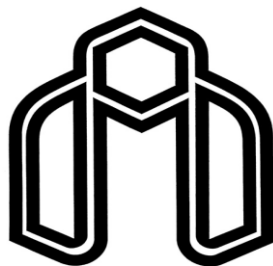


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

بررسی و شبیه‌سازی روش‌های بهینه‌سازی شبکه تلفن همراه

نگارنده

بهزاد بیات

استاد راهنما

جناب آقای دکتر معروضی

بهمن ۱۳۹۵

## دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی برق و رباتیک

گروه : الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم .....

تحت عنوان:

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

# تقدیم به...

ای پدر از تو هر چه می گویم باز هم کم می آورم

خورشیدی شدی و از روشنائی ات جان گرفتم و در ناامیدی ماندم را

کشیدی و بسیرزم کردی از شوق

اکنون حاصل دستان خسته ات رمز موفقیتم شد

به خودم تبریک می گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگیش مثل تو را ندارد.....

و تو ای مادر، ای شوق زیبای نفس کشیدن

ای روح مهربان، سستی ام

تو رنگ شادی هایم شدی و لحظه ها را با تمام وجود از من دور کردی و

عمری سختی ها را به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش

پیروزی را به من بخشانی

# سپاس گزارمی...

پس از حمد و ثنای بی حد بر آستان صفات بی همتای احدیت که در کمال رافت و در نهایت عطف و رحمت انعام این پایان نامه راه بنده

عطا فرموده است، بر خود واجب می دانم از استاد راهنمای گرانقدر، دکتر امیدرضا معروضی نهایت قدردانی را داشته باشم.

## تعهد نامه

اینجانب بهزاد بیات دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - مخابرات دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی و شبیه‌سازی روش‌های بهینه‌سازی شبکه تلفن همراه تحت راهنمایی دکتر امیدرضا معروضی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

## چکیده

در این پایان نامه، روش‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف توان در یک شبکه مخابراتی سلولی بررسی گردیده است. نتیجه این تحقیق این است که مصرف توان که از مهم‌ترین پارامترهای یک سیستم رادیویی است تا حد امکان کاهش یابد. ما درصدد ایجاد مصالحه‌ای بین مصرف توان و ناحیه تحت پوشش شبکه با توجه به بار ترافیکی موجود در شبکه هستیم. این مصالحه در تک‌تک سلول‌ها انجام می‌گیرد و توان مصرفی مجموع را کاهش می‌دهد.

بهینه‌سازی بر اساس یک الگوریتم حلقه بسته صورت می‌گیرد که به‌طور پیوسته با رعایت شرط پوشش دهی در حد معینی، توان سلول‌های مختلف را کاهش داده و به جستجوی بهترین جواب نزدیک به بهینه می‌پردازد. در ادامه این تحقیق، به‌منظور آزمودن کارایی روش ارائه‌شده یک شبکه واقعی در نظر گرفته‌شده و یک سناریوی عملی برای آن پیاده‌سازی گردیده است. در این راستا، بهینه‌سازی انجام‌شده در دو فاز همزمان باهم اجرا می‌گردد. در فاز نخست با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ضرایب لاگرانژ حد پایینی برای توان‌های پایلوت شبکه به دست آورده و در فاز دوم با ترکیبی از بهینه‌سازی گرادیان و روش‌های فرا ابتکاری سعی در رسیدن به یک جواب امکان‌پذیر برای این مسئله داریم. در هر بار تکرار با حل یک معادله knapsack یک هدف را در نظر گرفته و با به روز رسانی ضرایب لاگرانژ، گام‌های حرکت به سمت هدف مشخص‌شده را تعیین می‌نماییم و این چرخه تا زمان رسیدن بهترین جواب امکان‌پذیر ادامه می‌دهیم.

در انتها مشاهده می‌نماییم که روش پیشنهاد شده در حدود ۷۶٪ صرفه جویی در مصرف توان را در مقایسه با روش تخصیص توان مرسوم به دست می‌آورد.

کلمات کلیدی: شبکه مخابراتی سلولی، پوشش دهی شبکه، ظرفیت شبکه، تقاضای بار ترافیکی، کنترل توان پایلوت، الگوریتم بهینه‌سازی آزاد سازی لاگرانژ

## فهرست مطالب

ز	چکیده	
۱	فصل ۱ مقدمه	
۲	۱-۱ مقدمه	.....
۴	۲-۱ ساختار شبکه مخابراتی سلولی	.....
۷	۳-۱ سیر تکاملی سیستم‌های موبایل سلولی	.....
۷	۱-۳-۱ نسل اول (1G)	.....
۸	۲-۳-۱ نسل دوم (2G)	.....
۱۳	۳-۳-۱ شبکه‌های نسل سوم (3G)	.....
۱۴	۴-۳-۱ شبکه‌های نسل چهارم (ALL IP)	.....
۱۶	۴-۱ اجزای اصلی شبکه موبایل سلولی	.....
۲۰	۵-۱ سه پارامتر مهم در اندازه‌گیری CPICH	.....
۲۰	۱-۵-۱ توان کد سیگنال دریافتی (RSCP)	.....
۲۱	۲-۵-۱ $E_c / I_o$	.....
۲۱	۳-۵-۱ شاخص قدرت سیگنال دریافتی (RSSI)	.....
۲۲	۶-۱ چالش‌های طراحی و بهینه‌سازی شبکه	.....
۲۲	۱-۶-۱ کنترل توان	.....
۲۳	۲-۶-۱ انتخاب سلول	.....
۲۴	۷-۱ پارامترهای مؤثر در پیکربندی ایستگاه پایه رادیویی	.....
۲۴	۱-۷-۱ توان ارسالی CPICH	.....
۲۵	۲-۷-۱ ارتفاع آنتن	.....
۲۵	۳-۷-۱ تیلت آنتن	.....
۲۶	۴-۷-۱ جهت آنتن	.....
۲۷	۸-۱ مروری بر کارهای انجام‌شده در گذشته	.....
۳۰	۹-۱ ساختار پایان نامه	.....
۳۳	فصل ۲ مدیریت توان پایلوت در شبکه‌های WCDMA	
۳۴	۱-۲ مقدمه	.....



۳۵	۲-۲ انواع لینک‌های مخابراتی
۳۵	۱-۲-۲ نقطه به نقطه
۳۵	۲-۲-۲ همه پخشی
۳۶	۳-۲-۲ چند نقطه‌ای
۳۶	۴-۲-۲ نقطه به چند نقطه
۳۶	۳-۲ انواع کانال‌های WCDMA
۳۸	۱-۳-۲ کانال‌های منطقی
۳۹	۲-۳-۲ کانال‌های انتقال
۴۰	۳-۳-۲ کانال‌های فیزیکی
۴۰	۴-۲ سلول رادیویی و انتشار امواج
۴۲	۲-۴-۲ اثرات انتشار امواج
۴۳	۳-۴-۲ مدل ارسال دریافت سیگنال
۴۴	۴-۴-۲ افت مسیر فضای آزاد
۴۵	۵-۴-۲ محو شوندگی اثر سایه
۴۶	۵-۲ آنتن و انتشار موج
۴۶	۱-۵-۲ الگوهای انتشاری
۴۷	۲-۵-۲ بهره آنتن
۴۷	۳-۵-۲ پلاریزاسیون
۴۷	۶-۲ کانال پایلوت مشترک

### فصل ۳ مدل اساسی برای بهینه‌سازی پوشش دهی CPICH

۵۱	
۵۲	۱-۳ مقدمه
۵۳	۲-۳ سیستم مدل
۵۷	۳-۳ راه‌حل توان پایلوت یکنواخت
۵۸	۴-۳ یک فرمول بندی سراسر برای مساله
۶۰	۵-۳ بهینه‌سازی توان پایلوت برای پوشش دهی جزئی
۶۰	۱-۵-۳ انگیزه
۶۱	۲-۵-۳ پوشش دهی ترافیکی
۶۴	۳-۵-۳ فرمول بندی راه‌حل توان پایلوت یکنواخت با پوشش دهی جزئی
۶۵	۴-۵-۳ فرمول بندی روش بهبود یافته با پوشش دهی جزئی
۶۸	۶-۳ دستاورد راه‌حل بر مبنای الگوریتم آزادسازی لاگرانژ
۶۸	۱-۶-۳ مروری بر الگوریتم

۶۹	..... الگوریتم آزادسازی لاگرانژ
۷۲	..... الگوریتم بهبود یافته پیشنهادی
۷۵	..... محاسبه مقادیر اولیه ضرایب لاگرانژ
۷۷	..... الگوریتم ابتکاری

### فصل ۴ تجزیه و تحلیل داده‌ها

۸۳	
۸۴	..... ۱-۴ مقدمه
۸۴	..... ۲-۴ مشخصات شبکه تست
۸۸	..... ۳-۴ تقاضای ترافیکی
۸۸	..... ۴-۴ نتایج عددی
۹۲	..... ۵-۴ جمع بندی
۹۲	..... ۶-۴ پیشنهاد برای ادامه کار در آینده

۹۳	منابع و مراجع
----	---------------

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) شبکه سلولی با تکنیک استفاده مجدد فرکانس ..... ۶
- شکل (۲-۱) توپولوژی شبکه UMTS ..... ۱۷
- شکل (۳-۱) نمونه از یک الگوی تابشی افقی و عمودی انتشار ..... ۲۷
- شکل (۱-۲) ساختار فریم کانال CPICH ..... ۴۸
- شکل (۱-۳) قاعده Pareto ..... ۶۱
- شکل (۱-۴) دیاگرام الگوی انتشاری آنتن kathrein quarter-band ( آبی: افقی ، قرمز: عمودی) ..... ۸۷
- شکل (۲-۴) مجموع توان پایلوت محاسبه شده به دو روش تخصیص یکنواخت و الگوریتم ابتکاری ..... ۹۱

## فهرست جداول

جدول (۱-۲) انواع کانال‌های منطقی در شبکه مخابراتی WCDMA	۳۹
جدول (۲-۲) انواع کانال‌های انتقال و فیزیکی در کانال مخابراتی WCDMA	۴۱
جدول (۳-۲) نمونه‌ای از تنظیمات مربوط به کانال‌های مشترک یک شبکه	۴۹
جدول (۱-۴) مشخصات سلول‌های شبکه تست	۸۶
تنظیمات اولیه پارامترها در شبکه تست	۸۵
جدول (۲-۴) مشخصات آنتن ایستگاه پایه رادیویی	۸۷
جدول (۳-۴) مقادیر در نظر گرفته شده برای تقاضای ترافیکی در شبکه تست	۸۸
جدول (۴-۴) نتایج عددی برای مقادیر مختلف سطوح توان در روش تخصیص یکنواخت توان پایلوت	۹۰
جدول (۵-۴) نتایج عددی برای مقادیر مختلف سطوح توان در روش آزاد سازی لاگرانژ	۹۰

## فهرست اختصارات

3GPP	3rd Generation Partnership Project
CCPCH	Common Control Physical Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CIR	Carrier-to-Interference Ratio
CN	Core Network
CPICH	Common Pilot Channel
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HO	Handover
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LP	Linear Programming
ME	Mobile Equipment
MT	Mobile Terminal
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P-CPICH	Primary Common Pilot Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
RAN	Radio Access Network
RBS	Radio Base Station
RF	Radio Frequency
RRM	Radio Resource Management
RSCP	Received Signal Code Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
S-CPICH	Secondary Common Pilot Channel
SCH	Synchronization Channel
SHO	Soft Handover
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access



# فصل ۱

## مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

امروزه ارتباطات سیار، یکی از رو به رشدترین حوزه‌های مخابراتی است و تعداد مشترکین تلفن‌های همراه سلولی، با سرعت زیادی در حال افزایش است. یکی از مشکلات اساسی در مخابرات سلولی، محدودیت منابع موجود برای ارتباطات است. از همین رو اپراتورهای موبایل مجبور هستند از روش‌هایی استفاده کنند که ظرفیت شبکه‌های موجود را تا حد امکان افزایش دهد. البته این امر کار ساده‌ای نیست، چراکه از طرف دیگر کیفیت خدمات نیز می‌بایست برای مشتری‌ها در حد قابل قبولی نگه‌داشته شود. مصرف توان در هر نود و طیف رادیویی فرکانسی از جمله مهم‌ترین منابع سیستم‌های مخابراتی به شمار می‌آیند، از همین رو در این پایان نامه ما درصدد ایجاد مصالحه‌ای بین مصرف توان و ناحیه پوشش دهی شبکه با توجه به بار ترافیکی موجود در شبکه هستیم. در نسل‌های مختلف تلفن همراه، کانال‌های متفاوتی وجود دارد که با استفاده از آن می‌توانیم توان مصرفی شبکه را تعیین کنیم. یکی از این کانال‌ها، کانال پایلوت مشترک یا  $CPICH^1$  نام دارد که در شبکه‌های نسل سوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر بخواهیم هدف این پایان نامه را در تمامی نسل‌های تلفن همراه دنبال کنیم، به حجم داده بالایی نیاز است و همچنین در فرایند شبیه‌سازی، انجام محاسبات بسیار زمانبر خواهد شد. از همین رو، با وجود اینکه این مطالعه را بر روی شبکه  $WCDMA^2$  پیاده‌سازی کرده ایم، اما از نتایج آن می‌توان تا حد زیادی برای بهینه‌سازی سایر نسل‌های تلفن همراه نیز استفاده کرد.

---

<sup>1</sup> Common Pilot Channel

<sup>2</sup> Wideband Code Division Multiple Access



برای ذکر نمونه‌ای از این تفاوت‌ها، همان‌طور که گفتیم، در شبکه‌های WCDMA کانال سیگنالینگ CPICH مرجعی برای تخمین کیفیت و قدرت سیگنال دریافتی است که در این مطالعه برای بررسی پوشش دهی شبکه از آن استفاده شده است. همین وظیفه در سیستم‌های نسل دوم توسط کانال کنترلی<sup>1</sup> SACCH انجام می‌گیرد. این کانال اطلاعات کنترل توان و زمان‌سنجی را در جهت فرسو برای پایانه موبایل ارسال می‌کند، پایانه موبایل نیز با دریافت شاخص قدرت سیگنال، کیفیت لینک را تخمین زده و برای ایستگاه پایه ارسال می‌کند. نمونه‌ای دیگری از این تفاوت، در بخش انتشار امواج برای محاسبه تداخل بر روی سیگنال مرجع است. در شبکه‌های نسل ۳ و ۴ به دلیل استفاده از کدهای متعامد CDMA، فاکتور تعامد پارامتری تعیین‌کننده می‌باشد، در صورتی که برای محاسبه تداخل در سیستم‌های نسل دوم فقط تداخل فرکانسی سلول‌های مجاور را در محاسبات منظور می‌کنیم. بنابراین با انجام مطالعه بر روی شبکه‌های WCDMA می‌توان نتایج به دست آمده را با تغییراتی در فرضیات مسئله به بقیه نسل‌های شبکه تلفن همراه بسط دهیم.

افزایش روزافزون در کاربردهای مخابرات بی‌سیم و شبکه‌های رادیویی، وظایف طراحان شبکه را با چالش‌های متنوعی روبرو کرده است. مهندسين طراح و بهینه‌ساز، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی به عنوان ابزاری مهم در طراحی و بهبود عملکرد شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم استفاده می‌کنند. در این پایان نامه، با استفاده از دیتابیس موجود، ما ابتدا انتشار امواج در محیط را شبیه‌سازی نموده و یک مدل

---

<sup>1</sup> Slow Associated Control Channel

ریاضی برای محاسبه مجموع توان مصرفی در شبکه ایجاد می‌کنیم. تابع هدف، توان مصرفی مجموع در شبکه است که با در نظر گرفتن یک سری قیود سعی در مینیمم کردن آن داریم. در ادامه بهینه‌سازی را در دو فاز مجزا و به‌طور همزمان اجرا می‌کنیم.

در فاز اول با حل یک معادله knapsack بر روی تابع هدف، با استفاده از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ بهترین جواب ممکن را محاسبه می‌کنیم. در فاز دوم نیز، با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری سعی می‌کنیم جواب به‌دست‌آمده را به بهترین جواب امکان‌پذیر نزدیک کنیم. این دو فاز در متن یک الگوریتم subgradient اجرا می‌گردد که در طی آن با تنظیم کردن گام حرکت به‌سوی جواب بهینه در هر مرحله، ضرایب لاگرانژ را برای استفاده از معادله لاگرانژ به‌روزرسانی می‌کنیم.

## ۱-۲ ساختار شبکه مخابراتی سلولی

هدف از فناوری ارتباطات سلولی بی‌سیم، برقراری ارتباطات بی‌سیم در نواحی پهناور جغرافیایی است. این نواحی تحت پوشش به بخش‌های متعددی که سلول‌ها نامیده می‌شود تقسیم می‌گردد. این ارتباطات به وسیله یک ایستگاه تبادل داده مرکزی و همراه با تجهیزاتی با آنتن‌های رادیویی توان پایین که بر اساس استراتژی خاصی بر روی ناحیه جغرافیایی قرار گرفته است، برقرار می‌گردد. درحالی‌که یک گیرنده (تلفن سلولی<sup>۱</sup>) از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا می‌گردد، شناسه، موقعیت

---

<sup>۱</sup> Cell Phone

مکانی و فرکانس رادیویی گیرنده از سلولی به سلول دیگر دست به دست<sup>1</sup> می‌گردد، بدون آنکه اتصال به شبکه قطع گردد. سیستم‌های تلفن سلولی همچنین قابلیت اتصال به شبکه<sup>2</sup> PSTN را برای هر کاربر و در هر موقعیت مکانی (تحت پوشش دهی شبکه) فراهم می‌آورد.

شبکه سلولی در مقایسه با شبکه‌ای با یک فرستنده، ظرفیت به مراتب بیشتری دارد. هر آنتن فرستنده تعداد محدودی کانال ارتباطی دارد که به طبع آن تعداد کاربرانی که می‌توانند به طور هم‌زمان از شبکه استفاده کنند محدود است. شبکه سلولی با تقسیم کردن ناحیه جغرافیایی بزرگی به سلول‌های کوچک‌تر و تخصیص فرکانس‌های مجزا به هر سلول باعث می‌شود چندین کاربر در ناحیه یکسان بتوانند با نزدیک‌ترین ایستگاه پایه ارتباط برقرار نموده و از فرکانس‌های موجود در آن استفاده نمایند. هم‌چنین با استفاده مجدد از فرکانس‌ها و تخصیص به سلول‌های غیر مجاور، می‌توان به صورت بهینه از منابع رادیویی استفاده کرد.

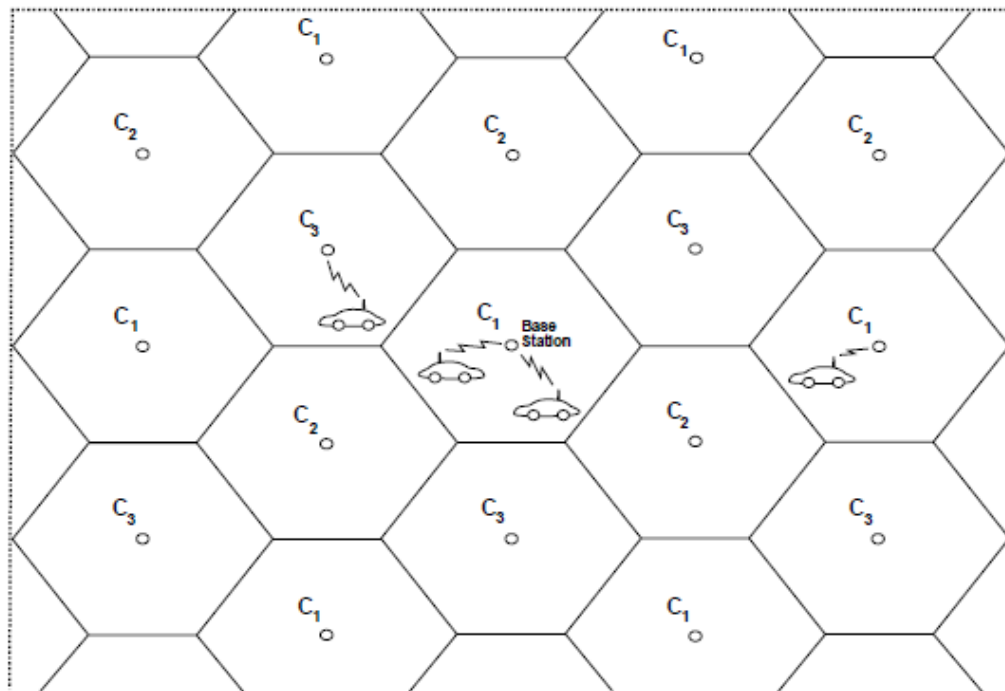
طیف رادیویی فرکانسی به‌عنوان یکی از ارزشمندترین منابع حال حاضر جهان برشمرده می‌شود که استفاده از آن با محدودیت‌های بسیاری همراه است. در ابتدای ظهور مخابرات بی‌سیم، به دلیل تعداد کم کاربران، استفاده از طیف فرکانسی محدودیتی نداشت، اما رفته‌رفته با افزایش تقاضا بحث دسترسی چندگانه به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی استفاده از مخابرات بی‌سیم مطرح گردید که در حال حاضر نیز توجه زیادی را به خود جلب

---

<sup>1</sup> Handover

<sup>2</sup> public switched telephone network

کرده است. در واقع ایده اصلی استفاده از شبکه سلولی، استفاده مجدد از فرکانس‌ها در مواجهه با تعداد کانال‌های فرکانسی محدود در دسترس است.



شکل (۱-۱) شبکه سلولی با تکنیک استفاده مجدد فرکانس [۱]

شکل (۱-۱) نمونه‌ای از یک شبکه سلولی به همراه فرکانس‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد. فرض

کنید کل ناحیه جغرافیایی نشان داده شده در شکل (۱-۱) تنها به وسیله یک فرستنده با ۴ کانال

فرکانسی پوشش داده شود. در این صورت ماکزیمم کاربرانی که به طور همزمان می‌توانند از شبکه

استفاده کنند بر روی همین ۴ کانال خواهد بود. حال با تقسیم ناحیه بزرگ به نواحی کوچک‌تر و

تخصیص یک فرکانس به هر ناحیه و همچنین استفاده مجدد از فرکانس‌ها تعداد کاربرانی که در کل

ناحیه می‌توانند به صورت همزمان از شبکه استفاده کنند به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. همان‌طور

که در شکل مشخص است، همواره سعی بر این است تا سلول‌های با فرکانس مشابه در دورترین فاصله ممکن از هم قرار گیرد تا تداخل بین سلولی تا حد امکان کاهش یابد.

## ۱-۳ سیر تکاملی سیستم‌های موبایل سلولی

آشنایی با مفاهیم ابتدایی شبکه‌های سلولی موبایل باعث درک بهتر موضوع مورد بحث خواهد شد. از همین رو در ادامه به‌طور مختصر در مورد توسعه نسل‌های مختلف شبکه سلولی موبایل و اجزای یک شبکه WCDMA توضیحاتی ارائه می‌گردد [۲، ۳].

### ۱-۳-۱ نسل اول (1G)

اولین شبکه مخابراتی سلولی تجاری، در سال ۱۹۷۹ توسط NTT<sup>۱</sup> در منطقه متروپولیتن ژاپن اجرا گردید و در طول پنج سال کل ژاپن تحت پوشش قرار گرفت و به اولین شبکه تبدیل گردید که توانست در سطح یک کشور ارتباطات بی‌سیم را در بین کاربران حمل نماید. در آن زمان، هیچ‌گونه همکاری در سطح جهانی (و یا حتی در سطح اروپایی) برای توسعه استانداردهای فنی سیستم وجود نداشت؛ بنابراین اولین تلاش‌ها برای استانداردسازی ارتباطات بی‌سیم، به‌طور همزمان در سال‌های ابتدایی دهه ۸۰، با معرفی فناوری NMT<sup>۲</sup> در کشورهای دانمارک، فنلاند، نروژ و سوئد، AMPS<sup>۳</sup> در

<sup>۱</sup> Nippon Telegraph and Telephone

<sup>۲</sup> Nordic Mobile Telephone

<sup>۳</sup> Advanced Mobile Phone System

آمریکای شمالی و استرالیا،<sup>۱</sup> TACS در بریتانیا، C-450 در آلمان غربی، پرتغال و شمال آفریقا، Radio Com در فرانسه، TMA در اسپانیا و RTMI<sup>۲</sup> در ایتالیا، نسل اول فناوری تلفن بی‌سیم آغاز گردید.

اولین نسل سرویس برای تلفن‌های سلولی، سرویس آنالوگ بود که تنها برای انتقال صوت طراحی شده و برای پیام کوتاه، دیتا و سایر سرویس‌ها در نظر گرفته نشده بود و بر اساس سوئیچینگ مدار<sup>۳</sup> عمل می‌کرد. نحوه کار این شبکه به صورتی بود که به محض آنکه یک تماس برقرار می‌شد، اتصالی برای شما در نظر می‌گرفت و این ارتباط تا زمانی که شما تماس را قطع کنید ادامه پیدا می‌کرد. در نتیجه صورت حساب شما صرف نظر از اینکه چقدر مکالمه اتفاق افتاده است، برای مدت زمان ثابتی محاسبه می‌شد. این سرویس با کیفیت پایین، تجهیزات گران و در بسیاری از موارد با کیفیت نه‌چندان مناسب ارائه می‌شد. همچنین از دیگر ویژگی‌های مهم در این نسل این بود که عملیات رومینگ از سیستمی به سیستم دیگر امکان‌پذیر نبود و از طیف فرکانسی به صورت مؤثر استفاده نمی‌گردید.

### ۱-۳-۲ نسل دوم (2G)

در میانه‌های دهه ۱۹۸۰ میلادی اتحادیه اروپا مجموعه‌ای از فعالیت‌های خود را در زمینه ارتباطات موبایل آغاز کرد. این امر منجر به ایجاد ETSI<sup>۴</sup> شد که تمام فعالیت‌های استانداردسازی در اروپا را بر

<sup>۱</sup> Total Access Communications System

<sup>۲</sup> Radio Telefono Mobile Integrato

<sup>۳</sup> Circuit Switching

<sup>۴</sup> European Telecommunications Standards Institute

عده گرفت. عصر فناوری‌های مبتنی بر پایه دیجیتال از اینجا متولد گردید؛ که آن را سیستم جهانی برای ارتباطات سیار یا GSM<sup>1</sup> نامیدند. نخستین شبکه‌های نسل دوم در اوایل سال ۱۹۹۱ پدید آمد. GSM عمدتاً بر روی پاسخ به نیازمندی‌های ترافیک دیتا و بسیاری دیگر از سرویس‌های شبکه تمرکز داشت.

درواقع جابه‌جایی از نسل اول به دوم، جابه‌جایی از آنالوگ به دیجیتال بود. این تغییر، امکان ذخیره‌سازی، کپی، رمزگذاری و فشرده‌سازی داده‌ها و اجازه انتقال اطلاعات بدون خطر از دست رفتن آن‌ها و نیز اصلاح خطا را فراهم می‌کرد. به‌علاوه، در این شبکه‌ها امنیت ارتقا یافته، کیفیت صدا و ظرفیت کلی نیز افزایش یافته بود.

این فناوری سرویس‌های داده سلولی بی‌سیم، سرویس‌هایی مانند دسترسی به اینترنت با سرعت ۴/۱۴ کیلوبیت بر ثانیه (تئوری) و ۶/۹ تا ۲/۱۹ کیلوبیت بر ثانیه (واقعی) را فراهم می‌آورد. نسل دوم مانند گذشته دارای سیستم تعویض مدار بود و شما همچنان برای مدت‌زمان مکالمه هزینه پرداخت می‌کردید در نتیجه این روش مطلوب و مقرون به صرفه‌ای برای انتقال داده نبود.

از زمان معرفی نسل دوم تا استانداردسازی نسل سوم، به علت رشد سریع فناوری‌های مخابراتی، استانداردهای نسل دوم پاسخگوی نرخ رشد و نیازهای شبکه نبود، به همین علت حفاصل توسعه این دو نسل (نسل دوم و نسل سوم) استانداردسازی‌هایی انجام گرفت که علی‌رغم اهمیت بسیار زیاد، تحت

<sup>1</sup> Global System for Mobile communication

نسل‌های جدید طبقه نشده‌اند بلکه به صورت زیرمجموعه از نسل دوم و به نام‌های نسل ۲,۵ و ۲,۷۵ در نظر گرفته شده است.

### GSM+VAS ۱-۲-۳-۱

خدمات ارزش‌افزوده<sup>۱</sup> یک عنوان عامه‌پسند برای بخشی از صنعت مخابرات است که شامل سرویس‌های فرعی بوده که تعرفه آن‌ها از سرویس‌های استاندارد مانند صدا و فکس بیشتر هست. این خدمات می‌توانند در هر صنعتی مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در مفهوم صنعت مخابرات، خدمات ارزش‌افزوده را به پیشنهاد و تحریک کاربران برای استفاده هرچه بیشتر از تلفن همراه خود و همچنین برنامه‌ریزی اپراتورها برای کسب درآمد از میانگین کاربران منجر می‌گردد. بنابراین پیشرفت بعدی در سیستم‌های GSM اضافه کردن دو پلتفرم به نام‌های vms<sup>۲</sup> و smsc<sup>۳</sup> بود. smsc از نظر تجاری موفقیت بسیاری کسب کرد، به طوری که در برخی شبکه‌ها ترافیک sms بخش مهمی از ترافیک شبکه را در برمی‌گرفت. همراه با VAS، IN<sup>۴</sup> نیز در سیستم‌های GSM ظهور کرد که برای اپراتورها این قابلیت را فراهم می‌کرد که دامنه وسیعی از سرویس‌های جدیدی را همچون سرویس‌های post-paid و pre-paid را ارائه دهند. از جمله سرویس‌های ارزش‌افزوده اصلی می‌توان به سرویس‌های پخش زنده، سرویس‌های مبتنی بر تعیین موقعیت جغرافیایی، تبلیغات موبایلی و ... اشاره کرد.

---

<sup>1</sup> Value added services

<sup>2</sup> Voice mail system

<sup>3</sup> Short message service center

<sup>4</sup> Intelligent services



## GSM+GPRS<sup>۱</sup> ۲-۲-۳-۱

GPRS یک سرویس اطلاعات موبایل بسته گراست که امکان ارسال و دریافت اطلاعات یا داده را بر روی شبکه تلفن همراه فراهم می‌سازد. علت اصلی ارائه GPRS این بود که تا قبل از آن عملیات سوئیچینگ بر مبنای سوئیچینگ مداری انجام می‌گرفت که امکان حمل دیتا با نرخ بالا را پشتیبانی نمی‌کرد. به همین دلیل ارائه GPRS که بر مبنای سوئیچینگ بسته‌ای عمل می‌کرد تا حد بسیار خوبی نیازهای انتقال داده را تا آن زمان برطرف می‌نمود. همچنان که نیازمندی‌ها برای ارسال داده بر روی اینترنتی هوایی افزایش می‌یابد، عناصر جدیدی مانند SGSN<sup>۲</sup> و GGSN<sup>۳</sup> به سیستم GSM موجود اضافه گردید. این عناصر این امکان را فراهم می‌آورند که بسته داده را بر روی سطح مشترک هوا ارسال کنیم. این بخش از شبکه که وظیفه مدیریت بسته‌های داده را بر عهده دارد به هسته شبکه معروفاند. علاوه بر SGSN و GGSN عناصر دیگری مانند مسیریاب‌های IP، دیوار آتش و DNS<sup>۴</sup> نیز لازم است. این عناصر دسترسی بی‌سیم به اینترنت با نرخ بیت بهینه 150kbps را فراهم می‌آورد. GPRS که از آن به‌عنوان نسل ۲,۵ شبکه‌های تلفن همراه نیز یاد می‌گردد، به ما این امکان را می‌دهد تا همواره ارتباط خود را با اینترنت حفظ کنیم و دیگر نیازی نیست برای برقراری ارتباط هر بار به شرکت ارائه‌کننده سرویس اینترنت وصل شویم. همچنین هزینه استفاده از این سرویس نیز این‌گونه

<sup>۱</sup> General Packet Radio Service

<sup>۲</sup> SERVING GPRS

<sup>۳</sup> Gateway GPRS

<sup>۴</sup> Domain Name Servers

بود که مبلغ ارتباط بر اساس مقدار اطلاعات ورودی و خروجی به شرکت ارائه‌دهنده سرویس پرداخت می‌گردید و نه بر اساس مدت‌زمانی که به اینترنت متصل هستید.

### **GSM+ EDGE<sup>1</sup> ۳-۲-۳-۱**

این فناوری، یک تکمیل‌کننده برای شبکه‌های GSM نسل ۲ و ۲,۵ است که می‌تواند بر روی هر شبکه‌ای که GPRS در آن توسعه‌یافته، کار کند. اگرچه فناوری به‌کاررفته در آن، فناوری نسل سوم است، به‌طور غیررسمی در سال ۲۰۰۳ در شبکه GSM و تحت عنوان نسل ۲,۷۵ مطرح گردید. در واقع EDGE توسعه GPRS است که امکان انتقال اطلاعات تا نرخ 473.6kbps را مهیا می‌سازد. از EDGE برای کاربردهایی که نیاز به سرعت انتقال بالاتری دارند، نظیر خدمات ویدئویی و کاربردهای چندرسانه‌ای که GPRS قادر به پشتیبانی از آن‌ها نبود، استفاده می‌شد. از نقطه‌نظر سوئیچینگ شبکه، EDGE نیز همانند GPRS از سوئیچینگ بسته‌ای استفاده می‌نمود؛ اما آن چیزی که امکان نرخ سرعت بالاتر نسبت به GPRS را برای آن مهیا می‌نمود، نوع مدولاسیون به‌کاررفته در آن و همچنین روش‌های کدینگ بود که استفاده می‌کرد.

---

<sup>1</sup> Enhanced Data rates for GSM Evolution

### ۳-۳-۱ شبکه‌های نسل سوم (3G)

نسل سوم شبکه موبایل با رویکردی مولتی‌مدیا برای انتقال صدا و اطلاعات استانداردسازی گردید. اولین کشوری که به‌صورت گسترده و تجاری از شبکه نسل سوم استفاده کرد کشور ژاپن بود که در سال ۱۹۹۸ توسط کمپانی NTT DoCoMo مطالعات اولیه آن اجرا گردید. در ماه می سال ۲۰۰۱ اولین آزمایش فناوری WCDMA توسط این کمپانی انجام گرفت و در نهایت در اول اکتبر سال ۲۰۰۱، NTT شبکه تجاری مبتنی بر نسل سوم تلفن همراه را راه‌اندازی کرد. در EDGE، جابجایی مقدار زیادی داده امکان‌پذیر بود، اما انتقال بسته‌ها بر روی سطح مشترک هوایی از طریق سوئیچینگ بسته‌ای انجام می‌گرفت؛ بنابراین برخی از این بسته‌ها در محیط سوئیچینگ از بین می‌رفت که باعث کاهش عملکرد سیستم می‌گردید. با این وجود، استانداردها برای توسعه شبکه‌ها در نقاط مختلف جهان متفاوت بود. از این جهت، تصمیم گرفته شد شبکه‌ای ایجاد کنیم تا سرویس‌هایی را مستقل از بستر فناوری آن فراهم آورد و طراحی استانداردهای این شبکه‌ها در تمام جهان یکسان باشند. از این رو این نقطه، تولد 3G بود. در اروپا<sup>۱</sup> UMTS نام‌گذاری گردید که از ETSI گرفته شده بود. IMT-2000 نامی بود که ITU-T برای نسل سوم برگزید، در حالی که CDM2000 نام آمریکایی 3G بود. WCDMA فناوری فصل مشترک هوایی برای UMTS است. عناصر اصلی آن شامل BS یا نودB، RNC و SGSN/GGSN هست. این بستر سرویس‌های مبتنی بر اینترنت بسیاری را هم چون تماس تصویری

<sup>۱</sup> Universal terrestrial mobile system

پیشنهاد می‌دهد.

حداکثر نرخ تبادل داده در 3G به 42Mbps رسید اگرچه ITU هیچ‌گاه به‌وضوح تعریفی از نرخ ارسال دیتا که کاربرانی می‌توانند از 3G انتظار داشته باشند را بیان نکرد. افزایش سریع نرخ داده در 3G نسبت به 2G به خاطر ظهور فناوری طیف گسترده و استفاده از کدهای CDMA برای دسترسی کاربران به شبکه بود. پهنای باند بالا در 3G باعث گردید کاربردهایی که قبلاً به‌وسیله کاربران تلفن همراه در دسترس نبود، پشتیبانی گردد. از جمله این کاربردها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)

- سرویس‌های مبتنی بر موقعیت جغرافیایی

- تلویزیون از طریق موبایل

- ویدئو کنفرانس و...

### ۱-۳-۴ شبکه‌های نسل چهارم (ALL IP)

دلیل اصلی برای انتقال به ALL-IP داشتن بستری یکسان برای تمام فناوری‌هایی است که تاکنون توسعه‌یافته و هماهنگ شدن با انتظارات کاربران از سرویس‌های بسیاری که تاکنون ایجاد گردیده است. تفاوت اصلی بین GSM/3G/ALL-IP عملکرد RNC و BSC است که هم‌اکنون به BTS و

مجموعه‌ای از سرورها و گیت وی ها توزیع شده است. این بدان معناست که شبکه ارزان تر و انتقال داده سریع تر خواهد بود. حداقل‌های لازم برای اطلاق نسل چهارم موبایل به یک خدمت موبایل عبارت‌اند از:

شبکه نسل چهارم باید کاملاً مبتنی بر پروتکل اینترنت (IP) باشد.

کاربر باید هنگام تحرک بالا (در ماشین و قطارهای تندرو) حداقل به اینترنتی با سرعت ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه دسترسی داشته باشد و هنگام تحرک پایین (هنگام پیاده‌روی و در منزل) به سرعت معادل یک گیگابیت بر ثانیه دسترسی داشته باشد.

نسل چهارم، یک راه‌حل جامع بر مبنای IP برای انتقال صدا، تصویر و داده استفاده می‌کند و بر پایه اصل «هر جا و هر زمان» داده‌ها را با سرعتی بسیار بالاتر از نسل‌های قبل در اختیار کاربر قرار می‌دهد. از لحاظ تکنیکی در نگاه ساده سرعت بارگذاری و بارگیری در LTE نسبت به نسل‌های قبل بسیار بالاتر است. البته جدای از نرخ داده بالا، تأخیر کمتر در ارسال بسته‌ها که منجر به کیفیت فوق‌العاده VoIP، ویدئو کنفرانس و سرویس‌های هم‌زمان می‌شود و همچنین از دید یک اپراتور پهنای باند با کانال‌های متغیر که در محدوده ۱٫۲۵-۲۰ MHz است. مهم‌ترین ویژگی برجسته LTE این است که تمامی زیرساخت آن بر اساس IP است، به عبارت بهتر بخش هسته شبکه کاملاً همگام با پروتکل‌های TCP/IP است و از سیگنالینگ معمولی که در شبکه‌های قدیمی‌تر به خصوص GSM استفاده می‌شد خبری نیست. نرخ انتقال داده در این فناوری ۳۲۶ مگابیت بر ثانیه

برای بارگیری و ۸۶ مگابیت در ثانیه برای بارگذاری در طیف فرکانسی ۲۰ مگاهرتز است که در این شرایط حدود ۴۰۰۰ کاربر به صورت همزمان در یک سلول می‌توانند فعال و درعین حال متحرک باشند. در شبکه نسل سوم پیشرفته یا HSPA تأخیر در حدود ۴۰ تا ۵۰ میلی‌ثانیه است که در LTE به حدود ۱۰۰ میلی‌ثانیه کاهش می‌یابد.

## ۴-۱ اجزای اصلی شبکه موبایل سلولی

به منظور بررسی و بهینه‌سازی شبکه موبایل، آشنایی با عناصر شبکه و نحوه ارتباط بین آنها ضروری است. پیکر بندی یک شبکه موبایل در بین نسل‌های مختلف تقریباً به یک شکل است و تنها در برخی نام‌گذاری‌ها و استانداردهای توسعه یافته با یکدیگر اختلاف دارد. به همین جهت در اینجا تنها به معرفی عناصر شبکه UMTS و توضیح مختصری در مورد وظایف آنها، بر حسب نیاز این پژوهش می‌پردازیم.

همان‌طور که در شکل (۲-۱) می‌توان دید، ساختار شبکه UMTS را می‌توان به سه بخش تقسیم

کرد [۴]:

هسته شبکه (CN)<sup>۱</sup>

شبکه دسترسی رادیویی (UTRAN)<sup>۲</sup>

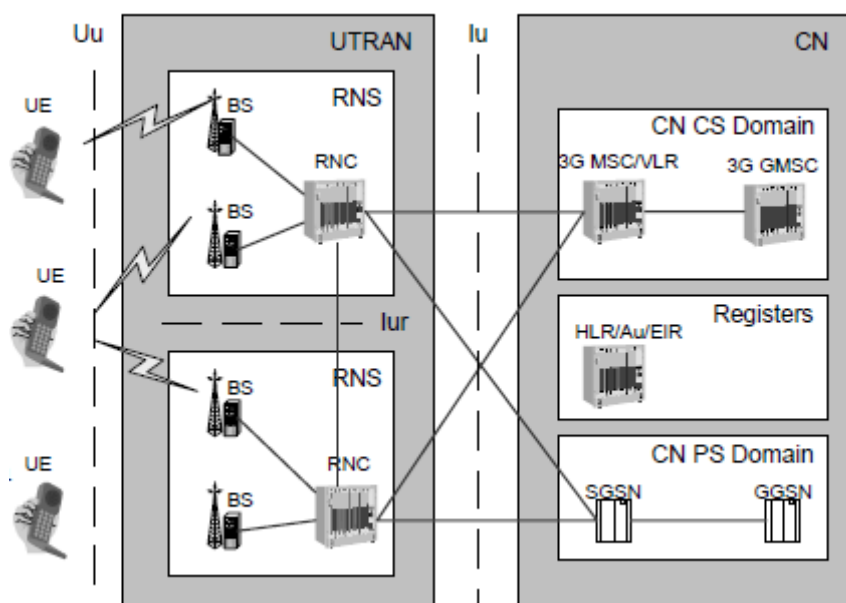
---

<sup>۱</sup> core network,

<sup>۲</sup> UMTS terrestrial radio access network

تجهیزات کاربران (UE)<sup>1</sup>

هسته شبکه شامل جزءهای فیزیکی است که پشتیبانی از ویژگی‌های شبکه و سرویس‌های مخابراتی را فراهم می‌کند. این پشتیبانی شامل کلیه فعالیت‌ها نظیر مدیریت اطلاعات موقعیت کاربر، کنترل سرویس‌ها و ویژگی‌های شبکه، مکانیسم‌های انتقال (سوئیچینگ و ارسال) برای سیگنالینگ و اطلاعات تولیدشده به وسیله کاربران است.



شکل (۱-۲) توپولوژی شبکه UMTS [۴]

هسته شبکه هم‌چنین برقراری ارتباطات بین شبکه رادیویی و سایر شبکه‌ها (نظیر PLMN، اینترنت و هر شبکه خارجی دیگری) را نیز مدیریت می‌کند. شبکه‌های داخلی به دو گروه تقسیم می‌گردد:

<sup>1</sup> user equipment.

شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ مداری، برای برقراری ارتباطات سوئیچینگ مداری در شبکه و همچنین شبکه‌های مبتنی بر سوئیچینگ بسته‌ای برای برقراری ارتباطات این نوع شبکه‌ها. شبکه دیجیتال سرویس‌های مجتمع شده (ISDN<sup>1</sup>) و شبکه سوئیچینگ تلفنی عمومی (PLMN<sup>2</sup>) نمونه‌هایی از شبکه‌های سوئیچ مداری و اینترنت نیز مثالی از شبکه مبتنی بر سوئیچ بسته‌ای هست.

در شبکه UMTS تجهیزات کاربر (UE<sup>3</sup>)، تجهیزاتی است که به منظور دسترسی کاربر به سرویس‌های شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد. UE شامل تجهیزات موبایل (ME<sup>4</sup>) و ماژول شناسایی مشترک (SIM<sup>5</sup>) می‌باشد. از طرف دیگر ME نیز می‌تواند به بخش‌های جزئی‌تری تقسیم گردد. یک بخش از آن وظیفه برقراری ارتباطات رادیویی و فعالیت‌های مرتبط با آن را بر عهده دارد که اصطلاحاً به آن پایانه موبایل<sup>6</sup> اطلاق می‌گردد. بخش دیگر نیز شامل کاربردهای انتها-به-انتها می‌باشد که تجهیزات انتهایی نامیده می‌شود.

بخشی از شبکه که بین UE و CN قرار گرفته است، عموماً به آن شبکه دسترسی رادیویی گفته می‌شود. این بخش وظیفه پیاده‌سازی یک فناوری دسترسی رادیویی خاص را بر عهده دارد. در شبکه UMTS این بخش شبکه به UTRAN معروف است [5] و فناوری‌های رادیویی WCDMA را پیاده‌سازی می‌کند.

---

<sup>1</sup> Integrated Services Digital Network

<sup>2</sup> Public Land Mobile Network

<sup>3</sup> User Equipment

<sup>4</sup> Mobile Equipment

<sup>5</sup> Subscriber Identity Module

<sup>6</sup> Mobile Termination



UE از طریق اینترفیس Uu به UTRAN متصل می‌گردد. همچنین CN نیز به UTRAN از طریق اینترفیس Iu متصل شده است. اینترفیس Iu شامل دو بخش مجزا است. بخش مبتنی بر سوئیچینگ مداري و بخش مبتنی بر سوئیچینگ بسته‌ای. هر کدام از این بخش‌ها از طریق حوزه هسته شبکه مربوطه (مبتنی بر سوئیچ مداري یا بسته‌ای) ارتباطات مربوط به خود را به UTRAN وصل می‌کند.

UTRAN به چندین زیرسیستم تقسیم می‌گردد که هر کدام از آن‌ها را یک زیرسیستم شبکه رادیویی (RNS<sup>1</sup>) می‌نامیم. یک RNS شامل عناصر رادیویی و کنترل‌کننده آن‌ها هست. این عناصر رادیو، به صورت مستقل به ایستگاه‌های پایه رادیویی (RBS<sup>2</sup>) متصل می‌گردند. یک نام‌گذاری متداول برای UMTS RBS نام‌گذاری به نام Node B هست. هر RNC به وسیله تعدادی RBS از طریق اینترفیس Iub با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. با این وجود، RNC ها از طریق اینترفیس Iur دارای ارتباط با یکدیگر هستند.

از نقطه نظر شبکه رادیویی و عناصر کنترل‌کننده آن، هر RBS شامل چندین جزء هست که هر کدام یک سلول نامیده می‌شود. یک سلول کوچک‌ترین جزء یک شبکه رادیویی است که شماره شناسه منحصر به فرد خود (CELL ID) را دارد که به صورت عمومی برای UE ها قابل تشخیص است. همچنین هر سلول یک کد درهم‌ساز<sup>3</sup> دارد و UE با استفاده از دو مقدار قادر به شناسایی سلول هست. برای

<sup>1</sup> Radio Network Subsystems

<sup>2</sup> Radio Base Stations

<sup>3</sup> Scrambling Code

متصل شدن به یک سلول کد درهم‌ساز آن سلول موردنیاز است، همچنین CELL ID نیز برای شناسایی توپولوژی شبکه رادیویی موردنیاز UE هستند. یک سلول همچنین ممکن است که یک یا چند فرستنده-گیرنده (TRX) داشته باشد که ما هرکدام از آن‌ها را یک حامل می‌نامیم.

در شبکه UMTS، سیستم ساختاری سلسله‌مراتبی و چندلایه دارد و ساختار سلول نیز شامل یکی از انواع pico، micro و macro است. در سلول‌های pico، حجم جابجایی کاربران بسیار کم است، همچنین pico نرخ بیت و چگالی ترافیکی بالاتری را در کنار پیچیدگی کمتر پشتیبانی می‌کند. در سلول‌های macro نیز تنها می‌توان از نرخ بیت و بار ترافیکی پایین پشتیبانی کرد. به این خاطر که جابجایی کاربران و تأخیر انتشار بزرگ‌تر است. به‌منظور جداسازی لایه‌های سلول با نواحی پوشش دهی یکسان، از فرکانس‌های حامل مختلفی استفاده می‌شود.

## ۵-۱ سه پارامتر مهم در اندازه‌گیری CPICH

یک پایانه موبایل سه اندازه‌گیری خیلی مهم را بر روی سیگنال CPICH انجام می‌دهد [۵].

### ۱-۵-۱ توان کد سیگنال دریافتی (RSCP)

RSCP برای ارزیابی عملیات دست‌به‌دست شدن بین سلول‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این

---

<sup>1</sup> Received Signal Code Power

پارامتر در کنترل توان حلقه باز در هر دو مسیر فراسو<sup>۱</sup> و فروسو<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر این پارامتر در واقع توان ارسالی ایستگاه پایه را بر روی کانال CPICH مشخص می‌کند که از روی آن می‌توان افت مسیر بین فرستنده و گیرنده را تخمین زد.

$$E_c / I_o \quad ۲-۵-۱$$

$E_c / I_o$  برابر با نسبت انرژی دریافتی در هر چیپ CPICH، به مجموع چگالی طیف توان دریافتی در آنتن پایانه موبایل است. توجه داشته باشید که، توان نویز شامل تمام توان های طبیعی و تمام منابع ایجاد کننده تداخل است. به همین جهت  $E_c / I_o$  به عنوان یک آشکار کننده تداخل شناخته می‌شود. این نسبت همچنین به عنوان نسبت حامل به تداخل (CIR<sup>۳</sup>) نیز معروف است.

### ۳-۵-۱ شاخص قدرت سیگنال دریافتی (RSSI<sup>۴</sup>)

RSSI نشان دهنده تمام انرژی دریافتی کاربر در هر موقعیت مکانی است. از همین رو

$$RSSI = P_{r(dBm)} \text{ می باشد.}$$

رابطه بین این سه شاخص کیفیت شبکه به صورت زیر تعریف می‌گردد [۶، ۷]:

$$E_c / I_{o(dB)} = RSCP_{dB} + RSSI_{dB} \quad (۱-۱)$$

<sup>۱</sup> Uplink

<sup>۲</sup> Downlink

<sup>۳</sup> Carrier to Interference Ratio

<sup>۴</sup> Received Signal Strength Indicator

به صورت تجربی در شبکه می بایست  $E_c / I_o \geq -12_{dB}$  و  $RSCP \geq -105_{dB}$  باشد. مقادیر  $E_c / I_o \leq -12_{dB}$  می تواند به دلایلی نظیر سیگنال های قوی تری که چند BS به UE های نزدیک کاربر ارسال می کنند، یا زیاد بودن تداخل سیگنال بر روی توان ارسالی تلفن همراه کاربر و یا تداخلی که بر اثر چندمسیره ای موجب تضعیف سیگنال های ارسالی BS می شود، ناشی شود.

## ۱-۶ چالش های طراحی و بهینه سازی شبکه

همزمان با پیشرفت فناوری های ارتباطات بی سیم و افزایش کاربران شبکه های رادیویی، چالش های جدیدی در زمینه طراحی شبکه رادیویی ظهور کرد. برای غلبه بر این چالش ها، ما نیاز داریم مشکلات موجود را شناسایی کرده و با فرمول بندی ریاضی مسئله یک جواب معقول برای آن پیدا نماییم. چند نمونه از ویژگی های کلیدی یک شبکه WCDMA در ادامه بیان شده است.

### ۱-۶-۱ کنترل توان

کنترل توان پایلوت یک مسئله مهندسی مهم و اساسی است. تنظیم توان CPICH به ما اجازه کنترل اندازه سلول، تعداد کاربران متصل به شبکه و تعادل ترافیک رابین سلول های همسایه می دهد. هدف از کنترل توان پایلوت اطمینان از این است که تمام بخش های رادیویی ایستگاه پایه از حداقل توان ممکن برای تضمین کردن پوشش دهی مورد نیاز و کیفیت سرویس مطلوب در کل شبکه استفاده

می‌کنند.

ارتباطات بین UE و BS باید به دقت کنترل شود، یعنی اینکه هر UE در هر نقطه از یک سلول باید توانی متفاوت با UE دیگر که در فواصل متفاوت نسبت به BS قرار دارد دریافت کند. اگر کنترل توان در شبکه مورد استفاده قرار نگیرد، پدیده دور و نزدیک<sup>۱</sup> اتفاق می‌افتد؛ یعنی موبایل‌های نزدیک‌تر به BS توان بیشتری را نسبت به موبایل‌های دورتر دریافت می‌کنند. BS برحسب تغییرات محیط انتشار از یک سیستم کنترل توان سریع برای بالا بردن یا پایین آوردن سطح توان موبایل‌ها متصل به خود استفاده می‌کند. از این‌رو، در جهت فروسو توان ارسالی ارتباطات از سمت BS کنترل می‌شود تا سطح کلی تداخل سیستم به منظور اطمینان از دریافت خوب سیگنال توسط UE کنترل شود.

## ۱-۶-۲ انتخاب سلول

در فرایند انتخاب یک سلول، پایانه موبایل بر مبنای اندازه‌گیری مقدار  $E_c / I_o$  سیگنال‌های پایلوت دریافتی از سلول‌های مختلف، بهترین سلول ممکن را پیدا می‌کند. در این فرایند، پایانه موبایل همچنین از مفهومی به نام کدهای درهم‌ساز نیز استفاده می‌نماید. زمانی که یک کاربر در حال جابجایی در داخل شبکه است، در صورتی که از منطقه تحت پوشش دهی یک سلول خارج شود، نباید ارتباط او با شبکه قطع گردد. به همین خاطر، پایانه موبایل با جست‌وجوی پیوسته سیگنال‌های پایلوت

<sup>۱</sup> Near-Far problem

دریافتی، در جابه‌جایی از یک سلول به سلول دیگر، بدون قطع شدن مکالمه سیگنال‌های کاربر را از طریق BS جدید حمل می‌کند. فرایند انتخاب مجدد سلول به‌وسیله نگه‌داشتن مداوم یک پایانه موبایل بر روی یک سلول باکیفیت به‌اندازه خوب، کیفیت سرویس موردنظر را تضمین می‌کند.

## ۷-۱ پارامترهای مؤثر در پیکربندی ایستگاه پایه رادیویی

مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در پیکربندی ایستگاه پایه رادیویی به شرح زیر می‌باشد:

### ۱-۷-۱ توان ارسالی CPICH

در شبکه WCDMA، سلول حضور خود را از طریق کانال پایلوت مشترک به اطلاع همه کاربران در محدوده پوشش دهی می‌رساند. CPICH یک کانال فیزیکی در جهت فروسو است که با نرخ بیت ثابت دنباله‌هایی از سمبل/بیت از پیش تعریف‌شده را در کانال منتقل می‌کند [۸]. سیگنال CPICH که از آن به‌عنوان سیگنال پایلوت نیز یاد می‌شود، به پایانه موبایل در تخمین کیفیت کانال، انتخاب یا انتخاب مجدد سلول و مدیریت منابع رادیویی کمک می‌کند. فراهم آوردن نیازمندی‌های پوشش دهی سرویس با استفاده از یک حداقل توان پایلوت موردنیاز، جزئیات فنی بیشتری درباره مسئله مربوطه به وجود خواهد آورد که در بخش‌های آینده در مورد آن بحث می‌کنیم.

## ۱-۷-۲ ارتفاع آنتن

انتخاب ارتفاع آنتن منحصرأ بر اساس محیط طراحی انتخاب می‌گردد [۹]. در محیط‌های طراحی microcellular ارتفاع آنتن باید کمتر از میانگین ارتفاع سطح پشت‌بام‌ها باشد. در شبکه‌های macrocellular شهری ارتفاع آنتن از میانگین ارتفاع سطح پشت‌بام‌ها پیروی می‌کند. همچنین در مناطق حومه شهر، زمانی انتشار امواج به خوبی انجام می‌گیرد که ارتفاع آنتن بالای میانگین سطح پشت‌بام‌ها باشد. از نقطه نظر بهینه‌سازی شبکه نیز انتخاب ارتفاع مناسب برای آنتن تأثیر مستقیمی بر موقعیت آنتن‌ها، تعداد سایت‌ها و به طبع آن ظرفیت و پوشش دهی یک ناحیه دارد. در نواحی روستایی، به دلیل اینکه شبکه ترافیک کمتری دارد، مرسوم است که ارتفاع آنتن‌ها را بلندتر در نظر می‌گیرند. در این نوع نواحی پوشش دهی از ظرفیت مهم تر است. برعکس در نواحی شهری بیشتر به محدودیت پوشش دهی توجه می‌شود و به همین خاطر معمولاً آنتن‌ها در ارتفاع کمتری نسبت به حالت قبل قرار می‌گیرند [۵].

## ۱-۷-۳ تیلت<sup>۱</sup> آنتن

تیلت آنتن زاویه بین بیم اصلی تشعشعی از آنتن و خط افق در صفحه عمودی است. هدف اولیه از تیلت دهی به آنتن، کاهش تداخل بین سلولی است. کاهش تداخل منجر به افزایش ظرفیت سلول و

<sup>۱</sup> Tilt

بهبود عملکرد کل شبکه می‌گردد. با این وجود اگر فرایند تیلت دهی به سمت پایین آنتن را بیش از حد انجام دهیم، منجر به خطر افتادن پوشش دهی مؤثر سلول می‌گردد. دو نوع مختلف برای تیلت دهی به آنتن وجود دارد: تیلت الکتریکی و تیلت مکانیکی. هر کدام از این دو روش اثرات متفاوتی را بر روی انتشار امواج دارد و به صورت مختلفی تداخل کلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۰].

تأثیر انتشار امواج رادیویی یک آنتن در جهت‌های مختلف را می‌توان از نمودارهای الگوی تابشی افقی و عمودی آن که معمولاً به وسیله شرکت‌های سازنده آنتن منتشر می‌شود، به دست آورد. مثالی از این نمودارهای الگوی تابشی افقی و عمودی برای مسیر انتشار امواج آنتن در شکل (۱-۳) نمایش داده شده است.

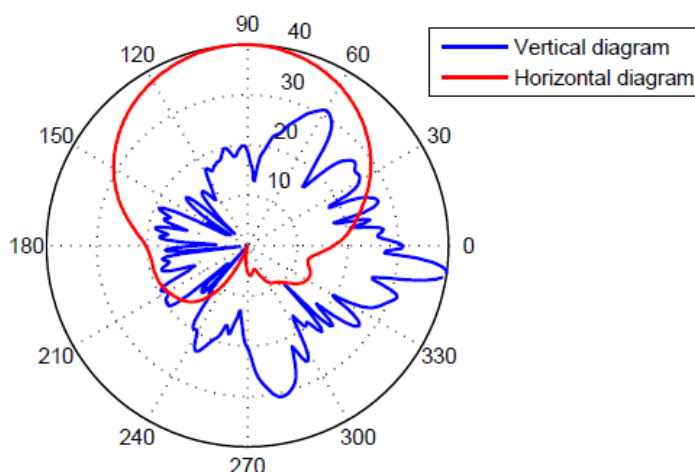
### ۱-۷-۴ جهت آنتن

سمت آنتن، زاویه افقی بین شمال جغرافیایی و جهت لوب اصلی آنتن را مشخص می‌کند. سمت آنتن پارامتر پیکربندی دیگری است که تأثیر زیادی بر پوشش دهی سلول دارد. گاهی، تنظیم سمت آنتن قادر است بدون کاهش پوشش دهی سلول، به طور مؤثری همپوشانی بین سلول‌ها را کاهش دهد [۱۱].

---

<sup>1</sup> Azimuth





شکل (۱-۳) نمونه از یک الگوی تابشی افقی و عمودی انتشار

## ۸-۱ مروری بر کارهای انجام شده در گذشته

بهینه‌سازی شبکه به وسیله اپراتورها انجام می‌گیرد تا از بازگشت سرمایه‌گذاری خود مطمئن شده و از طرف دیگر سطح کیفیت سرویس‌های رسیده به مشتری را در حد قابل قبولی نگاه‌دارند. از همین رو بهینه‌سازی توان در شبکه‌های سلولی، زمینه تحقیقاتی بسیار زیادی هم در بعد دانشگاهی و هم صنعت داشته است.

در صنعت، اغلب بهینه‌سازی های شبکه تلفن همراه به صورت تجربی و بر اساس آزمون و خطا انجام می‌گیرد، به همین دلیل مقالات زیادی نیز بر این مبنا منتشر شده است [۵-۷، ۱۲]. در این مقالات با استفاده از ابزار های مخابراتی رایج نظیر Actix، Nemo، Atool و Tems، با ایجاد تغییرات بر روی پارامترهای کلیدی شبکه، به طور مداوم کیفیت شبکه را می‌سنجند و راهکارهای خود برای بهبود کارایی شبکه را ارائه می‌دهند. براساس هدف بهینه‌سازی، می‌توان از پارامترهایی نظیر

RSCP،  $E_c / I_o$ ، نرخ تماس های موفق، نرخ میانگین سرویس HSPA موفق و ... در سنجش

کیفیت شبکه استفاده کرد. به طور مثال در [۵] نویسنده اثرات بهینه سازی شبکه با هدف بهینه کردن HSPA را مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش بر اساس یک شبیه سازی منت کارلو با تغییر پارامترهایی نظیر ارتفاع، تیلت و توان پایلوت در یک محیط روستایی تابع هدف بررسی گردیده و در انتها نویسنده بهترین تکنیک برای بهینه سازی یک شبکه فعال در منطقه روستایی را تغییر توان پایلوت معرفی کرده است.

در [۱۳] نویسندگان الگوریتم و مدلی را برای بهینه سازی توان پایلوت با در نظر گرفتن تغییرات تراکم بار ترافیکی برای متعادل سازی شبکه پیشنهاد کرده اند. آن ها با ارائه مدلی بر روی شبکه های WCDMA، الگوریتمی را برای پوشش دهی کامل شبکه تحت سرویس پیشنهاد داده اند. در این طرح، با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گرادیان نزولی، توان پایلوت سلول ها بر اساس مقادیر متفاوت درجه پوشش دهی و تراکم بار ترافیکی در نقاط مختلف شبکه، تا حد امکان مینیمم گردد.

در [۱۴] یک راه حل عملی برای مسئله بهینه سازی توان ارائه شده که هدف آن بررسی شبکه های با پیچیدگی بالا است. این پژوهش در پی ارائه الگوریتمی مبتنی بر بهینه سازی خودکار برای تنظیم سطوح توان است. از آنجایی که فناوری های شبکه سلولی روز به روز در حال پیشرفت است، پارامترهای مختلف و بیشتری برای بهینه سازی شبکه درگیر می شوند که این امر منجر به بالا رفتن پیچیدگی روش های بهینه سازی می گردد. از طریق یک الگوریتم خودکار می توان با چالش های این پیچیدگی

روبرو گردید و بهترین و مؤثرترین پارامتر ممکن در تنظیم شبکه را انتخاب کرد. یکی از ایده‌های بدیع این پژوهش استفاده از بهینه‌سازی لحظه‌ای و خودکار به‌وسیله سیستم است که می‌تواند بار ترافیکی را به‌طور لحظه‌ای مانیتور کرده و نسبت به تغییرات آن واکنش نشان دهد. به‌طور مثال در برخی مناطق ممکن است بار ترافیکی یک سلول در ساعاتی از شبانه‌روز به وضعیت بحرانی برسد ولی این ترافیک شرایط ایجاد یک سلول جدید برای این منطقه را ایجاد نمی‌کند. در این روش می‌توان در ساعات پرتراфик از سلول‌های همسایه برای تعادل بار ترافیکی آن نقاط کمک گرفت و در زمان برگشت به حالت عادی دوباره تنظیمات سطوح توان پایلوت شبکه را تغییر داد.

در [۸]، Laiho چندین استراتژی برای تخصیص توان پایلوت به سلول‌های مختلف معرفی کرده است. وی ابتدا استراتژی توان پایلوت یکنواخت را مورد بررسی قرار داده است، به این صورت که تمام سلول‌ها از توان پایلوت یکسانی استفاده می‌کنند. سپس در ادامه به بررسی روش تخصیص توان دستی پرداخته است. در این روش او توان پایلوت هر سلول را به‌صورت دستی انتخاب نموده است و فرض کرده که این مقادیر برای سلول‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. استراتژی مورد تحقیق بعدی وی، توان پایلوت ماکزیمم برای سلول با کمترین بار ترافیکی نام دارد. این دستاورد بر مبنای مقیاس‌پذیری سطوح مختلف توان پایلوت عمل می‌کند، به این صورت که ماکزیمم توان پایلوت را به سلولی که بیشترین بار ترافیکی را دارد اختصاص داده و بقیه سلول‌ها را به نسبت این سلول تخصیص می‌دهد.

مسئله مینیمم کردن توان پایلوت یکنواخت برای سلول‌های macro توسط Eisenblatter در [۱۵]

بررسی گردیده است. در این پژوهش مسئله بهینه‌سازی توان پایلوت به‌وسیله یک مسئله MIP فرمول‌بندی گردیده است. در راه‌حل این مسئله بهینه‌سازی از پارامترهای گوناگونی نظیر موقعیت مکانی سایت‌ها، پیکربندی BS، تخصیص کاربران و تخصیص توان ارسالی در جهت فرسو و فراسو برای کانال‌های ترافیکی استفاده شده است.

در حالی که این مطالعات، پایه خوبی را برای پژوهش ما فراهم آورده است، ما در این تحقیق بر روی جست‌وجوی دستاوردهای ریاضی بهینه‌سازی توان تمرکز کرده ایم که با درجه پیچیدگی نسبتاً خوبی، جوابی نزدیک به بهینه را برای ما به ارمغان می‌آورد.

## ۹-۱ ساختار پایان نامه

در فصل دوم به ابتدا معرفی کانال‌های مخابراتی می‌پردازیم و همچنین توضیح مختصری در مورد انواع کانال‌های موجود در شبکه‌های WCDMA بیان می‌کنیم. یکی از این کانال‌ها، کانال کنترلی CPICH نام‌دارد که در تعیین ناحیه پوشش دهی یک سلول تأثیرگذار است. در ادامه بیشتر تمرکز ما بر روی این کانال و مدل کردن انتشار امواج در محیط اختصاص دارد. در فصل سوم به تشریح سیستم مدل مسئله می‌پردازیم و سپس با استفاده از روابط موجود در انتشار امواج و فرضیات مسئله، یک مدل ریاضی برای مینیمم کردن مصرف توان در شبکه ایجاد می‌کنیم.

در این پایان نامه، دو استراتژی تخصیص توان پایلوت مورد بررسی قرار گرفته است. در روش اول ابتدا

فرض می‌کنیم که تمام سلول‌ها از توان پایلوت یکسانی استفاده می‌کنند، این روش که به آن توان پایلوت یکنواخت اطلاق می‌گردد در بخش ۳-۳ ارائه شده و به صورت ریاضی فرمول‌بندی می‌گردد. در ادامه یک مدل سرراست ریاضی بر مساله بهینه‌سازی توان پایلوت پیشنهاد می‌گردد که در بخش ۳-۴ آمده است. ما در بخش ۳-۵ استراتژی‌های بخش ۳-۴ را تحت شرایط پوشش دهی جزئی به‌طور مستقل بررسی کرده و در نهایت یک مدل ریاضی بهبود یافته و جامع برای مساله بهینه‌سازی توان پایلوت تحت سطوح مختلف پوشش دهی بیان می‌کنیم.

نهایتاً در فصل چهارم، به‌منظور ارزیابی روش‌های مطرح‌شده در فصل سه، از یک سناریوی واقعی استفاده کرده ایم. مشخصات این شبکه تست در بخش ۴-۲ بیان گردیده است. ما نتایج عددی به‌دست‌آمده از هر روش را با یکدیگر مقایسه کرده ایم که به صورت جداولی در بخش ۴-۳ نمایش داده شده است. در انتها نیز جمع‌بندی پژوهش پیش‌رو و کارهای آتی که می‌توان در ادامه این تحقیق به آن پرداخت را مطرح می‌کنیم.



## فصل ۲

# مدیریت توان پایلوت در شبکه‌های WCDMA

## ۱-۲ مقدمه

کانال مخابراتی، به محیطی گفته می‌شود که از آن برای انتقال اطلاعات از یک فرستنده به یک گیرنده استفاده می‌شود. در ارتباطات راه دور و شبکه‌های رایانه‌ای، یک کانال ارتباطی به یک رسانه انتقال فیزیکی (همانند سیم)، یا یک ارتباط منطقی به وسیله یک رسانه (رابط) مشترک (برای مثال یک کانال رادیویی)، اشاره دارد. در مخابرات منظور از یک لینک، یک کانال ارتباطی است که دو یا چند وسیله ارتباطی را به یکدیگر متصل می‌کند. این لینک ممکن است یک لینک فیزیکی واقعی باشد یا یک لینک منطقی باشد که از یک یا چند لینک فیزیکی واقعی استفاده می‌کند [۸].

در نسل‌های مختلف تلفن همراه، انواع مختلفی از کانال‌های ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده این کانال‌ها، در نسل‌های مختلف وظایف یکسانی بر عهده دارند و شاید تنها در نام‌گذاری و استانداردهای آن با یکدیگر تفاوت دارند. پژوهش اصلی در این مطالعه بر روی کانال CPICH در شبکه‌های WCDMA انجام خواهد گرفت. CPICH یک کانال مرجع برای تخمین کیفیت و قدرت سیگنال دریافتی از ایستگاه پایه است. از این کانال به منظور تعیین ناحیه پوشش دهی یک سلول استفاده می‌گردد.

به منظور درک بهتری از یک کانال بی‌سیم، تعریف مشخصه‌های کانال بی‌سیم همراه ضروری است. کانال رادیویی بی‌سیم برای برقراری ارتباطات قابل اعتماد بر روی یک واسطه، چالش‌های بسیاری



را تجربه می‌کند چراکه کانال در طی زمان تغییر می‌کند. در ادامه ما این تغییرات در سطح توان دریافتی سیگنال را تحت اثراتی همچون افت مسیر، اثر سایه و... دسته‌بندی و بررسی می‌نماییم.

## ۲-۲ انواع لینک‌های مخابراتی

### ۱-۲-۲ نقطه‌به‌نقطه<sup>۱</sup>

یک لینک نقطه‌به‌نقطه، یک لینک تخصیص‌یافته به دو نود است که دقیقاً همان دو نود را با یکدیگر متصل می‌سازد. به این معنی که ارسال و دریافت داده در دو نود مستقیماً انجام می‌گیرد و هیچ نود واسطی در آن نقش ندارد.

### ۲-۲-۲ همه پخش<sup>۲</sup>

لینک همه پخشی، لینکی است که در آن یک نود اطلاعات را برای تمام نودهای دیگر بدون نیاز به دانستن اینکه آیا اطلاعات به گیرنده می‌رسد یا نه روی کانال ارسال می‌کند. در همه پخشی، سناریوهای مختلفی وجود دارد، ممکن است هدف فرستنده تمام نودها باشند یا اطلاعات فقط به نود خاصی ارسال گردد. همچنین واضح است که در این مورد امنیت شبکه به شدت کاهش می‌یابد، چراکه تمام نودها قادر به دریافت اطلاعات فرستنده هستند.

---

<sup>۱</sup> Point-to-point

<sup>۲</sup> Broadcast

## ۳-۲-۲ چندنقطه‌ای<sup>۱</sup>

اگر دو یا چند لینک با دو یا چند لینک در حال تبادل اطلاعات باشند، اصطلاحاً به آن لینک چندنقطه‌ای می‌گویند. برخلاف لینک‌های همه پخش، هیچ مکانیسمی برای ارسال مؤثر داده در ارسال یک پیام به نودهای دیگر بدون ارسال مجدد پیام وجود ندارد.

## ۴-۲-۲ نقطه به چند نقطه<sup>۲</sup>

این نوع لینک، نوع خاصی از لینک‌های چندنقطه‌ای هستند که در آن فقط یک نود به چند نود دیگر ارسال داده دارد.

## ۳-۲ انواع کانال‌های WCDMA

کانال‌های WCDMA ابزاری برای تعیین و توصیف ارتباطات متنوع سرویس‌های مربوط به داده خاصی است. پشته پروتکل WCDMA بر اساس مدل مرجع OSI توصیف می‌گردد. در این نوع شبکه‌ها سه لایه زیرین مدل OSI بیشترین اهمیت را دارد [۴، ۱۶].

### ۱- لایه فیزیکی

این لایه وظیفه انتقال داده بر روی مسیر فیزیکی که در اینجا لینک رادیویی است را بر عهده خواهد داشت. در شبکه‌های WCDMA مهم‌ترین وظایف این لایه عبارت‌اند از:

---

<sup>۱</sup> Multipoint-to-Multipoint

<sup>۲</sup> Point-to-Multipoint

- تصحیح خطای روبه‌جلو (FEC)<sup>1</sup>
- جایگذاری بیت‌ها
- مالتی پلکسینگ کانال انتقال
- اندازه‌گیری کیفیت کانال
- همزمان سازی
- گسترده سازی، درهم‌سازی و مدولاسیون داده

۲-لایه پیوند داده

طبق استاندارد 3GPP این لایه به دو بخش کنترل لینک رادیویی (RLC)<sup>2</sup> و کنترل دسترسی به رسانه (MAC)<sup>3</sup> تقسیم می‌گردد. از جمله وظایف این لایه در شبکه WCDMA می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نگاشت کانال‌های منطقی بر روی کانال‌های انتقال
- انتخاب فرمت انتقال بر مبنای نیازهای جاری
- رمزنگاری داده
- پشتیبانی از خطا به‌عنوان تابعی از کیفیت سرویس مطلوب

---

<sup>1</sup>Forward error correction

<sup>2</sup>Radio Link Control

<sup>3</sup>Medium Access Control(MAC)

- تصدیق ارسال صحیح داده و درخواست ارسال مجدد در صورت بروز خطا

۳-لایه شبکه

لایه شبکه که در WCDMA به آن لایه کنترل منابع رادیویی (RRC)<sup>1</sup> نیز گفته می‌شود، وظایف

زیر را بر عهده دارد:

- همه پخشی اطلاعات سیستم

- اجرای یک ارتباط RRC

- مدیریت ارتباطات رادیویی

- انتخاب سلول در حالت بیکار

- جست‌وجو و ارزیابی اندازه‌گیری‌های لایه فیزیکی

در کانال‌های WCDMA انواع مختلفی از داده بین UE و BS ردوبدل می‌شود. به‌منظور تمایز قائل

شدن بین انواع مختلف داده، ما کانال‌های مختلفی را معرفی می‌کنیم. از این‌رو این کانال‌ها به سه

دسته کانال‌های منطقی، انتقال و فیزیکی تقسیم‌بندی می‌گردد [15].

## ۲-۳-۱ کانال‌های منطقی

کانال منطقی، روشی که داده جابه‌جا خواهد شد را تعریف می‌کند. این کانال‌ها برای ارتباطات بین

---

<sup>1</sup> Radio Resource Control

لایه ۳ (RRC) و لایه ۲ (RLC/MAC) استفاده می‌شود. بسته به اینکه چه نوع اطلاعاتی بر روی این کانال‌ها جابجا می‌شود، به دودسته کانال‌های ترافیکی و کنترلی تقسیم می‌گردد. جدول (۱-۲) تمامی کانال‌های منطقی در شبکه WCDMA را به همراه توضیح مختصری از وظایف آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۲) انواع کانال‌های منطقی در شبکه مخابراتی WCDMA

<b>Logical Channels</b>	<b>Control Channels</b>	<b>BCCH</b>	For broadcasting system control information
		<b>PCCH</b>	Transfers paging information. Used when the network does not know the location cell of the UE or the UE is in sleep mode.
		<b>DCCH</b>	A point-to-point dedicated channel for transmitting dedicated control information between a UE and the network.
		<b>CCCH</b>	Supports common procedures required to establish a dedicated link with the network.
	<b>Traffic Channels</b>	<b>DTCH</b>	A point-to-point channel dedicated to one UE for the transfer of user information.
		<b>CTCH</b>	A point-to-multipoint unidirectional channel for transfer of dedicated user information for all or a group of specified UEs

## ۲-۳-۲ کانال‌های انتقال

کانال‌های انتقال مشخص‌کننده چگونگی انتقال داده بر روی اینترفیس هوا هستند. عمده وظایف این کانال عبارت‌اند از:

- سازمان‌دهی و بسته‌بندی کردن داده‌ها برای گرفتن سرویس‌های مختلف از لایه بالایی.
- باز کردن بسته‌بندی داده‌های ورودی و مرتب کردن آن‌ها برای تحویل به لایه پایینی.

- مشخص کردن سرعت ارسال داده و کد کردن کانال برای استفاده مؤثر از منابع رادیویی.

## ۳-۳-۲ کانال‌های فیزیکی

کانال‌های فیزیکی وظیفه انتقال داده اصلی را بر روی رسانه فیزیکی بر عهده‌دارند. این کانال مشخصات اصلی سیگنال را دربر دارد. جدول (۲-۲) انواع کانال‌های انتقال و فیزیکی در شبکه‌های WCDMA را همراه با جهت فراسو یا فروسو بودن آن، نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین این کانال‌ها که ایده اصلی پژوهش ما بر اساس آن انجام می‌گیرد، کانال CPICH نام دارد که در زیرمجموعه کانال‌های فیزیکی و در بخش کانال‌های سیگنالینگ آن را مشاهده می‌کنید. در ادامه به‌طور مفصل در مورد این کانال توضیحاتی ارائه خواهد شد.

## ۴-۲ سلول رادیویی و انتشار امواج

پوشش دهی در یک سلول به ناحیه تحت پوشش سیگنال پایلوت وابسته است. از طرفی فاصله‌ای که سیگنال می‌تواند بپیماید نیز به مشخصات انتشار امواج رادیویی در ناحیه مربوطه وابسته است. انتشار رادیویی از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر تغییر می‌کند و باید پیش‌بینی‌هایی که از قبل برای پوشش دهی و ظرفیت انجام می‌گیرد، با دقت مورد مطالعه قرار گیرد. از طراح شبکه رادیویی انتظار می‌رود که شبکه‌ای را طراحی کند که ۱۰۰٪ پوشش دهی داشته باشد. برآورد کردن این انتظار معمولاً غیرممکن است؛ بنابراین یک طراح می‌بایست تمرکز خود را بر روی نقاطی قرار دهد که بیشترین ترافیک شبکه

در آنجا وجود دارد.

جدول (۲-۲) انواع کانال‌های انتقال و فیزیکی در کانال مخابراتی WCDMA

<b>Transport Channels</b>	Dedicated Transport Channel <b>DCH</b> (UL/DL)
	Random Access Channel <b>RACH</b> (UL)
	Uplink Common Packet Channel <b>CPCH</b> (UL)
	Broadcast Channel <b>BCH</b> (DL)
	Forward Access Channel <b>FACH</b> (DL)
	Paging Channel <b>PCH</b> (DL)
	Downlink Shared Channel <b>DSCH</b> (DL)
<b>Physical Channels</b>	Primary Common Control Physical Channel <b>PCCPCH</b> (DL)
	Secondary Common Control Physical Channel <b>SCCPCH</b> (DL)
	Physical Random Access Channel <b>PRACH</b> (UL)
	Dedicated Physical Data Channel <b>DPDCH</b> (UL/DL)
	Dedicated Physical Control Channel <b>DPCCH</b> (UL/DL)
	Physical Downlink Shared Channel <b>PDSCH</b> (DL)
	Physical Common Packet Channel <b>PCPCH</b> (UL/DL)
	Synchronisation Channel <b>SCH</b> (UL/DL)
	Common Pilot Channel <b>CPICH</b> (DL)
	Acquisition Indicator Channel <b>AICH</b> (UL/DL)
	Paging Indication Channel <b>PICH</b> (UL/DL)
	CPCH Status Indication Channel <b>CSICH</b> (UL/DL)
	Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel <b>CD/CA-ICH</b> (UL/DL)

## ۲-۴-۲ اثرات انتشار امواج

سیگنالی که از آنتن فرستنده ارسال و توسط آنتن گیرنده دریافت می‌گردد مسیر کوتاه و پیچیده‌ای را می‌پیماید. این سیگنال تحت تأثیر ساختمان‌های ایجادشده به دست انسان و اراضی طبیعی مختلف قرار می‌گیرد که قدرت سیگنال دریافتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

هر سیگنال در طی مسیر از فرستنده به گیرنده در فضای آزاد دچار تضعیف خواهد شد. مقدار توان دریافتی در هر نقطه از فضا با مسافت پیموده شده توسط سیگنال، نسبت معکوس دارد. کانال رادیویی بی‌سیم برای برقراری ارتباطات قابل‌اعتماد بر روی یک واسط چالش‌های بسیاری را تجربه می‌کند. این کانال نه تنها مستعد پذیرش نویز و تداخل از سایر کانال‌ها است، بلکه از طرف دیگر پدیده‌هایی غیرقابل‌پیش‌بینی در مسیر سیگنال و در طی زمان اتفاق می‌افتد.

در ادامه به بررسی دو مورد از این پدیده‌ها که بیشترین نقش را در بر روی افت سیگنال دارند می‌پردازیم. مورد اول افت مسیر فضای آزاد<sup>۱</sup> و دیگری محو شونده‌گی سایه‌ای<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. افت مسیر اغلب به خاطر اتلاف توان ساطع شده از فرستنده به دلیل اثراتی همچون ویژگی‌های کانال انتشار رخ می‌دهد. در صورتی که محو شونده‌گی سایه‌ای به خاطر موانعی که در بین فرستنده و گیرنده وجود دارد به وجود می‌آید. این موانع باعث می‌شوند که توان سیگنال منتشرشده تضعیف گردد. معمولاً تغییرات که بر روی سیگنال و در اثر افت مسیر اتفاق می‌افتد در مسافت‌های طولانی در حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰

---

<sup>۱</sup> Free space path loss

<sup>۲</sup> Shadow fading



متر مقادیر بزرگی هستند، در صورتی که تغییرات بر روی کانال بر اثر سایه به بسته به شرایط محیطی و

جنس موانع بین ۱۰ تا ۱۰۰ متر تغییرات بزرگی دارند [۱].

### ۳-۴-۲ مدل ارسال دریافت سیگنال

به منظور بررسی اثرات انتشار سیگنال ما می‌بایست در ابتدا چندین فرض اساسی را در نظر بگیریم.

ما فرض می‌کنیم مسافت ارسال بر روی زمین به اندازه‌ای باشد که بتوان از انحنای سطح زمین

صرف نظر کرد. همچنین محدوده فرکانس‌های انتخاب شده برای سیستم متنوع و به‌آسانی قابل دستیابی

است. با فرض اینکه تمام سیگنال‌های ارسالی و دریافتی حقیقی باشد سیگنال ارسالی با معادله زیر

مدل می‌گردد.

$$S(t) = \text{Re} \{ u(t) e^{-j2\pi f_c t} \} \quad (1-2)$$

$$= \text{Re} \{ u(t) \cos 2\pi f_c t - ju(t) \sin 2\pi f_c t \} \quad (2-2)$$

$$= x(t) \cos 2\pi f_c t - y(t) \sin 2\pi f_c t$$

با فرض اینکه  $u(t) = x(t) + jy(t)$  یک سیگنال باند پایه مختلط با مؤلفه هم‌فاز  $x(t) = \text{Re}\{u(t)\}$  و

مؤلفه متعامد  $y(t) = \text{Im}\{u(t)\}$  پهنای باند  $B_u$  و توان ارسالی  $P_t$  است.  $u(t)$  سیگنال معادل باند پایه

مختلط یا پوش مختلط  $s(t)$  نیز نامیده می‌شود.

بنابراین سیگنال دریافتی به فرم زیر خواهد بود.

$$r(t) = \text{Re} \{ v(t) e^{j2\pi f_c t} \} \quad (3-2)$$

$U(t)$  سیگنال باند پایه مختلط است که به انتشار  $s(t)$  درون کانال وابسته است. فرض می‌کنیم که

سیگنال ارسالی  $s(t)$  توانی به اندازه  $P_t$  داشته باشد و متقابلاً سیگنال دریافتی  $r(t)$  توانی برابر با  $P_r$

داشته باشد. افت مسیر به عنوان نسبت توان ارسالی به توان دریافتی به فرم معادله (۴-۲) تعریف

می‌گردد.

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} \quad (۴-۲)$$

#### ۴-۴-۲ افت مسیر فضای آزاد

یک سیستم مخابراتی را در نظر بگیرید که فرستنده و گیرنده به فاصله  $d$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند.

فرض می‌کنیم که هیچ مانعی بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد و بین فرستنده و گیرنده خط

دیدمستقیم ( $LOS^1$ ) وجود دارد. افت مسیر فضای آزاد یک فاکتور مقیاس‌پذیری مختلط را معرفی

می‌کند که در نتیجه آن سیگنال دریافتی به صورت زیر در خواهد آمد:

$$r(t) = \text{Re} \left\{ \frac{\lambda \sqrt{G_L} e^{-j2\pi d/\lambda}}{4\pi d} u(t) e^{j2\pi f_c t} \right\} \quad (۵-۲)$$

$\sqrt{G_L}$  الگوی تشعشعی آنتن گیرنده و فرستنده را در مسیر LOS تولید می‌کند. همچنین نسبت

توان‌های دریافتی به ارسالی با معادله زیر بیان می‌گردد.

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{\sqrt{G_L} \lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (۶-۲)$$

---

<sup>1</sup> Line Of Sight

همان‌طور که از رابطه (۲-۶) مشاهده می‌گردد توان دریافتی در گیرنده با مجذور فاصله رابطه عکس دارد. به این معنی که هر چه فاصله فرستنده و گیرنده بیشتر شود اثر افت فضای آزاد خود را بیشتر نشان داده و توان دریافتی در گیرنده به صورت توان دوم کاهش می‌یابد. همان‌طور که بعداً نشان خواهیم داد، توان سیگنال دریافتی با تغییرات فاصله (d) به آرامی تغییر می‌کند و در مقابل به طول موج منبع  $\lambda$  وابستگی شدیدی خواهد داشت که این امر به دلیل سطح مقطع موثر در آنتن گیرنده است [۱۷]. توان دریافتی بر حسب dBm با معادله زیر بیان می‌گردد.

$$P_r \text{ dBm} = P_t \text{ dBm} + 10 \log_{10}(G_t) + 20 \log_{10}(\lambda) - 20 \log_{10}(4\pi) - 20 \log_{10}(d) \quad (۲-۷)$$

## ۲-۴-۵ محو شونگی اثر سایه

سیگنال ارسالی بر روی یک کانال بی‌سیم به علت برخورد سیگنال با موانع در مسیر، تغییرات تصادفی را تجربه خواهد نمود که این تغییرات باعث کاهش توان دریافتی در گیرنده خواهد شد. برای یک سیگنال در مسیر حرکت از فرستنده به سمت گیرنده ممکن است اتفاق‌های مختلفی رخ دهد که ما این رخدادها را در چهار گروه دسته‌بندی می‌کنیم: جذب<sup>۱</sup>، انعکاس<sup>۲</sup>، پراکندگی<sup>۳</sup> و انکسار<sup>۴</sup>. از آنجایی که اندازه، موقعیت و مشخصه‌های دی‌الکتریک اجسام مختلف به صورت تصادفی در زمان تغییر

<sup>۱</sup> Absorption

<sup>۲</sup> Reflection

<sup>۳</sup> Scattering

<sup>۴</sup> Diffraction

می‌کند بنابراین برای در نظر گرفتن محو شونده اثر سایه نیازمند مدل آماری هستیم تا به وسیله آن میزان تضعیف را تخمین بزنیم. [۱۸، ۱۹] مدل‌های آماری خوبی برای اندازه‌گیری توان دریافتی در محیط‌های انتشار فضای بسته و فضای آزاد را نشان می‌دهد که یکی از جامع‌ترین این مدل‌ها در رابطه (۸-۲) نشان داده شده است که در آن توزیع مقادیر  $\psi$  برحسب dB یک توزیع گاوسی با میانگین  $\mu_{\psi_{dB}}$  و انحراف معیار استاندارد  $2\sigma_{\psi_{dB}}$  است.

$$p(\psi_{dB}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\psi_{dB}}} \exp\left[-\frac{(\psi_{dB} - \mu_{\psi_{dB}})^2}{2\sigma_{\psi_{dB}}^2}\right] \quad (8-2)$$

## ۲-۵ آنتن و انتشار موج

آنتن تبدیلی است که جریان الکتریکی فرکانس رادیویی را به امواج الکترومغناطیسی تبدیل کرده و در فضا منتشر می‌سازد. الگوهای انتشاری، بهره و پلاریزاسیون از جمله مهم‌ترین پارامترهای یک آنتن هستند که برای کار با آن به درک مفاهیم اولیه آن نیاز است. در ادامه توضیح مختصری از این پارامترها ارائه می‌دهیم.

### ۲-۵-۱ الگوهای انتشاری

الگوهای انتشاری یک نمایش گرافیکی از ویژگی‌های انتشار یک آنتن است. عموماً این الگوها در دو بعد عمود بر هم (افقی و عمودی)، انتشار امواج را نشان می‌دهند. آنتن گیرنده در هر سمتی که نسبت به فرستنده باشد یک زاویه افقی و عمودی دارد که بر اساس این زوایا می‌توان افت سیگنال را نسبت به LOS فرستنده محاسبه کرد.

## ۲-۵-۲ بهره آنتن

بهره آنتن، توان خروجی آنتن در یک جهت خاص را در مقایسه با سیگنال تولیدشده به وسیله آنتن ایزوتروپیک می‌دهد.

## ۲-۵-۳ پلاریزاسیون

پلاریزاسیون آنتن جهت میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. این جهت ممکن است افقی، عمودی، خطی و یا کروی باشد.

## ۲-۶ کانال پایلوت مشترک

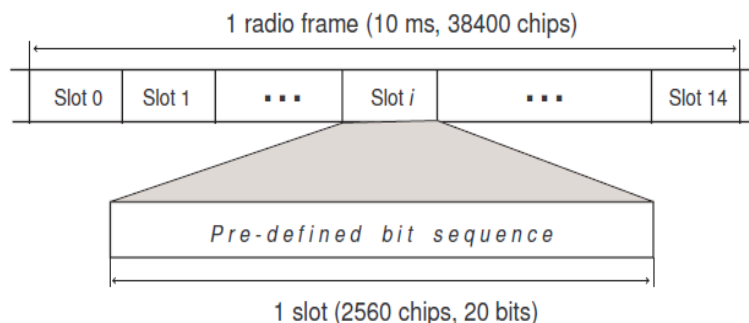
کانال پایلوت مشترک یا CPICH، یک کانال فیزیکی فرسو با نرخ بیت ثابت 30kbps است که دنباله‌های سمبل/بیت از پیش تعریف شده ارسالی پیوسته را حمل می‌کند [۲۰]. CPICH یک کانال کد غیر مدوله شده است که کدهای درهم‌ساز اولیه مخصوص سلول را ایجاد می‌کند. وظیفه CPICH کمک به تخمین کانال در هر پایانه برای کانال‌های تخصیص یافته است. همچنین CPICH مرجعی برای تخمین کانال‌های مشترک را ایجاد می‌کند. شکل ۲-۳ ساختار یک فریم از CPICH را نشان می‌دهد. CPICH از فاکتور گسترده سازی<sup>۱</sup> اسمی ۲۵۶ استفاده می‌کند به طوری که در هر اسلات ۱۰ سمبل پایلوت وجود دارد.

---

<sup>۱</sup> Spreading Factor

دو نوع کانال پایلوت مشترک وجود دارد: کانال پایلوت مشترک اولیه (P-CPICH) و ثانویه (S-CPICH). هر دو این ساختارها فریم یکسانی دارند. معمولاً، هر سلول تنها یک CPICH دارد. از آن برای همه پخش می‌توان پایلوت بر روی تمام سطح سلول استفاده می‌کند. در برخی موارد ممکن است که یک سلول بیش از یک کانال پایلوت مشترک داشته باشد که از آن به‌عنوان S-CPICH یاد می‌گردد. S-CPICH نیز به‌مانند P-CPICH مرجعی برای توان پایلوت سلول است اما تفاوت آن این است که در کل سلول ارسال نمی‌گردد و فقط در مناطق پرتراکم یک سلول استفاده می‌شود.

مجموع توان ارسالی کانال پایلوت مشترک در جهت فروسو بین کانال‌های کنترلی و ترافیکی تقسیم می‌گردد. واضح است که اگر بیشتر توان صرف کنترل سیگنالینگ گردد، توان کمتری برای خدمت‌رسانی به ترافیک کاربران باقی می‌ماند. از طرف دیگر توان پایلوت اضافی نیز موجب انتشار وسیع در سطح سیگنال ارسالی در سلول می‌گردد که نتیجه آن افزایش سایز سلول و تداخل با سایر سلول‌ها می‌گردد.



شکل (۱-۲) ساختار فریم کانال CPICH [۸]

به‌عنوان یک قانون سرانگشتی، معمولاً توان P-CPICH تخصیص‌یافته در حدود 30-33dBm یا 5-10% مجموع توان ارسالی سلول است [۴، ۸]. با این وجود اما هیچ استاندارد برای پیدا کردن تنظیمات مربوط به توان پایلوت وجود ندارد. CPICH فقط یکی از کانال‌های مشترک فعال در حوزه مخابرات سلولی هست و نکته مهم این است که توان ارسالی دیگر کانال‌های مشترک به‌شدت به توان تخصیص‌یافته به CPICH وابسته است. نمونه‌ای از تنظیمات تخصیص توان برای کانال‌های مشترک در جدول (۳-۲) نشان داده شده است [۴].

جدول (۳-۲) نمونه‌ای از تنظیمات مربوط به کانال‌های مشترک یک شبکه

Downlink common channel	Relative Activity to CPICH	Average allocation with 20 W maximum power
Primary common pilot channel P-CPICH	0dB	100% <b>2.0W</b>
Primary synchronization channel SCH	-3dB	10% <b>0.1W</b>
Secondary synchronization channel SCH	-3dB	10% <b>0.1W</b>
Primary common control physical channel P-CPICH	-5dB	90% <b>0.6W</b>
secondary common control physical channel S-CPICH	0dB	10% <b>0.2W</b>
Paging indicator channel PICH	-8dB	100% <b>0.3W</b>
Acquisition indicator channel AICH	-8dB	100% <b>0.3W</b>
Total amount of common channel power		<b>~3.6W</b>





## فصل ۳

# مدل اساسی برای بهینه‌سازی پوشش

## دهی CPICH

بهینه‌سازی توان پایلوت به معنی انجام مصالحه‌ای بین میزان پوشش دهی و تداخل شبکه است. ظرفیت و پوشش دهی مهم‌ترین پارامترها در هر شبکه سلولی است. در شبکه‌های WCDMA از سیگنال پایلوت به منظور تعیین ساین سلول استفاده می‌گردد، به این معنی که افزایش و یا کاهش توان پایلوت یک سلول باعث افزایش یا کاهش ساین سلول می‌گردد و متعاقب آن با مدیریت توان پایلوت سلول‌های همسایه، می‌توان در یک شبکه با تراکم کاربران متفاوت، بین سلول‌های کم‌ظرفیت و پرظرفیت تعادل ایجاد نمود.

نکته مهم دیگر اینکه در شبکه، تخصیص توان به کانال‌های مشترک دیگر با توجه به توان CPICH مقدار می‌پذیرد. بنابراین مقدار بسیار بزرگ‌تری از منابع رادیویی را می‌توان ذخیره نمود. اگرچه توان پایلوت معمولاً مقداری بین ۵ تا ۱۰ درصد مجموع توان ایستگاه پایه را دارد، اما تأثیر اصلاح این توان در انرژی مصرف‌شده در شبکه بسیار چشمگیر است [۸]. در این بخش ما بر روی توان کانال پایلوت مشترک تمرکز می‌کنیم که از این به بعد به اختصار آن را توان پایلوت می‌نامیم.

شبکه WCDMA از طریق کانال CPICH حضور خود را به کاربران اعلام می‌دارد. سیگنال‌های پایلوت امکان تخمین کانال را برای پایانه‌های موبایل فراهم می‌آورد و فرآیند انتخاب سلول و دست‌به‌دست شدن را تسهیل می‌سازد. دستگاه‌های موبایل به صورت پیوسته سیگنال‌های پایلوت شبکه را مانیتور می‌کنند و با شناسایی قوی‌ترین سیگنال آشکارشده به آن سلول متصل می‌گردد. سطوح

مختلف توان پایلوت به شدت بر روی پوشش دهی ناحیه و سرویس‌های ارائه‌شده تأثیر می‌گذارد. توان پایلوت یک سلول به‌طور مؤثر در اندازه سلول تأثیرگذار است بنابراین در فرآیند بهینه‌سازی شبکه باید برای انتخاب سطوح توان پایلوت دقت خاصی داشت [۲۱].

### ۲-۳ سیستم مدل

فرض می‌کنیم هدف انجام بهینه‌سازی بر روی شبکه‌ای با  $m$  سلول است. برای این منظور مجموعه‌ای به نام  $I$  و به صورت  $I = \{1, 2, \dots, m\}$  تعریف می‌کنیم که نمایش‌دهنده سلول‌های واقع بر یک شبکه می‌باشد. برای بهینه‌سازی یک شبکه محدودیت‌هایی وجود دارد که باید مدنظر قرارداد. از یک طرف ما نمی‌توانیم کل یک شبکه را به‌صورت یکجا مورد تحلیل قرار دهیم چراکه به دلیل حجم بالای محاسبات عملاً امکان این کار وجود ندارد. از طرف دیگر شبکه تحت مطالعه باید به‌اندازه کافی بزرگ باشد تا بتوان روابط بین ایستگاه‌های پایه مختلف را به‌خوبی بررسی کرد.

هدف کلی از این طرح این است که ما رفتار امواج از لحظه خروج از فرستنده تا لحظه ورود به گیرنده را بشناسیم که این امر نیازمند شناخت منطقه جغرافیایی است که سیگنال در آن سیر می‌کند. به همین خاطر ما منطقه تحت مطالعه را (که در سناریوی عملی ابعاد آن در حدود ۵۰ کیلومتر مربع است) به نواحی بسیار کوچک‌تری تقسیم کرده و شبکه‌ای از بین‌ها<sup>۱</sup> (نواحی مربعی یا مستطیلی

<sup>۱</sup> bin

کوچک) را می‌سازیم. در انتخاب ابعاد این بین‌ها باید این نکته را مدنظر قرارداد که مساحت آن‌ها می‌بایست نسبت به کل ناحیه تحت سرویس به اندازه کافی کوچک است تا رفتار انتشار امواج در تمامی محدوده‌ی هر بین تقریباً یکسان باشد. ما مجموعه این بین‌های طراحی‌شده را با  $J=\{1,2,\dots,n\}$  نشان می‌دهیم و  $n$  نیز بیانگر تعداد کل این بین‌ها است.

توان ارسالی کلی یک BTS بین کانال‌های سیگنالینگ و ترافیکی تقسیم می‌گردد. در رابطه (۳-۱)

(۱) فرض می‌کنیم که توان پایلوت سلول  $i$  (یک سلول در شبکه رادیویی WCDMA) برابر با اختلاف

بین مجموع توان ارسالی BS و توان تخصیص‌یافته به کانال‌های ترافیکی است.

$$P_i^{Pilot} = P_i^{Total} - P_i^{Traffic} \quad (1-3)$$

به صورتی که  $P_i^{Pilot}$  توان پایلوت سلول  $i$ ،  $P_i^{Total}$  توان ارسالی مجموع سلول  $i$ ،  $P_i^{Traffic}$  توان

تخصیص‌یافته به کانال‌های ترافیکی و  $i$  نیز یک سلول در شبکه رادیویی WCDMA است. توان

ارسالی مجموع یک BS همواره عددی ثابت است. از رابطه (۳-۱) به خوبی می‌توان فهمید که با صرف

توان بالاتری برای پایلوت، توان باقی‌مانده برای ترافیک شبکه کاهش می‌یابد. بر اساس مدل شبکه، ما

از حداکثر 20w (43Db) برای توان ارسالی هر BS استفاده می‌کنیم. مجموع این توان بین سیگنال

پایلوت، داده انتقالی از کانال ( $P_{dch}$ )، کانال‌های سیگنالینگ ( $P_{sch}$ ) و کانال‌های دیگر (

$P_{other}$ ) سهم بندی می‌شود. رابطه بین این توان‌ها در فرمول (۳-۲) نشان داده شده است.

$$P_{pilot} = P_{max} - (P_{dch} + P_{sch} + P_{other}) \quad (2-3)$$

در ادامه به تعریف پارامتر مهمی به نام  $g_{ij}$  (که مقادیری بین صفر تا یک دارد) می‌پردازیم و آن را بهره توان بین BS سلول  $i$  و بین  $j$  تعریف می‌کنیم.  $g_{ij}$  شامل تمامی افت‌ها و بهره‌های بین واحد ارسالی BS و گیرنده پایانه موبایل می‌شود. مقدار بهره توان به برخی ویژگی‌های آنتن، پیکربندی آنتن، تجهیزات کاربر، افت مسیر محیط انتشار، فاصله گیرنده و فرستنده و... بستگی دارد. با این حال مهم‌ترین جنبه محاسباتی بهره آنتن، دقت در پیش‌بینی افت مسیر است. اگر  $\gamma_i$  مقدار توان پایلوت سلول  $i$  باشد، مجموع توان دریافتی از سلول  $i$  ام در بین  $j$  ام برابر با  $\gamma_i g_{ij}$  است. همان‌طور که در فصل قبل ذکر کردیم در شبکه‌های سلولی تداخل به دودسته اصلی تقسیم می‌گردد. بخش اول تداخلی است که از سلول‌های مجاور و به دلیل تنظیم نبودن توان ارسالی آن‌ها به صورت ناخواسته دریافت می‌گردد. از طرفی دیگر میدانیم که هر فرستنده در شبکه موبایل از چندین کانال برای اهداف خود استفاده می‌کند، بنابراین بخش دوم تداخل در یک شبکه سلولی، تداخل ناشی از کانال‌های دیگر خود سلول می‌باشد.

اگر سیگنال مطلوب، سیگنالی باشد که سلول  $i$  آن را ارسال کرده و گیرنده آن را در بین  $j$  دریافت می‌کند، مجموع تداخل بر روی این سیگنال را می‌توان به این صورت نشان داد:

$$I_{ij} = (1 - \alpha_j) P_i g_{ij} + \sum_{\substack{k \in I \\ k \neq i}} P_k g_{kj} + v_j \quad (3-3)$$

در فرمول (۳-۳)، مقدار چگالی طیف توان نویز در بین  $P_i$  توان ارسالی مجموع سلول  $i$

است که این توان بین کانال‌های مختلف سلول تسهیم شده و از آن برای مقاصد سیگنال‌یابی و حمل

ترافیک کاربر استفاده می‌گردد. همچنین  $\alpha_j \in (0,1)$  فاکتور تعامد در بین  $j$  را نشان می‌دهد. به

دلیل اینکه تمامی سیگنال‌های بررسی شده در این محیط، سیگنال‌هایی تصادفی هستند، بنابراین برای

مدل‌سازی رفتاری آن‌ها برحسب روابط ریاضی، ما فرض می‌کنیم که تمام سلول‌ها در حداکثر توان

امکان‌پذیر خود کار می‌کنند که به این شرایط اصطلاحاً سناریو بدترین حالت ممکن اطلاق می‌گردد؛

بنابراین تحت این سناریو (یعنی  $P_i = P^{Tot}$ ) فرمول (۳-۲) را می‌توان به این شکل بازنویسی کرد:

$$I_{ij} = (1 - \alpha_j) P_i^T g_{ij} + \sum_{\substack{k \in I \\ k \neq i}} P_k^T g_{kj} + v_j \quad (۴-۳)$$

ماهیت سلولی بودن شبکه باعث می‌گردد که نقش تداخل در ارتباطات بسیار پررنگ گردد. این

تداخل می‌تواند ناشی از سلول‌های مجاور و یا ناشی از کانال‌های دیگر خود سلول باشد. به همین

منظور پیدا کردن فرمولی که بتواند رابطه‌ی بین توان پایلوت و تداخل را بیان کند، ضروری است. از

این رو ما توان پایلوت را از دید نسبت حامل به تداخل (CIR) بیان می‌کنیم. به عبارت دیگر اگر

بخواهیم سیگنال ارسالی از سلول  $i$  در بین  $j$  قابل آشکارسازی باشد. می‌بایست نسبت CIR از یک

مقدار آستانه بیشتر باشد [21]. به این معنی که:

$$\gamma_{ij} = \frac{g_{ij} y_i}{I_{ij}} = \frac{g_{ij} y_i}{(1 - \alpha_j) P_i^T g_{ij} + \sum_{\substack{k \in I \\ k \neq i}} P_k^T g_{kj} + v_j} \geq \gamma_0 \quad (۵-۳)$$

درجایی که  $g_{ij} y_i$  مقدار توان پایلوت رسیده به بین ز از سلول  $i$  و  $I_{ij}$  مقدار مجموع تداخل رسیده به بین ز است. این آستانه  $E_c / I_o$  برای هر پایانه موبایل ثابت و مشخص است. با استفاده از معادله بالا به سادگی می‌توان استنباط کرد که اگر سلول  $i$  بین ز را پوشش دهد، سطح توان پایلوت در سلول ( $y_i$ ) می‌بایست حداقل برابر با  $P_{ij}$  باشد.

$$P_{ij} = \frac{\gamma_0}{g_{ij}} \cdot \left[ (1 - \alpha_j) P_i^T g_{ij} + \sum_{\substack{k \in I \\ k \neq i}} P_k^T g_{kj} + v_j \right] \quad (6-3)$$

### ۳-۳ راه حل توان پایلوت یکنواخت

با استفاده از توان پایلوت یکنواخت، تمامی سلول‌ها سطح توان پایلوت یکسانی خواهند داشت. ما از  $P^U$  برای نمادگذاری توان پایلوت استفاده شده به وسیله تمامی سلول‌ها در روش توان پایلوت یکنواخت استفاده می‌کنیم. شرط اساسی برای پوشش دهی بین ز این است که  $P^U$  حداقل به بزرگی  $P_{ij}$  ها در میان مجموعه  $I_j$  باشد. برای بین ز، این شرط به صورت زیر فرمول‌بندی می‌گردد [۲۲].

$$P^U \geq P^j \quad (7-3)$$

که  $P^j$  کمترین توان پایلوت مورد نیاز برای پوشش دهی بین ز به وسیله حداقل یک سلول است؛ یعنی اینک:

$$P^j = \min_{i \in I_j} P_{ij} \quad (8-3)$$

برای فراهم آوردن پوشش دهی کامل در شبکه، این شرط می‌بایست برای تمامی بین‌ها برقرار

باشد؛ که این امر منجر به برقراری نامعادله زیر می‌گردد:

(۹-۳)

$$P^U \geq \max_{j \in J} \min_{i \in I_j} P_{ij}$$

باشد، هر بین حداقل با یک  $\max_{j \in J} \min_{i \in I_j} P_{ij}$  اگر سطح توان پایلوت در همه سلول‌ها دقیقاً برابر با

سیگنال پایلوت پوشش خواهد داشت؛ بنابراین هیچ دلیلی ندارد که توان‌هایی بیشتر از این مقدار را

استفاده نماییم. پس ما می‌توانیم نامعادله (۹-۳) را مستقیماً به معادله (۱۰-۳) تبدیل نماییم:

(۱۰-۳)

$$P^U = \max_{j \in J} \min_{i \in I_j} P_{ij}$$

با استفاده از معادله اخیر، مجموع توان پایلوت موردنیاز در شبکه با رعایت شرط پوشش دهی

کامل<sup>۱</sup> برابر است با:  $|I|P^U$ .

### ۴-۳ یک فرمول بندی سرراست برای مساله

در این بخش، ما ابتدا یک فرمول‌بندی سرراست برای بهینه‌سازی توان پایلوت ارائه می‌دهیم که در

ادامه خواهیم دید از نقطه‌نظر محاسباتی کارآمد نیست. در ادامه به منظور رفع مشکل این فرمول‌بندی

یک مدل بهبودیافته را پیشنهاد می‌دهیم که مشکلات مدل سرراست را جبران کرده و برای شبکه‌های

بزرگ نیز کارآمد باشد.

---

<sup>۱</sup> Full Coverage



به‌منظور جلوگیری از ضعف معادله (۳-۱۰)، ما فرمول در نظر گرفته برای توان پایلوت بهینه برای

هر سلول را به یک مجموعه گسسته تبدیل می‌کنیم. ایده اصلی پشت این روش یافتن حداقل افزایش

توان ارسالی سلول‌ها برای رسیدن به  $E_c / I_o$  هدف است.

در این روش ما از متغیرهای توان پیوسته  $\{P_i : i \in I\}$  و مجموعه‌ای متغیرهای پوشش دهی

باینری  $\{x_{ij}, j \in J, i \in I_j\}$  استفاده می‌کنیم. این دو مجموعه از متغیرها را به شکل زیر تعریف

می‌کنیم:

فرض می‌کنیم  $P_i$ ، توان پایلوت سلول  $i$  باشد:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{if cell } i \text{ covers bin } j \\ 0: & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۳-۱۱)$$

بنابراین مسئله بهینه‌سازی ما به فرم زیر بیان می‌گردد:

$$P^* = \min \sum_{i \in I} P_i \quad (۳-۱۲)$$

با توجه به محدودیت های :

$$\sum_{i \in I_j} x_{ij} \geq 1 \quad j \in J \quad (۳-۱۳)$$

$$P_{ij} x_{ij} \leq P_i \quad j \in J, i \in I_j \quad (۳-۱۴)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad j \in J, i \in I_j \quad (۳-۱۵)$$

$$P_i \in R^+ \quad i \in I \quad (۳-۱۶)$$

در معادله (۳-۱۲)، محدودیت (۳-۱۳)، شرط پوشش دهی کامل را تضمین می‌کند. با استفاده از

محدودیت (۳-۱۴) سطح توان پایلوت سلول  $i$  برای هر بین  $z$  که تحت پوشش دارد، بزرگ‌تر مساوی  $P_{ij}$  می باشد. معادله (۳-۱۲) یک فرمول‌بندی ترکیبی-عددی خطی و سراسر برای مسئله بهینه‌سازی است. اما از نقطه‌نظر محاسباتی، این فرمول‌بندی کارآمد نیست. به‌طور خاص، آزادسازی LP این فرمول‌بندی بسیار ضعیف است یعنی اینکه جواب بهینه LP از جواب بهینه عددی فاصله زیادی دارد.

### ۳-۵ بهینه‌سازی توان پایلوت برای پوشش دهی جزئی

بهینه‌سازی توان پایلوت درگیر مصالحه‌ای بین مصرف توان پایلوت و پوشش دهی ناحیه تحت سرویس است. در بخش ۳-۴، این مصالحه تحت نیازمندی پوشش دهی کامل ناحیه تحت سرویس بیان گردید. در این بخش، ما مدل بهینه‌سازی مصرف توان را برای رسیدن به درجه پوشش دهی مشخصی توسعه می دهیم. ما یک فرمول محاسباتی عددی برای مسئله توسعه‌یافته را ارائه کرده و بر روی الگوریتم ارائه‌شده در بخش قبل اصلاحاتی انجام می دهیم.

### ۳-۵-۱ انگیزه

پوشش دهی کامل<sup>۱</sup> ناحیه سرویس یک خواسته مطلوب در شبکه است؛ اما در شبکه‌های واقعی فراهم آوردن پوشش دهی کامل معمولاً از نقطه‌نظر اقتصادی و مصرف توان بسیار هزینه‌بر است؛

---

<sup>۱</sup> پوشش دهی کامل، به معنی ۱۰۰٪ پوشش دهی ناحیه تحت سرویس است.

بنابراین، در عمل یک سطح پوشش دهی تضمین شده بین ۹۵-۹۸٪ برای یک شبکه کافی خواهد بود.

در [۴] احتمال پوشش دهی ۹۰-۹۵٪ به عنوان فرضیه مسئله در نظر گرفته شده است.

در بحث مدیریت سیستم، به صورت محلی ثابت شده است که ۲۰٪ از تلاش در مقابل ۸۰٪ نتیجه

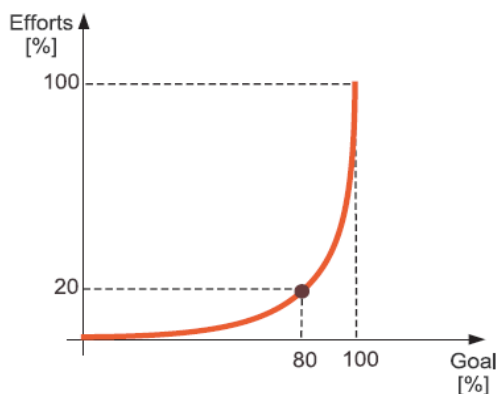
معقول همواره مورد قبول است. این پدیده‌ها تحت عنوان قاعده Pareto یا قانون ۸۰/۲۰ معروف

هستند (شکل ۱-۳). این قاعده پیشنهاد می‌دهد که کاهش جزئی در سطح پوشش دهی (هدف)

ممکن است موجب کاهش قابل توجهی در صرفه جویی توان پایلوت و استفاده مؤثر از منابع شبکه می

گردد (تلاش‌ها). در این پژوهش، ما علاقه داریم رفتار این پدیده را در مدل‌سازی انجام گرفته بررسی

کنیم [۲۳].



شکل (۱-۳) قاعده Pareto

### ۲-۵-۳ پوشش دهی ترافیکی

به منظور تخمین پوشش دهی ترافیکی در یک شبکه، پارامتر جدید را به نام تقاضای ترافیکی معرفی

می‌کنیم. یک تفسیر خوب از این پارامتر تعداد میانگین کاربران فعالی است که سرویس خاصی را در یک بین تقاضا می‌دهند. تعریف عمومی دیگر تعداد کاربران فعالی است که سرویس خاصی را در زمانی خاص تقاضا می‌کنند.

ما از  $d_j$  برای نمادگذاری تقاضای ترافیکی در بین  $j$  استفاده می‌کنیم و همچنین  $D$  را نیز تقاضای ترافیکی مجموع شبکه ( $D = \sum_{j \in I} d_j$ ) تعریف می‌کنیم. تقاضای ترافیکی یک مشخصه‌ی دینامیکی است که دارای توزیع غیریکنواخت بر روی یک شبکه است. در شبیه‌سازی دینامیک ما می‌توانیم تقاضای ترافیکی را به صورت snapshot مدل کنیم. برای تعیین درجه پوشش دهی موردنیاز، از پارامتری به نام  $\beta$  ( $0 < \beta < 1$ ) در مدل‌سازی استفاده می‌کنیم.

مسئله بهینه‌سازی CPICH برای پوشش دهی جزئی را می‌توان به‌طور خلاصه به صورت زیر مدل

کرد:

**هدف:**

پیدا کردن یک بردار  $P^{CPICH} = \{P_i^{CPICH}, i \in I\}$  که مقدار مجموع توان پایلوت

$$\left( \sum_{i \in I} P_i^{CPICH} \rightarrow \min \right) \text{ اینکۀ می‌کند}$$

**قیود:**

- درجه پوشش دهی CPICH حداقل  $\beta$  به دست آید.

• توان پایلوت هر سلول در یک محدوده خاص باشد (اینکه:

$$(\prod_i^{\min} < P_i^{CPICH} < \prod_i^{\max})$$

برای توزیع ترافیک غیریکنواخت، تعریف درجه پوشش دهی نسبتاً واضح و سراسر است نیست. ما درجه پوشش دهی را به عنوان اندازه مرتبط کل ناحیه تحت سرویس که واقعاً پوشش داده شده است تعریف می‌کنیم. در یک شبکه واقعی توزیع ترافیکی هرگز یکنواخت نیست، این بدان معناست که اگر ما درجه پوشش دهی را بدون در نظر گرفتن توزیع ترافیکی اندازه‌گیری کنیم، این ریسک وجود دارد که جواب مسئله در برخی نواحی که تراکم ترافیکی بالایی دارند، منجر به افت پوشش دهی ناحیه سرویس شود. به منظور جلوگیری از نواقص احتمالی، ما از اندازه‌گیری پوشش دهی جدیدی استفاده می‌کنیم که درجه پوشش دهی ترافیکی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. درجه پوشش دهی ترافیکی به عنوان نسبت بین مجموع مقادیر تقاضای ترافیکی در بین‌ها و مجموع تقاضای ترافیکی ناحیه تعریف می‌گردد.

ما همچنین در محاسبات لازم داریم که کران بالایی برای توان پایلوت در نظر بگیریم. برای این منظور، ما از مقادیر  $p_{ij}$  که بزرگ‌تر از  $\prod_i^{\max}$  هستند در لیست توان‌های امکان‌پذیر پایلوت صرفه نظر می‌کنیم. این کار با معرفی دو مجموعه  $I_j$  و  $J_i$  امکان‌پذیر است [۲۴].

برای هر بین  $j$ ، ما مجموعه  $I_j \subseteq I$  را شامل تمام سلول‌هایی که ممکن است بین  $j$  با یک سطح توان پایلوت امکان‌پذیر پوشش دهد، معرفی می‌کنیم.

<sup>۱</sup> Traffic coverage degree

$$I_j = \{i \in I : P_{ij} \leq \Pi_i^{\max}\} \quad (17-3)$$

همچنین ما می‌توانیم برای هر سلول  $i$  نیز مجموعه  $J_i \subseteq J$  را تعریف کنیم که شامل تمام

بین‌هایی است که ممکن است به وسیله سلول  $i$  پوشش داده شود. به این صورت که :

$$J_i = \{j \in J : P_{ij} \leq \Pi_i^{\max}\} \quad (18-3)$$

همانگونه که در بخش ۳-۴ بیان گردید، ما دو استراتژی تخصیص توان برای پوشش دهی کامل

ناحیه تحت پوشش معرفی کردیم. در ادامه این فصل ما این دو استراتژی را به صورت جزئی تر و برای

درصد های پوشش دهی متفاوت بررسی می کنیم.

### ۳-۵-۳ فرمول بندی راه حل توان پایلوت یکنواخت با پوشش دهی جزئی

همان طور که قبلاً ذکر شد، دسترسی به پوشش دهی کامل مقرون به صرفه نیست و در واقع تقریباً

غیرممکن است. بنابراین در شرایط عملی می‌توان با صرف نظر کردن از درصد قابل قبولی از پوشش

دهی به توان پایلوت مصرفی قابل قبولی دست یافت.

فرض می‌کنیم  $D^j$  برابر با مجموع تقاضای ترافیکی شبکه از میان بین‌های پوشش داده شده باشد، به

شرطی که توان پایلوت یکنواخت آن معادل  $P^j$  است. یعنی اینکه :

$$D^j = \sum_{\substack{l \in J \\ P^l \geq P^j}} d_l \quad (19-3)$$

در معادله (۱۹-۳)  $\beta$  برابر با درصد پوشش دهی مورد نظر و  $P^j$  کمترین توان لازم برای تحت

پوشش قرار گرفتن هر بین می‌باشد. در این صورت  $P^j$  را می‌توان به فرم معادله زیر بیان نمود:

$$P^j = \min_{i \in I} P_{ij} \quad (20-3)$$

به منظور تضمین کردن سطح دلخواه از پوشش دهی ترافیکی، مجموع تقاضای ترافیکی تمام

بین‌های تحت پوشش باید حداقل  $\beta D$  باشد. از نظر ریاضی مقدار توان پایلوت یکنواخت از رابطه زیر

قابل محاسبه است:

$$P^U = \min_{\substack{j \in J \\ D^j \geq \beta D}} P^j \quad (21-3)$$

استفاده از روش توان پایلوت یکنواخت در سناریوهای ساده بسیار کارآمد است. با این وجود، همان‌طور

که بعداً نشان می‌دهیم، برای شرایط طراحی پیچیده‌تر استفاده از این طرح منجر به مصرف توان بالاتر

و غیر ضروری برای سیگنال پایلوت می‌گردد.

### ۳-۵-۴ فرمول‌بندی روش بهبود یافته با پوشش دهی جزئی

برای اینکه بتوانیم اثر سطوح مختلف پوشش دهی را در معادله (۳-۱۲) بررسی کنیم، محدودیت (۳-۳)

(۱۳) را به صورت زیر اصلاح می‌کنیم.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq z_j, \forall j \in J \quad (22-3)$$

که در آن  $z_j$  یک مجموعه از متغیرهای باینری است که به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$\left. \begin{array}{l} 1: \text{ اگر بین } z \text{ به وسیله حداقل یک سلول پوشش داده شود} \\ 0: \text{ در غیر این صورت} \end{array} \right\} = z_j$$

ما  $0 < \beta < 1$  را سطوح پوشش دهی ترافیکی مورد نیاز تعریف نمودیم. به منظور دخیل کردن

سطوح پوشش دهی، نیاز است که محدودیت زیر را به تابع هدف اضافه کنیم:

$$\sum_{j \in I} d_j z_j \geq \beta D \quad (23-3)$$

تا اینجا ما با وارد کردن  $\beta$  در معادلات تابع هدف، به خواسته پوشش دهی جزئی مساله دست

یافتیم. این فرمول بندی کاملاً سراسر است، اما از نظر محاسباتی کارآمد نیست. برای این منظور ما

مدل بهبود یافته زیر را پیشنهاد می دهیم.

برای شروع ما نمادگذاری زیر را انجام می دهیم. برای هر سلول  $i$ ،  $P_{ij}$  را به ترتیب صعودی مرتب

می کنیم. از دنباله  $b_1^i, b_2^i, \dots, b_l^i, \dots$  برای نشان دادن اندیس بین مربوطه در دنباله مرتب شده استفاده

می کنیم. دنباله مرتب شده به این ترتیب خواهد بود:

$$P_{ib_1^i} \leq P_{ib_2^i} \leq \dots \leq P_{ib_l^i} \leq \dots \quad (24-3)$$

به طوری که  $b_l^i$  بین را در موقعیت  $l$  دنباله مرتب شده برای سلول  $i$  نشان می دهد. ما همچنین از

$B_i$  برای نشان دادن مجموع بین های موجود در دنباله صعودی استفاده می کنیم (  $B_i$  تعداد بین هایی

است که برای یک سلول  $i$  در شرط  $P_{ij} < \prod_i^{\max}$  صدق می کند). توجه داشته باشید که عمدتاً  $B_i$

کمتر یا مساوی  $n$  است. در ادامه به منظور افزایش کارایی بهینه سازی ما درصد گسسته سازی روابط

برمی آیم. به این صورت که برای هر سلول، مقادیر مجموعه صعودی شده (معادله 3-24) را متوالیاً از



هم تفریق می کنیم (معادله ۳-۲۵). مزیت این مجموعه ایجاد شده این است که کمترین مقدار افزایش

توان پایلوت در هر سلول را که باعث تحت پوشش دهی در آمدن یک بین می گردد، را به دست

می آوریم.

$$P_{ib_1^i}^l = P_{ib_1^i} \quad (۳-۲۵)$$

$$P_{ib_2^i}^l = P_{ib_2^i} - P_{ib_1^i}$$

...

$$P_{ib_j^i}^l = P_{ib_j^i} - P_{ib_{j-1}^i}$$

...

$$P_{ib_{B_i}^i}^l = P_{ib_{B_i}^i} - P_{ib_{B_i-1}^i}$$

مقادیر  $P_{ib_l^i}^l$  دنباله افزایشی از مقدار توان موردنیاز برای پوشش دهی بین  $b_l^i$  است، در صورتی که

سلول  $i$  قبلاً بین  $b_{l-1}^i$  را پوشش داده است. همچنین مقدار مجموع توان پایلوت شبکه از رابطه (۳-۲۶)

(۲۶) محاسبه می گردد.

$$\sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} P_{ib_l^i}^l x_{ib_l^i} \quad (۳-۲۶)$$

بنابراین فرمول‌بندی برای بهینه‌سازی تابع هدف را می توان به این شکل بازنویسی کرد:

$$\min \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} P_{ib_l^i}^l x_{ib_l^i} \right\} \quad (۳-۲۷)$$

با توجه به محدودیت های:

$$\sum_{j \in J} d_j z_j \geq \beta D \quad (28-3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \geq z_j, \forall j \in J \quad (29-3)$$

$$x_{ib_{l-1}} \leq x_{ib_l}, \forall i \in I, \forall l \in \{2, \dots, B_i\} \quad (30-3)$$

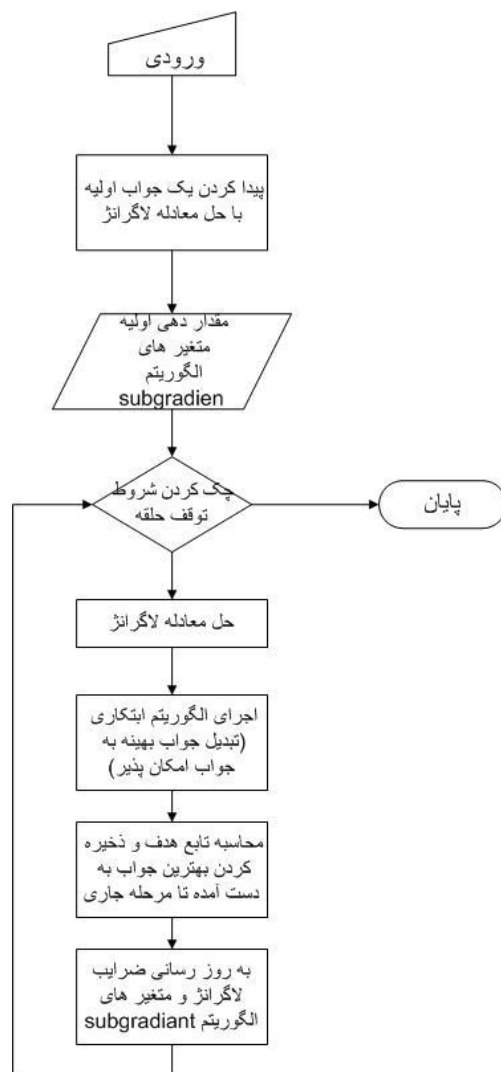
$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall j \in J, \forall i \in I(j) \quad (31-3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall j \in J \quad (32-3)$$

### ۳-۶ دستاورد راه حل بر مبنای الگوریتم آزادسازی لاگرانژ

#### ۳-۶-۱ مروری بر الگوریتم

ایده آزادسازی لاگرانژ، آزادسازی محدودیت‌های سخت به وسیله آوردن آن‌ها در تابع هدف و حل آن با کمک ضرایب لاگرانژ است. زمانی که یک مسئله مینیمم سازی را حل می‌کنیم، تابع لاگرانژ به ما یک کران پایین بر روی تابع هدف بهینه می‌دهد. بنابراین به منظور یافتن تیزترین نقاط کران پایین برای یک معادله مینیمم سازی، ما نیاز داریم که یک معادله بهینه‌سازی برای ماکزیمم تابع لاگرانژ با قیود ضرایب لاگرانژ را حل کنیم. از این مسئله به نام مسئله دوگان لاگرانژ یاد می‌شود. شکل (۳-۲) فلوجارت الگوریتم به کار رفته در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳) فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

### ۲-۶-۳ الگوریتم آزادسازی لاگرانژ

با آزادسازی محدودیت (۲۹-۳) از معادله (۲۷-۳)، مسئله بهینه‌سازی با استفاده از ضرایب لاگرانژ به

فرم زیر تبدیل می‌گردد [۲۵]:

$$\min \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_i}^l - \lambda_{b_i}) x_{ib_i} + \sum_{j \in J} \lambda_j z_j \right\} \quad (۳۳-۳)$$

$$\text{S.t} \quad \sum_{j \in J} d_j z_j \geq \beta D \quad (33-3)$$

$$x_{ib_{l-1}} \leq x_{ib_l}, \forall i \in I, \forall l \in \{2, \dots, B_i\} \quad (34-3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall j \in J, \forall i \in I(j) \quad (35-3)$$

$$z_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (36-3)$$

برای مینیمم کردن معادله (33-3)، ما آن را به  $m+1$  زیر مساله تبدیل کرده و هر زیرمساله را به طور

جداگانه حل می کنیم. برای هر سلول  $i$ ، ما می توانیم هر زیر مساله را با مینیمم کردن

$$\sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_l}^I - \lambda_{b_l}^i) x_{ib_l}^i$$

هر سلول  $i$ ، آرگومانی که مجموعه  $\left\{ \sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_l}^I - \lambda_{b_l}^i) x_{ib_l}^i \right\}$  را مینیمم می کند پیدا کرده و با توجه به

قید (35-3) مقادیر 0 و 1 را به  $x_{ij}$  تخصیص دهیم.

مقادیر  $z_j$  بین هایی را که برای گارانتی کردن درجه پوشش دهی ترافیکی مشخصی لازم است حتما

تحت پوشش قرار گیرند را مشخص می کند. برای به دست آوردن مقادیر بهینه متغیر های  $z_j$  ما

می بایست معادله  $\sum_{j \in J} \lambda_j z_j$  را با توجه به محدودیت (34-3) حل کنیم. زیر مساله لازم برای پیدا

کردن متغیر های  $z_j$  به فرم زیر، فرمول بندی می گردد:

$$\sum_{j \in J} \lambda_j z_j \rightarrow \min \quad (37-3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} d_j z_j \geq \beta D$$

$$z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

برای یافتن مقادیر بهینه متغیر های  $z_j$ ، ما معادله (۳-۳۸) را برای مجموعه ای از ضرایب لاگرانژ داده شده حل می کنیم. با اعمال یک تغییر متغیر ساده به صورت  $\bar{z}_j = 1 - z_j$ ، معادله (۳-۳۸) به یک مساله knapsack باینری تبدیل می گردد. زمانی که مقادیر تقاضای ترافیکی  $d_j, j \in J$  مقادیری صحیح هستند و یا با مقیاس پذیری می توان آن ها را به مقادیری صحیح تبدیل نمود، می توان با یک الگوریتم محاسباتی داینامیک کارآمد [۲۶]، مقادیر بهینه را محاسبه نمود. اجرای این محاسبات نیازمند زمانی به اندازه  $\mathcal{O}(|J|\beta D)$  می باشد که در حافظه سیستم نیز حجمی برابر با  $\mathcal{O}(\beta D)$  را اشغال می کند.

در شبکه های بزرگ، پیدا کردن یک جواب دقیق برای معادله (۳-۳۸) از نظر زمانی بسیار هزینه بر است. اما با استفاده از تکنیک آزادسازی می توان تخمین خوبی برای جواب بهینه پیدا نمود. یعنی اگر تغییرات مقادیر  $d_j$  را کوچک در نظر بگیریم، با استفاده از یک الگوریتم آزادسازی LP می توان به جواب نزدیک به بهینه خوبی دست یافت.

با حل کردن این  $m$  معادله لاگرانژ و یک معادله knapsack ( در مجموع  $m+1$  معادله) ما یک نقشه پوشش دهی بهینه برای منطقه جغرافیایی تحت مطالعه به دست می آوریم، اما با این وجود جواب به دست آمده الزاما شرط پوشش دهی محدودیت (۳-۳۴) را برآورده نمی کند. بنابراین، برای پیدا کردن یک جواب امکان پذیر، ما الگوریتم ابتکاری که در بخش ۳-۷-۳ معرفی خواهیم نمود را اجرا می کنیم.

### ۳-۷ الگوریتم بهبود یافته پیشنهادی

دستاورد ما بر دو بخش استوار است: در بخش اول ما یک مسئله ضرایب لاگرانژ را به وسیله تکنیک بهینه‌سازی subgradient حل می‌کنیم. به این صورت که در هر تکرار یک مسئله آزادسازی لاگرانژ حل می‌شود. با استفاده از ساختار مسئله، ما جوابی بهینه برای آزادسازی لاگرانژ با حل مجموعه‌ای از زیر مسئله‌های مستقل و کوچک‌تر به دست می‌آوریم (یعنی یک زیر مسئله برای هر سلول). بخش دوم الگوریتم بر اساس به دست آوردن یک جواب امکان‌پذیر خوب و منطقی طراحی شده است. این کار با اعمال یک روش ابتکاری و بر اساس تنظیم توان‌هایی که جواب مسئله آزادشده را اصلاح می‌کند انجام می‌گیرد. فرایند بهینه‌سازی ابتکاری مبتنی بر تنظیم توان در هر تکرار روش subgradient انجام می‌گیرد.

ما همچنین سه معیار برای توقف حلقه تکرار داریم. اول اینکه ماکزیمم تکرار گام‌های subgradient به ۱۰۰ گام برسد. دوم اینکه فاصله dual gap کمتر از ۰,۰۱٪ گردد و سوم اینکه ماکزیمم گام‌های متوالی که در طی آن فرایند پیدا کردن کران پایین بهبود نیابد به ۲۰ گام برسد.

شبه کد روش بهبود یافته پیشنهادی تحت عنوان الگوریتم II نشان داده شده است. در ادامه این بخش این الگوریتم مفصلاً توضیح داده خواهد شد.

الگوریتم I1. الگوریتم ابتکاری لاگرانژ

Input:  $P_{ij}$ ,  $N1$ ,  $N2$ ,  $N3$

```

1:  $(\lambda_j, x) \leftarrow FindInitial(P_{ib_j}^I)$  // مقداردهی اولیه به ضرایب لاگرانژ
2:  $P^* \leftarrow objEFIP(x)$  // محاسبه مقدار اولیه برای تابع هدف
3:  $LB \leftarrow 0$ 
4:  $step \leftarrow 0$ 
5:  $badStep \leftarrow 0$ 
6:  $\mu \leftarrow 2.0$ 
7: Repeat
8:  $(x, z) \leftarrow solveLagr(\lambda)$  // حل زیر معادله‌های لاگرانژ
9:  $lb \leftarrow LagrFunc(x, z, \lambda)$  // محاسبه تابع لاگرانژ
10: if  $lb > LB$  then
11:      $LB \leftarrow lb$ 
12:      $badStep \leftarrow 0$ 
13: else
14:      $bad\ step \leftarrow bad\ step + 1$ 
15:     if  $muDEC R(badStep)$  then
16:          $\mu \leftarrow \mu / 2$ 
17:     end if
18: end if
19:  $x' \leftarrow FindFeas(x)$  // اجرای الگوریتم ابتکاری برای تعدیل توان‌ها
20:  $P \leftarrow objEFIP(x')$  // محاسبه مقدار تابع هدف
21: if  $P < P^*$ 
22:      $P^* \leftarrow P$ 
23:      $x^* \leftarrow x'$ 
24: end if
25:  $E \leftarrow 0$ 
26: for  $\forall j \in J$  do
27:      $e_j \leftarrow 1 - \sum_{i \in I} x_{ij}$ 
28:      $E \leftarrow E + e_j^2$ 
29: end for
30:  $\theta \leftarrow \mu \cdot (P^* - lb) / E$ 
31: for  $\forall j \in J$  do
32:      $\lambda_j \leftarrow \max(0, \lambda_j + \theta e_j)$  // به روز رسانی کردن ضرایب لاگرانژ
33: end for
34:  $dual\ gap = CallGap(new\ \lambda, old\ \lambda)$  // محاسبه شکاف دوگانه بین ضرایب لاگرانژ
35:  $step \leftarrow step + 1$ 
36: Until  $(step == N1) \parallel (bad\ step == N2) \parallel (dual\ gap < N3)$ 

```

ورودی الگوریتم مجموعه توان‌های  $P_{ij}$  است که با استفاده از دیتابیس اولیه محاسبه گردیده است. تابع  $FindInitial(P_{ib_i}^l)$  در خط اول، از روی مجموعه توان‌های تفاضلی افزایشی، یک مقادیر اولیه برای ضرایب لاگرانژ محاسبه می‌کند. نحوه محاسبه این مقادیر اولیه ضرایب لاگرانژ در بخش (۳,۷,۱) به تفصیل بیان خواهد شد. در خط دوم تابع  $objEFIP(x)$  از روی مقدار اولیه که در مرحله قبل برای  $x_{ij}$  به دست آمده است، مقدار تابع هدف را از طریق جایگذاری  $x_{ij}$  در معادله (۳-۲۷) به دست می‌آورد. تابع  $solveLagr(\lambda)$  در خط ۸، با حل  $m+1$  زیر مسئله از روی ضرایب لاگرانژ مشخص شده، مقادیر  $X$  و  $Z$  بهینه را محاسبه می‌کند. جزئیات کامل این محاسبه در بخش ۳-۶-۲ ذکر گردید. تابع  $FindFeas(x)$  جواب امکان پذیر مسئله را از روی جواب بهینه مسئله محاسبه می‌کند. این تابع مهم‌ترین قسمت در الگوریتم کلی مسئله است که با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی ابتکاری محاسبه می‌شود و تأثیر زیادی بر روی جواب نهایی دارد. در بخش ۳-۷-۲ مفصلاً در مورد الگوریتم‌های به کاررفته بحث خواهیم کرد.

ضرایب لاگرانژ در خط های (۲۵) تا (۳۳) الگوریتم II به روزرسانی می‌گردد. ما ابتدا یک اندازه گام  $\theta$  که مشخص کننده میزان حرکت در جهت زیر گرادیان است را محاسبه کرده و سپس ضرایب لاگرانژ را به روز رسانی می‌نماییم. اندازه گام حرکت با استفاده از فرمول (۳-۴۳) محاسبه می‌شود [۲۷].



$$\theta = \frac{\mu.(P^* - LF(x, \lambda, z))}{\sum_{j \in I} e_j^2} \quad (39-3)$$

$\mu$  یک عدد ثابت بین صفر و دو می باشد. همچنین  $P^*$  بهترین جواب شدنی پیدا شده تا کنون است.

$LF(x, \lambda, z)$  مقدار تابع لاگرانژ از معادله (37-3) و  $e_j \leftarrow 1 - \sum_{i \in I} x_{ij}$  ضعف محدودیت آزاد شده

مربوطه را نشان می دهد. مخرج معادله (43-3) مربع نرم اقلیدسی بردار ضعف های محدودیت آزاد

شده را محاسبه می کند که در الگوریتم II با نماد E نشان داده شده است. مقدار جدید ضرایب لاگرانژ

$\lambda_j$  از طریق معادله زیر محاسبه می گردد:

$$\lambda_j = \max(0, \lambda_j + \theta e_j) \quad (40-3)$$

در معادله فوق،  $e_j$  برابر با  $\lambda_j$  از بردار زیرگرادیان e است. ما همچنین مقدار اولیه  $\mu$  را برابر

با 2 در نظر می گیریم. در شرایطی که در دوره های تکرار متناوب، کران پایین بهبود نیابد،  $\mu$  در هر

تکرار به صورت متوالی تقسیم بر 2 می گردد. این فرایند توسط تابع muDECR در خط 15 از

الگوریتم II بررسی می گردد.

### 3-7-2 محاسبه مقادیر اولیه ضرایب لاگرانژ

تابع  $FindInitial(P_{ib_i}^I) \leftarrow (\lambda_j, x)$  به ازای ورودی  $P_{ij}$  ها، یک مقدار اولیه برای  $\lambda_j$  و  $x_{ij}$  مشخص

می کند. هدف مینیمم کردن رابطه (3-27) است، بنابراین در مقدار گذاری اولیه سعی می کنیم این

تابع را مینیمم نماییم. برای محاسبه مقادیر اولیه  $\lambda_j$  به این طریق عمل می نماییم.

معادله (3-33) زمانی مینیمم خواهد شد که  $\lambda_{b_i} = P_{ib_i}^I$  گردد، بنابراین ابتدا برای  $i=1$  ضرایب

لاگرانژ را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\lambda_{b_l^i} = P_{ib_l^i}^l : l = 1, 2, \dots, B_i \quad (۴۱-۳)$$

این بدان معنی است که سلول  $i=1$  به ازای ماکزیمم توان پایلوت ( $P_1 = \Pi_1^{\max}$ ) تمام بین‌های ممکن را تحت پوشش قرار دهد. در ادامه برای سلول دوم تا  $m$  ام به این روش عمل می‌نماییم. ما برای  $i=1$  برخی از مقادیر  $\lambda$  را مقدارگذاری کرده ایم. در ادامه دو حالت ممکن است رخ دهد. حالت اول اینکه مقدار  $\lambda$  در آن مرحله قبلاً مقداردهی نشده باشد، یا به عبارت دیگر آن بین هنوز تحت پوشش هیچ‌کدام از سلول‌ها قرار نگرفته باشد. در این صورت همانند روشی که برای  $i=1$  ارائه دادیم  $\lambda$  این مرحله را مقداردهی اولیه می‌کنیم. حالت دوم که ممکن است رخ دهد این است که  $\lambda$  قبلاً مقداردهی شده باشد. در این صورت دو یکی از دو حالت زیر ممکن است رخ دهد:

$$P_{ib_i^i}^i - \lambda_{b_i^i} > 0 : i = 2, 3, \dots, m \quad \text{الف}$$

این حالت بدین معنی است که پوشش بین  $b_i^i : i = 2, \dots, m$  در سلول قبلی با توان کمتری صورت گرفته است. پس ما می‌توانیم آن را در معادلات این سلول در نظر نگیریم.

$$P_{ib_i^i}^i - \lambda_{b_i^i} < 0 : i = 2, 3, \dots, m \quad \text{ب}$$

این حالت نشان‌دهنده این است که اگر بین  $b_i^i : i = 2, \dots, m$  توسط این سلول پوشش یابد توان پایلوت کمتری لازم خواهد داشت بنابراین :  $\lambda_{b_i^i} = P_{ib_i^i}^i : i = 2, 3, \dots, m$

به همین طریق تا انتها تمام ضرایب لگرانژ را مقدار دهی می‌کنیم. برای محاسبه  $x_{ij}$  های اولیه نیز

ما  $i$  و  $j$  های متناظر با ضرایب لاگرانژی که مقداری غیر صفر دارد را یک می‌دهیم. به عبارت دیگر در

$$\text{معادله } \sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_i}^l - \lambda_{b_i}^i) x_{ij}, \sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_i}^l - \lambda_{b_i}^i) x_{ib_i} + \sum_{j \in J} \lambda_j z_j \text{ های متناظر با } \sum_{i \in I} \sum_{l=1}^{B_i} (P_{ib_i}^l - \lambda_{b_i}^i) \text{ که مقادیری غیر}$$

صفر دارد را یک و مقادیر صفر شده را نیز صفر در نظر می‌گیریم.

### ۳-۷-۳ الگوریتم ابتکاری

در این بخش به بررسی روش ابتکاری پیاده‌سازی شده تحت عنوان تابع FindFeas(x) در

الگوریتم I1 می‌پردازیم. این الگوریتم در دو فاز انجام می‌گیرد که شامل مراحل زیر است:

- افزایش ناحیه پوشش دهی سلول‌ها تا زمانی که محدودیت پوشش دهی ارضا شود.
- کاهش هم‌پوشانی بین سلول‌ها با نگاه‌داشتن درجه پوشش دهی.

این فاز به‌منظور تنظیم کردن جواب بهینه به‌دست‌آمده از مسئله آزادسازی (۳-۳۳) به یک جواب

امکان پذیر است. همچنین هدف فاز دوم از روش ابتکاری بهبود جواب مسئله با کاهش هم‌پوشانی

شبکه است. الگوریتم‌های بسیاری برای این دو فاز می‌توان در نظر گرفت. در ادامه دو الگوریتم

پیشنهاد شده برای این دو مرحله را بیان می‌نماییم.

### ۱-۳-۷-۳ یک الگوریتم برای تحت پوشش در آوردن بین‌های پوشش داده نشده

ورودی این الگوریتم جواب بهینه به‌دست‌آمده از معادله ۳-۳۳ است و خروجی جوابی امکان پذیر را

به ما می‌دهد. دید کلی این فاز، چک کردن وضعیت پوشش دهی هر بین و تحت پوشش در آوردن بین‌های پوشش داده نشده به وسیله نزدیکترین سلول به آن بین است. توجه کنید که در صورت افزایش توان این سلول ممکن است چندین بین دیگر نیز تحت پوشش دهی این سلول درآیند که لازم است در محاسبات مدنظر قرار گیرد. بنابراین ترتیب پوشش دهی بین‌های پوشش داده نشده، تأثیر زیادی بر روی جواب نهایی دارد.

در هر مرحله با حل معادله لاگرانژ و به دست آوردن یک مجموعه  $x_{ij}$ ، ما یک الگوی پوشش دهی برای ناحیه تحت مطالعه به دست می‌آوریم. این الگوی پوشش دهی به این صورت است که بر اساس توان پایلوت هر سلول ( $P_i^{pilot}$ ) یک سری بین تحت پوشش دهی هر سلول در می‌آید. ایده روش ابتکاری به این صورت است که ما به طور همزمان بین تمامی سلول‌ها جست و جو کرده و آن سلولی که با کمترین افزایش، باعث تحت پوشش درآمدن یک بین پوشش داده نشده می‌شود، را پیدا کرده و این روند را تا زمان برآورده شدن شرط پوشش دهی شبکه ادامه می‌دهیم. اگر  $P_i^{pilot}$  توان پایلوت سلول  $i$  و  $P_{ij}$  توان پایلوت مورد نیاز بین  $j$  برای تحت پوشش درآمدن توسط سلول  $i$  باشد،  $P_{ij}^d$  حداقل توان مورد نیاز هر بین برای تحت پوشش درآمدن توسط سلول  $i$  را نمایش می‌دهد.

$$P_{ij}^d = P_{ij} - P_i^{pilot} \quad (3-42)$$

اگر مجموعه  $P_{ij}^d$  را در هر سلول صعودی کنیم، جواب دلخواه ما را به وجود نمی‌آورد، چرا که ما نیاز داریم در هر لحظه کمترین توان در بین تمامی سلول‌ها را داشته باشیم. برای این منظور ما

مجموعه  $P_{b_i^{ij}}^{Id}$  را دنباله صعودی مجموعه  $P_{ij}^d$  تعریف می‌کنیم که  $b_i^{ij}$  در آن نشان دهنده  $i$  و  $j$  مربوط به هر عنصر در دنباله  $P_{b_i^{ij}}^{Id}$  می‌باشد. توجه داشته باشید که توان پایلوت هر سلول دارای یک حد بالا  $(\prod_i^{\max})$  می‌باشد که در افزایش توان هر سلول آن را مدنظر قرار خواهیم داد. الگوریتم I2 شبه‌کد روش ابتکاری پیشنهاد شده برای تحت پوشش درآوردن بین‌های پوشش داده نشده را نشان می‌دهد.

الگوریتم I2. الگوریتم ابتکاری برای افزایش پوشش دادن ناحیه سرویس

Input:  $x_{ij}, P_i^{pilot}$

Output:  $x_{ij}$

- 1:  $P_{ij}^d \leftarrow P_{ij} - P_i^{pilot}$
- 2:  $P_{b_i^{ij}}^{Id} \leftarrow \text{sort}A \{ P_{ij}^d, i \in I, j \in J, P_{b_{i-1}^{ij}}^{Id} \leq P_{b_i^{ij}}^{Id} \}$
- 3: **while** CC==0 **do**
- 4:      $(i,j) \leftarrow \text{head}(1, P_{b_i^{ij}}^{Id})$
- 5:      $P_i \leftarrow P_i + P_{b_i^{ij}}^{Id}$
- 6:     **if**  $P_i < \prod_i^{\max}$  **then**
- 7:          $x_{ij}(i, j) \leftarrow 1$
- 8:     **end if**
- 9:     CC  $\leftarrow$  CheckCoverage( $x_{ij}$ ) // اگر پوشش دهی رعایت شده بود ۱ و در غیر اینصورت ۰ برمیگرداند
- 10:      $l \leftarrow l+1$
- 11: **end while**

۲-۳-۷-۳ یک الگوریتم برای کاهش هم‌پوشانی بین‌ها

الگوریتم لاگرانژ در هر مرحله با حل معادله knapsack یک مجموعه  $z_j$  و  $x_{ij}$  را تولید می‌کند.

$z_j$  مجموعه است که با در نظر گرفتن تقاضای ترافیکی به عنوان وزن های هر بین، بهترین نقشه پوشش دهی برای کل بین های شبکه را مشخص می کند. همانطور که گفتیم  $z_j$  یک متغیر باینری است که مقدار ۱ نشان دهنده لزوم پوشش دهی و صفر نشان دهنده عدم لزوم پوشش دهی بین متناظر است.

فرض کنید برای بین  $J$  داریم:  $z_j = 1$ ، یعنی الگوریتم knapsack تاکید می کند برای رعایت شرط پوشش دهی شبکه، بین  $J$  حتما می بایست به وسیله حداقل یک سلول پوشش داده شود. حالتی را در نظر بگیرید که این بین  $J$  توسط دو یا چند سلول پوشش داده می شود. به چنین حالتی همپوشانی<sup>۱</sup> دو یا چند سلول اطلاق می گردد. علاوه بر این بین هایی در شبکه نیز موجود می باشد که در آنها  $z_j = 1$  می باشد اما به وسیله یک یا چند سلول پوشش داده می شود.

ایده اصلی دومین فاز از الگوریتم ابتکاری این است که تا حد امکان همپوشانی سلول ها را کاهش داده و بین های غیرضروری را نیز از پوشش خارج کنیم. برای این منظور ما نیاز مند تعریف پارامتری برای مشخص کردن تعداد سلول های پوشش دهنده هر بین در هر مرحله هستیم.

$$x_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}, j \in J \quad (3-43)$$

توجه کنید که  $x_j$  مقادیری بین ۰ تا  $m$  دارد. هدف کلی این فاز این است که  $x_j$  تا حد امکان به  $z_j$  نزدیک گردد. بدیهی است، سلول هایی که توان بیشتری دارند، نسبت که کم کردن توان

---

<sup>۱</sup> Overlap

انعطاف‌پذیرتر هستند. بنابراین ابتدا سلول‌ها را بر اساس سطح توان به صورت نزولی مرتب کرده و

سپس روش شرح داده شده در بالا را پیاده‌سازی می‌کنیم. الگوریتم I3 شبه‌کد پیشنهادی این مرحله

را نشان می‌دهد.

الگوریتم I3. الگوریتم ابتکاری برای کاهش همپوشانی سلول‌ها

Input:  $x_{ij}, P_i^{pilot}$

Output:  $x_{ij}$

- 1:  $\bar{I} \leftarrow \text{sort}D \{P_i^{pilot}, i \in I\}$
- 2:  $P_{ib_j}^{sort} \leftarrow \text{sort}A \{P_{ij}, i \in I, j \in J, P_{ib_{j-1}}^{sort} \leq P_{ib_j}^{sort}\}$
- 3: **while**  $|\bar{I}| > 0$  **do**
- 4:      $i \leftarrow \text{head}(\bar{I})$  // انتخاب سلول با بیشترین توان پایلوت
- 5:      $l \leftarrow \text{find}(P_{ib_j}^{sort}, i)$
- 6:     **while**  $l \sim 1$  **do**
- 7:         **if**  $z_{b_j} = 1$  &  $x_l^i(l) = 1$  **then**
- 8:              $P_i^{pilot} \leftarrow P_{ib_j}^{sort}$
- 9:         **else**
- 10:              $x_{ib_j} \leftarrow 0$
- 11:              $x_{ib_j} \leftarrow x_{ib_j} - 1$
- 12:              $l \leftarrow l - 1$
- 13:         **end if**
- 14:     **end while**
- 15: **end while**





## **فصل ۴**

# **تجزیه و تحلیل داده‌ها**

## ۱-۴ مقدمه

در این بخش، نتایج محاسباتی به دست آمده برای شبکه تست ارائه شده است. این شبکه بر اساس یک سناریوی واقعی طراحی شده است. موقعیت RBS ها، ارتفاع، زاویه و تیلت آنتن ها بر اساس یک شبکه واقعی در نظر گرفته شده است. تمامی این آزمایش های بر روی یک سیستم با پردازنده Intel® core i3 - 2/13GHz & 4GB RAM اجرا گردیده است.

## ۲-۴ مشخصات شبکه تست

به منظور ارزیابی روش بهینه سازی پیشنهاد شده، ما قسمتی از شبکه مخابراتی سلولی در داخل کشور را انتخاب و نتایج را بر روی آن پیاده سازی کرده ایم. این شبکه تست شامل ۳۹ ایستگاه پایه و در مجموع ۱۱۷ سلول است. ما ناحیه جغرافیایی تحت پوشش را در مجموع به ۲۶۴۰۰ بین و هر کدام با مساحت ۳۲\*۴۰ متر تقسیم نمودیم. کل ناحیه تحت مطالعه نیز مساحتی برابر با ۳۸۶۰\*۸۸۵۰ متر دارد. مختصات هر ایستگاه پایه، ارتفاع، زاویه و تیلت آنتن های هر سلول در شبکه تست به صورت کامل در جدول ۱-۴ نمایش داده شده است. ستون اول شماره سایت، ستون دوم و سوم موقعیت هر BS درون شبکه تست طراحی شده، ستون های ۴-۶ ارتفاع آنتن مربوط سکتورهای اول تا سوم هر کدام از آنتن ها، ستون های ۷-۹ و ستون های ۱۰-۱۲ نیز به ترتیب نشان دهنده زاویه و تیلت آنتن های هر BS می باشد.

در جدول شماره (۴-۲)، پارامترهایی که برای محاسبات شبکه تست در نظر گرفته شده است،

نمایش داده شده است:

	تنظیمات اولیه پارامترها در شبکه تست
20W	توان ارسالی ماکزیمم در جهت فروسو ( $P^{\max}$ )
$1.5488 \times 10^{-14}$	توان نویز حرارتی ( $v_j$ )
0.01	مینیمم آستانه توان پایلوت CIR ( $\gamma_0$ )
2.5W	حد بالای توان پایلوت ( $\Pi_i^{\max}$ )
0	حد پایین توان پایلوت ( $\Pi_i^{\min}$ )
0.327 , 0.633 , 0.938	فاکتور تعامد ( $\alpha_j$ )

WCDMA از کدهای متعامد به منظور جداکردن اطلاعات کاربران در جهت فروسو استفاده می کند.

اگر کانال هیچ گونه انتشار چند مسیره‌ای نداشته باشد، کدهای دریافت شده در گیرنده نسبت به هم

کاملاً متعامد هستند. اما در واقعیت معمولاً سیگنال منتقل شده از کانال همواره تحت تاثیر

چندمسیره‌ای قرار می گیرد که باعث خارج شدن کدها از حالت تعامد کامل می گردد. این امر به

خاطر تاخیری است که سیگنال در مواجهه با کانال تحمل می کند و باعث می شود گیرنده بخشی از

سیگنال مطلوب خود را به عنوان تداخل دریافت کند. تعامد بی نقص به معنی  $\alpha_j = 1$  است. با این

حال در کانال های چند مسیره (نظیر کانال های شبکه سلولی تلفن همراه)  $\alpha_j$  معمولاً مقادیری بین

۰/۴ تا ۱ دارد. ما در این شبیه سازی بسته به محیط انتشار ( ناحیه شهری، حومه شهر، روستایی)

جدول (۴-۱) مشخصات سلول‌های شبکه تست

site id	bin i	bin j	sector 1	sector 2	sector 3	sector 1	sector 2	sector 3	sector 1	sector 2	sector 3
			height			Azimuth			tilt		
t1713	5	62	11.5	11.5	11.5	120	245	350	3	2	0
t3723	5	82	23	23	23	0	120	200	1	3	1
t2740	7	101	26	26	26	35	130	270	4	4	4
t0658	15	85	28	28	28	5	195	315	0	0	0
t6774	20	83	26	26	26	60	190	300	2	2	2
t1684	22	32	24	24	24	0	120	270	1	1	1
t2742	23	62	25	25	25	20	100	220	2	2	2
t1700	31	89	28	28	28	20	160	220	3	2	2
t2745	48	34	25	25	24.5	30	120	240	2	1	2
t1685	43	56	22	22	22	40	120	240	1	2	3
t2743	47	76	22	22	22	20	120	240	1	1	1
t2744	43	108	29	29	29	120	240	340	2	1	1
t2746	68	35	27	27	27	20	150	230	1	1	2
t2747	65	69	22	19	19	25	130	270	2	2	2
t1686	62	92	22	26	22	20	140	270	1	1	1
t2750	78	44	20	20	20	10	140	210	1	1	1
t3726	74	83	23	23	23	10	120	265	0	0	0
t2748	78	111	26	24	24	10	120	250	1	1	1
t2751	85	61	21	21	21	90	240	355	1	3	1
t1689	88	88	25	26	27	20	100	220	1	2	1
t1688	93	31	24.5	24.5	24.5	110	215	340	4.6	4.7	4.8
t2749	93	52	25	25	24	0	120	240	3	4	11
t1716	98	65	25	25	25	0	140	210	2	2	2
t2752	93	105	23	23	23	25	130	285	1	1	1
t3725	108	42	23	23	23	95	225	345	0	0	0
t3403	109	56	24	24	24	120	240	320	2	2	2
t3724	102	86	22	22	22	0	120	280	0	0	0
t2754	113	22	26	26	26	90	240	350	1	1	2
t1667	117	43	23	28	28	20	100	270	1	1	1
t2753	113	77	28	28	28	0	100	230	0	1	1
t1687	112	94	22	22	24	20	110	240	0	2	3
t2801	123	16	24	22	22	0	130	280	2	0	0
t2799	130	35	18	18	18	10	110	240	2	2	2
t2755	127	94	21	21	21	120	240	350	1	1	1
t3714	122	112	25	26	26	0	120	240	2	1	3
t1814	163	59	18	17	18	45	120	140	5	7	4
t1812	184	57	23	23	23	0	120	250	0.5	4.8	2
t1813	189	105	23	23	23	0	70	165	2	2	2
t2868	208	61	24.5	24.5	24.5	20	120	240	2	2	2

مقادیر  $\alpha_j$  را به ترتیب برابر با ۰/۳۲۷ ، ۰/۶۳۳ و ۰/۹۳۸ در نظر گرفته ایم [۴، ۱۳]

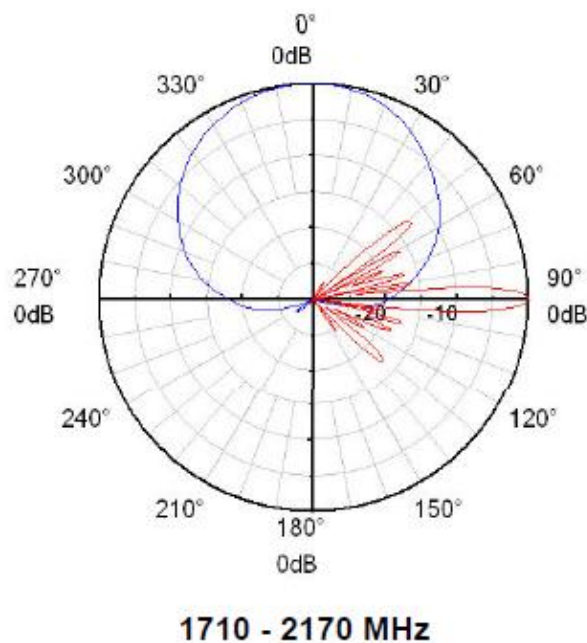
آنتن های مورد استفاده در شبکه تست مورد مطالعه مدل kathrein quarter-band و ساخت شرکت

هوای می باشد. مشخصات عمومی این مدل آنتن در جدول (۳-۴) ارائه شده است. همچنین الگوی

تشعشی این مدل آنتن در شکل (۱-۴) نشان داده شده است.

جدول (۲-۴) مشخصات آنتن ایستگاه پایه رادیویی

مشخصات آنتن	مقدار
نوع آنتن	kathrein quarter-band
فرکانس کاری	2110 MHz
بهره آنتن	18.5 dBi
پلاریزاسیون	+45°



شکل (۱-۴) دیاگرام الگوی تابشی آنتن kathrein quarter-band (آبی: افقی ، قرمز: عمودی)

## ۳-۴ تقاضای ترافیکی

همان‌طور که در فصل‌های گذشته ذکر شد، تقاضای ترافیکی در یک بین تعداد درخواست‌های کاربران فعال برای یک سرویس خاص از شبکه در آن بین تعریف می‌گردد. از طرفی می‌دانیم که تقاضای ترافیکی یک پارامتر دینامیک است از اینرو برای تحلیل از آن snapshot بر روی شبکه می‌گیریم. در شبیه‌سازی ما به دلیل عدم دسترسی به دیتای اپراتور مربوطه، مقادیر تقاضای ترافیکی به صورت دستی و بر اساس تراکم جمعیت از نظر پوشش شهری در نظر گرفته شد. جدول ۳-۴ این مقادیر انتخاب شده را نشان می‌دهد. این مقادیر در بازه‌های نشان داده شده به صورت تصادفی و بر اساس نوع پوشش دهی جمعیت شهری انتخاب گردیده است.

جدول (۳-۴) مقادیر در نظر گرفته شده برای تقاضای ترافیکی در شبکه تست

۹-۷	۷-۴	۴-۱	مقدار تقاضای ترافیکی
مناطق شهری	مناطق حومه شهر	مناطق روستایی	نوع تراکم منطقه

## ۴-۴ نتایج عددی

بهره‌های توان، مقادیری پیش بینی شده برای پیکربندی یک شبکه خاص دارند [22]. این مقادیر از طریق بررسی انتشار امواج ساطع شده از آنتن هر سلول بر روی شبکه ای از بین‌ها اندازه‌گیری گردیده است. در شبیه‌سازی انجام گرفته ما مولفه‌های موثر در انتشار موج را ناشی از اثر افت مسیر

فضای آزاد و اثر محو شونده‌گی سایه ای را در نظر گرفته ایم. اثر محو شونده‌گی سایه ای به وسیله یک

توزیع log-normal با میانگین صفر و انحراف معیار استاندارد 8dB مدل شده است [۲۸].

ما نتایج به دست آمده از الگوریتم آزاد سازی لاگرانژ که در بخش ۳-۵-۴ مورد بررسی قرار گرفت را

مورد آزمایش قرار داده و با نتایج به دست آمده از روش توان یکنواخت مقایسه نموده ایم. برای شبکه

تست، زمان محاسباتی برای الگوریتم آزاد سازی لاگرانژ بین ۵-۱۵ دقیقه و بر اساس سطح پوشش

دهی مورد نیاز است. بر اساس بزرگی شبکه و همچنین تحقیقات صورت گرفته پیشین چنین زمانی

معقول به نظر می رسد.

جدول ۴-۴ و ۴-۵ دو مجموعه از جواب های به دست آمده به ازای سطوح مختلف پوشش دهی را

نشان می دهد. جواب های به دست آمده در جدول ۴-۴ از راه حل توان پایلوت یکنواخت و در جدول

۴-۵ با استفاده از روش های ابتکاری در الگوریتم آزاد سازی لاگرانژ محاسبه شده است. در این جداول

منظور از بین های فعال، بین هایی است که لااقل به وسیله یک سلول پوشش داده شده است.

همچنین شکل (۴-۱) مقدار تغییرات مقدار مجموع توان پایلوت برای هر دو روش توان یکنواخت و

روش پیشنهاد شده بر مبنای الگوریتم آزاد سازی لاگرانژ را به ازای مقادیر مختلف سطوح پوشش دهی

نشان می دهد.

سطوح پوشش دهی ترافیکی	توان پایلوت بر حسب W				
	مجموع	میانگین توان اختصاص یافته به هر سلول	بین های فعال	بین های پوشش داده شده با یک سلول	همپوشانی
۱,۰۰	۳۱۰,۳۷۷۶	۲,۶۵۲۸	۲۶۳۸۹	٪۱۷,۸	٪۸۴
۰,۹۹	۲۴۶,۴۹۵۶	۲,۱۰۶۸	۲۶۳۷۰	٪۱۹,۴	٪۸۰,۱
۰,۹۸	۲۲۲,۷۶۸	۱,۹۰۴	۲۶۱۲۱	٪۲۰,۸	٪۷۷,۹
۰,۹۷	۲۱۱,۲۳۱۸	۱,۸۰۵۴	۲۵۶۷۹	٪۲۳,۳	٪۷۵,۶
۰,۹۶	۲۰۰,۹۳۵۸	۱,۷۱۷۴	۲۵۰۹۱	٪۲۳,۹	٪۷۲,۱
۰,۹۵	۱۹۸,۴۲۰۳	۱,۶۹۵۹	۲۵۰۷۳	٪۲۴,۴	٪۷۱,۴

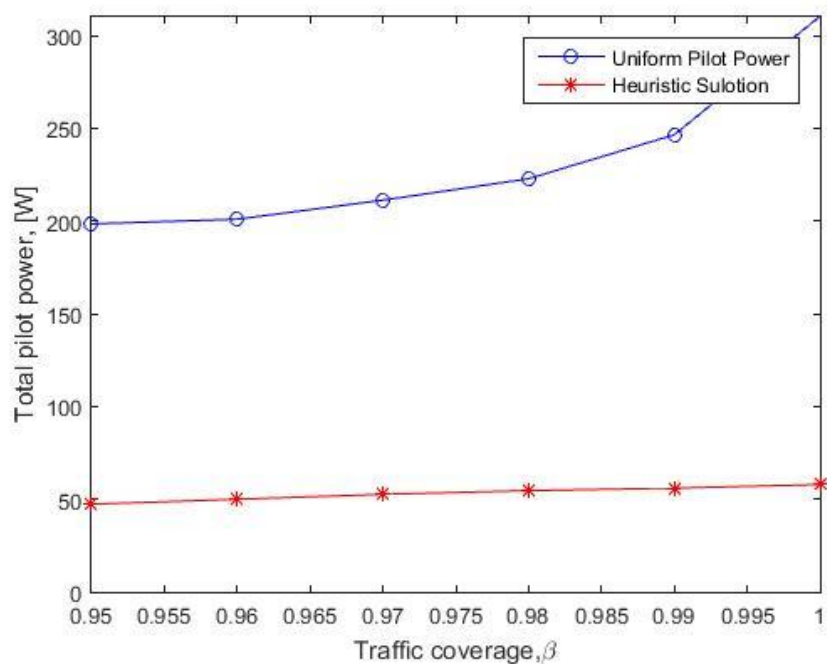
جدول (۴-۴) نتایج عددی برای مقادیر مختلف سطوح توان در روش تخصیص یکنواخت توان پایلوت

سطوح پوشش دهی ترافیکی $\beta$	توان پایلوت بر حسب W				
	مجموع	میانگین توان اختصاص یافته به هر سلول	بین های فعال	بین های پوشش داده شده با یک سلول	همپوشانی
۱,۰۰	۵۷,۹۰	۰,۴۹	۲۶۳۹۹	٪۲۱,۴	٪۷۸,۵
۰,۹۹	۵۵,۹۴	۰,۴۷	۲۶۲۱۳	٪۲۳,۹	٪۷۵,۴۹
۰,۹۸	۵۴,۰۶	۰,۴۶	۲۶۰۲۵	٪۲۴,۹	٪۷۴
۰,۹۷	۵۲,۶۲	۰,۴۴	۲۵۸۳۴	٪۲۵,۲	٪۷۲,۹
۰,۹۶	۴۹,۹۴	۰,۴۲	۲۵۶۱۶	٪۲۸,۱	٪۶۹,۷
۰,۹۵	۴۷,۲۸	۰,۳۶	۲۵۳۶۷	٪۲۹,۹	٪۶۷,۳

جدول (۵-۴) نتایج عددی برای مقادیر مختلف سطوح توان در روش آزاد سازی لاگرانژ

هم چنین مقدار مینیمم و ماکزیمم تخصیص یافته به توان پایلوت سلول های شبکه در جدول (۴-۶) آورده شده است.





شکل (۲-۴) مجموع توان پایلوت محاسبه شده به دو روش تخصیص یکنواخت و الگوریتم ابتکاری

جدول (۴-۶) حداقل و حداکثر توان پایلوت سلول ها در شبکه بهینه شده با استفاده از روش ابتکاری

سطوح پوشش دهی ترافیکی	حداقل توان تخصیص یافته به سلول ها	حداکثر توان تخصیص یافته به سلول ها
۱,۰۰	۰	۲,۵۹
۰,۹۹	۰	۲,۷۴
۰,۹۸	۰	۲,۴۰
۰,۹۷	۰	۲,۳۱
۰,۹۶	۰	۲,۵۸
۰,۹۵	۰	۲,۵۸

## ۴-۵ جمع بندی

همانگونه که از جداول ۴-۴ و ۴-۵ پیداست، به ازای یک سطح پوشش دهی مشخص، روش پیشنهادی مصرف توان بسیار کمتری در مقایسه با روش توان یکنواخت دارد. به طور مثال در پوشش دهی ۹۵٪، توان مصرفی کل شبکه تست برابر با ۱۹۸,۴۲ وات است که این عدد در روش بهبود یافته پیشنهادی به ۴۷,۲۸ وات میرسد؛ یعنی نسبت به حالت یکنواخت چیزی در حدود ۷۶٪ در مصرف توان صرفه جویی می‌گردد. ذکر این نکته نیز ضروری است که در حال حاضر اپراتور های کشور از روش تخصیص توان یکنواخت برای شبکه های خود استفاده می نمایند. بر اساس دیتا بیس موجود از اپراتور mtn irancell ، توان تخصیص یافته به هر سلول برابر با 33dbm یعنی چیزی در حدود ۱,۹ وات است که با نتایج به دست آمده ما مطابقت دارد.

## ۴-۶ پیشنهاد برای ادامه کار در آینده

فاکتور دیگری که برای مصالحه بین پوشش دهی و مصرف توان حائز اهمیت است، soft handover یا به اختصار SHO نرم نام دارد. در SHO نرم یک پایانه موبایل در مرز های سلول، نیاز مند سطح همپوشانی مشخصی می باشد تا در مواقع جابجا شدن از سلولی به سلول دیگر، به طور همزمان به دو یا چند سلول متصل شده و فرایند دست به دست شدن به آرامی بین سلول مبدا و مقصد انجام گیرد. در واقع این سطح همپوشانی اضافی از یک طرف موجب مصرف توان پایلوت اضافی در شبکه می گردد و از سمت دیگر قطع نشدن مکالمه در حین جابجایی بین سلول ها را تضمین می دهد.

## منابع و مراجع

1. Goldsmith, A., *Wireless communications*. 2005: Cambridge university press.
2. Chen, L., *Performance Engineering of Mobile Broadband: Capacity Analysis, Cellular Network Optimization, and Design of In-Building Solutions*. 2013, Linköping University Electronic Press.
3. Mishra, A.R., *Fundamentals of cellular network planning and optimisation: 2G/2.5 G/3G... evolution to 4G*. 2004: John Wiley & Sons.
4. Holma, H. and A. Toskala, *WCDMA for UMTS: Radio access for third generation mobile communications*. 2005: John Wiley & Sons.
5. Octora, R. *Optimization technique and analysis in HSPA+ network*. in *Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA), 9th International Conference on*. 2015. IEEE.
6. Charoenlap, S. and P. Uthansakul. *Prediction of interference areas for 3G network based on drive test and throughput data*. in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 13th International Conference on*. 2016. IEEE.
7. Ying, W., et al. *Performance of RSCP-triggered and Ec/No-triggered inter-frequency handover criteria for UTRA*. in *Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2002. IEEE 55th*.
8. Laiho, J., A. Wacker, and T. Novosad, *Radio network planning and optimisation for UMTS*. 2006: John Wiley & Sons.
9. Lempiäinen, J. and M. Manninen, *Radio interface system planning for GSM/GPRS/UMTS*. 2007: Springer Science & Business Media.
10. Lempiäinen, J. and M. Manninen, *UMTS radio network planning, optimization and QoS management*. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, 2003.
11. Niemelä, J., *Aspects of radio network topology planning in cellular WCDMA*. 2006: Tampere University of Technology.
12. Chen, Y.H., C.L. Chu, and W.J. Lyu. *KPI signal analysis of the custom behavior in Kenting Spring Scream festival hot zone*. in *Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), 2014 Fourth International Conference*.
13. Siomina, I. and D. Yuan. *Optimization of pilot power for load balancing in WCDMA networks*. in *Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM'04. IEEE*.
14. Mfula, H., T. Isotalo, and J.K. Nurminen. *Self-optimization of power parameters in WCDMA networks*. in *High Performance Computing & Simulation (HPCS), 2015 International Conference*.
15. Eisenblätter, A., et al., *Optimisation Methods for UMTS Radio Network Planning*, in *Operations Research Proceedings* . 2004, Springer. p. 31-38.
16. Holma, H. and A. Toskala, *HSDPA/HSUPA for UMTS: high speed radio access for mobile communications*. 2007: John Wiley & Sons.
17. Parsons, J.D. and P.J.D. Parsons, *The mobile radio propagation channel*. 1992.
18. Erceg, V., et al., *An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments*. *IEEE Journal on selected areas in communications*, 1999. **17**(7): p. 1205-1211.
19. Ghassemzadeh, S., et al. *UWB indoor path loss model for residential and commercial buildings*. in *Vehicular Technology Conference, VTC 2003-Fall*.
20. Siomina, I. and D. Yuan. *Pilot power management in WCDMA networks: coverage control with respect to traffic distribution*. in *Proceedings of the 7th*

- ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. 2004. ACM.
21. Chitrapu, P., *Wideband TDD: WCDMA for the Unpaired Spectrum*. 2005: John Wiley & Sons.
  22. Siomina, I. and D. Yuan, *Optimization of pilot power for service coverage and smooth handover in WCDMA networks*, in *Mobile and Wireless Communication Networks*. 2005, Springer. p. 191-202.
  23. Kiremire, A.R., *The application of the Pareto principle in software engineering*. Consulted January, 2011. **13**: p. 2016.
  24. Eisenblätter, A., et al., *Modelling feasible network configurations for UMTS*, in *Telecommunications Network Design and Management*. 2003, Springer. p. 1-23.
  25. Korte, B., et al., *Combinatorial optimization*. Vol. 2. 2012: Springer.
  26. Wolsey, L.A., *Integer programming*. Vol. 42. 1998: Wiley New York.
  27. Ahuja, R.K., T.L. Magnanti, and J.B. Orlin, *Network flows: theory, algorithms, and applications*. 1993.
  28. Winter, T., et al., *Advanced simulation approach for integrated static and short-term dynamic UMTS performance evaluation*. Project report D2. 7, 2003: p. 2000-2008.

**Abstract:**

In this thesis, our aim was to investigate the methods of pilot power optimization in communication cellular networks. The result is reducing in power consumption, that is one of the most important parameters of a radio system. We consider the problem of minimizing the total amount of pilot power subject to coverage constraint. This trade off apply in every cells and reduces total amount of pilot power consumption.

Our goal is to design iterative algorithm for pilot power optimization subject to various coverage constraint levels, which allows us to generate a near optimal solution. Furthermore, to evaluate proposed methods, we used a test network originating from a planning scenario. Hence, we use an algorithm based on two main parts, one of which is aimed to solve a relaxed problem. In the second part, we adjust the current solution of the relaxed problem to a feasible solution that satisfies all the constraints of the enhanced model. The first part, which gives us a lower bound, is to be solved iteratively, within a chosen number of steps, independently on the second part, using a standard subgradient method. In every iteration, we solved a binary knapsack problem that indicates the areas that must be covered to guarantee a given degree of traffic coverage. We also compute a step size which specifies how far we move in a subgradient direction and then update the Lagrange multipliers.

The numerical results demonstrate that the proposed method can give a reduction of up to 76% in the optimal pilot power levels compared to common pilot power assignment methods.

**Keyword:** Cellular network, network coverage, network capacity, traffic demand, pilot power control, Lagrange relaxation optimization algorithm



**Faculty of Electrical and Robotics Engineering**  
**M.Sc. Thesis in communication systems engineering**

**Analyze and simulation of cellular network optimization methods**

**By:**  
Behzad Bayat

**Supervisor:**  
Dr. Omid Reza ma'rouzi

**February 2017**