# بررسی اثر تغییر تیلت آنتن بر روی عملکرد شبکه رادیویی UMTS

محسن الیاسی
دانشگاه آزاد اسلامی- نجف آباد، elyasha@yahoo.com

## چکیده

**در این مقاله عملکرد شبکه رادیویی UMTS در اثر تغییر تیلت آنتن ایستگاه‌های پایه بررسی می‌گردد. ابتدا روش طراحی رادیویی شبکه‌های مبتنی بر WCDMA شرح داده می‌شود و مفاهیم بعدبندی و طراحی تفصیلی بیان می‌گردد. سپس ارتباط بین تغیر تیلت آنتن بر روی پوشش رادیویی، ظرفیت شبکه و تداخل فرکانسی بررسی شده و مقدار تیلت بهینه جهت دستیابی به یک شبکه بهینه رادیویی بدست می‌آید. تمامی نتایج برای سرویس‌های مختلف با نرخ بیت‌های ۸، ۶۴ و ۱۴۴ Kbps بررسی می‌شود.**

## واژه‌های کلیدی

## ۱– مقدمه

بهره‌برداری از شبکه‌های ارتباطات سیار باعث تحول شگرفی در زمینه ارتباطات گردید و ورود اولین سیستم استاندارد و دیجیتال موبایل موسوم به نسل دوم (2G )[۱] باعث ارسال گسترده ارتباطات برروی محیط‌های بی‌سیم گردید. شبکه‌های سلولی نسل دوم، سرویس‌های جدید و متنوعی را به مشترکین عرضه داشت که در سیستم‌های ارتباطی قبلی موجود نبود. سیستم UMTS [2] که استاندارد اروپایی شبکه‌های نسل سوم موبایل (3G) [۳] می‌باشد با ارائه دیتا با نرخ متغیر برروی مسیر رادیویی، مشکل سیستم‌های نسل دوم در ارائه دیتا با سرعت بالا را حل کرد وباعث شد که مشترکین بتوانند طیف وسیعی از سرویس‌های صوت و دیتا را برروی یک مسیر رادیویی و با یک فن‌آوری پیشرفته بنام WCDMA [4] انتقال دهند. نرخ متغیر دیتا و تنوع ترافیکی قابل انتقال برروی مسیر رادیویی (رابط هوایی) باعث افزایش تقاضا و بالا رفتن چگالی شبکه‌ها گردید و چالش‌های جدیدی در زمینه طراحی و بهینه‌سازی رادیویی پدیدار گشت. در خلال توسعه و گسترش شبکه‌های سلولی بیشترین پیشرفت در زمینه طراحی و بهینه‌سازی شبکه رادیویی صورت گرفت تا با توجه به شرایط خاص محیط‌های رادیویی و تحرک مشترکین، بهترین استفاده از منابع شبکه صورت گیرد.

در مرجع [۱] استانداردهای نسل سوم به‌صورت کامل آورده شده و در مرجع [۲] مفاهیم شبکه UMTS و روش طراحی و بهینه‌سازی رادیویی WCDMA بیان شده و در مرجع [۳] جنبه‌های مختلف بهینه‌سازی رادیویی بررسی شده و اثر تیلت آنتن‌ها برروی عملکرد شبکه رادیویی با دیگر روش‌ها مقایسه شده است و در مرجع [۴] کاهش عملکرد شبکه رادیویی ناشی از خطای بین طراحی و نصب واقعی تجهیزات آنتن‌ها بیان شده است .

در بخش ۲ روش طراحی رادیویی مبتنی بر WCDMA توضیح داده می‌شود که شامل بعدبندی شبکه[۵] و طراحی تفصیلی[۶] می‌باشد. در بخش ۳ اثر تیلت آنتن‌ها روی عملکرد شبکه رادیویی و در راستای بهبود ظرفیت[۷] و پوشش[۸] و کاهش تداخل بررسی می‌گردد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی جهت دستیابی به بهترین شرایط شرح داده می‌شود و در نهایت در ۴، نتایج شبیه‌سازی بیان می‌گردد.

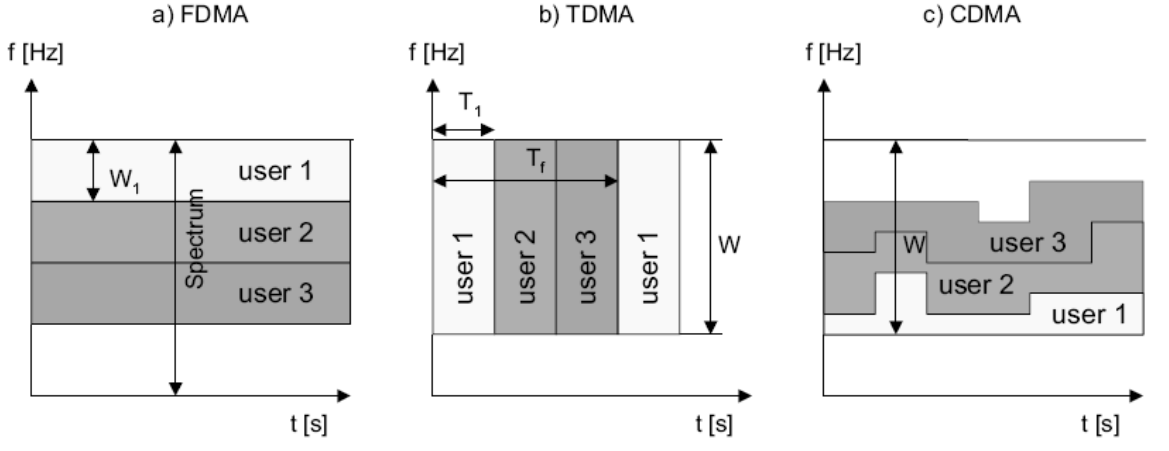
## ۲– طراحی رادیویی WCDMA

در این فصل روش طراحی شبکه رادیویی WCDMA و فرآیندهای مربوطه و ارتباط بین مراحل مختلف شرح داده می‌شود.

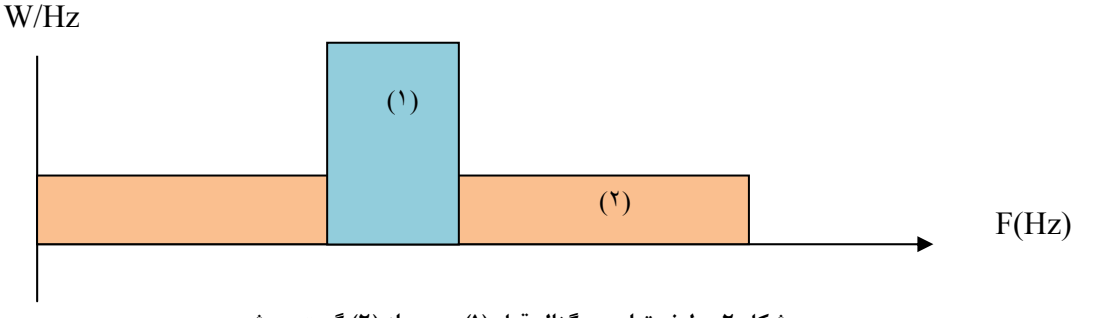
## ۲–۱– دسترسی چندگانه

در یک شبکه رادیویی سلولی، یک سلول به منزله یک سیستم ارتباطی با تعدادی مشترک محدود می‌باشد که مشترکین برای دریافت و ارسال اطلاعات مورد نظرشان، منابع سلول را به اشتراک می‌گذارند. منابع یک سلول همان طیف فرکانسی مورد استفاده در سلول می‌باشد و مطابق شکل (۱) روش‌های متفاوتی مانند TDMA[۹]، FDMA[۱۰] و CDMA جهت دسترسی به این طیف فرکانسی وجود دارد، به‌صورتی که مشترکین بتوانند از یک کانال مشترک اطلاعات خود را ارسال و دریافت نمایند.

در شبکه‌های UMTS از سیگنال‌های طیف گسترده و فن‌آوری WCDMA جهت شبکه دسترسی رادیویی استفاده شده است و تعداد زیادی از مشترکین، یک کانال رادیویی را به اشتراک می‌گذارند. در این روش هر مشترک با یک دنباله کد یکتا معین می‌شود و با این کدهای یکتا، اطلاعات مشترکین مختلف برروی یک کانال مشترک گسترده شده و یک سیگنال طیف گسترده با اطلاعات زیاد تهیه و ارسال می‌گردد و در سمت دیگر با استفاده از همین کدهای یکتا، سیگنال گسترده شده بازیابی می‌شود. ایده نهفته در پس سیستم‌های طیف گسترده به این صورت است که برای انتقال یک سیگنال اطلاعاتی با پهنای باند $B_S$، این سیگنال تبدیل به یک سیگنال نویزی شکل با طیف وسیعتری نظیر $B_{SS}$ می‌شود. این روش بخاطر اینکه پهنای باند بکار رفته برای ارسال اطلاعات خیلی بیشتر از حداقل پهنای باند لازم جهت ارسال اطلاعات است به‌عنوان تکنیک طیف گسترده نامیده می‌شود. این مسأله در شکل زیر نشان داده شده است:




**شکل ۱– روش‌های متفاوت دسترسی چندگانه**




**شکل ۲– طیف توان سیگنال قبل (۱) و بعد از (۲) گسترده شدن**

اگر فرض کنیم توان سیگنال قبل از گسترده شدن با بعد از گسترده شدن یکسان باشد، در این‌صورت چگالی طیف توان سیگنال بعد از گسترده شدن، برابر $P_{SS} = P_S(B_{SS}/B_S)$ خواهد بود که در آن $P_S$ چگالی طیف توان قبل از گسترده شدن است. نسبت $B_{SS}/B_S$ بهره پردازش[۱۱] نامیده شده و مقدار آن به‌طور معمول بین ۱۰ تا ۳۰dB می‌باشد.

## ۲-۲- روش طراحی

مطابق با شکل (۳) فرآیند طراحی شامل سه فاز مرتبط با هم می‌باشد که عبارتند از:

۱. طراحی اولیه یا بعدبندی
۲. طراحی تفصیلی
۳. بهینه‌سازی

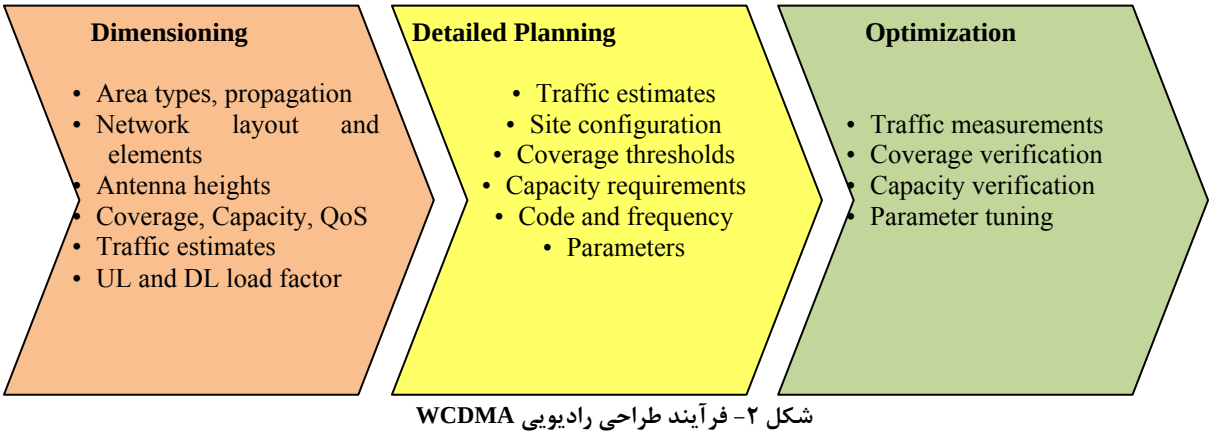
یک تفاوت اساسی بین طراحی نسل دوم و نسل سوم شبکه‌های ارتباطات سیار در نوع رابط هوایی مورد استفاده می‌باشد. در WCDMAتمام مشترکین از یک فرکانس واحد برای ارتباط رادیویی استفاده می‌کنند و بالطبع تعداد مشترکین اثر مستقیم برروی عملکرد شبکه رادیویی دارد و هرچه تعداد مشترکین بیشتر شود میزان تداخل در گیرندها افزایش می‌یابد. بنابراین برخلاف نسل دوم که فازهای طراحی رادیویی شامل دو بخش طراحی پوشش شبکه و طراحی ظرفیت شبکه بوده و به‌صورت جداگانه طراحی می‌گردید در WCDMA طراحی این دو بخش همزمان و با یک رابطه تنگاتنگ صورت می‌گیرد.

در طراحی رادیویی شبکه UMTS برخلاف نسل دوم، به‌دلیل تنوع سرویس‌های ارائه شده بحث کیفیت سرویس بسیار مورد توجه می‌باشد و برای هر سرویس یک شاخص کیفی یا QoS جداگانه تعریف می‌شود که شرایط آن باید در پایان طراحی برآورده گردد و این به آن معناست که در شبکه UMTS میزان سرویس‌ها و تنوع آنها نقشی تعیین‌کننده در چگالی و یا میزان ظرفیت سایت‌های شبکه دارد.

همانند نسل دوم بحث تخمین پوشش در هر دو مسیر UL[۱۲] و DL[۱۳] مورد محاسبه قرار می‌گیرد، با این تفاوت که در WCDMA مسیرهای UL و DL بالانس نبوده و معمولاً حجم ترافیک برروی یکی از مسیرها بیشتر می‌باشد و همین مسأله باعث ایجاد محدودیت در پوشش و یا ظرفیت شبکه می‌گردد.

## ۲-۳- بعدبندی شبکه (طراحی اولیه)

بعدبندی شبکه در واقع یک ارزیابی سریع و آسان از میزان عناصر مورد نیاز در قسمت‌های شبکه دسترسی رادیویی را در اختیار قرار می‌دهد که شامل تخمین چگالی ساختار سایت‌ها در یک منطقه مورد نظر می‌باشد. مراحل مهم طراحی اولیه شامل محاسبه بودجه لینک و آنالیز پوشش، ارزیابی ظرفیت و در پایان تخمین میزان سایت‌ها و سخت‌افزار مورد نیاز می‌باشد.




**شکل ۲- فرآیند طراحی رادیویی WCDMA**

به‌منظور تخمین حداکثر محدوده پوشش سلول در یک شبکه سلولی WCDMA از محاسبات بودجه لینک استفاده می‌گردد که خروجی آن میزان حداکثر افت مجاز مسیر انتشار می‌باشد که بالطبع رابطه مستقیم با حداکثر محدوده‌ی پوشش یک سلول دارد. در محاسبه بودجه لینک WCDMA پارامترهای زیادی مانند بهره آنتن، بهره دایورسیتی، حاشیه محو شدگی، حاشیه افت تداخل، حاشیه محوشدگی سریع، افزایش توان فرستنده و بهره HO نرم مورد توجه قرار می‌گیرد.

پس از محاسبه حداکثر افت انتشار مجاز، به‌راحتی می‌توان محدوده پوشش یک سلول را تخمین زد. این کار با استفاده از مدل‌های انتشار موجود امکان‌پذیر است و انتخاب نوع مدل انتشار بستگی به عواملی چون محیط انتشار، فرکانس حامل، فاصله MS تا BS و ارتفاع MS و ارتفاع آنتن دارد. مثلاً برای یک محیط شهری و ماکروسلولی با فرکانس MHZ ۱۹۵۰ و ارتفاع آنتن ۲۵ متر و ارتفاع MS حدود ۱/۵ متر طبق معادلi زیر، برای حداکثر افت انتشار مجاز $L_p$ داریم:

$$L_P = 138.5 + 35.7 \cdot \log_{10}(r) \quad (۱)$$

که r، حداکثر محدوده شعاع پوشش یک سلول می‌باشد و از روی آن می‌توان برای یک ساختار سلولی و یا شش ضلعی با تقریب بسیار خوبی جهت محاسبه مساحت پوشش یک سلول استفاده نمود.

$$S = K \cdot r^2 \quad (۲)$$

که S منطقه پوشش و k یک ثابت است که بستگی به تعداد سکتورهای یک سایت دارد.

پس از تخمین حداکثر میزان پوشش یک سایت، باید ساختار سخت‌افزاری و منابع لازم از لحاظ تعداد کانال، سکتور و محدوده‌ی پوشش هر سلول به‌صورتی انتخابی گردد تا نیازمندی‌های ترافیکی شبکه را از لحاظ سرویس‌ها و تعداد مشترکین برآورده سازد. در WDCMA محدوده‌ی پوشش هر سلول ارتباط مستقیم با تعداد مشترکین آن سلول دارد و بنابراین دو مسأله پوشش و ظرفیت کاملاً وابسته‌اند.

## ۲-۴- طراحی تفصیلی

طراحی اولیه یک برآورد تقریبی در مورد تعداد سایت‌ها و محدوده پوشش هر سلول و در سایه یک سری فرایض اولیه بدست می‌دهد و بسیاری از پارامترها به‌صورت میانگین و یا با مقدار اولیه خاص وارد محاسبات شده‌اند. در عمل پارامترهایی همچون موقعیت دقیق مشترک و مشخصات سرویس مورد استفاده وجود دارند که در طراحی اولیه به‌صورت خیلی ساده درنظرگرفته شده‌اند و اثر بسزایی در مسأله پوشش و ظرفیت دارند. بنابراین لازم است به‌منظور تکمیل طراحی، محاسبات دقیق‌تری با الگوریتم‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی صورت گیرد.

در تمام روش‌ها و ابزارهای شبیه‌سازی فاز طراحی تفصیلی به سه قسمت مقدار دهی اولیه، محاسبات مسیر UL و DL و آنالیز نهایی تقسیم می‌گردد. برای هر منطقه جغرافیایی تحت طراحی، یک نقشه دیجیتال با اطلاعات توپوگرافی، ارتفاعات و ساختمان‌ها جهت محاسبه دقیق افت مسیر مورد نیاز است. در ضمن نحوه توزیع مشترکین برروی نقشه با توجه به ساختار منطقه جغرافیایی و با استفاده از روش‌های آماری معین می‌شود. نقشه دیجیتال و اطلاعات توزیع مشترکین، به‌عنوان مهم ترین ورودی‌های ابزار شبیه‌سازی هستند.

در این مقاله فقط محاسبات در مسیر UL مورد توجه می‌باشد. در محاسبات مربوط به مسیر UL از روش تکرار محاسبات و در جهت همگرایی نتایج استفاده می‌شود. هدف از محاسبات، اختصاص بهینه توان ارسالی به مشترکین (MS ها) به‌صورتی می‌باشد که سطح سیگنال نویز و تداخل دریافتی درگیرنده‌ها (BS ها) در حد قابل قبولی باشد. هرچه بر تعداد MSها افزوده گردد، سطح تداخل در BS بیشتر می‌شود که در صورت افزایش بیش از حد مجاز، در طی محاسبات تعدادی از MSها از سرویس BS خارج می‌شوند ویا به BS دیگری منتقل می‌شوند. در پایان تعداد نهایی MSها ظرفیت شبکه را بدست می‌دهد و درصد نقاطی از نقشه که سطح سیگنال دریافتی در حد قابل قبول است پوشش شبکه را نشان می‌دهد.

حاشیه تداخل در واقع حداکثر میزان تداخلی است که گیرنده قابلیت جداسازی سیگنال اصلی از سیگنال‌های تداخلی را داراست و رابطه مستقیمی با بارسلول مورد نظر دارد. هرچه بار سلول و در واقع تعداد مشترکین و یا سرویس‌های آنها اضافه گردد، این حداکثر سطح تداخل باید بیشتر درنظر گرفته شود که بالطبع باعث کاهش محدوده پوشش سلول می‌گردد. این سطح تداخل به‌عنوان ورودی پروسه طراحی می‌باشد. در واقع با افزایش تعداد MSها بار BS افزایش می‌یابد. محاسبه بار سلول به روش زیر می‌باشد:

توان سیگنال دریافتی مسیر UL در $BS_n$ از سمت $MS_k$ باید در معادله اساسی WCDMA صدق کند:

$$\frac{W}{R_k}\cdot\left(\frac{P_k}{I_{kown}-P_k+I_{oth}+N}\right)=\frac{W}{R_k}\cdot\left(\frac{P_k}{I_{kown}-P_k+i\cdot I_{kown}+N}\right)\geq \rho_k, k=1....k_n \quad (۳)$$

در این معادله فرض می‌کنیم که $I_{oth}$ با ضریب ثابت i متناسب با $I_{own}$ می‌باشد.

$I_{oth}$ توان دریافتی از MSهای متصل به بقیه BSهاست که بیانگر تداخل برون سلولی می‌باشد و $I_{own}$ توان دریافتی از MSهای متصل به $BS_n$ است که بیانگر تداخل درون سلولی می‌باشد، $R_k$ نرخ بیت $MS_K$، $\rho_K$ میزان $E_b/N_\circ$ موردنیاز سرویس مشترک، $P_k$ توان دریافتی از $MS_k$، $W_k$ نرخ چیپ WCDMA، $k_n$ شماره MS متصل به $BS_k$ و $N$ توان نویز برای یک سلول خالی از مشترک می‌باشد.

برای بدست آوردن کل توان دریافتی در $BS_n$، معادله ۳ را برحسب $P_k$ و برای تمام MS ها به‌صورت معادله زیر داریم:

$$\sum_{k=1}^{k_n} P_k\cdot(1+i)=\frac{N\cdot\left[\sum_{k=1}^{K_n}\frac{1}{1+\frac{W}{\rho_k+R_k}}\cdot(1+i)\right]}{1+\left[\sum_{k=1}^{K_n}\frac{1}{1+\frac{W}{\rho_k+R_k}}\cdot(1+i)\right]} \quad (۴)$$

می‌توانیم بارسلول در مسیر UL را به‌صورت زیر تعریف کنیم:

$$\eta_{UL}=\sum_{k=1}^{K_n}\frac{1}{1+\frac{W}{\rho_k+R_k}}\cdot(1+i) \quad (۵)$$

$$I_{own} = \sum_{k=1}^{K_n} p_k \qquad (۶)$$

$$I_{own} + I_{oth} = \sum_{k} P_k.(1+i) = \frac{\eta}{\eta+1}.N \qquad (۷)$$

$$P_k = \frac{N}{(1+\frac{W}{\rho_k.R_k}).(1-\eta)} \qquad (۸)$$

که طبق معادله ۸ $\eta$ باید کوچکتر از ۱ باشد.

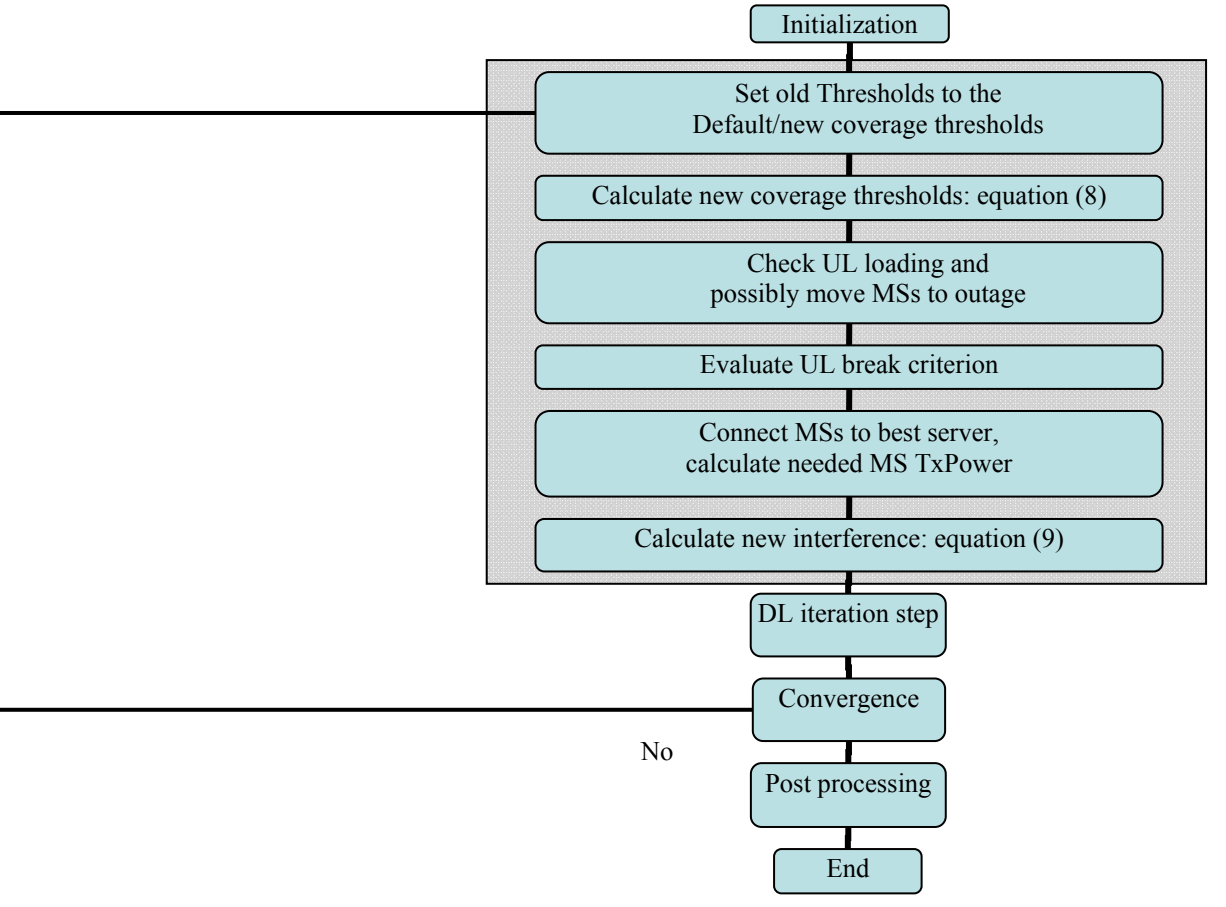
از معادله ۷ می توان $\eta$ را از روی مقادیر تداخل بدست آورد:

$$\eta = \frac{I_{own} + I_{oth}}{I_{own} + I_{oth} + N} \qquad (۹)$$

در محاسبات مربوط به مسیر UL از روش تکرار محاسبات و در جهت همگرایی نتایج استفاده می شود و دو معادلـه ۸ و ۹ معـادلات اصلی روش تکرار می‌باشند. تیلت آنتن اثـر مـستقیم روی تـداخل و بـالطبع روی بـار سـلول دارد. الگـوریتم روش تکـرار در مـسیر UL به‌صورت زیر می‌باشد [۲] .

## ۳- استفاده بهینه از تیلت آنتن

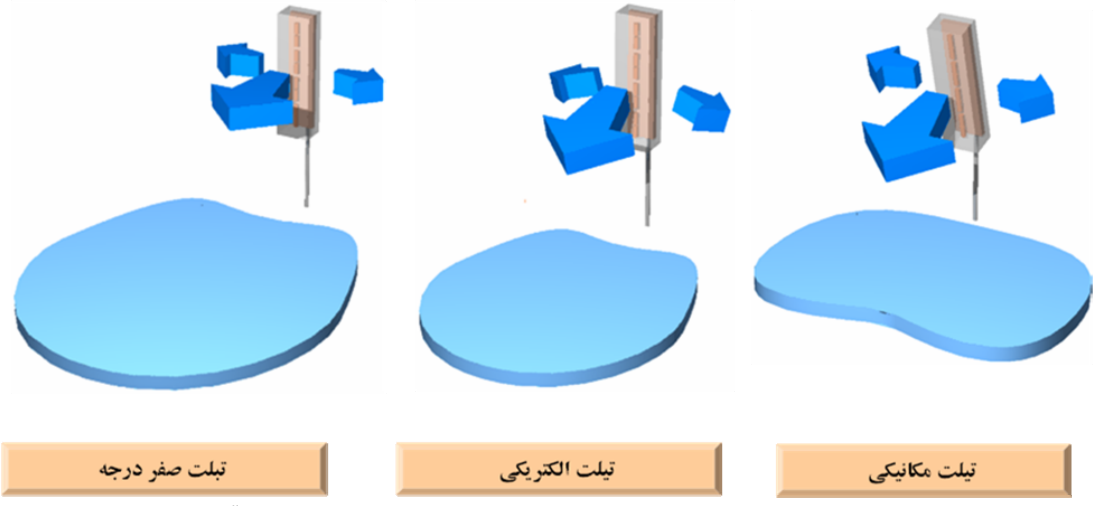
یکی از روش‌های بهینه‌سازی شـبکه رادیـویی سـلولی، اسـتفاده بهینه از تیلت آنتن‌ها است.در مرجع[۲] ارتبـاط بـین تیلـت آنـتن و محاسبات روش تکرار آورده شده اسـت. تیلـت آنـتن یـک راه مـؤثر جهت هدایت توان انتشار یافته از آنـتن بـه یـک محـدوده خـاص از سلول می‌باشد. تیلت دادن بـه دو صـورت تیلـت الکتریکـی و تیلـت مکانیکی انجام می‌شود. تیلت مکانیکی با تنظیم فیزیکی زاویه آنـتن نسبت به راستای قائم وتیلت الکنریکی بـا تغییـر اخـتلاف فـاز بـین آرایه‌های آنتن انجام می‌شود که در هر دو صورت پترن آنـتن تغییـر می‌کند.




**شکل ۴- الگوریتم روش تکرار در مسیر Ul**

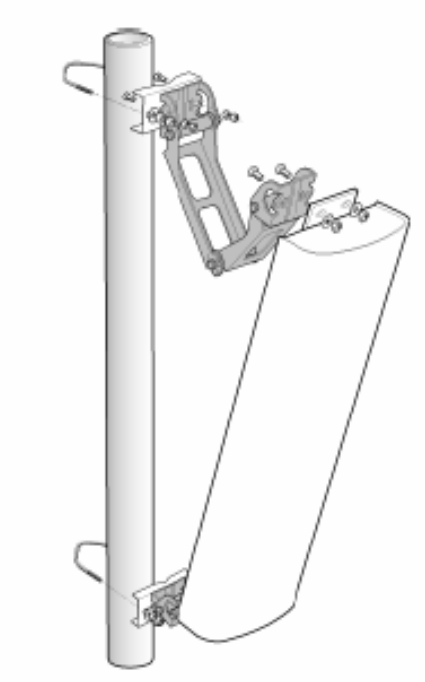
## ۳– استفاده بهینه از تیلت آنتن

یکی از روش‌های بهینه‌سازی شبکه رادیویی سلولی، استفاده بهینه از تیلت آنتن‌ها است.در مرجع[۲] ارتباط بین تیلت آنتن و محاسبات روش تکرار آورده شده است. تیلت آنتن یک راه مؤثر جهت هدایت توان انتشار یافته از آنتن به یک محدوده خاص از سلول می‌باشد.تیلت دادن به دو صورت تیلت الکتریکی و تیلت مکانیکی انجام می‌شود. تیلت مکانیکی با تنظیم فیزیکی زاویه آنتن نسبت به راستای قائم وتیلت الکنریکی با تغییر اختلاف فاز بین آرایه‌های آنتن انجام می‌شود که در هر دو صورت پترن آنتن تغییر می‌کند.




شکل ۳- اثر تیلت الکتریکی و مکانیکی روی منطقه پوشش آنتن

در شکل زیر روش تنظیم تیلت مکانیکی نشان داده شده است.



**شکل ۴- تنظیم تیلت مکانیکی**

در مجموع تیلت آنتن باعث افزایش سطح سیگنال در محدوده خاصی از سلول می‌گردد و باعث کاهش تداخل در سلول‌های همسایه می‌شود. از طرف دیگر باعث بهبود پوشش و ظرفیت شبکه رادیویی WCDMA می‌گردد.

با استفاده از یک از ابزار شبیه‌سازی استاتیکی [۶] نتایج اثر تیلت برروی عملکرد شبکه بررسی می‌گردد. منطقه جغرافیایی مورد نظر دارای مساحت ۱۳/۵ $km^2$ و شامل ۱۰ ایستگاه پایه می‌باشد که هر ایستگاه شامل ۳ سکتور با زوایای ۹۰، ۲۱۰ و ۳۳۰ درجه بوده که در مجموع دارای تعداد ۳۰ سکتور یا BS می‌باشد. ارتفاع آنتن‌ها ۵۰ متر و بالاتر از ارتفاع ساختمان‌ها می‌باشد. تعداد ۱۱۴۰ مشترک با نرخ بیت‌های ۸، ۶۴ و ۱۴۴ Kbps و حداکثر سرعت ۳ Km/s به‌صورت نا همگن[۱۴] در سطح منطقه جغرافیایی توزیع شده است. از مدل انتشار Okumura - Hata [۵] جهت محاسبات افت مسیر استفاده شده است.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زاویه تیلت بهینه بین ۷ و ۱۰ درجه می‌باشد. تداخل ناشی از BSهای دیگر با افزایش تیلت کاهش می‌یابد و این به‌علت کاهش منطقه تحت پوشش آنتن می‌باشد که باعث کاهش تداخل آنتن‌ها برروی یکدیگر می‌شود. با افزایش تیلت، ظرفیت شبکه یا تعداد مشترکینی که سرویس‌دهی می‌شوند، افزایش می‌یابد. این افزایش ظرفیت، ناشی ازکاهش تداخل می‌باشد ولی با افزایش بیشتر تیلت، این مقدار رو به کاهش می‌رود که به‌دلیل وجود نقاطی از منطقه جغراقیایی است که پوشش آنها تحت تأثیر افزایش زیاد تیلت مناسب نیست. با افزایش تیلت احتمال پوشش سرویس دهی افزایش می‌یابد که نتیجه کاهش تداخل می‌باشد ولی با افزایش بیشتر تیلت، احتمال پوشش سرویس‌دهی رو به کاهش می‌رود که بدلیل وجود نقاطی از منطقه جغراقیایی است که پوشش آنها تحت تأثیر افزایش زیاد تیلت مناسب نیست.

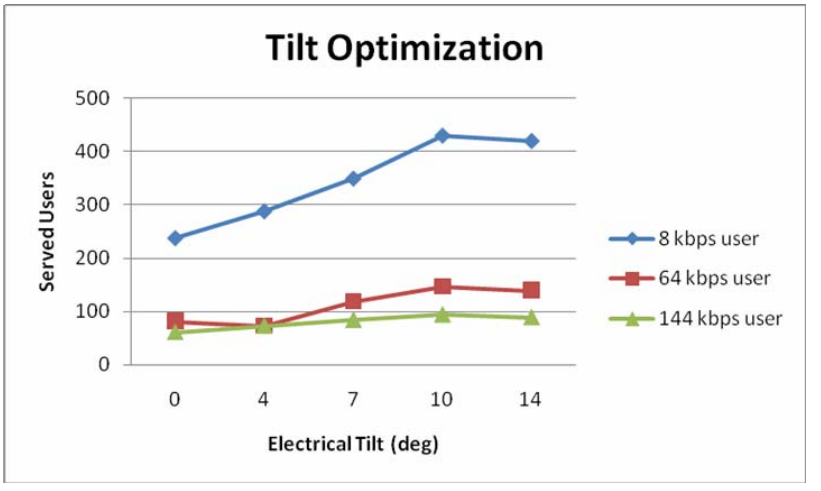
نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در بررسی تداخل و ظرفیت شبکه (تعداد مشترکین)، اثر تغییر تیلت برروی نرخ بیت‌های مختلف تقریبا یکسان است ولی در بررسی احتمال پوشش نتایج نشان می‌دهد که اثر تغییر تیلت برروی نرخ بیت‌های بالاتر بیشتر مؤثر است و بنابراین در شبکه‌هایی که تعداد مشترکین با نرخ بیت‌های بالا بیشتر است، استفاده از روش تغییر تیلت به‌عنوان یک روش بهینه‌سازی شبکه UMTS پیشنهاد می‌گردد.

## ۴– نتایج

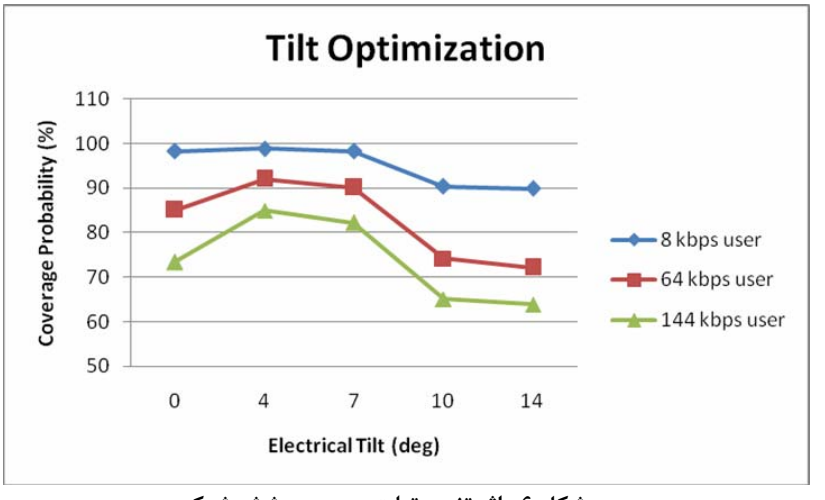
نتایج تغییر تیلت برروی عملکرد شبکه رادیویی در جدول ۱ و شکل‌های ۷ تا ۱۰ آورده شده است:

**جدول ۱- نتایج تغییر تیلت بر روی عملکرد شبکه رادیویی WCDMA**

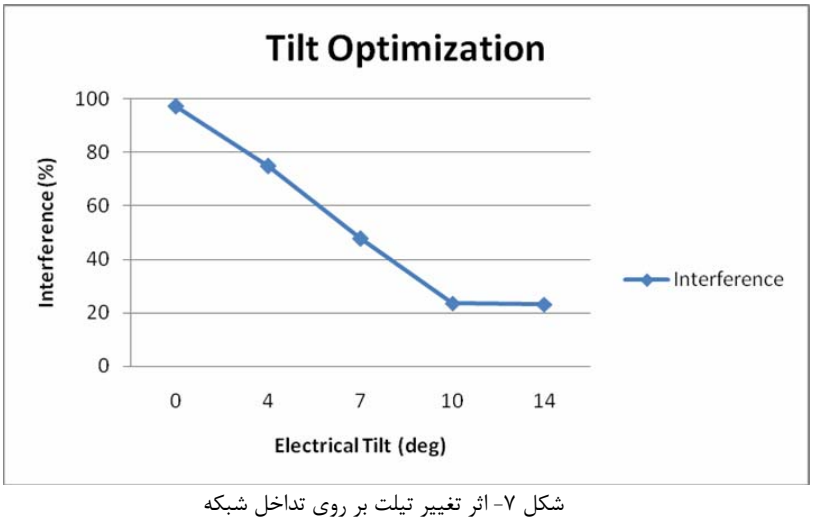
| Antenna Tilt (deg) | Initial Users | Served Users | | | | Coverage Probability (%) | | | Interference (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | All | 8 kbps | 64 kbps | 144 kbps | 8 kbps | 64 kbps | 144 kbps | |
| 0 | 1140 | 381 | 238 | 82 | 61 | 98.2 | 85.1 | 73.4 | 97.2 |
| 4 | 1140 | 434 | 288 | 73 | 73 | 98.8 | 92 | 85 | 74.8 |
| 7 | 1140 | 552 | 349 | 119 | 84 | 98.3 | 90.1 | 82.14 | 47.8 |
| 10 | 1140 | 670 | 429 | 147 | 94 | 90.3 | 74.2 | 65.1 | 23.5 |
| 14 | 1140 | 648 | 419 | 140 | 89 | 89.8 | 72.1 | 63.9 | 23.1 |



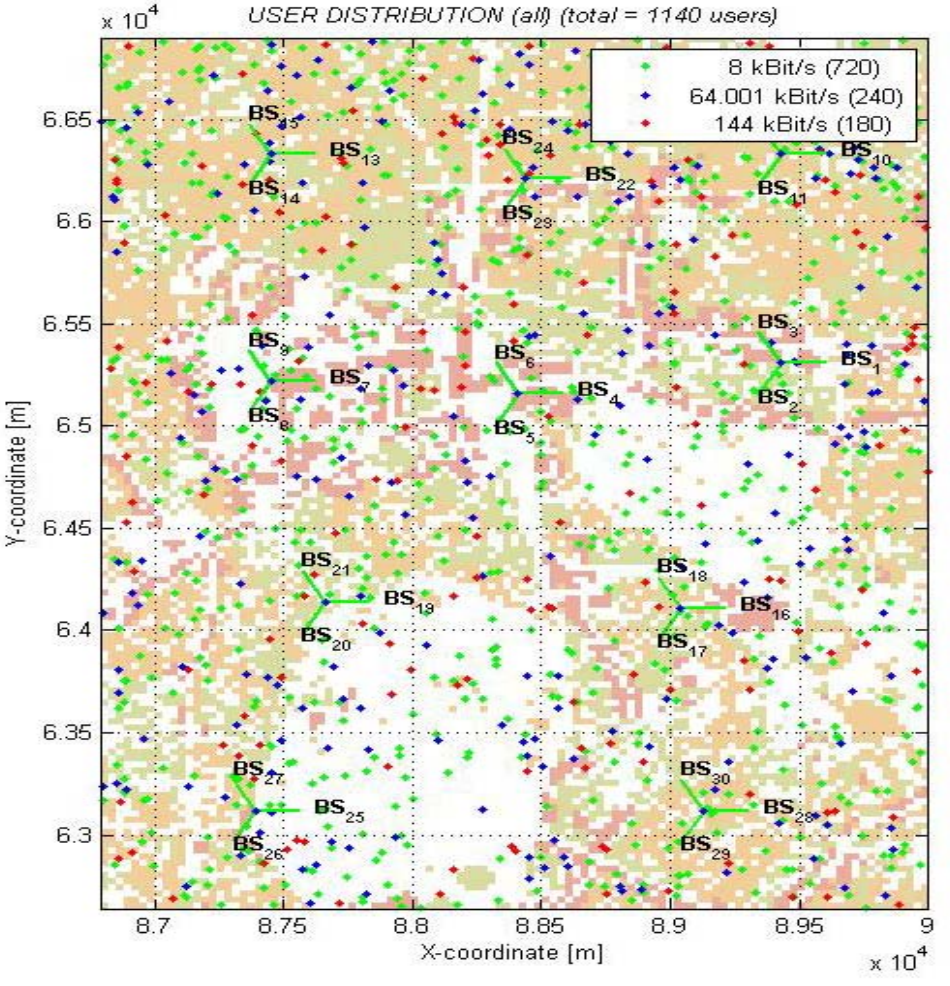

شکل ۵- اثر تغییر تیلت بر روی ظرفیت شبکه




شکل ۶- اثر تغییر تیلت بر روی پوشش شبکه




شکل ۷- اثر تغییر تیلت بر روی تداخل شبکه




**شکل ۸- توزیع مشترکین و BS ها**

## ۵- مراجع


[1] http://www.3gpp.org

[2] Laiho J., Wacker A., Novosad T., **"Radio Network Planning and Optimization for UMTS"**, New York: John Wiley & Sons, 2006.

[3] Borkowski J., Lahdekorpi P., Isotalo T., Lempiainen J., **"Optimization Aspects for Cellular Service Performance and Mobile Positioning in WCDMA Radio Networks"**, Vehicular Technology Conference, 2007.

[4] Esmael Dinan, Aleksey Kurochkin, **"The Impacts of Antenna Azimuth and Tilt Installation Accuracy on UMTS Network Performance"**, Telecommunications Technical Journal, Vol. 4: No. 1, 2006.

[5] Hata, M., **"Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services"**, IEEE Transactions on Vehicular Technology, VT-29(3), August 1980, pp. 317–325

[6] Wacker A., Laiho J., Sipila K., Jasberg M., **"Static Simulator for studying WCDMA Radio Network Planning Issues"**, VTC99, Houston, Vol. 3, pp. 2436-2440.

[7] Laiho J., Wacker A., **"Radio Network Planning Process and Methods for WCDMA"**, Ann. Telecommun. 56, 2001, pp. 317-331.

[8] Hata M., **"Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services"**, IEEE transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No.3, August 1980, pp. 317-325.

## ۴– پی‌نوشت‌ها

[1] Second Generation
[2] Universal Mobile Telecommunications System
[3] Third Generation
[4] Wide Code Division Multiple Access
[5] Dimensioning
[6] Detailed Planning
[7] Capacity
[8] Coverage
[9] Time Division Multiple Access
[10] Frequency Division Multiple Access
[11] Processing Gain
[12] Up Link
[13] Down Link
[14]- heterogeneously