**فصل سوم**

**آنالیز ترافیکی یک سیستم OFDMA تک سلولی و چند سلولی**

در این فصل ابتدا در مورد مدل‌های ترافیکی که در فصل قبل مرور کردیم و اشکالاتی که به آنها وارد است

بحث کرده و یک مدل جدیدی را برای بررسی ترافیک در سیستم OFDMA در حالت تک سلولی ارائه می­کنیم. در این حالت مدل پیشنهادی را آنالیز کرده و با مقایسه نتایج شبیه‌سازی و نتایج تحلیلی نشان می‌دهیم که مدل پیشنهادی یک مدل معتبری است و سپس در حالت چند سلولی مدل را گسترش داده و بحث تبادل كانال و حرکت کاربر و اثر آن بر مدل پیشنهادی را در حالت چند سلولی بررسی می‌کنیم.

**3-1- مدلسازی یک سیستم M/M/m/m با یک سیستم** $\infty $ **M/G/**

در فصل قبل مروری بر مدل‌های ترافیکی ارائه شده برای سیستم­های OFDMA داشتیم. در سیستم OFDMA تخصیص زیر حامل‌ها بدین شکل است که در آن واحد یک کاربر می‌تواند چند زیر حامل را یکجا در اختیار گیرد. در اتمام تماس آن کاربر، زیر حامل‌ها يکجا باید ازاد گردند. اما در مدل‌های قبلی چون زیر حامل‌ها مستقل فرض می‌شدند هر زیر حامل مستقل از زیر حامل دیگر در یک مدت زمانی اشغال است و بعد از آن آزاد میگردد.لذا آنالیز انجام شده در مدل‌های قبلی نمی‌تواند نتایج درستی از یک سیستم OFDMA دهد.

برای پی ریزی مدل جدید ابتدا یک سیستم صف M/M/m/m را در نظر می‌گیریم که در آن ورود کاربران دارای توزیع پوآسون و مدت زمان سرویس از یک توزیع نمایی تبعیت میکند. در این سیستم m سرور وجود دارد که همزمان می‌توانند با هم کار کنند. هر کاربر جدید می‌تواند یک سرور آزاد را در اختیار گیرد. در صورتی که هنگام ورود کاربر جدید تمامی سرورها اشغال باشند کاربر دچار انسداد می‌شود.لذا سیستم در آن واحد دارای ظرفیت سرویس دهی فقط به m کاربر است. اگر نرخ ورود کاربران را $λ$ و نرخ سرویس را $μ$ فرض کنیم شدت ترافیکی سیستم($ρ$) برابر $\frac{λ}{μ}$ است $p\_{k}$ احتمال اینکه در حالت ماندگار در سیستم با کاربر موجود باشد($0\leq k\leq m$) برابر است با [ ] :

(3-1)

بدیهی است که برای k > m مقدار $p\_{k}$ برابر صفر است. احتمال انسداد کاربر برابر است با:

(3-2)

این سیستم را می‌توان با یک سیستم صف $\infty $ M/G/ مدل کرد. در سیستم $\infty $ M/G/ تعداد سرورها بینهایت است. در این سیستم ورود کاربران یک فرآیند پوآسون و مدت زمان سرویس یک تابع احتمالاتی دلخواه میتواند باشد. برای مدل کردن سیستم M/M/m/m فرض می‌کنیم سیستم به $\infty $ M/G/ دارای دو کلاس کاربر ورودی متفاوت با عنوان کلاس اصلی و کلاس dummy باشد. یک کاربر در زمان ورود اگر مشاهده کند تعداد سرورهای اصلی اشغال از ۱-m بیشتر باشد وارد سرور dummy می‌شود. لذا یک کاربر با احتمال P در هنگام ورود کمتر از m سرور را اشغال می بیند و وارد سرور dummy می‌شود و در واقع دچار انسداد می‌گردد. چون در سیستم اصلی M/M/m/m ما بیش از m سرور نداریم و سرورهای dummy مدلی برای نشان دادن انسداد کاربران است.

در مدل $\infty $ M/G/ پیشنهادی نرخ ورود کاربران کلاس اصلی برابر $λ^{'}=pλ$ فر است. در این حالت شدت ترافیکی مربوط به ورود کاربران کلاس اصلی برابر است با :

(3-3)

در این حالت تابع احتمال مربوط به تعداد کاربر کلاس اصلی در حالت ماندگار در سیستم برابر است با [۱۵]:

(3-4)

که در آن $π\left(n\right)$ برابر احتمال وجود n کاربر کلاس اصلی در سیستم در حالت ماندگار است.

احتمال انسداد تماس در این حالت برابر است با:

(3-5)

متوسط تعداد سرور اشغال در سیستم برابر است با:

(3-6)

در رابطه (۳-۵) می بینیم که مقدار p با روش تکراری قابل محاسبه است. برای بررسی صحت مدل پیشنهادی ، در شکل ۳-۱ مقدار احتمال انسداد تماس با استفاده از رابطه (۲۰۳) که مربوط به سیستم اصلی است و رابطه (3-5) که مربوط به مدل پیشنهادی است را بر حسب تغییرات شدت ترافیکی نشان داده­ایم. در شکل ۳-۱ می بینیم که به ازای تعداد سرور ۲۰=m احتمال انسداد کاربران با استفاده از فرمول (۳-۲) و فرمول (۳-۵) به هم بسیار نزدیک است البته تا زمانی که میزان نرخ ورودی کاربران در حد معقولی باشد و شدت ترافیکی سیستم خیلی زیاد نگردد. در این شکل دیده می‌شود که به ازای شاد ت ترافیکی بالاتر از 7 < p مقدار احتمال انسداد کاربر که از معادلات (۳-۲) و (۳-۵) بدست آمده با هم تفاوت خواهد کرد. برای اینکه نتایج مدل پیشنهادی و سیستم اصلی را از نظر دیگر بررسی کنیم در شکل ۳-۲ متوسط تعداد سرور اشغال را در سیستم در حالت ماندگار رسم کرده ایم. می بینیم که تعداد سرور اشغال شده در دو حالت یکسان است و این دلیلی بر نزدیکی عملکرد سیستم اصلی و مدل پیشنهادی است.

**3-2- آنالیز ترافیک یک سیستم OFDMA تک سلولی**

یک سیستم OFDMA تک سلولی را در نظر میگیریم که دارای C زیر حامل است که در آن تحت نظارت یک واحد تصمیم گیرنده در ایستگاه مرکزی ، در مسیر فراسو کاربران موجود در سلول میتوانند داده‌های خود را ارسال کنند. با توجه به مدولاسیون AMC در OFDMA وابسته به شرایط کانال در هر زیر حامل می‌توان با نرخ معینی به کاربران سرویس داد. برای سادگی فرض می‌کنیم متوسط كل نرخ قابل ارسال در هر زیر حامل با روش AMC برابر $R\_{b}$ باشد. در این صورت كل نرخ قابل دستیابی در سلول برابر $C R\_{b}$ است.

در یک شبکه مخابرات بی سیم چند رسانه‌ای[[1]](#footnote-1) نرخ ارسال کاربران می‌تواند متفاوت باشد. یک کاربر ممکن است نرخ داده برای ارسال بالایی نداشته باشد و با در اختیار قرار دادن یک زیر حامل هم می‌توان نیاز آن را

برآورده کرد اما در عوض یک کاربر دیگر ممکن است نرخ داده برای ارسال بالایی داشته باشد که در این صورت به چند زیر حامل به طور همزمان نیاز خواهد داشت.کاربران را می‌توان بر اساس نرخ داده‌ای که برای

ارسال دارند به دو دسته کاربر با تماس‌های باند باریک[[2]](#footnote-2) و کاربر با تماس‌های باند وسيع[[3]](#footnote-3) تقسیم کرد. بنابراین

یک کاربر می‌تواند متناسب با نرخ مورد نیاز خود یک یا چند زیر حامل را در اختیار بگیرد بشرط اینکه سیستم بتواند در هنگام درخواست سرویس کاربری تعداد لانه کاربر، تعداد لازم زیر حامل آزاد در دست داشته باشد. در این فصل از دیدگاه کاریر چند مدل ترافیکی جدید را پیشنهاد می‌دهیم.

**3-2-1- مدل پیشنهادی اول**

در مدل اول کاربران را از نظر تعداد زیر حاملی که برای دستیابی به نرخ مورد نظر خود نیاز دارند ، به m بخش تقسیم‌بندی می‌کنیم.

در این ارتباط فرض می‌کنیم کاربران گروه اول به $C\_{1}$ را زیر حامل، گروه دوم به $C\_{2}$ و ... و گروه m ام به $C\_{m}$ زیر حامل نیاز دارند.

فرآیند ورود تماس به سیستم یک فرآیند پوآسن با نرخ ورود $λ$ در نظر گرفته می‌شود. این تماس با احتمال $X\_{n}$ از نوع تماس گروه nام است. ($\sum\_{n=1}^{m}x\_{n}=1$) که عموما $x\_{n}= \frac{1}{m}$ لحاظ می‌شود.

کاربر از گروه nام وقتی وارد سیستم می‌شود از ایستگاه مرکزی تقاضای دریافت یک تعداد زیر حامل و شروع سرویس می‌کند. با احتمال $P\_{n}$ تعداد زیر حامل آزاد موجود است و درخواستش پذیرفته می‌شود و با

احتمال $1-P\_{n}$ تقاضای کاربر رد می‌شود. اگر تماس پذیرفته شود در مدت زمانی که تماس ادامه دارد، کاربر از طریق زیر حامل‌های تخصیص داده شده به ارسال داده می‌پردازد. مدت زمانی که تماس طول می‌کشد یک تابع توزیع نمایی با متوسط $\frac{1}{μ\_{n}}$ است (شکل 3-3).

در حالت کلی مدت زمان یک تماس می‌تواند یک توزیع کلی باشد. بعد از اینکه تماس خاتمه یافت، کاربر کل زیر حامل‌هایی را که در اختیار داشت آزاد می‌کند. در حین اشغال ماندن یک زیر حامل توسط یک کاربر، کاربران دیگر از آن زیر حامل نمی‌توانند بهره گیرند. مدل پیشنهادی برای تحلیل ترافیکی این سیستم مدل $\infty $ M/G/ است. در مدل $\infty $ M/G/ تعداد سرور بینهایت است. فرایند ورود کاربر در این مدل پوآسن و زمان سرویس در سیستم یک توزیع دلخواه می‌تواند باشد. برای تحلیل سیستم مطابق شکل ذیل ۱+m كلاس را برای تماسها در نظر می‌گیریم. کلاس ۱ مربوط به تماس نوع 1، کلاس ۲ مربوط به تماس نوع ۲ و ... و کلاس m مربوط به تماس نوع m است.

کلاس ۱+m، کلاس dummy است که مربوط به تماس هایی است که به دلایل کافی نبودن تعداد زیر حامل در خواستشان رد می‌شود.نحوه دسته‌بندی تماس‌ها بدین صورت است که تماس های کلاس ۱ برای

دستیابی به نرخ داده مورد نظر خود به $C\_{1}$ زیر حامل، تماس کلاس ۲ به $C\_{2}$ زیر حامل و... و تماس کلاس m به $C\_{m}$ زیر حامل نیاز دارند. ($C\_{m}>…>C\_{2}>C\_{1} $)

در شکل (3-3) بلوک دیاگرام مربوط به مدل اول نشان داده شده است. شدت ترافیکی مربوط به کاربر کلاس زام برابر است با:

(3-7)

در سیستم صف M/G/$\infty $ تعداد کاربران از کلاس‌های متفاوت که در حال سرویس $π \left(n\_{1} , n\_{2} , …, n\_{m}\right)$ است که در حالت ماندگار برابر است با [۱۳]:

(3-9)

$P\_{j}$ احتمال پذیرش یک تماس از کلاس زاست که برابر است باز :

به روش بازگشتی با مشخص $λ$ و $\left(x\_{m} , …, x\_{1}\right)$ و $\left(μ\_{m} , …, μ\_{1}\right)$ مقادیر $P\_{1}$ و $P\_{2}$ و ... و $P\_{m}$ در حالت

ماندگار قابل محاسبه است. با فرض تعیین $P\_{1}$ و $P\_{2}$ و ... و $P\_{m}$ در حالت ماندگار احتمال رد شدن یک تماس برابر است با:

(3-10)

در (۳-۹) احتمال ورود کاربری از کلاس j برابر $x\_{j}$ و احتمال انسداد تماس آن برابر $1-p\_{j}$ است.

ضریب بهره وری از پهنای باند کلی سیستم برابر است با:

(3-11)

در حالیکه احتمال رد شدن تماس یک کاربر از کلاس j برابر است با:

(3-12)

**3-2-2- مدل پیشنهادی دوم**

در مدل پیشنهادی اول درخواست کاربر باند وسیع در صورتی که تعداد کانال آزاد به اندازه لازم نباشد رد میشود و این احتمال وجود دارد که با رد تدریجی درخواست کاربرهایی که تعداد کانال زیادی درخواست می‌کنند. احتمال انسداد آنها خیلی بیشتر از کاربران باند باریک باشد. لذا بهتر است که این امکان برای کاربر باند وسیع فراهم شود که اگر تعداد کانال آزاد به اندازه کافی وجود نداشته باشد کاربر بتواند با تعداد کانال آزاد کمتری و در یک نرخ ارسالی پایین‌تر تحت سرویس قرار گیرد.

در این صورت برون دهی و بهره وری طیفی کلی سیستم افزایش خواهد یافت. برای مدلسازی در این حالت فرض می‌کنیم سه نوع کاربر در سیستم وجود داشته باشد. کاربر نوع اول از نوع باند باریک است که با حداقل $C\_{1}$ کانال آزاد موجود می‌تواند تماس خود را برقرار کند. کاربر نوع دوم و سوم از نوع باند وسیع اند. کاربر نوع اول به $C\_{1}$ کانال آزاد نیاز دارد. کاربرهای نوع دوم و سوم با توجه به اینکه در نرخ‌های متفاوتی می‌توانند عمل کنند، لذا فرض می‌شود کاربر نوع دوم در صورت وجود $C\_{2}$ کانال آزاد با نرخ بالاتری می‌تواند تحت سرویس قرار گیرد. در حالیکه تعداد کانال آزاد کمتر از $C\_{2}$ باشد در صورت وجود $C\_{1}$ کانال آزاد $\left(C\_{1}> C\_{2}\right)$ می‌تواند در یک نرخ پایین تر، از کانال‌های موجود بهره گیرد. کاریر نوع سوم نیز وابسته به تعداد کانال آزاد موجود به $C\_{3}$ ، $C\_{2}$ و $C\_{1}$ کانال آزاد نیاز دارد ($C\_{3}>C\_{2}>C\_{1} $). لذا برای کاربر نوع اول، دوم و سوم در صورتیکه تعداد کانال آزاد کمتر از $C\_{1}$ باشد تماس مزبور رد می‌شود.

برای مدلسازی این حالت نیز می‌توان از مدل M/G/$\infty $ استفاده کرد. شكل (3-4) مدل سیستم را نشان می‌دهد. شدت ترافیکی تماس‌های کلاس ۱، ۲ و ۳ بترتیب برابر است با:

(3-13)

(3-14)

(3-15)

در روابط فوق $p\_{j}$ احتمال قبول درخواست کاربر کلاس jام است.

در این حالت در حالت ماندگار داریم:

(3-16)

احتمال رد شدن تماس کاربر نوع ۱ برابر ($1-p\_{1}$)، احتمال رد شدن تماس کاربر نوع دوم ($1-p\_{2}-p\_{2}$) و احتمالرد شدن تماس کاربر نوع سوم ($1-p\_{4}-p\_{5}-p\_{6}$) است.

**۳-۳- آنالیز ترافیک یک سیستم OFDMA سلولی**

در این بخش در حالت چند سلولی با توجه به اینکه کاربر از یک سلول به سلول مجاور می‌تواند حرکت کند امکان تبادل کانال حین تماس بین دو سلول مجاور وجود دارد. لذا مدل ارائه شده در بخش قبلی را در حالت چند سلولی توسعه خواهیم داد.

**3-3-1- مدل پیشنهادی سوم**

در یک سیستم مخابرات سلولی مطابق شکل ۳-۵ هر سلول با سلولهای مجاور خود در ارتباط است. یک کاربر که امکان حرکته دارد در حین تماس ممکن است به دلیل حرکت و تغيير مكان لحظه‌ای خود از سلولی که در ابتدای تماس از آن سرویس گرفته خارج شود و لذا این امکان وجود دارد که به سلول‌های مجاور تغییر مكان دهد. در این حالت به دلیل دور شدن از ایستگاه مرکزی سلول ابتدایی، نیاز است که از ایستگاه سلول جدیدی که به آن وارد می‌شود درخواست کانال آزاد کند که به این فرآیند تبادل کانال گوییم. بطور کلی وضعیت ترافیک سلولهای مجاور می‌تواند با هم تفاوت کند. برای سادگی فرض می‌کنیم که وضعیت ترافیکی سلولهای مجاور در حالت دائمی (ایستان) مشابه هم باشد. لذا کل سیستم دارای وضعیت ترافیکی متقارنی فرض می‌شود.

برای تحلیل مدل ترافیکی، سلول وسطی (سلول 1) را در نظر میگیریم که نتایج حاصل را به سلولهای مجاور نیز می‌توان تعمیم داد. در سلول (۱) نرخ ورود کاربر جدید را به فرض می‌کنیم. مانند مدل پیشنهادی اول فرض می‌کنیم که 1+n دسته کلاس برای کاربران لحاظ شده است. کاربر با کلاس j با احتمال $x\_{j}$ به سیستم وارد می‌شود $\left(\sum\_{j=1}^{n}x\_{j}=1\right)$.

در صورت در دسترس بودن تعداد مشخصی کانال تحت سرویس قرار می‌گیرد. این کاربر با احتمال $p\_{j}$ پذیرفته میشود. در صورت پذیرفته شدن تماس، مدت زمان تماس یک توزیع نمایی با میانگین $\frac{1}{μ\_{j}}$ است. در مدت زمانی که تماس طول می‌کشد امکان تبادل کانال وجود دارد. با توجه به اینکه یک کاربر متحرک امکان تغيير مكان لحظه‌ای در سلول را دارد ، مدت زمانی که یک کاربر در یک سلول می ماند را زمان اقامت در سلول[[4]](#footnote-4) گویند که برای سادگی یک متغیر تصادفی با توزیع نمایی با میانگین $\frac{1}{μ\_{hj}}$ فرض می‌شود.

فرض $T\_{j}$ مدت زمان تماس کاربر jام و $μ\_{hj}$ مدت زمان اقامت در سلول کاربر در یک سلول باشد. مدت زمانی که تماس کاربر در یک سلول طول می‌کشد را زمان نگهداری کانال[[5]](#footnote-5) گوییم ( $T\_{cj}$ ) که برابر است با:

(3-17)

با توجه به مستقل فرض کردن زمان اقامت در سلول و مدت زمانی که یک تماس طول می‌کشد ، تابع توزیع تجمعی مربوط به زمان نگهداری کانال برابر است با:

(3-18)

لذا داریم

(3-19)

بنابراین تابع چگالی احتمال مربوط به زمان نگهداری کانال یک تابع نمایی است با میانگین $\frac{1}{μ\_{cj}}$ که

(3-20)

احتمال اینکه برای کاربر jام تبادل کانال در یک سلول رخ دهد برابر است با:

(3-21)

مدل ترافیکی سیستم در شکل ذیل نشان داده شده است. نرخ ورود تماس کلاس jام برابر است با:

(3-22)

که در آن $λ\_{j}$ نرخ ورود تماس جدید از کاربر نوع j است.

$λ\_{hj}$ كل نرخ حاصل از تبادل کانال کاربرها از کلاس j از سلول‌های مجاور است. نرخ خروج کاربر کلاس jام از یک سلول برابر $μ\_{cj}$ است. این کاربر با احتمال $P\_{hj}$ تبادل کانال می‌کند و با احتمال یکسان به یکی از سلول‌های مجاور می رود. لذا نرخ تماس‌های ناشی از تبادل کانال کاربر کلاس ز از سلول تام به سلول مرکزی برابر است با:

(3-23)

چون تعداد سلول مجاور ۶ عدد است لذا

(3-24)

لذا

(3-25)

شدت ترافیکی مربوط به کلاس jام برابر است با :

(3-26)

مانند مدل‌های قبلی در یک روش تکراری احتمالات ($p\_{1}$ و $p\_{2}$ و ... و $p\_{m}$) قابل محاسبه است و بر اساس

آن می‌توان احتمال انسداد کاربر مربوط به یک کلاس خاص را بدست آورد.

**3-3-2- مدل پیشنهادی چهارم**

در این حالت ترافیک سیستم سلولی OFDMA را در نظر میگیریم که در آن درخواست تعداد کانال بصورت بسته‌ای است و اندازه بسته‌های درخواستی وابسته به وضعیت کانال، شرایط کاربر و تعداد کانال های

آزاد می‌تواند تغییر کند. مدل ترافیکی سیستم در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. مطابق با شکل دو نوع کاربر و ۵ کلاس تعریف شده است. کاربر نوع اول همواره برای ارسال داده‌ها تعداد کانال مشخصی را درخواست می‌کند ($C\_{1}$ کانال) کاربر نوع دوم وابسته به تعداد کانال آزاد می‌تواند $C\_{2}$، $C\_{3}$ یا $C\_{4}$ کانال را درخواست کند. ($C\_{4}>C\_{3}>C\_{2} $). یک کاربر از نوع دوم ممکن است در سلول ابتدایی که در آن شروع به ارسال داده کرده به دلیل کمبود کانال، تعداد کانال کمتری در اختیار داشته باشد. در صورت تبادل کانال این امکان باید فراهم شود که در سلول جدید از تعداد کانال آزاد بیشتری در صورت وجود برای ارسال داده استفاده کند. با انتخاب کلاس­های متفاوت این امکان در مدل ارائه شده فراهم شده است.

در این حالت داریم

(3-27)

لذا نرخ ورود کاربر نوع اول به سیستم برابر است با :

(3-28)

همچنین نرخ ورود کاربر نوع دوم به سیستم برابر است با :

(3-29)

که در آن داریم

(3-30)

مانند مدل‌های قبلی طبق روش تکراری $p\_{1}$ ، $p\_{2}$ ، $p\_{3}$ و $p\_{4}$ و $π \left(n\_{1} , n\_{2} , n\_{3}\right)$و لذا احتمال انسداد کاربر نوع 1 و ۲ قابل محاسبه است

**3-4-نتایج عددی**

برای بررسی تطابق ملل پیشنهادی بر مبنای تئوری صف با سیتم کنترل پذیرش یک سیستم OFDMA هدف این است که نتایج حاصل از شبیه‌سازی را حاصل از تجلیل در بخش مقایسه کنیم.

یک سیستم OFDMA تک سلولی را در نظر می‌گیریم که دارای ۱۲۸ زیر حامل است. هر زیر حامل دارای KHz16 است.لذا سیستم دارای پهنای باند کل MHz 048/2 است. برای بررسی مدل پیشنهادی اول فرض می­کنیم کاربر کلاس ۱ برای ارسال مناسب نرخ مورد نظر خود به $C\_{1}=2$ کانال و کاریر کلاس ۲ به $C\_{2}=4$ کانال و کاربر کلاس ۳ به $C\_{2}=8$ کانال و کاربر کلاس ۴ به $C\_{2}=16$ نیاز دارند. ورود کاربران بصورت فرایند پوآسن با نرخ کلی $λ$ است که در محدوده 01. تا ۰.۲ کاربر بر ثانیه تغییر می‌کند. کاربران از کلاس­های متفاوت با احتمال یکسان ($x\_{n}= \frac{1}{4}$) به سیستم وارد می‌شوند. فرایند سرویس کاربران یک توزیع نمایی است.

متوسط نرخ سرویس کاربران بترتیب $μ\_{4}= \frac{1}{120} , μ\_{3}= \frac{1}{140} , μ\_{2}= \frac{1}{160} , μ\_{1}= \frac{1}{180}$ به کاربر بر ثانیه است. در شکل زیر نتایج مربوط به محاسبات تحلیلی در بخش (3-1) و نتایج حاصل از شبیه‌سازی را می بینید. در شکل مشاهده می‌شود در شدت ترافیکی پایین ، نتایج شبیه‌سازی نتایج تحلیلی را دنبال می‌کند اما با زیاد شدن نر خ ورودی ، سیستم ناپایدارتر شده و ما بين احتمال انسداد تماس بین حالت تحلیلی و حالت شبیه سازی فاصله می افتد.

در بخش بعد متناظر با مدل پیشنهادی دوم سه نوع کاربر که دارای سرویس کلی مشابه‌ای هستند را در نظر می‌گیریم که کاربر اول به $C\_{1}=2$ کانال ، کاربر دوم به $C\_{2}=4$ و یا در صورت کمبود کانال آزاد به $C\_{2}=8$ و کاربر سوم به $C\_{3}=16$ یا ۸ یا ۴ و یا ۲ کانال نیاز دارند. با توجه به اینکه با در اختیار داشتن زیر حامل بیشتر مدت زمان سرویس کاهش می یابد لذا در حالتهایی که تعداد زیر حامل موجود بترتیب ۲، ۴، ۸ و یا ۱۶ زیر حامل است میزان زمان متوسط سرویس کاربر بترتیب ۱۸۰، ۱۶۰ ، ۱۴۰ و ۱۲۰ ثانیه فرض شده است. در شکل ۳-۵ احتمال انسداد تماس بر حسب نرخ ورودی کاربر در دو حالت شبیه‌سازی و تحلیلی مقایسه شده است.



شکل ۳-۵. احتمال انسداد تماس در دو حالت شبیه‌سازی و تحلیلی

در حالت بعد دو کلاس متفاوت را برای کاربران در نظر می‌گیریم در این حالت کاربر کلاس اول به $C\_{1}=2$ کانال صر فا نیاز دارد و متوسط زمان سرویسش را ۹۰ ثانیه در نظر می‌گیریم. کاربر کلاس دوم به $C\_{2}=8$ یا ۴ و یا ۲ کانال نیاز دارد در این حالت متوسط زمان سرویس را بترتیب برابر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه لحاظ کرده ایم. در این حالت احتمال انسداد تماس بر حسب نرخ ورودی کاربران رسم شده است. میبینیم که هر چه کاربران موجود در سیستم دارای کلاس متفاوت تری از لحاظ تعداد کانال مورد نیاز و زمان سرویس مورد نیاز باشند نتایج شبیه‌سازی نزدیکتر نسبت به نتایج تحلیلی است. در واقع در سیستم OFDMA استفاده از چند گانگی موجود بین کاربران و زیر حامل‌ها باعث می‌شود مدل مبنی بر تئوری صف پیشنهادی به حالت واقعی خود نزدیکتر باشد.

در حالت بعد یک سیستم OFDMA را در نظر میگیریم که دارای ۶۴ زیر حامل است که پهنای باند هر

زیر حامل KHz16 است و سیستم دارای دو کلاس متفاوت سرویس است. کلاس اول مربوط به کاربری

است که به $C\_{1}=2$ کانال صر فا نیاز دارد و متوسط زمان سرویسش را ۹۰ ثانیه در نظر می‌گیریم و کاربر کلاس دوم وابسته به تعداد کانا ل آزاد موجود در سیستم می‌تواند $C\_{2}=8$ یا ۴ و یا ۲ کانال را درخواست نماید در این حالت متوسط زمان سرویس بترتیب برابر ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدت زمان تبادل کانال قبل از اینکه تماس در یک سلول خاتمه یابد دارای توزیع نمایی با متوسط زمانی ۱۰۰ ثانیه فرض شده است. احتمال انسداد تماس در حالت تحلیلی در شکل ۳-۶ رسم شده است.

**فصل چهارم**

**آنالیز ترافیک یک سیستم OFDMA چند سلولی از دیدگاه بسته دیتا**

**4-1- آنالیز ترافیک سیستم OFDMA از دید بسته دیتا**

در فصل قبل ترافیک یک سیستم OFDMA از دیدگاه کاربر مورد تحلیل قرار گرفت. در این فصل هدف این است که از دیدگاه بسته دیتا و مدلسازی بر اساس تئوری صف پارامترهای ترافیک مانند برون دهی کلی

سیستم و میزان احتمال انسداد یک بسته دیتا بر اساس تغییر نرخ ورودی کاربران و تاثیر محدودیت تاخیر بر احتمال انسداد بسته‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

در یک سیستم OFDMA هر کاربر که در یک سیستم تحت سرویس قرار می‌گیرد تحت یک نرخ مشخصی داده‌های خود را که مبتنی بر صدا، ویدئو و فایل کامپیوتری و ... را بصورت بسته هایی در فریم‌های زمانی - متوالی ارسال می‌کند. برای هر کاربر می‌توان یک مدل ترافیکی صف در نظر گرفت که ورود بسته‌های داده به این صف بصورت پواسن با نرخ $λ\_{p}$ است. بدیهی است که فرض پوآسون برای ورود بسته‌ها برای سادگی و برای تحلیل پذیری در نظر گرفته شده است.

بر اساس وضعیت کانال و بهره‌گیری از مدولاسیون AMC سیستم با نرخ‌های متفاوتی می‌تواند به کاربر سرویس دهد. لذا مدل ورود - خروج بسته‌ها در صف یک کاربر بصورت یک مدل ۱/M/G قابل توصیف است. مثلا با توجه به اینکه ارسال بسته‌ها در سیستم OFDMA در فریم شکاف‌های زمانی جدا از هم انجام می‌شود، می‌توان زمان سرویس را مقدار ثابتی درنظر گرفت. در این حالت مدل صف ۱/M/D است.

کاربرها در یک سیستم چند رسانه‌ای می‌توانند داده‌ها را در نرخ‌های متفاوتی ارسال کنند. از نظر میزان نرخ ارسالی و محدودیت تأخیری که سرویس هر کاربر به آن وابسته است سرویس مورد نیاز کاربران را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کنیم

**١-کلاس [[6]](#footnote-6)BE:**

در این حالت کاربر از ترافیک موجود به هر صورتی که باشد (نرخ پایین با نرخ بالا) استفاده می‌کند و در صورتیکه وضعیت ترافیکی سیستم خوب باشد در نرخ بالا و در غیر این صورت در نرخ پایین‌تر به ارسال داده‌ها می‌پردازد. در این نوع سرویس مقدار برون دهی کلی و ایجاد تعادل مابين نرخ ارسالی کاربران موجود در سیستم در اولویت قرار دارد.

**۲- کلاس ویدئو[[7]](#footnote-7) :**

در این حالت کاربر دارای ترافیک دفعتی است و با محدودیت تاخیر همراه می باشد.

**٣- کلاس [[8]](#footnote-8)VoIP :**

در این حالت کاربر دارای نرخ ارسالی ثابت (CBR)[[9]](#footnote-9) اما با محدودیت تأخیر همراه است.

از مدل پیشنهادی در شکل ۳-۶ برای مدل سیستم از دیدگاه کاربر استفاده می‌کنیم. فرض می‌کنیم در این مدل کاربر کلاس ۱ از کلاس VOIP و کاربر کلاس ۲ از نوع ویدئو باشد. برای تحلیل ترافیک از دیدگاه بسته دیتا برای هر کاربر موجود در سیستم می‌توان یک مدل صف ۱/M/G در نظر گرفت. اینکه در ترافیک های VOIP و ویدئو برای برآوردن وضعیت QoS بسته‌های داده محدودیت تأخیر مشخصی دارند لازم است که میزان تأخیری که یک بسته در صف در انتظار می ماند محاسبه شده و اگر این تأخیر از حد مشخصی بیشتر شود بسته رد شود. مدل صف ۱/M/M است.

برای بدست آوردن تابع چگالی زمان انتظار بسته در صف از فرمول PR) pollaczek - khinchen) در یک صف ۱/M/G داریم

(4-1)

که (S)B تابع مشخصه زمان سرویس بسته‌ها است. در یک سیستم OFDMA با توجه به اینکه در قاب های زمانی مجزا داده‌ها ارسال می‌شود در نتیجه مدت زمان سرویس سیستم در هر قاب زمانی مقدار ثابتی است در این صورت مدل سیستم بصورت 1/M/D است. به ای.. است. به این ترتیب تابع مشخصه زمان سرویس بصورت $B(s)=e^{-Ts}$ است. در این حالت در رابطه (4-1) تبدیل معکوس متناظر با (W(s پیچیده خواهد شد. بنابراین برای سادگی فرض می‌کنیم زمان سرویس یک متغیر تصادفی نمایی است. لذا مدل سیستم بصورت ۱/M/M می‌گردد. در حالت ۱/M/M داریم:

(4-2)

که $μ\_{p}$ متوسط نرخ سرویس دهی بسته‌ها در صف است. تابع چگالی احتمال زمان انتظار بسته‌ها برابر است با:

(4-3)

می‌کنیم برای کاربر نوع ۱ ماکزیمم تأخیر مجاز $T\_{1}$ و برای کاربر نوع ۲، $T\_{2}$ آباشد. احتمال رد شدن بسته در صف کاربر ۱ برابر است با:

(4-4)

از طرفی

(4-5)

لذا برای بدست آوردن $ρ\_{1}$ و $P\_{drop,1}$ از روش تکراری می‌توان استفاده کرد.

در کاربر نوع دوم وابسته به تعداد کانال ازاد موجود نرخ سرویس دهی بسته‌ها متفاوت است.

لذا متناظر با کاربر نوع ۲ از کلاس ۲ نرخ سرویس بسته‌ها $μ\_{2}$، نرخ سرویس بسته‌ها برای کلاس ۳ $μ\_{3}$ و برای کلاس ۴ $μ\_{4}$ است. لذا

(4-6)

که $ P\_{pdrop,23} , P\_{pdrop,22} , P\_{pdrop,21} $ بترتیب احتمال رد شدن بسته‌ها متناظر با کلاس ۲، ۳ و ۴ است.

**4-2- نتایج عددی**

از دیدگاه بسته دیتا هم می‌توان سیستم OFDMA را بررسی کرد. در این حالت بهره وری طیفی ، میزان انسداد بسته مربوط به هر کلاس از کاربران و بهره وری کلی سیستم قابل بررسی خواهد بود.

فرض کنیم سیستم دارای ۶۴ زیر حامل باشد و پهنای باند هر زیر حامل برابر KHz16 باشد. به روش AMC داده‌ها بر روی زیر حامل‌ها ارسال می‌شوند. فرض می‌کنیم مستقل از سطح مدولاسیون متوسط نرخ ارسال داده روی هر زیر حامل ثابت و برابر Kbps16 باشد.

کاربر کلاس اول کاربر با ارسال داده voip با نرخ ثابت داده برابر Kbps32 باشد. کاربر کلاس دوم کاربر

دید با ارسال داده ویدئو با نرخ‌های متغیر Kbps 32 ،Kbps64 و Kbps128 است. برای کاربر کلاس voip از دید بسته ديتا می‌توان یک مدل صف در نظر گرفت که بر اساس استاندارد voip ]9[ هر بسته دارای اندازه ۶۴۰ بیت است که با فواصل زمانی ms20 تولید می‌شود. متناظر با آن می‌توان ورود بسته‌ها را به مدل صف يک فرایند پواسون با نرخ ۵۰ بسته بر ثانیه در نظر گرفت. از آنجا که نرخ متوسط هر زیر حامل kbps16 است لذا با در اختیار داشتن ۲ زیر حامل به نرخ سرویس ۵۰ بسته بر ثانیه می‌توان رسید. البته برای سادگی مدت زمان سرویس را یک توزیع نمایی با نرخ ۵۰ بسته بر ثانیه در نظر میگیریم.

برای کاربر کلاس دوم طبق استاندارد ویدئو [۱۴] هر بسته دارای ۲۰۰ بایت است که در فواصل زمانیms12.5 تولید می‌شود. لذا نرخ ورود بسته‌ها به صف برابر ۸۰ بسته در ثانیه است. اگر تعداد زیر حامل که در اختیار کاربر قرار میگیرد برابر ۲ ،۴ و یا ۸ زیر حامل باشد نرخ سرویس تخصیص داده شده به بسته‌ها بترتیب. برابر ۲۰، ۴۰ و ۸۰ بسته بر ثانیه است. مدت تاخیری که یک بسته در صف می‌تواند داشته باشد باری استاندارد voip برابر ms100 و برای استاندارد ویدئو برابر ms200 است.

در شکل‌های زیر بترتیب ضریب بهره وری طیفی، برون دهی کل سیستم و احتمال انسداد بسته از دید کاربر کلاس ویدیو نشان داده شده است. در شکل ۴-۱ می بینیم که با افزایش نرخ ورود کاربران احتمال انسداد

بسته زیاد می‌گردد. بدیهی است که با افزایش نرخ ورود تعداد زیر حامل اشغالی زیاد شده و لذا احتمال انسداد کاربری که زیر حامل زیادی می خواهد بیشتر از کاربران دیگر است. در این حالت انسداد بسته مربوط به کاربران کلاس بالاتر بیشتر از کاربران کلاس پایین‌تر است در نتیجه تعداد بسته‌های بیشتری انسداد یافته و احتمال انسداد بسته رفته رفته زیاد می‌گردد. البته در حوالی نرخ ۰.۲۵ میبینیم که چون زیر حامل‌ها کاملا اشغال می‌گردند. احتمال انسداد بسته‌ها به یک حد تقريبا ثابتی می رسد شکل ۴-۲ تغییرات برون دهی را بر حسب نرخ ورودی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه سیستم دارای ۶۴ زیر حامل است که پهنای باند هر کدام KHz16 می باشد اگر تمام زیر حامل‌ها اشغال باشند. ماکزیمم برون دهی برابر Mbps1 است. در شکل در نرخ های ورودی بالا زمانی که تمام زیر حامل‌ها تقریبا اشغالند برونده به Kbps900 میرسد. در شکل ۴-۳ نیز که میزان بهره وری طیفی را نشان می‌دهد با افزایش نرخ ورودی زیر حامل‌های بیشتری اشغال می‌گردند که متناظر با آن درصد بیشتر از کل پهنای باند در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

در شکل - به ازای نرخ ورود ثابت کاربران $λ=0.2$ نمردار احتمال انسداد بسته داده مربوط به کلاس ویدئو بر حسب زمان مدت زمان اقامت در سلول مختلف رسم شده است. می بینیم که با افزایش زمان اقامت

در سلول احتمال تبادل کانال کاربر با سلولهای مجاور کمتر می‌شود.لذا نرخ اضافیی ناشی از تبادل کانال در

سلولها به طور کلی کاهش می یابد. بدیهی است با کاهش نرخ ورورد به یک سلول زیر حامل‌های کمتری اشغال شده و این به کاهش احتمال انسداد کاربر و بسته‌های داده می انجامد.

**نتیجه‌گیری و پیشنهادها**

در این پایان نامه در فصل اول به مرور مدل‌های پیشین آنالیز ترافیک در سیستمهای سلولی OFDMA پرداختیم. در این فصل ابتدا سیاستهای کنترل پذیرش تماس را در سیستم OFDMA بررسی کردیم. دو روش کنترل پذیرش عمده در سیستمهای OFDMA عبارتند از کنترل پذیرش تماس با انتخاب یک سطح استانه و کنترل پذیرش تماس با توجه به شرایط ترافیک صف. برای بررسی اثر کنترل پذیرش بر سیستم از دیدگاه کاربر و بسته دیتا یک مدل مارکف بررسی گردید.

در بخش بعد کنترل پذیرش تماس در یک سیستم OFDMA با چند کلاس سرویس بررسی شد. در هنگامی‌که ترافیک سیستم شدید است نیاز داریم که درصدی از تقاضاهای کاربران را رد کنیم. رد تقاضا به دو روش بسته‌ای و جزیی امکان پذیر است. روش جزیی به دلیل اینکه حداقل درصدی از تقاضای کاربر بر اساس وضعیت ترافیک سیستم رد نمی‌شود نسبت به روش بسته‌ای این مزیت را دارد که احتمال کلی انسداد کاربر در این روش کمتر خواهد بود.

در قسمت بعد برای تخصیص زیر حامل در سیستم OFDM روش تخصيص زیرحامل به روش بسته­ای مطرح شد برای تحلیل از یک مدل صف M\*/M/c/c استفاده شد.

در فصل سوم برای پی ریزی مدل ترافیکی صف برای یک سیتم OFDMA ابتدا نشان دادیم که می‌توان برای تحلیلی یک سیستم صف M/M/m/m از مدل M/G/$\infty $ استفاده کرد. این مدل در شرایطی که شدت ترافیکی سیستم بالا نباشد می‌تواند مدل مناسبی باشد. از آنجا که در یک سیستم واقعی انتقال داده با کمک کنترل پذیرش تماس، همواره می‌توان شدت ترافیکی را در حد معقولی قرار داد، مدل پیشنهادی می‌تواند مدل مناسب برای سیستم اصلی باشد. در مدل‌های ترافیک فصل دوم این ایراد وارد است که در اختصاص زیر حامل به روش بسته‌ای ، از آنجا که یک کاربر می‌تواند همزمان چند زیر حامل را در اختیار بگیرد بعد از اتمام تماس یکجا باید زیر حامل‌ها ازاد گردند. اما در مدل‌های قبلی چون زیرحامل‌ها مستقل فرض می‌شدند این امکان وجود نداشت که دسته‌ای از زیرحامل‌ها همزمان ازاد گردند. در مدل پیشنهادی برای کاربران از آن جهت که میتواند نرخ ارسالی متفاوتی داشته باشند و تعداد زیر حامل مورد نیازشان فرق کناد چند کلاس در نظر گرفتیم. سپس بر اساس یک سیستم صف M/G/$\infty $ مدل پیشنهادی برای تحلیل ترافیک یک سیستم OFDMA تک سلولی را بیان کردیم و دیدیم که در شرایطی که متوسط شدت ترافیکی سیستم بالا نباشد احتمال انسداد کاربر که از دو روش تحلیلی و شبیه‌سازی بدست آمده بود تفاوت زیادی با هم ندارند.

بر اساس مدل پیشنهادی در حالت تک سلولی ، برای تحلیل ترافیک یک سیستم OFDMA سلولی ابتدا بحث تبادل کانال بین سلولی را مطرح کردیم. در یک سیستم سلولی به دلیل حرکت کاربر این امکان وجود دارد که در حین تماس از یک سلول به سلول مجاور تغییر جا دهد. لذا با نزدیک شدن به سلول مجاور امکان تبادل کانال وجود دارد. در نتیجه بر اساس مدل صف پیشنهادی با در نظر گرفتن تبادل کانال در سیستم احتمال انسداد کاربر را بررسی کردیم. در فصل چهارم از دید بسته دیتا برای یک کاربر که در سیستم مشغول است یک مدل صف در نظر گرفتیم. بسته‌های دیتا با نرخ مشخصی وارد صف می‌شود و بر اساس تعداد زیرحاملی که کاربر در اختیار دارد نیز مدت زمان سرویس متفاوت خواهد بود. برای سادگی یک مدل 1/M/M را برای بررسی ترافیک بسته‌ها در نظر گرفتیم و بر اساس آن احتمال انسداد بسته ، میزان برون دهی و ضریب بهره وری طیفی را بر اساس تغیر نرخ کاربران و در نظر گرفتن مدل سلولی پیشنهادی در فصل سوم بدست آوردیم.

پیشنهاداتی که برای کارهای آینده به نظر می رسند عبارتند از تحلیل ترافیک سیستم با در نظر گرفتن ارسال داده‌ها با استفاده از روش AMC در این پایان نامه نرخ ارسالی روی هر زیرحامل را بطور متوسط ثابت فرض کردیم ، حال آنکه نرخ ارسالی یک کاربر بر روی یک زیر حامل به شرایط کانال کاربر وابسته است. کاربر‌ها در فواصل متفاوتی از ایستگاه مرکزی می‌توانند باشند لذا SNR دریافتی هر کاربر با کاربر دیگر فرق خواهد کرد.

از طرفی بر اساس مدل ترافیک پیشنهادی همواره میتوان از وضعیت کلی ترافیک سیستم و درصد حامل‌های اشغال شده و در صد احتمال انسداد کاربر از کلاسهای مختلف مطلع شد. لذا با اضافه کردن اثر الگوریتمهای تخصیص منابع، می‌توان ترافیک سیستم را تحت کنترل در آورد و از قابلیت چند گانگی OFDM بهره جست.

ضمنا با توجه به گسترش سیستمهای سلولی OFDMA بر مبنای چند ورودی چند خروجی ، می‌توان مدل ترافیکی حاضر را به مدلی مناسب برای تحلیل ترافیک سیستمهای چند ورودی چند خروجی بسط داد.

1. Multimedia [↑](#footnote-ref-1)
2. Narrow band [↑](#footnote-ref-2)
3. Wide band [↑](#footnote-ref-3)
4. Dwell time [↑](#footnote-ref-4)
5. Holding time [↑](#footnote-ref-5)
6. Best effort [↑](#footnote-ref-6)
7. Video streaming [↑](#footnote-ref-7)
8. Voice over Ip [↑](#footnote-ref-8)
9. Constant Bit Rate [↑](#footnote-ref-9)