

لَنْ لَنْ لَنْ لَنْ لَنْ



دانشکده

مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالیٰ

تاییدیه اعضای هیات داوران

آقای سینا ابراهیمی به شماره دانشجویی ۹۶۶۱۶۳۱۰۰۱ رشته مهندسی کامپیوتر - نرم افزار پایان نامه خود را با عنوان: روشی برای تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه‌های نرم‌افزار محور نسل پنجم در تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان نامه را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تایید می نمایند.

اعضا	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	دانشیار	دکتر بهزاد اکبری نودوزقی	استاد راهنما
	دانشیار	دکتر نادر مکاری یامچی	استاد مشاور
	استادیار	دکتر علیرضا شفیعی نژاد	استاد داور داخلی
	دانشیار	دکتر مقصود عباس پور	استاد داور خارجی
	استادیار	دکتر علیرضا شفیعی نژاد	نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

## آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عتایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عنوانین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی بددید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجتمع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنمای، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنمای و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنمای یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۴۰۷/۴/۲۳ در سورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب سید ابراهیم دانشجوی رشتہ مهندسی کامپیوٹر فن افزایشی و کاربردی سال تحصیلی ۱۳۹۶  
قطع کارنامی امروزه دانشکده مهندسی برق و کامپیوuter متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدبینو سیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

سید ابراهیم کشا  
تاریخ: ۹۸/۱۰/۲۹

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:  
«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار سال در دانشکده خانم/جناب آقای دکتر معاوذه سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأديه کند.

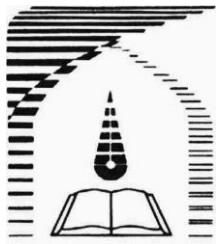
ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهاي خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقيف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **سید ابراهیم کاهویر - نعم افزار**  
**قطع کارشناسی ارشد**

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: **سید ابراهیم**

تاریخ و امضا:  
  
۹۸/۰۱/۲۸



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد  
مهندسی کامپیوتر - نرم افزار

## روشی برای تخصیص منابع در برشبندي

### شبکه های نرم افزار محور نسل پنجم

دانشجو

سینا ابراهیمی

استاد راهنمای

دکتر بهزاد اکبری

استاد مشاور

دکتر نادر مکاری

## تقدیم

تقدیم به:

پدر و مادرم به خاطر زحمات بی دیغشان،

همراه زیبای زندگی ام

و دوستانم که همیشه حامی من بوده اند

## تشکر و قدردانی

از استاد عزیزم که در تمامی مراحل نصلیح و راهنمایی های ایشان، چراغ راه بنده بوده است پاکسازم و امیدوارم توانم زحمات ایشان را جبران

کنم. همچنین از زحمات استاد محترم آقایان کلاری و جوان و صبر و حوصله ایشان بسیار پاکسازم. از دانشجویان محترم آقایان ابوالفضل ذکری،

محسن تجلی فر، یا شار نصیریان، سجاد غلامی پور، غلامرضا علوی و آرین سلطانی و خانم هانزکس قلی پور و مریم مقنی که در راه این پژوهش گذاشتند

بی‌دهی ببنده کرده‌اند نیز، نهایت قدردانی را دارم.

سینا ابراهیمی

## چکیده

شبکه‌های نسل پنجم به منظور فراهم‌سازی خدمات مختلف برای مشترکین و صنایع عمودی، طوری طراحی شده‌اند که بتوان با استفاده از یک شبکه فیزیکی، خدمات مختلف را به شکلی مطلوب ارائه داد. برش‌بندی شبکه یکی از ارکان شبکه‌های نسل پنجم هستند و فراهم‌کننده‌های خدمات مخابراتی (CSP) به منظور پایین آوردن هزینه‌ها و بالا بردن درآمد خود، امید زیادی به آن دارند. CSP‌ها با استفاده از فناوری‌های توانمندسازی مانند شبکه‌های نرم‌افزار محور (SDN)، مجازی‌سازی توابع شبکه (NFV) و برش‌بندی شبکه، CSP‌ها می‌توانند خدمات مخابراتی مختلفی را به صورت موثر، مقیاس‌پذیر و منعطف به کاربران نهایی خود عرضه کنند.

نحوه تخصیص منابع و پذیرش کاربران/مستاجران CSP‌ها بر اساس برخی معیارهای از پیش تعیین شده و منابع در دسترس با استفاده از فناوری برش‌بندی شبکه اهمیت بسیاری دارد. در این راستا، یک روش کنترل دسترسی و تخصیص منابع برای شبکه‌های برش‌محور ارائه شده است. هدف دو الگوریتم پیشنهادی، کمینه کردن هزینه مصرف توان گره‌های ابری CSP و هزینه مصرف پهنانی باند لینک‌های فیزیکی CSP با توجه به درخواست‌های برش رسیده از سمت مستاجران CSP است.

در الگوریتم غیر مشترک، قیود مربوط به گره‌های ابری در یک زیرمساله و قیود مربوط به لینک‌ها در زیرمساله بعدی بررسی شده‌اند، در حالی که در الگوریتم مشترک، مساله به صورت مشترک بین تمامی قیود، فرموله شده است. درخواست‌های برش شامل ماشین‌ها و لینک‌های مجازی مستاجر بوده و در مساله، قیود مربوط به نگاشت منابع مجازی به فیزیکی در نظر گرفته شده‌اند. در ارزیابی نتایج، روش مشترک نسبت به روش غیر مشترک، با نرخ متوسط ۴۶٪، عملکرد بهتری در پذیرش درخواست‌های برش مستاجران داشت.

**کلید واژه‌ها:** نسل پنجم شبکه‌های موبایل، شبکه‌های موبایل، برش‌بندی شبکه، شبکه‌های نرم‌افزار محور، مجازی‌سازی توابع شبکه، تخصیص منابع، کنترل درخواست‌ها

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	۵
فهرست شکل‌ها.....	۵
<b>فصل ۱ - مقدمه</b>	<b>۱</b>
۱ ..... پیشگفتار.....	۱
۳ ..... اهمیت شبکه‌های نسل پنجم و برش‌بندی شبکه.....	۲-۱
۶ ..... هدف از پژوهش.....	۳-۱
۷ ..... چالش‌های پژوهش.....	۴-۱
۹ ..... بیان مساله.....	۵-۱
۹ ..... نوآوری‌های پژوهش.....	۶-۱
۱۰ ..... ساختار کلی پایان نامه.....	۷-۱
<b>فصل ۲ - مرور ادبیات</b>	<b>۱۱</b>
۱۱ ..... مقدمه .....	۱-۲
۱۱ ..... معماری برش‌بندی شبکه.....	۲-۲
۱۲ ..... ۱-۲-۲ - برش‌بندی شبکه با استفاده از فناوری‌های SDN و NFV	۱۲
۱۶ ..... ۲-۳ - فرایند تخصیص منابع به یک برش شبکه.....	۱۶
۱۹ ..... ۴-۴ - تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه.....	۱۹
۲۰ ..... ۱-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر نظریه بازی‌ها.....	۲۰
۲۳ ..... ۲-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر یادگیری ماشین.....	۲۳
۲۷ ..... ۳-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر بهینه‌سازی.....	۲۷
۳۳ ..... ۴-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر مدل‌های پایداری/بازیابی شکست.....	۳۳
۳۴ ..... ۵-۲ - جمع‌بندی و چالش‌های موجود.....	۳۴
<b>فصل ۳ - روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه</b>	<b>۴۰</b>
۴۰ ..... ۱-۳ - مقدمه .....	۴۰
۴۰ ..... ۲-۳ - چارچوب مدل سیستمی پیشنهادی.....	۴۰
۴۱ ..... ۳-۳ - زیرساخت فیزیکی.....	۴۱

۴۲	درخواست‌های برش مستاجرها.....	-۴-۳
۴۹	تابع هدف.....	-۵-۳
۵۰	فرموله‌سازی مساله.....	-۳-۶
۵۲	روش حل مساله تخصیص منابع به صورت مشترک بر مبنای برش‌های درخواستی.....	-۷-۳
۵۲	خطی‌سازی مساله تخصیص منابع مشترک.....	-۱-۷-۳
۵۳	ساز و کار کنترل دسترسی برای مساله تخصیص منابع مشترک.....	-۲-۷-۳
۵۶	رونندمای روش پیشنهادی.....	-۳-۷-۳
۵۷	روش حل مساله تخصیص منابع به صورت غیرمشترک بر مبنای برش‌های درخواستی.....	-۸-۳
۵۷	دو زیرمساله کنترل دسترسی و تخصیص منابع برای گره‌های ابری.....	-۱-۸-۳
۵۸	دو زیرمساله کنترل دسترسی و تخصیص منابع برای لینک‌های CSP.....	-۲-۸-۳
۶۰	رونندمای روش تخصیص منابع به صورت غیر مشترک.....	-۳-۸-۳
۶۰	جمع‌بندی.....	-۹-۳
۶۲	<b>فصل ۴- شبیه سازی و ارزیابی نتایج .....</b>	
۶۲	مقدمه .....	-۱-۴
۶۲	محیط شبیه‌سازی .....	-۲-۴
۶۴	نتایج شبیه‌سازی .....	-۳-۴
۶۴	هزینه CSP .....	-۱-۳-۴
۶۶	نمودارهای مربوط به گره‌های ابری.....	-۲-۳-۴
۶۸	نمودارهای مربوط به لینک‌های CSP .....	-۳-۳-۴
۷۰	نمودارهای مربوط به نرخ پذیرش درخواست‌های برش توسط CSP .....	-۴-۳-۴
۷۳	نمودار زمان اجرا .....	-۵-۳-۴
۷۴	تحلیل پیچیدگی .....	-۴-۴
۷۵	تحلیل پیچیدگی روش JRA .....	-۱-۴-۴
۷۶	تحلیل پیچیدگی روش DRA .....	-۲-۴-۴
۷۷	جمع‌بندی.....	-۵-۴
۷۸	<b>فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادها .....</b>	
۷۸	جمع‌بندی .....	-۱-۵
۷۹	نتیجه‌گیری .....	-۲-۵
۸۰	پیشنهادها .....	-۳-۵

**پیوست‌ها**

۱۲۸	فهرست مراجع
۱۳۵	علامه اختصاری
۱۳۹	واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی
۱۴۴	واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه تخصیص منابع برای برش‌بندی شبکه	۳۵
جدول ۱-۳: متغیرهای مساله (۱۶-۳)	۵۱
جدول ۲-۳: سایر نمادهای مساله (۱۶-۳)	۵۱
جدول ۳-۳: متغیرهای کشسان‌سازی مساله کنترل دسترسی AC-JRA (مساله (۱۸-۳))	۵۴
جدول ۳-۴: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۱۸-۳) (AC-JRA) برای حل مساله (۱۶-۳)	۵۵
جدول ۳-۵: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۱۹-۳) (AC-DMA) برای حل مساله (۲۰-۳)	۵۷
جدول ۳-۶: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۲۱-۳) (AC-DLA) برای حل مساله (۲۲-۳)	۵۹
جدول ۱-۴: پارامترهای مربوط به محیط شبیه‌سازی گره‌های ابری و ماشین‌های مجازی درخواستی	۶۳
جدول ۲-۴: پارامترهای مربوط به محیط شبیه‌سازی لینک‌های فیزیکی و لینک‌های مجازی درخواستی	۶۳
جدول ۱-۵: مقادیر استاندارد SST	۱۱۷

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ سناریوهای کاربردی چشم‌انداز IMT-2020	۲
شکل ۲-۱ برش‌های شبکه ۵G پیاده‌سازی شده بر روی یک زیرساخت فیزیکی مشترک	۶
شکل ۱-۲ فراهم‌کنندگان زیرساخت و مستاجرها به عنوان بازیگران مجازی‌سازی شبکه	۱۲
شکل ۲-۲ پیاده‌سازی کنترل کننده‌های SDN در سطوح مختلف و به کارگیری منابع سطوح زیرین	۱۳
شکل ۳-۲ پیاده‌سازی برش‌بندی شبکه در یک چارچوب مشترک با تجمعی SDN و NFV	۱۴
شکل ۴-۲ فرایند تخصیص منابع یک برش شبکه	۱۶
شکل ۵-۲ مثالی از جایابی یک برش تحويل ویدیو بر روی یک شبکه بی‌سیم	۱۹
شکل ۶-۲ معماری شبکه انتها به انتهای CSP در مدل سیستمی پیشنهادی	۳۱
شکل ۷-۲ نمودار دایره‌ای فراوانی پژوهش‌های مورد نظر در حوزه تخصیص منابع برش‌بندی شبکه	۳۹
شکل ۱-۳ معماری شبکه CSP در مدل سیستمی پیشنهادی	۴۱
شکل ۲-۳ رابطه CSP با مستاجرها و برش‌های آن‌ها در مدل سیستمی پیشنهادی	۴۴
شکل ۳-۳ مثالی از یک الگوی درخواست برش رسیده از طرف یک مستاجر به CSP	۴۵
شکل ۴-۳ مثالی از نحوه مسیریابی فیزیکی بین دو گره ابری و رابطه یک لینک مجازی با آن	۴۸
شکل ۵-۳ روندnamی روش پیشنهادی (JRA)	۵۶
شکل ۶-۳ روندnamی روش تخصیص منابع به صورت غیر مشترک (DRA)	۶۰
شکل ۱-۴ توپولوژی شبکه گره‌های ابری CSP در مقداردهی اولیه مساله	۶۳
شکل ۲-۴ مقایسه هزینه کلی تمام‌شده برای CSP	۶۵
شکل ۳-۴ مقایسه هزینه مربوط به مصرف توان گره‌های ابری برای CSP	۶۵
شکل ۴-۴ مقایسه هزینه مصرف پهنانی باند لینک‌ها برای CSP ( $\beta$ )	۶۶
شکل ۵-۴ مقایسه توان کل مصرفی توسط همگی گره‌های ابری ( $\sum_{n \in \mathcal{N}} P_n$ )	۶۷
شکل ۶-۴ مقایسه تعداد گره‌های ابری روشن ( $\sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_n$ )	۶۷
شکل ۷-۴ مقایسه ظرفیت رایانشی کل استفاده شده گره‌های ابری	۶۸
شکل ۸-۴ مقایسه پهنانی باند کل استفاده شده توسط CSP برای برقراری اتصال لینک‌های مجازی برش‌ها	۶۹
شکل ۹-۴ مقایسه هزینه مصرف پهنانی باند لینک‌ها برای CSP ( $\beta$ )	۶۹
شکل ۱۰-۴ مقایسه نرخ پذیرش کلی درخواست‌های برش	۷۱
شکل ۱۱-۴ مقایسه نرخ پذیرش مربوط به منابع رایانشی درخواست‌های برش	۷۱

..... شکل ۱۲-۴ مقایسه نرخ پذیرش مربوط به منابع لینک‌ها برای درخواست‌های برش	۷۲
..... شکل ۱۳-۴ مقایسه تعداد درخواست‌های برش پذیرفته شده	۷۳
..... شکل ۱۴-۴ مقایسه تعداد درخواست‌های برش پذیرفته نشده	۷۳
..... شکل ۱۵-۴ مقایسه زمان متوسط اجرای برنامه	۷۴
..... شکل ۱-۵ جدول زمانی استانداردسازی 5G به همراه زمان‌بندی پروژه‌های 5GPPP	۸۴
..... شکل ۲-۵ تفاوت بین سیستم‌های مخابراتی میراثی (مانند 4G) با سیستم خدمت‌محور 5G	۸۶
..... شکل ۳-۵ رابطه بین بازیگرهای تجاری مختلف و فراهم‌کننده خدمت موبایل از دیدگاه 5GPPP	۸۸
..... شکل ۴-۵ معماری کلی 5G از دیدگاه 5GPPP	۹۱
..... شکل ۵-۵ معماری برش‌بندی شبکه بر اساس SDN در ONF	۹۶
..... شکل ۶-۵ معماری ETSI NFV	۹۹
..... شکل ۷-۵ نگاشت بین مفهوم برش‌بندی در ONF با عناصر ETSI NFV	۱۰۰
..... شکل ۸-۵ معماری هسته نسل جدید (5GC): مدل نقطه به نقطه	۱۰۸
..... شکل ۹-۵ معماری هسته نسل جدید (5GC): مدل خدمت‌محور	۱۰۸
..... شکل ۱۰-۵ مثالی از به اشتراک‌گذاری AMF بین برش‌های مختلف شبکه	۱۱۰
..... شکل ۱۱-۵ لایه‌های برش شبکه از دید NGMN	۱۱۶
..... شکل ۱۲-۵ دو لایه مدیریت خدمت و کنترل کننده برش شبکه	۱۲۱
..... شکل ۱۳-۵ معماری همنوasaزی شبکه 5G-NORMA	۱۲۳
..... شکل ۱۴-۵ فازهای مدیریت چرخه عمر یک نمونه برش شبکه	۱۲۷

## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱ - پیشگفتار

شبکه‌های موبایل نسل پنجم با تکیه بر موفقیت فناوری 4G کنونی، از خدمات شبکه گوناگونی با نیازمندی‌های عملکردی متفاوت پشتیبانی خواهند کرد. نسل پنجم شبکه‌های موبایل، نسلی خواهد بود که از کاربردهای<sup>۱</sup> اختصاصی پشتیبانی کرده و همچنین انواع معین خدمات را برای خواسته‌های همزمان مشتریان گوناگون فراهم کند.

در شبکه‌های 4G تنها از خدمات موبایل مانند دسترسی به اینترنت و تماس تلفنی با یک معماری مناسب برای تمام شرایط<sup>۲</sup> پشتیبانی می‌شود. با این حال، در شبکه‌های 5G که نیازمندی‌های آن در سند

---

<sup>۱</sup> Use-cases

<sup>۲</sup> One Fits for all

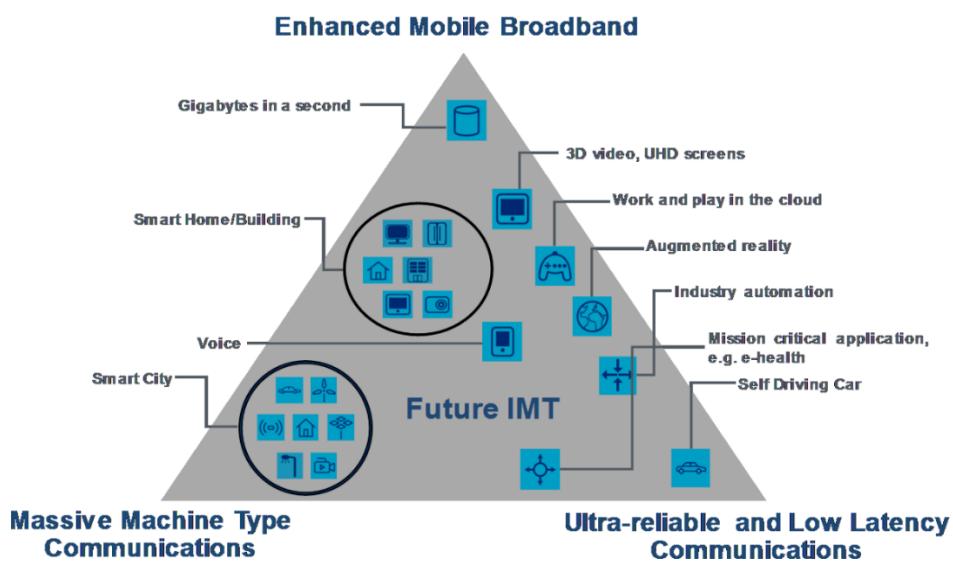
۱۰۰ اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) به تفصیل آمده است [۱]، سه نوع خدمت با ویژگی‌های متنوع

ارائه خواهند شد (شکل ۱-۱). این سه نوع خدمت عبارتند از:

۱) ارتباطات موبایل پهن‌باند پیشرفته (eMBB)،<sup>۳</sup>

۲) ارتباطات ماشینی با تراکم بالا (mMTC)<sup>۴</sup> و

۳) ارتباطات بسیار قابل اطمینان با تاخیر پایین (URLLC).<sup>۵</sup>



شکل ۱-۱ سناریوهای کاربردی چشم‌انداز ۲۰۲۰-IMT.<sup>[۱]</sup>

هم‌چنین در شبکه‌های ۵G قرار است خواسته‌های تجاری گوناگون که گاهی با نیازمندی‌های متناقض نیز همراه است، در نظر گرفته شوند. با اجازه دادن به ذینفعان<sup>۶</sup> مختلف برای ایجاد و اجرای یک معماری نرمافزار محور، می‌توان ۵G را به طور ذاتی یک اکوسیستم چندمستاجری<sup>۷</sup> معرفی نمود. منظور از مستاجر<sup>۸</sup>، یک سازمان، کسب و کار یا اپراتور مجازی موبایل است که با استفاده از منابع زیرساختی فراهم‌کننده شبکه مخابراتی (CSP)<sup>۹</sup> می‌خواهند خدماتی را در اختیار کاربران نهایی خود قرار دهند. از این رو، شبکه‌های ۵G

<sup>۱</sup> International Mobile Telecommunications-2020

<sup>۲</sup> International Telecommunication Union

<sup>۳</sup> Enhanced Mobile Broadband

<sup>۴</sup> Massive Machine Type Communications

<sup>۵</sup> Ultra Reliable and Low Latency Communications

<sup>۶</sup> Stakeholders

<sup>۷</sup> Multi-tenant

<sup>۸</sup> Tenant

<sup>۹</sup> Communication Service Provider

پشتیبانی از چندمستاجری و اتصال مختص هر خدمت<sup>۱</sup> را با کیفیت خدمات (QoS)<sup>۲</sup>) درجه یک عرضه خواهند کرد. این کیفیت خدمات بالا در نهایت باعث شکل‌گیری یک کیفیت تجربه کاربری (QoE)<sup>۳</sup>) پایدار با ارائه یک خدمت متمایز با استفاده از زیرساخت‌های مشترک خواهد شد.

برش‌بندی شبکه<sup>۴</sup> به اپراتور اجازه می‌دهد منابع موجود خود مانند منابع رایانشی، ذخیره‌سازی و پهنای باند لینک‌های خود را طوری در اختیاران کاربران موبایل و مستاجرها خود قرار دهد که نیازمندی‌های خدمتی متفاوت هر کدام (مانند تاخیرهای قابل تحمل و نرخ داده متغیر) در شبکه ارضی ارضی شود. لذا نیاز است تا با استفاده از فناوری‌هایی مانند مجازی‌سازی و شبکه‌های نرمافزار محور، به شبکه فیزیکی کم انعطاف موجود قابلیت برش‌بندی را افزود.

## ۲-۱ - اهمیت شبکه‌های نسل پنجم و برش‌بندی شبکه

در 5G باید از مزایای مجازی‌سازی شبکه به منظور افزایش انعطاف‌پذیری در فراهم‌سازی خدمات به شدت قابل اعتماد<sup>۵</sup> مختلف شبکه موبایل استفاده شود. لازم به ذکر است که سیستم‌های نرمافزاری یا سخت‌افزاری مخابراتی به شدت قابل اعتماد بوده و قابلیت‌های آن‌ها با انجام آزمون‌های بسیار، اثبات شده باشد.

مفهوم مجازی‌سازی شبکه بر روی ارائه نرمافزار محور منابع سخت‌افزاری و نرمافزاری با در نظر گرفتن عملکردهای سطح داده (DP/UP)<sup>۶</sup> و سطح کنترل<sup>۷</sup> (CP) تمرکز دارد. مجازی‌سازی شبکه، پایه و اساس دو مفهوم نرمافزاری کردن شبکه<sup>۸</sup> و برش‌بندی شبکه است. نرمافزاری کردن شبکه، که شامل هم‌نواسازی نیز می‌شود، به مفاهیم معماری، پیاده‌سازی و مدیریت مولفه‌های شبکه بر اساس صفات برنامه‌پذیر نرمافزار می‌پردازد [۲]. این مفهوم با در نظر گرفتن هزینه پیاده‌سازی و بهینه‌سازی فرایند نگهداری چرخه عمر

<sup>۱</sup> Service-tailored connectivity

<sup>۲</sup> Quality of Service

<sup>۳</sup> Quality of Experience

<sup>۴</sup> Network Slicing

<sup>۵</sup> Carrier-Grade

<sup>۶</sup> Data Plane/User Plane

سطح داده و سطح کاربر فرقی با هم ندارند.

<sup>۷</sup> Control Plane

<sup>۸</sup> Network Softwarization

شبکه، قابلیت انعطاف‌پذیری، سازگاری و حتی پیکربندی کامل دوباره<sup>۱</sup> یک شبکه فعال را بر اساس الزامات و رفتارهای به موقع می‌دهد. از طرفی، برش‌بندی شبکه نیز در پی رسیدن به سفارشی‌سازی<sup>۲</sup> خدمت، ایزولاسیون و پشتیبانی از چندمستاجری بر روی یک زیرساخت شبکه فیزیکی مشترک با استفاده از تفکیک منطقی و فیزیکی منابع شبکه است.

به نظر می‌رسد نرم‌افزاری کردن شبکه<sup>۳</sup>، برخی جنبه‌های توسعه شبکه و خدمات، مانند شبکه‌های توزیع محتوا (CDN)<sup>۴</sup> را تحت تاثیر قرار دهد [۳]. برش‌بندی شبکه، با استفاده از جداسازی توابع شبکه از سخت‌افزار اختصاصی و اجرای آن‌ها بر روی کامپیوترهای COTS<sup>۵</sup> یا مراکز داده، پتانسیل زیادی برای ایجاد تحول در پیاده‌سازی و بهره‌برداری از شبکه‌های موبایل دارد. این امکان باعث می‌شود برنامه‌های نرم‌افزاری برای استقرار ویژگی‌های جدید در بخش‌های لازم شبکه تنها به یک بهروزرسانی نرم‌افزاری نیاز داشته باشند تا بتوانند توابع شبکه جدیدتر را پیاده‌سازی کنند و یا به سادگی به رفع اشکالات موجود بپردازنند. امکان اتصال به توابع جدیدتر در شبکه از طریق واسطه‌های برنامه‌پذیر باعث می‌شود با استفاده از فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند قابلیت‌های مقیاس‌پذیری، انعطاف‌پذیری و واکنش‌پذیری بیشتری را در اختیار شبکه‌های آینده قرار دهد [۴].

تحقیقات در حوزه برش‌بندی شبکه به تازگی در میان جامعه همیشه در حال رشد محققان صنعت و دانشگاه، در حال پیشرفت است. هم‌چنین تمرکز سازمان‌های استانداردسازی مختلف مانند IETF<sup>۶</sup> و 3GPP<sup>۷</sup>، در حوزه ITU-T<sup>۸</sup> بر روی این موضوع نیز جالب توجه است. رد مفهوم برش‌بندی شبکه را می‌توان در ایده مدل IaaS<sup>۹</sup> در حوزه رایانش ابری یافت. در IaaS، مستاجران مختلف، منابع رایانشی، شبکه‌ای و ذخیره‌سازی را به صورت اشتراکی استفاده می‌کنند تا بتوانند بر روی یک زیرساخت مشترک، شبکه‌های مجازی ایزوله و

---

<sup>۱</sup> Total Reconfiguration

<sup>۲</sup> Service Customization

<sup>۳</sup> Network Softwarization

<sup>۴</sup> Content Delivery Network

<sup>۵</sup> Commercial-off-the-shelf

<sup>۶</sup> 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project

<sup>۷</sup> Internet Engineering Task Force

<sup>۸</sup> International Telecommunication Union –Telecommunication Sector

<sup>۹</sup> Infrastructure as a Service

کاملاً کاربردی را ایجاد کنند. در زمینه 5G، یک برش شبکه<sup>۱</sup>، به معنی یکپارچه‌سازی منابع مجازی (مانند ماشین‌های مجازی<sup>۲</sup>) است، به طوری که مجموعه‌ای از توابع مجازی شبکه (VNF<sup>۳</sup>ها) از طریق یک شبکه مجازی، راهاندازی اولیه شده و به هم متصل شوند. یک برش 5G به جز مجموعه‌ای از توابع شبکه، حاوی تنظیمات RAT<sup>۴</sup> خاص است که برای یک کاربرد خاص یا یک مدل تجاری با یکدیگر ترکیب شده‌اند. بدین ترتیب، یک برش 5G می‌تواند تمامی بخش‌های شبکه را پوشش دهد. این بخش‌ها شامل موارد زیر است:

- توابع شبکه‌ای که بر روی گره‌های ابری<sup>۵</sup> اجرا می‌شوند،
- پیکربندی‌های خاص در شبکه‌های انتقال (TN<sup>۶</sup>) برای پشتیبانی از مکان جغرافیایی منعطف توابع،
- یک پیکربندی رادیویی اختصاصی یا حتی یک RAT خاص،
- و همچنانی پیکربندی یک دستگاه متصل به 5G (UE<sup>۷</sup>).).

در شکل ۲-۱ مثالی از عملکرد هم‌زمان چند برش شبکه نشان داده شده است که بر روی یک زیرساخت فیزیکی پیاده‌سازی شده‌اند. برای مثال، یک برش 5G مختص گوشی‌های هوشمند را می‌توان با توزیع توابع با حداقل توان در کل شبکه فراهم نمود. امنیت، قابلیت اطمینان و تاخیر کم برای برشی که از کاربرد اتومبیل‌های خودران پشتیبانی می‌کند، حیاتی است. برای چنانی برشی، اکثر توابع باید در لبه شبکه راهاندازی شوند. برش شبکه‌ای که از دستگاه‌های IoT<sup>۸</sup> پشتیبانی می‌کند نیز لازم نیست از توابع شبکه‌ای پشتیبانی کند که کنترل تحرک‌پذیری<sup>۹</sup> را بر عهده دارند. همچنانی برش‌های برقی برش‌های دیگر نیز می‌توانند به صورت موازی به کار گرفته شوند. یکی از این برش‌ها می‌تواند یک برش عمومی باشد که از اتصال بهترین تلاش<sup>۱۰</sup> برای برآمدن از کاربردها و ترافیک ناشناخته پشتیبانی می‌کند. صرف نظر از پشتیبانی از برش‌ها در شبکه، شبکه 5G باید حاوی عملکردهایی باشد که عملیات کنترل شده و امن شبکه را به صورت انتهای به انتهای و در تمامی شرایط تضمین کند.

---

<sup>۱</sup> Network Slice

<sup>۲</sup> Virtual Machines

<sup>۳</sup> Virtual Network Function

<sup>۴</sup> Radio Access Technology

<sup>۵</sup> Cloud Nodes

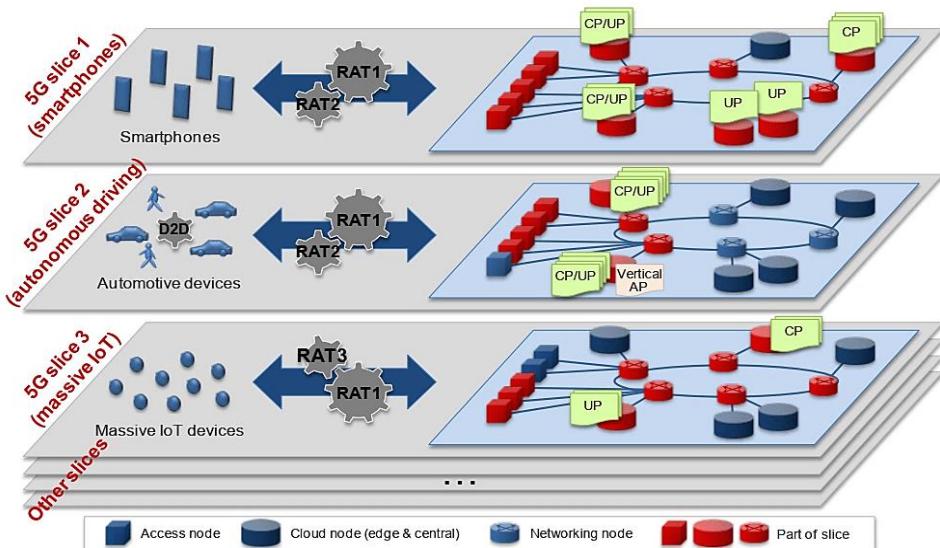
<sup>۶</sup> Transport Network

<sup>۷</sup> User Equipment

<sup>۸</sup> Internet of Things

<sup>۹</sup> Mobility Control & Management

<sup>۱۰</sup> Best Effort Connectivity



شکل ۱-۲ برش های شبکه ۵G پیاده سازی شده بر روی یک زیرساخت فیزیکی مشترک [۵].

امکان ایجاد برش های شبکه انتها به انتهایا بر حسب تقاضا<sup>۱</sup>، با صرفه جویی در هزینه<sup>۲</sup> و همچنین اختصاص دادن آنها برای تامین پویای خدمات متنوع، به عنوان مهم ترین ویژگی ۵G شناخته می شود. در این راستا، تلاش برای توسعه یک سیستم موبایل ۵G، که قادر به استقرار برش های شبکه با اندازه ها و ساختارهای متنوع باشد، ادامه دارد.

### ۳-۱ هدف از پژوهش

بهره برداری بهینه و کاهش میزان مصرف کلیه منابع شبکه (به خصوص در شبکه هسته (CN)) و همچنین افزایش کیفیت خدمات تجربه شده توسط کاربران/شرکای تجاری اپراتورها، اهداف اصلی این پژوهش هستند. همچنین، افزایش سطح انعطاف پذیری و مقیاس پذیری شبکه اپراتورها از جمله اهداف پژوهش های مربوط به برش بندی شبکه در نسل پنجم شبکه بوده است.

<sup>۱</sup> On-Demand

<sup>۲</sup> Cost-Efficient

<sup>۳</sup> Core Network

بهینه کردن سود اپراتور (کمینه کردن هزینه‌های عملیاتی OPEX<sup>۱</sup>) به همراه تضمین کیفیت خدمات مستاجرها/کاربران (کمینه کردن تاخیر و بیشینه کردن نرخ داده<sup>۲</sup>) با تمرکز بر روی شبکه هسته یک ارائه‌دهنده خدمات مخابراتی (CSP<sup>۳</sup>، هدف اصلی این پژوهش است.

## ۱-۴- چالش‌های پژوهش

عمده‌ترین چالش مربوط به پیاده‌سازی برش‌بندی شبکه در شبکه CSP‌های کنونی، آماده نبودن شبکه از نظر زیرساخت‌ها و فناوری‌های لازم مانند SDN<sup>۴</sup> و NFV<sup>۵</sup> می‌باشد. بیشتر CSP‌ها هنوز راه زیادی تا نرم‌افزاری کردن شبکه خود دارند و پیاده‌سازی چنین فناوری‌هایی زمان نسبتاً زیادی می‌خواهد. در این پژوهش، به دلیل ساده‌سازی مساله و کوچک کردن فضای کلی آن فرض بر این است که شبکه CSP در استفاده از کنترل‌کننده‌های (های) منطبقاً متتمرکز SDN و هم‌چنین یک راهکار همنوازی انتها به انتها و زیرساخت مبتنی بر NFV به بلوغ کافی رسیده است.

یکی دیگر از مسائلی که در پژوهش‌های پیشین بسیار به آن پرداخته شده است، مساله چگونگی تخصیص منابع به زنجیره توابع خدمت (SFC<sup>۶</sup>) است [۶]. در مدل سیستمی این پایان‌نامه فرض شده است که مستاجرها/اشخاص ثالث<sup>۷</sup>/اسازمان‌ها<sup>۸</sup>/صنایع عمودی<sup>۹</sup>/اپراتورهای مجازی موبایل (MVNO<sup>۱۰</sup>) با توجه به شناخت از شبکه مجازی درخواستی خود، درخواست برش<sup>۱۱</sup> مربوطه که متشکل از چند ماشین مجازی درخواستی و لینک‌های مجازی بین آن‌هاست را به همنواز CSP می‌فرستند و CSP بر اساس منابع باقیمانده خود تصمیم بر پذیرش یا عدم پذیرش این درخواست برش می‌گیرد. لذا از آن‌جایی که مساله برای

<sup>۱</sup> Operational Expenditures

<sup>۲</sup> Data Rate

<sup>۳</sup> Communication Services Provider

<sup>۴</sup> Software Defined Network (SDN)

<sup>۵</sup> Network Function Virtualization (NFV)

<sup>۶</sup> Service Function Chain

<sup>۷</sup> 3<sup>rd</sup> Parties

<sup>۸</sup> Enterprises

<sup>۹</sup> Vertical Industries

<sup>۱۰</sup> Mobile Virtual Network Operators

<sup>۱۱</sup> Slice Request

حل می‌شود، مستاجرها مسئول تشکیل SFC خود می‌باشند. از این‌رو، چالش‌های اصلی این پژوهش، تخصیص بهینه منابع مختلف یک CSP به برش‌ها و همچنین ساز و کار پذیرش یا عدم پذیرش این درخواست‌ها توسط CSP هستند.

مساله تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه در واقع، بسطی از مساله **جایابی شبکه مجازی** (VNE<sup>۱</sup>) یا همان جایابی بهینه توابع مجازی شبکه (VNF Placement<sup>۲</sup>) است [۷, ۸]. تفاوت اصلی مساله تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه با مساله VNE در این است که در این مساله به جای یک شبکه مجازی که متشکل از چند VNF است، تخصیص منابع باید بر روی چند شبکه مجازی مشابه انجام شود. تضمین برقراری مشخصات شبکه مجازی درخواستی مستاجر توسط CSP نیز از طریق حل مساله تخصیص منابع و تحقق قیود آن باید میسر شود.

یکی دیگر از چالش‌های عمدۀ که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شده است، ارائه ساز و کاری جهت پذیرش یا عدم پذیرش درخواست‌های برش رسیده به CSP بود. طی مرحله شبیه‌سازی مشاهده شد که به دلیل محدودیت منابع CSP، اگر منابع درخواستی تمام برش‌ها از حداکثر منابع CSP بیشتر باشد، مساله تخصیص منابع قادر به حل مساله نخواهد بود و به دلیل برقرار نبودن برخی قیود، مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP<sup>۳</sup>) به اصطلاح، امکان‌ناپذیر<sup>۴</sup> می‌شود. اکثر کارهای پیشین، منابع CSP را به قدری زیاد فرض می‌کردند که دیگر واقعی به نظر نمی‌رسید و سپس اقدام به حل مساله تخصیص منابع خود می‌گرفتند. در این پژوهش، قبل از انجام فاز تخصیص منابع، فاز کنترل دسترسی<sup>۵</sup> انجام می‌شود و در آن سعی شده که مساله امکان‌پذیر<sup>۶</sup> می‌شود [۹].

---

<sup>۱</sup> Virtual Network Embedding

<sup>۲</sup> Virtual Network Functions Placement

<sup>۳</sup> Integer Linear Programming

<sup>۴</sup> Infeasible

<sup>۵</sup> Admission Control

<sup>۶</sup> Feasible

## ۱-۵- بیان مساله

در مساله مطرح شده در این پایان نامه، فرض بر این است که یک CSP با چند مستاجر در شبکه وجود دارد. CSP صاحب شبکه فیزیکی بوده و مستاجرها می‌خواهند از منابع این CSP برای برپایی برش شبکه خود استفاده نمایند. لازم به ذکر است که لازم است شبکه CSP از برخی فناوری‌ها نظیر SDN و NFV پشتیبانی نماید تا بتواند چنین خدمتی را در اختیار مستاجرهای خود بگذارد. برای کسب اطلاعات بیشتر نسبت به مساله مطرح شده، به فصل ۳ که در آن مساله تعریف شده است، مراجعه شود.

## ۱-۶- نوآوری‌های پژوهش

در این پایان نامه، یک چارچوب برش‌بندی شبکه بر اساس چارچوب SlaaS<sup>۱</sup> ارائه شده است [۱۰، ۱۱]. در این چارچوب، CSP قصد دارد منابع خودش را به درخواست‌های برش رسیده از طرف مستاجرها تخصیص دهد. مساله تخصیص منابع مربوطه به همراه قیودی که کیفیت خدمات را برای مستاجرها تضمین می‌کند، با الهام از برخی پژوهش‌های پیشین و هم‌چنین نوآورانه در همین پژوهش فرموله شده است. نوآوری‌های این پژوهش به شرح زیر هستند:

- روش تخصیص منابع ارائه شده موجب کمینه شدن هزینه مصرف توان<sup>۲</sup> گره‌های ابری/اسرورهای CSP و هزینه مصرف پهنه‌ای باند لینک‌های CSP می‌شود. روش مذکور با ترجیح دادن تعداد کمتری از گره‌های ابری روشن، موجب کاهش هزینه کلی CSP می‌شود.
- مدل سیستمی ارائه شده نسبت به اکثر پژوهش‌های پیشین با واقعیت تطابق بیشتری دارد. تاثیر درخواست‌های برش رسیده از طرف مستاجرهای CSP بر روی شبکه CSP اکثراً در کارهای پیشین نادیده گرفته شده است، در حالی که روش پیشنهادی دست مستاجرها را برای همنوازی برش (شبکه مجازی) درخواستی خود باز گذاشته تا آن‌ها به صورت بازگشتی<sup>۳</sup> امکان ارائه خدمت به مشتریان خود را نیز داشته باشند [۱۲]. نکته حائز اهمیت این است که اکثر مستاجرها مانند MVNO‌ها یا صنایع عمودی مرتبط (مثل صنایع تولید خودرو و تولید قطعات الکترونیکی) نیازمندی‌های شبکه مجازی/برش درخواستی خود را می‌دانند و توابع شبکه مجازی خود را بر روی ماشین‌های مجازی درخواستی خود بالا خواهند آورد و زنجیره توابع خدمت خود را تشکیل خواهند داد.

<sup>۱</sup> Slice as a Service

<sup>۲</sup> Power Consumption Cost

<sup>۳</sup> Recursive

- در این پایان نامه، به منظور حل مساله تخصیص منابع پیشنهادی، خطی سازی انجام شده است. علاوه بر این، به منظور غلبه بر امکان ناپذیری مساله در زمان هایی که منابع کافی وجود ندارند، یک ساز و کار کنترل دسترسی نوین پیشنهاد شده است که وظیفه بررسی امکان پذیری مساله قبل از حل مساله تخصیص منابع اصلی را بر عهده دارد.
- علاوه بر مساله تخصیص منابع مشترک<sup>۱</sup> گره ها و لینک های ابری (JRA)، روش غیر مشترک<sup>۲</sup> (DRA) نیز ارائه شده که در آن، منابع مربوط به گره های ابری، در یک زیر مساله و منابع مربوط به لینک های CSP در زیر مساله بعدی بررسی می شوند. برای روش DRA نیز از یک ساز و کار کنترل دسترسی مشابه استفاده شد.
- طبق شبیه سازی های انجام شده، ساز و کار کنترل دسترسی مربوط به مساله JRA (AC-JRA)<sup>۳</sup>، به طور متوسط و در حدود ۴۶ درصد، کارایی بهتری نسبت به ساز و کار کنترل دسترسی مربوط به مساله DRA (AC-DRA)<sup>۴</sup> در زمینه نرخ پذیرش<sup>۵</sup> درخواست های برش داشت که نشان از برتری فرموله سازی منابع گره ها و لینک های ابری CSP به صورت مشترک دارد.

## ۱-۷- ساختار کلی پایان نامه

فصل بعدی این پایان نامه به قرار زیر است. در فصل دوم، در دو زیربخش معماری شبکه و تخصیص منابع در برش بندی شبکه به مرور ادبیات این حوزه پرداخته می شود. در فصل سوم، مساله به صورت کامل تعریف می شود و مدل سیستمی به همراه قیود مختلف شرح داده خواهد شد. انتهای فصل سوم نیز به تعریف تابع هدف و همچنین فرموله سازی مساله مشترک (JRA) اختصاص دارد. فصل چهارم شامل روش حل مساله JRA و همچنین ساز و کار کنترل دسترسی آن (AC-JRA) است. در انتهای این فصل نیز، مساله غیر مشترک (DRA) مطرح شده و ساز و کار کنترل دسترسی آن (AC-DRA) نیز مورد بررسی قرار می گیرد. در فصل پنجم، با معرفی محیط شبیه سازی، مقایسه بین دو روش مطرح شده (JRA و DRA) انجام خواهد شد. فصل ششم به جمع بندی مطالب فصول پیشین اختصاص دارد. همچنین پیشنهادهایی برای ادامه پژوهش ارائه می شود.

<sup>۱</sup> Joint Resource Allocation

<sup>۲</sup> Disjoint Resource Allocation

<sup>۳</sup> Admission Control for JRA

<sup>۴</sup> Admission Control for DRA

<sup>۵</sup> Acceptance Ratio

## فصل ۲- مرور ادبیات

### ۱-۲ مقدمه

در این فصل به بررسی پژوهش‌های مرتبط در حوزه برش‌بندی شبکه پرداخته خواهد شد. ابتدا کارهایی از دیدگاه معماری شبکه بررسی شده و سپس به بررسی پژوهش‌های حوزه تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه پرداخته می‌شود. در انتهای فصل نیز به جمع‌بندی پژوهش‌های بررسی شده و چالش‌های موجود پرداخته خواهد شد. ضمن این که تمامی مفاهیم پایه مربوط به پژوهش‌های برش‌بندی شبکه از جمله نحوه استانداردسازی، فناوری‌های توانمندساز، بازیگرهای تجاری 5G، معماری شبکه هسته 5G، نحوه همنوasaزی شبکه و مدیریت چرخه عمر برش‌های شبکه به بخش پیوست‌ها منتقل شده‌اند.

### ۲-۲ معماری برش‌بندی شبکه

نویسنده‌گان [۱۳]، برای 5G، معماری‌های منطقی و زیرساختی را تشریح نموده‌اند. این پژوهش، یکی از مقالات مستخرج از پژوهه 5G NORMA است [۱۴]. یکی از اولین پژوهش‌ها در زمینه برش‌بندی شبکه [۱۵] می‌باشد که در آن، یک طراحی کلی از عناصر برش‌های شبکه ارائه شده و در انتها یک اثبات مفهوم (PoC<sup>۱</sup>) بر روی شبکه LTE و با استفاده از معماری متن‌باز OAI<sup>۲</sup> انجام شده است [۱۶].

---

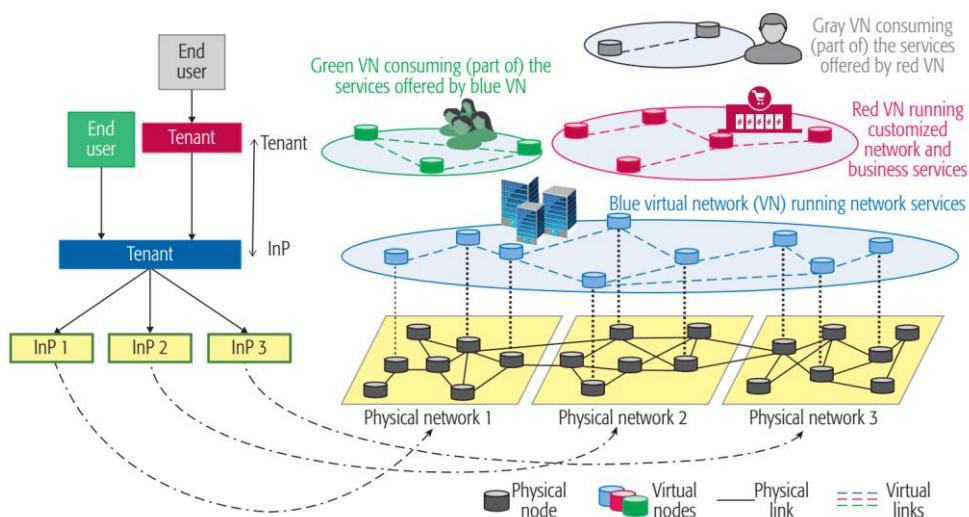
<sup>۱</sup> Proof of Concept

<sup>۲</sup> OpenAir Interface

نویسنده‌گان در [۱۷]، با بحث در مورد مفهوم اشتراک شبکه<sup>۱</sup> که از نسخه دوازدهم در استانداردهای ۳GPP مطرح شده [۱۸-۲۰]، آغاز نموده و روند رسوخ این مفهوم قبلًا رادیویی به بخش‌های دیگر شبکه از طریق برش‌بندی شبکه را از دیدگاه معماری و مفهومی بررسی نموده‌اند. در [۲۱] نیز معماری مفهومی برش‌بندی شبکه معرفی شده که بر مبنای فناوری‌های SDN و NFV و همنوasaزی انتها به انتهای می‌باشد. همچنین در انتهای این پژوهش نیز، یک رویه Handover برای بررسی قابلیت تحرک‌پذیری<sup>۲</sup> در شبکه‌های برش‌محور (مانند ۵G) ارائه شده است. [۱۲] نیز تعامل دو فناوری NFV و SDN را لازمه اصلی تحقق برش‌بندی شبکه می‌داند. این پژوهش در زیربخش بعدی به طور مفصل بررسی شده است.

## ۱-۲-۲- برش‌بندی شبکه با استفاده از فناوری‌های SDN و NFV

در برش شبکه به دلیل پیچیدگی و وسعت حوزه وظایف همنوasaزی و نیاز به حفظ استقلال مدیریتی و پشتیبانی از تکرار این فرایند، نمی‌توان همنوasaزی را توسط یک واحد مرکزی انجام داد. در این دیدگاه، برای برآورده کردن شرایط گفته شده، چارچوبی که در آن هر بازیگر مجازی‌سازی دارای یک واحد همنوasaزی است، مناسب به نظر می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۱-۲ قابل مشاهده است، InP ها و مستاجرها به عنوان بازیگران مجازی‌سازی دارای ساختار بازگشتی بوده [۲۲] و الگوی چندلایه‌ای عمودی در آن‌ها اعمال شده است.



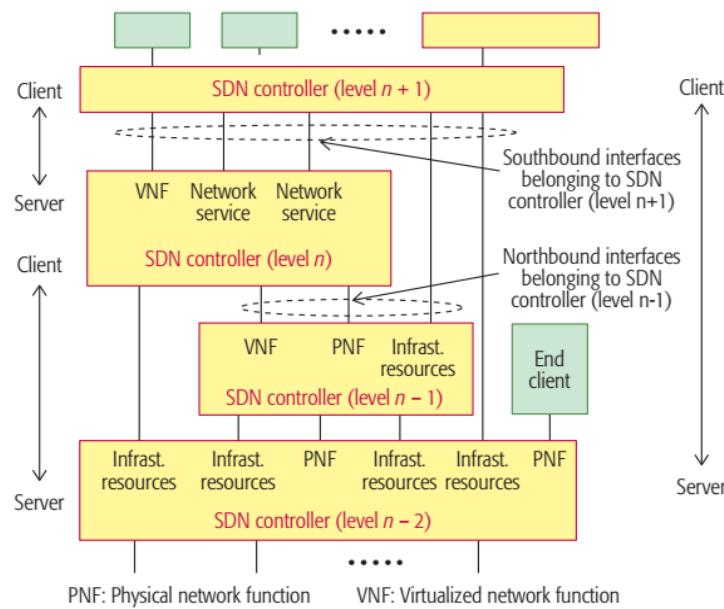
شکل ۱-۲ فراهم‌کنندگان زیرساخت و مستاجرها به عنوان بازیگران مجازی‌سازی شبکه [۱۲].

در ادامه، مطابق [۱۲] نحوه در اختیار گذاشتن شبکه CSP به مستاجرهای مختلف در قابل مثالی شرح داده می‌شود. در شکل ۱-۲ فرض کنید InP1 و InP3 متعلق به شبکه اپراتور است و InP2 زیرساخت انتقال

<sup>۱</sup> Network Sharing

<sup>۲</sup> Mobility

را فراهم می‌کند. همچنین مستاجر آبی رنگ، شبکه مجازی همان اپراتور است که خدمات شبکه بر روی آن اجرا می‌شود. مستاجر آبی هم‌زمان به کاربران نهایی (با رنگ سبز) و یک مستاجر دیگر (به رنگ قرمز)، که خدمات تجاری IoT برای مشتریان صنعتی (کاربران نهایی نشان‌داده شده به رنگ طوسی) فراهم می‌کند، خدمت‌دهی می‌کند. در این سطح مستاجر آبی رنگ، یک InP محسوب می‌شود.



شکل ۲-۲ پیاده‌سازی کنترل کننده‌های SDN در سطوح مختلف و به کارگیری منابع سطوح زیرین توسط سطوح بالاتر [۱۲، ۲۲].

در [۱۲] و همچنین برخی معماری‌های مطرح شده در پروژه 5G-NORMA ([۲۴، ۲۳، ۱۴]) از مفهوم کنترل کننده‌های SDN سلسله‌مراتبی استفاده شده است. در شکل ۲-۲ فرض کنید کنترل کننده سطح  $n+1$  تقاضای منبعی را دارد که در حال حاضر در دامنه خودش در اختیار ندارد. در صورت داشتن مجوز، کنترل کننده سطح  $n+1$ ، یک خدمت شبکه جدید یا مقیاس‌شده را از کنترل کننده سطح  $n$  درخواست می‌کند. بدین ترتیب کنترل کننده سطح  $n$  نیز از کنترل کننده سطح  $n-1$  درخواست یک منبع VNF جدید یا مقیاس‌شده را می‌کند. کنترل کننده سطح  $n+1$  همچنین می‌تواند به صورت مستقیم از کنترل کننده سطح  $n-1$  درخواست منبع VNF بکند. وقتی که منبع مورد نظر فراهم شد، کنترل کننده سطح  $n+1$  درخواست خدمت را با تامین ویژگی‌های مربوط به خدمت در منبع جدید، کامل می‌کند. کنترل کننده سطح  $n$  نیز زیرساخت‌های فیزیکی مورد نیاز برای کنترل کننده سطح  $n-1$  را فراهم کرده است.

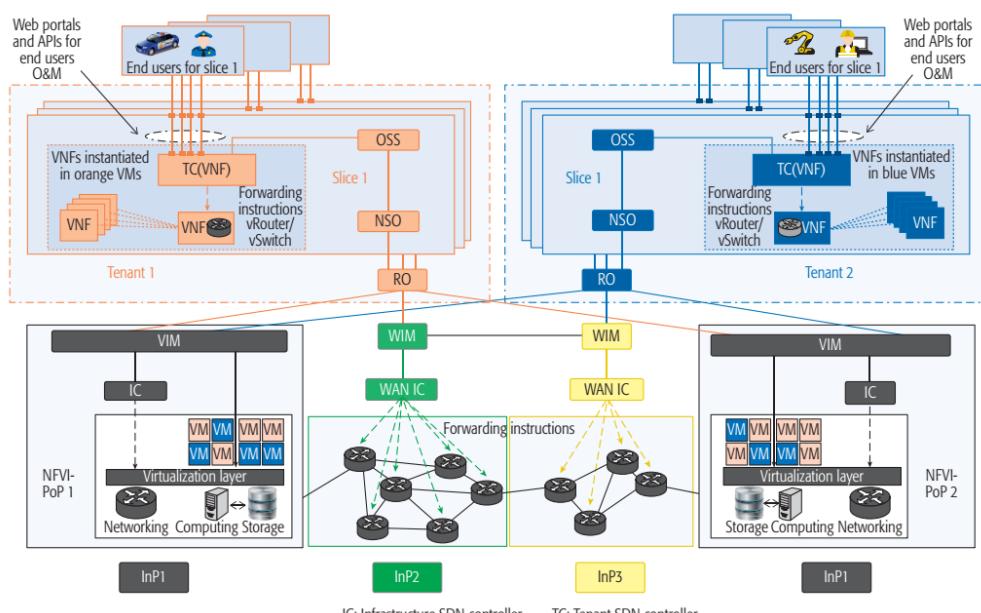
برای توضیح برش‌بندی شبکه، در [۲۵، ۱۲] مثالی از پیاده‌سازی NFV در یک شبکه SDN شرح داده شده است، که در آن چند برش بر روی یک زیرساخت NFV مشترک اجرا می‌شوند (شکل ۳-۲). در این پیاده‌سازی، دو مستاجر داریم که هر یک مجموعه مشخصی از برش‌ها را مدیریت می‌کنند. در این مثال، مستاجرها به صورت مستقیم به مشتری نهایی خدمت می‌دهند. هر برش، شامل VNF‌هایی است که برای

پشتیبانی و ساخت خدمات مورد نظر برش با هم ترکیب شده‌اند. توجه داشته باشید که پیاده‌سازی شامل

دو فاز مجزا است:

- **فاز ایجاد برش:** کاربر نهایی درخواست یک برش از کاتالوگ برش شبکه می‌دهد و مستاجر، برش مربوطه را ایجاد می‌کند.

- **فاز زمان اجرا:** در این فاز، بلوک‌های عملکردی برای هر برش ایجاد شده‌اند و در حال انجام عملیات مربوطه هستند. در شکل ۳-۲ برای سادگی تنها فاز زمان اجرا نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ پیاده‌سازی برش‌بندی شبکه در یک چارچوب مشترک با تجمعی SDN و NFV [۱۲].

در مثال شکل ۳-۲ فرض شده که مستاجرهای، منابع زیرساخت NFV خود را از طریق سه فراهم‌کننده زیرساخت (InP) تامین می‌کنند. InP1 منابع رایانشی و شبکه‌ای را فراهم می‌کند و در دو نقطه حضور NFVI-PoP (Point of Presence) مستقر است. InP2 و InP3 شبکه‌های انتقال WAN<sup>۲</sup> مبتنی بر SDN را فراهم می‌کنند. ماشین‌های مجازی و سخت‌افزار مربوطه که در نقاط حضور NFVI ارائه شده‌اند و مسئول میزبانی از VNF‌ها هستند، به طور مستقیم توسط VIM‌های همان نقطه حضور مدیریت می‌شوند. منابع شبکه پشتیبان اتصال ماشین مجازی در لایه سخت‌افزار به صورت قابل برنامه‌ریزی، توسط کنترل کننده‌های زیرساخت (IC)،

<sup>۱</sup> Point of Presence

<sup>۲</sup> Wide Area Network

<sup>۳</sup> Infrastructure Controller

در ادامه VIM و مدیر زیرساخت WAN (WIM<sup>۱</sup>) مدیریت می‌شوند. VIM و WIM مانند برنامه‌های کاربردی SDN رفتار کرده و وظایف مربوط به مدیریت منابع شبکه را به کنترل کننده‌های زیرساخت زیر نظر آن‌ها محول می‌کنند. در این مثال، IC در لایه بالای NFVI مستقر شده است، ولی می‌توان آن را در VIM مربوطه نیز تجمعی نمود.

در لایه بالای InP‌ها، مستاجرها به صورت مستقل، مجموعه‌ای از برش‌های شبکه را مدیریت می‌کنند. هر برش، شامل یک کنترل کننده مستاجر (TC<sup>۲</sup>)، یک همنواز خدمت شبکه (NSO<sup>۳</sup>) و OSS<sup>۴</sup> است. از زاویه دید TC، OSS و برنامه‌های کاربردی SDN، به TC یاد می‌دهند که VNF‌های برش مورد نظر را مدیریت کرده و آن‌ها را به صورت مناسبی برای ایجاد خدمات شبکه ترکیب کند. چرخه عمر خدمات شبکه توسط NSO مدیریت می‌شود که از طریق OSS با TC تعامل خواهد داشت. TC که صرفاً به عنوان یک VNF مستقر شده است، بر اساس قابلیت‌های فراهم شده توسط مسیریاب‌ها و سوئیچ‌های مجازی برای ایجاد امکان ترکیب VNF‌ها و زنجیره‌سازی آن‌ها، دستورات مربوطه را به مسیریاب‌ها و سوئیچ‌های مجازی از طریق واسط جنوبی<sup>۵</sup> ارسال می‌کند. هم‌چنین از طریق ارتباط با لایه بالا، TC، ابزاری برای دسترسی به خدمات شبکه به کاربر نهایی فراهم می‌کند. با توجه به این که هر برش دارای OSS و NSO و TC مخصوص خودش می‌باشد، ایزو لاسیون مدیریتی نیز فراهم می‌شود. ایده‌ی داشتن دو سطح کنترل کننده IC و TC در [۲۵] توسط ETSI برای تسهیل برش‌بندی شبکه مطرح شده است. همان‌طور که در شکل ۳-۲ قابل مشاهده است، مدیریت منابع در دو سطح انجام می‌شود:

- در سطح زیرساخت: جایی که VIM/WIM مستقل از برش، منابع مجازی زیرساخت را برای مستاجر فراهم می‌کنند.
- در سطح مستاجر: RO<sup>۶</sup> منابع را به برش‌ها تخصیص می‌دهد. VIM/WIM و RO باید اطلاعات استفاده از منابع (در دامنه خود) را جمع‌آوری کرده و منابع در دسترس را برای برآوردن نیازهای برش و مستاجر پیش‌بینی نمایند.

در مثال شکل ۳-۲ دو سطح کنترل کننده SDN داریم که IC مسئولیت کنترل زیرساخت شبکه و مجازی‌سازی آن در دامنه InP را بر عهده دارد و منابع مجازی را در اختیار VIM و سپس در اختیار مستاجر

<sup>۱</sup> WAN Infrastructure Manager

<sup>۲</sup> Tenant Controller

<sup>۳</sup> Network Service Orchestrator

<sup>۴</sup> Operations Support System

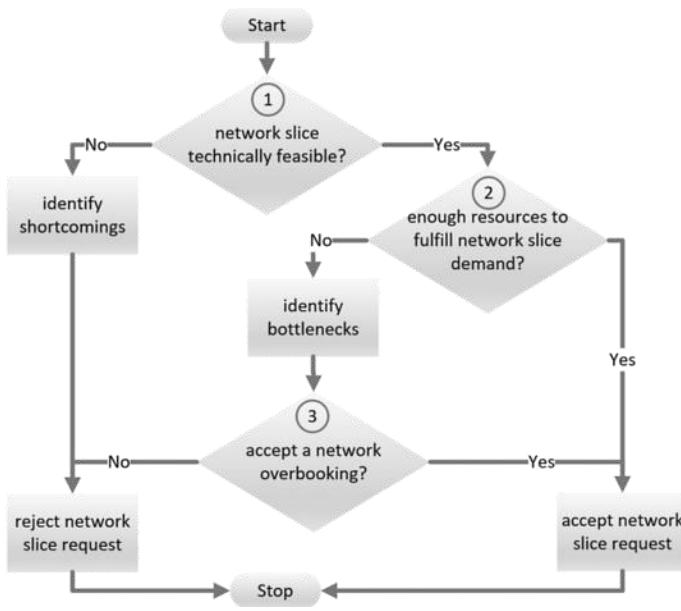
<sup>۵</sup> Southbound Interface

<sup>۶</sup> Resource Orchestrator

قرار می‌دهد. TC نیز مسئول کنترل VNF‌های مستاجر می‌باشد. لذا سطوح انتزاعی مختلف، باعث بهینه‌سازی، جداسازی وظایف InP و مستاجرها، و همچنین درک بهتر شبکه می‌شوند.

### ۴-۲-۳- فرایند تخصیص منابع به یک برش شبکه

برش‌بندی شبکه به صورت انتهای یک توامندساز کلیدی برای شبکه‌های نسل پنجم می‌باشد که در آن‌ها فراهم‌کننده برش (CSP)، انواع برش شبکه را برای مشتریان (مستاجرهای) برش به منظور انجام خدمات مختلف ایجاد می‌نماید. به منظور ایجاد یک برش باید منابعی (مانند پهنهای باند، توان پردازشی و حافظه) به آن اختصاص یابد. فرایند تخصیص منابع به یک برش در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲ فرایند تخصیص منابع یک برش شبکه [۲۶].

در فرایند نشان داده شده در شکل ۴-۲، در ابتدا با دریافت درخواست برش بررسی می‌شود که آیا زیرساخت CSP توانایی خدمت‌دهی به این برش را دارد یا خیر (بررسی امکان‌پذیری<sup>۱</sup> برش). در صورت عدم امکان‌پذیری برش، ضمن بررسی کمبودها توسط CSP، درخواست ایجاد برش مربوطه رد می‌شود. در صورت امکان‌پذیر بودن برش، CSP باید بررسی کند که آیا در حال حاضر منابع موجود در زیرساخت، ظرفیت لازم را دارند یا خیر. در صورت وجود منابع لازم، درخواست برش پذیرفته شده و برش ایجاد می‌گردد. در غیر این صورت، CSP گلوگاه‌های خود را بررسی می‌کند و اگر احتمال نقض SLA سایر برش‌ها در صورت پذیرش این درخواست برش کم باشد، می‌تواند درخواست برش را بپذیرد.

به دلیل لزوم ایزو لا سیون منابع و همچنین محدودیت این منابع، تخصیص منابع به صورت کارا به منظور بیشینه کردن بهره‌وری برای چندین برش شبکه که در کنار هم فعال هستند، ضروری است. همچنین نیاز

<sup>۱</sup> Feasibility

به تخصیص پویای منابع به برش‌ها، بر حسب تقاضا نیز وجود دارد. از طرف دیگر، اختصاص منابع به صورت دقیق و سریع به چندین برش شبکه کاری بسیار چالش برانگیز است که دلایل اصلی آن به شرح زیر است:

- هر برش شبکه نیاز به توابع خاصی دارد که احتمالاً باید با نظم خاصی اجرا شوند.
- عملیات هر برش شبکه به همکاری نزدیک چندین بخش کلیدی شامل (۱) صاحب برش (مستاجر)، (۲) فراهم‌کننده خدمت (CSP) و (۳) فراهم‌کننده زیرساخت (InP) نیاز دارد.
- هر برش به سه نوع منبع (۱) پردازشی، (۲) شبکه‌ای و (۳) ذخیره‌سازی نیاز دارد [۲۶]. بنابراین، تخصیص منابع باید بین این نوع منابع، تعادل برقرار نموده و از این رو، مفاهیم عدالت و کارایی (مانند آن‌چه در نظریه سیستم عامل مطرح شده [۲۷]) نیز مطرح شده و می‌توانند ابعاد پیچیدگی مساله را بسیار زیاد کنند.

مساله برش‌بندی شبکه، یک مساله بهینه‌سازی ترکیبی از جایابی NFها بر روی مجموعه‌ای از موقعیت‌های مکانی مناسب و تصمیم‌گیری در مورد چگونگی اتصال آن‌ها به یکدیگر است. این مساله ریاضیاتی را می‌توان به فرم مساله جایابی شبکه مجازی (VNE<sup>۱</sup>) فرموله کرد.

در مساله VNE یک شبکه مجازی (H) داریم و باید آن را بر روی یک شبکه فیزیکی (G) نگاشت (یا جایابی) کنیم. شبکه فیزیکی  $G = (V, E, \beta, c)$  از گره‌های  $v \in V$  و لینک‌های  $e \in E$  تشکیل می‌شود و هر گره دارای ظرفیت  $0 \leq \beta_v \leq \beta_e$  و هر لینک  $e$  نیز به ترتیب هزینه‌های  $c_v$  و  $c_e$  را دارند. بسته به کاربرد، هزینه باقیمانده است. هر گره  $v$  و هر لینک  $e$  نیز به ترتیب هزینه‌های  $c_v$  و  $c_e$  را دارند. بسته به کاربرد، هزینه می‌تواند بیانگر ازدحام، ترجیحات اپراتور، تعادل بار یا هزینه مادی عملیات باشد.

شبکه مجازی  $H = (N, L, d, M)$  از گره‌های مجازی  $N$  و لینک‌های مجازی  $L$  تشکیل شده و دارای الزامات ظرفیت  $d_n$  و  $d_l$  برای هر گره مجازی  $n \in N$  و هر لینک مجازی  $l \in L$  است. هزینه استفاده، یکتابع خطی از ظرفیت استفاده شده است، به بیان دیگر، هزینه گره مجازی  $n$  با تقاضای ظرفیت  $d_n$  با استفاده از گره فیزیکی  $v$  با هزینه  $c_v$  برابر با  $d_n \times c_v$  است. هر گره مجازی  $n$  را می‌توان دقیقاً در یک گره فیزیکی از مجموعه‌ای از گره‌های فیزیکی  $M_n$  جایابی کرد.  $M_n$  در واقع زیرمجموعه‌ای از مجموعه تمام گره‌های فیزیکی  $(V)$  می‌باشد.

جایابی  $H$  در  $G$  شامل دو مرحله نگاشت می‌شود: (۱) نگاشت هر گره مجازی  $n \in N$  به یک گره فیزیکی  $v \in M_n$ . (۲) نگاشت هر لینک مجازی  $(m, n)$  به یک مسیر فیزیکی بدون حلقه با لینک فیزیکی  $(u, v)$ . یک جایابی امکان‌پذیر<sup>۲</sup>، جایابی‌ای است که در آن قیدهای ظرفیت همگی گره‌ها و لینک‌ها ارضاء شود. به عبارت دیگر، مجموع تقاضاهای ظرفیت از همه گره‌های مجازی که بر روی یک گره فیزیکی نگاشت شده‌اند، کمتر

<sup>۱</sup> Virtual Network Embedding

<sup>۲</sup> Feasible Embedding

از ظرفیت این گره فیزیکی باشد و همچنین، مجموع تقاضاهای همگی لینک‌های مجازی که به یک لینک فیزیکی نگاشت شده‌اند، کمتر از ظرفیت این لینک فیزیکی باشد. مساله VNE همان یافتن یک جایابی امکان‌پذیر با کمترین هزینه است.

مساله VNE یک ILP<sup>۱</sup> است که در دسته مسائل NP-Hard قرار دارد. حتی با یک نگاشت گره مجازی به فیزیکی، مساله تخصیص بهینه مجموعه‌ای از لینک‌های مجازی به مسیرهای فیزیکی، به یک مساله شاره چندکالایی تقسیم‌ناپذیر<sup>۲</sup> تقلیل می‌یابد، که آن هم یک مساله NP-Hard است. با این حال، برخی راه حل‌های مکاشفه‌ای نیز معرفی شده‌اند [۲۸].

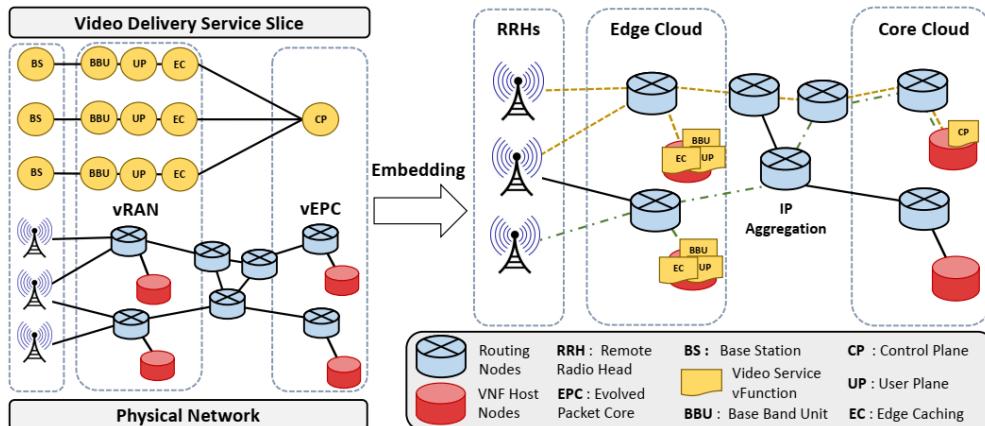
برای تصمیم‌گیری در مورد چگونگی ایجاد یک برش، باید به بررسی جایابی یک شبکه مجازی، که بیانگر مولفه‌های لازمه برای برش است، پرداخته شود. برش  $H^0 = (N, L, d, M)$  را تعریف می‌کنیم که در آن  $L$  بیانگر مجموعه لینک‌ها،  $d$  بیانگر الزامات ظرفیت آن‌ها و مجموعه  $N$  بیانگر مجموعه VNF‌هاست. به بیان دیگر، یال‌های  $H^0$  بیانگر نحوه اتصال VNF‌های مختلف به یکدیگر است. در این صورت، می‌توان از مجموعه قیود مکان ( $M_n$ ) برای نگه داشتن قابلیت‌های گره‌های فیزیکی برای اجرای یک VNF معین و الزامات مکانی برنامه‌های کاربردی و کاربران شبکه استفاده کرد. مساله برش‌بندی شبکه (NS)<sup>۳</sup> همان یافتن امکان‌پذیری جایابی برش با کمترین هزینه است. با انتخاب دقیق مجموعه‌های جایابی  $M_n$  و لینک‌های مجازی، هزینه‌ها، ظرفیت‌ها و تقاضاهای می‌توان هر مساله NS را به صورت یک مساله VNE توسعه یافته بیان نمود [۸].

در شکل ۵-۲ برخی جنبه‌های مساله NS نشان داده شده است (در اینجا منظور از UP و CP، یک یا چند VNF در بخش مترادف است). در این مثال بر روی پیاده‌سازی یک برش تحويل ویدیو تمرکز شده است. یک نمایش گرافی از شبکه مجازی، شبکه فیزیکی زیرین و نتیجه جایابی VNF‌ها در شکل ۵-۲ نشان داده شده است. این مثال نشان می‌دهد که جایابی بهینه VNF‌ها و اتصال آن‌ها به یکدیگر به تمامی پارامترهای مساله شامل هزینه‌های گره‌های فیزیکی و لینک‌ها، ظرفیت‌ها و الزامات ارتباطاتی بستگی دارد.

<sup>۱</sup> Integer Linear Programming

<sup>۲</sup> Unsplittable commodity flow problem

<sup>۳</sup> Network Slicing



شکل ۵-۲ مثالی از جایابی یک برش تحویل ویدیو بر روی یک شبکه بی سیم [۸].

در ادامه این فصل به بررسی پژوهش‌های انجام شده برای تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه پرداخته شده است. می‌توان دو حالت دسته‌بندی برای این پژوهش‌ها ارائه داد. در حالت اول می‌توان پژوهش‌ها را بر اساس تمرکز آن‌ها بر روی دامنه‌های شبکه به چهار بخش (۱) شبکه دسترسی رادیویی، (۲) شبکه انتقال، (۳) شبکه هسته و (۴) انتهای به انتهای تقسیم کرد.

در حالت دوم نیز می‌توان پژوهش‌ها را در چهار دسته (۱) مبتنی بر نظریه بازی‌ها، (۲) مبتنی بر یادگیری ماشین، (۳) مبتنی بر بهینه‌سازی و (۴) مبتنی بر پایداری / بازیابی شکست<sup>۱</sup> بررسی نمود. در ادامه این فصل بر اساس دسته‌بندی حالت دوم، پژوهش‌های اخیر بررسی خواهند شد. هم‌چنین سیر شرح پژوهش‌ها در هر یک از سه بخش آتی از شبکه دسترسی رادیویی شروع شده و به بررسی روش‌های انتهای به انتهای ختم می‌شود. ضمن این که روش حل مساله این پایان‌نامه نیز مبتنی بر بهینه‌سازی (مساله‌ای از جنس ILP)<sup>۲</sup> بوده و با استفاده از ابزار MOSEK حل شده است [۲۹، ۳۰].

#### ۴-۲- تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه

در این بخش، به مرور پژوهش‌هایی پرداخته خواهد شد که از دید حل یک مساله تخصیص منابع به برش‌بندی شبکه پرداخته‌اند. نویسنده‌گان [۲۱] مروری بر برخی کارهای مرتبط با تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه کرده‌اند که در آن انواع مختلف منابع در حال تخصیص، دامنه شبکه سناریوها، توابع هدف و مدل ریاضیاتی آن‌ها بررسی شده است (برای اطلاعات بیشتر رجوع شود به [۲۱]).

<sup>۱</sup> Robustness / Failure Recovery Models

<sup>۲</sup> Integer Linear Programming

## ۱-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر نظریه بازی‌ها

در [۳۱] تخصیص منابع شبکه دسترسی رادیویی با در نظر گرفتن دو سطح برای InP و CSP مدل‌سازی شده است. در این پژوهش، یک بازی حراج<sup>۱</sup> بین CSP و InP مدل شده است و مساله با استفاده از الگوریتم‌های حریصانه و برنامه‌نویسی پویا حل شده است.

در [۳۲] چارچوبی برای برش‌بندی شبکه بین چند CSP ارائه شده است. در چارچوب معرفی‌شده در [۳۲] چند CSP می‌توانند با یکدیگر همکاری کرده و منابع طیفی قابل دسترسی با مجوز و بدون مجوز را با یکدیگر به اشتراک گذاشته و از بین آن‌ها برش‌بندی را انجام دهنند. مدل‌سازی مساله با استفاده از یک بازی تشکیل ائتلاف<sup>۲</sup> انجام شده است.

در [۳۳] کسب و کار دو CSP و نحوه رقابت بین آن‌ها در کیفیت ارائه خدمات به کاربر مدل شده است. منبع اصلی مدل شده برای اندازه‌گیری کیفیت خدمات، نحوه تخصیص ظرفیت سلول‌های رادیویی به کاربران بوده است.

نویسنده‌گان [۳۴] برای رسیدگی به مفهوم عدالت<sup>۳</sup> بین کاربران و برش‌های شبکه از مدل اقتصادی شناخته‌شده بازار فیشر<sup>۴</sup> بهره برده‌اند. در این مدل، خریداران با بودجه‌های ثابت به مستاجران برش شبکه با منابع شبکه اشتراکی نگاشت شده‌اند. پیشنهاد یک خریدار<sup>۵</sup> نیز به اولویت درخواستی یک مستاجر برش نگاشت شده است. در سناریوی برش‌بندی شبکه 5G، ممکن است مستاجر یک برش شبکه بخواهد به منظور بیشینه‌سازی سودمندی<sup>۶</sup> خود، ترجیحات خود را به صورت پویا بنا بر ازدحام منابع<sup>۷</sup> دوباره تنظیم کند. در این صورت، مساله تخصیص منابع به یک بازی غیرتعاونی<sup>۸</sup> برای تشخیص نحوه تخصیص منابع برای برش‌های شبکه از طریق در نظر گرفتن ترجیحات آن‌ها و عدالت بین کاربران (به صورت مشترک<sup>۹</sup>) تبدیل می‌شود.

---

<sup>۱</sup> Auction Game

<sup>۲</sup> Coalition Formation Game

<sup>۳</sup> Fairness

<sup>۴</sup> Fisher Market

<sup>۵</sup> Bid of a Buyer

<sup>۶</sup> Utility Maximization

<sup>۷</sup> Resource Congestion

<sup>۸</sup> Non-Cooperative Game

<sup>۹</sup> Jointly

نویسنده‌گان [۳۵] روشی بر مبنای نظریه بازی‌ها برای جایابی VNF‌ها رو اتحاد ابرها<sup>۱</sup> (متشكل از چند فراهم‌کننده ابر) به منظور ایجاد شبکه هسته نسل پنجم ارائه داده‌اند. در حل مساله (مانند دیگر پژوهش‌ها) فرض شده است که هر فراهم‌کننده ابر، اطلاعات کاملی در مورد دیگر فراهم‌کننده ابر دارد که شاید در عمل این فرض برقرار نباشد، چون امکان دارد هر فراهم‌کننده ابر، فناوری مجازی‌سازی مختلفی داشته باشد و به همین دلیل، هزینه ایجاد یک VNF ممکن است بر روی زیرساخت هر فراهم‌کننده متفاوت باشد. هم‌چنین عموماً این فراهم‌کننده‌گان به دلایل رقابتی، چنین اطلاعاتی را با رقیب خود به اشتراک نمی‌گذارند. بنابراین، نویسنده‌گان با بهره‌گیری از یک بازی تشکیل ائتلاف بیزی<sup>۲</sup> برای این شرایط چالشی با اطلاعات ناشناخته درباره دیگر فراهم‌کننده ابر، ائتلافی بهینه که می‌تواند هر VNF شبکه هسته نسل پنجم را با همکاری فراهم‌کننده ابر دیگر جایابی نماید، ارائه داده‌اند.

در [۳۶] نیز، یک چارچوب بازی همکارانه<sup>۳</sup> دو مرحله‌ای برای ایجاد نمونه‌های شبکه هسته مجازی<sup>۴</sup> به عنوان خدمات مختلف ارائه شده که هدف آن، جایابی VNF‌های شبکه هسته مجازی به صورت کارا بر روی اتحاد ابر می‌باشد. در مرحله اول بازی، در همان ابر شبکه، یک مساله بهینه‌سازی با هدف کمینه‌سازی هزینه ایجاد VNF‌ها با تنظیم تعداد آن‌ها حل می‌شود. سپس در مرحله دوم، نحوه جایابی VNF‌ها در ابرهای مختلف بررسی شده است که در آن کیفیت خدمات تضمین شده و سود هر ابر شبکه، بیشینه‌سازی می‌شود. در واقع، ابرهای مختلف شبکه با VNF‌های مختلف مستقر شده بر روی آن‌ها، توانایی تشکیل انواع مختلف ائتلاف را دارند. یک قاعده ادغام و تقسیم<sup>۵</sup> نیز برای تحلیل سودهای مختلف تمامی ائتلاف‌های ممکن در این پژوهش بررسی شده است. برای تعیین تعداد بهینه نمونه منابع مجازی VNF‌های مختلف شبکه هسته از یک مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP)<sup>۶</sup> استفاده شده است. هم‌چنین یک الگوریتم بازی ائتلافی برای جایابی این نمونه‌ها بر روی ابرهای خدمتدهنده‌های مختلف با هدف تضمین کیفیت خدمات و بیشینه‌سازی سود هر خدمتدهنده ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Cloud Federation

<sup>۲</sup> Bayesian Coalition Formation Game

<sup>۳</sup> Cooperative Game

<sup>۴</sup> Virtual Core Network Instances

<sup>۵</sup> Merge and Split Rule

<sup>۶</sup> Mixed Integer Linear Programming

در [۳۷] نیز نحوه برش‌بندی منابع پهنانی باند یک CSP به صورت انتها به انتهای بررسی شده است. در

این پژوهش، برای مدل‌سازی برش‌بندی پهنانی باند از بازی Stackelberg استفاده شده است [۳۸].

در زمان استفاده از ساز و کارهای به اشتراک‌گذاری پویا<sup>۱</sup>، ممکن است مستاجرها رفتارهای استراتژیکی داشته باشند که موجب بهینه شدن مصرف آن‌ها و استفاده حداکثری آن‌ها از منابع نسبت به بقیه مستاجرها شود. در [۳۹]، نویسنده‌گان، به اشتراک‌گذاری پویا را در برش‌بندی شبکه وقتی که مستاجرها از کاربران غیرکشسان<sup>۲</sup> با نیازمندی‌های حداقل نرخ داده پشتیبانی می‌کنند، تحلیل کرده‌اند. در این پژوهش، چارچوبی متشکل از کنترل دسترسی، تخصیص منابع و حذف کاربران<sup>۳</sup> ارائه شده است. سیستم برش‌بندی شبکه به همراه کاربران پذیرفته شده به صورت یک بازی برش‌بندی شبکه مدل شده است. در این بازی، ممکن است ماهیت غیر کشسان ترافیک منجر به حذف کاربرانی شود که نیازمندی‌هایشان، قابل برآورده شدن نیست. نویسنده‌گان نشان داده‌اند که تا زمانی که کنترل دسترسی، قادر به تضمین نیازمندی‌های نرخ همه کاربران برش‌های مختلف است، این بازی دارای توازن نش<sup>۴</sup> خواهد بود. در شبیه‌سازی نیز مشخص شده است که توازن نش به سودمندی یکسان یا بهتر از بخش‌بندی<sup>۵</sup> ایستای منابع خواهد رسید و بازی به اختلاف بین این چارچوب و عملکرد بهینه اجتماعی<sup>۶</sup> میل می‌کند.

در [۴۰]، یک ساز و کار توزیع‌شده برای تهییه منابع<sup>۷</sup> برش‌های شبکه به صورت انتها به انتهای در یک محیط شبکه موبایل چند دامنه‌ای ارائه شده است. در این پژوهش، مساله تهییه منابع به صورت یک بازی بین مستاجرهای برش‌های مختلف در یک طرف و فراهم‌کنندگان خدمت در زیرشبکه‌های (دامنه‌های) مختلف در طرف دیگر مدل شده است. در ادامه نشان داده شده که بازی مذکور دارای توازن نش بوده و موجب بیشینه‌سازی رفاه اجتماعی بین مستاجران مختلف برش‌ها می‌شود. همچنین این بازی، هزینه‌های عملیاتی<sup>۸</sup> فراهم‌کنندگان خدمت را نیز کمینه می‌کند. در شبیه‌سازی نیز سعی شده تا با ارائه راهکار بهتر،

---

<sup>۱</sup> Dynamic Sharing

<sup>۲</sup> Inelastic

<sup>۳</sup> User Dropping

<sup>۴</sup> Nash Equilibrium

<sup>۵</sup> Partitioning

<sup>۶</sup> Socially Optimal Performance

<sup>۷</sup> Resource Provisioning

<sup>۸</sup> Operational Expenditures (OPEX)

مشخصه‌هایی از قبیل بهره‌برداری از منابع (شامل هسته‌های CPU، RAM و پهنهای باند خروجی هر گره/سرور)، عدالت و هزینه‌های عملیاتی نسبت به تابع ابتکاری این پژوهش ارتقا یابند.

## ۲-۴-۲ - روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر یادگیری ماشین

در [۴۱]، نویسنده‌گان یک معماری H-CRAN<sup>۱</sup> چندلایه به منظور به کارگیری شبکه‌های ناهمگون دسترسی رادیویی ارائه داده‌اند که در آن، عملیات تحت ناظارت یک کنترل کننده مرکزی انجام می‌شود. این کنترل کننده، انتظار کاربر را پیش‌بینی می‌کند و شبکه مطلوب را مبنی بر پروفایل کاربر و رفتارهای قبلی آن انتخاب می‌کند.

مدل پیش‌بینی مبتنی بر سری زمانی<sup>۲</sup>، به عنوان یک پیش‌بینی رگرسیون، ویژگی‌های آماری در برش‌های شبکه را بر اساس مشاهدات گذشته به همراه سری‌های زمانی پیش‌بینی می‌کند. در مقایسه با اطلاعات تجربی<sup>۳</sup>، مدل پیش‌بینی مبتنی بر سری زمانی، کاربردی‌تر بوده و برای محیط‌های شبکه مختلف مناسب‌تر است. مدل هولت-وینترز (HW<sup>۴</sup>) به عنوان یک مدل سری زمانی پیچیده، قابلیت تصرف روند داده<sup>۵</sup> و فصلی بودن داده‌ها<sup>۶</sup> را با هم دارد. نویسنده‌گان [۴۲] به منظور تحلیل درخواست‌های ترافیک آینده در برش‌های شبکه (در زمان ثابت بودن تعداد کاربران) از مدل HW استفاده کرده‌اند. علاوه بر این، مدل ترافیک برش‌های شبکه در زمانی که کاربران در یک محیط چند سلوله<sup>۷</sup> در حال حرکت هستند نیز، با استفاده از مدل HW پیش‌بینی شده است. لازم به ذکر است که به منظور بهبود دقیق پیش‌بینی مدل HW، یک ساز و کار بازخورد<sup>۸</sup> برای هر برش پذیرفته شده طراحی شده است [۴۲].

یادگیری ماشین به منظور خلق یک راهبرد بهینه یا زیربهینه بر اساس تصمیمات و داده‌های تاریخی استفاده می‌شود. این روش، برای سناپووهایی که یک توزیع احتمالی مشخص ندارند، مناسب است. برای مثال،

<sup>۱</sup> Heterogeneous Cloud-Radio Access Network

<sup>۲</sup> Time-Series Based Prediction Model

<sup>۳</sup> Empirical Knowledge

<sup>۴</sup> Holt-Winters Model

<sup>۵</sup> Capturing the Data Trend

<sup>۶</sup> Data Seasonality

<sup>۷</sup> Multi-Cellular Environment

<sup>۸</sup> Feedback Mechanism

رگرسیون بردار پسیبانی (SVR<sup>۱</sup>) به عنوان یک الگوریتم کلاسه‌بندی شناخته‌شده در یادگیری ماشین، به منظور پیش‌بینی مقادیر مشخصات برش‌های شبکه در یک شبکه بی‌سیم با تسهیم زمانی دوطرفه (TDD<sup>۲</sup>) و دسترسی چندگانه با تقسیم فرکانس عمود بر هم (OFDMA<sup>۳</sup>) استفاده شده است [۴۳]. نویسنده‌گان [۴۳]، تخصیص منابع برش‌بندی RAN<sup>۴</sup> را برای محاسبات لبه موبایل (MEC) و خدمات شبکه سنتی در پیکربندی‌های مختلف فراسو<sup>۵</sup>/فروسو<sup>۶</sup> انجام داده‌اند. این پیکربندی به صورت یک عبارت فرم‌بسته<sup>۷</sup> با مشخصات آماری یک برش شبکه اعم از سریار انرژی و ترافیک و نرخ داده فراسو و فروسوی آن فرموله‌بندی شده است. پیکربندی‌های بهینه برای MEC و خدمات شبکه سنتی از عبارت فرم‌بسته مقادیر پیش‌بینی مشخصات آماری به دست آمده از SVR استنتاج می‌شود.

در [۴۴]، نویسنده‌گان از Q-Learning<sup>۸</sup> برای پیش‌بینی درخواست‌های برش شبکه به صورت کارا استفاده کرده‌اند. پیش‌بینی مذکور به منظور تصمیم‌گیری کنترل دسترسی درخواست‌های برش استفاده شده و پیچیدگی محاسباتی نسبتاً پایینی دارد. تفکیک قیمت‌ها<sup>۹</sup>، راهکاری ساده مبنی بر مدل اقتصادی و نظریه بازی‌ها است که در آن بر اساس مشخصات برش مانند مدل ترافیک، ظرفیت منبع، مقدار درخواستی از منابع مورد نظر و اولویت برش شبکه، قیمت‌های مختلفی برای برش‌های شبکه اختصاص می‌دهد. در امد حاصل از زیرساخت برای CSP‌ها می‌تواند یکتابع هدف باشد. برای مثال، برش‌های شبکه بر اساس مدل ترافیکشان ((۱) کشسان<sup>۱۰</sup> (با تحمل نرخ داده پایین‌تر) یا (۲) غیر کشسان<sup>۱۱</sup> (عدم تحمل نرخ داده پایین‌تر از حداقل نرخ داده درخواستی)) می‌توانند به انواع مختلفی قیمت‌گذاری شوند [۴۴]. هم‌چنین، در این پژوهش، رابطه‌ای بین برش‌های کشسان و غیر کشسان معرفی شده که تحت محدودیت‌هایی مانند تعداد برش‌های غیر کشسان قبول شده (توسط الگوریتم کنترل دسترسی) و مجموع برش‌های کشسان و غیر کشسان است.

<sup>۱</sup> Support Vector Regression

<sup>۲</sup> Time Division Duplexing

<sup>۳</sup> Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

<sup>۴</sup> Radio Access Network

<sup>۵</sup> Uplink

<sup>۶</sup> Downlink

<sup>۷</sup> Closed-Form Expression

<sup>۸</sup> Price Differentiation

<sup>۹</sup> Elastic

<sup>۱۰</sup> Inelastic

بر اساس این رابطه و تفکیک قیمت‌ها، یک الگوریتم تکرار مقادیر<sup>۱</sup> که با فرایند تصمیم‌گیری نیمه-مارکف (SMDP)<sup>۲</sup> ترکیب شده، برای جستجوی یک کنترل دسترسي بهینه<sup>۳</sup> درخواست‌های برش به منظور بیشینه‌سازی درآمد CSP‌ها پیشنهاد شده است.

نویسنده‌گان [۴۵] بر روی تخصیص پهنانی باند به برش‌های شبکه انتقال به صورت پویا متمرکز شده‌اند. در این پژوهش، یک روش تخصیص پهنانی باند به کمک پیش‌بینی ترافیک مبتنی بر LSTM<sup>۴</sup> ارائه شده که شامل دو فاز می‌شود. در اولین فاز، ترافیک با استفاده از مدل LSTM پیش‌بینی می‌شود و در دومین فاز، پیکربندی پهنانی باند توسط CSP صورت می‌گیرد. برای فاز دوم، مساله به صورت یک مساله بهینه‌سازی کوله‌پشتی کسری مدل شده و با بهره‌گیری از یک الگوریتم حریصانه حل شده است.

استفاده از مدل‌های پیش‌بینی<sup>۵</sup> به منظور براورد مقدار لازم یا بهینه منبع بر اساس اطلاعات تجربی یا تاریخی صورت گرفته است. اشیای مورد پیش‌بینی شامل نرخ ورودی<sup>۶</sup> کاربران، ترافیک داده در یک برش شبکه، درخواست‌های برش و دیگر موارد است. راهکارهای ساده پیش‌بینی به صورت مستقیم از اطلاعات تجربی یا برخی مدل‌های احتمالی شناخته شده استفاده می‌کنند. برای مثال، در [۳۶] موقعیت VNF‌ها با استفاده از یک بازی همکارانه جایابی شده است، ولی در [۴۶]، موقعیت VNF‌ها با استفاده از توزیع احتمالی نرخ ورودی درخواست‌های نشست تعیین شده است. در [۴۶] فرض شده که نرخ ورودی درخواست‌های نشست از توزیع غیر یکنواخت در دامنه فیزیکی تبعیت می‌کند. این توزیع با استفاده از نگاشت شوارتز-کریستوفل<sup>۷</sup> به یک توزیع یکنواخت در دامنه متعارف<sup>۸</sup> تبدیل شده است. سپس، تعیین تعداد و موقعیت‌های بهینه VNF‌ها در دامنه متعارف با استفاده از حجم درخواست‌های نشست و نرخ ورودی آن‌ها به سادگی انجام شده است. موقعیت‌های VNF‌ها در دامنه فیزیکی نیز از طریق تابع تبدیل مکانی معکوس<sup>۹</sup>، قابل تعیین است.

<sup>۱</sup> Value Iteration Algorithm

<sup>۲</sup> Semi-Markov Decision Process

<sup>۳</sup> Optimal Admission Control

<sup>۴</sup> Long-Short Term Memory

<sup>۵</sup> Prediction Models

<sup>۶</sup> Arrival Rate

<sup>۷</sup> Shwarz-Christoffel Mapping

<sup>۸</sup> Canonical Domain

<sup>۹</sup> Inverse Spatial Transformation Function

در [۴۷] با استفاده از DQL<sup>۱</sup> که یک تکنیک یادگیری عمیق تقویتی (DRL<sup>۲</sup>) است، روشی آگاه از درخواست برای تخصیص منبع در شبکه دسترسی رادیو و همچنین برای برش‌بندی ایستگاه‌های پایه<sup>۳</sup> و برش‌بندی شبکه هسته بر مبنای اولویت ارائه شده است. در این پژوهش، تخصیص منبع به صورت سازگار با فعالیت‌های کاربر به ازای هر برش انجام می‌شود.

نویسندها [۴۸] از یک معماری یادگیری عمیق خاص برای پیش‌بینی ظرفیت منابع استفاده نموده‌اند. در این مقاله، ابزاری برای تحلیل داده به منظور پیش‌بینی ظرفیت مورد نیاز برای پوشش دادن ترافیک هر برش برای رسیدن به تعادل مد نظر CSP بین تخصیص بیش از نیاز منبع و نقض درخواست خدمت به دلیل تخصیص کمتر از نیاز منبع ارائه شده است. این ابزار، قابل استفاده در مراکز داده<sup>۴</sup> شبکه‌های هسته، لبه و دسترسی رادیویی ابری (C-RAN<sup>۵</sup>) است.

امکان دارد تخصیص منابع به صورت ایستا به دلیل نوسانات درخواست‌های برش / خدمت مشترک‌کین، باعث نقض بهره‌وری بالای منابع یا کیفیت خدمات کاربر شود. برای حل این مشکل، در [۴۹]، یک سیستم مدیریت منابع برای برش‌بندی شبکه به همراه یک الگوریتم تنظیم پویای منابع با استفاده از یادگیری تقویتی<sup>۶</sup> از منظر کاربر ارائه شده است. به منظوری دسترسی به سیاست (خط مشی) تخصیص منبع بهینه بر مبنای پویایی درخواست‌های برش‌بندی (به عنوان مثال عدم قطعیت زمان رسیدن تقاضاهای خدمت)، استفاده از الگوریتم Q-Learning مرسوم است و در این پژوهش نیز از همین روش استفاده شده است.

استفاده از الگوریتم Q-Learning به دلیل سرعت پایین همگرایی به خصوص برای مسائلی که فضای حالت-عمل آن‌ها بزرگ باشد، بهینه نیست و در حالتی که چندین منبع باید به صورت همزمان بهینه شوند، این الگوریتم کاربردی نخواهد بود. به همین منظور، نویسندها [۵۰]، چارچوبی برای برش‌بندی بهینه، سریع و بلادرنگ منابع ارائه داده‌اند که عدم قطعیت در تقاضای منبع از سمت مستاجرها را در نظر می‌گیرد. در مدل سیستمی این پژوهش، یک CSP قادر است به صورت کارا، انواع منابع مختلف را برای انواع مختلف کاربران که در برش‌های جداگانه خدمت‌دهی می‌شوند، برش‌بندی نماید. همچنین درخواست‌های برش در

---

<sup>۱</sup> Deep Q-Learning

<sup>۲</sup> Deep Reinforcement Learning

<sup>۳</sup> Base Station

<sup>۴</sup> Data Centers

<sup>۵</sup> Cloud Radio Access Networks

<sup>۶</sup> Reinforcement Learning

این کار، با یک فرایند تصمیم‌گیری نیمه-مارکف مدلسازی شده است. در انتها نیز، یک رویکرد برش‌بندی با یک معماری یادگیری عمیق پیشرفته موسوم به دوئل عمیق<sup>۱</sup> (با سرعت بسیار بیشتر نسبت به Q-Learning) برای رفع مشکل الگوریتم Q-Learning ارائه شده است.

در [۵۱] نیز، تخصیص پویای منابع، با هدف افزایش کیفیت خدمات و با استفاده از DRL انجام شده است. در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز از تعامل با شبکه استخراج شده و از داده‌های کاربر برای حل مساله استفاده شده است.

### ۳-۴-۲- روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر بهینه‌سازی

در [۵۲] مساله تخصیص بهینه طیف در حالت تسهیم زمانی دوطرفه (TDD) به برش‌هایی که همزمان از یک شبکه دسترسی رادیویی استفاده می‌کنند، مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، مساله تخصیص بهینه طیف در قالب یک مساله بهینه‌سازی غیر محدب<sup>۲</sup> مدل‌سازی شده و با استفاده از یک الگوریتم رنگ‌آمیزی گراف دوبخشی برای تخصیص بهینه لینک ارسال/دریافت به برش‌ها حل شده است.

[۵۳] یک روش بهینه‌سازی اکتشافی برای تخصیص منابع شبکه دسترسی رادیویی ابری (C-RAN) با هدف بهینه کردن کیفیت تجربه کاربران از منظر تحمل شکاف تاخیر ارائه داده است. در این پژوهش، هر وقت که یک ماشین مجازی درخواست می‌شود، مساله به دنبال یک سرور با کمترین نرخ استفاده از توان محاسباتی CPU<sup>۳</sup> می‌گردد.

نویسنده‌گان [۵۴] روشی برای تخصیص منابع رادیویی از طریق استفاده از اولویت دوستطحی ارائه داده‌اند. در مدل سیستمی آن‌ها، برش‌های شبکه با یک کنترل‌کننده درخواست ارتباط دارند که وظیفه آن، بالا بردن سطح کیفیت خدمات مشترکین می‌باشد. در روش ارائه شده، کنترل‌کننده بر اساس اولویت هر یک از برش‌های درخواستی، تصمیم به خدمت‌دهی یا عدم خدمت‌دهی به برش مورد نظر می‌گیرد. در انتها نیز، با بررسی اولویت بین برش‌ها<sup>۴</sup> و اولویت درون هر برش<sup>۵</sup>، منابع رادیویی فیزیکی به کاربران برش پذیرفته شده اختصاص داده می‌شود. تصمیم کنترل‌کننده برای تخصیص منابع، بر اساس بیشینه کردن کیفیت تجربه کاربری (QoE) کاربران درون هر برش با در نظر گرفتن اولویت بین برش‌ها انجام می‌شود. در این پژوهش،

<sup>۱</sup> Deep Dueling

<sup>۲</sup> Non-Convex

<sup>۳</sup> Central Processing Unit

<sup>۴</sup> Inter-Slice

<sup>۵</sup> Intra-Slice

یک روش تخصیص منابع بر مبنای اولویت اکتشافی با در نظر گرفتن اولویت بین برش‌ها و درون هر برش ارائه شده است که کیفیت تجربه کاربران را افزایش و امکان مدیریت بهتر منابع را به CSP می‌دهد.

در [۵۵] نیز یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر سیاست برش‌بندی پویای طیف با بهره‌گیری از توزیع بار ترافیک شبکه ارائه شده است. هدف اصلی نویسنده‌گان از حل این مساله، اشتراک کارای منابع بین برش‌های مختلف بوده است.

نویسنده‌گان [۵۶] یک طرح تخصیص منابع به صورت سلسله‌مراتبی به منظور بهینه‌سازی گذردهی<sup>۱</sup> شبکه همگی برش‌ها در معماری C-RAN ارائه داده‌اند. طرح سلسله‌مراتبی آن‌ها شامل کنترل دسترسی، پیوند کاربران<sup>۲</sup>، تخصیص ظرفیت BBU<sup>۳</sup> مجازی (به عنوان تخصیص منابع بالادستی) و تخصیص بلوک‌های منبع فیزیکی (PRB<sup>۴</sup>‌ها) و توان ارسال به هر کاربر در برش شبکه مورد نظر (به عنوان تخصیص منابع پایین‌دستی) است. در شبیه‌سازی این پژوهش، بار محاسباتی و سربار<sup>۵</sup> سیگنالینگ زیاد از طریق استفاده از نتایج بهینه تخصیص بالادستی در الگوریتم تخصیص پایین‌دستی کاهش محسوسی داشته است.

به دلیل مشخصات نسبتاً پیچیده شبکه انتقال، در زمان پیاده‌سازی برش‌های انتها به انتهای برخی چالش‌ها در آن‌ها پدید می‌آیند که در دو پژوهش بعدی بررسی شده‌اند. نویسنده‌گان [۵۷] برای برش‌بندی پویای شبکه انتقال برای مستاجران مختلف راهکاری ارائه داده‌اند که شامل دو بخش تخصیص منابع و پیکربندی دوباره<sup>۶</sup> می‌باشد. در این پژوهش، روشی اکتشافی برای تخصیص منابع استفاده شده و به منظور پیکربندی دوباره شبکه انتقال، یک مساله برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP) با استفاده از ابزار IBM ILOG CPLEX که یک نرم‌افزار بهینه‌سازی در حوزه تصمیم‌گیری است، حل شده است.

در [۵۸]، یک روش تخصیص منابع VNF برای برش‌بندی بک‌هال<sup>۷</sup> شبکه انتقال به منظور بهینه کردن تاخیر ارائه شده است. نویسنده‌گان در ابتدا، به منظور فرموله‌سازی ارتباط نگاشت بین شبکه‌های منطقی و

---

<sup>۱</sup> Throughput

<sup>۲</sup> User Association

<sup>۳</sup> BaseBand Unit Pools

<sup>۴</sup> Physical Resource Blocks

<sup>۵</sup> Overhead

<sup>۶</sup> Reconfiguration (Reallocation)

<sup>۷</sup> Backhaul

شبکه‌های زیرین، یک مدل نگاشت منبع زوج-تصمیم<sup>۱</sup> ارائه نموده‌اند. سپس، مساله تخصیص منابع مجازی بهینه برای داشتن تاخیر مطلوب‌با در نظر گرفتن ظرفیت و پهنای باند بک‌هال تعریف شده است که هدف آن افزایش کیفیت خدمات (QoS) و کیفیت تجربه کاربری (QoE) است. مساله به صورت یک مساله بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP) مدل شده و با الگوی شاخه و حد<sup>۲</sup> حل شده است. در این مساله، جایابی بهینه VNF‌ها و سیاست مسیریابی ترافیک بهینه مورد بحث بوده است.

نویسنده‌گان [۵۹] به مساله برش‌بندی شبکه هسته برای تحویل محتوا بر روی شبکه‌های تحویل محتوای (CDN)<sup>۳</sup> مبتنی بر شبکه‌های اطلاعات-محور (ICN)<sup>۴</sup> و CDN‌های سنتی پرداخته‌اند. در این پژوهش، یک مساله تخصیص منابع با هدف کمینه‌سازی هزینه اختصاص برش مطرح شده که در آن باید نیازمندی‌های کیفیت خدمات مشترکین برآورده شوند. این مساله با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP) مدل شده است.

در [۶۰] تخصیص بهینه یک برش در شبکه هسته 5G مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، از کارهای موجود برای ایجاد یک مدل که همزمان با اراضی قیود مربوط به تاخیر انتهای به انتها، ایزولاسیون بین مولفه‌های یک برش را برای بالا بردن قابلیت اطمینان محقق می‌سازد، استفاده شده است. در مدل سازی ریاضی این مساله MILP،تابع هدف، درخواست‌های برش ورودی را به لینک‌ها و سرویسی که کمترین میزان بهره‌وری را دارند، انتخاب می‌کند و مسیری با هزینه کمینه می‌یابد. برای شبیه‌سازی نیز ازAMPL برای مدل سازی ریاضی و از CPLEX برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری استفاده شده است.

[۶۱] راه حلی برای تخصیص VNF‌ها و پهنای باند ارتباطی بین آن‌ها به برش‌ها بنا به تقاضا ارائه کرده است. در مدل سازی ریاضی، هر برش شبکه را می‌توان مجموعه‌ای از VNF‌های متصل در نظر گرفت که در این پژوهش و بیشتر کارهای موجود، این‌گونه در نظر گرفته شده است. در ادبیات موجود، VNF‌ها به عنوان منابع رایانشی/محاسباتی در نظر گرفته شده‌اند که بر خلاف منابع فیزیکی، امکان راهاندازی، جایابی شدن و مقیاس‌پذیری به صورت منعطف را برای مواجهه با نوسان‌های بارهای کاری مختلف دارند. در برش‌بندی انجام‌شده در این پژوهش، اصول الگوی ابری‌کردن شبکه<sup>۵</sup> برای تقسیم‌بندی VNF‌ها رعایت شده و هر برش

<sup>۱</sup> Pair-Decission Resource Mapping

<sup>۲</sup> Branch and Bound Scheme

<sup>۳</sup> Content Delivery Networks

<sup>۴</sup> Information-Centric Networks

<sup>۵</sup> Cloud-Native Schemes

از یک VNF، یک ریزبرش<sup>۱</sup> نامیده شده است. سپس، هر یک از برش‌های اصلی با ترکیب این ریزبرش‌ها با پهنه‌ای باند تقسیم‌بندی شده که متصل‌کننده ریزبرش‌های هر برش اصلی می‌باشد، ساخته می‌شوند. در این پژوهش، هر یک از برش‌ها با افزایش ریزبرش‌های اختصاص شده به آن که قابلیت توزیع شدن در هر جای شبکه را دارد، می‌تواند افزایش مقیاس<sup>۲</sup> پیدا کند. الگوریتم بهینه‌سازی تخصیص منبع ارائه شده مبتنی بر ADMM<sup>۳</sup> است.

نویسنده‌گان [۶۲] یک روش تخصیص توان ارسال فراسو<sup>۴</sup> با در نظر گرفتن محدودیت‌های بک‌هال شبکه‌های سلولی مجازی شده ارائه داده‌اند. در این پژوهش، مساله تخصیص به صورت یک مساله بهینه‌سازی غیر محدب عدد صحیح ترکیبی<sup>۵</sup> مدل شده است که در آن، هدف CSP، بهینه‌سازی سود حاصله به همراه تضمین محدودیت‌های بک‌هال و کیفیت خدمات (QoS) کاربران از طریق تخصیص برش‌ها و توان ارسال فراسو به کاربران می‌باشد. این مساله با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر ساده‌سازی لاگرانژ حل شده است. در انتهای مقاله نیز به دلیل پیچیدگی محاسباتی بالای راه حل ارائه شده، یک الگوریتم توزیع شده مبتنی بر مفهوم بازی جورسازی<sup>۶</sup> برای کاهش پیچیدگی مطرح شده است. مدل‌سازی این مساله به عنوان یک مساله دو-محدب<sup>۷</sup> به منظور در نظر گرفتن وابستگی‌های بین تخصیص منبع هر برش و همکاری بین برش‌هایی که منابع یکسان را به صورت اشتراکی دارند انجام شده است. در حل این مساله نیز، از یک الگوریتم مرکزی متتمرکز و یک الگوریتم توزیع شده استفاده شده است.

در [۶۳]، نویسنده‌گان روشی برای تخصیص منابع در دو لایه شبکه دسترسی رادیویی و شبکه انتقال ارائه کرده‌اند که در آن ایستگاه پایه، فضای ذخیره‌سازی نهان<sup>۸</sup> و ظرفیت بک‌هال شبکه، برش‌بندی شده‌اند. نویسنده‌گان [۶۴]، روشی برای فرموله‌سازی ریاضی برش‌بندی شبکه با زنجیره‌سازی توابع و تقسیم مسیر به صورت یک مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی (MILP) ارائه داده‌اند. طبق ادعای نویسنده‌گان،

<sup>۱</sup> Micro-Slice

<sup>۲</sup> Scale Out

<sup>۳</sup> Alternating Direction Method of Multipliers

<sup>۴</sup> Uplink

<sup>۵</sup> Mixed Integer Non-Convex Programming

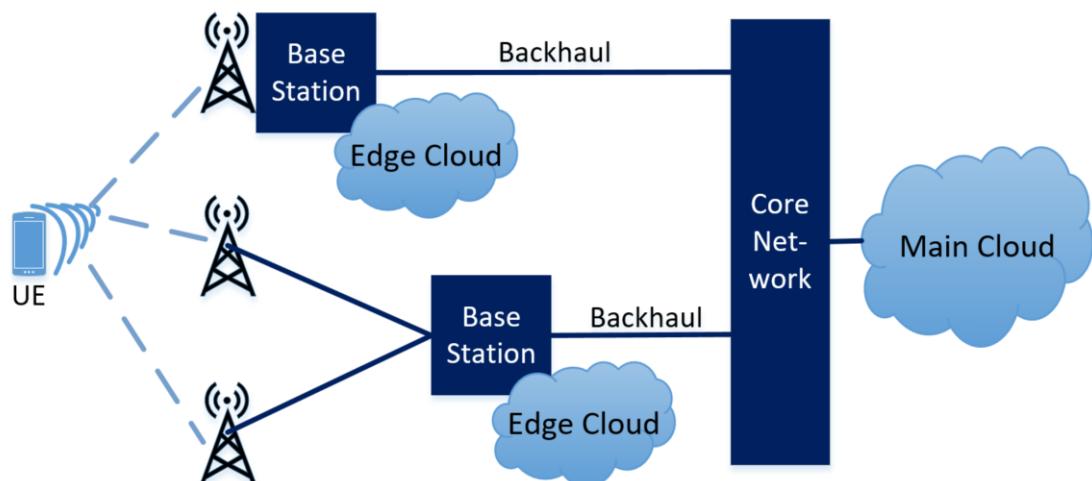
<sup>۶</sup> Matching Game

<sup>۷</sup> Bi-Convex

<sup>۸</sup> Cache Storage

روش پیشنهادی آن‌ها استاندارد، ساده و با پیچیدگی محاسباتی پایین می‌باشد و تابع هدف مساله نیز حساس به تاخیر می‌باشد.

[۶۵] یک مدل تخصیص منابع برای برش‌بندی شبکه‌های نسل پنجم ارائه داده که آن را به صورت یک مساله بهینه‌سازی محدب<sup>۱</sup> مدل کرده است. تابع هدف این مساله، بیشینه کردن سودمندی کل سیستم به عنوان تابعی از تخصیص منابع برش (مشخص شده توسط متغیرهای غلظت<sup>۲</sup>) فرموله‌سازی شده است. نویسنده‌گان، برای حل این مساله، یک روش متمرکز ارائه داده‌اند و برای پایین آوردن پیچیدگی محاسباتی آن از یک روش توزیع شده مبتنی بر نظریه بازی‌ها استفاده کرده‌اند. در این پژوهش، برش‌هایی که با هم همکاری دارند به همراه برش‌هایی که هیچ همکاری با هم ندارند، با هم در نظر گرفته شده‌اند. نویسنده‌گان [۶۶] به منظور تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه با هدف بیشینه‌سازی سود CSP، یک مساله ILP را مدل کرده‌اند که در آن از چند متغیر دودویی برای نگاشت منابع مجازی به منابع فیزیکی استفاده شده است. در این پژوهش، منابع ایستگاه‌های پایه، شبکه لبه و شبکه هسته مدل شده‌اند که در شکل ۶-۲ معماری آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۶-۲ معماری شبکه انتهایی CSP در مدل سیستمی پیشنهادی [۶۶]

نویسنده‌گان [۶۷] مساله‌ای برای جایابی VNF‌ها (به صورت آفلاین) و تعیین مسیر آن‌ها مدل کرده‌اند که در آن از مفهوم شبکه‌های پیچیده برای به دست آوردن توپولوژی شبکه و رتبه‌بندی گره‌ها استفاده شده است. در این پژوهش، سعی شده دامنه‌های مختلف شبکه (شبکه دسترسی رادیویی، انتقال و هسته) با هم به صورت ریاضی مدل شوند. در ادامه، مساله تخصیص منابع به یک مساله VNE تبدیل شده که اهداف متفاوتی نسبت به انواع مختلف برش‌های شبکه دارد. برای مثال، کمینه‌سازی تاخیر بسته<sup>۳</sup> برای برش

<sup>۱</sup> Convex

<sup>۲</sup> Thickness Variables

<sup>۳</sup> Packet Delay

URLLC، هدف بهینه‌سازی می‌باشد. تعداد لینک‌های فیزیکی باقیمانده پس از آخرین استقرار برش شبکه باید در زمان تخصیص منابع به برش mMTC بیشینه شود. در این پژوهش، منابع رادیویی و ماشین مجازی به صورت منابع پهنانی باند و محاسباتی به صورت انتزاعی در آمده است. برای هر نوع برش معین، تنها یکی از طرح‌های تخصیص منابع در نظر گرفته شده است. در واقع، تجزیه<sup>۱</sup> SLA و تعاون چند زیرشبکه<sup>۲</sup>، چالش‌های اصلی تخصیص منابع در یک برش انتهای می‌باشند [۶۸]. در انتهای پژوهش [۶۷] نیز، نویسنده‌گان الگوریتمی برای حل مساله خود به صورت خدمت‌محور ارائه داده‌اند.

[۶۹] به مساله قیمت‌گذاری منابع شبکه برای تخصیص این منابع به برش‌های شبکه پرداخته است. در این پژوهش، یک فراهم‌کننده برش (SP<sup>۳</sup>) به همراه چند مشتری برش (SC<sup>۴</sup>) حضور دارند و دو مساله مختلف برای این دو نقش مطرح شده است. در مساله SC، هدف، بیشینه‌سازی سود SC و در مساله SP هدف، بیشینه‌سازی خالص رفاه اجتماعی<sup>۵</sup> (کارایی منابع<sup>۶</sup>) است. در صورت کم بودن منابع موجود، مصالحهای<sup>۷</sup> بین دو تابع هدف ذکر شده باید برقرار شود. در روش حل، ابتدا فاز یافتن قیمت بهینه برای بیشینه‌سازی سود SP اجرا می‌شود که یک سماله محدب است و در آن قیود مربوط به ظرفیت دیده شده است. در ادامه، یک الگوریتم توزیع شده با پیچیدگی محاسباتی پایین به منظور رسیدن به خالص رفاه اجتماعی نزدیک به بهینه<sup>۸</sup> با تضمین سود برای SP و SC‌ها ارائه شده است.

در [۷۰]، یک مدل بهینه‌سازی MILP به منظور استقرار برش‌های شبکه با هزینه بهینه ارائه شده است. سیستم مدلی این پژوهش، به CSP امکان تخصیص بهینه منابع لایه زیرین را بنا بر درخواست‌های کاربران می‌دهد. راهکار ارائه شده برای هر برش شبکه، تأخیر و پهنانی باند مورد نیاز را تضمین می‌کند و هم‌چنین استفاده از گره‌های شبکه زیرین را به صورت موثری مدیریت می‌کند تا هزینه CSP کاهش یابد. در این

<sup>۱</sup> Decomposition

<sup>۲</sup> Multiple Subnet Coordination

<sup>۳</sup> Slice Provider

<sup>۴</sup> Slice Customer

<sup>۵</sup> Net Social Welfare

<sup>۶</sup> Resource Efficiency

<sup>۷</sup> Trade-Off

<sup>۸</sup> Near-Optimal

پژوهش مشاهده شده که هرچه تعداد گرههای شبکه زیرین بیشتر می‌شود، زمان اجرا به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند.

نوبسندگان [۱۰] بر مبنای چارچوب طراحی شده در [۱۱] و الگوریتم‌های ژنتیک، یک بهینه‌ساز آنلاین پیشنهاد کرده‌اند که با بیشینه‌سازی تابع سودمندی بلند مدت، به استراتژی ایده‌آل برش‌بندی کارآمدی برای CSP می‌رسد. در روش پیشنهادی، استراتژی‌های برش‌بندی مختلف به صورت رشته‌های دودویی کدگذاری<sup>۱</sup> شده‌اند تا توسط ساز و کار درخواست و تصمیم‌گیری<sup>۲</sup> به آن‌ها رسیدگی شود. این ساز و کار، نیازی به دانش قبلی در مورد مدل‌های ترافیک و سودمندی نداشته و بنابراین، ضمن پشتیبانی از برش‌های ناهمگون، کارایی قابل اطمینان، مقیاس‌پذیری بالا و همچنین پایداری مناسب در برابر سناریوهای خدمت غیر ایستا را فراهم می‌کند. در این مدل، برای هر منبع، یک فضای امکان‌پذیری<sup>۳</sup> به صورت ریاضی تعریف شده است. در صورتی که همه منابع درخواستی یک برش در این فضا قرار بگیرند، این برش در نسل‌های بعدی با احتمال بیشتری پذیرفته خواهد شد.

#### روش‌های تخصیص منابع مبتنی بر مدل‌های پایداری/بازیابی شکست

الگوریتم‌های تخصیص منابع برش‌بندی شبکه نه تنها باید کارایی بهره‌برداری از منابع را بهبود بخشدند، بلکه باید به منظور دستیابی به دسترس‌پذیری بالای شبکه‌های مخابراتی، قادر به کنترل رویدادهای غیر قابل پیش‌بینی شبکه نیز باشند. این رویدادها شامل ازدحام شبکه (در اثر ترافیک داده سنگین) یا شکست/خرابی یک تابع شبکه (در اثر نقص غیرمنتظره نرمافزار یا سخت‌افزار) هستند. رزرواسیون افزونه منبع<sup>۴</sup> و بازنگاشت<sup>۵</sup> تابع شبکه دو راهکار موثر در این حوزه هستند.

رزرواسیون افزونه منبع، منابع اضافی مانند چند نمونه VNF از یک نوع را به منظور اجتناب از خرابی تابع شبکه، برای برش‌های شبکه پیشنهاد می‌دهد. ترافیک دارای عدم قطعیت<sup>۶</sup> برش‌های شبکه در [۷۱] به

<sup>۱</sup> Encode

<sup>۲</sup> Request-and-Decision Mechanism

<sup>۳</sup> Space of Resource Feasibility

<sup>۴</sup> Redundant Resource Reservation

<sup>۵</sup> Remapping

<sup>۶</sup> Uncertain

صورت یک متغیر تصادفی و متقارن<sup>۱</sup> با استفاده از مدل محدود شده با شانس<sup>۲</sup> فرموله شده است. این متغیر که سطح حفاظت را بالا می‌برد، به ظرفیت گره‌ها و لینک‌های مجازی افزوده می‌شود تا پایداری برش شبکه را تضمین نماید. بازنگاشت توابع شبکه با نگاشت توابع خراب به توابع سالم و همچنین مسیریابی دوباره<sup>۳</sup> لینک‌های مجازی خراب، خدمات شبکه را بازیابی می‌کند. در [۷۲]، هدف بهینه‌سازی، کمینه‌سازی مصرف پهنه‌ای باند کل در طول بازنگاشت می‌باشد.

## ۵-۲- جمع‌بندی و چالش‌های موجود

در ابتدای این بخش، تمامی مفاهیم مربوط به برش‌بندی شبکه با استناد به مراجع معتبری از جمله پژوهش‌های اتحادیه اروپا، استانداردهای 3GPP، ETSI و ONF و همچنین برخی مقالات موروری معتبر بررسی شدند. در بخش مرور ادبیات ابتدا به کارهای انجام‌شده در زمینه معماری برش‌بندی شبکه پرداخته شد. سپس، بخش اصلی مرور ادبیات با تمرکز بر تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه انجام شد. دسته‌بندی مطالب در این بخش، از دیدگاه نوع حل (مبتنی بر نظریه بازی‌ها (GT)<sup>۴</sup>، یادگیری ماشین (ML)<sup>۵</sup>، بهینه‌سازی ریاضیاتی (O)<sup>۶</sup> و مدل‌های پایداری / بازیابی شکست (R/FR)<sup>۷</sup>) انجام شد. همچنین سعی شد نیمنگاهی به دامنه شبکه مدل شده در پژوهش‌ها (به عبارت دیگر شبکه دسترسی رادیویی (RAN)، شبکه انتقال (TN)، شبکه هسته (CN) و انتهای انتها (E2E)) نیز شود. در جدول ۱-۲ علاوه بر یک توضیح مختصر از هر پژوهش، روش حل آن و دامنه شبکه مدل سیستمی آن بررسی شده است.

---

<sup>۱</sup> Symmetric

<sup>۲</sup> Chance-Constrained Model

<sup>۳</sup> Rerouting

<sup>۴</sup> Game Theory

<sup>۵</sup> Machine Learning

<sup>۶</sup> Optimization

<sup>۷</sup> Robustness / Failure Recovery Models

جدول ۲-۱: جمع‌بندی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه تخصیص منابع برای برش‌بندی شبکه

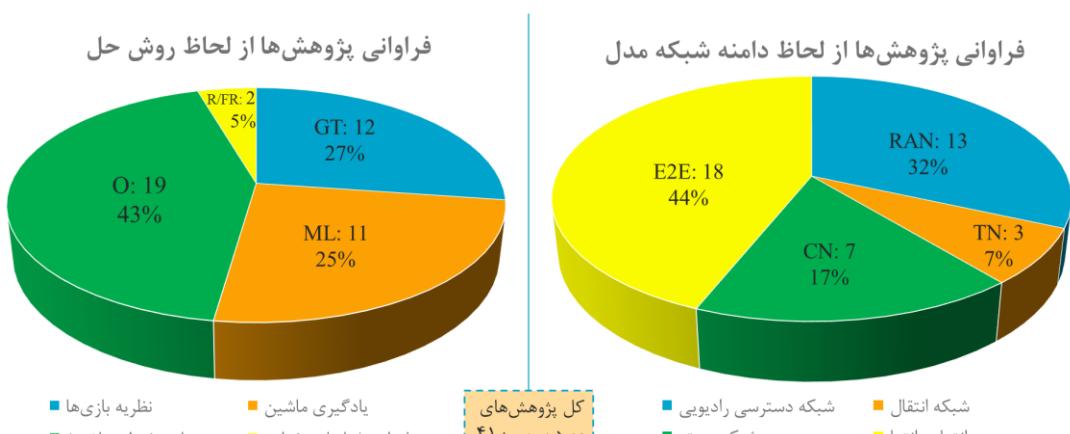
تمرکز								روش حل	خلاصه پژوهش	مرجع
E2E	CN	TN	RAN	R/FR	O	ML	GT			
			*				*		تخصیص منابع با در نظر گرفتن یک بازی حراج بین CSP و InP مدل شده و حل مساله با استفاده از الگوریتم‌های حریصانه و برنامه‌نویسی پویا	[۳۱]
			*				*		ارائه چارچوبی برای برش‌بندی بین CSP های همکار برای بهاشتراتک گذاری منابع طیفی مجوزدار و بدون مجوز (مدل‌سازی به صورت یک بازی تشکیل ائتلاف)	[۳۲]
			*				*		مدل‌سازی کسب و کار دو CSP و رقابت بین آن‌ها در کیفیت خدمات تحویلی به کاربران در تخصیص ظرفیت سلول بین آن‌ها	[۳۳]
			*				*		افزایش قابل توجه سود CSP از برش‌بندی پویای شبکه نسبت به برش‌بندی ایستا با استفاده از یک تابع هدف مبتنی بر عدالت و پایداری بیشتر	[۳۴]
*							*		استفاده از بازی تشکیل ائتلاف بیزی برای جایابی VNF‌ها روی اتحاد ابر (متشكل از چند فراهم‌کننده ابر) به منظور ایجاد شبکه هسته نسل پنجم	[۳۵]
*				*		*	*		ارائه چارچوبی برای ایجاد نمونه‌های شبکه هسته مجازی با هدف جایابی VNF‌های هر شبکه هسته مجازی به صورت کارا در یک مساله MILP برای تعیین تعداد بهینه نمونه منابع مجازی VNF‌های مختلف و استفاده از الگوریتم بازی ائتلافی برای جایابی نمونه‌ها بر روی زیرساخت CSP‌های مختلف	[۳۶]
*							*		برش‌بندی پهنه‌ای باند با استفاده از بازی Stackelberg	[۳۷]
*							*		تحلیل بهاشتراتک گذاری پویا در یک چارچوب برش‌بندی شبکه شامل کنترل دسترسی، تخصیص منابع و حذف کاربران با برقراری توازن نش	[۳۹]

*				*	*	ارائه یک ساز و کار توزیع شده برای تهیه منابع به صورت انتها به انتهای برش های شبکه مختلف بر روی یک شبکه چند دامنه‌ای با فرموله سازی یک بازی بین مستاجران برش ها و فراهم کنندگان زیر شبکه ها و اثبات توازن نش بین آنها	[۴۰]
		*		*		ارائه معماری H-CRAN چندلایه به منظور به کارگیری شبکه های دسترسی ناهمگون برای انجام عملیات تحت نظارت یک کنترل کننده با پیش بینی انتظار کاربر و انتخاب شبکه مطلوب بر اساس رفتار قبلی کاربر	[۴۱]
		*		*		یک مدل پیش بینی به منظور بالا بردن نرخ بهره وری منابع در RAN با استفاده از مدل HW (بهره گیری از روند پیش بینی و ویژگی فعلی ترافیک داده در آینده)	[۴۲]
		*		*		پیش بینی ویژگی های آماری برش های شبکه و دستیابی به ایزو لاسیون منابع بین برش ها و سفارشی سازی خدمت در هر برش با هدف کمینه سازی مصرف انرژی و سربار زمان اجرا	[۴۳]
		*		*	*	تفکیک قیمت ها برای مدل های ترافیک مختلف از طریق Q-Learning با تصمیم گیری بهینه بر روی پذیرش / عدم پذیرش یک درخواست برش (با هدف بیشینه سازی درآمد CSP)	[۴۴]
	*			*		تخصیص پهنه ای باند به برش های شبکه انتقال به صورت پویا	[۴۵]
*			*	*		یک مدل پیش بینی با هدف کمینه سازی تاخیر بسته ها و تعداد کل VNF ها بر مبنای نرخ ورودی درخواست های نشست (با توزیع متغیر بین یکنواخت یا غیر یکنواخت) با استفاده از نگاشت شوارتز-کریستوفل	[۴۶]
*				*		روشی آگاه از درخواست های برش برای تخصیص منابع در شبکه دسترسی رادیویی و همچنین برش بندی در شبکه هسته بر اساس اولویت کاربر	[۴۷]
*				*		استفاده از یک معماری یادگیری عمیق برای پیش بینی ظرفیت به منظور تخصیص منابع	[۴۸]
*				*		سیستم مدیریت منابع برای برش بندی شبکه با الگوریتم تنظیم پویای منابع با بهره گیری از یادگیری تقویتی از منظر کاربر	[۴۹]
*				*		چارچوبی برای برش بندی منابع به صورت بهینه، سریع و بلا درنگ با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای منابع از سمت مستاجرها و استفاده از یک معماری یادگیری عمیق به نام دولل عمیق	[۵۰]
*				*		تخصیص پویای منابع با هدف افزایش کیفیت خدمات با استفاده از DRL (استخراج داده های کاربران با تعامل با شبکه)	[۵۱]

		*		*			تبدیل تخصیص بهینه طیف در حالت TDD به برش‌هایی که از یک شبکه دسترسی استفاده می‌کنند، به یک مساله بهینه‌سازی غیرخطی و حل بالا الگوریتم رنگ‌آمیزی گراف دوپوشی (به منظور تخصیص بهینه لینک ارسال/درایافت به برش‌ها)	[۵۲]
		*		*			یک روش بهینه‌سازی اکتشافی برای تخصیص منابع شبکه دسترسی رادیویی ابری (C-RAN) به منظور بالا بردن کیفیت تجربه کاربران از منظر شکاف تاخیر	[۵۳]
		*		*			روشی برای تخصیص منابع رادیویی با بهره‌گیری از اولویت دوستطحی	[۵۴]
		*		*			الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر سیاست برش‌بندی پویای طیف با استفاده از توزیع بار ترافیک شبکه به منظور اشتراک کارای منابع بین برش‌های مختلف	[۵۵]
		*		*			تخصیص منابع به صورت سلسله‌مراتبی شامل کنترل دسترسی، پیوند کاربر، ظرفیت BBU مجازی و تخصیص PRB و توان ارسال به کاربران	[۵۶]
	*			*			ارائه راهکاری برای برش‌بندی پویای شبکه انتقال شامل دو بخش تخصیص منابع (حل بالا روش اکتشافی) و پیکربندی دوباره (مدل شده به مساله MILP و حل با ابزار CPLEX)	[۵۷]
	*			*			تخصیص منبع VNF به منظور پایین آوردن تاخیر در برش‌بندی بک‌هال شبکه انتقال و مدل‌سازی به صورت یک مساله MILP و حل با الگوی شاخه و حد	[۵۸]
*				*			حل مساله ILP تخصیص منابع با هدف کمینه‌سازی هزینه اختصاص برش به همراه برآورده کردن نیازمندی‌های QoS برای تحويل ICN محتوا روی CDN‌های مبتنی بر	[۵۹]
*				*			حل مساله MILP تخصیص بهینه یک برش در شبکه هسته 5G با هدف برقراری ایزولاسیون بین برش‌ها و کمینه‌سازی تاخیر برای هر برش	[۶۰]
*				*			اختصاص VNF‌ها و پهنای باند ارتباطی بین آن‌ها به برش‌ها بنا به تقاضا با طراحی یک الگوریتم بهینه‌سازی تخصیص منبع مبتنی بر ADDM	[۶۱]
*				*	*		روشی برای تخصیص توان ارسال فراسو با در نظر گرفتن محدودیت‌های بک‌هال شبکه سلولی مجازی شده	[۶۲]
*				*			روشی برای تخصیص منابع در دو لایه شبکه دسترسی رادیویی و شبکه انتقال و برش‌بندی ایستگاه پایه، فضای ذخیره‌سازی نهان و ظرفیت بک‌هال شبکه، برش‌بندی	[۶۳]

*					*			فرموله‌سازی ریاضی مساله برش‌بندی شبکه با زنجیره‌سازی توابع و تقسیم مسیر به صورت یک مساله MILP آسان با پیچیدگی پایین به منظور کمینه کردن تاخیر	[۶۴]
*					*	*		یک مدل تخصیص منابع برای برش‌بندی شبکه با مدل‌سازی مساله به صورت محدب با هدف بیشینه کردن تابع سودمندی کل سیستم به عنوان تابعی از تخصیص منبع برش	[۶۵]
*					*			ارائه یک مساله ILP (با استفاده از متغیرهای دودویی نگاشت منبع مجازی به فیزیکی) به منظور تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه با هدف بیشینه‌سازی سود CSP	[۶۶]
*					*			جایایی VNF‌ها به صورت آفلاین و تعیین مسیر بین آن‌ها با استفاده از مفهوم شبکه‌های پیچیده برای بهدست آوردن تپولوژی شبکه و رتیه‌بندی گره‌ها (حل با ارائه الگوریتمی که خدمات مختلف را همزمان در نظر می‌گیرد)	[۶۷]
*					*			مساله قیمت‌گذاری منابع شبکه و حل آن برای فراهم‌کننده و مشتریان برش با هدف ایجاد مصالحه بین بیشینه‌سازی خالص رفاه اجتماعی و سود هر یک از نقش‌ها و حل آن با یک الگوریتم توزیع شده	[۶۹]
*					*			مساله استقرار برش‌های شبکه با هزینه بهینه و با تضمین تاخیر و پهنه‌ای باند مورد نیاز هر برش و مدل کردن آن به صورت یک مساله MILP	[۷۰]
*					*			استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی مدیریت منابع بین برش‌ها به منظور بیشینه‌سازی تابع سودمندی کل	[۱۰]
*				*				کمینه‌سازی هزینه مصرف ظرفیت بیشتر در بازنگاشت از طریق مدل‌سازی ترافیک با عدم قطعیت و کاهش منابع افزونه	[۷۱]
	*			*				کمینه‌سازی پهنه‌ای باند کل لینک‌های مجازی از طریق بازنگاشت VNF‌های خراب به سالم و مسیریابی دوباره لینک‌های مجازی با VNE	[۷۲]

با توجه به جدول ۱-۲ می‌توان فراوانی پژوهش‌های مورد بررسی را از دو لحاظ دامنه شبکه مدل سیستمی و روش حل آن‌ها بررسی نمود. نتایج این بررسی در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این پایان‌نامه از روش بهینه‌سازی (به طور دقیق‌تر برنامه‌ریزی خطی دودویی (BLP<sup>۱</sup>) در حل استفاده شده و مدل سیستمی آن، ترکیبی از شبکه هسته و شبکه انتقال می‌باشد.



شکل ۷-۲ نمودار دایره‌ای فراوانی پژوهش‌های مورد نظر در حوزه تخصیص منابع برش‌بندی شبکه از دو منظر دامنه شبکه مدل سیستمی و روش حل

با توجه به مرور ادبیات، برخی چالش‌ها مطرح شدند که در این پایان‌نامه به آن‌ها پرداخته شده است:

- در نظر گرفتن رابطه بین CSP و مستاجران در مدل سیستمی برش‌بندی شبکه
- ارائه ساز و کاری جهت پذیرش یا عدم پذیرش درخواست‌های برش رسیده به CSP
- توجه به منابع محدود یک CSP و عدم پذیرش همه درخواست‌های برش
- نحوه بسط مساله VNE در برش‌بندی شبکه
- فرض‌های معتبر برای استفاده از فناوری‌های SDN، NFV و همنوازنی انتها به انتها
- در نظر گرفتن مشترک همگی قیود در یک مساله بهینه‌سازی خطی

<sup>۱</sup> Binary (Integer) Linear Programming

## فصل ۳- روش پیشنهادی برای تخصیص منابع در برش‌بندی شبکه

### ۱-۳ مقدمه

در این فصل، ابتدا به بررسی مدل سیستمی پیشنهادی برای مساله تخصیص منابع برای شبکه‌های مخابراتی برش‌محور پرداخته خواهد شد. هدف از پیشنهاد این مدل سیستمی، در نظر گرفتن پارامترهای کافی برای مساله برش‌بندی شبکه و در نتیجه ارائه یک مدل نزدیک به واقعیت می‌باشد. در طراحی این مدل سیستمی از برخی کارهای پیشین نیز الهام گرفته شده است. در ادامه این فصل، روش حل مساله بیان خواهد شد. ابتدا مساله (۳-۱۶) را به صورت خطی بازنویسی می‌کنیم. سپس ساز و کار کنترل دسترسی<sup>۱</sup> برش‌های درخواستی رسیده به CSP مطرح شده و سپس مساله (۳-۱۶) با استفاده از ابزار MOSEK حل می‌شود [۲۹، ۳۰]. در انتهای نیز مساله (۳-۱۶) را به صورت غیر مشترک<sup>۲</sup> بازنویسی می‌کنیم و ساز و کار کنترل دسترسی مخصوص برای هر کدام از دو زیرمساله<sup>۳</sup> گره‌های ابری و لینک‌ها پیشنهاد خواهند شد.

### ۲-۳ چارچوب مدل سیستمی پیشنهادی

در این پایان‌نامه، مساله تخصیص منابع برای یک فراهم‌کننده خدمات مخابراتی که از این پس آن را حل خواهد شد. در این مساله، CSP منابع فیزیکی شبکه خود (شبکه هسته و لبه شبکه) را از طریق<sup>۴</sup> CSP

---

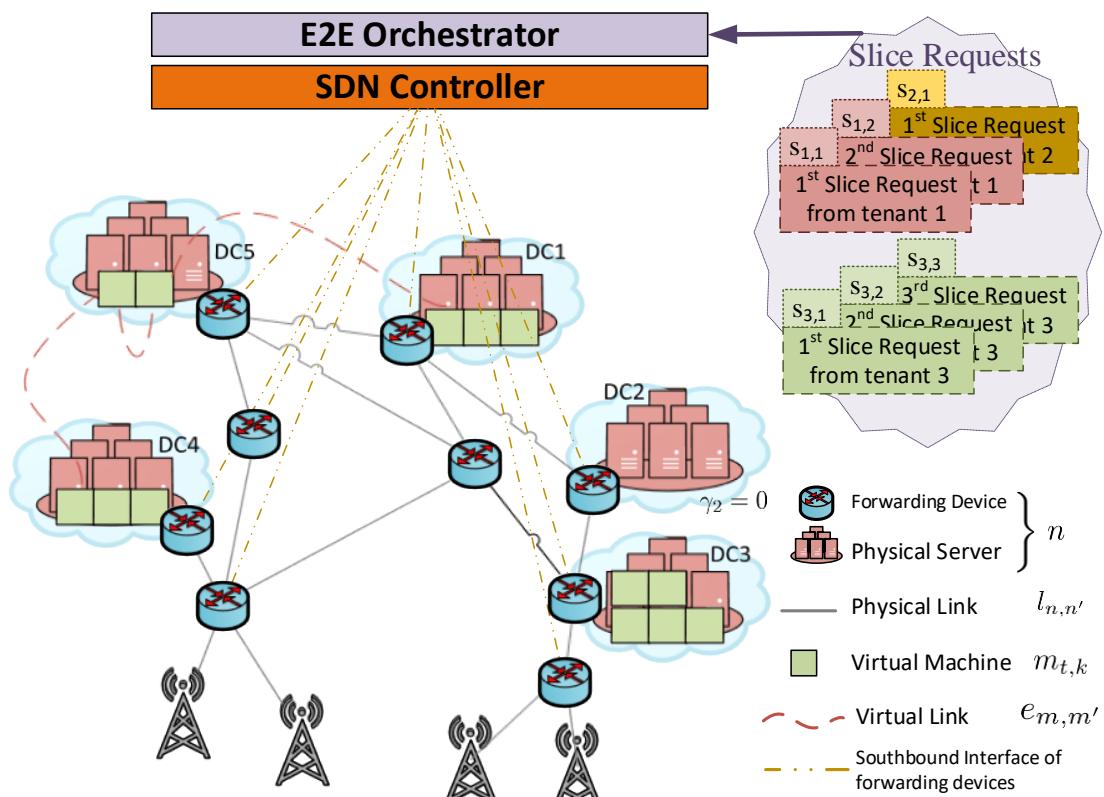
<sup>۱</sup> Admission Control

<sup>۲</sup> Disjoint

<sup>۳</sup> Subproblems

<sup>۴</sup> Communication Service Provider (CSP)

استقرار فناوری برش‌بندی شبکه در اختیار مستاجرها<sup>۱</sup> قرار می‌دهد که می‌خواهد از این منابع برای خدمت‌رسانی به مشتریان نهایی<sup>۲</sup> خود استفاده نمایند. در مدل سیستمی پیشنهادی، هر مستاجر، درخواست(های) برش خود شامل منابع مجازی درخواستی برای ظرفیت رایانشی، حافظه دسترسی تصادفی و فضای ذخیره‌سازی هر ماشین مجازی<sup>۳</sup>، و همچنین حداکثر تاخیر قابل تحمل و نرخ داده درخواستی بین ماشین‌های مجازی خود را به هم‌نواساز CSP می‌فرستد و این مولقه، مبتنی بر منابع فیزیکی آزاد CSP، به بخشی از درخواست‌های برش پاسخ مثبت و به بقیه آن‌ها (مبتنی بر برخی مشخصات آن درخواست‌ها) پاسخ منفی خواهد داد. در شکل ۱-۳ نمایی کلی از مدل سیستمی پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۱-۳ معماری شبکه CSP در مدل سیستمی پیشنهادی

### ۳-۳- زیرساخت فیزیکی

در این مدل سیستمی، شبکه CSP به صورت یک گراف  $G(\mathcal{N}, \mathcal{L})$  در نظر گرفته شده که در آن  $\mathcal{N}$  مجموعه گره‌های ابری<sup>۴</sup> است که متشكل از تعدادی سرور فیزیکی و یک سوییچ است که هر کدام از این

<sup>۱</sup> Tenant

<sup>۲</sup> End-Users

<sup>۳</sup> Virtual Machine (VM)

<sup>۴</sup> Cloud Nodes

گره‌ها را برای سادگی یک سورور در نظر گرفته‌ایم. همچنین  $[l_{u,u'} = \mathcal{L}]$  مجموعه لینک‌های فیزیکی است که این گره‌های ابری را مطابق شکل ۱-۳ به یکدیگر متصل کرده‌اند. در این گراف، اگر  $l_{u,u'} = 1$  آن‌گاه دو گره ابری  $u$  و  $u'$  به یکدیگر به صورت مستقیم متصل هستند و اگر  $l_{u,u'} = 0$  مساوی صفر باشد این دو گره به صورت مستقیم به هم متصل نیستند. لازم به ذکر است که در مدل سیستمی پیشنهادی، منابع فیزیکی تمامی گره‌های ابری از طریق مجازی‌سازی قابل استفاده و به بیان دیگر NFV-enabled هستند. ضمناً اتصالات بین تمامی گره‌های ابری با استفاده از یک کنترل‌کننده SDN منطقاً متمرکز کنترل می‌شود [۷۳، ۷۴] و یک همنواز انتها به انتهای<sup>۱</sup> وظیفه هماهنگی تخصیص منابع مجازی مختلف را بر عهده دارد [۷۵، ۷۶].

ظرفیت کلی منابع گره ابری  $r_n \in \mathcal{N}$  از این پس با بردار  $r_n = [r_n^{\text{Com}} \ r_n^{\text{Mem}} \ r_n^{\text{Sto}}]$  نمایش داده خواهد شد که در آن  $r_n^{\text{Com}}$  و  $r_n^{\text{Mem}}$  به ترتیب نشانگر ظرفیت رایانشی<sup>۲</sup> (با واحد اندازه‌گیری مگاهرتز (MHz))، ظرفیت حافظه یا RAM<sup>۳</sup> و حافظه ذخیره‌سازی<sup>۴</sup> (با واحد اندازه‌گیری گیگابایت (GB)) برای گره  $n$  هستند. هر لینک  $l_{n,n'} \in \mathcal{L}$  از لحاظ فیزیکی به پهنه‌ای باند  $BW^{l_{n,n'}}$  با واحد کیلوبیت بر ثانیه (Kbps) محدود می‌شود. علاوه بر این، به دلیل فاصله جغرافیایی بین گره‌های ابری با یکدیگر، بین آن‌ها تاخیر انتشار<sup>۵</sup> با نماد  $\tau^{l_{n,n'}}$  و واحد میلی‌ثانیه (ms) تعریف می‌شود.

### ۴-۳- درخواست‌های برش مستاجرها

در این مدل سیستمی،  $\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$  مجموعه همه مستاجرهای CSP و  $\mathcal{K}_t = \{1, \dots, K_t\}$  مجموعه درخواست‌های برش‌های مستاجر  $t$  در شبکه CSP است. به عبارت دیگر  $K_t$  تعداد برش‌های درخواستی مستاجر  $t$  در شبکه CSP است.

امین درخواست برش مستاجر  $t$  با نماد  $s_{t,k} \in \mathcal{S}$  نشان داده می‌شود که در آن  $k$  مجموعه همه درخواست‌های برش رسیده به CSP می‌باشد. مستاجر  $t$  مجموعه منابع مورد نیاز خود ( $= s_{t,k}$ )

<sup>۱</sup> End-to-End (E2E) Orchestrator

<sup>۲</sup> Computing Capacity

<sup>۳</sup> Random Access Memory Capacity

<sup>۴</sup> Storage Capacity

<sup>۵</sup> Propagation Delay

$(\mathcal{M}_{t,k}, \mathcal{E}_{t,k})$  را به CSP می‌فرستد که در آن  $\mathcal{M}_{t,k}$  مجموعه ماشین‌های مجازی درخواستی و  $\mathcal{E}_{t,k}$  مجموعه لینک‌های مجازی درخواستی  $s_{t,k}$  هستند.

بردار  $\phi_{m_{t,k}} = [\phi_{m_{t,k}}^{\text{Com}} \ \phi_{m_{t,k}}^{\text{Mem}} \ \phi_{m_{t,k}}^{\text{Sto}}]$ ,  $m_{t,k} \in \mathcal{M}_{t,k}$  دربرگیرنده منابع درخواستی  $s_{t,k}$  (به ترتیب  $m_{t,k}$  نشانگر  $m$  امین ماشین مجازی درخواستی  $s_{t,k}$  است. همچنین فرض خواهیم کرد که هر مستاجر، زنجیره توابع خدمت (SFC<sup>۱</sup>) خود را ساخته و  $s_{t,k}$  به خودی خود، گرافی است که ترتیب گفتن خدمت از توابع در آن از قبل مشخص شده است و CSP وظیفه‌ای دال بر تشکیل SFC هر برش ندارد و صرفاً بر اساس الگوی مورد نظر مستاجر<sup>۲</sup>، منابع مجازی خود را در اختیار مستاجر قرار خواهد داد.

از این پس به منظور سادگی و خوانایی بیشتر نمادها، پایین‌نویس  $t, k$  را از نماد  $m_{t,k}$  می‌کنیم. بردار  $\chi^{e_{m,m'}} = [\varpi^{e_{m,m'}}, \tau_{\max}^{e_{m,m'}}]$  لینک مجازی بین دو ماشین مجازی  $m$  و  $m'$  تعریف شده در درخواست برش  $s_{t,k}$  را شرح می‌دهد.  $\varpi^{e_{m,m'}}$  نرخ داده مورد نیاز مستاجر برای لینک مجازی بین  $m$  و  $m'$  با واحد Kbps است. حداکثر تاخیر انتشار قابل تحمل بین  $m$  و  $m'$  نیز با نماد  $\tau_{\max}^{e_{m,m'}}$  و واحد ms برای هر مستاجر تعریف شده است.

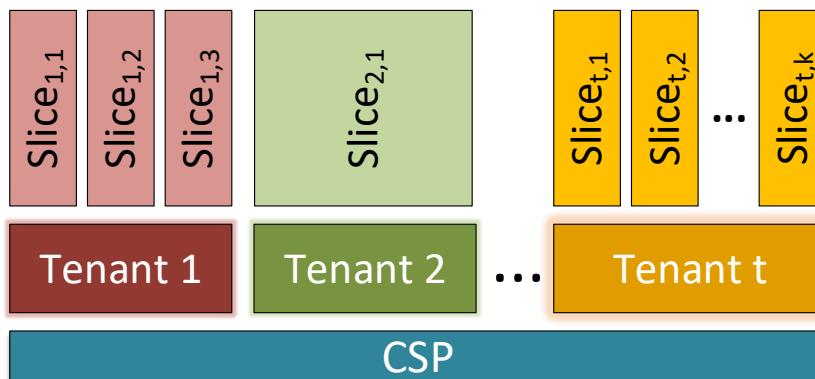
پس از این که درخواست برش  $s_{t,k}$  از طرف مستاجر  $t$  به همنواز انتها به انتهای CSP می‌رسد، در صورت وجود منابع کافی در شبکه CSP، همنوازی برش مورد نظر را ساخته و طبق الگوریتم پیشنهادی، هزینه ایجاد این برش را بر اساس منابع مورد نیاز آن محاسبه می‌کند [۷۶]. پس از این مرحله، CSP برش  $s_{t,k}$  را با بهره‌گیری از منابع مجازی‌سازی شده خود (متشكل از ماشین‌ها و لینک‌های مجازی) بر روی شبکه فیزیکی خود مستقر می‌کند. لازم به ذکر است که کنترل کننده SDN وظیفه برقراری ارتباط بین ماشین‌های مجازی درخواستی مستاجرها (همان لینک‌های مجازی) را بر عهده دارد. مسیریابی فیزیکی در همان مرحله اول توسط همنواز و همزمان با حل کردن مساله تخصیص منابع انجام می‌شود.

شکل ۲-۳ رابطه بین مستاجرها و همچنین رابطه  $1..n$  هر مستاجر به تعداد درخواست‌های برش خود را نشان می‌دهد. بدیهی است که هر مستاجر به ازای هر درخواست برش، به تعدادی کاربر نهایی خدمت‌رسانی خواهد کرد که البته این خدمت‌رسانی به صورت غیر مستقیم و با استفاده از منابع CSP انجام

<sup>۱</sup> Service Function Chain

<sup>۲</sup> Tenant's Slice/VNFFG (VNF Forwarding Graph) Template

می شود. یک مستاجر می تواند یک اپراتور مجازی موبایل (MVNO<sup>۱</sup>)، یک کارخانه هوشمند (جهت مدیریت دستگاه های هوشمند مبتنی بر IoT<sup>۲</sup> خود) و یا یک سازمان IT باشد که می خواهد خدمتی با تاخیر پایین تر از شبکه های عادی به کاربران نهایی خود عرضه کند، باشد. مدل تجاری بازیگران<sup>۳</sup> حوزه 5G در [۲۴] شرح داده شده است و مدل تعامل مورد استفاده در این پایان نامه بر اساس مراجع [۲۴, ۱۲] طرح ریزی شده است.



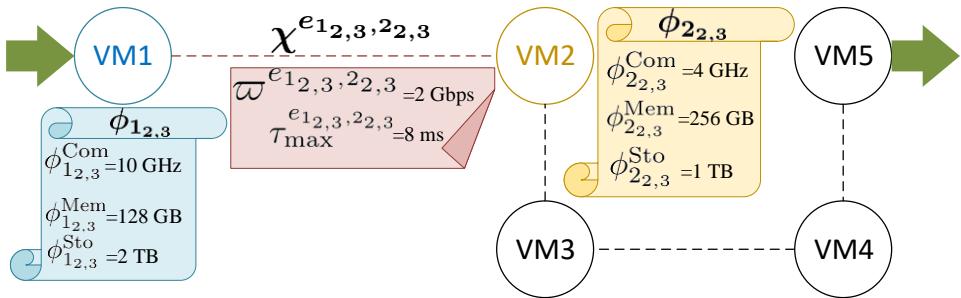
شکل ۲-۳ رابطه CSP با مستاجرها و برش های آن ها در مدل سیستمی پیشنهادی مثالی از یک الگوی درخواست برش در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. در این مثال، دومین مستاجر CSP، سومین برش خود را درخواست کرده است که متشکل از ۵ ماشین مجازی است. اولین ماشین مجازی درخواستی نیاز به ۱۰ گیگاهرتز ظرفیت رایانشی، ۱۲۸ گیگابایت حافظه و ۲ ترابایت فضای ذخیره سازی دارد. دومین ماشین مجازی نیز به ۴ گیگاهرتز ظرفیت رایانشی، ۲۵۶ گیگابایت حافظه و ۱ ترابایت فضای ذخیره سازی احتیاج دارد. لینک مجازی بین این دو ماشین مجازی با نماد  $\chi^{e_{12,32,2}}$ <sup>۴</sup> نشان داده می شود. مستاجر برای این لینک مجازی نرخ داده ۲ گیگابایت بر ثانیه را درخواست کرده و حداکثر تاخیر قابل تحمل برای مستاجر بین این دو ماشین مجازی ۸ میلی ثانیه می باشد.

<sup>۱</sup> Mobile Virtual Network Operator

<sup>۲</sup> Internet of Things

<sup>۳</sup> Business Model

<sup>۴</sup> Players



شکل ۳-۳ مثالی از یک الگوی درخواست برش رسیده از طرف یک مستاجر به CSP

مستاجر تمامی منابع ماشین‌های مجازی و لینک‌های مجازی احتمالی بین آن‌ها در قالب یک الگوی درخواست برش به هم‌نواساز CSP می‌فرستد، سپس این هم‌نواساز با حل مساله پیشنهاد شده در رابطه (۳-۱۸) در مورد پذیرش یا عدم پذیرش این درخواست برش تصمیم خواهد گرفت. در صورت پذیرش برش درخواستی، هم‌نواساز با هماهنگی بین MANO<sup>۱</sup> و کنترل‌کننده‌های (های) SDN، ماشین‌های مجازی را راهاندازی نموده و سپس لینک‌های مجازی را با توجه به تاخیر قابل تحمل و نرخ داده درخواستی مستاجر در شبکه برپا خواهد کرد.

ماشین مجازی  $\Phi_m$  (با بردار منابع درخواستی  $\Phi_m$ ) را با استفاده از منابع یکی از گره‌های ابری خود راهاندازی می‌کند. لازم به ذکر است که پس از راهاندازی این ماشین مجازی، مستاجر می‌تواند هر تابع شبکه مجازی (VNF) دلخواهی را بر روی این ماشین مجازی اجرا کند و مسئولیت کامل این ماشین مجازی به مستاجر اعطای خواهد شد. متغیر تصمیم‌گیری دودویی  $\xi_m^n$ <sup>۲</sup> جهت تصمیم‌گیری CSP برای جایابی<sup>۳</sup> ماشین مجازی مربوطه بر روی یکی از گره‌های ابری خود به شرح زیر تعریف می‌شود.

$$\xi_m^n = \begin{cases} 1, & \text{VM } m \text{ is created on cloud node } n \text{ for slice } s_{t,k} \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1-3)$$

برای اطمینان از این که مجموع منابع تخصیص داده شده به همگی ماشین‌های مجازی راهاندازی شده بر روی گره ابری  $n$  از میزان منابع این گره تجاوز نکند، قید زیر تعریف شده است:

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \xi_m^n \cdot \phi_m \leq \mathbf{r}_n \quad \forall n \in \mathcal{N} \quad (2-3)$$

که نامساوی فوق برای هر عنصر<sup>۴</sup> بردارها برقرار است.

<sup>۱</sup> NFV Management and Orchestration Platform

<sup>۲</sup> Virtual Network Function

<sup>۳</sup> Binary Decision Variable

<sup>۴</sup> Placement

<sup>۵</sup> Elementwise Inequality

متغیر تصمیم‌گیری دودویی  $\gamma_n$ ، تعیین کننده روشن بودن یا نبودن گره ابری  $n$  در شبکه CSP با توجه به درخواست‌های ماشین مجازی رسیده از طرف مستاجرها است:

$$\gamma_n = \begin{cases} 1, & \text{Cloud node } n \text{ is on} \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (3-3)$$

به کمک قید زیر، در مساله تخصیص منابع، اولویت جایابی هر ماشین مجازی در ابتدا با گره ابری ای است که در حال حاضر روشن می‌باشد. با استفاده از این قید، حداقل تعداد گره ابری در هر زمان روشن خواهد بود و این مساله ذاتاً باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی خواهد شد [۶].

$$\sum_m \xi_m^n \leq \gamma_n, \quad \forall n \in \mathcal{N}, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t. \quad (4-3)$$

مصرف توان<sup>۱</sup> هر گره ابری بر اساس [۷۸, ۷۷] به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_n = (P_n^{\max} - P_n^{\text{idle}})U_n^{\text{Com}} + \gamma_n P_n^{\text{idle}} \quad (5-3)$$

در (۵-۳)،  $P_n^{\max}$  و  $P_n^{\text{idle}}$  به ترتیب مقادیر مصرف توان گره ابری  $n$  در زمان بیکار بودن و حالت استفاده حداکثری<sup>۲</sup> می‌باشند [۷۹]. همچنین، میزان بهره‌برداری<sup>۳</sup> منابع رایانشی گره ابری  $n$  بر پایه مراجع [۷۸, ۷۷] منطبق بر مدل سیستمی این پایان‌نامه با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U_n^{\text{Com}} = \frac{\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \xi_m^n \phi_m^{\text{Com}}}{r_n^{\text{Com}}} \quad (6-3)$$

هر درخواست برش، مجموعه‌ای از لینک‌های مجازی درخواستی (همان مجموعه  $(\mathcal{E}_{t,k})$ ) را دربرمی‌گیرد. بین هر دو گره ابری ممکن است یک یا چند مسیر فیزیکی وجود داشته باشد. لذا بهتر است که بهترین مسیر فیزیکی ممکن را برای یک لینک مجازی برقرار نمود، هرچند شاید این مساله در عمل به دلیل پر بودن ظرفیت پنهانی باند این دو گره امکان پذیر نباشد. انتخاب این مسیر بهینه می‌تواند بر اساس کمینه مجموع تاخیرهای انتشار بین گره‌های ابری صورت گیرد. محاسبه تاخیرهای مسیرهای مختلف در فاز مقداردهی اولیه پارامترها در فصل ۴ (شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج) با جزئیات بررسی شده و در فاز حل، اولویت مسیریابی فیزیکی با مسیرهایی است که کمترین مجموع تاخیر انتشار را دارند.

مجموعه  $\mathcal{B}_{n,n'} = \{1, \dots, b, \dots, B_{n,n'}\}$  حاوی تمامی مسیرهای فیزیکی ممکن از گره ابری  $n$  به'  $n'$  است که در آن  $B_{n,n'}$  تعداد همه مسیرهای فیزیکی ممکن از گره ابری  $n$  به'  $n'$  است. همچنین،  $b$  امین مسیر

<sup>۱</sup> Power Usage

<sup>۲</sup> Maximum Utilization

<sup>۳</sup> Utilization

فیزیکی از گره ابری  $n$  به  $n'$  با نماد  $p_{n,n'}^b$  نمایش داده می‌شود. متغیر تصمیم‌گیری دودویی  $\pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}}$

تعیین‌کننده استفاده از مسیر  $b$  ام بین دو گره  $n$  و  $n'$  برای لینک مجازی  $e_{m,m'}$  (که در  $S_{t,k}$  بین دو ماشین مجازی  $m$  و  $m'$  درخواست شده است) می‌باشد که در آن  $m \neq m'$  است. تعریف این متغیر به شرح زیر است:

$$\pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} = \begin{cases} 1, & \text{Virtual Link } e_{m,m'} \text{ is sent over path } p_{n,n'}^b \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (7-3)$$

نشانگر<sup>۱</sup>  $I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}}$  به منظور معین کردن مشارکت لینک فیزیکی  $l_{u,u'}$  در مسیر فیزیکی  $p_{n,n'}^b$  به صورت زیر

تعریف می‌شود:

$$I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} = \begin{cases} 1, & \text{Physical Link } l_{u,u'} \text{ contributes in path } p_{n,n'}^b \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (8-3)$$

علاوه بر این، مجموعه لینک‌های فیزیکی مشارکت‌کننده در مسیر  $p_{n,n'}^b$  نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

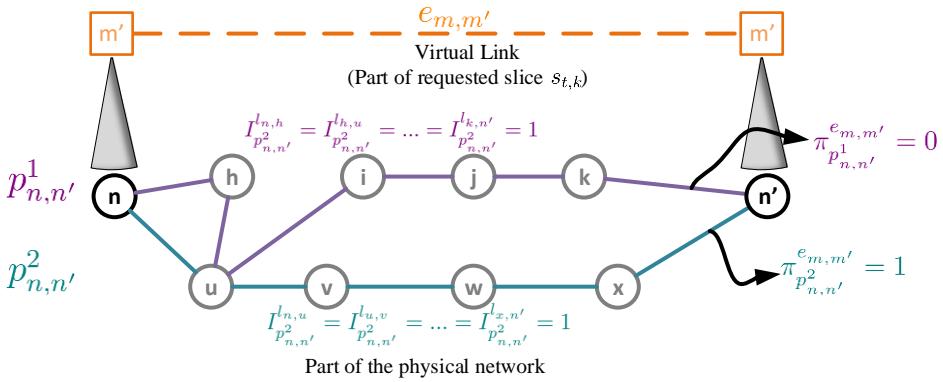
$$\mathcal{L}_{p_{n,n'}^b} = \left\{ l_{u,u'} \in \mathcal{L} \mid I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} = 1 \right\} \quad (9-3)$$

به منظور روشن‌سازی مطالب این بخش، مثالی با توجه به شکل ۴-۳ توضیح داده خواهد شد. در این مثال، دو مسیر فیزیکی مختلف (دو مسیر با رنگ‌های بنفش و سبز در شکل ۴-۳) بین دو گره ابری  $n$  و  $n'$  وجود دارند. فرض می‌کنیم که دو ماشین مجازی  $m$  و  $m'$  به ترتیب بر روی  $n$  و  $n'$  راهاندازی شده‌اند و در درخواست برش مفروض، لینک مجازی بین این دو ماشین مجازی درخواست شده است (مولفه  $e_{m,m'}$  برابر با یک می‌باشد). در این مثال فرض شده است که هزینه هر مسیر بر اساس تعداد یال‌ها تا رسیدن به مقصد<sup>۲</sup> (و نه تاخیر انتشار محاسبه شده برای هر مسیر) محاسبه می‌شود.

با توجه به فرض هزینه، مسیر دوم (مسیر سبز یا  $p_{n,n'}^2$ ) انتخاب می‌شود ( $\pi_{p_{n,n'}^2}^{e_{m,m'}} = 1$ )، زیرا نسبت به  $p_{n,n'}^1$  هزینه کمتری برای CSP دارد. لازم به ذکر است که این محاسبات در کنترل‌کننده SDN مربوطه انجام می‌شود. همان‌طور که در قسمت پایین شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود، نشانگر  $I_{p_{n,n'}^2}^{l_{u,u'}}$  برای همه لینک‌های مشارکت‌کننده (مانند  $I_{p_{n,n'}^1}^{l_{n,h}}$  و  $I_{p_{n,n'}^1}^{l_{h,u}}$ ) برابر با یک خواهد شد. همچنین در [۵۸] نیز یک مثال برای نگاشت یک لینک مجازی به شبکه فیزیکی CSP آورده شده است.

<sup>۱</sup> Indicator

<sup>۲</sup> Hops



شکل ۴-۳ مثالی از نحوه مسیریابی فیزیکی بین دو گره ابری و رابطه یک لینک مجازی با آن

قید زیر به منظور اطمینان از برقراری مسیر بین دو گره ابری  $n$  و  $n'$  برای لینک مجازی  $e_{m,m'}$  باید برقرار باشد:

$$\sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{n' \in \mathcal{N}} \sum_{b \in \mathcal{B}_{nn'}} \pi_{p_b^n}^{e_{m,m'}} = 1, \quad \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, n \neq n'. \quad (10-3)$$

قید (10-3) باعث این می‌شود که یک و فقط یک مسیر فیزیکی برای هر لینک مجازی برقرار شود. همچنین، برای تضمین انتخاب درست گره‌های ابری مبدأ و مقصد برای لینک مجازی  $e_{m,m'}$  باید داشته باشیم:

$$\pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} = \xi_m^n \xi_{m'}^{n'}, \quad \forall e_{m,m'}, \forall t, \forall k, n \neq n'. \quad (11-3)$$

مجموع نرخ‌های داده لینک‌های مجازی برش‌های مختلف که از روی یک لینک فیزیکی عبور می‌کند (این لینک فیزیکی باید جزو یکی از لینک‌های مسیر انتخاب شده باشد)، نباید از پهنانی باند لینک مربوطه بیشتر باشد. این محدودیت با قید زیر کنترل می‌شود:

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{n' \in \mathcal{N}} \sum_{b \in \mathcal{B}_{nn'}} I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \varpi^{e_{m,m'}} \leq BW^{l_{u,u'}}, \quad \forall l_{u,u'} \in \mathcal{L}_{p_{n,n'}^b}, n \neq n'. \quad (12-3)$$

در این مدل سیستمی، فرض بر این است که مصرف پهنانی باند، هزینه مشخصی را به CSP تحمیل می‌کند. لذا لازم است که مجموع ترافیک عبوری همه لینک‌های مجازی از روی همه لینک‌های فیزیکی محاسبه شود تا این هزینه به دست آید. هزینه کل مصرف پهنانی باند در شبکه CSP به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}} \sum_{b \in \mathcal{B}_{nn'}} \sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}_{p_{n,n'}^b}} I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \psi^{l_{u,u'}} \varpi^{e_{m,m'}} \quad (13-3)$$

که در آن  $\psi^{l_{u,u'}}$  هزینه ارسال ترافیک با نرخ  $1 \text{ bps}$  بر روی لینک فیزیکی  $l_{u,u'}$  را تعیین می‌کند.

لازم به ذکر است زمانی که دو ماشین مجازی  $m$  و  $m'$  بر روی یک گره ابری راهاندازی شده‌اند ( $n = n'$ ، فرض بر این است که یک اتصال فیزیکی با نرخ داده بی‌نهایت و تاخیر قابل چشم‌پوشی برای لینک مجازی  $e_{m,m'}$  در شبکه وجود دارد. لذا برای این سناریو نیازی نیست که مسیر فیزیکی محاسبه شود.

با توجه به این که مستاجر در برش درخواستی خود، برای هر لینک مجازی یک جدکثر تاخیر قابل تحمل ( $\tau_{\max}^{e_{m,m'}}$ ) تعریف می‌کند، CSP موظف است به هر یک از لینک‌های مجازی، یک مسیر فیزیکی با تاخیری کمتر از  $\tau_{\max}^{e_{m,m'}}$  تخصیص دهد. با استفاده از قید زیر این محدودیت نیز کنترل می‌شود.

$$\sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} I_{P_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{P_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \tau_{\max}^{l_{u,u'}} \leq \tau_{\max}^{e_{m,m'}}, \quad \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t. \quad (14-3)$$

قابل توجه است که دلیل این که اطلاعی از ماهیت VNF یا اپلیکیشنی که قرار است بر روی ماشین‌های مجازی برش درخواستی اجرا شوند، ندارد امکان محاسبه تاخیر اجرا وجود ندارد. همچنین چون اندازه داده‌هایی که قرار است از روی لینک‌های CSP عبور کنند، نامشخص می‌باشد، امکان محاسبه تاخیر ارسال<sup>۲</sup> (نه در قسمت رادیویی شبکه و نه در قسمت ابری شبکه) وجود ندارد. به عبارت دیگر در تعریف مساله فرض شده است که مستاجر برای هر برش خود، اندازه‌گیری‌هایی را طبق تعداد کاربران نهایی مربوطه، حساسیت تاخیر خدمت ارائه شده و نرخ داده لازم بین هر دو VNF برش انجام داده و تمامی این پارامترها را مانند یک SLA<sup>۳</sup> در قالب یک درخواست برش ( $s_{t,k}$ ) به CSP ارائه می‌دهد. همچنین در صورت کمبود منابع در آینده می‌تواند درخواست جدیدی به CSP فرستاده و منابع برش قبلی خود را آزاد کند.

### ۵-۳- تابع هدف

هدف از حل مساله، کمینه کردن هزینه کلی شبکه برای CSP می‌باشد. در این خصوص، تابع هزینه کلی مبنی بر کمینه کردن تعداد گره‌های ابری روشن و همچنین کاهش هزینه مصرف پهنانی باند تعریف شده است. هزینه توان مصرف شده گره‌های ابری روشن بخش اول تابع هدف می‌باشد. بخش دوم تابع هدف که مربوط به هزینه مصرف پهنانی باند است، توان مصرفی دستگاه‌های ارسال<sup>۴</sup> (سوییچ‌ها) و هزینه عملیاتی بهره‌برداری<sup>۵</sup> از لینک‌های فیزیکی مختلف را در نظر می‌گیرد. لذا، تابع هزینه کلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_{\text{Total}}(\boldsymbol{\pi}, \boldsymbol{\gamma}, \boldsymbol{\xi}) = \zeta \beta + Y \sum_{n \in \mathcal{N}} P_n, \quad n \neq n' \quad (15-3)$$

<sup>۱</sup> Execution Delay

<sup>۲</sup> Transmission Delay

<sup>۳</sup> Service Level Agreement

<sup>۴</sup> Forwarding Devices

<sup>۵</sup> Operational Expenditure (OPEX)

که در آن،  $\pi$ ،  $\gamma$  و  $\xi$  به ترتیب مجموعه‌های تمام  $\pi_{p_{n,n}^b}^{e_{m,m'}}$ ،  $\gamma_n$ ها و  $\xi_m^n$ ها هستند. علاوه بر این،  $\zeta$  و  $\Upsilon$  نیز به ترتیب وظیفه یکسان‌سازی وزن‌های مصرف پهنانی باند و مصرف توان گره‌های ابری به هزینه CSP را بر عهده دارند.

### ۳-۶- فرموله سازی مساله

مساله تخصیص منابع به صورت مشترک<sup>۱</sup> (JRA)<sup>۲</sup> به صورت زیر فرموله شده است:

$$\begin{aligned} \min_{\pi, \gamma, \xi} \quad & C_{\text{Total}}(\pi, \gamma, \xi) \\ \text{subject to} \quad & \text{C1: } \sum_{t \in T} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \xi_m^n \cdot \phi_m \leq \mathbf{r}_n \quad \forall n \in \mathcal{N}, (3-1) \\ & \text{C2: } \sum_{n \in \mathcal{N}} \xi_m^n = 1, \quad \forall t, k, m \\ & \text{C3: } \xi_m^n \leq \gamma_n, \quad \forall n \in \mathcal{N}, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \\ & \quad \forall t \in T, \forall k \in \mathcal{K}_t, (3-4) \\ & \text{C4: } \sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{n' \in \mathcal{N}} \sum_{b \in \mathcal{B}_{nn'}} \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} = 1, \quad \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in T, \\ & \quad \forall k \in \mathcal{K}_t, n \neq n', \quad (3-10) \\ & \text{C5: } \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} = \xi_m^n \xi_{m'}^{n'}, \quad \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in T, \\ & \quad \forall k \in \mathcal{K}_t, n \neq n', \quad (3-11) \\ & \text{C6: } \sum_{t \in T} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}} \sum_{n \in \mathcal{N}} \sum_{n' \in \mathcal{N}} \sum_{b \in \mathcal{B}_{nn'}} I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \varpi^{e_{m,m'}} \leq BW^{l_{u,u'}}, \\ & \quad \forall l_{u,u'} \in \mathcal{L}_{p_{n,n'}^b}, n \neq n', \quad (3-12) \\ & \text{C7: } \sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \tau^{l_{u,u'}} \leq \tau_{\max}^{e_{m,m'}}, \\ & \quad \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in T, \forall k \in \mathcal{K}_t, \quad (3-14) \\ & \text{C8: } \gamma_n \in \{0,1\}, \quad \forall n \\ & \text{C9: } \xi_m^n \in \{0,1\}, \quad \forall m, n \\ & \text{C10: } \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \in \{0,1\}, \quad \forall e, b, n. \end{aligned} \tag{16-۳}$$

به منظور خلاصه سازی، قیود مساله (16-۳) (همان JRA) را یک بار دیگر به صورت مختصر شرح می‌دهیم. قید C1 برای تضمین این است که مجموع منابع ماشین‌های مجازی راهاندازی شده بر روی هر گره ابری، بیشتر از هیچ‌کدام از منابع رایانشی، حافظه و فضای ذخیره‌سازی آن نباشد. همچنین، با استفاده از قید

<sup>۱</sup> Joint

<sup>۲</sup> Joint Resource Allocation

C2 تضمین می‌شود به هیچ یک از ماشین‌های مجازی، بیش از یک گره ابری تخصیص داده نخواهد شد. قید

C3 نیز برای اطمینان از روشن بودن گره ابری در زمان راهاندازی ماشین مجازی بر روی آن است.

قیود C4 و C5 به منظور اطمینان از تخصیص هر لینک مجازی به یک مسیر فیزیکی و همچنین

صحت جایابی گره‌های مبدا و مقصد برای ماشین‌های مجازی مبدا و مقصد لینک مجازی مربوطه تعییه

شده‌اند. علاوه بر این، قیود C6 و C7 نیز به ترتیب برای کنترل پهنهای باند مصرفی هر لینک فیزیکی و داشتن

تاخیری کمتر از حداکثر تاخیر قابل تحمل مستاجر برای هر لینک مجازی در مساله استفاده شده‌اند. همچنین

قیود C8، C9 و C10 نیز تعیین کننده جنس متغیرهای تصمیم‌گیری مساله بهینه‌سازی می‌باشند که در این

مساله همگی دودویی می‌باشند.

سه متغیر دودویی مساله (۱۶-۳) در جدول ۱-۳ نشان داده شده‌اند. دیگر نمادهای استفاده شده در مساله

(۱۶-۳) شامل مجموعه‌ها، توابع و دیگر پارامترها در جدول ۲-۳ قابل مشاهده هستند.

جدول ۱-۳: متغیرهای مساله (۱۶-۳)

متغیر	توصیف
$\xi_m^n$	متغیر تصمیم‌گیری که اگر ماشین مجازی $m_{t,k}$ بر روی گره $n$ جایابی شود، مقدارش ۱ خواهد شد
$\gamma_n$	متغیر تصمیم‌گیری که اگر گره $n$ روشن باشد، مقدارش ۱ خواهد شد
$\pi_{p_{n,n'}}^{e_{m,m'}}$	متغیر تصمیم‌گیری که اگر لینک مجازی $e_{m,m'}$ بر روی $b$ امین مسیر بین دو گره $n$ و $n'$ جایابی شود، مقدارش ۱ خواهد شد

جدول ۲-۳: سایر نمادهای مساله (۱۶-۳)

نماد	توصیف
$\mathcal{T}$	مجموعه تمامی مستاجرهای CSP
$\mathcal{K}_t$	مجموعه درخواست‌های برش مستاجر $t$ ام
$s_{t,k}$	$k$ امین درخواست برش مستاجر $t$ ام
$\mathcal{M}_{t,k}$	مجموعه ماشین‌های مجازی درخواستی توسط برش $s_{t,k}$
$\mathcal{E}_{t,k}$	مجموعه لینک‌های مجازی درخواستی توسط برش $s_{t,k}$
$\phi_{m_{t,k}}$	بردار متتابع درخواستی (منابع رایانشی، حافظه و فضای ذخیره‌سازی) ماشین مجازی $m$ برش $s_{t,k}$ ام بر روی $m$ (MHz, GB, GB)
$r_n$	بردار ظرفیت منابع فیزیکی (منابع رایانشی، حافظه و فضای ذخیره‌سازی) مربوط به گره ابری $n$ (MHz, GB, GB) CSP
$\chi^{e_{m,m'}}$	بردار مربوط به منابع درخواستی (نرخ داده و حداکثر تاخیر قابل تحمل) لینک مجازی $e_{m,m'}$ از درخواست برش $s_{t,k}$
$\omega^{e_{m,m'}}$	نرخ داده درخواستی لینک مجازی $e_{m,m'}$ از درخواست برش $s_{t,k}$ (Kbps)
$\tau_{max}^{e_{m,m'}}$	حداکثر تاخیر قابل تحمل درخواستی لینک مجازی $e_{m,m'}$ از درخواست برش $s_{t,k}$ (ms)
$G(\mathcal{N}, \mathcal{L})$	گراف شبکه CSP
$\mathcal{N}$	مجموعه گره‌های ابری CSP
$\mathcal{L}$	مجموعه لینک‌های فیزیکی CSP
$l_{n,n'}$	لینک فیزیکی بین دو گره $n$ و $n'$
$BW^{l_{n,n'}}$	پهنهای باند لینک فیزیکی بین دو گره $n$ و $n'$ (Mbps)
$\tau^{l_{n,n'}}$	تاخیر انتشار لینک فیزیکی بین دو گره $n$ و $n'$ (ms)

$\psi^{l_{u,u'}}$	هزینه ارسال هر بیت بین دو گره $n$ و $n'$ (\$)
$I_{p_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}}$	نشانگری که در صورت مشارکت لینک فیزیکی $l_{u,u'}$ در مسیر فیزیکی $p_{n,n'}^b$ مقدارش ۱ خواهد بود
$\gamma$	وزن مربوط به هزینه مصرف توان گرههای ابری در $C_{\text{Total}}$
$\zeta$	وزن مربوط به هزینه مصرف پهنهای باند در $C_{\text{Total}}$
$C_{\text{Total}}$	هزینه کلی تمام شده برای CSP (\$)

در ادامه این فصل به بررسی روش‌های حل و دو الگوریتم پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

### ۷-۳- روشن حل مساله تخصیص منابع به صورت مشترک بر مبنای برش‌های درخواستی

مساله (۱۶-۳) یک مساله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح (یا دودویی)<sup>۱</sup> می‌باشد. از آنجایی که برخی ابزارهای حل مساله برای مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح<sup>۲</sup> مانند [۲۹] وجود دارند، مساله باید به صورت خطی تبدیل شود.<sup>۳</sup>.

### ۷-۱- خطی‌سازی مساله تخصیص منابع مشترک

تنها قیدی که باعث شده مساله (۱۶-۳) غیرخطی شود، قید C5 این مساله (همان مساوی (۱۱-۳)) است. به منظور اطمینان از درستی مساوی  $\theta_{m,m'}^{n,n'} = \xi_m^n \xi_{m'}^{n'}$  با الهام از مرجع [۷۰]، قید C5 مساله (۱۶-۳) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{C5-a: } & \pi_{p_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} = \theta_{m,m'}^{n,n'}, \\ \text{C5-b: } & \theta_{m,m'}^{n,n'} \leq \xi_m^n + 1 - \xi_{m'}^{n'}, \\ \text{C5-c: } & \xi_m^n \leq \theta_{m,m'}^{n,n'} + 1 - \xi_{m'}^{n'}, \\ \text{C5-d: } & \theta_{m,m'}^{n,n'} \leq \xi_{m'}^{n'}, \\ & \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall m, m' \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall n, n' \in \mathcal{N}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, n \neq n'. \end{aligned} \quad (17-3)$$

با جاگذاری چهار قید (۱۷-۳) به جای C5 در مساله (۱۶-۳)، این مساله خطی شده و با ابزار MOSEK قابل حل خواهد بود.

<sup>۱</sup> INLP (Integer Nonlinear Programming Problem) / BNLP (Binary Nonlinear Programming Problem)

<sup>۲</sup> ILP (Integer Linear Programming Problem)

<sup>۳</sup> Linearize

### ۳-۷-۲- ساز و کار کنترل دسترسی برای مساله تخصیص منابع مشترک

به منظور کشف درخواست‌های برشی که باعث امکان ناپذیری<sup>۱</sup> مساله (۱۶-۳) می‌شوند، یک ساز و کار کنترل دسترسی در ادامه معرفی خواهد شد. این ساز و کار قبل از حل مساله اجرا می‌شود و پس از حذف احتمالی تعدادی از درخواست‌های برش، مجموعه‌ای از درخواست‌های برش را برای حل تحويل مساله (۱۶-۳) خواهد داد، با این اطمینان که این مجموعه باعث امکان ناپذیری این مساله نخواهند شد.

به دلیل محدود بودن برخی منابع در گره‌های ابری و لینک‌های فیزیکی بین آن‌ها (قیود C1 (همان رابطه (۱-۳)، C6 (همان رابطه (۱۲-۳) و C7 (همان رابطه (۱۴-۳))), اگر منابع مجازی درخواستی برش‌ها از ظرفیت شبکه CSP تجاوز کند، حل مساله (۱۶-۳) امکان پذیر<sup>۲</sup> نخواهد بود و در نتیجه CSP قادر به پاسخگویی به هیچ یک از درخواست‌های برش نخواهد بود و منابع خود را عملأً هدر خواهد داد. دلیل استفاده از ساز و کار کنترل دسترسی در این پایان‌نامه این بود که در زمان شبیه‌سازی به صورت تجربی مشاهده شد که در برخی مواقع، حل مساله امکان‌پذیر نبود و عملأً برای حل این مشکل، ساز و کار کنترل دسترسی یکی از بهترین راه حل‌های پیشنهادی در ادبیات مربوطه بود [۹].

طبق راه حل‌های پیشنهادی در [۹, ۳۹]، هر زمان که مجموع متغیرهای کشسان‌سازی<sup>۳</sup> مساله کنترل دسترسی بیشتر از صفر باشد، مساله قطعاً امکان ناپذیر خواهد بود. لذا راه حل پیشنهادی این پایان‌نامه این است که در هر دور از حل مساله کنترل دسترسی، در صورت غیر صفر بودن این مساله (که در پایین این صفحه فرموله شده است)، یک درخواست برش را با یک روش ابتکاری<sup>۴</sup> یافته و آن را از مجموعه درخواست‌های برش حذف نماید. در ساز و کار کنترل دسترسی، این کار تا وقتی انجام خواهد شد که مجموع متغیرهای کشسان‌سازی برابر با صفر باشد. پس از آن، مساله (۱۶-۳) حل می‌شود و دیگر CSP نگران امکان ناپذیری این مساله نخواهد بود. لازم به ذکر است که روش ابتکاری که مبتنی بر یک الگوی حریصانه است در الگوریتم جدول ۳-۳ تشریح شده است.

<sup>۱</sup> Infeasibility

<sup>۲</sup> Feasible

<sup>۳</sup> Sum of Elasticization Variables

<sup>۴</sup> Heuristic

به منظور یافتن درخواست‌های برش مشکل‌ساز، از ایده کشسان‌سازی<sup>۱</sup> استفاده شده در مراجع [۹]

[۸۰] بهره گرفته شده است. برای روشن‌سازی هرچه بیشتر، متغیرهای کشسان‌سازی در جدول ۴-۳ تشریح شده‌اند.

جدول ۴-۳: متغیرهای کشسان‌سازی مساله کنترل دسترسی AC-JRA (مساله (۱۸-۳))

متغیر کشسان‌سازی	تعریف به منظور کشسان‌سازی این منبع	قید کشسان‌سازی شده از مساله (۳-۱۶)
$\sigma^{VM}$	منابع رایانشی، حافظه و فضای ذخیره‌سازی گره‌های ابری	(رابطه (۳-۱)) C1
$\sigma^{BW}$	پهنهای باند لینک‌های فیزیکی	(رابطه (۳-۱۲)) C6
$\sigma^{\tau}$	تاخیر انتشار لینک‌های فیزیکی	(رابطه (۳-۱۴)) C7

مساله کنترل دسترسی (AC-JRA)<sup>۲</sup> برای مساله (۱۶-۳) به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \min_{\pi, \gamma, \xi, \sigma} \quad & (\sigma^{VM} + \sigma^{BW} + \sigma^{\tau}) \\ \text{subject to} \quad & \text{C1-a: } \sum_{t \in T} \sum_{k \in \mathcal{K}_t} \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \xi_m^n \phi_m \leq \mathbf{r}_n + \sigma_n^{VM}, \forall n \in \mathcal{N} \\ & \text{C6-a: } \sum_t \sum_k \sum_{e_{m,m'}} \sum_n \sum_{n'} \sum_b I_{P_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{P_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \varpi^{e_{m,m'}} \leq BW^{l_{u,u'}} + \sigma_{l_{u,u'}}^{BW} \\ & \text{C7-a: } \sum_{l_{u,u'}} I_{P_{n,n'}^b}^{l_{u,u'}} \pi_{P_{n,n'}^b}^{e_{m,m'}} \tau^{l_{u,u'}} \leq \tau_{\max}^{e_{m,m'}} + \sigma_{s_{t,k}}^{\tau} \\ & \text{C2, C3, C4, C5-a, C5-b, C5-c, C5-d, C8, C9, C10.} \end{aligned} \quad (18-3)$$

در مساله (۱۸-۳)، مقدار بردار  $\sigma_n^{VM}$  نشانگر انحراف مجموع منابع رایانشی درخواستی برش‌ها از یک مجموعه پُر<sup>۳</sup> امکان‌پذیر از این منابع درخواستی در شبکه CSP می‌باشد. به عبارت دیگر، مقدار این بردار، مشخص می‌کند که CSP چقدر منابع رایانشی، حافظه و فضای ذخیره‌سازی کم دارد تا بتواند به همه درخواست‌های برش مربوطه پاسخگو باشد. متغیر  $\sigma_{l_{u,u'}}^{BW}$  نیز انحراف مجموع نرخ‌های داده درخواستی بر روی لینک فیزیکی  $l_{u,u'}$  با مقدار  $BW^{l_{n,n'}}$  را بیان می‌کند. هم‌چنین، متغیر  $\sigma_{s_{t,k}}^{\tau}$  انحراف مسیرهای پیشنهادی برای هر درخواست لینک مجازی از حداقل تاخیر قابل تحمل هر لینک مجازی را مشخص می‌کند. در هر دور اجرای حلقه تکرار الگوریتم پیشنهادی، یک مجموعه با تعداد مشخصی درخواست برش به همنواز رسانیده و باید در مورد پذیرش یا عدم پذیرش درخواست هر مستاجر تصمیم‌گیری کرد. به منظور خلاصه‌سازی، ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۱۸-۳) در الگوریتم زیر شرح داده شده است:

<sup>۱</sup> Elasticization Approach

<sup>۲</sup> Admission Control for Joint Resource Allocation

<sup>۳</sup> Fulfilled Set

### جدول ۳-۵: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۱۸-۳) (AC-JRA) برای حل مساله (۱۶-۳)

وروودی: مجموعه‌های  $\mathcal{N}$  و  $\mathcal{L}$ ,  $BW$ ,  $r$ ,  $\Psi$ ,  $\tau$  و  $I$  مربوط به شبکه CSP

مجموعه برش‌های درخواستی مستاجرها ( $\mathcal{S}$ ), مجموعه‌های  $\mathcal{M}$  و  $\mathcal{E}$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ ,  $\tau_{\max}$  و  $.Count=0$

۱. تکرار:

۲. حل مساله (AC-JRA) (۱۸-۳) بر اساس ورودی‌ها با استفاده از ابزار MOSEK

۳. اگر  $\sum \sigma^{VM} \neq 0$  آن‌گاه

۴. یافتن این که کدام یک از منابع رایانشی، حافظه یا فضای ذخیره‌سازی باعث امکان‌نایابی مساله می‌شوند.

۵. اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM,Com} \neq 0$  آن‌گاه

۶. برای همه  $s_{t,k}$  که  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedCom(s_{t,k})) .7$$

۷. پایان

۸. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM,Mem} \neq 0$  آن‌گاه

۹. برای همه  $s_{t,k}$  که  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedMem(s_{t,k})) .11$$

۱۰. پایان

۱۱. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM,Sto} \neq 0$  آن‌گاه

۱۲. برای همه  $s_{t,k}$  که  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedSto(s_{t,k})) .15$$

۱۳. پایان

۱۴. همه منابع درخواستی برش  $s_{t,k}^*$  را برابر با صفر قرار بده و آن را رد<sup>۱</sup> کن.

۱۵. پایان

۱۶. در غیر این صورت، آن‌گاه

۱۷. اگر  $\sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} \sigma_{l_{u,u'}}^{BW} \neq 0$  آن‌گاه

۱۸. برای همه  $s_{t,k}$  که  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

<sup>۱</sup> Reject

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (\text{SumUsedRate}(s_{t,k})). \quad .22$$

. ۲۳. پایان

. ۲۴. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} \sigma_{s_{t,k}}^\tau \neq 0$  آن‌گاه

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} \sigma_{s_{t,k}}^\tau. \quad .25$$

. ۲۶. پایان

. ۲۷. همه منابع درخواستی برش  $s_{t,k}^*$  را برابر با صفر قرار بده و آن را رد کن.

. ۲۸. پایان

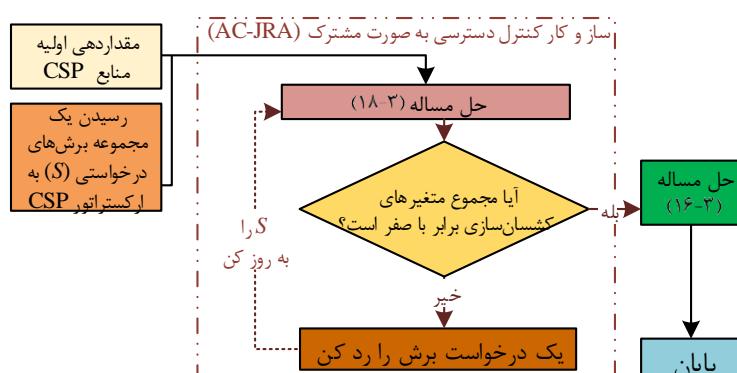
. ۲۹. مجموعه  $\delta$  را به روز کن و  $.Count++$

. ۳۰. شرط پایان اجرا:  $Count > 15$  یا  $\sum(\sigma^{VM} + \sigma^{BW} + \sigma^\tau) = 0$

خروجی: مجموعه بهروزشده  $\delta$ .

### ۳-۷-۳- روندnamای<sup>۱</sup> روش پیشنهادی

در این زیربخش، به منظور روشن‌سازی هرچه بیشتر، روش پیشنهادی که متشکل از ساز و کار کنترل دسترسی و تخصیص منابع به صورت مشترک برای چارچوب<sup>۲</sup> برش‌بندی مورد نظر است، توضیح داده خواهد شد. روندnamای روش پیشنهادی در شکل ۵-۳ نشان داده شده است.



شکل ۵-۳ روندnamای روش پیشنهادی (JRA)

<sup>۱</sup> Flowchart

<sup>۲</sup> Framework

### -۸-۳- روش حل مساله تخصیص منابع به صورت غیر مشترک بر مبنای برش‌های درخواستی

به منظور ارزیابی روش مطرح شده در شکل ۵-۳ نیاز به یک روش دیگر است. به دلیل این که چارچوب معرفی شده قبلا در بقیه مقالات استفاده نشده و جدید می‌باشد، فرموله‌سازی مساله (۱۶-۳) به صورت غیر مشترک برای مقایسه در نظر گرفته شده است. در مساله تخصیص منابع به صورت غیر مشترک (DRA)<sup>۱</sup>، هم مساله کنترل دسترسی و هم خود مساله تخصیص منابع به دو زیر مساله گره‌ها و لینک‌ها شکسته شده‌اند. در ادامه این زیربخش، فرموله‌سازی این روش حل و روند نمای آن بررسی شده است.

### -۸-۱- دو زیرمساله کنترل دسترسی و تخصیص منابع برای گره‌های ابری

زیرمساله کنترل دسترسی (همانند مساله (۱۸-۳)) برای قیودی از مساله (۱۶-۳) که مربوط به محدودیت‌های گره‌های ابری می‌شوند (AC-DMA)<sup>۲</sup>، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} \min_{\gamma, \xi, \sigma} \quad & \sigma^{VM} \\ \text{subject to} \quad & C1-a, C2, C3, C8, C9. \end{aligned} \quad (۱۹-۳)$$

الگوریتم کنترل دسترسی منابع گره‌های ابری (AC-DMA) نیز به شرح زیر است:

جدول ۳-۶: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۱۹-۳) (AC-DMA) برای حل مساله (۲۰-۳)

ورودی: مجموعه  $\mathcal{N}$  و بردار  $r$  مربوط به شبکه CSP

مجموعه برش‌های درخواستی مستاجرها ( $\mathcal{S}$ )، مجموعه  $\mathcal{M}$ ، بردار  $\Phi$  و  $\text{Count}=0$

۱. تکرار:

۲. حل مساله (۱۹-۳) (AC-DMA) بر اساس ورودی‌ها با استفاده از ابزار MOSEK

۳. اگر  $\sum \sigma^{VM} \neq 0$  آن‌گاه

۴. یافتن این که کدام یک از منابع رایانشی، حافظه یا فضای ذخیره‌سازی باعث امکان‌ناپذیری مساله می‌شوند.

۵. اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM, Com} \neq 0$  آن‌گاه

۶. برای همه  $t$  و  $k$  که  $K_t \leq k \leq T$  و  $s_{t,k} = \arg \max_{s_{t,k}} (\text{SumUsedCom}(s_{t,k}))$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (\text{SumUsedCom}(s_{t,k})). \quad ۷$$

۸. پایان

<sup>۱</sup> Disjoint Resource Allocation

<sup>۲</sup> Admission Control for Disjoint Allocation of Virtual Machines

---

۹. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM,Mem} \neq 0$  آن‌گاه

.  $SumUsedMem(s_{t,k}) = \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \phi_{m_{t,k}}^{\text{Mem}}$ : ها  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedMem(s_{t,k})) .11$$

۱۲. پایان

۱۳. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{n \in \mathcal{N}} \sigma_n^{VM,Sto} \neq 0$  آن‌گاه

.  $SumUsedSto(s_{t,k}) = \sum_{m \in \mathcal{M}_{t,k}} \phi_{m_{t,k}}^{\text{Sto}}$ : ها  $k \leq K_t$  و  $t \leq T$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedSto(s_{t,k})) .15$$

۱۶. پایان

۱۷. همه منابع درخواستی برش  $s_{t,k}^*$  را برابر با صفر قرار بده و آن را رد کن.

۱۸. پایان

.  $Count + +$  را به روز کن و

۲۰. شرط پایان اجرا:  $Count > 15$  یا  $\sum(\sigma^{VM}) = 0$

خروجی: مجموعه بهروزشده  $\delta$ .

پس از حل زیرمساله کنترل دسترسی برای گره‌های ابری، مساله تخصیص منابع گره‌های ابری (DMA)<sup>۱</sup> باید حل شود که به صورت زیر فرموله شده است:

$$\begin{aligned} \min_{\gamma, \xi} \quad & Y \left( \sum_{n \in \mathcal{N}} P_n \right) \\ \text{subject to} \quad & C1, C2, C3, C8, C9. \end{aligned} \quad (20-3)$$

پس از حل این دو زیرمساله، مشابه این دو زیرمساله با استفاده از دو متغیر  $\gamma$  و  $\xi$  که در زیرمساله (۳)

۲۰) به دست آمدند، به صورت پارامتر ورودی برای قیودی از مساله (۱۶-۳) که مربوط به لینک‌های CSP می‌شوند، باید حل شوند.

### ۳-۸-۲- دو زیرمساله کنترل دسترسی و تخصیص منابع برای لینک‌های CSP

زیرمساله کنترل دسترسی (همانند مساله (۱۸-۳)) برای قیودی از مساله (۱۶-۳) که مربوط به محدودیت‌های لینک‌های فیزیکی CSP می‌شوند (AC-DLA)<sup>۲</sup>، به صورت زیر نوشته می‌شود:

---

<sup>۱</sup> Disjoint Allocation of Virtual Machines

<sup>۲</sup> Admission Control for Disjoint Allocation of Links

$$\begin{aligned} \min_{\pi, \sigma} \quad & (\sigma^{BW} + \sigma^\tau) \\ \text{subject to} \quad & \text{C4, C5, C6-a, C7-a, C10.} \end{aligned} \quad (21-3)$$

لازم به ذکر است که قید C5 دیگر نیازی به خطی‌سازی ندارد زیرا مقادیر متغیر  $\zeta$  به صورت پارامتر و از طریق حل زیرمساله (۲۰-۳) به این زیرمساله انتقال<sup>۱</sup> داده شده‌اند. الگوریتم کنترل دسترسی لینک‌های CSP به صورت مجزا از گره‌های ابری به صورت زیر است:

جدول ۷-۳: الگوریتم ساز و کار کنترل دسترسی مساله (۲۱-۳) (AC-DLA) برای حل مساله (۲۲-۳)

ورودی: مجموعه‌های  $\mathcal{N}$  و  $\mathcal{L}$ ,  $BW$ ,  $\Psi$ ,  $\tau$  و  $I$  مربوط به شبکه

مجموعه برش‌های درخواستی مستاجرها ( $\mathcal{E}$ ), مجموعه  $\mathcal{U}$ , بردارهای  $\varpi$ ,  $\tau_{max}$  و  $Count=0$

۱. تکرار:

۲. حل مساله (۲۱-۳) (AC-DLA) بر اساس ورودی‌ها با استفاده از ابزار MOSEK

۳. اگر  $\sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} \sigma_{l_{u,u'}}^{BW} \neq 0$

۴. برای همه  $k \leq K_t \leq T$  و  $m, m' \in \mathcal{E}_{t,k}$ :

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} (SumUsedRate(s_{t,k})) \quad 5$$

۶. همه منابع درخواستی برش  $s_{t,k}^*$  را برابر با صفر قرار بده و آن را رد کن.

۷. پایان

۸. در غیر این صورت، اگر  $\sum_{l_{u,u'} \in \mathcal{L}} \sigma_{s_{t,k}}^\tau \neq 0$

$$s_{t,k}^* = \arg \max_{s_{t,k}} \sigma_{s_{t,k}}^\tau \quad 9$$

۹. همه منابع درخواستی برش  $s_{t,k}^*$  را برابر با صفر قرار بده و آن را رد کن.

۱۰. پایان

۱۱.  $Count++$  و مجموعه  $\mathcal{E}$  را به روز کن

۱۲. شرط پایان اجر:  $Count > 15$  یا  $\sum(\sigma^{BW} + \sigma^\tau) = 0$

۱۳. خروجی: مجموعه به روز شده  $\mathcal{E}$

پس از حل زیرمساله کنترل دسترسی برای لینک‌های فیزیکی CSP، مساله تخصیص منابع این لینک‌ها<sup>۲</sup> باید حل شود که به صورت زیر فرموله شده است:

<sup>1</sup> Pass

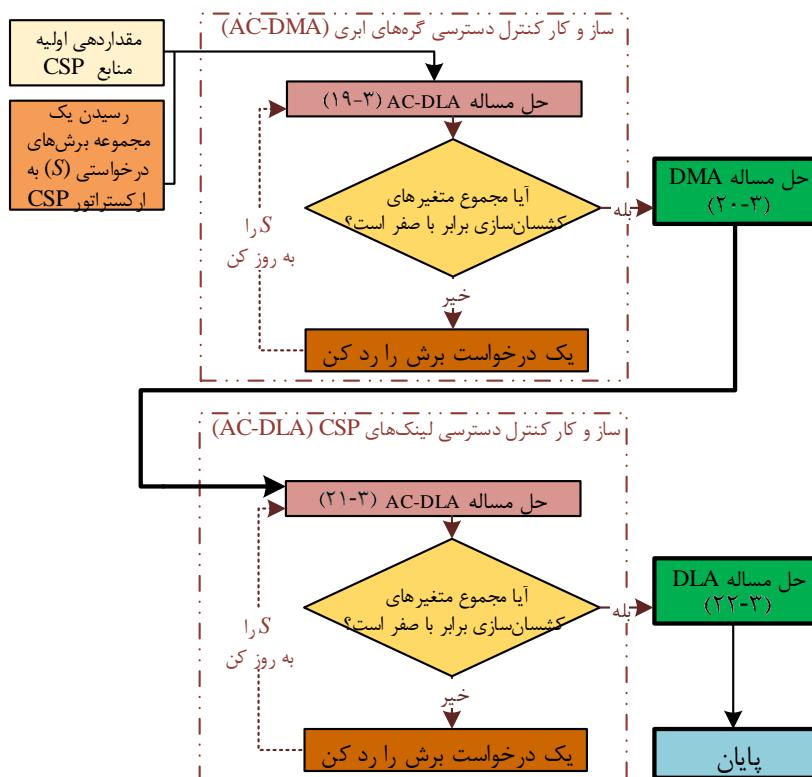
<sup>2</sup> Disjoint Allocation of Links

$$\begin{aligned} \min_{\pi} \quad & C_{\text{Total}}(\pi, \gamma, \xi) \\ \text{subject to} \quad & \text{C4, C5, C6, C7, C10.} \end{aligned} \quad (22-3)$$

لازم به ذکر است که در زیرمسئله (۲۲-۳)، تمامی پارامترهای مربوط به گرههای ابری (قسمت  $C_{\text{Total}}$  در صورت ثابت به  $C_{\text{Total}}$  اضافه می‌شوند تا بتوان از مقدار به دست آمده از  $C_{\text{Total}}$  برای مقایسه با مقدار به دست آمده در مسئله (۱۶-۳) استفاده کرد.

### ۳-۸-۳- روندnamای روش تخصیص منابع به صورت غیر مشترک

در این زیربخش، به منظور روش‌سازی هرچه بیشتر، روشن پیشنهادی تخصیص منابع گرههای ابری و لینک‌های CSP که به صورت غیر مشترک ارائه شد، توضیح داده خواهد شد. روندnamای روشن پیشنهادی در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که الگوریتم هر دو زیر مسئله کنترل دسترسی همانند الگوریتم جدول ۵-۳ می‌باشد.



شکل ۳-۶ روندnamای روشن تخصیص منابع به صورت غیر مشترک (DRA)

### ۹-۳- جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا مدل سیستمی مسئله تخصیص منابع CSP به برش‌های درخواستی مستاجرها مطرح شد. پس از آن، قیود مربوط به ماشین‌ها و لینک‌های مجازی به صورت تفصیلی شرح داده شدند. در انتها نیز

پس از معرفی تابع هدف، مساله بهینه‌سازی مربوطه فرموله و شرح داده شد. در ادامه این فصل، روش مشترک معرفی شده بر اساس مساله (۳-۱۶) (روش JRA) ابتدا خطی‌سازی شده و سپس یک ساز و کار کنترل DRA) به منظور مقایسه با روش JRA دسترسی برای آن ارائه شد. در انتهای نیز یک روش غیر مشترک (DRA) به منظور مقایسه با روش JRA معرفی شد.

## فصل ۴- شبیه سازی و ارزیابی نتایج

### ۱-۴ مقدمه

در این بخش، ابتدا محیط شبیه سازی مساله یا همان پارامترهای تنظیم شده در مساله تشریح خواهد شد. سپس بر اساس پارامترهای تنظیم شده، دو روش JRA (یا همان روش تخصیص منابع به صورت مشترک نشان داده شده در شکل ۵-۳) و DRA (یا همان روش تخصیص منابع به صورت غیرمشترک نشان داده شده در شکل ۶-۳) با توجه به نتایج بدست آمده در شبیه سازی با هم مقایسه خواهند شد.

### ۲-۴ محیط شبیه سازی

در این قسمت، محیط شبیه سازی مربوطه تشریح خواهد شد. با استفاده از ۴ گره ابری، مقداردهی اولیه گراف شبکه CSP انجام شد. ظرفیت مربوط به هر ۴ گره ابری بر مبنای اطلاعات سمت راست جدول ۱-۴ تنظیم شده است. همچنین، سه ردیف اول جدول ۲-۴ نیز پارامترهای مربوط به لینک های فیزیکی CSP را نشان می دهد که طبق توپولوژی شکل ۱-۴ به یکدیگر متصل شده اند. علاوه بر این، وزن های تابع هزینه (۳-۱۵) به صورت تجربی برابر با  $1 = \gamma \times 10^{-5}$  تنظیم شده اند.

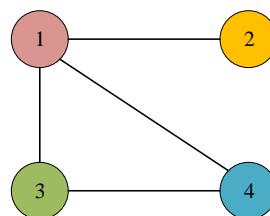
به منظور ارزیابی تاثیر تعداد درخواست های برش رسیده به CSP، در شبیه سازی تعداد مستاجرها از ۱ تا ۱۶ هستند و تعداد برش های هر مستاجر ( $K_i$ ) نیز همان ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین، تعداد ماشین های مجازی هر درخواست برش نیز ثابت فرض شده است ( $M = 3 = |M|$ ). تمامی منابع درخواستی ماشین های مجازی برای هر یک از آن ها ثابت بوده و در سمت چپ جدول ۱-۴ نشان داده شده اند. همچنین گراف ارتباط مربوط به هر درخواست برش به صورت تصادفی ایجاد شده و حداقل و حداقل مقدار مربوط به نرخ داده درخواستی و حداقل تاخیر قابل تحمل هر لینک مجازی در دو ردیف آخر جدول ۲-۴ نشان داده شده است.

جدول ۱-۴: پارامترهای مربوط به محیط شبیه‌سازی گره‌های ابری و ماشین‌های مجازی درخواستی مستاجرها

مقدار	نوع منبع درخواستی	مقدار	نوع منبع گره ابری
1000 MHz	$\phi_m^{\text{Com}}$	7000 MHz	$r_n^{\text{Com}}$
64 GB	$\phi_m^{\text{Mem}}$	800 GB	$r_n^{\text{Mem}}$
120 GB	$\phi_m^{\text{Sto}}$	2000 GB	$r_n^{\text{Sto}}$

جدول ۲-۴: پارامترهای مربوط به محیط شبیه‌سازی لینک‌های فیزیکی CSP و لینک‌های مجازی درخواستی مستاجرها

حداکثر	حداقل	داخلی/خارجی	CSP
$10^7$		داخل گره ابری	$BW^{l_{n,n'}}$ (Kbps)
$1.9 \times 10^5$	$9 \times 10^4$	بین دو گره ابری	
$10^{-2} BW^{l_{n,n'}}$	$10^{-3} BW^{l_{n,n'}}$	بین دو گره ابری	$\psi^{l_{n,n'}} (\$)$ $\tau^{l_{n,n'}}$ (ms)
0		داخل گره ابری	
4	$10^{-1}$	بین دو گره ابری	
نوع منبع درخواستی مستاجر			
$1.1 \times 10^5$	$10^4$	بین دو ماشین مجازی	$\omega^{e_{m,m'}} (\text{Kbps})$
14	5	بین دو ماشین مجازی	$\tau_{max}^{e_{m,m'}} (\text{ms})$



شکل ۱-۴ تopoلوزی شبکه گره‌های ابری CSP در مقداردهی اولیه مساله

لازم به ذکر است که کدنویسی قسمت مقداردهی اولیه پارامترها توسط نرم‌افزار MATLAB انجام شده و برای حل مسائل (۱) JRA (Modified)، (۲) DMA، (۳) AC-DMA، (۴) AC-JRA (۱۶-۳)، (۵) DLA (۲۰-۳)، (۶) MOSEK (۲۲-۳) از حل کننده CVX (بر روی ابزار) استفاده شده است [۲۹، ۳۰]. سیستم مورد استفاده برای شبیه‌سازی، دارای پردازنده Intel Core i7-8700 (Coffee Lake) با فرکانس

<sup>۱</sup> Linearized through changing C5 with C5-a, C5-b, C5-c, and C5-d (Formula (4-1))

<sup>۲</sup> Solver

32 GB DDR4 و شش هسته با قابلیت Overclock 4.5 GHz تا 3.7 GHz بود. البته به دلیل این که ابزار CVX از موازی‌سازی پشتیبانی نمی‌کرد، تنها در برخی بخش‌های وقت‌گیر مقداردهی اولیه (محاسبه مسیرهای فیزیکی و مقداردهی نشانگر  $I_{p_{n,n'}^{u,u'}}^{l_{u,u'}}$ ) از موازی‌سازی در کد (با استفاده از ابزار Parallel Computing بر روی نرمافزار MATLAB) استفاده شده است.

### ۳-۴- نتایج شبیه‌سازی

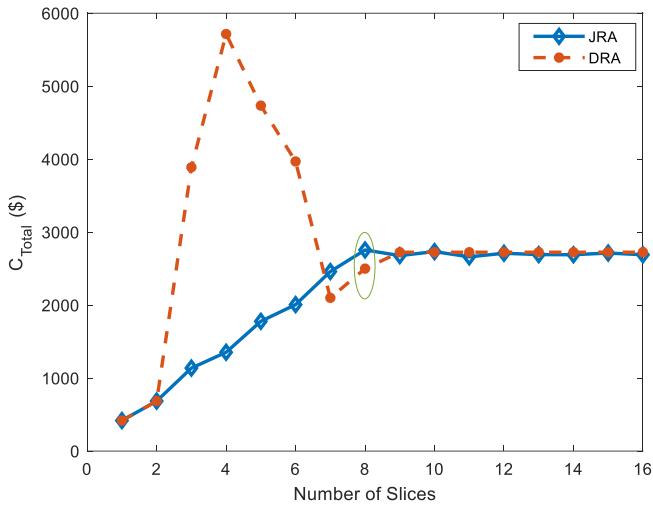
در این بخش، نتایج مربوط به شبیه‌سازی بر اساس محیط مساله که در ابتدای این فصل شرح داده شد، بررسی می‌شوند. تمامی شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرمافزار MATLAB انجام شده و حل مسائل ILP با استفاده از حل‌کننده MOSEK بر روی ابزار CVX در نرمافزار MATLAB انجام شده‌اند. در تمامی شکل‌های شبیه‌سازی، دو راهکار JRA (روندنمای نشان‌داده شده در شکل ۵-۳ حاوی دو مساله AC-JRA (۱۸-۳) و JRA (۱۶-۳) به صورت خطی) و DRA (روندنمای نشان‌داده شده در شکل ۶-۳) مقایسه شده‌اند.

### ۱-۳-۴- هزینه CSP

هزینه کلی CSP بر اساس تابع هزینه (۱۵-۳) برای خدمترسانی به درخواست‌های برش (متغیر از ۱ تا ۱۶ درخواست) در شکل ۲-۴ بررسی شده است. در این شکل مشخص است که روش JRA از لحاظ هزینه بسیار بهتر عمل می‌کند و هزینه با روند نسبتاً کندی نسبت به تعداد برش‌های درخواستی رشد می‌کند. در شکل‌های بعد مشخص خواهد شد که از درخواست برش هشتم به بعد، به دلیل محدود بودن منابع رایانشی، CSP قادر به میزبانی از بیش از ۸ برش نخواهد بود و بقیه درخواست‌ها رد<sup>۱</sup> خواهند شد. دلیل سقوط ناگهانی منحنی مربوط به روش DRA در ادامه و با استفاده از شکل‌های دیگر توضیح داده خواهد شد.

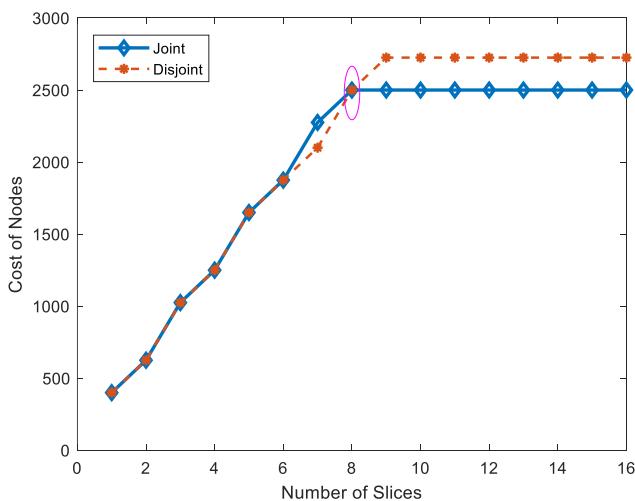
---

<sup>۱</sup> Reject



شکل ۲-۴ مقایسه هزینه کلی تمام‌شده برای CSP

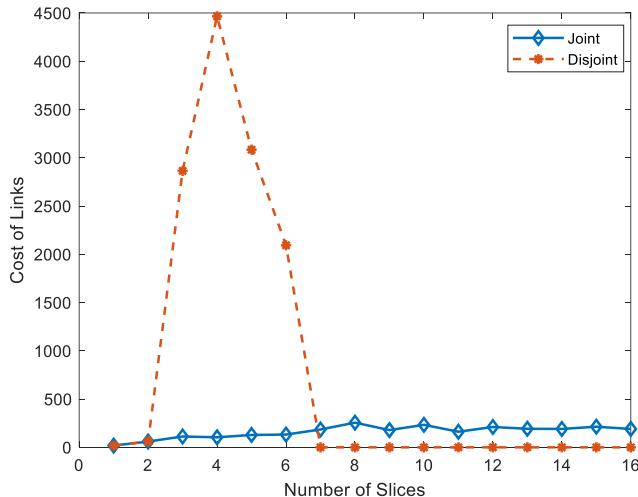
شکل ۳-۴ مربوط به مقایسه هزینه مربوط به مصرف توان گره‌های ابری (قسمت  $C_{\text{Total}}$  در تابع هزینه  $\sum_{n \in \mathcal{N}} P_n$ ) است. در این مقایسه معلوم می‌شود که در روش JRA پس از قبول ۸ درخواست برش، ۴ گره ابری CSP اغما می‌شوند و پس از آن به دلیل قبول تنها ۸ تا از درخواست‌ها، این هزینه ثابت می‌ماند. اگر هیچ روش کنترل دسترسی بر روی مساله اعمال نمی‌شد، پس از ۸ درخواست، CSP دیگر قادر به پاسخگویی به هیچ یک از درخواست‌ها نبود و همگی رد می‌شدند، اما با استفاده از این ساز و کار، با افزایش تعداد درخواست‌ها، هنوز هم ۸ درخواست برش قبول خواهند شد. در روش DRA مشاهده می‌شود که تا ۹ درخواست، قادر به پاسخگویی خواهد بود و پس از آن مانند روش JRA، روند ثابت به خود می‌گیرد. دلیل این تفاوت در نادیده گرفته شدن منابع مربوط به لینک‌های CSP (تاخیر و پهنای باند) در روش DRA می‌باشد.



شکل ۳-۴ مقایسه هزینه مربوط به مصرف توان گره‌های ابری برای CSP

شکل ۴-۴ مربوط به مقایسه هزینه مصرف پهنای باند لینک‌ها به دست‌آمده از (۱۳-۳) (قسمت  $\beta$  در تابع هزینه  $C_{\text{Total}}$ ) است. این شکل نیز برتری روش JRA را نشان می‌دهد. مقدار صفر در روش DRA که

پس از درخواست برش هفتم به دست آمده، نشان می‌دهد که زیرمساله AC-DLA در هر صورت غیر امکان‌پذیر<sup>۱</sup> خواهد شد و از پس حل کردن مساله برخواهد آمد. دیده نشدن منابع مربوط به گره‌های ابری دلیل اصلی امکان‌نایابی این مساله است. ثابت ماندن منحنی DRA در شکل ۲-۴ به دلیل صفر شدن مقدار مربوط به  $\beta$  در تابع هدف پس از درخواست هفتم و ثابت ماندن مقدار مربوط به نرخ پذیرش<sup>۲</sup> شرح داده خواهد برش نهاده می‌باشد. دلیل مربوط به کاهش هزینه  $\beta$  نیز در قسمت مربوط به نرخ پذیرش<sup>۲</sup> شرح داده خواهد شد.



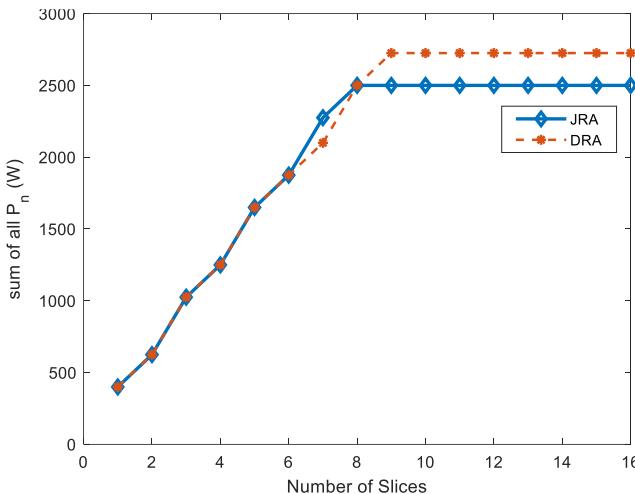
شکل ۴-۴ مقایسه هزینه مصرف پهنه‌ای باند لینک‌ها برای CSP ( $\beta$ )

#### ۲-۳-۴ - نمودارهای مربوط به گره‌های ابری

مقایسه مربوط به مصرف توان کل ۴ گره ابری در شکل ۵-۴ به تصویر کشیده شده است. دلیل شباهت این شکل با شکل ۳-۴ تابع وزن خطی مورد استفاده در شکل ۳-۴ (Y) می‌باشد. در این مقایسه دیده می‌شود که در روش JRA پس از قبول ۸ درخواست برش، ۴ گره ابری CSP اغنا می‌شوند و پس از آن به دلیل قبول تنها ۸ تا از درخواست‌ها، مصرف توان کل ثابت می‌ماند. در روش DRA مشاهده می‌شود که CSP تا ۹ درخواست، قادر به پاسخگویی خواهد بود و پس از آن مانند روش JRA، روند ثابت به خود می‌گیرد. دلیل این تفاوت در نادیده گرفته شدن منابع مربوط به لینک‌های CSP (تاخیر و پهنه‌ای باند) در روش DRA می‌باشد.

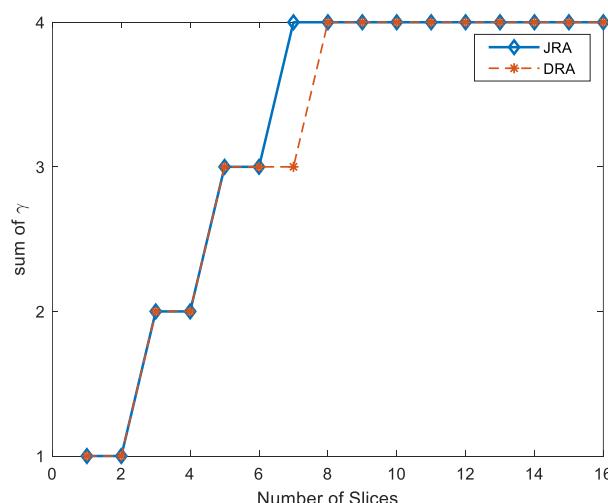
<sup>۱</sup> Infeasible

<sup>۲</sup> Acceptance Ratio



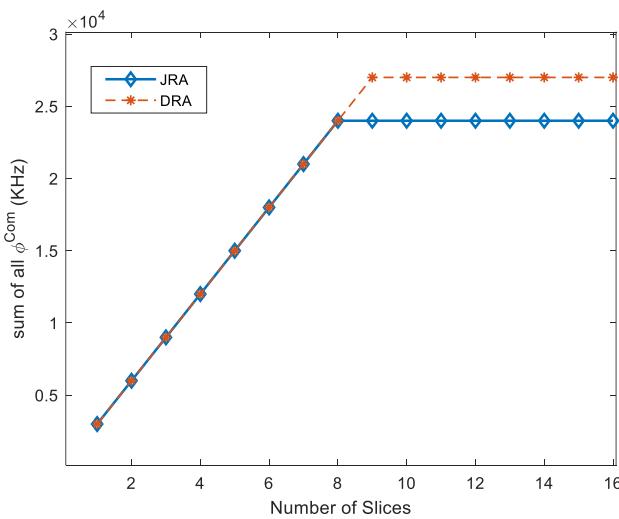
شکل ۵-۴ مقایسه توان کل مصرفی توسط همگی گرههای ابری ( $\sum_{n \in \mathcal{N}} P_n$ )

در شکل ۶-۴ تعداد گرههای ابری روش در دو روش DRA و JRA مقایسه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، در روش JRA از زمانی که تعداد برش‌های درخواستی بیش از ۷ تا می‌شود، گره ابری چهارم نیز روش می‌شود. این در حالی است که در روش DRA از زمانی که تعداد برش‌های درخواستی بیش از ۸ تا می‌شود، این اتفاق می‌افتد. دلیل این اتفاق، اطلاع نداشتن مساله DMA (۳-۲۰) از محدودیت‌های مربوط به لینک‌های CSP است. دلیل ثابت ماندن تعداد گرههای ابری روش پس از ۸ درخواست برش را قبول کند است که منابع گرههای ابری تمام شده‌اند و CSP تنها می‌تواند تعداد محدودی درخواست برش را قبول کند (برای بررسی نرخ پذیرش برش‌های درخواستی رجوع شود به شکل ۱۰-۴). لازم به ذکر است اگر هیچ روش کنترل دسترسی بر روی مساله اعمال نمی‌شد، پس از ۸ درخواست، CSP دیگر قادر به پاسخگویی به هیچ یک از درخواست‌ها نبود و همگی رد می‌شدند و از منابع هیچ یک از ۴ گره ابری استفاده نمی‌شد، اما با استفاده از این ساز و کار، با افزایش تعداد درخواست‌ها، هنوز هم ۸ درخواست برش قبول خواهد شد.



شکل ۶-۴ مقایسه تعداد گرههای ابری روش ( $\sum_{n \in \mathcal{N}} \gamma_n$ )

ظرفیت رایانشی کل استفاده شده توسط CSP (همچون توان کل مصرفی توسط گره‌های ابری نشان داده شده در شکل ۷-۴) تابعی از تعداد گره‌های ابری روشن (شکل ۶-۴) می‌باشد و در شکل ۷-۴ بین دو روش JRA و DRA مقایسه شده است. در روش JRA پس از قبول ۸ درخواست برش، ۴ گره ابری CSP اغنا می‌شوند و پس از آن به دلیل قبول تنها ۸ تا از درخواست‌ها، ظرفیت رایانشی کل استفاده شده ثابت می‌ماند. در روش DRA مشاهده می‌شود که CSP تا ۹ درخواست، قادر به پاسخگویی خواهد بود و پس از آن مانند روش JRA، روند ثابت به خود می‌گیرد. دلیل این تفاوت در نادیده گرفته شدن منابع مربوط به لینک‌های (تاخیر و پهنای باند) در روش DRA می‌باشد.



شکل ۷-۴ مقایسه ظرفیت رایانشی کل استفاده شده گره‌های ابری

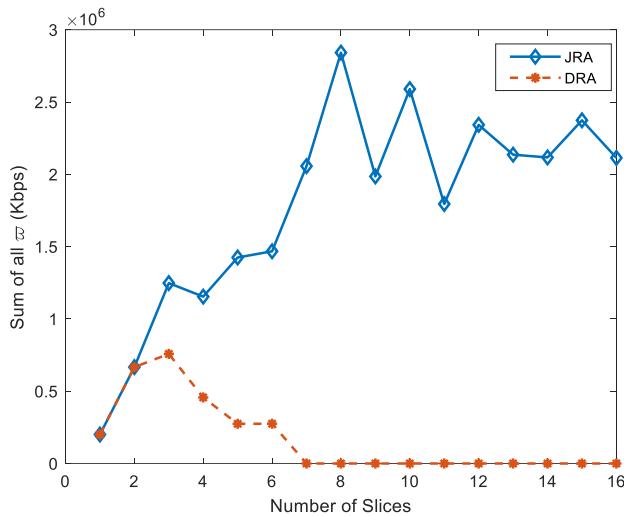
### ۳-۳-۴ نمودارهای مربوط به لینک‌های CSP

پهنای باند اختصاص داده شده به هر کدام از لینک‌های CSP بین ۹۰ تا ۱۹۰ مگابیت بر ثانیه (مطابق جدول ۲-۴) می‌باشد. هم‌چنین تابع rand که در نرم‌افزار MATLAB اعداد تصادفی تولید می‌کند از توزیع یکنواخت<sup>۱</sup> استفاده می‌کند و برای شبیه‌سازی پهنای باند و تاخیر انتشار لینک‌های CSP، نرخ داده درخواستی و حداکثر تاخیر قابل تحمل لینک‌های مجازی درخواستی هر کدام از درخواست‌های برش از این تابع استفاده شده است. هم‌چنین نرخ داده درخواستی برای لینک‌های مجازی هر یک از درخواست‌های برش بین ۱۰ تا ۱۱۰ مگابیت بر ثانیه (مطابق جدول ۲-۴) می‌باشد.

شکل ۸-۴ مقایسه دو روش DRA و JRA در مورد مجموع نرخ داده درخواستی قبول شده توسط CSP را نشان می‌دهد. دلیل کاهش و افزایش‌های مقطعی روش JRA در این نمودار، ماهیت تصادفی بودن نرخ داده‌های درخواستی می‌باشد. هم‌چنین با توجه به شکل ۱۰-۴ که نرخ پذیرش درخواست‌های برش را نشان

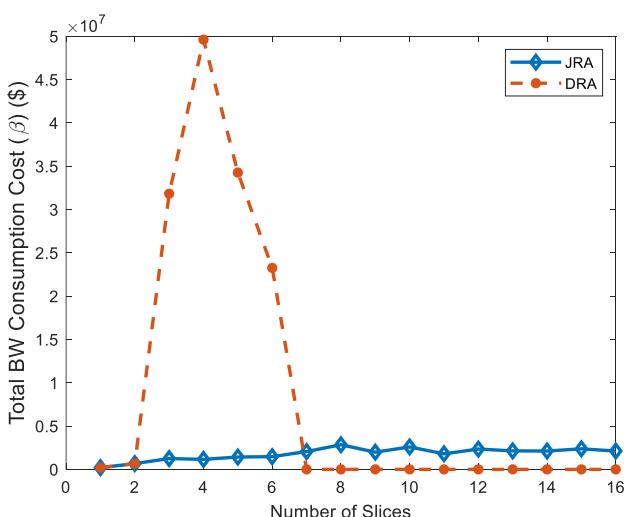
<sup>۱</sup> Uniform Distribution

می‌دهد، در روش DRA پس از همان داشتن دو درخواست برش، CSP با کاهش نرخ پذیرش روبرو شده و دلیل کاهش مجموع نرخ داده درخواستی در روش DRA در شکل ۸-۴ نیز همین کاهش توانایی CSP در ارائه خدمات به درخواست‌های برش بیشتر می‌باشد. ضمن این که پس از هفت‌مین درخواست برش نیز، دیگر قادر به پذیرش هیچ درخواست برشی نخواهد بود (رجوع شود به توضیحات مربوط به شکل ۴-۴).



شکل ۸-۴ مقایسه پهنای باند کل استفاده شده توسط CSP برای برقراری اتصال لینک‌های مجازی برش‌ها

شکل ۹-۴ نشان‌دهنده مقدار تابع  $\beta$  (۱۳-۳) یا همان هزینه مصرف پهنای باند برای CSP می‌باشد. با توجه به این که وزن این تابع در تابع هزینه کلی ( $\zeta$ ) تابعی خطی می‌باشد، این دو منحنی (بدون توجه به اعداد نمودار) مشابه شکل ۴-۴ که در آن  $\zeta$  در نظر گرفته شده است، می‌باشد. لذا توضیحات مربوط به شکل ۴-۴ برای این شکل نیز کفایت می‌کنند.



شکل ۹-۴ مقایسه هزینه مصرف پهنای باند لینک‌ها برای CSP

### ۴-۳-۴- نمودارهای مربوط به نرخ پذیرش در خواستهای برش توسط CSP

نرخ پذیرش کلی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Overall\ Acceptance\ Ratio = 1 - \frac{Number\ of\ Rejected\ Slice\ Requests}{Number\ of\ Slice\ Requests} \quad (1-4)$$

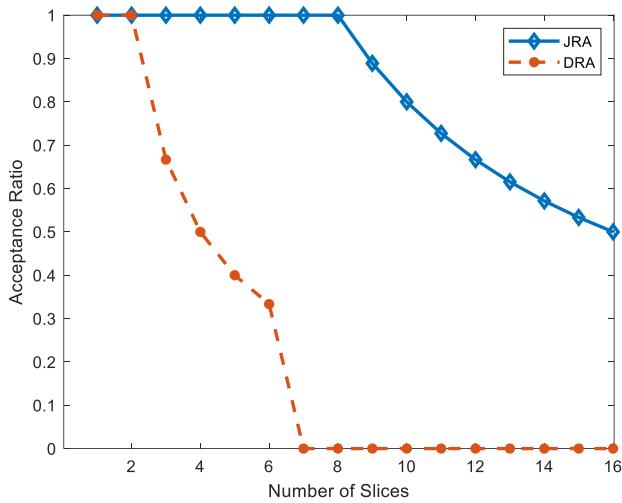
لازم به ذکر است که تعداد برش‌های رد شده با استفاده از یک بردار پرچم<sup>۱</sup> در هر دو روش JRA و DRA محاسبه شده است. در شکل ۱۰-۴، نرخ پذیرش کلی بر مبنای فرمول (۱-۴) نشان داده شده است. در منحنی روش JRA، تعداد درخواست‌های برش رد شده بر اساس خروجی الگوریتم جدول ۵-۳ (حل یک یا چندباره مساله (۱۸-۳) (همان AC-JRA)) به دست آمده است. همچنین در منحنی روش DRA، تعداد درخواست‌های برش رد شده بر اساس خروجی الگوریتم جدول ۷-۳ (برای وضوح بیشتر روندnamی شکل ۶-۳ را ببینید) به دست آمده است. در روش DRA، ابتدا مساله AC-DMA به صورت تکرار شونده<sup>۲</sup> حل شده و سپس مساله DMA حل می‌شود و در ادامه مساله AC-DLA به صورت تکرار شونده حل می‌شود که از متغیرهای مساله DMA استفاده می‌کند و همچنین تعدادی از درخواست‌های برش که قبل از تکرار شونده حل می‌شود، این روش AC-DMA رد شده‌اند، دیگر مورد بررسی زیرمساله AC-DLA قرار نمی‌گیرند و همین مساله باعث کاهش قابل توجه نرخ پذیرش برای روش DRA شده است.

در شکل ۱۰-۴ مشاهده می‌شود که در روش JRA تا زمانی که تعداد درخواست‌های برش به ۸ می‌رسد، CSP همگی درخواست‌ها را می‌توانند قبول کند ولی در روش DRA به دلیل دیده نشدن منابع مختلف در یک مساله واحد از همان وقتی که تعداد برش‌های درخواستی از ۲ عدد بیشتر می‌شود، کاهش نرخ پذیرش آن‌ها مشاهده می‌شود. ضمن این که نرخ پذیرش صفر در روش DRA که پس از رسیدن تعداد درخواست‌های برش به ۷ به دست آمده، نشان می‌دهد که زیرمساله AC-DLA (۲۱-۳) در هر صورت غیر امکان‌پذیر<sup>۳</sup> خواهد شد و از پس حل کردن مساله برنخواهد آمد. دیده نشدن منابع مربوط به گره‌های ابری دلیل اصلی امکان‌ناپذیری این مساله است. این بدین معناست که منابع لینک‌ها و گره‌های ابری را به صورت غیر مشترک در دو زیرمساله جدا ببینند، از پس هیچ درخواست برشی برخواهد آمد و صرفاً منابعش را به هدر خواهد داد. این در حالی است که در روش JRA پس از رسیدن به ۸ درخواست برش، نرخ پذیرش با شبیب نسبتاً کندی کاهش می‌یابد. لذا با توجه به همین شکل که معیار بسیار مهم نرخ پذیرش را مورد بررسی قرار داد، می‌توان نتیجه گرفت که روش JRA بسیار بهتر از روش DRA عمل می‌کند. لازم به ذکر است که همانطور که در شکل ۱۰-۴ مشخص است، میانگین اختلاف روش JRA با DRA ۴۶ درصد می‌باشد.

<sup>۱</sup> Flag

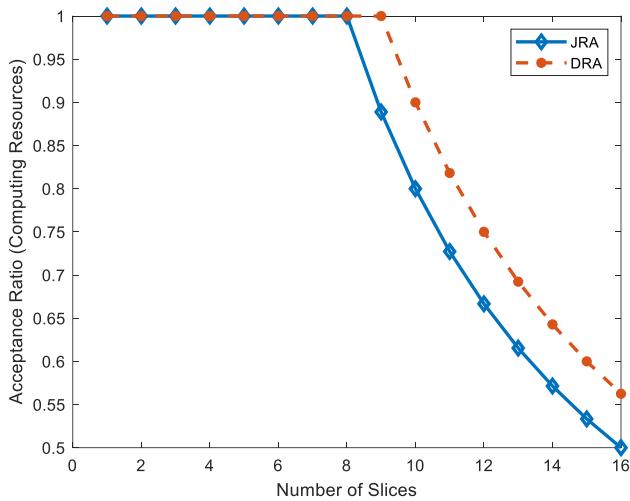
<sup>۲</sup> Iterative

<sup>۳</sup> Infeasible



شکل ۱۰-۴ مقایسه نرخ پذیرش کلی درخواست‌های برش

شکل ۱۱-۴ مقایسه‌ی دو روش JRA و DRA در مورد نرخ پذیرش تنها بر اساس منابع رایانشی است. منحنی مربوط به روش DRA پس از فاز مربوط به الگوریتم جدول ۶-۳ (AC-DMA) محاسبه شده است. همچنین منحنی مربوط به روش JRA نیز پس از فاز مربوط به الگوریتم جدول ۵-۳ (AC-JRA) محاسبه شده است. دلیل عملکرد بهتر روش DRA نیز این است که منابع مربوط به لینک‌ها در آن دیده نشده است و مساله دید کافی برای تخصیص همه منابع را ندارد. لازم به ذکر است که با توجه به مقداردهی اولیه (جدول ۱۱-۴)، منابع حافظه و فضای ذخیره‌سازی گلوگاه نیست و دلیل پایین آمدن نرخ پذیرش در شکل ۱۱-۴ تنها منابع رایانشی می‌باشد.

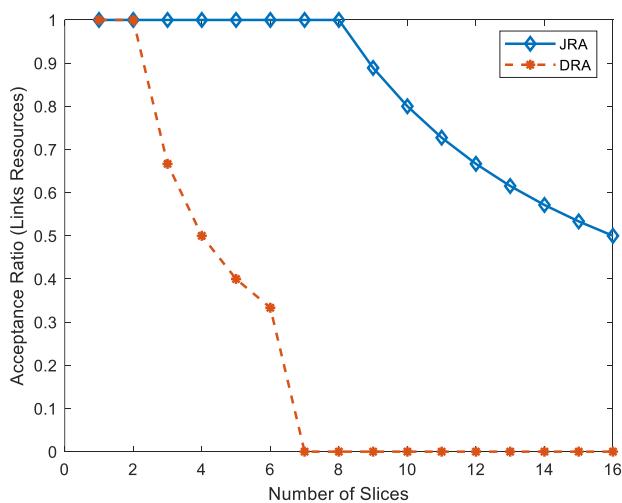


شکل ۱۱-۴ مقایسه نرخ پذیرش مربوط به منابع رایانشی درخواست‌های برش

شکل ۱۲-۴ مقایسه‌ی دو روش JRA و DRA در مورد نرخ پذیرش تنها بر اساس منابع مربوط به لینک‌های CSP است. منحنی مربوط به روش DRA پس از فاز مربوط به الگوریتم جدول ۷-۳ (AC-DLA) محاسبه شده است. همچنین منحنی مربوط به روش JRA نیز پس از فاز مربوط به الگوریتم جدول ۵-۳ (AC-JRA) محاسبه شده است. عملکرد بهتر روش JRA به دلیل دید کامل این روش به تمامی منابع است. روش DRA محاسبه شده است.

به دلیل دیده نشدن کامل منابع، عملکرد بسیار بدی دارد و از زمانی که تعداد درخواست‌های برش بیش از ۲ عدد می‌شود، در حالی که CSP منابع کافی دارد (بر اساس روش JRA)، شروع به رد کردن برخی از درخواست‌ها می‌کند. همچنین از زمانی که تعداد درخواست‌های برش از ۷ تا بیشتر می‌شود، به دلیل شکست<sup>۱</sup> الگوریتم جدول ۷-۳ (AC-DLA) (امکان‌ناپذیری)، CSP نمی‌تواند به هیچ یک از درخواست‌های برش پاسخ بدهد.

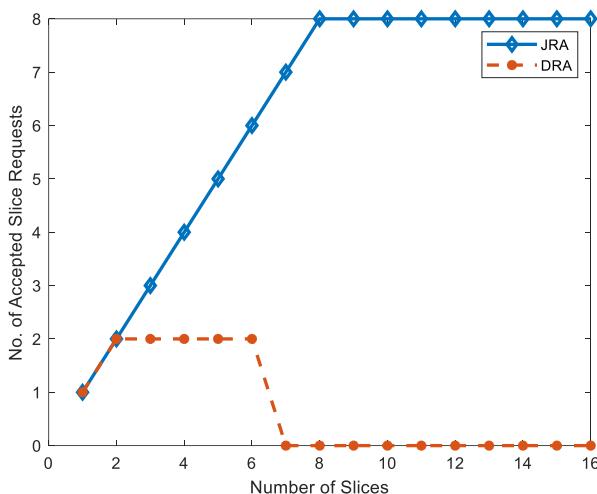
پس از تحلیل بردارهای پرچم پس از شبیه‌سازی، مشخص شد که در مورد منابع مربوط به لینک‌ها، پنهانی باند آن‌ها با توجه به مقداردهی اولیه (جدول ۲-۴) گلوگاه هستند و تاخیر انتشار لینک‌ها با توجه مقداردهی اولیه جدول مذکور، مشکلی برای CSP ایجاد نمی‌کند.



شکل ۱۲-۴ مقایسه نرخ پذیرش مربوط به منابع لینک‌ها برای درخواست‌های برش

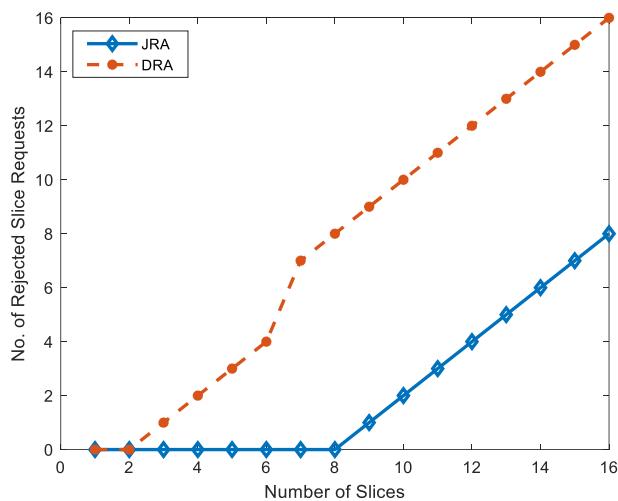
شکل ۱۳-۴ تعداد درخواست‌های برش قبول شده در برابر تعداد کل برش‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در روش JRA، قابل مشاهده است که پس از رسیدن به ۸ درخواست برش، به علت اغنای منابع CSP، دیگر نمی‌تواند تعداد درخواست‌های برش بیشتری را قبول کند. همچنین نشان داده شده که روش DRA تنها قادر به قبول ۲ درخواست برش است و همچنین پس از رسیدن به ۷ درخواست برش، به مشکل امکان‌ناپذیری برمی‌خورد و هیچ درخواست برشی پذیرفته نخواهد شد.

<sup>۱</sup> Failure



شکل ۱۳-۴ مقایسه تعداد درخواست‌های برش پذیرفته شده

شکل ۱۴-۴ نیز نشان‌دهنده تعداد درخواست‌های برش رد شده توسط CSP در برابر تعداد کل درخواست‌های برش است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش JRA تا زمانی که به ۸ درخواست برش می‌رسد، هیچ درخواستی را رد نمی‌کند و با بیشتر شدن تعداد درخواست‌ها، دیگر بیش از ۸ درخواست را قبول نخواهد کرد. در روش DRA نیز از ۲ تا ۶ درخواست برش، تعداد درخواست‌های رد شده به صورت خطی افزایش می‌یابد ( تنها ۲ درخواست قبول می‌شود). پس از رسیدن به ۷ درخواست برش، جهشی در رشد تعداد درخواست‌های رد شده دیده می‌شود و تمامی درخواست‌های برش به دلیل امکان‌ناپذیری مساله-AC-RLA رد می‌شوند.

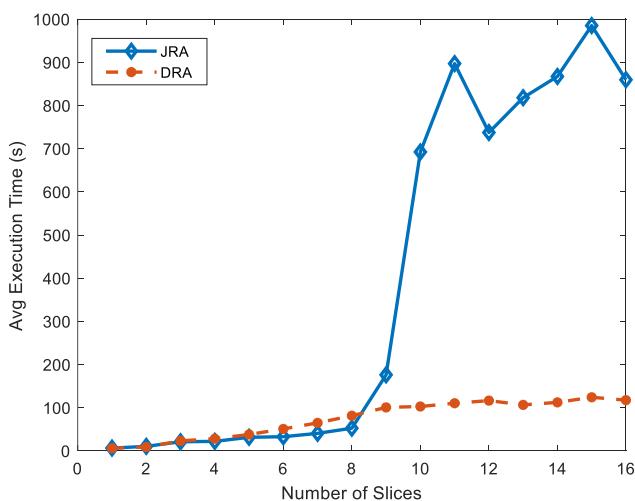


شکل ۱۴-۴ مقایسه تعداد درخواست‌های برش پذیرفته نشده

### ۴-۳-۵- نمودار زمان اجرا

شکل ۱۵-۴ نشان‌دهنده زمان اجرا برای دو روش JRA و DRA می‌باشد. در این مورد، روش DRA زمان اجرای کمتری دارد ولی با توجه به مشکلاتی که در نمودارهای قبل در مورد این روش دیده شد، منطقی نیست که یک CSP از این روش استفاده کند. روش JRA تا زمانی که به ۸ درخواست برش می‌رسد، عملکرد

بهتری نسبت به روش DRA دارد، ولی پس از اینکه درخواست‌های برش بیش از ۸ عدد می‌شوند، به دلیل این که به ازای هر یک درخواست برش بیشتر، حلقه تکرار الگوریتم جدول ۵-۳ یک بار بیشتر انجام می‌شود (تا قبل از آخرین اجرای حلقه تکرار، در هر دور، یک درخواست برش رد می‌شود (طبق روندnamی شکل ۵-۳)، زمان اجرای این روش نسبت به روش DRA رشد چشمگیری پیدا می‌کند. همچنین دلیل افت و خیزهای منحنی مربوط به روش JRA در تصادفی بودن برخی پارامترها از جمله پارامترهای مربوط به لینک‌ها و همچنین عملکرد دیگر پردازهای سیستم‌عامل ویندوز در هنگام شبیه‌سازی می‌باشد. پس از بررسی متغیرهای کمکی در شبیه‌سازی، مشخص شد که پس از رسیدن به تعداد ۱۵ درخواست برش، به دلیل یکی از شروط پایان الگوریتم جدول ۵-۳ (طبق روندnamی شکل ۴-۲) زمان اجرا کاهش می‌یابد. دلیل این کاهش، تکرار شدن حلقه تا حداقل ۱۵ بار می‌باشد. همچنین عدم رشد منحنی DRA پس از درخواست هفتم به این دلیل است که الگوریتم AC-DLA پس از رسیدن به این تعداد درخواست برش امکان ناپذیر می‌شود و دیگر پس از اولین حل، وارد حلقه تکرار الگوریتم جدول ۷-۳ نمی‌شود.



شکل ۱۵-۴ مقایسه زمان متوسط اجرای برنامه

#### ۴-۴- تحلیل پیچیدگی

در این بخش، به تحلیل پیچیدگی الگوریتم‌های معرفی شده پرداخته می‌شود. طبق [۳۰، ۸۱] و با توجه به این که ابزار MOSEK ILP (تمامی مسائل مطرح شده در این پایان‌نامه) را با استفاده از روش نقطه داخلی (IPM)<sup>۱</sup> و به کارگیری برنامه‌ریزی هندسی (GP)<sup>۲</sup> حل می‌کند [۸۲، ۸۳]، مرتبه پیچیدگی<sup>۳</sup> هر یک از مسائل با رابطه زیر قابل محاسبه است [۸۱]:

<sup>۱</sup> Interior Point Method

<sup>۲</sup> Geometric Programming

<sup>۳</sup> Complexity Order

$$\text{Complexity Order} = \frac{\log \frac{\text{Total Complexity of Constraints}}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (2-4)$$

در رابطه (۲-۴)، A نقطه اولیه برای تقریب دقت IPM و B معیار توقف برای IPM هستند و  $\vartheta$  نیز برای به روزرسانی دقت IPM مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸۱]. همچنین منظور از Total Complexity of Constraints، جمع مرتبه‌های همه قیود مساله ILP با هم است.

## ۱-۴-۴ تحلیل پیچیدگی روش JRA

در روش JRA (شکل ۳-۵)، ابتدا مساله AC-JRA (رابطه (۱۸-۳)) (یک یا چند بار (حداکثر ۱۵ بار طبق الگوریتم جدول ۳-۵)) و سپس مساله JRA (رابطه (۱۶-۳)) حل می‌شوند. ابتدا قیود رابطه (۱۸-۳) بررسی می‌شوند:

$$C1-a: \forall n \in \mathcal{N}, \quad \text{Complexity} = O(N);$$

$$C2: \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \quad \text{Complexity} = O(T \times K \times M);$$

$$C3: \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall n \in \mathcal{N}, \quad \text{Complexity} = O(T \times K \times M \times N);$$

$$C4: \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \quad \text{Complexity} = O(T \times K \times M^2);$$

C5 (Linearized according to (3-17)):

$$4 \times (\forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall m, m' \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall n, n' \in \mathcal{N}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t)$$

$$\text{Complexity} = O(4 \times T \times K \times M^2 \times N^2);$$

$$C6-a: \forall l_{u,u'} \in \mathcal{L}_{p_{n,n'}}, \quad \text{Complexity} = O(N^2);$$

$$C7-a: \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \quad \text{Complexity} = O(M^2 \times T \times K);$$

لازم به ذکر است که قیود C8 و C9 محدوده متغیرها (دودویی بودن آن‌ها) را مشخص می‌کنند و تاثیری در پیچیدگی مساله نخواهند داشت. همچنین قید C5 نیز پس از خطی‌سازی در (۱۷-۳) به چهار قید تبدیل شده و ضریب ۴ به همین دلیل در آن ضرب شده است. مرتبه پیچیدگی رابطه (۱۸-۳) با جمع کردن مرتبه قیود بالا و جاگذاری آن در رابطه (۲-۴) به دست می‌آید که عبارتست از:

$$C(AC - JRA) = \frac{\log \frac{O(TKM(4MN^2+2M+N+1)+N^2+N)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (3-4)$$

مرتبه پیچیدگی رابطه (۱۶-۳) نیز به دلیل وجود قیود کاملاً مشابه با رابطه (۱۸-۳) به صورت زیر است:

$$C(JRA) = \frac{\log \frac{O(TKM(4MN^2+2M+N+1)+N^2+N)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (4-4)$$

هر دو رابطه مرتبه یکسانی دارند و در بدترین حالت مرتبه پیچیدگی قیود رابطه (۱۸-۳) در ۱۵ ضرب خواهد شد. لذا پیچیدگی کلی روش JRA عبارتست از:

$$C(JRA Method) = C(JRA) + 15 C(AC - JRA) \quad (5-4)$$

## ۴-۴-۲ - تحلیل پیچیدگی روش DRA

در روش DRA (شکل ۶-۳)، ابتدا مساله AC-DMA (رابطه (۱۹-۳)) (یک یا چند بار (حداکثر ۱۵ بار طبق الگوریتم جدول ۶-۳) و سپس مساله DMA (رابطه (۲۰-۳)) حل می‌شود. در گام بعدی، مساله AC-DLA (رابطه (۲۱-۳)) (یک یا چند بار (حداکثر ۱۵ بار طبق الگوریتم جدول ۷-۳) و سپس مساله DLA (رابطه (۲۲-۳)) با استفاده از MOSEK حل می‌شوند. ابتدا قیود رابطه (۱۹-۳) بررسی می‌شوند:

$$C1-a: \forall n \in \mathcal{N}, \quad Complexity = O(N);$$

$$C2: \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \quad Complexity = O(T \times K \times M);$$

$$C3: \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \forall m \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall n \in \mathcal{N}, \quad Complexity = O(T \times K \times M \times N);$$

لازم به ذکر است که قیود C8 و C9 محدوده متغیرها (دودویی بودن آن‌ها) را مشخص می‌کنند و تاثیری در پیچیدگی مساله نخواهند داشت. لذا مرتبه رابطه (۱۹-۳) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C(AC - DMA) = \frac{\log \frac{O(TKM(N+1)+N)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (6-4)$$

مرتبه پیچیدگی DMA (رابطه (۲۰-۳)) نیز به دلیل مشابهت قیود آن با رابطه (۱۹-۳) با پیچیدگی آن برابر بوده و به عبارت زیر است:

$$C(DMA) = \frac{\log \frac{O(TKM(N+1)+N)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (7-4)$$

در ادامه نیز قیود مساله AC-DLA (رابطه (۲۱-۳)) بررسی می‌شوند:

$$C4: \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \quad Complexity = O(T \times K \times M^2);$$

$$C5 (\text{Not Modified}): \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall m, m' \in \mathcal{M}_{t,k}, \forall n, n' \in \mathcal{N}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t \\ Complexity = O(T \times K \times M^2 \times N^2);$$

$$C6-a: \forall l_{u,u'} \in \mathcal{L}_{p_{n,n'}}, \quad Complexity = O(N^2);$$

$$C7-a: \forall e_{m,m'} \in \mathcal{E}_{t,k}, \forall t \in \mathcal{T}, \forall k \in \mathcal{K}_t, \quad Complexity = O(M^2 \times T \times K);$$

لازم به ذکر است که قید C5 در این مساله خطی‌سازی نشده است، زیرا دو متغیر ضرب شده در هم به عنوان ورودی از مساله DMA (رابطه (۲۰-۳)) به مساله داده شده‌اند. همچنین قید C10 نیز تنها دودویی بودن متغیر را مشخص می‌کند، لذا نباید آن را در محاسبه پیچیدگی دخیل نمود. مرتبه پیچیدگی رابطه (۳-۲) با جمع کردن مرتبه قیود بالا و جاگذاری آن در رابطه (۴-۲) به دست می‌آید که عبارتست از:

$$C(AC - DLA) = \frac{\log \frac{O(TKM^2(N^2+2)+N^2)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (8-4)$$

مرتبه پیچیدگی رابطه (۲۲-۳) نیز به دلیل وجود قیود کاملاً مشابه با رابطه (۲۱-۳) به صورت زیر است:

$$C(DLA) = \frac{\log \frac{O(TKM^2(N^2+2)+N^2)}{A \times B}}{\log \vartheta} \quad (9-4)$$

هر دو رابطه مرتبه یکسانی دارند و در بدترین حالت مرتبه پیچیدگی قیود رابطه (۳-۲۲) در ۱۵ ضرب خواهد شد. لذا پیچیدگی کلی روش DRA عبارتست از:

$$C(DRA\ Method) = C(DMA) + 15 C(AC - DMA) + C(DLA) + 15 C(AC - DLA) \quad (10-4)$$

## -۴-۵ جمع‌بندی

در این فصل، با استفاده از شبیه‌سازی به مقایسه عملکرد دو روش JRA و DRA پرداخته شد. با توجه به نقص‌هایی که در بیشتر نمودارها از روش DRA دیده شد، به هیچ وجه استفاده یک CSP از این روش منطقی نیست. روش JRA در بیشتر نمودارها نسبت به روش DRA برتری داشت و البته زمان اجرای بیشتری نسبت به روش DRA نیز دارد که به دلیل پیچیدگی محاسباتی بیشتر در حل مساله به صورت مشترک در حل کننده MOSEK می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که استفاده از روش JRA به دلیل دیده شدن تمامی محدودیت‌ها در مساله، ارجحیت بیشتری نسبت به روش DRA دارد.

## فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادها

### ۱-۵- جمع‌بندی

اکنون به جمع‌بندی مطالب بیان شده در فصل‌های قبل پرداخته خواهد شد. هدف از فصل اول، مقدمه‌چینی، معرفی مسأله و توجیه انتخاب آن بود. در فصل اول، علاوه بر معرفی خدمات مختلف معرفی شده در ۵G، چالش‌های پژوهش در حوزه برش‌بندی شبکه و نوآوری‌های این پژوهش بررسی شدند.

در فصل دوم، خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده بر روی کارهای قبلی موجود در مورد تخصیص منابع در شبکه‌های برش‌محور ارائه شد. در ابتدای فصل دوم، مروری بر پژوهش‌ها در مورد معماری ۵G و برش‌بندی شبکه انجام شد. سپس به صورت مفصل، کارهای مختلف در حوزه تخصیص منابع برای برش‌بندی شبکه بررسی و دسته‌بندی شدند.

فصل سوم چارچوب مساله تخصیص منابع شبکه یک CSP به برش‌های درخواستی مستاجرها آن معرفی شد. در این فصل، ابتدا زیرساخت فیزیکی شبکه CSP و سپس مشخصات برش‌های درخواستی مستاجرها معرفی شدند. در ادامه این فصل، ماشین‌ها و لینک‌های مجازی درخواستی هر برش و پارامترها و متغیرهای مربوط به آن‌ها تعریف شده و قیدهای مربوط به آن‌ها به صورت موردي بررسی شدند. در انتهای نیز پس از معرفی تابع هدف مورد نظر در مساله، مساله تخصیص منابع JRA را که از نوع INLP<sup>۱</sup> بود، فرموله‌سازی شد.

روش‌های حل و الگوریتم‌های پیشنهادی، موضوع مورد بحث در فصل چهارم این پایان‌نامه است. در این فصل، ابتدا یکی از قیدهای مساله تخصیص منابع JRA (مساله (۳-۱۶)) با الهام از روش حل یکی از مقالات موجود در زمینه برش‌بندی شبکه خطی‌سازی شد و با این کار، مساله (۳-۱۶) به یک مساله ILP تبدیل شد تا بتوان از ابزار MOSEK برای حل آن استفاده نمود. سپس، ساز و کار کنترل دسترسی برای مساله JRA با

---

<sup>۱</sup> Integer Non-Linear Programming

استفاده از روش کشسان‌سازی (روش موجود در [۹]) و الگوریتم آن شرح داده شدند. در بخش بعدی این فصل، مساله JRA به دو زیرمساله تخصیص گردها و لینک‌ها شکسته شد و برای هر زیرمساله ساز و کار کنترل دسترسی مجزا به همراه الگوریتم آن‌ها ارائه شد. دو روندnamای شکل ۳-۵ و شکل ۳-۶ به ترتیب نشانگر دو روش JRA و DRA از دیدگاه سطح بالا هستند.

برای بررسی عملکرد دو روش JRA و DRA، از شبیه‌سازی با بهره‌گیری از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. در فصل ششم، ابتدا محیط شبیه‌سازی یا پارامترهای تنظیم‌شده در مورد شبکه CSP و درخواست‌های برش تشریح شدند. سپس با ارائه نمودارهایی، عملکرد دو روش JRA و DRA با هم مقایسه شده است. نشان داده شد که استفاده از روش CSP توسط JRA نسبت به روش DRA مزیت‌های بسیار بیشتری دارد. در شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد که در روش DRA به دلیل امکان‌ناپذیری مساله AC-DLA پس از رسیدن به تعداد مشخصی درخواست برش، عملاً CSP دیگر قادر به خدمت‌رسانی به هیچ یک از مستاجرها خود نخواهد بود، در حالی که در روش JRA تنها از زمانی که منابع کافی برای خدمت‌رسانی به همه درخواست‌ها وجود ندارد، CSP یک تعداد مشخصی از درخواست‌های برش را می‌پذیرد و قبل از آن همه درخواست‌ها توسط آن پذیرفته می‌شود. با این حال، روش JRA به دلیل دیده شدن تمامی قیدها در یک مساله، پیچیدگی بیشتری در حل کننده MOSEK نسبت به روش DRA به وجود می‌آید و به همین دلیل، زمان اجرای نسبتاً بیشتری نسبت به روش غیر مشترک (DRA) دارد.

## ۴-۵ - نتیجه‌گیری

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام گرفته می‌توان نتیجه گرفت که روش JRA بسیار بهتر از روش DRA عمل می‌کند. دیدن همگی قیود در مساله، دلیل اصلی برتری روش JRA و هم‌چنین زمان اجرای بالاتر آن است. برای برطرف کردن مشکل زمان اجرای بالای روش JRA می‌توان آن را با روش‌های ابتکاری و نه با استفاده از ابزارهای حل مسائل ILP حل نمود که در بخش پیشنهادها به آن اشاره شده است. در بخش مدل سیستمی سعی شد تا تمامی پارامترهای موثر در این مساله شناسایی شود و قیدهایی برای ایجاد محدودیت‌هایی در شبکه CSP معرفی شدند.

در حالی که روش‌های معرفی شده در این پایان‌نامه، روش‌های خوبی برای مدیریت و کنترل دسترسی درخواست‌های برش رسیده به CSP می‌باشند، لازم به ذکر است که پیشنهادهای ارائه شده در انتهای این پایان‌نامه می‌توانند گام‌های موثری جهت عملی کردن هرچه بیشتر ایده اصلی این پایان‌نامه بر اساس آخرین فناوری‌های مورد استفاده در شبکه‌های امروزی یک CSP باشند.

## ۳-۵- پیشنهادها

حال پیشنهادهایی را برای ادامه پژوهش در زمینه کار این پایان نامه ارائه می‌کنیم:

- ۱- در این پایان نامه از حل کننده MOSEK برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده شده که دارای پیچیدگی محاسباتی با زمان چند جمله‌ای<sup>۱</sup> است. برای سریع‌تر یافتن پاسخ، می‌توان برخی راه حل‌های ابتکاری<sup>۲</sup> و فرا ابتکاری<sup>۳</sup> ارائه داد. اگر تاثیر روش‌های ارائه شده بهتر از روش JRA باشد و زمان اجرای آن نیز پایین‌تر باشد، ارزش روش جدید بیشتر خواهد بود.
- ۲- با داشتن خلاقیت می‌توان دو الگوریتم JRA و AC-JRA را به صورت مشترک<sup>۴</sup> در یک مساله ادغام کرد (مانند مقاله [۷]). احتمالاً این ادغام باعث بهبود عملکرد الگوریتم و البته بالاتر رفتن زمان اجرای آن شود.
- ۳- در مدل پیشنهاد شده به صورت آگاهانه از منابع رادیویی (مانند نحوه دسترسی کاربران نهایی و تخصیص طیف) صرف نظر شده است. در کارهای آتی می‌توان استفاده از این منابع را نیز مدل کرد.
- ۴- در مورد الگوریتم‌های مطرح شده برای مسائل کنترل دسترسی (الگوریتم‌های جدول ۵-۳، جدول ۶-۳ و جدول ۷-۳) می‌توان نحوه رد کردن هر برش را با عوض کردن شرط‌های این الگوریتم‌ها انجام داد و مقایسه‌ای با این پایان نامه انجام داد.
- ۵- در مدل سیستم ارائه شده، می‌توان برخی برش‌ها را به صورت عملی پیاده‌سازی نمود و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند شبیه‌ساز NS-3، اندازه‌گیری‌های مختلفی بر روی شبکه CSP و نحوه خدمت‌رسانی به آن برش‌ها انجام داد.
- ۶- در مدل سیستم ارائه شده، هر مستاجر قابلیت انتخاب از بین یک سری قالب برش از پیش آمده شده توسط CSP را داشته باشد و در عین حال بتواند مانند مدل سیستم این پایان نامه، قابلیت تعریف برش درخواستی خود را نیز داشته باشد.
- ۷- چارچوب برش‌بندی معرفی شده می‌تواند با استفاده از فناوری‌های SDN و NFV در همنوازی انتهای به انتهای یک CSP به عنوان یک ابزار همنوازی و در قالب یک VNF پیاده‌سازی شود. هدف از انجام چنین پروژه‌ای می‌تواند پیاده‌سازی عملی برش‌بندی شبکه و فراهم‌سازی قابلیت پذیرفتن یا نپذیرفتن درخواست‌های برش رسیده از طرف مستاجرها توسط یک CSP باشد.

<sup>۱</sup> Polynomial Time

<sup>۲</sup> Heuristic

<sup>۳</sup> Metaheuristic

<sup>۴</sup> Joint

-۸- یکی از اشکالات چارچوب برش‌بندی معرفی شده این است که در هر دور از حل مساله، یک مجموعه درخواست برش توسط CSP مورد بررسی قرار می‌گیرند، ولی در دنیای واقعی، محور زمان نیز در این مساله دخیل است و در واقع در هر لحظه، CSP تعدادی برش فعال در شبکه دارد و در یک لحظه، یک یا چند درخواست برش جدید به CSP می‌رسند و CSP باید با توجه به منابع باقی‌مانده خود در مورد پذیرش یا عدم پذیرش این درخواست‌ها تصمیم بگیرد.

-۹- می‌توان چارچوب قرارداد هوشمند مبتنی بر بستر بلاکچین برای برقراری توافق بین CSP و مستاجرهای آن توسعه داد. به این صورت که ابتدا درخواست برش را با استفاده از روش JRA بررسی کند و بر اساس منابع باقی‌مانده خود و زمان رسیدن درخواست برش (پیک بودن شبکه یا ساعات کم استفاده)، یک قیمت پیشنهادی به مستاجر ارائه کند و در صورت پذیرش مستاجر، فارغ از دشواری‌های موجود در دنیای کسب و کارها، قرارداد هوشمندی بین طرفین منعقد شود و SLA نیز توسط CSP پس از امضای قرارداد هوشمند لازم‌الاجرا باشد.

-۱۰- می‌توان مساله را به صورت‌های دیگری مدل کرد تا بتوان از یادگیری عمیق، رویکرد عدم قطعیت و نظریه بازی‌ها نیز برای حل استفاده نمود.

-۱۱- می‌توان حداکثرسازی بهره‌وری و عدالت بین مستاجرها را نیز در تابع هدف لحاظ کرد.

## پیوست‌ها

در بخش پیوست‌ها، تمامی مفاهیم پایه مربوط به برش‌بندی شبکه در 5G بررسی شده‌اند. در مورد بیشتر مفاهیم پایه در بخش‌های ۱-۱ و ۱-۲ از فصل اول بحث شد. در بخش الف پیوست، بازیگرهای تجاری در 5G، در بخش ب، معماری شبکه هسته 5G، و در بخش ج آن در مورد برش‌بندی استاندارد شده در سازمان استانداردسازی 3GPP مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در آخرین قسمت‌های پیوست نیز در مورد همنوasaزی، کارگزار برش شبکه و مدیریت چرخه عمر برش‌ها در شبکه CSP بحث خواهد شد.

## الف) معرفی برخی مفاهیم مطرح شده توسط ۱۵GPPP

سازمان 5GPPP که از سال ۲۰۱۳ توسط اتحادیه اروپا تاسیس شده است، تعداد زیادی پژوهشی و پیاده‌سازی به منظور آماده‌سازی صنایع مخابراتی (مانند وندورهای مخابراتی و اپراتورهای موبایل)، فناوری اطلاعات (مانند وندورهای تولیدکننده نرمافزار و خدمات نوین) و دیگر صنایع عمودی (مانند صنعت خودروسازی) تعریف نموده است تا کشورهای اروپایی برای 5G آمادگی لازم را داشته باشند.

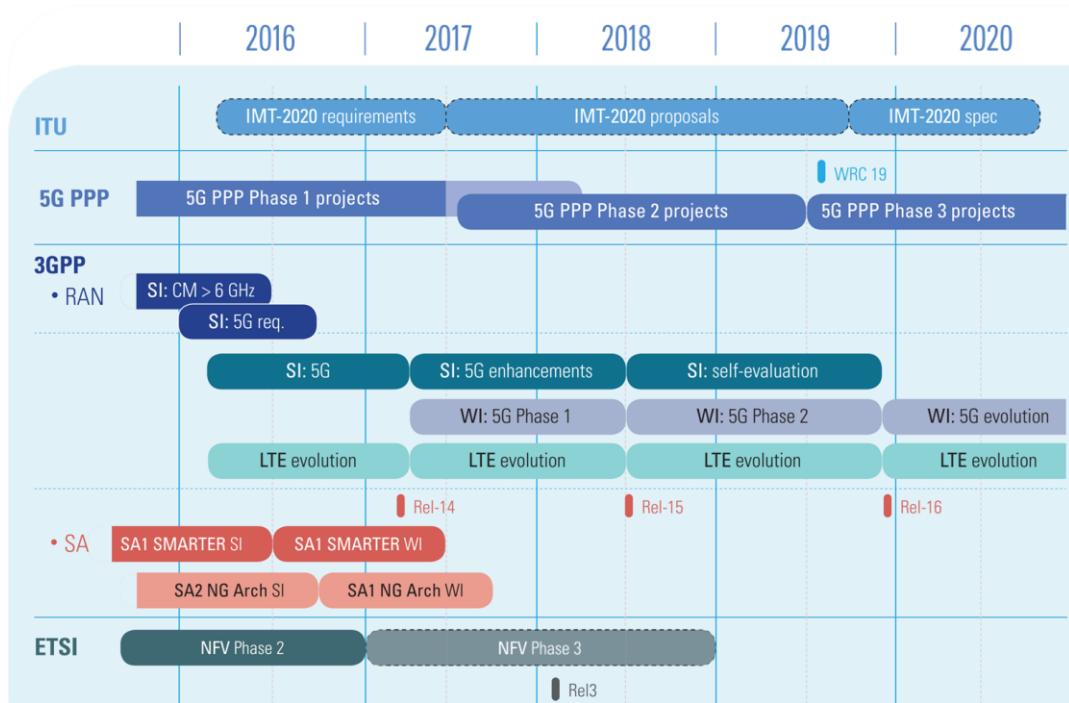
در انتهای هر فاز (تا کنون سه فاز 5GPPP تعریف شده است)، یک سند بالادستی به نام "چشم‌انداز معماری 5G" توسط این سازمان منتشر می‌شود [۲۴]. در هر یک از پژوههای تعریف شده که تامین مالی آن‌ها توسط برنامه H2020 (افق ۲۰۲۰) اتحادیه اروپا انجام می‌شود، معمولاً حداقل یک وندور، یک اپراتور و یک دانشگاه یا مرکز تحقیقاتی حضور دارند و خروجی‌های این پژوهه‌ها معمولاً اجرای برخی نمونه‌های نمایشی<sup>۱</sup>، مقالات پژوهشی و هم‌چنین اسناد رسمی قابل تحويل<sup>۲</sup> می‌باشند. لازم به ذکر است که پژوهه‌های فاز اول برنامه H2020 از اواسط سال ۲۰۱۵ شروع شدند. شکل ۱-۵ جدول زمانی کلی تهیه شده توسط 5GPPP برای نمایش همزمانی فازهای مختلف پژوهه‌های برنامه H2020 با برنامه دیگر سازمان‌های استانداردسازی مربوط به 5G می‌باشد.

---

<sup>۱</sup> European Union's (EU) 5G Infrastructure Public Private Partnership

<sup>۲</sup> Demonstrations (Demo)

<sup>۳</sup> Deliverables



شکل ۱-۵ جدول زمانی استانداردسازی 5G به همراه زمانبندی پروژه‌های 5GPPP [۸۴].

از جمله پروژه‌هایی که به موضوع این پایان‌نامه مربوط هستند، پروژه 5G-NORMA<sup>۱</sup> می‌باشد که بیشتر به حوزه همنوازی و معماری شبکه پرداخته است. برای مثال، در پروژه 5G-NORMA ۵G و نورهایی از جمله نوکیا، آلکاتل-لوسنت، NEC و ATOS، اپراتورهای Orange، Deutsche Telekom، Telefonica، موسسه تحقیقاتی Nomor Research و دانشگاه صنعتی کایزرسلاترن، دانشگاه کارلوس سوم مادرید (UC3M) و King's College London مشارکت داشته‌اند [۸۵].

پروژه 5G!Pagoda نیز با موضوع اختصاصی برش‌بندی شبکه از سال ۲۰۱۶ و با همکاری دانشگاه Aalto فنلاند و دانشگاه توکیو ژاپن شروع شده است. هدف نهایی این پروژه، تشکیل دو 5G Testbed در اروپا و ژاپن به منظور پشتیبانی از زیرساخت 5G برای ایجاد و مدیریت پویایی برش‌های شبکه برای خدمات مختلف شبکه موبایل می‌باشد [۸۶].

<sup>۱</sup> 5G NOvel Radio Multiservice Adaptive network architecture

<sup>۲</sup> Universidad Carlos III de Madrid

## الف-۱) تفاوت اصلی سیستم ۵G با سیستم‌های میراثی

طبق [۱۴]، به منظور ایجاد شبکه‌های مختص مستاجرها/ خدمات<sup>۱</sup>، اتحادیه NGMN<sup>۲</sup> مفهوم برش‌بندی شبکه را برای اولین بار در سال ۲۰۱۵ در [۵] پیشنهاد کرد. در حالی که در سیستم‌های میراثی (مانند شبکه‌های موبایل ۴G) چند خدمت مخابراتی (مانند MBB<sup>۳</sup>، خدمت صدا<sup>۴</sup> و SMS<sup>۵</sup>) را بر روی همان معماری ۵G-NORMA شبکه موبایل (مانند EPS<sup>۶</sup>) میزبانی می‌کردند، در معماری جدید پیشنهادی توسط پروژه eMBB چند شبکه اختصاصی که معماری‌های کارکردنی<sup>۷</sup> مختص و منتبه به خدمات مخابراتی (مانند V2X<sup>۸</sup>، mMTC<sup>۹</sup> و URLLC<sup>۱۰</sup>) را ارائه می‌کنند، ساخته می‌شود (شکل ۲-۵).

علاوه بر این، مشخصه اصلی سیستم‌های میراثی، عناصر شبکه یکپارچه‌ای<sup>۹</sup> است که دارای سخت‌افزار، نرم‌افزار و عملکرد بسیار وابسته‌ای<sup>۱۰</sup> هستند. در مقابل، در ۵G-NORMA، توابع شبکه نرم‌افزاری (همان VNF‌ها) با بهره‌گیری از فناوری‌های مختلف انتزاعی‌سازی<sup>۱۱</sup> (مانند مجازی‌سازی<sup>۱۲</sup>) از منابع زیرساختی زیرین تفکیک شده‌اند. برای مثال، می‌توان فناوری‌های شناخته شده اشتراک منابع اعم از تسهیم<sup>۱۳</sup> و چند وظیفگی<sup>۱۴</sup>

<sup>۱</sup> Tenant- or service-specific networks

<sup>۲</sup> Next-Generation of Mobile Networks Alliance

<sup>۳</sup> Mobile BroadBand

<sup>۴</sup> Voice Service

<sup>۵</sup> Short Message Service

<sup>۶</sup> Evolved Packet System (4G Architecture System by 3GPP)

<sup>۷</sup> Functional Architectures

<sup>۸</sup> Vehicle-to-Everything Communications

<sup>۹</sup> Monolithic Network Elements

<sup>۱۰</sup> Tightly-Coupled

<sup>۱۱</sup> Abstraction Technolgies

<sup>۱۲</sup> Hypervisor

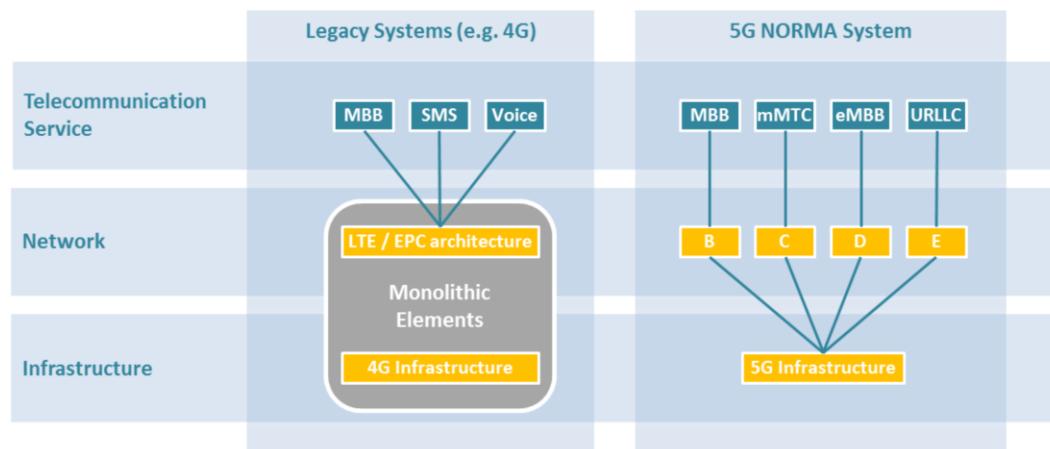
<sup>۱۳</sup> Multiplexing

<sup>۱۴</sup> Multitasking

(مانند زمان‌بندی رادیویی<sup>۱</sup> و تسهیم بر پایه تفکیک طول موج (WDM<sup>۲</sup>) را به صورت سودمندانه‌ای با فنون نرم‌افزاری‌سازی شبکه مانند فناوری‌های SDN و NFV تکمیل کرد.

تسهیم و چند وظیفگی، اشتراک منابع زیرساختی فیزیکی مجازی‌سازی نشده را فراهم می‌کنند. در مقابل، SDN و NFV به مستاجرها مختلف این امکان را می‌دهند که از سخت‌افزارهای همه‌منظوره (مانند سرورهای COTS<sup>۳</sup>) به صورت اشتراکی استفاده کنند. در صورت ترکیب فناوری‌های مذکور، این فناوری‌ها، امکان ساخت شبکه‌های انتهایی کاملاً تفکیک شده بر روی یک زیرساخت مشترک را فراهم می‌کنند.

در نتیجه، همانطور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده، تسهیم دیگر در لایه زیرساخت و نه در لایه شبکه صورت خواهد گرفت که باعث ارتقای کیفیت تجربه کاربری (QoE<sup>۴</sup>) برای مشترک و هم‌چنین بهبود عملکرد شبکه برای CSP خواهد شد.



شکل ۲-۵ تفاوت بین سیستم‌های مخابراتی میراثی (مانند 4G) با سیستم خدمت‌محور 5G [۱۴]. به طور کلی، یک برش شبکه متشكل از زیرمجموعه‌ای از منابع زیرساختی مجازی شبکه و نمونه شبکه موبایل منطقی به همراه توابع مرتبط برای استفاده از این منابع است. این برش توسط یک مستاجر به خصوص از این منابع استفاده می‌کند تا یک خدمت مخابراتی مشخص (مانند eMBB) را فراهم نماید. تفکیک بین زیرساخت مجازی و فیزیکی موجب فراهم‌سازی انواع مقیاس‌دهی مختلف برای برش‌ها (اعم از Scale-

<sup>۱</sup> Radio Scheduling

<sup>۲</sup> Wavelength-division multiplexing

<sup>۳</sup> Commercial-Off-The-Shelf Servers

<sup>۴</sup> Quality of Experience

از منابع بنا به تقاضا<sup>۱</sup> را تضمین می‌کند.

برش‌های شبکه اکثراً با یک هدف تجاری ساخته خواهند شد. طبق الگوی معروفی شده در "سندر بررسی صنایع عمودی در 5G" [۸۴]، یک فراهم‌کننده زیرساخت (InP)، منابع لازم را به یک برش شبکه اختصاص می‌دهد و مستاجر این برش می‌تواند یکی از خدمات موجود آن CSP (مانند یک برش حمل و نقل (از دسته URLLC)، برش کارخانه‌های آینده (از دسته URLLC) و یا یک برش شبکه خدمات سلامت (از دسته mMTC)) را دریافت نماید. منابع لازم برای هر برش مطابق با مدل‌های مختلف تعهد منبع<sup>۲</sup>، از رزرو ایستای منابع تا فراهم‌سازی بنا به تقاضای منابع (توضیح داده شده در بخش ۴.۵.۲.۲ [۱۴] قابل تخصیص می‌باشد).

برش‌بندی شبکه نیازمند یک معماری نوین که قابلیت هم‌نواسازی و پیکربندی منعطف تمامی منابع، توابع و موجودیت‌های یک برش را دارد، می‌باشد. مفهوم نرم‌افزاری‌سازی شبکه با استفاده از فناوری‌های SDN و NFV به دنبال پیاده‌سازی همین معماری برای تحقق بخشیدن به برش‌بندی شبکه است [۴].

## الف-۲) نقش‌های تجاری در 5G

در [۱۴] که یکی از اسناد پژوهه 5G-NORMA می‌باشد، نقش‌های تجاری به وجود آمده در معماری 5G بر شمرده شده‌اند. به دلیل اهمیت این موضوع، این نقش‌ها در اینجا به صورت کامل بررسی می‌شوند.

در 5G، همانطور که در شکل ۳-۵ نشان داده شده، نقش یک فراهم‌کننده خدمت موبایل (MSP<sup>۳</sup>) مرکزی است. MSP وظیفه میانجیگری<sup>۴</sup> بین مستاجر<sup>۵</sup> و فراهم‌کننده (های) زیرساخت (InP) را بازی می‌کند. هیچ رابطه مستقیمی بین InP‌ها و مستاجرها وجود ندارد و MSP در واقع وظیفه کارگزاری<sup>۶</sup> بین منابع از بین احتمالاً چند InP را بر عهده دارد (مثال داخل کشور از InP، شرکت ارتباطات زیرساخت و هم‌چنین شرکت‌های مخابرات استان‌ها است). وظیفه منابع لازم از یک یا چند InP به منظور ساخت یک

<sup>۱</sup> On-demand

<sup>۲</sup> Infrastructure Provider

<sup>۳</sup> Resource Commitment Model

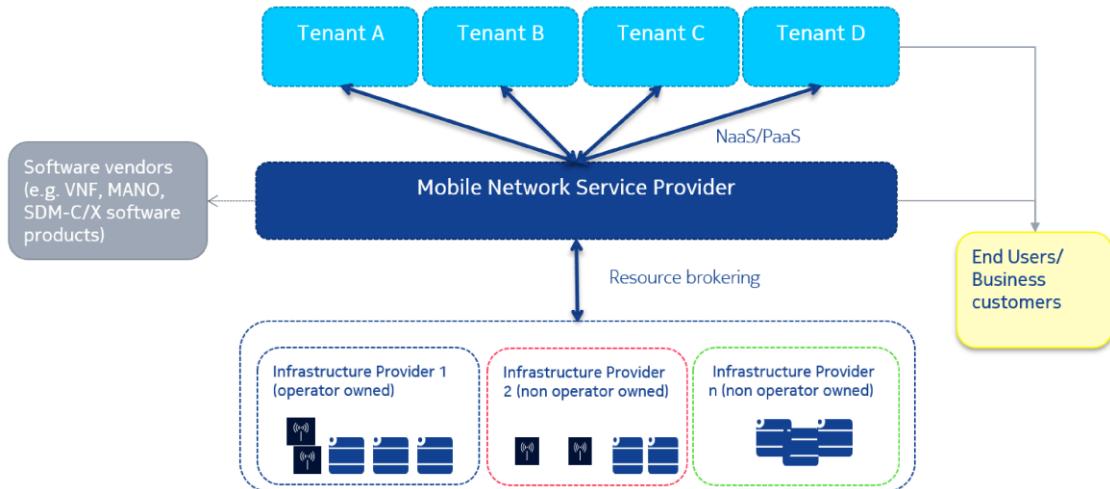
<sup>۴</sup> Mobile Service Provider

<sup>۵</sup> Intersection

<sup>۶</sup> Tenant

<sup>۷</sup> Brokering

نمونه شبکه مجازی (برش) انتهای به انتها<sup>۱</sup> طبق نیازهای مستاجر است. نیازهای یک مستاجر، مجموعه‌ای از نمونه توابع<sup>۲</sup> شبکه موبایل شامل منابع مورد نیاز برای بهره‌برداری از یک شبکه موبایل منطقی<sup>۳</sup> (برش) به صورت انتهای به انتها (جامع<sup>۴</sup>) است.



شکل ۳-۵ رابطه بین بازیگرهای تجاری مختلف و فراهم‌کننده خدمت موبایل از دیدگاه 5GPPP [۲۴].

MSP باید از برقراری SLAهای<sup>۵</sup> خود با مستاجرها در شبکه خود اطمینان حاصل نماید، در حالی که توسط دسترس پذیری منابع اجاره شده/خریده شده از احتمالاً چند InP محدود شده است (مطابق شکل ۳-۵). هم‌چنین، وقتی یک MSP منابع لازم خود (مثلاً (بخش‌هایی از) زیرساخت (مانند RAN<sup>۶</sup>) را در اختیار داشته باشد، طبق تعریف 5GPPP به عنوان یک اپراتور شبکه موبایل (MNO<sup>۷</sup>) عمل می‌کند. از آنجایی که در اکثر مقالات اخیر در این حوزه، زمانی که تمامی زیرساخت یک اپراتور به خودش متعلق بود، اپراتور، CSP نامیده می‌شد، در این پایان‌نامه نیز از اصطلاح CSP استفاده شده است.

لازم به ذکر است که چند مستاجر می‌توانند توابع شبکه فیزیکی یا مجازی و هم‌چنین منابع زیرساختی مشترکی با هم داشته باشند. یک برش شبکه که برای یک مستاجر در حال اجراست، متشکل از نمونه‌های

<sup>۱</sup> End-to-End (E2E) Virtual Network (Slice) Instance

<sup>۲</sup> Function Instances

<sup>۳</sup> Logical Mobile Network

<sup>۴</sup> Self-Contained

<sup>۵</sup> Service-Level Agreement

<sup>۶</sup> Radio Access Network

<sup>۷</sup> Mobile Network Operator

توابع شبکه اختصاصی<sup>۱</sup> برای مصرف همان مستاجر و همچنین نمونه‌های توابع شبکه مشترک<sup>۲</sup> (اشتراکی بین چند مستاجر و در نتیجه بین چند برش) می‌باشد.

### الف-۳) معماری کلی 5G از نگاه 5GPPP

چشم‌اندازهای برش‌بندی شبکه از جمله اجرای چند نمونه شبکه موبایل منطقی<sup>۳</sup> بر روی یک زیرساخت مشترک، نیاز به آشتی مداوم<sup>۴</sup> موافقت‌نامه سطح خدمات (SLA) مشتری محور<sup>۵</sup> با قابلیت‌های عملکردی شبکه در سطح زیرساخت است. مشتریان خدمت (مانند صنایع عمودی)، درخواست ایجاد خدمات مخابراتی را با استفاده از توضیحات مشتری، نیازمندی‌های خدمت مورد نظر را بنا به تقاضا به CSP تحويل می‌دهند. در گذشته، CSP‌ها نگاشت بین تعداد محدودی خدمت (مانند MBB، خدمات صدا و SMS) با معماری شبکه خود را به صورت غیر خودکار<sup>۶</sup> انجام می‌دادند. با افزایش چنین تقاضاهایی از سمت مشتریان، یک چارچوب انتهایی به انتها به منظور ایجاد و دیگر عملیات خدمات برای CSP لازم است. در نتیجه نیاز است که CSP‌ها به سطح بسیار بالاتری برای خودکارسازی<sup>۷</sup> مدیریت چرخه عمر نمونه‌های برش شبکه<sup>۸</sup> برسند.

در سطح خدمات، اتوماسیون مدیریت چرخه عمر باید از طریق توابع تضمین<sup>۹</sup>، انجام<sup>۱۰</sup> و همنواسازی هر خدمت تحقق یابد (شکل ۱۴-۵). مدیریت چرخه عمر باید شامل تمامی فازهای چرخه عمر باشد:

- فاز آماده‌سازی<sup>۱۱</sup>،

---

<sup>۱</sup> Dedicated Network Function Instances

<sup>۲</sup> Shared Network Function Instances

<sup>۳</sup> Multiple Logical Mobile Network Instances

<sup>۴</sup> Continuous Reconciliation

<sup>۵</sup> Customer-centric

<sup>۶</sup> Manual Manner

<sup>۷</sup> Automation

<sup>۸</sup> Lifecycle Management of Network Slice Instances

<sup>۹</sup> Service Assurance

<sup>۱۰</sup> Service Fulfilment

<sup>۱۱</sup> Preparation

- فاز راهاندازی اولیه<sup>۱</sup>،
- فاز پیکربندی<sup>۲</sup>،
- فاز فعال‌سازی<sup>۳</sup>،
- فاز زمان اجرا<sup>۴</sup>،
- فاز خاتمه<sup>۵</sup> (آزادسازی منابع).

توابع مربوط به عملیات خدمت انتهایاً با توابع مدیریتی منابع دامنه‌ها تعامل می‌کنند. دامنه‌های مورد بحث شامل RAN، شبکه هسته و انتقال و همچنین فناوری‌های NFV و MEC<sup>۶</sup> هستند. غیر از همنواسازی، رویه‌های حلقه بسته<sup>۷</sup> برای تحقیق و تضمین منابع شامل توابع ارتقای هوش شبکه در هر دامنه باید باشند. در سطوح پایین‌تر (ریزدانه‌تر)، کنترل‌کننده‌های خاص (شامل کنترل‌کننده‌های SDN)<sup>۸</sup> می‌توانند برای اجرای موثر سیاست‌ها و قواعد بر روی سطح منابع و توابع اجرا شوند.

<sup>۱</sup> Initiation

<sup>۲</sup> Configuration

<sup>۳</sup> Activation

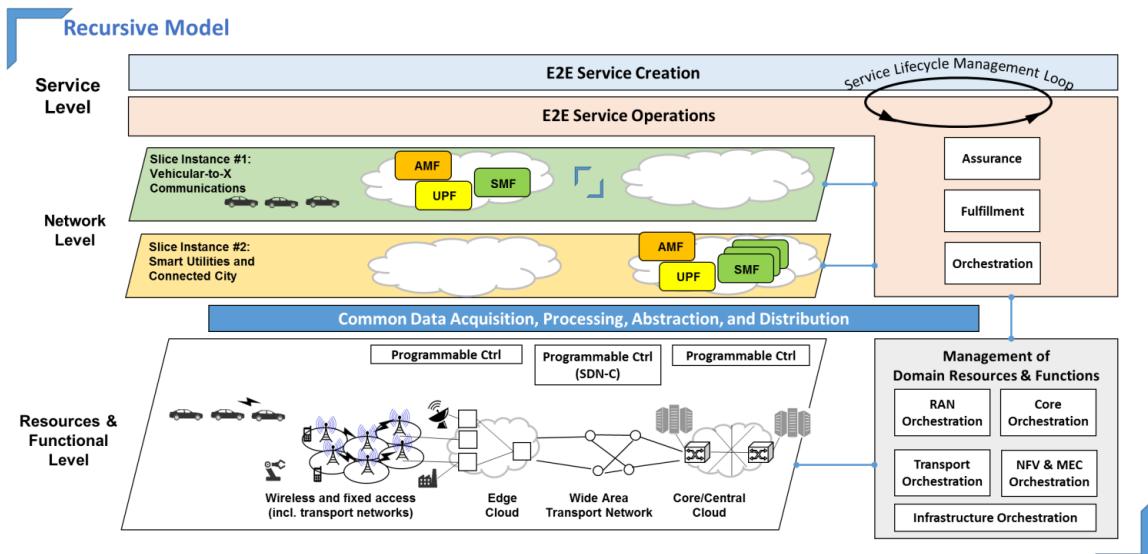
<sup>۴</sup> Run-time

<sup>۵</sup> Decommissioning

<sup>۶</sup> Multi-Access Edge Computing

<sup>۷</sup> Closed Loop Procedures

<sup>۸</sup> SDN Controllers



شکل ۴-۵ معماری کلی ۵G از دیدگاه 5GPPP [۲۴]

در انتهای نیز، یک چارچوب مشترک که در آن داده‌ها قابل دسترسی در سطوح مختلف موجودیت‌های سیستم می‌باشد، از نظارت مقیاس‌پذیر برای در اختیار گذاشتن<sup>۱</sup> داده‌ها و ساز و کارهای کنترل دسترسی<sup>۲</sup> به منظور فراهم‌سازی خدمات برای تملک<sup>۳</sup>، پردازش، انتزاعی‌سازی و توزیع داده‌ها استفاده خواهد کرد. این داده‌ها شامل داده‌های مربوط به مشترکین (مشترکین مختلف شبکه از مشترک عادی موبایل تا مستاجرها) مربوط به نمونه برش‌های شبکه و هم‌چنین اپلیکیشن‌های مربوط به مشتری‌های عمومی خواهد بود.

معماری پیشنهاد شده (شکل ۴-۵) یک ساختار بازگشتی<sup>۴</sup> را تحقق می‌بخشد. یک ساختار بازگشتی در زمینه 5G قابل تعریف در سطح طراحی، قاعده یا فرایندی است که قابلیت اعمال به صورت تکراری را دارد. در زمینه یک خدمت شبکه، این ساختار بازگشتی قابل اعمال بر روی یک بخش به خصوص از یک خدمت شبکه یا بستر استقرار<sup>۵</sup> آن است. ساختار بازگشتی قابلیت ساخت یک خدمت از بین خدمات موجود CSP شامل یک نمونه دیگر از همان خدمت است. مطابق تعریف فوق، یک ساختار بازگشتیدر معماری 5G قابلیت راه‌اندازی اولیه و ارتباط یافتن به صورت مکرر را دارد. به کارگیری این مفهوم، موجب بهبود مقیاس‌پذیری خواهد شد زیرا همان دسته خدمت قابلیت استقرار در شبکه در زمان‌ها و مکان‌های مختلف را دارد.

<sup>۱</sup> Data Exposure

<sup>۲</sup> Access Control Mechanisms

<sup>۳</sup> Data Acquisition

<sup>۴</sup> Recursive Structure

<sup>۵</sup> Deployment Platform

واگذاری بخش‌های مختلف خدمت به نمونه‌های مختلف از همان بلوک نرم‌افزاری، یک روش طبیعی برای رسیدگی به بارهای کاری<sup>۱</sup> یا گراف‌های خدمات پیچیده‌تر و بزرگ‌تر است.

در مورد زیرساخت مجازی، ساختار بازگشتی به یک نمونه برش این اجازه را می‌دهد که از منابع یک نمونه برش دیگر که در حال اجرا بر روی منابع زیرساختی است، نیز استفاده نماید. برای مثال، هر مستاجر می‌تواند مالک سیستم مدیریت و همنوasaزی (MANO<sup>۲</sup>) خود باشد. برای پشتیبانی از ساختار بازگشتی به مجموعه‌ای از API‌های<sup>۳</sup> همگن به منظور فراهم‌سازی یک سطح انتزاعی‌سازی برای مدیریت هر برش و کنترل منابع مجازی زیرین آن که نسبت به سطحی که مستاجر به آن تعلق دارد، شفاف<sup>۴</sup> می‌باشد، نیاز است. مستاجرهای مختلف، درخواست فراهم شدن<sup>۵</sup> برش‌ها را می‌توانند از طریق این API‌ها بدهنند. از طریق یک الگو<sup>۶</sup> یا SLA، هر مستاجر نه تنها می‌تواند مشخصات برش مورد نظر خود (از جمله توپولوژی و QoS) را برای CSP تعریف کند، بلکه باید قادر به تعریف برخی ویژگی‌های تعمیم‌یافته از جمله سطح ارتعاع<sup>۷</sup>، مدیریت و کنترل بر حسب نیاز خود باشد. لازم به ذکر است برخی جزئیات دیگر مربوط به ساختار بازگشتی مورد استفاده در معماری 5G در بخش ۲-۳-۱ همین پایان‌نامه نیز طبق [۱۲] بررسی شده است.

---

<sup>۱</sup> Workloads

<sup>۲</sup> Management and Orchestration

<sup>۳</sup> Application programming Interfaces

<sup>۴</sup> Transparent

<sup>۵</sup> Provisioning

<sup>۶</sup> Template

<sup>۷</sup> Level of Resiliency

## ب) فناوری‌های توانمندساز برش‌بندی شبکه

ظهور فناوری‌های مجازی‌سازی، مزایا و فرصت‌های بسیار متفاوتی از نظر چند مستاجری، برنامه‌پذیری و انعطاف‌پذیری برای نوآوری‌های رایانشی و شبکه‌ای به وجود آورده است. فناوری‌های مجازی‌سازی، توانمندساز کلیدی برش‌بندی شبکه خواهند بود. در این بخش، به بررسی برخی از فناوری‌های اساسی مجازی‌سازی مربوط به برش‌بندی شبکه پرداخته خواهد شد.

### ب-۱) لایه مجازی‌ساز<sup>۱</sup>

مفهوم مجازی‌سازی یک لایه اضافی بین یک زیرساخت فیزیکی معین و سیستم عامل، که در بالای آن قرار دارد، معرفی کرده است. این لایه مسئول تولید، کنترل و مدیریت ماشین‌های مجازی است و ناظر ماشین مجازی (VMM)<sup>۲</sup>) یا لایه مجازی‌ساز نامیده می‌شود. لایه مجازی‌ساز سفت‌افزاری<sup>۳</sup> است که یک پلتفرم مجازی را برای سیستم‌های عامل مهمان فراهم می‌کند تا اجرای برنامه‌های کاربردی یا خدمات دیگر را تسهیل کند.

دو نوع اصلی لایه مجازی‌ساز وجود دارد. نوع اول<sup>۴</sup> به عنوان لایه مجازی‌ساز Bare Metal Native یا باد می‌شود، و نام Bare Metal به این علت است که این نوع لایه‌های مجازی‌ساز به طور مستقیم بر روی سخت‌افزار ماشین میزبان می‌نشینند، دقیقاً همان طوری که سیستم عامل بر روی سخت‌افزار نصب می‌شود. برخی از مثال‌های این دسته شامل VMware ESXi [۸۷]، Xen [۸۸] و KVM<sup>۵</sup> [۸۹] است.

نوع دوم<sup>۶</sup> که به آن لایه مجازی‌ساز میزبانی شده<sup>۷</sup> نیز گفته می‌شود، مانند برنامه‌های کاربردی، بر روی سیستم عامل میزبان نصب می‌شوند. برخی مثال‌های این دسته شامل Oracle Virtual Box [۹۰] و VMware Fusion [۹۱] است. به غیر از دو نوع لایه مجازی‌ساز پایه، که شرح داده شدند، یک نوع سوم هم که معروف به سطح سیستم عامل (OS-Level) است نیز وجود دارد، که چندین سرور را که در کانتینرهای<sup>۸</sup>

<sup>۱</sup> Hypervisor (Virtualization Layer)

<sup>۲</sup> Virtual Machine Monitor

<sup>۳</sup> Firmware

<sup>۴</sup> Type-1 Hypervisor

<sup>۵</sup> Kernel-based Virtual Machine

<sup>۶</sup> Type-2 Hypervisor

<sup>۷</sup> Hosted Hypervisor

<sup>۸</sup> Containers

ایزوله اجرا می‌شوند را مجازی‌سازی می‌کند. لایه‌های مجازی‌ساز سطح سیستم عامل، تنها از سیستم عامل مشابه میزبان پشتیبانی می‌کنند، زیرا سرورهای مجازی (معروف به VPS<sup>۱</sup>ها)، هسته‌ی<sup>۲</sup> میزبان را به اشتراک می‌گذارند [۹۳، ۹۲، ۸۹].

## ب-۲) ماشین‌های مجازی و کانتینرها

در مجازی‌سازی پلتفرم رایانشی، تاثیر ایجاد یک ماشین مجازی (VM<sup>۳</sup>) مانند تاثیر یک منبع فیزیکی است که در حال اجرای سیستم عامل مخصوص خودش است. اصل مجازی‌سازی سخت‌افزار در ماشین میزبان انجام می‌شود، در حالی که ماشین مجازی، در واقع ماشین مهمان است. پلتفرم‌های ابری کنونی قادر به میزبانی چندین ماشین مجازی هستند که هر کدام نیز می‌توانند برنامه‌های کاربردی مختلفی را به صورت همزمان اجرا کنند.

هر ماشین مجازی منابع خود از قبیل منابع رایانشی، ذخیره‌سازی، شبکه و حافظه به اشتراک می‌گذارد، در حالی که عملیات آن کاملاً از ماشین میزبان و ماشین‌های مجازی مهمان ایزوله شده است. از دیدگاه سخت‌افزاری دو نوع مجازی‌سازی وجود دارد. در نوع اول که مجازی‌سازی کامل یا محلی<sup>۴</sup> نام دارد، سخت‌افزار میزبان به طور کامل تقلید می‌شود، به طوری که نرم‌افزارهای کاربردی مانند سیستم‌عامل‌های مهمان در آن‌ها قابل نصب هستند [۹۳، ۹۲]. در نوع دوم که شبه مجازی‌سازی<sup>۵</sup> نام دارد، محیط سخت‌افزاری میزبان تقلید نمی‌شود، بلکه سیستم‌عامل مهمان نصب شده طوری تغییر داده می‌شود که نرم‌افزارهای کاربردی بر روی دامنه‌های ایزوله اجرا شوند [۹۵، ۹۶]. بسته به لایه مجازی‌ساز، ماشین‌های مجازی را می‌توان برای ارائه پشتیبانی کامل یک سیستم عامل، که پردازه‌های مختلف را اجرا می‌کنند، راهاندازی کرد [۹۴].

کانتینرها بر اساس ایده‌ی مجازی‌سازی سطح سیستم‌عامل (OS-Level) ایجاد شده‌اند. در این مدل، یک سرور فیزیکی، مجازی می‌شود تا نمونه‌های مختلف سرورهای ایزوله شده برای اجرای برنامه‌های کاربردی بر روی آن اجرا شوند. کانتینرها، جایگزین‌های سبک‌وزن<sup>۶</sup> ماشین‌های مجازی بر اساس لایه

---

<sup>۱</sup> Virtual Private Servers

<sup>۲</sup> Kernel

<sup>۳</sup> Virtual Machine

<sup>۴</sup> Full Virtualization / Native Virtualization

<sup>۵</sup> Paravirtualization

<sup>۶</sup> Lightweight

مجازی‌ساز نوع ۲ هستند، که از انتزاع سطح سیستم‌عامل برای تقسیم‌بندی منابع سیستم برای ایجاد چندین نمونه سرور ایزوله‌ی فضای کاربر استفاده می‌کنند [۹۶]، [۹۷] Linux-vServer، [۹۸] Solaris Container، [۹۹] Kubernetes و Docker [۱۰۰] نمونه‌هایی از مجازی‌سازی بر اساس کانتینرها هستند. هم کانتینرها و هم ماشین‌های مجازی توانایی اجرای توابع شبکه مجازی (VNF<sup>۱</sup>) را دارند. VNF‌ها به صورت زنجیروار به هم‌دیگر متصل می‌شوند تا یک خدمت شبکه معین، که اساس عملکرد برش‌بندی شبکه را شکل می‌دهد، به صورت انعطاف‌پذیر تحويل دهنند. با این حال، در حالی که ماشین‌های مجازی ایزولاسیون کامل منطقی را برای عملکرد VNF‌ها در یک برش شبکه ارائه می‌کنند، طبیعت سبک‌وزن کانتینرها می‌تواند به صورت موثر از برش‌هایی با کاربرانی با تحرک بالا پشتیبانی کند.

### ب-۳) شبکه‌های نرم‌افزار محور (SDN)

شبکه نرم‌افزار محور (SDN) با برنامه‌پذیری و دسترسی ساده به ساختار شبکه از طریق جداسازی CP و UP و هم‌چنین متمرکزسازی منطقی هوش شبکه، باعث تسهیل مدیریت شبکه می‌شود. SDN برخی ویژگی‌های کلیدی مانند انعطاف‌پذیری، انطباق خدمت‌محور<sup>۲</sup>، مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان را فراهم می‌کند [۱۰۱]. این ویژگی‌ها برای برش‌بندی شبکه ضروری هستند. یک کنترل‌کننده SDN با یک دید انعطایی از شبکه با استفاده از مجازی‌سازی و از طریق یک عامل<sup>۳</sup>، به شرکای ثالث کمک می‌کند و پشتیبانی از چندمستاجری<sup>۴</sup> را به ارمغان می‌آورد [۱۰۲]. به هر مستاجر، یک خط مشی (سیاست)<sup>۵</sup> مناسب شده است که تعیین می‌کند قابلیت‌هاییش برای برنامه‌ریزی لایه زیرین داده با استفاده از اطلاعات توابع CP تا چه حد است.

الگوی SDN از دیدگاه خدمت در [۱۰۳] معرفی شده است. این الگو، معیار حلقه کنترلی بسته<sup>۶</sup> را برای حفظ عملکرد خواسته شده (برای مثال حداقل تاخیر خواسته شده) در نظر گرفته است. یک تحلیل بر روی

<sup>۱</sup> Virtual Network Functions

<sup>۲</sup> Software-Defined Networks

<sup>۳</sup> Service-Oriented Adaptation

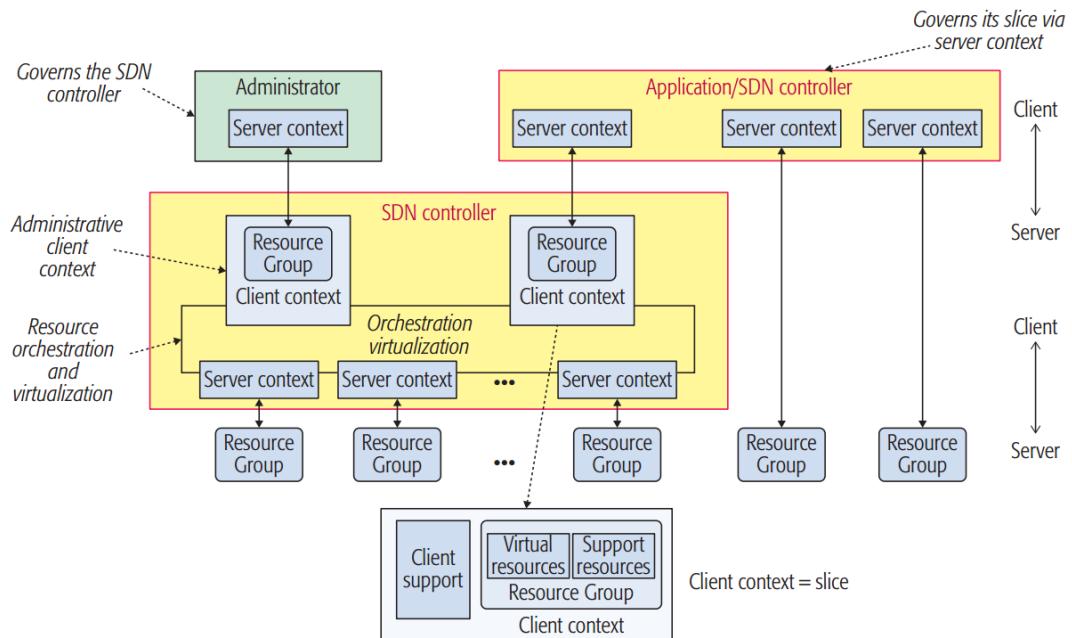
<sup>۴</sup> Agent

<sup>۵</sup> Multi-Tenancy

<sup>۶</sup> Policy

<sup>۷</sup> Closed Control Loop

برش‌بندی شبکه در [۲۲] صورت گرفته است که در آن هر زمینه متقاضی<sup>۱</sup> SDN را می‌توان یک برش بالقوه در نظر گرفت، همان‌طور که در شکل ۵-۵ نشان داده شده است. با ارائه انتزاع مجموعه‌ای از منابع شبکه موسوم به گروه‌های منبع<sup>۲</sup>، که از منطق CP نیز پشتیبانی می‌کنند، یک برش شبکه عملیاتی پیاده‌سازی می‌شود.



شکل ۵-۵ معماری برش‌بندی شبکه بر اساس SDN در ONF [۱۲، ۲۲].

کنترل کننده SDN، برش‌های شبکه را با اعمال قوانین مطابق با خط مشی شبکه در صورت لزوم، به طور موثر مدیریت می‌کند. این معماری از دیدگاه CP و UP و با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری ارائه شده با استفاده از زمینه، به شدت بر روی برش‌بندی شبکه 5G تاثیرگذار است. به طور خاص، یک کنترل کننده SDN می‌تواند زمینه متقاضی یک برش متمایز را که از منابع مختلف سرچشمه می‌گیرد، نگهداری کند. این موضوع به یک کنترل کننده SDN اجازه می‌دهد تا از طریق گروه‌بندی برش‌های شبکه متعلق به یک زمینه یکسان، و نگهداری یک نقشه سراسری بین زمینه خدمت‌دهنده و متقاضی مربوطه، به صورت پویا مدیریت برش‌های شبکه را بر عهده بگیرد.

برخی از راه حل‌های محبوب SDN که می‌توانند برای برش‌بندی شبکه مفید باشند شامل موارد زیر است:

<sup>۱</sup> SDN Client Context

<sup>۲</sup> Resource Group

<sup>۳</sup> Open Networking Foundation

(۱) سیستم عامل شبکه‌ای متن باز (ONOS)<sup>۱</sup>: به عنوان یک خدمت بر روی خوشه‌ای از سرورها مستقر می‌شود و باعث بازیابی از خرابی بسیار سریع و مقیاس‌پذیری بالای خدمت می‌شود. ONOS به مستاجرها بالقوه، اجازه‌ی ایجاد خدمات جدید شبکه بدون نیاز به تغییر سیستم UP را می‌دهد و برای توسعه‌های نرمافزاری، انتزاع‌های شمالی<sup>۲</sup> را ارائه می‌دهد. در زمینه برش‌بندی شبکه، ONOS می‌تواند ترکیب VNF‌ها<sup>۳</sup> را در محیط‌های دفتر مرکزی<sup>۴</sup> و اتصال از طریق VPN (برای مثال با استفاده از Segment Routing) ارائه دهد [۱۰۴, ۱۰۵].

(۲) M-CORD<sup>۵</sup>: این پروژه Cloud-Native CORD<sup>۶</sup> شکل گرفته است، مزایای SDN و چابکی رایانش ابری را برای ارائه شبکه‌های موبایل به صرفه و اقتصادی و هم‌چنین خدمات مختص اپراتور به کار می‌گیرد. M-CORD با ارائه مجازی‌سازی و برنامه‌پذیری RAN<sup>۷</sup> و شبکه هسته موبایل<sup>۸</sup> (برای مثال vEPC<sup>۹</sup>، برش‌بندی انتهای ۵G را پایه‌ریزی می‌کند. این راه حل باعث توانمندسازی یک آرایش شبکه خدمت‌محور می‌شود که می‌تواند با استفاده از مزایای رایانش لبه‌ای<sup>۱۰</sup> و هم‌چنین پایش و تحلیل بلاذرنگ، به صورت پویا مقیاس‌دهی شود [۱۰۶, ۱۰۷].

(۳) OpenDayLight (ODL): یک پلتفرم باز پیمانه‌ای SDN است که برنامه‌پذیری شبکه را ضمن تسهیل سفارشی‌سازی و اتوماسیون برای شبکه‌هایی با هر اندازه و مقیاس فراهم می‌کند. ODL با فراهم‌سازی موارد زیر، حاوی اصول راه حل‌های تجاری SDN است: (۱) تحويل خودکار خدمت با در نظر گرفتن خدمات مبتنی بر ابر و مجازی‌سازی، (۲) بهینه‌سازی منابع شبکه بر اساس بار و حالت شبکه، و (۳) کنترل و دید شبکه نسبت به شرکای ثالث. ODL برای فراهم‌سازی خدمات SDN برنامه‌پذیر، چابک

<sup>۱</sup> Open Network Operating System

<sup>۲</sup> Northbound Abstractions

<sup>۳</sup> VNF Composition

<sup>۴</sup> Central Office

<sup>۵</sup> Mobile Central Office Re-architected as a Datacenter

<sup>۶</sup> Central Office Re-architected as a Datacenter

<sup>۷</sup> Radio Access Network

<sup>۸</sup> Mobile Core Network

<sup>۹</sup> Virtual Evolved Packet Core

<sup>۱۰</sup> Edge Computing

و پویا به شدت بر مبنای معماری ریز خدمت<sup>۱</sup> بنا شده است. این معماری باعث بهینه سازی شبکه های کنونی برای انطباق با نیازهای همواره در حال تغییر خواسته های خدمتی می شود [۱۰۸، ۱۰۹].

#### ب-۴) مجازی سازی توابع شبکه (NFV)

NFV با استقرار توابع شبکه ای که قبلا به صورت سخت افزاری و اختصاصی پیاده سازی می شدند، بر روی محیط های مجازی باعث صرفه اقتصادی، پایین آوردن زمان تحویل خدمات و همچنین بهره بردن از مزایای رایانش ابری می شود. VNF ها بر روی ماشین های مجازی مستقر می شوند و می توانند با یکدیگر در یک محیط ابری مشترک یا توزیع شده زنجیر بندی<sup>۲</sup> شوند و خدمات شبکه یا ارزش افزوده ارائه دهند. در چارچوب معماری NFV که در شکل ۶-۵ نشان داده شده، سه جزء کلی معرفی شده است [۱۱۰]:

- **VNF ها:** پیاده سازی های نرم افزاری توابع شبکه مستقر بر روی محیط های مجازی هستند.
- **زیر ساخت NFV (NFVI):** شامل بلوک های سازنده محیط منطقی یعنی مولفه های رایانشی، ذخیره سازی و شبکه ای و همچنین دیگر سخت افزارهای مربوط به آن ها می باشد.
- **مدیریت و همنوازی (MANO):** مسئول مدیریت و همنوازی VNF ها و NFVI است.

---

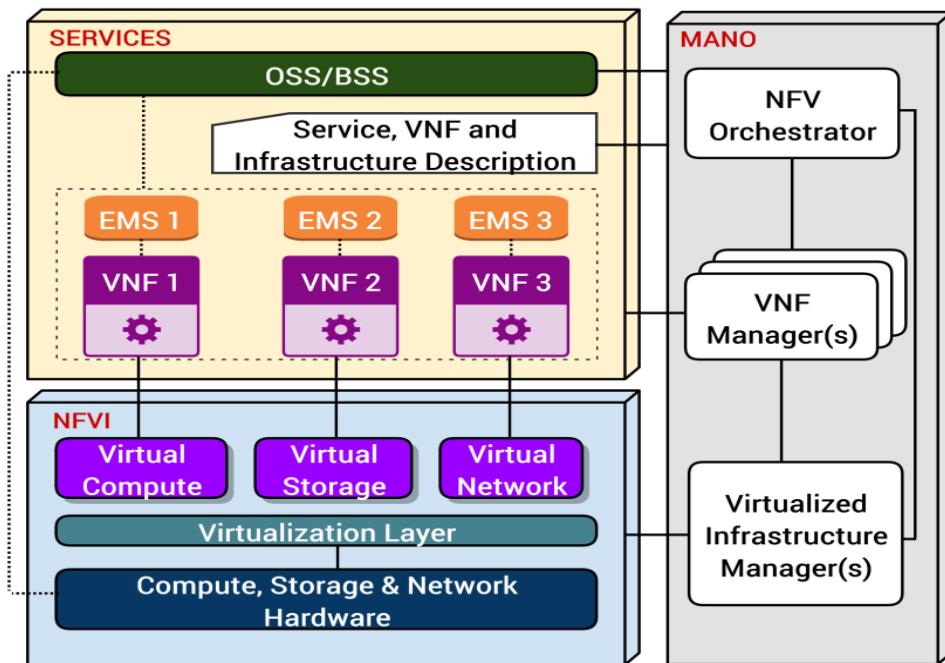
<sup>۱</sup> Micro-Service Architecture

<sup>۲</sup> Network Function Virtualization

<sup>۳</sup> VNF Chaining

<sup>۴</sup> NFV Infrastructure

<sup>۵</sup> NFV Management and Orchestration



شکل ۵-۶ معماری ETSI NFV [۱۱۰، ۱۱۱].

در زمینه برش‌بندی شبکه، چارچوب NFV، زنجیربندی خدمات، جاسازی VNF‌ها<sup>۳</sup> بر اساس ظرفیت و تاخیر، و همچنین مدیریت VNF‌ها را فراهم می‌کند. به طور خاص، NFV یک روش زنجیربندی VNF‌ها را با استفاده از برپایی یک گراف هدایت توابع مجازی شبکه (VNF-FG)<sup>۴</sup> معرفی کرده است که کنترل موثر بر روی توابع شبکه را فراهم می‌کند [۱۱۲].

استفاده از یک VNF-FG باعث استقرار خدمات شبکه با در نظر گرفتن مجموعه متنوعی از توابع شبکه مجازی و یا فیزیکی، بسته به نیازمندی‌های خدمت شبکه مورد نظر، بدون قطعی بقیه خدمات<sup>۵</sup> می‌شود. هم‌نواسازی NFV، که شامل اتوماسیون، مدیریت و بهره‌برداری از NFVI توزیع شده است، مسئول هم‌نواسازی و مدیریت سخت‌افزارها و نرم‌افزارها و همچنین تحويل خدمات NFV در تمامی طول شبکه خواهد بود. برای تحقق بخشیدن NFVI و تحويل خدمت، معماری MANO سه مولفه اصلی عملیاتی زیر را معرفی می‌کند [۱۱۳]

<sup>۱</sup> European Telecommunications Standards Institute

<sup>۲</sup> VNF Embedding

<sup>۳</sup> Virtual Network Functions Forwarding Graph

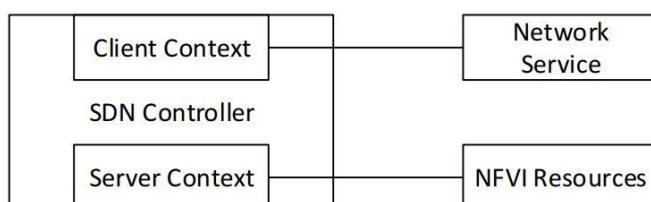
<sup>۴</sup> On-The-Fly Deployment

• **مدیر VNF**<sup>۱</sup>: مسئول مدیریت چرخه عمر یک یا چند نمونه VNF از انواع یکسان یا مختلف است که در یک برش شبکه در حال اجرا هستند. چنین فرایندی شامل پیکربندی و راهاندازی VNF با در نظر گرفتن الگوی برش شبکه<sup>۲</sup>، Scale up/down و Scale in/out کردن نمونه‌های VNF، و همچنین جمع‌آوری اطلاعات عملکردی NFVI مربوط به نمونه‌های برش شبکه می‌باشد.

• **مدیر زیرساخت مجازی (VIM)**<sup>۳</sup>: وظیفه مدیریت و کنترل منابع مرتبط به NFVI است که معمولاً متعلق به یک اپراتور شبکه می‌باشد. بسته به تنظیمات، VIM می‌تواند به صورت اختصاصی یک نوع مشخص منبع NFVI (مانند یک منبع رایانشی) و یا چندین نوع منبع NFVI را مدیریت و کنترل کند. برای یک برش شبکه، VIM، منابع NFVI را تخصیص داده و ارتباط بین آن‌ها را با زنجیره خدمت مورد نظر و هدایت ترافیک مدیریت می‌کند.

• **همنواساز NFVO**<sup>۴</sup>: مسئول موارد زیر است: (۱) همنوازی منابع شبکه، یعنی همنوازی NFVI با کمک مدیر زیرساخت مجازی (VIM)<sup>۵</sup> (که می‌تواند یکی یا چند تا باشد) درون یک دامنه مدیریتی. (۲) تایید و صدور مجوز برای درخواست‌های منبع مدیر VNF از NFVI. (۳) مدیریت چرخه عمر خدمت شبکه<sup>۶</sup>. NFVO با همکاری مدیر VNF، عملیات همنوازی و مدیریت چرخه عمر زنجیره‌های خدمت VNF در یک برش شبکه را انجام می‌دهد [۱۱].

طبق [۲۵] می‌توان یک نگاشت بین مفاهیم مطرح شده توسط ONF (قسمت ۲-۲-۲) و مفاهیم ETSI NFV برقرار کرد تا درک بهتری حاصل شود. این نگاشت در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.



شکل ۷-۵ نگاشت بین مفهوم برش‌بندی در ONF با عناصر ETSI NFV [۲۵, ۷۵].

یک بررسی اجمالی از راه حل‌های مختلف همنواز در [۱۱۴] ارائه شده است. همچنین دو راهکار جامع، که قابلیت استفاده در برش‌بندی شبکه را دارند به شرح زیر می‌باشند:

<sup>۱</sup> VNF Manager

<sup>۲</sup> Network Slice Template

<sup>۳</sup> Virtualized Infrastructure Manager

<sup>۴</sup> NFV Orchestrator

<sup>۵</sup> Virtual Infrastructure Manager

<sup>۶</sup> Network Service Life-Cycle Management

(۱) **ECOMP**<sup>۱</sup>: این پروژه که در ابتدا توسط اپراتور امریکایی AT&T کلید خورد، یک پلتفرم باز است که کنترل، خط مشی‌ها، همنواسازی و مدیریت بهبودیافته را فراهم می‌کند. ECOMP معماری MANO را با راهاندازی کنترل کننده‌های توزیع شده برای تضمین انعطاف‌پذیری و قابلیت اطمینان، در کنار همنواساز خدمت‌انتها به انتهای شبکه به نام MSO<sup>۲</sup> گسترش داده است. ECOMP دارای یک کنترل کننده زیرساخت برای منابع رایانشی، یک کنترل کننده مسئول پیکربندی شبکه و یک کنترل کننده برنامه کاربردی برای مولفه‌های مختص کاربرد است. ECOMP از مولفه ASDC<sup>۳</sup> برای جمع‌آوری فراداده‌ها با استفاده از مدل‌های داده ورودی<sup>۴</sup> داده در قالب زبان‌های مدل‌سازی داده‌ای مانند TOSCA<sup>۵</sup> [۱۱۵] و YANG<sup>۶</sup> [۱۱۶] در مورد خدمات شبکه استفاده می‌کند. ECOMP به دو محیط اجرای اصلی تقسیم می‌شود: (۱) طراحی، که پارامترهای لازم سیستم را تعریف و برنامه‌ریزی می‌کند. (۲) اجرا، که منطق اجرای یک خط مشی حلقه بسته<sup>۷</sup> را مشخص می‌کند [۱۱۷].

(۲) **Open-O**<sup>۸</sup>: این پروژه تحت حمایت بنیاد لینوکس<sup>۹</sup>، مزایای استفاده از سه همنواساز به نام‌های همنواساز خدمت سراسری، NFVO و SDN را برای ایجاد یک پلتفرم همنواسازی خدمت‌انتها به انتهای را به کار می‌گیرد. Open-O از خدمات شبکه ترکیبی بر روی منابع شبکه فیزیکی و مجازی پشتیبانی می‌کند و از مزایای قابلیت‌های همنواسازی ترکیبی، برای چابکی خودکارسازی همنواسازی خدمات انتها به انتهای شبکه در دامنه‌های مدیریتی مختلف استفاده می‌کند. Open-O تعامل بین خدمات و مقیاس‌پذیری را تسهیل می‌کند، و هم‌چنین زمان عرضه برای خدمات جدید را با استفاده از مدل‌های داده TOSCA<sup>۱۰</sup> و YANG<sup>۱۱</sup> و هم‌چنین واسطه‌های مبنی بر REST API‌ها کوتاه می‌کند [۱۱۸].

---

<sup>۱</sup> Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy

<sup>۲</sup> Master Service Orchestrator

<sup>۳</sup> AT&T Service Design and Creation

<sup>۴</sup> Data Models

<sup>۵</sup> Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications

<sup>۶</sup> Yet Another Next Generation (Data Modeling Language)

<sup>۷</sup> Closed-Loop Policy

<sup>۸</sup> Open Orchestrator

<sup>۹</sup> Linux Foundation

ادغام ECOMP و Open-O در سال ۲۰۱۶ باعث شکل‌گیری راه حل ONAP<sup>۱</sup> تحت حمایت بنیاد لینوکس شد. ONAP از مزایای هر دو راهکار ECOMP و Open-O استفاده می‌کند و یک پلتفرم همنوازی خدمت‌انتها به انتهای انعطاف‌پذیر، مقاوم و بهصره است [۱۱۹].

### ب-۵) رایانش ابری<sup>۲</sup> و رایانش لبه‌ای<sup>۳</sup>

رایانش ابری و رایانش لبه‌ای باعث فراهم‌سازی امکانات شبکه‌ای، ذخیره‌سازی و رایانشی در یک یا چند پلتفرم برای توانمندسازی یک برش شبکه می‌شود [۱۲۰]. چنین خدمات پایه‌ای زیرساختی می‌توانند توسط فراهم‌کنندگان خدمات زیرساختی کامل مانند OpenStack، Amazon و Rackspace ارائه شوند. رایانش لبه‌ای باعث توانمندسازی برنامه‌های کاربردی محاسباتی، مدیریت و تحلیل داده، و همچنین بهره‌برداری از خدمت در نزدیکی کاربران انتهایی می‌شود. مورد آخر اجازه‌ی شکل‌گیری یک شبکه‌ی لبه‌محور<sup>۴</sup> را می‌دهد، که باعث تسهیل نزدیکی داده‌ها، تضمین تاخیر بسیار پایین، نرخ‌های داده‌ی بالا، هوشمندسازی و کنترل بهینه شبکه می‌شود [۱۲۱].

تحقیقات بسیاری بر روی رایانش لبه‌ای انجام شده است. تحقیقات در حوزه‌ی رایانش در مه<sup>۵</sup> [۱۲۲] و همچنین فعالیت‌های استانداردسازی ETSI در حوزه MEC<sup>۶</sup> [۱۲۳] در این بین توجه بیشتری به خود معطوف نموده‌اند. در MEC، پلتفرم‌های Stand-alone با تمرکز بر RAN و همچنین شبکه‌های دسترسی ثابت، با هدف توسعه‌ی یک رابط شمالی<sup>۷</sup> که به شرکای ثالث، توانایی راهاندازی و کنترل خدمات مختلف از لبه‌ی شبکه را می‌دهند، در نظر گرفته می‌شود.

رایانش در مه که توسط شرکت Cisco معرفی شد، قابلیت انتقال داده بین دستگاه‌های متصل در یک سیستم IoT را می‌دهد. رایانش در مه، یک الگوی شبکه‌ای است که سلسله مراتبی از پلتفرم‌ها را که برای خدمت‌رسانی به نیازهای خاص برنامه‌های کاربردی با یکدیگر همکاری می‌کنند، در نظر گرفته است [۱۲۲].

<sup>۱</sup> Open Network Automation Platform

<sup>۲</sup> Cloud Computing

<sup>۳</sup> Edge Computing

<sup>۴</sup> Edge-Centric Networking

<sup>۵</sup> Fog Computing

<sup>۶</sup> Multi-Access Edge Computing

<sup>۷</sup> Northbound Interface

## ج) معماری شبکه هسته

شبکه هسته موبایل<sup>۱</sup> طی دهه گذشته پیشرفت چشمگیری داشته است. این پیشرفت، ابتدا از LTE<sup>۲</sup> و با ارائه یک هسته مبتنی بر IP شروع شد و سپس از طریق نرمافزاری کردن و مجازی‌سازی عناصر شبکه هسته به برش‌بندی شبکه در 5G منجر خواهد شد. در واقع، نیاز به انعطاف‌پذیری بیشتر، باعث توجه هرچه بیشتر به NFV و SDN به عنوان توانمندسازهای کلیدی برای داشتن یک شبکه هسته پویاتر برای هموارسازی قابلیت‌های شبکه‌ای متفاوت شده است.

برای این منظور، 3GPP به طور کامل شبکه هسته را در 5G مورد بازبینی قرار داده است. در این بازبینی، یک معماری پیمانه‌ای تر<sup>۳</sup> ارائه شده است که در آن، مولفه‌های اصلی EPC به توابع شبکه‌ای پیمانه‌ای تر و مشخص‌تر تقسیم شده‌اند. علاوه بر این، 3GPP eDECOR [۱۲۴] و همچنین برخی اسناد در مورد نحوه اکتشاف و انتخاب برش شبکه و اشتراک توابع شبکه برای توانمندسازی برش‌بندی شبکه از طریق ایجاد نمونه‌های شبکه هسته برای انواع مختلف خدمات توسعه داده است [۷۶].

### ج-۱) مجازی‌سازی EPC<sup>۴</sup> (شبکه هسته 4G)

شبکه هسته موبایل، به عنوان یک بخش بسیار اساسی در شبکه موبایل یک فراهم‌کننده خدمت مخابراتی (CSP) به خدمت‌دهی می‌پردازد. ظهور نرمافزاری کردن شبکه و پیشرفت‌های حوزه NFV مهم‌ترین عوامل توانمندسازی از لحاظ فناوری‌ها برای مجازی‌سازی شبکه هسته است. حالا به لطف فعالیت‌های استاندارد سازی در حوزه NFV، می‌توان مولفه‌های شبکه هسته EPC (LTE MME<sup>۵</sup>, HSS<sup>۶</sup>, PGW<sup>۷</sup>, SGW<sup>۸</sup>) را بر روی پلتفرم‌های مجازی پیاده‌سازی کرد [۱۲۵].

<sup>۱</sup> Mobile Core Network

<sup>۲</sup> Long-Term Evolution

<sup>۳</sup> More Modular

<sup>۴</sup> Evolved Packet Core

<sup>۵</sup> Mobility Management Entity

<sup>۶</sup> Home Subscriber Server

<sup>۷</sup> Packet Data Network Gateway

<sup>۸</sup> Serving Gateway

<sup>۹</sup> Policy and Charging Rules Function

این واقعیت که این مولفه‌های شبکه هسته می‌توانند بر روی نمونه‌های مجازی<sup>۱</sup> پیاده‌سازی شوند، باعث بالا رفتن انعطاف‌پذیری و تضمین کیفیت خدمات برای تکنیک‌های تامین خدمت در EPC می‌شود. انعطاف‌پذیری در تامین خدمت به این معنی است که یک اپراتور شبکه موبایل می‌تواند چندین نمونه از EPC همگی به صورت همزمان و برای خدمت‌دهی به دسته‌های مختلف کاربران بر اساس نیازمندی‌های خدمتی آنان بسازد. علاوه بر این، در حالی که برخی از خدمات به تمامی مولفه‌های EPC نیاز دارند، برای برخی دیگر این‌گونه نیست. برای مثال، یک خدمت mIoT<sup>۲</sup> با تحرک‌پذیری محدود، نیازی به مولفه MME در EPC ندارد. بنابراین مفهوم برش‌بندی شبکه هسته<sup>۳</sup> برای تحقق پیاده‌سازی چندین نمونه از EPC مجازی (vEPC)، که به صورت موازی اجرا می‌شوند، شکل گرفته است. هدف از این ساختار، این است که هر کدام از نمونه‌ها برای برآوردن درخواست‌های خدمت متفاوت به کار گرفته شوند. برای مثال، در یک خدمت حساس به تاخیر شاید نیاز باشد که یک vEPC توزیع شده نزدیک به کاربر داشته باشیم.

با استفاده از SDN و NFV می‌توان مدیریت و همنواسازی ساده‌تری در پلتفرم‌های ابری داشته باشد. در حقیقت می‌توان با ارائه مدیریت و عملیات موثر مولفه‌های EPC، روش‌های مختلف همنواسازی را به کار گرفت. مولفه‌های CP (مانند MME و HSS) و UP (مانند SGW و PGW) در EPC می‌توانند به عنوان یک خدمت بر روی سرورهای ارزان قیمت<sup>۴</sup> فراهم شوند. این کار ابعاد جدیدی به مدل‌های عملیاتی بازار اپراتورهای مجازی شبکه موبایل (MVNO<sup>۵</sup>) خواهد داد.

نویسنده‌گان در چارچوب EPCaaS<sup>۶</sup> [۱۲۶]، با پیاده‌سازی vEPC<sup>۷</sup>ها بر روی ابر به دنبال کمینه کردن هزینه‌های اپراتور بوده‌اند. چارچوب EPCaaS ابتدا یک رویکرد مجازی‌سازی کامل را پیشنهاد می‌کند که در آن، هم مولفه‌های CP<sup>۸</sup> و هم مولفه‌های UP<sup>۹</sup> مجازی‌سازی شده‌اند. سپس، در رویکرد دیگری تنها مولفه‌های CP را مجازی‌سازی کرده‌اند و مولفه‌های UP برای اطمینان از گذردهی بالا و اجرای خط مشی‌های بازرگانی

<sup>۱</sup> Virtual Instances

<sup>۲</sup> Massive Internet of Things

<sup>۳</sup> Core Network Slicing

<sup>۴</sup> Virtual Evolved Packet Core

<sup>۵</sup> Commodity Servers

<sup>۶</sup> Mobile Virtual Network Operator

<sup>۷</sup> EPC as a Service

<sup>۸</sup> Control Plane

<sup>۹</sup> User Plane

ترافیک، بر روی سخت افزارهای اختصاصی پیاده سازی کرده اند. سناریوهای پیاده سازی پیشنهادی در [۱۲۶] عبارتند از: (۱) یک نگاشت ۱:۱ که در آن هر مولفه عملکردی EPC در یک ماشین مجازی اجرا خواهد شد، (۲) نگاشت N:۱ که در آن هر مولفه عملکردی EPC در چندین ماشین مجازی اجرا می شود، (۳) نگاشت N:۱ که در آن همه مولفه های عملکردی EPC بر روی یک ماشین مجازی اجرا می شوند، و (۴) نگاشت ۲:۱ که در آن مولفه های CP و مولفه های UP در EPC، هر کدام بر روی یک ماشین مجازی اجرا می شوند. در [۱۲۶] و پژوهش های دیگر در این زمینه به فراهم سازی پشتیبانی از نیازمندی های گوناگون برای تحقق برش بندی شبکه پرداخته شده است.

#### ج-۲) شبکه هسته اختصاصی (DCN<sup>۱</sup>)

3GPP با هدف ارائه یک مجموعه اختصاصی از توابع EPC برای یک گروه مشخص از کاربران یا خدمات (مانند IoT) مفهوم DECOR را ارائه داده است [۱۲۷]. DECOR شکل اولیه برش بندی شبکه است که در آن eNB ها می توانند توابع شبکه هسته مناسب را برای UP و CP کاربران نهایی (UE<sup>۲</sup>) مشخص، انتخاب کنند. رویه ای انتخاب شبکه در DECOR فرض می کند که کاربر نهایی (UE) ابتدا به MME پیش فرض متصل می شود، یعنی یک پیام راه اندازی اتصال NAS<sup>۳</sup> بر پایه HSS به MME مناسب هدایت می کند. چنین فرایندی سربار سیگنالینگ زیادی برای هدایت ترافیک UE ها به همراه خواهد داشت. eDECOR به عنوان راه حلی برای رفع این موضوع توسعه یافت [۱۲۴].

eDECOR<sup>۴</sup> با تکیه بر مشارکت UE ها به کاهش سربار سیگنالینگ می برد. در زمان راه اندازی اتصال<sup>۵</sup> یک UE پارامتر انتخاب DCN را که از شبکه دریافت کرده کامل می کند. این پارامتر مختص اپراتور است و به یک DCN مشخص نگاشت خواهد شد. eNB ها قادر به انتخاب DCN مناسب بر اساس پارامتر انتخاب که به همراه یک منطق از پیش تنظیم شده از UE ارسال می شود، هستند. در زمان فرایند راه اندازی S1، MME

<sup>۱</sup> Dedicated Core Networks

<sup>۲</sup> eNodeB

<sup>۳</sup> User Equipment

<sup>۴</sup> Non-Access Stratum

<sup>۵</sup> Connection Setup

نوع پیام NAS<sup>۱</sup> پشتیبانی شده و اطلاعات کمکی انتخاب DCN را برای eNB<sup>۲</sup>، به عنوان بخشی از پیام پاسخ راهاندازی S1 فراهم می‌کند.

در [۱۲۸]، نویسنده‌گان از eDECOR برای اعمال برش‌بندی شبکه در سطح شبکه هسته استفاده کرده‌اند و پیشنهاد کرده‌اند تا پارامتر انتخاب DCN توسط یک شناسه برش<sup>۳</sup> جایگزین شود. شناسه برش می‌تواند درون سیم‌کارت مصرف کنندگان به صورت سخت‌افزاری کد شده باشد و یا توسط اپراتور مربوطه قبل از ورود به شبکه هسته تعیین شود. همانند eDECOR، ۴UE‌ها طی فرایند اتصال RRC<sup>۴</sup> و NAS با استفاده از شناسه برش تعامل خواهند کرد. این موضوع به eNB‌ها اجازه می‌دهد تا برش‌های درخواستی UE‌ها را اختصاص دهند و بر اساس SLA مربوطه، ترافیک آن‌ها را مدیریت کنند.

### ج-۳) شبکه هسته ۵GC (۵G Core)

نیاز به انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری بیشتر در شبکه هسته باعث شد تا ۳GPP یک معماری جدید شبکه هسته که با نام هسته نسل جدید (5GC) یا معماری سیستمی 5G شناخته می‌شود، را معرفی کند [۱۲۹]. در این معماری، توابع کنونی EPC به توابع شبکه‌ای پیمانه‌ای‌تر تبدیل شده‌اند. در معماری 5GC برخی از توابع شبکه (NF<sup>۵</sup>) معادل‌های خود را در LTE دارند و برخی دیگر نیز به تازگی معرفی شده‌اند. برای مثال، کنترل دسترسی<sup>۶</sup> و مدیریت نشست<sup>۷</sup> در EPC با هم در تابع HSS تجمعی شده بودند ولی در معماری 5GC تفکیک شده‌اند تا پشتیبانی بهتری از دسترسی ثابت و همچنین تضمین مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری صورت گیرد. بر جسته‌ترین NF‌های معرفی شده در 5GC شامل موارد زیر است:

<sup>۱</sup> Non-Access Stratum Message

<sup>۲</sup> Evolved NodeB (4G Radio Access)

<sup>۳</sup> Slice ID

<sup>۴</sup> Radio Resource Control

<sup>۵</sup> 5G Core

<sup>۶</sup> Network Function

<sup>۷</sup> Access Control

<sup>۸</sup> Session Management

- تابع مدیریت دسترسی و تحرک پذیری (AMF)<sup>۱</sup>: به جز کنترل دسترسی و تحرک پذیری، با عملکرد انتخاب برش شبکه به عنوان یکی از بخش‌های اساسی توابع خود نیز تجمعی شده است. در صورت دسترسی ثابت، عملکرد مدیریت تحرک پذیری در AMF مورد نیاز نیست.
- تابع مدیریت نشست (SMF)<sup>۲</sup>: برای تنظیم نشست‌های کاربران بر اساس خط مشی شبکه استفاده می‌شود.
- تابع کنترل خط مشی (PCF)<sup>۳</sup>: این تابع یک چارچوب خط مشی<sup>۴</sup> برای برش‌بندی شبکه فراهم می‌کند.
- تابع سطح کاربر (UPF)<sup>۵</sup>: می‌تواند بر اساس نوع خدمت، در موقعیت‌های مکانی زیادی پیاده‌سازی شود.
- مدیریت واحد داده (UDM)<sup>۶</sup>: مشابه HSS در LTE است. با این حال، تمامی اطلاعات مشترک برای دسترسی ثابت و موبایل در 5GC، همگی در این تابع تجمعی خواهند شد.
- تابع مخزن NFها (NRF)<sup>۷</sup>: تابع جدیدی است که عملیات ثبت و کشف<sup>۸</sup> NFها را فراهم می‌کند. این تابع به NFها اجازه می‌دهد تا از طریق تعامل با API‌های باز به اکتشاف یکدیگر بپردازند.

شکل ۸-۵ معماری سیستمی نسل جدید را با استفاده از نمایش نقاط مرجع<sup>۹</sup> نشان می‌دهد. مشابه معماری سنتی 3GPP، معماری پیشنهادی، NFهای مختلف هسته 5G را به همراه UEها و همچنین AN<sup>۱۰</sup> با استفاده از واسطه‌های مرجع به یکدیگر متصل می‌کند. با این حال، این روش تعریف معماری 5GC ممکن است باعث ایجاد پیچیدگی بیشتر مولفه‌های شبکه شود، زیرا اپراتور باید چندین واسطه انتها به انتهای را دوباره پیکربندی کند. این روش نمایش معماری به این دلیل توسط 3GPP مطرح شده که کارشناسان حوزه مخابرات به دلیل آشنا نبودن با معماری خدمت‌محور در فهم آن معماری دچار مشکل نشوند. طبق گفته 3GPP، پیاده‌سازی معماری خدمت‌محور نسبت به معماری نقطه به نقطه از مزایای زیادی از جمله سادگی طراحی و بهروزرسانی توابع و واسطه‌ها و همچنین سهولت در استقرار توابع به صورت مجازی برخوردار است [۱۲۹].

---

<sup>۱</sup> Access and Mobility Function

<sup>۲</sup> Session Management Function

<sup>۳</sup> Policy Control Function

<sup>۴</sup> Policy Framework

<sup>۵</sup> User Plane Function

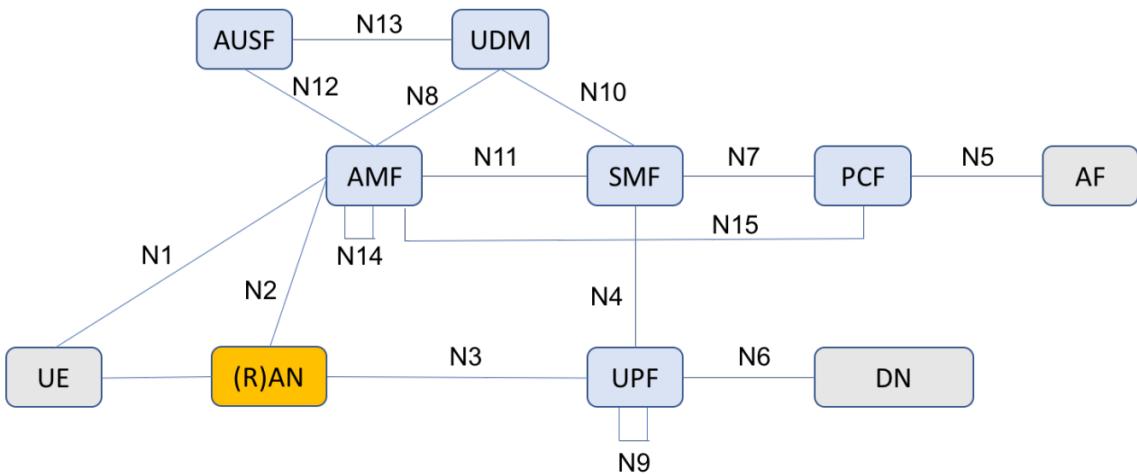
<sup>۶</sup> Unified Data Management

<sup>۷</sup> NF Repository Function

<sup>۸</sup> Registration and Discovery

<sup>۹</sup> Reference Point Representation

<sup>۱۰</sup> Access Network



AUSF: Authentication Server Function

SMF: Session Management Function

AF: Application Function

PCF: Policy Control Function

AMF: Acces and Mobility Management Function

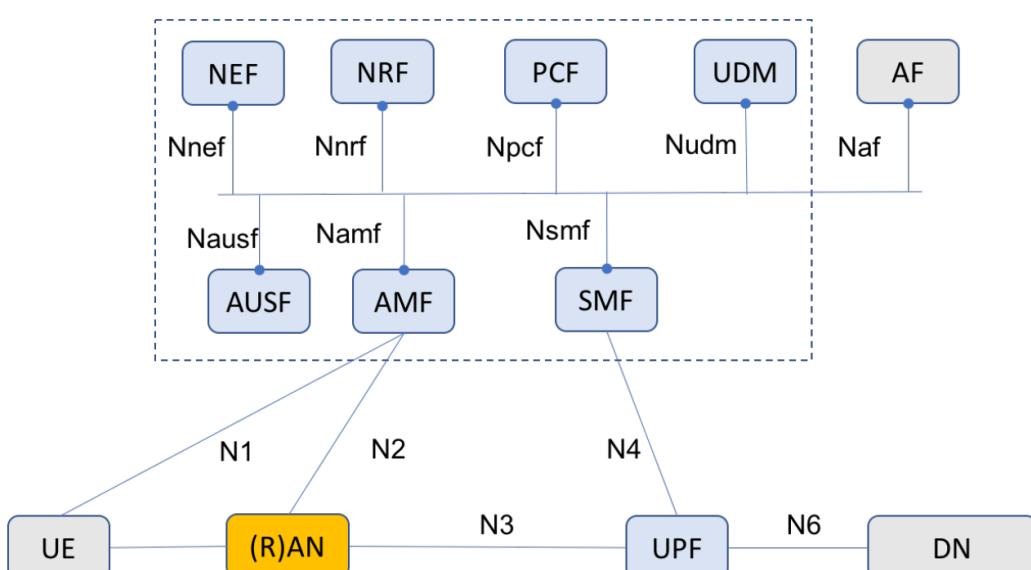
UDM: Unified Data Management

DN: Data Network

UPF: User Plane Function

شکل ۸-۵ معماری هسته نسل جدید (5GC): مدل نقطه به نقطه [۱۲۹].

در معماری خدمت محور نیز همان مولفه های عملکردی و همان مسیر پردازشی UP بین UE و شبکه های خارجی (مانند اینترنت) را خواهیم داشت ولی در CP، معماری متفاوتی داریم (شکل ۹-۵). به جای واسطه های از پیش تعریف شده بین مولفه ها، یک مدل خدمت استفاده خواهد شد که در آن، مولفه ها برای اکتساف و همچنین تعامل با یکدیگر از NRF پرس و جو می کنند. در این مدل جدید، NF ها از مفهوم تولید کننده / مصرف کننده استفاده می کنند. یک NF می تواند برای برخی رویدادهای خاص که یک NF دیگر از طریق API خود تولید می کند، ثبت نام کند تا از جزئیات آن مطلع شود. بنابراین ارتباط 1:N یا N:1 امکان پذیر است.



شکل ۹-۵ معماری هسته نسل جدید (5GC): مدل خدمت محور [۱۲۹].

به عنوان مثال، خدمت AMF اطلاعات مربوط به برخی آمارها و رویدادهای تحرک‌پذیری را به دیگر NF‌ها ارائه می‌دهد. به طور مشابه، PCF همه عملیات مربوط به قوانین خط مشی را برای بقیه NF‌ها فراهم می‌کند. معماری خدمت محور 5GC را به سادگی می‌توان در یک محیط نرمافزار محور/مجازی شده (برای مثال ماشین مجازی یا کانتینتر) پیاده‌سازی کرد. کتابخانه‌های توابع را می‌توان از یک کاتالوگ VNF درخواست کرد. مولفه‌های این معماری شامل زنجیره‌های خدمت انتهایاً به انتها بر حسب تقاضا هستند. علاوه بر این، ترکیب برخی توابع خاص می‌تواند باعث ساختن شبکه هسته 5G با برش‌های شبکه اختصاصی و متفاوت شود. علاوه بر یک ترکیب NF مناسب، یکی از مزیت‌های داشتن NF‌های پیمانه‌ای برای برش‌بندی شبکه، امکان مشترک بودن برخی NF‌ها بین برش‌های مختلف است که دارای اهداف زیر است:

- ۱ - کاهش پیچیدگی مدیریت برش‌های شبکه با استفاده از اشتراک AUSF<sup>۱</sup>، UDM و رویه‌ی مدیریت تحرک‌پذیری (برای مثال AMF)،
- ۲ - کاهش سیگنالینگ بی‌سیم (over the air): هر چه تعداد NF‌های مشترک CP در شبکه هسته بیشتر باشد، بار سیگنالینگ کمتر می‌شود.
- ۳ - مدیریت یک سخت‌افزار مشترک، در صورتی که برخی NF‌ها به صورت نرمافزاری/مجازی قابل پیاده‌سازی نباشند (مانند برخی PNF‌ها مانند NB<sup>۲</sup>ها).

بر این اساس، شناسایی NF‌های رایج که نیاز دارند توسط چند برش شبکه انتهایاً به انتها به اشتراک گذاشته شوند، اهمیت بسیاری دارد. بهره‌گیری از شکل‌دهی دوباره به توابع RAN و هسته باعث ساده‌تر شدن اشتراک بین توابع برش‌های مختلف شبکه می‌شود. در [۱۳۰] سه گروه مورد بحث قرار گرفته‌اند. هر گروه دارای مجموعه‌ای از NF‌های مشترک بین برش‌های شبکه است. این گروه‌ها عبارتند از:

- ۱ - گروه اول مشابه مفهوم eDECOR است که در آن NF‌های RAN برای همگی برش‌های شبکه مشترک هستند، در حالی که هر برش شبکه، مجموعه‌ای از NF‌های هسته اختصاصی خود را خواهد داشت. بنابراین ممکن است یک UE از برش‌های شبکه و حتی نمونه‌های شبکه هسته متفاوت خدمت بگیرد، که اجازه‌ی تفکیک منطقی و ایزو‌لایسیون NF‌های هسته را می‌دهد. در این صورت، مدیریت اشتراک<sup>۳</sup>، مدیریت تحرک‌پذیری یا مدیریت نشست (مانند AUSF، AMF، UDM و SMF) می‌توانند NF‌های اختصاصی هسته باشند. این راه حل باعث تسهیل ایزو‌لایسیون بین NF‌های هسته می‌شود، ولی باعث افزایش سربار سیگنالینگ نیز خواهد شد.

<sup>۱</sup> Authentication Server Function

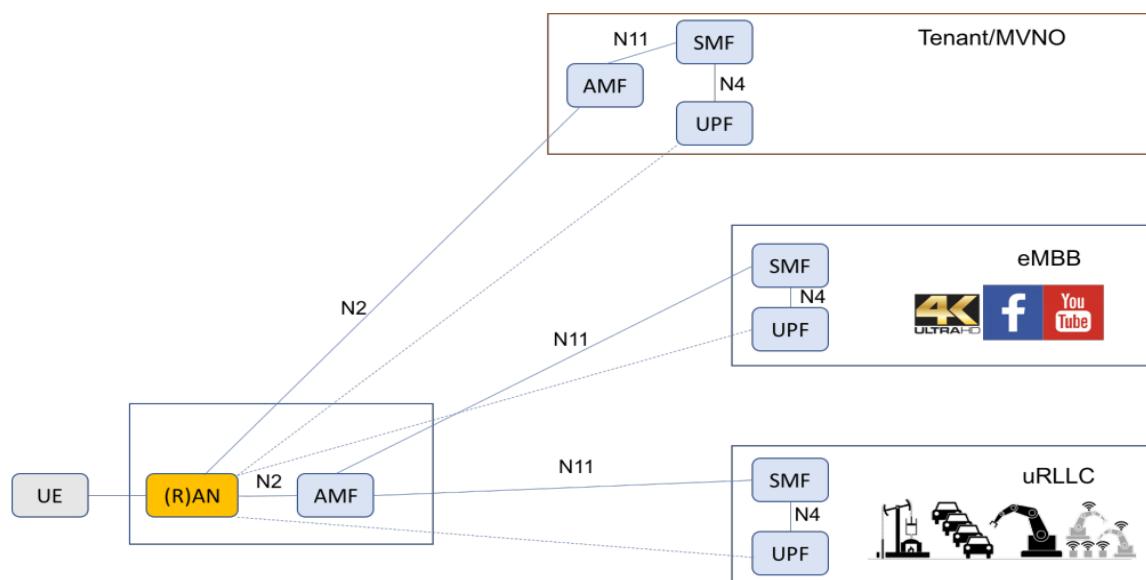
<sup>۲</sup> Physical Network Functions

<sup>۳</sup> Subscription Management

-۲ در گروه دوم که در [۱۳۱] نیز از آن استفاده شده است، فرض بر این است که برخی NFها (مانند AMF، UDM، AUSF و زمان‌بند MAC<sup>۱</sup>) بین برش‌های شبکه مشترک هستند، در حالی که برخی دیگر (مانند SMF، UPF، PDCP<sup>۲</sup> و RRC) در هر برش متفاوت خواهند بود.

-۳ در گروه سوم، مدیریت CP بین برش‌ها مشترک است، در حالی که عملیات UP (مانند PDCP و UPF) برای برش‌های شبکه مختلف، به صورت اختصاصی انجام می‌شود.

شکل ۱۰-۵ به اشتراک‌گذاری AMF را در میان برش‌های eMBB و uRLLC نشان می‌دهد، در حالی که در برش مربوط به یک MVNO خود، یک نمونه تابع AMF را در اختیار دارد.



شکل ۱۰-۵ مثالی از به اشتراک‌گذاری AMF بین برش‌های مختلف شبکه [۴].

<sup>۱</sup> Media Access Control

<sup>۲</sup> Packet Data Convergence Protocol

## (د) استانداردسازی برش‌بندی شبکه

در این بخش ابتدا تاریخچه‌ای از تلاش‌های مشابه برش‌بندی شبکه در صنعت ارائه شده و در ادامه، استانداردسازی این فناوری بررسی خواهد شد.

### ۵-۱) تاریخچه برش‌بندی شبکه پیش از ۵G

برش‌بندی شبکه بر پایه مفاهیم مجازی‌سازی، که از حدود دهه ۱۹۶۰ مطرح شده بودند، شکل گرفته است [۱۳۲, ۹۲]. مفهوم مجازی‌سازی و اشتراک منابع، ابتدا در اولین سیستم عامل ساخته شده توسط IBM به نام CP-40 مطرح شده بود [۹۲]. طراحی CP-40 بر روی سیستم 360/40 شرکت IBM از اشتراک زمانی<sup>۱</sup> و حافظه مجازی پشتیبانی می‌کرد و پیشرفت قابل توجهی در صنعت کامپیوتر به شمار می‌آمد. این سیستم از عملیات هم‌زمان بیش از ۱۵ کاربر به صورت مجزا بر روی یک مجموعه کامل از سخت‌افزار و نرم‌افزار پشتیبانی می‌کند [۱۳۴, ۹۲].

ایده‌ی مجازی‌سازی، به معنی ساختن یک فرم مجازی از یک مولفه فیزیکی از طریق روش‌ها و فرایندهای نرم‌افزاری است. این ایده، چشم‌انداز سیستم‌های مجازی را با پوشش‌دهی سرتاسر پلتفرم‌های رایانشی، منابع شبکه و دستگاه‌های ذخیره‌سازی شکل داده است [۱۳۳, ۱۳۲]. مجازی‌سازی طی دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی در مراکز داده بسیار استفاده می‌شد و در کارهای شبکه‌ای و برای اتصال امن راه دور به سایتها با عملکرد کنترل شده از طریق اینترنت به کار می‌رفت.

مفهوم شبکه‌های هم‌پوشان<sup>۲</sup> در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی مطرح شد. این شبکه‌ها شامل گره‌هایی بودند که از طریق لینک‌های منطقی به یکدیگر متصل بودند و یک شبکه مجازی بر روی شبکه‌ای مت Shank از زیرساخت فیزیکی شکل می‌دادند. معرفی شبکه‌های هم‌پوشان، شکل اولیه برش‌بندی شبکه بود که منابع ناهمگن را بر روی دامنه‌های مدیریتی مختلف، ترکیب می‌کرد. شبکه‌های هم‌پوشان با استفاده از یک روش مبتنی بر خدمت، تضمین کیفیت خدمات را فراهم می‌کنند. آن‌ها ذاتاً انعطاف‌پذیرند و لی اتوماتیک یا برنامه‌پذیر نیستند [۱۳۲, ۴].

در حدود سال ۲۰۰۶، اولین نسل پلتفرم‌ها برای بررسی صحت و ارزیابی پروتکل‌های جدید شبکه بر اساس شبکه‌های هم‌پوشان برقرار شد. PlanetLab [۱۳۵] با استفاده از بسته نرم‌افزاری به نام MyPLC مجازی‌سازی توزیع شده را با صدور مجوز به کاربران برای استفاده از برش‌های ایزوله‌ی مخصوص برنامه کاربردی فراهم می‌کرد [۱۳۶]. در این سال‌ها یک برش به عنوان یک مجموعه ایزوله متشکل از منابع

<sup>۱</sup> Time Sharing

<sup>۲</sup> Overlay Networks

برنامه‌پذیر تعریف می‌شد، که با استفاده از برنامه‌های نرم‌افزاری، توابع شبکه‌ای و خدمات کاربردی را پیاده‌سازی می‌کردند. به هر حال این پلتفرم‌های همپوشان، محدودیت‌هایی را در کنترل لایه زیرین شبکه داشتند [۱۳۷].

در سال ۲۰۰۸، پروژه GENI که توسط بنیاد ملی علوم ایالات متحده (NSF<sup>۱</sup>) کلید خورد. در این پروژه، توسعه یک Testbed مبتنی بر فناوری‌های مجازی‌سازی شبکه مورد توجه بود. هدف اصلی این پروژه، تسريع روند پژوهش بر روی یک شبکه‌ی کاملاً مجزا<sup>۲</sup> با در نظر گرفتن محیط‌های شبکه موبایل و منابع متحدد<sup>۳</sup> بود [۱۳۸]. GENI تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری مورد استفاده برای اجرای اندازه‌گیری‌های فعال و منفعل و همچنان تصویرسازی و تحلیل نتایج اندازه‌گیری ارائه می‌دهد. از سال ۲۰۰۹ نیز با ظهر فناوری شبکه نرم‌افزار محور (SDN<sup>۴</sup>، محققان توانایی اجرای آزمایش‌های نوآورانه‌ی خود را بر روی یک برش از شبکه‌های دانشگاهی<sup>۵</sup> موجود یافتند که برنامه‌پذیری از طریق واسطه‌های باز را برای آن‌ها فراهم می‌کرد [۱۳۹].

## ۵-۲) مفهوم برش شبکه و اصول آن

برش‌بندی شبکه در زمینه 5G مفهومی است که به تازگی توسط گروه NGMN<sup>۶</sup> تعریف شده است [۱۴۰]. طبق تعریف NGMN، برش‌بندی شبکه، پیاده‌سازی چندین شبکه منطقی جامع بر روی یک پلتفرم با زیرساخت فیزیکی مشترک را تسهیل می‌کند. برش‌بندی شبکه، یک اکوسیستم انعطاف‌پذیر در اختیار ذینفعان<sup>۷</sup> می‌گذارد که در آن اجازه‌ی نوآوری‌های فنی و تجاری و همچنان تجمیع منابع ابری، منابع شبکه منطقی و فیزیکی در یک محیط شبکه چندمستاجری<sup>۸</sup> باز، برنامه‌پذیر و نرم‌افزار محور را می‌دهد. شکل ۲-۱ (از مقدمه) دربرگیرنده معماری مفهومی برش‌بندی شبکه ارائه شده توسط NGMN است.

<sup>۱</sup> US National Science Foundation

<sup>۲</sup> Clean Slate Network

<sup>۳</sup> Federated Resources

<sup>۴</sup> Software-Defined Network

<sup>۵</sup> Campus Networks

<sup>۶</sup> Next-Generation Mobile Network

<sup>۷</sup> Stakeholders

<sup>۸</sup> Multi-Tenant

3GPP<sup>۱</sup> برش‌بندی شبکه را یک فناوری معرفی می‌کند که به اپراتور اجازه‌ی ساخت شبکه‌هایی با قابلیت سفارشی‌سازی برای فراهم‌سازی راه حل‌های بهینه برای سناریوهای مختلف تجاری با نیازمندی‌های مختلف به لحاظ عملیاتی، کارایی و ایزو‌لاسیون را می‌دهد [۱۳۰].

برش‌بندی شبکه باعث ایجاد ارزش برای بخش‌های عمودی، فراهم‌کنندگان برنامه‌های کاربردی و شرکای ثالث<sup>۲</sup> خواهد شد که کمبود منابع فیزیکی شبکه دارند. این موضوع توسط ارائه منابع رادیویی، شبکه‌ای و ابری و با سفارشی‌سازی عملیات شبکه و تفکیک واقعی خدمات حاصل می‌شود [۴].

یک برش شبکه متشكل از یک سری VNF است. این VNF‌ها بر مبنای نیازمندی‌های خدمت برش مربوطه تفاوت خواهند داشت. نوع خدمت مربوط به یک برش شبکه، منابع و رفتار خدمتی<sup>۳</sup> که برش شبکه دریافت خواهد کرد را تعیین می‌کند. برای مثال، یک برش شبکه ارتباطات بلادرنگ، منابع و رفتار خدمتی مناسب برای نیازهای با تاخیر پایین خود دریافت خواهد کرد. برش‌بندی شبکه بر اساس هفت اصل اساسی زیر که مفهوم و عملیات وابسته به آن را شکل می‌دهند، ساخته شده است [۴]:

- **اتوماسیون:** پیکربندی بر حسب تقاضای برش‌بندی شبکه را بدون نیاز به توافق‌های قراردادی و مداخله دستی ممکن می‌سازد. چنین عملیاتی بستگی به ساز و کارهای بر پایه سیگنالینگ دارد، که به یک شریک ثالث اجازه خواهد داد با تعریف SLA‌های درخواستی خود بتواند ظرفیت درخواستی، حداقل تاخیر درخواستی و دیگر موارد و هم‌چنین زمان در اختیار داشتن یک برش شبکه را مشخص کند.

- **ایزو‌لاسیون:** این خصوصیت اساسی برش‌بندی شبکه، ضمانت‌های عملکردی و امنیتی را برای هر مستاجر، حتی زمانی که مستاجرهای مختلف از برش‌هایی با نیازمندی‌های عملکردی متناقض استفاده می‌کنند، تضمین می‌کند. با این وجود، ممکن است رسیدن به ایزو‌لاسیون باعث بهره‌برداری ناکافی از منابع شبکه شود. مفهوم ایزو‌لاسیون نه تنها دربرگیرنده UP است، بلکه شامل CP نیز می‌شود، در حالی که پیاده‌سازی آن معرف درجه‌ی تفکیک منابع است. ایزو‌لاسیون را می‌توان از سه طریق (۱) استفاده از یک منبع فیزیکی متفاوت، (۲) مجازی‌سازی به معنای استفاده از یک منبع مشترک و (۳) اشتراک یک منبع با استفاده از اطلاعات خط مشی<sup>۴</sup> که معرف حقوق دستری هر مستاجر است، پیاده‌سازی کرد. ایزو‌لاسیون را می‌توان از سه بعد کارایی، مدیریتی و امنیتی تامین نمود [۱۲].

---

<sup>۱</sup> Third Generation Partnership Project

<sup>۲</sup> Third Parties

<sup>۳</sup> Service Treatment

<sup>۴</sup> Policy Information

• **سفارشی‌سازی:** منابع تخصیص یافته به یک مستاجر خاص، به صورت بهینه مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت تا نیازمندی‌های خدمت مربوطه را به بهترین شکل ممکن ارضا کند. چهار مورد زیر سفارشی‌سازی برش شبکه را تسهیل می‌کنند: (۱) در سطح شبکه و با در نظر گرفتن توبولوژی و تفکیک UP و CP، (۲) روی UP و با توابع شبکه‌ای مخصوص خدمات و ساز و کار ارسال داده مشخص، (۳) روی CP و با معرفی عملیات، پروتکل‌ها و خط مشی‌های برنامه‌پذیر و (۴) از طریق خدمات ارزش افزوده مانند کلان‌داده‌ها<sup>۱</sup> و آگاهی از محتوا.

• **کشسانی<sup>۲</sup>:** یک عملیات ضروری مربوط به منابع اختصاص یافته به یک برش منحصر به فرد شبکه است، تا SLA درخواستی را با توجه به شرایط شبکه و رادیو، تعداد کاربران هم‌زمان در حال گرفتن خدمت، یا منطقه جغرافیایی خدمت‌دهی به علت تحرک کاربر تضمین کند. چنین انعطاف‌پذیری منابع را می‌توان با شکل‌دهی دوباره استفاده از منابع تخصیص یافته با نقل مکان و یا مقیاس کردن<sup>۳</sup> VNF‌ها و خدمات ارزش افزوده، یا با تنظیم خط مشی‌های اعمال شده و پیکربندی مجدد عملکرد عناصر CP به دست آورد.

• **برنامه‌پذیری:** به شرکای ثالث اجازه کنترل منابع برش تخصیص یافته را از طریق API‌های باز برای در اختیار گذاشتن قابلیت‌های شبکه می‌دهد. این قابلیت‌ها باعث تسهیل سفارشی‌سازی خدمت‌محور و بر حسب تقاضا و هم‌چنین انعطاف‌پذیری منابع می‌شوند.

• **انتها به انتهای بودن:** یک خصوصیت ذاتی برش‌بندی شبکه است که تحويل خدمت از سمت فراهم‌کنندگان خدمات را به مشتریان/کاربران نهایی تسهیل می‌کند. این خصوصیت، برش را بین دامنه‌های مدیریتی مختلف بسط می‌دهد، یعنی یک برش، از ترکیب منابع متعلق به فراهم‌کنندگان زیرساخت متمایز استفاده می‌کند. هم‌چنین یک برش، از لایه‌های مختلف شبکه و فناوری‌های ناهمگون مانند شبکه هسته، RAN، انتقال و ابر تشکیل می‌شود. به خصوص، برش‌بندی انتهای به انتهای شبکه، باعث تحکیم منابع متنوعی می‌شود که امکان ارائه یک لایه خدمت هم‌پوشان را فراهم می‌کند. این لایه، فرصت‌های جدیدی را برای ایجاد شبکه‌های کاراتر و همگرایی خدمات فراهم می‌کند.

• **انتزاع سلسه‌مراتبی<sup>۴</sup>:** یک ویژگی برش شبکه است که ریشه‌های آن به مجازی‌سازی بازگشتی<sup>۵</sup> بر می‌گردد. در مجازی‌سازی بازگشتی، فرایند انتزاع منابع با یک الگوی سلسه‌مراتبی که در آن، لایه‌های بالاتر، یک انتزاع سطح بالاتر را با یک محدوده وسیع تر ارائه می‌کنند، تکرار می‌شود [۲۲]. به عبارت دیگر، منابع یک برش شبکه که به یک مستاجر خاص اختصاص یافته است، می‌تواند توسط همان مستاجر به صورت کامل و یا جزئی به یک شریک ثالث دیگر عرضه شود. به عنوان مثال، یک

<sup>۱</sup> Big Data

<sup>۲</sup> Elasticity

<sup>۳</sup> Scale up/down

<sup>۴</sup> Hierarchical Abstraction

<sup>۵</sup> Recursive Virtualization

اپراتور مجازی شبکه که یک برش شبکه‌ی متعلق به یک فراهم‌کننده زیرساخت را در اختیار دارد، می‌تواند برخی از منابع اختصاص داده شده به خود را به یک کارخانه، که می‌تواند از شبکه مجازی این برش برای تشکیل دادن یک برش مخصوص IoT بهره گیرد، عرضه کند.

### ۵-۳) مفاهیم تعریف شده توسط NGMN

طبق [۱۴۰]، فرایند برش‌بندی شبکه، به سه لایه اصلی نمونه خدمت<sup>۱</sup>، نمونه برش شبکه (NSI)<sup>۲</sup> و منبع<sup>۳</sup> تجزیه می‌شود که در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است. هر نمونه خدمت، انکاس‌دهنده‌ی یک خدمت است که توسط یک فراهم‌کننده برنامه کاربردی، یک اپراتور شبکه موبایل و یا یکی از صنایع عمودی ارائه می‌شود. نمونه برش شبکه، مجموعه‌ای از منابع سفارشی برای تطابق با نیازمندی‌های عملکردی یک خدمت خاص است و ممکن است شامل صفر، یک و یا تعدادی زیرنمونه مختلف برش شبکه<sup>۴</sup> مشترک و یا ایزوله باشد. یک زیرنمونه برش شبکه می‌تواند یک تابع شبکه مانند زیرسیستم چندرسانه‌ای IP (IMS)<sup>۵</sup> و یا زیرمجموعه‌ای از توابع یا منابع شبکه برای تحقق یافتن بخشی از یک نمونه برش شبکه باشد. هر نمونه برش شبکه، به صورت انتهایاً برقرار می‌شود و ممکن است شامل زیرشبکه‌های مختلف از دامنه‌های مدیریتی مختلف و یا فناوری‌های متمایز باشد که به صورت منطقی یا فیزیکی، کامل و یا جزئی از نمونه‌های دیگر برش شبکه جدا شده است. به طور خاص، منابع مرتبط با یک زیرشبکه می‌توانند با پیروی از خط مشی‌ها و ترتیب پیکربندی نمونه برش شبکه، به صورت ایزوله، اشتراکی و یا جدا شده<sup>۶</sup> استفاده شوند.

<sup>۱</sup> Service Instance Layer

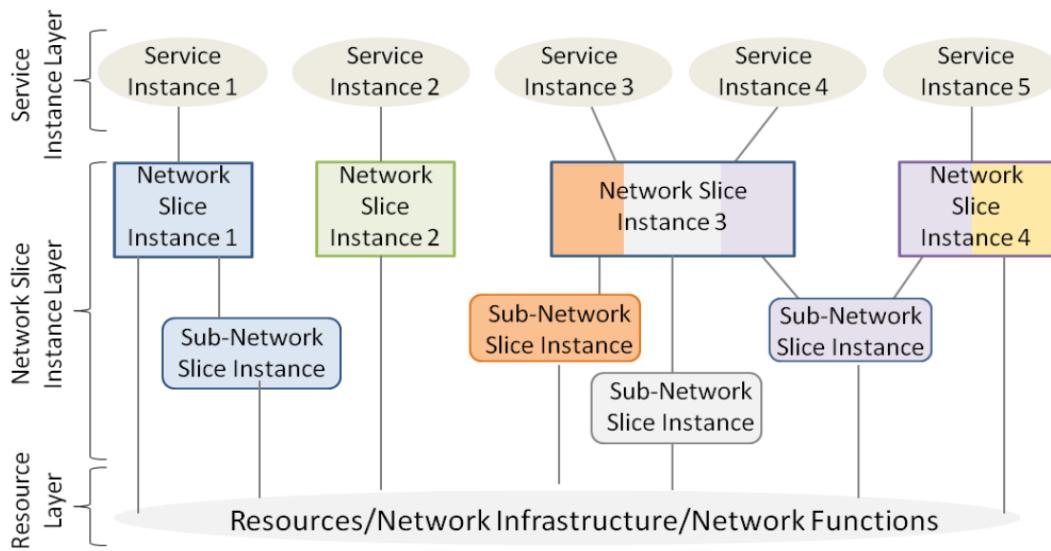
<sup>۲</sup> Network Slice Instance Layer

<sup>۳</sup> Resource Layer

<sup>۴</sup> Sub-network Instance

<sup>۵</sup> IP Multimedia Subsystem

<sup>۶</sup> Disjunctive manner



شکل ۱۱-۵ لایه‌های برش شبکه از دید NGMN [۱۴۰]

برای مثال، یک نمونه برش شبکه می‌تواند به طور انحصاری توسط یک نمونه خدمت استفاده شود و یا بین نمونه‌های خدمت مختلف، که احتمالاً از یک نوع می‌باشند، به اشتراک گذاشته شود. انتزاع‌های مشترک منابع مرتبط و واسطه‌های برنامه‌پذیر و باز، اجازه‌ی کنترل پویا و اتوماسیون نمونه برش‌های شبکه، که معنکس‌کننده‌ی خواسته‌های پویایی خدمت هستند، را می‌دهند.

#### ۵-۴) توسعه یافتن برش‌بندی شبکه توسط 3GPP

3GPP به عنوان متولی استاندارد سازی نسل‌های مختلف شبکه موبایل، استاندارد سازی 5G را نیز بر عهده دارد [۱۲۹]. از منظر 3GPP اولین تفاوت 5G با نسل‌های پیشین در طیف وسیع خدمات قابل ارائه به مشترکین/مستاجرها است. هم‌چنین 3GPP با توسعه فنی فناوری برش‌بندی شبکه، این فناوری را لازمه اصلی پیاده‌سازی سیستم 5G، که باید قابلیت ارائه دادن خدمات متنوعی را داشته باشد، می‌داند. برش‌بندی شبکه در بخش ۱۵-۵ از سند TS 23.501 [۱۲۹] به طور مبسوط بررسی شده است و هدف این پایان‌نامه، ترجمه این سند نیست. در ادامه برای جا افتادن ساز و کار معرفی شده توسط 3GPP برای پیاده‌سازی برش‌بندی، نحوه اکتشاف<sup>۱</sup> و انتخاب برش<sup>۲</sup> بررسی خواهد شد.

عملیات اکتشاف و انتخاب برش شبکه شامل نگاشت یک کاربر به نمونه برش مناسب خودش است. 3GPP مجموعه اولیه‌ای از رویه‌ها برای توانمندسازی اکتشاف و انتخاب برش شبکه تعریف کرده است [۱۲۹].

<sup>۱</sup> Slice Discovery

<sup>۲</sup> Slice Selection

رویه‌های پیشنهادی در [۱۲۹] به اطلاعات کمکی انتخاب برش شبکه (NSSAI<sup>۱</sup>)، که توسط UE در زمان اجرای رویه‌های ثبت پیام‌های NAS و RRC ارسال می‌شود، تکیه دارند. NSSAI برداری با حداکثر ۸ مقدار S-NSSAI<sup>۲</sup> است که برای شناسایی و انتخاب نمونه‌های برش استفاده می‌شود. اساساً NSSAI متشکل از دو مورد زیر است: (۱) یک شناسه خدمت/برش (SST ID<sup>۳</sup>) که مربوط به رفتار پیش‌بینی شده برش شبکه با توجه به ویژگی‌ها و خدمات است، و (۲) یک سری اطلاعات اختیاری به نام تمایزدهنده برش (SD<sup>۴</sup>) که اجازه تفکیک برای انتخاب یک برش شبکه از بین چندین نمونه برش شبکه برای برآورده کردن عملکرد نوع برش/خدمت مورد نظر را می‌دهد.

مقادیر استاندارد SST مهم‌ترین هدف مقادیر استاندارد SST اطمینان از قابلیت همکاری جهانی بین اپراتورها برای برش‌بندی است که رومینگ را برای اکثر خدمات عمومی مانند V2X<sup>۵</sup> و mIoT<sup>۶</sup>، eMBB<sup>۷</sup>، URLLC<sup>۸</sup> فراهم می‌کند. در جدول ۱-۵ مقادیر استاندارد SST‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱-۵: مقادیر استاندارد SST [۱۲۹].

SST ID	نوع خدمت/برش (SST)
۱	ارتباطات موبایل پهن‌باند پیشرفته (eMBB)
۲	ارتباطات بسیار قابل اطمینان با تأخیر پایین (URLLC)
۳	ارتباطات اینترنت اشیا با تراکم بالا (mMTC) معادل mIoT <sup>۶</sup> تعریف شده توسط ITU
۴	ارتباطات خودرو به همه چیز (V2X <sup>۵</sup> )

به محض این که شبکه دسترسی پیام راهاندازی اتصال RRC را دریافت می‌کند، اطلاعات NSSAI آن را استخراج کرده و پیام‌های NAS مربوطه را به مولفه AMF نگاشت‌شده به آن NSSAI رله خواهد کرد. UP<sup>۹</sup> با تابع PDU<sup>۱۰</sup> مربوطه عملیات انتخاب برش را با استفاده از خدمات NRF<sup>۱۱</sup> شروع می‌کند و یک نشست SMF<sup>۱۲</sup> با این نشست در حقیقت AMF، نمونه SMF را برای راهاندازی نشست PDU پس از دریافت پیام مدیریت نشست، انتخاب می‌کند. عملیات اکتشاف/انتخاب SMF بر اساس NRF<sup>۱۳</sup> یا استفاده از S-NSSAI<sup>۱۴</sup> و DNN<sup>۱۵</sup> است. SMF انتخاب شده، یک نشست PDU با استفاده از S-NSSAI<sup>۱۶</sup> و DNN راهاندازی می‌کند. به علت این که امکان دارد یک UE به تنها یک توان طبقه‌بندی برش شبکه در یک زمان خدمت‌دهی

<sup>۱</sup> Network Slice Selection Assistance Information

<sup>۲</sup> Single-NSSAI

<sup>۳</sup> Slice/Service Type ID

<sup>۴</sup> Slice Differentiator

<sup>۵</sup> Network Functions Repository Function

<sup>۶</sup> Protocol Data Unit

<sup>۷</sup> Data Network Name

شود، لازم است AMF به صورت منطقی به هر برش شبکه تعلق داشته باشد. از این رو، AMF باید برای برش‌های شبکه‌ای که به یک UE خدمت‌دهی می‌کنند، مشترک باشد.

شكل ۱۰-۵ استفاده از AMF اشتراکی بین برش‌های مختلف شبکه را نشان می‌دهد. اگر شبکه دسترسی به هر دلیلی نتواند بر اساس NSSAI، یک AMF را انتخاب کند، پیام NAS را به یک AMF پیش‌فرض خواهد فرستاد. همچنانی زمانی که UE، مقداری برای NSSAI در پیام RRC خود مشخص نکند، نیز نیاز به یک AMF پیش‌فرض خواهیم داشت.

راهاندازی نشست PDU در یک برش شبکه باعث فعال‌سازی انتقال داده در یک برش شبکه می‌شود. معمولاً یک شبکه داده (DN<sup>۱</sup>) نیز، S-NSSAI و DNN خودش را دارد. اگر یک UE درخواست برش‌های مختلف شبکه را داشته باشد، اپراتور با توجه به خط مشی انتخاب برش شبکه (NSSP<sup>۲</sup>)، خدمت را برای UE فراهم می‌کند. NSSP شامل یک سری قوانین است که هر کدام آن‌ها یک برنامه کاربردی با یک NSSAI معین را مشخص می‌کند.

---

<sup>۱</sup> Data Network

<sup>۲</sup> Network Slice Selection Policy

## ۵) دسته‌بندی انواع برش‌بندی شبکه

بسته به خصوصیات برش، یک کاربر می‌تواند در برش‌های متعددی شرکت کند، ولیکن برش‌ها همیشه مستقل از یکدیگر هستند. در زمینه شبکه‌های بی‌سیم، می‌توان دو سناریوی اصلی را برای استفاده از برش‌ها در نظر گرفت [۱۴۱]:

- برش بر اساس کیفیت خدمات درخواستی (QoS): ایده این سناریو این است که برش‌های ایجاد شده نوعی از QoS را برای یک نوع خدمت خاص تضمین کنند. برای مثال، یک برش می‌تواند برای خدمت‌دهی به یک گروه خاص از دستگاه‌ها با الزامات یکسان (حسگرها یا گوشی‌های هوشمند) یا بر اساس نوع برنامه کاربردی (برشی مخصوص خدمات چندرسانه‌ای<sup>۱</sup>) ایجاد شود.
- برش برای اشتراک زیرساخت: این سناریو، همان ایده مرسوم مجازی‌سازی شبکه در حوزه بی‌سیم است. مستاجری وجود دارد (مانند اپراتورهای مجازی شبکه موبایل) که یک برش از شبکه به او داده می‌شود و پس از آن، مستاجر دارای کنترل کامل بر روی زیرساخت مجازی شبکه و توابع موجود در برش است (تعريف مساله این پایان‌نامه بر اساس این نوع از برش‌بندی است ولی مستاجر تا حدی هم توانایی تعريف QoS درخواستی خود را دارد).

در زمینه 5G داشتن هر دو سناریوی بالا به صورت همزمان مد نظر است، که این موضوع باعث انعطاف‌پذیری بیشتر شبکه در زمینه ارائه خدمت و پیاده‌سازی مدل‌های تجاری جدید توسط اپراتور شبکه می‌شود. هم‌چنین از دیدگاه جایگاه و سطح برش نیز می‌توان به تعريف برش شبکه پرداخت. یک کلاس‌بندی مناسب از برش شبکه بر این اساس به صورت زیر است [۱۴۱]:

- برش در سطح طیف<sup>۲</sup>: طیف (فرکانس) را می‌توان با تسهیم<sup>۳</sup> زمانی، مکانی یا فرکانسی و یا دسترسی هم‌پوشان<sup>۴</sup> برش زد. این دسته را می‌توان مجازی‌سازی لینک<sup>۵</sup> نیز در نظر گرفت.
- برش در سطح زیرساخت<sup>۶</sup>: برش المان‌های فیزیکی شبکه همچون آتن‌ها، BSها<sup>۷</sup>، پردازنده‌ها و حافظه در این دسته قرار می‌گیرند. این برش‌بندی معمولاً با استفاده از مجازی‌سازی صورت می‌گیرد.
- برش در سطح شبکه<sup>۸</sup>: برش تمام زیرساخت شبکه در این دسته قرار دارد.

<sup>۱</sup> Multimedia Services

<sup>۲</sup> Spectrum-Level Slicing

<sup>۳</sup> Multiplexing

<sup>۴</sup> Overlaid Access

<sup>۵</sup> Link Virtualization

<sup>۶</sup> Infrastructure-Level Slicing

<sup>۷</sup> Base Stations

<sup>۸</sup> Network-Level Slicing

## و) منابع یک برش شبکه

هر منبع، یک واحد قابل مدیریت است که توسط مجموعه‌ای از خصوصیات و قابلیت‌ها تعریف شده و می‌تواند برای انجام خدمت به کار رود. یک برش شبکه از مجموعه‌ای از منابع تشکیل شده که به طور مناسب ترکیب شده‌اند و الزامات خدمتی که برش پشتیبانی می‌کند، را دارا است. در برش‌بندی شبکه دو نوع از منابع را در نظر می‌گیریم [۱۲]:

- **توابع شبکه (NFها):** بلوک‌های عملکردی هستند که قابلیت‌های مخصوص شبکه را برای پشتیبانی و تحقق خدمات مورد نیاز هر کاربرد فراهم می‌کنند. NFها معمولاً به عنوان نمونه‌های نرم‌افزاری بر روی منابع زیرساختی اجرا می‌شوند. NFها می‌توانند به صورت فیزیکی (ترکیبی از سخت‌افزار و نرم‌افزار وابسته به وندور (همان تجهیزات فیزیکی سنتی موجود)) یا به صورت مجازی (نرم‌افزار تابع شبکه جدا از سخت‌افزاری که آن را اجرا می‌کند) پیاده‌سازی شوند.
- **منابع زیرساختی:** سخت‌افزار ناهمگون و نرم‌افزار لازم برای میزبانی و اتصال NFها هستند. این منابع شامل سخت‌افزار رایانشی، ابزار ذخیره‌سازی و منابع شبکه‌ای (مانند لینک‌ها و دستگاه‌های مسیریابی و سوییچینگ، که اتصال شبکه را فراهم می‌کنند) و سرمايه‌های فیزیکی<sup>۱</sup> برای دسترسی رادیویی هستند. برای به کارگیری این منابع و صفات آن‌ها در برش‌بندی شبکه نیاز به انتزاعی‌سازی و تقسیم منطقی<sup>۲</sup> آن‌ها داریم. بدین ترتیب با تعریف منابع مجازی (که می‌توانند همانند منابع فیزیکی مورد استفاده قرار گیرند) و همچنین ساز و کارهای مجازی‌سازی می‌توانیم به طور مطلوب از این منابع استفاده کنیم.

## ز) مدیریت و همنوازنی شبکه

برش‌بندی شبکه با فراهم‌سازی یک اتصال انتهای به انتهای، قابلیت همزیستی فناوری‌های مختلف شبکه بر روی یک زیرساخت مشترک را امکان‌پذیر می‌کند [۵]. برش‌بندی شبکه به یک فرایند حلقه بسته<sup>۳</sup>، که نیازمندی‌های خدمت را برای تضمین عملکرد درخواستی تحلیل می‌کند، متکی است [۱۴۲، ۱۳۷]. این فرایند شامل دو لایه است که در شکل ۱۲-۵ نیز نشان داده شدند [۴]:

- **لایه مدیریت خدمت، وظیفه مدیریت عملیات خدمت را بر عهده دارد.** این عملیات شامل موارد زیر است: (۱) انتزاعی‌سازی، مذاکره، کنترل پذیرش و عملیات Charging مختص صنایع عمودی و شرکای ثالث (گام‌های ۲ و ۳ در شکل ۱۲-۵)، (۲) ساخت خدمت به محض این که یک درخواست برش بر اساس نیازمندی‌های برش و ترکیب آن با الگوی برش مناسب قبول می‌شود (گام‌های ۴ و ۵ در شکل

<sup>۱</sup> Network Functions

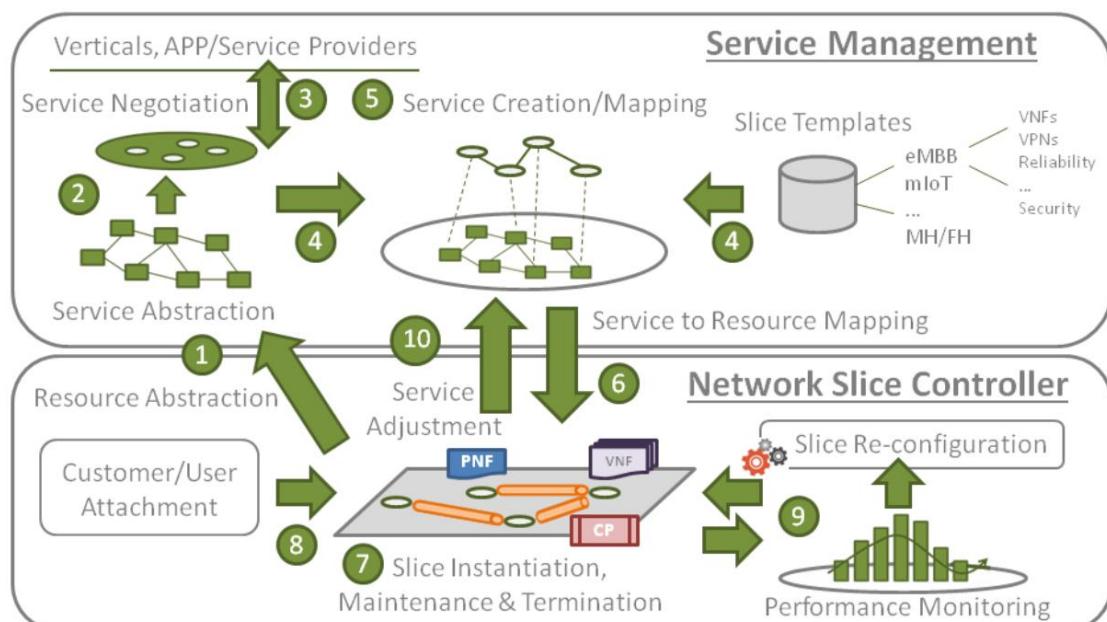
<sup>۲</sup> Physical Assets

<sup>۳</sup> Logical Partitioning

<sup>۴</sup> Closed-Loop Process

۱۲-۵). خدمت خواسته شده شامل ترکیبی از VNF‌ها و UP‌ها، خدمات ارزش افزوده، CP و همچنین ساز و کارهای امنیتی است که در اختیار شبکه زیرین قرار خواهد گرفت (گام ۶ در شکل ۱۲-۵).

- لایه کنترل کننده برش شبکه، انتزاعی از منابع را برای لایه مدیریت خدمت فراهم می‌کند (گام ۱ در شکل ۱۲-۵). این لایه همچنین وظیفه مدیریت منابع برش شبکه و عملیات CP را بر عهده دارد که شامل موارد زیر است: (۱) راهاندازی اولیه منابع برش بر اساس نگاشت به خدمت (گام ۷ در شکل ۱۲-۵)، (۲) عملیات نگهداری با استفاده از رویه‌های ناظارت، تحلیل و پیکربندی دوباره برش (گام ۹ در شکل ۱۲-۵)، و (۳) انتخاب، الصاق<sup>۱</sup> و پشتیبانی از اتصال چندین برش با هم (گام ۸ در شکل ۱۲-۵).



شکل ۱۲-۵ دو لایه مدیریت خدمت و کنترل کننده برش شبکه [۴].

یک نمای کلی از مدیریت خدمت و کنترل کننده برش را در شکل ۱۲-۵ مشاهده می‌کنید. هر وقت پیکربندی دوباره منابع کافی نباشد و یا نتوان تاخیر لازم را برای خدمت مورد نظر تضمین کرد، کنترل کننده برش شبکه برای پیکربندی دوباره بین برش‌ها با مدیر خدمت تماس می‌گیرد تا اصلاحات مورد نظر را برقرار نماید (گام ۱۰ در شکل ۱۲-۵). چنین اصلاحاتی احتمالاً باعث تغییر پارامترهای مربوط به خدمت و یا تخصیص منابع بیشتر به خدمت مورد نظر می‌شوند.

<sup>۱</sup> Attachment

## ح) معماری همنوasaزی برش شبکه

برش‌های شبکه با ترکیب فناوری‌های مختلف شامل VNF‌ها، PNF‌ها، خدمات ارزش افزوده، و همچنین منابع ابری و شبکه‌ای سخت‌افزاری اختصاصی یا مشترک در شبکه‌های RAN، انتقال<sup>۱</sup> و هسته هستند. یک راه حل نمونه برای معماری همنوasaزی برش شبکه، که توسط 5GPPP (در پروژه 5G-NORMA توسعه یافته است در شکل ۱۳-۶ نشان داده شده است. این معماری شامل مولفه‌های زیر است [۲۴، ۱۴]:

- مدیریت و همنوasaزی انتهای خدمت: درخواست‌های برش شبکه را از صنایع عمودی و شرکای ثالث دریافت می‌کند و با در نظر گرفتن SLA درخواستی، الگوی برش و همچنین اعمال کارگزاری برش<sup>۲</sup>، کنترل پذیرش، ارائه خط مشی‌ها و نگاشت خدمت، یک برش ایجاد می‌کند. این مولفه یک گراف خدمت شبکه می‌سازد که در ادامه به همنوasaز منابع مجازی منتقل خواهد شد. همچنین این لایه مسئول برش‌بندی بین چند دامنه نیز می‌باشد.
- همنوasaزی منابع مجازی: مسئول عملیات جاسازی VNF‌ها و راهاندازی اولیه گراف خدمت شبکه مجازی است، و تمام عملیات MANO مربوطه برای مدیریت چرخه عمر نمونه‌های VNF و خدمات ارزش افزوده را انجام می‌دهد.
- کنترل کننده برنامه‌پذیر منابع شبکه: زنجیره‌بندی انعطاف‌پذیر خدمات VNF، کنترل QoE<sup>۳</sup> و برنامه‌پذیری منابع را با تفکیک UP و CP تسهیل می‌کند. این کنترل کننده می‌تواند (۱) یک PNF در VNF زیرساخت شبکه باشد که برنامه‌پذیری شبکه را از طرف شرکای ثالث فراهم کند و یا (۲) یک باشد که به شرکای ثالث اجازه دهد به طور مستقیم، منابع برش تخصیص یافته به خود را برنامه‌ریزی کنند. یک منبع برنامه‌پذیر می‌تواند اختصاصی باشد و یا بین مستاجرها مختلف به اشتراک گذاشته شود. در صورت استفاده از منابع اشتراکی، کنترل کننده برنامه‌پذیر برخی تصمیمات کوتاه‌مدت مانند زمان‌بندی استفاده از منابع را فراهم کرده و همچنین با در نظر گرفتن خط مشی‌های تعیین شده، هماهنگی منابع (مانند مدیریت طیف<sup>۴</sup>) را انجام می‌دهد.
- مدیریت چرخه عمر: همان عملیات مدیریت میراثی<sup>۵</sup> (به اصطلاح OAM<sup>۶</sup>) را انجام می‌دهد. علاوه بر این، مسئول مدیریت عناصر و تامین خط مشی‌ها نیز می‌باشد.

<sup>۱</sup> Transport Network

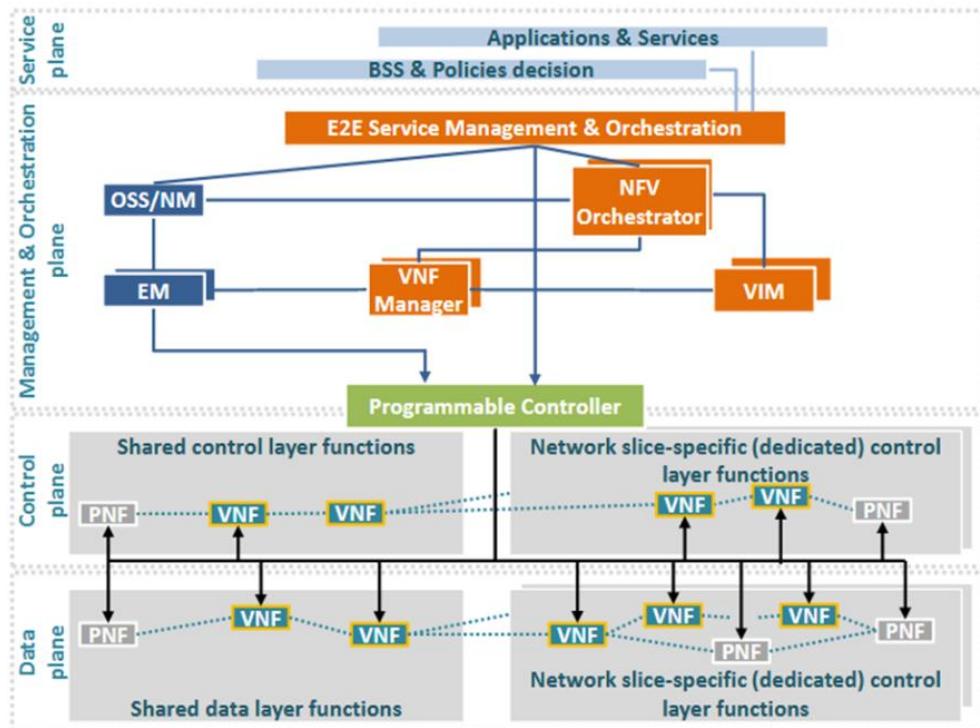
<sup>۲</sup> Slice Brokering

<sup>۳</sup> Quality of Experience

<sup>۴</sup> Spectrum Management

<sup>۵</sup> Legacy Management

<sup>۶</sup> Operations, Administration and Management



شکل ۱۳-۵ معماری همنواسازی شبکه ۵G-NORMA [۱۴].

معماری ذکر شده، تفکیک انعطاف‌پذیر UP و CP را در بخش‌های مشترک و اختصاصی شبکه در نظر گرفته است. اپراتورهای شبکه و ارائه‌دهندگان خدمات می‌توانند با در نظر گرفتن انواع خدمات، مجموعه معینی از اصول را برای سازماندهی همنواسازی برش شبکه تعیین کنند. در [۱۳۱] (که از مقالات منتشر شده توسط دست‌اندرکاران پژوهش ۵G-NORMA است)، معماری همنواسازی برش شبکه با تمرکز بر روی RAN و شبکه هسته توزیع شده، به تفصیل بررسی شده است. این معماری بر پایه اصول پشتیبانی از چند مستاجری و فراهم‌سازی دسته‌های مختلف خدمت بنا شده است.

#### ط) کارگزار برش شبکه (NSB<sup>۱</sup>)

برش‌بندی شبکه برای داشتن صرفه اقتصادی و اطمینان از کارایی مطلوب، از ساز و کاری به نام کارگزار برش شبکه (NSB) استفاده می‌کند. NSB تخصیص بر حسب تقاضای منابع شبکه را با اعمال کنترل پذیرش، مذاکره برای منابع<sup>۲</sup> و درآمدزایی از مشترکین<sup>۳</sup> تسهیل می‌کند. NSB یک دید شبکه سراسری را با استفاده

<sup>۱</sup> Network Slice Broker

<sup>۲</sup> Resource Negotiation

<sup>۳</sup> Charging

از ترکیب نظارت شبکه و پیش‌بینی ترافیک در نظر می‌گیرد، تا دسترس‌پذیری منابع، تاخیر و انعطاف‌پذیری را برای زمان درخواست برش تضمین کند. این مولفه مسئول تخصیص منابع بین برش‌هاست و برای هدایت منابع تخصیص‌یافته، یک خط مشی پیکربندی را انتخاب خواهد کرد.

الگوهای برش شبکه<sup>۱</sup> برای ساختن یک نمونه برش شبکه (NSI<sup>۲</sup>) استفاده می‌شوند. یک NSI مشخصات شبکه مورد نیاز برای یک نمونه خدمت را فراهم می‌کند. یک NSI می‌تواند به صورت اختصاصی برای یک نمونه خدمت یا به صورت اشتراکی بین چند نمونه خدمت استفاده شود. یک الگوی برش شبکه، حاوی توصیف کاملی در مورد ساختار، پیکربندی و روند کار برای راهاندازی و کنترل یک NSI، که منعکس‌کننده ویژگی‌های معین شبکه (مانند تاخیر پایین و قابلیت اطمینان بالا) است، می‌باشد [۱۴۰].

الگوی برش شبکه به منابع فیزیکی و منطقی مورد نیاز و زیرشبکه‌ها<sup>۳</sup> اشاره دارد. برش‌های شبکه طوری طراحی شده‌اند که شامل ساختار و پیکربندی خدمات شبکه مورد نظر باشند و یک توصیف کامل از معماری شبکه برای هدایت راهاندازی و کنترل یک NSI در طول چرخه عمر خود ارائه دهند. از سوی دیگر، یک الگوی برش شبکه، یک بازنمایی منطقی از توابع شبکه و نیازهای مربوط به منابع برای تسهیل خدمات مورد نیاز و قابلیت‌های شبکه‌ای است [۱۴۳].

معماری برش شبکه نتیجه، یک انتزاع از یک شبکه موبایل انتهای بهره‌برداری شده است، که شامل یک سری PNF‌های متصل به هم و یک سری VNF‌های میزبانی شده در محیط مجازی است، که می‌توانند از فراهم‌کننده زیرساخت نیز مستقل باشند. با توجه به معماری ETSI NFV، الگوی برش نتیجه باید مستقل از محیط پیاده‌سازی یا ارائه‌دهنده خدمات مجازی باشد. خط مشی‌های معین تامین منابع بین صاحبان برش‌های شبکه و فراهم‌کننده زیرساخت شبکه باید بر اساس SLA، مورد قبول واقع شود و به آن عمل شود. به محض تامین معین مانند منابع رایانشی و شبکه‌ای، با سطح بالایی از سازگاری برای مدت‌زمان فعالیت برش شبکه، خدمات شبکه قابل اجرا شدن هستند.

به علت محدود بودن منابع شبکه به خصوص در برخی مناطق تحت پوشش و یا پلتفرم‌های ابری، تامین بهینه ظرفیت شبکه و ابر با توجه به نیازهای عملکردی خدمت، اهمیت بالایی دارد. برای این منظور، روش‌های مختلف ایستا و پویای تامین منابع و سیاست‌ها پیشنهاد شده است. برای ارائه‌دهندگان خدمات ابری،

---

<sup>۱</sup> Network Slice Templates/Blueprints

<sup>۲</sup> Network Slice Instance

<sup>۳</sup> Sub-networks

سیاست‌های تامین منابع برای انکاس آگاهی از هزینه [۱۴۴] و آگاهی از خرابی [۱۴۵] نیاز است. برای این منظور، برخی الگوریتم‌ها برای توزیع و زمان‌بندی انعطاف‌پذیر منابع بر حسب تقاضا ارائه شده‌اند. به عنوان مثال در [۱۴۶] یک الگوریتم سه مرحله‌ای شامل کارگزاری منابع<sup>۱</sup>، توزیع مراحل و زمان‌بندی منابع با در نظر گرفتن روش‌های قطعی و آماری پیشنهاد شده است، ضمن این که برخی تکنیک‌های علامت‌گذاری برای مدیریت خرابی نیز استفاده شده است.

---

<sup>۱</sup> Resource Brokering

## ۵) مدیریت چرخه عمر برش‌ها<sup>۱</sup>

در [۷۶] 3GPP مدیریت چرخه عمر یک NSI را از نمونه خدمت لایه بالایی که از NSI استفاده می‌کند، تفکیک کرده است (شکل ۱۱-۵). این تفکیک، باعث مقیاس‌پذیری در تامین برش‌های شبکه، مستقل از نمونه‌های خدمت می‌شود و اشتراک بهینه بین چند خدمت را تسهیل می‌کند. برای مدیریت موثر یک NSI رویه‌های مدیریتی زیر در نظر گرفته می‌شود:

(۱) مدیریت خرابی،

(۲) مدیریت عملکرد،

(۳) مدیریت پیکربندی،

(۴) مدیریت سیاست‌ها<sup>۲</sup> (خط مشی).

مدیریت خدمت در دامنه ارائه‌دهنده خدمات قرار می‌گیرد، در حالی که مدیریت برش‌های شبکه در دامنه اپراتور شبکه انجام خواهد شد. چنین الگویی نیاز به یک واسط B2B<sup>۳</sup> مانند SLA دارد. یک اپراتور شبکه می‌تواند سطوح مختلف کنترل مانند نظارت محض، کنترل محدود برای تشکیل دادن برش‌ها از روی یک الگو، و یا کنترل توسعه‌یافته را برای فراهم‌کننده خدمت ارائه کند. در حالت کنترل توسعه‌یافته، فراهم‌کننده خدمت مسئول راهاندازی VNF‌ها و همچنین MANO خودش است. مدیریت چرخه عمر یک NSI شامل فازهای زیر است:

(۱) آماده‌سازی،

(۲) راهاندازی اولیه، پیکربندی و فعال‌سازی،

(۳) زمان‌اجرا<sup>۴</sup>،

(۴) خاتمه‌دهی<sup>۵</sup>.

مدیریت چرخه عمر برش‌ها توسط CSP انجام می‌شود. چرخه عمر یک نمونه برش شبکه در شکل ۱۴-۵ نشان داده شده است.

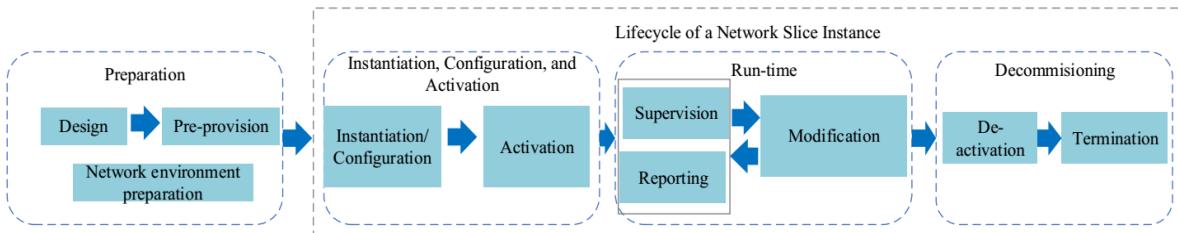
<sup>۱</sup> Network Slice Lifecycle Management

<sup>۲</sup> Policy Management

<sup>۳</sup> Business-to-Business Interface

<sup>۴</sup> Run-time

<sup>۵</sup> Decommissioning



شکل ۱۴-۵ فازهای مدیریت چرخه عمر یک نمونه برش شبکه [۷۶].

فاز آماده‌سازی مسئول انجام فرایندهای قبل از NSI است. این فاز شامل آماده‌سازی شبکه برای راهاندازی اولیه و پشتیبانی یک برش شبکه، که با توجه به الگوی برش شبکه ساخته خواهد شد، می‌باشد. فاز راهاندازی اولیه، پیکربندی و فعال‌سازی به دو زیرفاز تقسیم می‌شود. در فاز راهاندازی اولیه/پیکربندی، که در آن منابع مورد نیاز، چه اختصاصی و چه مشترک، شامل توابع شبکه، پیکربندی و راهاندازی اولیه می‌شوند، ولی هنوز موردن برداری قرار نخواهند گرفت. در زیرفاز فعال‌سازی، NSI فال خواهد شد و ترافیک شبکه و محتوای کاربر را در اختیار خواهد داشت.

فاز زمان‌اجرا بر روی ترافیک داده تمرکز دارد و از انواع مختلف خدمات ارتباطی پشتیبانی خواهد کرد. هم‌چنین، وظیفه هدایت و گزارش عملکرد خدمت شبکه، که حاوی یک فرایند مدیریتی حلقه بسته است، را بر عهده دارد. این فرایند حلقه بسته می‌تواند حاوی پیشنهادهایی برای مقیاس‌دهی<sup>۱</sup> یا پیکربندی دوباره NSI با توجه به نیازهای در حال رشد باشد. در آخر هم، فاز اتمام شامل غیر فال کردن و خاتمه‌ی NSI و هم‌چنین بازپس‌گیری منابع تخصیص‌یافته به NSI است [۷۶].

<sup>۱</sup> Scaling

## فهرست مراجع

- [1] "ITU - RM.2083-0, "IMT Vision – Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and beyond", Sep. 2015."
- [2] A. Manzalini *et al.*, "Towards 5G software-defined ecosystems," 2016.
- [3] S. Retal, M. Bagaa, T. Taleb, and H. Flinck, "Content delivery network slicing: QoE and cost awareness," in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2017: IEEE, pp. 1-6.
- [4] I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini, and H. Flinck, "Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2429-2453, 2018.
- [5] NGMN, "Next Generation Mobile Networks White Paper; View on 5G Architecture," *Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance*, vol. 1, 2015.
- [6] M. M. Tajiki, S. Salsano, L. Chiaraviglio, M. Shojafar, and B. Akbari, "Joint energy efficient and QoS-aware path allocation and VNF placement for service function chaining," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 16, no. 1, pp. 374-388, 2018.
- [7] M. A. T. Nejad, S. Parsaeefard, M. A. Maddah-Ali, T. Mahmoodi, and B. H. Khalaj, "vSPACE: VNF simultaneous placement, admission control and embedding," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, no. 3, pp. 542-557, 2018.
- [8] S. Vassilaras *et al.*, "The algorithmic aspects of network slicing," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 112-119, 2017.
- [9] J. W. Chinneck, *Feasibility and Infeasibility in Optimization:: Algorithms and Computational Methods*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [10] B. Han, J. Lianghai, and H. D. Schotten, "Slice as an evolutionary service: Genetic optimization for inter-slice resource management in 5G networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 33137-33147, 2018.
- [11] V. Sciancalepore, F. Cirillo, and X. Costa-Perez, "Slice as a service (SaaS) optimal IoT slice resources orchestration," in *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, 2017: IEEE, pp. 1-7.
- [12] J. Ordóñez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, and J. Folgueira, "Network slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, architectures, and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 80-87, 2017.
- [13] P. Rost *et al.*, "Mobile network architecture evolution toward 5G," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 5, pp. 84-91, 2016.
- [14] "5G-NORMA Project Deliverable D3.2, "5G NORMA network architecture - Intermediate report" ,Jan. 2017, Available: [http://www.it.uc3m.es/wnl/5gnorma/pdf/5g\\_norma\\_d3-2.pdf](http://www.it.uc3m.es/wnl/5gnorma/pdf/5g_norma_d3-2.pdf)."
- [15] N. Nikaein *et al.*, "Network store: Exploring slicing in future 5G networks," in *Proceedings of the 10th International Workshop on Mobility in the Evolving Internet Architecture*, 2015: ACM, pp. 8-13.
- [16] "OpenAirInterface, Accessed on Nov 2019, Available: <https://www.openairinterface.org/>."
- [17] K. Samdanis, X. Costa-Perez, and V. Sciancalepore, "From network sharing to multi-tenancy: The 5G network slice broker," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 7, pp. 32-39, 2016.
- [18] "3GPP TS 23.251, Network Sharing; Architecture and Functional Description; Rel. 12, Jul. 2015."
- [19] "3GPP TS 32.130, Telecommunication management; Network Sharing; Concepts and requirements; Rel. 12, Jan. 2016."
- [20] "3GPP TR 22.852, Study on Radio Access Network (RAN) Sharing enhancements; Rel. 13, Sep. 2014."

- [21] H. Zhang, N. Liu, X. Chu, K. Long, A.-H. Aghvami, and V. C. Leung, "Network slicing based 5G and future mobile networks: mobility, resource management, and challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 138-145, 2017.
- [22] "ONF TR-526, "Applying SDN Architecture to 5G Slicing," Open Networking Foundation, April 2016."
- [23] "5G PPP Architecture Working Group, "View on 5G Architecture, Version 2.0", Dec 2017, Available: [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper-2-Summer-2017\\_For-Public-Consultation.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2017/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper-2-Summer-2017_For-Public-Consultation.pdf)."
- [24] "5G PPP Architecture Working Group, "View on 5G Architecture, Version 3.0", June 2019, Available: [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper\\_v3.0\\_PublicConsultation.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_v3.0_PublicConsultation.pdf)."
- [25] "ETSI GS NFV-EVE 012 - V3.1.1, "Network function virtualization (NFV) Release 3; Evolution and Ecosystem; Report on Network Slicing Support with ETSI NFV Architecture Framework," December 2017. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gr/NFV-EVE/001\\_099/012/03.01.01\\_60/gr\\_NFV-EVE012v030101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/NFV-EVE/001_099/012/03.01.01_60/gr_NFV-EVE012v030101p.pdf)."
- [26] A. Fendt, L. C. Schmelz, W. Wajda, S. Lohmüller, and B. Bauer, "A Network Slice Resource Allocation Process in 5G Mobile Networks," in *International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, 2018: Springer, pp. 695-704.
- [27] A. S. Tanenbaum and A. S. Woodhull, *Operating systems: design and implementation*. Prentice Hall Englewood Cliffs, 1997.
- [28] A. Fischer, J. F. Botero, M. T. Beck, H. De Meer, and X. Hesselbach, "Virtual network embedding: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 4, pp. 1888-1906, 2013.
- [29] A. MOSEK, "The MOSEK optimization toolbox for MATLAB manual, version 6.0 (revision 135)," *MOSEK ApS, Denmark*, 2012.
- [30] M. Grant and S. Boyd, "CVX: Matlab software for disciplined convex programming, version 2.1," ed, 2014.
- [31] K. Zhu and E. Hossain, "Virtualization of 5G cellular networks as a hierarchical combinatorial auction," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 15, no. 10, pp. 2640-2654, 2015.
- [32] Y. Xiao, M. Hirzallah, and M. Krantz, "Optimizing inter-operator network slicing over licensed and unlicensed bands," in *2018 15th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON)*, 2018: IEEE, pp. 1-9.
- [33] L. Guijarro, J. Vidal, and V. Pla, "Competition in Service Provision between Slice Operators in 5G Networks," *Electronics*, vol. 7, no. 11, p. 315, 2018.
- [34] P. Caballero, A. Banchs, G. de Veciana, and X. Costa-Pérez, "Network slicing games: Enabling customization in multi-tenant networks," in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*, 2017: IEEE, pp. 1-9.
- [35] C. Li, J. Li, Y. Li, and Z. Han, "Bayesian Coalition Formation Game for Virtual 5G Core Network Functions," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 29805-29817, 2019.
- [36] M. Bagaa, T. Taleb, A. Laghrissi, A. Ksentini, and H. Flinck, "Coalitional game for the creation of efficient virtual core network slices in 5G mobile systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, no. 3, pp. 469-484, 2018.
- [37] Z. Zhou, L. Tan, B. Gu, Y. Zhang, and J. Wu, "Bandwidth slicing in software-defined 5G: A stackelberg game approach," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 13, no. 2, pp. 102-109, 2018.
- [38] A. Haurie, J. B. Krawczyk, and G. Zaccour, *Games and dynamic games*. World Scientific, 2012.
- [39] P. Caballero, A. Banchs, G. De Veciana, X. Costa-Perez, and A. Azcorra, "Network slicing for guaranteed rate services: Admission control and resource allocation games," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, 10, pp. 6419-6432, 2018.
- [40] J. Khamse-Ashari, G. Senarath, I. Bor-Yaliniz, and H. Yanikomeroglu, "An agile and distributed mechanism for network slicing in next generation mobile networks," *Preprint available at Researchgate*, 2019.
- [41] A. K. Bashir, R. Arul, S. Basheer, G. Raja, R. Jayaraman, and N. M. F. Qureshi, "An optimal multilayer resource allocation of cloud RAN in 5G using machine learning," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, p. e3627, 2019.

- [42] V. Sciancalepore, K. Samdanis, X. Costa-Perez, D. Bega, M. Gramaglia, and A. Banchs, "Mobile traffic forecasting for maximizing 5G network slicing resource utilization," in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*, 2017: IEEE, pp. 1-9.
- [43] P. Zhao, H. Tian, S. Fan, and A. Paulraj, "Information prediction and dynamic programming-based RAN slicing for mobile edge computing," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 614-617, 2018.
- [44] D. Bega, M. Gramaglia, A. Banchs, V. Sciancalepore, K. Samdanis, and X. Costa-Perez, "Optimising 5G infrastructure markets: The business of network slicing," in *IEEE INFOCOM 2017-IEEE Conference on Computer Communications*, 2017: IEEE, pp. 1-9.
- [45] S. Xiao and W. Chen, "Dynamic Allocation of 5G Transport Network Slice Bandwidth Based on LSTM Traffic Prediction," in *2018 IEEE 9th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, 2018: IEEE, pp. 735-739.
- [46] A. Laghrissi, T. Taleb, and M. Bagaa, "Conformal mapping for optimal network slice planning based on canonical domains," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 36, no. 3, pp. 519-528, 2018.
- [47] R. Li *et al.*, "Deep reinforcement learning for resource management in network slicing," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 74429-74441, 2018.
- [48] D. Bega, M. Gramaglia, M. Fiore, A. Banchs, and X. Costa-Perez, "DeepCog: Cognitive Network Management in Sliced 5G Networks with Deep Learning," in *IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications*, 2019: IEEE, pp. 280-288.
- [49] Y. Kim, S. Kim, and H. Lim, "Reinforcement Learning Based Resource Management for Network Slicing," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 11, p. 2361, 2019.
- [50] N. Van Huynh, D. T. Hoang, D. N. Nguyen, and E. Dutkiewicz, "Optimal and Fast Real-Time Resource Slicing With Deep Dueling Neural Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 37, no. 6, pp. 1455-1470, 2019.
- [51] H. Wang, Y. Wu, G. Min, J. Xu, and P. Tang, "Data-driven dynamic resource scheduling for network slicing: A Deep reinforcement learning approach," *Information Sciences*, vol. 498, pp. 106-116, 2019.
- [52] E. Pateromichelakis and K. Samdanis, "A graph coloring based inter-slice resource management for 5G dynamic TDD RANs," in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2018: IEEE, pp. 1-6.
- [53] F. Y.-S. Lin, C.-H. Hsiao, Y.-F. Wen, and Y.-S. Wu, "Optimization-based resource management strategies for 5g c-ran slicing capabilities," in *2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, 2018: IEEE, pp. 346-351.
- [54] M. Dighriri, A. S. D. Alfoudi, G. M. Lee, T. Baker, and R. Pereira, "Resource allocation scheme in 5G network slices," in *2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 2018: IEEE, pp. 275-280.
- [55] A. A. Gebremariam, M. Chowdhury, M. Usman, A. Goldsmith, and F. Granelli, "SoftSLICE: Policy-based dynamic spectrum slicing in 5G cellular networks," in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2018: IEEE, pp. 1-6.
- [56] Y. L. Lee, J. Loo, T. C. Chuah, and L.-C. Wang, "Dynamic network slicing for multitenant heterogeneous cloud radio access networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 17, no. 4, pp. 2146-2161, 2018.
- [57] M. R. Raza, M. Fiorani, A. Rostami, P. Öhlen, L. Wosinska, and P. Monti, "Dynamic slicing approach for multi-tenant 5G transport networks," *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 10, no. 1, pp. A77-A90, 2018.
- [58] W. Li, Y. Zi, L. Feng, F. Zhou, P. Yu, and X. Qiu, "Latency-Optimal Virtual Network Functions Resource Allocation for 5G Backhaul Transport Network Slicing," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 4, p. 701, 2019.
- [59] M. Rayani, D. Naboulsi, R. Glitho, and H. Elbiaze, "Slicing Virtualized EPC-based 5G Core Network for Content Delivery," in *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, 2018: IEEE, pp. 00726-00729.
- [60] D. Sattar and A. Matrawy, "Optimal Slice Allocation in 5G Core Networks," *IEEE Networking Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 48-51, 2019.

- [61] M. Leconte, G. S. Paschos, P. Mertikopoulos, and U. C. Kozat, "A resource allocation framework for network slicing," in *IEEE INFOCOM 2018-IEEE Conference on Computer Communications*, 2018: IEEE, pp. 2177-2185.
- [62] T. LeAnh, N. H. Tran, D. T. Ngo, and C. S. Hong, "Resource allocation for virtualized wireless networks with backhaul constraints," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 1, pp. 148-151, 2016.
- [63] P. L. Vo, M. N. Nguyen, T. A. Le, and N. H. Tran, "Slicing the edge: Resource allocation for RAN network slicing," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 6, pp. 970-973, 2018.
- [64] A. Fendt, C. Mannweiler, L. C. Schmelz, and B. Bauer, "A formal optimization model for 5G mobile network slice resource allocation," in *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 2018: IEEE, pp. 101-106.
- [65] H. Halabian, "Distributed resource allocation optimization in 5G virtualized networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 37, no. 3, pp. 627-642, 2019.
- [66] A. Fendt, S. Lohmuller, L. C. Schmelz, and B. Bauer, "A Network Slice Resource Allocation and Optimization Model for End-to-End Mobile Networks," in *2018 IEEE 5G World Forum (5GWF)*, 2018: IEEE, pp. 262-267.
- [67] W. Guan, X. Wen, L. Wang, Z. Lu, and Y. Shen, "A service-oriented deployment policy of end-to-end network slicing based on complex network theory," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19691-19701, 2018.
- [68] R. Su *et al.*, "Resource allocation for network slicing in 5G telecommunication networks: A survey of principles and models," *IEEE Network*, 2019.
- [69] G. Wang, G. Feng, W. Tan, S. Qin, R. Wen, and S. Sun, "Resource allocation for network slices in 5G with network resource pricing," in *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, 2017: IEEE, pp. 1-6.
- [70] R. A. Addad, T. Taleb, M. Bagaa, D. L. C. Dutra, and H. Flinck, "Towards modeling cross-domain network slices for 5G," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2018: IEEE, pp. 1-7.
- [71] A. Baumgartner, T. Bauschert, A. M. Koster, and V. S. Reddy, "Optimisation models for robust and survivable network slice design: A comparative analysis," in *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, 2017: IEEE, pp. 1-7.
- [72] R. Wen, G. Feng, W. Tan, R. Ni, S. Qin, and G. Wang, "Protocol function block mapping of software defined protocol for 5G mobile networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 17, no. 7, pp. 1651-1665, 2017.
- [73] "ONF, Software-defined networking: The new norm for networks, 2012, [Online]. Available: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>."
- [74] "ITU-T - Y.3300, Framework of software-defined networking, July 2014."
- [75] "ETSI GS NFV-EVE 005 - V1.1.1, "Network function virtualization (NFV): Ecosystem; Report on SDN Usage in NFV Architectural Framework," December 2015. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-EVE/001\\_099/005/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-EVE005v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-EVE/001_099/005/01.01.01_60/gs_NFV-EVE005v010101p.pdf)."
- [76] "3GPP, TR 28.801; Telecommunication management; Study on management and orchestration of network slicing for next generation network, Rel. 15, April 2018."
- [77] Y. Gao, H. Guan, Z. Qi, B. Wang, and L. Liu, "Quality of service aware power management for virtualized data centers," *Journal of Systems Architecture*, vol. 59, no. 4-5, pp. 245-259, 2013.
- [78] A. Beloglazov, J. Abawajy, and R. Buyya, "Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing," *Future generation computer systems*, vol. 28, no. 5, pp. 755-768, 2012.
- [79] M. Dayarathna, Y. Wen, and R. Fan, "Data center energy consumption modeling: A survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, pp. 732-794, 2015.
- [80] M. Tajallifar, S. Ebrahimi, M. R. Javan, N. Mokari, and L. Chiaraviglio, "QoS-Aware Joint Power Allocation and Task Offloading in an MEC/NFV-enabled C-RAN Network," *arXiv preprint arXiv:1311.6742*, 2019.
- [81] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.

- [82] A. Zakeri, M. Moltafet, and N. Mokari, "Joint Radio Resource Allocation and SIC Ordering in NOMA-Based Networks Using Submodularity and Matching Theory," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2019.
- [83] N. Mokari, F. Alavi, S. Parsaeefard, and T. Le-Ngoc, "Limited-feedback resource allocation in heterogeneous cellular networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 4, pp. 2509-2521, 2015.
- [84] "5G PPP White Paper, "5G empowering verticals", June 2019, Available: [https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE\\_5PPP\\_BAT2\\_PL.pdf](https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf).
- [85] "5G-NORMA Project, Accessed on Nov. 2019, Available: <https://5gnorma.5g-ppp.eu/>."
- [86] "5G!Pagoda Project, Accessed on Nov. 2019, Available: <https://5g-pagoda.aalto.fi/>."
- [87] "Xen Project, Accessed on Nov 2019, Available: <https://xenproject.org/>."
- [88] "VMware vSphere ESXi Bare-Metal Hypervisor, Accessed on Nov 2019, Available: <https://vmware.org>."
- [89] "Kernel Virtual Machine (KVM), Accessed on Nov 2019, Available: <https://linux-kvm.org>."
- [90] "Oracle VM VirtualBox, Accessed on Nov 2019, Available: <https://virtualbox.org>."
- [91] "VMware Fusion, Accessed on Nov 2019, Available: <https://vmware.org>."
- [92] S. Meier, B. Virun, J. Blumert, and M. T. Jones, "IBM Systems Virtualization: Servers, Storage, and Software," *IBM Redbook*, May, 2008.
- [93] J. P. Walters, V. Chaudhary, M. Cha, S. Guercio Jr, and S. Gallo, "A comparison of virtualization technologies for HPC," in *22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (aina 2008)*, 2008: IEEE, pp. 861-868.
- [94] J. E. Smith and R. Nair, "The architecture of virtual machines," *Computer*, vol. 38, no. 5, pp. 32-38, 2005.
- [95] S. Han and H.-W. Jin, "Full virtualization based ARINC 653 partitioning," in *2011 IEEE/AIAA 30th Digital Avionics Systems Conference*, 2011: IEEE, pp. 7E1-1-7E1-11.
- [96] M. G. Xavier, M. V. Neves, F. D. Rossi, T. C. Ferreto, T. Lange, and C. A. De Rose, "Performance evaluation of container-based virtualization for high performance computing environments," in *2013 21st Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing*, 2013: IEEE, pp. 233-240.
- [97] "Linux-VServer, Accessed on Nov 2019, Available: <https://linux-vserver.org>."
- [98] "Solaris Container, Accessed on Nov 2019, Available: <https://oracle.org>."
- [99] "Kubernetes (K8s): An open-source system for automating deployment, scaling, and management of containerized applications, Accessed on Nov 2019, Available: <https://kubernetes.io>."
- [100] "Docker, Accessed on Nov 2019, Available: <https://docker.com>."
- [101] D. Kreutz, F. M. Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, "Software-defined networking: A comprehensive survey," *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, 2015.
- [102] "ONF TR-504, "SDN Architecture Overview," Open Networking Foundation, 2014."
- [103] "ONF TR-521, "SDN Architecture; Issue 1.1," Open Networking Foundation, 2016."
- [104] P. Berde *et al.*, "ONOS: towards an open, distributed SDN OS," in *Proceedings of the third workshop on Hot topics in software defined networking*, 2014: ACM, pp. 1-6.
- [105] "ONOS: An Overview, Accessed on Nov 2019, Available: <https://wiki.onosproject.org>."
- [106] "M-CORD: Mobile CORD - Enable 5G on CORD, Accessed on Nov 2019, Available: <https://opencord.org>."
- [107] L. Peterson *et al.*, "Central office re-architected as a data center," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 10, pp. 96-101, 2016.
- [108] J. Medved, R. Varga, A. Tkacik, and K. Gray, "Opendaylight: Towards a model-driven sdn controller architecture," in *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014*, 2014: IEEE, pp. 1-6.
- [109] "OpenDaylight, Accessed on Nov 2019, Available: <https://.opendaylight.org>."
- [110] "ETSI GS NFV 002 V1.1.1, "Network function virtualization (NFV): Architecture framework," December 2014. Available: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/nfv/001\\_099/002/01.02.01\\_60/gs\\_nfv002v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/nfv/001_099/002/01.02.01_60/gs_nfv002v010201p.pdf)."
- [111] J. G. Herrera and J. F. Botero, "Resource allocation in NFV: A comprehensive survey," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 518-532, 2016.

- [112] A. M. Medhat, T. Taleb, A. Elmangoush, G. A. Carella, S. Covaci, and T. Magedanz, "Service function chaining in next generation networks: State of the art and research challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 2, pp. 216-223, 2016.
- [113] "ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1, "Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration," December 2014." [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV-MAN/001\\_099/001/01.01.01\\_60/gs\\_NFV-MAN001v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV-MAN/001_099/001/01.01.01_60/gs_NFV-MAN001v010101p.pdf)
- [114] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, S. Latré, M. Charalambides, and D. Lopez, "Management and orchestration challenges in network functions virtualization," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 1, pp. 98-105, 2016.
- [115] "TOSCA Modeling Overview, 2018, Available: <https://www.oasis-open.org/committees/download.php/62645/TOSCA%20Overview%202018%2002%2026.pdf>."
- [116] "IETF RFC 6020, YANG - A Data Modeling Language for the Network Configuration Protocol (NETCONF), Oct. 2010."
- [117] "ECOMP (Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy) Architecture; AT&T Corp. White Paper, 2016, Available: <https://about.att.com/content/dam/snrdocs/ecomp.pdf>."
- [118] "OPEN-O Project at a Glance, Accessed on Nov 2019, Available: <https://open-o.org>."
- [119] "ONAP (Open Network Automation Platform) Project, Accessed on Nov 2019, Available: <https://onap.org>."
- [120] A. Lenk, M. Klems, J. Nimis, S. Tai, and T. Sandholm, "What's inside the Cloud? An architectural map of the Cloud landscape," in *2009 ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing*, 2009: IEEE, pp. 23-31.
- [121] P. Garcia Lopez *et al.*, "Edge-centric computing: Vision and challenges," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 45, no. 5, pp. 37-42, 2015.
- [122] "M. Abdelshkour, "IoT, from Cloud to Fog Computing", blogs@Cisco - Cisco Blogs, 2015, Available: <https://blogs.cisco.com/perspectives/iot-from-cloud-to-fog-computing>."
- [123] "ETSI Introductory Technical White Paper, "Mobile Edge Computing," ETSI MEC, Sep. 2014." [http://portal.etsi.org/NFV/NFV\\_White\\_Paper.pdf](http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf)
- [124] "3GPP TS 23.711, Enhancement of Dedicated Core Networks Selection Mechanism, Rel. 14, Sep 2019."
- [125] "ETSI GS NFV 002 V1.2.1, "Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework," December 2014." [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/NFV/001\\_099/002/01.02.01\\_60/gs\\_NFV002v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/NFV/001_099/002/01.02.01_60/gs_NFV002v010201p.pdf)
- [126] T. Taleb *et al.*, "EASE: EPC as a service to ease mobile core network deployment over cloud," *IEEE Network*, vol. 29, no. 2, pp. 78-88, 2015.
- [127] "3GPP TR 23.707, Architecture enhancements for dedicated core networks; Stage 2, Rel. 13, Dec. 2014."
- [128] A. Ksentini and N. Nikaein, "Toward enforcing network slicing on RAN: Flexibility and resources abstraction," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 6, pp. 102-108, 2017.
- [129] "3GPP TS 23.501, System Architecture for the 5G System, Rel. 15, Sep. 2019."
- [130] "3GPP TR 23.799, Study on Architecture for Next Generation System, Rel.14, Dec. 2016."
- [131] P. Rost *et al.*, "Network slicing to enable scalability and flexibility in 5G mobile networks," *IEEE Communications magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 72-79, 2017.
- [132] S. N. T.-c. Chiueh and S. Brook, "A survey on virtualization technologies," *Rpe Report*, vol. 142, 2005.
- [133] R. P. Goldberg, "Survey of virtual machine research," *Computer*, vol. 7, no. 6, pp. 34-45, 1974.
- [134] A. Lindquist, R. Seeber, and L. Comeau, "A time-sharing system using an associative memory," *Proceedings of the IEEE*, vol. 54, no. 12, pp. 1774-1779, 1966.
- [135] "PlanetLab: An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services, Accessed on Nov 2019, Available: <https://www.planet-lab.org/>."
- [136] L. Peterson and T. Roscoe, "The design principles of PlanetLab," *ACM SIGOPS operating systems review*, vol. 40, no. 1, pp. 11-16, 2006.
- [137] A. Nakao *et al.*, "End-to-end network slicing for 5G mobile networks," *Journal of Information Processing*, vol. 25, pp. 153-163, 2017.
- [138] M. Berman *et al.*, "GENI: A federated testbed for innovative network experiments," *Computer Networks*, vol. 61, pp. 5-23, 2014.

- [139] N. McKeown *et al.*, "OpenFlow: enabling innovation in campus networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 38, no. 2, pp. 69-74, 2008.
- [140] NGMN, "NGMN 5G P1; Requirements and Architecture; Work Stream End-to-End Architecture; Description of Network Slicing Concept Version 1.0 (Final Deliverable), Jan. 2016," *Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance*, vol. 1, 2015.
- [141] M. Richart, J. Baliosian, J. Serrat, and J.-L. Gorricho, "Resource slicing in virtual wireless networks: A survey," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 13, no. 3, pp. 462-476, 2016.
- [142] S. Sharma, R. Miller, and A. Francini, "A cloud-native approach to 5G network slicing," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 120-127, 2017.
- [143] "ITU, Draft Technical Report (O-041); Report on Application of Network Softwarization to IMT-2020, FG-IMT2020, Dec. 2016."
- [144] R. Tripathi, S. Vignesh, and V. Tamarapalli, "Cost-aware capacity provisioning for fault-tolerant geo-distributed data centers," in *2016 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)*, 2016: IEEE, pp. 1-8.
- [145] A. Giorgetti, N. Andriolli, L. Valcarenghi, and P. Castoldi, "Failure-aware idle protection capacity reuse," in *GLOBECOM'05. IEEE Global Telecommunications Conference, 2005.*, 2005, vol. 4: IEEE, pp. 5 pp.-1899.
- [146] B. Javadi, P. Thulasiraman, and R. Buyya, "Cloud resource provisioning to extend the capacity of local resources in the presence of failures," in *2012 IEEE 14th International Conference on High Performance Computing and Communication & 2012 IEEE 9th International Conference on Embedded Software and Systems*, 2012: IEEE, pp. 311-319.

## عِلَّمَ اخْتَصَارِي

3GPP	3rd Generation Partnership Project	MNO	Mobile Network Operator
4G	The Fourth Generation of Mobile Networks	MSP	Mobile Service Provider
5G	The Fifth Generation of Mobile Networks	MVNO	Mobile Virtual Network Operator
5GC	5G Core	NAS	Non-Access Stratum
5G-NORMA	5G NOvel Radio Multiservice Adaptive network architecture	NBI	Northbound Interface
5GPPP	5G Infrastructure Public Private Partnership	NE	Nash Equilibrium
AC	Admission Control	NEF	Network Exposure Function
AC-DLA	Admission Control for Disjoint Virtual Links Allocation	NF	Network Function
AC-DMA	Admission Control for Disjoint Virtual Machines Allocation	NFV	Network Function Virtualization
AC-DRA	Admission Control for Disjoint Resource Allocation	NFVI	Network Function Virtualization Infrastructure
AC-JRA	Admission Control for Joint Resource Allocation	NFV-MANO	Network Function Virtualization Mangaement and Orchestration
ADMM	Alternating Direction Method of Multipliers	NFVO	NFV Orchestrator
AMF	Access and Mobility Function	NGMN	Next-Generation of Mobile Networks
AN	Access Network	NRF	NF Repository Function
API	Application Programming Interface	NS	Network Slice
ASDC	AT&T Service Design and Creation	NSB	Network Slice Broker
AT&T	American Telephone and Telecommunication Company	NSF	United States National Science Foundation
AUSF	Authentication Server Function	NSI	Network Slice Instance
B2B	Business-to-Business	NSSAI	Network Slice Selection Assistance Information
BBU	BaseBand Unit	NSSF	Network Slice Selection Function
BLP	Binary Linear Programming	NSSI	Network Slice Subnet Instance
BNLP	Binary Non-Linear Programming	NSSP	Network Slice Selection Policy
BS	Base Station	NST	Network Slice Template

BSS	Operations Support System	O	Optimization
BW	Bandwidth	OAI	OpenAir Interface
CAPEX	Capital Expenditures	OAM	Operations, Administration and Management
CDN	Content Delivery Network	OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
CN	Core Network	ONAP	Open Network Automation Platform
CO	Central Office	ONF	Open Networking Foundation
Com	Computing Capacity	ONOS	Open Network Operating System
CORD	Central Office Re-architected as a Datacenter	OPEX	Operational Expenditures
COTS	Commercial-off-the-Shelf	OSS	Operations Support System
CP	Control Plane	PCF	Policy Control Function
CPU	Reinforcement Learning	PCRF	Policy and Charging Rules Function
C-RAN	Heterogeneous Cloud-Radio Access Network	PDCP	Packet Data Convergence Protocol
CriC	Critical Communications	PDU	Protocol Data Unit
CSP	Communication Service Provider	PGW	Packet Data Network Gateway
DC	Data Center	PNF	Physical Network Function
DCN	Dedicated Core Networks	PoP	Point of Presence
DECOR	Dedicated Core	PRB	Physical Resource Block
DL	Downlink	Prop	Propagation Delay
DLA	Disjoint Virtual Links Allocation	QoE	Quality of Experience
DMA	Disjoint Virtual Machines Allocation	QoS	Quality of Service
DN	Data Network	R/FR	Robustness / Failure Recovery Models
DP	Data Plane	RAM	Random Access Memory
DRA	Disjoint Resource Allocation	RAN	Radio Access Network
DRL	Deep Reinforcement Learning	RAT	Radio Access Technology
E2E	End-to-End	RL	Reinforcement Learning
E2E-O	End-to-End Orchestrator	RRC	Radio Resource Control
EC2	Elastic Cloud Compute	SBA	Service-Based Architecture
ECOMP	Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy	SBI	Service-Based Interface
eDECOR	Enhanced Dedicated Core	SC	Slice Customer
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	SD	Slice Differentiator
eNB	Evolved Node B	SDN	Software-Defined Network
EPC	Evolved Packet Core	SDN-C	Software-Defined Network Controller
EPCaaS	EPC as a Service	SFC	Service Function Chain(ing)
EPS	Evolved Packet System	SGW	Serving Gateway
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	SID	Slice Identification

EU	European Union	SLA	Service-Level Agreement
eV2X	Enhanced Vehicular to Everything	SlaaS	Slice as a Service
FD	Forwarding Device	SMARTER	New Services and Market Enablers Working Group
gNB	Next Generation Node B	SMDP	Semi-Markov Decision Process
GP	Geometric Programming	SMF	Session Management Function
GR	Group Report	SMS	Short Message Service
GS	Group Specification	S-NSSAI	Single Network Slice Selection Assistance Information
GT	Game Theory	SOA	Service-Oriented Architecture
H-CRAN	Heterogeneous Cloud-Radio Access Network	SP	Slice Provider
HSS	Home Subscriber Server	SST	Slice/Service Type
HW	Holt-Winters Model	Sto	Storage Capacity
IaaS	Infrastructure as a Service	SVM	Support Vector Machine
IC	Infrastructure SDN Controller	SVR	Support Vector Regression
ICN	Information-Centric Networks	TC	Tenant SDN Controller
IETF	Internet Engineering Task Force	TDM	Time Division Duplexing
ILP	Integer Linear Programming	TN	Transport Network
IMS	IP Multimedia Subsystem	TOSCA	Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications
IMT-2020	International Mobile Telecommunications: 2020 Vision	TR	Technical Report
IMT-A	International Mobile Telecommunications: Advanced Vision	TS	Technical Specification
INLP	Integer Non-Linear Programming	TTM	Time-To-Market
InP	Infrastructure Provider	UC3M	Universidad Carlos III de Madrid
IoT	Internet of Things	UDM	Unified Data Management
IPM	Interior Point Method	UDR	Unified Data Repository
ITU	International Telecommunication Union	UE	User Equipment
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Sector	UL	Uplink
JRA	Joint Resource Allocation	UP	User Plane
KVM	Kernel-based Virtual Machine	UPF	User Plane Function
LF	Linux Foundation	URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communications
LSTM	Long-Short Term Memory	V2X	Vehicle-to-Everything Communications
LTE	Long-Term Evolution	vEPC	Virtual Evolved Packet Core
MAC	Media Access Control	VIM	Virtualized Infrastructure Manager
MANO	Management and Orchestration (M&O)	VM	Virtual Machine

MBB	Mobile BroadBand	VMM	Virtual Machine Monitor
M-CORD	Mobile Central Office Re-architected as a Datacenter	VNE	Virtual Network Embedding
MEC	Multi-Access (Mobile) Edge Computing	VNF	Virtual Network Function
Mem	Memory Capacity	VNF-FG	Virtual Network Functions Forwarding Graph
METIS	Mobile and wireless communication Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society	VNFM	VNF Manager
MILP	Mixed Integer Linear Programming	VPS	Virtual Private Servers
MINCP	Mixed Integer Non-Convex Programming	WAN	Wide Area Network
MINLP	Mixed Integer Non-Linear Programming	WDM	Wavelength-Division Multiplexing
mIoT	Massive Internet of Things	WIM	WAN Infrastructure Manager
ML	Machine Learning	YAML	Yet Another Modeling Language
MME	Mobility Management Entity	YANG	Yet Another Next Generation
mMTC	Massive Machine Type Communications		

## واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی

Heuristic	ابتکاری	Closed Loop Procedures	رویه‌های حلقه بسته
Mobile Network Operator	اپراتور شبکه موبایل	Micro-Slice	ریز برش
Mobile Virtual Network Operator	اپراتور مجازی موبایل	Micro-Service	ریز خدمت
Cloud Federation	اتحاد ابر	Run-time	زمان اجرا
International Telecommunication Union Connectivity	اتحادیه جهانی مخابرات اتصال	Scheduling	زمان‌بندی
Best Effort Connectivity	اتصال بهترین تلاش	Context	زمینه
Automation	اتوماسیون	Chaining	زنجبیربندی
Proof of Concept	اثبات مفهوم	Service Function Chain	زنجبیره توابع خدمت
Dedicated	اختصاصی	Suboptimal	زیربهینه
Communication Services Provider	ارائه‌دهنده خدمات مخابراتی	Infrastructure	زیرساخت
Ultra Reliable and Low Latency Communications	ارتباطات بسیار قابل اطمینان با تاخیر پایین	IP Multimedia Subsystem	زیرسیستم چند رسانه‌ای IP
Massive Machine Type Communications	ارتباطات ماشینی با تراکم بالا	Sub-network	زیرشبکه
Enhanced Mobile Broadband	ارتباطات موبایل پهن‌باند پیشرفته	Subproblem	زیرمساله
Resiliency	ارتجاع	Sub-network Instance	زیرنمونه شبکه
Orchestrator	هم‌نواساز	Mechanism	ساز و کار
Congestion	ازدحام	Feedback Mechanism	ساز و کار بازخورد
On-The-Fly Deployment	استقرار (یک خدمت) بدون قطعی (بقیه خدمات)	Request-and-Decision Mechanism	ساز و کار درخواست و تصمیم‌گیری
Time Sharing	اشتراک زمانی	Enterprise	سازمان
Network Sharing	اشتراک شبکه	Lightweight	سبک وزن
Continuous Reconciliation	آشتی مداوم	Overhead	سروار
Empirical Knowledge	اطلاعات تجربی	Asset	سرمایه
Policy Information	اطلاعات خط مشی	Commodity Servers	سرورهای ارزان قیمت
Network Slice Selection Assistance Information	اطلاعات کمکی انتخاب برش شبکه	Voice Service	خدمت صدا
Scale out	افزایش مقیاس	Service-Based	خدمت‌محور
Redundancy	افزونگی	Data Plane	سطح داده
Discovery	اکتشاف	User Plane	سطح کاربر
Preparation	آماده‌سازی	Control Plane	سطح کنترل
Feasible	امکان‌پذیر	Service Customization	سفارشی‌سازی خدمت
		Firmware	soft‌افزار

Infeasible Selection	امکان ناپذیر انتخاب	Deliverable Policy	سند رسمی قابل تحويل سیاست / خط مشی
Hierarchical Abstraction	انتزاع سلسله‌مراتبی	Transport Network	شبکه انتقال
Abstraction	انتزاعی‌سازی	Content Delivery Network	شبکه توزیع محتوا
End-to-End	انتها به انتهای	Data Network	شبکه داده
Service Fulfillment	انجام خدمت	Campus Network	شبکه دانشگاهی
Service-Oriented Adaptation	انطباق خدمت‌محور	Radio Access Network	شبکه دسترسی رادیویی
Base Station	ایستگاه پایه	Clean Slate Network	شبکه کاملاً مجرزا
Internet of Things	اینترنت اشیاء	Edge-Centric Networking	شبکه لبه‌محور
Workload	بار کاری	Logical Mobile Network	شبکه موبایل منطقی
Fisher Market	بازار فیشر	Software-Defined Network	شبکه نرم‌افزار محور
Recursive	بازگشتی	Core Network	شبکه هسته
Remapping	بازنگاشت	Overlay Network	شبکه هم‌پوشان
Coalition Formation Game	بازی تشکیل ائتلاف	Information-Centric Networks	شبکه‌های اطلاعات-محور
Bayesian Coalition Formation Game	بازی تشکیل ائتلاف بیزی	Third Party	شریک ثالث
Matching Game	بازی جورسازی	Transparent	شفاف
Auction Game	بازی حراج	Slice ID	شناسه برش
Failure Recovery	بازیابی شکست (خرابی)	Attachment	الصاق
Player	بازیگر	Cost-Efficient	صرفه‌جویی در هزینه
Partitioning	بخش‌بندی	Vertical Industry	صنعت عمودی
On-Demand	بر حسب تقاضا	Spectrum	طیف
Network Slice	برش شبکه	Memory Capacity	ظرفیت حافظه
Network Slicing	برش‌بندی شبکه	Computing Capacity	ظرفیت رایانشی
Integer Linear Programming	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح	Agent	عامل
Mixed Integer Linear Programming	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی	Closed-Form Expression	عبارت فرم-بسه
Geometric Programming	برنامه‌ریزی هندسی	Fairness	عدالت
Platform	بستر	Uncertainty	عدم قطعیت
Deployment Platform	بستر استقرار	Socially Optimal Performance	عملکرد بهینه اجتماعی
Tightly-Coupled	بسیار وابسته	Monolithic Network Elements	عناصر شبکه یکپارچه
Backhaul	بک‌هال	Manual Manner	غیر خودکار
Physical Resource Blocks	بلوک منبع فیزیکی	Disjoint	غیر مشترک
US National Science Foundation	بنیاد ملی علوم ایالات متحده	Inelastic	غیرکشسان
Dynamic Sharing	به اشتراک‌گذاری پویا	Metaheuristic	فرا ابتکاری
Carrier-Grade	به شدت قابل اعتماد	Uplink	فراسو
Utilization	بهره‌وری	Provisioning	فراهم‌سازی / تهیه
Optimal	بهینه	Mobile Service Provider	فراهم‌کننده خدمات موبایل
Optimization	بهینه‌سازی	Provider	فراهم‌کننده

Utility Maximization	بیشینه‌سازی سودمندی	Infrastructure Provider	فراهم‌کننده زیرساخت
Inter-Slice	بین برشی	Semi-Markov Decision Process	فرایند تصمیم‌گیری نیمه-مارکف
Robustness	پایداری	Downlink	فروسو
Accept	پذیرفتن	Data Seasonality	فصلی بودن داده‌ها
Fulfilled	پُر	Space of Resource Feasibility	فضای امکان پذیری منبع
Flag	پرچم	Storage Capacity	فضای ذخیره‌سازی
Ubiquitous Coverage	پوشش کامل	Cache Storage	فضای ذخیره‌سازی نهان
Prediction	پیش‌بینی	Activation	فعال‌سازی
Bid	پیشنهاد	Merge and Split Rule	قاعده ادغام و تقسیم
Configuration	پیکربندی	Resource Efficiency	کارایی منابع
Reconfiguration	پیکربندی دوباره	Use Case	کاربرد
Modular	پیمانه‌ای	Broker	کارگزار
User Association	پیوند کاربران	Container	کانتینر
Inverse Spatial Transformation Function	تابع تبدیل مکانی معکوس	Scale in	کاهش مقیاس
Authentication Server Function	تابع سرور احراز هویت	Encode	کدگذاری
User Plane Function	تابع سطح کاربر	Elasticity	کشسانی
Utility Function	تابع سودمندی	Big Data	کلان‌داده
Network Function	تابع شبکه	Admission Control	کنترل دسترسی
Physical Network Function	تابع فیزیکی شبکه	Controller	کنترل‌کننده
Policy Control Function	تابع کنترل خط مشی	Quality of Experience	کیفیت تجربه کاربری
Virtual Network Function	تابع مجازی شبکه	Quality of Service	کیفیت خدمات
NF Repository Function	تابع مخزن توابع شبکه	Throughput	گذردهی
Access and Mobility Function	تابع مدیریت دسترسی و تحرک‌پذیری	Forwarding Graph	گراف ارسال
Session Management Function	تابع مدیریت نشست	Cloud Node	گره ابری
Cost Function	تابع هزینه	Template	الگو
Execution Delay	تأخير اجرا	Value Iteration Algorithm	الگوریتم تکرار مقادیر
Transmission Delay	تأخير ارسال	Cloud-Native Scheme	الگوی ابری کردن شبکه
Propagation Delay	تأخير انتشار	Branch and Bound Scheme	الگوی شاخه و حد
Packet Delay	تأخير بسته	Virtualization Layer	لایه مجازی‌ساز
Decomposition	تجزیه	Service Instance Layer	لایه نمونه خدمت
User Equipment	تجهیزات کاربر	Virtual Machine	ماشین مجازی
Mobility	تحرک‌پذیری	Elasticization Variable	متغیر کشسان‌سازی
Resource Allocation	تخصیص منابع	Thickness Variables	متغیرهای غلظت
Composition	ترکیب	Symmetric	متقارن
Multiplexing	تسهیم	Client	متضاد
Time Division Duplexing	تسهیم زمانی دوطرفه	Hypervisor	ماژاری‌ساز

Capture	تصرف	Hosted Hypervisor	مجازی ساز میزبانی شده
Guarantee	تضمين	Virtualization	مجازی سازی
Service Assurance	تضمين خدمت	Network Function Virtualization	مجازی سازی توابع شبکه
Multiple Subnet Coordination Cooperative	تعاون چند زیرشبکه	Convex	محبوب
Wavelength-division multiplexing	تعاونی	Multi-Cellular Environment	محیط چند سلوله
Price Differentiation	تفکیک قیمتها	Time-Series Based Prediction Model	مدل پیش‌بینی مبتنی بر سری زمانی
Iterative	تکرار شونده	Business Model	مدل تجاری
Differentiator	تمایزدهنده	Resource Commitment Model	مدل تعهد منبع
Acquisition	تملک	Chance-Constrained Model	مدل محدود شده با شانس
Resource Provisioning	تهیه منابع	Holt-Winters Model	مدل هولت-وینترز
Nash Equilibrium	توازن نش	Subscription Management	مدیریت اشتراک
Service-Level Agreement	موافقتنامه سطح خدمات	Lifecycle Management	مدیریت چرخه عمر
Uniform Distribution	توزيع یکنواخت	Management and Orchestration	مدیریت و همنوasaزی
Registration	ثبت	Unified Data Management	مدیریت واحد داده
Self-Contained	جامع	Negotiation	مذاکره
Embedding	جایابی	Complexity Order	مرتبه پیچیدگی
Placement	جایابی	Data Center	مرکز داده
Virtual Network Functions Placement	جایابی بهینه توابع مجازی شبکه	Unsplittable commodity flow problem	مساله شاره چندکالایی تقسیم‌نپذیر
Virtual Network Embedding	جایابی شبکه مجازی	Tenant	مستاجر
Disjunctive	جدا شده	Rerouting	مسیریابی دوباره
Framework	چارچوب	Joint	مشترک
Policy Framework	چارچوب خط مشی	Customer	مشتری
Polynomial	چند جمله‌ای	End-User	مشتری نهایی
Multi-tenant	چند مستاجره	Trade-Off	مصالحه
Multi-Tenancy	چند مستاجری	Power Consumption	صرف توان
Multitasking	چند وظیفگی	Functional Architecture	معماری کارکردی
Multimedia	چندرسانه‌ای	Scaling	مقیاس‌بندی
User Dropping	حذف کاربران	Federated Resources	منابع متحد
Closed Control Loop	حلقه کنترلی بسته	One Size Fits All	مناسب برای تمام شرایط
Solver	حل کننده	European Telecommunications Standards Institute	موسسه استاندارد سازی مخابرات اروپا
Decommissioning	خاتمه (آزادسازی منابع)	Intersection	میانجیگری
Net Social Welfare	خالص رفاه اجتماعی	Legacy	میراثی
Failure	خرابی (شکست)	Virtual Machine Monitor	ناظر ماشین مجازی
		Heterogeneous	ناهمگون

Linearization	خطی‌سازی	نرخ پذیرش
Canonical Domain	دامنه متعارف	نرخ داده
Data Exposure	در اختیار گذاشتن داده‌ها	نرخ ورودی
Charging	درآمدزایی (از مشترکین)	نرم‌افزاری کردن شبکه
Slice Request	درخواست برش	نزدیک به بهینه
Intra-Slice	درون برشی	نشانگر
Availability	دسترس پذیری	نشست
Orthogonal Frequency-Division Multiple Access	دسترسی چندگانه با تقسیم فرکانس عمود بر هم	نظریه بازی‌ها
Overlaid Access	دسترسی همپوشان	نقطه به نقطه
Forwarding Device	دستگاه ارسال	نقطه حضور
Central Office	دفتر مرکزی	نقطه مرجع
Bi-Convex	دو-محدب	نگاشت شوارتز-کریستوفل
Deep Dueling	دوئل عمیق	نگاشت منبع زوج-تصمیم
Stakeholder	ذینفع	نمایش
Connection Setup	راهاندازی اتصال	نمونه برش شبکه
Initiation	راهاندازی اولیه	نمونه تابع
Cloud Computing	رایانش ابری	نمونه نمایشی
Fog Computing	رایانش در مه	هزینه‌های سرمایه‌ای
Edge Computing	رایانش لبه	هزینه‌های عملیاتی
Mobile Edge Computing	رایانش لبه‌ای موبایل	هسته
Reject	رد کردن	واسط
Redundant Resource Reservation	رزرواسیون افزونه منابع	واسط برنامه‌نویسی
Service Treatment	رفتار خدمتی	ابلیکیشن
Support Vector Regression	رگرسیون بردار پشتیبانی	واسط جنوبی
Interior Point Method	روش نقطه داخلی	واسط شمالی
Roaming	رومینگ	یادگیری تقویتی
Trend	رونده	یادگیری عمیق
Flowchart	روندنما	یادگیری ماشین
Acceptance Ratio		
Data Rate		
Arrival Rate		
Network Softwarization		
Near-Optimal		
Indicator		
Session		
Game Theory		
Point-to-Point		
Point of Presence		
Reference Point		
Shwarz-Christoffel Mapping		
Pair-Decision Resource Mapping		
Representation		
Network Slice Instance		
Function Instance		
Demonstration (Demo)		
Capital Expenditures		
Operational Expenditures		
Kernel		
Interface		
Application programming Interfaces		
Southbound Interface		
Northbound Interface		
Reinforcement Learning		
Deep Learning		
Deep Reinforcement Learning		
Machine Learning		

## واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی

انتزاعی‌سازی	Abstraction	رایانش لبه‌ای موبایل	Mobile Edge Computing
پذیرفتن	Accept	اپراتور شبکه موبایل	Mobile Network Operator
نرخ پذیرش	Acceptance Ratio	فراهم‌کننده خدمات موبایل	Mobile Service Provider
تابع مدیریت دسترسی و تحرک‌پذیری	Access and Mobility Function	اپراتور مجازی موبایل	Mobile Virtual Network Operator
تملک	Acquisition	تحرک‌پذیری	Mobility
فعال‌سازی	Activation	پیمانه‌ای	Modular
کنترل دسترسی	Admission Control	عناصر شبکه یکپارچه	Monolithic Network Elements
عامل	Agent	محیط چند سلوله	Multi-Cellular Environment
واسط برنامه‌نویسی اپلیکیشن	Application programming Interfaces	چند رسانه‌ای	Multimedia
نرخ ورودی	Arrival Rate	تعاون چند زیرشبکه	Multiple Subnet Coordination
سرمایه	Asset	تسهیم	Multiplexing
الصاق	Attachment	چند وظیفگی	Multitasking
بازی حراج	Auction Game	چند مستاجری	Multi-Tenancy
تابع سرور احراز هویت	Authentication Server Function	چند مستاجره	Multi-tenant
اتوماسیون	Automation	توازن نش	Nash Equilibrium
دسترسی‌پذیری	Availability	نزدیک به بهینه	Near-Optimal
بک‌هال	Backhaul	مذاکره	Negotiation
ایستگاه پایه	Base Station	خالص رفاه اجتماعی	Net Social Welfare
بازی تشکیل ائتلاف بیزی	Bayesian Coalition Formation Game	تابع شبکه	Network Function
اتصال بهترین تلاش	Best Effort Connectivity	مجازی‌سازی توابع شبکه	Network Function Virtualization
دو-محدب	Bi-Convex	اشتراک شبکه	Network Sharing
پیشنهاد	Bid	برش شبکه	Network Slice
کلان‌داده	Big Data	نمونه برش شبکه	Network Slice Instance
الگوی شاخه و حد	Branch and Bound Scheme	اطلاعات کمکی انتخاب برش شبکه	Network Slice Selection Assistance Information
کارگزار	Broker	برش‌بندی شبکه	Network Slicing
مدل تجاری	Business Model	نرم‌افزاری کردن شبکه	Network Softwarization
فضای ذخیره‌سازی نهان	Cache Storage	تابع مخزن توابع شبکه	NF Repository Function
شبکه دانشگاهی	Campus Network	واسط شمالی	Northbound Interface
دامنه متعارف	Canonical Domain	بر حسب تقاضا	On-Demand
هزینه‌های سرمایه‌ای	Capital Expenditures	مناسب برای تمام شرایط	One Size Fits All

تصريف	Capture	استقرار (یک خدمت) بدون قطعی (بقیه خدمات)	On-The-Fly Deployment
به شدت قابل اعتماد	Carrier-Grade	هزینه‌های عملیاتی	Operational Expenditures
دفتر مرکزی	Central Office	بهینه	Optimal
مدل محدود شده با شناس	Chance-Constrained Model	بهینه‌سازی	Optimization
زنگیرنده	Chaning	هم‌نواساز	Orchestrator
درآمدزایی (از مشترکین)	Charging	دسترسی چندگانه با تقسیم فرکانس عمود بر هم	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
شبکه کاملاً مجرزا	Clean Slate Network	سربار	Overhead
متضادی	Client	دسترسی هم‌پوشان	Overlaid Access
حلقه کنترلی بسته	Closed Control Loop	شبکه هم‌پوشان	Overlay Network
رویه‌های حلقه بسته	Closed Loop Procedures	تاخیر بسته	Packet Delay
عبارت فرم‌بسته	Closed-Form Expression	نگاشت منبع زوج-تصمیم	Pair-Decision Resource Mapping
رایانش ابری	Cloud Computing	بخش‌بندی	Partitioning
اتحاد ابر	Cloud Federation	تابع فیزیکی شبکه	Physical Network Function
گره ابری	Cloud Node	بلوک منبع فیزیکی	Physical Resource Blocks
الگوی ابری کردن شبکه	Cloud-Native Scheme	جایابی	Placement
بازی تشکیل ائتلاف	Coalition Formation Game	بستر	Platform
سرورهای ارزان‌قیمت	Commodity Servers	بازیگر	Player
ارائه‌دهنده خدمات	Communication Services Provider	نقطه حضور	Point of Presence
مخابراتی			
مرتبه پیچیدگی	Complexity Order	نقطه به نقطه	Point-to-Point
ترکیب	Composition	سیاست / خط مشی	Policy
ظرفیت رایانشی	Computing Capacity	تابع کنترل خط مشی	Policy Control Function
پیکربندی	Configuration	چارچوب خط مشی	Policy Framework
ازدحام	Congestion	اطلاعات خط مشی	Policy Information
راهاندازی اتصال	Connection Setup	چند جمله‌ای	Polynomial
اتصال	Connectivity	صرف توان	Power Consumption
کانتینر	Container	پیش‌بینی	Prediction
شبکه توزیع محتوا	Content Delivery Network	آماده‌سازی	Preparation
زمینه	Context	تفکیک قیمت‌ها	Price Differentiation
آشتی مداوم	Continuous Reconciliation	اثبات مفهوم	Proof of Concept
سطح کنترل	Control Plane	تاخیر انتشار	Propagation Delay
کنترل‌کننده	Controller	فراهم‌کننده	Provider
محدب	Convex	فراهم‌سازی / تهییه	Provisioning
تعاونی	Cooperative	کیفیت تجربه کاربری	Quality of Experience
شبکه هسته	Core Network	کیفیت خدمات	Quality of Service
تابع هزینه	Cost Function	شبکه دسترسی رادیویی	Radio Access Network

صرفه‌جویی در هزینه مشتری	Cost-Efficient Customer	پیکربندی دوباره بازگشتی	Reconfiguration Recursive
مرکز داده	Data Center	افزونگی	Redundancy
در اختیار گذاشتن داده‌ها	Data Exposure	رزرواسیون افزونه منابع	Redundant Resource Reservation
شبکه داده	Data Network	نقطه مرجع	Reference Point
سطح داده	Data Plane	ثبت	Registration
نرخ داده	Data Rate	یادگیری تقویتی	Reinforcement Learning
فصلی بودن داده‌ها	Data Seasonality	رد کردن	Reject
خاتمه (آزادسازی منابع)	Decommissioning	بازنگاشت	Remapping
تجزیه	Decomposition	نمایش	Representation
اختصاصی	Dedicated	ساز و کار درخواست و تصمیم‌گیری	Request-and-Decision Mechanism
دؤل عمیق	Deep Dueling	مسیریابی دوباره	Rerouting
یادگیری عمیق	Deep Learning	ارتجاع	Resiliency
یادگیری عمیق تقویتی	Deep Reinforcement Learning	تخصیص منابع	Resource Allocation
سنده رسمی قابل تحويل	Deliverable	مدل تعهد منبع	Resource Commitment Model
نمونه نمایشی	Demonstration (Demo)	کارایی منابع	Resource Efficiency
بستر استقرار	Deployment Platform	تهیه منابع	Resource Provisioning
تمایزدهنده	Differentiator	رومینگ	Roaming
اکتشاف	Discovery	پایداری	Robustness
غیر مشترک	Disjoint	زمان اجرا	Run-time
جدا شده	Disjunctive	کاهش مقیاس	Scale in
فروسو	Downlink	افزایش مقیاس	Scale out
به اشتراک‌گذاری پویا	Dynamic Sharing	مقیاس‌بندی	Scaling
رایانش لبه	Edge Computing	زمان‌بندی	Scheduling
شبکه لبه‌محور	Edge-Centric Networking	انتخاب	Selection
کشسانی	Elasticity	جامع	Self-Contained
متغیر کشسان‌سازی	Elasticization Variable	فرایند تصمیم‌گیری نیمه-مارکف	Semi-Markov Decision Process
جایابی	Embedding	تضمين خدمت	Service Assurance
اطلاعات تجربی	Empirical Knowledge	سفارشی‌سازی خدمت	Service Customization
کدگذاری	Encode	انجام خدمت	Service Fulfillment
انتها به انتها	End-to-End	زنجیره توابع خدمت	Service Function Chain
مشتری نهایی	End-User	لایه نمونه خدمت	Service Instance Layer
ارتباطات موبایل پهنband پیشرفته	Enhanced Mobile Broadband	رفتار خدمتی	Service Treatment
سازمان	Enterprise	خدمت‌محور	Service-Based
موسسه استانداردسازی مخابرات اروپا	European Telecommunications Standards Institute	موافقتنامه سطح خدمات	Service-Level Agreement

تاخیر اجرا	Execution Delay	انطباق خدمت محور	Service-Oriented Adaptation
خرابی (شکست)	Failure	نشست	Session
بازیابی شکست (خرابی)	Failure Recovery	تابع مدیریت نشست	Session Management Function
عدالت	Fairness	نگاشت شوارتز-کریستوفل	Schwarz-Christoffel Mapping
امکان پذیر	Feasible	شناسه برش	Slice ID
منابع متحده	Federated Resources	درخواست برش	Slice Request
ساز و کار با خودرو	Feedback Mechanism	عملکرد بهینه اجتماعی	Socially Optimal Performance
softwar	Firmware	شبکه نرم افزار محور	Software-Defined Network
بازار فیشر	Fisher Market	حل کننده	Solver
پرچم	Flag	واسط جنوبی	Southbound Interface
روندا	Flowchart	فضای امکان پذیری منبع	Space of Resource Feasibility
رایانش در مه	Fog Computing	طیف	Spectrum
دستگاه ارسال	Forwarding Device	ذینفع	Stakeholder
گراف ارسال	Forwarding Graph	فضای ذخیره سازی	Storage Capacity
چارچوب	Framework	زیر شبکه	Sub-network
پُر	Fulfilled	زیر نمونه شبکه	Sub-network Instance
نمونه تابع	Function Instance	زیر بهینه	Suboptimal
معماری کارکردنی	Functional Architecture	زیر مساله	Subproblem
نظریه بازی ها	Game Theory	مدیریت اشتراک	Subscription Management
برنامه ریزی هندسی	Geometric Programming	رگرسیون بردار پشتیبانی	Support Vector Regression
تصمیم	Guarantee	متقارن	Symmetric
ناهمگون	Heterogeneous	الگو	Template
ابتکاری	Heuristic	مستاجر	Tenant
انتزاع سلسله مراتبی	Hierarchical Abstraction	متغیرهای غلظت	Thickness Variables
مدل هولت-وینترز	Holt-Winters Model	شريك ثالث	Third Party
مجازی ساز میزبانی شده	Hosted Hypervisor	گذردهی	Throughput
مجازی ساز	Hypervisor	بسیار وابسته	Tightly-Coupled
نشانگر	Indicator	تسهیم زمانی دوطرفه	Time Division Duplexing
غیرکشسان	Inelastic	اشتراک زمانی	Time Sharing
امکان تاپذیر	Infeasible	مدل پیش بینی مبتنی بر سری زمانی	Time-Series Based Prediction Model
شبکه های اطلاعات-محور	Information-Centric Networks	مصالحه	Trade-Off
زیرساخت	Infrastructure	تاخیر ارسال	Transmission Delay
فرآهم کننده زیرساخت	Infrastructure Provider	شفاف	Transparent
راه اندازی اولیه	Initiation	شبکه انتقال	Transport Network
برنامه ریزی خطی عدد صحیح	Integer Linear Programming	روند	Trend
واسط	Interface	پوشش کامل	Ubiquitous Coverage

روش نقطه داخلی	Interior Point Method	ارتباطات بسیار قابل اطمینان با تاخیر پایین	Ultra Reliable and Low Latency Communications
اتحادیه جهانی مخابرات	International Telecommunication Union	عدم قطعیت	Uncertainty
اینترنت اشیاء	Internet of Things	مدیریت واحد داده	Unified Data Management
میانجیگری	Intersection	توزیع یکنواخت	Uniform Distribution
بین برشی	Inter-Slice	مساله شاره چند کالایی تقسیم ناپذیر	Unsplittable commodity flow problem
درون برشی	Intra-Slice	فراسو	Uplink
تابع تبدیل مکانی معکوس	Inverse Spatial Transformation Function	بنیاد ملی علوم ایالات متحده	US National Science Foundation
زیرسیستم چند رسانه‌ای IP	IP Multimedia Subsystem	کاربرد	Use Case
تکرار شونده	Iterative	پیوند کاربران	User Association
مشترک	Joint	حذف کاربران	User Dropping
هسته	Kernel	تجهیزات کاربر	User Equipment
میراثی	Legacy	سطح کاربر	User Plane
مدیریت چرخه عمر	Lifecycle Management	تابع سطح کاربر	User Plane Function
سبک وزن	Lightweight	تابع سودمندی	Utility Function
خطی‌سازی	Linearization	بیشینه‌سازی سودمندی	Utility Maximization
شبکه موبایل منطقی	Logical Mobile Network	بهره‌وری	Utilization
یادگیری ماشین	Machine Learning	الگوریتم تکرار مقادیر	Value Iteration Algorithm
مدیریت و هم‌نوasaزی	Management and Orchestration	صنعت عمودی	Vertical Industry
غیر خودکار	Manual Manner	ماشین مجازی	Virtual Machine
ارتباطات ماشینی با تراکم بالا	Massive Machine Type Communications	ناظر ماشین مجازی	Virtual Machine Monitor
بازی جورسازی	Matching Game	جایایی شبکه مجازی	Virtual Network Embedding
ساز و کار	Mechanism	تابع مجازی شبکه	Virtual Network Function
ظرفیت حافظه	Memory Capacity	جایایی بهینه تابع مجازی شبکه	Virtual Network Functions Placement
قاعده ادغام و تقسیم	Merge and Split Rule	ماجذی‌سازی	Virtualization
فرا ابتکاری	Metaheuristic	لایه مجازی‌ساز	Virtualization Layer
ریز خدمت	Micro-Service	خدمت صدا	Voice Service
ریز برش	Micro-Slice	تفکیک طول موج	Wavelength-division multiplexing
برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی	Mixed Integer Linear Programming	بار کاری	Workload

## **Abstract**

Network slicing is a crucial part of the 5G networks that communication service providers (CSPs) seek to deploy. By exploiting three main enabling technologies, namely, software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), and network slicing, communication services can be served to the end-users in an efficient, scalable, and flexible manner. To adopt these technologies, what is highly important is how to allocate the resources and admit the customers of the CSPs based on the predefined criteria and available resources.

In this regard, we propose a novel joint resource and admission management algorithm for slice-enabled networks. In the proposed algorithm, our target is to minimize the power consumption cost of cloud nodes and the bandwidth consumption cost of the CSP subject to the slice requests received from the tenants corresponding to the virtual machines and virtual links constraints. Our performance evaluation of the proposed method shows its efficiency in managing CSP's resources.

**Keywords:** 5G, Mobile Networks, Network Slicing, SDN, NFV, Resource Allocation, Admission Control



T.M.U.

# A Resource Allocation Method for Network Slicing in Software-Defined 5G Networks

## Thesis

Submitted in Partial Fulfilment of the  
Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)  
in Software Engineering

Department of Computer Engineering  
Faculty of Electrical and Computer Engineering  
Tarbiat Modares University

By:  
**Sina Ebrahimi**

Supervisor:  
**Dr. Behzad Akbari**

Advisor:  
**Dr. Nader Mokari**

**December, 2019**