Journal of Information and Communication Technology

Volume 17, Issue 63-64, Spring and Summer 2025, pp. 139-154

An Architecture, Implementation, and Evaluation of Internet of Healthcare Things Ecosystem Platform

Sayed Gholam Hassan Tabatabaei[1]*, Sarvenaz Aghadavoudi[2]
[1] Department of Electrical & Computer Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
[2] Department of Electrical & Computer Engineering, Malek-e-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

Received: 25 April 2024, Revised: 26 December 2024, Accepted: 18 January 2025
Paper type: Research

Abstract

Nowadays, healthcare delivery has shifted from in-person appointments with doctors to disease prediction through remote monitoring, and healthcare has shifted from a traditional hospital-centric approach to a distributed patient-centric approach. It is important to use the Internet of Things as a technology that can provide a distributed patient-centric approach. Providing an architecture and, consequently, a platform that can meet this need is very valuable for healthcare organizations and related institutions, because prevention costs are considered more economical for citizens and the government than treatment costs. To respond to the issues raised, a conceptual architecture based on the integration of IoT technologies, 5G, fog/edge computing, cloud computing, network slicing, software-defined networking, and network function virtualization has been presented for electronic monitoring of citizens' health. A variety of medical and environmental sensors have been used to monitor citizens and their environmental conditions in real time and over time; Therefore, the main goal of this research is to present an IoT technology ecosystem architecture in the health sector in order to improve the quality and level of health of citizens and respond to health issues as a cost-effective solution. The ecosystem is specific to the health sector and cannot be used in other sectors due to the provision of health network slices. The results obtained from evaluating the solution based on efficiency and scalability criteria indicate the desirability of the solution because the execution time for up to 100 nodes has been calculated to be less than 1 second. The architecture can be implemented and used on a large scale and at the same time maintain its appropriate efficiency. In the proposed solution, the risk of premature loss of life in citizens is reduced because by real-time monitoring of citizens without a history of illness and citizens with a history of illness under care in the event of a critical situation, the percentage of life losses will be reduced with timely assistance, and the result of using this solution will be in the interest of user organizations and institutions.

Keywords: Internet of Things (IoT), 5G, Network Slicing, Cloud Computing, Software Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV).

* Corresponding Author's email: tabatabaei@mut.ac.ir

دوفصلنامه
فناوری اطلاعات و ارتباطات ایران

سال هفدهم، شماره‌های ۶۳ و ۶۴ ، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۱۳۹ الی ۱۵۴

ارائه معماری،پیاده‌سازی و ارزیابی سکوی زیست‌بوم اینترنت اشیای حوزه سلامت

سیدغلامحسن طباطبائی [۱*]، سروناز آقاداودی [۲]

[۱] مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

[۲] مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۳/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

امروزه ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی از قرار ملاقات حضوری با پزشکان به‌پیش بینی بیماری از طریق نظارت از راه دور تبدیل‌شده و مراقبت‌های بهداشتی از رویکرد سنتی متمرکز بر بیمارستان، به رویکرد بیمار محور توزیع‌شده تغییر یافت است. بکارگیری اینترنت اشیا به‌عنوان فناوری که توانایی فراهم کردن رویکرد بیمار محور توزیع‌شده را دارد امری حائز اهمیت است. ارائه معماری و به تبع آن سکویی که بتواند این نیاز را مرتفع کند برای سازمان‌های بهداشتی و نهادهای مربوطه بسیار ارزشمند محسوب می‌شود به‌این‌علت که هزینه‌های پیشگیری برای شهروندان و دولت به‌صرفه‌تر از هزینه‌های درمان لحاظ می‌گردد. برای پاسخ‌دهی به مسائل مطرح‌شده، معماری مفهومی بر اساس تلفیق فناوری‌های اینترنت اشیا، 5G، رایانش مه/لبه، رایانش ابری، برش شبکه، شبکه نرم‌افزار محور و مجازی‌سازی توابع شبکه برای مانیتورینگ الکترونیک سلامت شهروندان ارائه‌شده است. از انواع حسگرهای پزشکی و محیطی برای رصد لحظه‌ای و دوره‌ای شهروندان و شرایط محیطی آنان استفاده‌شده است؛ بنابراین هدف اصلی این تحقیق ارائه یک معماری زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیا حوزه سلامت در راستای ارتقاء کیفیت و سطح سلامت شهروندان و پاسخگویی به مسائل حوزه سلامت به‌عنوان راهکاری مقرون‌به‌صرفه است. زیست‌بوم مذکور مختص حوزه سلامت بوده و به دلیل ارائه برش‌های شبکه سلامت در دیگر حوزه‌ها نمی‌توان آن را بکار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی راهکار مبتنی بر معیارهای کارایی و مقیاس‌پذیری، نشان‌دهنده مطلوب بودن راهکار مذکور می‌باشد زیرا زمان اجرا تا ۱۰۰ گره زیر یک ثانیه محاسبه گردیده است. معماری مذکور می‌تواند در مقیاس بزرگ پیاده‌سازی و بکار گرفته شود و درعین‌حال کارایی مناسب خود را حفظ نماید. در راهکار پیشنهادی خطر خسارات جانی نابهنگام در شهروندان کاهش پیدا می‌کند به دلیل اینکه با پایش لحظه‌ای شهروندان بدون سابقه بیماری و شهروندان دارای سابقه بیماری تحت مراقبت در صورت وقوع موقعیت بحرانی با امدادرسانی به‌موقع از درصد تلفات جانی کاسته خواهد شد و نتیجه استفاده از این راهکار به نفع سازمان‌ها و نهادهای استفاده‌کننده خواهد بود.

کلیدواژگان: اینترنت اشیا، شبکه نسل پنجم، برش‌بندی شبکه، رایانش ابری، شبکه نرم‌افزارمحور، مجازی‌سازی توابع شبکه.

* رایانامهٔ نویسنده مسؤول: tabatabaei@mut.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه مراقبت‌های بهداشتی از رویکرد سنتی متمرکز بر بیمارستان، به رویکرد بیمار محور توزیع‌شده تغییر یافت است. یعنی از مرحله قرار ملاقات حضوری با پزشکان به مرحله پیشگیری از طریق نظارت از راه دور رسیدیم. لازمه‌ی رویکرد بیمارمحور توزیع‌شده، استفاده از اینترنت اشیا می‌باشد. اینترنت اشیا اصطلاحی است که تعامل میلیاردها شیء در سراسر جهان را فراهم می‌کند و امکان ادراک دستگاه‌های متصل‌به‌هم را فراهم می‌کند. اینترنت اشیا به‌عنوان یک بستر در مراقبت‌های بهداشتی عمل می‌کند و نقش بسیار مهمی در حوزه‌های وسیعی از خدمات پزشکی دارد. به‌طور کامل صنعت پزشکی را از طریق بازتعریف کردن نقش اپلیکیشن‌ها یا دستگاه‌ها و شیوه ارتباط افراد در ارائه راهکارهای پزشکی، متحول کرده و می‌تواند در زمینه‌های مختلف پزشکی ازجمله سیستم مراقبت از راه دور بیماران، مراقبت از سالمندان، برنامه‌های رژیم و تناسب‌اندام و سیستم هشداردهنده موارد اورژانسی و همچنین برنامه‌ای که در آن پزشک می‌تواند پس از ترخیص بیمار از بیمارستان، بیمار خود را تحت نظر داشته باشد، مورداستفاده قرار گیرد. امروزه هزینه‌های درمان برای بیماران و دولت در حال طی کردن شیب صعودی است به همین دلیل شکل‌گیری سکویی که بتواند کادر درمان را به یک مرحله قبل یعنی پیشگیری از بیماری منتقل کند نویدبخش کاهش ضریب بیماری در شهروندان و کاهش چشمگیر هزینه‌های درمان خواهد بود. در بحث پیشگیری و مانیتورینگ سلامت، فقط افراد بیمار جامعه هدف نیستند بلکه پایش افراد سالم هم حتماً باید انجام گیرد به این دلیل که در حال حاضر دولت‌ها به‌اندازه کافی روی بحث پیشگیری متمرکز نیستند و اکثر توجه‌ها به سمت تشخیص و درمان معطوف می‌باشد و درنهایت هزینه‌های زیادی به دولت و جامعه تحمیل‌شده است. پس بحث پیشگیری بسیار حائز اهمیت می‌باشد اینکه افراد سالم هم به‌صورت دوره‌ای پایش شوند. توسعه تعامل‌پذیری مبتنی بر زیست‌بوم حوزه سلامت دغدغه و مسئله اصلی می‌باشد چون داده‌های زیادی در حوزه سلامت به وجود آمده که این داده‌ها از منابع زیادی دریافت می‌شوند. تا قبل از اینترنت اشیا حوزه سلامت، هیچ‌گونه سکوی مشخصی که بتواند تعامل بین داده‌های مختلف را برقرار کند وجود نداشت اما امروزه می‌توان سکوی مشترکی را در حوزه سلامت ایجاد کرد تا حسگرها و محرک‌های مختلفی که داده‌های حوزه سلامت را تولید می‌کنند به سکو وصل کرد و از این طریق بین داده‌ها ارتباط برقرار کرد تا فکت احصا شود. به‌عنوان‌مثال قبلاً این امکان وجود نداشت که یک اپیدمی در کشور کشف شود ولی امروزه با توجه به اینکه تمام داده‌ها در یک سکو دریافت می‌شوند و مورد تحلیل قرار می‌گیرند به‌راحتی می‌توان کشف اپیدمی‌های مختلف در حوزه سلامت انجام گیرد و پیشگیری‌های لازم لحاظ شود بنابراین پیشگیری با توجه به این تعامل‌پذیری که بین داده‌های مختلف در حوزه اینترنت اشیا حوزه سلامت اتفاق افتاده بسیار حائز اهمیت است. . در میان فناوری‌های مختلف، فناوری‌های ارتباطی امکان ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی شخصی و از راه دور را فراهم کرده‌اند. تا پیش‌ازاین، مراقبت‌های بهداشتی مدرن و برنامه‌های کاربردی به‌طور گسترده از شبکه 4G استفاده می‌کردند. با این وجود، نگرانی بابت سلامت هوشمند در سراسر جهان وجود دارد. همان‌طور که بازار مراقبت‌های بهداشتی هوشمند گسترش می‌یابد، تعداد برنامه‌های کاربردی متصل به شبکه، داده‌هایی را تولید می‌کند که در اندازه و فرمت متفاوت است. این امر تقاضاهای پیچیده‌ای را بر روی شبکه ازنظر پهنای باند، نرخ داده و تأخیر و سایر عوامل ایجاد می‌کند. همان‌طور که این بازار هوشمند مراقبت‌های بهداشتی بالغ می‌شود، نیازهای اتصال برای تعداد زیادی دستگاه و ماشین را ضروری می‌کند. فعالیت‌های این حوزه، نیاز به ارتباطات باقابلیت اطمینان فوق‌العاده و تأخیر کم دارند. از طرفی جامعه ممکن است در پاندمی بیماری قرار بگیرد که نیاز به منابع محاسباتی به‌شدت افزایش‌یافته که در زمان‌های دیگر این منابع باید آزاد گردند. همچنین اقتصادی بودن هزینه‌های پیاده‌سازی منابع و کنترل متمرکز این زیست‌بوم در عین توزیع‌شدگی وسیع آن‌هم موردتوجه است.

پس به یک معماری مفهومی نیاز است تا تلفیق فناوری‌هایی مثل اینترنت اشیا، 5G، MEC/FEC، رایانش ابری، برش شبکه، شبکه نرم‌افزارمحور و مجازی‌سازی توابع شبکه برای مانیتورینگ الکترونیک سلامت شهروندان را فراهم سازد. تلاش شده با پارادایم‌های تلفیقی محاسباتی اینترنت اشیا مثل رایانش ابری برای ذخیره‌سازی دائمی به همراه پردازش‌های سنگین و FEC/MEC برای ذخیره‌سازی موقت به همراه پردازش‌های سریع را پوشش داد، شبکه غیر سلولار برای جمع‌آوری دیتای مربوط به وضعیت سلامت کاربران که از حسگرهای پزشکی و محیطی دریافت می‌شوند و شبکه سلولار برای مأموریت‌های بحرانی بکار گرفته خواهد شد. بهره‌مندی از شبکه سلولار 5G بجای 4G برای مأموریت‌های بحرانی به دلیل نیاز به ارتباطات باقابلیت اطمینان فوق‌العاده و تأخیر کم و تحقق اهداف این شبکه با استفاده از فناوری‌های برش شبکه، شبکه نرم‌افزار محور و مجازی‌سازی توابع شبکه. پیاده‌سازی شبکه‌های مجازی حوزه سلامت با کاربرد متفاوت باقابلیت افزایش و کاهش منابع محاسباتی در دوره پاندمی و خارج از آن با فناوری برش شبکه محقق می‌گردد. مدیریت متمرکز این شبکه توزیع‌شده از بیماران از

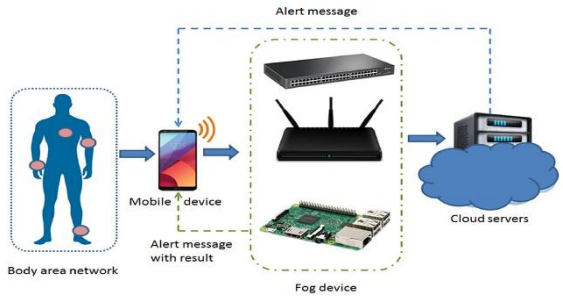
طریق فناوری شبکه نرم‌افزار محور حاصل می‌گردد و می‌توان هزاران مرکز پزشکی هوشمند مانند بیمارستان‌های مختلف را از طریق یک پلتفرم هدایت کرد و لازم نیست که هر مرکز پزشکی برای خودش به‌صورت ادهاک یک معماری جدا داشته باشد. کاهش هزینه‌های پیاده‌سازی منابع (محاسبات، ذخیره‌سازی و شبکه) از طریق فناوری مجازی‌سازی توابع شبکه حاصل می‌گردد.

می‌توان نتیجه گرفت که هدف اصلی این تحقیق ارائه یک معماری زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیا حوزه سلامت از تلفیق فناوری‌های مذکور است که از بطن آن نیز سکویی طراحی و ارزیابی گردیده که خطر خسارات جانی نابهنگام در شهروندان کاهش می‌دهد به دلیل اینکه با پایش لحظه‌ای شهروندان بدون سابقه بیماری و شهروندان دارای سابقه بیماری تحت مراقبت در صورت وقوع موقعیت بحرانی با امدادرسانی به‌موقع از درصد تلفات جانی کاسته خواهد شد.

در این مقاله در بخش اول معماری مفهومی پیشنهادی زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیاء حوزه سلامت در سطح اول و دوم، اجزا و مؤلفه‌های مختلف معماری، فناوری‌های هر بخش از معماری، پروتکل‌های انتخابی ارائه شده است. در بخش دوم برش‌های نوین برای بهره‌گیری در زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیا حوزه سلامت به همراه ویژگی‌های مختص هر برش از شبکه احصا گردیده است.در بخش سوم نمودار توالی معماری طبق سناریویی مشخص ارائه خواهد شد. در بخش چهارم پیاده سازی سکو از بطن معماری به نمایش گذاشته خواهد شد و در بخش پنجم ارزیابی کار ارائه خواهد گردید.

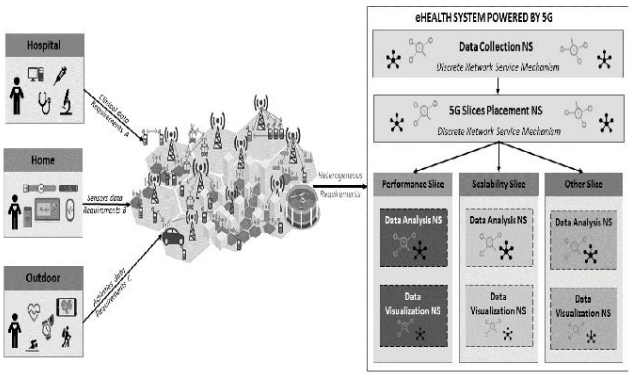
۲- مروری بر معماری‌های پیشین

مقاله[۱] یک چارچوب مراقبت‌های بهداشتی سیار را بر اساس شبکه مشارکتی لبه-مه-ابر طبق شکل ۱پیشنهاد می‌کند. از دستگاه‌های لبه و مه برای نظارت بر سلامت استفاده می‌کند و از ابر برای تجزیه‌وتحلیل بیشتر داده‌های سلامت در صورت وضعیت سلامت غیرعادی استفاده می‌کند. تأخیر و مصرف انرژی دستگاه کاربر را به ترتیب ۲۸٪ و ~۲۷٪ نسبت به مدل مراقبت بهداشتی ابری کاهش می‌دهد. همچنین نشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی پیشنهادی دقت و کارایی زمان بهتری نسبت به مدل‌های موجود دارد. در این مقاله از شبکه نسل پنجم برای بهره‌برداری بیشتر استفاده نشده و همگرایی IoHT[1] و 5G محقق نگردیده است و به‌تبع عدم به‌کارگیری شبکه نسل پنجم معیارهایی که این شبکه به همراه دارد مثل افزایش توان عملیاتی، پهنای باند بالا، قابلیت اطمینان، کاهش مصرف شبکه،کیفیت خدمات و امنیت حاصل نگشته است و فناوری‌های نوینی همچون NFV،SDN و برش شبکه نیز بکار گرفته نشده‌اند.



شکل ۱-چارچوب اینترنت اشیای حوزه سلامت مبتنی بر ابر-مه-لبه [۱]

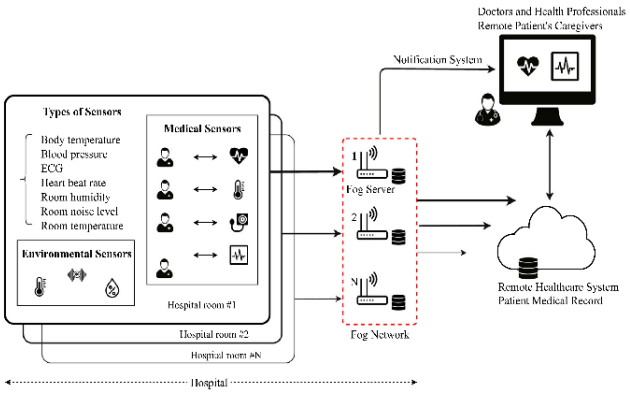
مقاله[۲] اشاره دارد که یک چالش کلیدی، میزان داده‌های پزشکی و نحوه انتقال و پردازش آن‌هاست. فرمت‌ها، نرخ‌ها و اندازه‌های مختلف مجموعه داده‌ها به‌طور مداوم در حال افزایش است و نیاز به یک سیستم سلامت الکترونیکی را که هوشمند و کارآمد باشد، افزایش می‌دهد. درعین‌حال، باید الزامات رویکردهایی را که هدف آن تجزیه‌وتحلیل داده‌های پزشکی است، به سمت مراقبت‌های بهداشتی کارآمد، ترکیب و تسهیل کند. با بهره‌گیری از قابلیت‌های نوظهور 5G، برش شبکه به‌عنوان یک‌راه حل امیدوارکننده در مورد نیازهای ناهمگن داده‌های پزشکی و محدودیت‌های متنوع آن‌ها پیش‌بینی‌شده است. در این مقاله یک سیستم سلامت الکترونیک نوآورانه طبق شکل ۲ پیشنهاد می‌شود که با برش‌بندی شبکه 5G، به‌منظور برآورده کردن الزامات برای ایجاد یک شبکه کارآمد با ظرفیت بالا، ارائه می‌شود. داده‌های مراقبت‌های بهداشتی در داخل برش‌های مجزا و ایزوله برای تولید دیدگاه کلی‌نگر بیماران جمع‌آوری و مدیریت می‌شوند درحالی‌که آگاهی در مورد سلامت بیماران و کیفیت خدمات افزایش پیدا می‌کند. در این مقاله فناوری‌هایی همچون لبه، مه،NFV و SDN بکار گرفته نشده‌اند .



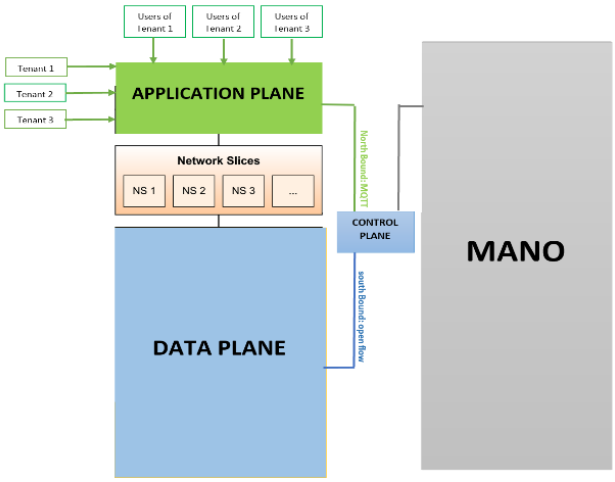
شکل ۲- معماری سیستم سلامت الکترونیکی با برش‌های شبکه 5G [۲]

[1] Internet of healthcare things

مقاله [۳] به مطالعه سهم الگوی محاسبات مه در مراقبت‌های بهداشتی می‌پردازد و مزایای اصلی آن را در مورد تأخیر، مصرف شبکه و مصرف انرژی برجسته می‌کند. بر اساس این پارامترها، یک سیستم پایش سلامت به کمک مه طبق شکل ۳ پیشنهادشده و ارزیابی و نمایش عملکرد آن انجام می‌شود. نتایج، نشان‌دهنده افزایش بالقوه این رویکرد برای به حداقل رساندن ترافیک داده‌ها در هسته شبکه است، زیرا داده‌ها به‌صورت محلی تجزیه و تحلیل می‌شوند. در این مقاله از شبکه نسل پنجم برای بهره‌برداری بیشتر استفاده نشده و همگرایی IoHT و 5G محقق نگردیده است و به‌تبع عدم به‌کارگیری شبکه نسل پنجم معیارهایی که این شبکه به همراه دارد مثل کارایی، پهنای باند بالا، قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات حاصل نشده است و فناوری‌هایی همچون SDN، NFV، لبه و برش شبکه نیز بکار گرفته نشده‌اند.



شکل ۳-معماری سه لایه اینترنت اشیا حوزه سلامت[۳]



شکل ۴-معماری مفهومی سطح یک پیشنهادی اینترنت اشیا حوزه سلامت

۳- معماری مفهومی پیشنهادی

۳-۱- معماری مفهومی سطح یک

در شکل ۴ معماری مفهومی با تفکر SDN[1] ارائه‌شده است که در آن آن تمام بخش‌ها و مؤلفه‌های تفکر معماری‌های پیشین نیز موجود است. با رفتن به سمت SDN مؤلفه‌های پایه در معماری‌های سنتی حفظ خواهند شد و ماهیت آن‌ها تغییر نخواهد کرد. معماری مبتنی بر SDN، مبتنی بر فناوری نیست بلکه تفکر SDN مطرح می‌کند که به صورت سرویس‌گرا سه لایه را از هم مجزا کنیم حال هر مفهوم و فناوری می‌تواند در آن قرار گیرد و هر فناوری دیگری نیز می‌تواند ظهور کرده و در SDN خودش را تطبیق دهد. یکی از نوآوری‌هایی که می‌تواند اتفاق بیفتد این است که هزاران بیمارستان هوشمند در جایگاه مستأجر از طریق یک پلتفرم هدایت شوند مثل ارائه بیمارستان به‌عنوان سرویس[2] است و لازم نیست که هر بیمارستان برای خودش به‌صورت ادهاک[3] یک معماری جدا داشته باشد. SDN به‌تنهایی نمی‌توانست پاسخگوی نیازمندی‌های 5G باشد پس مفهوم NFV[4] مطرح شد که با تلفیق SDN توانست کل شبکه 5G را محقق کند. معماری تلفیقی ارائه‌شده تحت عنوان SDNFV راهکار اصلی برای 5G در نظر گرفته می‌شود که نقص های معماری های پیشین را جبران خواهد کرد:

Data Plane : لایه داده (d-plane)[5] انواع دیوایس‌ها که در معماری سنتی در لایه فیزیکی قرار دارند در معماری پیشنهادی در d-plane قرار خواهند گرفت. تمام تجهیزات ازجمله حسگرها و محرک‌ها، اکسس پوینت MEC/FEC[6] که نقش Gateway را ایفا می‌کند، روترها و سوئیچ‌ها یا تجهیزات فیزیکی متعلق به مؤلفه 5G مانند آنتن‌های BTS در این لایه قرار می‌گیرند؛ اما کنترل و هدایت آن‌ها کاملاً در c-plane[7] اتفاق می‌افتد.

Network Slices: فناوری برش شبکه (NS)[8] به‌صورت توزیع‌شده در همه لایه‌های SDN قرار دارد چون برش شبکه یک مفهوم می‌باشد بنابراین در لایه‌های مختلف SDN به‌صورت توزیع‌شده حضور خواهد داشت. با توجه به کاربردهای مختلف، برش‌های متنوع در 5G تشکیل خواهند شد.

Application Plane: اپلیکیشن‌های مختلف در این لایه متمرکزشده‌اند که از طریق اپ استور گوگل[9] در دسترس عموم

[1] Software defined network
[2] Hospital as a service
[3] Ad-Hoc
[4] Network function virtualization
[5] Data plane
[6] Multi access edge computing /fog and edge computing
[7] Control plane
[8] Network slicing
[9] google app store

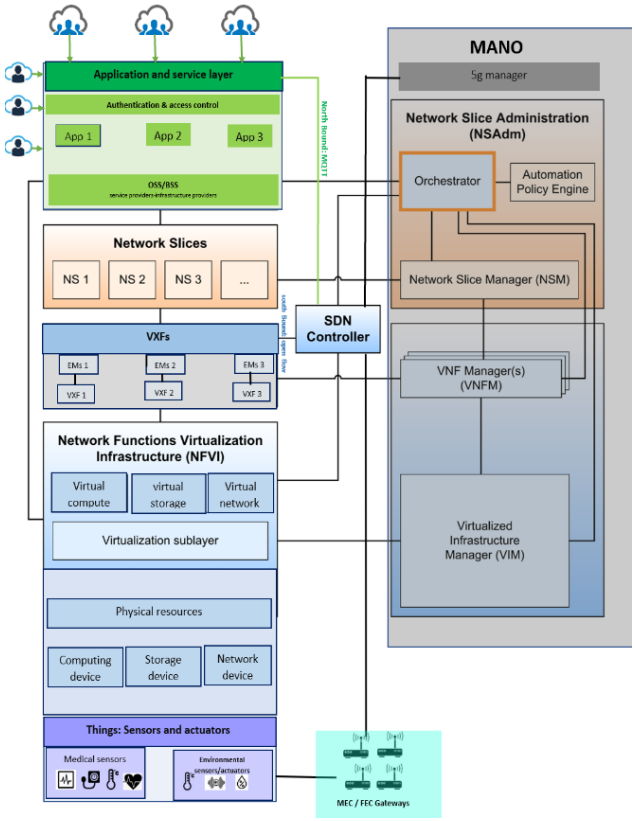
قرار خواهند گرفت. برنامه‌های مذکور با c-plane ارتباط برقرار می‌کنند و از طریق c-plane با تمام دستگاه‌ها مثل حسگرها و محرک‌ها در لایه d-plane ارتباط برقرار می‌کنند. هر شخص ثالثی می‌تواند برنامه جدیدی را در اپ استور اضافه کند.

Tenants: مستأجر برش شبکه، یک برش شبکه را از MANO به دست می‌آورد و از معماری پیشنهادی برای ارائه یک سرویس خاص به مشتریان خود استفاده می‌کند. مستأجر درگیر کارهای فنی شبکه‌ای نمی‌شود و به‌راحتی سرویس‌ها را as a service دریافت می‌کند. هر مستأجر می‌تواند یک بیمارستان باشد و منظور از کاربر مستأجر بیماران، پزشکان و پرستاران می‌باشد.

Control Plane: پارادایم SDN این توانایی را دارد که data-plane را از c-plane، یعنی جایی که تصمیمات مسیریابی[1] گرفته می‌شود جدا کند. در SDN مغز متفکر معماری، NOS[2] است که در c-plane قرار دارد و هدایت اصلی شبکه پایش سلامت را انجام می‌دهد. در تفکر SDN عمده دیوایس‌ها به سمت dummy device در حال حرکت هستند یعنی تغییرات روی تجهیزات[3] کمتر اتفاق می‌افتد و از طریق c-plane تغییرات روی عمده دیوایس‌ها اعمال می‌شود. به این سبب تغییرات سریع‌تر روی سخت‌افزارها اعمال می‌شود بدون اینکه تحولات اساسی روی معماری‌های فیزیکی سخت‌افزاری ایجاد شود. به همین دلیل هزینه تغییرات در شبکه به‌شدت کاهش پیدا خواهد کرد. در نسل‌های پیشین باعرضه ورژن جدید از سخت‌افزار به‌عنوان‌مثال سوئیچ، باید کل سوئیچ‌های قبلی تغییر می‌کرد که هزینه زیادی تحمیل می‌شد اما دنیای امروز به دنبال تغییرات سخت‌افزاری نبوده بلکه تمرکز روی هوشمند سازی سوئیچ‌ها و روترها می‌باشد که این هوشمند سازی کاملاً نرم‌افزاری صورت می‌گیرد.

MANO: مؤلفه مدیریت و هماهنگ‌کننده (MANO)[4]، مؤلفه‌ای است که مدیریت و هماهنگی معماری را بر عهده دارد. عملکرد تمام لایه‌ها توسط این لایه نظارت و مدیریت می‌شود.

5G Component: مؤلفه 5G در SDN به‌صورت توزیع‌شده حضور دارد، به عنوان مثال تجهیزات فیزیکی متعلق به آن مانند آنتن‌های BTS در D-plane و شبکه اصلی[5] آن‌که مدیریت کل شبکه را انجام می‌دهد در c-plane قرار می‌گیرد و اپلیکیشن‌های آن نیز در app-plane قرار دارند.



شکل ۵-معماری مفهومی سطح دو پیشنهادی اینترنت اشیا حوزه سلامت

Cloud: مؤلفه ابر نیز در SDN به‌صورت توزیع‌شده قرار دارد. تجهیزات آن مثل روترها و سوئیچ‌ها در D-plane، برنامه‌های نرم‌افزار به‌عنوان سرویس (Saas)[6] در app-plane و هماهنگ‌کننده[7] نیز در c-plane قرار می‌گیرد.

۳-۲- معماری مفهومی سطح دو

در شکل ۵ بلوک‌های معماری از پایین به بالا به شرح زیر می‌باشد:

Sensors and actuators layer: تمامی حسگرها و محرک‌ها از طریق Non-Cellular MEC/FEC Gateways به مؤلفه 5G Manger متصل هستند. شبکه غیرسلولار[8] با شبکه سلولار نسل پنجم تعامل دارد. حسگرها به دودسته حسگرهای پزشکی و محیطی تقسیم می‌شوند.

MEC/FEC Gateway layer: در این لایه، از Non-Cellular LoRa Gateways استفاده می‌شود. Gateways می‌تواند اکسس پوینت باشد. این لایه نزدیک‌ترین لایه به لایه فیزیکی و جمع‌آوری‌کننده داده‌ها از حسگرها می‌باشد. در FEC/MEC داده‌ها به‌صورت موقت ذخیره می‌شوند که در صورت مفقود شدن

[1] routing decisions
[2] Network operating system
[3] appliance
[4] management and orchestration
[5] core network
[6] Software as a service
[7] coordinator
[8] non-cellular

بسته‌های داده ارسالی دوباره ارسال شوند و یکسری آنالیز اولیه برای بررسی استاندارد بودن فرمت داده‌ها و درست بودن محتوا صورت می‌گیرد و پردازش رویداد هم انجام می‌گیرد که اگر وضعیت داده سلامت شهروند خارج از رنج طبیعی باشد هشدار ابتدایی برای کاربر ارسال گردد (مثلاً ضربان قلب شما در حال بالا رفتن است یا هوای اطراف شما بسیار آلوده است). علاوه بر ارسال پیام از پایین به لایه‌های بالا، در زمان دریافت پیام از لایه بالا نیز بررسی‌های لازم صورت گرفته و به حسگر و یا اجراکننده مربوطه ارسال می‌شوند (ارائه برنامه جامع سبک زندگی به کاربر).

NFVI layer: زیرساخت مجازی توابع شبکه (NFVI)[1] منابع سخت‌افزاری را به عنوان محیط‌های مجازی برای VNF ها فراهم می‌کند. یک محیط محاسباتی مقیاس‌پذیر است که وظیفه میزبانی VNF ها را به همراه EMS دارد.[۴]

این لایه دارای سه مؤلفه زیر می‌باشد: [۴]

Physical Resources: این لایه منابع سخت‌افزاری مثل (محاسبات، فضای ذخیره‌سازی، پهنای باند و غیره) را به برش‌های شبکه تخصیص می‌دهد.

Virtualization Sublayer: در این لایه هایپروایزر وجود دارد که وظیفه تولید، کنترل و مدیریت ماشین‌های مجازی را بر عهده دارد. اشتراک منابع سخت‌افزاری را بین instances های برش شبکه، فعال و نظارت می‌کنند و وظیفه جدا کردن منابع نرم‌افزاری از منابع سخت‌افزاری را بر عهده دارد. این یک لایه انتزاعی است که فقط منابع سخت‌افزاری مورد نیاز را به صورت پویا در معرض نرم‌افزار VNF های پیاده‌سازی شده قرار می‌دهد. دو نوع اصلی هایپروایزر وجود دارد: نوع اول bare metal مانند VMware ESXi و KVM. نوع دوم hosted مثل Oracle Virtual Box.

Virtual Resources: منابعی انتزاعی از منابع سخت‌افزاری هستند که از طریق لایه Hypervisor در دسترس VNF ها قرار می‌گیرند تا برای مقاصد آن‌ها استفاده شود؛ مانند virtual network، virtual storage،virtual compute.

VXF layer: تابع شبکه مجازی شده (VNF)[2] یک نمونه مجازی‌سازی شده از یک تابع شبکه و عملیات انجام‌شده، به‌صورت مجازی بر روی یک سخت‌افزار است. این توابع شبکه به مجموعه‌ای از سرویس‌های شبکه اشاره دارند (مثل روترهای مجازی، فایروال‌ها و خدمات ترجمه آدرس شبکه (NAT)[3]) که می‌توانند در یک یا چند ماشین مجازی (VM)[4] مستقر شوند. این VNF ها شامل VM هایی هستند که نرم‌افزار را در بالای NFVi اجرا می‌کنند. اکثر VNF ها در VM ها روی نرم‌افزارهای زیرساخت مجازی‌سازی رایج مانند VMWare یا KVM اجرا می‌شوند.VNF ها را می‌توان مانند بلوک‌های ساختمانی در فرآیندی به نام زنجیره خدمات به هم مرتبط کرد. هم کانتینرها و هم VM ها قادر به اجرای VNF هستند. درحالی‌که ماشین‌های مجازی ممکن است انزوای منطقی کاملی را برای عملکرد VNF ها در یک برش شبکه ارائه دهند، اما ماهیت سبک‌وزن کانتینرها می‌تواند به‌طور مؤثر از برش‌های شبکه با کاربران بسیار متحرک پشتیبانی کند.[۴]

فراتر از بحث VNF، پیاده‌سازی انواع دیگر سرویس‌های مجازی شده نیز می‌تواند برای استقرار توابع خاصی در نظر گرفته شود که می‌توان به توابع مجازی VXF اشاره کرد. نمونه‌هایی از VXF ها می‌توانند از عملکردهای شبکه مانند متعادل‌کننده بار[5] یا فایروال گرفته تا سرویس‌های عمومی مانند پخش ویدئو[6] یا صدا را شامل شوند. VXF ها یک یا چند VM را اجرا می‌کنند که در NFVI در معرض دید و مستقر هستند. این لایه شامل مؤلفه زیر می‌باشد:

سیستم مدیریت عناصر (EMS)[7]: یک سیستم مدیریتی برای عناصر است که با VNF تعامل دارد و آن را مدیریت می‌کند. معمولاً یک VNF توسط یک EMS مدیریت می‌گردد که این سیستم مسئول تنظیم، نظارت و نگهداری خرابی، پیکربندی، حسابرسی، بررسی عملکرد و امنیت می‌باشد. معمولاً در برخی مواقع VNF و EMS را در قالب یک بلوک رسم می‌کنند اما می‌توانند به‌صورت جدا هم ترسیم شوند و اشاره دارد به برنامه کاربردی که یک سرویس از شبکه را ارائه می‌دهد.[۴]

Network slices layer: برش شبکه که در آن منابع شبکه به‌صورت مجزا قرار دارد و به مجموعه‌ای از کاربران با توجه به نیازهای خاص آن‌ها تخصیص داده می‌شود.[۴]

فناوری برش شبکه به‌صورت توزیع‌شده در همه لایه‌های SDN قرار دارد چون برش شبکه یک مفهوم می‌باشد بنابراین در لایه‌های مختلف SDN به‌صورت توزیع‌شده حضور خواهد داشت. با توجه به کاربردهای مختلف، برش‌های متنوع در 5G تشکیل خواهند شد.

Application and service layer: این لایه انتظارات کاربردی خاصی را از زیرساخت شبکه و عملکردهای شبکه نشان می‌دهد. وظیفه ارسال وضعیت پایش شده شهروندان به تیم پزشکی (پایین به بالا) و ارسال پیام از تیم پزشکی به شهروندان (بالا به پایین) را دارد. بحث احراز هویت و کنترل دسترسی هم در همین لایه

[1] Network Functions Virtualization Infrastructure
[2] Virtual network function
[3] Network address translation
[4] Virtual machine
[5] load balancers
[6] video streaming
[7] Element Management System

بررسی می‌گردد. این لایه شامل OSS/BSS است .OSS[1] سیستم‌های مدیریتی هستند که همراه با سیستم‌های پشتیبانی کسب‌وکار (BSS)[2]، به ارائه‌دهنده خدمات[3] در استقرار و مدیریت انواع خدمات ارتباطات راه دور (مانند سفارش، صدور صورتحساب، تمدید، عیب‌یابی و...) کمک کرده و به MANO در اجرای سیاست‌های شبکه، به‌صورت خودکار یا دستی کمک می‌کند.[۴]

Tenants and users of tenants: مستأجر[4] برش شبکه، یک برش شبکه را از MANO به دست می‌آورد و از معماری پیشنهادی برای ارائه یک سرویس خاص به کاربران[5] خود استفاده می‌کند. هر مستأجر می‌تواند یک شبکه عظیم IOHT[6] مستقل را شکل دهد. مستأجر درگیر کارهای فنی شبکه‌ای نمی‌شود و به‌راحتی سرویس‌ها را as a service دریافت می‌کند. هر مستأجر می‌تواند یک بیمارستان باشد و منظور از کاربر مستأجر هم بیماران، پزشکان و پرستاران می‌باشد. به‌عنوان‌مثال زمانی که قند خون یک شهروند پایش شود از جایگاه کاربر مستأجر[7] استفاده می‌شود.

MANO layer: مؤلفه دقیقی است که مدیریت و هماهنگی معماری را بر عهده دارد. عملکرد لایه‌های قبلی، توسط این لایه نظارت و مدیریت می‌شود. وظیفه اصلی این لایه شامل موارد زیر می‌باشد: [۴]

- ایجاد نمونه‌های شبکه مجازی[8] بر روی شبکه فیزیکی با استفاده از عملکرد لایه زیرساخت.
- حفظ ارتباط بین لایه سرویس/برنامه و چارچوب برش شبکه برای مدیریت چرخه حیات نمونه‌های شبکه مجازی و تطبیق یا مقیاس بندی پویا منابع مجازی شده.

این لایه شامل مؤلفه‌های زیر می‌باشد:

۱) VIM[9]: مؤلفه مدیر زیرساخت مجازی مسئول مدیریت NFVI و نظارت بر منابع است. VIM قادر به ایجاد، کنترل، نظارت و از بین بردن کل چرخه حیات ماشین‌های مجازی است که بر روی منابع فیزیکی عمومی نمونه‌سازی شده‌اند. VIM منابع مرتبط NFVI در یک برش شبکه را تخصیص، مدیریت و کنترل می‌کند و ارتباط آن‌ها یعنی زنجیره خدمات[10] و هدایت ترافیک[11] را مدیریت می‌کند. [۴]

۲) VNFM[12]: مسئول پیکربندی، مدیریت و نظارت بر هر یک از VxF هایی هستند که برش‌های شبکه را تشکیل می‌دهند. هر مدیر قادر است VxF های خود را برحسب تقاضا با عملکرد ارائه‌شده توسط هر برش شبکه، مستقر و پیکربندی یا حذف کند. VNFM مسئول مدیریت چرخه عمر یک یا چند نمونه VNF است که در یک برش شبکه اجرا می‌شوند. چنین فرآیندی شامل پیکربندی و نمونه‌سازی VNF با در نظر گرفتن یک الگوی برش شبکه و جمع‌آوری اطلاعات عملکرد NFVI مربوط به نمونه‌های برش شبکه[13] است.[۴]

۳) SDN controller: عنصر اصلی کنترل است که عناصر شبکه[14] متعلق به data plane را مدیریت می‌کند. کنترلر SDN به معماری پیشنهادی اجازه می‌دهد تا ارتباطات شبکه را به‌صورت بلادرنگ بین عناصر برش شبکه باهدف اطمینان از جنبه‌هایی مانند امنیت، حریم خصوصی و QoS کنترل کند.[۴]

۴) Orchestrator: ارکستراتور[15]، مدیریت عناصر فوق را به‌طور خودکار انجام می‌دهد. این مؤلفه با VIM، VNFM، SDN controller، NSM و OSS/BSS که خدمات مشتری را ارائه می‌دهد مرتبط می‌شود.[۴]

۵) NSAdm[16]: مدیریت برش شبکه شامل دو مؤلفه زیر است که مستقیماً با چرخه حیات برش‌های شبکه سروکار دارند.[۴]

- NSM[17]: مدیریت چرخه حیات برش‌های شبکه را انجام می‌دهد. [۴]
- Automation Policy Engine: موتور پالیسی اتوماسیون مسئول تصمیم‌گیری در مورد مدیریت برش‌های شبکه است. تعاملات درون برش یا تعاملات بین برش را با در نظر گرفتن پالیسی‌های تعریف‌شده توسط مدیر شبکه و همچنین اطلاعات context برش شبکه و مکان منابع که توسط معماری برای کنترل داینامیک برش‌های شبکه و منابع آن‌ها در نظر گرفته می‌شود، مدیریت می‌کند. [۴]

[1] Operating support systems
[2] Business support systems
[3] service provider
[4] Tenant
[5] Users
[6] Internet of healthcare things
[7] user of tenant
[8] virtual network instances
[9] Virtualized Infrastructure Manager
[10] service chain
[11] traffic steering
[12] VNF Manager
[13] Network slice instances
[14] network elements
[15] Orchestrator
[16] Network Slice Administration
[17] Network Slice Manager

- **5G Component**: این مؤلفه کاملاً به‌صورت انتزاعی حضور دارد و درون آن مؤلفه‌های بسیاری قرار دارد و در لایه منطقی معماری تأثیر دارد.
- **Cloud layer**: ذخیره‌سازی دائمی کلیه داده‌ها و پردازش‌های سنگین در این لایه اتفاق می‌افتد. داده‌های وضعیتی شهروندان طبق آخرین تغییرات ذخیره و به صورت دوره‌ای بروز خواهد شد این لایه برای دسترسی همیشگی و همچنین ایجاد سابقه سلامتی برای بیماران و تجزیه و تحلیل‌های بعدی نیاز است. داده‌ها را دریافت کرده و بعد از انجام آنالیز و مقایسه آن‌ها با پارامترهای پزشکی یک فرد سالم، سلامت و یا وخیم بودن شرایط بیمار را نتیجه‌گیری می‌کند. اگر داده‌هایی خارج از محدوده طبیعی وجود داشته باشد، آن داده‌ها را به لایه اپلیکیشن می‌فرستد تا لایه اپلیکیشن هشدار لازم را برای شهروند ارسال نماید.

۳-۳-پروتکل‌های ارتباطی

پروتکل‌های ارتباطی به شرح زیر انتخاب شده است:

۱) در لایه d-plane: ارتباط اشیا با Gateways به‌صورت غیرسلولار[1] و پروتکل لورا[2] انجام می‌شود. این پروتکل ویژگی‌ها و مزایای زیادی دارد:[۵]

۲) در ارتباط SDN controller با d-plane در باند جنوبی از پروتکل open flow استفاده می‌شود.

۳) در ارتباط SDN controller با باند شمالی برای ارتباط با app plane استانداردسازی پروتکل تا به امروز محقق نگردیده به همین دلیل از هریک از پروتکل‌های لایه اپلیکیشن می‌تواند استفاده کرد اما معماری پیشنهادی در لایه اپلیکیشن از پروتکل MQTT استفاده می‌کند. این پروتکل ویژگی‌ها و مزایای بسیاری دارد:[۵]

۴) دیگر تعاملاتی که بین مؤلفه‌های مختلف core معماری وجود دارد کاملاً سلولار و مبتنی بر 5G می‌باشد.

۴- ارائه برش‌بندی‌های نوین به‌همراه ویژگی‌های مختص هر برش

بامطالعه مقالات [۴, ۶]، انواع برش‌ها به‌صورت نوین برای بهره‌گیری در زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیا حوزه سلامت دسته‌بندی شده که علاوه بر دسته‌بندی نوین، ویژگی‌های آن‌ها تشخیص، تطبیق و احصا گردیده است که در جدول ۱ به آن پرداخته شده است.

جدول ۱- کاربردهای برش شبکه

برش شبکه	ویژگی‌ها	توضیح
Massive IOT(remote consultancy /wearable IOT/sensors & actuators) [۶]	Low Energy Ultra reliability High availability High scalability Low bandwidth low throughput devices large data sets security privacy Resiliency High energy efficiency (Long battery life) MEC required MMTC	تمامی حسگرهای پزشکی و محیطی
AR/VR [۶]	High Resolution High bandwidth Low latency Ultra reliability High security High privacy Large data sets Security Privacy EMBB	نظارت کادر درمان به‌صورت مجازی بر شهروندان
Drone surveillance [۶]	High availability Very low latency EMBB	-پهپادهای شهری برای نظارت بر سلامت -پهپاد به‌عنوان ایستگاه پایه شناور
Drone for delivery/photography [۶]	Ultra reliability Very low latency Computer vision technology URLLC	-ثبت تصویر -تحویل بسته‌های سلامت به شهروندان -از پروتکل‌های کم‌توان استفاده می‌شود به همین دلیل بحث پهنای باند مطرح نمی‌باشد
Drone in emergency situations [۶]	MEC required High security High privacy Ultra reliability Very low latency High bandwidth URLLC	خاموش کردن آتش در سطح شهر در صورت وقوع
Remote care [۴]	Low energy Security Privacy ultra reliability High availability High scalability Resiliency High energy efficiency (Long battery life) Low bandwidth MEC required MMTC low throughput devices	تمامی حسگرهای محیطی و پزشکی
Multimedia [۴]	Low latency Very High bandwidth High speed High availability Large coverage QOS High resolution Frame per second EMBB transmitting a large amount of content	-شهروندانی که در خانه به‌صورت تصویری تحت مراقبت هستند -ویدئو کنفرانس برای کنفرانس ویدئویی بین کادر پزشکی و بیماران احتمالی برای اطلاع‌رسانی مشکل و ارائه اطلاعات به کادر درمان -مشاوره مجازی به شهروندان

[1] non-cellular

[2] lora

مفهوم در دسترس بودن[1] شبکه به این معناست که ضمانت می‌کند شبکه همواره در دسترس است. درصد زمانی است که شبکه در دسترس کاربران است. اگر سرویسی از دسترس خارج شد جایگزین آن وجود دارد. ۹۹,۹۹۹ در دسترس است و تنها یک‌هزارم امکان از دست رفتن دسترسی وجود دارد. در دسترس بودن شبکه به عواملی مانند افزونگی[2]، پشتیبان‌گیری، نگهداری و تحمل خطا[3] بستگی دارد.

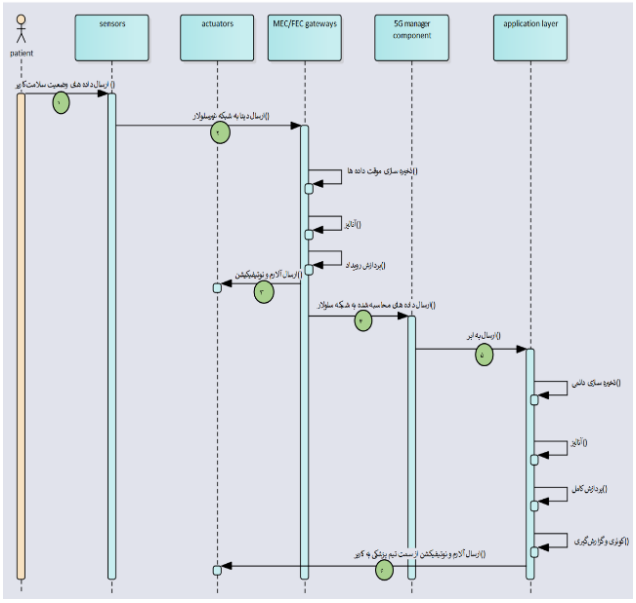
مفهوم قابلیت اطمینان[4] شبکه به معنی احتمالی است که شبکه بتواند عملکرد مورد نظر خود را بدون خرابی برای مدت زمان مشخصی تحت شرایط معین انجام دهد. قابلیت اطمینان شبکه به عواملی مانند کیفیت، ظرفیت، ازدحام و تصحیح خطا[5] بستگی دارد.

در دسترس بودن و قابلیت اطمینان شبکه به هم مرتبط هستند اما یکسان نیستند. یک شبکه می‌تواند در دسترس بودن بالا اما قابلیت اطمینان پایین داشته باشد یا برعکس. برای مثال، شبکه‌ای که همیشه روشن است اما مکرراً عملیات را قطع می‌کند، در دسترس بودن بالا اما قابلیت اطمینان پایینی دارد. شبکه‌ای که اغلب ازکارافتاده است، اما در صورت روشن بودن، خدمات بی‌عیب و نقصی ارائه می‌دهد، در دسترس بودن پایین اما قابلیت اطمینان بالایی دارد. در حالت ایدئال، یک شبکه باید هم در دسترس بودن و هم قابلیت اطمینان بالا برای اطمینان از رضایت و وفاداری مشتری داشته باشد.

مفهوم تاب‌آوری[6] در شبکه به این معناست که شبکه می‌تواند به‌سرعت به اختلال‌هایی که برای عملکرد عادی پیش می‌آید پاسخ دهد و بهبود یابد. اختلالات می‌تواند شامل هر چیزی از تعمیر و نگهداری شبکه گرفته تا تهدیدات سایبری، تجهیزات خراب تا بلایای طبیعی باشد. مفهوم مقیاس‌پذیری[7] به این معناست که با افزایش مقیاس و تعداد اشیا شبکه در ارائه خدمات دچار مشکل نخواهد شد.

۵- نمودار توالی معماری مفهومی

شکل ۶ سناریو نحوه تعامل مؤلفه‌ها در معماری ارائه‌شده را با استفاده از روش نمودار توالی در UML نشان داده است. در مرحله اول داده‌های وضعیت سلامت هر شهروند (شهروند سالم یا بیمار تحت مراقبت) به همراه داده‌های محیطی اطراف ایشان از طریق حسگرهای پزشکی و محیطی جمع‌آوری می‌گردد.



شکل ۶-نمودار توالی معماری پیشنهادی

در مرحله دوم دیتاها برای نزدیک‌ترین دروازه که نقش FEC/MEC را دارد در شبکه غیرسلولار از طریق پروتکل لورا ارسال می‌گردد. در FEC/MEC داده‌ها به‌صورت موقت ذخیره می‌شوند که در صورت مفقود شدن بسته‌های داده ارسالی دوباره ارسال شوند و یکسری آنالیز اولیه برای بررسی استاندارد بودن فرمت داده‌ها و درست بودن محتوا صورت می‌گیرد و پردازش رویداد هم انجام می‌گیرد که اگر وضعیت داده سلامت شهروند خارج از رنج طبیعی باشد اما بحرانی نباشد در مرحله سوم هشدار ابتدایی برای کاربر ارسال می‌گردد (مثلاً ضربان قلب و فشارخون شما در حال بالا رفتن است یا هوای اطراف شما بسیار آلوده است).

در مرحله چهارم بعد از گذشتن یک دوره مشخص زمانی از نحوه فعالیت‌ها و سبک زندگی هر شهروند و شرایط محیطی ایشان، داده‌های وضعیت سلامت شهروندان در طی مدت سپری‌شده از FEC/MEC به شبکه سلولار 5G منتقل خواهد شد.

در مرحله پنجم دیتاها به ابر و لایه اپلیکیشن که کادر پزشکی به آن دسترسی دارند ارسال می‌شود. در لایه اپلیکیشن داده‌ها بصری‌سازی شده و در رابط‌های کاربری تیم پزشکی نمایش داده خواهند شد. در ابر اطلاعات به صورت دائمی ذخیره شده و به صورت دوره‌ای روی داده‌ها، آنالیز جامع، پردازش کامل و گزارش‌های پیشرفته انجام می‌شود و اطلاعات مفید مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

[1] Availability
[2] Redundancy
[3] fault tolerance
[4] Reliability
[5] error correction
[6] Resiliency
[7] Scalability

در مرحله ششم درصورتی‌که سبک زندگی نامناسب کاربر یا شرایط محیطی ناسالم، ایشان را در معرض ابتلا به بیماری خاصی قرار دهد مجموعه اقدامات پیشگیرانه جامع برای تغییر سبک زندگی صحیح برای جلوگیری از ابتلا به بیماری به کاربران در معرض ابتلا به بیماری ارائه خواهد شد (مثلاً کاربر گرامی شما در معرض ابتلا به بیماری فشارخون قرار دارید برای جلوگیری از ابتلا دستورالعمل‌های ذیل را اعمال فرمایید یا کاربر گرامی با بیماری فشارخون شما در دوره گذشته ناپرهیزی از دستورالعمل‌ها داشته‌اید که به تشدید بیماری شما منجر گردیده است پس دستورالعمل‌های ذیل را اعمال فرمایید).

اگر در مرحله پردازش رویداد در شبکه غیرسلولار، علائم بیماری اورژانسی در فرد به وجود آید و داده خارج از رنج طبیعی باشد (مثلاً به ناگهان فشارخون کاربر افزایش چشمگیر پیدا کند) با تشخیص بحرانی بودن شرایط پیش‌آمده، اطلاعات بیمار را از شبکه غیرسلولار سریعاً به شبکه سلولار و ابر اصلی منتقل می‌کند تا تیم پزشکی مستقر در مرکز هشدار را مشاهده کنند و اقدامات فوری را لحاظ کنند و کادر درمان به محل اعزام گردند. درواقع همه این مراحل با سرعت بیشتری انجام می‌شود و منتظر سپری شدن دوره زمانی برای ارسال اطلاعات به ابر نمی‌ماند.

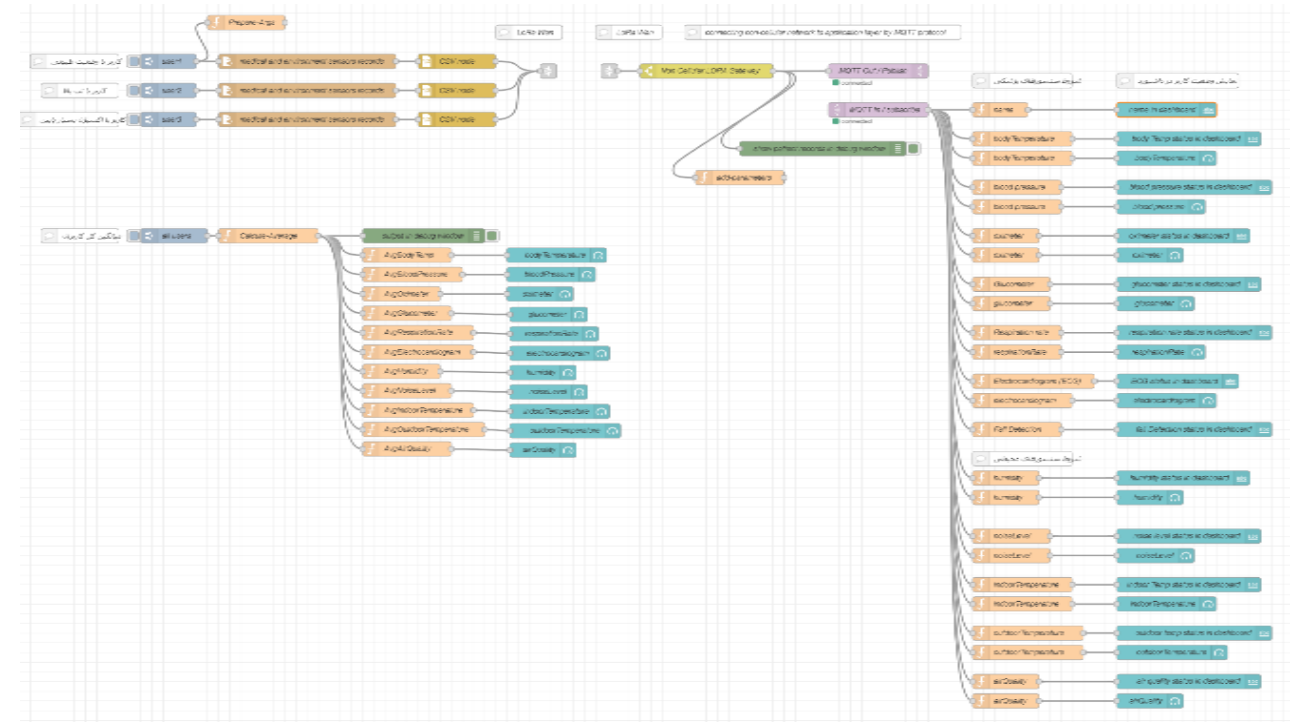
۶- پیاده‌سازی راهکار پیشنهادی در سکوی متن‌باز Node-RED

در شکل ۷ پیاده‌سازی سکوی زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیاء حوزه سلامت در پلتفرم متن‌باز Node-RED مبتنی بر Node.js و با زبان جاوا اسکریپت انجام‌شده است. نرم‌افزار Node-RED یک پلتفرم اپن‌سورس برای راه‌اندازی پروژه‌های اینترنت اشیاء می‌باشد. این نرم‌افزار توسط IBM طرحریزی و تولیدشده است. سکوی متن‌باز Node-RED بر روی Google's V8 engine و Node.js ساخته‌شده است. NPM نیز نقش مدیر پکیج‌های جاوا اسکریپت برای دانلود ماژول‌ها و تجمیع آن‌ها در مرورگر UI را دارد. UI یک ارائه بصری از خروجی جریان‌های کاری می‌باشد[۷]. برای اجرای این پلتفرم در برنامه CMD دستور node-red را وارد نمایید.

جدول ۲ داده‌های سلامت در نظر گرفته‌شده برای کاربران شامل: دمای بدن، فشارخون اکسیمتر، گلوکومتر، تعدادتنفس، الکتروکاردیوگرام، تشخیص سقوط، میزان رطوبت محیط، سطح نویز محیط، دمای داخل اتاق، دمای محیط بیرون، میزان کیفیت هوا را نشان می‌دهد.

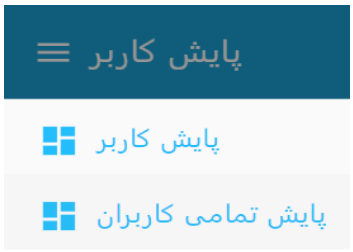
جدول ۲- داده‌های سلامت هر کاربر

name	bodyTemperature	bloodPressureSystolic	bloodPressureDiastolic	oximeter	glucometer	respirationRate	electrocardiogram	falDetection	humidity	noiseLevel	indoorTemperature	outdoorTemperature	airQuality
sara	36	113	70	93	91	12	60	no	45	40	20	15	50



شکل ۷-فلو پیاده‌سازی شده در محیط node-red

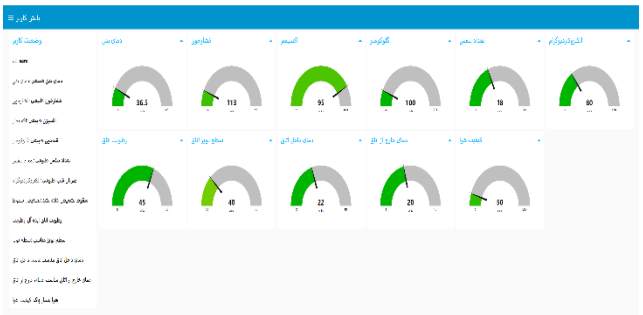
شکل ۸ تب‌های طراحی‌شده در داشبورد را نشان می‌دهد.



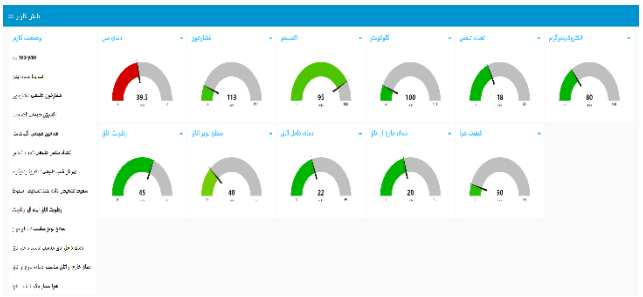
شکل ۸-تب‌های داشبورد تیم پزشکی

۶-۱- تب پایش کاربر

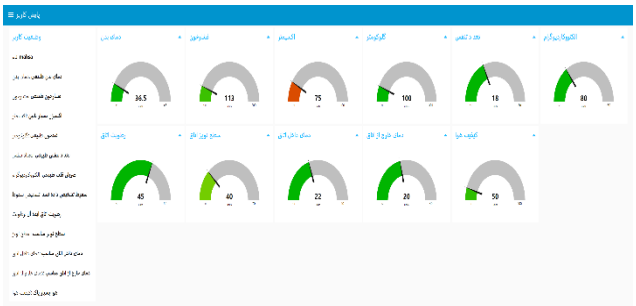
تب پایش کاربر وضعیت هر کاربر را به‌صورت مجزا در داشبورد نشان می‌دهد که درشکل ۹ الی شکل ۱۱ قابل‌مشاهده است.



شکل ۹-نمایش کاربر تحت پایش با پارامترهای کاملاً نرمال در داشبورد تیم پزشکی



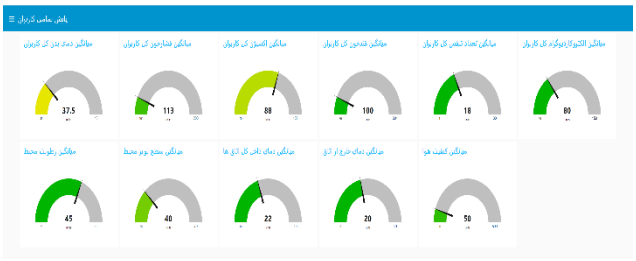
شکل ۱۰-نمایش کاربر تحت پایش با دمای بدن بالا در داشبورد تیم پزشکی



شکل ۱۱-نمایش کاربر تحت پایش با سطح اکسیژن خون پایین در داشبورد تیم پزشکی

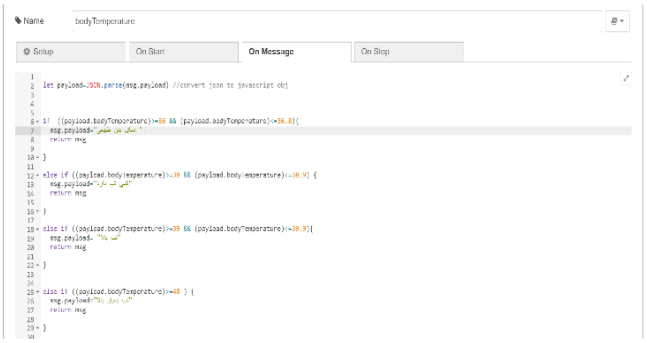
۶-۲- تب پایش تمامی کاربران

تب پایش تمامی کاربران که میانگین وضعیت حسگرهای پزشکی و محیطی برای تمامی کاربران حاضر در شبکه را نشان می‌دهد درشکل ۱۲ قابل‌مشاهده است.

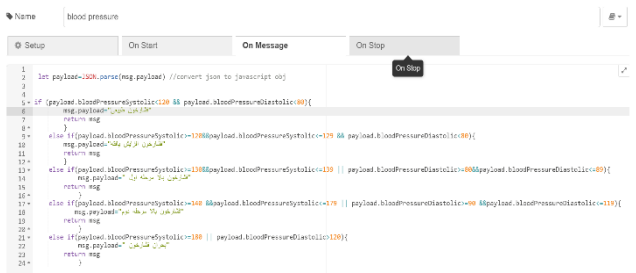


شکل ۱۲-نمایش میانگین وضعیت پزشکی و محیطی کل کاربران در داشبورد تیم پزشکی

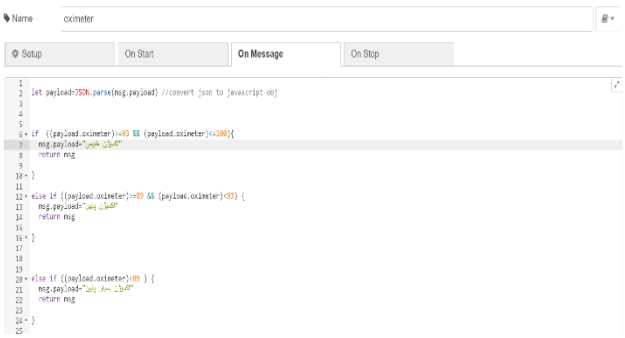
در **شکل ۱۳** الی **شکل ۲۴** توابع حسگرهای پیاده‌سازی شده قابل‌مشاهده می‌باشد.



شکل ۱۳-تابع بررسی دمای بدن بیمار

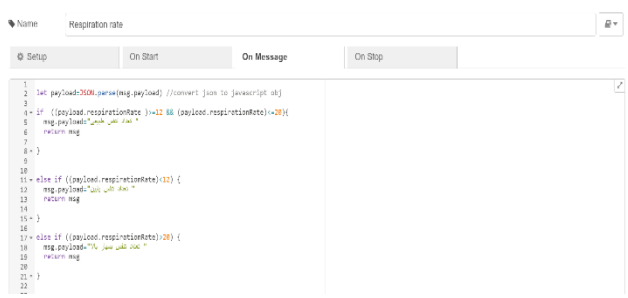


شکل ۱۴-تابع بررسی فشارخون بیمار

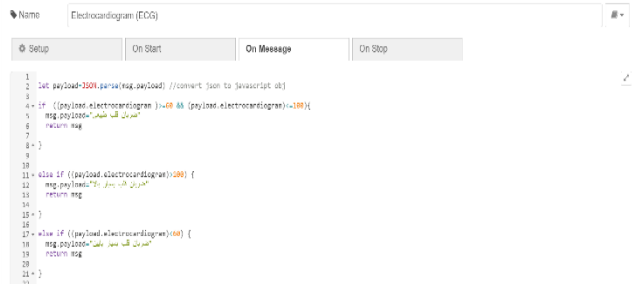


شکل ۱۵-تابع بررسی اکسیژن خون بیمار

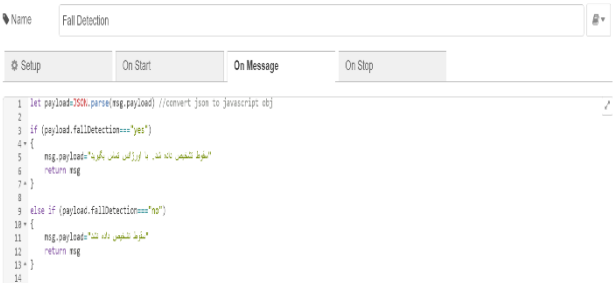
شکل ۱۶-تابع بررسی قند خون بیمار



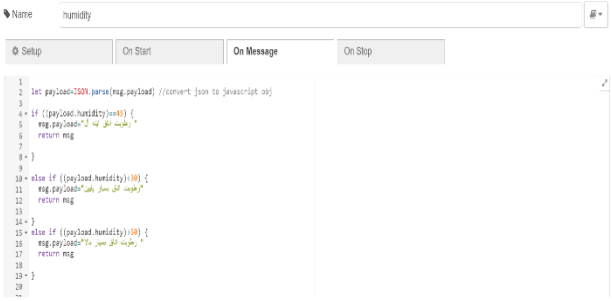
شکل ۱۷-تابع بررسی تعداد تنفس بیمار



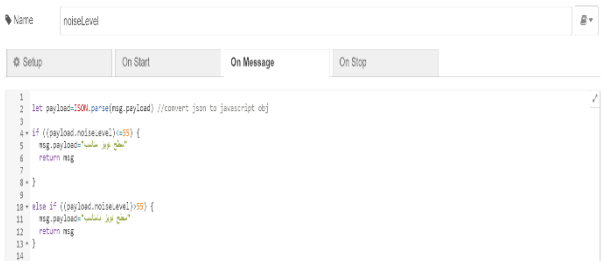
شکل ۱۸-تابع بررسی وضعیت قلب بیمار



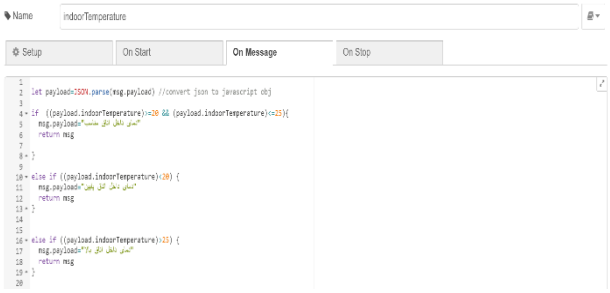
شکل ۱۹-تابع بررسی وضعیت سقوط بیمار



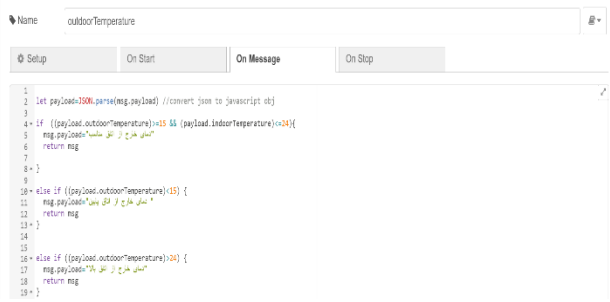
شکل ۲۰-تابع بررسی رطوبت محیط



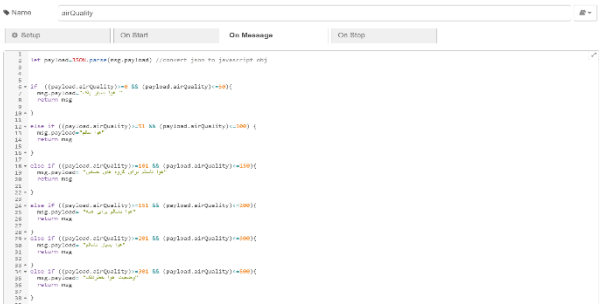
شکل ۲۱-تابع بررسی سطح نویز محیط اطراف



شکل ۲۲-تابع بررسی دمای داخل اتاق



شکل ۲۳-تابع بررسی دمای بیرون از اتاق



شکل ۲۴-تابع بررسی سطح کیفیت هوا از منظر میزان آلودگی

۷- ارزیابی

در این بخش به ارزیابی سکوی متن‌باز Node-RED و همچنین راهکار پیشنهادی پرداخته خواهد شد. ارزیابی سکو برای بررسی دلیل انتخاب سکوی Node-RED نسبت به سکوی Kaa خواهد بود.

۷-۱- مقایسه و ارزیابی سکوی متن‌باز Node-RED با سکوی Kaa

در مقاله[۷]، در ۳ سناریو مختلف، دو سکوی متن‌باز Kaa و Node-red را با یکدیگر مقایسه و ارزیابی کرده است. هر ۳ سناریو در این مقاله، بر روی ماشین مجازی با ۴ گیگابایت RAM اجرا شده است. خود ماشین مجازی بر روی سیستم‌عامل ویندوز ۱۰ با قدرت پردازشی core i7 و ۶ گیگابایت RAM مستقرشده است. نتایج یک ارزیابی مقدار میانگین زمان رفت و برگشت (RTT)[1] را برای سکوی متن‌باز Kaa و سکوی متن‌باز Node-RED جداول زیر در شرایط ارسال در فواصل زمانی متفاوت برای سناریو چت می‌باشد.

همان‌طور که نتایج جدول ۳ و جدول ۴ نشان می‌دهد، نتایج بهتر در میانگین زمان رفت و برگشت داده‌ها به نفع سکوی متن‌باز Node-RED می‌باشد.

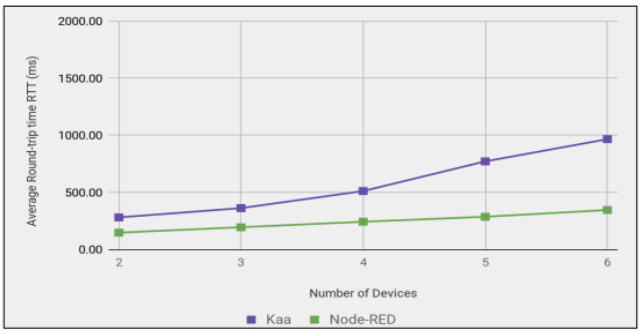
جدول ۳-نتایج Kaa از انتشار ۱۰ پیام با ۲ تا ۶ وسیله.[۷]

No of Devices	2	3	4	5	6
Average Round-Trip Time (ms)	279.40	361.00	510.10	770.10	964.60
STDdev	41.57	58.09	88.25	113.24	124.92

جدول ۴-نتایج Node-RED از انتشار ۱۰ پیام با ۲ تا ۶ وسیله [۷]

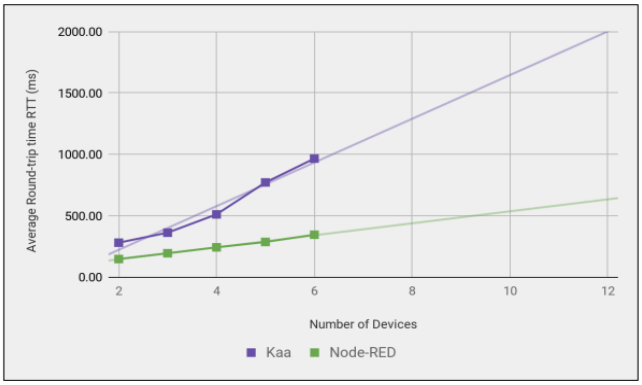
No of Devices	2	3	4	5	6
Average Round-Trip Time (ms)	146.20	193.50	241.50	285.20	344.30
STDdev	41.65	46.99	50.28	53.49	61.51

در سناریو چت مذکور در مقاله، میانگین زمان رفت و برگشت با ۱۰ پیام پشت سر هم برای ۲ تا ۶ گره پایانی برای هر دو سکوی متن‌باز بررسی‌شده است. نتایج میانگین زمان رفت و برگشت برای Kaa و Node-RED را مشاهده کنید. در این ارزیابی سکوی متن‌باز Node-RED عملکرد بهتری از خود نشان داده است. همچنین مقدار انحراف از معیار برای Node-RED به‌طور چشم‌گیری کمتر از همین مقدار برای Kaa می‌باشد که نشان‌دهنده پراکندگی کمتر زمان‌های رفت و برگشت برای Node-RED می‌باشد.



شکل ۲۵-میانگین RTT برای ۲ تا ۶ وسیله با Kaa و Node-RED [۷]

شکل ۲۵ نشان می‌دهد که سکوی Node-RED در میانگین زمان‌های رفت و برگشت به ازای تعداد ۲ تا ۶ دستگاه اندرویدی به‌مراتب بهتر از سکوی Kaa می‌باشد و این روند برای تعداد دستگاه‌های بیشتر همچنان ادامه می‌یابد.



شکل ۲۶-مقدار RTT از سناریو چت به همراه خط روند.[۷]

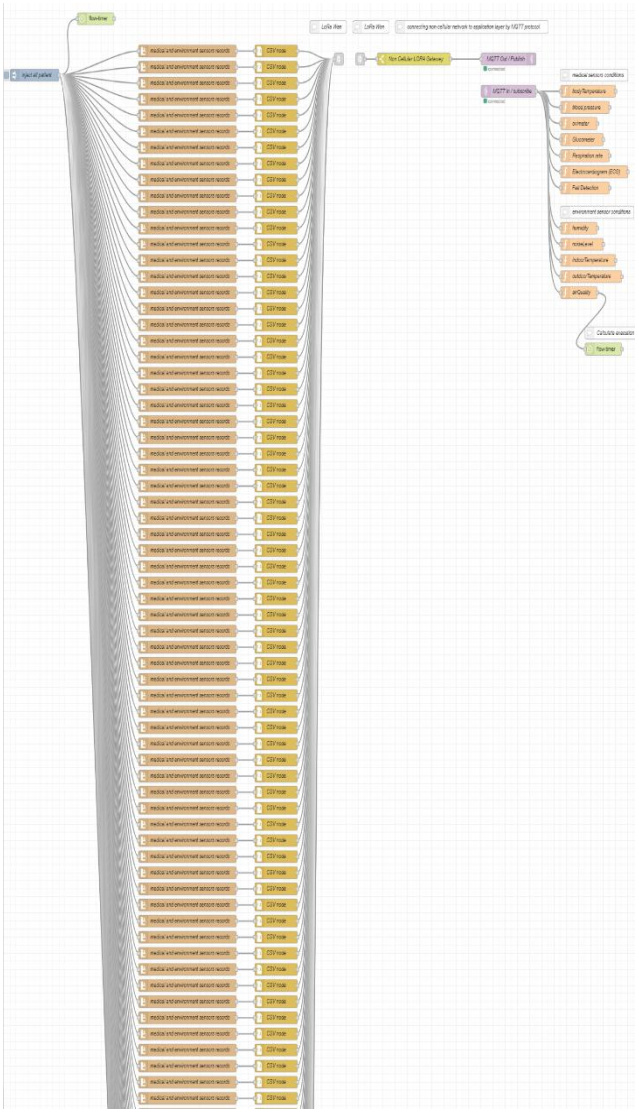
هدف از سناریو چت در شکل ۲۶، شبیه‌سازی چت برای تعداد متغیری از دستگاه‌های اندرویدی می‌باشد. باتوجه به شبیه‌سازی انجام‌شده در مقاله، مقیاس‌پذیری سکوی Kaa تا ۶ یا ۷ دستگاه اندرویدی بوده است درحالی‌که برای Node-RED مقیاس‌پذیری تا ۱۲ یا حتی تعداد بیشتری دستگاه اندرویدی می‌باشد. این مقیاس‌پذیری برای زمان RTT کمتر از ۱ ثانیه در نظر گرفته شده است؛ زیرا مقدار تأخیر ۱ ثانیه مقدار تأخیر نرمالی برای این حوزه می‌باشد و همچنین ازنظر کاربر قابل تحمل است.

[1] Round Trip Time

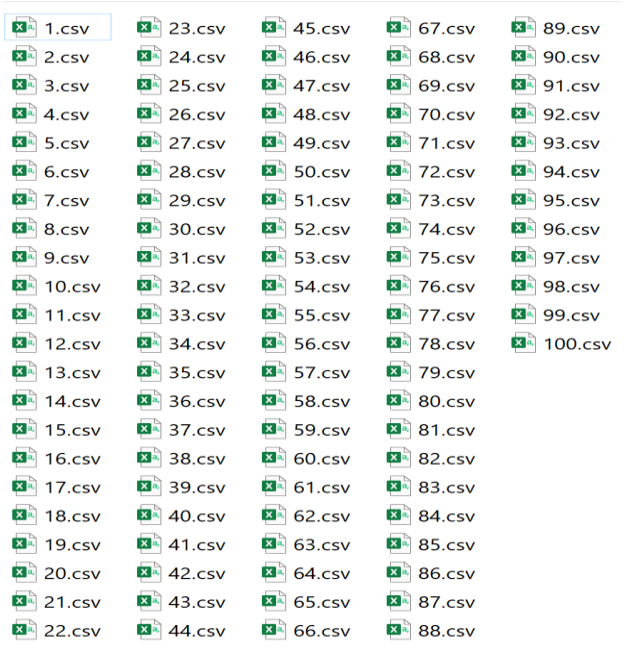
از منظر ارزیابی عملکردی و مقیاس‌پذیری این نتیجه حاصل شد که سکوی متن‌باز Node-RED نسبت به پلتفرم KAA ازنظر سرعت و سبک بودن بهتر است.

۷-۲- ارزیابی کارایی و مقیاس‌پذیری راهکار پیشنهادی

در شکل ۲۷ و شکل ۲۸ شرایطی شبیه‌سازی‌شده که تعداد بیماران ورودی بـه حد قابل‌توجهی افزایش پیداکرده تا معماری در مقیاس بزرگ‌تر هم مورد بررسـی واقع شـود. سـناریو طراحی شـده توسط نویسـندگان نشـان‌دهنده این اسـت که با افزایش تعداد نودهای بیماران در مقیاس بزرگ، کارایی (زمان اجرا) مناسـبی ارائه خواهد شد.



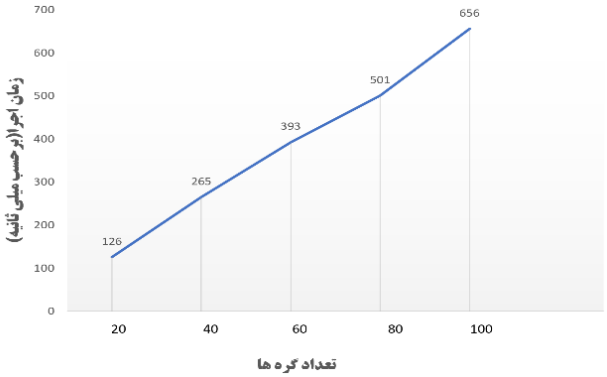
شکل ۲۷-افزایش تعداد گره‌های سکو به ۱۰۰ گره



شکل ۲۸-فایل‌های اطلاعات وضعیت سلامت ۱۰۰ گره

با اضافه کردن نود flow-timer زمان اجرا اندازه‌گیری شده و ارتباط اشـیا حوزه سـلامت بر اسـاس یک‌زمان معقول اتفاق می‌افتد. از لحظه‌ای که درخواسـت ارسال می‌شود تا لحظه‌ای که نتیجه‌گیری لازم صورت می‌گیرد، زمان معقول از نظر میلی‌ثانیه به وقوع خواهد پیوست.

زمـان اجرای تقریبی در واحد میلی‌ثانیه برای تعداد گره‌های پایانی متفاوت می‌باشـد. همان‌طور که منحنی شـکل ۲۹ نشـان می‌دهد، زمان اجرا تا ۱۰۰ گره زیر ۱ ثانیه است که عدد معقولی می‌باشد.



شکل ۲۹-زمان اجرا به ازای تعداد گره‌های پایانی

۷-۳- ارزیابی فناوری‌های راهکار پیشنهادی

راهکار فعلی، به دلیل اسـتفاده از فناوری 5G تمام مؤلفه‌های این شـبکه را پشـتیبانی می‌کند مانند کاهش تأخیر، افزایش کارایی، افزایش پهنای باند، کاهش مصـرف انرژی، قابلیت اطمینان، کاهش

استفاده از شبکه، افزایش کیفیت سرویس و افزایش توان عملیاتی. مؤلفه‌های مذکور با فناوری 5G ممزوج شده و به‌تبع استفاده از 5G تمامی آن‌ها نیز محقق خواهند شد. راهکار فعلی همچنین از فناوری رایانش ابری و FEC/MEC نیز پشتیبانی می‌کند.

در بخش بهبود راهکار فعلی، با اضافه کردن لایه حسگرهای پزشکی/محیطی و محرک‌ها، FEC/MEC Gateways، مستأجران و کاربران مستأجران، استفاده از شبکه غیرسلولار در کنار شبکه سلولار، معماری مبتنی بر SDN و NFV بهبود پیداکرده همچنین با اضافه کردن مؤلفه احراز هویت و کنترل دسترسی در لایه اپلیکیشن بحث امنیت لایه اپلیکیشن نیز بهبود داده شده و با دسته‌بندی انواع برش‌های شبکه و ارائه ویژگی‌های مفصل برای هر برش بحث قطعه‌بندی نیز بهبود یافته است.

۸- نتیجه‌گیری

در بخش اول معماری مفهومی پیشنهادی زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیاء حوزه سلامت در سطح اول و دوم، اجزا و مؤلفه‌های مختلف معماری، فناوری‌های هر بخش از معماری، پروتکل‌های انتخابی ارائه شد. در بخش دوم برش‌های نوین برای بهره‌گیری در زیست‌بوم فناوری اینترنت اشیا حوزه سلامت به همراه ویژگی‌های مختص هر برش از شبکه احصا گردید. در بخش سوم نمودار توالی معماری طبق سناریویی مشخص ارائه شد. در بخش چهارم پیاده‌سازی سکو از بطن معماری به نمایش گذاشته شد و در بخش پنجم ارزیابی کار ارائه گردید. در بخش مربوط به ارزیابی، برتری پلتفرم NODE-RED نسبت به پلتفرم KAA اثبات شد. از منظر ارزیابی عملکردی و مقیاس‌پذیری این نتیجه حاصل شد که سکوی متن‌باز Node-RED نسبت به پلتفرم KAA از نظر سرعت و سبک بودن بهتر است. همچنین ازنظر مقیاس‌پذیری نشان داد تعداد گره بالا را هم به‌راحتی پشتیبانی می‌کند. در ادامه راهکار پیشنهادی بر اساس معیارهای کارایی و مقیاس‌پذیری ارزیابی شد و نتیجه نشان‌دهنده مطلوب بودن راهکار مذکور بود زیرا زمان اجرا تا ۱۰۰ گره زیر ۱ ثانیه محاسبه گردید و نشان داد که سکوی مذکور می‌تواند در مقیاس بزرگ پیاده‌سازی و بکار گرفته شود و درعین‌حال کارایی مناسب خود را حفظ نماید.

می‌توان نتیجه گرفت که در راهکار پیشنهادی خطر خسارات جانی نابهنگام در شهروندان کاهش پیدا می‌کند به دلیل اینکه با پایش لحظه‌ای شهروندان بدون سابقه بیماری و شهروندان دارای سابقه بیماری تحت مراقبت در صورت وقوع موقعیت بحرانی با امدادرسانی به‌موقع از درصد تلفات جانی کاسته خواهد شد و نتیجه استفاده از این راهکار به نفع سازمان‌ها و نهاد های استفاده‌کننده خواهد بود.

مراجع

[1] A. Mukherjee, S. Ghosh, A. Behere, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "Internet of health things (IoHT) for personalized health care using integrated edge-fog-cloud network," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 12, pp. 943-959, 2021.

[2] E. Kapassa *et al.*, "An innovative ehealth system powered by 5G network slicing," in *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 2019: IEEE, pp. 7-12.

[3] P. H. Vilela, J. J. Rodrigues, P. Solic, K. Saleem, and V. Furtado, "Performance evaluation of a Fog-assisted IoT solution for e-Health applications," *Future Generation Computer Systems*, vol. 97, pp. 379-386, 2019.

[4] A. H. Celdrán, M. G. Pérez, F. J. G. Clemente, F. Ippoliti, and G. M. Pérez, "Dynamic network slicing management of multimedia scenarios for future remote healthcare," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 78, pp. 24707-24737, 2019.

[5] T. D. Mou and G. Srivastava, "Network Protocols for the Internet of Health Things," in *Intelligent Internet of Things for Healthcare and Industry*: Springer, 2022, pp. 21-66.

[6] S. Wijethilaka and M. Liyanage, "Survey on network slicing for Internet of Things realization in 5G networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 2, pp. 957-994, 2021.

[7] R. Scott and D. Östberg, "A comparative study of open-source IoT middleware platforms," ed, 2018.