



**University of Isfahan**  
**Faculty of Computer Engineering**  
**Department of Computer Architecture**

## **M.Sc. Thesis**

# **A Non-uniform Cache Size Allocation Scheme for Routers in Named Data Networks**

**Supervisor:**

**Dr. Naser Movahhedinia**

**By:**

**Narges Mehran**

**June 2016**

## **Abstract**

The types of applications that Internet is being used for is completely different from what it is invented for. Whilst resource sharing was the first goal of networking, accessing data, such as multimedia files, is the main usage of the Internet now. The nature of multimedia content requires multicasting which is hard to provide in current point-to-point paradigm of TCP/IP. In addition, concepts like mobility, security, efficiency, etc. were not the first concern of designers of the Internet. That explains the recent movements toward designing a more efficient Internet which matches the current requirements.

As a data-centric cache-enabled architecture, Named Data Networking (NDN) is a replacement for the current host-centric IP-based Internet infrastructure. Leveraging in-network caching, name-based routing, and receiver-driven sessions, NDN can greatly enhance the way Internet resources are being used. One of the essential issues in NDN is the procedure of cache management. Our main contribution in this research is the memory requirement offline analysis to allocate suitable Content-Store size to NDN routers, with respect to combined impacts of long-term centrality-based metric and short-term parameters such as users' behaviors and outgoing traffic. The output of Principal Component Analysis, exploited to mine out raw data sets, is used to allocate a proper cache size to each router.

The proposed technique is tested with an open-source NS-3 based simulator, ndnSIM released by the Internet Research Lab of UCLA on a real-network topology called Abilene topology. Evaluation results show increase in the hit ratio of Content-Stores in sources and routers. Moreover, for the proposed cache size allocation scheme, the number of unsatisfied and pending Interests in routers is less than the Degree-Centrality cache size allocation scheme.

**Keywords:** Content Centric Network; Named Data Network; Future Internet; cache of NDN Routers; Non-Uniform cache size; Betweenness Centrality, Principal Component Analysis.

**Related scientific papers:**

1. Randomized\_SVD based Probabilistic Caching Strategy in Named Data Networks  
Narges Mehran, Naser Movahhedinia; Journal of Computing and Security, Vol. 3, No. 4, pp. 217-231, 2018.
2. Non-uniform EWMA-PCA based cache size allocation scheme in Named Data Networks  
Narges Mehran, Naser Movahhedinia; Sci China Inf Sci, Vol. 61, No. 1, pp. 012104: 1-13, 2018.
3. A non-uniform cache size allocation scheme in Named Data Networks (in Persian)  
Narges Mehran, Naser Movahhedinia; 21st Iranian National CSI Computer Conference, CSICC 2016.



دانشگاه اصفهان

دانشکده مهندسی کامپیوتر

گروه مهندسی معماری کامپیوتر

## پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی کامپیوتر گرایش معماری کامپیوتر

ارائه‌ی طرحی برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ی نهان  
مسیریاب‌های شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده

استاد راهنما:

دکتر ناصر موحدی‌نیا

دانشجو:

نرگس مهران

خردادماه ۱۳۹۵



دانشگاه اصفهان

دانشکده مهندسی کامپیوتر

گروه مهندسی معماری کامپیوتر

## پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش مهندسی معماری خانم نرگس مهران تحت عنوان

### ارائه طرحی برای اختصاص اندازه غیریکنواخت به حافظهی نهان مسیریاب‌های شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده

در تاریخ ..... توسط هیات داوران بررسی و با درجه ..... به تصویب نهایی رسید.

- ۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر ناصر موحدی‌نیا با مرتبه علمی استادی امضا
- ۲- استاد داور داخل گروه دکتر محمد رضا خیام‌باشی با مرتبه علمی دانشیاری امضا
- ۳- استاد داور خارج از گروه دکتر ندا مقیم با مرتبه علمی استادیاری امضا

مهر و امضا مدیر گروه

با احترام و سپاس فراوان از استاد کریم‌الله جناب آقای دکتر موحدی نیاکد دکمال برداری مرآز راهنمایی های ارزشمند شان برهه مند  
ساختند.

و با شکر از تمامی دوستان هم‌بازم که مراد انجام این پژوهش یاری رسانیدند و وجودشان از ارزشی نخش را هم بود.

بادستانی کوچک، تقدیم به:

پرورهای صبور و فداکار

و

خواهر و برداری مهریان

و

برادرزاده ای عزیز

## چکیده

امروزه اینترنت بیشتر برای دسترسی به محتویاتی نظیر فایل‌های چندسانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که مدل ارتباطی شبکه‌ی اینترنت، یک مدل اتصال‌گرای نقطه به نقطه‌ی TCP/IP و بر مبنای مکان یک میزبان محتوا است. از این روی برای پاسخ‌دهی سریع‌تر به درخواست‌های رو به رشد کاربران، حرکت به سوی طراحی شبکه‌ای با کارایی بالاتر و بر مبنای محتوای درخواستی مشتری در شبکه، بیش از پیش حس می‌شود. در نتیجه شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده به عنوان یک معماری داده-محور با قابلیت ذخیره‌سازی، برای جایگزینی زیرساخت کنونی میزبان-محور و مبتنی بر پروتکل اینترنت معماری شبکه، مطرح شده است. در این معماری می‌توان با ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای، مسیریابی نام-محور و ارتباطات کاربر-رانده عملکرد شبکه را بهبود بخشید. یکی از مسائل اساسی در این شبکه‌ها، مدیریت حافظه‌های نهان می‌باشد. هدف اصلی در این پژوهش، تحلیل برونو خط نیازمندی‌های حافظه‌ی هر مسیریاب محتوایی با کمک پارامتر بلندمدت و پارامترهای کوتاه‌مدت است. پارامتر بلندمدت شامل مرکزیت میانگی هر مسیریاب در گراف شبکه و پارامتر کوتاه‌مدت شامل رفتار کاربران و نیز ترافیک خروجی هر مسیریاب شبکه می‌باشد. در ابتدا از پارامترهای کوتاه‌مدت با کمک روش‌های میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار، متostط‌گیری شده و سپس روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی برای ترکیب مجموعه‌ی اطلاعات هر مسیریاب بکار گرفته شده است.

روش پیشنهادی، در شبیه‌ساز ndnSIM که مبتنی بر شبیه‌ساز NS-3 بوده و در آزمایشگاه اینترنت دانشگاه کالیفرنیا طراحی شده است، بر روی یک نمونه از ساختار شبکه‌ی آبیلن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج ارزیابی گواه افزایش نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان تولید‌کنندگان و نیز مسیریاب‌های میانی شبکه، در حدود ۲۰ درصد، می‌باشد. به علاوه تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در مسیریاب‌های میانی شبکه با اعمال روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین نظیر اختصاص اندازه-ی غیریکنواخت با استفاده از معیار مرکزیت درجه هر مسیریاب، کاهش یافته است.

**کلید واژه‌ها:** شبکه‌ی محتوا-محور، شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده، شبکه‌ی اینترنت آینده، حافظه‌های نهان در مسیریاب‌های شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده، تحلیل مؤلفه‌های اساسی.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحة
فصل اول: کلیات شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده و روش تحلیل داده	
۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- ظهور معماری محتوا-محوری	۱
۱-۳- بیان مسأله و روش پژوهش	۳
۴-۴- کاربرد و اهمیت پژوهش	۴
۵-۵- ساختار پایان‌نامه	۵
فصل دوم: تعاریف و مفاهیم شبکه‌های اطلاعات محور و روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی	
۶-۱- مقدمه	۷
۶-۲- شبکه‌های اطلاعات-محور و خصوصیات آن‌ها	۷
۶-۲-۱- مسیریابی و هدایت رو به جلو	۸
۶-۲-۲- نام‌گذاری	۱۲
۶-۲-۳- تحرک	۱۳
۶-۲-۴- مسیریابی	۱۳
۶-۲-۵- توابع انتقال	۱۴
۶-۲-۶- امنیت	۱۴
۶-۳- بستر آزمایشی طراحی شده برای بررسی عملکرد NDN	۱۵
۶-۴- تکامل صد ساله‌ی شبکه‌های ارتباطی	۱۵
۶-۵- مدل‌سازی شبکه‌ای حافظه‌ی نهان	۱۹
۶-۶- مدل‌سازی مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه در یک مسیریاب	۲۱
۶-۷- روش‌های تحلیل داده‌ها	۲۲
۶-۷-۱- تحلیل افتراق خطی در مقابل تحلیل مؤلفه‌های اساسی	۲۲
۶-۷-۲- الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اساسی	۲۳
۶-۸- جمع‌بندی	۲۵

عنوان		صفحة
فصل سوم: مروری بر روش‌های ذخیره‌سازی و اختصاص اندازه در حافظه‌های نهان شبکه‌های داده‌ی نامگذاری شده		
۱-۳- مقدمه.....	۲۷.....	۲۷
۲-۳- الگوریتم مرکزیت میانگی.....	۲۷.....	۲۷
۳-۳- بکارگیری پارامتر مرکزیت گراف برای تعیین درجه اهمیت مسیریاب‌های NDN.....	۲۹.....	۲۹
۳-۳-۱- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ی مسیریاب‌های NDN با کمک معیارهای مرکزیت گراف.....	۲۹.....	۲۹
۳-۳-۲- ذخیره‌سازی در گره‌های پراهمیت با کمک معیار مرکزیت میانگی.....	۳۳.....	۳۳
۴-۳- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های NDN با کمک پارامترهای کوتاه‌مدت.....	۳۶.....	۳۶
۴-۳-۱- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت با کمک الگوریتم یادگیری ماشین.....	۳۶.....	۳۶
۴-۳-۲- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت براساس پارامتر تاثیر درجه درخواست.....	۳۹.....	۳۹
۴-۳-۳- راهبردهای ذخیره‌سازی در حافظه‌ی نهان.....	۴۰.....	۴۰
۴-۳-۴- سیاست‌های جایگزینی در حافظه‌ی نهان.....	۴۰.....	۴۰
۷-۳- جمع‌بندی.....	۴۱.....	۴۱
فصل چهارم: طرح پیشنهادی برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌های نهان مسیریاب‌های محتوایی		
۱-۴- مقدمه.....	۴۳.....	۴۳
۲-۴- پارامترهای بلندمدت و کوتاه‌مدت.....	۴۴.....	۴۴
۲-۴-۱- پارامتر بلندمدت.....	۴۴.....	۴۴
۲-۴-۲- پارامترهای کوتاه‌مدت.....	۴۵.....	۴۵
۳-۴- میانگین‌گیری متحرک .....	۵۰.....	۵۰
۴-۴- روش ترکیب داده‌ی تحلیل مؤلفه‌های اساسی.....	۵۵.....	۵۵
۴-۵- نمودار بلوکی ترکیب داده‌ها با کمک الگوریتم PCA.....	۵۸.....	۵۸
۴-۶- محاسبه‌ی اندازه‌ی حافظه‌ی نهان به هر مسیریاب محتوایی.....	۵۸.....	۵۸

عنوان		صفحة
٤- الگوریتم پیشنهادی	٥٩	٥٩
٤- جمع‌بندی	٥٩	٥٩
<b>فصل پنجم: شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج</b>		
٥- مقدمه	٦١	٦١
٥- شبیه‌سازی موجود برای معماری NDN	٦١	٦١
٥- شبیه‌ساز ۳ و ns-۳	٦٢	٦٢
٥- پارامترهای قابل تنظیم در شبیه‌ساز ndnSIM برای سناریوهای NDN	٦٣	٦٣
٥- ساختار آبیلن	٦٥	٦٥
٥- پارامترهای توزیع محبوبیت زیف	٦٥	٦٥
٥- نتایج حاصل از الگوریتم‌های مرکزیت گراف شبکه	٦٦	٦٦
٥- پردازش داده‌ها با کمک پیاده‌سازی‌ها به زبان برنامه‌نویسی پایتون	٦٧	٦٧
٥- نتایج روش‌های میانگین‌گیری بر روی معیارهای کوتاه‌مدت	٦٧	٦٧
٥- فراوانی توزیع بسته‌های علاقه‌ی منظر	٧١	٧١
٥- پارامترهای ارزیابی	٧٢	٧٢
٥- جمع‌بندی	٧٧	٧٧
<b>فصل ششم: نتیجه‌گیری و کارهای آینده</b>		
٦- نتیجه‌گیری	٧٩	٧٩
٦- کارهای آینده	٨١	٨١
<b>منابع و مآخذ</b>		

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱-۱. انتقال مؤلفه‌ی جهانی پشته‌ی شبکه از پروتکل اینترنت به قطعه‌های محتوا نام‌گذاری شده در NDN [۸]	شکل ۱-۱. انتقال مؤلفه‌ی جهانی پشته‌ی شبکه از پروتکل اینترنت به قطعه‌های محتوا نام‌گذاری شده در NDN [۸]
۱-۲. انواع بسته‌ی NDN [۸]	شکل ۱-۲. انواع بسته‌ی NDN [۸]
۲-۱. مثالی از شبکه‌ی NDN [۱۰]	شکل ۲-۱. مثالی از شبکه‌ی NDN [۱۰]
۲-۲. مدل ارتباطی در NDN [۴]	شکل ۲-۲. مدل ارتباطی در NDN [۴]
۳-۱. نحوی عملکرد واحدها در یک مسیریاب NDN [۱۲]	شکل ۳-۱. نحوی عملکرد واحدها در یک مسیریاب NDN [۱۲]
۳-۲. ساختار بستر آزمایشی شبکه‌ی NDN با بیستووشش عدد گره و شصت‌ووشش عدد پیوند [۱۶]	شکل ۳-۲. ساختار بستر آزمایشی شبکه‌ی NDN با بیستووشش عدد گره و شصت‌ووشش عدد پیوند [۱۶]
۴-۱. الف) مدارها در سوییچینگ مداری، ب) بسته‌ها در سوییچینگ بسته‌ای، ج) محتويات در شبکه‌های اطلاعات-محور [۱۷]	شکل ۴-۱. الف) مدارها در سوییچینگ مداری، ب) بسته‌ها در سوییچینگ بسته‌ای، ج) محتويات در شبکه‌های اطلاعات-محور [۱۷]
۵-۱. مدلی از مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه محتوا در یک مسیریاب NDN [۱۹]	شکل ۵-۱. مدلی از مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه محتوا در یک مسیریاب NDN [۱۹]
۶-۱. دسته‌بندی براساس PCA و LDA [۲۲]	شکل ۶-۱. دسته‌بندی براساس PCA و LDA [۲۲]
۶-۲. ساختار گینت [۲۹]	شکل ۶-۲. ساختار گینت [۲۹]
۷-۱. اندازه‌ی حافظه‌ی نهان اختصاص داده شده به گره‌های متفاوت با کمک معیارهای مرکزیت در ساختار گینت [۲۸]	شکل ۷-۱. اندازه‌ی حافظه‌ی نهان اختصاص داده شده به گره‌های متفاوت با کمک معیارهای مرکزیت در ساختار گینت [۲۸]
۷-۲. تفاوت در اختصاص حافظه‌ی نهان: سمت چپ) اندازه‌ی حافظه نهان یکنواخت. سمت راست) اندازه‌ی حافظه نهان غیریکنواخت [۲۸]	شکل ۷-۲. تفاوت در اختصاص حافظه‌ی نهان: سمت چپ) اندازه‌ی حافظه نهان یکنواخت. سمت راست) اندازه‌ی حافظه نهان غیریکنواخت [۲۸]
۷-۳. شبکه کد مربوط به درخواست و داده‌ی محتوا [۳۰]	شکل ۷-۳. شبکه کد مربوط به درخواست و داده‌ی محتوا [۳۰]
۷-۴. یک ساختار با مکان ذخیره‌سازی بهینه در گرهی [۳۰]	شکل ۷-۴. یک ساختار با مکان ذخیره‌سازی بهینه در گرهی [۳۰]
۷-۵. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن‌دار خطی	شکل ۷-۵. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن‌دار خطی
۷-۶. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن‌دار نمایی	شکل ۷-۶. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن‌دار نمایی
۷-۷. نمودار ترکیب بردارهای داده با الگوریتم تجمعی داده‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اساسی	شکل ۷-۷. نمودار ترکیب بردارهای داده با الگوریتم تجمعی داده‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اساسی
۷-۸. ساختار شبکه‌ی شبیه‌سازی برای سناریوهای شبیه‌ساز ndnSIM [۴۵]	شکل ۷-۸. ساختار شبکه‌ی شبیه‌سازی با ساختار میانی آبیلن و تعداد دوازده عدد مصرف‌کننده
۷-۹. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش EWMA	شکل ۷-۹. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش EWMA
۷-۱۰. تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در لحظات مختلف، بطور میانگین در هر مسیریاب میانی با روش میانگین گیری EWMA	شکل ۷-۱۰. تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در لحظات مختلف، بطور میانگین در هر مسیریاب میانی با روش میانگین گیری EWMA
۷-۱۱. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش LWMA	شکل ۷-۱۱. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش LWMA

صفحه	عنوان
	شکل ۵-۶. تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در لحظات مختلف، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش میانگین‌گیری LWMA ..... ۷۰
	شکل ۵-۷. نمودار هیستوگرام تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در هر مسیریاب $(s=2, q=0)$ NDN ..... ۷۱
	شکل ۵-۸. نمودار هیستوگرام تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در هر مسیریاب NDN ..... ۷۲
	شکل ۵-۹. نمودار مربوط به نرخ برخورد در هر مسیریاب شبکه با $s=0.7$ و $q=5$ ..... ۷۴
	شکل ۵-۱۰. نمودار مربوط به نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان هر تولیدکننده محتوای شبکه با $s=0.7$ و $q=5$ ..... ۷۵
	شکل ۵-۱۱. نمودار مربوط به تاخیر رفت و برگشت درخواست یک بسته با $s=0.7$ و $q=5$ ..... ۷۶
	شکل ۵-۱۲. نمودار مربوط به تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در جدول PIT بر حسب نرخ برخورد در هر مسیریاب محتوایی با $s=0.7$ و $q=5$ ..... ۷۸

## فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱. هزینه‌ی محاسباتی عملیات جستجو و جایگزینی برای سیاست‌های جایگزینی مختلف [۳۴]	۴۲
جدول ۴-۱. خصوصیات قابل دسترسی در هر مسیریاب [۱۰].	۴۷
جدول ۵-۱. پارامترهای تنظیم شده برای شبیه‌سازی سناریوهای NDN	۶۴
جدول ۵-۲. تعداد محتویات پرطرفدار از لیستی با تعداد $10^7$ عدد محتوا.	۶۶
جدول ۵-۳. مقادیر مرکزیت میانگی به ازای هر مسیریاب.	۶۶
جدول ۵-۴. مقادیر مرکزیت درجه، به ازای هر مسیریاب.	۶۷

## فصل اول

### کلیات شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری‌شده و روش تحلیل داده

#### ۱-۱- مقدمه

شبکه‌ی جهانی اینترنت، خود شبکه‌ای از شبکه‌ها است. شبکه‌ای حاصل از میلیون‌ها کامپیوتر که اطلاعات مبادله‌شده در بستر آن، شامل درخواست‌های کاربران و نیز پاسخ‌های این درخواست‌ها می‌باشد. با توجه به افزایش دستگاه‌های متصل به شبکه، درخواست‌های کاربران برای محتویات مختلف و متقابلاً تولید و توزیع محتویات درخواستی در اینترنت، تغییر معماری میزبان-محوری و بعضاً میزبان-محتوای معماري به معماري محظوظ روز به روز ضروری تر می‌گردد. لذا در یکی از مجموعه‌ی معماری‌ها، با تمرکز بر روی آدرس‌دهی خود محتوای، به طراحی معماری پیشنهادی برای نسل آینده‌ی شبکه‌های اینترنتی پرداخته شده است [۴]. در این معماری واحد جدید ذخیره‌گاه حافظه‌ی نهان به چشم می‌خورد که به تمام دستگاه‌های شبکه اختصاص داده می‌شود. با اختصاص اندازه‌ی مناسب به حافظه‌های دستگاه‌های میانی شبکه، می‌توان بهبودهایی را در کاهش تاخیر دریافت محتوای و افزایش نرخ برخورد در ذخیره‌گاه‌های دستگاه‌های میانی شبکه بدست آورد.

#### ۱-۲- ظهور معماری محظوظ-محوری

اصول مهندسی و معماری اینترنت امروزی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی بنا نهاده شده است. هدف اصلی از برپایی این معماری به اشتراک‌گذاری منابع بوده است. معماری اینترنتی با هدف به اشتراک‌گذاری منابع مطرح شد تا تجهیزات و بخصوص داده‌ها را، صرف نظر از موقعیت فیزیکی افراد و

منابع، در اختیار همگان قرار دهنده. پنجاه سال پس از ساخت شبکه‌های بسته‌ای، کامپیوترها و اتصالاتشان بسیار ارزان شدند. هزینه‌های پایین ارتباطات و ذخیره‌سازی اطلاعات، دسترسی به محتويات بسیار بزرگ را امکان‌پذیر ساخت. این طرح نیازمند شناسه‌ای برای انتساب به دستگاه‌های درون شبکه بود که اصطلاحاً به این شناسه همان آدرس پروتکل اینترنت<sup>۱</sup> می‌گویند. در حقیقت با وجود اینکه بیشتر کاربردها از نام‌های معنادار برای آدرس‌دهی محتوا استفاده می‌کنند، (URL‌ها در تار جهان گستر وب)، اما فناوری شبکه می‌بایست این نام‌ها را به آدرس‌های محلی و یا جهانی ترجمه کند و این عدم تطابق بین «چه چیز» و «کجا»، با سیستمی مانند ترجمه‌ی نام‌ها مدیریت شود.

مدل ارتباطی در معماری شبکه‌ی اینترنت، TCP/IP، یک مدل اتصال‌گرای نقطه به نقطه است و هنوز ارتباطات بر مبنای این است که محتويات درخواستی کاربران در کجا قرار گرفته‌اند و توسط کدام دستگاه متصل به شبکه، میزبانی می‌شوند. این در حالی است که توجه کاربران بیشتر به سمت خود محتوا است و اینکه داده‌های آن محتوا در کجا قرار گرفته‌اند، اهمیت چندانی برای کاربران ندارد. امروزه بیش از شصت درصد از ترافیک اینترنت، توسط کاربردهای ویدئویی اشغال شده است و طبق پیش‌بینی‌های انجام شده این مقدار تا سال ۲۰۱۷ به بیش از نود درصد ترافیک کلی شبکه‌ی اینترنت خواهد رسید [۵]. این آمار نشان می‌دهد که شبکه بیشتر برای تبادل محتويات از قبیل صفحات وب، مستندات و خصوصاً محتويات چندرسانه‌ای‌ها استفاده می‌شود و اینکه میزبان آن محتوا چه کسی است و در کجا قرار دارد، کم‌اهمیت است.

تحقیقاتی که در زمینه‌ی معماری‌های نسل آینده‌ی اینترنت انجام گرفته است، در تلاش برای یک‌دست نمودن شبکه‌ی اینترنت، با مجموعه‌ی ساختارهای بهم آمیخته‌ی موجود در آن می‌باشد. در واقع هدف نهایی قرض گرفتن ایده‌ها و مکانیزم‌ها از رهیافت شبکه‌هایی با لایه‌های همپوشانی و سپس گنجاندن این مکانیزم‌ها در بستر شبکه‌ی اینترنت است؛ از آنجایی که در شبکه‌های همپوشانی<sup>۲</sup>، هر گره بدون در نظر گرفتن ساختار زیرین شبکه، با گرهی متناظر در شبکه‌ی دیگر به مبالغه‌ی داده‌ها می‌پردازد، هدف از معماری اینترنتی نسل آینده، آگاهی دستگاه‌های داخلی شبکه از محتويات و نیز کنترل آنها است.

بیشتر کاربردهای لایه‌های همپوشانی، همانند شبکه‌های تحویل محتوایی (CDN<sup>۳</sup>) و شبکه‌های همتا به هم‌تا (P2P<sup>۴</sup>)، بیش از پیش تلاش می‌کنند تا با این حجم از انفجار درخواست‌ها سازگار شوند. در راه کار P2P، کاربران فایل درخواستی را بدون در نظر گرفتن اینکه از طرف کدام کاربر شبکه در حال ارسال است، دانلود می‌کنند. در راه کار CDN، مشتری محتوا را از یک سرویس دهنده ناشناخته در نزدیک‌ترین نقطه‌ی جغرافیایی، دانلود می‌کند. با اینکه می‌توان بدون تغییر در یک فراهم‌کننده‌ی

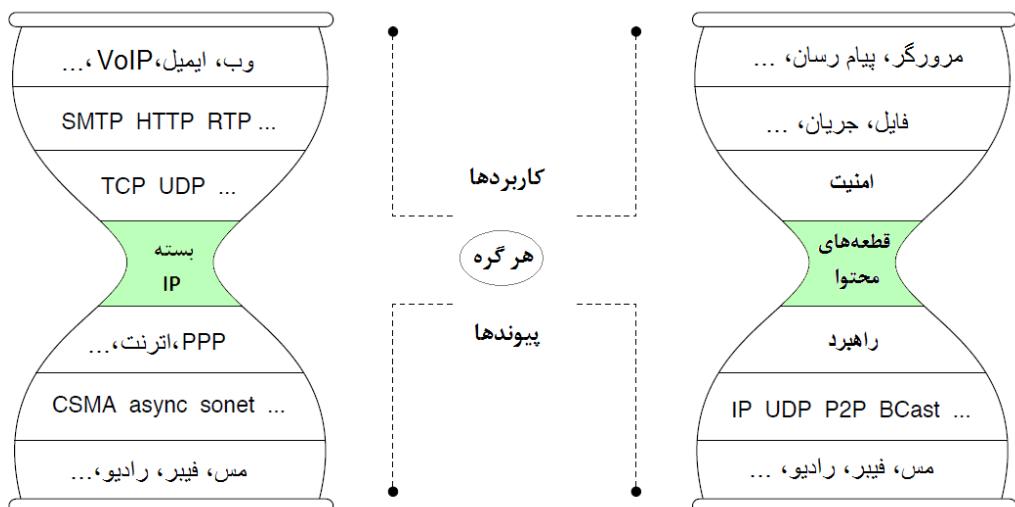
<sup>1</sup> Internet Protocol (IP)

<sup>2</sup> Overlay networks

<sup>3</sup> Content Delivery Network

<sup>4</sup> Peer-to-Peer

سرویس اینترنتی، یک شبکه‌ی همپوشانی را در میزبان‌های انتهاهای اجرا کرد، اما این لایه‌ی همپوشان هیچ کنترلی بر روی چگونگی مسیریابی بسته‌های بین دو گره ندارد [۶]. این دسته از راهکارها که بیشتر میزبان-محتوا محوری هستند، محققان شبکه را به سمت شبکه‌های اطلاعات-محور سوق داده‌اند. از این روی شبکه‌های اطلاعات-محور (ICN)<sup>۱</sup> [۷] به عنوان یک معماری ارتباطی انعطاف‌پذیر، جهانی و ساده مطرح شده است که جواب‌گوی مشکلات ارتباطی امروز است. این معماری به گونه‌ای طراحی شده است که حداقل به اندازه‌ی معماري TCP/IP مقیاس‌پذیر باشد. همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، شبکه‌های اطلاعات-محور با هدف جایگزینی قسمت میانی ساعت شنی شبکه‌ی اینترنتی، با مفهوم محتوا و بکارگیری یک پروتکل همه‌منظوره‌ی اطلاعات-محوری در بالای پشتی TCP/IP، مطرح شده‌اند. توسعه‌ی کاربردهای کنونی در متن یک شبکه‌ی ICN، منجر به تغییر در جایگاه میانی ساعت شنی خواهد شد و لایه‌ی IP به عنوان یک لایه‌ی انتقال برای یک پروتکل خاص ICN در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، دو لایه‌ی امنیت و راهبرد<sup>۲</sup> به ترتیب برای بهینه‌سازی ارتباطات با بهره‌گیری همزمان از کانال‌های ارتباطی و تامین امنیت داده با هدف امن‌سازی محتوا به جای بستر ارتباطی، فراهم شده‌اند.



شکل ۱-۱. انتقال مؤلفه‌ی جهانی پشتی شبکه از پروتکل اینترنت به قطعه‌های محتوا نام‌گذاری شده در NDN [۸].

### ۱-۳-۱- بیان مسئله و روش پژوهش

پیشتر مطالعاتی در زمینه‌ی حافظه‌های نهان در شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده (NDN<sup>۳</sup>)، از جمله شیوه‌ی قراردهی، جایگزینی و مدل‌های حافظه‌های نهان موجود در شبکه انجام گرفته است. در

<sup>1</sup> Information Centric Network

<sup>2</sup> Strategy

<sup>3</sup> Named Data Network (NDN)

این پژوهش در راستای نقش اساسی این حافظه‌ها در بهبود عملکرد شبکه، به اختصاص اندازه به هر حافظه پرداخته خواهد شد. از آنجایی که در شبکه‌ی NDN مسیریاب‌هایی که نقش مهمتری در تحويل محتوا دارند و ترافیک بیشتری بر آن‌ها تحمیل می‌شود، با داشتن حجم حافظه‌ی بزرگتر، می‌توانند بطور سریع‌تری پاسخ را برای کاربر برگردانند، لذا در این پژوهش به ارائه‌ی یک پارامتر جدید برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ها، بنابر اهمیت هر مسیریاب پرداخته می‌شود. در ابتدا هدف یافتن مسیریاب‌هایی از شبکه است که نقش موثری در بهبود عملکرد شبکه ایفا می‌کنند. لذا به این مسیریاب‌های محتوایی می‌باشد اندازه‌ی بیشتری از حافظه‌ی نهان شبکه‌ای اختصاص داده شود تا به گونه‌ای عملکرد کلی شبکه افزایش یابد. در حقیقت هدف این است که با در نظر گرفتن یک اندازه‌ی کلی برای حافظه‌ی نهان یک شبکه‌ی NDN، به گونه‌ای این اندازه در بین مسیریاب‌های میانی شبکه تقسیم شود تا مسیریاب‌هایی که بار ترافیکی بیشتری را تقبل می‌کنند و یا در مسیرهای ارتباطی مهم‌تری قرار دارند و یا تعداد درخواست‌های بیشتری از سمت کاربران شبکه دریافت می‌کنند، امتیاز بیشتری داشته باشند؛ در حقیقت با اختصاص اندازه‌ی حافظه‌ی بیشتر می‌توان سرعت پاسخ‌گویی به نیازهای کاربران شبکه را افزایش و به بیان دیگر تأخیر را از دیدگاه کاربران کاهش داد.

برای بی‌بردن به درجه‌ی اهمیت هر مسیریاب، از ترکیب اطلاعات بلندمدت (ایستا) و کوتاه‌مدت (پویا) استفاده می‌گردد. اطلاعات بلندمدت از قبیل مرکزیت هر مسیریاب در شبکه در طولانی‌مدت، نقش کلیدی را در رد و بدل شدن پیغام‌ها به عهده دارند. حال آنکه از اطلاعات کوتاه‌مدت نیز نمی‌توان غافل شد؛ زیرا اطلاعات کوتاه‌مدت که از وضعیت لحظه‌های اجرایی شبکه بدست می‌آیند، باز خورد وضعیت ترافیکی هر گره را در اختیار می‌گذارند. لذا این دسته از اطلاعات نیز نقش موثری در بهبود مدیریت و افزایش کارایی منابع شبکه‌ای، همانند حافظه‌ی نهان دارند.

## ۱-۴- کاربرد و اهمیت پژوهش

شبکه‌ی داده‌ی نامگذاری‌شده یکی از پنج پروژه‌ای است که به عنوان معماری اینترنت آینده، تحت حمایت موسسه‌ی علمی ملی آمریکا، توسعه داده می‌شود و در سال‌های اخیر، حدود چهارده میلیون دلار، بودجه دریافت کرده است. ریشه‌های NDN در پروژه‌ای است که پیشتر، تحت عنوان شبکه‌های محتوا-محور<sup>۱</sup> [۸]، در سال ۲۰۰۶ توسط آقای وَن ژاکوبسُن، در مرکز تحقیقاتی پارک واقع در ایالت متحده‌ی آمریکا، ارائه شده است، اما خود پروژه با نام CCNx[۹] در سال ۲۰۰۷ کلید خورد و اولین نسخه‌ی آن در سال ۲۰۰۹ منتشر گردید. این پروژه یک معماری بنیادین جهانی است که با هدف فراهم‌آوردن یک مجموعه از پروتکل‌هایی برای جایگزینی TCP/IP (با هدف گسترش تدریجی برای حفظ پروتکل‌ها کنونی شبکه‌ی اینترنت) مطرح شده، تا علاوه بر حفظ و بهبود اعتماد و امنیت در شبکه، نیازمندی‌های باند را برای محتويات مدرن افزایش دهد.

<sup>۱</sup> Content Centric Networking (CCN)

با توجه به پیش‌بینی‌های انجام‌شده در جهت کاربرد این شبکه‌ها و نیز اهمیت مسیریاب‌های محتوایی به عنوان یکی از واحدهای اصلی در هر مسیریاب شبکه‌ی NDN، در این پژوهش سعی در ارائه‌ی روشی برای بهینه‌سازی اندازه‌ی حافظه‌های نهان شبکه‌ای خواهد بود، زیرا بهبود عملکرد مجموعه‌ی حافظه‌های نهان در مسیریاب‌های NDN، در پاسخ‌گویی به شیوه‌ی بلاذرنگ به درخواست‌های کاربران، کمک شایانی می‌کنند.

#### ۱-۵- ساختار پایان‌نامه

در فصل اول به بیان مساله و اهمیت پژوهش پرداخته شد. در فصل دوم به تاریخچه و مفاهیم شبکه‌ی محتوا-محور (شبکه‌ی داده‌های نام‌گذاری‌شده) و نیز به کلیات روش تجمعی داده‌ی بکار گرفته شده در این پژوهش، پرداخته خواهد شد. در فصل سوم پس از توضیح مختصراً راجع به یکی از راهبردهای ذخیره‌سازی در این شبکه‌ها، تعدادی از روش‌های اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت ارائه شده در کارهای پیشین مورد بررسی قرار داده می‌شوند. در فصل چهارم راه‌کار پیشنهادی و مدل ریاضی پیشنهادی برای اختصاص اندازه‌ی حافظه نهان ارائه می‌گردد. در فصل پنجم روش پیشنهادی، شبیه‌سازی و سپس نتایج آن، تحلیل و با روش‌های یکنواخت و غیریکنواخت مقایسه می‌شود. نهایتاً در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه خواهد شد.



## فصل دوم

### تعاریف و مفاهیم شبکه‌های اطلاعات محور و روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی

#### ۱-۱- مقدمه

در این فصل در ابتدا به تاریخچه شبکه‌های اطلاعات-محور که یکی از معماری‌های پیشنهادی برای نسل آینده‌ی شبکه‌های اینترنتی است، پرداخته می‌شود. سپس معماری محتوا-محوری، یکی از معماری‌های شبکه‌ی داده-محور، و خصوصیات آن به همراه یکی از مدل‌های ارائه شده برای مؤلفه‌های مسیریاب‌های این شبکه مطرح خواهد شد. پس از ارائه اطلاعاتی در مورد بستر آزمایشی شبکه‌ی NDN، در پایان فصل به روش ترکیب داده‌ی تحلیل مؤلفه‌های اساسی اشاره‌ی مختص‌ری خواهد شد.

#### ۲-۱- شبکه‌های اطلاعات-محور و خصوصیات آن‌ها

شبکه‌های اطلاعات-محور الگوی جدیدی برای نسل آینده‌ی شبکه‌ی اینترنت است که محتوا در ناحیه‌ی میانی مدل معروف ساعت شنی قرار می‌گیرد (شکل ۱-۱). با وجود معماری‌هایی که در طول چند سال اخیر برای ICN ارائه شده‌اند [۷]، هنوز با پیشرفت‌هایی که امروزه CDN به آن دست یافته است، فاصله زیادی داریم و با چالش‌هایی در این زمینه روبرو هستیم. از جمله‌ی این چالش‌ها طراحی، برنامه‌ریزی و نحوه‌ی عملکرد ICN است.

در بین معماری‌های ارائه شده برای ICN، راه‌کار شبکه‌های محتوا-محور با استقبال بیشتری در بین جامعه‌ی علمی روبرو شده است. شبکه‌های محتوا-محور (CCN) [۸] که اخیراً با نام شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده (NDN) شناخته شده است، یک نوع معماری ارتباطی است که آدرس‌دهی را به صورت

سلسله مراتبی بر روی قطعه‌های داده انجام می‌دهد. خصوصیات این نوع از شبکه‌ها در ادامه ذکر خواهد شد.

همان‌گونه که پیشتر به آن اشاره شد، در ارتباطات NDN دو نوع بسته وجود دارد: بسته‌ی علاقه<sup>۱</sup> و بسته‌ی داده<sup>۲</sup>. همان‌طور که در شکل ۱-۲ می‌بینید، به ازای هر بسته‌ی علاقه، یک نام موجود است که این نام به طور یک-به-یک برای بسته‌ی داده نیز وجود دارد؛ بدین معنی که به ازای هر بسته‌ی علاقه، یک بسته‌ی داده نیز با همان نام داریم. از آنجایی که در NDN نام‌ها سلسله مراتبی هستند، لذا تطابق پیشوند نام<sup>۳</sup> موجود در بسته‌ی علاقه، معادل بررسی زیردرخت نام است تا در نهایت در بین نام‌های موجود برای بسته‌های داده مناسب‌ترین انتخاب شود. به محض آن‌که بسته‌ی علاقه به گرهی میزبان آن بسته‌ی داده رسید میزبان، یک بسته‌ی داده متشکل از نام و محتوای درخواستی به همراه امضای خصوصی سرویس‌دهنده، تولید و برای مشتری ارسال می‌کند؛ ساختار یک بسته‌ی داده در شکل ۱-۲ نشان داده شده است [۸].



شکل ۱-۲. انواع بسته‌ی NDN [۸].

#### ۱-۲-۱- مسیریابی و هدایت رو به جلو<sup>۴</sup>

هر بسته‌ی علاقه برای یک عدد از قطعه‌های داده ارسال می‌شود و مجموعه‌ی بسته‌های علاقه‌ی ارسالی با کمک شماره‌ی ترتیبی که در بسته‌ها گنجانده می‌شوند، یک محتوا را درخواست می‌کنند. در NDN، اشیاء می‌توانند به ریزاشیایی به نام قطعه‌ی داده<sup>۵</sup> تقسیم شوند؛ از این روی هر یک از مسیریاب‌های شبکه که حاوی قطعه‌ی داده‌ی مورد نظر باشند، می‌توانند آن را برای کاربر برگردانند تا دیگر نیازی به هدایت رو به جلوی درخواست، از طرف مسیریاب ذخیره‌کننده‌ی قطعه‌ی داده به سمت سرویس‌دهنده‌ی حامل دائمی آن داده نباشد و قطعه‌ی مورد نظر از ذخیره‌گاه مسیریاب کنونی استخراج شده و برای کاربر درخواست‌کننده، برگردانده شود. به همین دلیل قطعه‌ی داده به سمت

<sup>1</sup> Interest packet

<sup>2</sup> Data packet

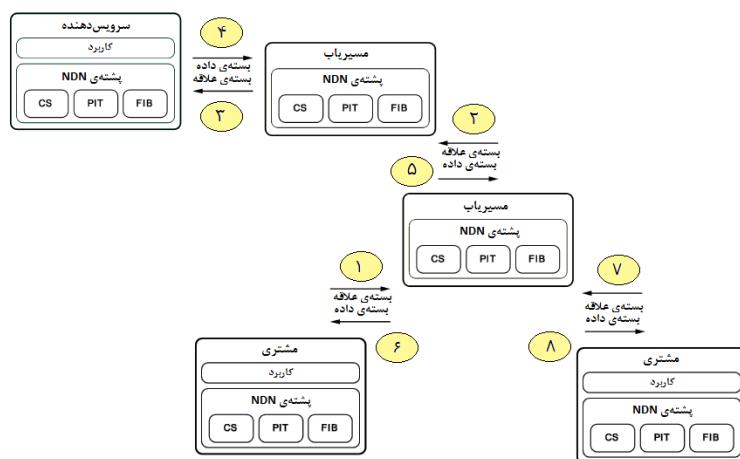
<sup>3</sup> Name prefix matching

<sup>4</sup> Forwarding

<sup>5</sup> Data Chunk

مشتری درخواست کننده‌ی بسته‌ی علاقه، ارسال می‌شود و یک بسته‌ی داده، در ماشین مشتری برای آن بسته‌ی علاقه مصرف می‌شود [۴].

همان‌طور که در شکل ۲-۲ نشان داده است، در گام‌های یک الی سه درخواست‌ها به فرم بسته‌های علاقه به سمت تولید کننده‌ی محتوا ارسال می‌شوند. با استفاده از حالتی که برای تمام بسته‌های علاقه ذخیره شده است، داده‌ی دریافتی از مبدا اطلاعات، بر روی بازوی مورد نظر قرار گرفته و در مسیر معکوس به سمت درخواست کننده مسیریابی می‌شود (گام‌های چهار الی شش). با کمک قابلیت ذخیره‌سازی مسیریاب‌های CCN قطعه‌های محتویات برای درخواست‌های احتمالی بعدی ذخیره می‌شوند. این خصوصیت از مسیریاب‌های CCN در گام‌های هفت و هشت شکل ۲-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۲-۲. مثالی از شبکه‌ی NDN [۷]

با پیاده‌سازی این روش، هر مسیریاب می‌بایست به تعدادی واحد<sup>۱</sup> مجهز باشد تا بتواند به بسته‌های علاقه‌ی کاربران پاسخ دهد. هر مسیریاب NDN، شامل سه واحد یا ساختمان داده و همچنین یک راهبرد هدایت رو به جلو است (شکل ۳-۲) [۴] :

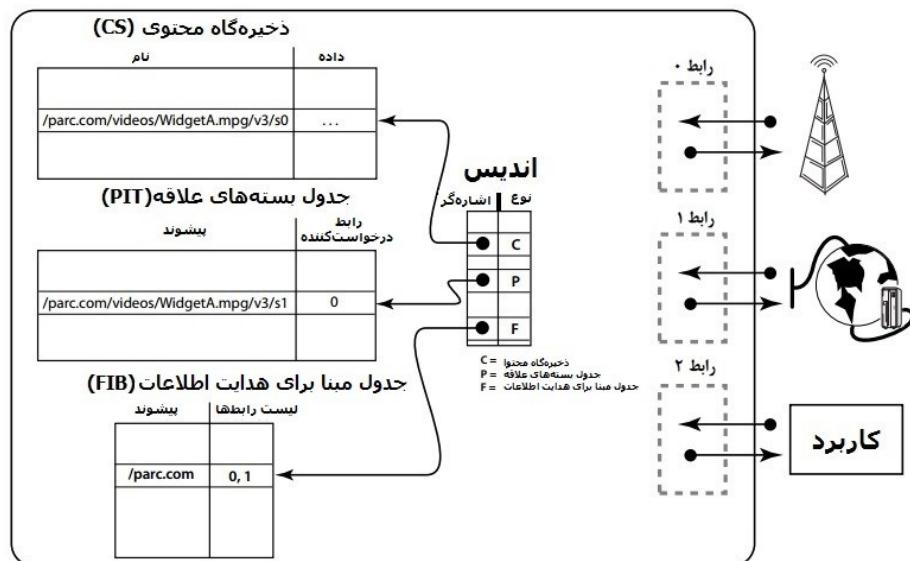
- واحد جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر<sup>۲</sup>: شامل تمامی بسته‌های علاقه‌ای است که یک مسیریاب رو به جلو ارسال کرده است اما هنوز جوابی برای آن‌ها برگردانده نشده است. هر ورودی این جدول شامل نام داده‌ی محتوای درخواستی می‌باشد که به همراه آن، لیستی از رابطه‌های ورودی و نیز رابطه‌ای خروجی وجود دارد و ردپایی برای بسته‌ی داده بازگشتی به جای گذاشته است.
- واحد ذخیره‌گاه محتوا<sup>۳</sup>: این ذخیره‌گاه در هر مسیریاب NDN، قابلیت ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای را ممکن می‌سازد تا سرعت دسترسی کاربر به محتوای درخواستی افزایش یابد. از آنجایی که

<sup>1</sup> Module

<sup>2</sup> Pending Interest Table (PIT)

<sup>3</sup> Content Store (CS)

این ذخیره‌گاه برای دسترسی بلادرنگ استفاده می‌شود، نیاز به جستجو و تحویل سریع محتوا دارد؛ از این روی محدودیت حجم حافظه را خواهیم داشت. از طرف دیگر برای هر ذخیره‌گاه، سیاست‌های جایگزینی محتویات جدید با محتویات قدیمی قابل اعمال است، این سیاست‌ها نظیر سیاست اخیر<sup>۱</sup> کمتر استفاده شده (LRU<sup>۲</sup>) یا سیاست اولین ورودی، اولین خروجی (FIFO<sup>۳</sup>) و یا روش جایگزینی تصادفی هستند؛ در انتهای فصل سوم به این سیاست‌های ذخیره‌سازی و جایگزینی اشاره‌ی مختص‌ری خواهد شد. طول عمر ورودی‌های هر ذخیره‌گاه محتوا، بنا بر الگوی ترافیکی شبکه و میزان درخواست کاربران تعیین می‌شود. این در حالیست که در شبکه‌های کنونی هر بسته‌ی پروتکل اینترنت، تنها به یک پیوند نقطه به نقطه تعلق دارد و مسیریاب پس از ارسال، آنرا از بافر حذف می‌کند؛ اما مسیریاب‌های NDN با حجم حافظه‌ی بالای خود، می‌توانند تعدادی از قطعه‌های داده را ذخیره و در صورت نیاز برای جایگزینی قطعه‌های جدید دریافتی، از سیاست‌های جایگزینی برای قراردهی قطعه‌های محتویات پرطریفدار استفاده کنند. با داشتن این حافظه می‌توان محتویاتی نظیر یک فایل ویدئویی یوتیوب و یا چند صفحه از یک روزنامه‌ی برخط را که تعداد زیادی مشتری از یک ناحیه‌ی جغرافیایی در حال بارگذاری آن هستند، در حافظه‌های مسیریاب‌های شبکه ذخیره کرد تا به گونه‌ای بار ترافیکی درون-شبکه‌ای کاهش پیدا کند.



شکل ۳-۲. مدل ارتباطی در NDN [۴].

- جدول مبنا برای هدایت اطلاعات<sup>۳</sup>: همان‌گونه که از نامش برمی‌آید، یک جدول مسیریابی است که مؤلفه‌های نام‌گذاری‌شده دریافتی را بر روی رابط مسیریاب محتوایی قرار می‌دهد. این

<sup>1</sup> Least Recently Used

<sup>2</sup> First In-First Out

<sup>3</sup> Forwarding Information Base (FIB)

جدول، بی‌شباهت با جدول اطلاعات هدایت رو به جلو در پروتکل کنونی اینترنت نیست، با این تفاوت که در این جدول هر داده می‌تواند بر روی چندین رابط<sup>۱</sup> هدایت شود؛ به عبارت دیگر هدایت بسته‌ها در NDN، دیگر محدود به درخت پوشانیست و چندین مصرف‌کننده می‌توانند یک داده را دریافت کنند. در NDN، از لغت رابط بجای لغت واسطه<sup>۲</sup> استفاده می‌شود؛ زیرا بسته‌ها نه تنها بر روی کارت شبکه‌های سخت‌افزاری انتقال داده می‌شوند، بلکه با کاربردهایی که بر روی همان ماشین در حال اجرا هستند، نیز مبادلاتی را انجام می‌دهند. همچنین این امکان وجود دارد تا برای هر پیشوند نام، چند رابط خروجی وجود داشته باشد، بدین نحو که با آزمایش ورودی‌های جدول بسته‌های علاقه منظر و تطابق یک ورودی از جدول با پیشوند نام بسته‌ی دریافتی، بسته‌ی داده بر روی تمامی رابط‌های لیست‌شده در آن ورودی ارسال خواهد شد.

در معماری NDN، در صورتی که داده در حافظه‌ی نهان مسیریاب ذخیره شده باشد، سریعاً برگردانده می‌شود؛ در غیر این صورت مسیریاب محتوایی، رکورد جدیدی در جدول بسته‌های علاقه‌ی منظر ایجاد می‌کند که این رکورد حامل رابطی است که درخواست از طرف آن دریافت شده است. سپس بسته با استفاده از تطابق طولانی‌ترین پیشوند که در جدول مبنای هدایت اطلاعات قرار گرفته است، بر روی یکی از رابط‌های این ارسال می‌شود. جدول مبنای هدایت اطلاعات را می‌توان با استفاده از پروتکل‌های مسیریابی موجود در اینترنت ساخت؛ به عنوان مثال تولیدکننده اطلاعات پیوندهای ورودی-خروجی خود را برای مسیریاب‌های اطرافش و آنها نیز این اطلاعات را به دیگر مسیریاب‌ها ارسال کرده و بدین نحو مسیریاب‌ها برای هدایت بسته‌ها از این اطلاعات استفاده می‌کند. پروتکل OSFP<sup>۳</sup> که پیاده‌سازی‌های منبع-باز و با کیفیت بالایی از آن در شبکه‌ی اینترنت موجود است، در مرجع [۱۱] به عنوان یک پروتکل پرکاربرد برای شبکه‌ی NDN ارائه و در بستر آزمایشی شبکه‌ی NDN، نسخه‌ی تطبیق یافته‌ی آن بکار گرفته شده است.

در صورتی که داده‌ی معادل با بسته‌ی علاقه، در هیچ یک از حافظه‌های مسیریاب‌ها ذخیره نشده باشد، بسته‌ی علاقه در نهایت به دست سرویس‌دهنده‌ی اصلی می‌رسد. اگر سرویس‌دهنده (در ادبیات محتوا-محوری، تولیدکننده‌ی بسته‌ی داده) بسته‌ی علاقه‌ای را دریافت کند که داده‌ی معادل آن در حافظه‌ی نهانش موجود نباشد، با کمک مخزن اصلی محتويات، بسته‌ی داده‌ای در جواب این درخواست تولید و برای مصرف‌کننده بازگردانده می‌شود. به همین دلیل گفته می‌شود که NDN از محتوایی که بطور پویا تولید شده است، حمایت می‌کند و هم از محتوایی که از قبل به نحو ایستاده در حافظه‌ی نهان ذخیره شده است. یکی از مزایای جداول PIT این است که درخواست‌های تکراری دیگر به سمت مسیریاب‌های بالاسو هدایت نمی‌شوند. به این عمل در اصطلاح تجمعی<sup>۴</sup> درخواست‌ها گفته

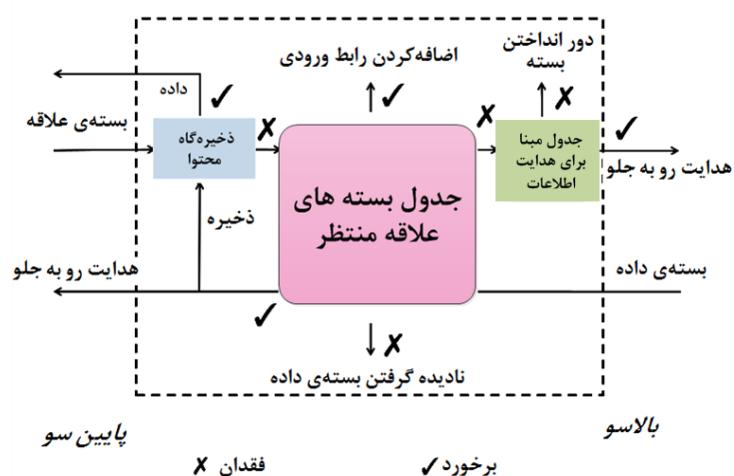
<sup>1</sup> Face

<sup>2</sup> Interface

<sup>3</sup> Open Shortest Path First

<sup>4</sup> Aggregation

می شود و اگر مسیریاب دریافت کننده بسته داده، اطلاعاتی در جدول بسته های علاقه می منتظر داشته باشد، بسته را به سمت مصرف کنندگان داده ارسال می کند و در صورت نیاز آن را در ذخیره گاه خود نگه می دارد و در غیر این صورت بسته حذف خواهد شد. در پایان اطلاعات جدول بسته های علاقه می منتظر حذف می شوند. از این روی با کمک اطلاعات جدول بسته های علاقه می منتظر، هیچ گاه بسته های داده در حلقه<sup>۱</sup> گرفتار نشده و در شبکه سرگردان نمی شوند؛ زیرا با رد پایی که از قبل از بسته های علاقه به جای مانده است، بسته های داده به سمت مشتری مسیریابی می شوند. همچنین این نکته قابل ذکر است که بسته های علاقه، با استفاده از بخش عدد تصادفی<sup>۲</sup> گنجانده شده در بدنه پیام، از سرگردانی بسته ها در شبکه جلوگیری می کند و در صورتی که یک مسیریاب دو بسته علاقه یکسان از مسیرهای متفاوت دریافت کند، با بررسی قسمت عدد تصادفی موجود در هر بسته، یکی از آن ها نادیده گرفته می شوند [۸]. مراحل دریافت، آزمایش، هدایت و در نهایت ذخیره سازی این بسته ها در شکل (۴-۲) قابل مشاهده است.



<sup>۱۲</sup>. شکا، ۴. نحوه‌ی عملکرد واحدها در یک مسیر باب NDN.

۲-۲-۲ - نام گذاری

مؤلفان در مقاله‌ی بنیادین شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده [۸] یک طرح نام‌گذاری سلسله مراتبی ارائه داده‌اند. در طرح مذکور، کاربردهای مختلف، نامِ محتوای خود را درون قسمت از پیش تعیین‌شده‌ای در هر بسته‌ی علاقه قرار داده و آن را در شبکه ارسال می‌کنند. در ساختار نام‌های سلسله مراتبی، این شبکه، هر مؤلفه با علامت جداکننده «/» از کلمه‌ی بعد از خود جدا می‌شود.

از این روی مسیریابی و ارسال بر طبق همین مؤلفه انجام می‌شود. این نکته قابل ذکر است که ساختار نام‌گذاری کاملاً کاربرد-محور است؛ به عنوان مثال نام [/ui/videos/mythesis.mpg](#)، در نظر

1 Loop

## <sup>2</sup> Nonce

بگیرید. در این مورد، ساختار نام سه مؤلفه‌ای است؛ اما با کمک خصوصیت سلسله مراتبی که در نام‌گذاری‌ها وجود دارد، جدول مبنای هدایت اطلاعات تنها می‌تواند شامل بخشی از کل نام باشد؛ به عنوان مثال در صورتی که تنها ریشه‌ی نام بررسی شود بدین معنی است که درخواست‌هایی با ریشه‌ی نام /ui/ به رابط شماره‌ی یک ارسال شوند. از طرف دیگر کاربری که این نام را درخواست می‌دهد، ممکن است که اولین قطعه از داده را دریافت کند و به همین منوال قطعه‌های بعدی را با کمک اطلاعات دریافتی از داده‌ی قطعه اول و همچنین قرارداد نام‌گذاری بین کاربرد تولیدکننده و مصرف‌کننده‌ی محتوا درخواست کند.

### ۳-۲-۲- تحرک<sup>۱</sup>

دستگاه‌های امروزی می‌توانند به چندین عدد کارت شبکه مجهز بوده و قابلیت جابجایی در شبکه را داشته باشند. بسته‌های NDN این خصوصیت ذاتی را دارند که هیچگاه در حلقه گرفتار نمی‌شوند، لذا از چندین کارت شبکه‌ی موجود در هر وسیله، می‌توانند نهایت استفاده را داشته باشند. با توجه به اینکه در NDN بحث بر روی محتوا است و نه گره، نیازی به ارتباط شناسه‌ی لایه‌ی سوم (پروتکل اینترنت) با شناسه‌ی لایه‌ی دوم همانند پروتکل کنترل دسترسی به رسانه، نیست. حتی در زمانی که اتصالات به سرعت در حال تغییر هستند، NDN می‌تواند به محض برقراری یک اتصال فیزیکی به شبکه، داده‌ی خود را مبادله کند. علاوه بر این هر دستگاه می‌تواند برای انتخاب بهترین رابط در ارسال بسته‌های علاقه، اطلاعاتی در مورد مجموعه‌ی رابطها و پیشوندهای نام بسته‌های علاقه بددست آورد؛ زیرا هر بسته‌ی علاقه و داده در NDN، با یکدیگر تشکیل یک زوج را می‌دهند [۸].

از آنجایی که بسته‌های علاقه خصوصیت ذاتی استخراج داده از چندین نقطه را دارا هستند، گره‌ای که بتواند به چندین شبکه متصل شود، قابلیت مسیریابی محتوا بین این شبکه‌ها را دارد. بدین ترتیب با استفاده از واحد حافظه‌ی نهان، گرهی متحرک می‌تواند به عنوان یک رسانه‌ی شبکه، در نقش اتصال‌دهنده‌ی نواحی منقطع عمل کند [۸].

برای مطالعه‌ی بیشتر در مورد تحرک در NDN، می‌توانید به مرجع [۱۳] مراجعه کنید.

### ۴-۲-۲- مسیریابی

مسیریابی همچنان به عنوان یک بحث داغ در دنیای تحقیقاتی مطرح است. امروزه راه حل‌های جدیدی برای مسائل مسیریابی ارائه شده‌اند. هر طرح مسیریابی که برای پروتکل اینترنت به خوبی جواب می‌دهد، برای شبکه‌ی داده‌های نام‌گذاری نیز جواب‌گو است؛ زیرا مدل ارتباطی در NDN با مدلی با محدودیت‌های کمتر است که از مدل پروتکل اینترنت به ارث گرفته شده است. NDN با استفاده از پروتکل‌های حالت اتصال درون-دامنه‌ای<sup>۲</sup>، مسیریابی را انجام می‌دهد؛ به عنوان مثال، همانطور که پیشتر به آن اشاره شد، پروتکل OSPF به نحوی توسعه داده شده است که قابلیت انتقال

<sup>1</sup> Mobility

<sup>2</sup> Inter-Domain Link State

پیشوندهای نام و محاسبه‌ی ورودی‌های مبتنی بر نام هر جدول FIB را داراست. این مطلب گواه این است که NDN از روش‌های مسیریابی قدیمی و کنونی استفاده کرده و بطور کارایی با IP مطابقت دارد [۴].

## ۵-۲-۲- توابع انتقال

معماری NDN، لایه‌ی انتقال جداگانه‌ای ندارد و توابع پروتکل‌های انتقال نظیر تحويل مطمئن و کنترل ازدحام را به کاربردهایی منتقل می‌کند که از کتابخانه‌ها و واحد راهبردی هدایت بسته‌ها حمایت می‌کنند. در این معماری، دیگر نیازی به اطلاعات لایه‌ی انتقال نظیر شماره‌ی پورت و شماره‌ی ترتیب نیست چرا که تمام اطلاعات مورد نیاز در نام بسته‌ی داده موجود است؛ به عنوان مثال نام /ui/videos/mythesis.mpg/1/3 مشخص می‌کند که بسته‌های علاقه‌با نام مذکور می‌باشد به کجا (/ui/) ارسال شوند، توسط کدام کاربرد (/videos/) دریافت شوند؛ همچنین اطلاعات دیگری از محتوای موردنظر همانند شماره‌ی نسخه‌ی محتوا (نسخه‌ی اول) و شماره‌ی قطعه‌ی محتوا (شماره‌ی سوم) از نام بسته قابل استخراج است [۴].

زمانی که کاربردی به تحويل مطمئن نیاز داشته باشد، کاربرد و کتابخانه‌ی مورد حمایتش وضعیت بسته‌های علاقه‌را نشان می‌دهند و در صورتی که زمان انقضا سپری شده باشد، مجدداً بسته‌ی علاقه ارسال خواهد شد. توازن جریان<sup>۱</sup> در NDN، به همراه قابلیت کنترل بار ترافیکی توسط هر گره که با کمک محدودیت ایجادشده بر روی بسته‌های علاقه‌ی منتظر انجام می‌گیرد، این امکان را فراهم می‌سازد تا به گونه‌ی موثری ازدحام کنترل شود [۴].

در صورت رخداد ازدحام و دور ریز بسته‌ها<sup>۲</sup> در شبکه، ذخیره‌سازی حافظه‌ی نهان می‌تواند با برآورده‌سازی بسته‌های علاقه‌ی تکراری، اثر ازدحام را کاهش دهد. در شبکه‌های اینترنت امروزی، منابع داده‌ای به دلیل ارسال مجددهای بی‌رویه، پنهانی باند زیادی مصرف می‌کنند، اما NDN با کمک برآورده‌سازی درخواست‌ها، قبل از رخداد ازدحام به گونه‌ای مشکل را حل می‌کند [۴].

## ۶-۲-۲- امنیّت

mekanizm‌های امنیّتی بکار گرفته‌شده در شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده، خارج از حیطه‌ی این تحقیق می‌باشد. اگر بخواهیم بطور مختصری در مورد این موضوع صحبت کنیم، می‌باشد از امنیت در نظر گرفته‌شده برای میزبان انتهایی، به امنیت در نظر گرفته‌شده برای محتوا تعییر مسیر دهیم. میزبان‌هایی که یک محتوا را از یک مخزن استخراج می‌کنند، می‌باشد از اعتبار و قابلیت اعتماد کل محتوا مطمئن باشند. بدین ترتیب مصرف کنندگان می‌توانند اطمینان پیدا کنند که هر داده از کجا و چگونه آمده است. این موضوع با امضای کل بسته‌ی داده (محتوا + نام محتوا) توسط کلید خصوصی تولیدکننده محتوا حاصل می‌شود. بدین ترتیب تولیدکننده، نام و محتوای انتشاری خود را بهم

<sup>1</sup> Flow balancing

<sup>2</sup> Packet loss

متصل می‌کند. از این روی گفته می‌شود که امکان احراز هویت داده‌های این نوع از شبکه‌ها برای عموم وجود دارد. هر بسته‌ی داده این امکان را فراهم می‌سازد تا کلید عمومی تولیدکننده‌ی بسته، از داخل بسته استخراج شود. با گنجاندن امنیت در محتوا به جای میزبان، تمہیدات امنیتی لازم که می‌بایست به ازای دستگاه‌های میانی شبکه داشته باشیم، کاهش می‌یابند و از این روی می‌توان به نحو بهینه‌تری از امکانات شبکه استفاده کرد [۸].

این نکته قابل ذکر است که در این نوع از شبکه‌ها دیگر حمله به یک میزبان معنی پیدا نمی‌کند و مفهوم میزبان جای خود را به مفهوم محتوا می‌دهد. حملات انکار سرویس<sup>۱</sup> تنها مدلی از حملات هستند که امکان رخدادشان هست. با این وجود، تجمعی که با کمک جداول PIT فراهم می‌شود، حملات سیل‌آسای<sup>۲</sup> بسته‌های علاقه/داده را مشکل می‌سازند [۸].

برای مطالعه‌ی بیشتر می‌توانید به مقاله‌ی مروری مرجع [۷] و یا پژوهش انجام گرفته در مرجع [۱۴] مراجعه کنید.

### ۳-۲- بستر آزمایشی طراحی شده برای بررسی عملکرد NDN

به جهت تست و آزمایش تئوری‌های مطرح شده در زمینه‌ی شبکه‌های محتوا-محور برای شبکه‌ی NDN، بستری طراحی شده است. این بستر آزمایشی<sup>۳</sup> که در ماه ژوئیه سال قبل با اضافه شدن دو عدد گره در موسسه‌ی گره‌ای علوم و فناوری اطلاعات و نیز شرکت وریساین<sup>۴</sup> به تعداد بیست و شش عدد گره مسیریابی افزایش یافت، در نه کشور جهان نظیر آمریکا، چین، فرانسه، ژاپن، کره‌ی جنوبی، ایتالیا و نروژ کار گذاشته شده است [۱۵].

در شکل (۲-۵) این بستر آزمایشی نشان داده شده است. در این بستر آزمایشی پیوندهایی با پهنه‌ای باند دو مگابیت بر ثانیه تا کمتر از صد کیلو بیت بر ثانیه وجود دارد. همچنین در صفحه‌ی خانگی برای مسیریاب NDN که در دانشکده‌ی کامپیوتر دانشگاه ممفیس طراحی شده است، می‌توان وضعیت این گره‌ها، بسته‌های تولیدی و فیلدهای مختلف قرار داده شده در هر بسته به همراه پهنه‌ای باند مصرفی بین هر دو گره را مشاهده کرد.

### ۴-۲- تکامل صد ساله‌ی شبکه‌های ارتباطی

در مقاله‌ی کروز [۱۷]، تکامل صد ساله‌ی شبکه‌های ارتباطی از شبکه‌های سوییچینگ مداری<sup>۵</sup> تا شبکه‌های سوییچینگ بسته‌ای<sup>۶</sup> و نسل آینده‌ی شبکه‌های اطلاعات-محور مطالعه شده است. در مقاله‌ی مذکور، به توصیف و مرور تحقیقات و همچنین چالش‌های موجود در تحلیل، مدل‌سازی و

<sup>1</sup> Denial of Service (DoS)

<sup>2</sup> Flooding attack

<sup>3</sup> Testbed

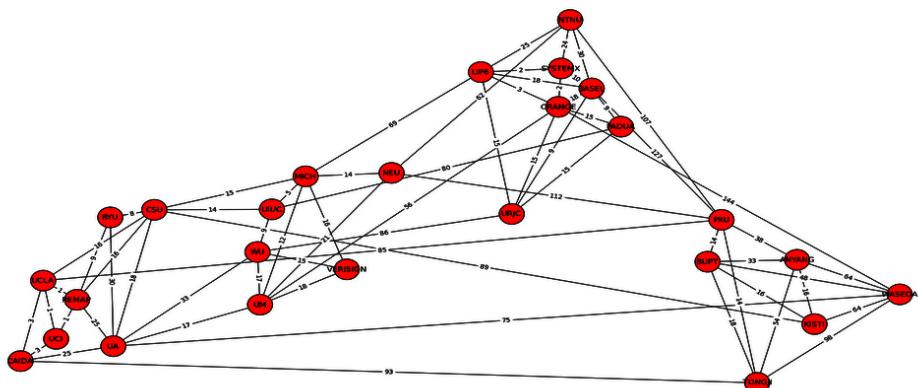
<sup>4</sup>: شرکتی که در زمینه‌ی زیرساخت‌های شبکه و نیز سرویس‌های امنیتی فعالیت می‌کند.

<sup>5</sup> Circuit switching

<sup>6</sup> Packet switching

طراحی شبکه‌های اطلاعات-محور پرداخته شده است. همچنین با مدل سازی شبکه، به یک شبکه از حافظه‌های نهان به بررسی چگونگی یافتن محتوا در بستر این شبکه از حافظه‌های نهان و نیز مدیریت محتوا در حافظه‌ها پرداخته شده است.

پستر آزمایشی NDN با ۲۶ عدد گره و ۶۶ عدد پیوند



شکل ۲-۵. ساختار بستر آزمایشی شبکه‌ی NDN با بیست و شش عدد گره و شصت و شش عدد بیوند [۱۶].

همان‌گونه که در شکل ۶-۲ (الف) می‌بینید، در شبکه‌های سوییچینگ مداری، تماس‌ها<sup>۱</sup> واحدهای اصلی به شمار می‌آیند. در ساده‌ترین سناریو می‌باشد که هر تماس دریافتی، یک مدار آزاد از مدارهای موجود در هر پیوند از مبدأ تماس تا مقصد آن، اختصاص داده شود. در این مثال سه تماس برقرار شده است. بدین نحو هر تماس یک مدار در هر پیوند از پیوندهای موجود در مسیر از سمت مبدأ به طرف مقصد به خود اختصاص می‌دهد. اگر مسیری، مدار آزاد نداشته باشد، آن تماس مسدود می‌شود. یک تماس موفق مدارهایش را تا انتهای تماس حفظ کرده و زمانی که تماس به پایان رسید، آن مسیر را آزاد می‌کند.

اما در شبکه‌ی سوییچینگ بسته‌ای که در شکل ۶-۲ (ب) آمده است، بسته‌ها واحدهای اصلی شبکه هستند. بسته‌ی دریافتی تا زمانی که بر روی یکی از پیوندهای خروجی منتقل شود، در بافر مسیریاب منتظر می‌ماند؛ در صورتی که بافر پر باشد، آن بسته دور اندخته می‌شود. از نقطه نظر مدل‌سازی، به هر بسته یک منبع (یک بافر) اختصاص داده می‌شود و تا زمان دسترسی به یک پیوند خروجی برای ارسال آن بسته به سمت یک مسیریاب دیگر، این منابع را برای خود نگه می‌دارد. دو پارامتر کلیدی برای بررسی عملکرد این شبکه‌ها تاخیر بسته و گذردگی بسته‌ها از یک پیوند است. پنجاه سال پیش آقای کلینراک<sup>۳</sup> در رساله‌ی دکتری خود در مورد بکارگیری تئوری صفت برای تحلیل و کمک به پریاپاسازی یک نوع جدیدی از شبکه‌های ارتباطی، نظریه شبکه‌های سوییچینگ بسته‌ای،

1 Call

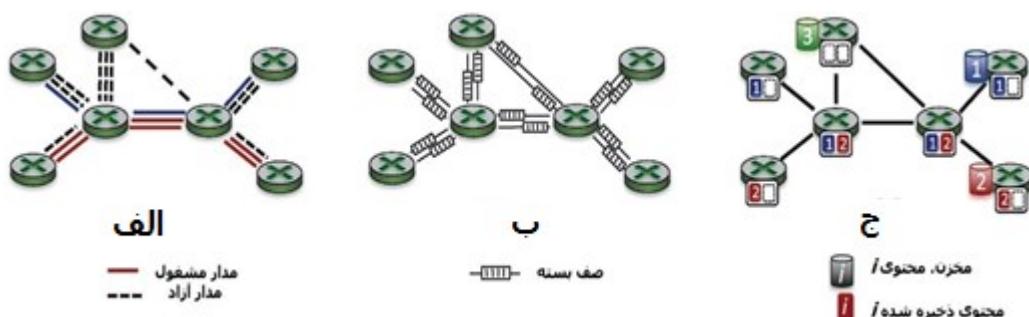
<sup>2</sup> Kleinrock

مدل‌سازی‌هایی از بسته‌های بین مسیریاب‌ها ارائه داد. در این شبکه‌ها نیز همانند شبکه‌های سوییچینگ مداری، فرآیند خروجی از یک مسیریاب پیچیده است. در این شبکه‌ها، مدل‌هایی از جریان‌های<sup>۱</sup> در نظر گرفته شده برای بسته‌ها ارائه شده است [۱۷].

در شکل ۶-۲ (ج) تنظیمات شبکه‌های اطلاعات-محور نشان داده شده است؛ در اینجا درخواست‌های ارسالی توسط میزبان‌های انتهایی، عناصر اصلی به شمار می‌آیند و عناصر اصلی در اینجا درخواست‌ها و محتويات تولیدی برای این درخواست‌ها می‌باشند؛ در یک سناریوی ساده‌ی اطلاعات-محوری هر قطعه‌ی محتوا، هم دارای یک نام است و هم دارای یک مخزن، که مکان این مخزن دائمی، شناخته شده می‌باشد.

از دیدگاه مدل‌سازی، می‌توان شبکه‌های اطلاعات-محور را به یک شبکه از حافظه‌های نهان مدل کرد. در این مدل، درخواست‌ها تنها در حالتی توسط یک مسیریاب محتوایی به سمت مخزن اصلی محتوا هدایت می‌شوند که در حافظه‌ی نهان یک مسیریاب، فقدان<sup>۲</sup> رخ دهد؛ ولی در زمانی که برای درخواست یک محتوا در حافظه‌ی نهان مسیریاب برخورد رخ می‌دهد (بدین معنی که محتوا در حافظه‌ی نهان آن مسیریاب یافت می‌شود)، آن‌گاه محتوا برای کاربر درخواست‌کننده برگردانده می‌شود. همچنین این امکان نیز وجود دارد تا بنابر الگوریتم‌های بهینه‌ی طراحی شده، حافظه‌های میانی مسیر به هنگام بازگرداندن داده، محتوا را ذخیره کنند. به همین دلیل است که ذخیره‌گاه به عنوان یک عنصر اساسی در شبکه‌های اطلاعات-محور مطرح می‌شود.

مدل شبکه‌ای از حافظه‌های نهان غنی‌تر از مدل ارائه‌شده برای مدل مداری و بسته‌ای می‌باشد. دلیل آن این است که هر قطعه‌ی محتوا یک موجودیت منحصر به فرد دارد که درخواست‌های کاربران توسط این موجودیت متمایز می‌شود. اما در شبکه‌های سوییچینگ مداری و بسته‌ای، هر مدار از مدار دیگر و هر بسته‌ی بافرشده از بسته‌ی دیگر قابل تشخیص نیست [۱۷].



شکل ۶-۲. (الف) مدارها در سوییچینگ مداری، (ب) بسته‌ها در سوییچینگ بسته‌ای، (ج) محتويات در شبکه‌های اطلاعات-محور [۱۷].

<sup>۱</sup>: جریانی از بسته‌ها شامل بسته‌هایی است که از سمت منبع به سمت مقصد بسته‌ها سرازیر می‌شود.

<sup>۲</sup>: Miss

حال بر روی جریان درخواست‌های رسیده برای محتوای  $i$  تمرکز می‌شود. برای مدت بیش از چهل سال، محققان به عنوان یک مدل مشترک برای مطالعه‌ی حافظه‌های نهان نظیر حافظه‌های سخت‌افزاری، دیسک‌ها، حافظه‌های نهان وب و یا حافظه‌های نهان شبکه‌های اطلاعات-محور، مدل ارجاع مستقل ( $IRM^1$ ) را برگزیدند.  $IRM$  احتمال درخواست برای قطعه‌ی  $i$  در زمان  $t$  را، مستقل از زمان  $t$ ، مستقل از گذشته‌ی درخواست‌های ارسالی برای  $i$  و مستقل از درخواست‌های ارسالی برای دیگر قطعه‌ها مانند ز، در نظر می‌گیرد. فرض مستقل بودن برای مدل‌سازی حافظه‌ی نهان، همانند فرض بدون حافظه بودن زمان بین ورود بسته‌ها، که برای مدل‌سازی شبکه‌های سویچینگ مداری نیز در نظر گرفته شده، یک فرض بنیادی می‌باشد.

خصوصیت نهایی در نظر گرفته شده برای شبکه‌ای از حافظه‌های نهان، سیاست جایگزینی در آن‌ها می‌باشد. این سیاست برای جایگزینی یک قطعه محتوای قدیمی با یک قطعه‌ی جدید است. سیاست «جایگزینی اخیراً کمتر استفاده شده» در یک معماری اطلاعات-محور، نظیر شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده انتخاب شده است.

همانند شبکه‌های سویچینگ مداری و بسته‌ای، مؤلفه‌ی اصلی در اینجا فرآیند خروجی از یک عنصر شبکه می‌باشد که خود فرآیند پیچیده است (زیرا شامل درخواست‌ها برای محتویاتی است که در این حافظه دچار فقدان شده‌اند). به بیان دیگر حتی اگر فرآیند ورودی درخواست‌ها به یک حافظه‌ی نهان از مدل  $IRM$  باشد، فرآیند خروجی این‌گونه نیست. فرآیند فقدان خروجی از یک حافظه‌ی نهان، به ازای یک قطعه‌ی محتوا، مؤلفه‌ای از جریان ورودی در حافظه‌ی بالاسو خواهد بود که در مسیر رسیدن به مخزن اصلی محتوا قرار دارد؛ بنابراین یک فرآیند پیچیده‌ی خروجی در یک حافظه‌ی نهان به یک فرآیند پیچیده‌ی ورودی در حافظه‌های نهان دیگر تبدیل می‌شود [۱۷].

برای تحلیل نرخ‌های برخورد در حافظه‌های نهان شبکه‌های دیگر، راه‌کار زیر ارائه شده است:  
 أ)  $r_{i,v}$  در رابطه‌ی ۱-۲ نرخ ورودی ترکیبی است که حاصل ترکیب درخواست‌های دریافتی برای قطعه محتوایی  $i$  در مسیریاب محتوایی  $v$  است.  $m_{i,v}$  نرخ فقدان درخواست‌ها برای قطعه محتوایی  $i$ ، در مسیریاب محتوایی  $v$  است [۱۷]:

$$r_{i,v} = \lambda_{i,v} + \sum_{v' \in R(v, S(i))} m_{i,v'} \quad (1-2)$$

درخواست‌های دریافتی، دو دسته می‌باشند: دسته‌ی اول، برای اولین بار توسط یک مشتری ارسال شده‌اند و از مسیریاب‌های پایین سو<sup>2</sup> گذر نکرده‌اند. این درخواست‌ها با  $\lambda_{i,v}$  نشان داده می‌شوند. حال اگر درخواست‌هایی از مسیریاب‌های پایین سو عبور کرده باشند ولی پاسخی برای آن‌ها دریافت نشده باشد (فقدان)، این درخواست‌ها از طرف  $v'$ ، که فاقد

<sup>1</sup> Independent Reference Model

<sup>2</sup> Downstream

محتوای  $i$  بوده، برای مسیریاب محتوای  $v$  ارسال می‌شود. ذکر این نکته الزامیست که محتوای  $i$  بطور دائم در مخزنی ذخیره می‌شود که همان سرویس‌دهنده یا مخزن اصلی محتوا<sup>۱</sup> است و با نماد  $S(i)$  نشان داده شده است. مجموع این نرخ‌های فقدان، عبارت دوم از رابطه‌ی (۲-۱) را تشکیل می‌دهد.

ب) اگر از مدل ورودی  $IRM$  در حافظه‌ی  $v$ ، که برای محاسبه‌ی احتمال برخورد در یک حافظه‌ی نهان مستقل ارائه شده است، برای محاسبه‌ی احتمال برخورد قطعه‌ی محتوای  $i$  در حافظه‌ی مسیریاب محتوای  $v$  استفاده شود، خواهیم داشت [۱۷]:

$$\pi_{i,v} = \text{hit}(r_{i,v} / \sum_{j=1}^{|v|} r_{j,v}, |v|) \quad (2-2)$$

با محاسبه‌ی احتمال اینکه یک درخواست دریافتی توسط گرهی  $v$ ، برای محتوای

درخواستی  $i$ ، با در نظر داشتن اندازه‌ی حافظه‌ی نهان  $|v|$ ، برابر با  $r_{i,v} / \sum_{j=1}^{|v|} r_{j,v}$  باشد، آنگاه می‌توان با کمک الگوریتم جایگزینی اخیراً کمتر استفاده‌شده و یا هر الگوریتم جایگزینی دیگری، احتمال برخورد هر قطعه‌ی محتوای  $i$  را محاسبه نمود.

ج) از این روی تحت مدل  $IRM$ ، نرخ فقدان برای قطعه  $i$  در مسیریاب محتوای  $v$  به شکل زیر محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$m_{i,v} = r_{i,v} (1 - \pi_{i,v}) \quad (3-2)$$

باید این نکته را مجدداً یادآوری کرد که فرضیات این رابطه عبارتند از:

- سیاست جایگزینی معلوم در حافظه‌ی نهان (مثلاً سیاست اخیراً کمتر استفاده‌شده)،
- اندازه‌ی حافظه‌ی نهان معلوم ( $|v|$ )،
- نرخ معلوم ورود درخواست‌ها.

لذا با کمک این سه رابطه می‌توان به طور بازگشتی احتمال برخورد و فقدان را برای تمام قطعه‌های محتوا، در تمام حافظه‌های نهان مسیریاب‌ها محاسبه کرد.

## ۲-۵- مدل‌سازی شبکه‌ای حافظه‌ی نهان

پس از آشنایی با ادبیات شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده، برای بقیه قسمت‌های این پژوهش یک مدل ارائه خواهد شد.

یک شبکه‌ی محتوا-محور را می‌توان به شکل مجموعه‌ای از حافظه‌های نهان شبکه‌ای تجسم کرد که به وسیله‌ی دریافت‌کنندگان محتوا کنترل می‌شوند.

---

<sup>۱</sup> Custodian

یک شبکه، گرافی (جهتدار یا غیرجهتدار) با نمادهای  $G = (V, E)$  می‌باشد که  $E$  مجموعه‌ی یال‌های گراف است و در شبکه‌ی کامپیوتری نشان‌دهنده‌ی پیوندهای فیزیکی نقطه به نقطه‌ی متصل‌کننده‌ی دستگاه‌ها و یا اتصال آن‌ها از طریق امواج بی‌سیم است. همچنین  $V$  نشان‌دهنده‌ی مجموعه گره‌های گراف است که نماد مسیریاب‌ها می‌باشد؛ از این روی  $n = |V|$  تعداد مسیریاب‌های NDN را نشان می‌دهد. حافظه‌ی نهان یک مسیریاب، اندازه‌ای معادل  $C(v)$  دارد که  $v \in V$ . اغلب اوقات برای اختصاص اندازه‌ی حافظه‌ی نهان به مسیریاب‌ها، از مقادیر یکسان استفاده می‌شود، بدین معنی که:

$$C = C(v) \quad \forall v \in V \quad (4-2)$$

یک مسئله‌ی اساسی در تحلیل گراف شبکه، تعیین رئوس و یال‌هایی است که اهمیت بیشتری نسبت به بقیه دارند. در پژوهش حاضر نیز، یافتن گره‌های مهم در NDN، در سریع‌ترین زمان ممکن اهمیت ویژه‌ای دارد و سعی در ارائه‌ی روشی برای اختصاص اندازه به هر حافظه‌ی نهان مبتنی بر اهمیت آن گره در شبکه می‌باشد. بدین معنی که هر گره با اهمیت بیشتر، اندازه‌ی حافظه‌ی بیشتری نیز می‌باشد و در صورتی که گره‌ای نقش کم‌رنگ‌تری در تحويل محتوا به مصرف‌کنندگان دارد، اندازه‌ی حافظه‌ی کم‌تری را داشته باشد.

برای نمایش فهرست<sup>۱</sup> محتویات درخواستی کاربران از نماد  $N$  استفاده می‌شود که به عنوان مثال فهرستی نظری ویدئوهای وب‌سایت یوتیوب با اندازه‌ی  $|N|$  می‌باشد.

اگر اندازه‌ی هر محتوا بر حسب تعداد قطعه‌ها، به شکل  $(i)$  نشان داده شود، این اندازه با لحاظ محتویات قطعه‌شده به تعداد متوسط  $D$  عدد قطعه، از توزیع هندسی (رابطه‌ی (۵-۲)) پیروی می‌کند :[۱۸]

$$P(d(i) = k) = \frac{1}{D} \left(1 - \frac{1}{D}\right)^{k-1} \quad (5-2)$$

با نادیده گرفتن ابعاد امنیتی و نام‌گذاری محتوا،تابع احتمال  $(i)$   $p(i)$  مرتبه‌ی محبوبیت و درخواست محتوا یا شی  $i$  از طرف کاربران را نشان می‌دهد. این مرتبه‌ی محبوبیت برای محتوای  $i$ ، از توزیع محبوبیت زیف-مندلبرات<sup>۲</sup> پیروی می‌کند [۱۸]:

$$p(i) = \frac{\frac{1}{(i+q)^s}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{(j+q)^s}}, \quad i = [1, N] \quad (6-2)$$

<sup>1</sup> Catalog

<sup>2</sup> Zipf-Mandelbrot

که در آن  $\varsigma$ ، فاکتور شکل دهی<sup>۱</sup> این توزیع احتمال است؛ پارامتر شکل دهی، این قابلیت را در اختیار ما می‌گذارد تا بتوان یک خانواده از توزیع‌های احتمال را با آن مدل کرد، مثلاً اگر این مقدار به میزان زیادی از مقدار واحد کوچک‌تر باشد و به صفر نزدیک شود، این توزیع به سمت توزیع یکنواخت میل می‌کند؛ در غیر این صورت تابع احتمال آن، شکل خمیده‌تری را به خود می‌گیرد.  $q$  فاکتور فلات<sup>۲</sup> است که مرتبه‌های کمتر این تابع چگالی احتمال را کنترل می‌کند و برای مدل‌سازی محتویات بیشتری با حجم درخواست‌های بیشتر، نسبت به محتویات با درخواست‌های کمتر استفاده می‌شود. با افزایش مقدار آن، توزیع احتمال به سمت توزیع یکنواخت میل می‌کند.

## ۲-۶- مدل‌سازی مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه در یک مسیریاب

همان‌طور که در مرجع [۱۹] آمده است، می‌توان هر مؤلفه از یک مسیریاب NDN را با بسته‌های ورودی و خروجی به یا از آن مدل‌سازی کرد. از آنجایی که در این پژوهش به پردازش مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه محتوا پرداخته می‌شود، در شکل (۷-۲) نرخ‌های ورودی و خروجی به مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه نشان داده شده است. پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی این مؤلفه به قرار زیر هستند:

- نرخ ورود بسته‌ها به مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه محتوا ( $\lambda_{CS}^{in}$ )
- نرخ پردازش زیرمجموعه‌ای از بسته‌های ورودی: این امکان وجود دارد که ذخیره‌گاه تنها به قسمتی از درخواست‌های ورودی سرویس دهد ( $\lambda_{CS}^{in}.P_{CS}$ )
- نرخ متوسط بسته‌هایی که نیازی به پردازش دیگری پس از مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه ندارند ( $\mu_{CS} = P_{CS}^{hit}.\lambda_{CS}^{in}.P_{CS}$ )
- نرخ بسته‌هایی که به مؤلفه‌ی بعدی (بعضًا مؤلفه‌ی PIT) هدایت می‌شوند ( $\lambda_{CS}^{out}$ )

مثلاً نسبتی از بسته‌های علاقه‌ای که توسط بسته‌های داده‌ی این ذخیره‌گاه محتوا برآورده می‌شوند برابر با  $P_{CS}^{hit}$  است.

همچنین نرخ بسته‌های علاقه‌ای که به PIT هدایت می‌شوند از رابطه‌ی (۷-۲) محاسبه می‌شود:

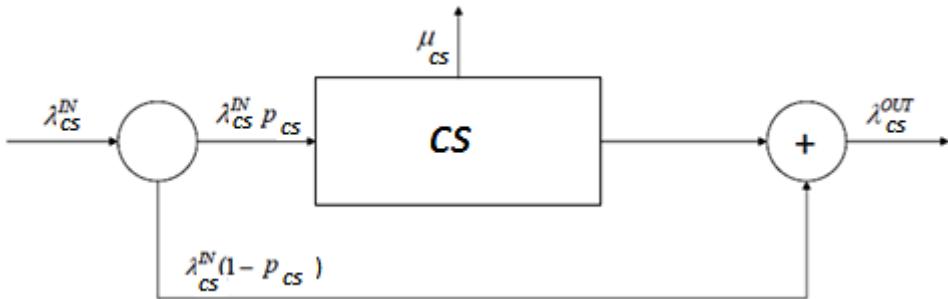
$$\lambda_{CS}^{out} = (1 - P_{CS}^{hit}).\lambda_{CS}^{in}.P_{CS} + \lambda_{CS}^{in}.(1 - P_{CS}) \quad (7-2)$$

وقتی که بسته‌های داده‌ای از مسیریاب‌های بالادستی دریافت می‌شوند، آخرین مؤلفه‌ای که بسته را دریافت می‌کند ذخیره‌گاه محتوایی می‌باشد:  $\lambda_{PIT}^{out} = \lambda_{CS}^{in}$  در این صورت به میزان  $\lambda_{CS}^{out}$  درصد از بسته‌های داده به ذخیره‌گاه اضافه نخواهند شد و تنها بخشی ذخیره می‌شوند. از طرف دیگر  $\lambda_{CS}^{in}.(1 - P_{CS})$  از بسته‌ها بوسیله‌ی حافظه‌ی نهان پردازش نخواهند شد.

---

<sup>1</sup> Shaping factor

<sup>2</sup> Plateau factor



شکل ۷-۲. مدلی از مؤلفه‌ی ذخیره‌گاه محتوا در یک مسیریاب NDN [۱۹].

## ۷-۲- روش‌های تحلیل داده‌ها

روش‌های متفاوتی برای تحلیل داده‌ها در دست هستند که در بین آنها تحلیل مؤلفه‌های اساسی از نظر محاسباتی کم‌هزینه‌تر می‌باشد و می‌تواند بر روی داده‌های مرتب شده و هم‌غیر مرتب شده اعمال شود. همچنین از خروجی این روش می‌توان به عنوان ورودی به تحلیل‌های رگرسیون و خوشبندی استفاده کرد. در مقایسه با تبدیل موجک، تحلیل مؤلفه‌های اساسی را می‌توان بر روی داده‌های تنک اعمال کرد در حالی که تبدیل موجک برای داده‌هایی با ابعاد بالا مناسب می‌باشد [۵۶].

تحلیل مؤلفه‌های اساسی<sup>۱</sup> [۲۰] در تعریف ریاضی یک تبدیل خطی متعامد است که داده را به فضای جدیدی منتقل می‌کند، به طوری که بزرگترین واریانس داده‌ها بر روی اولین محور مختصات، دومین بزرگترین واریانس داده‌ها، بر روی دومین محور مختصات و همین‌طور بقیه‌ی بردارهای ویژه‌ی داده‌ها محاسبه می‌شوند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش ابعاد داده و یا به عبارتی تجمیع داده‌ها، مورد استفاده واقع شود؛ به این ترتیب مؤلفه‌هایی از مجموعه‌ی داده که بیشترین تاثیر را در محاسبه‌ی واریانس داده‌ها دارند، حفظ می‌شوند.

تحلیل افتراق خطی<sup>۲</sup> [۲۱] یک شیوه‌ی آماری دیگری است که در یادگیری ماشین و باز‌شناخت الگو<sup>۳</sup> برای یافتن ترکیب خطی خصوصیاتی که به بهترین صورت دو یا چند کلاس از اشیا را از هم جدا می‌کنند، استفاده می‌شود. با این حال این روش‌ها تفاوت عمده‌ای با یکدیگر دارند؛ در تحلیل افتراق خطی، تفاوت کلاس‌ها مدل‌سازی می‌شود حال آن که در تحلیل مؤلفه‌های اساسی تفاوت کلاس‌ها نادیده گرفته شده و واریانس داده‌ها برای تشکیل فضای داده‌ای جدید مورد استفاده واقع می‌شود.

## ۷-۲-۱- تحلیل افتراق خطی در مقابل تحلیل مؤلفه‌های اساسی

ممکن است این‌گونه تصور شود که الگوریتم‌های مبتنی بر LDA بهتر از الگوریتم‌های مبتنی بر PCA عمل می‌کنند؛ زیرا LDA همان‌گونه که از نامش بر می‌آید، به دنبال تمایز داده‌ها می‌باشد ولی

<sup>1</sup> Principal Component Analysis (PCA)

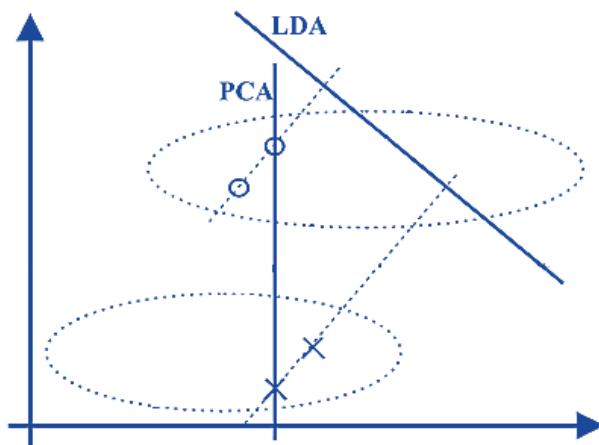
<sup>2</sup> Linear Discriminant Analysis (LDA)

<sup>3</sup> Machine learning and pattern recognition

روش  $PCA$  برای یافتن اولین بردار ویژه به دنبال یافتن جهتی است که با کمک بیشینه واریانس داده‌ها بدست می‌آید.

شکل ۸-۲ دو کلاس مختلف از نمونه‌ها را که با دو عدد بیضی نقطه‌گذاری شده، نشان می‌دهد؛ این دو کلاس با توزیع گاووسی بدست آمده است. برای تمایز نمونه‌های این کلاس‌ها، از اشکال دایره و علامت استفاده شده است. خروجی الگوریتم  $PCA$  برداری است که با بیشترین واریانس محاسبه شده است و تنها از بردار ویژه اول استفاده شده است که با یک خط عمودی نشان داده شده است. اما  $LDA$  برداری است که با در نظر گرفتن بیشترین تفاوت بین دو کلاس محاسبه شده است؛ این بردار یک خط مورب است که با  $LDA$  برچسب‌گذاری شده است.

البته با مجموعه داده‌های بزرگ، با اندازه‌های قابل توجه، روش  $LDA$  نسبت به روش  $PCA$  بهتر عمل می‌کند. مثلاً در مرجع [۲۲]، برای نشان دادن عملکرد بهتر  $LDA$  نسبت به  $PCA$ ، از سیزده عدد عکس از صورت یک شخص در حالات احساسی مختلف استفاده کرده‌اند.



شکل ۸-۲. دسته‌بندی براساس  $LDA$  و  $PCA$  [۲۲].

#### ۲-۷-۲- الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اساسی

تحلیل مؤلفه‌های اساسی، جستجو برای یافتن یک افکنش<sup>۱</sup> است که حتی‌الامکان بیشترین اطلاعات موجود در مجموعه داده را حفظ می‌نماید.

فرض کنید که  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_J$  بردارهایی با ابعاد  $I \times I$  هستند که  $I$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد و هر بردار  $X_j$  نشان‌دهنده‌ی یک صفت از خصوصیات آن نمونه است.

مراحل محاسبه‌ی مقادیر مؤلفه‌های اساسی در قدم‌های اول تا سوم به نمایش در آمده است:  
قدم اول؛ محاسبه‌ی میانگین نمونه‌ها است؛

<sup>1</sup> Projection

$$\mu_j = \frac{1}{I} \left( \sum_{i=1}^I X_{ij} \right) \quad (8-2)$$

سپس تفاضل از میانگین محاسبه می‌شود (نرمال‌سازی میانگین):

$$X = [X_1 - \mu_1, X_2 - \mu_2, \dots, X_J - \mu_J] \quad (9-2)$$

از این روی میانگین تمام نمونه‌های موجود در یک بردار صفر می‌باشد.

- قدم دوم؛ با کمک یکی از روش‌های زیر، بردارهای پایه‌ی زیرفضای جدید بدست می‌آیند؛ محاسبه‌ی ماتریس کواریانس داده‌ها: این ماتریس، همبستگی بین مقادیر چند متغیر را نشان می‌دهد. عناصر موجود بر روی قطر اصلی این ماتریس، واریانس هر متغیر و عناصر دیگر، کواریانس متغیرها با یکدیگر را نشان می‌دهد:

$$C = \frac{1}{I} X^T X \quad (10-2)$$

با کمک ماتریس کواریانس داده‌ها، بردارهای ویژه به ازای این ماتریس بدست آمده و با استخراج مؤلفه‌های اساسی از ماتریس کواریانس یا ماتریس همبستگی یک ماتریس که تشکیل‌دهنده‌ی بردارهای پایه در زیرفضای جدید است، محاسبه می‌شود.

$$Q_i C = \lambda_i C \quad (11-2)$$

- در تحلیل مؤلفه‌های اساسی، مؤلفه‌ها از روش تجزیه‌ی مقدار تکین<sup>۱</sup> در جدول داده‌های  $X$  بدست می‌آیند:

$$X = P \Delta Q^T \quad (12-2)$$

قدم سوم؛ ماتریس مؤلفه‌ها با اندازه‌ی  $I \times L$  که با  $F$  نشان داده می‌شود:

$$F = P \Delta \quad (13-2)$$

اگر ماتریس  $Q$  را ضرایب ترکیب خطی در نظر بگیرید که در محاسبه‌ی عوامل استفاده می‌شوند، آنگاه می‌توان از آن برای نگاشت داده‌ها بر مؤلفه‌های فضای جدید استفاده کرد؛ زیرا ضرب  $X$  در  $Q$  مقادیر مشاهدات را بر روی مؤلفه‌های اساسی نتیجه می‌دهد:

$$F = P \Delta = P \Delta Q^T Q = X Q \quad (14-2)$$

الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اساسی در الگوریتم ۱-۲ به طور خلاصه شرح داده شده است.

<sup>1</sup> Singular Value Decomposition (SVD)

## الگوریتم ۲-۱. تحلیل مؤلفه‌های اساسی [۲۰]

۱- نرمال‌سازی میانگین،

$$\mu(j) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x(i,j)$$

هر کدام از بردارهای داده را، از میانگین بدست آمده به ازای نمونه‌های آن بردار کم کنید. یعنی:

$$x(i,j) - \mu(j)$$

از این به بعد منظور از  $(j_i X)$ ها همان عناصری است که میانگین از آنها کم شده.

در صورتی که بردارهای داده، مقیاس‌های متفاوتی داشته باشند می‌بایست پراکندگی هر دسته داده نیز اعمال شود.

۲- محاسبه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه‌ی ماتریس داده‌ها با یکی از روش‌های زیر:

- محاسبه ماتریس کواریانس داده‌ها،

$$C = \frac{1}{I} X^T X$$

می‌توان با داشتن ماتریس کواریانس داده‌ها، این مقادیر و بردارها را بدست آورد،

$$Q_i C = \lambda_i C$$

$$\text{svd}(X) = [P, \Delta, Q] \quad *$$

(أ)  $\Delta$ : یک ماتریس قطری است که عناصر روی قطر اصلی آن، مقادیر ویژه‌ی ماتریس کواریانس ( $C$ )

می‌باشند. در ماتریس  $\Delta$  مقادیر ویژه از بزرگ به کوچک بر روی قطر اصلی قرار گرفته‌اند.

(ب)  $P$ : ماتریسی که ستون‌های آن بردارهای ویژه متعامد یکه  $X \cdot X^T$  می‌باشند.

(ج)  $Q$ : ماتریسی که ستون‌های آن بردارهای ویژه متعامد یکه  $X^T \cdot X$  می‌باشند.

۳- انتخاب  $L$  عدد از بردارهای ویژه از ماتریس  $Q$  و افکنش مجموعه‌ی داده‌ها، در زیرفضای جدید با بردارهای ویژه‌ی بدست آمده در گام قبل.

## ۸-۲- جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا راجع به شبکه‌های اطلاعات-محور، نحوه شکل‌گیری آن‌ها و یکی از معماری‌های آن، با نام شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده، مطالبی بیان شد. سپس انواع واحدها و خصوصیات شبکه‌ای معماری NDN توضیح داده شد. پس از اشاره‌ای به تکامل شبکه‌ها، از سوییچینگ مداری و بسته‌ای و در نهایت نسل آینده‌ی شبکه‌ی اطلاعات-محور، مدل شبکه‌ای از حافظه‌های نهان و جریان ورودی و خروجی قطعه‌های داده به گره‌های این شبکه، مورد نقد و بررسی قرار گرفت. در پایان فصل نیز الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اساسی که در این پژوهش به عنوان یکی از روش‌های ترکیب داده‌ها مورد استفاده واقع می‌شود، ارائه شد.



## فصل سوم

### مروری بر روش‌های ذخیره‌سازی و اختصاص اندازه در حافظه‌های نهان شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده

#### ۱-۳- مقدمه

رشد روز افزون دستگاه‌های کامپیوترا و گسترش شبکه‌های کامپیوترا، کارهای تحقیقاتی بسیاری را متوجه خود کرده است. امروزه پیشرفت فناوری حافظه‌ها، منجر به بکارگیری آنها در بستر دستگاه‌های میانی نسل آینده‌ی شبکه‌های کامپیوترا شده است. برای افزایش کارایی کلی شبکه‌ها و کاهش تاخیر از دیدگاه کاربران، نیاز به تعریف سیاست‌های قراردهی و جایگزینی در حافظه‌های شبکه‌ای وجود دارد. همچنین در برخی کارهای پژوهشی، با در نظر گرفتن اهمیت هر مسیریاب محتوایی، اندازه‌ای مناسب با اهمیت هر یک به آن‌ها اختصاص داده شده است. از این روی در این فصل به کارهای پژوهشی که به طور خاص به ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای در حافظه‌های نهان و خصوصاً اختصاص اندازه‌های غیریکنواخت به ذخیره‌گاه مسیریاب‌های متفاوت پرداخته شده است، اشاره‌ی مختصری می‌شود.

#### ۲-۳- الگوریتم مرکزیت میانگی<sup>۱</sup>

با افزایش شبکه‌ها و نیز پیشرفت وسائل الکترونیکی در شبکه‌های ارتباطی، محاسبه‌ی مرکزیت گره‌ها، اهمیت ویژه‌ای یافته است. در این بین پارامترهایی از قبیل مرکزیت میانگی که از کوتاه‌ترین

<sup>1</sup> Betweenness Centrality (BC)

مسیرهای بین دو گره استفاده می‌کنند، برای مطالعات مربوط به تحلیل شبکه بکارگرفته شده‌اند. از این روی در ابتدای این فصل به شرح الگوریتم مرکزیت میانگی پرداخته می‌شود که در کارهای پیشین برای طراحی حافظه‌های نهان شبکه‌ی NDN مورد استفاده واقع شده است. در این پژوهش نیز به عنوان یک پارامتر طولانی‌مدت از مرکزیت میانگی هر مسیریاب محتوایی استفاده می‌شود.

با فرض اینکه برای شبکه، مدل گرافی همانند مدل بخش (۶-۲) تهیه شود، بهترین الگوریتم برای محاسبه‌ی مرکزیت میانگی تمام رئوس یک گراف، فضای حافظه‌ای برابر با  $O(m+n)$  اشغال می‌کند و از لحاظ زمانی برای گراف غیروزن‌دار میزان  $O(nm)$  زمان نیاز دارد که  $n$  تعداد رئوس گراف و  $m$  تعداد یال‌های گراف می‌باشد [۲۳].

در حقیقت پارامتر مرکزیت میانگی، معیاری برای محاسبه‌ی وابستگی گره‌ها به یک گره خاص است [۲۴].

طبق روابطی که براندیس در مرجع [۲۵] و سپس به طور مبسوط در مرجع [۲۳] که در سال ۲۰۰۸ ارائه داده است، می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبه‌ی مرکزیت میانگی هر گره از رابطه‌ی  $\sigma_{st}$  استفاده می‌شود. در این رابطه  $\sigma_{st}$  تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای بین رأس  $s$  به رأس  $t$  و  $\sigma_{st} = 0$  است که از رأس  $s$  و  $t$  می‌گذرند. مرکزیت میانگی گره  $v$  برابر است با نسبت تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای بین هر دو جفت گره‌های  $s$  و  $t$  که از رأس  $v$  می‌گذرند، به تعداد کوتاه‌ترین مسیرهای بین هر دو جفت گره‌ی  $s$  و  $t$ . اگر  $\sigma_{st} = 1$  آنگاه قرار دهید:  $\sigma_{st} = \frac{1}{\sigma_{st}}$ . اگر  $\sigma_{st} = 0$  آنگاه  $v$  را قرار دهید.

لذا مرکزیت میانگی رأس  $v$  به صورت رابطه‌ی (۱-۳) محاسبه خواهد شد:

$$BC(v) = \sum_{s,t \in V} \frac{\sigma(s, t | v)}{\sigma(s, t)} = \sum_{s,t \in V} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}} \quad (1-3)$$

بر طبق قرارداد  $\sigma_{st} = 0$  در نظر گرفته شده است. این معیار، میزان تاثیر یک رأس بر روی تمام ارتباطات بین دو رأس دیگر را نشان خواهد داد. برای محاسبه‌ی میانگی از وابستگی‌های دو جفت رأس به یک رأس کمک گرفته شده است که می‌توان نوشت:

$$\delta(s, t | v) = \frac{\sigma(s, t | v)}{\sigma(s, t)} \quad (2-3)$$

حال می‌توان برای داشتن یک محاسبه‌ی کارآمد، این وابستگی‌ها را تجمعیع کرد تا دیگر نیازی به محاسبه‌ی تمام آن‌ها نباشد. تعریف رابطه‌ی وابستگی‌های یک‌طرفه‌ی یک رأس به رأس دیگر خواهد بود:

$$\delta(s | v) = \sum_{t \in V} (\delta(s, t | v)) \quad (3-3)$$

برای تمام  $V$ ,  $s \in V$  می‌توان داشت:

$$\delta(s | v) = \sum_{\substack{w: (v,w) \in E \text{ and} \\ dist(s,w)=dist(s,v)+1}} \frac{\sigma(s, v)}{\sigma(s, w)} \cdot (1 + \delta(s | w)) \quad (4-3)$$

که در این رابطه‌ی بازگشتی، می‌توان وابستگی رأس  $s$  به رأس  $v$  را به شکل وابستگی‌های رئوس یک یال ارتباطی بازنویسی کرد.

سپس مرکزیت میانگی با کمک رابطه‌ی  $C_B(v) = \sum_{s \in V} \delta(s | v)$  بدست می‌آید. به شبه کد آن در ادامه توجه کنید.

### ۳-۳-۱- بکارگیری پارامترهای مرکزیت گراف برای تعیین درجه‌ی اهمیت مسیریاب‌های NDN

از پارامترهای مرکزیت گراف برای تعیین درجه‌ی اهمیت هر مسیریاب استفاده شده است. در ادامه به این دسته از پژوهش‌ها پرداخته می‌شود.

#### ۳-۳-۲- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ی مسیریاب‌های NDN با کمک معیارهای مرکزیت گراف

در توسعه‌ی طرح‌های اختصاص اندازه برای حافظه‌ی نهان، دو معیار بررسی شده‌اند: اختصاص اندازه‌ی یکنواخت و اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت.

در طرح‌های اختصاص اندازه‌ی یکنواخت و یکسان به حافظه‌های نهان شبکه‌ای، همان‌گونه که از نامش بر می‌آید اندازه‌های یکسانی، بدون در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار در مسیریاب‌های شبکه و بهبود عملکرد کلی شبکه، اختصاص داده می‌شود. در پژوهش‌های راسینی و همکارش در مراجع [۲۶] و [۲۷]، با در نظر گرفتن اندازه‌های یکنواخت برای حافظه‌های نهان به بررسی عملکرد این شبکه‌ها پرداخته شده است. در این مطالعه، سیاست‌های متفاوت جایگزینی در حافظه، نظیر سیاست اخیراً کمتر استفاده شده را در نظر گرفته‌اند.

اما در پژوهش مرجع [۲۸] سعی در بررسی اندازه‌های غیریکنواخت برای حافظه‌های نهان مسیریاب‌ها در شبکه‌های محتوا-محور بوده است. در این بررسی از اطلاعات گراف شبکه کمک گرفته شده و اندازه‌های غیریکنواختی به حافظه‌های نهان اختصاص داده شده است. البته همان‌طور که ذکر خواهد شد، این نحوه‌ی اختصاص اندازه چندان مزیت‌بخش نبوده و اختلاف زیادی با روش‌های اختصاص اندازه‌های یکنواخت ندارد.

طبق تحقیقات راسی و همکارش، بهره‌ای که با معیارهای گراف شبکه برای تعیین اندازه‌ی غیریکنواخت به ذخیره‌گاه‌های محتوا بدست می‌آید، بسیار محدود است. همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که این معیارها گرچه عملکرد خوبی ندارند، اما معیارهای کم‌هزینه و ساده‌ای خواهند بود و نیاز به صرف هزینه‌های زمانی و حافظه‌ای چندانی برای جمع‌آوری اطلاعات از مسیریاب‌های شبکه نخواهند داشت [۲۸].

```

input: graph  $G = (V, E)$ 
data: queue  $Q$ , stack  $S$  (both initially empty) and for all  $v \in V$ :
     $dist[v]$ : distance from source
     $Pred[v]$ : list of predecessors on shortest paths from source
     $\sigma[v]$ : number of shortest paths from source to  $v \in V$ 
     $\delta[v]$ : dependency of source on  $v \in V$ 
output: betweenness  $c_B[v]$  for all  $v \in V$  (initialized to 0)

for  $s \in V$  do
    ▼ single-source shortest-paths problem
        ▼ initialization
            for  $w \in V$  do  $Pred[w] \leftarrow$  empty list
            for  $t \in V$  do  $dist[t] \leftarrow \infty$ ;  $\sigma[t] \leftarrow 0$ 
             $dist[s] \leftarrow 0$ ;  $\sigma[s] \leftarrow 1$ 
            enqueue  $s \rightarrow Q$ 

            while  $Q$  not empty do
                dequeue  $v \leftarrow Q$ ; push  $v \rightarrow S$ 
                foreach vertex  $w$  such that  $(v, w) \in E$  do
                    ▼ path discovery // —  $w$  found for the first time?
                        if  $dist[w] = \infty$  then
                             $dist[w] \leftarrow dist[v] + 1$ 
                            enqueue  $w \rightarrow Q$ 

                    ▼ path counting // — edge  $(v, w)$  on a shortest path?
                        if  $dist[w] = dist[v] + 1$  then
                             $\sigma[w] \leftarrow \sigma[w] + \sigma[v]$ 
                            append  $v \rightarrow Pred[w]$ 

            ▼ accumulation // — back-propagation of dependencies
                for  $v \in V$  do  $\delta[v] \leftarrow 0$ 
                while  $S$  not empty do
                    pop  $w \leftarrow S$ 
                    for  $v \in Pred[w]$  do  $\delta[v] \leftarrow \delta[v] + \frac{\sigma[v]}{\sigma[w]} \cdot (1 + \delta[w])$ 
                    if  $w \neq s$  then  $c_B[w] \leftarrow c_B[w] + \delta[w]$ 

```

### الگوریتم ۳-۱. محاسبهٔ مرکزیت میانگی

در پژوهش مذکور، با در نظر گرفتن معیارهای مربوط به گرافِ ساختارهای<sup>۱</sup> شبکه، سعی در اختصاص اندازه‌هایی متناسب با این معیارها داشته‌اند. در ادامه این معیارها توصیف می‌شوند:

(۱) مرکزیت درجه (DC): این معیار، ساده‌ترین معیار مرکزیت است و شمار پیوندهایی را نشان می‌دهد که یک گره با دیگر اعضای شبکه دارد. اگر پیوندها، دو طرفه در نظر گرفته شوند، تفاوتی بین پیوندهای ورودی به یک گره و نیز پیوندهای خروجی از یک گره وجود نخواهد داشت.

---

<sup>1</sup> Topology

<sup>2</sup> Degree Centrality

ب) مرکزیت فشار ( $SC^1$ ): تعداد کل کوتاهترین مسیرهایی که دو گره را به یکدیگر متصل کرده و از گرهی معلوم  $v$  عبور می‌کنند:

$$SC(v) = \sum_{\forall s, t \in V/v} \sigma(s, t, v) \quad (5-3)$$

ج) مرکزیت میانگی (BC): در بخش (۲-۳) به آن پرداخته شد.

د) مرکزیت نزدیکی ( $CC^2$ ): این پارامتر مربوط به مجموع فواصل گرهی  $v$  از همه گرههای شبکه است؛ هر قدر این مجموع کمتر باشد، گره بیشتر در مرکز شبکه قرار دارد. به همین دلیل به شکل معکوس مجموع فواصل تمام کوتاهترین مسیرها از گرهی  $v$  تعریف می‌شود:

$$CC(v) = \frac{1}{\sum_{\forall s \in V/v} d(v, s)} \quad (6-3)$$

ه) مرکزیت گراف ( $GC^3$ ): این پارامتر مربوط به فاصله‌ی گره از دورترین گره نسبت به آن خواهد بود. گرههایی با مرکزیت گراف بالا، دارای فواصل کمتری از دیگر گرهها هستند. لذا به شکل معکوس بیشینه‌ی فواصل اقلیدسی یک گره از تمام گرهها در شبکه تعریف می‌شود. بدین معنی که:

$$GC(v) = \frac{1}{\max_{\forall s \in V} d(v, s)} \quad (7-3)$$

در مرجع [۲۸] با در نظر گرفتن یک اندازه‌ی کلی برای حافظه‌های نهان شبکه و نیز معیارهای مرکزیت مذکور، برای ساختارهای مختلف شبکه، نظیر ساختار گینت<sup>۴</sup> (شکل ۳-۱) اندازه‌ی حافظه‌ی نهان اختصاص داده شده به هر مسیریاب را محاسبه کرده‌اند (شکل ۳-۲).

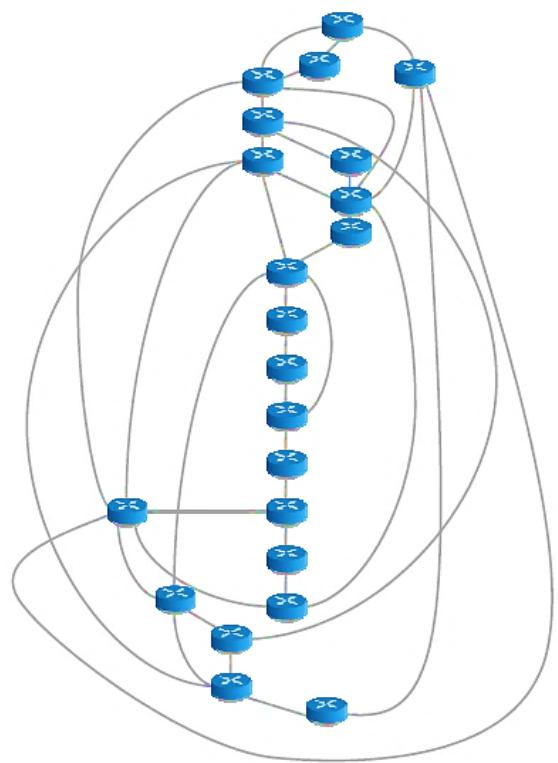
این پژوهش به این نتیجه رسیده است که معیار مرکزیت درجه، برای مقادیری از ضریب شکل دهی در توزیع زیف، که نشان‌دهنده‌ی محبوبیت محتوا است، بهبودهایی را در تمام ساختارهای در نظر گرفته شده نظیر Geant، Tiger و DTelecom Level3 فراهم می‌کند. اما به دلیل اینکه در ساختار Abilene درجه‌ی گرهها به طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند، لذا این معیار اختصاص اندازه به حافظه‌ی نهان شبکه‌ای تفاوت چندانی با معیارهای اختصاص اندازه‌ی یکنواخت ندارد. در دیگر طرح‌های اختصاص اندازه با کمک معیار مرکزیت درجه‌ی هر گره می‌توان بهره‌ای به اندازه‌ی افزایش نرخ برخورد در حافظه‌های نهان مسیریاب‌های شبکه همراه است.

<sup>1</sup> Stress Centrality

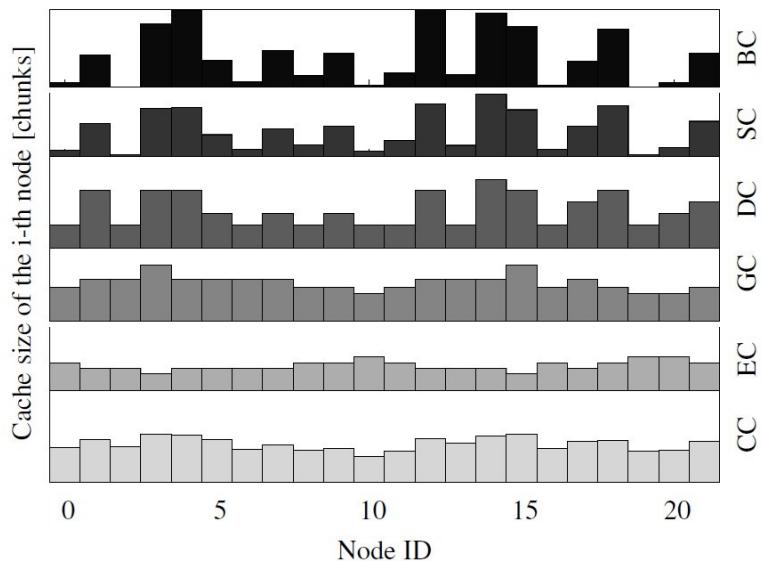
<sup>2</sup> Closeness Centrality

<sup>3</sup> Graph Centrality

<sup>4</sup> Geant topology

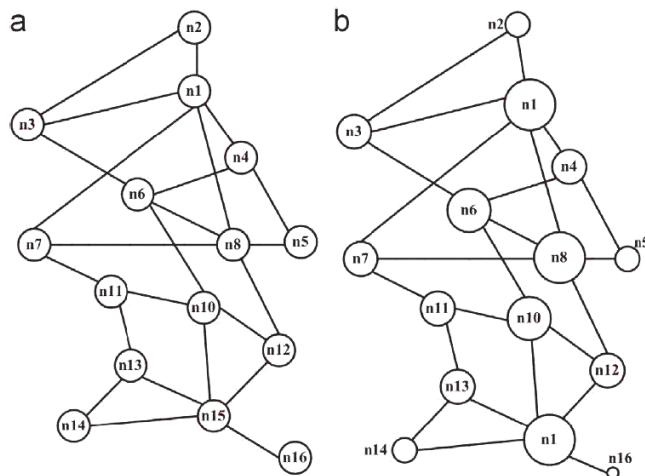


شکل ۳-۱. ساختار گینت [۲۹].



شکل ۳-۲. اندازه‌ی حافظه‌ی نهان اختصاص داده شده به گره‌های متفاوت با کمک معیارهای مرکزیت در ساختار گینت [۲۸].

تفاوت بین دو شیوه‌ی اختصاص اندازه‌ی یکنواخت و غیریکنواخت را در شکل ۳-۳ مشاهده می‌کنید. شعاع هر دایره در شکل ۳-۳، معادل با اندازه‌ی حافظه‌ی آن مسیریاب شبکه است.



شکل ۳-۳. تفاوت در اختصاص حافظه‌ی نهان: سمت چپ) اندازه‌ی حافظه نهان یکنواخت. سمت راست) اندازه‌ی حافظه نهان غیریکنواخت [۲۸].

### ۳-۳-۲- ذخیره‌سازی در گره‌های پراهمیت با کمک معیار مرکزیت میانگی

کاربرد پارامتر مرکزیت میانگی، به تعیین اندازه‌ی حافظه‌ی نهان مسیریاب‌ها ختم نمی‌شود بلکه با استفاده از این پارامتر و با یافتن درجه‌ی اهمیت هر گره در گراف شبکه، می‌توان تنها در آن دسته از گره‌هایی که نقش کلیدی داشته و بیشتر از بقیه‌ی گره‌ها در مسیر تبادلات گره‌های اطراف خود قرار دارند، ذخیره‌سازی انجام شود. لذا دیگر نیازی به ذخیره‌سازی داده‌ها در تمام گره‌های مسیر نمی‌باشد.

از طرف دیگر با بکارگیری این راهکار، هزینه‌ی ذخیره‌سازی سراسری<sup>۱</sup>، کاهش پیدا می‌کند. چای و همکاران [۳۰]، به این موضوع پرداخته‌اند که آیا می‌توان با ذخیره‌سازی کمتر در طول مسیر، بازدهی را به میزان قابل توجهی کاهش داد (شکل ۳-۴). در ابتدا با یک روش کاملاً تصادفی ایده‌ی ذخیره‌سازی کمتر برای بازدهی بیشتر را آزموده‌اند. نتیجه‌ی بدست آمده، از این قرار است که نه تنها با این روش عملکرد شبکه افت پیدا نخواهد کرد، بلکه تحت شرایطی می‌توان به عملکرد بهتری نیز بدست یافت. سپس برای انتخاب گره‌هایی که ذخیره‌سازی اطلاعات را انجام می‌دهند، از معیار مرکزیت میانگی استفاده کرده‌اند. این معیار بهره‌ی ذخیره‌سازی را افزایش داده است و عدم قطعیت را در مقایسه با عملکرد روش انتخاب تصادفی گرهی ذخیره‌گاه، حذف می‌کند. با وجود اینکه تعاریف متفاوتی برای مرکزیت گره‌ها در شبکه وجود دارد، اما مرکزیت میانگی به میزان بیشتری در شبکه‌های ارتباطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

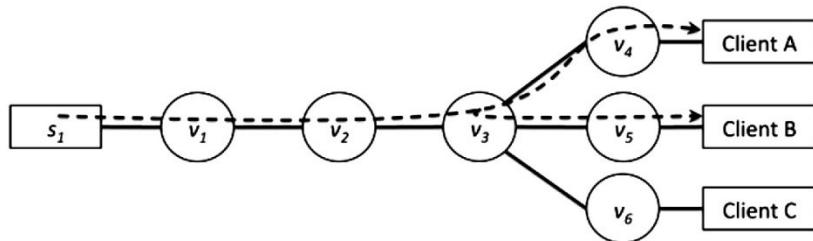
<sup>۱</sup> Ubiquitous caching

<b>Content request</b>
1. Initialize ( $C_B=0$ )
2. <b>foreach</b> ( $v_n$ from $i$ to $j$ )
3. <b>if</b> data in cache
4. <b>then</b> send (data)
5. <b>else</b>
6.     Get $C_B(v_n)$
7. <b>if</b> $C_B(v_n) > C_B$
8. <b>then</b> $C_B = C_B(v_n)$
9.     forward request to the next hop towards $j$
<b>Content data</b>
1. Record $C_B$ from corresponding content request
2. <b>foreach</b> ( $v_n$ from $j$ to $i$ )
3.     Get $C_B(v_n)$
4. <b>if</b> $C_B(v_n) == C_B$
5. <b>then</b> cache (data)
6. forward data packet to the next hop towards $i$

شکل ۳-۴. شبکه کد مربوط به درخواست و داده‌ی محتوا [۳۰].

در ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای، اگر گره‌ای در مسیرهای گوناگون تحویل محتوا قرار داشته باشد (بدين معنی که مقدار پارامتر مرکزیت میانگی بالايی داشته باشد) آنگاه به احتمال زیاد، نرخ برخورد در حافظه‌ی نهانش افزایش پیدا می‌کند. حال اگر تنها در آن گره‌های پراهمیت مسیر، ذخیره‌سازی صورت پذیرد، نرخ جایگزینی حافظه‌ی نهان کاهش پیدا می‌کند؛ اگرچه هنوز می‌بایست نرخ برخورد در حافظه حفظ شود.

حال به بررسی یک ساختار پرداخته خواهد شد (شکل ۳-۵)؛ اگر در زمان  $t=0$  تمام حافظه‌های مسیر خالی باشند و مشتری A محتوای مورد نظرش را از  $s_1$  درخواست کند، آنگاه محتوا مسیر  $v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$  را طی خواهد کرد. با کمک طرح سراسری ذخیره‌سازی، تمام گره‌های مسیر یک کپی از بسته‌های محتوایی را ذخیره خواهند کرد اما در طرح انتخاب تصادفی گرهی ذخیره‌کننده، این مسئولیت را تنها به عهده‌ی یک گره واگذار خواهد شد. حال اگر مشتری B نیز این محتوا را درخواست کند، در صورتی که ذخیره‌سازی با کمک طرح سراسری انجام شده باشد، آنگاه محتوا سریعاً از طریق گرهی  $v_3$  برآورده خواهد شد و کپی‌های ذخیره‌شده در گره‌های  $v_1, v_2, v_4$  اضافی خواهند بود. با استفاده از طرح ذخیره‌سازی تصادفی، به احتمال  $\frac{1}{4}$  بسته در گرهی  $v_4$  یافت خواهد شد ولی به احتمال  $\frac{1}{2}$  در گره‌های  $v_1$  یا  $v_2$  یافت خواهد شد که در آن صورت این طرح از طرح ذخیره‌سازی سراسری نامناسب‌تر خواهد بود. از این روی واضح است که با ذخیره‌سازی محتوا در  $v_3$ ، بدون ذخیره‌سازی در دیگر گره‌ها، می‌توان به بهترین بهره دست یافت. می‌توان این موضوع را با کمک مرکزیت میانگی اثبات کرد. لذا با کمک این معیار گرهی  $v_3$  انتخاب خواهد شد، زیرا بیشترین مقدار مرکزیت را دارد و در بیشترین تعداد مسیرهای تحویل محتوا قرار دارد (۹ مسیر).



شکل ۳-۵. یک ساختار با مکان ذخیره‌سازی بهینه در گرهی  $v_3$  [۳۰].

طرح مرکزیت میانگی به ازای هر درخواست عمل می‌کند و این در حالی است که گرهی ذخیره‌گاه منتخب ممکن است از یک مسیر به مسیر دیگر متفاوت باشد. از این روی هیچ گرهی ثابتی وجود ندارد که از قبل آرایش‌بندی شده باشد. به طور خاص هنگامی که یک مشتری محتوای موردنظر خود را درخواست می‌کند، از بین گره‌های میانی شبکه که از آن‌ها عبور می‌کند، مقدار مرکزیت میانگی آن گره با بیشترین مقدار در بین مجموعه‌ی گره‌های مسیر ذخیره می‌شود. سپس در طول مسیر انتقال بسته‌ی داده از سمت سرویس‌دهنده، این مقدار مجدداً در بسته گنجانده می‌شود. البته در صورتی که داده‌ای توسط مسیریاب نیز برآورده شود، آن مسیریاب نیز این مقدار را در بسته قرار خواهد داد. حال در مسیر بازگشت داده به سمت کاربر، هر مسیریاب شبکه، مرکزیت میانگی خود را با مقدار موجود در بسته چک می‌کند و در صورت تطابق، داده را در حافظه‌ی نهان خود ذخیره می‌کند. اگر این تطابق برای گره‌های زیادی در طول مسیر صحت داشته باشد، تمامی آن گره‌ها نیز بسته‌ی داده را ذخیره خواهند کرد.

در این روش، مرکزیت هر گره از قبل و به صورت برونو خط<sup>۱</sup> محاسبه می‌شود، سپس با کمک سیستم مدیریت شبکه، به هر مسیریاب این طرح اعمال خواهد شد.

یک خصوصیت مطلوب این است که هر محتوا به ناحیه‌ای که در آن محبوبیت بیشتری دارد، کشیده خواهد شد. با وجود ثابت بودن ساختار شبکه، مقدار مرکزیت میانگی هر گره بطور استاتیک باقی خواهد ماند. اما ذخیره‌سازی محتوا، تنها در مجموعه‌ای خاص از گره‌ها انجام نمی‌گیرد و توزیع محتوا نیز در این ذخیره‌سازی مؤثر است. با ذکر یک مثال مطلب روشن خواهد شد؛ به ساختار شکل (۳-۵) دقت کنید. مقادیر مرکزیت میانگی برای گره‌ها به صورت زیر است:

$$BC(v_1) > BC(v_2) > BC(v_3) > BC(v_4) \quad (8-3)$$

از آنجایی که گرهی  $v_1$  بیشترین مقدار مرکزیت را دارد، با اولین درخواست کاربر، داده‌ی بازگشتی در حافظه‌ی نهان گره ذخیره خواهد شد. سپس در صورتی که کاربر دیگری همان داده را درخواست کند، با فرض اینکه داده در این فاصله از حافظه‌ی گرهی  $v_1$  اخراج نشده باشد، آنگاه در زمان بازگشت، داده در حافظه‌ی مسیریاب  $v_2$  نیز ذخیره خواهد شد؛ زیرا این گره نیز پس از گرهی  $v_1$

<sup>1</sup> Offline

بیشترین مرکزیت را دارد. بر طبق این روال، درخواست بعدی نیز منجر به ذخیره‌سازی محتوا در مسیریاب ۷۳ خواهد شد. از این روی یک کپی از محتوا در مسیریابی که نزدیک به مشتری است، ذخیره می‌شود و می‌توان به این نتیجه رسید که همواره محتویات به سمت آخرین کاربر درخواست‌کننده حرکت می‌کند و اگر داده‌ای در ناحیه‌ای از ساختار شبکه محبوبیت بیشتری داشته باشد، آن داده در نهایت در سمت ناحیه‌ی مذکور ذخیره خواهد شد.

### ۴-۳- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های NDN با کمک پارامترهای کوتاه‌مدت

#### ۴-۳-۱- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت با کمک الگوریتم یادگیری ماشین

در پژوهش انجام‌گرفته توسط سو و همکاران [۳۱] به بررسی اختصاص غیریکنواخت اندازه‌ی بهینه برای حافظه‌های نهان مسیریاب‌ها با کمک الگوریتم یادگیری ماشین نظیر یادگیری منیفلد پرداخته شده است. این روش به علت استفاده از روش یادگیری ماشین اندازه زمان اجرای بالای دارد، بخصوص اگر تعداد گره‌های شبکه افزایش یابند، این الگوریتم هزینه‌ی بیشتری نیز اعمال خواهد کرد.

آن‌گونه که در این پژوهش ذکر شده است، نیازمندی‌های سرعت خط<sup>۱</sup> و ساختار شبکه دو خصوصیتی هستند که برای اختصاص اندازه‌ی حافظه نهان بررسی می‌شوند. مسیریاب‌های CCN می‌باشد بتوانند با جستجوی بلادرنگ، محتوای درخواستی را بیابند. سرعت دسترسی به حافظه، در عمل اندازه‌ی مورد نیاز برای ذخیره محتوا را محدود می‌سازد. اندازه‌ی حافظه نهان در CCN می‌باشد به نیازمندی سرعت خط محدود باشد، تا برخلاف قابلیت فتاوری‌های روز سخت‌افزاری بزرگ نباشد. مسیریاب‌هایی که به سخت‌افزار با سرعت بالا مجهز هستند، به احتمال زیاد توانایی برآورده‌سازی نیازمندی‌های سرعت خط را برای پشتیبانی از هدایت بسته‌های داده‌ی نام‌گذاری شده و ذخیره‌ی آن‌ها دارا هستند؛ مثلاً از آنجایی که یک حافظه با دستیابی تصادفی پویا (DRAM) با سرعت خط‌ده گیگابیت بر ثانیه، دویست برابر سریع‌تر از دیسک سخت است، می‌تواند از سرعت بالای خط پشتیبانی کند. البته از نقطه‌نظر اقتصادی این سخت‌افزارها، نسبت به دیسک‌های سخت بسیار هزینه‌بر هستند. در ساختارهای دلخواه گراف نیز تمام زوج گره‌های متفاوت روابط زیادی با یکدیگر دارند و اختصاص اندازه‌ی یکسان حافظه نهان به مسیریاب‌ها منطقی نیست. لذا یک رهیافت این است که اندازه‌ی بیشتری به مسیریاب‌ها با درجه‌ی اهمیت بیشتر و اندازه‌ی کمتری به مسیریاب‌های معمولی اختصاص داده شود. از این روی مسئله‌ی اساسی، تعیین درجه‌ی اهمیت گره‌های شبکه بوده است که در این زمینه فعالیت‌هایی نیز انجام گرفته است. می‌توان برای تعیین اندازه‌ی حافظه نهان هر مسیریاب از رابطه‌ی (۹-۳) استفاده کرد که در آن  $c_i$  اندازه‌ی اختصاص داده شده به گرهی  $n$  و  $C$  حجم کلی حافظه‌ی شبکه‌ای با تعداد  $m$  عدد مسیریاب می‌باشد [۳۱]:

---

<sup>۱</sup> Line Speed Requirement

$$c_i = \left\{ \min \left\{ \frac{C}{m}, C_{lre} \right\}, i = 1, 2, 3, \dots \right. \quad (9-3)$$

در رابطه‌ی فوق  $C_{lre}$  بیشینه فضای اختصاصی به هر حافظه‌ی نهان است که محدود به سرعت خط می‌باشد.

مجموعه داده‌های جمع‌آوری‌شده، نیاز به انکاس درجه‌ی اهمیت گره‌ها دارند. سو و همکاران برای یافتن نقش گره‌ها در تحویل محتوا، به جمع‌آوری مجموعه داده‌هایی پرداخته‌اند که نقش هر گره در تحویل محتوا را نشان می‌دهند. سه دسته از اطلاعات برای هر گره انتخاب شده است که عبارتند از: تعداد درخواست‌های رسیده ( $Req_i$ )، تعداد درخواست‌های سرویس‌داده‌شده ( $Ser_i$ )، تعداد جایگزینی‌ها در حافظه‌ی نهان برای قرار دادن محتويات دریافتی جدید ( $Rep_i$ ). این مجموعه داده‌ها همبستگی زیادی با توزیع ترافیک شبکه و رفتار کاربران دارند (رابطه‌ی (10-3)):

$$x_i(t) = \{Req_i(t), Ser_i(t), Rep_i(t)\} \mid x_i(t) \in R^3 \quad (10-3)$$

برای یافتن قاعده‌ای که در پشت این داده‌ها پنهان است، نیاز است تا داده‌ها در یک فرآیند طولانی‌مدت جمع‌آوری شوند. واضح است که  $x_i(t)$  یک بردار سه‌بعدی است. البته می‌توان با اضافه نمودن معیارهای دیگری از شبکه این بردار را بسط داد. جمع‌آوری داده‌ها در بازه‌ی زمانی  $t$  نمی‌تواند  $\{0, t_1, t_2, \dots, t_M\}$  در دنباله زمانی  $x_i(t)$  در آنرا نشان دهد، لذا از هر مقدار  $X_i$  در دنباله زمانی  $\{t_1, t_2, \dots, t_M\}$  نمونه‌برداری می‌شود. آنگاه مجموعه داده‌ی خام  $X_i$  خواهد شد:

$$X_i = \{x_i(t_1), x_i(t_2), \dots, x_i(t_M)\} \mid x_i \in R^3 \quad (11-3)$$

که در آن  $x_i(t_M)$  مقدار  $M$  نمونه از گره  $i$  را در زمان  $t_M$  نشان می‌دهد.  $X_i$  یک مجموعه داده‌ی چند‌بعدی است که بعدش برابر با  $D = 3M$  می‌باشد. این بُعد به تعداد نمونه‌ها و نیز ابعاد  $x_i$  بستگی دارد. با ترکیب روابط (10-3) و (11-3)، رابطه‌ی (12-3) بدست می‌آید:

$$X_i = \left\{ Req(i, t_1), Ser(i, t_1), Rep(i, t_1), \right. \\ \left. Req(i, t_2), Ser(i, t_2), Rep(i, t_2), \dots, \right\} \mid x_i \in R^D \quad (12-3)$$

برای استخراج خصوصیات پنهان  $X_i$  نیاز است تا در فضای اقلیدسی  $R^d$  یک دامنه‌ای با ابعاد کمتر را یافت بطوری که خصوصیات  $X_i \in R^D$  را منعکس کند. دقیق‌تر کنید که  $D < d$  است. لذا  $Y_i(t)$  به شکل زیر بیان می‌شود:

$$Y_i = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(d)\} \mid Y_i \in R^d \quad (13-3)$$

که در آن  $d$  بُعد  $Y_i$  را نشان می‌دهد. با استفاده از روش خوشبندی منیفلد، گره‌ها به دو دسته تقسیم شده‌اند. سپس به هر دسته از گره‌ها بنا به اهمیتشان، وزنی اختصاص داده شده است. دسته‌ی پراهمیت وزن بیشتر و دسته‌ی کم‌اهمیت وزن کمتر. سپس با در نظر گرفتن یک میزان حافظه‌ی کلی برای شبکه‌ی مورد نظر، بر حسب اوزان اختصاص داده‌شده، میزان حافظه‌ی هر دسته از مسیریاب‌ها مشخص می‌شود. نتیجه‌ی اختصاص اندازه‌ی حافظه‌ی نهان به مسیریاب‌های متفاوت شبکه نشان

می‌دهد که در صورت اختصاص حدود هشتاد درصد از فضای حافظه به مسیریاب‌های پراهمیت هسته‌ی شبکه، عملکرد حافظه‌ی نهان شبکه‌ای افزایش پیدا می‌کند. با وجود اینکه طرح پیشنهادی سو و همکاران، منجر به کاهش نرخ برخورد متوسط در مسیریاب‌های کم‌اهمیت می‌شود، اما در حالت کلی نرخ برخورد کل شبکه را افزایش می‌دهد.

همچنین سو و همکاران در مرجع [۳۲]، به حل مسئله‌ی مدیریت ذخیره‌سازی به ازای هر کاربر پرداخته‌اند و آن را به یک مسئله‌ی بهینه‌سازی برای تخصیص منبع تبدیل کرده‌اند. مجدداً برای تحلیل عملکرد شبکه از پارامترهای ذکر شده در مقاله‌ی پیشین خود [۳۱] استفاده کرد و برای دسته‌بندی اطلاعات جمع‌آوری شده نیز از شیوه‌ی یادگیری منیفلد کمک گرفته‌اند.

مؤلفان در مرجع [۳۲] با در نظر گرفتن محدودیت‌های حافظه‌ی نهان در هر مسیریاب و همچنین تنوع کاربردهای موجود، به هر کاربرد اندازه‌ای معادل با میزان درخواست‌های کاربران و یا به بیان دیگر بر حسب درجه‌ی محبوبیتش از سمت کاربران اختصاص داده‌اند. با کمک این طرح می‌توان به کاربردهایی با نیازمندی‌های عملکرد بالا اندازه‌ی بیشتری را اختصاص داد. مثلاً به کاربردهای تحت وب که حساسیت بیشتری به تاخیر دارند، اندازه‌ی حافظه‌ی بیشتر و به دیگر کاربردها اندازه‌ی کمتری اختصاص داده شود. از این روی درخواست‌های کاربران برای کاربرد حساس به تاخیر، در حافظه‌های نهان نرخ برخورد بیشتری را خواهد داشت و همچنین زمان دسترسی به محتوای آن کاربرد نیز از دیدگاه درخواست‌کننده کاهش پیدا می‌کند.

سو و همکاران [۳۲]، ضمن مدل‌سازی روش خود به کمک روش‌های ریاضی، با استفاده از اطلاعات مربوط به چهار کاربرد پرطرفدار شبکه که در دسته‌بندی‌های شرکت سیسکو قرار گرفته‌اند، به ارزیابی روش خود پرداخته‌اند. هر کدام از این کاربردها که دارای درجه‌ی محبوبیت متفاوتی هستند، در ادامه شرح داده خواهند شد:

أ) برنامه‌ی کاربردی وب تحت پروتکل آبرمَتن<sup>۱</sup>: برای این کاربرد در توزیع زیف پارامتر شکل‌دهی برابر با ۰,۷ تنظیم شده است. اندازه‌ی در نظر گرفته شده برای هر قطعه‌ی داده برابر با صد کیلوبایت است.

ب) کاربرد اشتراک پرونده<sup>۲</sup>: پارامتر شکل‌دهی برای این کاربرد برابر با ۰,۵ در نظر گرفته شده است. اندازه‌ی متوسط برای کاربردهای این طبقه برابر با پانصد مگابایت است.

ج) در کاربرد چندسانه‌ای تحت وب، پارامتر شکل‌دهی برابر با ۰,۶ می‌باشد و اندازه‌ی متوسط محتوا برابر با چهارده مگابایت در نظر گرفته شده است.

---

<sup>۱</sup> HTTP Web: برنامه‌ای است که می‌توان به آن از طریق اینترنت دسترسی داشت و توسط یک مرورگر پشتیبانی می‌شود.

<sup>۲</sup> File Sharing

۵) در کاربرد محتویات تولیدی توسط کاربر اندازه‌ی پارامتر شکل‌دهی برابر با ۰,۸۸ و مقدار متوسط محتوای تولیدی برابر با ۶,۹ مگابایت تنظیم شده است.

حال با فرض در اختیار داشتن تعداد محتویات مربوط به هر کاربرد می‌توان درجه‌ی اهمیت هر کاربرد را محاسبه کرد. سپس برای هر کاربرد در هر مسیریاب اندازه‌ای در نظر گرفت؛ به عنوان مثال به کاربرد  $A_i$  در یک مسیریاب اندازه‌ای معادل با  $x_i$  اختصاص داده شود.

در مرجع [۳۲]، سو و همکاران با مقایسه‌ی طرح وفقی پیشنهادی با دیگر طرح‌ها به بررسی پارامترهایی نظیر نرخ برخورد کلی مسیریاب‌های پراهمیت شبکه پرداخته‌اند. طرح‌های مورد مقایسه‌ی این مؤلفان عبارتند از طرح اختصاص اندازه‌ی استاتیک که در آن به نسبت ثابتی به هر کاربرد در شبکه، اندازه اختصاص داده می‌شود. طرح دیگر مورد مقایسه طرح اختصاص اندازه‌ی پویا می‌باشد که در آن کاربردها برای اختصاص اندازه با یکدیگر رقابت می‌کنند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که به برنامه‌ی کاربردی وب تحت پروتکل آبرمن که درجه‌ی محبوبیت کمتری در مقایسه با سه کاربرد دیگر دارد، حافظه‌ی کمتری اختصاص داده می‌شود. پس از آن، کاربرد محتویات تولیدی توسط کاربر که اندازه‌ی محتوا و میزان محبوبیت کمتری نسبت به دو کاربرد چندرسانه‌ای و اشتراک پرونده دارند، نرخ برخورد کمتری در حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های هسته‌ی شبکه داشته است. اما دو کاربرد چندرسانه‌ای و نیز اشتراک پرونده، نرخ‌های برخورد بالایی دارند و این نرخ در بازه‌ی [۷,۵۰] قرار دارند.

**۴-۲-۳- اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت براساس پارامتر تاثیر درجه‌ی درخواست کوبی و همکاران [۳۳]**، به ارائه‌ی یک معیار جدید برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌های نهان در شبکه‌های محتوا-محور پرداخته‌اند. این معیار که با نام درجه‌ی تاثیر درخواست (RID<sup>۱</sup>) تعریف شده است، میزان اهمیت هر گره از گراف شبکه را تعیین می‌کند. آزمایشات مؤلفان نشان می‌دهد که طرح اختصاص حافظه‌ی نهان با معیار RID، بار سرویس‌دهنده‌ی مبدأ را نسبت به طرح‌های اختصاص اندازه برحسب معیارهای مرکزیت کاهش می‌دهد. برای محاسبه‌ی این معیار به ازای هر مسیری که در بین دو گره قرار دارد، احتمال دریافت یک بسته‌ی علاقه که از سمت یک مصرف‌کننده ارسال شده است، توسط یک گرهی میانی شبکه محاسبه و با جمع این مقادیر، وزنی به هر گره اختصاص داده می‌شود. با کمک این وزن اهمیت هر گره تشخیص داده شده و اندازه‌ی حافظه‌ی آن تعیین می‌شود. این نکته قابل ذکر است که این وزن با کمک نرخ‌های فقدان در مسیریاب‌هایی که در حافظه‌ی آن‌ها برخورده رخ نداده است، بدست می‌آید. به بیان دیگر RID برابر است با ضرب تعداد بسته‌های علاقه‌ی دریافتی توسط یک مسیریاب میانی از طرف دیگر مسیریاب‌های پایین‌دستی، در نرخ فقدان هر بسته‌ی علاقه در مسیریاب‌های پایین‌دستی (رابطه‌ی (۱۴-۳)):

$$RID_j = f(k_{ij}, hit_x) = \sum_{i \in V'} k_{ij} \times \prod_{x \in l(i \rightarrow j)} (1 - hit_x)^{-1} \quad (14-3)$$

<sup>1</sup> Request Influence Degree

که در آن  $k_{ij}$  تعداد درخواست‌هایی است که در طول مسیر  $(i, j)$ ، از گرهی  $i$  به گرهی  $j$  می‌رسند و نرخ سرویس‌دهی گرهی  $x$  در مسیر  $(i, j)$  است.

پس از شرح روش‌های پیشین در اختصاص اندازه به حافظه‌های نهان شبکه‌ای، در دو بخش انتهایی این فصل به راهبردهای ذخیره‌سازی در حافظه‌های نهان شبکه‌ای و نیز سیاست‌های جایگزینی در این حافظه‌های و تحقیقات انجام گرفته در ان زمینه اشاره‌ی مختصری خواهد شد.

### ۳-۵- راهبردهای ذخیره‌سازی در حافظه‌ی نهان

به همراه راهبردهای ذخیره‌سازی در شبکه‌ای از حافظه‌های نهان، الگوریتم‌های تکرار نیز برای توزیع کپی‌هایی از محتوا تعریف می‌شوند. این الگوریتم‌ها به دو بعد می‌پردازند [۳۴]:

ا) تکرار بر حسب محتوا: این نوع تکرار براساس خصوصیات محتوا است و تصمیم‌گیری‌های ذخیره‌سازی بر طبق آن انجام می‌گیرد؛ به عنوان مثال محتويات پرطرفدار انتخاب شده و محتوياتی با محبوبیت کمتر، نادیده گرفته می‌شوند.

ب) تکرار بر حسب گره و حافظه‌ی نهان: این روش براساس خصوصیات ساختاری شبکه عمل می‌کند؛ مثلاً گره‌های پراهمیت به عنوان ذخیره‌گاه محتوا انتخاب می‌شوند، بخش (۲-۳-۳). این نوع راه کارها، بهینگی منابع را به همراه دارند؛ زیرا اختصاص حافظه به گره‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که مزیت بالایی را داشته و نرخ برخورد در حافظه افزایش می‌یابد.

الگوریتم‌های تکرار که در متن تحقیقات ICN مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، همگی یا بر حسب گره هستند و یا بر حسب حافظه‌ی نهان؛ زیرا الگوریتم‌های بر حسب محتوا، به سختی می‌توانند در مقیاس شبکه‌ی اینترنت جوابگو باشند. در شبیه‌سازی که مؤلفان مرجع [۳۴] طراحی کرده‌اند، از راهبردهای زیر حمایت می‌شود: جایگذاری یک کپی در هر جا (LCE<sup>۱</sup>)، ذخیره‌سازی تصادفی برنولی<sup>۲</sup>، ذخیره‌سازی با انتخاب تصادفی<sup>۳</sup>، ذخیره‌سازی براساس معیارهای مرکزیت گره<sup>۴</sup> (پیشتر به این شیوه اشاره شد) و ذخیره‌سازی احتمالی (ProbCache<sup>۵</sup>) [۳۵].

### ۳-۶- سیاست‌های جایگزینی در حافظه‌ی نهان

گره‌های ذخیره‌سازی می‌توانند به گونه‌ای عمل کنند که بر طبق یکی از سیاست‌های معروف زیر، مکان موردنظر را برای اطلاعات جدید در حافظه فراهم کنند و محتويات قدیمی را حذف کنند [۳۴]:

سیاست اخیراً کمتر استفاده شده: این روش، مشهورترین و پراستفاده‌ترین سیاست جایگزینی در حافظه‌های نهان است. هنگامی که یک قطعه محتوایی جدید را می‌بايست در حافظه‌ی نهان ذخیره کرد، آنگاه آن قطعه‌ی داده‌ای اخراج می‌شود که درخواست کمتری برای آن ارسال شده است. این

<sup>1</sup> Leave Copy Everywhere

<sup>2</sup> Bernoulli random caching

<sup>3</sup> Random choice caching

<sup>4</sup> Centrality-based caching

<sup>5</sup> Probabilistic caching

سیاست برای عملیات با سرعت بالا مناسب است؛ زیرا هم جستجو و هم عمل جایگزینی در زمان ثابت  $O(1)$  قابل انجام است. با وجود اینکه این روش در حضور اصل محلی بودن موقتی (در صورتیکه به یک خانه از حافظه اخیراً مراجعه شده است، در آینده‌ای نزدیک نیز به آن مراجعه خواهد شد) به خوبی عمل می‌کند، اما نسبت به مدل ارجاع مستقل، عملکرد بهتری ندارد (همان‌گونه که در فصل قبل عنوان شد، بر طبق مدل ارجاع مستقل، احتمال اینکه یک قطعه محتوایی درخواست داده شود، به درخواست‌های پیشین وابسته نیست).

سیاست مکرراً کمتر استفاده شده<sup>۱</sup>: این سیاست شمارنده‌ای را به هر قطعه محتوایی اختصاص می‌دهد. وقتی که آن قطعه‌ی محتوایی درخواست داده می‌شود، شمارنده افزایش داده می‌شود. با ورود یک قطعه‌ی جدید، حافظه‌ی نهان داده‌ای را که شمارنده‌ی کمتری دارد و کمتر درخواست داده شده است، حذف خواهد کرد. برخلاف سیاست LRU، سیاست LFU تحت مدل ارجاع مستقل به نحو بهینه‌ای عمل می‌کند. اما پیاده‌سازی این سیاست پرهزینه است؛ زیرا که اعمال جستجو و جایگزینی را نمی‌توان در زمان ثابت انجام داد. در متن ICN، سیاست جایگزینی LFU یک سیاست پرهزینه به حساب می‌آید و بیشتر به عنوان یک معیار برای ارزیابی دیگر روش‌ها مورد استفاده قرار خواهد گرفت. سیاست اولین ورودی، اولین خروجی: ساده‌ترین الگوریتم جایگزینی است. در این الگوریتم آن قطعه‌ی داده، از حافظه خارج می‌شود که از همه زودتر وارد حافظه شده باشد. به عبارت دیگر، آن قطعه که از همه قدیمی‌تر است، از حافظه خارج می‌شود تا فضای کافی برای داده‌ی جدید مهیا شود. منطق این روش آن است که صفحه قدیمی، احتمالاً در آینده نیز دیگر به آن احتیاج نیست. اما با وجود سادگی این الگوریتم نسبت به الگوریتم LRU، عملکرد چندان مناسبی ندارد.

سیاست تصادفی<sup>۲</sup>: در این الگوریتم، قطعه‌ی داده به شکل تصادفی انتخاب شده و قطعه‌ی داده‌ی جدید، جایگزین آن می‌شود. این الگوریتم سربار ناشی از شمارنده‌ها و صفات را ندارد.

در جدول (۱-۳)، پیچیدگی محاسباتی مربوط به فرآیندهای جستجو و جایگزینی را مشاهده خواهید کرد. پارامتر  $n$  نشان‌دهنده اندازه‌ی حافظه است. با وجود اینکه سه روش FIFO، LRU و RAND عملیات خود را در زمان ثابتی انجام می‌دهند، پیچیدگی عمل جایگزینی در روش LFU با اندازه‌ی حافظه به طور خطی تغییر پیدا می‌کند. این پیچیدگی، با افزایش اندازه‌ی حافظه منجر به زمان اجرای کندی خواهد شد.

### ۷-۳- جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا الگوریتم مرکزیت میانگی معرفی شد. سپس تعدادی از پژوهش‌هایی که تاکنون در بستر شبکه‌های NDN و در زمینه‌ی حافظه‌های نهان آن‌ها، از این الگوریتم استفاده کرده‌اند، شرح

<sup>1</sup> Least Frequently Used (LFU)

<sup>2</sup> Random (RAND)

داده شدند. سپس دیگر مقالات موجود در زمینه‌ی اختصاص اندازه به حافظه‌های نهان مسیریاب‌های محتوایی مورد بررسی قرار گرفتند؛ این مقالات پارامترهای کوتاه‌مدتی که در خلال اجرای شبکه بدست آمده را بکار گرفته بودند. در انتهای نیز به تعدادی از روش‌های ذخیره‌سازی و جایگزینی قطعه‌های محتوایی در حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های NDN اشاره‌ی کوتاهی شد. در فصل آتی به ارائه‌ی روش پیشنهادی برای اختصاص اندازه غیریکنواخت به حافظه‌های نهان مسیریاب‌های محتوایی پرداخته خواهد شد.

جدول ۳-۱. هزینه‌ی محاسباتی عملیات جستجو و جایگزینی برای سیاست‌های جایگزینی مختلف [۳۴].

جایگزینی	جستجو	سیاست
$O(1)$	$O(1)$	<b>LRU</b>
$O(n)$	$O(1)$	<b>LFU</b>
$O(1)$	$O(1)$	<b>FIFO</b>
$O(1)$	$O(1)$	<b>RND</b>

## فصل چهارم

### طرح پیشنهادی برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به حافظه‌های نهان مسیریاب‌های محتوایی

#### ۱-۴- مقدمه

ذخیره‌سازی سراسری درون-شبکه‌ای یک خصوصیت کلیدی در NDN می‌باشد. این خصوصیت موجب می‌شود تا تاخیر کلی شبکه کاهش یافته و کارایی پهنای باند با ذخیره‌سازی بیشتر محتویات محبوب افزایش پیدا کند. مطالعات بسیاری در زمینه‌ی حافظه‌های نهان NDN از جمله شیوه‌ی قراردهی و جایگزینی در حافظه‌ها و مدل‌های حافظه‌های نهان موجود در شبکه انجام گرفته است؛ اما در این پژوهش به مسئله‌ی تعیین میزان اندازه‌ی غیریکنواخت برای حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های موجود در سطح شبکه‌ی NDN پرداخته می‌شود. از آنجایی که در پژوهش‌های پیشین به طور جداگانه به بررسی تاثیر پارامترهای گراف شبکه (پارامترهای بلندمدت مربوط به طراحی و ساختار شبکه) و نیز پارامترهای لحظه‌ای حاصل از بررسی ترافیک ورودی و خروجی هر مسیریاب NDN پرداخته شده است، در این پژوهش سعی در بررسی همزمان تاثیر این دو دسته پارامترهای ایستا و پویا می‌باشد. پس از بر Sheldon این پارامترها، روش‌های میانگین‌گیری متحرک وزن دار و نحوه‌ی بکارگیری آن‌ها ذکر خواهد شد. سپس نحوه‌ی استفاده از روش ترکیب داده‌ی تحلیل مؤلفه‌های اساسی توصیف می‌شود.

## ۴-۲- پارامترهای بلندمدت و کوتاهمدت

همان‌گونه که اطلاعات بدستآمده از طراحی ساختار شبکه، پیاده‌سازی ساده‌ای دارند و در سال‌های متمادی کاربرد بسیاری داشته‌اند، اطلاعات پویای حاصل از اجرای شبکه و ترافیک تولیدی نیز نقش موثری در بهبود وضعیت و کارایی منابع شبکه‌ای خواهند داشت. این اطلاعات متأثر از رفتار کاربران و سرویس‌دهنده‌ها و دستگاه‌های متصل به بستر شبکه هستند؛ پویایی این معیارها ناشی از تغییر رفتار کاربران و نیز وضعیت ترافیکی دستگاه‌های میانی شبکه است. از آنجایی که در کارهای پیشین، به ترکیب پارامترهای ایستا و پویای شبکه پرداخته نشده است، این موضوع خود موجب بررسی ترکیبی این پارامترها در قالب شبکه‌های NDN، در این پژوهش، می‌شود. زیرا این شبکه نیاز به تقسیم عادلانه‌ی منبع حافظه دارد که یکی از عناصر اساسی موجود در شبکه‌ی NDN است و تفاوت اصلی را با شبکه‌های کنونی رقم می‌زند. در این پژوهش به مسیریاب‌های میانی شبکه، اندازه‌هایی برگرفته از پارامترهای پویا و ایستا اختصاص داده می‌شود و از این پارامترها برای یافتن اهمیت و نقش هر گره در عملکرد شبکه استفاده می‌شود. در ابتدا سعی در انتخاب پارامترهای ایستا و پویایی می‌باشد که منعکس‌کننده‌ی نقش و اهمیت هر گره در ارسال درخواست مشتری به گرهی حامل داده‌ی درخواستی و نیز بازگرداندن داده‌ی درخواستی برای مشتری مورد نظر می‌باشند.

پارامترهای ایستای بسیاری را می‌توان با کمک اطلاعات ساختار شبکه بدست آورده که در فصل سوم به تعدادی از آن‌ها اشاره شد. از آنجایی که در کارهای پیشین به بررسی عملکرد این پارامترها پرداخته شده بود و نیاز به بهبود روش‌های موجود در کارهای پیشین نیز بیشتر از پیش حس می‌شد، لذا از بین پارامترهای مرکزیت، پارامتر مرکزیت میانگی، بنا بر اهمیت و کاربرد بیشتری که نسبت به دیگر پارامترها دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا هر قدر مرکزیت میانگی یک گره بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که آن گره در کوتاه‌ترین مسیر بین گره‌های دیگر قرار گرفته است و در صورت امکان با اختصاص قابلیت‌های سخت‌افزاری بیشتر به این گره، می‌توان عملکرد شبکه‌ی NDN را بهبود بخشید.

این نکته قابل ذکر است که در این نوشتار، پارامترهای پویا، لحظه‌ای و کوتاهمدت معادل یکدیگر خواهند بود؛ همچنین منظور از پارامترهای بلندمدت نیز همان دسته پارامترهای ایستا هستند.

## ۴-۱- پارامتر بلندمدت

پارامترهای بلندمدت بسیاری برای تحلیل شبکه موجود هستند. از بین آن‌ها پارامتر مرکزیت میانگی از محبوبیت خاصی برخوردار است؛ از مرکزیت میانگی در تحلیل شبکه‌های اجتماعی نیز استفاده می‌شود؛ هر قدر مقدار آن بزرگتر باشد، نشان‌دهنده‌ی شخصیت و اقتدار یک فرد در آن شبکه‌ی اجتماعی است؛ افرادی که در مرکز شبکه هستند، حتی می‌توانند تاثیرگذاری بیشتری را بر اطرافیان خود داشته باشند. اغلب، افراد علاقه‌مند به شناسایی برجسته‌ترین نقش‌آفرینان هستند؛ مثلاً اگر فردی دارای معیار مرکزیت میانگی بزرگتری باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که کوتاه‌ترین

مسیرهای بین هر جفت نقش‌آفرین که از نقش آفرین موردنظر عبور می‌کنند، میزان قابل ملاحظه‌ای است و آن نقش‌آفرین مرکزیت میانگی بالایی دارد [۱].

در شبکه‌ی NDN نیز با کمک معیار مرکزیت می‌توان برتری نقش‌آفرینی یک مسیریاب محتوایی<sup>۱</sup> را کمی‌سازی کرد. هر قدر که یک مسیریاب در کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی بین مسیریاب‌های دیگر قرار داشته باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که آن مسیریاب محتوایی، نقش مهمی را به عهده دارد و می‌بایست اهمیت ویژه‌ای به آن اختصاص داده شود. حال در این پژوهش مسیریاب با اهمیت بیشتر، اندازه‌ی حافظه‌ی نهان بزرگتری را خواهد داشت؛ زیرا قرارگیری یک مسیریاب محتوایی در کوتاه‌ترین مسیر بین دو مسیریاب دیگر، نشان‌دهنده‌ی این است که این مسیریاب در مسیر تبادل بسته‌های علاقه و داده‌ی بیشتری است. لذا برای سرعت‌دهی به تبادلات می‌توان با اختصاص اندازه‌ی بیشتر، حجم ذخیره‌سازی را در مسیریاب پراهمیت افزایش داد.

پارامتر مرکزیت میانگی، در میان سایر پارامترها نیازی به صرف هزینه‌ی گزارف ندارد و تنها با بررسی گراف شبکه قابل محاسبه است. از این روی با محاسبه‌ی معیار مرکزیت میانگی در هر گره‌ی شبکه در کنار سایر پارامترها، به بررسی تاثیر این معیار بر عملکرد گره‌هایی با اهمیت بالا در شبکه پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۲-۲-۴ - پارامترهای کوتاه‌مدت

برای بدست آوردن اطلاعات مرکزیت هر گره می‌توان با در دست داشتن اطلاعات ساختاری گره‌های شبکه، به صورت بروز خط این پارامتر را محاسبه کرد. برای اطلاع از وضعیت پارامترهای پویا و لحظه‌ای متغیر با خصوصیات اجرایی شبکه، می‌بایست در هر لحظه از زمان با کمک ساختارهای موجود در مسیریاب‌های میانی شبکه، از وضعیت آن‌ها اطلاعاتی را کسب کرد. به عنوان مثال می‌توان از جداول و یا ذخیره‌گاه‌های هر مسیریاب کمک گرفت. این اطلاعات که به نوعی وضعیت اجرایی شبکه را نمایش می‌دهند، می‌توانند بنابر عوامل زیر تغییر کنند: تغییر در طراحی ساختار شبکه از قبیل وضعیت قرارگیری مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگان، تعداد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، نحوه‌ی ارسال درخواست‌ها، نوع محتویات درخواستی، تعداد محتویات درخواستی توسط هر کاربر، نحوه‌ی قرارگیری محتویات در بین مخزن‌های دائمی سرویس‌دهندگان شبکه، تعداد محتویات ذخیره شده در حافظه‌ی نهان هر مسیریاب، وضعیت ترافیکی رابطه‌ای هر مسیریاب، سیاست و راهبرد موجود در ساختارهای هر مسیریاب نظیر: ذخیره‌ساز، جدول مبنای هدایت اطلاعات و نیز جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر.

در جدول ۱-۴ به تعدادی از خصوصیات قابل دسترسی در هر مسیریاب NDN اشاره می‌شود. به هنگام دریافت بسته‌های علاقه و داده توسط یک مسیریاب، برای حفظ اطلاعات، تعدادی پارامتر

<sup>۱</sup> Content router

طراحی شده‌اند که این پارامترها می‌توانند به شکل شمارنده ظاهر شوند؛ به عنوان مثال می‌توان به مجموعه پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش اشاره کرد که مرتبط با ورودی‌های جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر و ذخیره‌گاه محتوا هستند:

- تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی برآورده شده به ازای هر رابط، یا معادل با بسته‌هایی است که به ازای آن‌ها، ورودی‌هایی در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر وجود داشته که به هنگام دریافت یک بسته‌ی داده از مسیریاب بالادستی برآورده می‌شوند و یا معادل با بسته‌هایی است که توسط ذخیره‌گاه محتوای مسیریاب کنونی برآورده شده که منجر به اضافه شدن یک ورودی به تعداد بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده در آن مسیریاب می‌شود. همچنین در صورت دریافت بسته‌ی داده از مسیریاب بالادستی، به شمارنده‌ی بسته‌های داده‌ی ورودی به آن رابط اضافه خواهد شد. اما در هر دو حالت مذکور به شمارنده‌ی بسته‌های داده‌ی خروجی از رابطی که ردپایی از آن در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر به جا مانده، اضافه می‌شود.
- همچنین اطلاعات دیگری نظیر تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی به یک رابط مسیریاب محتوایی، مشخص‌کننده‌ی تعداد درخواست‌هایی است که از طرف مسیریاب‌های پایین‌دستی به یکی از رابطه‌ای آن مسیریاب شبکه‌ای می‌رسند. تعداد بسته‌های علاقه‌ی خروجی نیز، نشان‌دهنده‌ی تعداد بسته‌هایی هستند که در گرهی کنونی برآورده نشده‌اند و از این روی پس از گذر از تمام مؤلفه‌های مسیریاب کنونی، برای مسیریاب‌های بالادستی ارسال می‌شوند تا بالاخره در یکی از مسیریاب‌های میانی و یا مخزن اصلی محتوا در تولید‌کننده برآورده شوند.
- تعداد بسته‌های علاقه و نیز تعداد بسته‌های داده‌ی دورانداخته شده<sup>1</sup>، آن دسته از بسته‌هایی را نشان می‌دهند که قادر به یافتن مسیری برای هدایت رو به جلوی بسته‌ی علاقه مورد نظر با کمک اطلاعات جدول FIB و نیز قادر به یافتن مسیری با کمک ردپای‌های بجامانده در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر، برای هدایت رو به جلوی بسته‌ی داده‌ی دریافتی نبوده‌اند. لذا بسته دور انداخته می‌شود.
- از آنجایی که ممکن است بسته‌های علاقه‌ی ارسالی از طرف یک مشتری به چندین مسیریاب برسند، این امکان وجود دارد تا چند عدد تولید‌کننده، این بسته‌های علاقه را برآورده سازند. اگر مسیریاب میانی بسته‌ای را از یک تولید‌کننده دریافت و آنرا برای مشتری(ها) ارسال کند، آن ورودی از جدول PIT آن مسیریاب حذف می‌شود و هنگامی که همان بسته‌ی داده از تولید‌کننده‌ی دیگری به این مسیریاب می‌رسد، این بسته دور انداخته می‌شود. لذا می‌توان بدین نتیجه رسید که در یک رابط شبکه، نرخ بسته‌های

---

<sup>1</sup> Dropped

داده‌ی ورودی و یا بسته‌های داده‌ی دورانداخته شده، بیشتر از نرخ بسته‌های علاقه‌ی ورودی است. از طرف دیگر برای یک رابط شبکه در یک گره، ممکن است این اتفاق رخداد که نرخ بسته‌های علاقه‌ی ورودی، کمتر از نرخ بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده باشند؛ زیرا در بازمی‌زمانی کنونی بسته‌های علاقه‌ی لحظات زمانی قبل نیز برآورده می‌شوند. به عبارت دیگر نرخ بسته‌های داده‌ی خروجی بیش از نرخ بسته‌های علاقه‌ی ورودی است؛ زیرا مسیریابی داده‌های حافظه نهان بر طبق بسته‌های علاقه‌ی ورودی برآورده شده انجام می‌گیرد.

جدول ۴-۱. خصوصیات قابل دسترسی در هر مسیریاب [۱۰].

توصیف	خصوصیت
تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی به یک رابط	بسته‌ی علاقه‌ی ورودی
تعداد بسته‌های داده‌ی ورودی به یک رابط	بسته‌ی داده‌ی ورودی
تعداد کل بسته‌های علاقه‌ی منتظر برآورده شده در یک گره که یا در مسیریاب‌های بالادستی و یا توسط ذخیره‌گاه این گره برآورده شده	بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده
تعداد بسته‌های علاقه‌ی خارج شده از یک رابط برای ارسال به مسیریاب بالادستی و یا تولیدکننده	بسته‌ی علاقه‌ی خروجی
تعداد بسته‌های داده‌ی خارج شده از یک رابط برای ارسال به سمت مشتری و یا مسیریاب پایین‌دستی	بسته‌ی داده‌ی خروجی
تعداد بسته‌های علاقه‌ی دورانداخته شده ورودی به یک رابط	بسته‌ی علاقه‌ی دورانداخته شده
تعداد بسته‌های داده دورانداخته شده ورودی به یک رابط	بسته‌ی داده دورانداخته شده

از این اطلاعات می‌توان استفاده‌های دیگری نیز داشت؛ مثلاً برای تشخیص رفتارهای تولیدکنندگان و مصرفکنندگان بدرفتار و یا تشخیص رخداد یک حمله با افزایش ترافیک ورودی و خروجی هر مسیریاب محتوایی [۳۶].

پارامترهای مذکور، پارامترهای پویایی هستند که در لحظات مختلف زمانی ممکن است مقادیر متفاوتی را به خود اختصاص دهند. دو عدد از پارامترهای لحظه‌ای که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته می‌شود (پارامترهایی که مقدار آنها در تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی و نیز تعداد بسته‌های داده‌ی خروجی در جدول ۴-۱ گنجانده شده است)، با ذکر یک مثال بطور مختصر شرح داده می‌شوند. به عنوان مثال با تغییر تعداد کاربران درخواست‌کننده‌ی یک فایل ویدئویی که به تازگی بر روی سایت یوتیوب قرار گرفته است، رفتار ترافیکی شبکه نیز تغییر خواهد کرد. مثلاً اگر این ویدئو مربوط به لحظات خوشحالی مردم شهر اصفهان پس از به ثمر رسیدن گل تیم ملی کشورمان در دروازه‌ی تیم ملی کشور چین، در مسابقات جام جهانی سال ۲۰۱۸ باشد، آنگاه افراد زیادی خواهان تماشای آن فایل ویدئویی خواهند بود. اما پس از چند هفته این درخواست‌ها کاهش یافته و به مرور زمان، با تغییر

محتویات درخواستی کاربران، قطعه‌های محتوایی فایل مربوطه، از حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های موجود در مسیر اخراج خواهند شد؛ از این روی با کاهش درخواست‌های دریافتی، از اهمیت این مسیریاب‌های محتوایی کاسته می‌شود. این نکته قابل ذکر است که می‌بایست رفتار ترافیکی گره‌های شبکه را در بازه‌های زمانی متفاوتی بررسی کرد؛ زیرا این احتمال وجود دارد که تعدادی از مسیریاب‌ها تنها در فاصله‌ی زمانی کوتاهی، درخواست‌های بسیاری را دریافت کنند، اما در بازه‌های زمانی دیگر، درخواست‌های کمتری به دستشان رسیده باشد. هر قدر مشاهده و جمع‌آوری این اطلاعات لحظه‌ای، در بازه‌ی زمانی طولانی‌تری انجام گیرد، اهمیت هر گره به میزان بیشتری خود را نشان خواهد داد و نتیجه منصفانه‌تر خواهد بود.

در عین حال مسیریاب‌هایی که در بازه‌هایی از زمان، در مسیرهای شلوغ و پرترافیک شبکه قرار می‌گیرند و قطعه‌های بیشتری از محتویات را ذخیره می‌کنند، نرخ برخورد بالاتری را نسبت به دیگر مسیریاب‌ها خواهند داشت و از این روی، برای اختصاص حافظه‌ی نهان بزرگتر، نیازمند صرف هزینه‌ی بیشتری هستند. به بیان دیگر، اگر مسیریابی تعداد ارجاعات بیشتری به حافظه‌ی نهان خود دارد و این رفتار را نه تنها به طور مقطعی و تصادفی بلکه در بازه‌های زمانی گوناگون و با تبادل اطلاعات با مسیریاب‌های اطراف از خود نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که اهمیت بیشتری داشته و اندازه‌ی بیشتری از حافظه‌ی نهان شبکه‌ای را به خود اختصاص می‌دهد.

همچنین این امکان وجود دارد تا با بررسی دقیق‌تر معیارهای لحظه‌ای دیگر در مسیریاب‌های NDN، به تاثیر آن‌ها بر روی اهمیت هر گره پی برد؛ به عنوان مثال، می‌توان علاوه بر بررسی تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در یک مسیریاب، تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی به مجموعه‌ی رابطه‌ای آن را نیز بررسی کرد و همچنین به جای محاسبه‌ی تعداد برخوردها در هر گره، به تعداد محتویات خروجی از آن نیز پرداخته شود. در حقیقت این دو پارامتر که حالت کلی بسته‌های علاقه‌ی منتظر و بسته‌های موجود در ذخیره‌گاه هستند، یک دید کلی از ترافیک ورودی و خروجی هر مسیریاب را بدست می‌دهند.

در صورتی که هر گره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد و نسبت به دیگر مسیریاب‌های شبکه، در مسیر پرترافیکی قرار داشته باشد، با اختصاص حجم حافظه‌ی بیشتری به خود، می‌تواند برای برآورده ساختن درخواست‌های احتمالی مشتریان آتی در شبکه‌ی NDN، نرخ برخورد محتویات درخواستی را در ذخیره‌گاه خود افزایش دهد.

مقادیر این پارامترها در لحظات مختلف، تشکیل گونه‌ای خاص از یک سیگنال پیوسته را می‌دهند. از این روی در هر لحظه از زمان مقادیری پیوسته برای هر پارامتر بدست می‌آید. در صورتی که بخواهیم یک دید کلی از عملکرد این گونه از پارامترها داشته باشیم، از میانگین متحرک آن‌ها استفاده می‌شود. لذا در این پژوهش برای بدست آوردن یک مقدار مطلوب به ازای ترافیک داده‌ی خروجی و نیز تعداد درخواست‌های دریافتی توسط هر مسیریاب میانی NDN، با جمع‌آوری پارامترهای مذکور در بازه‌های زمانی مختلف، سعی در برآورد متوسط میزان ترافیک خروجی هر گره و نیز درخواست‌های رسیده به

آن در حالت کلی می‌باشد. این دو پارامتر، مقادیری هستند که در یک بازه‌ی زمانی، بدست آمده‌اند؛ حال اگر در طول یک بازه‌ی زمانی، به بررسی این دو پارامتر از رفتار هر گره پرداخته شود، می‌توان در حالت کلی به اهمیت مسیریاب پی برد. مثلاً ترافیک خروجی و یا همان تعداد قطعه‌های خروجی از هر مسیریاب نشان‌دهنده‌ی این است که مسیریاب مورد بررسی حامل داده‌هایی در ذخیره‌گاه محتوای خود می‌باشد و به بیان ساده‌تر نرخ برخورد در حافظه‌ی نهانش بالا است. لذا از آن به عنوان یک پارامتر موثر در تعیین میزان اهمیت گره استفاده می‌شود. این پارامتر، به نوعی میزان درگیری یک گره در شبکه را نشان می‌دهد. هر قدر قطعه‌های بیشتری از پیوندهای مستخرج از یک گره عبور کنند، نشان‌دهنده‌ی این است که آن گره، قطعه‌های بیشتری را در حافظه‌ی خود جای داده است. از این روی اگر میزان حافظه‌ی اختصاصی به آن بیشتر باشد، تاثیر بیشتری بر بهبود عملکرد سیستم محتوا-محوری خواهد داشت.

اما برای اطمینان می‌بایست این موضوع را در طول یک بازه‌ی زمانی بررسی کرد تا بتوان به نوسانات ترافیکی هر گره پی برد و تنها در صورتی می‌توان از این موضوع اطمینان حاصل کرد که رفتار ترافیکی هر گره جدای از رفتار ترافیکی گره‌های دیگر در لحظات مختلف به زیر ذره‌بین گذاشته شود. به بیان دیگر در یک لحظه از زمان این امکان وجود دارد که یک گره، قطعه‌های بسیاری را در حافظه‌ی خود ذخیره کرده باشد، اما همان مسیریاب در لحظات دیگری از زمان وادر شود تا قطعه‌های قدیمی را که مراجعات کمتری داشته‌اند، از ذخیره‌گاه خود حذف کند تا فضای کافی برای قطعه‌های داده‌ای درخواست‌های جدید داشته باشد. پارامتر دیگر، تعداد درخواست‌های منتظر ذخیره‌شده در هر مسیریاب است که از سمت کاربران و مشتری‌های شبکه ارسال شده است. این پارامتر با نرخ درخواست کاربران تغییر می‌کند و یک پارامتر گسسته در زمان است. این امکان وجود دارد که در یک بازه‌ی زمانی در طول روز برخی درخواست‌ها نرخ بیشتری داشته باشند، در حالی که با گذشت زمان، این نرخ کاهش یابد. مثلاً با انتشار یک خبر ورزشی در صفحات خبری برخط<sup>۱</sup>، کاربران خواهان دسترسی به آن خبر باشند؛ از این روی برخی سایتها خبری که در طول روز مراجعات کمتری داشتند، با گذشت زمان با انتشار یک خبر، به میزانی یک محتوای پرطرفدار تبدیل می‌شوند و مشتریانی که در یک نقطه‌ی جغرافیایی خاص قرار گرفته‌اند، به دلیل مراجعات متوالی به این سایتها خبری، بسته‌های علاقه‌ی بیشتری را به سمت برخی مسیریاب‌های میانی شبکه ارسال می‌کنند. لذا مسیریاب‌های مورد نظر مجبور به بارگذاری و فراخوانی آن محتویات از سرویس‌دهنده‌های اصلی برای پاسخ‌گویی به درخواست‌های آن دسته از مشتری‌های خود هستند و برای درخواست‌های احتمالی در آینده نیز این محتویات (یا حداقل قطعه‌هایی از آن محتویات) را در حافظه‌ی نهان خود ذخیره می‌کنند.

---

<sup>1</sup> Online

با توجه به مطالب ذکر شده، به راحتی امکان تصمیم‌گیری با کمک مقادیر لحظه‌ای وجود ندارد و برای بررسی دقیق‌تر نحوه عملکرد یک مسیریاب نیاز است تا از کل نمونه‌های بدست آمده بهره گرفت. برای این کار از روش‌های میانگین‌گیری متحرک استفاده می‌شود. در ادامه به بررسی دو گونه از این روش‌های میانگین‌گیری پرداخته می‌شود که با هموارسازی نمونه داده‌های زمانی همراه می‌باشند.

### ۴-۳- میانگین‌گیری متحرک

میانگین متحرک با جدا نمودن پنجره‌ای متحرک از مجموعه داده‌ها محاسبه می‌شود. در این گونه از روش میانگین‌گیری، برای هموار و یکدست نمودن مجموعه داده‌ها، بدین صورت عمل می‌شود که هر نقطه‌ای داده‌ای با تعدادی از داده‌های اطراف خود تحت تابعی ترکیب می‌شود؛ تابع ترکیبی، می‌تواند به گونه‌ای باشد که هر نمونه‌ی جدید، محصول میانگین تعدادی از نمونه‌های قبل از خود باشد. نمونه‌های بدست آمده در این پژوهش، علاوه بر پیوستگی در زمان، در خروجی نیز پیوسته هستند. تعیین تعداد نمونه‌های لازم برای اعمال روش میانگین‌گیری متحرک طبق نظر تحلیل‌گر می‌باشد و یک عنصر اساسی به حساب می‌آید؛ از این روی با بکارگیری روش میانگین‌گیری متحرک، می‌توان نوسانات لحظه‌ای را هموارتر و تغییرات را شفاف‌تر ساخت. هر چه اندازه‌ی پنجره‌ی انتخاب نمونه‌ها زمانی کوچک‌تر باشد، تعداد نمونه‌های قدیمی موثر در برآورد جدید کمتر بوده، میانگین متحرک نسبت به حرکات حساس‌تر است و بیشتر تغییر می‌کند؛ اما هر چه دوره‌ی زمانی انتخابی طولانی‌تر باشد، میانگین متحرک یکنواخت‌تر بوده و نسبت به نوسانات حساسیت کمتری دارد.

میانگین متحرک به گونه‌ای، با رابطه‌ی کانولوشن<sup>۱</sup> [۳۷] قابل بیان است و می‌توان به چشم یک فیلتر پایین‌گذر به آن نگریست که این فیلتر در پردازش سیگنال کاربرد دارد. البته در صورتیکه نیاز باشد تا حساسیت به نمونه‌ها تغییر یابد، می‌توان رفتار این فیلتر را برای پیش‌بینی نمونه‌های جدید بر حسب کاربرد موردنظر تغییر داد.

می‌توان از نمونه‌های بدست آمده در زمان اجرای شبکه، سری‌های زمانی ساخت؛ بدین نحو که در هر لحظه از زمان، تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در هر مسیریاب، ذخیره گردد. پارامتر دیگری که می‌بایست ثبت شود، تعداد بسته‌های علاقه‌ای است که در ذخیره‌گاه مسیریاب کنونی به آن‌ها پاسخ داده می‌شود. نمونه‌ی حاصل از تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در مسیریاب کنونی، در لحظه‌ی  $i$  با  $New\_PI\_Sample(i)$  و همچنین نمونه‌ی حاصل از تعداد بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده توسط ذخیره‌گاه این مسیریاب، در لحظه‌ی  $i$  با  $New\_HI\_Sample(i)$  نشان داده می‌شوند.

در این پژوهش از دو گونه روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار استفاده می‌شود. در روش اول که میانگین متحرک وزن‌دار خطی<sup>۲</sup> [۳۸] نام دارد، می‌توان از اوزان نامساوی، برای داده‌های هر پنجره استفاده نمود تا بر نمونه‌های مختلف در زیرمجموعه‌ی مذکور، به گونه‌ای متفاوت تأکید شود؛ به عنوان

<sup>1</sup> Convolution law

<sup>2</sup> Linear Weighted Moving Average (LWMA)

مثال در برخی مواقع برای تحلیل داده‌ها از یک روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار استفاده می‌شود که در آن اوزان بطور خطی کاهش می‌یابند؛ از این روی اگر تعداد نمونه‌های موجود در پنجره‌ی متحرک به اندازه‌ی  $m$  باشد، آنگاه قدیمی‌ترین نمونه، وزنی به اندازه‌ی  $(m(m+1)/2) = 2 / (m(m+1))$ ، دومین قدیمی‌ترین نمونه وزنی به اندازه‌ی  $2 / (m(m+1)/2) = 4 / (m(m+1))$  جدیدترین نمونه، وزنی به اندازه‌ی  $(m(m+1)/2) = 2 / (m(m+1))$  می‌گیرد که در آن مخرج هر کسر از جمع وزن هر نمونه بدست می‌آید:  $(m(m+1)/2) = (1+2+\dots+m)$ . اوزان اختصاص داده شده به هر نمونه در یک پنجره‌ی  $m$  عضوی از نمونه‌های تعداد بسته‌های علاوه‌ی منتظر و تعداد بسته‌های داده‌ی برآورده شده در مسیریاب کنونی، از روابط (۱-۴) و (۲-۴) تبعیت می‌کنند:

$$PI\_Weight(w) = \frac{(m - (w - 1))}{m(m + 1)/2}; \quad w \in [1, m] \quad (1-4)$$

$$HI\_Weight(w) = \frac{(m - (w - 1))}{m(m + 1)/2}; \quad w \in [1, m] \quad (2-4)$$

سپس از اوزان بدست آمده برای محاسبه‌ی میانگین متحرک نمونه‌ها و هموارسازی آن‌ها استفاده می‌شود. رابطه‌ی کانولوشن، با اختصاص اوزان مذکور به هر پنجره‌ی  $m$  تایی از نمونه‌ها، به گونه‌ای میانگین مورد نظر را برای هر یک از  $n$  نمونه‌ی جدید محاسبه می‌کند:

$$(New\_PI\_Sample * PI\_Weight)[t] = \sum_{w=1}^t \left( \frac{New\_PI\_Sample(w)}{PI\_Weight(t - (w - 1))} \right); \quad t \in [1, n] \quad (3-4)$$

$$(New\_HI\_Sample * HI\_Weight)[t] = \sum_{w=1}^t \left( \frac{New\_HI\_Sample(w)}{HI\_Weight(t - (w - 1))} \right); \quad t \in [1, n] \quad (4-4)$$

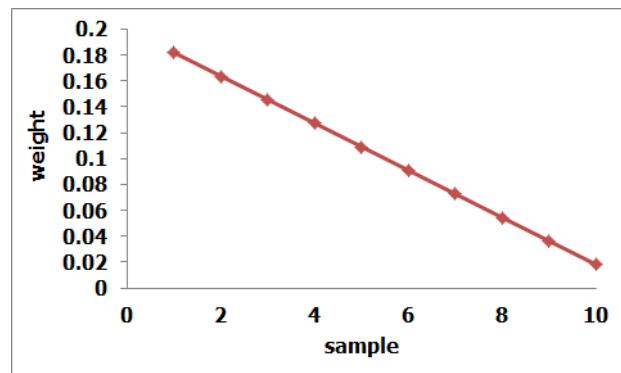
همان‌طور که در نمودار شکل (۱-۴) برای اوزان اختصاصی به یک پنجره‌ی ده‌تایی از نمونه‌ها مشاهده می‌کنید، اوزان از بیشترین مقدار، به طور خطی، کاهش یافته تا به صفر برسند.

در نوع دیگری از روش‌های میانگین‌گیری، مانند روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار نمایی<sup>۱</sup>، اوزان اختصاص داده شده به نمونه‌های قدیمی به طور نمایی کاهش می‌یابند ولی هیچ‌گاه به صفر نمی‌رسند. لذا برای برآوردن نمونه‌ی جدید، از تعداد نمونه‌های پیشین بیشتری می‌توان استفاده کرد. در بیشتر

---

<sup>۱</sup> Exponential Weighted Moving Average (EWMA)

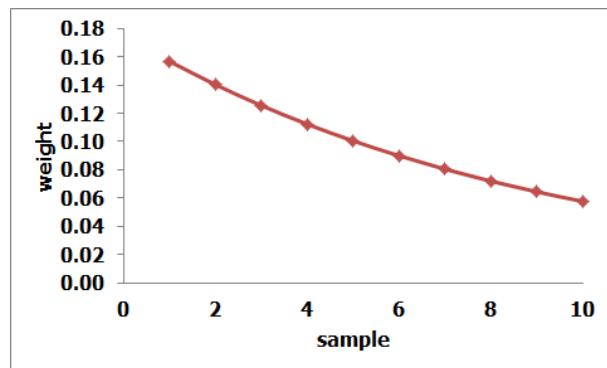
موارد ترجیح داده می‌شود تا از میانگین متحرک نمایی استفاده شود؛ زیرا این نوع متوسط‌گیری متحرک، وزن بیشتری را به اتفاقات اخیر اختصاص می‌دهد و اتفاقاتی را که در یک دوره‌ی زمانی رخ می‌دهند، با دقت و صحت بیشتری منعکس می‌کند. این روش میانگین‌گیری برای تشخیص تغییرات موجود در فرآیندهایی که در بازه‌های کوچکی از زمان پایدار هستند، مناسب می‌باشد. همچنین، *EWMA* خصوصیات بهینه‌ای برای پیش‌بینی و کنترل کاربردها دارد.



شکل ۴-۱. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن دار خطی.

در شکل (۲-۴) اوزان اختصاصی به ده عدد نمونه، نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید برخلاف روش میانگین‌گیری متحرک وزن دار خطی، این اوزان هیچ‌گاه به صفر نمی‌رسند و همواره بطور نمایی کاهش می‌یابند و محدودیتی برای اعمال اندازه‌ی پنجره‌ی انتخابی وجود ندارد.

راهکارهای کنترلی میانگین متحرک وزن دار نمایی، در تشخیص تغییرات فرآیندهای مختلف مناسب هستند. این راهکار، در ابتدا در سال ۱۹۵۹ توسط رایترز معرفی شد و به خصوصیات تحلیلی آن در مرجع [۳۹] پرداخته شده است.



شکل ۴-۲. اوزان اختصاصی در روش میانگین متحرک وزن دار نمایی.

برای نمایش میانگین فرآیند مورد بررسی، مقادیر پیش‌بینی جدید شامل:

$$Avg(t) = \begin{cases} X(t); t=1 \\ g X(t) + (1-g) Avg(t-1); t > 1 \end{cases} \quad (5-4)$$

که در آن  $t$  پارامتر زمان است. در این رابطه،  $g$  از بازه‌ی [۰، ۱] انتخاب می‌شود و برابر با وزنی است که به مشاهده‌ی کنونی اختصاص داده می‌شود. مقدار شروع  $Avg(1)$  برابر با مقدار اولیه‌ی فرآیند است. در این رابطه  $X(t)$  نمونه‌ی مشاهده شده در زمان  $t$  است.

اگر رابطه (۵-۴) بسط داده شود، یک میانگین وزن‌دار نمایی از مشاهدات قبل بدست می‌آید. در کاربردهای نمایش کیفیت، مقادیر مورد نظر برای ثابت  $g$  به مقادیر موجود در بین اعداد ۰، ۰.۵ تا ۰.۲۵ [۳۹] تعلق می‌گیرد. در صورتی که این مقدار برابر با یک انتخاب شود، آنگاه این فرآیند شبیه به فرآیند کنترلی شوهرارت است. فرآیند کنترلی شوهرارت [۴۰] که در سال ۱۹۳۱ به وسیله والتر شوهرارت ارائه گردید، تنها آخرین اطلاعات مربوط به فرآیند را برای تصمیم‌گیری در خصوص آن فرآیند مدنظر قرار می‌دهد و از اطلاعات موجود در آخرین نمونه استفاده می‌کند. اگر پی بردن به وجود تغییرات کوچک مورد نظر باشد، فرآیند میانگین متحرک وزن‌دار نمایی می‌تواند جایگزین خوبی برای فرآیند کنترل شوهرارت باشد:

$$Avg_t = \sum_{i=0}^{t-2} g(1-g)^i x_{t-i} + (1-g)^{t-1} [x_t] \quad (6-4)$$

در روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار نمایی، عامل‌های وزن‌داری که بطور نمایی کاهش پیدا می‌کنند، بر مشاهدات اعمال می‌شوند. شیوه‌ی کار بدین صورت است که به مشاهدات کنونی، اهمیت بیشتر و به مشاهدات قبلی اهمیت کمتری اختصاص داده می‌شود و اوزان اختصاصی به این نمونه‌ها به ترتیب کاهش پیدا می‌کند و همواره کوچکتر می‌شوند اما به صفر نمی‌رسند. فاکتور هموارسازی بکار گرفته شده در رابطه (۵-۴) را می‌توان به شکل درصد نشان داد. این پارامتر از بازه‌ی بین صفر تا یک انتخاب می‌شود؛ مثلاً اگر این مقدار برابر با ۰،۱۲۵ باشد، آنگاه به مشاهده‌ی کنونی اهمیتی معادل با ۱۲.۵ درصد از میزان اختصاصی به کل نمونه‌ها اختصاص داده می‌شود [۴۱].

یک نمونه‌ی عملی از روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار نمایی، در پروتکل TCP است که در لایه‌ی انتقال پشتی پروتکلی شبکه‌های کامپیوتری مدل OSI جای گرفته است. در این پروتکل از شیوه‌ی زمان انقضای و ارسال مجدد<sup>۱</sup> برای بازیابی قطعه‌های گم شده استفاده می‌شود. برای برآورده زمان مورد نیاز برای تنظیم زمان‌سنج [۴۴]، می‌بایست از زمان رفت و برگشت استفاده کرد؛ یعنی زمانی که یک قطعه ارسال می‌شود تا زمانی که تاییدیه‌ی آن بسته برگردانده می‌شود. در غیر این صورت ارسال‌های مجدد بی‌رویه‌ای خواهیم داشت [۳].

---

<sup>۱</sup> Timeout/Retransmit

برای نمایش میانگین متحرک وزن دار نمایی مجموعه‌ی نمونه‌های زمانی، که تعداد بسته‌های علاقه‌ی جمع‌آوری شده در هر لحظه‌ی زمانی از هر مسیریاب محتوایی می‌باشد، از رابطه‌ی (۵-۴) استفاده می‌شود:

$$PI\_Avg(t) = (g \times New\_PI\_Sample(t)) + ((1-g) \times PI\_Avg(t-1)) \quad (7-4)$$

که در آن ( $New\_PI\_Sample(t)$ ) نمونه‌ی حاصل از تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در مسیریاب کنونی در لحظه‌ی  $t$  و ( $PI\_Avg(t)$ ) میانگین متحرک وزن دار نمایی و همچنین یک برآورد از نمونه‌ها می‌باشد. در اینجا واژه‌ی برآورد به دلیل عدم قطعیت حاصل از اعمال پارامتر  $g$  است. این پارامتر ضریبی برای اهمیت بخشیدن به نمونه‌ی فعلی به هنگام هموارسازی آن با کمک نمونه‌های قبلیش می‌باشد.

از آنجایی که داشتن برآورده از تغییرات پیش‌بینی‌های انجام‌گرفته از نمونه‌های قبلی، مطلوب می‌باشد در این روش برای مرتبه‌ی دوم، میانگین متحرک وزن دار دیگری از اختلاف نمونه‌ی کنونی با مقدار میانگین متحرک وزن دار محاسبه شده در همین بازه‌ی زمانی بدست می‌آید تا به گونه‌ای نوسانات نمونه‌ها از مقدار میانگین نیز در برآورد اصلی دخیل شود:

$$PI\_Dev(t) = PI\_Dev(t-1) + g' \left( \frac{|New\_PI\_Sample(t) - PI\_Avg(t)|}{PI\_Dev(t-1)} \right) \quad (8-4)$$

حال با جمع دو مقدار میانگین اصلی و نیز ضریبی از مقدار انحراف از معیار، برآورده از تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب در لحظات مختلف زمانی بدست می‌آید:

$$Estimated\_PI(t) = PI\_Avg(t) + 0.1 \times PI\_Dev(t) \quad (9-4)$$

در پروتکل تنظیم زمان‌سنج در TCP، برای اعمال حاشیه‌ای که از تغییرات پیش‌بینی‌های انجام‌گرفته بدست می‌آید، بر طبق شبیه‌سازی‌ها، از ضریب چهار [۴۳] استفاده شده است. حال آنکه در این پژوهش تغییرات با ضریب ۰.۱ اعمال می‌شوند. بسته به کاربرد مورد نظر این ضریب قابل تغییر است.

برای محاسبه‌ی میانگین وزن دار نمایی از تعداد بسته‌های برآورده شده در هر مسیریاب در فواصل زمانی مختلف، با استفاده از رابطه‌ی (۵-۴)، رابطه‌ی (۱۰-۴) حاصل می‌شود:

$$HI\_Avg(t) = g \times New\_HI\_Sample(t) + (1-g) \times HI\_Avg(t-1) \quad (10-4)$$

سپس با محاسبه‌ی میانگین متحرک وزن دار نمایی از اختلاف نمونه‌ی کنونی به ازای تعداد بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده در مسیریاب کنونی، با مقدار میانگین متحرک وزن دار محاسبه شده، رابطه‌ی (۱۱-۴) حاصل می‌شود:

$$HI\_Dev(t) = HI\_Dev(t-1) + g \left( \frac{|New\_HI\_Sample(t) - HI\_Avg(t)|}{HI\_Dev(t-1)} \right) \quad (11-4)$$

در گام آخر نیز با اعمال ضریبی از میزان انحراف از معیار بدست آمده، برآورد نهایی برای نمونه‌ی زمانی لحظه‌ی  $t$  به ازای تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر بدست می‌آید:

$$Estimated\_HI(t) = HI\_Avg(t) + 0.1 \times HI\_Dev(t) \quad (12-4)$$

#### ۴-۴- روش ترکیب داده‌ی تحلیل مؤلفه‌های اساسی

پس از جمع‌آوری این اطلاعات، نیاز به ترکیب آن‌ها و همچنین یافتن همبستگی موجود در بین اطلاعات جمع‌آوری شده می‌باشد.

همان‌طور که در فصل دوم به آن اشاره شد، در این پژوهش از دو پارامتر پویا، نظیر بسته‌های علاقه‌ی منظر و بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده در یک مسیریاب استفاده شده است. برای استفاده از مزایای اختصاص حافظه با کمک پارامترهای مرکزیت گراف و نیز پارامترهای کوتاه‌مدت زمان اجرای شبکه، با استفاده از روش کم‌هزینه‌ی تحلیل مؤلفه‌های اساسی برای ترکیب چند دسته داده، به گونه‌ای مهم‌ترین شاخص‌ها از پارامترهای جمع‌آوری شده، استخراج می‌شوند. در واقع هر پارامتر به گونه‌ای نشان‌دهنده‌ی میزان اهمیت یک مسیریاب است. هر قدر که میزان همبستگی بین سه مقدار بدست آمده از هر پارامتر بیشتر باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که آن مسیریاب دارای اهمیت ویژه‌ای نسبت به دیگر مسیریاب‌ها می‌باشد. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی، می‌توان همبستگی موجود در بین چند دسته داده را بدست آورده و به ازای هر نمونه، میزانی به اهمیت هر مسیریاب اختصاص داد. روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی به تحلیل ماتریس همبستگی و کواریانس مجموعه‌ی داده‌ها می‌پردازد. هدف از بکارگیری روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی این است که با استخراج اطلاعات مهم و همبسته از جدول داده‌ها، یک مجموعه‌ی متعامد از متغیرها، که در واقع همان مؤلفه‌های اساسی هستند، تشکیل داده شود؛ سپس داده‌ها بر روی آن بردارها در فضای جدید افکنده<sup>۱</sup> خواهند شد. با کمک ماتریس کواریانسی که به ازای ماتریس داده بدست می‌آید، مقادیری که نشان‌دهنده‌ی نحوه‌ی همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری شده به ازای هر مسیریاب می‌باشند را تعیین می‌کند. سپس از ماتریس کواریانس برای تعیین بردارهای پایه‌ی زیرفضای جدید استفاده می‌شود. پس از آن، داده‌ها در زیرفضای جدید افکنده می‌شوند. خصوصیتی که راهکار تحلیل مؤلفه‌های اساسی دارد در این است که به ازای افکنش حاصل از اولین بردار پایه، بیشترین میزان همبستگی بین داده‌ها به نمایش درآمده است ولی به ازای افکنش بر روی بردارهای بعدی این همبستگی کمتر می‌شود. لذا از این روش، برای نمایان ساختن الگوهای نهفته در داده‌ها استفاده می‌شود تا با بکارگیری شیوه‌ی فشرده-سازی مربوطه، ابعاد کم‌اهمیت حذف شوند.

---

<sup>1</sup> Projected

این الگوریتم از لحاظ محاسباتی به صرفه است و می‌توان با افزایش تعداد پارامترهای جمع‌آوری شده از هر مسیریاب NDN، به بررسی دقیق‌تر اهمیت هر مسیریاب محتوایی دست یافت. مؤلفه‌های اساسی را می‌توان به عنوان ورودی به الگوریتم‌های خوشبندی نیز تحويل داد.

برای ترکیب داده‌ها می‌بایست مقادیر بدست آمده به ازای تمام مسیریاب‌ها را جمع‌آوری کرد. به بیان ریاضیات جبری، می‌توان این مقادیر را در یک ماتریس داده‌ای قرار داد. در این ماتریس، سطرهای هر ماتریس نشان‌دهنده اطلاعات مربوط به هر مسیریاب میانی شبکه می‌باشد، از طرف دیگر ستون‌های آن مربوط به مقادیر متغیرهای بدست آمده به ازای هر مسیریاب می‌باشد. می‌توانید تعداد این متغیرها را افزایش دهید و پارامترهای بیشتری را به ازای هر مسیریاب محاسبه کنید تا به گونه‌ای اهمیت هر مسیریاب بهتر جلوه داده شود.

سه متغیر حاصل دارای مقادیر متفاوت و مقیاس‌های مختلفی هستند. از آنجایی که داده‌ها از منابع متفاوت بدست آمده‌اند، در گام نخست می‌بایست پیش‌پردازش‌هایی<sup>۱</sup> صورت پذیرد. داده‌هایی که قرار است با یکدیگر ترکیب شوند، در بردارهای جداگانه‌ای قرار داده می‌شوند. سپس برای هر بردار، میانگین داده‌ها محاسبه شده و از بردار اولیه تفریق می‌شود. این عمل موجب می‌شود تا داده‌ها، در حول مقدار صفر قرار داده شوند. همچنین در صورتی که داده‌ها دارای مقیاس‌های متفاوتی باشند، با حذف مقیاس، مقادیر آن قابل مقایسه خواهند بود. برای یکسان‌سازی مقیاس داده‌ها، می‌بایست پس از اعمال مرکزیت صفر بر روی داده‌های هر متغیر، هر نقطه‌ی داده‌ای بر مقدار انحراف از معیارش تقسیم شود، تا پراکندگی موجود در مجموعه داده‌ها از بین برود (مثلاً مقادیر مرکزیت میانگی، بازه‌ی بزرگتری را نسبت به ترافیک خروجی از هر گره و نیز درخواست‌های کاربران داشته باشد). با کمک این روش و با حذف پراکندگی هر مجموعه داده، مقیاس تمام متغیرها یکسان می‌شود. با این کار داده‌ها در بازه‌ی بین مقادیر صفر تا یک قرار می‌گیرند. همان‌طور که در فصل دوم نیز به این موضوع اشاره شد، به این عمل اصطلاحاً نرمال‌سازی امتیازدهی استاندارد<sup>۲</sup> داده‌ها گویند و در صورتی که مقیاس ویژگی‌ها با یکدیگر تفاوت داشته باشد، مثلاً مقدار داده‌ها برای ویژگی  $x_1$  (میانگین تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب) در بازه  $[1, 5]$  و برای ویژگی  $x_2$  (مرکزیت میانگی هر مسیریاب در شبکه) در بازه‌ی  $[0, 300]$ ، آن‌گاه گام یکسان‌سازی مقیاس ویژگی‌ها<sup>۳</sup> را می‌بایست اجرا کرد؛ در رابطه  $(13-4)$  شیوه‌ی امتیازدهی استاندارد به یک داده از یک مجموعه را مشاهده می‌کنید؛ پس از اعمال این رابطه خروجی در بازه‌ی  $[0, 1]$  قرار می‌گیرد:

$$x = \frac{x - mean}{std\_dev} \quad (13-4)$$

---

<sup>1</sup> Preprocessing

<sup>2</sup> Z-score normalization

<sup>3</sup> Feature scaling

در صورتی که مقدار  $x$  پس از محاسبه‌ی صورت کسر رابطه‌ی (۱۴-۴) منفی باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که مقدار داده‌ای، کمتر از مقدار میانگین آن مجموعه‌ی داده‌ای می‌باشد و در صورتی که مقدار  $x$  مثبت باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که مقدار داده‌ای بزرگتر از مقدار میانگین است. پس از اعمال این مرحله بر مجموعه‌ی مقادیر بدست‌آمده به ازای هر یک از سه متغیر، هر یک از بردارهای ویژگی، دارای میانگین صفر و انحراف از میانگین یک خواهد بود.

در گام دوم از ماتریس داده‌ای بدست‌آمده از مرحله‌ی قبل، یک ماتریس همبستگی ساخته می‌شود که برخلاف ماتریس داده‌ای موجود در این پژوهش، ماتریسی مربعی می‌باشد که به عنوان مثال عنصر موجود در خانه‌ی سطر دوم و ستون اول، نشان‌دهنده‌ی همبستگی موجود در بین متغیرهای دوم و اول است که در اینجا تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر و مرکزیت میانگی می‌باشند:

$$Cov_{i,j} = \frac{1}{(I)} \sum_{q=1}^I X_{q,i} X_{q,j} \quad (14-4)$$

در گام بعدی با محاسبه‌ی بردارهای ویژه‌ی ماتریس کواریانس، بردارهای پایه‌ی زیرفضای جدید تشکیل می‌شوند. از این بردارها برای افکنش بردارهای حاصل از متغیرهای اولیه در زیر فضای جدید استفاده می‌شود:

$$Q_i . Cov = \lambda_i . Cov \quad (15-4)$$

حال با افکنش داده‌ها بر زیر فضای جدید، مختصات داده‌ها در آن فضا بدست می‌آیند. از آنجایی که در این پژوهش تنها هدف بدست‌آوردن یک وزن به ازای هر مسیریاب می‌باشد، لذا تنها اولین بردار پایه که از اولین بیشترین واریانس بین داده‌ها بدست‌آمده، انتخاب می‌شود و دیگر بردارها نادیده گرفته می‌شوند؛ در واقع اولین بردار پایه انتخاب می‌شود که این بردار حاصل بیشترین واریانس بین داده‌ها می‌باشد، در صورتی که بردارهای پایه‌ی دوم و سوم علاوه بر اینکه بر بردارهای اولیه عمود می‌باشند، حاصل از دومین بیشترین واریانس و سومین بیشترین واریانس داده‌ها می‌باشند. در صورت انتخاب تنها یکی از بردارهای پایه و سپس افکنش داده‌ها بر روی آن، مقادیر داده‌ای جدید حاصل می‌شود که حاصل از ترکیب سه بردار داده‌ای قدیمی می‌باشد. با این کار، داده‌ها بر روی برداری نگاشت می‌شوند که حاصل از بیشترین اختلاف بین داده‌ها است و به گونه‌ای با کمک بردار پایه‌ی جدید، تفاوت بین مجموعه داده‌ها نمایان می‌شود. در رابطه‌ی (۱۶-۴) مشاهده می‌شود که با کمک بردار پایه‌ی  $Q$  تصویر مقادیر داده‌ای  $X$  در فضای جدیدی که توسط آن بردار پایه مشخص شده، محاسبه می‌شود:

$$F_{I \times 1} = X_{I \times 3} \cdot Q_{3 \times 1} \quad (16-4)$$

در این رابطه  $I$  تعداد مسیریاب‌های شبکه را نشان می‌دهد.

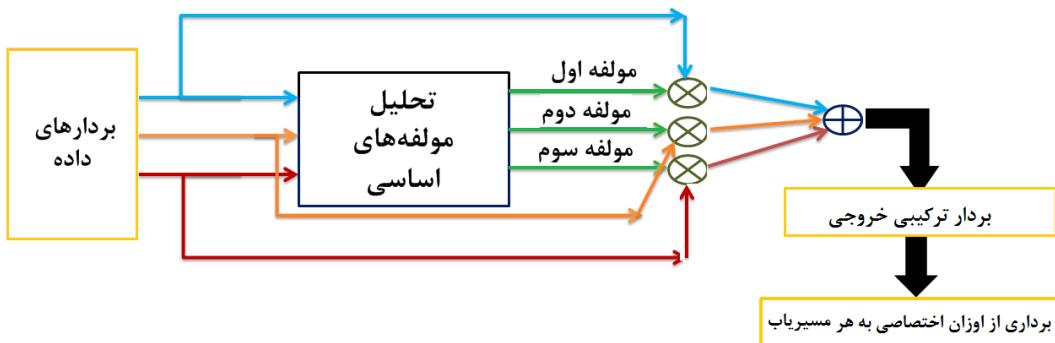
در بخش ۷-۴ خواهید دید که می‌بایست مقادیر بدست‌آمده از مرحله‌ی قبل را برای محاسبه‌ی درجه‌ی اهمیت هر مسیریاب بکار گرفت؛ بدین ترتیب وزنی برای هر گره در نظر گرفته خواهد شد.

#### ۴-۵- نمودار بلوکی ترکیب داده‌ها با کمک الگوریتم PCA

در ادامه می‌بایست بخش ۴-۴ و برای توضیح بیشتر، در این بخش به رسم یک دیاگرام از روش تجمعی داده‌ی موجود در مرجع [۴۴] در این پژوهش پرداخته می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که عناصر بردار  $Q_3 \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  به عنوان ضریبی برای تاثیر هر مؤلفه بر روی عناصر متقابل از هر بردار ظاهر می‌شوند. در اینجا عناصر این بردار، با  $PC$  نشان داده شده‌اند. اگر  $X_1, X_2, X_3$  مقادیر متغیرهای بدست آمده به ازای هر مسیریاب باشند، آنگاه با کمک اوزان بدست آمده، این متغیرها با یکدیگر ترکیب خواهند شد (رابطه‌ی ۱۷-۴):

$$F_{fused}[i] = X_1[i] PC_1 + X_2[i] PC_2 + X_3[i] PC_3 \quad (17-4)$$

برای توضیح بیشتر به شکل ۳-۴ مراجعه کنید. در این شکل مجموعه‌ی بردارهای داده، به الگوریتم PCA اعمال شده و حاصل آن، سه وزن خواهد بود که برای تعیین مقدار ترکیبی در عناصر متناظر بردارهای مجموعه‌ی داده ضرب می‌شوند. عنصر  $i$  در رابطه‌ی (۱۷-۴) نشان‌دهنده‌ی مسیریاب با شناسه‌ی  $i$  در شبکه‌ی NDN است.



شکل ۴-۳. نمودار ترکیب بردارهای داده با الگوریتم تجمعی داده‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اساسی.

#### ۴-۶- محاسبه‌ی اندازه‌ی حافظه‌ی نهان به هر مسیریاب محتوایی

در رابطه‌ی (۱۷-۴) پارامتر  $F_{fused}$ ، مقداری را نشان می‌دهد که از خروجی الگوریتم PCA بدست آمده است. در گام بعد از تمام مقادیر بدست آمده در مرحله‌ی قبل اوزانی بدست می‌آید. لذا خروجی‌های الگوریتم PCA، بر مجموع تمام مقادیر بدست آمده تقسیم می‌شوند تا یک مقدار احتمال، به ازای هر مسیریاب بدست آید ( $w_i$ ). نظری آنچه که در رابطه‌ی (۱۸-۴) آمده است، با کمک اندازه‌ی حافظه‌ی در نظر گرفته شده برای کل شبکه، اندازه‌ی حافظه‌ی هر مسیریاب محاسبه می‌شود:

$$c_i = C_{total} w_i, i \in [1, n], \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (18-4)$$

مقدار بدست آمده از رابطه‌ی بالا نشان می‌دهد که هر گرهی مسیریاب با توجه به اهمیتی که دارد، چه میزان حافظه‌ای را در شبکه‌ی NDN به خود اختصاص داده است.

## ۷-۴- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی این پژوهش، در شش گام قابل اجرا می‌باشد. به غیر از گام دوم، مابقی گام‌ها بطور برون خط قابل اجرا هستند؛ مثلاً در گام اول نیاز به جمع‌آوری اطلاعات اجرایی از شبکه خواهد بود و می‌توان به گونه‌ای اطلاعات آن را تنها با استفاده از ساختار گراف شبکه‌ی و با در دست داشتن ماتریس مجاورت گراف، بدست آورد. در صورتی که هر یک از گره‌های شبکه دارای مقدار قابل توجهی برای هر یک از پارامترهای جمع‌آوری شده باشند، با توجه به اهمیت هر یک از سه متريک مورد نظر، آن پارامتر تاثير خود را نشان خواهد داد و در تعیين درجه‌ی اهمیت آن گره موثر واقع خواهد شد.

## ۸-۴- جمع‌بندی

در این فصل به شرح راه حل پیشنهادی برای اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به مجموعه‌ی مسیریاب‌های محتوایی میانگی در شبکه‌ی NDN پرداخته شد. لذا پس از اشاره به پارامترهای در نظر گرفته شده، که شامل پارامترهای کوتاه‌مدت و پارامتر بلند‌مدت مرکزیت هر مسیریاب بوده است، به نحوه‌ی ترکیب این دو نوع از معیارها پرداخته شد. سپس برای معیارهای لحظه‌ای دو روش هموارسازی و میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار شرح داده شد. خصوصیت بارز روش‌های میانگین‌گیری، تاثیرپذیری هر نمونه از رفتار نمونه‌های زمانی قبل از خود می‌باشد. پس از جمع‌آوری سه متغیر به ازای هر مسیریاب از روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی برای ترکیب این دسته از متغیرها استفاده شد. در صورتی که تعداد متغیرها به ازای هر مسیریاب بیشتر باشد، می‌توان از دیگر متغیرهای متأثر در اهمیت هر مسیریاب نیز، علاوه بر متغیرهای ذکر شده در این تحقیق استفاده کرد. در پایان و در روش پیشنهادی سوم به ترکیب پنج متغیر بدست آمده از هر مسیریاب با کمک الگوریتم ترکیب مؤلفه‌های اساسی پرداخته شد.

### الگوریتم ۴-۱. الگوریتم پیشنهادی اول برای اختصاص حافظه‌ی نهان

(۱) محاسبه‌ی مرکزیت میانگی هر مسیریاب از شبکه،

(۲) برای هر مسیریاب:

شمارش تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر موجود در جدول بسته‌های علاقه و تعداد بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده در حافظه‌ی نهان در یک بازه‌ی زمانی،

(۳) برآورده میانگین متحرک وزن‌دار تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر و بسته‌های علاقه‌ی برآورده،

(۴) اعمال الگوریتم  $PCA$  برای تجمیع داده، بر روی بردارهایی از:

(میانگی، میانگین متحرک وزن‌دار (خطی/نمایی) از تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر، میانگین متحرک وزن‌دار (خطی/نمایی) از تعداد بسته‌های علاقه‌ی برآورده شده)،

(۵) اختصاص وزن به خروجی الگوریتم  $PCA$  به ازای هر مسیریاب،

(۶) با در نظر گرفتن یک اندازه‌ی کلی برای حافظه‌های شبکه، اختصاص قسمتی از این حافظه‌ی کلی به هر مسیریاب NDN



## فصل پنجم

### شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

#### ۱-۵- مقدمه

در این فصل با استفاده از سناریوهای واقعی NDN، به شبیه‌سازی عددی طرح پیشنهادی و مقایسه‌ی آن با دیگر طرح‌ها پرداخته می‌شود. در بین پارامترهای قابل تنظیم، می‌توان به اندازه‌ی حافظه‌ی نهان، اندازه‌ی لیست فایل‌ها و پارامترهای توزیع محبوبیت یا زیف اشاره نمود. بررسی‌ها پیرامون تاثیر پارامترهای بلندمدت ساختار شبکه و نیز پارامترهای کوتاه‌مدت زمان اجرای شبکه می‌باشند. تمام بررسی‌ها در بستر شبیه‌سازی انجام گرفته است. برای این‌کار از شبیه‌ساز شبکه‌ی ndnSIM [۴۵] استفاده شده است. در نهایت روش پیشنهادی با روش‌های یکنواخت و غیریکنواخت اختصاص اندازه به حافظه‌ی مسیریاب‌ها، با کمک سه پارامتر ارزیابی، مقایسه خواهد شد.

#### ۲-۵- شبیه‌سازهای موجود برای معماری NDN

در بین معماری‌های ICN، NDN خود یک اکوسیستم کامل‌تری می‌باشد که شامل یک ابزار توسعه‌ی نرمافزار با نام CCNx، ابزارهای جانبی و نرمافزارهای شبیه‌سازی از قبیل ndnSIM و ccnSim[46] است. شبیه‌ساز ndnSIM همان‌گونه که در ادامه شرح داده خواهد شد، بر روی رفتار انتقال الگوی NDN تمرکز دارد. از طرف دیگر ccnSim، شبیه‌سازی است که براساس محیط کاری OMNeT++ می‌باشد و بیشتر بر ابعاد ذخیره‌سازی مدل CCN تمرکز دارد و ابعاد دیگری نظریه امنیت و نام‌گذاری را نادیده گرفته است. اخیراً شبیه‌ساز جدیدی با نام Icarus ارائه شده است که به

محققان این امکان را می‌دهد تا بتوانند مطالعات خود را بر روی دیگر معماری‌های ICN نیز مورد ارزیابی قرار دهند [۴۷].

بر طبق توضیحات ارائه شده در رساله‌ی دکتری آقای راسینی که یکی از طراحان ccnSim است، این شبیه‌ساز تحت زبان برنامه‌نویسی C++ و در چارچوب کاری Omnet++، با کد منبع-باز طراحی شده است. با کمک این شبیه‌ساز می‌توان سناریوهایی با حجم حافظه‌ی بالا، نظری  $10^6$  عدد قطعه‌ی داده‌ی ده کیلوبایتی، از لیستی با  $10^4$  عدد فایل محتوایی شبیه‌سازی کرد. البته در این شرایط به کامپیوتراًی با حجم حافظه‌ی دسترسی تصادفی (RAM) در حدود ۸ گیگا بایت نیاز است [۱۸].

## ۱-۲-۵- شبیه‌ساز ns-3 و ndnSIM

شبیه‌ساز شبکه‌ی ns-3<sup>۱</sup> [۴۸]، یک شبیه‌ساز رخداد-گسسته است که برای کارهای تحقیقاتی و آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار با کد منبع-باز و به صورت کاملاً آزاد در اختیار می‌باشد. پروژه‌ی ns-3 در سال ۲۰۰۶ رسماً آغاز شد؛ اما اولین نسخه‌ی آن در ماه ژوئیه‌ی سال ۲۰۰۸ منتشر گردید. از مزیت‌های این شبیه‌ساز می‌توان به این اشاره کرد که کدهای کمتری را در مقایسه با دیگر شبیه‌سازها برای تبدیل به یک پیاده‌سازی در دنیای واقعی نیاز دارد [۴۹].

طراحی شبیه‌ساز ndnSIM، از الگوی شبیه‌سازی‌های شبکه در ns-3 تبعیت می‌کند و برای تمامی مؤلفه‌ها و واحدها، بیشینه حد انتزاع در نظر گرفته می‌شود. در ndnSIM یک پشتی پروتکلی مستقل، مشابه پشتی پروتکل‌های اینترنت نسخه‌ی چهار و شش طراحی شده است. این پشتی می‌تواند بر روی گره شبیه‌سازی شبکه نصب شود. علاوه بر پشتی پروتکلی هسته، ndnSIM شامل تعدادی کاربرد، کلاس‌هایی جهت ساده‌سازی ساخت سناریوهای شبیه‌سازی و همچنین ابزارهایی برای جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد [۴۵].

همان‌طور که در فصل اول اشاره شد، معماری NDN شامل تعدادی مؤلفه است که علاوه بر فراهم نمودن تطابق این معماری با دیگر پروتکل‌ها، قابلیت‌های دیگری را نیز به معماری شبکه‌ی امروزی اضافه می‌کند. در شبیه‌ساز ndnSIM این مؤلفه‌ها به طور کامل پیاده‌سازی شده‌اند. در ادامه این مؤلفه‌ها بطور خلاصه توضیح داده می‌شوند (شکل ۱-۵) [۴۵]:

- این مؤلفه مسئول پیاده‌سازی تعاملات هسته‌ی پروتکل NDN است.
- این تعاملات شامل دریافت بسته‌های علاقه و داده از لایه‌های بالا و پایین شبکه از طریق رابطه‌ای باشد.
- این واحد، ارتباطات یکنواختی را با کاربردها و دیگر گره‌های شبیه‌سازی، به کمک واحدهایی برای کنترل ازدحام در پیوندها، فراهم می‌کند.
- این مؤلفه از ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای حمایت می‌کند.

<sup>۱</sup> Network Simulator-3 (NS-3)

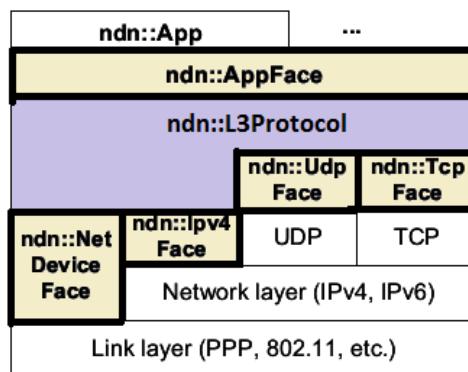
- ndn::Pit: جدول بسته‌های علاقه‌ی منظر، ردپایی (به ازای هر پیشوند نام) از رابطه‌ایی که بسته‌های علاقه را دریافت کرده‌اند، نگه می‌دارد.
- ndn::Fib: واحدی برای حفظ اطلاعات هدایت بسته‌های علاقه می‌باشد. از این جدول برای ارسال بسته‌های علاقه به سمت تولیدکننده‌ی محتوا استفاده می‌شود.
- ndn::ForwardingStrategy: واحدی برای پیاده‌سازی مسیر هدایت بسته‌های علاقه و متعاقباً بسته‌های داده است که با قواعد و قوانین متفاوتی طرح شده‌اند. با استفاده از این قواعد، می‌توان جدول مبنا برای هدایت اطلاعات را تکمیل نمود. هر راهبردی را می‌توان به صورت یک کلاس به نمایش در آورد و گام‌های مختلف در اجرای فرآیند هدایت را، با فراخوانی یک تابع پیاده‌سازی کرد.

در این شبیه‌ساز، واحد ndn::L3Protocol یک موجودیت مرکزی در معماری NDN در نظر گرفته شده است که حاصل از پیاده‌سازی پروتکل CCNx می‌باشد. از لحاظ تطبیق آن با معماری TCP/IP می‌توان گفت این لایه با پروتکلهای معادل خود، یعنی IPv4L3Protocol و IPv6L3Protocol همخوانی دارد. این لایه، یک تجمعی‌کننده‌ی مؤلفه‌های منطقی برای تمام کانال‌های ارتباطی لایه‌ی کاربرد و لایه‌های زیرین است و مدیریت بسته‌های ورودی را انجام می‌دهد.

برای مطالعه‌ی بیشتر در مورد نسخه‌ی جدید این شبیه‌ساز و گزارشات ارائه شده پیرامون پروتکلهای موجود در بستر NDN، به مرجع [۵۰] مراجعه کنید.

### ۳-۵- پارامترهای قابل تنظیم در شبیه‌ساز ndnSIM برای سناریوهای NDN

برای پیاده‌سازی الگوریتم موردنظر در بستر شبیه‌ساز می‌توان پارامترهای ذکر شده در جدول ۱-۵ را تنظیم کرد. این پارامترها برای پیاده‌سازی سناریوی ساده‌ای از یک شبیه‌سازی از شبکه‌ی NDN ضروری می‌باشند.



شکل ۱-۵. لایه‌ی ارتباطی برای سناریوهای شبیه‌ساز ndnSIM [۴۵].

همان‌طور که در مرجع [۲۶] ذکر شده است، از آن‌جایی که ممکن است قطعه‌های داده‌ی با اندازه‌ای کوچکتر از یک کیلوبایت در شبکه از بین بروند، لذا اندازه‌ی هر قطعه قابل انتقال، یک

کیلوبایت انتخاب می‌شود. این در حالی است که در شبکه‌های CDN این مقدار برابر با شصت کیلوبایت، در شبکه‌های همتا-به-همتا بطور میانگین دو مگابایت و در دیگر معماری‌های اطلاعات-محور شانزده مگابایت انتخاب می‌شوند. اما در شبکه‌های محتوا-محور به دلیل سربار نام‌گذاری هر بسته‌ی محتوایی و نیز سربار مربوط به مسائل امنیتی هر بسته، اندازه‌ی مناسب ده کیلو بایت انتخاب شده است.

یکی دیگر از پارامترهای تنظیم شده، تعداد قطعه‌های محتوایی است که نشان می‌دهد، برای آن شی خاص چه تعداد قطعه موجود است؛ به عبارت دیگر این موضوع بیان‌گر تعداد قطعه‌های هر محتوا می‌باشد. بر طبق گزارشی که در سال ۲۰۱۱ توسط شرکت سیسکو [۳۱] به چاپ رسید، محتویات به چهار نوع کاربرد مختلف دسته‌بندی شدند (در فصل سوم نیز به این موضوع اشاره شد): محتوای وب با پروتکل لایه‌ی کاربرد HTTP، محتوای فایل به اشتراک‌گذاری شده، محتویات چندرسانه‌ای نظری ویدئو و در نهایت محتویات تولیدی توسط کاربر. این محتویات توزیع‌های محبوبیت و نیز اندازه‌ی متوسط متفاوتی دارند. در ادامه به هر یک از پارامترها به طور جداگانه پرداخته خواهد شد.

**جدول ۵-۱. پارامترهای تنظیم شده برای شبیه‌سازی سناریوهای NDN**

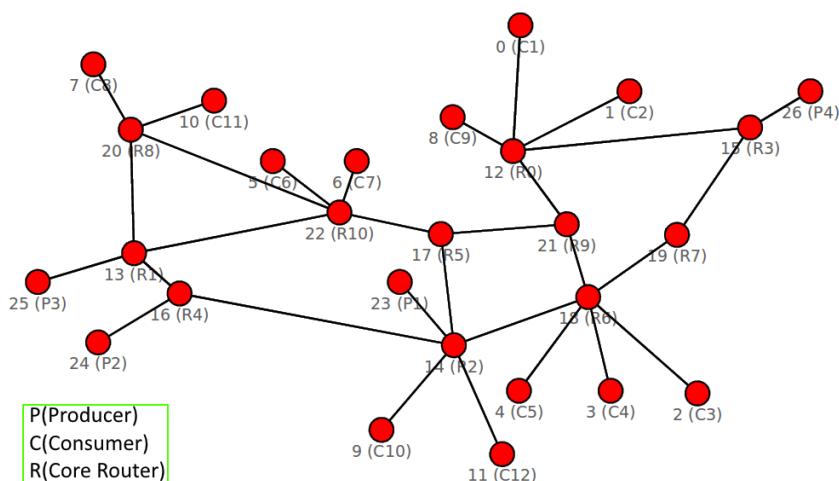
پارامتر	تعریف	مقدار
شبکه	اندازه‌ی هر قطعه‌ی داده	ده کیلو بایت
	اندازه‌ی حافظه‌ی نهان	۱۰ مگابایت تا ۱ گیگابایت
	اندازه‌ی شبکه	۲۷ گره
	ساختار شبکه	آبیلن با یازده عدد گرهی میانی
	نرخ ارسال بسته‌های علاقه در هر ثانیه	۲۰ عدد در هر ثانیه
	زمان شبیه‌سازی	۵۰۰ ثانیه
	تعداد اجراهای با مقادیر تصادفی اولیه متفاوت	۱۰ عدد که با توزیع نرمال تولید شده
لیست	اندازه‌ی لیست محتویات	$10^5$ و $10^7$
	اندازه‌ی هر فایل محتوایی درخواستی	۱۰ تا ۱۰۰ مگابایت
	نسبت اندازه‌ی هر حافظه نهان به حاصل ضرب اندازه‌ی لیست در اندازه‌ی هر محتوا (سهم هر کش از لیست)	$[10^{-8}, 10^{-1}]$
محبوبیت	ضریب فلات ( $q$ ) در توزیع محبوبیت زیف	{۰, ۰, ۵, ۵}
	ضریب شکل‌دهی ( $s$ ) در توزیع محبوبیت زیف	[۰, ۰, ۵, ۲, ۵]
ذخیره‌سازی	سیاست جایگزینی	LRU, FIFO

بر طبق ادبیات محتوا-محور [۲۶] که با بررسی و تحلیل پرطرفدارترین سیستم توزیع محتوای تولیدی برای کاربران بدست آمده است، تعداد فایلهایی که هر کاربر می‌تواند درخواست دهد تا حد بیشینه‌ی  $10^7$  عدد فایل در شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است. انتخاب اندازه‌ی هر محتوا به

حیطه‌ی کاربرد مورد بررسی پژوهشگر مرتبط است. برای آگاهی از اندازه‌های معمول در شبکه می‌توانید به مرجع [۳۲] مراجعه کنید.

### ۱-۳-۵- ساختار آبیلن

برای ارزیابی نتایج، از ساختار Abilene[51] استفاده شده است. این ساختار، اکثر دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی را در کشور آمریکا به یکدیگر متصل می‌کند. همان‌طور که در شکل (۲-۵) مشاهده می‌شود، به گره‌های میانی و یا هسته‌ی شبکه، تعداد چهار عدد گرهی تولید‌کننده، در نقاط دلخواه، متصل شده است. همچنین برای ارسال درخواست‌های کاربران به سمت این گره‌ها، به تعداد دوازده عدد گرهی مصرف‌کننده، برای تولید بسته‌های علاقه، در نقاط دلخواه قرار داده شده است.



شکل ۲-۵. ساختار شبکه‌ی شبیه‌سازی با ساختار میانی آبیلن و تعداد دوازده عدد مصرف‌کننده.

### ۲-۳-۵- پارامترهای توزیع محبوبیت زیف

مطالعات موجود در مرجع [۲۶] نشان می‌دهند که توزیع محتوا برای هر کدام از کاربردها از توزیع محبوبیت زیف و یا یکی از تغییریافته‌های آن، زیف-مندلبرات، تبعیت می‌کند (رابطه‌ی ۲-۶). به زبان ساده‌تر هر محتوا، با کمک مرتبه‌ی محبوبیتش نشان داده می‌شود (محتوا شماره‌ی یک، پرطرفدارتر از محتوا شماره‌ی دو است و...). این توزیع با یک پارامتر شکل‌دهی (پارامتر  $\beta$ ) تنظیم می‌شود که میزان درخواست‌های محتوا را نشان می‌دهد [۲۹].

با کمک این توزیع احتمال، می‌توان تعداد محتویات پرطرفدار شبکه را یافت؛ مثلاً از مجموع تعداد ده میلیون عدد محتوایی که در لیست فایل‌های قابل انتخاب توسط هر مشتری موجود است، می‌توان دریافت که نود درصد از درخواست‌های کاربران شبکه به سمت چه تعدادی از فایل‌های محتوایی گسیل داده می‌شوند (جدول ۲-۵) و بدین گونه در حدود نود درصد از درخواست‌های کاربران برای این تعداد از فایل‌ها ارسال خواهند شد و بقیه‌ی محتویات از مجموعه‌ای خواهند بود که درخواست‌های کمتری را به خود اختصاص می‌دهند و احتمال برخورد کمتری، در مسیریاب‌های میانی شبکه خواهند

داشت؛ اما در صورت ذخیره‌سازی محتویات پرطرفدار احتمال برخورد آن‌ها در ذخیره‌گاه‌های میانی شبکه به میزان بیشتری خواهد بود.

می‌توان با تنظیم پارامترهای  $s$  و  $q$  میزان محبوبیت محتویات را تغییر داد؛ مثلاً محتوای تولیدی توسط یک تولیدکننده، محبوبیت بیشتر و محتوای تولیدکننده دیگری محبوبیت کمتری را به خود اختصاص دهد و یا یک محتوا که توسط یک تولیدکننده تولید می‌شود محبوبیت بیشتر و یک محتوای تولیدی دیگری توسط همان تولیدکننده محبوبیت کمتری را داشته باشد. مقادیر انتخابی برای پارامترهای  $s$  و  $q$  را می‌توان از مراجع [۲۶]، [۳۱] و [۳۲] تعیین نمود.

جدول ۲-۵. تعداد محتویات پرطرفدار از لیستی با تعداد  $^{۱۰}$  عدد محتوا.

$s$	$q$	*	پارامتر $q$ پارامتر $s$
۷۱۰۵۷۸۶	۷۰۷۳۰۱۷	۷۰۵۵۶۹۱	۰,۷
۲۹۵۳۴۱۵	۲۳۶۶۴۳۷	۱۸۸۳۳۵۳	۱
۱۲۱۸۵۹	۲۲۹۱۲	۳۴۰۸	۱,۲۵
۴۸۰۲	۵۳۹	۵۸	۱,۵
۴۵۵	۵۰	۶	۲

برای تحلیل و پیاده‌سازی اطلاعات مربوط به شبکه‌های NDN، در بستر شبیه‌ساز ndnSIM، از مجموعه‌ی مقالات موجود در وبسایت این شبیه‌ساز نیز استفاده شد [۵۲] و [۵۳]. همچنین با کمک سوالات مطرح شده در فهرست پست‌الکترونیکی ns-3 [54] و نیز گروه اینترنتی شبیه‌ساز ns-3 [55] به پیاده‌سازی کدهای مربوطه پرداخته شد.

#### ۴-۵- نتایج حاصل از الگوریتم‌های مرکزیت گراف شبکه

پس از این مراحل، می‌بایست مقادیر مرکزیت میانگی هر مسیریاب و نیز مرکزیت درجه‌ی آن محاسبه شود. برای محاسبه‌ی مقادیر مرکزیت میانگی به ازای یک ساختار معلوم، از الگوریتم (۱-۳) استفاده می‌شود. این الگوریتم در شبیه‌ساز ns-3 پیاده‌سازی شده است. البته می‌توان این الگوریتم را به صورت برون‌خط، برای هر گراف شبکه نیز اجرا کرد. نتایج بدست‌آمده به ازای هر مسیریاب میانی شبکه، در جدول (۳-۵) نشان داده شده است:

جدول ۳-۵. مقادیر مرکزیت میانگی به ازای هر مسیریاب.

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0
۱۰۳	۱۰۷	۴۹	۲۲	۱۱۷	۱۱۲	۵۶	۲۹	۱۳۰	۴۸	۹۰

از آنجایی که برای ساختار آبیلن، طرح اختصاص اندازه به حافظه‌های نهان براساس مرکزیت درجه‌ی هر مسیریاب، عملکرد نسبتاً مناسبی نداشته است، لذا مقایسه‌ی طرح پیشنهادی با این طرح انجام می‌شود. مرکزیت درجه‌ی هر مسیریاب که از تعداد پیوندهای متصل به آن بدست می‌آید، به قرار زیر است:

جدول ۴-۵. مقادیر مرکزیت درجه، به ازای هر مسیریاب.

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	R0
۵	۳	۴	۲	۶	۳	۲	۳	۶	۴	۵

**۴-۵-۱- پردازش داده‌ها با کمک پیاده‌سازی‌ها به زبان برنامه‌نویسی پایتون**  
برای تحلیل داده‌ها و پیاده‌سازی الگوریتم ترکیب داده‌های تحلیل مؤلفه‌های اساسی از زبان برنامه‌نویسی پایتون استفاده شد. این زبان برنامه‌نویسی به دلیل محبوبیتش، دارای انجمن‌های اینترنتی به روزی است که پاسخ‌گوی مشکلات نیز هستند.

برای تحلیل داده‌های حاصل از خروجی الگوریتم و همچنین رسم نمودارها، از بسته‌ی کتابخانه‌ای matplotlib استفاده شد که به زبان برنامه‌نویسی پایتون تدارک دیده شده است. با کمک این واحد می‌توان نمودارهایی با کیفیت بالا تهیه کرد و داده‌ها و مدل‌های خود را نمایش داد. لذا نیازی به جابجایی داده‌ها به یک نرم‌افزار دیگر برای تحلیل گرافیکی داده‌ها نمی‌باشد.

**۴-۵-۲- نتایج روش‌های میانگین‌گیری بر روی معیارهای کوتاه‌مدت**  
با اعمال روش‌های میانگین‌گیری مورد استفاده، می‌توان میزان نوسانات نمونه‌ها را در بازه‌های زمانی کوچک کاهش داد؛ بدین نحو که با در نظر گرفتن هر نمونه به همراه نمونه‌های قبل از آن و نیز اختصاص اوزان متفاوت به آن‌ها، رفتار نمونه‌های جدید هموار شود.

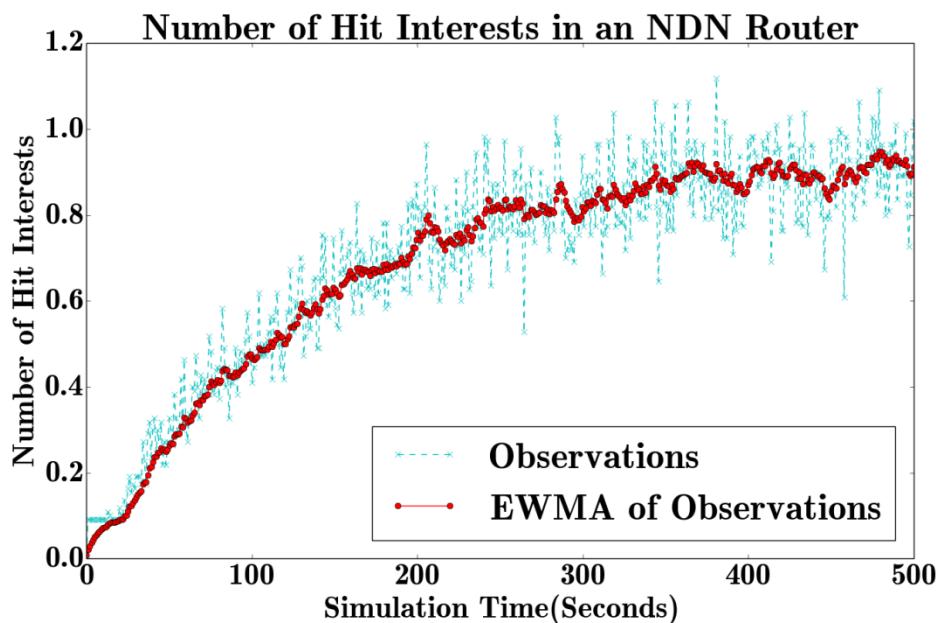
در ابتدا با اختصاص اندازه‌های یکنواخت به تمامی مسیریاب‌های میانی شبکه‌ی آبیلن، به جمع‌آوری اطلاعات مربوطه، همانند تعداد برخوردها و نیز تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب محتوایی، پرداخته می‌شود. این اطلاعات در هر صدم ثانیه جمع‌آوری می‌شوند. سپس بر این مشاهدات دو نوع روش میانگین‌گیری اعمال می‌شود.

### اعمال روش‌های میانگین‌گیری بر پارامترهای طرح پیشنهادی

نمودار شکل (۳-۵) رفتار هموار نمونه‌های پیش‌بینی‌شده را نسبت به نمونه‌های اصلی نشان می‌دهد. از آنجایی که هر نمونه از رفتار نمونه‌های قبل از خود تاثیر می‌پذیرد، لذا رفتار پیش‌بینی‌شده نسبت به رفتار اصلی دارای نوسانات کمتری است.

از طرف دیگر مشاهده می‌شود که تعداد برخوردها با گذشت زمان افزایش می‌یابند، زیرا با افزایش درخواست‌های کاربران شبکه، ذخیره‌گاه‌های مجموعه‌ی مسیریاب‌های میانی شبکه این قابلیت را دارند تا داده‌های محتویات بیشتری را در خود ذخیره کنند؛ زیرا با توجه به قابلیت افزوده شده به مسیریاب‌های میانی، به مرور زمان درخواست‌های کاربران قبل از رسیدن به تولیدکننده‌ی اصلی برآورده می‌شوند.

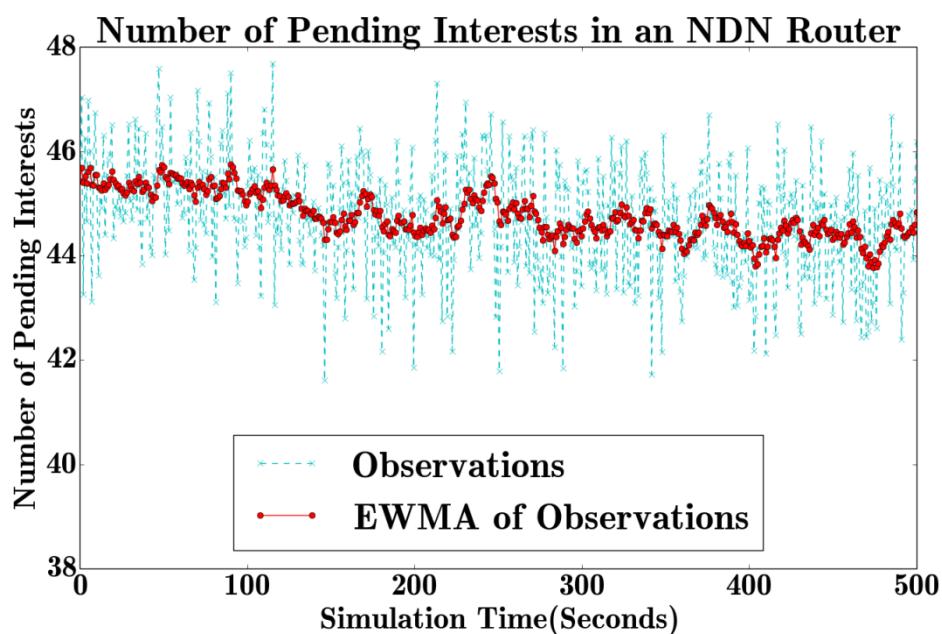
از آنجایی که درخواست‌های کاربران در طول زمان در حالت کلی تجمعیع می‌شوند، لذا تعداد درخواست‌های منتظر در جدول PIT کاهش پیدا می‌کند؛ در نمودار شکل (۴-۵) نیز مشاهده می‌شود که تعداد درخواست‌های منتظر، در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر در طول زمان کاهش یافته است. این رفتار نشان می‌دهد که جدول مذکور این قابلیت را داراست تا هر تعداد درخواست دریافتی برای قطعه‌های داده را، در صورت تطابق با ورودی‌های جدول PIT، دیگر به سمت مسیریاب‌های بالاسو ارسال نکرده و تنها ردپایی از رابطی که از طریق آن به مسیریاب کنونی وارد شده، ثبت نماید. بدین نحو ترافیک درخواست‌ها، بطور میانگین در مجموعه‌ی مسیریاب‌های میانی، کاهش پیدا می‌کند. این نکته قابل ذکر است که در این پژوهش نحوه ارسال درخواست‌ها به طور نمایی تنظیم شده است.



شکل ۵-۳. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش میانگین‌گیری EWMA.

در نمودار (۴-۵) مشاهده می‌شود که تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در مجموعه‌ی مسیریاب‌های میانی شبکه به مرور زمان تا حدودی کاهش پیدا می‌کند. همچنین با اعمال روش میانگین‌گیری EWMA، رفتار مشاهدات هموارتر خواهد شد.

نمودارهای (۵-۵) و (۶-۵) نیز تعداد برخوردها و تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر پس از اعمال روش میانگین‌گیری متحرک وزن دار را در لحظه‌های زمانی مختلف نشان می‌دهند. مشاهدات، حاکی از آن است که رفتار نمونه‌های پیش‌بینی شده، پس از اعمال روش میانگین‌گیری LWMA نسبت به روش میانگین‌گیری EWMA دارای نوسانات بیشتری می‌باشد، زیرا روش LWMA نسبت به روش EWMA از تعداد نمونه‌های کمتری برای پیش‌بینی نمونه‌ی جدید استفاده می‌کند؛ اما روش EWMA، بر روی تعداد نمونه‌های موثر در پیش‌بینی نمونه‌ی جدید، محدودیتی قائل نشده و می‌تواند به هر تعداد از نمونه‌های قدیمی، وزنی اختصاص دهد. این در حالی است که در روش LWMA، وزن اختصاص داده شده به قدیمی‌ترین نمونه از پنجره در نهایت صفر خواهد شد.



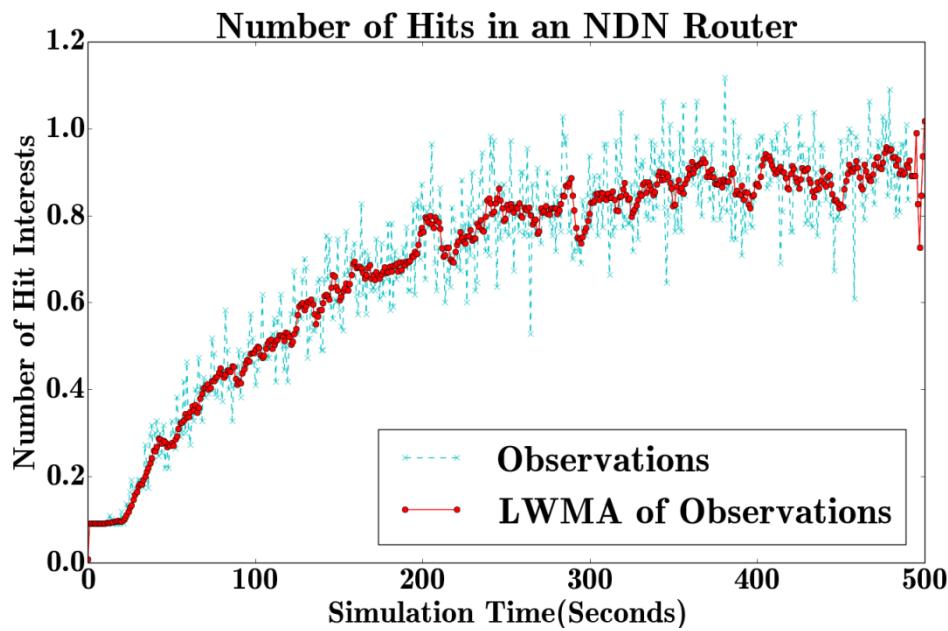
شکل ۵-۴. تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در لحظات مختلف، بطور میانگین در هر مسیر یا با میانگین‌گیری EWMA

روش میانگین‌گیری LWMA را می‌توان در مقابل روش EWMA، در حالتی استفاده کرد که حافظه‌ی کمتری برای ذخیره‌سازی نمونه‌های زمانی قدیمی در دسترس است.

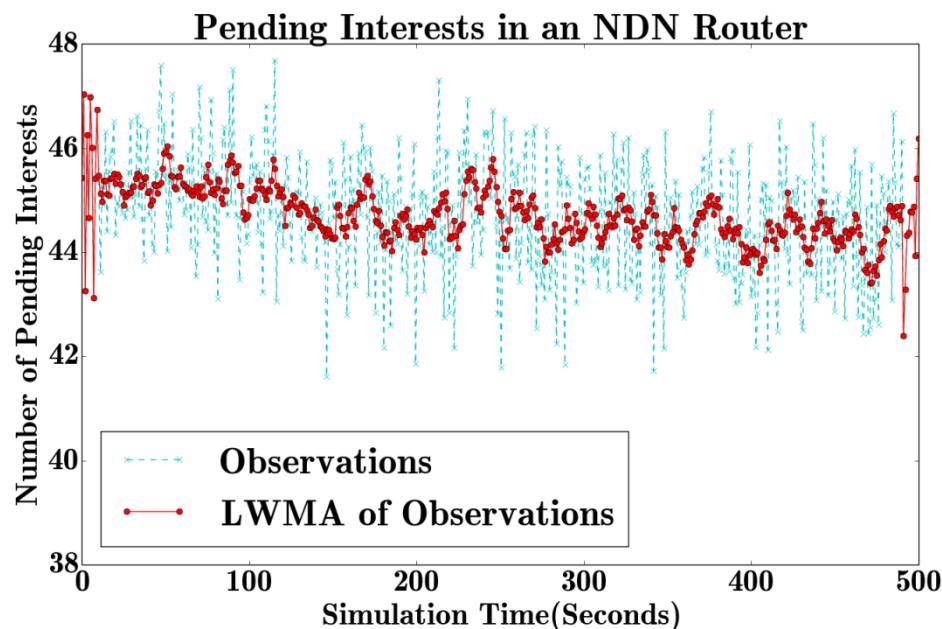
با کمک روش میانگین‌گیری EWMA، می‌توان برای نمونه‌های اولیه نیز برآوردهایی را انجام داد. حال آنکه در روش LWMA، به علت محدودیت در انتخاب تعداد نمونه‌های قدیمی، این برآوردهایی به ازای نمونه‌های اولیه ممکن نیست و می‌بایست با اندازه‌ی پنجره‌ی کمتری این روش را اعمال کرد.

همچنین این نکته قابل ذکر است که میزان اختلاف بدست آمده از پیش‌بینی‌های روش میانگین‌گیری LWMA نسبت به نمونه‌های اصلی، از اختلاف پیش‌بینی‌های روش EWMA نسبت به همان نمونه‌ها، کمتر است. این گونه می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌بینی‌های به عمل آمده توسط روش EWMA از واقعیت دورتر است زیرا تعداد نمونه‌های زمانی بیشتری را نسبت به روش LWMA

در نظر می‌گیرد و حال آنکه روش LWMA در این پژوهش تنها برای پیش‌بینی هر نمونه، از رفتار ده عدد از نمونه‌های قبلی کمک می‌گیرد.



شکل ۵-۵. تعداد برخوردها در لحظات مختلف زمانی، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش میانگین‌گیری LWMA

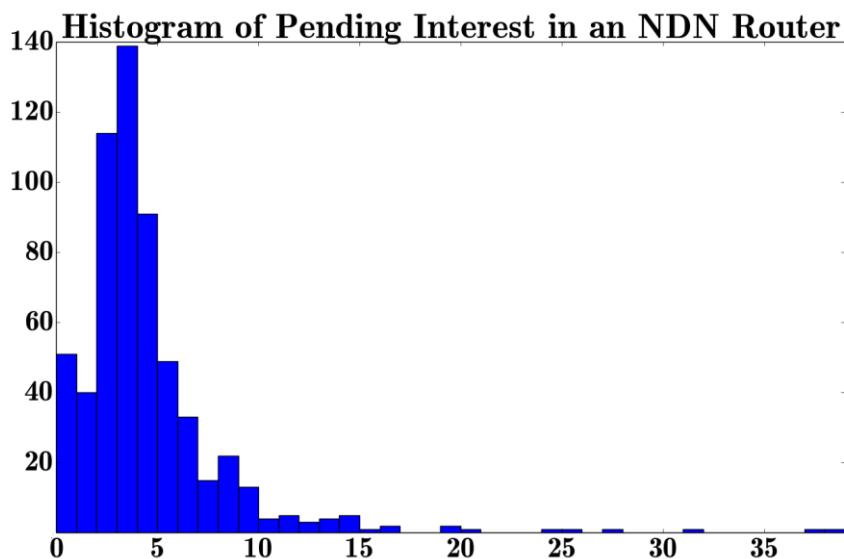


شکل ۵-۶. تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در لحظات مختلف، بطور میانگین در هر مسیریاب با روش میانگین‌گیری LWMA

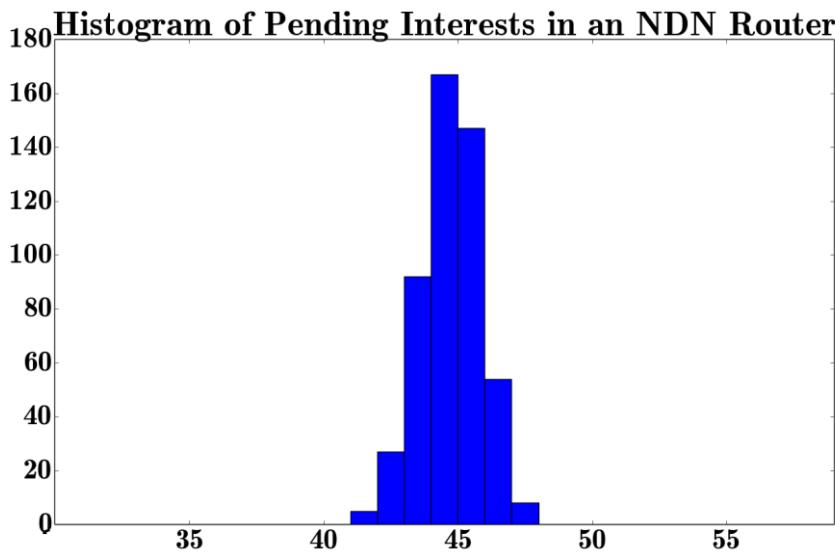
## ۲-۵-۵. فراوانی توزیع بسته‌های علاقه‌ی منتظر

همانطور که در شکل (۷-۵) و (۸-۵) مشاهده می‌شود، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر که حاصل از ورود بسته‌های علاقه به هر مسیریاب NDN هستند، از توزیع پوآسون پیروی می‌کنند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب در فاصله‌ی زمانی شبیه‌سازی دارای توزیع پوآسون می‌باشد. با توجه به اینکه زمان بین ورود بسته‌های علاقه در میانگین تعداد مصرف‌کنندگان شبکه، از توزیع نمایی تبعیت می‌کند، تعداد ورود بسته‌های علاقه به هر مسیریاب نیز، بطور میانگین، از توزیع پوآسون پیروی می‌کند.

در نمودار شکل ۷-۵ مشاهده می‌شود که در برخی حالات هیچ بسته‌ی علاقه‌ی منتظری در جدول PIT وجود نداشته است و همچنین بازه‌ی تغییرات تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر [۰۱۴۰] می‌باشد؛ حال آنکه تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در جدول PIT در نمودار شکل ۸-۵ بیشتر است. این میزان تغییرات بدین دلیل است که برخی از محتویات شبکه در نمودار ۷-۵ نسبت به حالت مورد بررسی در نمودار ۸-۵ محبوبیت بیشتری دارند؛ به دلیل محبوبیت بیشتر تنها بخش کوچکی از محتویات شبکه، حافظه‌های نهان مسیریاب‌های میانی قادر به ذخیره‌سازی آنها می‌باشند و دیگر نیازی به رجوع بسته‌های علاقه به مؤلفه PIT مسیریاب مورد بررسی برای ارسال بسته‌ها به سمت مسیریاب‌های بالادستی نمی‌باشد و دیگر درخواست‌ها منتظر نخواهند ماند؛ این در حالیست که با افزایش و گسترش مجموعه‌ی محتویات درخواستی کاربران و تغییر سلایق مشتریان نسبت به همدیگر، انتظار برای برآورده‌سازی درخواست‌ها افزایش پیدا می‌کند و می‌بایست کاربران زمان بیشتری را منتظر بمانند و دیگر هیچ زمانی جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر خالی نخواهند ماند.



شکل ۷-۵. نمودار هیستوگرام تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب NDN .(s=2, q=0)



شکل ۸-۵. نمودار هیستوگرام تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر مسیریاب NDN .( $s=0.7$ ,  $q=5$ )

#### ۶-۵- پارامترهای ارزیابی

بر طبق دلایل ذکر شده در فصل چهارم، در صورتی که نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان یک مسیریاب زیاد باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که ترافیک بسته‌های داده‌ی ورودی به این گره از نرخ بالایی برخوردار است. اما در صورتی که نرخ برخورد در یک گره پایین باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که بسته‌های داده‌ی کمتری توسط این گره دریافت و ذخیره می‌شود و از هدف اصلی شبکه‌ی NDN که افزایش نرخ برخورد در حافظه‌های میانی شبکه می‌باشد، فاصله گرفته است. لذا می‌توان عملکرد ذخیره‌ساز هر مسیریاب را به شکل احتمال برخورد/عدم برخورد بیان کرد.

احتمال برخورد در حافظه‌های نهان شبکه‌ای، همانند احتمال برخورد در حافظه‌های نهان کامپیوتراهایی شخصی محاسبه می‌شود. این پارامتر نشان‌دهنده‌ی این است که به چه تعداد قطعه‌های محتوایی در حافظه‌ی نهان هر مسیریاب قرار دارد. در صورتی که تعداد قطعه‌های یافتشده در هر مسیریاب نسبت به تعداد قطعه‌های یافتنشده بیشتر باشد، آنگاه احتمال برخورد افزایش پیدا می‌کند و به مقدار یک نزدیک می‌شود. اما در صورتی که تعداد قطعه‌های یافتشده در حافظه‌ی مسیریاب نسبت به تعداد قطعه‌های یافتنشده کمتر باشد، آنگاه احتمال برخورد در حافظه‌ی نهان کاهش پیدا می‌کند و به مقدار صفر نزدیک می‌شود. از این روی، هر قدر که قطعه‌های محتویات درخواستی به میزان بیشتری در حافظه‌ی نهان مسیریاب‌ها موجود باشند، احتمال برخورد افزایش پیدا می‌کند و دیگر نیازی به استخراج محتویات از مخزن دائمی سرویس‌دهنده نمی‌باشد. در نهایت در صورتی که نرخ برخورد در حافظه‌های میانی شبکه افزایش پیدا کند، می‌توان به این نتیجه رسید که درخواست‌ها قبل

از رسیدن به تولیدکننده‌ی اصلی محتوا، توسط مسیریاب‌های میانی برآورده شده‌اند. لذا از افزایش نرخ برخورد در حافظه‌های میانی شبکه، می‌توان بهبود کیفیت روش اختصاص حافظه‌ی نهان به مسیریاب محتوایی را استنتاج نمود. هر قدر درخواست‌های بیشتری در مسیریاب‌های میانی برآورده شوند، درخواست‌های رسیده به تولیدکننده کاهش یافته و هدف اصلی از طراحی شبکه‌ی NDN که افزایش نرخ برخورد در حافظه‌های میانی است، محقق می‌گردد.

برای محاسبه‌ی نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان هر مسیریاب محتوایی، از رابطه‌ی (۱-۵) استفاده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در صورتی که تعداد برخوردها در بازه‌ی زمانی معین  $t$ ، به ازای تمام درخواست‌های دریافتی توسط مسیریاب محتوایی کنونی، برابر با  $Hits(t)$  و همچنین تعداد فقدان‌ها برابر با  $Misses(t)$  باشد، آنگاه می‌توان نرخ برخورد را با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست آورد:

$$HitRatio(t) = \frac{\sum_{requests} Hits(t)}{\sum_{requests} [Hits(t) + Misses(t)]} \quad (1-5)$$

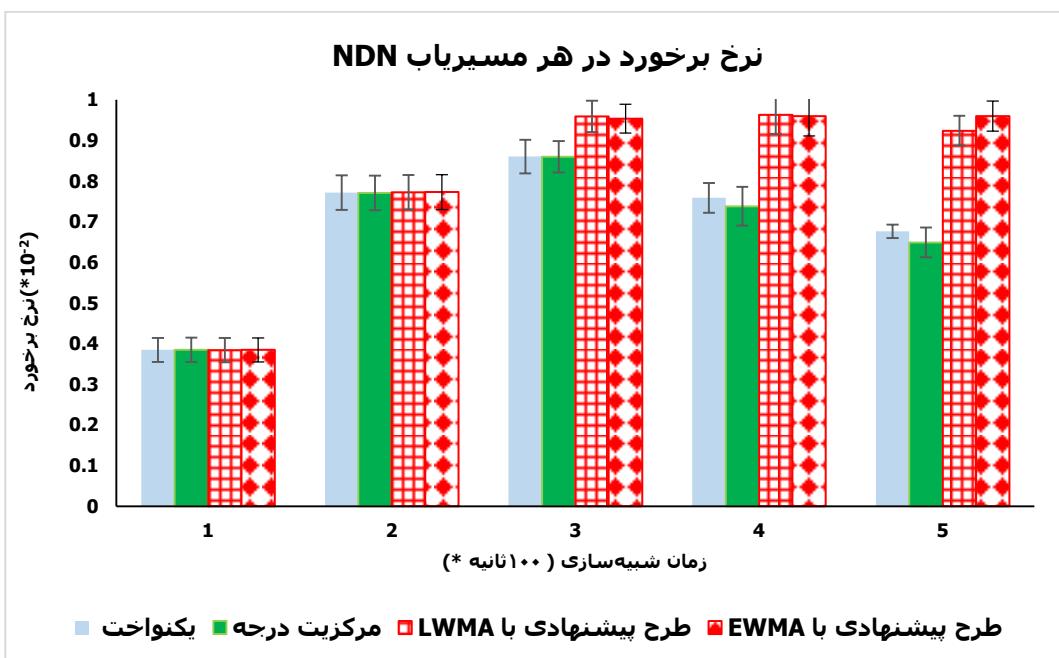
برای مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های حاضر، از روش اختصاص اندازه‌ی یکنواخت [۲۶] و نیز روش اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت براساس میزان مرکزیت درجه‌ی هر گره [۲۸] استفاده شده است؛ زیرا اعمال روش مرکزیت درجه در ساختار شبکه‌ی آبیلن، برخلاف دیگر ساختارها، عملکرد چندان مناسبی نداشته است و مرکزیت درجه‌ی گره‌های این ساختار نسبت به دیگر ساختارها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. از این روی روش پیشنهادی با روش اختصاص غیریکنواخت مرکزیت درجه و روش اختصاص یکنواخت در ساختار آبیلن به مقایسه گذاشته شده است. در نمودار شکل (۹-۵) دو روش پیشنهادی از لحاظ نرخ برخورد در ذخیره‌گاه مسیریاب‌های میانی مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نرخ برخورد در میانگین حافظه‌های نهان مسیریاب‌های میانی شبکه در روش پیشنهادی، نسبت به دو روش دیگر بهبود یافته است.

طرح پیشنهادی با میانگین‌گیری متحرک وزن دار خطی و نمایی، نسبت به طرح اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت با کمک معیار مرکزیت درجه و نیز طرح اختصاص اندازه‌ی یکنواخت، نرخ برخورد بهتری در مجموعه‌ی مسیریاب‌های میانی شبکه دارد. بهبود حاصل با کمک طرح‌های ارائه شده با روش‌های EWMA و LWMA، به ترتیب به اندازه‌ی ۲۰,۷ و ۱۸,۷ درصد نسبت به طرح مرکزیت درجه‌ی گراف می‌باشد. همچنین نسبت به طرح اختصاص یکنواخت به ترتیب به اندازه‌ی ۱۷,۷ و ۱۵,۸ درصد می‌باشد.

در نمودارهای که در ادامه مشاهده خواهد شد، به ازای اجراهای متفاوت یک بازه‌ی اطمینانی<sup>۱</sup> برای هر مقدار محاسباتی لحاظ شده است تا برآورده از تاثیر نوسانات حاصل از اجراهای متفاوت با مقدار تصادفی مختلف نیز نشان داده شود.

---

<sup>1</sup> Confidence interval

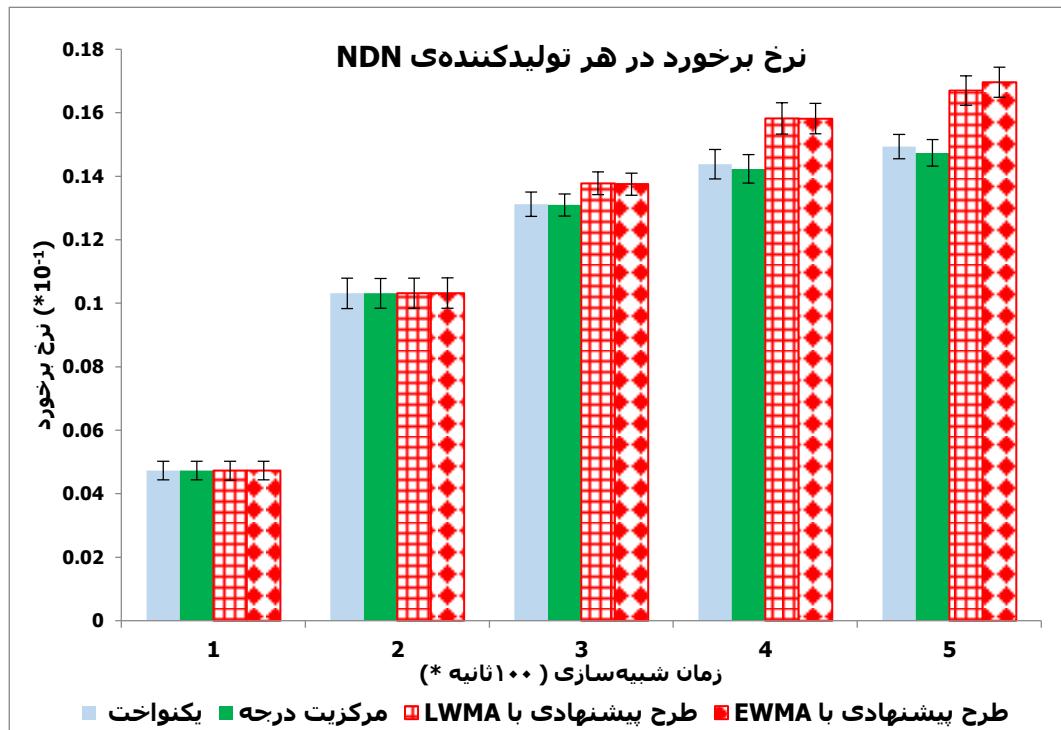


شکل ۵-۹. نمودار مربوط به نرخ برخورد در هر مسیریاب شبکه با  $q=0.7$  و  $5=s=0.7$ .

علاوه بر بررسی نرخ برخورد بسته‌های علاقه‌ی کاربران در مسیریاب‌های درون-شبکه‌ای، می‌توان نرخ برخورد را در تولیدکنندگان محتوا نیز بررسی کرد. زیرا هر تولیدکننده، در ابتدا محتویات را از حافظه‌ی اصلی خود، موجود در لایه‌ی کاربرد، تولید می‌کند. در صورتی که محتوای درخواستی در حافظه‌ی نهان وجود نداشته باشد، آنگاه گرهی مربوطه می‌باشد آنرا از مخزن اصلی خود استخراج کرده و در حافظه‌ی نهان خود قرار دهد. حال اگر در همین اثنا، مشتری دیگری خواهان همین محتوا باشد، دیگر داده‌ی مورد نظر از مخزن اصلی تولیدکننده مهیا نمی‌شود، بلکه سرعت برآورده‌سازی درخواست‌های کاربران با کمک حافظه‌ی نهان، افزایش می‌یابد. لذا در صورتی که یکی از روش‌های اختصاص حافظه‌ی نهان به شیوه‌ی غیریکنواخت به مسیریاب‌ها نرخ برخورد بیشتری داشته باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که آن روش نسبت به دیگر روش‌ها منجر به تعداد ارجاعات کمتری به تولیدکنندگان محتوا شده و محتویات را با سرعت بیشتری برای مشتری آماده می‌سازد. در نمودار (۱۰-۵) مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی، نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان میانگین تولیدکنندگان شبکه‌ی NDN را، نسبت به دو روش پیشین، افزایش می‌دهد که این مطلب نشان‌دهنده‌ی این است که در روش‌های اختصاص اندازه‌ی یکنواخت و غیریکنواخت با معیار مرکزیت درجه، تولیدکنندگان نیاز به مراجعه‌ی بیشتری به مخزن اصلی محتوای خود دارند. نرخ برخورد در مجموعه‌ی تولیدکنندگان، به طور میانگین، با استفاده از روش پیشنهادی با EWMA و LWMA، به ترتیب به اندازه‌ی ۷,۹ و ۹,۵۵ درصد نسبت به روش مرکزیت درجه‌ی گراف و به اندازه‌ی ۵,۵ و ۷ درصد نسبت به روش اختصاص اندازه‌ی یکنواخت بهبود داشته است. در روش پیشنهادی با EWMA نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان تولیدکننده تا حدودی بیشتر از روش پیشنهادی با LWMA است.

این پارامتر بعضاً ممکن است که با کاهش بار سرویس‌دهنده و تعداد مراجعات به مخزن اصلی محتوا بیان شود؛ یعنی به هر میزان که تعداد برخوردها در حافظه‌ی نهان هر گرهی تولیدکننده کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که به همان میزان کاهش مراجعات به لایه‌ی کاربرد تولیدکننده را خواهیم داشت.

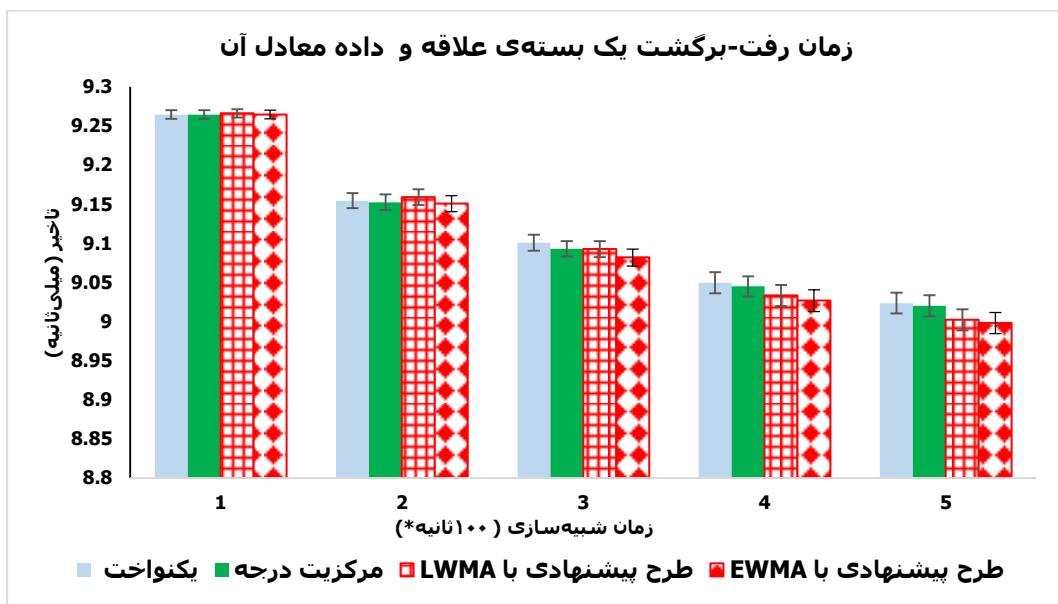
دلیل برتری روش پیشنهادی را می‌توان اینگونه توجیه کرد که به هر میزان که محتویات پرطرفدار در حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های میانی برآورده شود، دیگر نیازی به مراجعته‌ی به حافظه‌ی نهان تولیدکننده و بعضاً مخزن اصلی محتوا آن نخواهد بود. از این روی تنها محتویاتی که میزان محبوبیت کمتری نسبت به محتویات پرطرفدار دارند، در حافظه‌ی نهان مجموعه‌ی تولیدکنندگان ذخیره خواهند شد.



شکل ۵-۱۰. نمودار مربوط به نرخ برخورد در حافظه‌ی نهان هر تولیدکننده محتوای شبکه با  $q=5$  و  $s=0.7$

همچنین می‌توان میزان تاخیر انتها-به-انتها را به ازای هر بسته‌ی علاقه‌ی ارسالی و داده‌ی بازگشتی معادل آن، محاسبه نمود که در شبکه‌ی NDN، این تاخیر مجموع دو بازه‌ی زمانی است: اول، زمانی که بسته‌ی علاقه‌ی ارسال می‌شود تا بدست اولین گرهی حامل داده‌ی درخواست شده برسد و دوم، زمانی که داده‌ی بازگشتی، به ازای آن بسته‌ی علاقه، از طرف میزبان بسته‌ی داده به دست درخواست‌کننده باز می‌گردد. این پارامتر حاصل از زمان ارسال درخواست و بازگشت قطعه داده‌ی آن می‌باشد. در صورتی که میزان تاخیر کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی این است که آن روش نسبت به دیگر

روش‌های اختصاص اندازه به حافظه‌ی نهان مسیریاب‌ها، عملکرد مناسب‌تری دارد. به بیان دیگر، در روش پیشنهادی، بسته‌های علاقه به گونه‌ای در مسیریاب‌های میانی شبکه پاسخ داده می‌شوند که منجر به کاهش تعداد پیوندهای طی شده توسط بسته‌های علاقه می‌شوند؛ مثلاً بسته‌ی علاقه، ده عدد از پیوندهای موجود در مسیر را برای دستیابی به داده‌ی موردنظر خود می‌بایست طی کند، حال آنکه با استفاده از روش پیشنهادی این تعداد پرش به هشت عدد پیوند می‌رسد و این‌گونه است که پاسخ موردنظر سریع‌تر برای مشتری درخواست‌کننده‌ی محتوا بازگردانده می‌شود و تاخیر از دیدگاه مشتری کاهش پیدا می‌کند. در نمودار شکل (۱۱-۵) مشاهده می‌شود که تاخیر میانگین برای مجموعه‌ی مصرف‌کنندگان، به ۰,۱۲ و ۰,۰۵ درصد نسبت به روش اختصاص اندازه با مرکزیت درجه‌ی گراف و ۰,۰۸ و ۰,۰۸ نسبت به روش اختصاص اندازه‌ی یکنواخت، به ازای درخواست ارسالی برای هر قطعه‌ی داده، بهبود یافته است. روش پیشنهادی با EWMA و روش پیشنهادی با LWMA اختلاف چندانی از لحاظ تاخیر با یکدیگر ندارند. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید با در نظر گرفتن تاخیر انتقال یک میلی‌ثانیه برای هر پیوند، تاخیر رفت و برگشت یک قطعه‌ی داده، در حدود ۹,۱۱ میلی‌ثانیه می‌باشد.



شکل ۱۱-۵. نمودار مربوط به تاخیر رفت و برگشت درخواست یک بسته با  $s=0.7$  و  $q=5$ .

پارامتر ارزیابی دیگری که در این پژوهش استفاده شده، پارامتر تعداد بسته‌های علاقه‌ی منتظر در جدول بسته‌های علاقه‌ی منتظر در هر کدام از مسیریاب‌های میانی شبکه است. بدین معنی که با کمک پارامتر مذبور، به بررسی تعداد بسته‌های علاقه برآورده نشده، پرداخته می‌شود. در صورتی که تعداد این بسته‌ها کمتر باشد، به معنی آن است که با کمک روش اختصاص حافظه، بسته‌های علاقه‌ی بیشتری برآورده شده و مجموعاً تعداد درخواست‌های منتظر در شبکه کاهش یافته‌اند. با کمک این پارامتر می‌توان بدین نتیجه رسید که با افزایش قابلیت ذخیره‌سازی درون-شبکه‌ای می‌توان درخواست‌های برآورده نشده را کاهش داد و از طرف دیگر سرعت پاسخ‌دهی درخواست‌های کاربران را

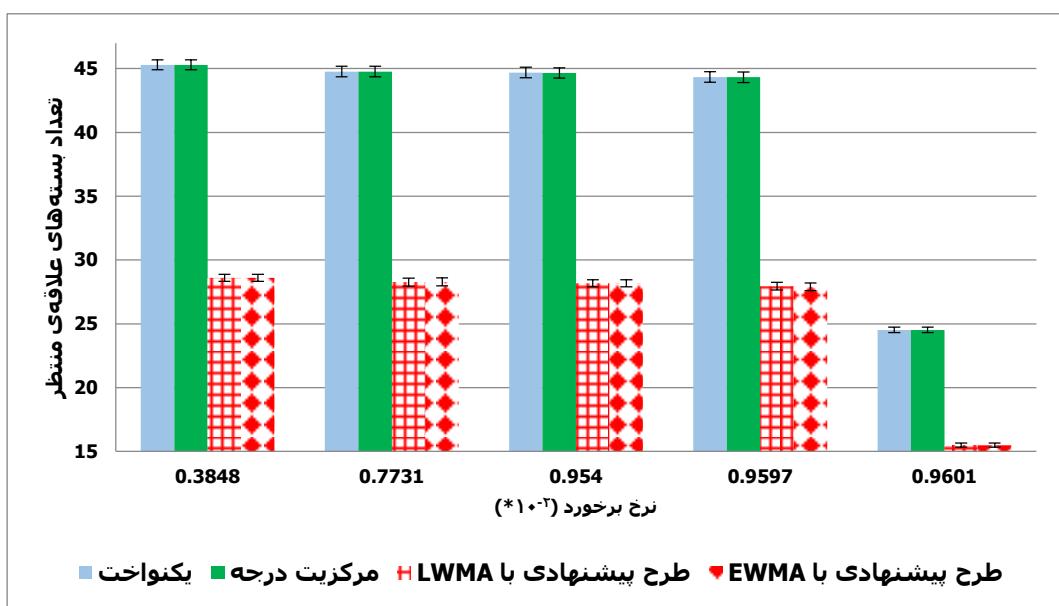
بهبود بخشد. همچنین با کاهش تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر، مدت زمانی که برای جستجو در جدول بسته‌های علاقه‌ی منظر سپری می‌شود، کاهش می‌یابد و بسته‌های علاقه سریعتر هدایت خواهند شد.

همچنین در صورت مدیریت ذخیره‌سازی بسته‌های داده و برآورده‌سازی سریع آن‌ها می‌توان تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در مسیریاب‌های میانی و تعداد ورودی‌های جدول PIT را کاهش داد تا منجر به جست‌وجوی سریع‌تر در بین ورودی‌های جدول شود. در نتیجه عملیات هدایت رو به جلوی بسته‌های علاقه با سرعت بیشتری انجام خواهد گرفت.

همانطور که در شکل (۱۲-۵) نشان داده شده است، با توجه به تقسیم میزان حافظه‌ی شبکه‌ای در بین مسیریاب‌ها، در روش پیشنهادی تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر نسبت به نرخ برخورد در حافظه‌های نهان، در حدود ۳۷ درصد بهبود یافته است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود با افزایش نرخ برخورد در حافظه‌ها، تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر کاهش پیدا می‌کند زیرا درخواست‌ها توسط واحد حافظه برآورده می‌شوند و دیگر نیازی به هدایت آن‌ها به سمت واحد جدول بسته‌های علاقه‌ی منظر نمی‌باشد. روش پیشنهادی به گونه‌ای عمل می‌کند که بسته‌های علاقه را نسبت به دیگر روش‌ها بیشتر برآورده ساخته و بدین ترتیب تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در جدول کاهش پیدا می‌کند. از طرف دیگر بطور میانگین با کاهش تعداد ورودی‌های جدول بسته‌های علاقه‌ی منظر در مسیریاب‌های میانی، با کمک طرح پیشنهادی، ترافیک ارسال بسته‌های علاقه‌ی منظر نیز در شبکه‌ی NDN کاهش می‌یابد. دو روش پیشنهادی در این ارزیابی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. این نکته نیز قابل ذکر است که روند تغییر تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر، یک روند نزولی است و با توجه به نزدیکی مقادیر، تا زمان چهارصد ثانیه‌ای شبیه‌سازی، تغییرات چندان خود را نشان نداده اند اما در صد ثانیه‌ی آخر، این موضوع مشهود خواهد شد؛ زیرا درخواست‌های کاربران به مرور زمان با نرخ بیشتری برآورده می‌شوند و از تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر کاسته خواهد شد.

## ۷-۵- جمع‌بندی

از آنجایی که در شبکه، برآوردن درخواست‌های کاربران با تاخیر کم، از اهداف اصلی به شمار می‌آید، لذا در این فصل به بررسی یکی از ساختارهای شبکه پرداخته شد که در آن مسیریاب‌ها مجهز به حافظه‌هایی با اندازه‌های غیریکنواخت هستند. برای ارزیابی‌ها از شبیه‌ساز ndnSIM، طراحی شده در آزمایشگاه دانشگاه UCLA آمریکا، استفاده شد. با تنظیم پارامترهای پیش‌بینی شده در شبکه‌ی NDN به ارزیابی نتایج حاصل با دیگر روش‌ها پرداخته شد. تعداد محتویات فهرست فایل‌های سرویس‌دهنده، که توسط مشتریان شبکه قابل انتخاب هستند، در حدود  $^{ 7 } ۱۰$  در نظر گرفته شد؛ زیرا این میزان نزدیک به تعداد محتویات فایل‌های ویدئویی وبسایت یوتیوب می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی، نشان از بهبودهایی دارد که با کمک روش پیشنهادی اختصاص غیریکنواخت حاصل می‌شود. همچنین در صورت ترکیب پارامترهای روش پیشنهادی با یکدیگر و سپس استفاده از روش PCA برای ترکیب این پارامترها می‌توان بهبودهایی را نسبت به دیگر روش‌ها بدست آورد.



شکل ۱۲-۵. نمودار مربوط به تعداد بسته های علاقه های منتظر در جدول PIT بر حسب نحوه بردخورد هر مسیر یا ب محتوایی با  $s=0.7$  و  $q=5$ .

## فصل ششم

### نتیجه‌گیری و کارهای آینده

#### ۱-۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نرخ رو به رشد تولید محتویات در بستر شبکه، به معماری جدیدی نیاز است تا محتویات را در بستر شبکه ذخیره کرده و از طرف دیگر بار ترافیکی و تاخیر را از دیدگاه کاربران کاهش دهد. در طرح جدیدی که شبکه‌ی NDN نام دارد و به عنوان یکی از معماری‌های نسل آینده‌ی شبکه‌های اینترنتی مطرح شده است، مسیریاب‌ها مجهز به حافظه‌ای هستند که اندازه‌ای بزرگتر از بافرهای مسیریاب‌های امروزی دارند. در این پژوهش ضمن تمرکز بر روی این حافظه‌ها، سعی در ارائه‌ی روشی برای افزایش کارایی شبکه بوده است. لذا با کمک یک مجموعه پارامتر، ابتدا مسیریاب‌های مهم مشخص و سپس بنا بر اهمیت هر گره اندازه‌ی مناسبی به مسیریاب‌ها اختصاص داده شده است.

مطالعات بسیاری در زمینه‌ی حافظه‌های نهان NDN از جمله شیوه‌ی قراردهی و جایگزینی در حافظه‌ها و مدل‌های حافظه‌های نهان موجود در شبکه انجام گرفته است. اما در این پژوهش به مسئله‌ی تعیین میزان اندازه‌ی غیریکنواخت برای حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های موجود در سطح شبکه‌ی NDN پرداخته شد. از آنجایی که در پژوهش‌های پیشین به طور جداگانه به بررسی تاثیر پارامترهای گراف شبکه (پارامترهای بلندمدت مربوط به طراحی و ساختار شبکه) و نیز پارامترهای لحظه‌ای حاصل از بررسی ترافیک ورودی و خروجی هر مسیریاب NDN پرداخته شده است، در این پژوهش سعی در بررسی همزمان تاثیر این دو دسته پارامترهای کوتاه‌مدت و بلندمدت بوده است.

هدف از این پژوهش، تقسیم عادلانه‌ی منبع حافظه با بررسی ایده‌ی ترکیب دو گونه از پارامترهای کوتاه‌مدت و بلندمدت برای تعیین درجه‌ی اهمیت هر مسیریاب در بستر شبکه‌های محتوا-محور بوده است. سپس با استفاده از پارامتر ارائه شده، به اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت به واحد حافظه‌ی نهان مسیریاب‌های موجود در این شبکه‌ها پرداخته شده است. همچنین به بررسی چگونگی ترکیب آن‌ها برای استفاده از ارزش هر کدام پرداخته شده است. علاوه بر این، در ادامه‌ی پژوهش حاضر سعی در بررسی پارامترهای دیگری نظیر تعداد بسته‌های علاقه‌ی ورودی و نیز تعداد بسته‌های داده‌ی خروجی از هر مسیریاب داریم. زیرا این پارامترها نیز نشان‌دهنده‌ی میزان ترافیک ورودی به یک مسیریاب و نیز ترافیک خروجی از آن می‌باشند؛ به بیان دیگر در صورتی که میزان ترافیک یک گره بالا باشد، حاکی از آن است که گرهی مربوطه ترافیک بیشتری نسبت به دیگر گره‌ها دارد و در مسیر تبادل بسته‌های علاقه و نیز داده‌ی دیگر گره‌ها قرار گرفته است، از این روی در صورت اختصاص اندازه‌ی بیشتر به حافظه‌ی نهان آن، عملکرد ذخیره‌گاه‌های محتوا و در مقیاس کلی، شبکه‌ی NDN افزایش می‌یابد.

برای استفاده از مزایای مقادیر پویا در کنار مقادیر ایستا، از روش‌های میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار کمک گرفته شده است. خصوصیت بارز این روش‌ها، تاثیرپذیری هر نمونه از رفتار نمونه‌های زمانی قبل از خود می‌باشد. با بکارگیری این روش‌ها می‌توان رفتار نمونه‌ها را هموار ساخت و از نوسانات لحظه‌ای ناشی از خطاهای نمونه‌گیری و یا شبیه‌سازی، دوری جست؛ در واقع با کمک نمونه‌های زمانی قبلی و البته اختصاص میزان وزن بیشتر به نمونه‌های زمانی جدید، می‌توان رفتار هر نمونه را با استفاده از نمونه‌های قبل از خود تعیین کرد. در روش میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار خطی، وزن نمونه‌های قبلی بطور خطی کاهش می‌یابد تا در نهایت وزن آخرین نمونه موثر به صفر برسد. در روش میانگین‌گیری وزن‌دار نمایی، وزن اختصاصی به نمونه‌ها بطور نمایی کاهش پیدا می‌کند، لذا این امکان وجود دارد تا به هر تعداد از نمونه‌های موثر قدیمی، در پیش‌بینی نمونه‌ی جدید، اوزانی را اختصاص داد. لازم به ذکر است که برای پیاده‌سازی روش‌های میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار از روش ریاضی کانولوشن استفاده می‌شود.

سپس در این پژوهش با کمک روش تحلیل مؤلفه‌های اساسی، از مجموعه‌ی داده‌های بدست آمده، فضای جدیدی تشکیل شد و افکنش هر مقدار داده‌ای در فضای جدید بدست آمد. در ادامه، از این مقادیر برای تعیین درجه‌ی اهمیت هر گره استفاده شد. با اختصاص اندازه‌ی بیشتر به مسیریاب‌های پراهمیت، سعی در کاهش ترافیک شبکه برای درخواست‌های کاربران بود. با کمک این روش می‌توان به مسیریاب‌های پراهمیت، اهمیت بیشتر و به مسیریاب‌های کم‌اهمیت، اهمیت کمتری اختصاص داد. این در حالی است که مسیریاب کم‌اهمیت ممکن است که استفاده‌ی چندانی از حافظه‌ی نهان خود نداشته باشد، اما مسیریاب پراهمیت مجبور به اخراج متواتی بسته‌های داده‌ی ذخیره‌شده در حافظه‌ی نهان خود برای قراردهی داده‌های محتويات جدید باشد.

طرح پیشنهادی در مقایسه با دیگر طرح‌های موجود، از قبیل طرح اختصاص اندازه‌ی یکنواخت و طرح اختصاص اندازه‌ی غیریکنواخت با کمک روش اختصاص اندازه بر مبنای مرکزیت درجه‌ی هر گره

در گراف شبکه، بهبودهایی داشته است. از این روی در یکی از شبیه‌سازهای طراحی شده برای شبکه‌ی NDN که بر مبنای شبیه‌ساز شبکه‌ی شماره‌ی سه می‌باشد، به پیاده‌سازی و آزمایش روش پیشنهادی برای اختصاص اندازه به حافظه‌های نهان مسیریاب‌های محتوایی پرداخته شده است. این شبیه‌ساز که نام دارد، دارای گروه تحقیقاتی به روزی در آزمایشگاه اینترنت دانشگاه UCLA می‌باشد که سعی در مطابقت هر چه بیشتر شبکه‌ی NDN با پروتکل‌های کنونی شبکه‌ی اینترنت دارند.

در این پژوهش، اطلاعات هر گره با کمک پارامترهای مرکزیت میانگی گراف، تعداد برخوردها و تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر در هر مسیریاب محتوایی، بدست آمده است. سپس برای استفاده از میزان اهمیت تمامی این پارامترها، به ترکیب آن‌ها با کمک روش ترکیب مؤلفه‌های اساسی پرداخته شده است. روش حاضر منجر به بهبود بیست درصدی نرخ برخورد در مسیریاب‌های میانی شبکه، بهبود ده درصدی در میزان نرخ برخورد در تولیدکنندگان شبکه‌ی NDN (که کاهش مراجعه‌ی به مخزن اصلی محتوا در تولیدکننده را به دنبال دارد)، کاهش میزان سی‌وهفت درصدی تعداد بسته‌های علاقه‌ی منظر و در نهایت کاهش مقدار تأخیر در بازگشت داده‌ی درخواستی به هر مصرف‌کننده شده است.

## ۲-۶- کارهای آینده

حافظه‌ی نهان یکی از اجزای اصلی در مسیریاب‌های محتوایی در شبکه‌ی NDN به شمار می‌آید. بنابراین، بهبود عملکرد این حافظه‌ها با استفاده از فناوری‌های به روز سخت‌افزاری، می‌تواند یکی از فعالیت‌های آینده پژوهشگران باشد. همچنین برای بهبود عملکرد این حافظه‌ها در شبکه‌ی NDN، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارائه‌ی پارامترهای موثر دیگری در تعیین نقش هر گره در شبکه و سپس تلفیق این پارامترها با کمک الگوریتم‌های داده‌کاوی [۵۶]،
- بکارگیری تحرک در NDN برای کاربردهای بلاذرنگ [۵۷] و بررسی تاثیر آن در اختصاص اندازه به حافظه‌های نهان،
- بهینه‌سازی اندازه‌ی قطعه‌های داده در شبکه‌ی داده‌ی نام‌گذاری شده،
- ارائه‌ی یک روش مناسب برای جایگزینی قطعه‌های جدید در حافظه‌های نهان مسیریاب‌ها،
- محاسبه‌ی اندازه‌ی مناسب برای حافظه‌های نهان بنابر فناوری روز سخت‌افزار،
- طراحی یک روش جدید برای مسیریابی بسته‌های علاقه،
- یافتن یک اندازه‌ی مناسب برای حافظه‌های نهان که هم‌راستای آن مصرف انرژی نیز بهینه شود،
- اعمال الگوریتم حاضر برای بررسی میزان کاهش مصرف انرژی با خاموشی حافظه‌ی نهان در مسیریاب‌های کم‌اهمیت شبکه.

همچنین می‌توان ایده‌ی مربوط به شبکه‌های NDN را در قالب شبکه‌های دیگری نظیر حسگر بیسیم [۵۸] استفاده کرد؛ زیرا این نوع از شبکه‌ها با شبکه‌های NDN تطابق داشته و عملکرد خوبی را

چه از لحاظ سریار و چه از لحاظ تاخیر استخراج محتوا برای نمایش اطلاعات کاربردها بطور تناوبی، از خود به جای می‌گذارند [۵۹]. همچنین از ایده‌ی شبکه‌های دیگری نظیر نرم‌افزارپذیر [۶۰] نیز می‌توان در قالب شبکه‌های داده‌ی نام‌گذاری شده، استفاده کرد.

## منابع و مأخذ

- [۱] ف. سهیلی و ف. عصاره. «مفاهیم مرکزیت و تراکم در شبکه‌های اجتماعی»، *فصلنامه مطالعات ملی کتابداری و سازماندهی اطلاعات*، شماره ۹۵، شهریور ۹۱.
- [۲] ا. آذر شب، ح. جوانشیر و س. ابراهیم‌نژاد. «طراحی طرح کنترل ترکیبی با استفاده از دو نمودار کنترل میانگین‌گیری متحرک وزن‌دار نمایی»، *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، دوره ۴۵، شماره یک، فروردین ۱۳۹۰، صص ۱-۱۱.
- [۳] ا. ملکیان، اصول مهندسی اینترنت. نص ۱۳۸۸، صص ۲۷۷-۲۶۰.
- [۴] L. Zhang, et al., “Named data networking,” *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 44, no. 3, pp. 66-73, Jul. 2014.
- [۵] Cisco Systems, Inc., *The Zettabyte Era: Trends and Analysis*, white paper, May 2015.
- [۶] A. Passarella, “A survey on content-centric technologies for the current Internet: CDN and P2P solutions,” *Computer Communications*, vol. 35, no. 1, pp. 1-32, Jan. 2012.
- [۷] B. Ahlgren, C. Dannowitz, C. Imbrenda, D. Kutscher, and B. Ohlman, “A Survey of Information-Centric Networking,” *Communications Magazine, IEEE*, vol. 50, no. 7, pp. 26-36, Jul. 2012.
- [۸] V. Jacobson, D. Smetters, N. Briggs, J. Thornton, M. Plass, and R. Braynard, “Networking Named Content,” in *ACM CoNEXT*, Aug. 2009.
- [۹] PARC's implementation of content-centric networking, [Online] Available at: <https://www.ccnx.org/> [Accessed May 2016]
- [۱۰] A. Karami, “The Use of Computational Intelligence for Security in Named Data Networking,” Ph.D. dissertation, Universitat Politecnica De Catalunya Barcelona Tech (UPC), Jan. 2015.
- [۱۱] L. Wang, M. Mahmudul Hoque, C. Yi, A. Alyyan, and B. Zhang, “OSPFN: An OSPF based routing protocol for Named Data Networking,” *University of Memphis and University of Arizona*, Technical report, 2012. [Online] Available at: <http://www.named-data.net/techreport/TR003-OSPFN.pdf> [Accessed May 2016]
- [۱۲] C. Yi, “Adaptive Forwarding in Named Data Networking,” Ph.D. dissertation, *University of Arizona*, May 2014.
- [۱۳] Tyson, Gareth, et al. “A survey of mobility in information-centric networks: challenges and research directions,” in *Proceedings of the 1<sup>st</sup> ACM workshop on Emerging Name-Oriented Mobile Networking Design-Architecture, Algorithms, and Applications*, 2012.
- [۱۴] A. Karami, and M. Guerrero-Zapata, “A hybrid multiobjective rbf-pso method for mitigating dos attacks in named data networking,” *Neurocomputing*, vol.151, pp. 1262-1282, Mar. 2015.
- [۱۵] Named Data Networking (NDN) – A Future Internet Architecture [Online] Available at: <http://named-data.net/> [Accessed May 2016]
- [۱۶] NDN routing home, NDN Topology Map. [Online] Available at: <http://netlab.cs.memphis.edu/script/htm/ndn-status/html/topology.html> [Accessed May 2016]

- [17] J. Kurose, "Information-centric networking: The evolution from circuits to packets to content," *Computer Networks*, vol. 66, pp. 112-120, Jun. 2014.
- [18] G. Rossini, "Design Analysis of forwarding strategies for Host and Content Centric Networking," Ph.D. dissertation, Telecom-ParisTech, Paris, France, Jan. 2014.
- [19] D. Perino, and M. Varvello, "A reality check for content centric networking," in *Proceedings of the ACM SIGCOMM workshop on Information-centric networking*, pp. 44-49, Aug. 2011.
- [20] H. Abdi, and L.J. Williams, "Principal component analysis," *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 2, no. 4, pp. 433-459, 2010.
- [21] P. Xanthopoulos, P.M. Pardalos, and T.B. Trafalis, "Linear discriminant analysis," in *Robust Data Mining*, Springer New York, pp. 27-33, Nov. 2013.
- [22] A.M. Martínez and A.C. Kak, "PCA versus LDA," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, vol. 23, no. 2, pp. 228-233, 2001.
- [23] U. Brandes, "A faster algorithm for betweenness centrality," *Journal of Mathematical Sociology*, vol. 25, no. 2, pp. 163-177, 2001.
- [24] U. Brandes, S.P. Borgatti, and L.C. Freeman, "Maintaining the duality of closeness and betweenness centrality," *Social Networks*, vol. 44, pp. 153-159, Jan. 2016.
- [25] U. Brandes, "On variants of shortest-path betweenness centrality and their generic computation," *Social Networks*, vol. 30, no. 2, pp. 136-145, May 2008.
- [26] D. Rossi and G. Rossini, "Caching performance of content centric networks under multi-path routing (and more)," Technical report, Telecom ParisTech, 2011.
- [27] D. Rossi and G. Rossini, "A dive into the caching performance of content centric networking," Technical report, Telecom ParisTech, 2011.
- [28] D. Rossi and G. Rossini, "On sizing CCN content stores by exploiting topological information," in *IEEE INFOCOM NOMEN Workshop 2012*.
- [29] M. Tortelli, L. A. Grieco and G. Boggia, "Performance Assessment of Routing Strategies in Named Data Networking," Session on Telecommunication Networks, GTTI 2013.
- [30] W.K. Chai, D. He, I. Psaras, and G. Pavlou, "Cache "less for more" in information-centric networks (extended version)," *Computer Communications*, vol. 36, no. 7, pp. 758-70, Apr. 2013.
- [31] Y. Xu, et al. "A novel cache size optimization scheme based on manifold learning in content centric networking," *Network and Computer Applications*, vol. 37, pp. 273-281, 2014.
- [32] Y. Xu, et al. "An adaptive per-application storage management scheme based on manifold learning in information centric networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 36, pp. 170-179, 2014.
- [33] X. Cui, J. Liu, T. Huang, J. Chen, and Y. Liu, "A novel metric for cache size allocation scheme in content centric networking," Conf. on National Doctoral Academic Forum on Information and Communications Technology, Beijing, China, 2013.

- [34] L. Saino, I. Psaras, and G. Pavlou, “Icarus: a caching simulator for information centric networking (ICN),” in *Proceedings of the seventh International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, pp. 66-75, 2014.
- [35] I. Psaras, W.K. Chai, and G. Pavlou, “Probabilistic in-network caching for information-centric networks,” in *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ICN workshop on Information-centric networking*, pp. 55-60, ACM, 2012.
- [36] A. Karami, “ACCPndn: Adaptive Congestion Control Protocol in Named Data Networking by learning capacities using optimized Time-Lagged Feedforward Neural Network,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 56, pp. 1-18, Oct. 2015.
- [37] A.V. Oppenheim, A.S. Willsky, and S.H. Nawab, “Linear Time-Invariant System” in Signals and Systems, Prentice Hall Inc., ch. 3, sec. 4, pp. 95-100, 1997.
- [38] R. Winter, J.H. Schiller, N. Nikaein, and C. Bonnet, “CrossTalk: Cross-layer decision support based on global knowledge,” *IEEE Communication Magazine*, vol. 44, no. 1, pp. 93–99, Jan. 2006.
- [39] S.H. Steiner, “Exponentially Weighted Moving Average Control Charts with Time-Varying Control Limits and Fast Initial Response,” *Journal of Quality Technology*, vol. 31, 1999.
- [40] W.A. Shewhart, “Economic Control of Quality of Manufactured Product,” D. van Nostrand Company, Toronto, 1931.
- [41] S. Shanbhag, “Design and Implementation of Parallel Anomaly Detection,” University of Massachusetts, Amherst, Masters Thesis– Feb. 2014. [Online] Available at: <http://scholarworks.umass.edu/theses/58> [Accessed May 2016]
- [42] V. Jacobson, “Congestion avoidance and control,” in *ACM SIGCOMM computer communication review*, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, 1988.
- [43] J.F. Kurose and K.W. Ross, “TRANSPORT LAYER,” in Computer Networking: A Top-Down Approach, 6<sup>th</sup> ed., Pearson Education Inc., ch. 3, sec. 5, pp. 238-242, 2013.
- [44] J.R. Raol, “Pixel- and Feature-Level Image Fusion Concepts and Algorithms,” in Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, ch. 10, sec. 3, pp. 380-385, 2009.
- [45] A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, “ndnSIM: NDN simulator for NS-3,” *University of California, Los Angeles, Tech. Rep.*, 2012.
- [46] Dario Rossi’s Home Page, Software, CCNSim. [Online] Available at: <http://perso.telecom-paristech.fr/~drossi/index.php?n=Software.CcnSim> [Accessed May 2016]
- [47] S. Eftekhari, B. Shahgholi Ghahfarokhi, and N. Moghim, “Otanes: A live TV simulator for Content-Centric Networking,” in *seventh Int. Conf. on Information and Knowledge Technology (IKT)*, IEEE, 2015.
- [48] Network Simulator-3. [Online] Available at: <https://www.nsnam.org/> [Accessed May 2016]

- [49] NS-3.24 Tutorial, [Online] Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.24/tutorial/ns-3-tutorial.pdf> [Accessed May 2016].
- [50] Named Data Networking, Technical Reports. [Online] Available at: <http://named-data.net/publications/techreports/> [Accessed May 2016]
- [51] Abilene Core Topology, [Online] Available at: <https://uit.stanford.edu/service/network/internet2/abilene> [Accessed May 2016]
- [52] ndnSIM research paper. [Online] Available at: <http://ndnsim.net/2.1/ndnsim-research-papers.html> [Accessed May 2016]
- [53] The ndnSIM examples, [Online] Available at: <https://github.com/cawka/> [Accessed May 2016]
- [54] The ndnSIM Archives. [Online] Available at: <http://www.lists.cs.ucla.edu/pipermail/ndnsim/> [Accessed May 2016]
- [55] NS-3 Group Users, [Online] Available at: <https://groups.google.com/forum/#!searchin/ns-3-users/NaMe/ns-3-users/OVPKISgtpI4/A3J109vlNgQJ> [Accessed May 2016]
- [56] J. Han and M. Kamber, "Data Mining - Concepts and Techniques," second edition, Elsevier, 2006.
- [57] Y. Luo, J. Eymann, and A. Timm-Giel, "Mobility support for content centric networking," *Telecommunication Systems-Springer*, vol. 59, no. 2, pp. 271-288, 2015.
- [58] C. Wang, L. Ji, F. Ye, and Y. Yang, "NETWRAP: An NDN Based Real-Time Wireless Recharging Framework for Wireless Sensor Networks," *Mobile Computing, IEEE Transactions*, vol. 13, no. 6, pp. 1283-1297, Jun. 2014.
- [59] M. Amadeo, C. Campo, A. Molinaro, and N. Mitton, "Named Data Networking: a Natural Design for Data Collection in Wireless Sensor Networks," in IEEE Wireless Days (WD), Valencia, Espagne, Nov. 2013. [Online] Available at: <http://hal.inria.fr/hal-00862236> [Accessed May 2016]
- [60] W.S. Kim, S.H. Chung, and J.W. Moon, "Improved content management for information-centric networking in SDN-based wireless mesh network," *Computer Networks*, vol. 92, pp. 316-329, Dec. 2015.