



معیارهای انتخاب سکوها و ابزارهای
خود کارسازی مدیریت شبکه‌های مبتنی بر
مجازی سازی توابع شبکه



عنوان گزارش: معیارهای انتخاب سکوها و ابزارهای خودکارسازی مدیریت شبکه‌های مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه

کلمات کلیدی: هم‌نوآساز شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع، مدیر زیرساخت مجازی، Hypervisor، معیار

تهیه کننده: مجید یوسفی

ناظر علمی: ناهید امانی

گروه پژوهشی: مدیریت یکپارچه شبکه

تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۲

حقوق معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات است و استفاده از آن با ذکر مآخذ بلامانع است.

چکیده

برای تحقق سرویس‌های متنوعی که شبکه نسل پنجم ارائه می‌دهد الزامات و نیازمندی‌هایی نظیر انعطاف^۱، خودکارسازی^۲، چابکی^۳ و مقیاس‌پذیری^۴ برای مدیریت شبکه وجود دارد. از این رو یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد شبکه‌های مبتنی بر توابع مجازی شبکه -یا به اختصار NFV- برای شبکه‌های نسل پنجم و بالاتر است تا بتوان از مزایای نرم‌افزاری بودن آن‌ها استفاده کرد. NFV، عناصر شبکه مانند دیواره آتش، NAT و ... را از تجهیزات اختصاصی سخت‌افزاری مستقل کرده و امکان پیاده‌سازی آن‌ها به‌عنوان نرم‌افزار را روی سخت‌افزارهای متداول مرکز داده فراهم می‌کند. به دلیل نیازمندی تخصیص پویای منابع در NFV، منابع پردازشی، ذخیره‌سازی و شبکه‌ای به صورت مجازی بر بستر ابر ارائه می‌شود. با توجه به نیازمندی‌های شبکه‌های مخابراتی و ارتباطی، نیازمندی‌های ابری مخابراتی برای پشتیبانی از شبکه‌های مذکور نسبت به ابر معمول در فناوری اطلاعات سختگیرانه‌تر است.

در گزارش حاضر سعی شده است با نگاه به استانداردها، مقالات و جهت‌گیری صنعت و پروژه‌های مقیاس متوسط و بزرگ، علاوه بر آن‌که معیارهایی برای انتخاب مؤلفه‌های موردنیاز زیرساخت اجرای NFV ارائه شود، معیارهایی برای انتخاب ابزارهای و سکوها مدیریت شبکه مذکور نیز گردآوری و پیشنهاد شود. امید است سند حاضر توسط توسعه‌دهندگان بومی در طرح‌ریزی و طراحی محصولات بومی استاندارد مورد استفاده قرار گیرد و به پیشبرد اهداف بومی‌سازی شبکه ملی اطلاعات در کشور نیز کمک کند. همچنین کاروران کشور می‌توانند هنگام خرید راه‌حل‌های مرتبط با مؤلفه‌های بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات مبتنی بر NFV، معیارهای معرفی شده را برای مقایسه و محک محصولات تولیدکنندگان مختلف مورد استفاده قرارداد تا در تأمین محصولات و راه‌حل‌های مذکور، تناسب بیشتری بین نیازمندی‌های شبکه، ویژگی‌های محصولات و راه‌حل‌های خریداری‌شده و هزینه‌های تأمین آن‌ها برقرار شود.

^۱ Flexibility

^۲ Automation

^۳ Agility

^۴ Scalability

فهرست مطالب

۱	.....	۱ مقدمه
۴	.....	۲ معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه مبتنی بر مجازی سازی توابع
۴	.....	۲-۱ معیار انرژی
۵	.....	۲-۲ معیارهای مرتبط با زیرساخت محاسباتی
۹	.....	۲-۳ معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه ای
۱۰	.....	۲-۴ معیارهای مرتبط با زیرساخت ذخیره سازی
۱۱	.....	۲-۵ معیارهای مرتبط با Hypervisor
۱۲	.....	۳ معیارهای مرتبط با مدیر زیرساخت مجازی
۱۴	.....	۴ معیارهای مرتبط با همنو ساز شبکه مبتنی بر مجازی سازی توابع
۱۵	.....	۵ معیارهای مرتبط با سیستم عامل
۱۶	.....	۶ معیارهای مرتبط با کل سیستم
۲۰	.....	۶-۱ معیارهای مرتبط با تأخیر کل سیستم
۲۳	.....	۷ جمع بندی و پیشنهادات
۲۴	.....	۸ مراجع

۱ مقدمه

چارچوب معماری^۱ شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه^۲ - که از این پس با اختصار NFV معرفی می‌شود - برای اولین بار توسط مؤسسه استانداردسازی مخابرات اروپا^۳ - که از این پس با اختصار ETSI از آن یاد می‌شود - به طور رسمی ارائه شد [1] که نمای آن در شکل ۱ دیده می‌شود. چارچوب مرجع مذکور شامل گستره‌ای از منابع پردازشی سخت‌افزاری (و حتی نرم‌افزاری) در دسته‌های محاسباتی، ذخیره‌سازی و شبکه‌ای^۴ است. در عمل به دلیل نیاز ارائه‌دهندگان خدمات ارتباطی به ظرفیت بالا و استفاده از مزایای تخصیص منابع به صورت پویا و توزیع شده، منابع مذکور در قالب رایانه‌های خدمت‌رسان^۵ مستقر در مراکز داده در دسترس هستند. منابع و زیرساخت‌های مرکز داده در بخش زیرساخت شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه - که از این پس با اختصار NFVI معرفی می‌شود - از شکل ۱ قابل رؤیت است. در مقیاس بزرگتر و برای مواردی مانند ایجاد امکان مهاجرت پردازش توابع مجازی شبکه^۶ - که از این پس با اختصار VNF معرفی می‌شود - و بالا بردن تاب‌آوری^۷ خدمت مبتنی بر شبکه NFV، ارتباط بین مراکز داده متصور است. در واقع اشتراک منابع بین مراکز داده مختلف اتفاق می‌افتد.

با توجه به نیاز تخصیص پویای منابع در NFV، منابع پردازشی، ذخیره‌سازی و شبکه‌ای به صورت مجازی بر بستر ابر^۸ ارائه می‌شود. بخش مدیر زیرساخت مجازی^۹ - که از این پس با اختصار VIM از آن یاد می‌شود - از شکل ۱ وظیفه مدیریت تخصیص منابع مذکور را بر عهده دارد. ابزارهایی مانند Openstack، OpenVIM، Cloudstack، VMware نمونه‌هایی از نرم‌افزارهای مدیریت محیط ابری هستند. با توجه به ماهیت کاربرد VIM، ارتباط مستقیم و درک آن از NFVI الزامی است. در محیط‌هایی که بخش NFVI از ارتباط چند مرکز داده تشکیل شده است، به جای VIM از عبارت مدیر زیرساخت شبکه گسترده^{۱۰} یا به اختصار WIM نیز استفاده می‌شود.

^۱ Architectural Framework

^۲ Network Function Virtualization (NFV)

^۳ European Telecommunications Standardization Institute (ETSI)

^۴ Compute, Storage and Network

^۵ Servers

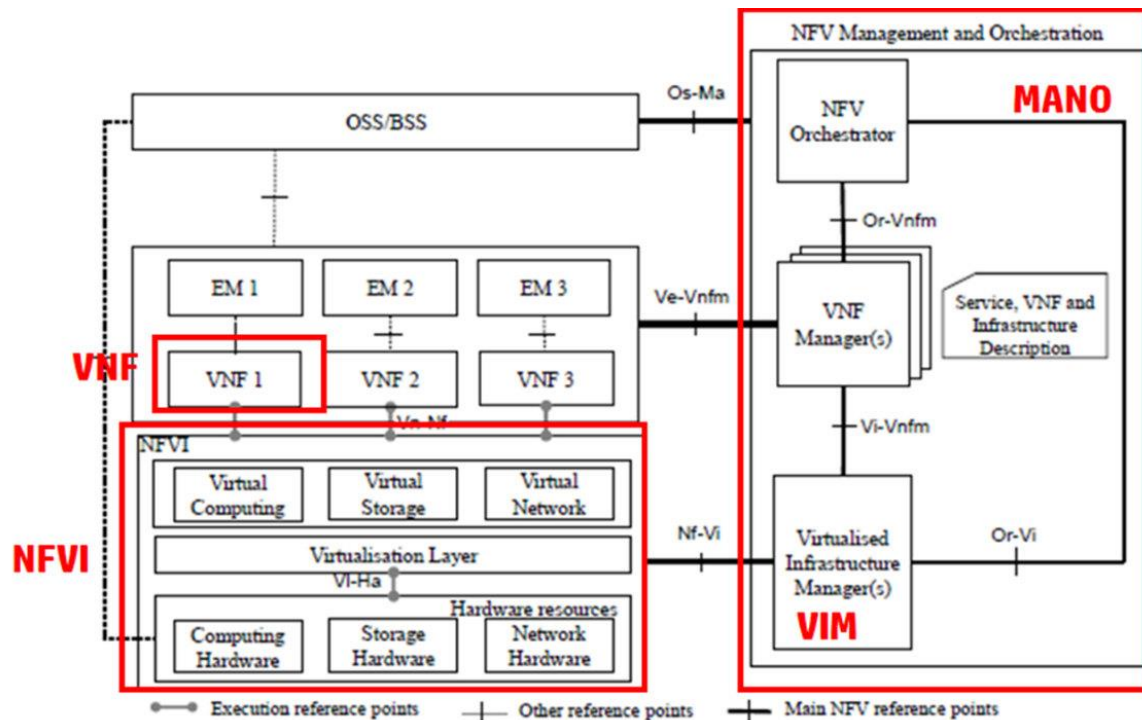
^۶ Virtual Network Function (VNF)

^۷ Resiliency

^۸ Cloud

^۹ Virtual Infrastructure Manager (VIM)

^{۱۰} Wide Area Infrastructure Manager



شکل ۱ چارچوب معماری مرجع NFV، استاندارد شده توسط ETSI [1]

مؤلفه همواساز شبکه مبتنی بر مجازی سازی توابع^۱ - که از این پس با اختصار NFVO از آن یاد می شود- در شکل ۱ بالاترین لایه مدیریت و همواسازی در شبکه ای است که به طور کامل با VNF ها ایجاد شده اند. NFVO طی تعامل با VIM و مدیر تابع مجازی شبکه^۲ یا به اختصار VNFM از وضعیت منابع پردازشی و چرخه حیات توابع مجازی شبکه اطلاع حاصل می کند و بر اساس نیازمندی های خدمت مورد انتظار در شبکه، درخواست های تخصیص و پیکربندی منابع را به VNFM و VIM اعلام می کند. در واقع مدیریت چرخه حیات خدمت توسط NFVO انجام می شود. مطابق [24]، خدمت شبکه ترکیبی از VNF هاست که با ویژگی های عملکردی و رفتاری خاصی تعریف می شود. ویژگی های رفتاری مانند امنیت، کارایی، اتکاپذیری است. در [24] بیان شده است خدمت انتها به انتهای^۳ شبکه تحت تأثیر ویژگی های رفتاری و عملکردی هر VNF تشکیل دهنده خدمت و همچنین مکانیسم ترکیب زیر ساخت شبکه است.

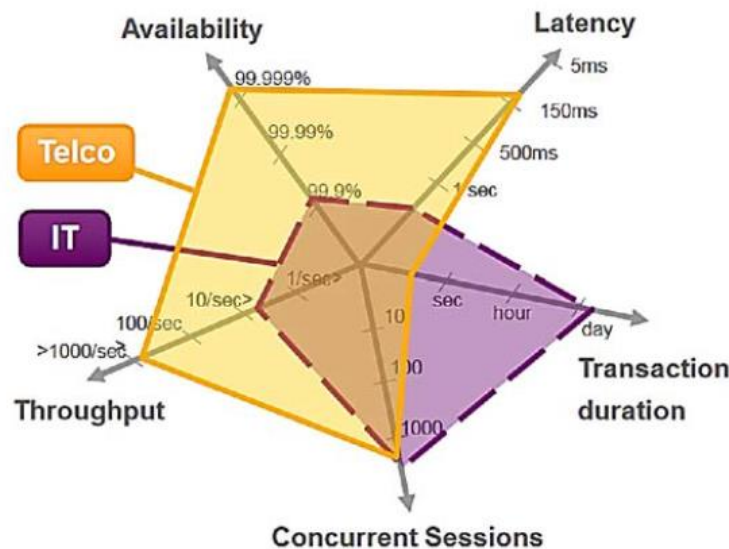
در محیط ابری، لایه مجازی سازی منابع یکی از پیش نیازهاست. ایجاد انتزاع از منابع اصلی برای کاربران متفاوت و ایزوله سازی منابع آن ها از یکدیگر توسط Hypervisor انجام می شود (Virtualization Layer در شکل ۱).

^۱ Network Function Virtualization Orchestrator (NFVO)

^۲ Virtual Network Function Manager

^۳ End-to-End

با توجه به نیازمندی‌های شبکه‌های مخابراتی و ارتباطی، نیازمندی‌های ابری مخابراتی برای پشتیبانی از شبکه‌های مذکور نسبت به ابر معمول در فناوری اطلاعات سختگیرانه‌تر است. از این رو عناوین ابر مخابراتی^۱ و ابر فناوری اطلاعات^۲ برای تفکیک این دو کاربرد محیط‌های ابری به طور رایج مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ نمایی از تفاوت‌های نیازمندی‌های دو محیط ابری مذکور قابل رؤیت است [2].



شکل ۲ مقایسه نیازمندی‌های کارایی ابر مخابراتی و ابر فناوری اطلاعات [2]

در این گزارش معیارهایی برای انتخاب زیرساخت پردازشی، شبکه‌ای، ذخیره‌سازی و Hypervisor معرفی خواهد شد تا بتوان با توجه به معیارهای منتخب، مقایسه‌ای بین محیط‌های مختلف ارائه داد. با مرور انجام شده روی منابع مختلف، برخی از معیارها به کل MANO برمی‌گردد. در واقع معیار مورد نظر وابسته به اثر مؤلفه‌های مختلف بستر MANO (VIM، NFVI، Hypervisor و ...) از شکل ۱ است. اما برخی معیارها فقط به مؤلفه خاصی از شکل ۱ مرتبط است. با این نگاه، در حوزه انتخاب مؤلفه‌های NFVI و VIM، معیارها با دسته‌بندی ذیل ارائه می‌شوند:

- معیارهای مرتبط با NFVI

- معیارهای مرتبط با انرژی مصرفی
- معیارهای مرتبط با زیرساخت محاسباتی

^۱ Telecommunications (Abb. Telco) Cloud

^۲ Information Technology (Abb. IT) Cloud

- معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه‌ای
- معیارهای مرتبط با زیرساخت ذخیره‌سازی
- معیارهای مرتبط با Hypervisor

- معیارهای مرتبط با VIM
- معیارهای مرتبط با NFVO
- معیارهای مرتبط با سیستم عامل
- معیارهای مرتبط با کل سیستم

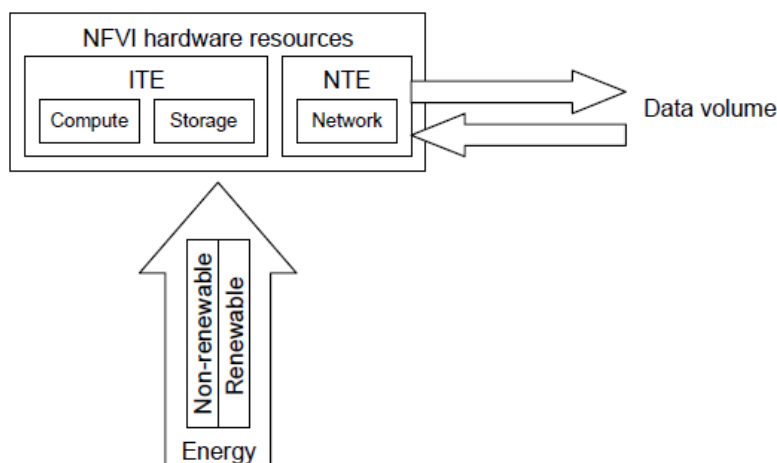
۲ معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع

بخشی از معیارهای مرتبط با NFVI به این لایه به دید کل نگاه می‌کند و برخی از معیارها به طور خاص به یکی از منابع پردازشی (محاسباتی، شبکه‌ای یا ذخیره‌سازی) می‌پردازد. در ادامه موارد مستخرج از مراجع و مرتبط با NFVI بیان می‌شود.

۱-۲ معیار انرژی

در بند تعاریف مرجع [3]، بهره‌وری انرژی^۱، ارتباط بین خروجی مفید و میزان انرژی مصرف شده است. منظور از خروجی مفید، خدمتی است که توسط کاربرد مصرف‌کننده انرژی ارائه می‌شود. به بیان ساده، برای ارائه یک خدمت چه میزان انرژی مصرف می‌شود. در [3] معیاری برای بهره‌وری انرژی NFVI بر اساس حجم مشخصی از ترافیک تبادل شده توسط NFVI ارائه شده است. در شکل ۳ عناصر اثرگذار بر شاخص بهره‌وری انرژی نمایش داده شده است.

^۱ Energy Efficiency



شکل ۳ نمایی از عناصر مؤثر بر شاخص بهره‌وری انرژی [3]

میزان انرژی مصرفی توسط NFVI در طول یک دوره ارزیابی معمولاً یک سال سنجش می‌شود تا تمامی شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شود.

جدول ۱ معیار بهره‌وری انرژی NFVI

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
بهره‌وری انرژی	حاصل تقسیم حجم کل داده‌های انتقالی بر کل انرژی مصرفی در طول دوره زمانی ارزیابی (معمولاً یک سال)	[3]	✓	

۲-۲ معیارهای مرتبط با زیرساخت محاسباتی

در جدول ۲ معیارهای مستخرج از مراجع مورد بررسی که به زیرلایه محاسبات^۱ از NFVI مربوط می‌شود، لحاظ شده است.

جدول ۲ معیارهای مرتبط با زیرساخت محاسباتی

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
معماری پردازنده	اولویت برای پردازنده‌های رایانه‌های خدمات رسان عام منظوره، پردازنده‌های از نوع CISC و x64 است.	[7]	✓	

^۱ Compute

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
مجموعه دستورالعمل‌های اضافی ^۱ در پردازنده	مواردی مانند پشتیبانی پردازنده از رمزنگاری و رمزگشایی، اجرای کدها به صورت امن، وجود دستورالعمل‌هایی برای جلوگیری از انتشار بدافزارها در سطح رایانه و شبکه	[7]	✓	
فرکانس پردازنده ^۲	هرچه بیشتر باشد سرعت اجرای دستورالعمل‌ها می‌تواند بالاتر باشد.	[7][9][8]	✓	
پشتیبانی از چندنخی ^۳	راهکاری برای استفاده بهتر از ظرفیت پردازنده است تا به طور همزمان چند پردازش روی یک پردازنده قابل اجرا باشد.	[7]	✓	
دارا بودن قابلیت hyper threading	Hyperthreading یک فناوری توسعه یافته توسط اینتل برای افزایش عملکرد پردازنده است که یک پردازنده فیزیکی را به دو پردازنده مجازی تبدیل می‌کند تا بهره‌وری را افزایش دهد.	[8]	✓	
ظرفیت حافظه نهان ^۴ پردازنده	-	[7][9][8]	✓	
پهنای باند گذرگاه ^۵ بین پردازنده‌ها	هرچه سرعت گذر بین پردازنده‌ها بیشتر باشد، سرعت کلی سیستم بالاتر است.	[7]	✓	
تعداد هسته‌های پردازنده ^۶	-	[7][9][8]	✓	
پشتیبانی سخت‌افزاری از مجازی‌سازی	در برخی پردازنده‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌ها موجود است که باعث می‌شود پردازنده مدیریت برخی از کارهای Hypervisor را برعهده می‌گیرد و بار کاری Hypervisor را کم می‌کند. نمونه‌ای از آن ویژگی VT-X در پردازنده‌های اینتل است.	[7]	✓	
پشتیبانی از صفحات بزرگ	هر صفحه، بلوکی پیوسته از حافظه مجازی است. هرچقدر پردازنده بتواند صفحات بزرگتری را آدرس‌دهی و پردازش کند موجب کاهش تعداد دفعات مراجعه به حافظه موقتی با دستیابی تصادفی شده و سرعت پردازش بالاتری دیده خواهد شد.	[7]	✓	

^۱ Extended Instruction Set

^۲ Clock Rate or Clock Frequency

^۳ Multi-threading

^۴ Cache Memory

^۵ Bus

^۶ CPU Cores

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
وجود حافظه نهان TLB ^۱ با پشتیبانی از آدرس‌دهی صفحات بزرگ	حافظه نهان TLB بخشی از حافظه نهان پردازنده است که با هدف نگهداری نگاشت بین آدرس‌های مجازی و فیزیکی ایجاد شده است. با توجه به این که حافظه نهان برای افزایش سرعت دسترسی به حافظه موقتی با دستیابی تصادفی به کار می‌رود، از این طریق سرعت دسترسی به بلوک حافظه و به تبع آن سرعت پردازش بالاتر می‌رود.	[7]	✓	
ظرفیت حافظه نهان TLB	-	[7]	✓	
وجود حافظه نهان چندسطحی	وجود حافظه نهان چندسطحی سبب خواهد شد تا دادگانی که نیاز به تأخیر کمتر برای تبادل بین پردازنده و حافظه موقتی با دستیابی تصادفی دارند، در سطح ۱ و دادگان دیگر به ترتیب اولویت در سطح ۲ تا ... قرار بگیرند. در پردازنده‌های فعلی تا ۴ سطح حافظه نهان هم وجود دارد. سطح ۱ نزدیکترین به پردازنده است اما ظرفیت پایین‌تری نسبت به سطوح دیگر دارد. هرچه شماره سطح بالاتر می‌رود، ظرفیت ذخیره‌سازی آن بالاتر می‌رود.	[7]	✓	
امکان ایجاد وابستگی پردازش به پردازنده ^۲	این ویژگی سبب می‌شود پردازش برای اجرا فقط به پردازنده/پردازنده‌های خاصی منتسب شود. بنابراین می‌توان مکانیسم‌هایی برای انتساب هر پردازش به پردازنده‌های روی رایانه خدمت‌رسانی واحد را اعمال کرد. به این صورت تبادل بین سایت‌ها یا بین رایانه‌های خدمت‌رسان کاهش یابد.	[7]	✓	
سرعت دسترسی به دادگان ذخیره شده در RAM	-	[7]	✓	
ظرفیت RAM	-	[8]	✓	
تأخیر تبادل دادگان از RAM	هرچه میزان تأخیر ناشی از تبادل داده بین RAM و سایر موجودیت‌ها کمتر باشد، وقفه ناشی از پردازش سیستم کمتر خواهد بود.	[7]	✓	
پشتیبانی از صفحات بزرگ ورودی/خروجی ^۳	در تجهیزات ذخیره‌سازی مکانیکی، عمده زمان خواندن داده از دیسک به زمان رسیدن بازوی مکانیکی به نقطه شروع بلوک برمی‌گردد. بنابراین، اگر به ازای هر حرکت مذکور، بلوک بزرگتری به حافظه موقتی با دستیابی تصادفی منتقل شود، تعداد خواندن از دیسک کمتر و در نتیجه به دلیل وجود بلوک بزرگتر	[7]	✓	

^۱ Translation Lookaside Buffer

^۲ Interrupt Affinity

^۳ Input/Output (I/O)

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
	در حافظه موقتی با دستیابی تصادفی، سرعت تبادل بین پردازنده و حافظه موقتی با دستیابی تصادفی بالاتر خواهد بود. پردازنده‌ای که ویژگی ^۱ SLAT داشته باشد از این معیار پشتیبانی می‌کند. به عنوان مثال، در پردازنده‌های اینتل، ویژگی EPT ^۲ نمونه‌ای از پشتیبانی از SLAT است.			
وجود حافظه نهان TLB برای ورودی/خروجی با پشتیبانی از آدرس‌دهی صفحات بزرگ	توضیحات TLB در سطرهای قبلی از جدول آمده است	[7]	✓	
دسترسی مستقیم به حافظه ^۳	ویژگی دسترسی مستقیم به حافظه امکانی را فراهم می‌کند تا تجهیزات مانند کارت شبکه و دیسک ذخیره‌سازی بدون نیاز به واسطه‌گری پردازنده با RAM تبادل داشته باشند (به عنوان مثال، ویژگی VT-d ^۴ در پردازنده‌های اینتل). دسترسی مستقیم به حافظه از راه دور ^۵ به عنوان یکی از راهکارهای دسترسی مستقیم به حافظه روشی است تا امکان تبادل مستقیم بین دو RAM در دو رایانه متصل از طریق شبکه را بدون وابستگی به پردازنده یا حتی سیستم عامل امکان‌پذیر می‌کند. یکی از پروتکل‌ها RoCE ^۶ است.	[7]	✓	
دسترسی مستقیم به حافظه نهان پردازنده ^۶	این ویژگی سبب می‌شود تجهیز ورودی/خروجی امکان تبادل داده مستقیم با حافظه نهان پردازنده را داشته باشد. این موضوع در ارتباط بین کارت شبکه و حافظه نهان مهم است تا بدون درگیر کردن پردازنده به تبادل بپردازد. به عنوان مثال، ویژگی DDIO ^۷ از VT-d در پردازنده‌های اینتل برای پشتیبانی از این معیار ارائه شده است.	[7]	✓	

^۱ Second Level Address Translation

^۲ Extended Page Table

^۳ Direct Memory Access (DMA)

^۴ Remote Direct Memory Access (RDMA)

^۵ RDMA over Converged Ethernet

^۶ Direct Access Cache

^۷ Data Direct I/O

۲-۳ معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه‌ای

پس از بررسی مراجع، معیارهایی که به تجهیزات شبکه‌ای برمی‌گردد استخراج و در جدول ۳ لحاظ شده است.

جدول ۳ معیارهای مرتبط با زیرساخت شبکه‌ای

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
دسترسی مستقیم کنترل‌گر شبکه ^۱ به حافظه	مشابه توضیحات بیان‌شده در خصوص دسترسی مستقیم به حافظه در جدول ۲	[7]	✓	
دسترسی مستقیم کنترل‌گر شبکه به حافظه نهان پردازنده	مشابه توضیحات بیان‌شده در خصوص دسترسی مستقیم به حافظه نهان پردازنده در جدول ۲	[7]	✓	
امکان وابستگی جریان به هسته‌های خاصی از پردازنده	این ویژگی سبب می‌شود دادگان منتقل شده توسط تجهیز شبکه به سمت هسته‌های خاصی از پردازنده هدایت شود و از میزان رقابتی بودن دسترسی به پردازنده در محیط‌های با سطح تبادل دادگان شبکه بالا می‌کاهد.	[7]	✓	
قابلیت شتاب‌دهی در کنترل‌گر شبکه	در بازار، چنین کارت شبکه‌ای با عنوان کارت شبکه هوشمند ^۲ شناخته می‌شود. ویژگی‌های کارت شبکه‌های مذکور سبب می‌شود بخشی از پردازش به سمت پردازنده نرود و توسط خود کارت شبکه پردازش شود.	[7]	✓	
نسبت اتلاف بسته‌ها	منظور از بسته اتلاف‌شده، بسته‌های ترافیک شبکه است که پس از ارسال از مبدأ به مقصد نرسیده‌اند یا دیرتر از زمان مقرر به مقصد رسیده‌اند. هرچه این میزان کمتر باشد، زیرساخت شبکه‌ای بهتری استقرار یافته است.	[10][11][21]	✓	✓
تعداد بسته‌های خطا دار ^۳	تعداد بسته‌های شناسایی شده با حالت‌های مختلف ایراد ^۴ در طول انتقال موردنظر است. هرچه تعداد بسته‌های خطا دار کمتر باشد، به این معناست که زیرساخت شبکه‌ای بهتری وجود دارد.	[10]	✓	
تأخیر بسته‌ها	فاصله بین ارسال یک بسته داده (مطابق با پروتکل مورد استفاده مانند IP) تا دریافت آن در مقصد. هرچه میزان تأخیر بسته‌ها کمتر باشد، زیرساخت شبکه‌ای بهتری استقرار یافته است.	[11][21]	✓	✓

^۱ Network Interface Controller (NIC)

^۲ Smart NIC

^۳ Errored Packet

^۴ corruption

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
نوسانات تأخیر ^۱	به طور عمده به صورت تغییرات تأخیر بسته‌های متوالی در نظر گرفته می‌شود. هرچه میزان تغییرات تأخیر کمتر باشد، به این معناست که ثبات شبکه بیشتر است و زیرساخت شبکه‌ای بهتری استقرار یافته است.	[11][21]	✓	✓
زمان انتقال ^۲	تفاوت این معیار با معیار تأخیر این است که در این معیار صدک Y در زمانی که بار شبکه X% توان عملیاتی است، محاسبه می‌شود. به ۳ صورت حداقل، میانگین و حداکثر زمان تأخیر محاسبه می‌شود.	[21]		✓
گذردهی ^۳ شبکه	حداکثر تعداد بسته‌ها یا فریم‌هایی که شبکه می‌تواند در واحد زمان تبادل کند. هرچه میزان گذردهی بیشتر باشد، زیرساخت شبکه بهتری استقرار یافته است.	[21]		✓
ظرفیت با نسبت تلفات $X\%$ ^۴	حداکثر تعداد بسته‌ها یا فریم‌هایی که شبکه می‌تواند در واحد زمان تبادل کند به گونه‌ای که مقدار نسبت اتلاف بسته هیچ‌گاه از $X\%$ تجاوز نکند. هرچه ظرفیت بالاتر باشد، زیرساخت شبکه بهتری استقرار یافته است.	[21]		✓

۲-۴ معیارهای مرتبط با زیرساخت ذخیره‌سازی

پس از بررسی مراجع، معیارهایی که به زیرساخت‌ها و تجهیزات ذخیره‌سازی برمی‌گردد استخراج و در جدول ۴ لحاظ شده است.

جدول ۴ معیارهای مرتبط با زیرساخت ذخیره‌سازی

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
دسترسی مستقیم به حافظه	توضیح این مورد در جدول ۲ بیان شده است.	[7]		✓
دسترسی مستقیم به حافظه نهان پردازنده	توضیح این مورد در جدول ۲ بیان شده است.	[7]		✓

^۱ Delay Variation (Jitter)

^۲ Transfer Time

^۳ Throughput

^۴ Capacity with X % Loss Ratio

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
امکان وابستگی جریان به هسته‌های خاصی از پردازنده	مشابه آنچه در جدول ۳ بیان شد	[7]	✓	
تأخیر خواندن	متوسط محدوده زمانی که طول می‌کشد تا یک عمل خواندن از تجهیز ذخیره‌سازی تکمیل شود.	[10]	✓	
تأخیر نوشتن	متوسط محدوده زمانی که طول می‌کشد تا یک عمل نوشتن به تجهیز ذخیره‌سازی تکمیل شود.	[10]	✓	
گذردهی خواندن	متوسط تعداد بایتهای خوانده شده از تجهیز ذخیره‌سازی در واحد زمان.	[10]	✓	
گذردهی نوشتن	متوسط تعداد بایتهای نوشته شده به تجهیز ذخیره‌سازی در واحد زمان.	[10]	✓	

۲-۵ معیارهای مرتبط با Hypervisor

مطابق [7]، Hypervisor باید قادر باشد تمام معیارهای مندرج در جدول ۲ و مرتبط با پردازنده را فعال و استفاده کند. علاوه بر آن، موارد مندرج در جدول ۵ نیز از مراجع مختلف در خصوص انتخاب Hypervisor مناسب مطرح شده‌اند.

جدول ۵ معیارهای انتخاب Hypervisor

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
پشتیبانی از NUMA ^۱	این ویژگی سبب می‌شود پردازنده ابتدا داده را در حافظه نهان سطح ۳ در رایانه‌ای که پردازش روی آن اجرا می‌شود جستجو کند و سپس جستجو را در سایر رایانه‌های خوشه ادامه دهد. بدین ترتیب سرعت جستجو بالاتر می‌رود و تبادل در سطح گذر کاهش می‌یابد.	[7]	✓	
عدم نیاز به شبیه‌سازی دستورالعمل‌های پردازنده	عدم نیاز به شبیه‌سازی دستورالعمل‌های پردازنده در زمانی که دستورالعمل مورد نظر در پردازنده سیستم میزبان قابل اجراست.	[7]	✓	

^۱ Non-Uniform Memory Access

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
نوع Hypervisor	Hypervisorها در ۲ نوع ارائه می‌شوند. اگر روی سخت افزار نصب شود نوع ۱ و اگر روی سیستم عامل میزبان نصب شود نوع ۲ است. نوع ۱ مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان ^۱ و عملکرد بهتری دارد.	[13]		✓
انواع مجازی‌سازی پشتیبانی شده	Hypervisorها دو نوع مجازی‌سازی جزئی/ کامل ^۲ را ارائه می‌دهند. مجازی‌سازی جزئی سربار کمتر و سرعت اجرای بیشتری دارد.	[13]		✓
زمان دسترسی به سیستم‌فایل ^۳	میزان زمان لازم برای دسترسی به محتوا یا بلوک‌های قرار گرفته روی سیستم‌فایل ماشین میزبان.	[13]		✓
زمان پردازش Hypervisor ^۴	زمان لازم برای جمع‌آوری درخواست‌های وارد شده از سخت‌افزار مجازی سیستم‌عامل مهمان و سپس ارسال آن‌ها به راه‌اندازهای ^۵ سمت سیستم عامل میزبان.	[13]		✓
پیچیدگی نصب و پیکربندی	-	[14]		✓
مقیاس‌پذیری	به معنای تعداد ماشین مجازی است که Hypervisor می‌تواند مدیریت کند.	[14]		✓
نوع بار کاری پشتیبانی شده	بارهای کاری به دو دسته پردازنده-مصرف ^۶ و ورودی/خروجی-مصرف ^۷ دسته‌بندی می‌شوند. برای مثال، در زمان تدوین سند حاضر، Xen در مواجهه با بارهای کاری پردازنده-مصرف عملکرد بهتری نسبت به KVM دارد و KVM در مواجهه با ورودی/خروجی-مصرف عملکرد بهتری دارد.	[14]		✓
متن‌باز بودن	-	[14]		✓
حافظه مورد نیاز برای اجرا	-	[14]		✓

۳ معیارهای مرتبط با مدیر زیرساخت مجازی

^۱ Reliability

^۲ Paravirtualization/ Full Virtualization

^۳ File system access time

^۴ Hypervisor-processing

^۵ Drivers

^۶ CPU Intensive

^۷ I/O Intensive

وظیفه مدیر زیرساخت مجازی یا VIM، تبدیل منابع فیزیکی به منابع مجازی و سپس تخصیص آن‌ها به VNF‌هاست. در عمل، به دلیل آنکه از منابع مجازی در بستر ابر برای تخصیص پویای منابع به VNF‌ها استفاده می‌شود، VIM‌ها سکوهایی نرم‌افزاری مدیریت ابر مانند Openstack، VMWARE، Cloudstack و ... هستند. معیارهای مرتبط با VIM در جدول ۶ لحاظ شده است.

جدول ۶ معیارهای انتخاب VIM

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
پشتیبانی از ویژگی چند کاربری ^۱ (چند اجاره‌ای)	VIM باید از چند کاربری پشتیبانی کند؛ به طوری که ضمن اشتراک‌گذاری منابع محاسباتی بین کاربران، اطلاعات هر کاربر از دید دیگران پنهان باشد و منابع NFVI از طریق واسط‌های اختصاصی و ایزوله به کاربران ارائه شود.	[4]	✓	
امکان اتصال به زیرساخت‌های محیط Containerها	امکان اتصال به بسترهای زیرساخت محیط‌های Container (مانند اتصال به محیط‌های Kubernetes)	[6]	✓	
مقیاس‌پذیری ^۲	ظرفیت پشتیبانی از منابع زیرساخت پردازشی، شبکه‌ای و ذخیره‌سازی.	[12]		✓
پشتیبانی از IP شناور ^۳	IP شناور آدرسی موقتی و عمومی و قابل مسیریابی در شبکه است. این آدرس را مدیر به یک یا چند سیستم اختصاص می‌دهد تا در صورت خرابی هر کدام از رایانه‌های خدمت‌رسان، نرم‌افزار در دسترس باشد.	[12]		✓
مقیاس‌دهی خودکار ^۴ VNF	افزایش یا کاهش منابع تخصیص‌داده شده به VNF‌ها، در صورت عبور از آستانه‌های مشخص	[12]		✓
مت‌باز بودن	مطابق مرجع، اضافه کردن مؤلفه‌هایی به VIM بر اساس نیازمندی‌ها تسهیل می‌شود.	[12]		✓
مدیریت خوددرمانی ^۵ VNFها	VIM باید امکان ایجاد یا راه‌اندازی مجدد ^۶ VNF خراب ^۷ را دارا باشد.	[12]		✓

^۱ Multitenant

^۲ Scalability

^۳ Floating IP

^۴ Autoscaling

^۵ Self-healing

^۶ Reboot

^۷ Fail

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
سیستم هم‌نوا ساز ذخیره‌سازی ^۱	VIM باید امکان هم‌نوا سازی و مدیریت فضای ذخیره سازی محلی و ابر عمومی را داشته باشد.	[12]		✓
توزیع بار ^۲	-	[12]		✓
امنیت ^۳ و حریم خصوصی ^۴	با توجه به ایجاد محیطی برای به اشتراک گذاری منابع بین کاربران، فراهم کردن امنیت مسئله‌ای ضروری است. ماشین مجازی امنیت بیشتری را نسبت به Container فراهم می‌کند.	[12]		✓
نوع برنامه کاربردی	برای مثال زمانی که قرار است چندین برنامه روی رایانه‌های خدمت‌رسان با سیستم عامل‌های مختلف اختصاصی اجرا شوند، ماشین مجازی انتخاب بهتری است. اما اگر هدف اجرای چندین نمونه از برنامه کاربردی یکسان روی کمترین تعداد رایانه خدمت‌رسان است، راه‌حل‌های مبتنی بر Container مناسب‌تر است.	[12]		✓

۴ معیارهای مرتبط با هم‌نوا ساز شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع

NFVO، مدیریت چرخه حیات خدمات شبکه و هماهنگی بین مدیریت چرخه حیات خدمت، VNF و NFVI را بر عهده دارد [24]. دستور تخصیص منابع به VNF‌ها از طریق NFVO یا تحت نظارت آن به VIM داده می‌شود. در مراجع مورد بررسی، معیارهای مناسب برای انتخاب و مقایسه NFVO شناسایی و در جدول ۷ لحاظ شده‌اند.

جدول ۷ معیارهای مرتبط با NFVO

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
بهره‌وری پردازنده	میزان استفاده از پردازنده برای مدیریت نمونه VNF.	[11]		✓
بهره‌وری حافظه	میزان استفاده از حافظه برای مدیریت نمونه VNF.	[11]		✓
بهره‌وری شبکه	این معیار مشخص می‌کند NFVO تا چه میزان تبادل ترافیک شبکه را تحمل می‌کند.	[11]		✓

^۱ Storage Orchestration System

^۲ Load Balancing

^۳ Security

^۴ Privacy

معیار	توضیحات	شماره مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
امکان تعریف توافقنامه سطح خدمت ^۱	اطمینان از اینکه کاربران و خدمات بیش از مقدار منع مقرر شده استفاده نکنند.	[11]	✓	
پشتیبانی از نصب در محیط بومی ابر	با توجه به مزایای معماری میکروسرویس و امکان فراهم‌آوری محیط با دسترس‌پذیری بالا، امکان نصب و استقرار NFVO روی محیط‌هایی مانند Kubernetes حایز اهمیت است.	[11]	✓	
پشتیبانی از چندین VIM	-	[11]	✓	
مقیاس‌پذیری	باید بتواند از رشد شبکه‌ها و خدمات پشتیبانی کند.	[12]	✓	

۵ معیارهای مرتبط با سیستم عامل

اگرچه موارد مطرح شده در بالا در کارایی بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV اهمیت دارند، اما پشتیبانی از برخی ویژگی‌های سخت‌افزار توسط سیستم عامل پیش‌نیاز تعامل سیستم با آن ویژگی‌هاست. در جدول ۸ معیارهایی که در انتخاب سیستم عامل مناسب کمک‌کننده هستند لحاظ شده است.

جدول ۸ معیارهای مرتبط با سیستم عامل

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
پشتیبانی از صفحات بزرگ	توضیحات مربوط به این معیار در جدول ۲ بیان شد. سیستم عامل هم باید به طور سازگار با زیرساخت محاسباتی قابلیت پشتیبانی از این ویژگی را داشته باشد.	[7]		✓
پشتیبانی از صفحات بزرگ ورودی/خروجی	توضیحات مربوط به این معیار در جدول ۲ بیان شد. سیستم عامل هم باید به طور سازگار با زیرساخت محاسباتی قابلیت پشتیبانی از این ویژگی را داشته باشد.	[7]		✓
محصول‌سازی پردازنده ^۲	این ویژگی در کنار معیار «امکان ایجاد وابستگی پردازش به پردازنده» در جدول ۲ سبب می‌شود امکان تخصیص برخی هسته‌های پردازنده به یک پردازش خاص ممکن شود.	[7]		✓

^۱ Service Level Agreement (SLA)

^۲ CPU Isolation

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
نوع سیستم فایل میزبان	نوع سیستم فایلی که میزبان استفاده می کند روی کارایی تاثیرگذار است. به عنوان مثال ESXi از ext4 و Hyper-V از NTFS ا به عنوان سیستم فایل سیستم عامل میزبان استفاده می کنند.	[13]	✓	

۶ معیارهای مرتبط با کل سیستم

برخی معیارها متأثر از عملکرد چند مؤلفه از بستر مدیریت و هم‌نواسازی شبکه و خدمات NFV به طور همزمان هستند. اگرچه این معیارها گزینه‌های کاربردی برای مقایسه و انتخاب یک مؤلفه خاص از بستر مدیریت و هم‌نواسازی شبکه و خدمات NFV نیستند، اما پس از استقرار کل بستر مذکور می‌توانند محک^۱ مناسبی را در اختیار بهره‌بردار قرار دهند تا با آگاهی از قابلیت‌های سامانه مستقر شده از آن انتظار داشته باشد. همچنین این دسته از معیارها هنگام خرید سامانه‌های نهفته^۲ جهت مقایسه بین راه‌حل‌های مختلف قابل استفاده هستند.

در جدول ۹ معیارهای دسته مورد بحث ذکر شده‌اند.

جدول ۹ معیارهای متأثر از کل سیستم بستر مدیریت و هم‌نواسازی شبکه و خدمات مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
دوره زمانی رخداد وقفه کنترل شده در ماشین مجازی ^۳	فاصله زمانی بین لحظه‌ای که ماشین مجازی به دلیلی نیاز به توقف در اجرا دارد (بنا به درخواست کاربر یا راهبر) تا لحظه‌ای که مجدد به حالت اجرا درمی‌آید. در مواردی مانند مهاجرت ماشین مجازی این رخداد به وجود می‌آید.	[9]	✓	
بسامد رخداد وقفه در ماشین مجازی	تعداد تکرار رخداد وقفه در اجرای ماشین مجازی طی مدت زمان مشخص. در واقع حاصل تقسیم تعداد رخدادها بر وقفه در اجرای ماشین مجازی بر دوره زمانی مشخص.	[9]	✓	
رخداد وقفه کنترل نشده در ماشین مجازی ^۴	وقفه کنترل نشده در ماشین مجازی، رخدادی است که ماشین مجازی به دلایلی مانند خرابی در NFVI و Hypervisor، اختلال برق و خارج از اراده کاربر یا راهبر سیستم اتفاق افتاده باشد.	[9]	✓	
خطای ساعت ماشین مجازی	اگرچه میزان انحراف ساعت در سطح سخت‌افزار کم و قابل پیش‌بینی است، اما در محیط‌های ابری و مجازی، انحراف ساعت ماشین مجازی نسبت به ساعت ماشین	[9]	✓	

^۱ Benchmarking

^۲ Embedded

^۳ به این حالت، VM Stall گفته می‌شود.

^۴ در استاندارد به این رخداد Premature VM Release گفته می‌شود.

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
	میزبان می‌تواند قابل توجه شود. خطای ساعت ماشین مجازی، اختلاف بین ساعت ماشین مجازی با ساعت جهانی است.			
قابلیت اعتماد ایجاد ماشین مجازی ^۱	حاصل تقسیم تعداد درخواست‌های ایجاد ماشین مجازی که موفق نبوده‌اند بر تعداد کل درخواست‌های ایجاد ماشین مجازی. در صورتی که میزان تأخیر ایجاد ماشین مجازی از مقدار قراردادی مشخصی بیشتر شود، در زمره معیار «تأخیر ایجاد ماشین مجازی» (به رجوع شود) قرار نمی‌گیرد و در این معیار شمارش می‌شود.	[9]	✓	
نرخ ماشین مجازی فعال شده بدون ایجاد محیط مناسب برای عملکرد صحیح VNF ^۲	گاهی اوقات سیستم به درخواست ایجاد ماشین مجازی پاسخ مثبت می‌دهد اما پس از ایجاد ماشین مذکور، به دلایلی غیر از مشکل در پیکربندی توسط راهبر سیستم یا خود VNF، عملکرد VNF به دلیل مشکل در ماشین مجازی دچار اختلال می‌شود. نسبت تعداد ماشین‌های مجازی ایجاد شده با اختلال در خدمت‌دهی به VNF‌ها به تعداد کل درخواست‌های موفق ایجاد ماشین‌های مجازی در مدت زمان مشخص نمایانگر این معیار است.	[9]	✓	
سازگاری با سیاست‌های عدم قرابت	عدم قرابت در محیط مجازی‌سازی سبب می‌شود که ماشین مجازی امکان استفاده از منابعی خارج از رایانه‌های که آن را میزبانی می‌کند داشته باشد. این ویژگی سبب می‌شود که یک اختلال در رایانه میزبان سبب از کار افتادن ماشین نمی‌شود و در نتیجه دسترسی‌پذیری بالاتری برای VNF‌ها و خدمت‌کاربر ایجاد می‌شود. این معیار مشخص می‌کند نسبت تعداد استقرار ماشین مجازی با سیاست‌های عدم قرابت صحیح اجرا شده توسط بستر مدیریت و هم‌نوا سازی شبکه و خدمات NFV به تعداد کل درخواست استقرار ماشین مجازی با سیاست‌های عدم قرابت چقدر است.	[9]	✓	
میزان آزادسازی ماشین مجازی مختل شده ^۳	این معیار مشخص می‌کند چه نسبتی از درخواست‌های آزادسازی ماشین مجازی به درستی رکورد شده است. در صورتی که فاصله بین درخواست آزادسازی ماشین مجازی تا ثبت رکورد آن بیش از زمان قراردادی مشخصی طول بکشد، آن درخواست، خراب محسوب می‌شود و در محاسبه این معیار مدنظر قرار می‌گیرد.	[9]	✓	
اتلاف بسته ^۴	نسبت تعداد بسته‌هایی که توسط شبکه مجازی ارسال شده اما به مقصد نرسیده‌اند یا دیرتر از زمان مجاز به مقصد رسیده‌اند به تعداد کل بسته‌های ارسال شده.	[9]	✓	
در دسترس نبودن شبکه	هنگامی که میزان اتلاف بسته از مقدار مشخصی عدول کند، شبکه غیرقابل دسترس در نظر گرفته می‌شود. مقدار مرزی بین نرخ اتلاف بسته و عدم دسترسی بر اساس خدمت روی شبکه و در توافق‌نامه سطح خدمات تعیین می‌شود.	[9]	✓	

^۱ VM Provisioning Reliability

^۲ در استاندارد از اصطلاح VM Dead On Arrival برای این معیار استفاده می‌شود.

^۳ Failed VM Release Ratio

^۴ Packet Loss

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
تطابق چندمسیری شبکه ^۱	نمایانگر آنست که چقدر شبکه مجازی توانسته است از لحاظ فیزیکی به چندمسیری دلخواه برسد. این شاخص خود را در دو شاخص دیگر بروز می‌دهد. به همین دلیل استاندارد مرجع برای نمایش وضعیت این شاخص از زوج مرتب (L,R) استفاده کرده است که L حداکثر مقدار مجاز تأخیر ایجاد شبکه مجازی و R مقدار شاخص «اتکاپذیری ایجاد شبکه مجازی» است. برای شفافیت بیشتر در خصوص این شاخص به ذکر مثالی پرداخته می‌شود. فرض شود حداکثر زمان مجاز ایجاد شبکه مجازی ۱۰ میلی‌ثانیه باشد و هدف آن است که ۵ مسیر متنوع بین دو نقطه شبکه ایجاد شود. اگر یکی از ۵ مسیر با موفقیت ایجاد نشود و یک مسیر نیز در ۱۸ ثانیه ایجاد شود و باقی مسیرها حداکثر در ۸ ثانیه ایجاد شوند، آنگاه مقدار شاخص «اتکاپذیری ایجاد شبکه مجازی» برابر ۶۰٪ خواهد بود. لازم به ذکر است هنوز در استاندارد مقداری برای شاخص «تأخیر ایجاد شبکه مجازی» مشخص نشده و به مطالعات بعدی سپرده شده است. در حال حاضر در مثال مذکور از دید ۳ مسیری که کمتر از ۱۰ ثانیه ایجاد شده‌اند، می‌توان مقدار حداکثری بین آن‌ها (۸ ثانیه) را در نظر گرفت یا می‌توان به ازای هر مسیر عدد مستقلی را اعلام نمود. در این مثال، مقدار L برابر ۱۰ و مقدار R برابر ۶۰٪ است.	[9]	✓	
استفاده از پردازنده توسط سیستم	در قالب شاخص درصد استفاده از ظرفیت کل پردازنده مطرح می‌شود.	[10]	✓	
حافظه موقتی با دستیابی تصادفی اشغال شده	نشان می‌دهد کل سیستم چقدر از حافظه را اشغال می‌کنند. هرچقدر این میزان بیشتر باشد، هزینه استقرار بستر هم‌نوساز نهایی بالاتر است. در واقع اگر مؤلفه‌های بستر مدیریت و هم‌نوسازی شبکه و خدمات NFV حافظه کمتری مصرف کنند، ظرفیت باقی‌مانده برای اجرای VNFها بیشتر می‌شود.	[10]	✓	
میزان اشغال شده تجهیزات ذخیره‌سازی	مشابه ردیف قبلی، هرچقدر بستر مدیریت و هم‌نوسازی شبکه و خدمات NFV نیازمندی ذخیره‌سازی بیشتری (بدون احتساب نیازمندی VNFها) داشته باشد، هزینه استقرار کل سیستم بالاتر است.	[10]	✓	
مقدار منبعی که سامانه بستر مدیریت و هم‌نوسازی شبکه و خدمات NFV برای مستقر شدن استفاده کرده است.	مقدار منبع اولیه برای نصب مد نظر است.	[11]		✓

^۱ Virtual Network Diversity Compliance

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
بیشینه تعداد VNF‌ای که بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV می‌تواند در یک NFVI به صورت کارا مانیتور و مدیریت کند.	در این معیار فرض عدم محدودیت ظرفیت در منابع زیرساخت پردازشی، ذخیره‌سازی و شبکه‌ای وجود دارد. در مرجع ارائه‌دهنده این معیار، به طور عمده اثر NFVO دیده شده است اما سایر مؤلفه‌ها مانند VIM یا کارایی تجهیزات زیرساختی نیز بر آن اثر دارند.	[11]	✓	
کارایی تصمیم مدیریت منابع	کارایی منبع بر اساس اینکه آیا نیازمندی‌های کوتاه و بلند مدت به منبع برای یک VNF مرتفع شده است یا خیر و اینکه چگونه مزاحمتی برای سایر VNF‌هایی که در این واحد محاسباتی هستند ایجاد نکند (یعنی چقدر روی در دسترس بودن سایر VNF‌ها تأثیرگذار است)، سنجیده می‌شود.	[11]	✓	
پشتیبانی از چند کاربری	امکان تعریف کاربران مختلف برای سامانه، به گونه‌ای که هر کاربر بتواند زنجیره خدمت مستقلی را مدیریت کند.	[11]	✓	
کاربرپسند ^۱	زیبایی و راحتی کار با داشبورد ارائه شده به کاربران	[11]	✓	
پشتیبانی از TOSCA	هدف TOSCA هم‌نوآوری برنامه‌های کاربردی ^۲ ابری است. در واقع امکان تعریف جریان کاری و توصیف ارتباط بین منابع و وابستگی بین آن‌ها را فراهم می‌کند. TOSCA وابستگی داده‌های پیکربندی را از سخت‌افزار یا خدمات خاص حذف می‌کند تا مهاجرت آسان برنامه‌ها و قابلیت حمل در میان چندین ابر یا سکوها ابری ترکیبی را امکان‌پذیر کند. کاربرد گسترده چنین استانداردهایی می‌تواند به نفع مصرف‌کنندگان باشد و در عین حال رشد بازار ابر را به همراه داشته باشند.	[12]	✓	
پشتیبانی از NETCONF	NETCONF پروتکلی است که توسط IETF توسعه یافته و با YANG که یک زبان مدل‌سازی داده‌های شبکه است، کار می‌کند. این پروتکل شامل مجموعه عملیاتی است که برای درخواست اطلاعات و ایجاد تغییرات پیکربندی استفاده می‌شود.	[12]	✓	
قابلیت تاب‌آوری برای منابع فیزیکی و مجازی	این ویژگی به کمک استفاده از مولفه‌های تکراری محقق می‌شود. این منابع می‌توانند از قبل به صورتی تنظیم شوند که اگر یک مولفه کارایی مطلوبی نداشته باشد، پردازش به صورت خودکار به پیاده‌سازی معادل سپرده شود. در محاسبات ابری، این ویژگی به برون‌سپاری به منابع تکراری درون ابر اما در مکان فیزیکی متفاوت اشاره می‌کند.	[12]	✓	

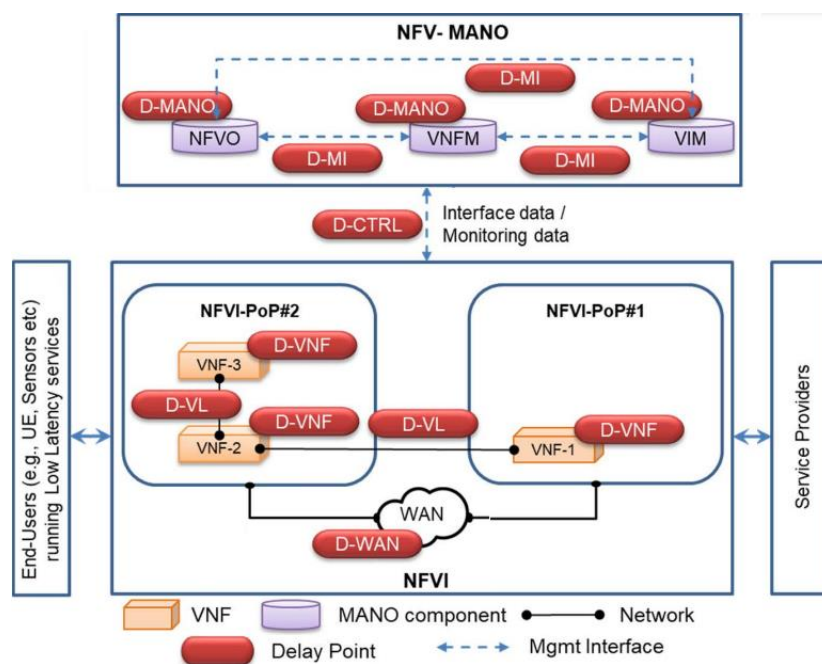
^۱ User Friendly

^۲ Application

۱-۶ معیارهای مرتبط با تأخیر کل سیستم

برخی خدمات و کاربردها نیاز به تأخیر کم دارند که به طور عمده خدمات بحرانی هستند. شبکه باید بتواند در شرایط مختلف مانند رخداد ازدحام یا خرابی یک مؤلفه شبکه، به سرعت خود را بازیابی کند تا میزان احساس شدن وقفه در کاربردهای این چینی به حداقل برسد. در واقع برای پشتیبانی از کاربردهای نیازمند تأخیر کم، بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV باید بتواند هنگام بروز خطا در بخشی از شبکه، با حداقل تأخیر، خدمت شبکه را با حالت پایدار برگرداند [5].

در [5] نقاطی که تأخیر آن‌ها بر تأخیر انتها به انتهاهای خدمت شبکه اثر می‌گذارد مطابق شکل ۴ مشخص شده است.



شکل ۴ معیارهای نقاط احتمالی بروز تأخیر [5]

با توجه به شکل ۴، معیارهای مرتبط با تأخیر در بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV مطابق جدول

۱۰ قابل ذکر است.

جدول ۱۰ معیارهای مرتبط با تأخیر سیستم

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
تأخیر ایجاد ماشین مجازی	فاصله زمانی بین دریافت درخواست ایجاد ماشین مجازی تا زمانی که پاسخ ایجاد ماشین مجازی صادر می‌شود.	[9]	✓	

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			استاندارد	مقاله
تأخیر زمان‌بندی ماشین مجازی ^۱	به دلیل وجود Hypervisor بین سیستم عامل ماشین مجازی و سخت‌افزار فیزیکی و همچنین اثر نویزی سایر ماشین‌های مجازی، بین زمانی که سیستم عامل ماشین مجازی قرار است در آن لحظه پردازشی را آغاز کند تا لحظه‌ای که واقعاً پردازش شروع می‌شود، فاصله‌ای وجود دارد. به این فاصله زمانی، تأخیر زمان‌بندی ماشین مجازی گفته می‌شود. این معیار بر اساس دو متریک حداکثر تأخیر زمان‌بندی و انحراف تأخیر زمان‌بندی قابل اندازه‌گیری است.	[9]	✓	
تأخیر ایجاد شبکه مجازی	فاصله زمانی بین دریافت درخواست ایجاد شبکه مجازی تا زمانی که پاسخ ایجاد موفق ماشین مجازی صادر می‌شود.	[9]	✓	
تأخیر لینک‌های مجازی (D-VL)	تأخیرهای ایجادشده در لینک‌های مجازی است که VNF ها را به هم متصل می‌کنند. این تأخیرها D-VNF را در نظر نمی‌گیرند، اما تأخیرهای ناشی از NFVI را منعکس می‌کنند. فاصله زمانی بین ارسال بسته از ماشین مجازی مبدأ تا دریافت کامل آن در مقصد به عنوان تأخیر بسته‌ها تعریف می‌شود. در صورتی که این فاصله زمانی از حداکثر تأخیر قابل قبول عدول کند، به عنوان بسته اتلاف شده در نظر گرفته می‌شود.	[5] [9]	✓	
تأخیر ارتباطات بین سایت‌ها (D-WAN)	تأخیر در زیرساخت WAN است و در سناریوهای چندسایتی که در آن نمونه خدمت شبکه روی چند نقطه حضور NFVI مستقر می‌شوند، معنا دارد. این تأخیر نیز بر اساس معیار تأخیر بسته‌ها (تعریف شده در معیار D-VL در جدول حاضر) محاسبه می‌شود.	[5]	✓	
تأخیر واسط‌های بستر هم‌نوا سازی شبکه و خدمات NFV (D-MI)	تأخیر معمول پروتکل است که هنگام ارسال پیام بین بلوک‌های عملکردی روی واسط‌ها تجربه می‌شود. افزایش بار پروتکل روی واسط‌ها باعث تأخیر بیشتر می‌شود و در نتیجه اجرای اقدامات مدیریت چرخه حیات برای هماهنگ‌سازی خدمت و منابع را به تأخیر می‌اندازد. این تأخیر فقط شامل تأخیرهای مربوط به	[5]	✓	
تأخیر بلوک‌های عملکردی (D-MANO)	تأخیر غیرقابل اجتناب پردازش پیام‌ها توسط بلوک‌های عملکردی مربوطه مانند NFVO، VNFM، VIM و WIM است. افزایش بار بر اجرای به موقع اقدامات مدیریت چرخه حیات برای هماهنگ‌سازی خدمت و منابع تأثیرگذار است.	[5]	✓	
تأخیرهای کنترلی (D-CTRL)	تأخیر ایجادشده در هنگام انتقال پیام بین سیستم بستر مدیریت و هم‌نوا سازی شبکه و خدمات NFV و اشیاء مدیریت شده (منابع NFVI، نمونه‌های VNF و نمونه‌های خدمت شبکه که به ترتیب توسط WIM/VIM، VNFM و NFVO مدیریت می‌شوند)	[5]	✓	
نوسانات تأخیر	تغییرات تأخیر بسته‌ها در طی زمان.	[9]	✓	

^۱ VM Scheduling Latency

معیار	توضیحات	مرجع	نوع مرجع	
			مقاله	استاندارد
تأخیر معرفی VNF به بستر NFV ^۱	زمان راه‌اندازی ^۲ شدن تصویر یک VNF به همراه تمام منابع مورد نیاز. این فرایند شامل بارگذاری فهرست و مشخصات منابع مجازی مورد نیاز VNF، فراهم‌آوری و آماده‌سازی منابع مورد نیاز (مانند تصاویر ماشین مجازی مورد نیاز) و ایجاد نمونه برای VNF است.	[11]	✓	
تأخیر هم‌نوасازی زمان اجرا ^۳	به صورت زمان شروع اجرای یکی از اعمال مدیریت چرخه حیات خدمت تا کامل شدن آن محاسبه می‌شود. برای مثال بستر مدیریت و هم‌نوасازی شبکه و خدمات NFV ای که کار مهاجرت VNF سنگین را با کمترین توقف خدمت انجام می‌دهد کارایی خوبی دارد.	[11]	✓	
به موقع بودن محاسبات و اجرای وظایف مدیریت چرخه حیات	مطابق مرجع، اهمیت این معیار در سناریوهایی که VNF ها در چند سایت مختلف قرار دارند بارزتر است. این معیار به فاصله بین یک رخداد تا تشخیص آن توسط بستر مدیریت و هم‌نوасازی شبکه و خدمات NFV و شروع به اقدامی از چرخه حیات اشاره دارد.	[11]	✓	

^۱ Onboarding Process Delay

^۲ Boot up

^۳ Runtime Orchestration Delay

۷ جمع‌بندی و پیشنهادات

در سند حاضر، طی بررسی مراجع مختلف تعدادی معیار برای انتخاب مؤلفه‌هایی از بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV معرفی شد که در جدول ۱۱ از نظر کمی، نگاشت بین مؤلفه‌ها و نوع مرجع مشخص شده است. لازم به ذکر است در معیاری یک معیار در چند نوع مرجع تعریف شده است. لذا تعداد کل معیارها کمتر از مجموع مقادیر مندرج در ردیف‌های جدول ۱۱ است.

جدول ۱۱ تعداد معیارهای معرفی شده جهت انتخاب و مقایسه مؤلفه‌های بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات NFV

مجموع معیارها	مقالات	استانداردها	دسته‌بندی معیارها
۱	-	۱	انرژی
۲۱	-	۲۱	محاسباتی (Compute)
۹	۳	۶	شبکه‌ای (Network)
۹	-	۹	ذخیره‌سازی (Storage)
۱۲	۱۰	۲	Hypervisor
۳۳	۱۱	۲۲	مدیر زیرساخت مجازی
۱۹	۱۱	۸	هم‌نوآساز شبکه مبتنی بر مجازی‌سازی توابع
۴	۱	۳	سیستم عامل
۲۳	۸	۱۵	کل بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه

امید است معیارهای معرفی شده در سند حاضر بتوانند در راستای برآورده‌سازی بخشی از نیازمندی‌های شبکه ملی اطلاعات در موارد ذیل به کار گرفته شوند:

- توسعه‌دهندگان بومی می‌توانند در طرح‌ریزی و طراحی محصولات متناظر با مؤلفه‌های بررسی شده در گزارش حاضر، معیارهای معرفی شده را مدنظر و ملاک قرار دهند و میزان انحراف محصولات خود نسبت به شرایط استاندارد را بررسی کنند.
- کاروران کشور می‌توانند هنگام خرید راه‌حل‌های مرتبط با مؤلفه‌های بستر مدیریت و هم‌نوآوری شبکه و خدمات مبتنی بر مجازی‌سازی توابع شبکه بررسی شده در این سند، معیارهای معرفی شده را برای مقایسه و محک محصولات تولیدکنندگان مختلف مورد استفاده قرار دهند.

لذا پیشنهاد می‌گردد سند پیش رو در اختیار کاروران شبکه (علی‌الخصوص کاروران همراه فعال در توسعه شبکه نسل پنجم)، مراکز داده و فعالان بومی‌سازی مؤلفه‌های بحث شده در این سند قرار گیرد تا به عنوان چک‌لیست و راهنمایی جهت استانداردسازی توسعه محصولات یا تطبیق در خریده‌ها به آن استناد شود.

۸ مراجع

- [1] “Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework”, ETSI GS NFV 002 V1.2.1, European Telecommunications Standards Institute, 2014-12
- [2] “Modelling of Computational Resources for 5G RAN”; Sina Khatibi, Kunjan Shah, Mustafa Roshdi, 2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC): Network Softwarisation (NET), 2018
- [3] “Energy Efficiency measurement methodology and metrics for Network Function Virtualisation (NFV)”; ETSI EN 303 471 V1.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2019-01
- [4] “Report on Network Slicing Support with ETSI NFV Architecture Framework”; ETSI GR NFV-EVE 012 V3.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2017-12
- [5] “Report on the support of real-time/ultra-low latency aspects in NFV related to service and network handling”; ETSI GR NFV-EVE 017 V1.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2020-08
- [6] “Network Functions Virtualisation (NFV) Release 3; Architecture; Report on the Enhancements of the NFV architecture towards”; ETSI GR NFV-IFA 029 V3.3.1, European Telecommunications Standards Institute, 2019-11
- [7] “NFV Performance & Portability Best Practises”; ETSI GS NFV-PER 001 V1.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2014-06
- [8] “Network Functions Virtualisation (NFV); Acceleration Technologies; vSwitch Benchmarking and Acceleration Specification”; ETSI GS NFV-IFA 003 V2.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2016-04
- [9] “Network Functions Virtualisation (NFV); Service Quality Metrics”, ETSI GS NFV-INF 010 V1.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2014-12
- [10] “Network Functions Virtualisation (NFV) Release 3; Testing; NFVI Compute and Network Metrics Specification”, ETSI GS NFV-TST 008 V3.3.1, European Telecommunications Standards Institute, 2020-06
- [11] Girma M. Yilma, Zarrar F. Yousaf, Vincenzo Sciancalepore, Xavier Costa-Perez, “Benchmarking open source NFV MANO systems: OSM and ONAP”; Computer Communications; 161; 2020; 86-98
- [12] Karamjeet Kaur, Veenu Mangat, Krishan Kumar, “A review on Virtualized Infrastructure Managers with management and orchestration features in NFV architecture”, Computer Networks, 217, 2022
- [13] Đorđević Borislav, Furtula Rade, Timčenko, Valentina, “VMware ESXi and Microsoft Hyper-V Hypervisor Performance Comparison”, 2020 28th Telecommunications Forum (TELFOR), 2020
- [14] Freet David, Agrawal Rajeev, Walker Jessie J, Badr Youakim, “Open Source Cloud Management Platforms and Hypervisor Technologies: A Review and Comparison”, SoutheastCon, 2016
- [15] “5G European Validation platform for Extensive trials; Deliverable D2.3 : Final 5G-EVE end to end facility description”; 2021-06, Available : <https://zenodo.org/record/5070253>, Last Access : 2023-05
- [16] “ Deliverable D2.1 : 5G-VINNI Solution Facility-sites High Level Design (HLD)”; 2019-03, Available : <https://zenodo.org/record/2668791> , Last Access : 2023-05
- [17] “Deliverable D4.2 : The Athens Platform (Release B)”; 2020-01, Available : https://5genesis.eu/wp-content/uploads/2020/02/5GENESIS_D4.2_v1.0.pdf, Last Access : 2023-05
- [18] “Deliverable D4.8 : The Limassol Platform (Release B)”; 2020-01, Available : https://5genesis.eu/wp-content/uploads/2020/02/5GENESIS_D4.8_v1.0.pdf, Last Access : 2023-05
- [19] “Deliverable D4.14 : The Berlin Platform (Release B)”; 2020-01, Available : https://5genesis.eu/wp-content/uploads/2020/02/5GENESIS_D4.14_v1.0.pdf, Last Access : 2023-05
- [20] “Report on the Enhancements of the NFV architecture towards Cloud-native and PaaS“, ETSI GR NFV-IFA 029 V3.3.1, European Telecommunications Standards Institute, 2019-11
- [21] “Network Functions Virtualisation (NFV) Release 3; Testing; Specification of Networking Benchmarks and Measurement Methods for NFVI”, ETSI GS NFV-TST 009 V3.4.1, European Telecommunications Standards Institute, 2020-12

- [22] “Network Functions Virtualisation (NFV) Release 4; Management and Orchestration; Or-Vi reference point - Interface and Information Model Specification”, ETSI GS NFV-IFA 005 V4.4.1, European Telecommunications Standards Institute, 2023-03
- [23] “Network Functions Virtualisation (NFV) Release 4; Management and Orchestration; Os-Ma-nfvo reference point”; ETSI GS NFV-IFA 013 V4.4.1, European Telecommunications Standards Institute, 2023-03
- [24] “Terminology for Main Concepts in NFV”, ETSI GR NFV 003 V1.6.1, European Telecommunications Standards Institute, 2021-03
- [25] “Management and Orchestration”, ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1, European Telecommunications Standards Institute, 2014-12
- [26] “RISC Architecture : RISC vs CISC”, Stanford University, Available : <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/risc/riscisc/#:~:text=The%20CISC%20approach%20attempts%20to,number%20of%20instructions%20per%20program.> , Last Access : 2023-8-14



نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه
ارتباطات و فناوری اطلاعات، معاونت پژوهش و
توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶