Paul, "Mobile Radio Network Design in The VHF and UHF Bands, A Practical Approach", John Wiley & Sons, England, 2007.

[16] Alexandra Duel-Hallen, "FADING CHANNELS," Wiley Encyclopedia of Telecommunications

[17] John G. Proakis, Digital communications, 4th edition, McGraw Hill, 2001.

[18] Simon Heykin, Communication systems, 4th edition, John Wiley & Sons, 2001.

[19] Bernard Sklar, "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems," Part I: Characterization, IEEE Communications Magazine, July 1997

- [20] Kyehun Lee and Steve Ellingson, "Terrestrial Propagation at LWA Frequencies," May 2, 2008
- [21] J.D. Parson, The Mobile Radio Propagation Channel, second edition, John Wiley & Sons Ltd, 1992.
- [22] Understanding and Maximizing Space Diversity Gain at 400MHz, Sigma Wireless Communications Ltd, [www.sigmaxwireless.com](http://www.sigmaxwireless.com).
- [23] Hiroaki Nakabayashi and Shigeru Kozono, "Theoretical Analysis of Frequency-Correlation Coefficient for Received Signal Level in Mobile Communications," IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 51, NO. 4, JULY 2002.
- [24] Víctor M Hinojosa, José Mireles and Humberto Ochoa, "FREQUENCY SELECTIVITY PARAMETERS ON MULTI-CARRIER WIDEBAND WIRELESS SIGNALS," Institute of Engineering and Technology, University of Ciudad Juárez.
- [25] Lihan Liu, Yangbin Pu, Zongrui Ding, "AN IMPORTANT CHARACTER FOR THE ENVELOPE CORRELATION COEFFICIENT OF MRC SIGNALS OVER CORRELATED RICEAN FADING CHANNELS," The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'07), 2007.
- [26] Yongbing Wan, J. C. Chen, "Fading Distribution of Diversity Techniques with Correlated Channels," IEEE, 1995.
- [27] Jeremiah Hu and Norman C. Beaulieu, "Accurate Simple Closed-Form Approximations to the Distributions and Densities of a Sum of Independent Rayleigh Random Variables," IEEE, 2004.
- [28] M. Schwartz, W.R. Bennett, and S. Stein, Communication Systems and Techniques, New York: McGraw-Hill, 1966.
- [29] Richard Saucier, Computer Generation of Statistical Distributions, ARMY RESEARCH LABORATORY, March 2000.
- [30] [http://www.sitmo.com/doc/Generating\\_Correlated\\_Random\\_Numbers](http://www.sitmo.com/doc/Generating_Correlated_Random_Numbers)
- [31] Roger L. Peterson, Rodger E. Ziemer, and David E. Borth, "Introduction to Spread-Spectrum Communications," Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [32] Don Torrieri, "Principles of Spread-Spectrum Communication

Systems", Springer, Boston, 2005.

[33] "ASSET User Reference Guide", AIRCOM International Ltd, 2004,  
<http://www.aircom.co.uk>.

