

# فصل ۱

## مقدمه

راه اندازی و استقرار سرویس در صنعت مخابرات به طور سنتی بر این اساس است که اپراتورهای شبکه سخت افزارهای اختصاصی فیزیکی و تجهیزات لازم برای هر کارکرد در سرویس را در زیرساخت خود مستقر کنند. فراهم کردن نیازمندی‌های مانند پایداری و کیفیت بالا منجر به اتکای فراهم کنندگان سرویس بر سخت افزارهای اختصاصی می‌شود. این درحالی است که نیازمندی کاربران به سرویس‌های متنوع و عموماً با عمر کوتاه و نرخ بالای ترافیک افزایش یافته است. بنابراین فراهم کنندگان سرویس‌ها باید مرتباً و به صورت پیوسته تجهیزات فیزیکی جدید را خریده، انبارداری کرده و مستقر کنند. تمام این عملیات باعث افزایش هزینه‌های فراهم کنندگان سرویس می‌شود [۱]. با افزایش تجهیزات، پیدا کردن فضای فیزیکی برای استقرار تجهیزات جدید به مرور دشوارتر می‌شود. علاوه بر این باید افزایش هزینه و تاخیر ناشی از آموزش کارکنان برای کار با تجهیزات جدید را نیز در نظر گرفت. بدتر این که هر چه نوآوری سرویس‌ها و فناوری شتاب بیشتری بگیرد، چرخه عمر سخت افزارها کوتاه‌تر می‌شود که مانع از ایجاد نوآوری در سرویس‌های شبکه می‌شود [۲].

در روش سنتی استقرار سرویس شبکه، ترافیک کاربر باید از تعدادی کارکرد شبکه به ترتیب معینی عبور کند تا یک مسیر پردازش ترافیک ایجاد شود. در حال حاضر این کارکردها به صورت سخت افزاری به یکدیگر متصل هستند و ترافیک با استفاده از جداول مسیریابی به سمت آن‌ها هدایت می‌شود. چالش اصلی این روش در این است که استقرار و تغییر ترتیب کارکردها دشوار است. به عنوان مثال، به مرور زمان با تغییر شرایط شبکه نیازمند تغییر همبندی و یا مکان کارکردها برای سرویس‌دهی بهتر به کاربران هستیم که نیاز به جا به جایی کارکردها و تغییر جداول مسیریابی دارد. در روش سنتی این کار سخت و هزینه‌بر است که ممکن است خطاهای بسیاری در آن رخ دهد. از جنبه دیگر، تغییر سریع سرویس‌های مورد نظر کاربران نیازمند تغییر سریع در ترتیب کارکردها است که در روش فعلی این تغییرات به سختی صورت می‌گیرد. بنابراین اپراتورهای شبکه نیاز به شبکه‌های قابل برنامه ریزی و ایجاد زنجیره سرویس کارکردها به صورت پویا پیدا کرده‌اند [۳]، [۴].

دو فناوری برای پاسخ گویی به این چالش‌ها مطرح شد: مجازی‌سازی کارکرد شبکه<sup>۱</sup> و زنجیره‌سازی کارکرد سرویس<sup>۲</sup>. مجازی‌سازی کارکرد شبکه با استفاده از مجازی‌سازی کارکردهای شبکه و اجرای آن‌ها بر روی سرورهای استاندارد با توان بالا، امکان اجرای کارکردها بر روی سخت

<sup>1</sup>Network Function Virtualization

<sup>2</sup>Service Function Chaining

افزارهای عمومی را فراهم کرده است تا نیاز به تجهیزات سخت افزاری خاص منظوره کاهش یابد. از طرف دیگر زنجیره سازی کارکرد سرویس امکان تعریف زنجیره کارکردها را ارائه می کند که ایجاد و انتخاب مسیرهای متفاوت برای پردازش ترافیک به صورت پویا و بدون ایجاد تغییر در زیرساخت فیزیکی را امکان پذیر می کند. با توجه به این فناوریها، مسائل تحقیقاتی جدیدی مطرح شدند که از مهم ترین آنها می توان تخصیص منابع بهینه به سرویس درخواستی کاربر را نام برد.

از مهم ترین اهدافی که در حل مسائل تخصیص منابع می توان در نظر گرفت، بحث کیفیت سرویس است. کیفیت سرویس تاثیر مستقیمی بر رضایت کاربر از سرویس های یک مرکز داده داشته و از سوی دیگر نقص آن می تواند به قرارداد لایه سرویس آسیب زده و موجب جریمه مرکز داده ای شود.

تحقیقات متعددی در رابطه با تخصیص منابع در معماری مجازی سازی کارکرد شبکه انجام شده است. تعداد بسیار زیادی از این تحقیقات بحث کیفیت سرویس و یا تاخیر را مدنظر قرار داده اند. با این وجود تعداد بسیاری از این تحقیقات فرضیات محدود کننده ای مانند نگاشت تنها یک کارکرد به هر ماشین مجازی، ایجاد حداکثر یک نمونه از هر کارکرد، عدم به اشتراک گذاری کارکردها و ... این در حالی است که مراکز داده برای ارائه سرویس بهتر نیاز به استفاده از همه منابع خود داشته و در بسیاری از اوقات نیز نمی توان برای ترافیک موردنظر تنها از یک نمونه استفاده کرد. بنابراین در این رساله فرض شده است که می توان از یک کارکرد نمونه های مختلف ساخته و از یک ماشین مجازی برای نگاشت بیش از یک کارکرد استفاده نمود. همچنین در جهت کاهش هزینه های مرکز داده ای می توان از یک نمونه کارکرد برای سرویس دهی به چند زنجیره نیز استفاده کرد که در این رساله مدنظر قرار گرفته است.

در این رساله به تحقق و تضمین توافق نامه لایه سرویس، سرویس های درخواستی کاربران تمرکز می کنیم. سرویس درخواستی هر کاربر را به صورت مجموعه ای از کارکردها که توسط گراف SFC با یکدیگر ارتباط دارند در نظر می گیریم. برای استقرار سرویس باید مشخص شود که هر کارکرد باید بر روی چه سرورهایی در شبکه زیرساخت مستقر شود و پهنای باند لینک های زیرساخت چگونه به لینک های بین کارکردها اختصاص یابد. در این رساله صرفا کارکردهای مجازی را در نظر می گیریم و فرض می کنیم که هر کارکرد توسط یک VNF که پیاده سازی نرم افزاری آن کارکرد است ارائه می شود. ما فرض می کنیم تعدادی درخواست سرویس توسط فراهم کننده زیرساخت دریافت شده است. تضمین توافق نامه لایه سرویس از سه گام تشکیل شده است: تحقق، تضمین و اثبات. برای هر یک از درخواست ها می بایست این مراحل طی شود تا توافق نامه لایه سرویس تضمین شود.

در این رساله ما مساله تحقق و تضمین توافق نامه لایه سرویس برای سرویس های درخواستی کاربر در مجازی سازی کارکردهای شبکه را در نظر گرفته و آن را در قالب سه زیر مساله مرتبط مورد بررسی قرار می دهیم.

در مساله اول به بحث جایگذاری و تخصیص منابع به سرویس های درخواستی در جهت تحقق توافق نامه لایه سرویس می پردازیم. در این مساله بر خلاف مسائل موجود فرض می شود درخواست ها به صورت برخط در اختیار مرکز داده ای قرار گرفته و خروجی مساله اول پذیرش یا عدم پذیرش درخواست ها می باشد.

همواره در زیرساخت خطاهایی به وجود می‌آید که در نتیجه آن توافق‌نامه لایه سرویس به خطر می‌افتد. در مساله دوم با نظارت بر زیرساخت عملیات‌های لازم پیش و در هنگام وقوع خطا مشخص می‌شوند تا بتوان توافق‌نامه لایه سرویس را تضمین کرد.

در همه مسائل پیشنهادی نیاز به انتخاب و انجام تعدادی عملیات می‌باشد، بنابراین در حل همه این مسائل از چهارچوب یادگیری تقویتی عمیق<sup>۳</sup> استفاده می‌شود تا عامل بتواند بهترین عمل را انتخاب و انجام دهد. با توجه به این موضوع که زیرساخت شبکه به شکل گراف می‌باشد در یادگیری تقویتی عمیق از شبکه‌های عصبی گرافی<sup>۴</sup> استفاده می‌شود تا عامل نسبت به شبکه‌های جدید کارایی بهتری داشته باشد.

به صورت خلاصه نوآوری‌های این رساله به شرح زیر می‌باشد:

- امکان به اشتراک‌گذاری کارکردها میان چندین زنجیره و در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس برای تحقق تفاهم‌نامه لایه سرویس: در جهت مصرف بهینه منابع ممکن است یک کارکرد میان چندین زنجیره به اشتراک گذاشته شود که نیاز به در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت سرویس را دارد چرا که می‌تواند آن‌ها را به مخاطره بیندازد.
- استفاده از چهارچوب یادگیری تقویتی عمیق بر پایه شبکه‌های عصبی گرافی که می‌تواند کارایی عامل نسبت به شبکه‌های جدید را افزایش دهد. در تحقیقاتی که به اینجا صورت گرفته است از الگوریتم‌های یادگیری گرافی استفاده نشده است که در نتیجه آن ویژگی‌های گراف در یادگیری تاثیر نداشته است، در این رساله قصد داریم با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری گرافی تاثیر ویژگی‌ها گراف شبکه را پررنگ‌تر کنیم.
- در نظر گرفتن بحث‌های نظارتی در مجازی‌سازی کارکرد شبکه برای جلوگیری از خطا به صورت بلادرنگ: خطاهای بسیار در شبکه‌ها رخ می‌دهند که نیاز دارند به آن‌ها رسیدگی شود و در صورت نیاز حتی از آن‌ها پیشگیری شود. در این رساله این بحث به صورت بلادرنگ در نظر گرفته می‌شود و از سوی دیگر با پیش‌بینی پارامترها از خطاها پیش‌گیری نیز خواهد شد.

در نهایت ساختار رساله به شرحی است که در ادامه می‌آید. در فصل دوم معماری‌های NFV و SFC و اجزای آن‌ها را شرح می‌دهیم. در فصل سوم مسائل تحقیقاتی مطرح شده در این معماری‌ها را بررسی می‌کنیم و آن‌ها را از جنبه در نظر گرفتن انرژی با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. در فصل چهارم مسائل پیشنهاد شده در رساله به صورت دقیق شرح داده می‌شوند. در نهایت در فصل پنجم به روش حل ارائه شده برای حل مسائل می‌پردازیم و فصل ششم به جمع بندی و ارائه زمان بندی انجام رساله اختصاص دارد.

<sup>3</sup>Deep Reinforcement Learning

<sup>4</sup>Graph Neural Network



## فصل ۲

# مفاهیم و معماری‌های مرتبط

### ۱.۲ مقدمه

راه‌اندازی و استقرار سرویس در صنعت مخابرات به طور سنتی بر این اساس است که اپراتورهای شبکه، سخت‌افزارهای و نرم‌افزارهای مناسب هر کارکرد در سرویس را در زیرساخت خود مستقر کنند. فراهم کردن نیازمندی‌هایی مانند پایداری و کیفیت سرویس بالا منجر به اتکای فراهم کنندگان سرویس بر تجهیزات اختصاصی می‌شود. نیازمندی کاربران به سرویس‌های متنوع و عموماً با عمر کوتاه و نرخ بالای ترافیک نیز افزایش یافته است. بنابراین فراهم کنندگان سرویس‌ها باید مرتباً و به صورت پیوسته تجهیزات فیزیکی جدید را خریده، انبارداری کرده و مستقر کنند که باعث افزایش هزینه‌های فراهم کنندگان سرویس می‌شود [۱]. از سوی دیگر در تحقیقاتی که اخیراً انجام شده است، نشان داده شده که تعداد سخت‌افزارهای خاص منظوره نصب شده برای کارکردهای شبکه قابل مقایسه با تعداد سویچ‌ها و مسیریاب‌های شبکه است [۴]. با افزایش تعداد تجهیزات، پیدا کردن فضای فیزیکی برای استقرار تجهیزات جدید به مرور دشوارتر می‌شود. علاوه بر این باید افزایش هزینه و تاخیر ناشی از آموزش کارکنان برای کار با تجهیزات جدید را نیز در نظر گرفت. همچنین اغلب کارایی و قابلیت‌های سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای خاص منظوره که از سمت فروشندگان تجهیزات ارائه می‌شود محدود به انتخاب‌های فروشندگان است و خریداران تجهیزات قادر به سفارشی‌سازی تجهیزات خریداری شده نیستند. بدتر این که هر چه نوآوری سرویس‌ها و فناوری شتاب بیشتری می‌گیرد، چرخه عمر سخت‌افزارها کوتاهتر می‌شود که مانع از ایجاد نوآوری در سرویس‌های شبکه می‌شود [۲].

در روش سنتی استقرار سرویس شبکه، ترافیک کاربر باید از تعدادی کارکرد شبکه به ترتیب معینی عبور کند تا یک مسیر پردازش ترافیک ایجاد شود. در حال حاضر این کارکردها به صورت سخت‌افزاری به یکدیگر متصل هستند و ترافیک با استفاده از جداول مسیریابی به سمت آن‌ها هدایت می‌شود. چالش اصلی این روش در این است که استقرار و تغییر ترتیب کارکردها دشوار است. به عنوان مثال، به مرور زمان با تغییر شرایط شبکه نیازمند تغییر همبندی و یا مکان کارکردها برای سرویس‌دهی بهتر به کاربران هستیم که نیاز به جا به جایی کارکردها و تغییر جداول مسیریابی دارد. در روش سنتی این کار سخت و هزینه‌بر است که ممکن است خطاهای بسیاری در آن رخ دهد. از جنبه دیگر، تغییر سریع سرویس‌های مورد نظر کاربران نیازمند تغییر سریع در ترتیب کارکردها است که در روش فعلی این تغییرات به سختی صورت گیرد. بنابراین اپراتورهای شبکه نیاز به شبکه‌های قابل برنامه ریزی و ایجاد زنجیره سرویس کارکردها به صورت پویا پیدا کرده‌اند [۳]، [۴].

دو فناوری برای پاسخ گویی به این چالش‌ها مطرح شد: مجازی‌سازی کارکرد شبکه (NFV) و زنجیره‌سازی کارکردهای سرویس (SFC). هدف از مجازی‌سازی کارکردهای شبکه این است که کارکردها بتوانند بر روی سخت افزارهای استاندارد اجرا شوند تا نیاز به تجهیزات سخت‌افزاری خاص منظره کاهش یابد. از طرف دیگر زنجیره‌سازی کارکردهای سرویس امکان تعریف زنجیره کارکردها به صورت پویا و در هر زمان را ارائه می‌کند که تغییر در زیرساخت فیزیکی را کاهش می‌دهد.

از آنجایی که از مفاهیم این فناوری‌ها برای طراحی و تعریف مسئله در این رساله استفاده شده است، نیازمند آشنایی با مفاهیم ابتدایی و اصول اولیه آن‌ها خواهیم بود. بنابراین در این فصل به صورت خلاصه اجزای این فناوری‌ها را مرور خواهیم کرد و کاربردها، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی که در هر یک از این معماری‌ها وجود دارد را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

## ۲.۲ مجازی‌سازی کارکرد شبکه

مجازی‌سازی کارکرد شبکه اصل جداسازی کارکرد شبکه به وسیله انتزاع سخت‌افزاری مجازی از سخت‌افزاری است که بر روی آن اجرا می‌شود. هدف مجازی‌سازی کارکرد شبکه تغییر روش اپراتورهای شبکه در طراحی شبکه با تکامل مجازی‌سازی استاندارد فناوری اطلاعات به منظور جمع تجهیزات شبکه در سرورهای استاندارد، سوییچ‌ها و ذخیره‌سازها با توان بالا است. یک سرور استاندارد با توان بالا سروری است که توسط اجزای استاندارد شده فناوری اطلاعات، مانند معماری x86، ساخته شده و در تعداد بالایی، مانند میلیون، فروخته می‌شود. ویژگی اصلی این سرورها این است که اجزای آن‌ها به راحتی از فروشندگان مختلف قابل خریداری و تعویض است. این تجهیزات می‌توانند در مراکز داده، گره‌های شبکه، یا مکان کاربران انتهایی قرار بگیرند. این روند در؟؟ نیز توصیف شده است. با استفاده از مجازی‌سازی کارکرد شبکه، انواع کارکردهای شبکه مانند دیواره آتش و NAT را می‌توان به صورت یک برنامه نرم‌افزاری از فروشندگان مختلف تهیه کرد و آن‌ها را بر روی سرورهای با توان بالا اجرا کرد که نیاز به نصب تجهیزات خاص منظره و جدید را برطرف می‌سازد [۲].

مزایا و اهداف اساسی که NFV برای تحقق و دستیابی به آنها شکل گرفته است عبارتند از [۶]:

- کاهش هزینه‌های تجهیزات و مصرف انرژی از طریق جمع کارکردها بر روی سرورها و در نتیجه کاهش تعداد تجهیزات
- کاهش نیاز به آموزش کارکنان، افزایش دسترسی‌پذیری به سخت‌افزار و کاهش زمان بازیابی از خرابی سخت‌افزار به علت استفاده از سخت‌افزارهای استاندارد و عمومی
- افزایش سرعت عرضه محصول به بازار با کوتاه کردن چرخه نوآوری و تولید. در واقع مجازی‌سازی کارکرد شبکه به اپراتورهای شبکه کمک می‌کند تا چرخه بلوغ محصول را به اندازه قابل توجهی کاهش دهند.
- امکانپذیر بودن تعریف سرویس مورد نظر بر اساس نوع مشتری یا محل جغرافیایی. مقیاس سرویس‌ها می‌تواند به سرعت، بر اساس نیاز، گسترش یا کاهش یابد.
- تشویق به ایجاد نوآوری و ارائه سرویس‌های جدید و دریافت جریان‌های درآمدی تازه با سرعت بالا و ریسک پایین.

- افزایش توانایی مقابله با خرابی کارکردها، قابلیت به اشتراک گذاری منابع بین کارکردها و پشتیبانی از چند مشتری

سازمان های استاندارد گذاری متعددی در استاندارد سازی فناوری مجازی سازی کارکرد شبکه دخیل هستند که شاخص ترین آن ها موسسه استانداردهای مخابراتی اروپا<sup>۱</sup> (ETSI) است. در اواخر سال ۲۰۱۲ ETSI NFV ISG توسط هفت اپراتور جهانی شبکه به منظور ارتقا ایده مجازی سازی کارکرد شبکه تأسیس شد. NFV ISG تبدیل به یک بستر صنعتی اصلی برای توسعه چارچوب معماری NFV و نیازمندی های آن شده است و اکنون بیش از ۲۵۰ سازمان با آن همکاری می کنند. اسناد معماری NFV به صورت عمومی و رایگان توسط ETSI NFV ISG منتشر می شود. ما در این رساله برای توصیف معماری NFV از اسناد ارائه شده این سازمان استفاده می کنیم.

## ۱.۲.۲ اجزای معماری NFV

در این بخش مؤلفه های تشکیل دهنده معماری NFV شرح داده می شوند. هر یک از اجزای معماری می توانند توسط تولیدکنندگان متفاوتی تأمین شوند و به وسیله واسطه هایی که توسط معماری NFV توصیف شده اند با یکدیگر در ارتباط باشند. بنابراین معماری NFV توصیف شده توسط ETSI راه حلی با قابلیت مشارکت و هماهنگی چندین تولیدکننده مختلف را دارد. مؤلفه های اصلی چارچوب معماری NFV که در ؟؟ دیده می شوند عبارتند از:

- NFVI شامل منابع سخت افزاری و نرم افزاری لازم برای اجرای VNF ها
- Service شامل VNF ها که کارکردهای شبکه را پیاده سازی کرده اند، EMS برای مدیریت VNF ها و OSS/BSS برای ارتباط با سیستم های مدیریت سنتی
- MANO که وظیفه مدیریت و هماهنگی سرویس ها و تخصیص منابع را برعهده دارد و از سه بخش NFVO، VIM و VNFM تشکیل شده است.

در ادامه به توصیف اجزای ذکر شده از اسناد ETSI می پردازیم [۶]، [۷]، [۸] و [۹].

### NFVI

مؤلفه NFVI شامل تمام نرم افزارها، مانند Hypervisor، و سخت افزارهایی است که با همکاری یکدیگر منابع زیرساخت برای استقرار VNF ها را فراهم می کنند. سخت افزارهای موجود در زیرساخت NFV به سه دسته منابع پردازشی، منابع ذخیره سازی و شبکه ارتباطی دسته بندی می شوند. Hypervisor یک لایه نرم افزاری است که سخت افزارهای زیرساخت را مجازی کرده و انتزاعی از آنها به دست می دهد.

این مؤلفه می تواند شامل کارکردهای شبکه به صورت کامل مجازی نشده نیز باشد. در این مؤلفه هر جایی که یک کارکرد شبکه به صورت یک VNF می تواند استقرار یابد یک NFVI-PoP نامیده می شود. به عنوان مثال یک سرور مجازی شده و یا یک مرکز داده مجازی شده را می توان به عنوان NFVI-PoP در نظر گرفت.

<sup>1</sup>European Telecommunications Standards Institute

## VNF

یک VNF پیاده‌سازی از یک کارکرد شبکه است که می‌تواند بر روی NFVI استقرار یابد. یک نمونه<sup>۲</sup> از VNF، نتیجه ایجاد نمونه در زمان اجرا از برنامه VNF و مولفه‌های آن با رعایت نیازمندی‌های توصیف شده لازم است. در حقیقت یک نمونه را می‌توان با استفاده از اجرای برنامه یا تصویر<sup>۳</sup> VNF در یک ماشین مجازی و اختصاص منابع محاسباتی، پردازشی و شبکه به آن ایجاد کرد. هر VNF می‌تواند از یک یا چند مولفه (VNFC) تشکیل شود که هر یک از این مولفه‌ها خود می‌توانند در یک ماشین مجازی اجرا شوند. برای ایجاد نمونه از یک VNF، از همه VNFCهای آن باید نمونه ایجاد شود. به عنوان یک مثال از VNF می‌توان کارکرد دیوار آتش مجازی شرکت CISCO به نام ASA<sub>v</sub> را نام برد که مشخصات آن در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، چهار قالب مختلف ASA<sub>v</sub> تعریف شده که هر کدام نیازمندی‌های منابع پردازشی، حافظه و ذخیره سازی متفاوتی دارند و متناسب با منابع اختصاص یافته به آن‌ها، توانایی پردازش ترافیک مشخصی را می‌توانند ارائه کنند که با عنوان Throughput در شکل مشخص شده است. برای استقرار هر یک از این قالب‌ها باید یک ماشین مجازی مطابق با مشخصات نمایش داده شده در این شکل آماده شود و تصویر ASA<sub>v</sub> به آن داده شود. البته این روند برای ASA<sub>v</sub> به صورت خودکار و با استفاده از یک قالب استقرار که همراه با VNF دانلود می‌شود انجام می‌شود. هر یک از این قالب‌ها نیاز به مجوزهای متفاوت دارند و هزینه‌های استفاده از آن‌ها متفاوت است.

هر VNF توسط توصیف‌گر<sup>۴</sup> VNF(VNFD) توصیف می‌شود که شامل توصیف VNF و نیازمندی‌های لازم برای استقرار و همچنین رفتار VNF در زمان اجرا است. دو نوع مقیاس پذیری برای نمونه‌های یک VNF در زمان اجرا تعریف می‌شود. مقیاس پذیری افقی و عمودی. در اسناد ETSI این مقیاس‌پذیری‌ها برای VNFCها به صورت زیر تعریف شده است:

- افزایش مقیاس افقی  
نمونه‌های جدیدی از VNFCها ایجاد می‌شود.
- افزایش مقیاس عمودی  
منابع پردازشی، ذخیره‌سازی و یا شبکه‌ای بیشتری به نمونه‌های ایجاد شده از VNFCها داده می‌شود.
- کاهش مقیاس افقی  
نمونه‌های ایجاد شده از VNFCها خاتمه می‌یابند.
- کاهش مقیاس عمودی  
منابع داده شده به نمونه‌های VNFCها از آن‌ها گرفته می‌شود.

البته همانگونه که در تعریف ETSI، مقیاس‌پذیری برای VNFCها تعریف شده، می‌توان آن را برای VNF نیز تعریف کرد. افزایش یا کاهش مقیاس افقی و عمودی می‌تواند به صورت خودکار بر اساس شرایط مشخص شده در VNFD انجام شود یا از طریق واسطه‌های مدیریتی و بر اساس شرایط شبکه تصمیم‌گیری شود. همچنین چهار روش برای توزیع بار Load Balancing بین نمونه‌های مختلف یک VNF به شرح زیر بیان شده است:

<sup>2</sup>instance

<sup>3</sup>image

<sup>4</sup>descriptor



- VNF-Internal Load balancer  
در این حالت فرض می‌شود که یک VNFC داخل VNF وجود دارد که توزیع و جمع آوری ترافیک را انجام می‌دهد. در این حالت نمونه‌های تکثیر شده VNFC از VNF های دیگر قابل مشاهده نیستند. این حالت در شکل ۴ نمایش داده شده است.
- VNF-External load balancer  
در این حالت یک VNF به عنوان توزیع کننده بار عمل می‌کند و ترافیک را بین نمونه های ایجاد شده از VNF توزیع می‌کند. از دید VNF های دیگر، کل مجموعه به صورت یک VNF دیده می‌شود. این حالت در شکل ۵ نمایش داده شده است.
- End-to-End Load balancer  
در این حالت نمونه‌های ساخته شده از VNF به صورت VNF های مجزا دیده می‌شوند. در این حالت Peer NF خود قابلیت توزیع ترافیک بین نمونه‌های ایجاد شده را دارد. مثالی از این حالت در شکل ۶ نمایش داده شده است.
- Infrastructure network load balancer  
در این حالت، نمونه‌های ایجاد شده از VNF، به صورت یک VNF واحد دیده می‌شوند و یک توزیع کننده بار در زیرساخت (به عنوان مثال در Hypervisor) وظیفه توزیع و جمع آوری ترافیک از/به نمونه‌های ایجاد شده را برعهده دارد. مثالی از این حالت در شکل ۷ نمایش داده شده است.

## EM

این مولفه کارکردهای FCAPS<sup>۵</sup> را برای VNF ها انجام می‌دهد که شامل مدیریت خطا، پیکربندی، امنیت، حسابداری و کارایی برای کارکردی است که VNF ارائه می‌دهد. این مولفه ممکن است آگاه از مجازی‌سازی کارکرد باشد و با همکاری VNFM عملکردهای خودش را انجام بدهد.

## OSS/BSS

این مولفه، ترکیبی از سایر بخش های عملکردهای اپراتور است که در چارچوب معماری NFV ارائه شده از طرف ETSI قرار نمی‌گیرند. به عنوان مثال می‌تواند شامل مدیریت سیستم های Legacy باشد.

## NFVO

این مولفه بخشی از مولفه MANO است که وظیفه تخصیص منابع به سرویس را برعهده دارد. یکی از مهم ترین اجزای سرویس گراف VNF-FG است که بیانگر VNF های سرویس و ارتباطات بین آن ها است. وظیفه اصلی مولفه NFVO ایجاد نمونه از سرویس و مدیریت چرخه حیات آن است. ایجاد نمونه از سرویس شامل ایجاد نمونه از VNF های تشکیل دهنده آن و ایجاد ارتباط بین نمونه ها است. سایر وظایف مولفه VNFO به شرح زیر است: • مدیریت چرخه حیات سرویس شبکه • مدیریت و هماهنگی منابع مورد نیاز NFVI بین چندین VIM • مدیریت منابع و ایجاد نمونه از VNF ها با هماهنگی VNFM • مدیریت منابع و نمونه سازی VNFM • مدیریت همبندی نمونه ساخته شده از سرویس شبکه مانند ایجاد، حذف و به روز رسانی VNF-FG • مدیریت قالب های استقرار سرویس شبکه و VNF ها مانند اعتبار سنجی

<sup>۵</sup>Fault, Config, Accounting, Performance, Security management

قالب‌ها همچنین این مولفه مسئولیت مشخص کردن مکان فیزیکی نمونه‌های ایجاد شده از VNFها را برعهده دارد.

## NFVM

این مولفه مسئولیت مدیریت چرخه حیات نمونه‌های ایجاد شده از VNFها را برعهده دارد. بنابراین فرض می‌شود هر نمونه ایجاد شده از هر VNF، به یک VNFM اختصاص یافته است. مهم‌ترین وظایف این مولفه به شرح زیر است: • پیکربندی و نمونه‌سازی از VNFها • گسترش و یا کاهش مقیاس پذیری افقی یا عمودی برای نمونه‌های ایجاد شده از VNFها • مدیریت نمونه‌های ایجاد شده شامل تغییرات، به روز رسانی برنامه‌ها و خاتمه دادن به نمونه‌ها مولفه VNFM با استفاده از VNFD، از VNF نمونه ایجاد می‌کند و مدیریت چرخه حیات آن را انجام می‌دهد. منابع پردازشی، محاسباتی و شبکه مطابق با توصیفات گفته شده در VNFD به نمونه‌های آن اختصاص می‌یابند.

## VIM

این مولفه مسئولیت مدیریت چرخه حیات نمونه‌های ایجاد شده از VNFها را برعهده دارد. بنابراین فرض می‌شود هر نمونه ایجاد شده از هر VNF، به یک VNFM اختصاص یافته است. مهم‌ترین وظایف این مولفه به شرح زیر است:

- پیکربندی و نمونه‌سازی از VNFها
- گسترش و یا کاهش مقیاس پذیری افقی یا عمودی برای نمونه‌های ایجاد شده از VNFها
- مدیریت نمونه‌های ایجاد شده شامل تغییرات، به روز رسانی برنامه‌ها و خاتمه دادن به نمونه‌ها

مولفه VNFM با استفاده از VNFD، از VNF نمونه ایجاد می‌کند و مدیریت چرخه حیات آن را انجام می‌دهد. منابع پردازشی، محاسباتی و شبکه مطابق با توصیفات گفته شده در VNFD به نمونه‌های آن اختصاص می‌یابند.

## ۲.۲.۲ سرویس شبکه و اجزای آن

یک سرویس شبکه را می‌توان به صورت یک گراف جلورانی<sup>۶</sup> از کارکردهای شبکه (NF-FG) که به یکدیگر از طریق زیرساخت شبکه متصل هستند دید. کارکردهای شبکه می‌تواند توسط یک یا چند اپراتور ارائه شده باشند. نقاط انتهایی<sup>۷</sup> سرویس را می‌توان به صورت گره‌های گراف و ارتباطات میان کارکردها را توسط لینک‌های گراف مدل‌سازی کرد که لینک‌های گراف می‌توانند، یک طرفه یا دو طرفه، چند پخشی یا همه پخشی باشند. مثالی از یک سرویس شبکه در شکل ۸ نمایش داده شده است. در این شکل، یک سرویس شبکه انتها به انتها از طریق نقاط انتهایی A و B ایجاد شده که شامل یک NF-FG داخلی است. این NF-FG خود شامل سه کارکرد شبکه است که به یکدیگر متصل هستند[۶].

در صورتی که در یک NF-FG حداقل یکی از این کارکردها VNF باشد، به آن VNF-FG گفته می‌شود[۸]. در صورتی که فرض کنیم همه‌های NF شکل ۸، VNF هستند می‌توان آن را مطابق شکل ۹ نمایش داد. در این شکل NF ۲ خود توسط سه VNF پیاده‌سازی شده است.

<sup>۶</sup>Forwarding Graph

<sup>۷</sup>Endpoint

مشخص است که گراف VNF-FG صرفاً ارتباطات بین VNFها رو مشخص می‌کند ولی ترتیب عبور ترافیک از کارکردها را بیان نمی‌کند. ترتیب عبور ترافیک از کارکردها توسط NFP<sup>۸</sup> بیان می‌شود که یکی از اجزای VNF-FG است و هر VNF-FG باید حداقل یک NFP داشته باشد.

همانگونه که گفته شد، هدف NFV تغییر در نحوه ارائه سرویس سنتی شبکه است. به همین دلیل در این بخش نحوه تعریف سرویس شبکه در معماری NFV و اجزای آن را بررسی می‌کنیم. این اجزا در تعریف مسائل بیان شده در این رساله مطرح می‌شوند.

### توصیف سرویس در معماری NFV

در معماری NFV سرویس شبکه به صورت مجموعه از کارکردهای فیزیکی، مجازی و لینک‌های مجازی تعریف می‌شود که توسط مشخصات کارکردی و غیرکارکردی‌اش توصیف می‌شود. لینک‌های مجازی کارکردها را به یکدیگر و به نقاط انتهایی متصل می‌کند و مجموعه لینک‌های مجازی همبندی اتصالات شبکه<sup>۹</sup> (NCT) را تشکیل می‌دهند. یک سرویس شبکه توسط اجزای اطلاعاتی<sup>۱۰</sup> زیر توصیف می‌گردد:

- اجزای اطلاعاتی توصیف کننده سرویس شبکه
- اجزای اطلاعاتی توصیف کننده های VNF سرویس
- اجزای اطلاعاتی توصیف کننده لینک‌های مجازی سرویس
- اجزای اطلاعاتی توصیف کننده VNF-FG
- اجزای اطلاعاتی توصیف کننده های PNF سرویس

این اجزای اطلاعاتی به دو صورت در معماری NFV استفاده می‌شوند:

۱. به صورت توصیف کننده که هنگام ساختن نمونه، به عنوان قالب ایجاد نمونه به کار می‌رود.
۲. به صورت رکوردهای حاوی اطلاعات نمونه‌های ایجاد شده که در زمان اجرا به کار می‌رود.

بنابراین مشخصات کارکردها توسط توصیف کننده‌ها، توصیف می‌شوند و رکوردها پس از نمونه سازی ایجاد می‌شوند که بیانگر مشخصات نمونه های ایجاد شده و اطلاعات زمان اجرا هستند. با این توصیف، NSR، VNFR، VLR، VNF-FGR، رکوردهای ایجاد شده متناظر با توصیف کننده های NSD، VNFD، VLD، VNF-FGD هستند. مولفه NFVO، توصیف کننده های VNF-FGD NSD و VLD را در کاتالوگ سرویس بارگذاری می‌کند. توصیف کننده VNF یعنی VNFD همراه با VNF و به عنوان بخشی از بسته VNF بارگذاری می‌شود. چگونگی استقرار PNFD ها خارج از استاندارد ETSI است. در این بخش به صورت خلاصه اجزای سرویس را شرح می‌دهیم. اطلاعات تکمیلی این بخش در پیوست قرار داده شده است.

<sup>8</sup>Network Forwarding Path

<sup>9</sup>Network Connection Topology

<sup>10</sup>Information Element

**NSD**

هر سرویس شبکه توسط توصیف‌گر سرویس شبکه (NSD) توصیف می‌شود که اجزای تشکیل دهنده سرویس را توصیف می‌کند. مهمترین اجزای NSD عبارتند از پارامترهای نظارت و قالب‌های استقرار سرویس. پارامترهای نظارت پارامترهایی هستند که لازم است برای سرویس، نظارت شوند. به عنوان پارامترهای کیفیت سرویس جزئی از پارامترهای نظارت هستند. قالب‌های استقرار سرویس، بیانگر، ها VNF ها VLL و های VNF-FG تشکیل دهنده هر طرح استقرار هستند. قالب استقرار VNF بیانگر مشخصات ها VNF و تعداد نمونه‌هایی است که باید از هر VNF برای برآورده کردن آن طرح سرویس نمونه‌سازی شود.

**VNFD**

هر VNF توسط توصیف‌گر مربوط به آن که نیازمندی‌های استقرار و رفتاری آن را مشخص می‌کند توصیف می‌شود. مولفه VNFM از VNFD در فرایند نمونه سازی VNF ها و مدیریت چرخه حیات آن ها استفاده می‌کند. همچنین این اطلاعات توسط مولفه VNFO برای ایجاد مدیریت و هماهنگی سرویس شبکه نیز استفاده می‌شود. VNFD شامل شاخص‌های کارایی است که می‌تواند توسط VNFM نیز مورد استفاده قرار بگیرد. در VNFD ارتباطات داخلی و واسط‌ها نیز توصیف می‌شوند که برای ایجاد لینک‌های مجازی بین مولفه های VNFC و یا ارتباط بین VNF یا سایر VNF ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. VNFD همچنین شامل قالب های استقرار VNF به همراه نیازمندی منابع برای هر قالب است.

**VNF-FGD**

توصیف کننده VNF-FG (VNF-FGD) مشخص‌کننده همبندی سرویس شبکه به وسیله مشخص کردن ها VNF و های PNF موجود در سرویس و لینک‌های مجازی اتصال دهنده آن‌ها است. یک VNF-FG ممکن است شامل یک یا چند NFP نیز باشد. یک NFP لیست مرتبی از point Connection ها است که یک زنجیره از NF ها همراه با سیاست مربوطه را تشکیل می‌دهد. اگر VNF-FG هیچ NFP نداشته باشد، مسیر جلورانی قابل اعمال به ترافیک در زمان اجرا (به عنوان مثال با استفاده از سیگنالینگ) مشخص می‌شود.

توصیف کننده VNF-FG (VNF-FGD) مشخص‌کننده همبندی سرویس شبکه به وسیله مشخص کردن ها VNF و های PNF موجود در سرویس و لینک‌های مجازی اتصال دهنده آن‌ها است. یک VNF-FG ممکن است شامل یک یا چند NFP نیز باشد. یک NFP لیست مرتبی از point Connection ها است که یک زنجیره از NF ها همراه با سیاست مربوطه را تشکیل می‌دهد. اگر VNF-FG هیچ NFP نداشته باشد، مسیر جلورانی قابل اعمال به ترافیک در زمان اجرا (به عنوان مثال با استفاده از سیگنالینگ) مشخص می‌شود.

هر VNF-FG توسط اجزای زیر توصیف می‌شود.

- تعداد نقاط انتهایی و لینک‌های مجازی
- های VNF عضو VNF-FG
- نقاط انتهایی عضو VNF-FG
- لینک‌های مجازی عضو VNF-FG

• های NFP عضو: VNF-FG شامل نقطه ورودی و خروجی ترافیک، جهت لینک ها (یک طرفه یا دوطرفه) ولیست Connection هایی point که ترافیک باید از آن ها عبور کند. همچنین می تواند همراه با یک Policy باشد که سیاستی که به ترافیک اعمال می شود را نیز مشخص می کند.

همانگونه که مشخص است، در یک VNF-FG می توان NFP هایی تعریف کرد که شامل بعضی از VNF ها نباشند. این حالت با یک مثال در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. در این شکل، ترافیکی که از یک NFP عبور داده می شود توسط VNF۲ پردازش نمی شود.

## VLD

نیازمندی های منابع مورد نیاز برای ایجاد لینک مجازی بین VNF ها، PNF ها و نقاط انتهایی سرویس توسط VLD توصیف می شوند. لینک های مجازی می توانند داخلی ۱ یا خارجی ۲ باشند. لینک های داخلی بین VNFC های یک VNF هستند در حالی که لینک های خارجی، بین VNF های مختلف برقرار می گردند. مثالی از لینک های مجازی و point Connection های داخلی و خارجی مرتبط در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. در این شکل، VNF۲ از سه VNFC تشکیل شده و لینک های داخلی در VNF۲ ارتباطات بین VNFC۱، VNFC۲ و VNFC۳ را برقرار می کنند. هر لینک، داخلی یا خارجی، به point Connection مرتبط با خود متصل است. به عنوان مثال VL۱ به CP۰۱ و CP۱۱ متصل است که نقطه ابتدایی سرویس را به VNF۱ متصل می کند.

مهمترین اجزای VLD، نوع لینک، پهنای باند آن، نیازمندی های کیفیت سرویس آن و همچنین point Connection های مرتبط با آن هستند. به عنوان مثال نوع لینک E-Line برای ارتباط نقطه به نقطه به کار می رود.

## PNFD

این توصیف کننده توسط VNFO استفاده می شود تا ارتباط بین VNF و کارکردهای فیزیکی را برقرار نماید. بنابراین محدود به توصیف کننده point Connection های کارکردهای فیزیکی و نیازمندی های ارتباطی با آن است. در صورتی که در یک سرویس شبکه، کارکرد فیزیکی وجود داشته باشد این المان اطلاعاتی نیز وجود دارد.

## ۳.۲.۲ موارد کاربرد

در این بخش موارد کاربرد مهم معماری NFV را شرح می دهیم. یکی از مهم ترین موارد کاربرد ذکر شده برای NFV مجازی سازی تجهیزات CPE<sup>۱۱</sup> است که در محل کاربران قرار دارد. عموماً تجهیزاتی که در مکان کاربران برای اتصال به اینترنت نگهداری می شود شامل دیواره آتش، NAT، مسیریاب و سویچ است. در این حالت تنظیمات تجهیزات باید در مکان کاربر صورت بگیرد که هزینه بالایی دارد. با استفاده از مجازی سازی این کارکردها و نگه داری آن در سمت ISP، میتوان هزینه تجهیزات و زمان نگهداری را کاهش داد. این مورد کاربرد در شکل ۱۷ نمایش داده شده است.

<sup>۱۱</sup>Customer-Premises Equipment

به عنوان مثالی دیگر از موارد کاربرد می توان مجازی سازی کارکردها در زیرساخت LTE را در نظر گرفت. در شکل ۱۸ شرایط قبل و بعد از مجازی سازی، P-GW، S-GW و PCRF و MMF نمایش داده شده است. با مجازی سازی این کارکردها علاوه بر استفاده بهتر از منابع، می توان تعداد نمونه های آن ها را مطابق با تعداد کاربران بدون تغییر در زیرساخت افزایش و یا کاهش داد.

## ۴.۲.۲ مسائل تحقیقاتی در معماری NFV

در این بخش مسائلی که در معماری NFV مطرح می شود را بررسی می کنیم. به صورت کلی این مسائل تحقیقاتی به سه دسته تقسیم می شوند [۴]:

- ساخت گراف VNF-FG
  - استقرار سرویس و تخصیص منابع بر اساس گراف VNF-FG
  - زمان بندی در استفاده از منابع تخصیص یافته به سرویس
- هر یک از این مسائل می توانند به صورت جدا و یا همراه با مسائل دیگر در یک مسئله مشترک مطرح شده و حل شوند. در ادامه به صورت خلاصه هر یک از این مسائل را شرح خواهیم داد:

### ساخت گراف VNF-FG

در این مسئله فرض می شود که گراف VNF-FG که گراف VNF های سرویس است به صورت دقیق مشخص نیست و کاربر گراف را به صورت جزئی مشخص کرده است. بنابراین ورودی مسئله یک گراف با ترتیب ناقص گره ها و خروجی آن گراف یا گراف های VNF-FG است که در آن دقیقاً همه لینک ها و VNF ها به صورت کامل مشخص هستند و خروجی آن VNF-FGD است. مثالی از ورودی این مسئله در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. در این شکل کاربر انتظار دارد VNF۴ بعد از VNF۱ اجرا شود و ترافیک VNF۴ وارد VNF۵ شود. خط چین آبی رنگ این وابستگی را توصیف میکند. پیکان های قهوه ای رنگ بیانگر لینک های خروجی های VNF۱ است. VNF۱ یک توزیع کننده بار است و VNF۴ ترافیک ورودی را ۵۰٪ برابر میکند. همه لینک ها در این مثال یک طرفه هستند.

دو نوع از گراف VNF-FG ای که در این مثال می توان ایجاد کرد در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. در هر دوی این گراف ها ترتیب مورد نظر کاربر رعایت شده است و بنابراین هر دو این گراف ها جواب مسئله هستند. این که کدام یکی از این گراف ها بهتر است می تواند از جواب مسئله تخصیص منابع محاسبه شود

### استقرار سرویس

سرویزی که توسط NSD و VNF-FG توصیف شده است باید در زیرساخت استقرار پیدا کند. استقرار سرویس به معنی ایجاد نمونه از VNF ها، VL ها و Point Connection های VNF ها بر روی زیرساخت فیزیکی است. ورودی این مسئله توصیف سرویس به همراه گراف VNF-FG است. خروجی آن این است که چه تعداد نمونه از VNF ها بر روی چه گره های ایجاد شوند و منابع پهنای باند به VL ها از روی چه لینک های در شبکه زیرساخت اختصاص پیدا کند. البته وابسته به اینکه چه مقدار اطلاعات در NSD توصیف شده و چه قالب استقرار مد نظر است ممکن است ورودی ها و خروجی های مسئله متفاوت از موارد گفته باشد. نمونه ای از ورودی و خروجی این مسئله در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.

نکته مهمی که باید در این مسئله در نظر گرفته شود برآورده کردن نیازمندی های سرویس است که توسط پارامترهای تضمین بیان می شود. بنابراین ممکن است یک سرویس را به چندین حالت بتوان مستقر کرد ولی صرفاً جوابی مناسب است که نیازمندی های سرویس و اهداف فراهم کننده سرویس و زیرساخت را برآورده کند.

### زمان‌بندی در استفاده از منابع تخصیص یافته

در تخصیص منابع مواردی وجود که منابع زیرساخت برای پاسخ گویی به همه درخواست های سرویس کافی نیست. در این حالت می توان منابع را بین سرویس های مختلف به اشتراک گذاشت. به عنوان مثال در صورت وجود منابع به اندازه کافی می توان برای هر VNF یک نمونه اختصاصی ایجاد کرد. یک نمونه اختصاصی یعنی یک ماشین مجازی که تصویر VNF مورد نظر را اجرا می کند و تصویر VNF در طول عمر ماشین مجازی با یک VNF دیگر عوض نخواهد شد. اما در صورت کمبود منابع میتوان تنظیم کرد که ماشین مجازی در یک دوره زمانی یک VNF و در دوره زمانی بعدی، VNF دیگری را اجرا کند.

سناریوی دیگری برای زمان بندی می تواند اینگونه باشد که نمونه های ایجاد شده از یک VNF بین گراف های VNF-FG مختلف به اشتراک گذاشته شده اند ولی همزمان نمیتوان ترافیک VNF-FG های مختلف را، به عنوان مثال به دلایل امنیتی، در نمونه ها پردازش کرد. در این حالت اگرچه در طول عمر ماشین مجازی یک VNF در حال اجرا است ولی اجرای کارکردها از گراف های VNF-FG مختلف با تاخیر زمان بندی مواجه خواهد شد. بنابراین ورودی مسئله نگاشت VNF ها به نمونه ها یا ماشین های مجازی و خروجی آن زمان بندی اجرای هر VNF در هر گراف VNF-FG است. نمونه ای از این مسئله در شکل ۱۶ نمایش داده شده است.

ورودی این مسئله، تخصیص VNF ها به ماشین های مجازی است و خروجی آن نحوه زمان بندی هر VNF برای اجرا در ماشین مجازی است. در این شکل، دو VNF به اسم های f۳ و f۲ بر روی ماشین مجازی VM۱ دو VNF به اسم های f۴ و f۱ بر روی ماشین مجازی VM۲ زمان بندی شده و اجرا می شوند. VNF های f۳ و f۴ مربوط به سرویس شماره ۱ و VNF های f۲ و f۱ مربوط به سرویس شماره ۲ هستند.

## ۳.۲ زنجیره‌سازی کارکرد سرویس

زنجیره سازی کارکردها ایده جدیدی نیست. در حال حاضر اپراتورها برای ارائه سرویس یک زنجیره از کارکردها ایجاد میکنند که ترافیک کاربر باید از کارکردها با یک ترتیب مشخص عبور کند. اگرچه همانطور که بیان شد در صورت تغییر در ترتیب کارکردها و یا زنجیره ها و یا ایجاد سرویس های جدید، نیازمند تغییر مکان فیزیکی کارکردها خواهیم بود که کاری سخت است و خالی از اشکال نیست. معماری زنجیره سازی کارکردهای سرویس، اپراتورهای شبکه را قادر می سازد که سرویس های جدید را به صورت نرم افزاری و پویا و بدون اینکه در سطح سخت افزار تغییری ایجاد کنند، ارائه کنند. در این راستا IETF در اسناد متعددی به شرح معماری و اجزای آن پرداخته است. در این بخش به شرح معماری زنجیره سازی کارکرد سرویس می پردازیم و بخش های اصلی آن را بیان می کنیم.

### ۱.۳.۲ اجزای معماری SFC

معماری SFC توسط RFC ۷۶۶۵ تعریف شده است [۱۳]. در این RFC یک سرویس شبکه به صورت پیشنهادی<sup>۱</sup> که توسط اپراتور ارائه می شود و از طریق یک یا چند کارکرد سرویس<sup>۲</sup> تحویل می شود، تعریف شده است. یک کارکرد سرویس، رفتار خاصی (به غیر از جلورانی) با بسته را انجام می دهد و می تواند در هر یک از لایه های مدل OSI فعالیت کند. یک شبکه یا بخشی از آن که در آن SFC پیاده سازی شده است یک دامنه SFC گفته می شود. در یک دامنه، SFC معماری SFC مطابق با شکل ۱۹ پیاده سازی می شود.

به صورت خلاصه اجزای اصلی این معماری عبارتند از:

- زنجیره کارکرد سرویس: یا به صورت خلاصه زنجیره کارکرد یک مجموعه مرتب از کارکردهای سرویس انتزاعی و محدودیت های ترتیبی که باید به بسته ها، فریم ها و یا جریان های دریافتی به عنوان نتیجه دسته بندی اعمال شود.
- دسته بند: وظیفه دسته بندی و انتخاب زنجیره کارکرد برای ترافیک ورودی بر اساس قوانین از پیش تعیین شده را برعهده دارد.
- SFF۳: وظیفه جلورانی و هدایت ترافیک در دامنه SFC را برعهده دارد.
- کارکرد سرویس (SF): یک کارکرد انتزاعی که مسئول انجام دادن رفتار خاصی، به جز جلورانی، با بسته است.
- Proxy: SF وظیفه ارتباط با کارکردهای غیر آگاه از کپسول بندی SFC را برعهده دارد.
- صفحه کنترل: وظیفه کنترل و نظارت بر زنجیره ها و ایجاد قوانین دسته بندی بر روی دسته بند را برعهده دارد.

همه این اعضا به صورت منطقی هستند و می توانند در شبکه به صورت فیزیکی و یا مجازی در یک یا چندین دستگاه فیزیکی به صورت مشترک با یکدیگر وجود داشته باشند. به عنوان مثال یک کارکرد می تواند خود دسته بندی را نیز انجام دهد و همراه با دیگر کارکردها و یک SFF در یک سرور فیزیکی وجود داشته باشد. در ادامه هر یک از بخش ها را مطابق با اسناد IETF و ITU-T شرح خواهیم داد [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶].

#### دسته بند

دسته بند وظیفه دسته بندی ترافیک ورودی بر اساس قوانینی که از طرف صفحه کنترل بر روی آن نصب می شود را برعهده دارد. پس از دسته بندی، دسته بند ترافیک را به یک زنجیره کارکرد و به صورت دقیق تر به یک SFP اختصاص می دهد. یک SFP مسیری است که مجموعه مرتب از نمونه های ساخته شده از کارکردها را تعریف می کند که بسته، فریم یا جریان در یک زنجیره باید از آن ها عبور کند. اگرچه در SFC کارکردها انتزاعی هستند ولی SFP با استفاده از نمونه های ایجاد شده از کارکردها (فیزیکی یا مجازی) تعریف می شود. معیار انتخاب SFP ریزدانی بیشتری نسبت به SFC دارد و به عنوان مثال می تواند شامل پارامترهای بیشتری مانند تاخیر مسیر نیز باشد.

به عنوان نتیجه دسته بندی، کپسول بندی<sup>۱</sup> مطابق با SFP انتخاب شده به داده ها اعمال می شود. این روند در شکل ۲۰ نمایش داده شده است. یک کپسول بندی باید حداقل مشخص کننده SFP ای که جریان باید از آن عبور کند باشد.



درشت دانگی ۱ دسته بند و قوانین دسته بندی وابسته به پیاده سازی است. همچنین دسته بندی مجددا می تواند در هر یک از گره های زنجیره کارکرد انجام شود که باعث می شود ترافیک به یک زنجیره مجزای دیگر هدایت شود. اغلب این مواقع دسته بند هم مکان با یک کارکرد است. به عنوان مثال کارکرد دیواره آتش می تواند در صورتی که بسته های مربوط به حمله را تشخیص داد آن را به یک زنجیره مجزا هدایت کند. یک دسته بند می تواند یک توزیع کننده بار ساده نیز باشد [۳].

### کارکرد سرویس

در معماری SFC، هر کارکرد سرویس یا به صورت خلاصه کارکرد می تواند فیزیکی یا مجازی باشد و الزامی به مجازی بودن کارکردها نیست. در یک دامنه SFC دو نوع کارکرد سرویس می تواند وجود داشته باشد. کارکردهای آگاه از کپسول بندی SFC و غیر آگاه از کپسول بندی. کارکردهای آگاه از کپسول بندی، پس از دریافت بسته ها مطابق با اطلاعات موجود در کپسول بندی SFC با آن برخورد میکنند. کاربردهای غیر آگاه نیاز به یک Proxy SF دارند که بسته را تحویل گرفته، سرآیند کپسول بندی SFC را برداشته و آن را به کارکرد غیر آگاه از SFC تحویل دهد. در ادامه Proxy بسته را از کارکرد تحویل گرفته و سرآیند را به آن ملحق میکند. به عنوان نمونه هایی از کارکرد سرویس می توان دیواره آتش و NAT را نام برد. همانگونه که گفته شد کارکردها انتزاعی هستند. در حقیقت هر کارکرد خود می تواند یک زنجیره جداگانه باشد که جزئیات آن در [۱۷] آمده است.

### زنجیره کارکرد سرویس

عنصر اصلی معماری RFC۷۶۶۵ زنجیره کارکرد سرویس ۱ (SFC) است. همان گونه که بیان شد زنجیره کارکرد سرویس به صورت یک مجموعه مرتب از کارکردهای سرویس انتزاعی و محدودیت های ترتیبی که باید به بسته ها، فریم ها و یا جریان های به عنوان نتیجه دسته بندی ۲ که توسط دسته بندی ۳ اعمال شود گفته می شود. به تعریف کردن مجموعه مرتب از کارکردهای سرویس، ایجاد نمونه از آن ها و هدایت کردن ترافیک به کارکردها زنجیره سازی کارکرد سرویس گفته می شود.

زنجیره کارکرد را می توان به صورت یک گراف مدل کرد که ترتیب عبور ترافیک از کارکردها در آن به صورت لینک های گراف مدل سازی شده است. لینک های بین کارکردها می تواند یک طرفه یا دو طرفه باشد. نمونه ای از زنجیره کارکردهای سرویس در شکل ۲۱ نمایش داده شده است.

در شکل ۲۱ هر گره گراف، بیانگر حداقل یک کارکرد انتزاعی، مثلا دیواره آتش، است. همانگونه که مشاهده می شود، یک کارکرد می تواند در چندین زنجیره وجود داشته باشد. در زنجیره اول و دوم در شکل ۲۱، در گره ۲ یک شاخه ایجاد شده است که منجر به انتخاب یک زنجیره جدید شده است. به عنوان مثال گره ۲ می تواند یک دیواره آتش باشد که اگر ترافیک متعلق به حمله را تشخیص دهد آن را به زنجیره دوم هدایت می کند. زنجیره سوم در شکل ۲۱ یک حلقه را نمایش می دهد. در یک زنجیره سرویس ممکن است کارکرد تکراری وجود داشته باشد. همانگونه که مشاهده می شود، ترافیک بعد از گره ۴ دوباره به گره ۷ برگشته است.

سه نوع مدل استقرار برای زنجیره کارکرد وجود دارد که این مدل ها در شکل ۲۲ نمایش داده شده است. این مدل ها وابسته به وجود یا عدم وجود دسته بند در کارکردها است.

در مدل خطی ۱ دسته بند انتخاب زنجیره کارکرد برای ترافیک ورودی را بر اساس قوانین دسته بندی انجام می دهد و پس از عبور ترافیک از کارکردها این دسته بندی عوض نمی شود. در مدل بازگشتی ۲ یک کارکرد، در شکل ۲۲ کارکرد SFI، تشخیص دسته بندی اشتباه می دهد. به عنوان مثال تشخیص می دهد که ترافیک شامل ترافیک حمله است. بنابراین کارکرد اجرای زنجیره برای آن ترافیک را متوقف کرده ولی از آنجایی که قابلیت دسته بندی در آن کارکرد قرار داده نشده است ناچار است ترافیک را به دسته بند بازگرداند تا زنجیره جدید را انتخاب کند. در شکل ۲۲ در حالت دوم این اتفاق رخ داده است. در مدل شاخه ای ۳، کارکرد قابلیت دسته بندی را نیز دارد و یک زنجیره جدید را انتخاب می کند. در این حالت کارکرد SFI یک زنجیره جدید را انتخاب کرده است.

هر زنجیره می تواند از یک یا چند SFP تشکیل شده باشد. انتخاب اینکه چه SFP به ترافیک ورودی اعمال شود برعهده دسته بند است. یک SFP می تواند به صورت کامل مشخص شود به این صورت که آدرس دقیق نمونه های کارکردها و SFF ها که بسته ها باید از آن عبور کنند به صورت دقیق مشخص باشد و یا اینکه تصمیم گیری به SFF ها واگذار شود که بسته را به کدام نمونه تحویل دهند. معماری ارائه شده در RFC۷۶۶۵ اجباری در مشخص کردن سطح بیان SFP ندارد. به عنوان مثال اگر یک زنجیره شامل یک دیواره آتش و یک کارکرد NAT داشته باشیم، یک SFP می تواند در این سطح تعریف شود که این دو کارکرد در مرکز داده شماره ۱ هستند. یک SFP دیگر می تواند دقیقاً مشخص کند که از کدام نمونه دیواره آتش و NAT استفاده شود. هر دو SFP صحیح هستند. در حقیقت ترتیب واقعی و دقیق ملاقات نمونه ها و SFF ها در RSP مشخص می شود. بنابراین اگر SFP صرفاً به شماره مرکز داده اشاره کرده باشد، RSP باید با ذکر جزئیات بیشتری ترتیب را بیان کند.

زنجیره کارکردها می تواند یکطرفه یا دو طرفه یا ترکیبی باشد به این معنی که ترافیک می تواند از یک طرف یا هر دو طرف به نمونه های ساخته شده از کارکردها وارد شود. در زنجیره دو طرفه نمونه هایی که ترافیک به آن ها وارد می شود باید در هر دو جهت یکسان باشد.

## SFF

مولفه SFF مسئولیت ارسال اطلاعات به کارکردها و دریافت دوباره اطلاعات از آن ها را بر اساس اطلاعاتی که در کپسول بندی SFC وجود دارد برعهده دارد. همچنین SFF می تواند ترافیک را از کلاس بند دریافت کند و در جریان مسیریابی ترافیک را به SFF های دیگر هدایت کند و در صورتی که SFF آخرین عضو در SFP باشد سرآیند های مرتبط با کپسول بندی SFC را از بسته ها بردارد. همچنین SFF مسئولیت تحویل بسته ها به Proxy SF و دریافت بسته ها از آن را برعهده دارد. در حقیقت وظیفه جلورانی و هدایت بسته در یک دامنه SFC بر عهده SFF ها است.

## صفحه کنترل

پاراگراف مولفه های صفحه کنترل به صورت دقیق در [۱۴] مشخص نشده اند ولی به صورت کلی مسئولیت های زیر برای آن در نظر گرفته شده است:

- ایجاد و نظارت بر همبندی آگاه از سرویس
- نگهداری یک مخزن از SFC ها، ضوابط تطبیق جریان ترافیک با SFC ها، نگاشت بین SFC ها و SFP ها

- محاسبه SFP ها به صورت متمرکز یا توزیع شده
- به روز رسانی SFC ها و یا تنظیم SFP ها. به عنوان مثال زمانی که یک نمونه از کار می افتد.
- تنظیم جداول جلورانی SFP بر روی SFF و همچنین نصب قوانین دسته بندی بر روی دسته بند.

### ۲.۳.۲ کپسول بندی SFC

در یک دامنه SFC، دسته بند پس از دسته بندی ترافیک از کپسول بندی SFC استفاده می کند که در آن یک سرآیند به بسته ها اضافه می شود. در این سرآیند SFP مورد نظر برای جلورانی بسته ها مشخص شده و این سرآیند توسط کارکردهای آگاه از SFC و همچنین SFF ها برای جلورانی استفاده می شود. برای کپسول بندی، IETF سرآیند [۱۶] NSH را پیشنهاد داده است. اطلاعات این سرآیند در ضمیمه آورده شده است.

### ۳.۳.۲ موارد کاربرد

در این بخش به صورت خلاصه موارد کاربرد معماری SFC را مرور خواهیم کرد. نمونه ای از کارکردهایی که می توانند در مرکز داده قرار بگیرند در شکل ۲۳ نمایش داده شده است. در این شکل، ترافیک از اینترنت قبل از وارد شدن به سرورهای مرکز داده، توسط یک کارکرد NAT، یک کارکرد دیواره آتش و یک کارکرد IDS پردازش می شود تا شامل ترافیک حمله نباشد.

یک مورد کاربر دیگر می تواند در شبکه های موبایل باشد. معماری شبکه LTE در شکل ۲۷ نمایش داده شده است. در این شکل، اطلاعات کاربر پس از عبور از P-GW از طریق واسطه SG وارد PDN می شود که دسترسی به اینترنت و سرویس های ارزش افزوده اپراتور را فراهم می کند.

زنجیره های کارکرد متنوعی را می توان در بخش SGI-Lan شبکه PDN تعریف کرد. نمونه ای از این زنجیره ها در شکل ۲۸ نمایش داده شده است.

در این حالت زنجیره پیش فرض برای ترافیک SFC<sub>۱</sub> است. اگر ترافیک شامل ترافیک ویدئوی نیز باشد SFC<sub>۲</sub> و اگر ترافیک مربوط به ارتباط HTTPS باشد SFC<sub>۳</sub> اجرا خواهد شد.

### ۴.۳.۲ مسائل تحقیقاتی در معماری SFC

تمرکز اصلی معماری SFC بر ایجاد زنجیره پویا از کارکردها است. ولی قبل از ایجاد زنجیره، باید کارکردها بر روی زیرساخت فیزیکی وجود داشته باشند. بنابراین در صورتی که کارکردها وجود داشته باشند، مسائل معماری SFC بر مسیریابی ترافیک بین کارکردها و ایجاد SFP تمرکز می کند. در غیراین صورت می توان به صورت همزمان کارکردها را جایگذاری کرده و مسیریابی ترافیک را نیز انجام داد.

هر گراف SFC را می‌توان به وسیله یک گراف VNF-FG نیز نمایش داد [۱۵]. به همین دلیل با فرض اینکه کارکردها از قبل در زیرساخت قرار نداشته باشند و توسط VNF ارائه شوند، مسائل تحقیقاتی معماری SFC مشابه مسائل تحقیقاتی معماری NFV خواهند شد. یعنی مسائل ایجاد زنجیره SFC، استقرار سرویسی که توسط SFC توصیف می‌شود و همچنین زمان بندی در تخصیص منابع اختصاص یافته در معماری SFC نیز مطرح خواهند شد.

در حالتی که کارکردها از قبل ایجاد شده باشند، یک مسئله ایجاد SFP از نمونه‌های ایجاد شده از کارکردها است. در این حالت باید مسیریابی ترافیک بین نمونه‌های مختلف کارکردها مشخص شود به نحوی که نیازمندی‌های سرویس و اهداف فراهم کننده سرویس و یا زیرساخت برآورده شود. یک نمونه از این مسئله در شکل ۲۵ نمایش داده شده است.

در شکل ۲۵ ورودی مسئله یک SFC است و خروجی آن یک SFP از نمونه‌های ایجاد شده از کارکردها است. در حقیقت مسئله باید معین کند چه نمونه‌ای از کارکردها باید مورد استفاده قرار بگیرد. همانگونه که در این شکل مشخص است چهار انتخاب برای این مسئله وجود دارد. به این مسئله می‌توان ابعاد دیگری مانند توزیع بار بین SFP های مختلف را نیز اضافه کرد.

## ۴.۲ ارتباط معماری‌های SFC و NFV

معماری NFV بر جداسازی کارکردها از زیرساخت اختصاصی تمرکز دارد و این کار را با استفاده از مجازی سازی انجام می‌دهد. یک سرویس شبکه در معماری NFV توسط NSD توصیف می‌شود که اجزای آن گراف VNF-FG، ها VNF VL ها به همراه پارامترهای نظارت و تضمین سرویس هستند. پس از استقرار سرویس، ترافیک مشتری می‌تواند با استفاده از Source IP Routing از نمونه‌های ایجاد شده از کارکردها عبور داد ولی معماری NFV درباره نحوه مسیریابی ترافیک سکوت کرده است.

معماری SFC بر ایجاد زنجیره کارکرد سرویس به صورت پویا تمرکز کرده است که این کار را از طریق دسته بندی ترافیک و اعمال کپسوله بندی به آن ها و استفاده از سرایند NSH انجام می‌دهد. در معماری SFC نیاز و یا تاکید بر مجازی بودن کارکردها نیست و صرفا کارکردها باید قادر به پردازش ترافیک مطابق با کپسول بندی انجام شده باشند. حتی در صورتی که کارکردها قادر به این کار نباشند معماری SFC، مولفه های Proxy SF را تعریف کرده است که قادر به پردازش ترافیک و ارسال آن به کارکردهای غیر آگاه از کپسول بندی میکنند.

مفهوم زنجیره کارکرد ابتدا توسط ETSI با استفاده از گراف NF-FG ارائه شد. در حقیقت زنجیره کارکرد شکل ساده شده ای از NF-FG است و می‌تواند توسط لینک های نقطه به نقطه (E-Line) که کارکرد ها را به یکدیگر متصل می‌کنند، در معماری NFV پیاده سازی شود. در هر صورت برای ایجاد سرویس های با ساختار پیچیده تر باید از توصیف NF-FG استفاده کرد [۱۵]. در معماری NFV، گراف NF-FG یا VNF-FG هر هم بندی دلخواهی می‌تواند داشته باشد و هر ترتیب دلخواه ملاقاتی را با استفاده از NFP می‌توان بر روی آن ایجاد کرد. این در حالی است که زنجیره کارکرد اجازه ایجاد گره های منشعب کننده را نمی‌دهد و گره های منشعب کننده در حقیقت یک زنجیره کارکرد جدید را ایجاد می‌کنند. در نهایت اگرچه معماری SFC، سطح تعریف SFP را به صورت دقیق مشخص نکرده است ولی می‌توان SFP را مشابه NFP داخل VNF-FGR در نظر گرفت. از آنجایی که SFP به نمونه های کارکردها اشاره می‌کند، NFP داخل VNF-FGR نیز به نمونه های ایجاد شده از VNF ها اشاره می‌کند. البته باید توجه