مجله علمی پژوهشی «الکترومغناطیس کاربردی»
سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵؛ ص ۲۸- ۱۷

ارائه مدلی برای پیش‌بینی انتشار امواج رادیویی در فرکانس ۲۱۰۰MHz برای کلان شهر تهران

سعید قاضی مغربی[1*]، پریسا بیان[2]

۱- استادیار، ۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مخابرات، دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری

(دریافت: ۹۶/۰۸/۰۷، پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۶)

چکیده: طراحان شبکه‌های مخابرات سیار برای اطمینان از سطح قابل قبول کیفیت خدمات برای کاربران، به نتایج حاصل از مدل‌های افت مسیر انتشار تکیه می‌کنند و بر آن اساس طراحی شبکه انجام می‌شود. در این مقاله از مدل انتشار استاندارد برای پیش‌بینی اتلاف توان در شبکه مخابرات سیار شهر تهران استفاده شده است تا با ارائه مدلی خصوصیات انتشار در کلان شهر تهران برای شبکه 3G استخراج شود. در مقالات مختلف مدل‌های انتشار متفاوتی برای شهرهای مختلف ارائه‌شده اما شهرهای مورد مطالعه در این مقالات عمدتا جمیع ویژگی‌های شهر تهران را ندارد. علاوه بر آن تاکنون مقاله‌ای با این موضوع برای این شهر تهیه نشده است. بدیهی است نتایج حاصل از این تحقیق می تواند اولا برای محققین قابل استفاده باشد ثانیا با داشتن اطلاعاتی برای کلان شهر تهران امکان تحقیق پیرامون موضوعات دیگر این شهر فراهم می شود. نکته مهم دیگر این تحقیق آن است که تعداد سایت‌های مورد استفاده در این مقاله نسبت به مقالات مشابه برای دیگر شهرها بسیار بیشتر است که این موضوع هم جامعیت تحقیق بکار رفته نسبت به دیگر تحقیقات را نشان می دهد و هم افزایش حجم داده های مورد استفاده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در مقالات ذکر شده حداکثر سه یا چهار سایت مورد بررسی قرار گرفته است که در این تحقیق حدود ۴۰۰ سایت بررسی شده است. البته در این تحقیق برای جلوگیری از تفصیل نتایج سه منطقه با ویژگی‌های متمایز حاوی آورده شده است و در نهایت بر اساس نتایج حاصله برای کل شهر تهران مدل انتشاری ارائه شده است. از طرف دیگر تهران دارای ویژگی‌های جغرافیایی خاصی است که این ویژگی‌ها در بسیاری از شهرهای مورد استفاده در دیگر مقالات وجود ندارد. تهران دارای شیبی از شمال به جنوب است. در شمال شهر که به کوه‌ها نزدیک است، معمولا خیابان‌ها و کوچه‌ها شیب دار و در جنوب شهر هموارتر هستند. همچنین در جنوب شهر ساختمان‌های بلند کمتر و در شمال شهر بیشتر هستند. ساختمان‌های اداری و تراکم شهر در مرکز قرار دارند. این ها برخی از عواملی هستند که سبب خاص بودن این شهر را نشان می دهد که خود سختی‌های طراحی در این شبکه را نشان می دهد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های تست راه اندازی (درایو تست) در باند فرکانسی ۲۱۰۰ MHz برای حدود ۴۰۰ سایت با استفاده از روش انتشار استاندارد مدلی ارائه شده است. در این تحقیق به منظور ارزیابی بهتر مدل پیشنهادی برای شهر تهران شبیه‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB نیز انجام شده است و نتایج حاصل از این نرم‌افزار با نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با پارامترهایی مقایسه شده‌اند. قبل از انجام طراحی سایت‌ها لازم است ابتدا توسط آزمایش CW و با استفاده از مدل انتشار چگونگی پوشش‌دهی منطقه به دست آید. همچنین باید توجه کرد که سایت ها بعد از طراحی و پیاده‌سازی توسط اپراتور مورد بررسی واقع شده است و همچنین سایت‌ها در حالت روشن آزمایش شده‌اند تا در این حالت بهینه‌سازی مفیدی برای شبکه انجام شود. در انتها تاکید می‌شود که در این زمینه در ایران و برای شهر تهران تا کنون مقاله‌ای نوشته نشده و مورد بررسی قرار نگرفته است.

کلیدواژه‌ها: مدل انتشارامواج، تضعیف مسیر، مدل انتشار استاندارد، شهر تهران

۱- مقدمه

در در سال‌های اخیر سیستم‌های مخابرات بی‌سیم، رشد خیره کننده‌ای در افزایش تعداد مشترکین شبکه‌های سلولی داشته‌اند. با افزایش تعداد مشترکین در شبکه‌های سلولی، لازم است ایستگاه‌های پایه‌ای برای پاسخگویی به تقاضای جدید نصب شوند.

ایستگاه‌های پایه باید به نحوی طراحی شوند که با کمترین تعداد ایستگاه، بیشترین پوشش مناسب حاصل شود. بدیهی است ازدحام ایستگاه‌های پایه در شبکه موضوعی پیچیده و از نظر اقتصادی مهم است و این موضوع به‌طور ویژه در مناطق شهری که کاربران زیادی در آن‌جا وجود دارد مهم‌تر است.

برای طراحی شبکه لازم است تحلیل امواج رادیویی برای شهر مورد نظر انجام شود. یکی از عواملی که تحلیل امواج رادیویی در محیط‌های شهری را دشوار می‌کند، این است که این نوع

* نویسنده پاسخگو: ghazimaghrebi@jdnasir.ac.ir

محیط‌های انتشار شامل اشیای زیادی هستند که خارج از کنترل هستند. از طرف دیگر معمولا این اشیا خصوصیاتی دارند که برای توصیف کامل آن‌ها در محدوده بزرگی مانند شهر تهران به اندازه کافی پیچیده هستند. لذا انتخاب این خصوصیات و نحوه استفاده از آنها مهم است. بنابراین، برای حصول به مطلوب لازم است خصوصیات و پارامترهای مورد نیاز تعیین شوند و براساس آنها از قوانین مورد نیاز استفاده شود [۱].

از نظر آکادمیک محیط‌های شهری به‌دلیل پیچیدگی انتشار امواج رادیویی، برای مطالعه و تحقیق دارای اهمیت هستند. در این محیط‌ها سطوح بسیاری از ساختمان‌ها و اشیا در خیابان‌ها تولید انعکاس، پراش و سایه می‌کنند. از آنجا که افزایش ایستگاه‌های پایه به‌منظور افزایش ظرفیت یک عمل هزینه بر است، مدیران سامانه به‌دنبال کاهش هزینه به‌ازای افزایش ظرفیت سامانه‌های موجود هستند. البته روش‌های مختلفی برای افزایش ظرفیت وجود دارد. یکی از راه‌ها استفاده از روش‌های تخصیص منابع پیشرفته است. به‌عنوان مثال برای این منابع پیشرفته می‌توان به فرکانس، تیغه زمانی، توان ارسال شده سطح مدولاسیون و پهنای باند اشاره کرد [۲].

در این موضوع اپراتورها همواره با دو چالش روبرو هستند:

۱- رسیدن به پوشش‌دهی بیشتر در تمام نقاط جهت کسب رضایت بیشتر مشتری.

۲- پایین آوردن هزینه با استفاده از تعداد سایت‌های کمتر.

به‌منظور غلبه بر این دو موضوع نیازمند ارائه مدل مناسب برای شهر مورد نظر هستیم. از طرف دیگر با گسترش فناوری‌های 3G, 4G, 5G کاربران خواهان کیفیت خدمات بهتر هستند [۳-۶]. در این فناوری‌ها، تداخل فرکانسی مساله‌ای مهم و انتخاب بهترین فرکانس یکی از بزرگترین چالش‌ها و یکی از اولویت‌ها در طراحی شبکه است. در این تحقیق برای به‌دست آوردن مدل مناسب برای شهر تهران، ابتدا مدل‌های مختلف مرسوم به‌همراه ویژگی‌ها و تفاوت‌های آن‌ها مطالعه و بررسی شده است و در نهایت از مدل انتشار استاندارد برای مدل کردن شهر تهران استفاده شده است. باید توجه داشت که در این زمینه مقالات مختلفی وجود دارد که در آن‌ها برای شهرهای مختلف از مدل‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. از جمله مقالاتی که می‌توان به آنها اشاره کرد مقاله Dalelathat است که در آن از مدل هاتا- کاست ۲۳۱ در فرکانس ۲۳۰۰ MHz برای سامانه 3G در قسمت غربی هندوستان استفاده شده است [۷]. در مقاله Paran، از مدل ITU-R P.1546 برای ناحیه روستایی استرالیا در باندهایUHF و VHF و برای شبکه CDMA استفاده شده است[۸]. در مرجع[۹] مدلی بر اساس آزمایش CW (continues wave) انجام شده است. در مرجع [۱۰] با استفاده از مدل والفیش ایکاگامی برای شبکه 3G در قسمت جنوبی و غربی عمان بررسی‌هایی انجام شده است.

یکی از ویژگی‌های خاص این تحقیق این است که این تحقیق با مشکلات و چالش‌های خاصی مواجه بوده که بسیاری از مقالات مشابه یک یا چند تا از این مشکلات، نه همه مشکلات را در بر داشته‌اند که در ذیل به برخی از آنها اشاره می‌شود. هدف این تحقیق طراحی مدلی کاربردی برای اپراتور در حال فعالیت در شهر تهران است. با توجه به اختصاص پهنای باند سازمان تنظیم مقررات، امکان استفاده از دو باند ۹۰۰MHz و ۲۱۰۰MHz برای اپراتور مذکور وجود دارد. باند ۲۱۰۰ MHz نسبت به ۹۰۰MHz کمتر استفاده می شود و از آنجا که از نویز پایین‌تری برخوردار است، اولویت این تحقیق استفاده از باند ۲۱۰۰MHz قرار گرفت. از طرف دیگر این باند فرکانسی برای نسل‌های 3G و 4G قابل استفاده است. باید توجه داشت که انتخاب این باند فرکانسی انتخاب مدل مناسب را محدود می کند. به عبارت دیگر برخی از مدل های مرسوم امکان کار در این فرکانس را ندارند، لذا برخی مدل ها حذف می شوند. مشکل دیگر این تحقیق بررسی نتایج حاصل از نرم‌افزارهای در اختیار بود تا بتوان توسط آن‌ها به ارائه‌ی مدل مناسب رسید. از جمله نرم‌افزارهای موجود برای تحلیل مدل، نرم افزار AToLL است که امکان بررسی همه مدل‌ها در آن وجود ندارد و این مساله یکی دیگر از محدودیت‌های این تحقیق جهت استفاده و انتخاب مدل مناسب به‌شمار می‌آید. چالش بعدی این تحقیق ویژگی‌های متنوع جغرافیایی تهران و تاثیرات زمین و کلاتر آن در تعیین ضرایب بود. موضوع دیگر در این تحقیق بررسی حدود ۴۰۰ سایت است که این نه تنها پیچیدگی را افزایش می‌دهد، بلکه باعث افزایش حجم محاسبات نیز می‌شود. در نهایت بررسی ویژگی‌های روش‌های مختلف، منجر به انتخاب روش Standard Propagation Model (SPM) برای طراحی مدل در باند ۲۱۰۰MHz شد که نتایج نشان می دهد که این انتخاب با موفقیت همراه بوده است.

تحقیقات مختلفی در این راستا برای شهرهای مختلف انجام شده است که در این بخش به برخی اشاره می‌شود. برای این منظور به مقالات مقالات Isabona [۱۳]، Armoogum [۱۲]، Robson [۱۱] می‌توان اشاره کرد که در آنها محیط‌های مختلف بررسی شده است. از جمله مقالات دیگر که در این تحقیق بررسی شدند مرجع [۱۴] است که در سال ۲۰۱۳ برای شهر اربیل عراق برای دو محیط حومه شهری و ناحیه باز برای دو سایت با استفاده از مدل‌های هاتا- کاست ۲۳۱ و کانال SUI انجام شد. در سال ۲۰۰۴ برای شهر استانبول ترکیه در باند ۹۰۰MHz

از مدل والفیش برتونی استفاده شد [۱۵]. در سال ۲۰۱۲ بر روی شهر نابلس در باند MHz ۹۰۰ برای سامانه GSM مدل‌های برتونی، والفیش، هاتا- ایکاگامی و کاست ۲۳۱ مقایسه شدند [۱۶]. در سال ۲۰۱۳ بر روی شهر حیدر آباد در جنوب هند در باند فرکانسی MHz ۹۰۰ برای سامانه 3G مطالعه شد [۱۷]. در سال ۲۰۱۴ بر روی شهر مانگو در باند فرکانسی MHz۸۵۰ در سامانه 3G با استفاده از مدل انتشار استاندارد بررسی‌هایی انجام شد [۱۸]. در سال ۲۰۱۶ برای شهر نیجریه در دو محیط شهری و حومه‌ی شهر برای سامانه 3G مقایسه مدل‌های هاتا- اکوموارا، کاست۲۳۱ و ECC33 انجام شده است [۱۹]. این‌ها بخشی از فعالیت‌های تحقیقاتی است که بر روی شهرهای مختلف و باندهای فرکانسی متفاوت و مدل‌های گوناگون در سالیان اخیر انجام شده است. اما متاسفانه در ایران نه تنها برای کلان شهر تهران بلکه برای هیچ شهر دیگری تا قبل از این تحقیق، مطالعه‌ای انجام نشده است و مدلی پیشنهاد نشده است و این تحقیق می‌تواند نقطه شروعی برای مطالعات دیگر برای تهران باشد.

ساختار این مقاله به‌صورت زیر تدوین شده است. در بخش ۲، مدل‌های انتشار توصیف شده‌اند. در بخش ۳ به توصیف شهر تهران پرداخته شده است. در بخش ۴، مراحل پردازش اطلاعات ارائه شده است. مدل پیشنهادی و نتایج حاصله در بخش ۵، ارائه شده است. در بخش ۶، بهینه‌سازی مدل پیشنهادی انجام شده است و در نهایت بخش ۷، حاوی نتایج این تحقیق است.

۲- مدل‌های انتشار

در واقع مدل انتشار، مدلی است که توسط آن می‌توان محاسبه تلفات توان و تضعیف سیگنال در یک مسیر را انجام داد. محاسبه تضعیف سیگنال در یک مسیر فاکتور بسیار مهمی در تعیین پوشش‌دهی آن منطقه است. برای این منظور باید مدل مناسب انتخاب شده و بهینه‌سازی پارامترهای Node B (آنتن پایه مورد استفاده در 3G) انجام شود. باید توجه داشت که بدون پیش‌بینی مدل انتشار، این موضوعات نیازمند اندازه‌گیری مقادیر و پارامترهای زیادی هستند که عملی بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. از عواملی که موجب تضعیف مسیر بین فرستنده و گیرنده می‌شود می‌توان به‌عواملی مانند انعکاس، انکسار، پراکندگی و پراش اشاره کرد. ساختار جو می‌تواند اثر چشم‌گیری بر طبیعت سیگنال دریافتی در یک پیوند رادیویی داشته باشد. دو پدیده اصلی در انتقال سیگنال، پدیده‌های انتشار چند مسیری و دالانی شدن هستند. در شرایطی که انتشار چند مسیری رخ می‌دهد، توان سیگنال دریافتی می‌تواند به‌شدت به‌میزان چند ده dB افت کند. احتمال وقوع این نوع محوشدگی سیگنال را می‌توان با استفاده از پارامترهایی نظیر طول مسیر، فرکانس، انحنای مسیر و نیز ضریب آب و هوا تخمین زد که این ضریب به محل آن نقطه بر روی سطح زمین وابسته است. دالانی شدن باعث افزایش شدت سیگنال در فواصل طولانی می‌شود. این اثر در فراتر از افق که طبیعتا شدت سیگنال بسیار کم است، قابل ملاحظه‌تر است. دالانی شدن عامل ایجاد تداخل در امتداد مسیرهای طولانی است [۲۰].

برای اندازه‌گیری تضعیف مسیر محیط‌های مختلف، از مدل‌های مختلف افت مسیر استفاده می‌شود. این مدل‌ها بر اساس داده‌های نظری در مناطق شهری، حومه شهر و مناطق روستایی هستند. بر اساس این مدل‌ها، تضعیف مسیر بستگی به مدل استفاده شده دارد. برای این منظور مدل‌های انتشار را می‌توان به دو گروه مدل‌های فضای داخل و مدل‌های فضای باز دسته‌بندی کرد.

مدل انتشار فضای باز می‌تواند یکی از انواع مدل‌های زیر باشد:

۱- مدل‌های تجربی که در این مدل‌ها شرایط ایده‌ال ناشی از دید مستقیم بین فرستنده- گیرنده است. مدل‌های تجربی متفاوتی وجود دارد که متداول‌ترین آن‌ها مدل‌های آکوموارا، والفیش- برتونی، لانگلی- رایس،ECC33، SUI و مدل انتشار استاندارد هستند [۲۱]. روش‌های تجربی بر اساس منحنی‌ها یا عبارات تحلیلی مانند مدل فضای آزاد، مدل زمین صفحه‌ای و مدل دو پرتو برای دسته‌ای از داده‌های اندازه‌گیری به‌دست می‌آیند [۲۲].

۲- مدل‌های نیمه تجربی مانند مدل‌های کاست ۲۳۱، والفیش- ایکاگامی.

۳- مدل‌های تئوری که از فرضیات در شرایط ایده‌ال نشات گرفته‌اند و بر پایه روش‌های عددی ردیابی اشعه استوار هستند. نقطه ضعف این مدل‌ها پیچیدگی محاسباتی آن‌ها است.

۴- مدل‌های جبری ماکسول که برای موقعیت‌های خاص هستند و به اطلاعات هندسی زیادی در موضوع مکان‌یابی نیاز دارند. از این طریق می‌توان پارامترهای مدل را بهینه کرد تا به کمترین خطا بین توان سیگنال پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌شده دست یافت.

از آن جا که مبنای اصلی این تحقیق استفاده از مدل انتشار استاندارد است، لذا در بخش بعدی به‌طور مختصر فقط این مدل توصیف می‌شود.

۲-۱- مدل انتشار استاندارد (SPM)

از مدل‌های مختلف به‌منظور محاسبه افت مسیر در سیگنال دریافتی در سه منطقه محیط شهری، حومه شهر و روستایی استفاده می‌شود. مدل آکومورا- هاتا به‌علت در نظر گرفتن ساختمان‌ها عمدتا برای مناطق شهری استفاده می‌شود. مدل هاتا برای سامانه‌های سیار سلولی بزرگ مناسب است، اما برای ارتباطات شخصی سلولی با شعاع Km ۱ مناسب نیست. مدل لانگلی- رایس برای زمین‌های ساده قابل اعمال است، زیرا ساختمان‌ها و درختان را به‌حساب نمی‌آورد. مدل یا کانال SUI برای هر سه منطقه شهری، حومه شهری و روستایی مناسب است و برای هر منطقه شرایط خاصی را تعریف می‌کند. در مدل کاست۲۳۱ ارتفاع آنتن node B محدودیت دارد و باید بیشتر از ۳۰ متر باشد، لذا برای مکان‌هایی که مسافت آن‌ها کم است و همچنین مکان‌هایی که ارتفاع همسایه‌ها از موانع بالاتر است، نمی‌تواند استفاده شود.

نتایج تایید می‌کند که وارد کردن ارتفاع و پوشش زمین، تاثیر معناداری بر پیش‌بینی مسیرهای کوتاه دارد؛ زیرا معمولا این مورد در فرکانس‌های بالا وجود دارد که مانع امواج رادیویی است. البته بدیهی است در مدل‌های مختلف، افت مسیر در محیط‌های مختلف، نتایج مختلفی را به‌دست می‌دهد.

شایان ذکر است که به‌دست آوردن تلفات با استفاده از مدل‌های واقعی پیچیدگی ریاضی زیادی دارد و این مدل‌ها از نظر دقت با یکدیگر متفاوت هستند. کاملا واضح است که هیچ روشی وجود ندارد که تمامی شرایط مختلف انتشار را در محاسبات لحاظ کند. البته توجه شود که به‌طور کلی، بیشتر مدل‌ها ترکیبی از روش‌های تجربی هستند که از قوانین انتشار تبعیت می‌کنند.

با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی شهر تهران و توصیف روش‌های مختلف و محدودیت‌های این تحقیق، امکان این‌که از یکی از روش‌های فوق استفاده شود و منجر به یک مدل مناسب شود منتفی است. با توجه به ویژگی‌های شهر تهران، مدل انتخابی در این تحقیق مدل انتشار استاندارد است. این مدل انتشار عمدتا برای مسافتی در حدود ۱ الی ۲۰ کیلومتر مناسب است و با فنآوری‌های WiMAX، UMTS و LTE [۲۴-۲۳] سازگاری خوبی دارد. مدل انتشار استاندارد بر پایه روابط تجربی است و برای محاسبه توان تلفاتی از پارامترهایی مانند عوارض زمین، مکانیسم پراش و ساختارهای کلاتر و ارتفاع آنتن استفاده می‌کند. ضمنا باید توجه داشت که مدل انتشار استاندارد تمام تلفات محیط، تاثیر بین توان دریافت شده و توان ارسال شده را بررسی می‌کند. ضمنا می‌دانیم که تلفات به فاصله بین دریافت‌کننده و ارسال‌کننده بستگی دارد که به‌صورت رابطه لگاریتمی بیان می‌شود. باید توجه داشت که هر چه ارسال‌کننده در ارتفاع بالاتر قرار داشته باشد، دریافت‌کننده بهتر می‌تواند عمل کند.

در ضمن مدل SPM مشکلاتی مانند پارامترهای اتلاف توسط کلاتر و اتلاف توسط پراش را حل کرده است. اتلاف پراش می‌تواند برحسب ارتفاع و فاصله از موانع بین فرستنده و گیرنده محاسبه شود. از طرف دیگر اتلاف در کلاتر وابسته به مکان شناسی هر شهر است و برای یک شهر با ساختمان‌های بلند، ضریب بالای کلاتر تضعیف توان بیشتری را باعث می‌شود و بالعکس. تضعیف مسیر در SPM با توجه به رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۲۳].

$$\begin{aligned} LP=&K_1+K_2\log 10\,(d)+K_3*h_m \\ &+K_4\log 10\,(h_m)+K_5\log 10\,(h_b) \\ &+K_6\log 10\,(h_b)*\log(d)+K_7 diffn+ \\ &\text{Kclutter} \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن، d فاصله ایستگاه پایه تا موبایل مربوط است. پارامترهای K_2 و K_1 متناظر با مقادیر ثابت انحراف برحسب dB هستند. K_3 پارامتری برای نشان دادن تاثیرات ارتفاع آنتن موبایل است. K_4 پارامتری است که از تغییرات ارتفاع آنتن موبایل تاثیر می‌پذیرد. K_5 پارامتری است که از تغییرات ارتفاع آنتن ایستگاه پایه تاثیر می‌پذیرد. K_6 تحت تاثیر تغییرات مسافت و ارتفاع ایستگاه پایه قرار دارد. پارامتر K_7 از عوامل مربوط به پراکندگی موج تاثیر می‌پذیرد. h_m ارتفاع آنتن موبایل و h_b ارتفاع ایستگاه پایه است.

دلیل دیگری که مدل انتشار استاندارد برای این طرح انتخاب شده است، استفاده از باند فرکانس MHz ۲۱۰۰ در این مدل است. به این ترتیب با توجه به خصوصیت انتشار در شهر تهران در این فرکانس می‌توان از نتایج دریافتی به‌منظور ابزاری برای بررسی پوشش شبکه 3G استفاده کرد. از طرف دیگر مدل انتشار استاندارد در نرم‌افزارهای طراحی شبکه رادیویی مانند ASET و AToLL به‌عنوان مدل انتشار اپراتور شبکه تلفن همراه برای فرایند طراحی‌های رادیویی استفاده می‌شود.

۳- توصیف زمینی شهر تهران

تهران بین دو وادی کوه و کویر و در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز گسترده شده است. از جنوب به کوه‌های ری و بی‌بی شهربانو و دشت‌های هموار شهریار و ورامین گسترش یافته است. از شمال توسط رشته کوه‌های البرز محصور شده است. مشخصه اصلی زمین‌شناسی تهران، قرار گرفتن آن بین رشته کوه البرز و فلات

ایران است. تهران را می‌توان به سه منطقه طبیعی تقسیم کرد. ۱- کوه‌های شمالی که بلندترین نقطه این کوه‌ها قله توچال است. ۲- دامنه کوه‌های این منطقه شامل قسمت‌های شمالی شهر مانند اوین، درکه، نیاوران، حصارک و سوهانک است. ۳- دشت جنوبی که بخش اعظم شهر در این دشت قرار گرفته است و شیب ملایمی از شمال به جنوب دارد.

در شمال شهر که به کوه‌ها نزدیک است، معمولا خیابان‌ها و کوچه‌ها شیب‌دار هستند و در جنوب شهر هموارتر هستند. همچنین در جنوب شهر ساختمان‌های بلند کمتر دیده می‌شوند و در شمال شهر ساختمان‌های مرتفع بیشتر هستند. ساختمان‌های دولتی و اداری عمدتا در مرکز شهر هستند و به‌طور کلی تراکم شهر در مرکز شهر قرار دارد. از طرف دیگر در مناطقی که تاریخ ساخت آن‌ها جدیدتر است و آیین‌نامه‌های جدید اصول شهرسازی در آن‌ها بیشتر رعایت شده است مانند مناطق۲ ،۵ و۲۲ همگی در غرب و شمال غرب شهر قرار دارند. در این مناطق معمولا عرض خیابان‌ها و کوچه‌ها، سرانه پارکینگ و سرانه فضای سبز از سایر مناطق شهر بیشتر است. برعکس در مناطقی که ساخت آن‌ها زودتر صورت گرفته مانند مناطق ۱۲و ۲۰ معمولا بناهای تاریخی و سنتی بیشتری وجود دارد.

شرکت‌های عامل آزمایش‌های اجرایی گسترده‌ای در محدوده جغرافیایی تهران انجام داده اند و هدف از آن‌ها بررسی انتشار رادیویی در جهت‌های مختلف خیابان‌های این شهر بوده است تا براساس داده‌های به‌دست‌آمده وضعیت آنتن‌ها را در نقطه مطلوب‌تری قرار دهند و سامانه را با توجه به تغییرات شهر بتوانند وفق دهند و عملکرد سامانه کاهش شدید نداشته باشد. در این تحقیق از این اندازه‌گیری‌ها برای تعیین انحراف معیار و مقدار RMS خطا استفاده می‌شود [۲۵]. البته اشکالی که به این آزمایش‌ها وارد می‌شود این است که حاصل این جمع‌آوری اطلاعات و آزمایش‌ها در نهایت منجر به ارائه مدلی برای انتشار در تهران نشده است که این تحقیق به این منظور رسیده است.

۴- مراحل پردازش

در این تحقیق ابتدا یک آزمایش راه‌اندازی (DT) به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر مورد نیاز انجام می‌شود. نتایج حاصل از مدل انتشار استاندارد در فرکانس ۲۱۰۰ MHz با نتایج اندازه‌گیری در شهر تهران مقایسه شده است. نتایج حاصل در مسیر آزمایش برای شناسایی مشکلات پوششی و بهبود آن‌ها در یک منطقه استفاده می‌شود. شایان ذکر است که این آزمایش بر روی شبکه فعال 3G در شهر تهران انجام شده است و در مسیر آزمایش ظرفیت‌های اجرایی به وسیله پیوندهای ارتباطی برقرار بوده است [۲۵]. اطلاعاتی که در این مقاله مورد پردازش قرار گرفته است، مربوط به داده‌های آزمایش راه اندازی است. تجهیزات مورد استفاده در آزمایش راه‌اندازی عبارت‌انداز: یک لپ‌تاپ با نرم‌افزار TEMS، یک گوشی مجهز به نرم‌افزار TEMS و یک گوشی در فرکانس ۲۱۰۰ MHz تا فقط نمونه‌های سیگنال را از فرکانس ۲۱۰۰ MHz استخراج کند.

DT بخش مهمی از مراحل اندازه‌گیری شبکه به حساب می‌آید. هدف، استخراج اطلاعات نمونه‌ای از سطوح سیگنال در نقاط مختلف است. توان سیگنال دریافتی و موقعیت مکانی GPS دو داده مهم و اصلی در خصوص موقعیت سایت‌ها هستند. همچنین اطلاعاتی مانند ارتفاع آنتن‌ها، زاویه سکتورها، تیلت‌های مکانیکی و الکتریکی سایت‌های مورد استفاده از جمله اطلاعات مورد نیاز است که در این تحقیق استفاده شده است. ضمنا از کلیه log fileهای آزمایش DT استفاده شده است. به منظور بهره‌برداری مناسب از آزمایش DT نکاتی را باید در نظر گرفت. به‌عنوان مثال به هنگام سنجش و اندازه‌گیری داده‌ها، گوشی موبایل باید در صورت امکان نزدیک به پنجره قرار گیرد. این کار به‌منظور جلوگیری از ایجاد قطبش غلط مسیرهای آنتن است. نکته دیگر این است که گوشی بر روی فرکانس مورد نظر یعنی ۲۱۰۰MHz باید قفل شده باشد. برنامه TEMS بر روی گوشی باید نصب شده باشد تا توسط آن از توان سیگنال دریافتی نمونه‌برداری شود. البته از دیگر ورودی‌های نرم‌افزار TEMS، کلاتر زمین است که شامل ارتفاع زمین و نوع محدوده انتشار از نظر شهری، جنگلی و صنعتی یا باز بودن ناحیه و نیز شیب زمین است. این اطلاعات برای محاسبه تلفات مسیر مهم است.

به‌منظور جمع‌آوری نتایج مناسب، ابتدا لازم است مسیرهایی مشخص شود تا داده‌های مناسب برای تصمیم‌گیری جمع‌آوری شود. بر اساس مسیر از پیش تعیین‌شده با حرکت ماشین در مسیر، در حین حرکت و دور شدن از سایت توسط گوشی اندازه‌گیری توان انجام می‌شود. این داده‌ها بر روی گوشی ذخیره می‌شوند. سپس توسط نرم‌افزار Actix پردازش می‌شوند. در نهایت نرم‌افزار Actix مقدار اندازه‌گیری شده توان را تحویل می‌دهد که این توان اندازه‌گیری شده به‌عنوان ورودی در نرم‌افزارهای AToLL و MATLAB استفاده می‌شود. پس از ورود اطلاعات کلاتر و اطلاعات آزمایش راه‌اندازی به نرم‌افزار AToLL با توجه به مدل انتشار استاندارد مورد نظر، پردازش اطلاعات صورت گرفت. در نهایت خروجی پردازش نرم‌افزار AToLL تعیین میزان پوشش‌دهی و تعیین فاکتورهای K است. اطلاعاتی مانند توان، مسافت طی‌شده از سایت به‌عنوان ورودی نرم‌افزار AToLL برای پردازش میزان پوشش‌دهی سایت‌ها و تعیین ضرایب K استفاده شده است. توجه شود که اندازه این ضرایب K در محاسبه تلفات مسیر مهم هستند.

۵- پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و نتایج حاصله

هدف اصلی طراحی شبکه سلولی، ایجاد شبکه رادیویی مناسب برحسب پوشش، کیفیت، ظرفیت، هزینه، استفاده مناسب از فرکانس، استقرار تجهیزات و عملکرد آن در شبکه است. به‌منظور طراحی یک شبکه رادیویی، ابتدا مشخصات مورد نیاز در شبکه تعیین می‌شوند. سپس برای محدوده‌ی تحت پوشش، پایگاه داده‌ای با توجه به اطلاعات جغرافیایی (GIS) ایجاد می شود و آنگاه بر اساس این اطلاعات مدل مناسب ارائه می شود. پس از آن، نتایج شبیه‌سازی و پوشش، آنالیز می‌شوند و با آرایش سلولی و آزمایش راه‌اندازی بررسی می‌شوند. نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی با نتایج مدل شبیه‌سازی مقایسه می‌شوند و با مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی عملکرد تنظیم می‌شوند. باید توجه داشت ضرایب خروجی نرم‌افزار ATolL منجر به مدل بهینه نمی شود و برای رسیدن به مدل بهینه باید این ضرایب تغییر کنند. هر یک از مراحل فوق‌الذکر به نوبه خود شامل تعدادی مراحل است که می‌بایست انجام شوند که در ذیل به آن‌ها اشاره شده است.

۵-۱- طراحی پوشش‌دهی شبکه

یکی از مراحل مهم طراحی شبکه سلولی، طراحی پوشش‌دهی شبکه است. این فرایند، شامل انتخاب مدل انتشار مناسب بر اساس مناطق زمین، کلاتر و جمعیت است. مدل‌های تجربی انتشار برای پیش‌بینی رفتار انتشار سیگنال روشی بسیار ساده هستند و دقت نسبتاً خوبی در مورد چگونگی رفتار موانع و میزان افت توان سیگنال در اثر موانع مختلف ارائه می‌دهند. برای مثال، در این مدل‌ها در پوشش ساختمان‌ها، حدود ۱۶ dB تا ۲۰ dB افت سیگنال بیشتر به مقدار اصلی اضافه می کنند و برای حالت درون خودرو می‌توان افت را ۳ dB تا ۶ dB بیشتر افزایش داد [۲۶].

۵-۲- سایت‌ها

برای سلول‌های شبکه 3G، آنتن NodeB در مناطق روستایی m ۴۵ طول و در مناطق شهری m ۳۰ طول دارد. معمولا NodeBها (یا سایت‌ها) در یک آرایش ماکروسلولی در یک سلول شش ضلعی قرار داده می‌شوند. پارامتر مهم دیگر برای آنتن سلولی، قطبیت آنان است. از قطبی‌سازی عمودی در سیستم‌های سلولی استفاده می‌شود.

بهره آنتن در یک ماکروسلول در مناطق شهری و روستایی، بین dBi ۱۲ و dBi ۱۵ می‌باشد که به علت افت تغذیه‌کننده در باندهای مورد استفاده می‌باشد. این مقادیر بهره در فرمول‌بندی برای تعیین بودجه پیوند و تعیین سطوح قدرت پوشش مهم هستند.

۵-۳- مدل‌سازی انتشار

در ارتباطات بی‌سیم، واسط بین Um و NodeB یک کانال چندمسیره است. یک کانال چندمسیره با پروفایل تأخیر و با RMS گسترش تأخیر مشخص می‌شود. مدل‌های افت مسیر در فاز برنامه‌ریزی RF مهم هستند و پیش‌بینی پوشش‌دهی و بودجه پیوند را ممکن می‌کنند. این مدل‌ها، بر اساس باند فرکانسی، نوع منطقهٔ استقرار (شهری، روستایی، حومه شهر و غیره) و نوع کاربرد اهمیت دارند.

۵-۴- بودجه پیوند

در یک ارتباط رادیویی، توان خروجی فرستنده در هنگام عبور از بخش‌های مختلف سامانه مخابراتی (شامل تجهیزات مرتبط با فرستنده- گیرنده و محیط انتشار) دچار تغییرات می‌شود. با استفاده از محاسبات بودجه پیوند، سطح توان در هر نقطه از سامانه مخابراتی به‌دست می‌آید. به‌طور معمول یکی از اهداف اصلی محاسبه‌ی بودجه پیوند، تعیین حداکثر شعاع پوشش رادیویی است. محدوده تحت پوشش رادیویی یک فرستنده تا جایی ادامه دارد که توان سیگنال دریافتی از آن، همچنان بیشتر از حساسیت گیرنده باشد. مرز سلول به نقاطی گفته می‌شود که حداکثر مجاز افت مسیر را دارند. با اطلاع از حداکثر مجاز افت مسیر و با در اختیار داشتن یک مدل انتشار معتبر، حداکثر فاصله‌ی ممکن بین فرستنده و گیرنده به‌دست می‌آید [۲۶].

۵-۵- آزمایش CW

آزمایش موج پیوسته (CW) که آزمایش راه اندازی CW نیز نامیده می‌شود، برای فرایند برنامه‌ریزی RF و آرایش شبکه‌های سلولی ضروری است. با استفاده از آزمایش CW سطوح سیگنال داخلی، بیرونی و داخل خودرو تعیین می‌شود. دو نوع آزمایش راه اندازی وجود دارد: آزمایش راه اندازی CW و آزمایش راه اندازی بهینه‌سازی که در ذیل به طور مختصر توضیح داده شده است.

*آزمایش راه‌اندازی CW

آزمایش راه‌اندازی CW از طریق مسیرهای مختلف در منطقه پوشش قبل از استقرار شبکه انجام می‌شود. برای این منظور یک آنتن برای ارسال اطلاعات در محل مورد نظر (سایت آینده) قرار داده می‌شود و از یک خودروی حاوی تجهیزات گیرنده برای جمع‌آوری و ثبت سطوح سیگنال دریافتی استفاده می‌شود.

*آزمایش راه اندازی بهینه‌سازی

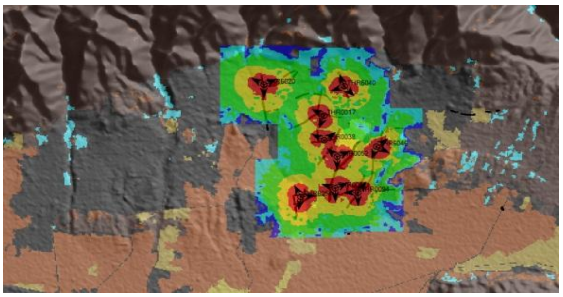
آزمایش راه اندازی بهینه‌سازی، پس از انجام توزیع‌های تماس مختلف، آپلودهای داده و دانلودهای داده در شبکه سلولی انجام

می‌شود. سیگنال داده‌های مدوله شده در تجهیزات گیرندهٔ درون خودرو ارسال می‌شود و سپس جمع‌آوری می‌شود. آن‌گاه داده‌ها برای پارامترهای عملکرد مختلف، مانند کانال‌های مرجع در سیستم‌های ۳G، اندازه‌گیری‌های توان، کدهای نفوذ، نرخ‌های خطای بلوک و دامنه‌های بردار خطا آنالیز می‌شوند.

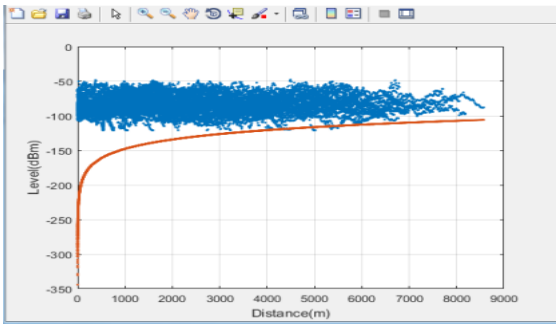
۵-۶- نحوه پیاده‌سازی و نتایج حاصله

ایده اولیه و اصلی تحلیل‌های آماری در این تحقیق استخراج رفتار انتشار امواج رادیویی ابتدا برای منطقه‌ی نارمک تهران در باند ۲۱۰۰MHz بود و سپس برای دیگر مناطق گسترش یافت. در این تحقیق تهران براساس مناطق شهری به ۲۰ منطقه تقسیم شده است. به منظور جامعیت بخشی به نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نزدیک به ۴۰۰ سایت و تقریبا ۱۲۰۰ سکتور در شهر تهران مورد آزمایش قرار گرفت که این خود حجم عظیمی از پردازش داده ها را در بردارد. در این تحقیق، کلیه مناطق تهران مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، اما به‌منظور اختصار فقط سه منطقه مختلف از سه ناحیه مختلف شهری، حومه شهر، ناحیه باز از شهر تهران در نظر گرفته شده است. منطقه نیاوران در شمال تهران که در کوهپایه واقع شده با شیبی نسبتا زیاد و ساختمان‌هایی با ارتفاع زیاد (اکثرا برج‌ها) و به‌عنوان ناحیه‌حومه شهر در نظر گرفته شده است و با عنوان ناحیه ۱ مشخص شده است. منطقه نارمک در شرق تهران در محدوده شهری با شیبی نسبتا هموار، با ساختمان‌هایی با ارتفاع نسبتا کوتاه، عمدتا سه یا چهار طبقه به‌عنوان ناحیه ۲ مشخص شده است. ناحیه ۳ منطقه اطراف و جنوب فرودگاه مهرآباد در جنوب غرب تهران است که در محدوده باز با ساختمان‌هایی با ارتفاع کوتاه و تراکم خیلی کم (بیشتر کشتزار) واقع شده است. همین باز بودن محیط سبب شده که ضرایب مدل تاثیر چندانی در تنظیم آن نداشته است.

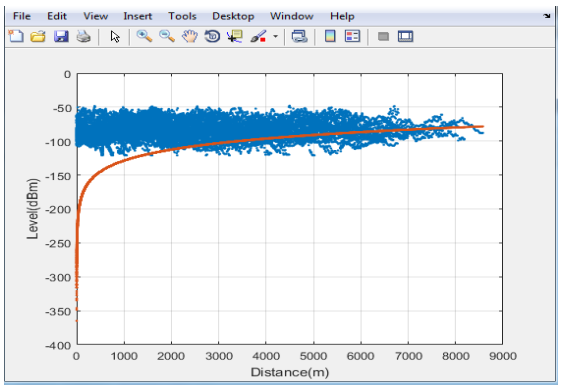
به منظور توصیف مناسب، هر منطقه با سه شکل مشخص شده است. اولین شکل نحوه پوشش‌دهی سایت‌های مدل پیشنهادی با توجه به ضرایب بهینه‌شده را نشان می‌دهد. شکل دوم مقایسه‌ای بین خروجی‌های دو نرم‌افزار AToLL و MATLAB بدون تنظیم ضرایب و بهینه سازی مدل پیشنهادی است و نهایتا شکل سوم هر منطقه خروجی این دو نرم‌افزار را پس از بهینه سازی و تنظیم ضرایب نشان می‌دهد. در واقع این شکل نتایج حاصل از پوشش‌دهی سایت‌های شکل اول را در آن منطقه نشان می‌دهد. بر این اساس، شکل‌های (۱)، (۴) و (۷) مدل‌سازی توسط نرم‌افزار AToLL پس از تنظیم ضرایب k برای سه ناحیه مورد نظر را نشان می‌دهند. این مدل‌سازی پس از انجام تنظیمات پارامترها در نرم‌افزار AToLL انجام شده است که نشانگر میزان توان سیگنال بر اساس مسافت طی‌شده در آزمایش راه‌اندازی است. شکل‌های (۲)، (۵) و (۸) نتایج حاصل از این مدل را بدون در نظر گرفتن تنظیمات و بهینه‌سازی ضرایب k نشان می‌دهند. این شکل‌ها به‌منظور راستی آزمایی نتایج حاصل از نرم‌افزار AToLL با نرم‌افزار MATLAB است. این شکل‌ها حاکی از این است که نمودار بر روی نقاطی که نمایانگر سطح توان سیگنال بر اساس مسافت را نشان می‌دهد واقع نشده است و تنظیمات صورت نگرفته است. به‌عبارت دیگر بین نتایج واقعی و نتایج شبیه‌سازی فاصله قابلی وجود دارد. شکل‌های (۳)، (۶) و (۹) پیاده‌سازی مدل را پس از در نظر گرفتن پارامترهای تنظیم شده ضرایب k را در نرم‌افزار MATLAB نشان می‌دهد که در آن تطبیق مدل به خوبی مشاهده می‌شود. ضرایب این پارامترها در قبل از تنظیم و بعد از تنظیم در جدول‌هایی نشان داده شده است. مقادیر پارامتر k قبل و بعد از تنظیم در جدول‌های (۲)، (۵) و (۸) ارائه شده است. همچنین پارامترهای مربوط به کلاتر قبل و بعد از تنظیم در جدول‌های (۳)، (۶) و (۹) ارائه شده است.



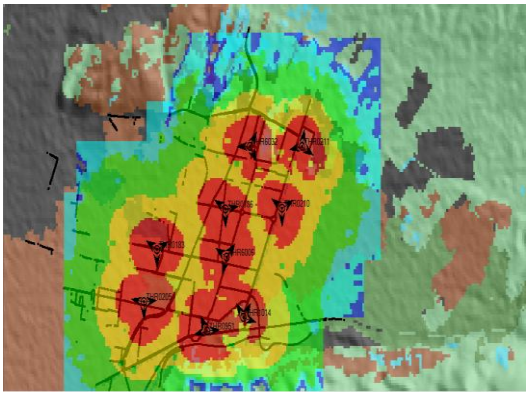
شکل (۱): پوشش‌دهی ناحیه ۱



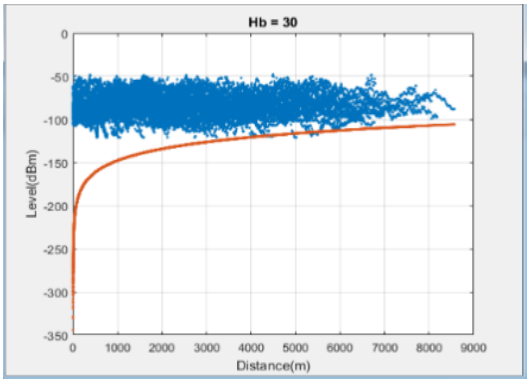
شکل (۲): نتایج نرم‌افزار ناحیه ۱ بدون تنظیم شدن ضرایب پارامترها



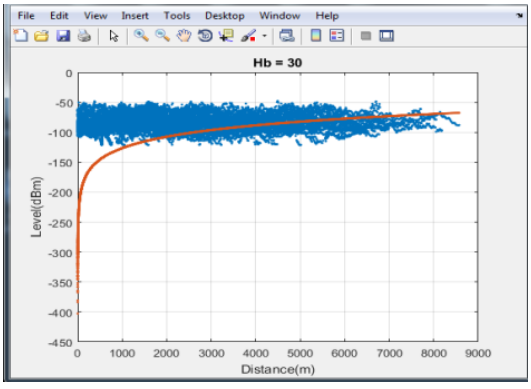
شکل (۳): نتایج نرم‌افزار پس از تنظیم شدن ضرایب پارامترها در ناحیه ۱



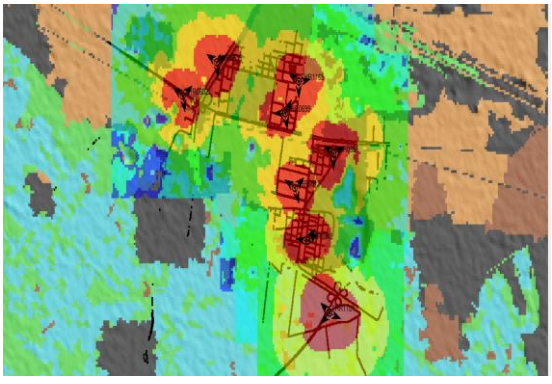
شکل (۴): پوشش‌دهی ناحیه ۲



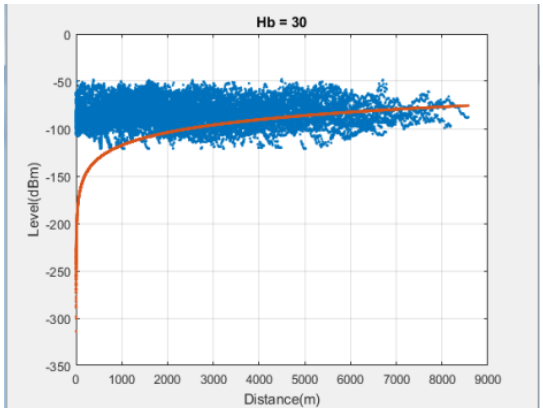
شکل (۵): نتایج نرم‌افزار بدون تنظیم شدن ضرایب پارامترها در ناحیه ۲



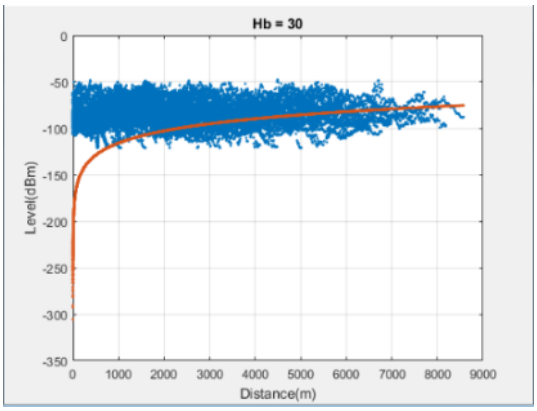
شکل (۶): نتایج نرم‌افزار پس از تنظیم شدن ضرایب پارامترها در ناحیه ۲



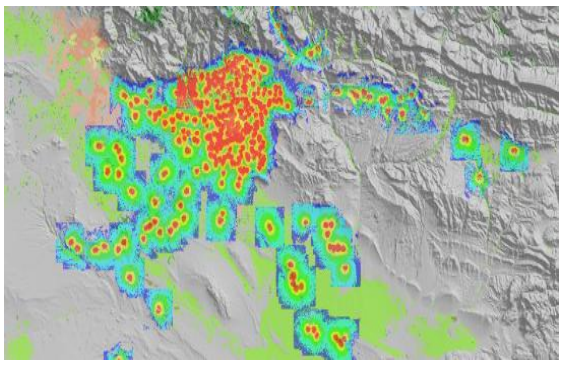
شکل (۷): پوشش‌دهی ناحیه ۳



شکل (۸): نتایج نرم‌افزار بدون تنظیم شدن ضرایب پارامترهای مدل در ناحیه ۳



شکل (۹): نتایج نرم‌افزار پس از ضرایب پارامترها در ناحیه ۳



شکل (۱۰): پوشش‌دهی شهر تهران

سرانجام در انتهای این تحقیق ناحیه پوشش‌دهی برای کل شهر تهران در شکل (۱۰) نشان داده شده است و نتایج مربوط به این پوشش‌دهی در جدول (۱۰) ارائه شده است. همچنین ضرایب مربوط به پارامتر k قبل و بعد از تنظیم و نیز ضرایب کلاتر قبل و بعد از تنظیم به‌ترتیب در جدول‌های ۱۲ و۱۱ ارائه شده است. در این شکل‌ها محدوده قرمز رنگ محدوده‌ای است که توان سیگنال در آن بالاتر از ۸۰- dbm و محدوده زرد رنگ محدوده‌ای است که توان سیگنال در آن ۹۰- dbm و محدوده سبز رنگ محدوده‌ای

است که توان سیگنال بالاتر از dbm ۱۰۰- است. محدوده آبی رنگ محدوده‌ای است که توان سیگنال بالاتر از dbm ۱۱۰- و محدوده‌ای که با رنگ تیره نشان داده شده محدوده‌ای است که توان سیگنال بالاتر از dbm ۱۲۰- را نشان می‌دهد.

۶- بهینه‌سازی مدل پیشنهادی

چندین نوع اندازه‌گیری پارامتر در Um یا NodeB انجام می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها برای تعیین کمیت عملکرد شبکه استفاده می‌شوند و بنابراین، به پذیرش مدولاسیون/کدگذاری مناسب و نیز ترافیک سلول/پیوند و ظرفیت کمک خواهند کرد.

برخی از رایج‌ترین پارامترها در 3G عبارت‌اند از: توان کد سیگنال دریافتی (RSCP)، Ec/N0(Ec/I0) و نسبت سطح توان حامل به مجموع تداخل و نویز [CINR (C/(I+N))] که در ذیل مختصرا توصیف شده اند.

*** توان کد سیگنال دریافتی (RSCP):**

اندازه‌گیری توان سیگنال دریافتی روی کد در کانال (CPICH) است.

***Ec/N0(Ec/I0):**

این پارامتر حاصل تقسیم انرژی دریافت شده در تراشه بر حاصل‌ضرب چگالی توان نویز (N0) و چگالی توان تداخل (Ec/I0) در باند است.

*** نسبت سطح توان حامل به مجموع تداخل و نویز [CINR (C/(I+N))]:**

می‌دانیم تداخل و نویز دو عاملی هستند که باعث کاهش بهره وری سامانه‌ها می شوند. در این کمیت توان حامل بر مجموع توان‌های تداخل و نویز تقسیم می‌شود. بدیهی است هر چه این کمیت بزرگتر باشد، سامانه مناسب تر است. کمیت CINR در Um یا NodeB اندازه گیری می‌شود تا حامل رادیویی از پیش تعریف شده را تعیین کند. حامل رادیویی مشخص می‌کند که کدام مدولاسیون و طرح کدگذاری برای داده‌ها استفاده شود. هر چقدر CINR بیشتر باشد، کارایی طیف با استفاده از طرح کدگذاری و مدولاسیون بیشتر می‌شود. محاسبه CINR از RSSI پیچیده‌تر است و معیار مناسب‌تری در سنجش کیفیت سیگنال و کانال به حساب می آید.

برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی انتشار امواج رادیویی به‌صورت زیر از میانگین تفاوت بین مقادیر توان سیگنال اندازه‌گیری شده و توان سیگنال پیش‌بینی شده، استفاده می‌شود.

$$\mu = \frac{1}{I}\sum_{i-1}^{I}(m_i - p_i) \qquad (۲)$$

که در آن، مقدار m_i مقدار توان سیگنال اندازه‌گیری‌شده در نقطه i است و p_i مقدار پیش‌بینی شده است که از الگوریتم پیش‌بینی به‌دست آمده است. در این حالت انحراف استاندارد به‌صورت رابطه (۳) زیر محاسبه می‌شود.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{I}\sum_{i=1}^{I}((m_i - p_i) - \mu)^2} \qquad (۳)$$

این مقادیر در جدول‌های (۱)، (۴)، (۷) و (۱۰) آورده است. توجه شود که در این حالت قدرت تفکیک کلاتر در حدود ۵۰ متر است و در صورتی که اینقدرت تفکیک بهتر شود، قطعا مقدار انحراف استاندارد نیز بهبود می‌یابد.

جدول (۱): نتایج پوشش‌دهی ناحیه ۱

	Before Tune	After Tune
Root mean square	۷۷/۰۱۵	۸/۳۹
Average	-۲۳/۲۹	-۰/۰۰۳
Standard deviation	۷۳/۴۰۹	۸/۳۹

جدول (۲): ضرایب پارامترهای ناحیه ۱

	K Factor	Before Tune	After Tune
K1(LOS)		۱۷/۴	۳۴/۸
K1(NLOS)		۱۷/۴	۴۳/۳
K2(LOS)	Log(D)	۴۴/۹	۵۴
K2(NLOS)	Log(D)	۴۴/۹	۵۰/۶
K3	Log(HTx)*	۵/۸۳	-۸/۰۹
K4	Diffraction)	۱	۰
K5	Log(D)*log(HTx*)	-۶/۵۵	-۱۰
K6	HRx**	۰	-۰/۰۹۲۱
K7	Log(HRx**)	۰	-۱/۷۱

جدول (۳): ضرایب کلاتر ناحیه ۱

ENVIRONMENT	Before Tune	After Tune
Sea	۰	۰
Inland water	۰	۰
Open	۰	-۷/۶۷
Field	۰	-۶/۴۳
Forest	۰	-۲۵/۹
Villages	۰	۰
Sub urban	۰	۰/۰۵۹
Urban	۰	۱/۴۸
Dense Urban	۰	-۱۸
Industrial	۰	۴/۲

جدول (۴): نتایج پوشش‌دهی ناحیه ۲

	Before Tune	After Tune
Root mean squar	۷۹/۰۵۶	۱۰/۶۶۲
Average	-۲۴/۲۴۷	۰/۰۰۱
Standard deviation	۷۵/۲۴۶	۱۰/۶۶۲

جدول (۵): ضرایب پارامترهای ناحیه ۲

	K Factor Explain	Before Tune	After Tune
K1(LOS)		۱۷/۴	۲۷/۵
K1(NLOS)		۱۷/۴	۸۴/۷
K2(LOS)	Log(D)	۴۴/۹	۶۳/۴
K2(NLOS)	Log(D)	۴۴/۹	۴۵/۸
K3	Log(HTx)*	۵/۸۳	-۲۰
K4	Diffraction)	۱	۰
K5	Log(D)*log(HTx*)	-۶/۵۵	-۱۰
K6	HRx**	۰	-۰/۱۱۸
K7	Log(HRx**)	۰	-۶/۵۴

جدول (۶): ضرایب کلاتر ناحیه ۲

ENVIRONMENT	Before Tune	After Tune
Sea	۰	۰
Inland water	۰	۰
Open	۰	۲/۱۸
Field	۰	-۱۵/۴
Forest	۰	-۱۰/۳
Villages	۰	۰
Sub urban	۰	-۲/۸۱
Urban	۰	۰/۶۸۹
Dense Urban	۰	۰
Industrial	۰	-۸/۱۹

جدول (۷): نتایج مربوط به پوشش‌دهی ناحیه ۳

	Befre Tune	After Tune
Root mean squar	۱۰/۸۱۲	۸/۷۲۸
Average	۲/۶۱۸	۰
Standard deviation	۱۰/۴۹	۸/۷۲۸

جدول (۸): ضرایب پارامترهای ناحیه ۳

	K Factor Explain	Before Tune	After Tune
K1(LOS)		۱۷/۴	۴۸/۱
K1(NLOS)		۱۷/۴	۴۹/۶
K2(LOS)	Log(D)	۴۴/۹	۴۳/۴
K2(NLOS)	Log(D)	۴۴/۹	۴۲/۸
K3	Log(HTx)	۵/۸۳	-۱۰/۵
K4	Diffraction)	۱	۰
K5	Log(D)*log(HTx*)	-۶/۵۵	-۶/۴۹
K6	HRx**	۰	۰
K7	Log(HRx**)	۰	۰

جدول(۹): ضرایب کلاتر ناحیه ۳

ENVIRONMENT	Before Tune	After Tune
Sea	۰	۰
Inland water	۰	۰
Open	۰	-۵/۱
Field	۰	-۳/۲۷
Forest	۰	-۴/۷۷
Villages	۰	۰
Sub urban	۰	-۱/۹۱
Urban	۰	۳/۶۴
Dense Urban	۰	۰
Industrial	۰	-۳/۲

جدول (۱۰): نتایج پوشش‌دهی تهران

	Before Tune	After Tune
Root mean squar	۱۹/۰۳۱	۱۱/۹۵۳
Average	۱/۹۲۵	۰
Standard deviation	۱۸/۹۳۴	۱۱/۹۵۳

جدول (۱۱): ضرایب پارامترهای شهر تهران

	K Factor Explain	Before Tune	After Tune
K1(LOS)		۱۷/۴	۷۳/۳
K1(NLOS)		۱۷/۴	۶۹/۹
K2(LOS)	Log(D)	۴۴/۹	۴۶/۴
K2(NLOS)	Log(D)	۴۴/۹	۳۵/۲
K3	Log(HTx)*	۵/۸۳	۳/۱۹
K4	Diffraction)	۱	۰
K5	Log(D)*log(HTx*)	-۶/۵۵	-۱۰
K6	HRx**	۰	۰/۳۹۹۰۰
K7	Log(HRx**)	۰	۰

جدول (۱۲): ضرایب کلاتر شهر تهران

ENVIRONMENT	Before Tune	After Tune
Sea	۰	۰
Inland water	۰	۰
Open	۰	-۳/۵۶
Field	۰	-۳/۵۸
Forest	۰	۰/۶۷
Villages	۰	-۲/۸۹
Sub urban	۰	۰/۰۲۷۶
Urban	۰	۲/۷۷
Dense Urban	۰	۳/۹
Industrial	۰	-۲/۴۴

در مرحله بهینه‌سازی، از آزمایش CW استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا داده‌های CW را وارد مدل مورد نظر کرده و بهینه‌سازی مدل انتشار با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی (مانند الگوریتم‌های ژنتیک) و تطبیق منحنی‌های مختلف انجام می‌شود. پس از کامل شدن فرایند بهینه‌سازی، اندازه‌گیری‌های عملکرد آماری برای تشریح و تعیین موثر بودن اثر بهینه‌سازی بر رفتار مدل، برحسب میانگین، انحراف معیار خطای RMS به‌دست می‌آید.

همچنین میزان توان اندازه‌گیری‌شده براساس مسافت طی‌شده به صورت یک نقطه در نرم‌افزار MATLAB رسم شده است (نقاط آبی رنگ در نمودارهای شبیه‌سازی). سپس با استفاده از یک تابع برازش این مجموعه نقاط برازش شده‌اند. در این تابع دو مقدار برای تابع Htx داشتیم و برای مقدار ۳۰، میزان برازش مناسب‌تری به‌دست آمد. سپس تابع هدف را به‌صورت معادله (۱) با مقادیر he=25 و hm=1.5 در نظر گرفته تا ضرایب K_1 تا K_6 توسط الگوریتم ژنتیک ساده تعیین‌شوند. در اینجا برای سادگی

مقدار LP را در هشت نقطه انتخاب کرده و سپس هشت تابع را که هر کدام متناظر با یک مقدار d است و از مربع تفاضل توابع L و y حاصل می‌شود تشکیل داده و ضرایب آن‌ها را با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آورده‌ایم. بر این اساس شبیه‌سازی انجام شده است که این نشانگر نوعی راستی‌آزمایی مدل پیشنهادی است. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی با پارامترهای انتخاب شده نتایج شبیه‌سازی مقدار انحراف معیار ۱۱/۹۵ و میانگین خطای صفر را نشان می‌دهد که نشانگر قابل قبول بودن مدل پیشنهادی و مراحل کالیبره شدن آن است. در انتهای این تحقیق نتایج آزمایشات و محدوده پوشش‌دهی آورده شده است.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل انتشاراستانداردی برای شهر تهران ارائه شد و سپس این مدل بهینه‌سازی شد. مدل انتشار استاندارد بر پایه فرمول‌های تجربی و مجموعه‌ای از پارامترهای تنظیم نشده برای اندازه‌گیری مقادیر از دست رفته است. در این تحقیق این پارامترها پس از تنظیم شدن مدل استاندارد توسط نرم‌افزار AToLL به‌دست آمده‌اند و دقیقا همین داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است تا مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از مدل پیشنهادی و شبیه‌سازی انجام شود. مقایسه نشان می‌دهد مدل پیشنهادی ارزش قابل قبولی دارد و می تواند برای مطالعات آینده بر روی شهر تهران استفاده شود. با اعمال این مدل و در نظرگرفتن فرکانس ۲۱۰۰ برای این مدل که برای فناوری‌های جدید 3G و 4G قابل اعمال است، قبل از اعمال بهینه سازی دید خیلی بهتری نسبت به شبکه پیدا می کنیم و باعث می شود نقاطی که مشکلات جدی در رابطه با پوشش دارند شناسایی شوند و به این طریق هزینه ها به حداقل می رسد. همچنین این مدل می‌تواند برای طراحی شبکه جدید برای فناوری‌های آینده مانند 5G نیز کمک بزرگی در طراحی شبکه باشد. همچنین جاهایی که سایت‌های اضافی وجود دارد و آن منطقه به راحتی توسط سایت‌های دیگر می‌تواند پوشش‌دهی شود نیز شناسایی می‌شوند و می‌توان برای جمع‌آوری آن سایت‌ها اقدام کرد. همچنین در مورد تداخل‌ها نیز داشتن مدل می‌تواند کمک بزرگی انجام دهد.

در نهایت پس از بررسی مدل انتشار استاندارد در سه منطقه از تهران، نتایج استفاده از مدل انتشار استاندارد برای شهر تهران ارائه شده است.

۸- منابع

[1] T. Imai and T. Taga, "Statistical Scattering Model in Urban Propagation Environment," IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 55, no. 4, Jul. 2006.

[2] W. M. Smith, "Urban Propagation modeling for wireless systems," American Journal of engineering, vol. 2, 2013.

[3] A. Vinaye, M. Ramraj, and A. Sheeba, "Path Loss Analysis for 3G Mobile Networks for Urban and Rural Regions of Mauritius," 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, pp. 164-169, 2010.

[4] S. Sun et al., "Propagation Path Loss Models for 5G Urban Micro-and Macro-Cellular Scenario," IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC2016-Spring), May 2016.

[5] M. Boozari, A. A. Shishegar, and V. Mohtashami, "Computational Efficiency Improvement of Frequency Post-Processing In Ultra-Wideband Propagation Modeling Using Polynomial Interpolation Functions," Journal of Applied Electromagnetics, vol. 3, no. 4, 2016 (In Persian).

[6] C. Dalela, M. S. Prasad, and P. K. Dalela, "Tuning of Cost-231HATA model for Radio Wave propagation Prediction," international conference on computer science and information technology (CS & IT), pp. 255-267, 2012.

[7] L. Song and J. Shen, "Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE," CRC press, 2010.

[8] CH. Dalela, M. V. S. N. Parsad and PK. Dalela, "Tuning of Cost-231HATA model for Radio Wave propagation Prediction," CS & IT-CSCP, international conference, pp. 255-267, 2012.

[9] K. Paran and N. Noori, "Tuning of the propagation model ITU-R P.1546 recommendation," Progress in electromagnetics research B, vol. 8, pp. 243–255, 2008.

[10] C. B. Shi and W. Yang, "Study on Propagation Model Tuning Based on TD-SDMA System," Journal of Jilin University(Information Science Edition), 2008.

[11] A. Tahat and M. Taha, "Statistical Tuning of Walfisch-Ikegami Propagation Model Using Particle Swarm Optimization," IEEE conference on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT), 2012.

[12] R. D. A. Timoteo, D. C. Cunha, and G. D. C. Cavalcanti, "A Proposal for Path Loss Prediction in Urban Environments using Support Vector Regression," The Tenth Advanced International Conference on Telecommunications, pp. 119-124, 2014.

[13] I. Joseph, "Urban Area Path loss Propagation Prediction and Optimization Using Hata Model at 800MHz," International Journal of Applied Physics (IOSR-JAP), vol. 3, pp. 08-18, Mar.-Apr. 2013.

[14] S. A. Mawjoud, "Comparison of Propagation Model Accuracy for Long Term Evolution (LTE) Cellular Network," International Journal of Computer Applications, vol. 79, no. 11, pp. 41-45, Oct. 2013.

[15] B. Yesi and I. Hakki, "Mobile Radio Propagation Measurement Tuning the Path Loss Mobile in Urban Areas at GSM-900 Band in Istanbul-Turkey," IEEE 60th Vehicular Technology Conference, pp. 139-143, 2004.

[16] A. Mousa, Y. Dama, and M. Najjar, "Optimizing Outdoor Propagation Model based on Measurements for Multiple RF Cell," International Journal of Computer Applications, vol. 60, no. 5, pp. 5-10, Dec. 2012.

[17] A. Bhuvaneshwari, R. Hemalatha, and T. Satyasavithri, " Statistical Tuning of the Best suited Prediction Model for Measurements made in Hyderabad City of Southern India," International Conference of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS), USA, Oct. 2013.

[18] O. N. Martinez Z, C. Rodiguez, and M. O. Arias, "Propagaton Characteristics of Managua City Based on Standard Propagation Model (SPM) at 850MHZ for 3G-WCDMA System," IEEE Central America and Panama Convention (CONCAPAN), 2014.

[19] A. Ekeocha, N. Onyebuchi, and L. Uzoechi, "Path Loss Characterization of 3G Wireless Signal for Urban and Suburban Environments in Port Harcourt City, Nigeria,"

International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 3, Mar. 2016.

[20] P. Kumar, B. Patil, and S. Ram, "Selection of Radio Propagation Model for Long Term Evolution (LTE) Network," International Journal of Engineering Research and General Science, Vol. 3, Jan.-Feb. 2015.

[21] C. Haslett, "Essentials of Radio Wave ropagation," Cambridge University press, 2008.

[22] N. Blaunstein, "Radio propagation in cellular networks," Translators: H. Oreizi & N. Noori, Iran University of Science and Technology press, 2009.

[23] I. Israr, M. Ashraf Khan, S. A. Malik, S. A. Khan, and M. Shakir, "Path Loss Modeling of WLAN and WiMAX Systems," International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 5, no. 5, pp. 1083-1091, Oct. 2015.

[24] "History of Tehran," second edition Gitashenasi Geographical & Cartographic Institute, press, 2008.

[25] A. A. Tahat and Y. A. Alqudah, "Analysis of Propagation Models at 2.1 GHz for Simulation of a Live 3G Cellular Network," IEEE Conference on wireless advanced, 2011.

[26] K. Mohamedpour "Principles of wireless and mobile communications, K. N. Toosi University of Technology press, 2009.

[27] A. Alsayyari, I. Kostanic, and C. E. Otero, "An Empirical Path Loss Model for Wireless Sensor Network Deployment in a Concrete Surface Environment," IEEE 16th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), 2015.

Journal of Applied Electromagnetics
Vol. 4, No. 4, 2017 (Serial No. 13)

A New Model for Radio-Wave Propagation Predictions in 2100 MHz Frequency for the Tehran City

S. Ghazimaghrebi*, P. Bayan

Yadegar Emam Islamic Azad University of Shahr Rey

(Received: 29/10/2017, Accepted: 17/07/2018)

Abstract

Network designers in mobile communication rely on the results of propagation path loss models to ensure the acceptable level of service quality for users and based on these results, networks are designed. In this paper, for mobile communication network of Tehran city, a standard propagation model is used to predict power dissipation in order to extract propagation characteristics for 3G Networks. Propagation models for different cities are shown in many different articles, but those cities did not have all features similar to Tehran. Furthermore, there are not any related articles about a model for Tehran yet. It is obvious that the results of this research can be used for researchers and also these results are applicable for other research articles for the Tehran city. In comparison with other articles for different cities, another important point is that more sites have been used for this paper, and as a result, this research is a comprehensive article and big data are considered. It must be noted that almost in all articles, 3 or 4 sites are considered maximumly, but in this article about 400 sites are considered. Also, for preservation of details in this research, we have shown only three regions and finally the results of the propagation model are plotted for the Tehran city completely. Beside, Tehran has a number of special geographic specifications which are not in the other considered cities in different articles. Tehran has a slope from the north to the south. In the north of Tehran that is close to mountains, streets and avenues are usually on a slope, whereas the city is smoother in the south. There are fewer tall buildings in the south of the city with respect to the north of it. Official buildings are located in the center of the city and as a result, this part is more dense. These specifications showed that Tehran is a special city and these factors cause difficulties in network designing of it. In this research, using one of the operator networks' drive test data at the frequency of 2100 MHz for almost 400 sites, a model is proposed via the SPM model. For more evaluation of the proposed model, the data are simulated using MATLAB software and the results are compared with the proposed model. Before site designing, it is necessary to obtain the coverage area using CW test and the SPM model. Also, it must be noted that the sites are investigated after they have been implemented by the operator and also in this research, they are tested while they were on, so thatin this case i.e. working with alive sites, the results of the optimization will be useful. At the end, it must be noted that there are not any articles about city modeling in Iran and especially for Tehran.

Keywords: Standard Propagation Model, Propagation Model, Path Loss, Tehran City

* Corresponding author E-mail: ghazimaghrebi@jdnasir.ac