**دانشگاه بیرجند**

**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات**

# مدیریت منابع رادیویی در شبکه‌های فمتوسل دو لایه

**استاد راهنما:**

**دکتر رضا قاضی زاده**

**استاد مشاور :**

**دکتر حمید فرخی**

**عاطفه علی‌طالشی**

**« تابستان ۱۳۹۳»**

دانشگاه پیرجند
مدیریت تحصیلات تکمیلی

# صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

فرم شماره ۱۰

با تاییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد خانم عاطفه علی طالشی
به شماره دانشجویی : ۹۱۱۳۳۱۵۰۱۵ رشته : برق گرایش: مخابرات – سیستم دانشکده: برق وکامپیوتر
**تحت عنوان: مدیریت منابع رادیویی در شبکه های فمتوسل دو لایه**

به ارزش : ۶ واحد درساعت : ۱۲ ½ روز : دوشنبه مورخ: ۹۳/۶/۲۴

با حضور اعضای محترم جلسه دفاع و نماینده تحصیلات تکمیلی به شرح ذیل تشکیل گردید:

| سمت | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| استاد راهنمای اول | دکتر رضا قاضی زاده | استادیار | |
| استاد راهنمای دوم | - | | |
| استاد مشاور اول | دکتر حمید فرخی | دانشیار | غایب |
| استاد مشاور دوم | - | | |
| داور اول | دکتر ناصر ندا | استادیار | |
| داور دوم | دکتر حسن فرسی | دانشیار | |
| نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر محسن فرشاد | استادیار | |

نتیجه ارزیابی دفاع که منوط به ارائه اصلاحات پیشنهادی توسط هیئت داوران حداکثر ظرف مدت یکماه پس از تاریخ دفاع می باشد، به شرح زیر مورد تایید قرار گرفت:

✓ قبول ( با درجه : عالی و امتیاز : ۱۹/۲ ) ○ دفاع مجدد ○ غیر قابل قبول

۱- عالی (۲۰- ۱۹) ۲- بسیار خوب ( ۱۸/۹۹- ۱۸ ) ۳- خوب (۱۷/۹۹- ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹- ۱۴ )

**( بدیهی است عواقب آموزشی ناشی از عدم ارائه به موقع اصلاحات مزبور به عهده دانشجو می باشد )**

# تقدیم

حمد و ستایش مخصوص خدایی است که به رشته محبت خویش آدمی را به هبوط کشاند و حضرت هبوط را به تماشای نزول واداشت تا به جهت بازگشت به سمت خود و صعود، راهی جز فنا پیش روی آدم نباشد. ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است و هرچه آموختم در مکتب عشق ایشان آموختم، مکتبی که در آن خرد را با عشق، علم را با احساس، ریاضی را با شعر، دین را با عرفان و همه را با تشویق به من آموختند. تقدیم به مهربان فرشتگانی که لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست. به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم و به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان پر از ایثار مادرم. پدر و مادری که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم. امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما. همچنین، تقدیم می کنم به برادر مهربان و خواهر دلسوزم، همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم، **که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.**

پروردگارا

آنچه بر من در رابطه با پدر و مادرم واجب است از دلم بگذران و بر من الهام کن و دانش رعایت حقوق پدر و مادر را به طور کامل در اختیارم قرار ده و سپس به عمل کردن به دانستنی هایم و انجام آنچه بدان آگاهم ساختی توفیقم ده تا آنجا که چیزی از وظایفم کم نگردد و اندامم از خدمت بدانچه بر من الهام فرمودی خسته و سنگین نگردد، توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم.

# تشکر و قدردانی

مَن لَم یَشکُرِ المُنعِمَ مِنَ المَخلوقینَ لَم یَشکُرِ اللهَ عَزّوَجَلّ

« امام رضا (ع) »

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست، تحسین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی رسید. ابتدا از استاد عزیز، مهربان و گرانقدرم جناب آقای دکتر قاضی زاده که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و با شکیبایی و سعه صدر همواره پذیرای حضورم بودند، صمیمانه سپاسگزارم و شادکامی، سلامتی و موفقیت روز افزون را برای ایشان آرزومندم. همچنین، از استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرخی که زحمت مشاوره پایان نامه را متحمل شدند، تشکر می کنم.

در خاتمه از تمامی دوستانی که مراد انجام این تحقیق یاری نمودند، صمیمانه قدردانی و تشکر می نمایم. از جناب آقای مهندس نیکنام به دلیل کمک های بی دریغشان، از جناب آقای دکتر کلب خانی، خانم دکتر رزیتا غلامی، خانم مهندس جعفرپور که مرا در انجام این امر همراهی نمودند تشکر می کنم. همچنین از جناب آقای دکتر مهران داداشی به دلیل حضور موثر و پر مهرشان، صمیمانه سپاسگزارم و همواره بهترین ها را برایشان آرزومندم.

# مدیریت منابع رادیویی در شبکه‌های فمتوسل دو لایه

**نگارش: عاطفه علی‌طالشی**

## چکیده

افزایش محبوبیت شبکه‌های بی‌سیم، منجر به رشد تقاضای ظرفیت شده است. از طرف دیگر شبکه‌های سلولی فعلی این توانایی را ندارند تا ضمن پاسخ‌گویی به حجم بالای تقاضا، کیفیت مناسبی را نیز برای همه‌ی کاربران، به‌ویژه کاربران داخلی فراهم کنند. فمتوسل‌ها ابزار هوشمندی هستند که ارائه‌ی خدمات با نرخ بالا و کیفیت مطلوب را در داخل ساختمان‌ها فراهم می‌کنند. به منظور افزایش بهره وری از طیف فرکانسی فمتوسل ها از منابع مشترک با ماکروسل استفاده می‌کنند. بنابراین، برای کاهش تداخل بین این دو لایه، تخصیص منابع باید به گونه‌ای انجام شود تا ضمن تضمین کیفیت خدمات به کاربران ماکروسل، کاربران فمتوسل نیز از خدمات با نرخ بالا و کیفیت مطلوب بهره‌مند گردند. این مطالعه را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد، در بخش اول به منظور کاهش تداخل بین لایه‌ای، سکتوربندی ماکروسل همراه با طرح استفاده‌ی مجدد از فرکانس مورد بررسی قرار گرفت. منابع فرکانسی موجود به نحوی بین شبکه‌ی فمتوسل و ماکروسل به اشتراک گذاشته شده است که کمترین تداخل را تجربه کنند. عملکرد شبکه‌ی پیشنهادی با معیار احتمال خروج کاربران فمتوسل و ماکروسل ارزیابی شده است. نتایج شبیه سازی و تئوری حاکی از بهبود عملکرد شبکه نسبت به ساختار قبلی دارد. در بخش دوم به منظور افزایش بهره‌وری طیف و تضمین کیفیت سرویس کاربران فمتوسل مسئله‌ی تخصیص منابع به فمتوسل‌ها، به صورت مسئله‌ی بهینه سازی Np-hard فرمول بندی و توسط الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر شبکه‌ی عصبی هاپفیلد به جواب بهینه منتهی شد.

واژه‌های کلیدی: فمتوسل، ماکروسل، منابع رادیویی، احتمال خروج، استفاده‌ی مجدد از فرکانس، شبکه‌ی عصبی هاپفیلد.

**فهرست مطالب**

**عنوان** **صفحه**


فهرست مطالب ..... أ

فهرست علائم و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

**فصل ۱- معرفی فمتوسل** ..... ۱

۱-۲- مقدمه ..... ۱

۱-۲-۱- معرفی ..... ۴

۱-۲-۲- تاریخچه ..... ۵

۱-۲-۳- انواع فمتوسل ..... ۶

۱-۲-۴- جنبه‌های تجاری و فنی ..... ۷

۱-۲-۴- مزایای فمتوسل ..... ۸

۱-۴- چالش‌های فنی در فمتوسل‌ها ..... ۹

۱-۴-۱- حالت‌های دستیابی ..... ۹

۱-۴-۲- خودسازماندهی ..... ۱۰

۱-۴-۳- پیکره‌بندی خودکار ..... ۱۰

۱-۴-۴- خود بهینه‌سازی ..... ۱۱

۱-۴-۵- خود بهبودی ..... ۱۱

۱-۴-۶- امنیت ..... ۱۱

۱-۴-۷- زمان‌بندی و هم‌زمان‌سازی ..... ۱۲
۱-۴-۸- مدیریت تداخل ..... ۱۳
۱- ۵- تداخل در شبکه‌ی دو لایه ..... ۱۳
۱- ۵-۱- تداخل هم لایه ..... ۱۴
۱- ۵-۲- تداخل بین لایه‌ای ..... ۱۵
**فصل ۲- منابع رادیویی** ..... ۱۷
۲-۱- منابع رادیویی در سیستم‌ها مبتنی بر OFDMA ..... ۱۷
۲-۲- ساختار فریم در LTE ..... ۱۷
۲-۳- مروری بر روش‌های به اشتراک‌گذاری طیف ..... ۲۱
**فصل ۳- روش‌های مدیریت تداخل** ..... ۲۳
۳-۱- حذف تداخل ..... ۲۴
۳-۲- جلوگیری از تداخل ..... ۲۴
۳-۳- مدیریت تداخل در سیستم‌های مبتنی بر OFDMA ..... ۲۶
۳-۴- روش‌های مدیریت تداخل در شبکه‌های فمتوسل مبتنی بر OFDMA ..... ۲۷
۳-۴-۱- تنظیم طیف فمتو-آگاه ..... ۲۸
۳-۴-۲- گروه‌بندی فمتوسل‌ها ..... ۲۹
۳-۴-۳- استراتژی انتخاب زیرمجموعه‌ی پرتو ..... ۳۳
۳-۴-۴- کنترل توان ..... ۳۳
۳-۴-۵- روش شناختگر ..... ۳۶
۳-۴-۶- استفاده‌ی مجدد از فرکانس به صورت جزئی ..... ۳۷
۳-۵- مقایسه ..... ۴۵
**فصل ۴- طرح پیشنهادی نحوه‌ی استفاده‌ی مجدد از فرکانس در شبکه‌های فمتوسل دو لایه** ..... ۴۶

۴-۱- مدل سیستم پیشنهادی ..... ۴۶
۴-۲- نحوه‌ی تخصیص زیرباند ..... ۴۸
۴-۳- تجزیه و تحلیل تخصیص منابع ..... ۴۸
۴-۳- ۱- بررسی تداخل در حالت DL ..... ۴۹
۴-۳- ۲- احتمال خروج کاربران ..... ۵۳
۴-۴- نتایج شبیه‌سازی ..... ۵۶
**فصل ۵- روش پیشنهادی تخصیص بلوک منبع به فمتوسل‌ها با الگوریتم شبکه‌ی عصبی هاپفیلد** ..... ۶۳
۵-۱- شبکه‌ی عصبی هاپفیلد ..... ۶۳
۵-۱-۱- رفتار سیستم‌های پویا ..... ۶۵
۵-۱-۲- مفهوم انرژی و تعادل در شبکه‌ی عصبی هاپفیلد ..... ۶۶
۵-۱-۳- قضیه‌ی دوم لیاپانوف ..... ۶۸
۵-۲- رنگ آمیزی گراف ..... ۷۰
۵-۳- رنگ آمیزی گراف با شبکه‌ی عصبی هاپفیلد تغییر یافته ..... ۷۰
۵-۳-۱- الگوریتم پیشنهادی رنگ‌آمیزی هاپفیلد ..... ۷۳
۵-۴- تخصیص منابع به فمتوسل‌ها با الگوریتم پیشنهادی ..... ۷۴
۵-۴-۱- مسئله‌ی اول ..... ۷۴
۵-۴-۲- مسئله‌ی دوم ..... ۷۹
۵-۴-۳- مسئله‌ی سوم ..... ۸۱
**فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات** ..... ۸۶
۶-۱- نتیجه‌گیری ..... ۸۶
۶-۲- پیشنهادات ..... ۸۷
واژه نامه ..... ۹۱

## فهرست علائم و نشانه‌ها

| | |
|---|---|
| $d_{i,j}$ | فاصله‌ی بین دو گره، (m) |
| $R_{th}$ | حد آستانه‌ی فاصله‌ی دو گره، (m) |
| $S_F$ | مجموعه‌ی فمتوسل‌ها، (Hz) |
| $W_{ISA}$ | پهنای باند مختص فمتوسل، (Hz) |
| $W_{NISA}$ | پهنای باند برای استفاده‌ی مجدد، (Hz) |
| $W_C$ | پهنای باند مختص کاربران ماکروسل، (Hz) |
| $T_s$ | واحد زمانی پایه در LTE، (s) |
| $T_f$ | مدت زمان یک فریم، (s) |
| $R_d$ | فاصله‌ی بین دو MBS مجاور است، (m) |
| $R_m$ | شعاع منطقه‌ی تحت پوشش ماکروسل، (m) |
| $P_F$ | توان ارسالی ایستگاه پایه‌ی هر فمتوسل، (dB) |
| $H_F$ | بهره‌ی کانال |
| $Q_F$ | اثر سایه لگ- نرمال |
| $\delta^2_{MF,dB}$ | واریانس اثر سایه لگ- نرمال، (dB) |
| $\mu_{MF,dB}$ | متوسط اثر سایه لگ- نرمال، (dB) |
| $\zeta$ | ضریب مقیاس دهی |
| $\gamma_F$ | حدآستانه‌ی میزان SIR دریافت شده |
| $\xi$ | تلفات انتشار ناشی از دیوار، (dB) |
| $\phi_{MF}$ | تلفات ثابت بین ماکروسل و کاربر فمتوسل |
| $\phi_F$ | تلفات ثابت بین فمتوسل و کاربر فمتوسل |
| $\phi_{FM}$ | تلفات ثابت بین فمتوسل و کاربر ماکروسل |
| $\phi_{FF}$ | تلفات ثابت بین فمتوسل و کاربر فمتوسل مجاور |
| $\alpha_M$ | ضریب تلفات مسیر بین ماکروسل و کاربرش |
| $\alpha_{MF}$ | ضریب تلفات مسیر بین ماکروسل و کاربر فمتوسل |
| $\alpha_F$ | ضریب تلفات مسیر بین فمتوسل و کاربرش |
| $\alpha_{FM}$ | ضریب تلفات مسیر بین فمتوسل و کاربر ماکروسل |
| $\alpha_{FF}$ | ضریب تلفات مسیر بین فمتوسل و کاربر مجاور |
| $X_i$ | بردار ورودی نرون |
| $b_i$ | متغییر بایاس |
| $E$ | تابع انرژی |
| $W$ | ماتریس وزن |
| $net_i$ | خروجی نرون |
| $V_{ij}$ | حالت نرون |
| $U_{ij}$ | ورودی نرون |
| $I_i$ | ورودی اضافه شده به نرون |
| $d_i$ | عضو بردار تقاضا |
| $Int$ | ماتریس گراف |
| $D$ | بردار تقاضا |
| $\phi_M$ | تلفات ثابت بین ماکروسل و کاربرش |

## فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**

جدول(۱-۱). مقایسه‌ی خصوصیات فن‌آوری‌های موجود ..... ۴

جدول(۳-۲). مقایسه‌ی بین طرح ها ..... ۴۵

جدول (۴-۳). ماکروسل‌های تداخلی در هر زیرباند در سکتورهای مختلف از ماکروسل مرجع ..... ۵۱

جدول(۴-۴). پارامترهای مدل انتشار کانال ..... ۵۷

جدول(۴-۵). مقادیر پارامترهای کانال ..... ۵۷

جدول(۵-۶). مشخصه‌ی کلاس‌های مختلف کیفیت سرویس ..... ۸۱

جدول (۵-۷). نیازمندی‌های کلاس‌های مختلف کیفیت سرویس ..... ۸۲

## فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل(۱-۱). نحوه‌ی اتصال به شبکه ..... ۵

شکل(۱-۲) . انواع فمتوسل از نظر فن‌آوری لایه‌ی فیزیکی ..... ۶

شکل( ۱- ۳). تداخل هم لایه ..... ۱۴

شکل (۱-۴). تداخل بین لایه‌ای ..... ۱۶

شکل (۱-۵). ناحیه‌ی مرده و مشکل دور- نزدیک ..... ۱۶

شکل (۲-۶). ساختار یک فریم OFDMA ..... ۱۸

شکل (۲-۷). رسم توضیحی فریم نوع اول ..... ۱۹

شکل (۲-۸). فریم نوع دوم. میدان‌های خاص در زیرفریم یک و شش نشان داده شده است ..... ۱۹

شکل (۲-۹). ارتباط بین یک اسلات، زیر فریم‌ها و بلوک‌های منبع ..... ۲۰

شکل (۲-۱۰). مدل به اشتراک گذاری طیف ..... ۲۲

شکل( ۳-۱۱). روش‌های مدیریت تداخل ..... ۲۳

شکل (۳-۱۲). ساختار سیستم OFDMA ..... ۲۷

شکل (۳-۱۳). تنظیم طیف فمتو-آگاه ..... ۲۸

شکل (۳-۱۴). تقسیم طیف و منطقه‌ی تحت پوشش ماکروسل ..... ۳۰

شکل (۳-۱۵). حالت عادی و LDO ..... ۳۲

شکل (۳-۱۶). طرح پیشنهادی ..... ۳۲

شکل ( ۳-۱۷). سناریوی تداخل در استقرار هم‌کانال فمتوسل و ماکروسل ..... ۳۴

شکل( ۳-۱۸). کنترل توان با سنجش توزیع‌شده ..... ۳۵

شکل(۳-۱۹). مدل شبکه در طرح پیشنهادی ..... ۳۷

شکل( ۳-۲۰). طرح مدیریت تداخل پیشنهادشده به روش FFR ..... ۳۸
شکل( ۳-۲۱). بازده‌ی کاربران ماکروسل در منطقه‌ی لبه و مرکز بر حسب تعداد فمتوسل ..... ۳۹
شکل(۳-۲۲). توپولوژی شبکه و نحوه‌ی تخصیص طیف ..... ۳۹
شکل(۳-۲۳). احتمال خروج کاربران فمتوسل بر حسب فاصله از مبداء ..... ۴۱
شکل(۳-۲۴). الف) مدل شبکه ب) تخصیص زیرباند به ماکروسل ..... ۴۲
شکل(۳-۲۵). تداخل دریافتی از زیرباندهای مختلف در الف) زاویه‌ی مثبت ب) زاویه‌ی منفی ..... ۴۳
شکل(۳-۲۶). مقایسه‌ی احتمال خروج کاربرفمتوسل ..... ۴۴
شکل (۴-۲۷). مدل سیستم با ۱۹ ماکروسل و چهار زیرباند ..... ۴۶
شکل(۴-۲۸). تداخل دریافتی از زیرباندهای مختلف در ۶ سکتور ..... ۵۰
شکل(۴-۲۹). نحوه‌ی تخصیص زیرباند به فمتوسل در ماکروسل مرجع ..... ۵۱
شکل(۴-۳۰). تقسیم پهنای باند و نحوه‌ی تخصیص به هر سکتور ..... ۵۲
شکل(۴-۳۱). تداخل دریافتی از زیر باندهای مختلف در الف) زاویه مثبت ب) زاویه منفی ..... ۵۲
شکل(۴-۳۲). احتمال خروج در زیرباند دوم و سوم در سکتور اول ..... ۵۸
شکل(۴-۳۳). احتمال خروج زیرباندهای مختلف در طرح شش زیرباند در $\boldsymbol{\theta} \geq \mathbf{0}$ ..... ۵۹
شکل(۴-۳۴). مقایسه‌ی احتمال خروج در دو طرح مورد نظر ..... ۶۰
شکل(۴-۳۵). مقایسه احتمال خروج روش تخصیص تصادفی و برنامه ریزی شده ..... ۶۱
شکل(۴-۳۶). احتمال خروج برای تعداد درخواست‌های بیشتر الف) ۲۰ بلوک منبع ب) ۴۰ بلوک منبع ..... ۶۲
شکل(۴-۳۷). مقایسه‌ی احتمال خروج کاربران ماکروسل در دو طرح مورد نظر ..... ۶۲
شکل(۵-۳۸). مدل یک نرون TLU ..... ۶۴
شکل(۵-۳۹). ساختار شبکه‌ی عصبی هاپفیلد ..... ۶۴
شکل(۵-۴۰). ناحیه‌ی جذب در شبکه‌ی هاپفیلد ..... ۶۶
شکل(۵-۴۱). نحوه‌ی ارتباط بین نرون ها ..... ۶۶

شکل(۵-۴۲). مدل نرون در شبکه‌ی عصبی هاپفیلد ..... ۶۷
شکل(۵-۴۳). ساختار شبکه‌ی عصبی هاپفیلد در الگوریتم پیشنهادی رنگ‌آمیزی گراف ..... ۷۱
شکل(۵-۴۴). نمونه‌ای از گراف تداخل ..... ۷۵
شکل(۵-۴۵). ماتریس تخصیص ..... ۷۶
شکل (۵-۴۶). نحوه‌ی تخصیص بلوک منبع در گراف‌های تداخل متفاوت با بردار تقاضای یکسان الف) الی د)..۷۹
شکل(۵-۴۷). مقایسه‌ی تخصیص بلوک منبع در مسئله‌ی ( الف) اول و (ب) دوم ..... ۸۰
شکل(۵-۴۸). تخصیص بلوک منبع با الگوریتم مسئله‌ی سوم ..... ۸۴
شکل(۵-۴۹). تخصیص بلوک منبع با الگوریتم مسئله‌ی دوم ..... ۸۵

# فصل ۱- معرفی فمتوسل

## ۲-۱- مقدمه

تمایل مشترکین به استفاده از گوشی‌ها، تجهیزات هوشمند و خدمات متنوع آن به سرعت در حال افزایش است. در نتیجه، بار ترافیکی شبکه‌های ارتباطات سیار به صورت روزافزون افزایش یافته و مدیریت اپراتوری آن پیچیده‌تر می‌شود. فن‌آوری دسترسی بی‌سیم را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: شبکه‌های سلولی بی‌سیم، که ارائه دهنده‌ی خدمات صدا به کاربران با قابلیت تحرک بالا هستند و شبکه‌های WLAN[1]، که نرخ داده‌ی بالایی را به کاربران ارائه می‌دهند و قابلیت تحرک آن‌ها نسبتا محدود است [۱]. از سوی دیگر عرضه‌ی نرم‌افزارهای متنوع برای گوشی‌های هوشمند و نیاز آن‌ها به شبکه‌های داده و اینترنت مشکل را چند برابر می‌کند. ادامه‌ی این روند می‌تواند عرضه خدمات داده را با مشکل روبرو کند و فعالیت ایستگاه‌های پایه را به چالش بکشاند. CISCO پیش‌بینی کرده است تا سال ۲۰۱۸ ترافیک داده ۱۱ برابر شود؛که با رشد ۶۱ درصدی مواجه خواهد بود [۲]. برای رویارویی با این افزایش، فن‌آوری‌ها و استانداردهایی توسعه یافتند که همگی برای افزایش سرعت و بهبود ارتباط با کاربران ارائه‌شده‌اند، استانداردهایی از قبیل:

- 3rd Generation Partnership Project's (3GPP) High Speed Packet Access (HSPA)
- World wide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) (IEEE 802. 16e)
- Long Term Evolution (LTE)
- 3GPP2's Evolution Data Optimized (EVDO)

برای رسیدن به نرخ داده‌ی بالا، سیگنال‌ها باید با نسبت سیگنال به تداخل و نویز[2] بالایی دریافت شوند، از طرف دیگر فرستنده با ارسال سیگنال‌هایی با توان بالا تداخل قابل توجهی در بقیه‌ی کاربران ایجاد می‌کند. نرخ

[1] wireless local area network
[2] SINR

داده‌ی بالا نیاز به طرح‌های رمزگذاری و مدولاسیونی دارد که در حال حاضر در استانداردهای ذکرشده لحاظ شده است. با این‌حال، طرح‌های مدولاسیون و رمزگذاری با سطوح بالاتر، بیشتر در معرض نویز محیط قرار می‌گیرند. ازآن‌جایی‌که تقاضا برای خدمات داده و صدا بیشتر از داخل ساختمان‌ها نشأت می‌گیرد، لذا تأمین پوشش و تضمین کیفیت سرویس برای این دسته از کاربران از اهمیت بیشتری برخوردار است. نتیجه‌ی تحقیقات نشان می‌دهد در آینده بیش از ۵۰٪ تماس‌های صوتی و ۷۰٪ ترافیک داده مربوط به کاربران داخلی خواهد بود. همچنین، نتیجه‌ی تحقیقات دیگری حاکی از آن است که ۳۰٪ کاربران تجاری و ۴۵٪ کاربران خانگی، پوشش داخلی ضعیفی را تجربه می‌کنند [۲]. به علت تلفات نفوذ حاصل از دیوار و موانع، کاربران داخلی نیاز به دریافت توان بیشتری دارند و این به معنی کاهش توان بقیه‌ی کاربران است که سبب کاهش بازدهی سیستم می‌شود.

به‌منظور افزایش ظرفیت شبکه، می‌توان تعداد BS[1]را افزایش داد. افزایش تعداد ایستگاه پایه از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست و بار بیشتری را از نظر طراحی، برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی بر شبکه تحمیل می‌کند. از طرف دیگر، برای بهره‌مند شدن از مزایای طرح‌های رمزگذاری و مدولاسیون بکار رفته در استانداردهای ذکرشده شرایط کانال باید مطلوب باشد. این بدین معنی است که کیفیت سرویس در پوشش داخلی، به علت تغییر شرایط کانال، نمی‌تواند تضمین شود. چندین راه‌حل برای حل مشکل پوشش داخلی پیشنهاد شده است [۱]. این راهکارها عبارت هستند از:

- تکرارکننده‌ها[2]: وظیفه‌ی تکرارکننده تقویت سیگنال‌هایی است که از ایستگاه پایه دریافت می‌کند. پس از تقویت، سیگنال را به داخل ساختمان‌ها ارسال می‌کند. در این روش از تضعیف حاصل از دیوار ساختمان جلوگیری می‌شود [۳].

- سیستم آنتن توزیع‌شده[3]: این سیستم شامل آنتن‌های مجزایی است به همراه ایستگاه پایه‌ی خانگی که در کف ساختمان‌ها قرار داده می‌شود و توان بین آن‌ها تقسیم می‌شود. المان‌های آنتن به این ایستگاه خانگی به‌صورت off-line و از طریق خطوط اختصاصی متصل می‌شوند که معمولاً کابل‌های فیبر نوری یا خطوط RF اختصاصی است [۴]. این راهکار برای مناطقی که BS های خارجی قادر به پوشش دهی به آن مناطق نیستند می‌تواند مفید

[1] Bsae station
[2] Repeater
[3] Distributed Antenna System

باشد. علاوه بر این، در پوشش داخلی DAS می‌تواند توان ارسالی خود را کاهش دهد که این منجر به کاهش تداخل و افزایش ظرفیت شبکه نیز می‌گردد.

- کابل‌های تابشی[1]: یک سیم فلزی است و همانند یک آنتن طویل عمل می‌کند. اگر این کابل به یک ایستگاه پایه متصل شود، می‌تواند انرژی الکترومغناطیسی را در تمام طول کابل دریافت و ارسال کند. این کابل را می‌توان در محیط داخلی هر ساختمانی قرار داد.
- پیکوسل‌ها[2]: پیکوسل ایستگاه پایه‌ی کوچکی مشابه نقطه دسترسی شبکه‌های بی‌سیم محلی[3] است. مزیت اصلی پیکوسل‌ها در مقایسه با یک ایستگاه پایه‌ی استاندارد، قیمت آن‌ها است. اگرچه توسط اپراتورهای تلفن همراه نصب می‌شوند، اما هزینه‌ی نصب و راه‌اندازی پیکوسل‌ها در مقایسه با ایستگاه‌های پایه در فضای باز، پایین‌تر است.
- رله[4]: از دیگر موضوعات مورد توجه برای محیط‌های داخلی، رله در LTE است، در این روش یک رله‌ی بی‌سیم درون ساختمان‌ها قرار می‌گیرد تا تلفات نفوذ ناشی از دیوارها را جبران کند [۵]. رله در دو نوع انجام می‌شود:

  ۱-AF[5]: تقویت و ارسال

  ۲-DF[6]: رمزگشایی و ارسال

در AF ترمینال رله بعد از دریافت سیگنال را تقویت کرده و دوباره ارسال می‌کند. این نوع رله می‌تواند سبب کاهش ظرفیت کانال شود. به علت پسخورد در نوعDF، سیگنال پس از دریافت ابتدا رمزگشایی و دمدوله می‌شود و سپس مجددا ارسال می‌شود. این امر باعث کاهش سطح نویز می‌شود. روشDF به‌صرفه‌تر از روشAF است.

پیکوسل‌ها، تکرارکننده‌ها و سیستم‌های آنتن توزیع‌شده توسط اپراتور نصب می‌شوند و بیشتر برای مراکز تجاری بزرگ، ساختمان‌های اداری و مراکز خرید مناسب هستند. همچنین، برای استقرار آن‌ها باید به مکان نصب و پارامترهای پیکره‌بندی آن‌ها توجه ویژه‌ای شود؛ بنابراین، این راهکارها برای برخی از مکان‌ها ازجمله منازل و ادارات کوچک به علت هزینه‌ی بالایی که دارند مناسب نیستند. روشی دیگر برای بهبود پوشش داخلی و افزایش ظرفیت با عنوان فمتوسل[7] معرفی شده است که راهکار مناسبی برای حل پوشش داخلی است [۶].

---

[1] Radiating cable
[2] Picocell
[3] WLAN
[4] Relay
[5] Amplify and Forward relaying
[6] Decode and Forward
[7] Femtocell

### ۱-۲-۱- معرفی

با افزایش تقاضای خدمات چند رسانه‌ای، منتقدان پتانسیل قابل‌توجهی را در استفاده از فن‌آوری فمتوسل مشاهده کردند [۱]. فمتوسل‌ها در سیستم‌های WCDMA[1] با عنوان HNB[2] و در سیستم‌های LTE نیز با عنوان HeNB[3] شناخته می‌شوند [۶]. بسیار کوچک بوده، توان ارسالی کمی دارند و توسط کاربران نصب می‌شوند و یک منطقه‌ی پوششی بی‌سیم کوچک را به وجود می‌آورند. مقایسه‌ی بین فمتوسل و راه‌حل‌های ذکرشده در جدول(۱-۱) نشان از برتری کلی فمتوسل دارد [۷].

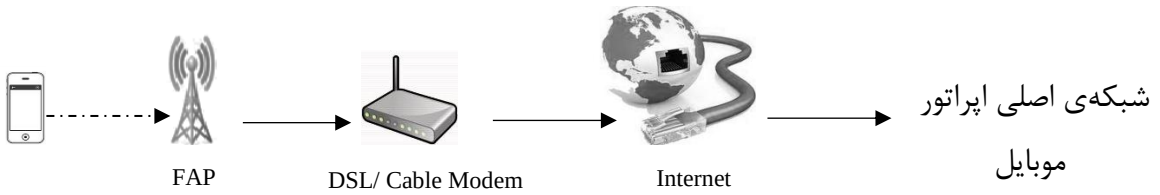
**جدول(۱-۱). مقایسه‌ی خصوصیات فن‌آوری‌های موجود [۷]**

| نام | ماکروسل | پیکوسل | فمتوسل | وای- فای |
|---|---|---|---|---|
| **نصب کننده ایستگاه پایه** | اپراتور موبایل | اپراتور موبایل | کاربر | کاربر |
| **حق مالکیت** | اپراتور موبایل | اپراتور موبایل | کاربر | کاربر |
| **منطقه تحت پوشش** | ۲۰۰۰-۳۰۰ متر | ۱۰۰-۴۰ متر | ۳۰-۱۰ متر | ۲۰۰-۱۰۰ متر |
| **توان ارسالی** | ۴۰ وات | ۲۰۰-۱۰۰ میلی وات | ۲۰۰-۱۰۰ میلی وات | ۲۰۰-۱۰۰ میلی وات |
| **نرخ ارسال** | بیش از ۱ گیگا بیت بر ثانیه | بیش از ۱ مگابیت بر ثانیه | ۱۰۰ مگابیت – ۱ گیگا بیت بر ثانیه | بیش از ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه |
| **هزینه** | ۶۰۰۰۰ دلار | ۱۰۰۰۰ دلار | ۲۰۰ دلار | ۲۰۰-۱۰۰ دلار |
| **مصرف انرژی** | بالا | متوسط | پایین | پایین |

FAP[4] مشابه یک ایستگاه پایه کار می‌کند و خدمات چندرسانه‌ای را به کاربران در محیط‌های داخلی ارائه می‌دهد.

[1] Wideband Code Division Multiple Access
[2] Home Node B
[3] Home evolved Node Base station
[4] Femtocell Access Point

FAP از طریق خطوط DSL[1]، فیبر نوری و یا کابل پهن باند به شبکه‌ی اصلی موبایل متصل می‌شود. شکل (۱-۱) بازگو کننده‌ی نحوه‌ی اتصال فمتوسل‌ها به شبکه‌ی اصلی است.




**شکل(۱-۱). نحوه‌ی اتصال به شبکه**

از فن‌آوری‌های دیگری مثل Wi-Fi نیز می‌توان برای اتصال به شبکه‌ی اصلی استفاده کرد. همچنین در جاهایی که امکان استفاده از ارتباط پهن‌باند وجود ندارد می‌توان از ارتباط ماهواره‌ای برای این منظور بهره برد. فمتوسل‌ها به بخشی از طیف برای عملکردشان نیاز دارند که این بخش توسط اپراتورها در اختیارشان قرار می‌گیرد. فمتوسل‌ها از فن‌آوری لایه‌ی فیزیکی مشابه با شبکه‌های سلولی استفاده می‌کنند و در ناحیه‌ی تحت پوشش ماکروسل‌ها مستقر می‌شوند. هر کاربر می‌تواند آن را در خانه نصب کند و قابلیت جابه‌جایی از یک مکان به مکان دیگر را دارد. ازاین‌رو، مدیریت منابع رادیویی به‌صورت پویا یکی از مسائل چالش‌برانگیز برای محققان است.

### ۱-۲-۲- تاریخچه

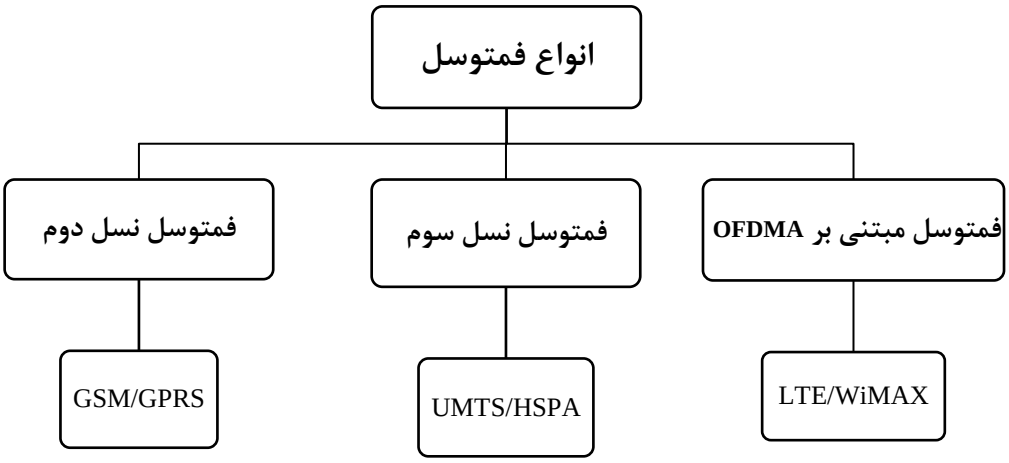
مفهوم فمتوسل به سال ۱۹۹۹ برمی‌گردد که در آزمایشگاه‌های بل برای اولین بار ایستگاه پایه‌ی خانه مورد بررسی قرار گرفت. در سال ۲۰۰۰ نیز اولین فمتوسل روانه‌ی بازار شد [۱]. پس از آن در سال ۲۰۰۲، شرکت موتورولا ایستگاه پایه‌ی خانه مبتنی بر 3G[2]را معرفی کرد اما در آن زمان مفهوم 3G هنوز بسیار جدید بود.

[1] Digital subscriber line
[2] Third generation

این مفهوم در سال ۲۰۰۵ معروف‌تر شد و در سال ۲۰۰۶ گسترش یافت. تعدادی از شرکت‌ها آزمایش و مطالعه در این زمینه را آغاز کردند. یک سازمان غیرانتفاعی نیز توسط سازندگان مختلف، اپراتورها و سازمان‌های پژوهشی در ژوئیه ۲۰۰۷ با عنوان انجمن فمتو تشکیل شد.

### ۱-۲-۳- انواع فمتوسل

در حال حاضر فن‌آوری‌های مختلفی در لایه‌ی فیزیکی وجود دارد که منجر به توسعه انواع مختلف فمتوسل-ها بر اساس این فن‌آورها شده است. هر نوع از فمتوسل انواع مختلفی از خدمات را ارائه می‌کند و انتخاب نوع آن بستگی به نیاز کاربر دارد. انواع فمتوسل در شکل (۱-۲) خلاصه شده است [۱].




**شکل(۱-۲) . انواع فمتوسل از نظر فن‌آوری لایه‌ی فیزیکی [۱]**

- فمتوسل نسل دوم: این دسته از فمتوسل‌ها مبتنی بر GSM[1]هستند. دلیل گسترش این نوع فمتوسل کم‌هزینه بودنشان نسبت به مدل‌های جدیدترش است. بزرگ‌ترین عیب آن استفاده از GPRS[2] برای خدمات داده است که نرخ داده‌ی بالایی ندارد. عیب دیگر فمتوسل نسل دوم این است که انعطاف‌پذیری کمی در مقابله با تداخل دارد.

[1] Global System for Mobile
[2] General Packet Radio Service

- فمتوسل‌های نسل سوم: فمتوسل‌های نسل سوم مبتنی بر رابط هوایی UMTS[1] هستند که UTRA[2] نامیده می‌شود. نسبت به نسل دوم از نرخ داده‌ی بالاتری برخوردار هستند و شامل طرح‌های کنترل توان بهتری بوده که می‌توانند برای جلوگیری از تداخل مؤثر باشند. فمتوسل HSPA[3] مدل توسعه‌یافته‌ی این نوع است که با پیشرفت UMTS توسعه‌یافته و خدمات مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد.

- فمتوسل‌های مبتنی بر OFDMA: به علت استفاده از فن‌آوری OFDMA در لایه‌ی فیزیکی، این نوع از فمتوسل‌ها خدمات صدا و داده را با کیفیت و نرخ داده‌ی بالاتری به کاربران ارائه می‌کنند. فمتوسل‌های LTE[4] از معروف‌ترین این نوع هستند [۸].

### ۱-۲-۴- جنبه‌های تجاری و فنی

فمتوسل‌ها راهکار مناسبی برای حل مشکل پوشش داخلی هستند. به علت کوچک بودن شعاع پوششی آن‌ها فاصله بین فرستنده و گیرنده کم است. درنتیجه، سیگنال ارسالی کمتر تضعیف می‌شود و گیرنده سیگنال مطلوبی را دریافت می‌کند. در حالت کلی، کیفیت سیگنال در گیرنده برحسب SINR محاسبه می‌شود که تابعی است از توان ارسالی مطلوب که توسط ایستگاه پایه دریافت می‌شود و توان ارسالی از فرستنده‌های تداخلی و تلفات ناشی از اثر سایه[5]، محو شدن[6] و تلفات مسیر.

تلفات نفوذ[7] نیز به دلیل وجود دیوارها سبب ایجاد سیگنال‌های تداخلی می‌شود که هرچند ضعیف است اما در فرکانس‌های بالا نقش موثری در تضعیف دارد. اگر شرایط کانال مناسب باشد فمتوسل‌ها قادر خواهند بود تا با استفاده از طرح‌های کدگذاری و مدولاسیون بالاتر خدمات خود را با نرخ داده‌ی مناسب به کاربران ارائه دهند. علاوه بر این هر فمتوسل معمولاً به تعداد محدودی از کاربران خدمات ارائه می‌دهد. این تعداد بین ۲ تا ۸ کاربر است. به همین دلیل، فمتوسل‌ها می‌توانند بخش بیشتری از منابع خود را به کاربرانشان اختصاص دهند که این

[1] Universal Mobile Telecommunications System
[2] UMTS Terrestrial Radio Access
[3] High Speed Packet Access
[4] Long-Term Evolution
[5] Shadiowing
[6] Fading
[7] Penetration losses