

موضوع گزارش:

مروری بر محاسبات لبه شبکه

Edge computing

## فهرست مطالب

۱. مقدمه
۲. مفاهیم و تعاریف
  - a. محاسبه لبه
۳. ویژگیهای محاسبات لبه شبکه
۴. نیروهای بازار
۵. مزایای مربوط به محاسبات لبه شبکه
۶. معماری محاسبات لبه شبکه
۷. طبقه بندی موارد کاربرد
۸. موارد کاربرد
  - a. در صنعت
  - b. کاربران نهایی End Users
۹. سوالات متداول
  - a. چرا به محاسبات لایه شبکه نیاز داریم؟
  - b. آیا محاسبات لبه به فناوری مخابراتی 5G نیاز دارد؟
  - c. حوزه های اصلی کاربرد محاسبات لبه شبکه چیست؟
  - d. معمولاً چه حجم از داده ها باید در لبه شبکه پردازش شود؟
  - e. فواید اصلی محاسبات لبه شبکه چیست؟
  - f. مقایسه محاسبات لبه شبکه با سرویس ابر، مه یا غبار ؟
  - g. اندازه بازار محاسبات لبه شبکه چقدر است ؟
  - h. بازیگران اصلی بازار محاسبات لبه شبکه چه کسانی هستند ؟
  - i. آخرین اخبار مهم این حوزه چیست ؟
۱۰. منابع و مراجع
۱۱. پیوستها
  - a. پیوست یک – بررسی نتایج نظر سنجی HEAVY READING در خصوص محاسبات لبه

## ۱. مقدمه

برای سالهای متمادی، در صنعت پردازش داده ها، روند تبدیل مرکز داده ها به مراکز کوچکتر و غیر متمرکز که باعث توزیع شدن پردازش ها و همچنین داده ها در سطح شبکه میشود ادامه دارد.

روند تبدیل شدن این مراکز به واحدهای کوچکتر برای پردازش و نگهداری اطلاعات، باعث شده است تا اطلاعات در نزدیکی کاربر ذخیره شده و همین امر باعث کاهش هزینه حمل و نقل داده ها و کاهش تاخیر در پاسخگویی خواهد شد.

محاسبات لبه شبکه (Edge computing) یک معماری محاسباتی توزیع شده است که محاسبه و ذخیره سازی داده ها را به محلی که در آن مورد نیاز است نزدیکتر میکند، این معماری کمک میکند تا زمان پاسخگویی به درخواست ها بهبود یافته و پهنای باند ذخیره گردد.

منشاء و خاستگاه اصلی محاسبات لبه edge در اواخر دهه 1990 و برای شبکه های تحویل محتوا ایجاد شد جایی که نیاز بود تا برای ارائه مطالب وب و فیلم از سرورهای لبه شبکه که نزدیک به کاربران مستقر بودند ایجاد شده است.

این شبکه ها برای میزبانی برنامه ها و مؤلفه های برنامه در سرورهای لبه شبکه تکمیل شده اند، که منجر به ارائه خدمات محاسبات تجاری در اولین لایه از شبکه میشود، این لایه میزبان برنامه هایی مانند مکان یابهای فروشنده، سبد خرید، جمع کننده داده های و موتورهای درج آگهی است که همگی آنها به صورت بلادرنگ زمانی باید خدمت ارائه کنند.

به عنوان یک مثال ساده، می توان آن را با خوردن غذای محلی مقایسه کرد. در حالی که استیک های آرژانتینی خوشمزه هستند، اما حمل و نقل استیک ها به آمریکا با چند مشکل مواجه است. این استیکها باید مسافت بسیار زیادی را جابجا شوند و لذا این موضوع منجر به افزایش انتشار CO2 شود و زمان زیادی را می طلبد. علاوه بر این، ممکن است ردیابی منشاء گوشت بسیار سخت تر شده و همچنین استانداردهای مختلفی برای محصولات حیوانی وجود داشته باشد. لذا به نظر میرسد در بسیاری موارد تولید محصولات به صورت محلی منافع زیادی داشته باشد.

در یک نظر سنجی که توسط Heavy Reading's انجام شده است حدود 77% شرکتها و سرویس دهنده ها اعلام کردند که محاسبات لبه شبکه برای کسب و کار آنها مهم است و 20% از شرکت کنندگان اظهار داشتند که محاسبات لبه

برآنها آنقدر مهم است که بدون آن، کسب و کار آنها با شکست مواجه خواهد شد. البته تنها حدود 3% اعتقاد داشتند که محاسبات ابری اصلاً به درد آنها نمیخورد.

در واقع کلمه EDGE (لبه) به یک محل و موقعیت اشاره دارد و نه به یک سرویس و یا تجهیز، نکته دیگر آن است که یک موقعیت ثابت برای محل لبه وجود ندارد بلکه ممکن است وابسته به یک شرکت و یا کاربرد محل و موقعیت لبه تغییر پیدا کند.

## ۲. مفاهیم و تعاریف

### • محاسبه لبه

محاسبات لبه، یک زیرساخت محاسبات فیزیکی است که ما بین دستگاه فیزیکی و مرکز داده ابری واقع شده است. پشتیبانی از برنامه های مختلف محاسبات لبه، قابلیت پردازش را به کاربر / دستگاه / منبع نهایی داده نزدیک می کند که انتقال اطلاعات به مرکز داده های ابری را از بین برده و تأخیر را کاهش می دهد.

در واقع یک تعریف واحد برای محاسبات لبه وجود ندارد، در ادامه به دو تعریف مختلف پرداخته میشود:

#### ○ تعریف محاسبات لبه بر مبنای موسسه استانداردهای مخابراتی اروپا ETSI

محاسبات لبه موبایل یک محیط خدماتی IT و همچنین توانمندیهای محاسبات ابری را در لبه شبکه (در شبکه دسترسی رادیویی (RAN) و در نزدیکی مشترکین تلفن همراه) موبایل فراهم میکند.

#### ○ تعریف محاسبات لبه بر مبنای IEEE

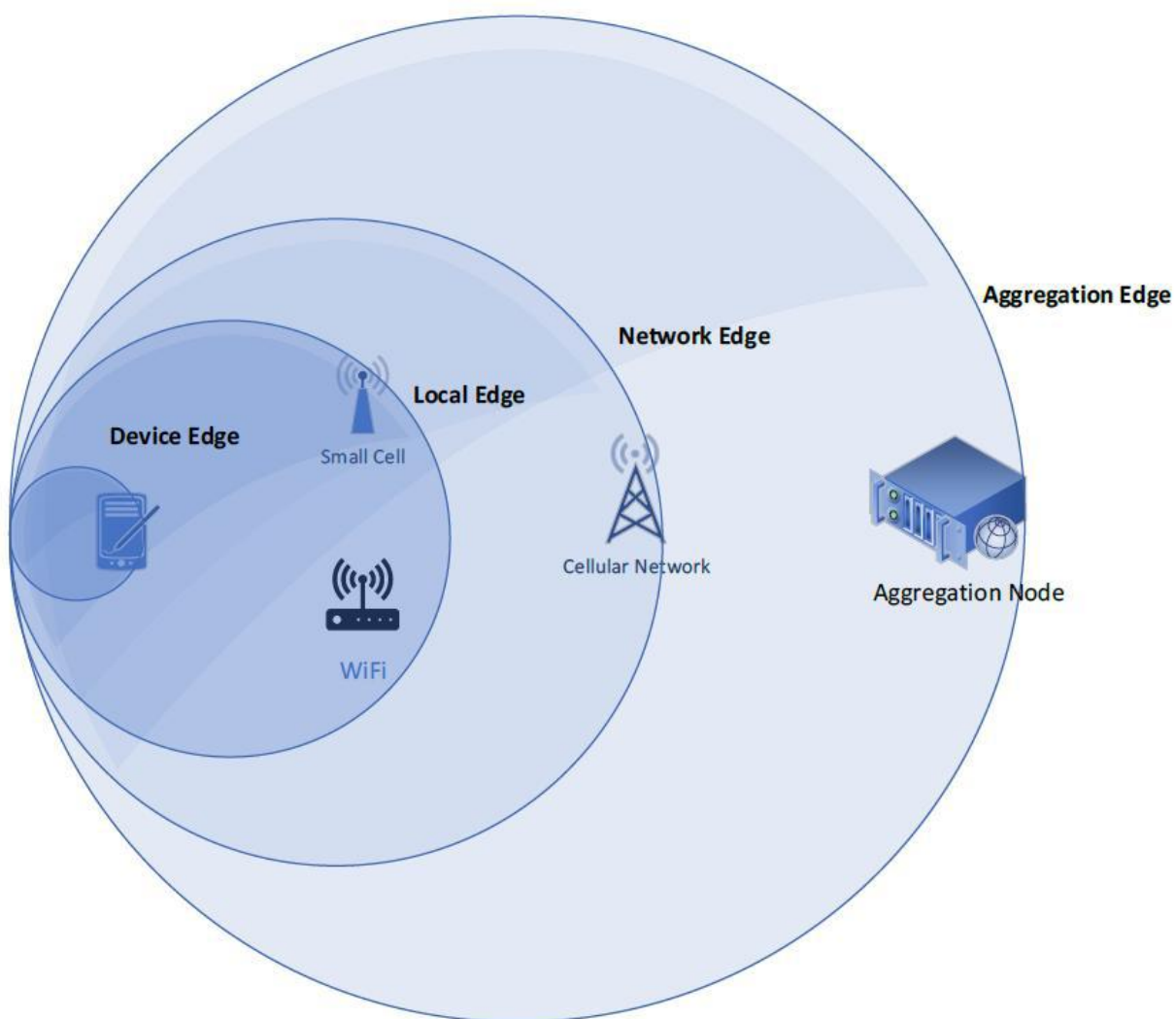
به فرآیندی اطلاق میشود که بجای آنکه برنامه ها ، داده ها و پردازش ها را در مرکز شبکه قرار دهد ، این داده ها و برنامه ها را در مرزهای منطقی یک شبکه جاگذاری می نماید.

## ○ تعریف محاسبات لبه از نگاه بنیاد لینوکس

ارائه قابلیت‌های محاسباتی به مرزهای منطقی یک شبکه به منظور بهبود عملکرد ، هزینه

عملیاتی و قابلیت اطمینان برنامه ها و خدمات در یک شبکه

در شکل بعدی یک نمای کلی از شبکه محاسبات لبه نشان داده شده است:



در ادامه به این سوال پاسخ می‌دهیم که منظور از مرزهای منطقی شبکه چیست؟ در بیشتر موارد، منظور از مرزهای منطقی شبکه، دستگاه‌های پایانی هستند که در شبکه فعالیت میکنند مانند سنسورها، تلفنهای هوشمند، خودروها، دوربینهای ترافیکی و امنیتی، تجهیزات پزشکی و ...

از دیدگاه محاسبات لبه، منظور از مرز شبکه در واقع یک مکان (نه لزوماً مکان فیزیکی) است که توسط نوع کار و نیز روش دستیابی و انجام آن تعریف میشود. به عبارت دیگر محاسبات لبه شبکه، در واقع مرز را در جایی قرار میدهد که بتوان به بیشترین کارایی و مقیاس پذیری در عملیات و محاسبات دست یافت. برای درک این موضوع به مثالهای زیر دقت فرمایید:

- اگر فردی به دنبال یافتن یک موقعیت مکانی برای چند صد دستگاه مشابه یکدیگر در یک منطقه نزدیک به هم باشد، ایستگاه پایه برای ایده آل مناسب ترین اطلاعاتی است که بتواند برای موجودی که به آن نیاز دارد پراکنده شود، بنابراین ایستگاه پایه لبه است.
- برای هواپیمای بدون سرنشین که بصورت بلادرنگ در حال جمع آوری تصاویر از یک خط لوله نفتی است و در تلاش است تا تعیین کند که آیا تغییرات قابل ملاحظه ای در آن بوجود آمده است، این هواپیمای بدون سرنشین دستگاه لبه ای است.
- در برخی موارد کاربرد، داده های مربوط به ترافیک وسایل نقلیه باید برای پیش بینی تراکم در سطح شهرها جمع شود. در چنین سناریوهای، لایه جمع اطلاعات در واقع لبه شبکه است.
- در موارد کاربرد، مربوط به مراقبت های بهداشتی، بسته به وضعیت برنامه و زنجیره تأمین کار، لبه شبکه ممکن است دستگاه متصل به بیمار (مانند ساعت هوشمند یا مانیتور قلب) بوده و یا اینکه ممکن است در RAN (تجهیزات مربوط به اپراتور) باشد. در این زنجیره گاهی ممکن است بیمارستان (که در حال پردازش داده های مربوط به چندین بیمار است) لبه شبکه تصور شود. البته در صورتیکه نیاز باشد تمامی داده های مربوط به تمامی بیمارستانهای تمامی شهرها به یک مرکز متصل شود.

- در مورد سیستم های امنیتی مبتنی بر تشخیص چهره در مدارس ، استفاده از بردارهای صورت برای احراز هویت می تواند با استفاده از یک سلول کوچک محلی یا یک نقطه دسترسی (که در این صورت این سلول لبه خواهد بود) انجام گردد در حالیکه اگر می خواهید چهره را با یک تحت تعقیب در بانک اطلاعاتی مقایسه شود. ، به طور معمول ، این کار با کمک گره های تجمیع یا ابر متمرکز انجام می شود ، به این ترتیب است که مفهوم لبه شبکه را نمیتوان در یک جای ثابت شبکه تعریف نمود.

نکته کلیدی در همه این مثالها این است که به صورت هوشمندانه برای بالاترین کارایی برنامه ریزی شده اند. در بخش بعدی نگاهی خواهیم داشت به نیروهای بازار که چرخه محاسبات شبکه را فعال می کنند.

## ۳. ویژگیهای محاسبات لبه

- **قابلیت اتصال** : مهمترین ویژگی محاسبات لبه میباشد. تنوع اشیاء فیزیکی و کاربردهای مرتبط سناریوها و نیاز به محاسبات لبه، رابط های مختلف شبکه ، پروتکل ها ، توپولوژی ها ، استقرار و پیکربندی شبکه و مدیریت و نگهداری شبکه را فراهم می کند. علاوه بر این ، اتصال باید تعامل با انواع باسهای صنعتی موجود را نیز پشتیبانی نماید.

## ۴. نیروهای بازار که امکان محاسبات لبه شبکه را فراهم میکنند.

صنعت بی سیم در حال شروع عرضه فناوری 5G به بازار است که مجموعه جدیدی از قابلیت ها را دارا میباشد برخی از این قابلیتها عبارتند از: پهنای باند پیشرفته ، تأخیر کمتر ، پشتیبانی از استقرار اینترنت اشیاء به صورت متراکم تر ، قاچ زنی شبکه ، امنیت بیشتر و موارد دیگر.

با پیشرفت فناوری، اندازه سنسورها روز به روز کوچکتر شده و در بسیاری از کارهای روزمره مورد استفاده قرار میگیرند.

این پلت فرم محاسباتی نه تنها برای پردازش داده های اولیه تولید شده توسط سنسورها، بلکه برای الگوریتم های هوش مصنوعی که می توانند داده ها را بصورت بلادرنگ و واقعی حس کنند، در دسترس این حسگرها قرار گرفته است. به هر صورت، نوع جدیدی از برنامه ها و خدمات در حال ظهور است که به توزیع و پردازش بسیار گسترده و اطلاعات نیاز دارد. در طی چند سال گذشته، در چندین حوزه پیشرفتهای چشمگیری رخ داده است از جمله:

**سخت افزار:** حسگرها ارزان تر و کوچک تر شده اند تا جایی که تقریباً در همه موارد حسگر قرار می دهیم.

**داده ها:** تولید کردن داده از هر نقطه و در هر شرایطی بسیار ساده شده است زیرا در دسترس بودن سنسورها باعث شده تا مقدار داده های موجود برای استخراج و تحلیل اطلاعات، چندین برابر گذشته باشد.

**نرم افزار:** صنعت تازه کار (هوش مصنوعی) AI به وجود آمده است تا به عنوان یک جزء قابل برنامه ریزی از سیستمهای نرم افزاری ایجاد کند که بتواند داده ها را به عنوان ورودی خود پذیرفته و با یادگیری عمیق، عملکردهای انسانی را شبیه سازی و به بهبود (سرعت و دقت آنها کمک کند)

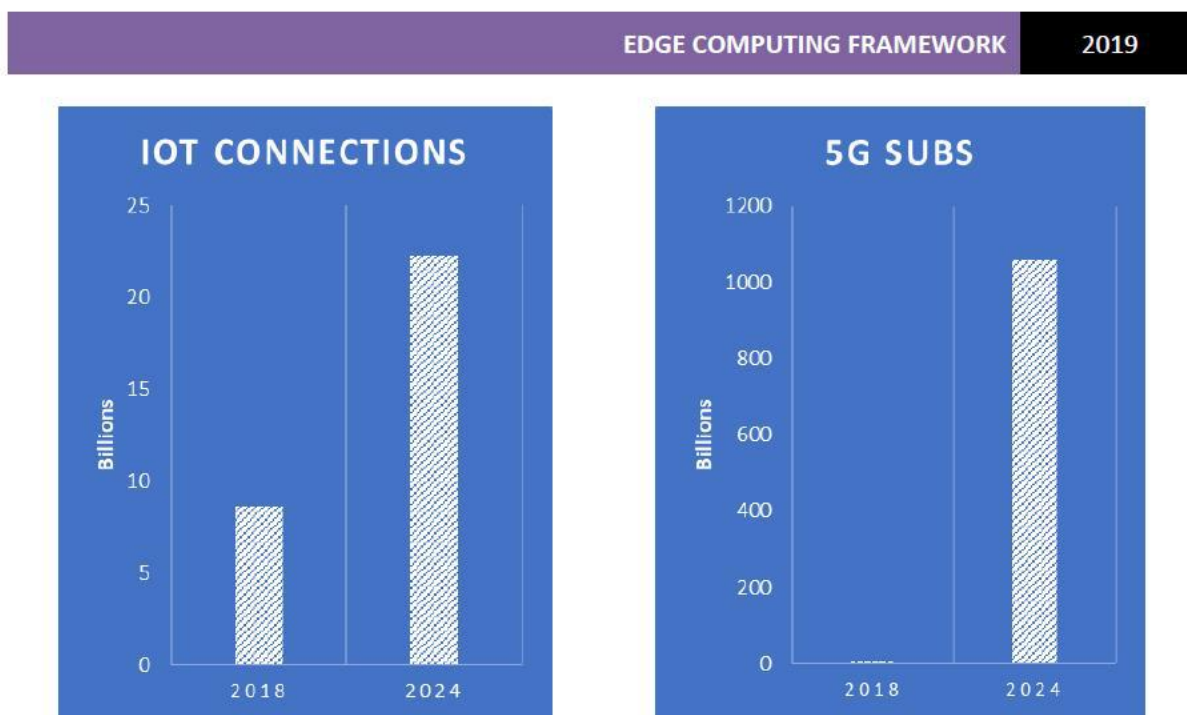
علاوه بر همه موارد فوق، ماهیت شبکه های بیسیم نیز در حال تغییر است، زیرا شبکه بی سیم از تکیه کردن به شبکه با اجزا درشت در سراسر کشور در حال تبدیل شدن به یک مترکم با کمک سلولهای کوچک و نقاط دسترسی بیشتر میباشد. (شکل 3)

نسل پنجم شبکه موبایل 5G در طی پنج سال آینده، تراکم شبکه بی سیم را با افزایش تعداد سلولهای کوچکتر به بیشتر از دو برابر توسعه خواهد داد. و این بدان معناست که اولین نقطه لمس شبکه برای اشیاء هوشمند بسیار نزدیکتر از گذشته در دسترس خواهد بود. لازم به ذکر نیست که خود تلفن هوشمند نیز به طرز چشمگیری تغییر کرده است. آخرین نسخه از گوشیهای شرکت اپل (آیفون) قادر به انجام محاسبات 5 ترفوپلاپ است که بیشتر از قدرت پردازنده های است که پنج سال پیش در بازار وجود داشت و از این سرورها برای محاسبات ابری استفاده میشود. (شکل 3).



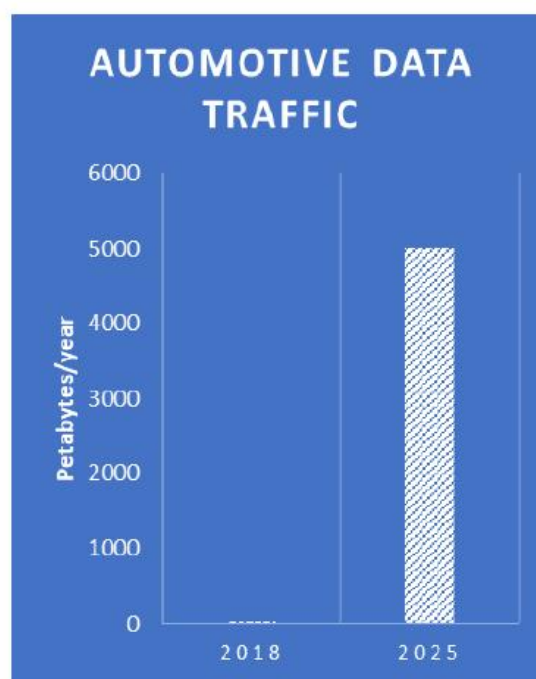
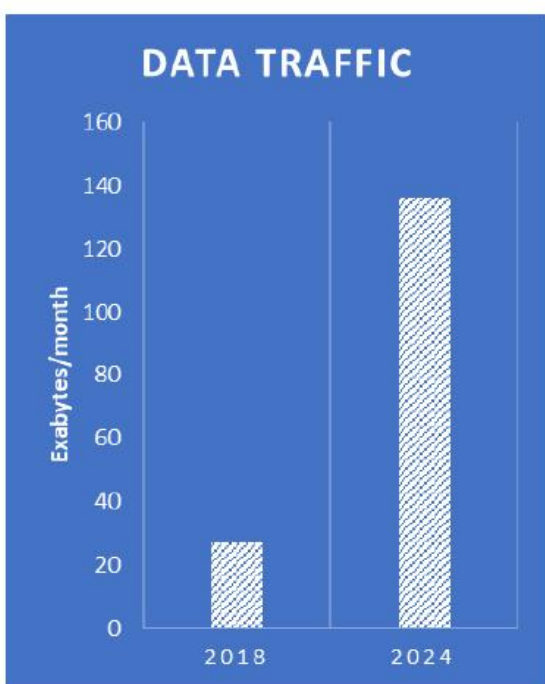
برخی از گوشی های هوشمند توانایی عملکرد به عنوان دستگاههای لبه را دارند و برخی دیگر برای پردازش موقعیت ، محتوا و داده ها مورد استفاده قرار میگیرند. پیش بینی می شود تعداد اتصالات در شبکه های بیسیم طی 5 سال آینده بویژه در حوزه اینترنت اشیاء بسیار زیاد شوند. تعداد این اتصالات در سال 2024 نسبت به سال 2018 ، به حدود 2 برابر خواهد رسید. به همین ترتیب ، هنگامی که چرخه سرمایه گذاری 5G شروع شود ، بر اساس GSMA تعداد مشترکین آن در مدت زمان مشابه نسبت 4G ، به بیش از یک میلیارد خواهد رسید.(عکس 3 )

مطابق پیش بینی ها تعداد اشیاء متصل به اینترنت تا سال 2023 میلادی به حدود 3.5 میلیارد دستگاه در جهان خواهد رسید. دیجیتال کردن سرمایه ها، تجهیزات، اتومبیلها و فرایندها در یک کارخانه به معنای افزایش تعداد وسایل متصل به اینترنت به صورت نمایی است. تخمینها نشان میدهد که در کارخانه ها در هر دو متر مربع یک دستگاه متصل به اینترنت نیاز خواهد بود.



یکی از مهمترین چالش های این صنعت برای دهه آینده نحوه مدیریت شبکه ها ترافیک داده است. ترافیک داده های تلفن همراه در سراسر جهان در حال انفجار است، در هند برای بیش از 250 میلیون مشترک هر ماه حدود 10

گیگابایت به ترافیک داده های شبکه افزوده میشود. DNA فنلاند اعلام کرد که نرخ افزایش ترافیک داده ها در شبکه اش 20 گیگابایت در کمتر یک ماه میباشد. پیش بینی می شود که طی 5 سال آینده میزان ترافیک داده ها در سطح جهان بیش از چهار برابر شود.



ذکر این نکته ضروری است که با ورود اتومبیل‌های خودران به بازار ترافیک شبکه های بیسیم به صورت تصاعدی رشد کرده و شاهد یک انفجار در حجم ترافیک شبکه خواهیم بود. در این صورت هر خودرو که وارد بازار شود، دارای حداقل یک عدد مودم تعبیه شده در آن خواهد بود. تقاضای اطلاعات برای کارکرد وسایل نقلیه، سرگرمی و ارتباطات به طرز چشمگیری افزایش خواهد یافت.

ترکیب این روند بدان معنی است که محاسبه و ذخیره سازی لازم نیست در یک سرور متمرکز باشد، اما اطلاعات میتواند در لبه شبکه و یا دستگاه یا ابر، بسته به الزاماتی توزیع شوند. علاوه بر این، ظهور 5G ما را قادر خواهد ساخت تا به تجدید نظر در مورد امکانات موجود بپردازیم، تأخیری که برای دهها سال برای مهندسين مشکل آفرين بوده است، لذا در شرایط کنونی به روز رسانی زیرساختها بسیار حیاتی است.

معماری شبکه تخت که امکان تأخیر در مقایس زیر 10 میلی ثانیه را فراهم می آورد، آدرس دهی به برنامه های جدید کلاس را ممکن ساخته و نزدیک بودن لایه ابری با لایه لبه شبکه یک راه حل پاسخگو و مقیاس پذیر ارائه می دهد.

این معماری همچنین هنگام حملات denial-of-service یا خرابی ابر متمرکز بسیار انعطاف پذیر می شود زیرا هر زیر مجموعه از لبه شبکه می تواند بطور مستقل فعالیتهای خود را ادامه دهد تا زمانی که مشکلات شبکه برطرف شود.

بنابراین ، محاسبات لبه شبکه در تعریف چگونگی و مکان محاسبات در شبکه کمک می کند. با این روش می توان فوراً وظایف محاسباتی را در چندین نقطه انتهایی توزیع نموده و اطلاعات و داده ها را در حجم بزرگتری و با سرعت بیشتری از گذشته آماده نماییم. این قابلیت باعث میشود تا پخش محتواهای واقعیت مجازی امکانپذیر شود. و یا اینکه میتوان هزاران فعالیت برای تشخیص چهره را در سطح لبه شبکه و با زمان پاسخ میلی ثانیه انجام داد بدون اینکه نیاز به بارگزاری تصاویر بروی سرورهای مرکزی داشت.

میتوان بازیهای بسیار پیشرفته چند نفره را در دستگاه قدرتمند انجام داد زیرا می دانیم چگونه می توان تأخیر بخشهای مختلف شبکه را مدیریت کرد.

همچنین میتوان با کمک محاسبات لبه پردازنده و همچنین تعامل با زیرساخت های V2X ، شبکه پیچیده ای از وسایل نقلیه خودمختار را مدیریت نمود.

- مطابق با نتایج تحقیقات گارتنر، 80 درصد از سازمانها تا سال 2025، مراکز داده خود را تعطیل خواهند کرد.

## ۵. مزایای مربوط به محاسبات لبه شبکه

انگیزه و اهداف اصلی محاسبات لبه شبکه به شرح ذیل میباشد:

- سخت افزار قوی تر (در مقایسه با دستگاه):

در دنیای امروز بسیاری از برنامه ها به سخت افزارهای بسیار قوی یا تخصصی متکی هستند. به عنوان مثال ، الگوریتم های مدرن یادگیری ماشین ، با GPU ها یا واحدهای پردازش تنسور (TPU) بهتر کار می کنند. گسترش وسایل با چنین سخت افزاری معمولاً مناسب نیست. ترجیح بر آن است که بطور کلی گره های مربوط به لبه ، دارای سخت افزارهای تخصصی با قدرت محاسبات بیشتر باشند.

- تأخیر کمتر (در مقایسه با ابر)

اگر برنامه ها به بازخورد فوری (به عنوان مثال برای تصمیم گیری "بصورت بلادرنگ") داشته باشند ، ارسال داده ها به معماری ابری و محاسبه و ارسال داده های پاسخ به دستگاه انتهایی ممکن است خیلی طولانی شود. اما اگر مسیر محاسبات در یک گره لبه Edge Node انجام شود ، بسیاری از موارد استفاده قابل فهم است.

موارد کاربرد زیادی برای استفاده از محاسبات لبه به منظور کاهش زمان تأخیر در حد میلی ثانیه وجود دارد - مانند واقعیت افزوده و واقعیت مجازی ، اتومبیل های خود ران و هواپیماهای بدون سرنشین و پهبادها ، و با وجود درخواستهایی در صنعت برای این موارد استفاده ، هنوز فاصله زیادی با تجارت گسترده در این آنها انجام شده است. بعضی اوقات رسیدن به بلوغ فناوری یا تنظیم مقررات است.

- توان انتقال داده ها

دستگاه ها ممکن است حجم داده بسیار عظیمی را تولید میکنند. به عنوان مثال ، یک اتومبیل خود ران ممکن است در حالت های خاص حتی 4000 گیگابایت داده (معادل 4 ترا بایت) در روز تولید کند.

اگر یک اتومبیل تمامی داده های روزانه خود را ارسال کند ، تمام پهنای باند انتقال داده مرتبط با دیتاسنترهای مرکزی برای مدت زمان زیادی اشغال شده و در نتیجه بار زیادی را در شبکه ایجاد می کند.

با انجام محاسبات لازم در گره های لبه و نزدیک دستگاه ، میتوان بخش عمده یی از مسیر محاسبه و انتقال اطلاعات کوتاه میگردد.

این معماری، با توجه به اهمیت روزافزون اینترنت اشیاء و افزایش تعداد دستگاه های متصل به اینترنت از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

- **قابلیت اطمینان و استحکام:**

حتی اگر ارتباطات به ابر مرکزی مختل باشد، عملکرد اصلی دستگاه ها هنوز باید در دسترس باشد. این امر می تواند با تکیه بر ارتباطات محلی با یک گره لبه حاصل شود زیرا حداقل (از نظر تئوری) یک گره لبه باید کمتر در معرض مشکلات باشد. و حتی اگر یک گره لبه خراب شود دستگاه ها به یک گره لبه محلی دیگر متصل خواهند شد.

- **حریم خصوصی**

در بسیاری از موارد کاربرد جمع آوری اطلاعات مربوط به کاربران ضروری و یا حداقل میتواند مفید باشد، با این حال، در مواردی که داده های جمع شده کافی باشد با جمع آوری داده های کاربران در مکانهای مختلف از جمله لبه ( بجای متمرکز کردن داده ها در سرورهای ابری) میتوان حریم خصوصی افراد را بیشتر تضمین نمود.

- **مقیاس پذیری**

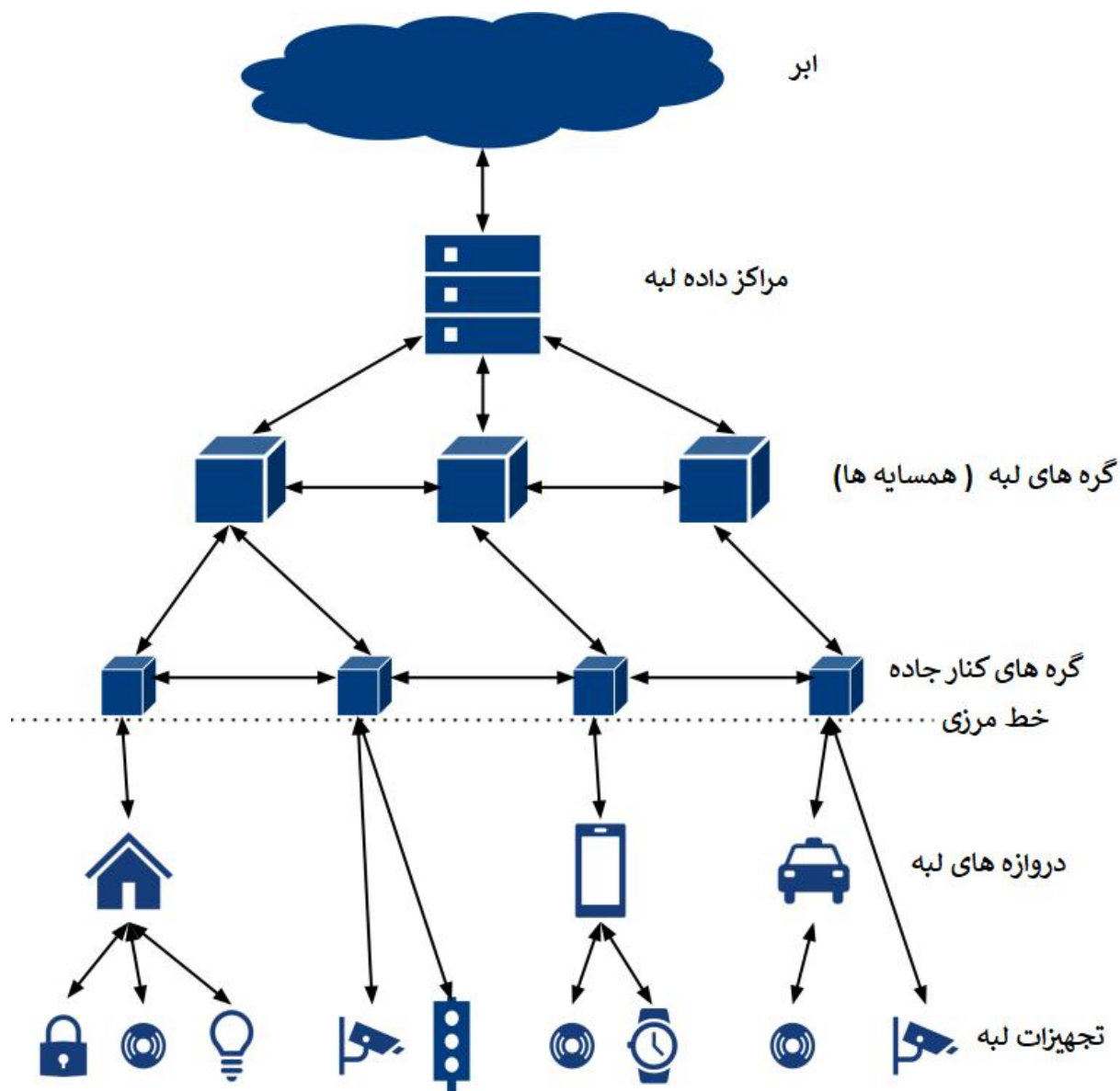
در بیشتر موارد ، قدرت محاسبات دستگاهها به اندازه (کوچک و یا بزرگ بودن آنها) محدود است. علاوه بر این، توسعه موارد کاربرد جدید که به سخت افزارهای قوی تر نیاز دارد ، به کاربران بیشتر، مدیر شبکه به منظور بروزرسانی دستگاهها نیاز دارد. افزایش موارد کاربرد باعث میشود که بازدهی سیستم کاهش پیدا کند. توسعه سیستمهای مرکزی ابری – غالباً ساده نیست و هزینه های گزافی هم دارد- اما توسعه سخت افزارها و نرم افزارها در گره های لبه میتواند بصورت مستمر انجام پذیرد.

استفاده از یک چارچوب مناسب محاسبات لبه شبکه ، اضافه کردن ، تعویض یا به روزرسانی تجهیزات لبه شبکه فرآیند بسیار ساده و خودکار است.

- **تطبیق پذیری (سازگاری):**

استفاده از یک گره انتهایی به جای یک سرور تک منظوره ، مزیت دیگری برای سازگاری با شرایط متغیر خواهد داشت. بعد از ایجاد کردن یک محیط پایه، وابسته به شرایط محیطی ، گره های لبه به راحتی می توانند برای ارائه مجموعه یی از مجموعه های خدمات خاص پیکربندی شوند. برخی از خدمات فقط در شهرها مفید بوده اما برخی دیگر در روستاها مفید است. با توجه به اتصال مستقیم به ابر و گره های لبه با سطح بالاتر، میتوان بار ترافیکی را جابجا کرده و توان محاسباتی دستگاهها را برای فعالیتهای با اولویت بالا (حیاتی) آزاد خواهد شد.

## ۶. معماری محاسبات لبه شبکه



تصویر فوق یک معماری نمونه از محاسبات لبه شبکه را نشان می دهد. در این معماری سلسله مراتب بر اساس قدرت محاسبات و تأخیر در پاسخگویی به درخواستهای شبکه تعریف شده اند. در واقع سلسله مراتب تعریف شده اجازه میدهد که در لایه های پایین درخواستهای با سرعت پاسخگویی بالا مدیریت شوند و در لایه های بالا حجمهای بالای محاسبات و پردازش داده ها که نیازی به پاسخگویی سریع ندارند انجام شوند. لایه های مرتبط با این معماری به شرح ذیل تعریف میشوند:

- لایه ابر

در این لایه قدرت و ذخیره سازی محاسباتی تقریباً بی حد و اندازه است ، اما تأخیر و هزینه انتقال داده به این لایه می تواند بسیار زیاد باشد. نباید داده های حجیم و پردازشهای نیاز به پاسخگویی سریع به این لایه سپرده شود.

در یک برنامه کاربردی لبه محاسبه، لابه ابر میتواند به عنوان یک محل ذخیره سازی درازمدت مورد استفاده قرار گیرد، علاوه بر آن، این لایه به عنوان هماهنگ کننده سطوح پایین تر و یا به عنوان منابع قدرتمند فوری برای انجام کارهای نامنظم مورد استفاده قرار میگیرد.

- **گره لبه**

این گره ها قبل از آخرین لایه شبکه قرار گرفته اند، این لایه به عنوان پایین دست نیز شناخته میشود، گره های لبه دستگاه هایی هستند که قابلیت مسیریابی ترافیک شبکه را دارند و معمولاً قدرت محاسباتی بالایی نیز دارند. این تجهیزات می توانند از ایستگاه های پایه ، روترها یا سوئیچ ها تا مراکز داده مقیاس کوچک متغیر باشند.

- **دروازه لبه**

دروازه های لبه، همانند گره های لبه هستند اما دارای قدرت کمتری هستند، آنها قادر به پیاده سازی کردن بسیاری از پروتکل های متداول بوده و می توانند محاسباتی را - که نیازی به سخت افزار تخصصی مانند GPU ندارند - را مدیریت کنند.

از دستگاه های موجود در این لایه غالباً برای ترجمه دستورات مربوط به دستگاه های لایه های پایینتر و یا به عنوان پلتفرم سرویس دهنده به دستگاه های سطح پایین استفاده می شود. برخی از دستگاه های لایه پایینتر عبارتند از : تلفن های همراه ، چراغهای راهنمایی و رانندگی، اتومبیل ها ، سنسورها و آشکار سازهای حرکتی.

- **تجهیزات لبه**



در این لایه دستگاه های کوچک با منابع بسیار محدود مانند سنسورهای منفرد یا سیستم های تعبیه شده پیدا خواهید کرد. این نوع دستگاه ها معمولاً برای یک نوع محاسبه خاص ساخته شده و دارای قابلیت های ارتباطی محدودی میباشند. دستگاه های این لایه ممکن است ساعت های هوشمند ، چراغ راهنمایی یا حسگرهای محیطی باشند.

ارتباطات در یک برنامه کاربردی محاسبات لایه یی ، محدود به ترافیک بین لایه های مختلف نبوده ، بلکه می تواند درون یک لایه و به روشی نقطه به نقطه اتفاق بیفتد.

این قابلیت ارتباطات یک به یک، امکان برقراری ارتباط سریعتر بین دستگاه های موجود در حوزه های کاری نزدیک مختلف به هم ( مه ) ، را فراهم میکند. همچنین با حذف ارتباط از طریق اینترنت می تواند بار و هزینه شبکه را به طرز محسوسی کاهش دهد. این که آیا این نوع ارتباطات یک به یک مورد نظر است یا خیر ، بستگی به موارد کاربرد خاص و نگرانی های امنیتی احتمالی دارد.

از لحاظ تئوری محدودیتی در مورد تجهیزات لایه متصل به یک گره لایه وجود ندارد و می توانید یک دستگاه را به چندین گره لایه در مکان های مختلف متصل کنید ، و هر کدام از این گره ها به یک ابر جداگانه متصل هستند و دستگاه های فیزیکی مختلفی را نزدیک خود پوشش میدهند.

## ۷. طبقه بندی موارد کاربرد برای محاسبات لایه

برای به دست آوردن یک مرور بهتر در مورد موارد استفاده احتمالی در محاسبات لایه ، تصمیم گرفتیم " طبقه بندی موارد استفاده را با هم مرور کنیم. مباحث "خانه هوشمند" و "تجارت هوشمند" طی سالهای گذشته مورد توجه و توجه بیشتری قرار گرفته است و می توان نمونه ای از آن برای محاسبات لایه نام برد. اکثر سیستم های خانه هوشمند شامل چندین دستگاه لایه میباشد که قدرت محاسباتی بسیار کمی دارند و بیشتر برای اقدامات ساده مورد استفاده قرار میگیرند، به عنوان مثال یک لامپ روشنایی که می توان آن را روشن و خاموش کرد. افزونه ای که می تواند لامپ را روشن یا خاموش کند یا سنسورها (به عنوان مثال یک سنسور حرکت یا حسگرهایی که متوجه میشوند که یک پنجره ای باز یا بسته است.) اینها توسط یک واحد مرکزی کنترل می شوند (این واحد کنترل مرکزی در واقع همان

گره لبه میباشد). حالا ، با استفاده از این سناریو ، اجازه بدهید تا نگاهی به طبقه بندیهای مختلف موارد استفاده مختلف برای چنین سیستمی بیندازیم:

- **بارگیری**

انتقال وظایف محاسباتی فشرده به دستگاهی قدرتمندتر. یک زیر کلاس از این کلاس موارد استفاده از یادگیری ماشین میباشد. مثلاً وقتی که سخت افزار تخصصی (به عنوان مثال کارت های گرافیکی یا واحدهای پردازش تانسور) می تواند بسیار مفید اما گرانقیمت باشد. در مثال مربوط به خانه هوشمند ممکن است بخواهیم درب خانه را باز کنیم فقط برای افرادی باز کنیم که از پیش تعیین شده و شناسایی شده توسط سیستم تشخیص چهره باشد، اگر سیستم ها فقط از یک دوربین واحد تشکیل شده باشند ، می توان با اتصال یک واحد پردازش چهره به دوربین ، این مشکل را حل کرد.

اما در سیستم های دارای چندین دوربین ، این هزینه بسیار زیاد شده و بیشتر قدرت محاسباتی موجود هدر می رود. تمرکز قدرت محاسباتی در یک گره لبه (Edge Node) به این مشکلات کمک می کند.

- **مقیاس گذاری محتوا**

برای صرفه جویی در پهنای باند شبکه ، میتوان فرمت و مقیاس محتواها را تغییر داد. یک خانه هوشمند با چندین دوربین امنیتی را تصور کنید که تصاویر آنها به یک سرور منتقل می شوند. این دوربینها ممکن است دارای فرمتها و کیفیتهای تصویری مختلفی باشند. بنابراین، داشتن یک موتور مرکزی برای تبدیل همه ویدئوهای ارسال شده به مرکز به یک فرمت و دقت یکسان برای جلوگیری از هدر رفتن منابع در سرورهای ابری بسیار مفید خواهد بود.

- **اتصال محلی**

دستگاه ها را میتوان بصورت محلی - به شکلی که مستقل از اتصالات خارجی (اغلب اینترنت) باشد - بهم متصل نمود. بسیاری از سیستم های موجود در خانه هوشمند از نوعی از ارتباطات محلی استفاده می کنند که مستقل از اتصال به اینترنت بوده و بدون اینترنت نیز کار میکند.

به عنوان مثال اکوسیستم فیلپس از فناوری ارتباطی زیگی استفاده کنند. در چنین مواردی میتوان از جنبه اتصال محلی استفاده کرد تا کاربران بتوانند بدون اینکه به سرورهای سازنده دستگاه ها اعتماد کنند ، سیستم خانه هوشمند خود را به صورت محلی کنترل کنند.

#### • ارسال اطلاعات لبه

ارائه محتوا از طریق شبکه لبه ، مشابه CDN سنتی. فرض کنید در یک مجموعه آپارتمانی بزرگ یک شبکه مرکزی بزرگ را در نظر بگیرید. در چنین سیستمی ، محتویاتی که انتظار می رود توسط تعداد زیادی از ساکنان مورد استفاده قرار گیرد، می تواند از قبل بارگذاری بر روی شبکه مرکزی میشود (مثلاً آخرین قسمت سریال بازی تاج و تخت در روز انتشار) و سپس در شب که بار کمتری بروی شبکه وارد میشود. ، می توان به داده ها در شبکه مرکزی (سریع) دسترسی داشت.

#### • تجمیع (ادغام چندین حسگر)

میتوان از اطلاعات چندین منبع تولید داده واقع در لبه شبکه استفاده نموده و آنها را به شکلی دیگر به یکدیگر تجمیع کرد. در مثال مربوط به خانه هوشمند سنسورهای مرسوم برای تولید اطلاعات، سنسورهای هوا ، سنسورهای تماسی برای پنجره ها و درها ، سنسورهای رطوبت برای گیاهان و همچنین ترموستاتهای هوشمند میباشند.

با استفاده از داده های این سنسورها ، می توان پیشنهادات مفیدی را برای ساکنان ساختمان مطرح کرد. به عنوان مثال ، آب دادن به باغچه را میتوان متوقف کرد در حالیکه میدانیم فردا باران خواهد بارید.

این مثالها مورد استفاده فوق تنها نمونه نیستند بلکه مثالهای زیادی وجود دارد که طبیعتاً می توانند در کلاسهای مورد استفاده مختلف و بطور همزمان مورد استفاده قرار گیرند. برای درک بهتر موضوع یک مثال در یک سناریوی جدید ارائه میشود: شبکه ترافیکی یک شهر را در نظر بگیرید. دوربین ها در حال فیلمبرداری از چندین جاده هستند که به یک تقاطع بزرگ منتهی می شوند. مسوولان شهری می خواهند این تقاطع را تا حد امکان کارآمدتر کند و البته اینکار را با تنظیم چراغ راهنمایی با توجه به تعداد خودروهای ورودی از هر سمت خیابان وابستگی دارد.

برای این منظور ، جریانهای ویدئویی از دوربین های مختلف راهنمایی و رانندگی به طور خودکار به یک گره لبه ارسال شده و در این گره ، الگوریتم تشخیص شیء بر روی هر یک از جریانهای ویدیویی ، با شمارش اتومبیل ها اعمال شده و نتیجه به سیستم مرکزی ارسال میشود. از این اطلاعات برای تنظیم دینامیک زمان چراغهای راهنمایی در تقاطع استفاده می شود. واضح است ، این مورد استفاده متعلق به مورد کاربرد تجمیع است ، زیرا داده ها از چندین منبع داده وارد سیستم میشوند. البته این مثال همزمان نشان دهنده یک طبقه بندی دیگر ( کلاس بارگیری ) نیز میباشد. زیرا تشخیص و شمارش اتومبیلها میتواند در گره های لبه انجام شود. عملیات تشخیص اشیاء یک فرآیند پیچیده است که باید بروی سخت افزارهای نسبتاً قدرتمندی انجام شود.

## ۸. مثالهایی از موارد کاربرد

حوزه کاربرد	عنوان	توضیحات
صنعت	صنعت ساخت و تولید	استفاده از محاسبات لبه شبکه باعث میشود تا حجم داده های ارسالی مربوط در برخی کاربردها به سرورهای مرکزی کاهش پیدا کند. یکی از کاربردهای مهم در صنعت نگه داری پیش بینانه تجهیزات و دستگاه میباشد که با استفاده از محاسبات لبه شبکه کاهش پیدا کند.
	صنعت خرده فروشی	از محاسبات لبه شبکه برای کاهش تأخیر به منظور ایجاد تجربیات خوشایند و تعاملی در فروشگاه ها یا خانه میتوان استفاده نمود. به عنوان مثال استفاده از واقعیت افزوده برای خرید آنلاین یکی از این کاربردها میباشد.
	فناوری اطلاعات	برنامه هایی مانند دسک تاپ های مجازی می توانند از طریق فناوری محاسبات لبه اجرا شوند تا در هنگام اجرای این برنامه از ابر ، میزان تأخیر در سرویس دهی کاهش پیدا کند.
	بهداشت و درمان	امکان انجام پردازشهای تصویری در محل بیمارستان توسط فناوری محاسبات شبکه و ارسال نتایج به مراکز داده
	تجهیزات خود ران	امکان انجام محاسبات بلادرنگ در تجهیز و وسیله مورد نظر مانند اتومبیلهای خود ران، پهباد، هواپیمای خود ران و ...
	شهر و خانه هوشمند	امکان انجام پردازش اطلاعات در خانه ها، محله ها و در دستگاه های جمع آوری اطلاعات
کاربران نهایی	بازی	انجام بازیهای کامپیوتری که احتیاج به زیرساختهای سخت افزارهای قوی دارند به صورت محلی و منطقه بین کاربران برای سرعت بخشیدن به انجام بازیها و سپس انتقال بازی کنندگان نهایی به زیرساختهای ابری که بصورت مرکزی فعالیت میکنند
	واقعیت افزوده / واقعیت مجازی	قابلیت ارائه تجربیات غنی با استفاده از واقعیت افزوده (در تلفن های هوشمند ، هدفون یا علائم دیجیتال) ، در لبه شبکه برای کاهش زمان تأخیر و بهینه سازی تجربه کاربر نهایی بسیار مهم خواهد بود.
	بهداشت و درمان فردی	تجزیه و تحلیل داده های تولید شده توسط اشیاء متصل به اینترنت در لبه شبکه برای کاهش مقدار داده مورد نیاز برای انتقال به سرور شده به منظور جلوگیری از ترافیک اطلاعات و حذف تأخیر.

میتوان بسیاری از اطلاعات مرتبط با سلامتی فرد را در سخت افزارهای در منزل به انجام رساند و تنها نتایج آنها به سرورهای مرکزی ارسال شود.		
بهینه سازی جریان فیلم با ذخیره رسانه ها بصورتیکه به کاربر نهایی نزدیک باشد و عملاً تمامی شبکه را درگیر نکند.	رسانه / CDN	

## ۹. سوالات متداول

### • چرا به محاسبات لایه شبکه نیاز داریم؟

رشد انفجاری و افزایش توان محاسباتی دستگاههای اینترنت اشیاء منجر به افزایش حجم بی سابقه ای از داده ها شده است. و با افزایش شبکه های 5G نمودار رشد تعداد دستگاه های تلفن همراه متصل ، حجم داده ها همچنان ادامه خواهد یافت.

در گذشته ، وعده سیستمهای ابری و هوش مصنوعی اتوماتیک و سرعت بخشیدن به نوآوری با استفاده از استخراج بینش از داده ها وجود داشت. اما مقیاس و پیچیدگی بی سابقه داده هایی که توسط دستگاه های مختلفی که به شبکه متصل شده اند از قابلیت های زیربنایی پیشی گرفته است. و لذا ارائه راهکارهای مناسب جهت تحقق وعده ها مد نظر است.

ارسال کلیه داده های تولید شده توسط دستگاه های متصل به شبکه به یک مرکز داده متمرکز یا ابر باعث ایجاد ترافیک در پهنای باند و تأخیر می شود.

لذا محاسبات لایه شبکه جایگزین کارآمدتری را ارائه می دهد: داده ها در همان جایی که تولید می شوند پردازش و تجزیه و تحلیل می شوند. از آنجا که داده ها از طریق شبکه به یک ابر یا مرکز داده پردازش نمی شوند ، تأخیر بطور قابل توجهی کاهش خواهد یافت. محاسبه لایه - و محاسبه لایه تلفن همراه در شبکه های 5G - تجزیه و تحلیل سریعتر و جامع تر داده ها را ایجاد می کند ، فرصتی را برای بینش های عمیق تر ، زمان پاسخ سریع تر و تجربیات مشتری بهبود می بخشد.

### • آیا محاسبات لایه به فناوری مخابراتی 5G نیاز دارد؟

همپوشانی قابل توجهی در موارد استفاده های مختلف برای نسل پنجم تلفن همراه و محاسبات لایه وجود دارد، برخی از این کاربردها عبارتند از AR و VR ، اتومبیل های خودران ، industry4 ، اینترنت اشیاء و غیره وجود دارد. در برخی موارد، برای دستیابی به تأخیرهای کمتر از 10 میلی ثانیه در شبکه باید از هر دو فناوری استفاده نمود.

البته همچنان چالشهای زیادی برای استفاده از فناوری 5G وجود دارد، زیرا این فناوری هنوز در بسیاری از شهرها و کشورها وجود ندارد. البته میتوان با ترکیب 4G و محاسبات لایه در بسیاری از شهرها ، راه حلهایی را ارائه نمود.

## • حوزه های اصلی کاربرد محاسبات لبه شبکه چیست؟

محاسبات لبه در واقع نوعی از محاسبات هستند که بسته به مورد کاربرد و خدمات، در نزدیک محل تجهیزات مشتری (محل تولید داده ها) بکار گرفته میشود. این محاسبات باعث میشود تا ذخیره سازی و محاسبات حجیم به سرورهای مرکزی انتقال پیدا نکند.

در بسیاری از کاربردها، بلادرنگ بودن خدمات از اهمیت بالایی برخوردار است لذا انجام محاسبات در محل و همچنین تصمیم گیری بر اساس داده های سطح پایین سمت مشتری، حیاتی هستند. مثلاً در اتومبیل های خود ران باید محاسبات سمت لبه در داخل اتومبیل انجام و بسیاری از محاسبات و تصمیم گیریها به صورت محلی و بلادرنگ انجام شود.

## • معمولاً چه حجم از داده ها باید در لبه شبکه پردازش شود؟

بر اساس تخمین موسسه گارتنر، تا سال 2025 در حدود 75% از داده های تولید شده در جهان در جایی خارج از مراکز داده سنتی و بروی تجهیزات سخت و افزاری و نرم افزاری نزدیک به منابع تولید داده ها مورد پردازش قرار خواهند گرفت.

## • فواید اصلی محاسبات لبه شبکه چیست؟

- کاهش زمان پاسخ به درخواستها در کاربردهای آنلاین
- کاهش ترافیک شبکه تا حدود 70%
- افزایش توزیع پذیری محاسبات در بخشهای مختلف شبکه

## • مقایسه محاسبات لبه شبکه با سرویس ابر، مه یا غبار؟

یکی از مواردی که می تواند از این زمینه به شفاف شدن موضوع کمک کند، چگونگی ارتباط لبه، مه، غبار و ابر است. محاسبات لبه معمولاً در نقاطی نزدیک به رابط فیزیکی / دیجیتالی انجام میشود.

در نمودار زیر چهار ردیف عمودی دستگاه به شرح ذیل مشخص شده است:

- ردیف دستگاه (سنسورها، محرک ها، تلفن های هوشمند) Device tier
- ردیف لبه (گره پردازش نزدیک به لبه، از جمله AI) Edge Tier

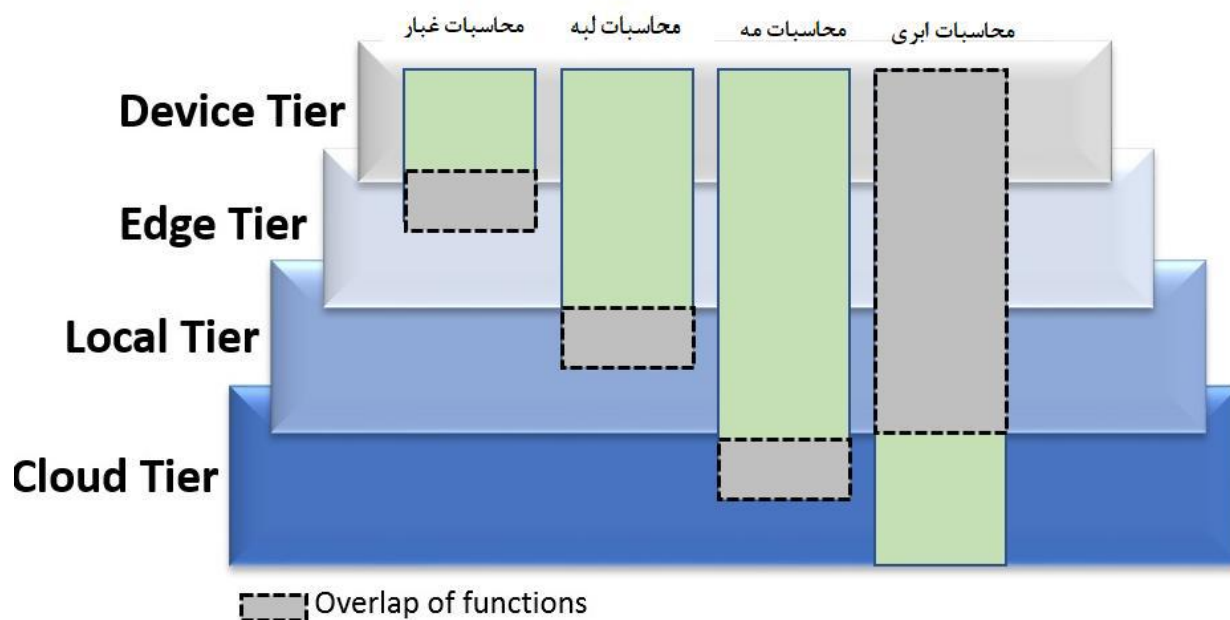


- لایه محلی (جمع کننده ساختمان / ارکسترال / مصالح ساختمانی / ارکستر / ابر محلی ، یا رابط سیستم ماشین یا پردازنده سطح کارخانه ) Local Tier
- ابر محلی ( Cloud Tier )

در ستونهای این نمودار موقعیتهای مختلف برای محاسبه به شرح ذیل وجود دارد:

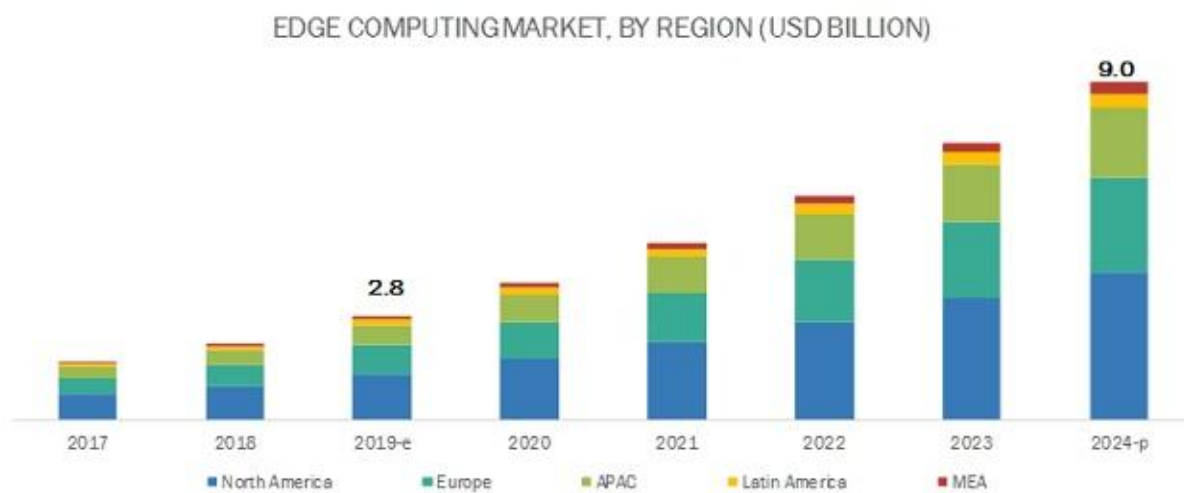
- لایه محاسبات غبار
- لایه محاسبات لبه
- لایه محاسبات مه
- لایه محاسبات ابر

همانطور که در شکل زیر مشخص شده است، ، محاسبات لبه به دستگاه های موجود در لبه و البته با مقداری همپوشانی با لایه محلی اشاره دارد.



## • اندازه بازار محاسبات لبه شبکه چقدر است ؟

همان گونه که در شکل زیر نشان داده شده است، اندازه بازار محاسبات لبه شبکه در سال 2019 حدود 2.8 میلیارد دلار بوده است، و مطابق پیش بینی ها در سال 2024 به حدود 9 میلیارد دلار خواهد رسید. نمودار زیر، اندازه بازار مرتبط با محاسبات لبه شبکه را به تفکیک منطقه جغرافیایی نشان میدهد. بخش آبی رنگ نمودار مربوط به سهم بازار آمریکای شمالی از محاسبات لبه شبکه میباشد.



## • بازیگران اصلی بازار محاسبات لبه شبکه چه کسانی هستند ؟

نام شرکت	نام کشور	توضیحات
Cisco	US	
HPE	US	از تقسیم شرکت HP ایجاد شده است.
Huawei	China	
IBM	US	
Dell Technologies	US	
Nokia	Finland	
Litmus Automation	US	
FogHorn Systems	US	

	Switzerland	SixSq
	US	MachineShop
	Israel	Saguna Networks
	US	Vapor IO
	Taiwan	ADLINK
	France	Altran
	US	Axellio

## • آخرین اخبار مهم این حوزه چیست ؟

- در ژوئن سال 2019، HPE طی یک همکاری مشترک با شرکت AT&T، یک فعالیت چند جانبه برای ایجاد سیستم های MEC را شروع کردند. این سیستم های MEC به ارتباطات از راه دور و مشتریان کمک می کنند تا داده های تولید شده از سیستم ها و دستگاه های متصل را مدیریت کنند.
- در ماه مارس 2019، HPE با یک شرکت نرم افزاری با نام CETRA یک همکاری مشترک را آغاز کرد. این دو شرکت سری X از محصولات Hyper-Converged Infrastructure (HCI) را برای محاسبات لبه شبکه طراحی و راه اندازی کردند.
- در فوریه سال 2019، HPE وارد یک همکاری مشترک با شرکت سامسونگ شد تا بصورت مشترک یک محصول مجازی لبه به هسته RAN تولید کنند.
- پس از سالها کار بروی نسل پنچ از شبکه بیسیم، سرانجام 5G در سال گذشته در برخی از نقاط آمریکا وارد مدار شد. به دلیل محدودیت های COVID-19 مطمئناً روند توسعه 5G کاهش خواهد یافت. ست رابینسون، مدیر ارشد تجزیه و تحلیل فناوری در ComptIA، می گوید: "رهبران فناوری اطلاعات باید از پیشرفت 5G آگاهی داشته باشند، اما در هر صورت باید معماری راه حل هایی - که مورد نیاز برای استفاده از محاسبات لبه است- با توجه به زیرساخت های موجود باید انجام گردد."
- لبه قدرتمند توسعه یافته، اصطلاحی است که از سوی موسسه گارتنر بکار گرفته شده است، این اصطلاح نشان دهنده مرحله بعدی پیشرفت در موضوع پردازش داده ها در شبکه میباشد. مبحث لبه قدرتمند دارای سه عنصر مهم به شرح ذیل است:
- **ابر به لبه:** استفاده از زیرساخت های ابری برای ارائه و مدیریت قابلیت هایی که خارج از لبه هستند.
- **استفاده از قابلیت های ابر به عنوان یک نیروی حامی و نه یک نیروی رقیب با لبه**

▪ بالا بردن توان پردازشی دستگاه های لبه شبکه، استفاده از چیپهای هوش مصنوعی به عنوان بخشهای از محاسبات لبه شبکه، افزایش منابع سخت افزاری به کامپیوترهای و تجهیزات لبه. استفاده از فناوریهای 5G در بخش لبه شبکه

○ یکی از مهمترین دلایل توسعه محاسبات لبه شبکه در واقع استفاده از آن مباحث هوش مصنوعی است که نیاز به کاربردهای با تاخیر کم، حجم بالای داده و ماهیت بلادرنگ بودن این کاربردها میباشد.

## ۱۰. مراجع

- <https://www.inovex.de/blog/edge-computing-introduction/>
- <https://www.ibm.com/cloud/what-is-edge-computing>
- <https://stlpartners.com/edge-computing/what-is-edge-computing/>
- <https://dzone.com/articles/an-introduction-to-edge-computing>
- <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/edge-computing-market-133384090.html>
- <https://insightaas.com/edge-computing-how-important-is-it/>
- <https://www.infinera.com/wp-content/uploads/2019-09-WP-Heavy-Reading-Strategies-for-Connecting-the-Edge.pdf>

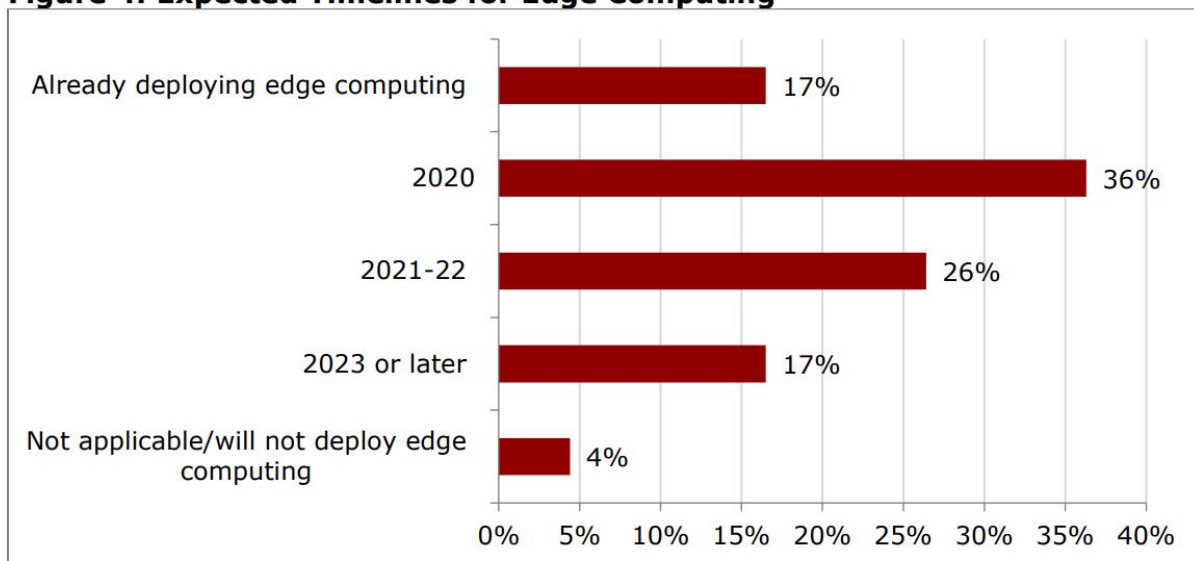
## ۱۱. پیوستها

#### پیوست یک

#### HEAVY READING بررسی نتایج نظر سنجی در خصوص محاسبات لبه

- در اپراتورهای مخابراتی ، مهمترین مورد استفاده برای محاسبات لبه مربوط به 5G و اینترنت اشیاء است که دارای سرعت بالا و تاخیر کم میباشد.
- در دیگر شرکتها و سازمانها، بیشترین مورد استفاده از محاسبات لبه شبکه مربوط به کاربردهای هوش مصنوعی میباشد.
- 41 درصد شرکت کنندگان که در حوزه های مخابراتی فعالیت میکنند اعتقاد دارند که مهمترین مورد کاربرد محاسبات لبه مربوط به خودکار سازی کارخانه و صنعت میباشد،
- 55 درصد شرکت کنندگان در که درحوزه های غیر مخابرات فعالیت میکنند، اعتقاد دارند که مهمترین مورد کاربرد محاسبات لبه مربوط به خودکار سازی کارخانه و صنعت میباشد،
- 79% از شرکت کنندگان در نظر سنجی انتظار دارند که در 3 سال آینده محاسبات لبه را در سرویسهای خود مورد استفاده قرار دهند. جدول زمانی استفاده از این فناوری مطابق با نظر سنجی به شرح ذیل است:

**Figure 4: Expected Timelines for Edge Computing**

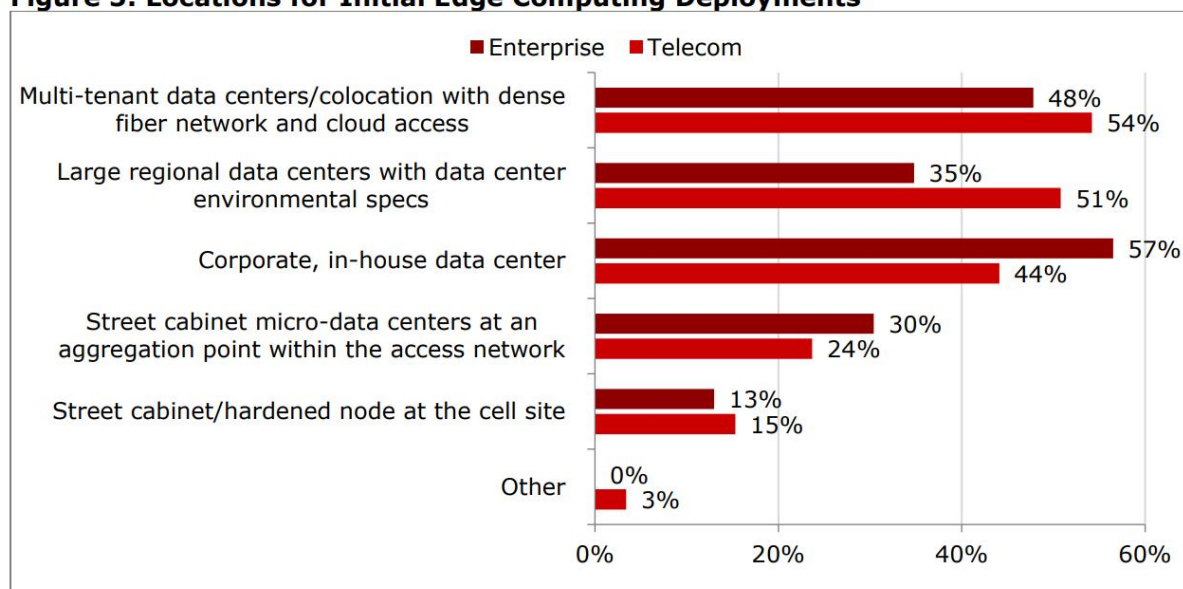


N=91

Source: Heavy Reading

- محل‌هایی که محاسبات لبه از آنها شروع به استقرار خواهد شد در جدول ذیل آمده است.

**Figure 5: Locations for Initial Edge Computing Deployments**



N=59 telecom, 23 enterprise

Source: Heavy Reading

- فناوریها و تجهیزات مورد نیاز محاسبات لبه

**Figure 6: Most Important Network Equipment Features/Functions for Edge DCI**

Item	Overall Rank	Score
Layer 1 encryption/FIPS certification	1	401
Single multi-rate (200-600G) transponders (access/metro/LH)	2	394
Integrated optics on routers (IPoDWDM)	3	377
Automation features like zero-touch provisioning, streaming telemetry, etc.	4	376
Network management system, tools, and applications	5	369
CD/CDC ROADM-based flex grid line system architecture	6	299
75 GHz and higher spaced fixed grid line system	7	260
L-band capacity (using L-band transponders and line systems)	8	242

N=90

Score is a weighted calculation, where items ranked first are given a higher weight

Source: Heavy Reading