دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده
www.jdcs.ir

# بررسی محاسبات لبه و مه

علی رستمی یسار[۱]، مجید حمدی[۲] و فراز فاطمی مقدم[۳]
[۱] دانشگاه فنی و حرفه ای، قم، ایران*
[۲] دانشگاه آزاد آشتیان ، آشتیان
[۳] دانشگاه جرج آگوست، گوتینگن، آلمان

## چکیده

محاسبات ابر به طور قابل توجهی چشم انداز فناوری اطلاعات را با ارائه برخی از مزایای عمده آن برای کاربران فناوری اطلاعات، تغییر داده است. پیش بینی می شود، تا سال ۲۰۲۰ ، ۵۰ میلیارد شی به اینترنت متصل خواهد شد، با اتصال دستگاه های بیشتر و بیشتر، برنامه های کاربردی حساس به طور جدی با مشکل تاخیر زیاد مواجه می شوند. محاسبات ابر قادر به برآوردن نیازهای پشتیبانی تحرک و آگاهی از محل نیست. برای غلبه بر این مشکلات، یک الگوی(پارادایم) جدیدی به نام محاسبات مه (در ماه مه) در سال ۲۰۱۲ پیشنهاد شد. در این مقاله به معرفی محاسبات مه و محاسبات لبه به صورت مروری پرداخته شده است.

**کلمات کلیدی: محاسبات ابر، محاسبات لبه ، محاسبات مه، اینترنت اشیاء**

**تاریخچه مقاله:**

تاریخ ارسال:۹۷/۲/۳۰
تاریخ اصلاحات:۹۷/۴/۳۰
تاریخ پذیرش:۹۷/۵/۱
تاریخ انتشار:**۹۷/۵/۱۵**

**Keywords:**

cloud computing
edge computing
fog computing
Internet of Things

# A survey on fog computing and edge computing

Ali Rostami Yasar[1], Majid hamdi[2 and] Faraz Fatemi Moghaddam[3]
1Technical and Vocational University, Qom, Iran
[2]Ashtian Islamic Azad University, Ashtian, Iran
[3] Faraz Fatemi Moghaddam , Georg August University, Göttingen, Institute of Computer Science, Goldschmidtstrasse 7, 37077 Götingen, Germany

Abstract:
Cloud computing has dramatically changed the IT landscape by providing some of the major benefits to IT users. By 2020, 50 billion objects will be connected to the Internet. By connecting more and more devices, sensitive applications are facing serious delayed problems. Cloud computing cannot meet the needs of mobility support and site awareness. To overcome these problems, a new paradigm called the Fog computing (in Fog) was proposed in 2012. In this paper, introducing fog computing and edge computing is presented as overviews.

**روش ارجاع به مقاله:** ع.رستمی یسار، م.حمدی، ف.فاطمی مقدم، بررسی محاسبات لبه و مه، دوفصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده، سال اول، شماره اول، ص ۴۷-۵۸، سال انتشار ۱۳۹۷.

* علی رستمی یسار : aliryas5@gmail.com

## ۱ – مقدمه

تحولاتی که طی سالیان گذشته در زمینهٔ فناوری های محاسباتی، همچنین در محاسبات ابری، بر روی داده رخ است، بخش عظیمی از جهان فناوری اطلاعات را دگرگون ساخته و به یکی از مباحث اصلی و بسیار مهم پژوهشی در جوامع علمی و صنعتی تبدیل شده است ، محاسبات ابر به طور قابل توجهی، چشم انداز فناوری اطلاعات را با ارائه برخی از مزایای عمده برای کاربران فناوری اطلاعات، مانند سرمایه گذاری اولیه فناوری اطلاعات ، مقیاس پذیری، هزینه های متناسب، و غیره تغییر داده است[۱] . اگر چه برای انتقال حجم بالای داده، شبکه‌های با پهنای باند بزرگ ساخته می شوند ، با این وجود، مشکل، ازدحام بیش از حد داده ها همچنان وجود دارد. سیسکو تخمین زده است، بین سالهای ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۴ ترافی IP ، ۵ برابر شده و این ترافیک تا سال ۲۰۱۹ سه برابر خواهد شد.

طبق گزارش موسسه تحقیقاتی گارتنر نزدیک به ۲۶ میلیون از دستگاه های(IOT) را در سال ۲۰۱۶ شاهد بوده‌ایم که نسبت به سال ۲۰۱۵حدود ۰,۱ درصد افزایش را داشته است انتظار می رود این رقم تا سال۲۰۲۰ میلادی، تا حدود ۲۱ میلیاد شی، افزایش یابد لذا باید از امکانات پیشرفته تری استفاده شود.

پیش بینی شده است، تا سال ۲۰۲۰، ۵۰ میلیارد شی به اینترنت متصل خواهد شد[۲]. برخی از برنامه‌های کاربردی IOT ممکن است زمان واکنش بسیار کوتاهی داشته باشند، برخی ممکن است دارای داده های خصوصی باشند و برخی ممکن است مقدار زیادی از داده ها را تولید کنند که می تواند بار سنگینی برای شبکه‌ها باشد. محاسبات ابر برای حمایت از این برنامه ها به اندازه کافی کارآمد نیست.

با اتصال دستگاه های بیشتر، برنامه های کاربردی حساس ، شدیدا با مشکل تاخیر زیاد مواجه می شوند. محاسبات ابر قادر به برآوردن نیازهای پشتیبانی تحرک و آگاهی از محل نیست. با انفجار داده ها، دستگاه ها و تعاملات، معماری ابر به تنهایی نمی‌تواند هجوم اطلاعات را مدیریت کند.[۳] برای غلبه بر این مشکلات، یک الگوی جدیدی به نام محاسبات مه (در ماه مه) در سال ۲۰۱۲ پیشنهاد شد.

## ۲– پیشینه پژوهش

پیشینهٔ پژوهش شامل مطالـعات و طرحهای پیشین پیرامون محاسبات ابری ، محاسبات مه و لبه است. مونگ چیانگ و همکاران (۲۰۱۶) پژوهشی مروری را در مورد مبحث محاسبات مه انجام داده اند. در پژوهش مونگ چانگ و همکاران محاسبات مه به عنوان یک معماری، تنوع فراوانی از کاربردها از جمله اینترنت اشیاء(IoT) ، سیستم‌های بی‌سیم نسل پنجم (G5) و هوش مصنوعی نهفته (AI) را پشتیبانی می‌کند[۴] . وی، فرصت‌ها و چالش‌های مه را عمدتا با تمرکز بر روی شبکه اینترنت اشیاء بررسی می‌کند.

وای سانگ شی و همکاران (۲۰۱۶) به بحث محاسبات لبه ،چشم انداز و چالش ها می پردازدند. "محاسبات لبه توانایی پاسخ دادن به مسائل زمان پاسخ ، نیاز به محدودیت عمر باتری، صرفه جویی در هزینه پهنای باند، و همچنین ایمنی داده ها و حریم خصوصی را دارد "[۵].
پیشینه پژوهش با معرفی محاسبات لبه ، در نهایت، چالش ها و فرصت هایی را در در این زمینه ، ارائه می دهد .

پی یونگ یانگ و همکاران (۲۰۱۷) به بحث بررسی امنیت و اعتماد در محاسبات مه می پردازند. در این پژوهش یانگ و همکاران معماری محاسبات مه راتجزیه و تحلیل می‌کنند و مسائل مربوط به امنیت بالقوه و اعتماد مربوطه را نشان می دهند. سپس، نحوه برخورد با چنین موضوعاتی در ادبیات موجود، به طور جامع ارائه می شود. در نهایت، چالش های باز، روند تحقیق و مباحث آینده، امنیت و اعتماد در محاسبات امواج مطرح می شود.

اشکان یوسف پور و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به مسئله درک چگونگی بهبود کیفیت خدمات (QoS) در شبکه های IoT می پردازند . با رشد چشم گیر دستگاه های IoT ، داده هایی که بین اشیاء و ابر، تولید و مخابره می شوند، پرهزینه، ناکارآمد و در برخی موارد غیر قابل اجرا می باشند. محاسبات مه به عنوان راه حلی برای این موضوع عمل کرده و منابع شبکه سازی، ذخیره سازی و محاسباتی را برای IoT نزدیک به اشیا و کاربران فراهم می کند. یکی از مزایای امیدوارکننده مه، کاهش تأخیر سرویس برای کاربردهای کاربر نهایی است. در حالی که ابر محاسبات گسترده تری را ارائه داده و این ظرفیت را با تأخیر بیشتری ذخیره می کند. بنابراین، درک تعامل بین محاسبات مه و ابر و ارزیابی تأثیر محاسبات مه روی تأخیر سیستم IoT و QoS ضروری است[۶].

اشکان یوسف پور و همکاران (۲۰۱۷) یک چارچوب کلی برای کاربردهای IoT مه – ابر معرفی می‌کنند و یک خط مشی در به حداقل رساندن تأخیر، برای دستگاه‌های دارای قابلیت مه ارائه می‌دهند که هدفشان کاهش تأخیر خدمات در کاربردهای IoT می باشد. سپس یک مدل تحلیلی برای ارزیابی خط مشی ،ارائه داده و نحوه استفاده از چارچوب پیشنهادی در کاهش تأخیر سرویس IoT را نشان می دهند .

## ۳- محاسبات مه چیست ؟

اصطلاح محاسبات مه در ابتدا توسط سیسکو ساخته شد(۷). محاسبات مه با استفاده از یک یا چند کاربر نهایی مشترک یا دستگاه‌های لبه نزدیک کاربر برای انجام ذخیره سازی، ارتباط، کنترل، پیکربندی، اندازه گیری و توابع مدیریت به کار می رود. این می‌تواند مشکلات مربوط به تاخیر زمان و محدودیت پهنای باند را حل کند. محاسبات مه یک سری خدمات را در لبه شبکه برای ارائه گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی دستگاه‌های IOT فراهم می‌کند. محاسبات مه مفهوم جدیدی است که هدف آن قرار دادن ابر برای کاربران نهایی (اشیاء) برای کیفیت بهتر خدمات است [۸-۹].

"مه" اساسا به عنوان یک واسطه بین مشتریان نقطه پایانی و رایانش ابری عمل می کند. محاسبات مه در نزدیکی لبه ابر و انتهای دستگاه‌های پایانی اتفاق می افتد ، بسیاری از محاسبات مه به عنوان "محاسبات لبه" محسوب می شوند[۱۰]. محاسبات مه یک زیرساخت توزیع شده است که در آن داده‌ها، محاسبات، ذخیره‌سازی و اپلیکیشن‌ها در محلی بین دستگاه‌های تولیدکننده داده و ابر پراکنده شده‌اند. تأخیر در محاسبات ابری بسیار زیاد است، اما در محاسبات مه بسیار کم است. محل خدمات محاسبات ابر در اینترنت است، اما محاسبات مه در لبه شبکه محلی است. امنیت محاسبات مه را می‌توان تعریف کرد، اما در محاسبات ابری ما نمی‌توانیم آن را تعریف کنیم. تعاملات در زمان واقعی توسط محاسبات ابر و محدوده پشتیبانی می‌شود. داده ها و برنامه‌های کاربردی در یک ابر پردازش می شوند، که برای داده‌های بزرگ کاری وقت گیر است[۱۱]. مه، مدیریت منابع یکنواخت و بی نظیر از جمله محاسبات، شبکه و تخصیص ذخیره سازی را تسهیل

می‌کند[۱۲]. تمرکز اصلی محاسبات مه این است که لبه شبکه و دستگاه‌های شبکه با خدمات مجازی، از لحاظ پردازش و ذخیره سازی همراه با ارائه خدمات شبکه، تجهیز شود. MEC تکنولوژی لبه است که توسط موسسه استاندارد ارتباطات اروپا (ETSI) آغاز شده است[۱۳-۱۴].

### ۳-۱ محاسبات مه و امنیت

محاسبات مه، معمولا به عنوان توسعه ابری برای کاهش تاخیر و حمایت از برنامه های حساس به تاخیر، نظیر رانندگی خودکار، خدمات بهداشتی، بازی آنلاین مشاهده می شود[۱۵]. وظایف سبک وزن بر روی دستگاه های محلی اجرا می شوند، در حالی که پردازش عمیق به ابعاد وسیع نصب منتهی می شود. محاسبات مهِ خوشه مه، دارای منابع مجازی از یک مجموعه ناهمگن و مجموعه ای از دستگاه های مستقر در محیط ، متعلق به اشخاص مختلف است. بیشتر مسائل ایمنی با محاسبات مه دریک محیط خصمانه، کنترل نشده و نامطمئن قرار می‌گیرند. با توجه به تلاش های صنعتی اخیر، در زمینه استانداردسازی ، محاسبات مه، به یک چارچوب مدیریتی برای استقرار نرم افزار و ارتباطِ گره به گره نیاز دارد[۱۶]. این پشت صحنه نرم افزاری، نقش مشابهی را در نرم افزار مدیریت ابر دارد (و انتظار می رود قابلیت همکاری ، به تعامل مه و ابر کمک کند)، و همچنین مسئولیت اجرای قابل اعتماد، محرمانه بودن و خدمات یکپارچه (مانند ریشه اعتماد برای محیط های امانت دار، کانالهای ارتباطی رمز شده)را عهده دار باشد . واضح است که امنیت مه(نرم افزار پشت صحنه)؛ پاشنه آشیل زیر ساخت مه ، اگر به خطر بیافتد، به طور مستقیم بر امنیت و اعتماد همه برنامه ها و کاربران تاثیر می گذارد.

حساسیت گره های مه اغلب، به جاسوسی، آسیب فیزیکی، فریب دادن و مسدود کردن نسبت به سرورهای ابر مانند دستگاه های IoT بیشتر است[۱۷]. سطوح حمله برای گره های مه وسیعتر است، زیرا آنها مستعد تزریق اطلاعات ناقص و بدافزار، دستکاری سرویس، نشت اطلاعات هستند. گره های مه می توانند خطرناک تر از دستگاه های IoT باشند، زیرا آنها معمولا منابع بیشتری شامل اطلاعات خصوصی و نگرانی های مربوط به حفظ حریم خصوصی، و اعتماد به روابط را با تعداد بیشتری از گره های دیگر و موارد از راه دور را در اختیار دارند. گره های مهِ مودم به احتمال زیاد در طول زمان به فدراسیون های مختلفی می پیوندند، به طوری که آنها بیشتر مستعد به خطر افتادن هستند و به عنوان اسب تروجان در چندین زیرساخت استفاده می شوند. مالکیت چندانی از چنین اقلام، مسئله اعتماد شدید را نیز به همراه می آورد. علاوه بر این حفظ حریم خصوصی و نشت داده ها نیز چالش برانگیز است. قطعا ماهیت الگوی مه به طور طبیعی منجر به تهدید ساختارهای سرکش و غیرقابل اعتماد می شود[۱۸].

### ۳-۲ شبکه های حسگر بی سیم در مقابل مه

شبکه های حسگر بی سیم برای کار با قدرت بسیار کم برای افزایش عمر باتری طراحی شده اند و یا از مصرف انرژی برای حفظ خود استفاده می کنند. اکثر آنها با مشکلاتی از مدهای حافظه کوچک، قدرت پردازش کم و برخی حسگرهای غیر قابل اعتماد مواجه هستند. مه یک پلت فرم مناسب برای حمایت از شبکه های حسگر بی سیم است[۹].

## ۴- محاسبات لبه

محاسبات لبه بطور قابل‌توجهی در کاهش حجم داده‌هایی که باید منتقل شوند، ترافیک ناشی از آن و فاصله‌ای که باید طی شود تاثیر خواهد داشت. محاسبات لبه به معنی توانمندسازی تکنولوژی، جهت انتقال محاسبات به لبه شبکه می باشد که ، در آن داده های پایین دست در سرویس های ابر و داده های بالا دست در سرویس های اینترنت اشیا انجام می شوند. در محاسبات لبه ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات به سوی لبه شبکه و در نزدیکی منبع تولید اطلاعات هدایت شود. یعنی به جای اینکه اطلاعات تولید شده توسط دستگاه‌های اینترنت اشیا به روش سنتی به سوی مراکز داده یا سرورهای راه دور برای ذخیره‌سازی و پردازش ارسال شوند؛ این اطلاعات از طریق یک دروازه(گیت‌وی) محلی روی سرورها و ذخیره‌سازهای محلی قرار می‌گیرند. این رویکرد باعث افزایش سرعت تحلیل اطلاعات و کاهش فشار شبکه می‌شود .

منطق محاسبه لبه آن است که محاسبه باید در مجاورت منابع داده ها انجام شود. محاسبه لبه با محاسبه مه قابل جایگزینی است[۱۹]. از دیدگاه وای سانگ شی و همکاران (۲۰۱۶)، محاسبه لبه با محاسبه مه قابل جایگزینی است اما محاسبه لبه بیشتر اشیاء محور است ، حال آنکه محاسبه مه بیشتر ساختار محور است. تصور ما این است که محاسبه لبه، می‌تواند به همان اندازه محاسبات ابر ، بر جامعه تاثیر گذار باشد.

محاسبات لبه مزایای بسیاری را نسبت به معماری های سنتی مانند بهینه سازی استفاده از منابع در یک سیستم کامپیوتری ابر ارائه می دهد. انجام محاسبات در لبه شبکه، ترافیک شبکه را کاهش می دهد. محاسبات لبه همچنین امنیت را با رمزگذاری اطلاعات نزدیک به هسته شبکه بهبود می‌بخشد، در حالی که بهینه سازی داده ها، بیشتر از هسته، برای عملکرد است. کنترل برای لبه بسیار مهم است.

### ۴-۱ محاسبات لبه و امنیت

محاسبات لبه، ایجاد زیرساخت های کوچک مجازی سازی را در لبه شبکه، با استفاده از ایستگاه‌های پایه، کنترل کننده‌های شبکه‌های رادیویی، و یا سایر سایت های تجمیع فراهم می کند. محاسبات لبه، برنامه‌هایی مشابه با عنوان محاسبه مه، اما با معماری و مدل های مختلف کسب و کاراست (زیرساخت ها متعلق به یک اپراتور تنها و شامل دستگاه های کاربر نمی شود). علاوه بر این، محاسبات لبه به طور صریح زیرساختهای مخابراتی را برای ارائه خدمات لبه‌ای تلفن همراه، مانند اطلاعات شبکه‌های رادیویی، مکان، مدیریت پهنای باند، تعریف می کند [۲۰].

محاسبات لبه دارای نگرانی‌های امنیتی مشابه ابر است. با این حال، منابع توزیع شده همراه با نصب و راه اندازی شبکه‌های محیطی، معمولا محدودیت‌های کمتر و کنترل دسترسی فیزیکی نسبت به مراکز داده سنتی دارند، از این رو خطر انحراف ناچیز است. نیاز به منابع انسانی بیشتر (با قابلیت های مختلف و مهارت های امنیتی) و خطر خطاها، ضعف و یا تنظیمات از دست رفته را کاهش می دهد.

محدوده API ها و نقاط دسترسی سرویس، باعث افزایش سطح حمله و تاثیر بالقوه حمله می شود. در حقیقت، چنین خدماتی امکان دسترسی به اطلاعات حساس را در مورد محیط فیزیکی و مجازی، از جمله موقعیت و ترافیک شبکه سایر کاربران می‌دهد. ادغام محاسبات لبه با سیستم پشتیبانی عملیاتی کل شبکه همچنین باعث می شود که نفوذ

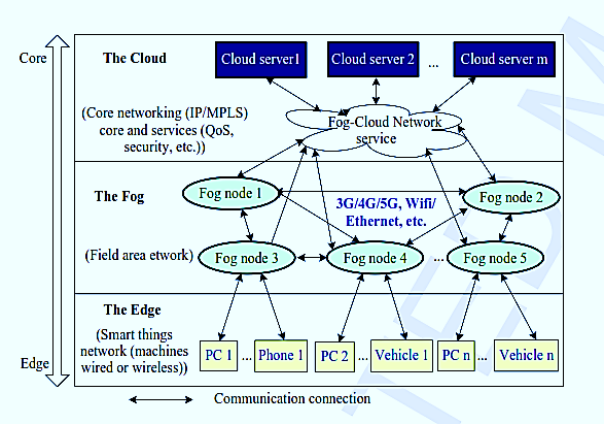
موفق و افزایش تعهدات منجر به کنترل زیرساختهای بزرگ و خدمات ارتباطی منطقه‌ای یا ملی شود[۴].

در نهایت، محاسبات لبه انتظار می رود که خدمات ارکسترتی را اجرا کنند، به طور خلاصه، چندین برنامه را با هم ترکیب کنند به عنوان مثال برای (Virtualization Function Function) ابزار ارکستراسیون اغلب طراحی شده است که به صورت پویا تصاویری از تصاویر مخفیِ تصاویر ویژه را انتخاب و بارگذاری می کند. در این مورد، نرم افزار خارجی ممکن است در داخل محیط امنیتی با تمام خطرات امنیتی مرتبط اجرا شود[۴].

محاسبات لبه مزایای بسیاری را نسبت به معماری های سنتی مانند بهینه سازی استفاده از منابع در یک سیستم کامپیوتری ابر ارائه می دهد. انجام محاسبات در لبه شبکه، ترافیک شبکه را کاهش می دهد. محاسبات لبه همچنین امنیت را با رمزگذاری اطلاعات نزدیک به هسته شبکه بهبود می بخشد. کنترل برای محاسبات لبه در محیط های صنعتی بسیار مهم است، زیرا برای پردازش داده ها به یک فرایند دو طرفه نیاز دارد. سیستم های جاسازی شده WinSystems می‌توانند داده ها را در لبه شبکه در زمان واقعی جمع آوری کنند و داده ها را قبل از ارسال آن به محیط های محاسباتی سطح بالا پردازش کنند[۲۱].

## ۲-۴ پتانسیل های محاسبات لبه و برنامه های کاربردی

برنامه‌های کاربردی ماموریت و زمانبندی حساس، مستلزم واکنش فوری هستند و نمی‌توانند زمان تأخیر ارتباطاتی را که ناشی از ابر دور و رسانه مشترک به اشتراک گذاشته شده است، تحمل کنند. بعضی از نمونه های کاربردی در زمان واقعی، خدمات اورژانسی و مراقبت های بهداشتی، بازی چند نفره، چند رسانه‌ای تعاملی، و برنامه‌های واقعیت افزوده، و غیر خدماتی مانند راهنمایی تصویری، نیاز به زمان پاسخ ۲۵ تا ۵۰ میلی ثانیه دارند که نمی تواند از ابر حاصل شود [۲۲] هات و همکاران [۲۳]- زمان پاسخ برنامه‌های کاربردی تشخیص چهره، تحت شرایط مختلف ، شبکه را ارزیابی کردند. این مطالعه نشان داد که زمان را پاسخ ممکن است به ۴,۰۲ ثانیه در بدترین شرایط شبکه ، در مقایسه با ۶۲۰ میلی ثانیه برای یک موضوع انسانی افزایش دهد. چنین مطالعاتی به وضوح نیازهای محاسبات لبه را برای برنامه های کاربردی در زمان واقعی نشان می-دهد[۲۴].




**شکل ۱ معماری (ساختار) جامع مه[۱]**

## ۵- ابر

شامل سرورهای با کارایی بالا و دستگاه‌های ذخیره سازی برای پخش، انبارداری داده ها و تجزیه و تحلیل داده های بزرگ است [۲۵]. این مرکز کنترل از راه دور و مدیریت است که می تواند اطلاعات بزرگ را ذخیره کند و کارهای بسیار پیچیده اما اغلب غیر فوری انجام دهد. داده ها به وسیله ارتباطات بی سیم و سیمی با سرعت بالا به ابر ارسال می شوند. ابر پوشش نهایی و جهانی را فراهم می کند. به عنوان یک مخزن،

داده‌هارا برای نیازهای درازمدت کاربران و تجزیه و تحلیل داده هوشمند ذخیره می‌کند[۱].

## ۶- مه

شامل یک شبکه از گره های مهِ مودم پیوسته است. این مه ، توزیع جغرافیایی پراکنده، زمان تاخیر کم و محاسبات فوری و همچنین آگاهی از محل را فراهم می‌کند. هر گره مه یک مرکز منابع برای ذخیره سازی طولانی است. این توابع شامل انتقال شبکه، جمع آوری داده‌ها، ارتباطات، آپلود داده، ذخیره سازی داده‌ها، محاسبات و مدیریت است. در مقایسه با دستگاه های لبه، گره‌های مه دارای حافظه بیشتر یا توان ذخیره سازی برای محاسبات هستند که امکان پردازش داده‌های قابل توجهی از دستگاه های لبه را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، هنگامی که نیاز به یک محاسبات پیچیده تر و طولانی تراست کار محاسبات باید از طریق فن آوری های مختلف ارتباطی در دسترس، مانند شبکه های 3G/4G/5G و Wi-Fi، به گره های ابر توسط مه ارسال شود. گره های مه پلهای بین ابر و لبه هستند[۱] که گره های مه را به عنوان اجزای ناهمگونی در شبکه های لبه در محیط های تنفسی مشخص می کنند. آنها عبارتند از دروازه‌ها، روترها، سوئیچرها، نقاط دسترسی، ایستگاه های پایه و سرورهای خاص مه هستند[۲۶].. گره های مه اغلب اولین مجموعه‌ای از پردازنده‌هایی هستند که داده‌ها در IoT قرار می گیرند و منابع برای پیاده سازی یک ریشه سخت افزاری کامل از اعتماد دارند. این ریشه اعتماد را می توان به تمام فرآیندها و برنامه‌های در حال اجرا روی آنها گسترش و سپس به ابر داد[۲۷].

### ۶-۱ عملکردگره‌های مه

- دریافت فید(feed) از دستگاه های IoT در زمان واقعی با استفاده از هر پروتکل
- اجرای برنامه های IoT فعال برای کنترل زمان واقعی و تجزیه و تحلیل، با زمان پاسخ میلی ثانیه
- ارائه ذخیره سازی گذرا، اغلب ۱-۲ ساعت
- ارسال خلاصه داده های دوره ای به ابر[۲۸].

گره های مه مستقل هستند و می توانند برای همکاری متصل شوند. مدیریت و رویه های همکاری در گره‌های مه برای اعمال مدیریت و کنترل، اعمال می شوند. همکاری بین گره‌های مه می تواند از طریق ارتباطات راه دور یا محلی بین آنها اجرا شود[۱].

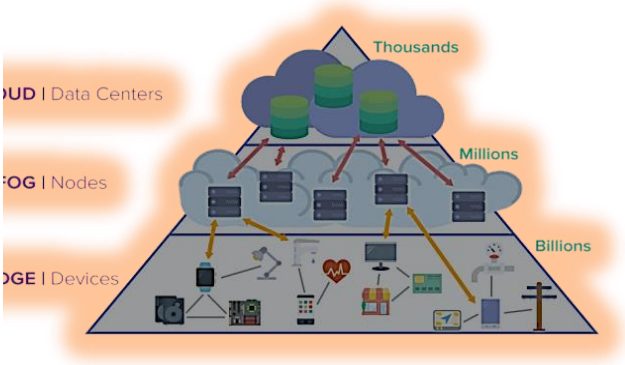
## ۷- لبه

شامل چندین دستگاه فیزیکی (دستگاه لبه) است که با شناسایی، سنجش و ظرفیت ارتباطی آنها ، مانند وسایل نقلیه، ماشین آلات و تلفن همراه، فعال می شود[۲۵]. هر دستگاه لبه به یکی از گره های مه متصل است. دستگاه های لبه دارای انواع مختلفی از سنسورها و داده های محلی هستند. ارسال تمام داده ها از دستگاه های لبه ترمینال به ابر از طریق یک شبکه، بسیار گران و وقت گیر است. از این رو، با اتصال آنها به گره های مه، می توان با داده‌ها فوری برخورد کرد. لبه، مجموعه‌ای از منابع به طور آزاد، به صورت داوطلبانه و انسان به شمار می رود مانند دسکتاپ، لپ تاپ، نانو داده ها، تبلت ها و غیره[ ۲۹-۳۰].

### ۷-۱ محاسبات لبه در مقابل مه

محاسبات لبه از مه متفاوت است؛ این دومین پلتفرم بسیار مجازی است که محاسبات، ذخیره سازی

و خدمات شبکه را بین دستگاههای پایان یافته و مراکز داده محاسباتی ابر فراهم می کند[۳۱]. هر دو آنها نیاز به هوش و پردازش قابلیت های خارج از مراکز داده متمرکز و نزدیک به دستگاه های لبه مانند سنسورهای IoT، رله ها و موتورها دارد. تفاوت اصلی بین آنها جایی است که اطلاعات و قدرت پردازش قرار گرفته است[۳۲]. مه اطلاعات را به سطح شبکه محلی (LAN)متصل می کند، پردازش داده ها در گره‌های مه در حالی که محاسبات لبه اطلاعات، قدرت پردازش و قابلیت های ارتباطی را به سمت دستگاه‌های لبه پایین می آورد[۳۳].




**شکل ۲ محاسبات مه در مقابل محاسبات لبه[۳۴]**

هدف اصلی اینترنت اشیاء (IoT)، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها از دارایی هایی است که قبلا از اکثر ابزارهای پردازش داده جدا شده بودند. این داده‌ها از طریق دارایی‌های فیزیکی یا اشیایی که در لبه شبکه قرار دارند مانند موتورها، لامپهای برق، ژنراتورها، پمپ ها و رله ها تولید می شوند که کارهای خاصی را برای حمایت از فرآیند کسب و کار انجام می‌دهند. اینترنت اشیاء مربوط به اتصال این دستگاههای (اشیا) غیر مرتبط است و اطلاعات آنها به ابر یا اینترنت برای تجزیه و تحلیل ارسال می شود. در معماری ابر IoT سنتی، تمام داده‌ها از دارایی‌های فیزیکی یا اشیاء برای ذخیره سازی و تجزیه و تحلیل پیشرفته به ابر منتقل می شوند. هنگامی که در ابر قرار می‌گیرد، داده‌ها برای پیش آگهی شناختی (یعنی نگهداری پیش بینی شده، تجزیه و تحلیل نقص قانونی و بهینه سازی فرایند) استفاده می شوند[۳۵].

محاسبات مه و لبه در برنامه‌های کاربردی تولید و اتوماسیون، معماری شبکه و سیستم است که تلاش می کند داده ها را از این دارایی ها، جمع آوری، تجزیه و تحلیل و پردازش کند تا از معماری ابر سنتی کارآمدتر باشد. این معماری ها اهداف مشابهی دارند:

- برای کاهش میزان داده ارسال شده به ابر
- برای کاهش تاخیر شبکه و اینترنت
- برای بهبود زمان پاسخ سیستم در برنامه‌های مأموریت از راه دور[۳۵].

با این حال، تفاوت اصلی بین دو مفهوم وجود دارد. هر دو محاسبات مه و محاسبات لبه شامل افزایش هوش و پردازش قابلیت های نزدیک به جایی که داده ها ایجاد می شود - در لبه شبکه. تفاوت اصلی بین دو معماری دقیقا همان جایی است که قدرت هوش و محاسبات قرار گرفته است[۳۵].

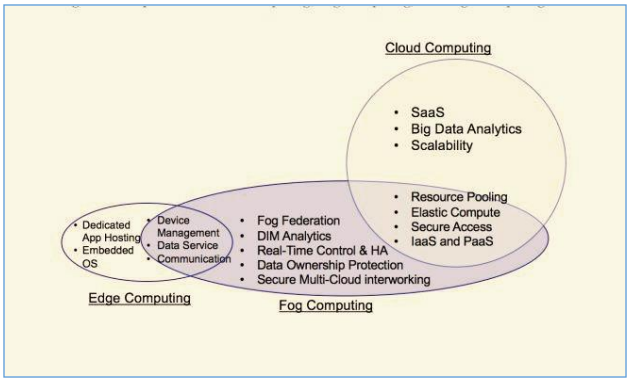
محاسبات مه با استفاده از اطلاعات در سطح شبکه محلی (LAN)سطح معماری شبکه، پردازش داده‌ها در یک گره مه و یا دروازه IoT می‌پردازد[۳۵].

محاسبات لبه اطلاعات هوشمند، توان پردازش و ارتباطات یک دروازه لبه یا دستگاه را مستقیما به دستگاه هایی مانند PACs (کنترل کننده های اتوماسیون اتوماتیک برنامه ریزی شده) می برد.

در حالی که محاسبات مه بیشتر مورد توجه ارائه دهندگان خدمات یا شرکتهای پردازش داده است، محاسبات لبه توسط شرکتهای telecos و

middleware مورد توجه قرار گرفته است که در واقع دارای شبکه پشتی و شبکه رادیویی است[۳۶].

هلدر آنتونیوس، مدیر ارشد نوآوری های استراتژیک شرکت سیسکو و عضو کنسرسیوم OpenFog، می گوید که محاسبات لبه یک جزء یا یک زیر مجموعه محاسبات مه است. اندیشه محاسبات مه انتقال شیوه پردازش اطلاعات از جایی که تولید شده به جایی که ذخیره می شود، می باشد. محاسبات لبه فقط به اطلاعات پردازش شده نزدیک به جایی که آن ایجاد شده، منسوب می شود. محاسبات مه نه تنها پردازش لبه، بلکه اتصالات شبکه مورد نیاز برای آوردن آن داده ها از لبه به نقطه انتهایی آن را پوشش می دهد.




**شکل ۳ مقایسه محاسبات ابر، مه، و لبه [۳۷]**

**جدول ۱ ویژگی های کلیدی محاسبه لبه و مه[۳۸]**

| ویژگی های کلیدی | مه | لبه |
|---|---|---|
| میزبانی وب | بله | محدود است |
| خدمات داده در لبه | بله | بله |
| مدیریت دستگاه و برنامه | بله | بله |
| امنیت | E2E، حفاظت از داده ها سطح جلسه و سخت افزار | نقطه جزئی راه حل VPN ،FW |
| انعطاف پذیری محاسبه /جمع آوری منابع | بله | نه |
| سخت افزار مدولار | بله | نه |
| مجازی سازی با پشتیبانی از ویندوز | بله | TBD |
| کنترل زمان واقعی در دسترس بودن بالا | بله | نه |

**جدول۲ تفاوت بین لبه و محاسبات مه سنتی [۳۸]**

| | محاسبات لبه | محاسبات مه |
|---|---|---|
| ۱ | دستگاه آگاه و چند سرویس آگاه است -از کل دامنه بی اطلاع است | دستگاه مستقل،هوشمند ، آگاه از کل دامنه مه |
| ۲ | کنترل محدود در دامنه لبه | کنترل همه دستگاه ها در دامنه |
| ۳ | ابر ناآگاه | ابعاد ابر را به سطح مه در یک زنجیره توسعه می- دهد |
| ۴ | دامنه شبکه محدود | دامنه شبکه کامل |
| ۵ | IOTبدون آگاهی عمودی | پشتیبانی و فراهم آوردن امکان برای چندین عمودی IOT |
| ۶ | IoTبدون ادغام عمودی | ادغام چندین ستون |
| ۷ | با استفاده از کنترل های لبه که بر روی فرمان دستگاه و کنترل متمرکز می شوند | با استفاده از گره های مه که بسیار همه کاره است و قادر به انجام انواع عملکرد، انواع توابع، مانند کنترل ، میزبانی برنامه و مدیریت است RT |
| ۸ | محدوده امنیتی به دستگاه محدود شده است | امینت انتها به انتها (end to end security) |
| ۹ | تجزیه و تحلیل دامنه به دستگاه منحصر به فرد بستگی دارد | تجزیه و تحلیل مه قادر به جمع آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل داده ها از دستگاه های متعدد در لبه برای تجزیه و تحلیل، یادگیری ماشین، تشخیص آنومالی و بهینه سازی سیستم است. |

## ۸- نتیجه گیری

کاربرد محاسبات ابری بسیار گسترش یافته و با رشد اینترنت اشیاء این روند سرعت بیشتری گرفته است. اما به رغم تلاشها برای تقویت برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء با بهره‌گیری از قدرت محاسبات ابری، به دلیل مشکلات ذاتی محاسبات ابری ، هنوز مشکلات حل نشده‌ای در این برنامه ها وجود دارد. می‌توان نتیجه گرفت که شمار اشیاء در لبه شبکه در چند سال آینده به بیش از میلیاردها خواهد رسید. بنابراین، داده های خام تولید شده توسط آنها بسیار زیاد خواهد بود، و رایانش ابری معمول، برای اداره این داده ها به اندازه کافی کارآمد نباشد. رایانش مه یک الگویی است که محاسبات ابری را با ارسال سرویس ها به لبه های شبکه، توسعه می- دهد. محاسابات مه اطلاعات را به سطح شبکه محلی معماری شبکه متصل می کند، پردازش داده ها را در

یک گره مه یا دروازه IoT انجام می دهد[۳۸-۳۹] . در محاسبات مه، انتقال داده‌ها از اشیا به ابر نیاز به مراحل مختلف دارد.

ابتدا سیگنال های الکتریکی ناشی از اشیاء به طور سنتی به نقاط ورودی / خروجی کنترل کننده اتوماسیون (PLC یا PAC)متصل می شوند. کنترل اتوماتیک، یک سیستم کنترل سیستم است که ، سیستم را برای به کارگیری همه چیز، اجرا می‌کند. بعد داده ها از سیستم کنترل به سرور OPC یا دروازه پروتکل ارسال می شود که داده ها را به یک سیستم پروتکل اینترنت تبدیل می کند مانند MQTT یا HTTP.

سپس داده ها به یک سیستم دیگر ارسال می‌شود، مانند گره مه یا دروازه ی IOT در شبکه، که داده‌ها را جمع آوری می‌کند و پردازش و تجزیه و تحلیل سطح بالایی را انجام می‌دهد. این سیستم فیلتر، تجزیه و تحلیل، فرایندها، و حتی ممکن است داده ها را برای انتقال به ابر یا WAN در تاریخ بعد ذخیره کند.

محاسبات لبه این زنجیره ارتباط را ساده کرده و نقاط بالقوه شکست را کاهش می‌دهد. در محاسبات لبه، دارایی‌های فیزیکی مانند پمپ‌ها، موتورها و ژنراتورها از لحاظ فیزیکی به یک سیستم کنترل متصل می‌شوند که در آن PAC آنها را با اجرای یک سیستم کنترل سیستم اتوماتیک کنترل می کند.

PAC های هوشمند با قابلیت محاسبات لبه، داده ها را جمع آوری، تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها از دارایی های فیزیکی را که به آنها متصل می‌شوند، به طور همان زمان اجرا میکند.

سپس PAC ها از توانایی محاسبات لبه برای تعیین اینکه چه اطلاعاتی باید به صورت محلی ذخیره شود یا برای تجزیه و تحلیل بیشتر به ابر ارسال شود، استفاده می‌کند. در محاسبات لبه، هوش به معنای واقعی کلمه به لبه شبکه تحویل داده می‌شود، جایی که دارایی‌های فیزیکی یا اشیاء ما برای اولین بار به هم متصل می‌شوند ، از آنجایی که داده های IoT حاصل می‌شوند.

محاسبات لبه با صرفه جویی در ارتباطات IOT، کاهش پیچیدگی معماری سیستم و شبکه و کاهش تعداد نقاط نقص احتمالی در یک برنامه IoT موجب صرفه جویی در وقت و پول می شود. کاهش پیچیدگی معماری سیستم کلید موفقیت برنامه های کاربردی IoTاست[۳۵]. محاسبات لبه و محاسبات مه، هر دو مدل قابلیتهای پردازش داده‌ها را به اطلاعات جغرافیایی نزدیکتر می رسانند، اما تأکید آنها متفاوت است. به طور خلاصه، محاسبات مه اطلاعات را در شبکه محلی ایجاد می کنند در حالی که محاسبات لبه آن را در داخل دستگاه ها قرار می‌دهد[۴۰].

## منابع

1. Zhang, PeiYun, MengChu Zhou, and Giancarlo Fortino. "Security and trust issues in Fog computing: A survey." *Future Generation Computer Systems* 88 (2018): 16-27. 5.008

2. Evans, Dave. "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything." *CISCO white paper* 1, no. 2011 (2011): 1-11.

3. Linthicum D. Edge computing vs. fog

computing: A taxonomy ." In *Proc. of the Sixth International Conference on Advances in Future Internet*, pp . 48-55 . Citeseer, 2014 .

14. Klas, Guenter I. "Fog computing and mobile edge cloud gain momentum open fog consortium, etsi mec and cloudlets." *Google Scholar* (2015).

15. Roman, Rodrigo, Javier Lopez, and Masahiro Mambo. "Mobile edge computing, fog et al.: A survey and analysis of security threats and challenges." *Future Generation Computer Systems* 78 (2018): 680-698.

16. OpenFog Reference Architecture | OpenFog Consortium [Internet]. [cited 2018 Jun 11]. Available from: https://www.openfogconsortium.org/ra/

17. Gai, Keke, Meikang Qiu, Zhong Ming, Hui Zhao, and Longfei Qiu. "Spoofing-jamming attack strategy using optimal power distributions in wireless smart grid networks." *IEEE Transactions on Smart Grid* 8, no. 5 (2017): 2431-2439.

18. Rapuzzi, R., and M. Repetto. "Building situational awareness for network threats in fog/edge computing: Emerging paradigms beyond the security perimeter model." *Future Generation Computer Systems* 85 (2018): 235-249.

19. OpenFog Consortium Architecture Working Group. "Openfog architecture overview." *White Paper OPFWP001* 216 (2016): 35.

20. ETSI, MECISG. "Mobile edge computing (mec); framework and reference architecture." *ETSI, DGS MEC* 3 (2016) .

21. Cloud Computing, Fog Computing and Edge Computing: What's the Difference? [Internet]. [cited 2018 Jun 7]. Available from: https://www.winsystems.com/cloud-fog-and-edge-computing-whats-the-difference/

22. Agarwal, Sharad, Matthai Philipose, and Paramvir Bahl. "Vision: the case for cellular small cells for cloudlets." In *Proceedings of the fifth international workshop on Mobile cloud computing & services*, pp. 1-5. ACM, 2014.

23. Ha, Kiryong, Padmanabhan Pillai, Grace Lewis, Soumya Simanta, Sarah Clinch, Nigel Davies, and Mahadev Satyanarayanan. "The impact of mobile multimedia applications on data center consolidation." In *Cloud Engineering (IC2E), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 166-

computing: Definitions and enterprise uses [Internet]. Available from: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/edge-computing.html .

4. Chiang, Mung, and Tao Zhang. "Fog and IoT: An overview of research opportunities." *IEEE Internet of Things Journal* 3, no. 6 (2016): 854-864.

5. Shi, Weisong, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, and Lanyu Xu. "Edge computing: Vision and challenges." *IEEE Internet of Things Journal* 3, no. 5 (2016): 637-646.

6. Yousefpour, Ashkan, Genya Ishigaki, and Jason P. Jue. "Fog computing: Towards minimizing delay in the internet of things." In *Edge Computing (EDGE), 2017 IEEE International Conference on*, pp. 17-24. IEEE, 2017.

7. Bonomi, Flavio, Rodolfo Milito, Preethi Natarajan, and Jiang Zhu. "Fog computing: A platform for internet of things and analytics." In *Big data and internet of things: A roadmap for smart environments*, pp. 169-186. Springer, Cham, 2014.

8. Vaquero, Luis M., and Luis Rodero-Merino. "Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing." *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 44, no. 5 (2014): 27-32.

9. Bonomi, Flavio, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. "Fog computing and its role in the internet of things." In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pp. 13-16. ACM, 2012.

10. billy short. Introduction to fog computing. 2016 [cited 2018 Jun 13]; Available from: http://www.infosecwriters.com/Papers/BShort_FogComputing.pdf ,(2016)

11. Vaquero, Luis M., and Luis Rodero-Merino. "Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing." *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 44, no. 5 (2014): 27-32.

12. Dsouza, Clinton, Gail-Joon Ahn, and Marthony Taguinod. "Policy-driven security management for fog computing: Preliminary framework and a case study." In *Information Reuse and Integration (IRI), 2014 IEEE 15th International Conference on*, pp. 16-23. IEEE, 2014 .

13. Beck, Michael Till, Martin Werner, Sebastian Feld, and S. Schimper. "Mobile edge

[Internet]. Available from: http://www.linkedin.com/pulse/report-from-dcia-ceo-marty-lafferty-mart%0Ay-lafferty-6195982160948666368.

34. Fog computing vs edge computing [Internet]. Available from: https://erpinnews.com/fog-computing-vs-edge-computing

35. Fog vs Edge Computing: What's the difference? [Internet]. [cited 2018 Jun 3]. Available from: http://info.opto22.com/fog-vs-edge-computing

36. Shariffdeen R. Edge Computing vs Fog Computing [Internet].[Oct 6,2017]. Available from:https://medium.com/@rshariffdeen/edge-computing-vs-fog-computing-5b23d6bb049d

37. Adams P. How do you define the terms Fog Computing and Edge Computing? [Internet].[ 04 Sep 2017]. Available from: https://knect365.com/cloud-enterprise-tech/article/246d1a71-e030-4a07-8026-3b0da7f7f188/fog-vs-edge-computing

38. Court H V. Fog vs Edge Computing. [Internet].[ January 19, 2018]. Available from:https://erpinnews.com/fog-computing-vs-edge-computing

39. Baker J. Learn the basics of edge computing and how it is transforming the realtime landscape [Internet].[ November 5, 2017]. Available from: https://realtimeapi.io/edge-computing-beginners-guide/.

40. ALEX JABLOKOW. "Edge Computing Vs FogComputing" .[Internet].[March19,2018].Available from:https://blog.ipswitch.com/edge-computing-vs-fog-computing.

176. IEEE, 2013 .

24. Bilal, Kashif, Osman Khalid, Aiman Erbad, and Samee U. Khan. "Potentials, trends, and prospects in edge technologies: Fog, cloudlet, mobile edge, and micro data centers." *Computer Networks* 130 (2018): 94-120.

25. Moosavi, Sanaz Rahimi, Tuan Nguyen Gia, Ethiopia Nigussie, Amir M. Rahmani, Seppo Virtanen, Hannu Tenhunen, and Jouni Isoaho. "End-to-end security scheme for mobility enabled healthcare Internet of Things." *Future Generation Computer Systems* 64 (2016): 108-124.

26. Hu, Pengfei, Sahraoui Dhelim, Huansheng Ning, and Tie Qiu. "Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues." *Journal of Network and Computer Applications* (2017).

27. Fortino, Giancarlo, Antonio Guerrieri, Wilma Russo, and Claudio Savaglio. "Integration of agent-based and cloud computing for the smart objects-oriented IoT ." In *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on*, pp. 493-498. IEEE, 2014 .

28. Fog Computing and the Internet of Things.; Available from: www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-overview.pdf (2015)

29. Mohan, Nitinder, and Jussi Kangasharju. "Edge-fog cloud: A distributed cloud for internet of things computations." In *Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*, pp. 1-6. IEEE, 2016.

30. Mohan, Nitinder, and Jussi Kangasharju. "Edge-fog cloud: A distributed cloud for internet of things computations." In *Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*, pp. 1-6. IEEE, 2016.

31. Bonomi, Flavio, Rodolfo Milito, Jiang Zhu, and Sateesh Addepalli. "Fog computing and its role in the internet of things." In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pp. 13-16. ACM, 2012.

32. Mukherjee, Mithun, Rakesh Matam, Lei Shu, Leandros Maglaras, Mohamed Amine Ferrag, Nikumani Choudhury, and Vikas Kumar. "Security and privacy in fog computing: Challenges." *IEEE Access* 5 (2017): 19293-19304.

33. Lafferty M. Edge computing vs. Fog computing