Journal of Health and Biomedical Informatics 2025; 12(2): 132-158
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
Medical Informatics Research Center, Kerman University of Medical Sciences

Systematic review

Hierarchical Architectures and Service Analysis in Fog-Based Healthcare Systems: A Systematic Review

Reza Sookhtsaraei[1], Mehdi Sakhaei-nia[2*], Fereshteh-Azadi Parand[3]

1. Ph.D. Student, Department of Computer Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3. Faculty of Statistics, Mathematics and Computer Sciences, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO:

Article History:

Received: 5 Jul 2025

Accepted: 4 Sep 2025

Published: 22 Sep 2025

Corresponding Author:

Mehdi Sakhaei-nia

Email:

sakhaei@basu.ac.ir

Citation: Sookhtsaraei R, Sakhaei-nia M, Parand F-A. Hierarchical Architectures and Service Analysis in Fog-Based Healthcare Systems: A Systematic Review. Journal of Health and Biomedical Informatics 2025; 12(2): 132-58. [In Persian]

Abstract

Introduction: Introduction: Healthcare systems are increasingly reliant on computing models to improve the accessibility and quality of services. While cloud computing provides scalability, its inherent limitations—such as latency and bandwidth—negatively impact critical applications. Fog computing emerges as a transformative alternative, bringing processing and storage closer to the network edge. This systematic review evaluates fog computing within the context of healthcare services, addressing service classification, architectural requirements, and deployment challenges.

Method: We identified articles between 2018 and 2022 by searching six electronic databases, using keywords related to "Fog Computing" and "Healthcare." The inclusion criteria were full-text availability and relevance to the topic. Reviews, books, and unrelated studies were excluded. Ultimately, the included articles were analyzed to identify services, assess quality, examine architectures, and evaluate components along with their features, functional, and non-functional requirements.

Results: The search generated 3,519 studies, of which 125 studies were included. This study highlights the significance of computing models in healthcare systems based on two main factors: patient mobility and their distance from medical facilities, which necessitate mobile-remote services. These services typically involve remote patient monitoring, wherein vital signs are transmitted to healthcare centers for timely decision-making by care providers. Core functional requirements focus on data manipulation, including sharing and processing, while the main non-functional requirement is performance, with sensitivity to delay. Common architectural models include n-tier and layered structures, where each tier can be deployed independently based on specific needs. Key deployment challenges include limited resources at edge tiers and inadequate dynamic coordination among services.

Conclusion: Fog computing enhances healthcare services by reducing the limitations of cloud computing; however, challenges such as standardization and dynamic resource management persist. Future studies should focus on developing service-specific architectures, adaptive deployment strategies for mobile users, and precise event logging. This review highlights the necessity for customizable and verifiable solutions to provide real-time healthcare services, proposing context-aware architectures as a priority.

Keywords: Fog computing, Healthcare services, Quality of services, Functional requirements, Non-functional requirements

© 2025 The Author(s); Published by Kerman University of Medical Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cite

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]

[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

معماری‌های رایانشی سلسله مراتبی و تحلیل خدمات در سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مه: یک مرور ساختاریافته

رضا سوخت‌سرایی[۱]، مهدی سخائی نیا[۲]*، فرشته آزادی پرند[۳]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. دانشکده آمار، علوم ریاضی و رایانه، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

سابقه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۴/۱۴
پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۳
انتشار برخط: ۱۴۰۴/۶/۳۱

نویسنده مسئول:
مهدی سخایی نیا
ایمیل:
sakhaei@basu.ac.ir

ارجاع: سوخت‌سرایی رضا، سخائی نیا مهدی، پرند فرشته آزادی. معماری‌های رایانشی سلسله مراتبی و تحلیل خدمات در سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مه: یک مرور ساختاریافته. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۴۰۴؛ ۱۲(۲): ۵۸-۱۳۲.

چکیده

مقدمه: سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی برای بهبود دسترسی و کیفیت خدمات، بیشتر به مدل‌های رایانشی وابسته می‌شوند. اگرچه رایانش ابری مقیاس‌پذیری را فراهم می‌کند، اما محدودیت‌های ذاتی آن، مانند تأخیر و پهنای باند بر کاربردهای حیاتی تأثیر منفی می‌گذارد. رایانش مه خود را به عنوان یک جایگزین انقلابی معرفی می‌کند که پردازش و ذخیره‌سازی را به لبه شبکه می‌آورد. این مرور ساختاریافته، رایانش مه را در زمینه خدمات مراقبت‌های بهداشتی ارزیابی می‌کند و طبقه‌بندی خدمات، نیازهای معماری و مسائل مربوط به استقرار را پوشش می‌دهد.

روش کار: این مرور ساختاریافته، ۳۵۱۹ مقاله مرتبط با مراقبت‌های بهداشتی مبتنی بر رایانش مه را از پایگاه‌های IEEE، Springer، ACM، ScienceDirect، Taylor & Francis و Willey در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ با کلیدواژه‌های مرتبط با «Fog Computing» و «Healthcare» شناسایی کرد. معیارهای انتخاب شامل طول بیش از شش صفحه، دسترسی به متن کامل و ارتباط محتوایی بودند و مواردی مانند انواع مرور، کتاب و مقاله‌های نامرتبط حذف شدند. در نهایت، ۱۲۵ مقاله با هدف شناسایی خدمات، ارزیابی کیفیت، تحلیل معماری‌ها و استقرار اجزاء بررسی و ویژگی‌ها، نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی آن ها تحلیل شد.

یافته‌ها: این مطالعه نشان می‌دهد که اهمیت مدل‌های رایانشی در مراقبت‌های بهداشتی عمدتاً به تحرک بیماران و فاصله آن‌ها از مراکز درمانی برمی‌گردد، که نیاز به خدمات سیار و نظارت از راه دور را افزایش می‌دهد. در این خدمات، علائم حیاتی بیمار برای تصمیم‌گیری سریع به مراکز درمانی ارسال می‌شود. نیازهای عملکردی اصلی شامل اشتراک‌گذاری و پردازش داده‌ها و نیاز غیرعملکردی مهم، عملکرد حساس به تأخیر است. معماری‌های رایج مانند مدل‌های n- رده و لایه‌ای، با قابلیت استقرار مستقل طراحی شده‌اند. چالش‌ها شامل منابع محدود در لبه و ضعف در هماهنگی پویا بین خدمات است.

نتیجه‌گیری: رایانش مه با کاهش محدودیت‌های رایانش ابری، خدمات مراقبت بهداشتی را بهبود می‌دهد، اما چالش‌هایی مانند استانداردسازی و مدیریت پویای منابع پابرجا است. مطالعات آینده باید معماری‌های متناسب با نوع خدمات، استقرار تطبیقی برای کاربران سیار و ثبت وقایع دقیق را توسعه دهند. این بررسی بر لزوم راه‌حل‌های سفارشی و قابل‌تأیید برای ارائه خدمات بهداشتی بلادرنگ تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند معماری‌های آگاه از زمینه در اولویت قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: رایانش مه، سرویس‌های مراقبت بهداشتی، کیفیت سرویس، نیازمندی‌های عملکردی، نیازمندی‌های غیرعملکردی

مقدمه

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

افراد برای اهدافی مانند تشخیص، درمان، مدیریت بیماری یا بهبود آسیب، از خدمات مراقبت بهداشتی استفاده می‌کنند که این امر به آن‌ها امکان می‌دهد تا از وضعیت سلامت خود پیش‌آگاهی داشته باشند [۱]. ارتقای سلامت انسان و ارائه خدمات مراقبت بهداشتی باکیفیت و مقرون‌به‌صرفه، یکی از دغدغه‌های اصلی تمامی کشورها است [۲]. این مسئله نه‌تنها یک ضرورت اخلاقی و اجتماعی است، بلکه از عناصر اساسی توسعه پایدار و بلندمدت جوامع انسانی و اقتصادها نیز به شمار می‌رود. سلامت، نقشی کلیدی در ارتقای رفاه فردی ایفا می‌کند [۳]؛ کارگران سالم بازدهی بیشتری دارند و دانش‌آموزان سالم بهتر می‌آموزند. در بسیاری از کشورها، بخش سلامت یکی از مهم‌ترین و پویاترین حوزه‌هایی است که به رشد اقتصادی کمک می‌کند. با توجه به اینکه نیاز به خدمات سلامت همواره در حال تغییر است، می‌توان گفت این حوزه نیازمند سامانه‌ای پیچیده و کارآمد برای پاسخگویی به نیازهای افراد است [۴]. نظام سلامت، راه‌حلی است که در آن تمام خدمات مراقبت بهداشتی، از تأمین مالی گرفته تا نیروی انسانی، تجهیزات و امکانات، به گونه‌ای فراهم می‌شود که همه بتوانند با کمترین تلاش، به خدمات مراقبت بهداشتی با کیفیت دسترسی پیدا کنند.

امروزه مدیران مراقبت بهداشتی، پزشکان، پژوهشگران و سایر متخصصان این حوزه با فشار فزاینده‌ای از سوی بخش‌های دولتی و خصوصی روبه‌رو هستند. در حالی که هزینه‌های رو به افزایش مراقبت‌های بهداشتی، به‌طور قابل توجهی بر کیفیت زندگی افراد تأثیر می‌گذارد، رشد مداوم جمعیت و پدیده سالمندی نیز باعث افزایش تقاضا برای خدمات مراقبت بهداشتی شده و نیاز به راه‌حل‌های علمی نوین و پیشرفته را بیش از پیش ضروری کرده است. فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات، که با ظهور و موفقیت اینترنت هدایت شده‌اند، نقش چشمگیری در بهبود دسترسی، بهره‌وری، کیفیت و در نتیجه اثربخشی فرآیندهای مرتبط با مراقبت بهداشتی ایفا می‌کنند [۵]. با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، امکان ارائه خدمات مراقبتی از راه دور برای کاربران فراهم شده است. این نوع خدمات به‌ویژه در مراقبت‌های اولیه و پیشگیرانه، برای بیماران آسیب‌پذیر، سالمند و خانه‌نشین، بسیار امیدبخش هستند. همچنین، این خدمات می‌توانند به مدیریت مؤثرتر بیماری‌های مزمن، ارائه مداوم خدمات سلامت در مناطق دورافتاده و ایجاد ارتباط مؤثرتر میان بیماران و مراکز درمانی کمک کنند [۶].

استفاده از رایانش ابری در توسعه سیستم‌های مراقبت بهداشتی، بر پایه بهره‌گیری از خدمات مراقبتی مبتنی بر فناوری استوار است [۷]. فراتر از مقیاس‌پذیری و ذخیره‌سازی، سیستم‌های نوین مراقبت بهداشتی به طور فزاینده‌ای بر ویژگی‌هایی مانند همکاری، دسترسی‌پذیری، بهره‌وری و امنیت به فناوری رایانش ابری متکی هستند. رایانش ابری از طریق نرم‌افزار به عنوان سرویس، می‌تواند خدمات مراقبت بهداشتی را به‌صورت آنی در اختیار کاربران قرار دهد. با استفاده از زیرساخت به عنوان سرویس، ابزارهای پزشکی بر اساس نیازهای پردازشی و ذخیره‌سازی فراهم می‌شود و با بهره‌گیری از بستر به عنوان سرویس، محیطی امن برای توسعه خدمات مراقبت بهداشتی مبتنی بر وب ایجاد می‌گردد [۸].

اگرچه رایانش ابری از قدرت پردازشی بالا و ظرفیت ذخیره‌سازی قابل‌توجهی برخوردار است، اما در ارائه خدمات حیاتی مانند خدمات مراقبت بهداشتی با چالش‌هایی روبه‌رو است که نمونه‌ای از این چالش‌ها عبارت‌اند از: وابستگی زیاد به زیرساخت شبکه، زمان پاسخ‌دهی غیرقابل پیش‌بینی و محدودیت‌های پهنای باند [۹]. به‌منظور رفع این چالش‌ها، شرکت سیسکو، رایانش مه (Fog Computing) را معرفی کرد [۱۰]. رایانش مه همان‌طور که توسط Bonami و همکاران [۱۱] تعریف شده است، به صورت یک زیرساخت رایانشی غیرمتمرکز می‌باشد که رایانش ابری را تا لبه شبکه گسترش می‌دهد و فضای ذخیره‌سازی و پردازش را به منابع داده نزدیک‌تر می‌کند. این مدل رایانشی با نزدیک‌سازی منابع پردازشی و ذخیره‌سازی به کاربران نهایی، می‌تواند خدمات قابل اعتماد را با کارایی بالا ارائه دهد و محدودیت‌های رایانش ابری را برطرف سازد [۱۲]. به‌دلیل استقرار در نزدیکی کاربران، رایانش مه قادر است وظایف حساس به تأخیر را اجرا کرده، در عین حال مصرف انرژی و ترافیک شبکه را کاهش دهد [۱۳،۱۴]. معماری‌های مرجع مختلفی برای رایانش مه در تحقیقات اخیر ارائه شده است که اغلب شامل سه لایه است. این معماری‌ها با افزودن یک لایه بین دستگاه‌های پایانی و ابر، مزایایی همچون تأخیر کم، قابلیت اطمینان بالا، عملکرد بهتر و تحرک‌پذیری را فراهم می‌کنند. لایه‌های معماری رایانش مه برای کاربردهای مراقبت بهداشتی شامل لایه کاربر نهایی است که در آن، دستگاه‌های اینترنت اشیاء وظیفه جمع‌آوری و ارسال داده را به لایه‌های بالاتر دارند، لایه مه است که در لبه شبکه و معمولاً در مناطق پرجمعیت قرار می‌گیرد و قادر است داده‌ها را تحلیل، ذخیره موقت یا منتقل نماید و لایه ابر است که با منابع رایانشی قوی، تحلیل‌های پیچیده و ذخیره‌سازی‌های بلند مدت را انجام می‌دهد [۱۵].

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

معماری‌های رایانشی نوین در مراقبت‌های بهداشتی با وجود توانمندی‌های چشمگیر، با مجموعه‌ای از چالش‌های حیاتی روبه‌رو هستند که رفع آن‌ها برای تحقق کارایی و اثربخشی ضروری است. پاسخ بلادرنگ از مهم‌ترین الزامات در کاربردهای فوریتی است، چرا که هرگونه تأخیر می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد [۲۱-۱۶]. علاوه بر این، قابلیت مقیاس‌پذیری نقش کلیدی در پایداری عملکرد سیستم در شرایط اضطراری و افزایش ناگهانی تقاضا ایفا می‌کند [۱۸،۲۲]. چالش دیگر، بهره‌وری انرژی است که به دلیل اتکای سیستم به حسگرهای اینترنت اشیاء باتری‌محور در محیط‌های درمانی اهمیت دوچندان می‌یابد [۲۳،۲۴]. در کنار این موارد، حجم عظیم داده‌های تولیدی در این حوزه مستلزم راهکارهای کارآمد برای مدیریت داده‌های کلان است [۲۵]، در حالی که ملاحظات امنیتی و حفظ حریم خصوصی بیماران نیز باید تضمین شود [۲۸،۲۱-۲۶]. احراز هویت، کنترل دسترسی، حفظ حریم خصوصی، تمامیت داده، دسترس‌پذیری و ناشناسی از ویژگی‌های اصلی تأمین امنیت و حریم خصوصی در این سیستم‌ها است [۳۲-۲۹]. همچنین، کیفیت خدمات با توجه به حساسیت زمانی داده‌ها، مانند ضرورت انتقال سریع علائم حیاتی یا امکان تأخیر در دسترسی به سوابق درمانی، یک شاخص کلیدی محسوب می‌شود [۱۶،۳۳،۳۴]. از سوی دیگر، دستیابی به دسترس‌پذیری بالا برای جلوگیری از وقفه‌های حیاتی الزامی است [۳۵،۳۶]. علاوه بر این، هزینه‌های بالای نگهداری و ارتقاء سیستم‌ها که ذی‌نفعان مختلف را تحت فشار قرار می‌دهد [۳۷،۳۸] و نیاز به قابلیت اطمینان بالا در برابر خطاها و خرابی‌های ناشی از مقیاس بزرگ شبکه [۱۵] از چالش‌های اساسی محسوب می‌شوند. نهایتاً، پشتیبانی از تحرک‌پذیری بیماران و امکان پایش مستمر آن‌ها در شرایط و مکان‌های متنوع، یکی دیگر از الزامات مهم در طراحی زیرساخت‌های ارتباطی و شبکه‌های مراقبت بهداشتی است.

هدف از این پژوهش، بررسی سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مدل‌های رایانشی سلسله مراتبی با محوریت رایانش مه است. در این مطالعه سیستم‌ها از منظر خدمات ارائه‌شده مورد تحلیل قرار خواهند گرفت و طبقه‌بندی جامعی از خدمات مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه ارائه خواهد شد. همچنین، سؤالات پژوهش براساس چارچوب سازگار شده (Population, Comparison, Outcome, Context) PICOC با مهندسی نرم‌افزار [۳۹] طراحی شده‌اند تا تحلیل جامعی از معماری‌های رایانشی سلسله‌مراتبی و خدمات مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه در حوزه‌های مختلف ارائه شود.

روش کار

این پژوهش، یک مرور ساختاریافته بر اساس روش ارائه‌شده توسط Keele و همکاران [۳۹] انجام شده است. در مرحله نخست، اهداف تحقیق مطرح می‌شود که از مهم‌ترین آن ها می‌توان به شناسایی و دسته‌بندی خدمات ارائه شده مراقبت بهداشتی مبتنی بر مه و بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن خدمات اشاره نمود. سپس در مرحله بعدی فرآیند جستجو به منظور انتخاب مقالات تعیین می گردد. برای انتخاب مجموعه مقالات مورد نظر، ابتدا بر اساس جدول ۱، کلیدواژه‌ها انتخاب شدند. سپس، رشته‌های جستجو مربوط به هر پایگاه داده با توجه به این کلیدواژه‌ها تدوین شدند. همه جستجوها در بازه زمانی از ابتدای سال ۲۰۱۸ تا آوریل ۲۰۲۲ انجام گرفت. در جدول ۲، رشته جستجوی مناسب برای هر پایگاه داده ارائه شده است. در پایگاه داده Science Direct، به دلیل محدودیت در تعداد پارامترهای جست‌وجو، رشته‌ی مورد نظر به دو زیررشته تقسیم شد و نتایج حاصل از هر دو زیررشته در نهایت با یکدیگر ترکیب شدند. ابتدا تمامی مقالات در نرم افزار مدیریت منابع Endnote نسخه ۲۱ وارد شدند. در مرحله‌بعد، مقالات با ویژگی‌های زیر از بررسی خارج شدند:

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

جدول ۱: کلمات کلیدی برای جستجوی مقالات

OR		OR
Fog Computing		Healthcare Health IoT Smart Health Medical IoT IoMT eHealth e-Health mHealth IoT Medicine Health Telemedicine Hospital Patient Disease
Edge Computing	**AND**	

- مقالاتی که حداکثر شش صفحه داشتند.
- کتاب‌ها یا فصل‌هایی از کتاب.
- مرورها
- بررسی‌ها
- مقالاتی که کلیدواژه‌ها را در عنوان یا چکیده داشتند اما به موضوع مورد بررسی مرتبط نبودند.
- مقالاتی که متن کامل آن‌ها برای مطالعه در دسترس نبود.

مرحله بعدی تعیین معیارهای ارزیابی کیفیت برای مقالات انتخابی است. در مجموع، ۲۶۱ مقاله از مرحله قبلی عبور کردند. این مقالات توسط نویسندگان مورد بررسی قرار گرفتند و تنها مقالاتی با کیفیت رضایت‌بخش انتخاب شدند. معیارهای ارزیابی کیفیت برای انتخاب نهایی مقالات مورد بررسی در این پژوهش شامل موارد زیر است:

- آیا اهداف تحقیق، به صورت کامل یا جزئی، به وضوح در مقاله ذکر شده‌اند؟
- آیا مقاله ساختار مناسبی دارد؟
- آیا مقاله اطلاعات پیش زمینه‌ی کافی ارائه می‌دهد؟
- آیا موضوع سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه و خدمات ارائه‌شده به‌روشنی بیان شده است؟
- آیا چالش‌های توسعه سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه در مقاله بحث شده‌اند؟
- آیا نتایج و خلاصه روش‌ها به شکل قابل فهم بیان شده‌اند؟

معیارهای ارزیابی کیفیت بر مبنای مرور نظام‌مند مطالعات پیشین [۹،۴۰] و تجربه عملی نویسندگان در حوزه رایانش مه و معماری‌های رایانشی پس از بحث و تبادل نظر تدوین شد. فهرست اولیه معیارها از مقالات مروری معتبر استخراج و سپس در جلسات هم‌اندیشی نویسندگان موردبازبینی قرار گرفت و نهایی شد. مقالات باقیمانده ابتدا براساس عنوان و چکیده و سپس متن کامل توسط دو محقق بررسی شده و در صورت وجود اختلاف نظر، از محقق سوم درخواست شد.

نتایج

جستجوی پایگاه داده‌های IEEE Xplore، SpringerLink، ACM Digital Library، Scencedirect، Taylor & Francis Online و Wiley Online Library همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است در مجموع منجر به یافتن ۳۵۱۹ مقاله شد که پس از فرآیند شناسایی، غربالگری و انتخاب مقالات براساس معیارهای کیفیت، ۱۲۵ مقاله به عنوان مقالات نهایی این پـژوهش انتخاب

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

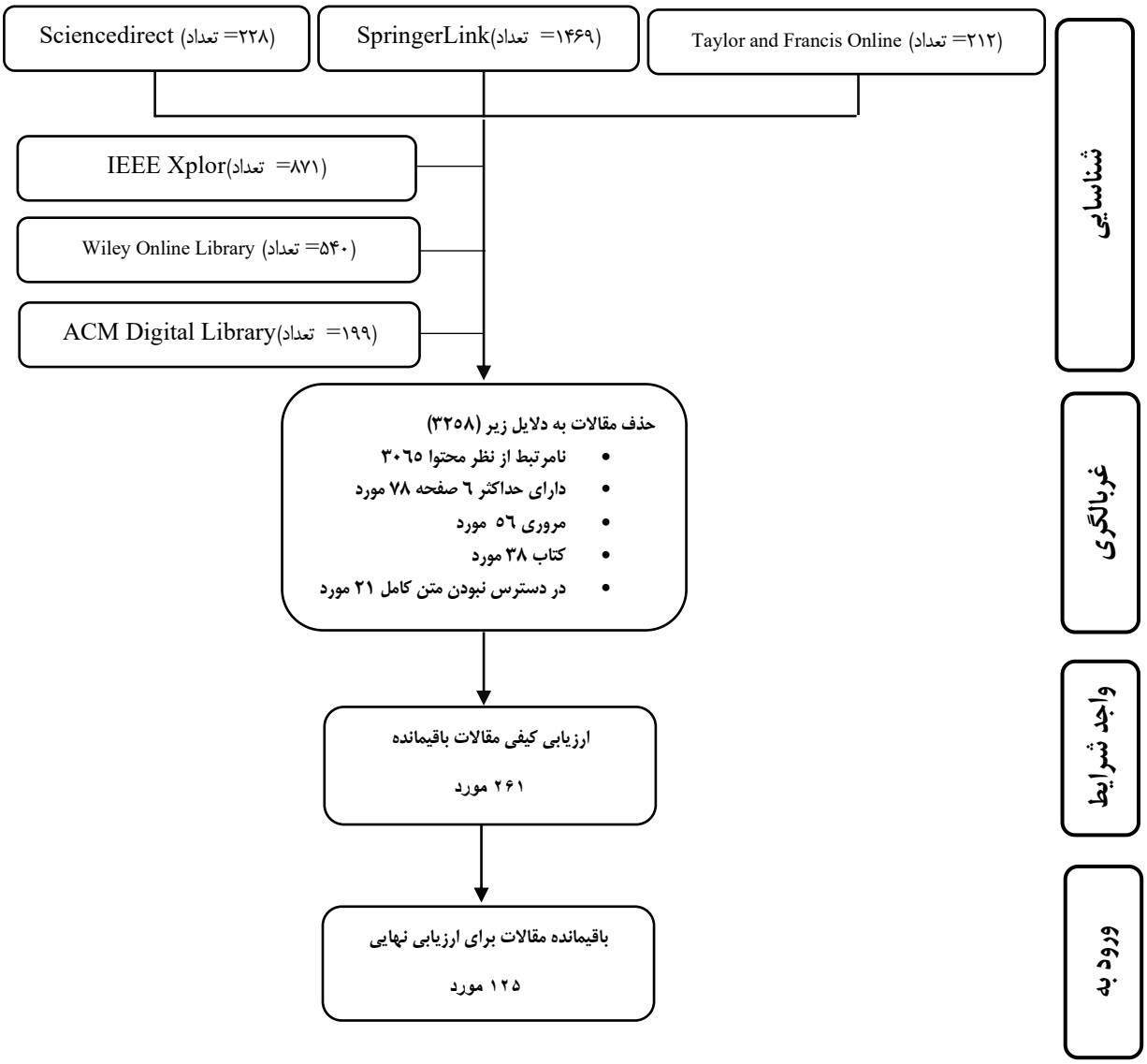
شدند. فرآیند ارزیابی و انتخاب مقالات در شکل ۱ نشان داده شده است. ۸۴٪ مقالات نهایی از مجلات بودند و ۱۶٪ باقیمانده را مقالات کنفرانسی تشکیل می دادند.

جدول ۲: پایگاه داده‌های موردنظر و تعداد مقالات انتخاب شده از هریک براساس رشته جستجوی تعیین شده

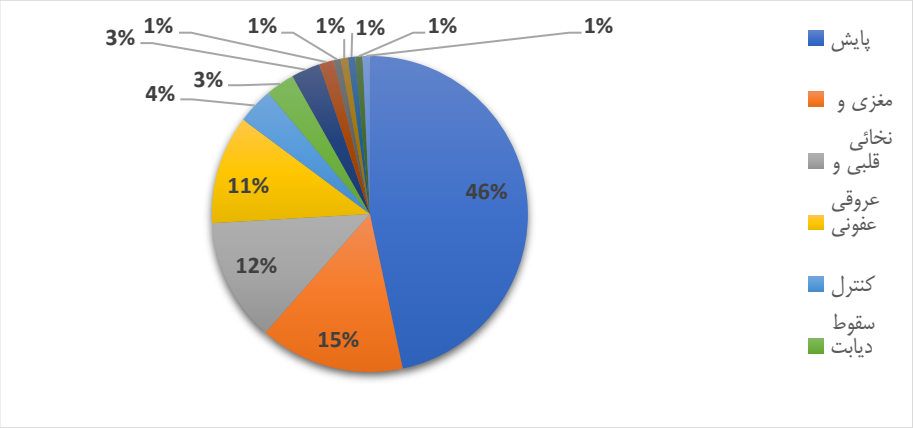
Database	Search String	#Papers
IEEE Xplore	("Fog Computing" OR "Fog-assisted" OR "Edge Computing") AND ("Healthcare" OR "Health IoT" OR "Smart Health" OR "Medical IoT" OR "IoMT" OR "eHealth" OR "e-Health" OR "mHealth" OR "mHealth" OR "IoT Medicine" OR "Health" OR "Telemedicine" OR "Hospital" OR "Patient" OR "Disease")	871
SpringerLink	(Fog Computing OR Edge Computing) AND (Healthcare OR Health IoT OR Smart Health OR Medical IoT OR IoMT OR eHealth OR e-Health OR mHealth OR mHealth OR IoT Medicine OR Health OR Telemedicine OR Hospital OR Patient OR Disease)	1469
ACM Digital Library	Title:((Fog Computing OR Edge Computing) AND (Healthcare OR Health IoT OR Smart Health OR Medical IoT OR IoMT OR eHealth OR e-Health OR mHealth OR mHealth OR IoT Medicine OR Health OR Telemedicine OR Hospital OR Patient OR Disease)) OR Abstract:((Fog Computing OR Edge Computing) AND (Healthcare OR Health IoT OR Smart Health OR Medical IoT OR IoMT OR eHealth OR e-Health OR mHealth OR mHealth OR IoT Medicine OR Health OR Telemedicine OR Hospital OR Patient OR Disease))	199
Sciencedirect	**Query1:** (“Fog Computing” OR “Edge Computing”) AND ("Telemedicine" OR "Hospital" OR "Patient" OR "Disease" OR "Healthcare" OR "Health" OR "Medical IoT") **Query2:** (“Fog Computing” OR “Edge Computing”) AND ("IoMT" OR "eHealth" OR "mHealth" OR "Medicine")	228
Taylor and Francis Online	(Fog Computing OR Edge Computing) AND (Healthcare OR Health IoT OR Smart Health OR Medical IoT OR IoMT OR eHealth OR e-Health OR mHealth OR mHealth OR IoT Medicine OR Health OR Telemedicine OR Hospital OR Patient OR Disease)	212
Wiley Online Library	(Fog Computing OR Edge Computing) AND (Healthcare OR Health IoT OR Smart Health OR Medical IoT OR IoMT OR eHealth OR e-Health OR mHealth OR mHealth OR IoT Medicine OR Health OR Telemedicine OR Hospital OR Patient OR Disease)	540

جدول ۳ مقالات مرتبط با حوزه‌های مختلف خدمات درمانی و مراقبتی مبتنی بر مه را نشان می‌دهد. از بین مقالات بررسی‌شده، ۴۶٪ به‌طور کلی به پایش سلامت اشاره دارند و ۵۴٪ نیز به‌طور خاص بر یک بیماری مشخص تمرکز کرده‌اند. شکل ۲ توزیع دسته‌بندی‌شده این خدمات را به تصویر می‌کشد. خدمات مرتبط با بیماری‌های عصبی و نخاعی (شامل اختلالات روانی جهت طبقه‌بندی دقیق‌تر) ۱۵٪ از مقالات را شامل می‌شوند. بیماری‌های قلبی-عروقی ۱۲٪ و بیماری‌های عفونی ۱۱٪ را به خود اختصاص داده‌اند. پیشگیری از سقوط و سایر خدمات نیز تنها در تعداد کمی از مقالات مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]



شکل ۱: نمودار جریان ارزیابی مقالات



شکل ۲: توزیع تعداد خدمات ارائه شده به بیمار براساس مدل‌های رایانشی لبه/مه

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

جدول ۳: دسته‌بندی خدمات ارائه شده مراقبت بهداشتی مبتنی بر مه به بیماران و تعداد مقالات منتشر شده از هر نوع در بازه زمانی موردنظر

بیماری	مقالات	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲
پایش	[۴۱-۱۰۲ ،۱۹،۲۱]	۱۰	۱۵	۱۹	۱۶	۴
مغزی و نخاعی	[۱۰۳-۱۱۸،۵۴،۷۴،۸۳،۱۰۱]	-	۳	۷	۵	۳
قلبی و عروقی	[۱۱۹-۱۲۹،۵۶،۷۹،۸۱،۹۳،۱۰۵]	–	۳	۶	۴	۲
عفونی	[۱۳۰-۱۳۶،۱۰،۷۷،۷۹،۸۳،۹۳،۱۱۵]	-	۱	۵	۵	۲
کنترل سقوط	[۱۳۷-۱۴۰ ،۱۲۳]	-	-	۴	۱	-
دیابت	[۵۶،۸۱،۱۴۱،۱۴۲]	۱	۱	۲	-	-
بلایای طبیعی	[۱۴۳-۱۴۶]	-	۲	-	-	۲
گوارش	[۱۰۵،۱۴۷]	-	۱	-	-	۱
چشم	[۱۰۳]	-	۱	-	-	-
پاتولوژی	[۱۴۵]	-	-	۱	-	-
آرتروز	[۱۴۸]	-	-	۱	-	-
ریه	[۱۴۹]	-	-	-	۱	-
بارداری	[۱۵۰]	-	۱	-	-	-

سازمان‌های استاندارد، کاربردهای فعلی خدمات مراقبت بهداشتی را با در نظر گرفتن محل تجهیزات و فاصله بین گروه درمان و بیمار، به چهار دسته تقسیم کرده‌اند که عبارت‌اند از ثابت-محلی (Static-Local)، متحرک-محلی (Mobile-Local)، ثابت-راه دور (Static-Remote) و متحرک-راه دور (Mobile-Remote). دو دسته اول (محلی) به مواردی اشاره دارند که بیمار، تجهیزات و کارکنان درمانی در یک مکان قرار دارند مانند جراحی با کمک واقعیت افزوده، جراحی رباتیک و پایش قلبی درون بیمارستان. روش‌های راه‌دور به حالاتی اطلاق می‌شود که افراد، تجهیزات و بیماران در مکان‌های مختلفی قرار دارند، مانند مراقبت‌های اورژانسی در آمبولانس، جراحی از راه دور، مداخلات تخصصی مبتنی بر موبایل و پایش بیماران در حال حرکت. در این میان، روش‌های ثابت مربوط به زمانی است که تجهیزات پزشکی جابه‌جا نمی‌شوند (مانند جراحی رباتیک)، و روش‌های متحرک به تجهیزاتی اشاره دارد که مکان آن‌ها تغییر می‌کند (مثلاً دستگاه‌های پوشیدنی برای پایش قلب داخل یا خارج بیمارستان). از میان مقالات نهایی، ۷۴٪ خدمات در دسته متحرک-راه‌دور قرار دارند، خدمات متحرک-محلی با ۱۹٪ در رتبه دوم قرار می‌گیرند، خدمات ثابت چه محلی و چه راه‌دور، در مجموع ۷٪ از پژوهش‌ها را تشکیل می‌دهند. این گرایش به سمت خدمات راه‌دور و متحرک، با ماهیت ذاتی مدل رایانش سیار سازگار است. در مقالاتی که خدمات ثابت ارائه داده‌اند، یا به دلیل ناتوانی حرکتی بیماران بوده یا نبود تجهیزات متحرک پزشکی. همچنین، علل محلی بودن خدمات در برخی مقالات شامل هزینه بالای تجهیزات پزشکی، عدم توان مالی بیماران، سنگینی دستگاه‌ها و قرارگیری تجهیزات در مراکز درمانی ذکر شده است.

با توجه به اهمیت خدمات مراقبت بهداشتی از راه دور در مدل‌های رایانشی، این خدمات به سه دسته ویزیت از راه دور (Telemedicine)، پایش از راه دور (Remote Monitoring) و تشخیص، درمان و کنترل از راه دور (Remote Diagnosis, Treatment, and Control) تقسیم می‌شوند [۱۵۱]. برای این دسته‌بندی، تنها مقالاتی انتخاب شدند که خدمات راه‌دور ارائه داده‌اند. مقالاتی که نیاز به فرآیند درمانی مستمر دارند، در دسته درمان از راه دور قرار گرفتند. مقالاتی که جمع‌آوری داده‌های پزشکی را مدنظر داشتند، در دسته پایش از راه دور طبقه‌بندی شدند. مقالاتی که ابتدا بر اساس داده‌های دریافت‌شده اقدام به تشخیص کرده و سپس با ارسال پیام یا کنترل تجهیزات پزشکی اقدام به درمان و کنترل کرده‌اند، در گروه تشخیص، درمان و کنترل از راه دور جای گرفتند. بر این اساس ۷۱٪ از مقالات، خدمات پایش از راه دور را ارائه داده‌اند. ۱۹٪ در گروه تشخیص، درمان و کنترل از راه دور قرار گرفتند. ۱۰٪ مربوط به درمان از راه دور بودند. نکته قابل توجه آن‌که اغلب مقالات مرتبط با تشخیص، درمان و کنترل از راه دور، تمرکز خود را بر کنترل بیماری‌های عفونی، مدیریت بحران‌ها و کمک به افراد دارای ناتوانی جسمی گذاشته‌اند. در حالی که بسیاری از افراد به دلیل زندگی در مناطق دورافتاده و شرایط مالی ضعیف به خدمات درمانی دسترسی ندارند، تحقیقات نسبتاً کمتری به درمان از راه دور اختصاص یافته است. این موضوع در مقابل گروه تشخیص، درمان و کنترل از راه دور قرار دارد که تقریباً دو برابر آن مورد پژوهش قرار گرفته است. این اختلاف احتمالاً به دلیل شرایط خاصی مانند

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

همه‌گیری کووید ۱۹ است که باعث شده ارائه‌دهندگان خدمات هنوز آمادگی پذیرش کامل درمان از راه دور را نداشته باشند. همچنین، ابهام در شناسایی مقصر در خطاهای پزشکی در خدمات مبتنی بر فناوری و مشکلاتی مانند تأخیر شبکه، می‌تواند از دیگر دلایل این شکاف باشد. به منظور ارائه خدمات مراقبت بهداشتی، این سیستم‌ها باید ارتباطاتی را میان بیماران و گروه درمانی برقرار کرده و مدیریت کنند. این ارتباطات بر اساس سناریوهای گوناگونی شکل می‌گیرند. برای اطمینان از کیفیت این سناریوها، چالش‌های مرتبط با برآورده‌سازی نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی (ویژگی‌های کیفی) سیستم‌ها باید شناسایی و تا حد امکان برطرف شوند. جدول ۴ نیازمندی‌های عملکردی را در مقالات منتخب نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، جمع‌آوری داده، به‌اشتراک‌گذاری داده و پردازش داده‌ها، به عنوان نیازمندی های عملکردی اصلی سیستم‌های مراقبت بهداشتی در تمام مقالات بررسی شده‌اند.

جدول ٤: نیازمندی‌های عملکردی مراقبت‌های بهداشتی مبتنی به لبه/مه

نیازمندی‌های عملکردی	مقالات
جمع‌آوری داده	همه مقالات انتخابی
به اشتراک‌گذاری داده	همه مقالات انتخابی
پردازش داده	همه مقالات انتخابی
تولید هشدار	[۱۵۴-۱۳۹،۱۵۲ ،۱۳۶،۱۴۶،۱۴۵،۱۴۳،۱۳۳،۱۳۲،۱۳۰،۱۱۶،۱۰۷،۹۴،۸۵،۷۸،۷۷،۷۳،۶۴،۶۱،۵۶،۵۴،۵۱،۵۰،۴۳]
نمایش داده	[۱۴۶،۱۴۴،۱۴۱،۱۴۲،۱۴۱،۱۳۴،۱۳۲،۱۲۷،۱۲۴،۱۲۰،۱۱۴،۱۰۶،۱۰۱،۸۸،۸۳،۷۹،۷۶،۷۴،۷۲،۷۰،۵۹،۵۸،۵۰،۴۸،۴۵ ،۱۳۹-۱۳۷]
کنترل اشیاء	[۱۵۵،۱۱۵،۱۰۹]

اولین نیازمندی عملکردی سیستم‌های مراقبت بهداشتی، جمع‌آوری داده است. داده‌های موردنیاز مراقبت بهداشتی توسط دستگاه‌های پزشکی مجهز به حسگرهای مختلف در اطراف بیمار جمع‌آوری می‌شوند. حسگرهای متنوعی مانند حسگرهای مبتنی بر موقعیت مکانی [۱۴۳]، پوشیدنی [۱۴۸]، غیرتهاجمی [۱۲] و ویدئویی [۱۰۳] در این حوزه استفاده می‌شوند. در استفاده از این حسگرها، علاوه بر چالش‌های مرتبط با پذیرش و استفاده از سوی بیماران، چالش‌های دیگری نیز در پژوهش‌ها مطرح شده‌اند. برای مثال، مطالعه Rahman و همکاران [۱۰۵] معماری سه‌لایه‌ای برای سیستم پایش سلامت ارائه شده که با استفاده از رایانش مه تأخیر را کاهش داده و وابستگی به شبکه را کم می‌کند. این سیستم دارای ماژولی برای جمع‌آوری داده از حسگرها و نمایش اطلاعات است و به‌گونه‌ای طراحی شده است که بار بر روی گره‌های مه متوازن باشد و تأخیر محاسباتی را کاهش دهد. Sood و همکاران [۱۳۶] نیز سیستمی مبتنی بر رایانش ابر-مه-اشیاء برای کنترل بیماری‌های عفونی پیشنهاد کرده‌اند که داده‌های دریافتی از لایه ادراکی (مشتمل بر حسگرهای مختلف) پس از همزمان‌سازی زمانی، برای طبقه‌بندی به مه ارسال می‌شوند. Lin و همکاران [۱۲۲]، به‌منظور حفظ امنیت داده‌های قلبی بیماران، از فناوری بلاک‌چین استفاده کرده‌اند که در آن، داده‌ها به اجزای جداگانه تقسیم و طوری به رایانش ابری ارسال می‌شوند که از هر جزء، داده معنادار قابل استنتاج نباشد. Muhammed و همکاران [۴۶] نیز، چارچوبی جامع برای مدیریت داده‌های حجیم در شهرهای هوشمند ارائه کرده‌اند. این چارچوب با استفاده از مدل‌های رایانشی با کارایی بالا، اینترنت اشیاء و یادگیری عمیق، کیفیت خدمات را ارتقاء می‌دهد و ترافیک شبکه را بر اساس نوع ترافیک با کمک یادگیری ماشین دسته‌بندی می‌کند. جمع‌آوری داده‌های ضروری در خدمات مراقبت بهداشتی امری حیاتی است. جمع‌آوری داده‌های غیرضروری باعث افزایش زمان، هزینه و پیچیدگی روند درمان می‌شود و در مقابل، چشم‌پوشی از داده‌های مهم می‌تواند ارزش داده و نتایج تحلیل درمان را تحت تأثیر قرار دهد.

دومین نیازمندی عملکردی سیستم‌های مراقبت بهداشتی، به اشتراک‌گذاری داده‌ها می‌باشد. عدم به‌اشتراک‌گذاری داده‌های پزشکی باعث نقصان در تصمیم‌گیری و اتخاذ راهبردهای مناسب درمان می‌شود. چالش‌های این بخش در معماری‌های مبتنی بر مه/لبه شامل امنیت، تعامل‌پذیری، جای‌گذاری داده، کش‌کردن داده و تخلیه داده است. برای نمونه، Celdran و همکاران [۴۴] یک معماری مبتنی بر رایانش لبه با استفاده از مجازی‌سازی شبکه و شبکه‌های نرم‌افزارمحور برای مراقبت‌های بهداشتی ارائه دادند که در آن از پروتکل‌های امنیتی و تأیید هویت در زمان واقعی برای به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها استفاده می‌شود. Wang و همکاران [۸۲]، یک معماری تشخیص شرایط اضطراری ارائه کرده‌اند که از الگوریتم‌های رمزگذاری و رمزگشایی در مسیر ارسال داده از دستگاه پزشکی به لبه بهره می‌برد. Sigwele و همکاران

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[۴۵]، یک چارچوب مفهومی معنایی برای تبادل داده میان سیستم‌های اینترنت اشیای مبتنی بر مراقبت‌های بهداشتی مطرح نمودند و این چارچوب از یک درگاه معنایی هوشمند بهره می‌برد که داده‌ها را از طریق اپلیکیشن تحت وب و بر پایه Rest API در اختیار کاربران قرار می‌دهد. Chen و همکاران [۴۸]، یک سیستم مراقبت بهداشتی هوشمند مبتنی بر لبه که مجهز به مؤلفه‌ای به نام موتور شناخت منابع می‌باشد، برای انتخاب محل مناسب داده‌ها طراحی نمودند. Nguyen و همکاران [۱۱۲]، معماری توزیع‌شده‌ای برای شبکه‌های مراقبت بهداشتی معرفی کرده‌اند که در آن، دستگاه‌های همراه در صورت نیاز می‌توانند داده‌ها را به سرویس دهنده لبه منتقل کنند. Poonia و همکاران [۲۱] نیز چارچوبی برای پایش کووید-۱۹ با یک مؤلفه به نام Dew روی مه ارائه کردند که در صورت قطع ارتباط مه با ابر، خدمات مراقبت بهداشتی را با استفاده از داده‌های ذخیره‌شده در مؤلفه موردنظر ادامه می‌دهد و عملاً زمان قطع سرویس را به صفر می‌رساند.

سومین نیازمندی عملکردی مطرح در سیستم‌های مراقبت بهداشتی، پردازش داده است. بعد از جمع‌آوری و به اشتراک گذاری داده‌ها، نوبت به پردازش آن‌ها می‌رسد. به منظور پردازش داده، واحدهای رایانشی مناسب باید انتخاب شوند و داده‌ها به‌موقع و بر اساس وظایف تعریف‌شده موردپردازش قرار گیرند. قدرت رایانشی منابع مختلف نقش مهمی در نوع خدمات پشتیبانی‌شده دارد. در پژوهش‌ها، داده‌ها بر اساس حجم و نیاز پردازشی، در سطوح مختلف رایانشی توزیع شده‌اند. وظایف متداول شامل پیش‌پردازش و تحلیل داده هستند. وظایفی با نیاز پردازشی بالا و حساسیت پایین به تأخیر در ابر و وظایف با نیاز بالا و حساسیت به تأخیر در مه و وظایف با نیاز پردازشی کم و حساس به تأخیر در لبه اجرا می‌شوند.

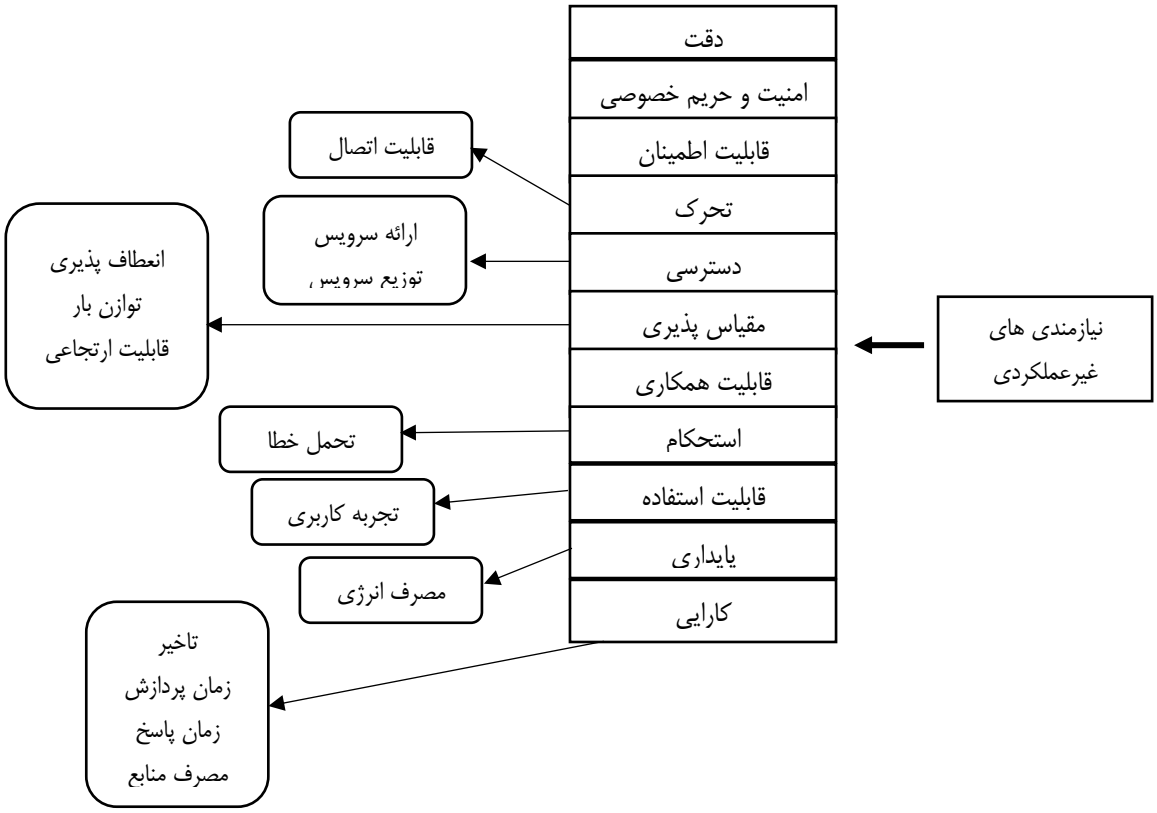
چهارمین نیازمندی عملکردی در سیستم‌های مراقبت بهداشتی، تولید هشدار است. این سیستم‌ها باید هشدارهای ضروری را سریع به کادر درمان و بیماران منتقل کنند. در بیشتر مقالات، تنها به محل استقرار مؤلفه هشدار اشاره شده و به مسائل فنی دیگر آن اشاره نشده است. در مطالعه Mahmud و همکاران [۵۰]، از یک سرویس مبتنی بر مه برای صدور هشدار استفاده می‌کند که مبتنی بر قوانین پیش فرض پزشکی و واکنش‌های کاربر است. تشخیص شرایط غیرعادی در ابر و تولید هشدار در لبه انجام می‌شود. Verma و همکاران [۷۸]، سیستم تشخیص بیماری‌های التهابی روده با هشدارهای فوری از طریق مه معرفی شده است. هشدارها به تلفن همراه بیمار یا همراهان او ارسال و به منظور استفاده‌های بعدی در ابر ذخیره می‌شوند. Sood و Mahajan [۱۵۳] نیز یک درگاه معنایی هوشمند مبتنی بر مه ارائه دادند که وظیفه آن ارسال هشدار به کارکنان بخش درمان است.

پنجمین نیازمندی عملکردی در سیستم‌های مراقبت بهداشتی، نمایش داده است. به منظور نمایش اطلاعات لازم برای ادامه درمان در قالب رابط‌های کاربری مناسب برای بیماران، همراهان و کادر درمان این مورد ضروری است. طراحی رابط کاربری مناسب می‌تواند تجربه کاربری یکپارچه و اثربخش‌تری ایجاد کند. در مقالات، راه‌حلی برای این چالش ارائه نشده و فقط به محل استقرار رابط کاربری اشاره شده است. برای مثال، Chayvat و همکاران [۱۳۴] اپلیکیشنی برای تشخیص مناطق آلوده کووید-۱۹ طراحی نمودند که اطلاعات مکان‌یابی از GPS (Global Positioning System) را نمایش می‌دهد. Butt [۱۴۴]، از یک معماری حساس به زمینه با لایه‌ای از کاربرد که در تمام سطوح رایانش گسترده شده، برای مدیریت بیماری استفاده کرده است. Dos و همکاران [۱۴۶]، چارچوبی برای خدمات مراقبت بهداشتی سبز معرفی کرده‌اند که اپلیکیشنی برای جمع‌آوری و نمایش داده‌ها روی تلفن همراه دارد.

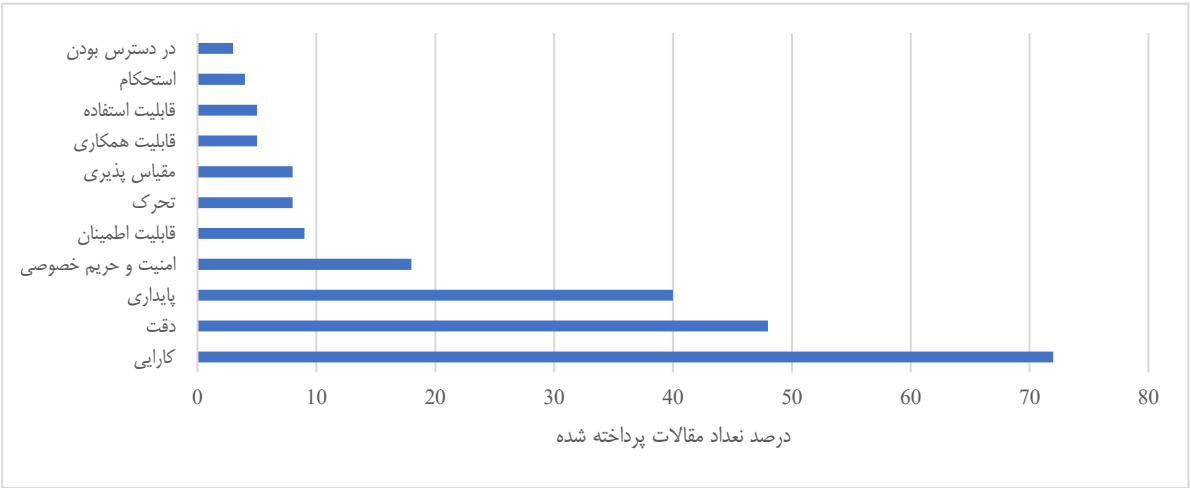
ششمین نیازمندی عملکردی در سیستم‌های مراقبت بهداشتی به خصوص از راه دور، کنترل اشیاء می‌باشد. سیستم مراقبت بهداشتی باید بتواند عملکرد اشیای پزشکی را پایش کند. با توجه به تنوع این اشیاء، چالش‌هایی نظیر تعامل، نقص عملکرد، نفوذ امنیتی و نقض حریم خصوصی ممکن است پیش آید [۱۵۶]. مقالات محدودی به این موضوع پرداخته‌اند. Jacob و همکاران [۱۰۹] از یک اسکلت خارجی برای کمک به معلولان استفاده می‌کنند که از پردازش لبه پشتیبانی می‌کند. Sood و Rawat [۱۱۵] یک سیستم سایبر-فیزیکی با واقعیت مجازی برای کنترل ترس در دانش‌آموزان، از راه دور در زمان کووید-۱۹ ارائه دادند. Sacco و همکاران [۱۵۵] نیز سیستمی برای تشخیص آسیب بافت ارائه کرده‌اند که از تصاویر میکروسکوپی از راه دور استفاده می‌کند. این سیستم به پاتولوژیست‌های از راه دور اجازه می‌دهد تا با استفاده از یک جلسه میکروسکوپی مجازی، به صورت مشارکتی، بیماری را تشخیص داده و مشاوره از راه دور ارائه دهند. نیازمندی‌های غیرعملکردی به عنوان محرک‌های یک معماری، نحوه رفتار سیستم و محدودیت‌های پیش روی نیازمندی‌های عملکردی آن را توصیف می‌کنند. نیازمندی‌های غیرعملکردی بایستی به وضوح بیان شده و با استفاده از روش‌های خاصی اندازه‌گیری شوند [۱۵۷،۱۵۸]. شکل ۳، نیازمندی‌های غیرعملکردی را در مقالات نهایی نشان می‌دهد. یازده نیازمندی غیرعملکردی اصلی در نظر گرفته شده است که در سطح

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

اول شکل نشان داده شده‌اند. علاوه بر این، زیر شاخص‌هایی نیز برای این نیازمندی‌ها در سطح دوم شکل ارائه شده‌اند. اگر به نیازمندی‌های غیرعملکردی به طور کافی پرداخته نشود، علاقه کاربران به استفاده از سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بنابراین، بسته به اهمیت هر یک از این الزامات، تحقیقات در حوزه مراقبت‌های بهداشتی بر برخی از آن‌ها متمرکز شده است. شکل ۴ توزیع درصد پژوهش‌ها در مورد هر یک از نیازمندی‌های غیرعملکردی ذکر شده در مقالات نهایی را نشان می‌دهد. طبق این شکل، بیش از ۷۰٪ مقالات بر کارایی تأکید کرده‌اند. دقت داده‌ها و پایداری به ترتیب با ۴۸٪ و ۴۰٪ در سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. توجه به این سه نیازمندی نشان دهنده اهمیت کارایی عملیاتی و اجرای عملی این گونه سیستم‌ها است.



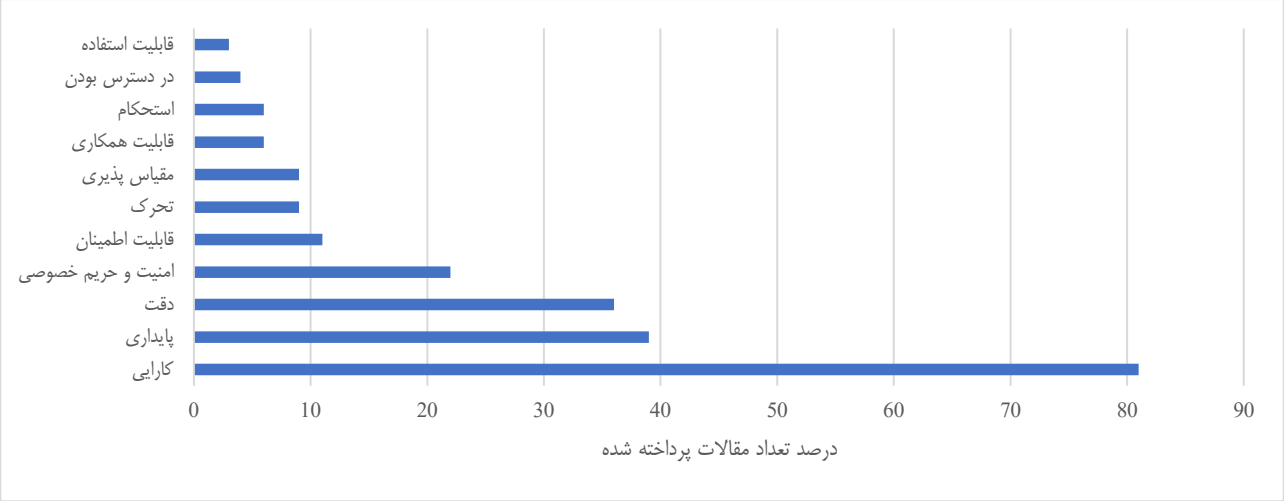
شکل۳: نیازمندی‌های غیرعملکردی سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مدل‌های رایانشی



شکل ٤: تعداد ارزیابی هر یک از نیازمندی‌های غیرعملکردی در مقالات نهایی

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

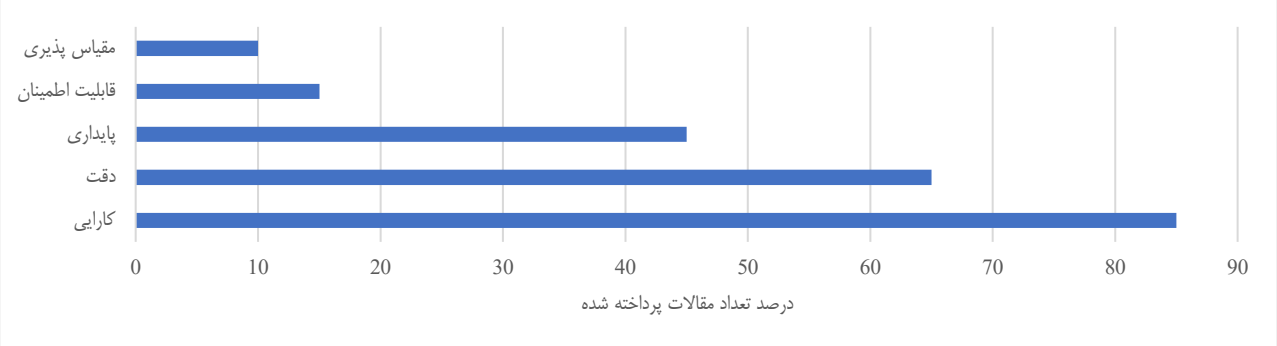
مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان



شکل ۵: اولویت نیازمندی‌های غیرعملکردی در پایش سلامت از راه دور

برای نشان دادن اهمیت نیازمندی‌های غیرعملکردی در خدمات مختلف، آن‌ها در سه دسته اصلی بر اساس شکل ۲ که شامل خدمات پایش سلامت از راه دور، خدمات مغزی و نخاعی و خدمات قلبی و عروقی هستند، بررسی شدند. در خدمات پایش سلامت از راه دور، مطابق نمودار شکل ۵، حدود ۸۰٪ از مقالات بر کارایی تمرکز داشته‌اند و سایر شاخص‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با بررسی این دسته از مقالات، مشخص شد که حدود ۵۰٪ از آن‌ها، تأخیر شبکه را به عنوان مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر کارایی برشمرده‌اند. از آنجا که داده‌های پایشی در لحظه زیاد هستند و تصمیم‌گیری باید سریع انجام شود، زمان پردازش و پاسخ نیز در ۲۶٪ این مقالات، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به مجموع تأخیر شبکه، زمان پردازش و زمان پاسخ، ۷۲٪ از مقالات در این خدمت، تأخیر زمانی را به‌طور خاص به عنوان پارامتر تأثیرگذار بر کارایی بررسی کرده‌اند.

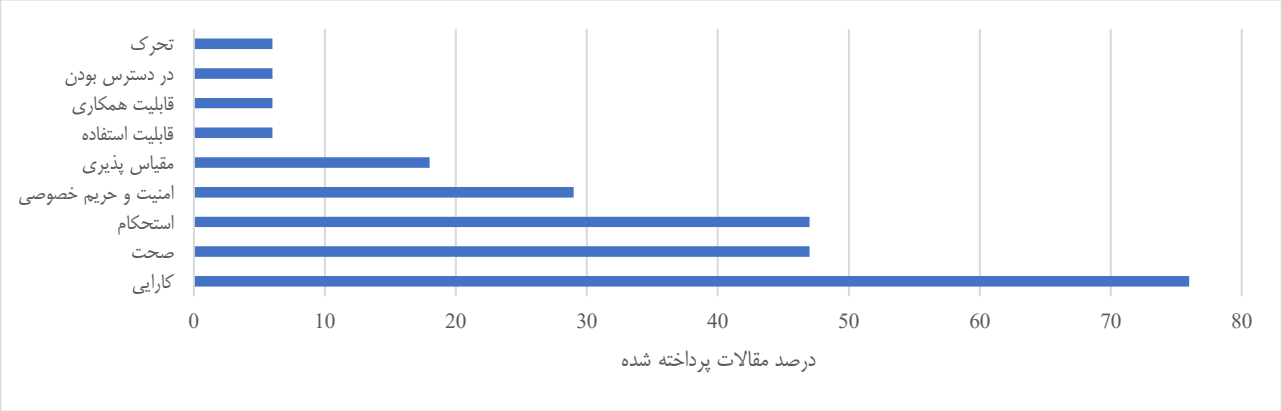
در خدمات مرتبط با بیماری‌های مغزی و نخاعی، مطابق شکل ۶، کارایی هنوز اولویت دارد، ولی دقت داده اهمیت بیشتری نسبت به پایداری دارد. به علت اهمیت واکنش سریع در این نوع از خدمات نیز، پارامتر تأخیر زمانی (شامل تاخیر شبکه، زمان پردازش و زمان پاسخ) در ۸۰٪ از مقالات مرتبط به عنوان مهمترین پارامتر مؤثر بر کارایی در بیماری‌های عصبی و نخاعی بررسی شده است.



شکل ٦: اولویت نیازمندی‌های غیرعملکردی در خدمات مغزی و نخائی

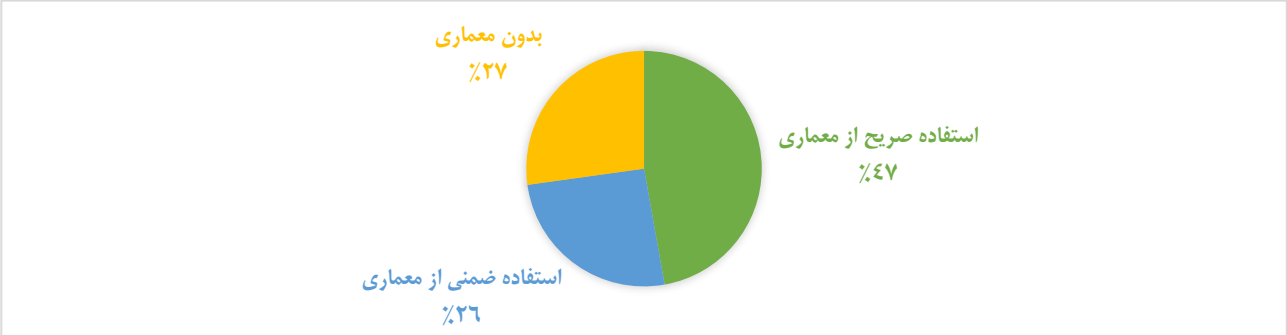
در حوزه بیماری‌های قلبی و عروقی، شکل ۷ توزیع نیازمندی‌های غیرعملکردی را در این نوع بیماری نشان می‌دهد. بیش از ۷۰٪ مقالات بر کارایی تأکید داشته‌اند. دقت داده و پایداری سیستم نیز جزو الزامات کلیدی در این حوزه‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که سه نیازمندی غیرعملکردی کارایی، دقت و پایداری در تمام خدمات مراقبت بهداشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. کاهش تأخیر شبکه و زمان پاسخ و پردازش برای اطمینان از در دسترس بودن خدمات، در اولویت اصلی قرار دارد. در حوزه بیماری‌های قلبی، در ۸۹٪ مقالات (شامل تأخیر شبکه، زمان پردازش و زمان پاسخ)، تأخیر زمانی به عنوان عامل اصلی تأثیرگذار برکارایی بررسی شده است.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]



شکل ۷: اولویت نیازمندی‌های غیرعملکردی در خدمات قلبی و عروقی

از مهمترین ویژگی‌های مربوط به ارائه خدمات مبتنی بر مه، انتخاب مناسب ترین نوع معماری نرم افزاری است. معماری‌های نرم‌افزاری با هدف نمایش ساختار سیستم‌های نرم‌افزاری طراحی می‌شوند. این معماری‌ها با انتزاع ویژگی‌های سطح بالا و پنهان‌سازی جزئیات سطح پایین، تلاش می‌کنند تا نیازهای مورد انتظار سیستم‌ها را به‌خوبی پاسخ دهند [۱۵۹]. با توجه به اهمیتی که در تأمین نیازمندی‌های غیرعملکردی در خدمات حوزه مراقبت بهداشتی وجود دارد و با توجه به استفاده از رایانش مه به عنوان بستر این خدمات، انتظار می‌رود کاربردهایی که روی این بستر اجرا می‌شوند نیز از معماری مناسبی بهره مند باشند تا نیازهای موردانتظار را پوشش دهند.



شکل ۸: درصد استفاده از معماری در مقالات

بر اساس شکل ۸ می‌توان مشاهده کرد که هدف حدود نیمی از مقالات، ارائه معماری بوده است. در یک‌چهارم دیگر از مقالات نیز، استفاده از معماری برای ارائه خدمات مراقبت بهداشتی امری اجتناب‌ناپذیر بوده است و در سایر موارد نیز ضرورتی برای استفاده از یک معماری خاص برای توصیف روش پیشنهادی احساس نشده است.

نکته مهم در برخی مقالات، عدم تمایز بین رایانش مه و لبه است. به عبارت دیگر، برخی مقالات مه و لبه را به عنوان یک مدل واحد در نظر می‌گیرند و تفاوتی بین آن‌ها قائل نمی‌شوند، در حالی که برخی دیگر آن‌ها را به عنوان دو مدل رایانشی متفاوت می‌بینند. جدول ۵ مقالاتی را نشان می‌دهد که یا تمایزی بین این دو مدل در نظر می‌گیرند یا این دو مدل را یکسان می‌بینند. مقالاتی که بین رایانش مه و رایانش لبه تفاوتی قائل نشده‌اند، معمولاً وظایف مشابهی را به هر دو اختصاص داده‌اند؛ اما مقالاتی که بین این دو تفاوت قائل شده‌اند، معمولاً وظایف سنگین‌تر را به مه و وظایف سبک‌تر را به لبه نگاشت کرده‌اند.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

جدول ۵: تفاوت بین مه و لبه در مقالات نهایی

آیا مه و لبه با هم متفاوت‌اند؟	مقالات
بله	[۱۹،۲۱،۴۶،۵۲،۵۷،۷۱،۸۳،۹۱،۹۶،۱۰۵،۱۱۴،۱۱۵،۱۱۹،۱۲۰،۱۲۵،۱۲۶،۱۳۸،۱۴۰،۱۴۶]
خیر	[۱۴۵-۱۳۷،۱۴۳-۱۲۴،۱۲۷-۱۱۸،۱۲۱-۱۱۴،۱۱۶-۱۰۴،۱۰۶-۹۴،۹۷-۹۰،۹۲-۸۱،۸۴-۷۰،۷۲-۵۱،۵۳-۴۵،۴۷-۱۶۰،۱۵۵، ۱۵۲،۱۵۰،۱۴۱،۱۳۹].

بر اساس ویژگی‌های مورد نیاز خدمات در حوزه مراقبت‌های بهداشتی و وجود مدل‌های رایانشی به عنوان زیرساخت، مقالات از سبک‌های معماری مختلفی استفاده کرده‌اند. در ادامه، معماری‌های استفاده شده در این مقالات بر اساس نیازمندی‌های غیرعملکردی برای خدمات مرتبط با پایش سلامت از راه دور، بیماری‌های عصبی نخاعی و بیماری‌های قلبی عروقی به عنوان خدمات رایج در مجموعه مقالات انتخاب شده بررسی شده است. با توجه به اهمیت تضمین کارایی در این سیستم‌ها، ابتدا به معماری‌های مورد استفاده برای برآورده کردن این نیازمندی در خدمات رایج پرداخته شده، سپس، برخی از معماری‌های مورد استفاده برای برآورده کردن سایر نیازمندی‌های مهم غیرعملکردی بیان گردیده است.

در هر سه خدمت رایج در مقالات منتخب، که کارایی در آن‌ها اهمیت بالایی دارد، از سبک معماری n رده استفاده شده است. در این نوع معماری، عملکردها به لایه‌های جداگانه تقسیم می‌شوند و هر لایه، در یک رده یا سطح مجزا قرار می‌گیرد [۱۶۱]. در سیستم‌های مبتنی بر مدل‌های رایانشی، هر رده معادل یک مدل رایانشی است. به‌عنوان مثال، در مطالعه Verma و Sood [۲۱] یک چارچوب پایش مبتنی بر سه مدل رایانشی مختلف برای مدیریت کووید-۱۹ پیشنهاد شده است. این چارچوب می‌تواند بیماران را هم در مرحله تشخیص اولیه و هم در قرنطینه خانگی یا مراکز نگهداری کنترل کند. اهداف این چارچوب شامل کاهش تأخیر، بهینه‌سازی استفاده از شبکه و کاهش هزینه‌های درمان است. در سیستم مراقبت بهداشتی پیشنهاد شده مطالعه Luan و همکاران [۷۴] یک سیستم مبتنی بر ابر- لبه- اینترنت اشیاء ارائه شده است که بر احساسات بیمار تمرکز دارد و آن را با تجویز دارو از طریق جعبه داروی هوشمند کنترل می‌کند. در این سیستم، مؤلفه‌های مختلف نرم افزاری در مدل‌های رایانشی توزیع شده‌اند و جمع‌آوری داده‌هایی همچون فعالیت‌های روزمره، رفتار مصرف دارو و تمرینات ورزشی انجام می‌شود. کاهش تأخیر یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی در این سیستم است. Gill و همکاران [۱۱۹] نیز یک مدل اطلاعاتی با کمک رایانش مه معرفی کرده‌اند که خدمات مراقبت بهداشتی را به‌صورت یک سرویس ابری با استفاده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء ارائه می‌دهد. این مدل داده‌های بیماران قلبی را به‌صورت کارآمد مدیریت می‌کند و عملکرد شبکه از شاخص‌های کلیدی ارزیابی آن است. برخی از این مقالات از سبک معماری کلاینت – سرور با دو مدل رایانشی استفاده کرده‌اند. برای مثال، Zebin و همکاران [۵۲] در یک سیستم تشخیص فعالیت‌های انسانی و Zhu و همکاران [۱۱۴] در یک سیستم تشخیص احساسات برای بیماری‌های قلبی، از لبه و اینترنت اشیاء به‌عنوان دو مدل رایانشی استفاده کرده‌اند.

همان‌طور که گفته شد، درست است که همه مقالات بررسی شده، از معماری n رده استفاده کرده‌اند، اما ساختار داخلی درون رده‌ها ممکن است متفاوت باشد. به عنوان مثال، Verma و Sood [۴۲] یک سیستم پایش سلامت از راه دور در خانه‌های هوشمند با استفاده از رایانش مه پیشنهاد کرده اند که از معماری لایه‌ای برای مدیریت داده‌ها در لایه ابر بهره می‌برد. برخی مقالات برای افزایش کارایی ارتباط بین لایه‌ها، از معماری سرویس‌گرا استفاده کرده‌اند. معماری سرویس‌گرا در سناریوهایی کاربرد دارد که در آن‌ها وظایف به‌صورت سرویس و با تبادل پیام طبق پروتکل‌های مشخص انجام می‌شوند [۱۶۲]. Kallel و همکاران [۸۳] یک معماری لایه‌ای مبتنی بر ابر- مه- اینترنت اشیاء برای درمان فوری بیماری‌های عصبی و نخاعی ارائه کرده‌اند که در آن، وظایف در لایه مه قرار دارند و به عنوان سرویس به سایر لایه‌ها ارائه می‌شود. Sood و Rawat [۹۳] نیز یک سیستم سایبر- فیزیکی با کمک مه برای کنترل حملات پانیک و خطر ابتلا به کووید-۱۹ در مکان‌های عمومی معرفی کرده اند. مدل پیشنهادی در فضای ابری شامل دو لایه برای تحلیل شدت بیماری و ترسیم نقشه ریسک است به‌گونه‌ای که در صورت شیوع بیماری، امکان تخلیه منطقه فراهم شود.

در حالت کلی، ارتباط بین لایه‌ها و سطوح در اغلب مقالات به‌صورت ارتباطات یک‌طرفه مبتنی بر مدل کلاینت – سرور است و الگوی ارتباطی صریحاً ذکر نشده است؛ اما در برخی مقالات به الگوهای ارتباطی دیگر نیز اشاره شده است. برای مثال، Sigwele و همکاران [۴۵]. یک معماری برای سیستم پایش سلامت ارائه کرده‌اند که داده‌ها را از اشیای مختلف جمع‌آوری می‌کند. این سیستم از یک دروازه

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

معنایی هوشمند برای ارائه سرویس در مرز میان اشیاء و ابر استفاده می‌کند و تبادل داده‌ها از طریق APIهای مبتنی بر REST انجام می‌شود. Zhu و همکاران [۱۱۴] نیز معماری مبتنی برمه برای تشخیص خودکار تومور مغزی با استفاده از یادگیری عمیق و زیرساخت اینترنت اشیاء پیشنهاد کرده‌اند. این معماری خدمات مراقبت بهداشتی را به‌صورت یک سیستم سبک‌وزن در مه ارائه می‌دهد و داده‌های حاصل از اشیای مختلف را به‌صورت کارآمد مدیریت می‌کند. در این معماری، ارتباطات دوطرفه بین مه- مه، مه- ابر و مه- لبه پیش‌بینی شده و از طریق REST APIها پیاده‌سازی شده است.

سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی وظایف مختلفی را برای ارائه خدمات لازم انجام می‌دهند که چکیده‌ای از این وظایف، پیش از این در قالب نیازمندی‌های عملکردی مورد بحث قرار گرفت. در این بخش، تلاشی برای ارائه طبقه‌بندی جدید بر اساس وظایف و عناوین ذکر شده در مقالات انجام شده است. خلاصه‌ای از این وظایف در جدول ۶ ارائه گردیده است. علاوه بر این، این جدول وظایف را بر اساس محل استقرار آن‌ها در سه گروه دسته‌بندی می‌کند. با توجه به عدم اجماع در بسیاری از مقالات نهایی در مورد ماهیت مستقل وظایف برای لبه و مه، در جدول ۶، برای سادگی، وظایف مستقر در لبه و اینترنت اشیاء در یک دسته واحد در نظر گرفته شده‌اند. همچنین، وظایف تکراری در سایر مقالات برای اختصار در جدول ذکر نشده‌اند. وظایف ارائه شده در جدول ۶ را می‌توان در سه گروه وظایف مرتبط با تعاملات محیطی، وظایف مرتبط با پردازش و وظایف مرتبط با ذخیره‌سازی دسته‌بندی کرد. با یک نگاه ساده‌انگارانه می‌توان به این نتیجه رسید که وظایف مرتبط با تعاملات محیطی در حوزه اینترنت اشیاء و محاسبات لبه، وظایف مرتبط با پردازش در حوزه مه و ابر و وظایف مرتبط با پردازش و ذخیره‌سازی در حوزه ابر قرار دارند.

وظایفی نظیر جمع‌آوری داده‌های مراقبتی، که تقریباً در تمام مقالات نهایی به آن پرداخته شده، در محیط اینترنت اشیاء و لبه انجام می‌گیرد. جمع‌آوری بلادرنگ داده‌ها از وظایف پایه‌ای اینترنت اشیاء است. اشیای پزشکی در زیرساخت اینترنت اشیاء به‌صورت پیوسته داده‌هایی را از محیط اطراف خود جمع‌آوری کرده و آن‌ها را برای تحلیل به مدل‌های رایانشی دیگر منتقل می‌کنند. این جریان پیوسته داده‌ها، امکان تصمیم‌گیری سریع بر مبنای داده‌های به‌روز بیمار را فراهم می‌سازد [۱۰۷،۱۴۳،۱۴۸]. از دیگر وظایف رایج در لبه و اینترنت اشیاء، ارائه داده‌ها به کاربر است [۷۴،۷۹]. از طریق واسط‌های کاربری مناسب، کاربران می‌توانند در هر زمان و مکان به خدمات مراقبت بهداشتی دسترسی داشته باشند و از نتایج تحلیل داده‌ها بهره‌مند شوند. عملیات احراز هویت برای دسترسی به خدمات مراقبت بهداشتی نیز معمولاً توسط اینترنت اشیاء انجام می‌گیرد [۵۰].

یکی از وظایف ضروری در لبه، استفاده از دروازه‌ها است [۷۳،۱۰۳،۱۲۳،۱۲۴]. دروازه معمولاً یک جزء نرم‌افزاری است که در لبه، بین اینترنت اشیاء و مه قرار می‌گیرد و وظایف پیش‌پردازش مانند تجمیع و رمزگذاری داده‌ها را انجام می‌دهد. یکی دیگر از وظایف رایج در سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی، ارسال هشدار به کاربران این سیستم‌ها برای انجام اقدامات خاص در فرآیند درمان است. هشدارها ممکن است در ابر [۱۴۶]، در مه [۱۳۳،۱۳۶،۱۴۵]، در لبه [۱۳۹] و حتی در اینترنت اشیاء [۱۳۸] ایجاد شوند، اما در همه موارد، تحویل به کاربر نهایی توسط اینترنت اشیاء انجام می‌شود.

در بین وظایف مرتبط با پردازش، تحلیل داده از مهم‌ترین مواردی است که در مدل‌های مختلف رایانشی در سیستم‌های مراقبت بهداشتی استفاده می‌شود. مطالعات مختلف از تکنیک‌های متنوعی برای تحلیل داده بهره گرفته‌اند که در این میان، یادگیری ماشین یکی از پرکاربردترین روش‌ها بوده است. حدود نیمی از مقالات از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های مراقبت بهداشتی استفاده کرده‌اند. بسته به توان پردازشی مدل‌های مختلف، نسخه‌های گوناگونی از این تکنیک‌ها به کار گرفته شده‌اند. برای مثال Bu و همکاران [۶۷] از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای خوشه‌بندی داده‌های مراقبتی از چند بیمارستان مختلف استفاده کرده‌اند. هر بیمارستان دارای مه/لبه محلی خود بوده که از مدل‌های یادگیری عمیق استفاده می‌کند. پس از آموزش مدل‌های محلی، ویژگی‌های استخراج‌شده برای یادگیری دقیق‌تر به ابر ارسال می‌شوند. سپس الگوریتم‌های یادگیری سطح بالا در ابر روی این ویژگی‌ها اعمال می‌شوند و در صورت ورود ویژگی جدید، خوشه‌های قبلی با داده‌های جدید ادغام می‌شوند. Sarabia و همکاران [۱۳۷] یک سیستم هوشمند مبتنی بر ابر- مه برای تشخیص به‌موقع افتادن افراد ارائه کرده‌اند که از یادگیری عمیق روی گره‌های مه بهره می‌برد. در این مدل، یک معماری دروازه هوشمند در مه معرفی شده که امکان استقرار و مدیریت مدل‌های یادگیری ماشین را از راه دور فراهم می‌کند. همچنین مدل‌های یادگیری عمیق در ابر برای افزایش دقت نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. Divya و Sri [۱۴۰] یک معماری سه‌لایه‌ای ابر- مه - لبه برای تشخیص افتادن

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

طراحی کرده‌اند. در لبه، شناسایی با استفاده از یک شبکه عصبی فشرده روی یک وسیله هوشمند انجام می‌شود. به دلیل محدودیت منابع در لبه، نسخه فشرده‌ای از شبکه عصبی برای بینایی ماشین به کار رفته است. Asghar و همکاران [۸۶] از یادگیری تقویتی عمیق در منابع مه/لبه برای ایجاد یک سیستم مراقبت بهداشتی به روشی متفاوت استفاده کرده‌اند. برای پاسخ به نیاز پردازشی بالای این مدل یادگیری در منابع محدود، مدل مورد نظر روی چند گره توزیع شده است.

جدول ٦: وظایف سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مدل های رایانشی جهت تامین نیازمندی های عملکردی

مدل‌های رایانشی	وظایف
ابر	Health data mining [115], Health information sharing [124], Health education [138], Health data analysis [115, 139, 151], Machine learning methods [144], Batch processing [144], Health data compression [148], Health data backup [151], Contaminated areas detection [163]
مه	Mobility management[51], Notification management[51], Video stream processing[62], Activity tracking[72], Fault management[78], Health data visualization[84], Gateway operations[55,91], Network management[107], Health forecasting[115], Security management[127, 132], ECG processing[129], Health data storage[131], Health data preprocessing[132], Health data Analysis[19, 131, 134], Health data filtering[134], Machine learning methods[50, 119, 136], Health data monitoring[122, 162], Real time health data processing[84, 163], Emergency alert generation[163], Real time data analysis[144], Data stream processing[145], Health decision making[131, 148], Health emergency conditions analysis[151], Context aware services[151], Image processing[158], Health data classification[115, 144, 162]
لبه/اینترنت اشیا	Health data aggregation [58], Authentication [58], Health data preprocessing [81], UI operations [82, 87], Gateway operations [81, 115, 131, 132], Alert generation [141, 144, 146, 147], Compressed machine learning methods [148], Health data collection [115, 151, 157], Registration management [163]

برخی وظایف که نیاز به پردازش سطح بالا و تحویل سریع نتایج دارند، در مه انجام می‌شوند. برای مثال، Islam و همکاران [۵۴] یک چارچوب برای پایش و تشخیص فعالیت‌ها ارائه دادند که در آن، تشخیص فعالیت بر اساس طبقه‌بندی ویدئوهای دریافت‌شده در معماری بلاک‌چین مبتنی بر مه یا ابر صورت می‌گیرد. بسته به کیفیت خدمات مورد انتظار کاربر نهایی، این فعالیت‌ها می‌توانند در مه یا ابر انجام شوند. Butt [۱۴۴] یک معماری اینترنت اشیاء مبتنی بر مه برای مدیریت بحران معرفی کرده است. این معماری به صورت زمینه محور عمل می‌کند و مؤلفه زمینه محور در مه، با جمع‌آوری و تلفیق داده‌های مربوط به وقایع فاجعه‌بار، می‌تواند اقدامات اضطراری مناسب را برای کاهش خسارات آغاز کند.

در لایه ابر، پردازش‌های سطح بالا و همچنین ذخیره‌سازی و پشتیبان‌گیری از داده‌ها انجام می‌شود. برای مثال در سیستم مراقبت بهداشتی معرفی‌شده توسط Zhang و همکاران [۸۷] داده‌ها بیشتر در مه/لبه تحلیل می‌شوند و در ابر برای استفاده‌های آتی ذخیره می گردند. سیستم پایش سلامت پیشنهاد شده Verma و Sood [۴۲] که پایش سلامت را از راه دور در خانه‌های هوشمند با استفاده از مه انجام می‌دهد، علاوه بر ذخیره‌سازی دائمی داده‌ها در ابر، وظایفی همچون داده‌کاوی و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌های بلادرنگ تحویل گرفته شده از مه را نیز در ابر انجام می‌دهد. Dar و همکاران [۱۴۳]، یک سیستم تشخیص تصادف مبتنی بر مه طراحی کرده‌اند که با ارسال هشدارهای به‌موقع، تأخیر در تشخیص حوادث و زمان واکنش مراکز درمانی را کاهش می‌دهد. داده‌های جمع‌آوری‌شده نیز برای استفاده‌های آتی در ابر ذخیره می‌شوند. سایر وظایف مانند ردیابی فعالیت‌ها [۶۴]، پردازش دسته‌ای [۱۳۷]، فشرده‌سازی داده‌های مراقبتی [۱۴۰] و... نیز وجود دارند که محل استقرار آن‌ها در جدول ۶ بر اساس ویژگی‌های مورد نیاز مشخص شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

با وجود حجم قابل‌توجه پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه [۹،۴۰،۱۶۳،۱۶۴] همچنان مجموعه‌ای از چالش‌های اساسی پابرجا است که به طور مستقیم بر رضایت استفاده از این سیستم‌ها اثر می‌گذارد. بخش عمده‌ای از این

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

چالش‌ها ریشه در ویژگی‌های بنیادین رایانش مه دارند؛ ویژگی‌هایی مانند نیاز به پاسخ‌دهی بلادرنگ، قابلیت اطمینان بالا در شرایط بحرانی و سازگاری با محدودیت‌های منابع در لبه شبکه. این مسائل نه تنها در پایش سلامت، بلکه در هر حوزه حساس به زمان نیز وجود دارند، اما در خدمات مراقبت بهداشتی به دلیل ماهیت حیاتی داده‌ها، شدت و اهمیت آن‌ها دوچندان است. یکی از نقاط ضعف عمده پژوهش‌های موجود، فقدان تمرکز دقیق بر سناریوهای کاربردی مشخص است؛ برای مثال، کمتر به طراحی راهکارهایی برای گروه‌های خاص مانند سالمندان، بیماران مزمن یا بیماران قلبی پس از جراحی پرداخته شده است. همچنین نبود یک چارچوب طبقه‌بندی نظام‌مند برای دسته‌بندی انواع خدمات مراقبتی، باعث شده نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی به درستی شناسایی و تفکیک نشوند. این فقدان ساختار، مشکلاتی جدی در انتخاب روش‌های گردآوری داده‌ها ایجاد می‌کند؛ به گونه‌ای که اغلب مشخص نیست داده‌ها باید از چه منابعی، با چه قالبی، در چه زمان و مکانی و با چه میزان کیفیت گردآوری شوند. از سوی دیگر، فرآیند تبدیل داده‌های ناهمگون به قالب‌های استاندارد قابل پردازش، که پیش‌شرط تصمیم‌گیری سریع و دقیق است، معمولاً بدون توضیح کافی در پژوهش‌ها مطرح می‌شود. مشکل دیگر، کمبود جزئیات فنی درباره معماری پیشنهادی سیستم‌ها است؛ بسیاری از مقالات صرفاً ایده کلی ارائه می‌کنند بدون اینکه اجزای معماری، نحوه استقرار مؤلفه‌ها در مدل‌های رایانشی مختلف و تعاملات میان آن‌ها را شفاف بیان کنند. این خلأ اطلاعاتی باعث می‌شود ارزیابی عملی و پیاده‌سازی واقعی سیستم‌ها با مشکلات جدی مواجه شود. همچنین نادیده گرفتن یا تعریف مبهم نیازمندی‌های غیرعملکردی، ناکارآمدی سیستم را به‌شدت افزایش می‌دهد. در نهایت، می‌توان گفت بدون یک معماری مشخص، مؤلفه‌های تعریف‌شده، نحوه استقرار روشن و انطباق کامل با نیازهای هر دسته از خدمات، گذار از مرحله تحقیقاتی به مرحله عملیاتی‌سازی سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه، با موانع جدی روبه‌رو خواهد بود.

با وجود آن‌که محدودیت‌های ذاتی رایانش مه، از جمله توان پردازشی محدود، ظرفیت ذخیره‌سازی اندک و وابستگی به منابع غیرمتمرکز، چالش‌های شناخته‌شده‌ای هستند، همچنان بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها در حوزه خدمات مراقبت بهداشتی، موضوع حیاتی ثبت دقیق سوابق همراه با برچسب‌های زمانی را به شکل جدی نادیده گرفته‌اند. این بی‌توجهی در شرایطی رخ می‌دهد که بسیاری از خدمات مراقبتی نیازمند پاسخ‌دهی بلادرنگ و واکنش سریع به رویدادهای بحرانی هستند و کوچک‌ترین تأخیر یا خطا می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری برای سلامت بیماران به همراه داشته باشد. نادیده گرفتن ثبت سوابق زمانی، عملاً امکان انجام ممیزی دقیق در مورد خطاها، تحلیل رویدادها، یا بررسی ریشه‌ای مشکلات را از بین می‌برد. این نقص می‌تواند در زمان بروز اختلافات قانونی، پیگیری قصور پزشکی یا بررسی کیفیت خدمات، به شکست کامل فرآیندهای نظارتی و حقوقی منجر شود. علاوه بر این، فقدان داده‌های دقیق و قابل اعتماد با برچسب زمانی، هرگونه تلاش برای بهینه‌سازی عملکرد سیستم، تشخیص الگوهای خطا و پیشگیری از تکرار آن‌ها را بی‌اثر می‌سازد. به بیان دیگر، عدم توجه به این نیاز کلیدی، نه تنها ریسک از دست رفتن اعتماد کاربران و نهادهای نظارتی را به شدت افزایش می‌دهد، بلکه می‌تواند باعث شود کل سیستم مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه، از منظر قابلیت اطمینان و مسئولیت‌پذیری، غیرقابل اتکا و فاقد صلاحیت برای کاربردهای حیاتی تلقی شود. این کاستی در عمل به معنای آن است که حتی پیشرفته‌ترین معماری‌ها و الگوریتم‌ها، بدون ثبت و مستندسازی دقیق وقایع، توانایی اثبات عملکرد صحیح یا دفاع در برابر اتهامات خطا را نخواهند داشت.

نکته دیگر این که یکی از چالش‌های بنیادی این سیستم‌ها، فقدان نظام طبقه‌بندی مشخص برای خدمات مراقبت بهداشتی است؛ مسئله‌ای که فرآیند شناسایی دقیق نیازمندی‌های عملکردی هر خدمت را با ابهام جدی مواجه کرده است. بدون چنین طبقه‌بندی، تعیین الزامات حیاتی مانند بار محاسباتی، حجم داده و نیازمندی‌های ارتباطی ممکن نیست و این امر باعث می‌شود مؤلفه‌های کلیدی سیستم به‌درستی تعریف و طراحی نشوند. در بسیاری از مطالعات، مؤلفه‌هایی که باید این نیازمندی‌ها را برآورده کنند، به‌طور شفاف معرفی نشده‌اند، که این امر می‌تواند مستقیماً منجر به کاهش کارایی و شکست عملیاتی سیستم شود. به‌ویژه در مراحل حیاتی نظیر جمع‌آوری داده‌ها، فقدان تعریف دقیق نیازمندی‌های عملکردی باعث ایجاد ضعف در انتخاب و پیاده‌سازی روش‌های مناسب گردآوری، پردازش و یکپارچه‌سازی داده‌ها می‌شود. داده‌ها باید در زمان و مکان صحیح و با روش مناسب گردآوری شده [۱۶۵] و سپس به قالب‌های قابل پردازش و تصمیم‌سازی تبدیل شوند [۱۶۶]. همچنین تجمیع داده‌ها باید به گونه‌ای انجام شود که کیفیت و یکپارچگی آن‌ها تضمین شود و از ورود داده‌های مخرب جلوگیری گردد [۱۶۷]. در غیاب این شفافیت و رعایت الزامات عملکردی، سیستم‌های مراقبت بهداشتی حتی در صورت بهره‌گیری از معماری‌های پیشرفته، قابلیت اطمینان و اثربخشی مورد انتظار را نخواهند داشت.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره دوازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۴، ص ۱۵۸-۱۳۲
doi: 10.34172/jhbmi.2025.18
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

اشتراک‌گذاری داده‌های مراقبتی، اگرچه عامل کلیدی در بهبود کیفیت درمان است، در بستر سیستم‌های مراقبت بهداشتی با چالش طراحی الگوریتم‌های کارا و کم‌سربار مواجه است که همزمان الزامات غیرعملکردی را نیز حفظ کنند. داده‌های سلامت به دلیل حجم و تنوع بالا در دسته داده‌های عظیم قرار می‌گیرند [۱۶۸] و نیازمند تخصیص منابع پردازشی بهینه و زمان‌بندی هوشمند وظایف برای تضمین اجرای به‌موقع خدمات حیاتی پزشکی هستند. عدم رعایت این ملاحظات می‌تواند منجر به افت کیفیت سرویس، تأخیر بحرانی و کاهش اعتماد به سیستم شود.

با وجود اهمیت حیاتی هشدارها در سیستم‌های مراقبت بهداشتی برای شناسایی سریع شرایط بحرانی و کاهش ریسک‌های تهدیدکننده جان بیماران [۱۶۹]، هنوز هیچ راهکار جامع و استانداردی که بتواند تمامی ویژگی‌های موردنیاز سامانه‌های مدیریت هشدار را پوشش دهد، ارائه نشده است [۱۷۰،۱۷۱]. این خلأ باعث می‌شود هشدارها در بسیاری از موارد با تأخیر یا خطای تشخیص همراه باشند، که می‌تواند منجر به از دست رفتن فرصت مداخله به‌موقع، افزایش احتمال آسیب غیرقابل جبران به بیمار و کاهش اعتماد کاربران به سامانه گردد. در غیاب چنین راهکار جامعی، سیستم‌ها اغلب به راه‌حل‌های پراکنده و غیریکپارچه متکی هستند که نه‌تنها کارایی و دقت را کاهش می‌دهند، بلکه خطر هشدارهای کاذب یا نادیده‌گرفته‌شده را نیز افزایش می‌دهند و در نتیجه امنیت و اثربخشی کل فرآیند مراقبتی را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهند.

در اغلب پژوهش‌های موجود، فقدان یک معماری مشخص و منطبق با الزامات عملکردی و غیرعملکردی هر خدمت مراقبت بهداشتی، به‌عنوان یک ضعف اساسی دیده می‌شود؛ در حالی که خدمات مختلف، بسته به اولویت‌ها و ماهیت خود، نیازمند سبک‌های معماری متفاوت و بهینه‌سازی‌شده هستند [۱۷۲،۱۷۳]. این کاستی باعث شده هیچ یک از مطالعات بررسی‌شده نتوانند چارچوب یک معماری با منطق روشن و توجیه فنی کافی برای انطباق با ویژگی‌های هر خدمت را ارائه دهند. پس از انتخاب معماری مناسب، چالش تعیین بهینه‌ترین محل استقرار مؤلفه‌های حیاتی که نیازمندی‌های عملکردی را برآورده می‌کنند، اهمیت حیاتی پیدا می‌کند. در این مرحله، طراحی راهکارهایی که قادر به انتخاب مدل رایانشی مناسب (لبه، مه، یا ابر) برای هر مؤلفه باشند و بتوانند کیفیت خدمات را به سطح مطلوب برسانند، الزامی است. ماهیت پویا و کاربرمحور سیستم‌های مراقبت بهداشتی، به‌ویژه در سناریوهای سیار، این الزام را ایجاد می‌کند که مکانیزم‌های استقرار، انعطاف‌پذیری بالا و آگاهی از زمینه داشته باشند تا از طریق جابه‌جایی پویا و بلادرنگ مؤلفه‌ها، پیوستگی و کیفیت بالای خدمات تضمین شود [۱۷۴،۱۷۵]. عدم تحقق این الزامات می‌تواند منجر به تخصیص غیربهینه منابع، افزایش تأخیر، کاهش قابلیت اطمینان و در نهایت، ناکامی سیستم در برآوردن نیازهای حیاتی بیماران شود.

این مطالعه دارای چند محدودیت روش‌شناختی و فنی است. از نظر دامنه جستجو تنها در بازه سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲ و در پایگاه‌های منتخب انجام شد. این انتخاب به دلیل حجم بالای مقالات و ضرورت حفظ دقت غربالگری اتخاذ گردید. همچنین، فقط مقالات انگلیسی زبان بررسی شدند که احتمال حذف منابع ارزشمند غیرانگلیسی را به‌همراه دارد و همچنین ممکن است مقالات ارزشمند دیگری در خارج از این بازه وجود داشته باشد. ناهمگونی در تعاریف و دامنه مفهومی رایانش مه به ویژه با درنظر گرفتن لایه های مختلف رایانشی در این مدل، موجب دشواری در هم‌ترازسازی و مقایسه مستقیم یافته‌ها شد. همچنین حجم بالای مقالات که به‌منظور جامعیت پژوهش مورد توجه قرار گرفت، باعث تأخیر در گزارش نتایج شد. از منظر فنی، در سامانه‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر رایانش مه، وجود تعداد زیاد کاربران همزمان و پویایی بالای شبکه می‌تواند باعث نوسان در زمان پاسخ، کاهش پهنای باند در لحظات بحرانی و تغییر توزیع بار پردازشی شود. این شرایط پویا ممکن است عملکرد واقعی سامانه‌های پایش سلامت یا واکنش به هشدارهای پزشکی را از پیش‌بینی‌های تئوری منحرف سازد و در تضمین سطوح پایدار کیفیت سرویس و تجربه کاربری به‌ویژه در خدمات حساس به زمان اختلال ایجاد کند.

در این مرور ساختاریافته، ویژگی‌های رایانش مه برای ارائه خدمات مراقبت بهداشتی مورد مطالعه قرار گرفت. این مطالعه به ابعاد مختلف خدمات سلامت پرداخت. و ابتدا خدمات مراقبت بهداشتی دسته‌بندی شدند و سپس نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی در این سیستم مورد بررسی قرار گرفتند. مؤلفه‌های اصلی که نیازمندی‌های عملکردی را تأمین می‌کنند، شناسایی شدند و بر اهمیت نیازمندی‌های غیرعملکردی در برخی از خدمات مراقبت بهداشتی تأکید گردید. نتایج این مطالعه چالش‌های جدی موجود در سیستم‌های مراقبت بهداشتی مبتنی بر مدل‌های رایانشی را آشکار ساخت. این چالش‌ها عمدتاً به معماری‌های به‌کاررفته در ساختار، توسعه، استقرار و ارتباطات مربوط می‌شوند و بر لزوم بررسی این نکته تأکید دارند که کدام سبک‌های معماری تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت نیازمندی‌های عملکردی و

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

غیرعملکردی برای پژوهش‌های آینده در این حوزه خواهند داشت. این مطالعه همچنین به چالش‌های استقرار مؤلفه‌هایی که نیازمندی‌های عملکردی خدمات مراقبت بهداشتی را تأمین می‌کنند پس از تعیین معماری‌های مناسب برای هر گروه از خدمات، پرداخت. ماهیت پویا و کاربرمحور مدل‌های سیار در سیستم‌های مراقبت بهداشتی مورد تأکید قرار گرفت و پیشنهاد شد که راه‌حل‌ها باید شرایط فعلی را در نظر بگیرند و با جابه‌جایی پویا، مؤلفه‌ها به‌صورت مداوم خدمات با کیفیت بالا به کاربران ارائه دهند. نتایج این پژوهش می‌تواند در توسعه سیستم‌های واقعی مراقبت بهداشتی مبتنی بر مه به‌کار گرفته شود. به‌طور خاص، طبقه‌بندی خدمات و شناسایی نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی می‌تواند مبنای طراحی معماری‌های تطبیق‌پذیر باشد. همچنین، چارچوب پیشنهادی می‌تواند به طراحان کمک کند تا استقرار بهینه مؤلفه‌ها را بر اساس شرایط محیطی و نیازهای کاربران برنامه‌ریزی کنند، که این امر در کاهش تأخیر و بهبود کیفیت خدمات مؤثر است.

پیشنهادات در حوزه سیستم‌های مراقبت بهداشتی از راه دور مبتنی بر رایانش مه می‌تواند بر بهبود قابلیت‌های پردازش بلادرنگ، امنیت داده‌های پزشکی و بهره‌وری منابع متمرکز باشد تا مسیر توسعه این حوزه تسریع شود. در زمینه مدیریت منابع، پیشنهاد می‌شود از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، شامل یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، برای تخصیص تطبیقی منابع میان گره‌های مه و تجهیزات پزشکی پوشیدنی استفاده شود، به‌گونه‌ای که پویایی بار کاری ناشی از نوسانات نرخ نمونه‌برداری علائم حیاتی و ناهمگنی توان پردازشی دستگاه‌ها به‌صورت بهینه مدیریت گردد. این امر شامل طراحی مکانیزم‌های هوشمند تخلیه وظایف رایانشی از دستگاه بیمار به گره‌های مه، زمان‌بندی چندمعیاره پردازش داده‌های حیاتی و متعادل‌سازی بار با تضمین کیفیت خدمات در شرایط اورژانسی است. در حوزه امنیت و حریم خصوصی داده‌های سلامت از راه دور، توصیه می‌شود فناوری بلاکچین و قراردادهای هوشمند برای تضمین شفافیت و رهگیری تراکنش‌های داده‌ای به‌کار گرفته شود و هم‌زمان محرمانگی سوابق پزشکی بیماران در شبکه‌های توزیع‌شده حفظ گردد. از منظر معماری سیستم، پیشنهاد می‌شود چارچوب‌های ماژولار با قابلیت استقرار پویای مؤلفه‌های عملیاتی طراحی شوند تا تأخیر انتها به انتها در سناریوهای مراقبت اورژانسی کاهش یافته و مصرف انرژی تجهیزات پوشیدنی به حداقل برسد. همچنین، بهینه‌سازی زیرساخت‌های ارتباطی از طریق پروتکل‌های کم‌تأخیر، تجمیع هوشمند داده‌های چندمنبعی و تخصیص پویای پهنای باند برای پشتیبانی از هشدارهای حیاتی بلادرنگ (مانند تشنج، آریتمی یا افت ناگهانی سطح اکسیژن) ضروری است. چنین پیشنهاداتی می‌تواند تضمین کند که حتی در شرایط ناپایداری شبکه، سیستم‌های مراقبت بهداشتی از راه دور توانایی ارائه خدمات پیوسته و با کیفیت بالا را حفظ نماید.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافعی ندارند.

حمایت مالی

این پژوهش هیچ گونه حمایت مالی نداشته است.

سهم مشارکت نویسندگان

رضا سوخت سرایی در مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، اعتبارسنجی، تحقیق، تأمین منابع و تهیه پیش‌نویس نسخه اصلی مقاله مشارکت داشت. مهدی سخایی نیا در مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، اعتبارسنجی، تحقیق، تهیه پیش‌نویس نسخه اصلی مقاله مشارکت و بر کار نظارت داشت. فرشته آزادی پرند در روش‌شناسی، اعتبارسنجی و تهیه پیش‌نویس نسخه اصلی مقاله مشارکت داشت. همه نویسندگان نسخه نهایی مقاله را بررسی و تأیید کردند.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]

[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

References

[1]. National Academies of Sciences E, Medicine, Utilization CoHC, Disabilities Aw. Health-care utilization as a proxy in disability determination. Washington (DC): National Academies Press (US); 2018.
[2]. Kruk ME, Gage AD, Arsenault C, Jordan K, Leslie HH, Roder-DeWan S, et al. High-quality health systems in the Sustainable Development Goals era: time for a revolution. Lancet Glob Health 2018;6(11):e1196-e252. doi: 10.1016/S2214-109X(18)30386-3
[3]. Griffith DM. Well-being in Healthy People 2030: a missed opportunity. Health Educ Behav 2021;48(2):115-7. doi: 10.1177/1090198121997744
[4]. Braithwaite J. Changing how we think about healthcare improvement. BMJ 2018:361:k2014. doi: 10.1136/bmj.k2014
[5]. Aceto G, Persico V, Pescapé A. The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. Journal of Network and Computer Applications. 2018;107:125-54. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.02.008
[6]. Kalid N, Zaidan A, Zaidan B, Salman OH, Hashim M, Muzammil H. Based real time remote health monitoring systems: A review on patients prioritization and related" big data" using body sensors information and communication technology. Journal of Medical Systems 2018;42(2):1-30. doi:10.1007/s10916-017-0883-4
[7]. Hassan KM, Abdo A, Yakoub A. Enhancement of health care services based on cloud computing in IOT environment using hybrid swarm intelligence. IEEE Access. 2022;10:105877-86. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3211512
[8]. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Rab S, Suman R, Khan IH. Evolutionary trends in progressive cloud computing based healthcare: Ideas, enablers, and barriers. International Journal of Cognitive Computing in Engineering. 2022;3:124-35. https://doi.org/10.1016/j.ijcce.2022.06.001
[9]. Ahmadi Z, Haghi Kashani M, Nikravan M, Mahdipour E. Fog-based healthcare systems: A systematic review. Multimed Tools Appl 2021;80(30):36361-400. doi: 10.1007/s11042-021-11227-x
[10]. Arivazhagan C, Natarajan V, editors. A Survey on Fog computing paradigms, Challenges and Opportunities in IoT. 2020 international conference on communication and signal processing (ICCSP); 2020: Chennai, India: IEEE. doi: 10.1109/ICCSP48568.2020.9182229
[11]. Bonomi F, Milito R, Zhu J, Addepalli S. Fog computing and its role in the internet of things. Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing; 2012 Aug 17. Helsinki, Finland: ACM; 2012. doi:10.1145/2342509.2342513
[12]. Alemneh E, Senouci S-M, Brunet P, Tegegne T. A two-way trust management system for fog computing. Future Generation Computer Systems 2020;106:206-20. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.045
[13]. Kashani MH, Ahmadzadeh A, Mahdipour E. Load balancing mechanisms in fog computing: A systematic review. arXiv preprint arXiv:201114706. 2020. https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.14706
[14]. Rahimi M, Songhorabadi M, Kashani MH. Fog-based smart homes: A systematic review. Journal of Network and Computer Applications 2020;153:102531. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102531
[15]. Woo MW, Lee J, Park K. A reliable IoT system for personal healthcare devices. Future Generation Computer Systems. 2018;78(3):626-40. doi:10.1016/j.future.2017.04.004
[16]. Sodhro AH, Luo Z, Sangaiah AK, Baik SW. Mobile edge computing based QoS optimization in medical healthcare applications. International Journal of Information Management 2019;45:308-18. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.004
[17]. Tawalbeh LA, Muheidat F, Tawalbeh M, Quwaider M, Abd El-Latif AA. Edge enabled IoT system model for secure healthcare. Measurement 2022;191:110792. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110792
[18]. Medhi K, Ahmed N, Hussain MI. Dew-based offline computing architecture for healthcare IoT. ICT Express. 2022;8(3):371-8. https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.09.005
[19]. Abdelmoneem RM, Benslimane A, Shaaban E. Mobility-aware task scheduling in cloud-Fog IoT-based healthcare architectures. Computer Networks 2020;179:107348. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107348
[20]. Nagarajan SM, Deverajan GG, Chatterjee P, Alnumay W, Ghosh U. Effective task scheduling algorithm with deep learning for Internet of Health Things (IoHT) in sustainable smart cities. Sustainable Cities and Society 2021;71:102945. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102945
[21]. Poonia A, Ghosh S, Ghosh A, Nath S, Ghosh S, Buyya R. Confront: cloud-fog-dew based monitoring framework for covid-19 management. Internet Things 16: 100459. 2021. https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100459
[22]. Arul R, Alroobaea R, Tariq U, Almulihi AH, Alharithi FS, Shoaib U. IoT-enabled healthcare systems using block chain-dependent adaptable services. Personal and Ubiquitous Computing 2024;28(1):43-57. doi:10.1007/s00779-021-01584-7
[23]. Bharathi R, Abirami T, Dhanasekaran S, Gupta D, Khanna A, Elhoseny M, et al. Energy efficient clustering with disease diagnosis model for IoT based sustainable healthcare systems. Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2020;28:100453. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100453
[24]. Abirami S, Chitra P. Energy-efficient edge based real-time healthcare support system. Advances in computers. 117: Elsevier; 2020. p. 339-68.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[25]. Miah SJ, Camilleri E, Vu HQ. Big Data in healthcare research: a survey study. Journal of Computer Information Systems 2022;62(3):480-92. https://doi.org/10.1080/08874417.2020.1858727
[26]. Bandopadhaya S, Dey R, Suhag A. Integrated healthcare monitoring solutions for soldier using the internet of things with distributed computing. Sustainable Computing: Informatics and Systems 2020;26:100378. https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100378
[27]. Singh S, Rathore S, Alfarraj O, Tolba A, Yoon B. A framework for privacy-preservation of IoT healthcare data using Federated Learning and blockchain technology. Future Generation Computer Systems 2022;129:380-8. https://doi.org/10.1016/j.future.2021.11.028
[28]. Lv Z, Qiao L. Analysis of healthcare big data. Future Generation Computer Systems. 2020;109:103-10. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.03.039
[29]. Parikh DP, Dhanotiya A, Vetrivelan P. Blockchain-based secure IoT telemedicine system. Futuristic Communication and Network Technologies: Select Proceedings of VICFCNT 2020; 2022: Springer. https://doi.org/10.1016/j.future.2024.04.024
[30]. Saravanan M, Shubha R, Marks AM, Iyer V. SMEAD: A secured mobile enabled assisting device for diabetics monitoring. IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS); 2017 Dec 17-20; Bhubaneswar, India: IEEE; 2017. doi:10.1109/ANTS.2017.8384099
[31]. Wang S, Zhang D, Zhang Y. Blockchain-based personal health records sharing scheme with data integrity verifiable. IEEE Access. 2019;7:102887-901. doi:10.1109/ACCESS.2019.2931531
[32]. Parand FA, Tavakoligolpaygani A. Implementation of blockchain standards for compliance and trust in medical implants supply chain. Advances in the Standards & Applied Sciences 2022;1(1):1-7. doi:10.22034/asas.2022.352010.1007
[33]. Patan R, Ghantasala GP, Sekaran R, Gupta D, Ramachandran M. Smart healthcare and quality of service in IoT using grey filter convolutional based cyber physical system. Sustainable Cities and Society 2020;59:102141. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102141
[34]. Aghdam ZN, Rahmani AM, Hosseinzadeh M. The role of the Internet of Things in healthcare: Future trends and challenges. Comput Methods Programs Biomed 2021:199:105903. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105903
[35]. Strozzi F, Garagiola E, Trucco P. Analysing the attractiveness, availability and accessibility of healthcare providers via social network analysis (SNA). Decision Support Systems 2019;120:25-37. https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.03.007
[36]. Usak M, Kubiatko M, Shabbir MS, Viktorovna Dudnik O, Jermsittiparsert K, Rajabion L. Health care service delivery based on the Internet of things: A systematic and comprehensive study. International Journal of Communication Systems 2020;33(2):e4179. doi:10.1002/dac.4179
[37]. Pradhan B, Bhattacharyya S, Pal K. IoT-based applications in healthcare devices. J Healthc Eng 2021:2021:6632599. doi: 10.1155/2021/6632599
[38]. Kaye AD, Okeagu CN, Pham AD, Silva RA, Hurley JJ, Arron BL, et al. Economic impact of COVID-19 pandemic on healthcare facilities and systems: International perspectives. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2021;35(3):293-306. doi: 10.1016/j.bpa.2020.11.009
[39]. Keele S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical Report; 2007.
[40]. de Moura Costa H, da Costa C, da Rosa Righi R, Antunes R. Fog computing in health: A systematic literature review. Health and Technology 2020; 10(5): 1025–44. https://doi.org/10.15388/23-INFOR525
[41]. Bishoyi PK, Misra S. Enabling green mobile-edge computing for 5G-based healthcare applications. IEEE Transactions on Green Communications and Networking 2021;5(3):1623-31. doi: 10.1109/TGCN.2021.3075903
[42]. Verma P, Sood SK. Fog assisted-IoT enabled patient health monitoring in smart homes. IEEE Internet of Things Journal. 2018;5(3):1789-96. doi:10.1109/JIOT.2018.2803201
[43]. Gia TN, Rahmani AM, Westerlund T, Liljeberg P, Tenhunen H. Fog computing approach for mobility support in internet-of-things systems. IEEE Access 2018;6:36064-82. doi:10.1109/ACCESS.2018.2848119
[44]. Celdrán AH, Clemente FJG, Weimer J, Lee I. ICE++: improving security, QoS, and high availability of medical cyber-physical systems through mobile edge computing. 20th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom); 2018 Sep 17-20; Ostrava, Czech Republic: IEEE; 2018. doi: 10.1109/HealthCom.2018.8531185
[45]. Sigwele T, Hu YF, Ali M, Hou J, Susanto M, Fitriawan H. An intelligent edge computing based semantic gateway for healthcare systems interoperability and collaboration. 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud); 2018 Aug 6-8; IEEE; 2018. doi: 10.1109/FiCloud.2018.00060
[46]. Muhammed T, Mehmood R, Albeshri A, Katib I. UbeHealth: A personalized ubiquitous cloud and edge-enabled networked healthcare system for smart cities. IEEE Access 2018;6:32258-85. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2846609
[47]. Rahmani AM, Gia TN, Negash B, Anzanpour A, Azimi I, Jiang M, et al. Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. Future Generation Computer Systems 2018;78:641-58. https://doi.org/10.1016/j.future.2017.02.014
[48]. Chen M, Li W, Hao Y, Qian Y, Humar I. Edge cognitive computing based smart healthcare system. Future Generation Computer Systems 2018;86:403-11. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.054

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[49]. Shukla S, Hassan MF, Jung LT, Awang A. Architecture for latency reduction in healthcare internet-of-things using reinforcement learning and fuzzy based fog computing. InInternational Conference of Reliable Information and Communication Technology; 2018 Jun 23; Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 372-83. doi:10.1007/978-3-319-99007-1_36
[50]. Mahmud R, Koch FL, Buyya R. Cloud-fog interoperability in IoT-enabled healthcare solutions. Proceedings of the 19th International Conference on Distributed Computing and Networkin; 2018 Jun 4-7; New York, United States: Association for Computing Machinery; 2018. https://doi.org/10.1145/3154273.3154347
[51]. Gupta V, Singh Gill H, Singh P, Kaur R. An energy efficient fog-cloud based architecture for healthcare. Journal of Statistics and Management Systems 2018;21(4):529-37. doi:10.1080/09720510.2018.1466961
[52]. Zebin T, Scully PJ, Peek N, Casson AJ, Ozanyan KB. Design and implementation of a convolutional neural network on an edge computing smartphone for human activity recognition. IEEE Access 2019;7:133509-20. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941836
[53]. Shu C, Zhao Z, Min G, Chen S. Mobile edge aided data dissemination for wireless healthcare systems. IEEE Transactions on Computational Social Systems 2019;6(5):898-906. doi: 10.1109/TCSS.2019.2919097
[54]. Islam N, Faheem Y, Din IU, Talha M, Guizani M, Khalil M. A blockchain-based fog computing framework for activity recognition as an application to e-Healthcare services. Future Generation Computer Systems 2019;100:569-78. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.059
[55]. Anzanpour A, Rashid H, Rahmani AM, Jantsch A, Dutt N, Liljeberg P. Energy-efficient and reliable wearable Internet-of-Things through fog-assisted dynamic goal management. Procedia Computer Science 2019;151:493-500. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.067
[56]. Gia TN, Dhaou IB, Ali M, Rahmani AM, Westerlund T, Liljeberg P, et al. Energy efficient fog-assisted IoT system for monitoring diabetic patients with cardiovascular disease. Future Generation Computer Systems 2019;93:198-211. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.10.029
[57]. Alam MG, Munir MS, Uddin MZ, Alam MS, Dang TN, Hong CS. Edge-of-things computing framework for cost-effective provisioning of healthcare data. Journal of Parallel and Distributed Computing 2019;123:54-60. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.08.011
[58]. Vilela PH, Rodrigues JJ, Solic P, Saleem K, Furtado V. Performance evaluation of a Fog-assisted IoT solution for e-Health applications. Future Generation Computer Systems 2019;97:379-86. doi:10.1016/j.future.2019.02.055
[59]. Vora J, Kaneriya S, Tanwar S, Tyagi S, Kumar N, Obaidat MS. TILAA: Tactile internet-based ambient assistant living in fog environment. Future Generation Computer Systems 2019;98:635-49. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.01.035
[60]. Han T, Zhang L, Pirbhulal S, Wu W, de Albuquerque VH. A novel cluster head selection technique for edge-computing based IoMT systems. Computer Networks 2019;158:114-22. doi:10.1016/j.comnet.2019.04.021
[61]. Al-Zinati M, Al-Thebyan Q, Jararweh Y. An agent-based self-organizing model for large-scale biosurveillance systems using mobile edge computing. Simulation Modelling Practice and Theory 2019;93:65-86. doi:10.1016/j.simpat.2018.10.013
[62]. Alazeb A, Panda B. Ensuring data integrity in fog computing based health-care systems. In book: Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage; 2019. p. 63-77. doi:10.1007/978-3-030-24907-6_6
[63]. Shukla S, Hassan MF, Jung LT, Awang A, Khan MK. A 3-tier architecture for network latency reduction in healthcare internet-of-things using fog computing and machine learning. Proceedings of the 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications; 2019 Feb 19-21; New York: Association for Computing Machinery; 2019. https://doi.org/10.1145/3316615.3318222
[64]. Concone F, Re GL, Morana M. A fog-based application for human activity recognition using personal smart devices. ACM Transactions on Internet Technology 2019;19(2):1-20. https://doi.org/10.1145/3266142
[65]. Mehran N, Kimovski D, Prodan R, editors. MAPO: a multi-objective model for IoT application placement in a fog environment. Proceedings of the 9th International Conference on the Internet of Things; 2019 Oct 22-25. New York, United States: Association for Computing Machinery; 2019. https://doi.org/10.1145/3365871.3365892
[66]. Kharel J, Reda HT, Shin SY. Fog computing-based smart health monitoring system deploying lora wireless communication. IETE Technical Review 2019;36(2):69-82. doi:10.1080/02564602.2017.1406828
[67]. Bu F, Hu C, Zhang Q, Bai C, Yang LT, Baker T. A cloud-edge-aided incremental high-order possibilistic c-means algorithm for medical data clustering. IEEE Transactions on Fuzzy Systems 2020;29(1):148-55. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2020.3022080
[68]. Yuan X, Tian H, Wang H, Su H, Liu J, Taherkordi A. Edge-enabled wbans for efficient qos provisioning healthcare monitoring: A two-stage potential game-based computation offloading strategy. IEEE Access 2020;8:92718-30. doi:10.1109/ACCESS.2020.2992639
[69]. Li J, Cai J, Khan F, Rehman AU, Balasubramaniam V, Sun J, et al. A secured framework for sdn-based edge computing in IOT-enabled healthcare system. IEEE Access 2020;8:135479-90. doi:10.1109/ACCESS.2020.3011503

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[70]. Wang K, Shao Y, Xie L, Wu J, Guo S. Adaptive and fault-tolerant data processing in healthcare IoT based on fog computing. IEEE Transactions on Network Science and Engineering 2018;7(1):263-73. doi: 10.1109/TNSE.2018.2859307
[71]. Pustokhina IV, Pustokhin DA, Gupta D, Khanna A, Shankar K, Nguyen GN. An effective training scheme for deep neural network in edge computing enabled Internet of medical things (IoMT) Systems. IEEE Access 2020;8:107112-23. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000322
[72]. Lin D, Tang Y. Edge computing-based mobile health system: Network architecture and resource allocation. IEEE Systems Journal 2019;14(2):1716-27. doi:10.1177/1550147719861556
[73]. Saidi H, Labraoui N, Ari AA, Bouida D. Remote health monitoring system of elderly based on Fog to Cloud (F2C) computing. 2020 international conference on intelligent systems and computer vision (ISCV); 2020 Jun 9-11; Fez, Morocco: IEEE; 2020. doi: 10.1109/ISCV49265.2020.9204096
[74]. Luan L, Xiao W, Hwang K, Hossain MS, Muhammad G, Ghoneim A. MEMO box: health assistant for depression with medicine carrier and exercise adjustment driven by edge computing. IEEE Access. 2020;8:195568-77. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031725
[75]. Mukherjee A, De D, Ghosh SK. FogIoHT: A weighted majority game theory based energy-efficient delay-sensitive fog network for internet of health things. Internet of Things 2020;11:100181. https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100181
[76]. Bhatia M. Fog computing-inspired smart home framework for predictive veterinary healthcare. Microprocessors and Microsystems 2020;78:103227. https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103227
[77]. Singh P, Kaur R. An integrated fog and Artificial Intelligence smart health framework to predict and prevent COVID-19. Glob Transit 2020:2:283-92. doi: 10.1016/j.glt.2020.11.002
[78]. Verma P, Sood SK, Kaur H. A fog-cloud based cyber physical system for ulcerative colitis diagnosis and stage classification and management. Microprocessors and Microsystems 2020;72:102929. https://doi.org/10.1016/j.micpro.2019.102929
[79]. Hassen HB, Ayari N, Hamdi B. A home hospitalization system based on the Internet of things, Fog computing and cloud computing. Inform Med Unlocked 2020:20:100368. doi: 10.1016/j.imu.2020.100368
[80]. García-Valls M, Calva-Urrego C, García-Fornes A. Accelerating smart eHealth services execution at the fog computing infrastructure. Future Generation Computer Systems 2020;108:882-93. doi:10.1016/j.future.2018.07.001
[81]. Kesavan R, Arumugam S. Adaptive deep convolutional neural network-based secure integration of fog to cloud supported Internet of Things for health monitoring system. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies 2020;31(10):e4104. https://doi.org/10.1002/ett.4104
[82]. Wang L, Xu B, Cai H, Zhang P. Context-aware emergency detection method for edge computing-based healthcare monitoring system. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2022;33(6):e4128. https://doi.org/10.1002/ett.4128
[83]. Kallel A, Rekik M, Khemakhem M. IoT-fog-cloud based architecture for smart systems: Prototypes of autism and COVID-19 monitoring systems. Software: Practice and Experience 2021;51(1):91-116. https://doi.org/10.1002/spe.2924
[84]. Anzanpour A, Amiri D, Azimi I, Levorato M, Dutt N, Liljeberg P, et al. Edge-assisted control for healthcare internet of things: A case study on ppg-based early warning score. ACM Transactions on Internet of Things 2020;2(1):1-21. doi:10.1145/3407091
[85]. Hayyolalam V, Aloqaily M, Özkasap Ö, Guizani M. Edge intelligence for empowering IoT-based healthcare systems. IEEE Wireless Communications 2021;28(3):6-14. doi: 10.1109/MWC.001.2000345
[86]. Asghar A, Abbas A, Khattak HA, Khan SU. Fog based architecture and load balancing methodology for health monitoring systems. IEEE Access 2021;9:96189-200. doi:10.1109/ACCESS.2021.3094033
[87]. Zhang L, Cao B, Li Y, Peng M, Feng G. A multi-stage stochastic programming-based offloading policy for fog enabled IoT-eHealth. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2020;39(2):411-25. doi:10.1109/JSAC.2020.3020659
[88]. Aloi G, Fortino G, Gravina R, Pace P, Savaglio C. Simulation-driven platform for Edge-based AAL systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2020;39(2):446-62. doi:10.1109/JSAC.2020.3021544
[89]. Baek JW, Chung K. Multi-level health knowledge mining process in P2P edge network. IEEE Access. 2021;9:61623-34. doi:10.3233/978-1-61499-703-0-1019
[90]. Yadav R, Zhang W, Elgendy IA, Dong G, Shafiq M, Laghari AA, et al. Smart healthcare: RL-based task offloading scheme for edge-enable sensor networks. IEEE Sensors Journal. 2021;21(22):24910-8. doi:10.1109/JSEN.2021.3096245
[91]. Aazam M, Zeadally S, Flushing EF. Task offloading in edge computing for machine learning-based smart healthcare. Computer Networks 2021;191:108019. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108019
[92]. Subramanian RR, Vasudevan V. A deep genetic algorithm for human activity recognition leveraging fog computing frameworks. Journal of Visual Communication and Image Representation 2021;77:103132. https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2021.103132
[93]. Sood SK, Rawat KS. A fog assisted intelligent framework based on cyber physical system for safe evacuation in panic situations. Comput Commun 202:178:297-306. doi: 10.1016/j.comcom.2021.08.022

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[94]. Rathi VK, Rajput NK, Mishra S, Grover BA, Tiwari P, Jaiswal AK, et al. An edge AI-enabled IoT healthcare monitoring system for smart cities. Computers & Electrical Engineering 2021;96:107524. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107524
[95]. Lakhan A, Mohammed MA, Kozlov S, Rodrigues JJ. Mobile-fog-cloud assisted deep reinforcement learning and blockchain-enable IoMT system for healthcare workflows. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies 2024;35(4):e4363. **https://doi.org/10.1002/ett.4363**
[96]. Lakhan A, Mohammed MA, Rashid AN, Kadry S, Panityakul T, Abdulkareem KH, et al. Smart-contract aware ethereum and client-fog-cloud healthcare system. Sensors 2021;21(12):4093. doi:10.1080/09720529.2021.2020735
[97]. Al-Khafajiy M, Otoum S, Baker T, Asim M, Maamar Z, Aloqaily M, et al. Intelligent control and security of fog resources in healthcare systems via a cognitive fog model. ACM Transactions on Internet Technology 2021;21(3):1-23. https://doi.org/10.1145/3382770
[98]. Jyotsna, Nand P. Analysis of quality of service metrics and the security concerns in integrated cloud-fog environment for healthcare system. Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography 2021;24(8):2481-99. doi:10.1080/09720529.2021.2020735
[99]. Roy C, Saha R, Misra S, Niyato D. Soft-health: Software-defined fog architecture for IoT applications in healthcare. IEEE Internet of Things Journal 2021;9(3):2455-62. doi: 10.1109/JIOT.2021.3097554
[100]. Adhikary S, Ghosh A. e-BMI: a gait based smart remote BMI monitoring framework implementing edge computing and incremental machine learning. Smart Health 2022;24:100277. https://doi.org/10.1016/j.smhl.2022.100277
[101]. Chen M, Shen K, Wang R, Miao Y, Jiang Y, Hwang K, et al. Negative information measurement at AI edge: A new perspective for mental health monitoring. ACM Transactions on Internet Technology 2022;22(3):1-16. https://doi.org/10.1145/3471902
[102]. Lakhan A, Mastoi QU, Elhoseny M, Memon MS, Mohammed MA. Deep neural network-based application partitioning and scheduling for hospitals and medical enterprises using IoT assisted mobile fog cloud. Enterprise Information Systems 2022;16(7):1883122. doi:10.1080/17517575.2021.1883122
[103]. Abdellatif AA, Mohamed A, Chiasserini CF, Tlili M, Erbad A. Edge computing for smart health: Context-aware approaches, opportunities, and challenges. IEEE Network. 2019;33(3):196-203. https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.07311
[104]. Emam A, Abdellatif AA, Mohamed A, Harras KA, editors. Edgehealth: An energy-efficient edge-based remote mhealth monitoring system. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2019At: Marrakech, Morocco: IEEE; 2019. doi:10.1109/WCNC.2019.8885533
[105]. Asif-Ur-Rahman M, Afsana F, Mahmud M, Kaiser MS, Ahmed MR, Kaiwartya O, et al. Toward a heterogeneous mist, fog, and cloud-based framework for the internet of healthcare things. IEEE Internet of Things Journal. 2018;6(3):4049-62. doi: 10.1109/JIOT.2018.2876088
[106]. Abdellatif AA, Emam A, Chiasserini C-F, Mohamed A, Jaoua A, Ward R. Edge-based compression and classification for smart healthcare systems: Concept, implementation and evaluation. Expert Systems with Applications. 2019;117:1-14. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.019
[107]. Manocha A, Singh R, Verma P. An internet of things fog-assisted sleep-deprivation prediction framework for spinal cord injury patients. Computer 2020;53(2):46-56. doi:10.1109/MC.2019.2916829
[108]. Barua A, Dong C, Al-Turjman F, Yang X. Edge computing-based localization technique to detecting behavior of dementia. IEEE Access 2020;8:82108-19. doi:10.1109/ACCESS.2020.2988935
[109]. Jacob S, Alagirisamy M, Menon VG, Kumar BM, Jhanjhi N, Ponnusamy V, et al. An adaptive and flexible brain energized full body exoskeleton with IoT edge for assisting the paralyzed patients. IEEE Access 2020;8:100721-31. doi:10.1109/ACCESS.2020.2997727
[110]. Hosseini MP, Tran TX, Pompili D, Elisevich K, Soltanian-Zadeh H. Multimodal data analysis of epileptic EEG and rs-fMRI via deep learning and edge computing. Artificial Intelligence in Medicine 2020;104:101813. https://doi.org/10.1016/j.artmed.2020.101813
[111]. Vasconcelos FF, Sarmento RM, Reboucas Filho PP, de Albuquerque VH. Artificial intelligence techniques empowered edge-cloud architecture for brain CT image analysis. Engineering Applications of Artificial Intelligence 2020;91:103585. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103585
[112]. Nguyen DC, Pathirana PN, Ding M, Seneviratne A. BEdgeHealth: A decentralized architecture for edge-based IoMT networks using blockchain. IEEE Internet of Things Journal 2021;8(14):11743-57. doi: 10.1109/JIOT.2021.3058953
[113]. Asghar MA, Khan MJ, Shahid H, Shorfuzzaman M, Xiong NN, Mehmood RM. Semi-skipping layered gated unit and efficient network: hybrid deep feature selection method for edge computing in EEG-based emotion classification. IEEE Access 2021;9:13378-89.
[114]. Zhu X, Zhu Y, Li L, Pan S, Tariq MU, Jan MA. IoHT-enabled gliomas disease management using fog Computing computing for sustainable societies. Sustainable Cities and Society 2021;74(11):103215. doi:10.1016/j.scs.2021.103215
[115]. Sood SK, Rawat KS. Fog-assisted virtual reality-based learning framework to control panic. Expert Systems 2022;39(4):e12700. https://doi.org/10.1111/exsy.12700

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[116]. Singh J, Kad S, Singh PD. Implementing fog computing for detecting primary tumors using hybrid approach of data mining. Advances in Clean Energy Technologies: Select Proceedings of ICET 2020: Springer; 2021. p. 1067-80. doi:10.1007/978-981-16-0235-1_83
[117]. Jebbar Y, Promwongsa N, Belqasmi F, Glitho RH. A case study on the deployment of a tactile internet application in a hybrid cloud, edge, and mobile ad hoc cloud environment. IEEE Systems Journal 2021;16(1):1182-93. doi: 10.1109/JSYST.2021.3074095
[118]. Dhillon A, Singh A, Vohra H, Ellis C, Varghese B, Gill SS. IoTPulse: Machine learning-based enterprise health information system to predict alcohol addiction in Punjab (India) using IoT and fog computing. Enterprise Information Systems 2022;16(7):1820583. https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1820583
[119]. Gill SS, Arya RC, Wander GS, Buyya R. Fog-based smart healthcare as a big data and cloud service for heart patients using IoT. International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things; Springer; 2019. doi:10.1007/978-3-030-03146-6_161
[120]. Pace P, Aloi G, Gravina R, Caliciuri G, Fortino G, Liotta A. An edge-based architecture to support efficient applications for healthcare industry 4.0. IEEE Transactions on Industrial Informatics 2018;15(1):481-9. doi: 10.1109/TII.2018.2843169
[121]. Kanani P, Padole M, editors. Analyzing ECG waves in Fog Computing Environment using Raspberry Pi Cluster. 2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)(I-SMAC); 2020 Oct 7-9; Palladam, India: IEEE; 2020. doi: 10.1109/I-SMAC49090.2020.9243398
[122]. Liu X, Zhou P, Qiu T, Wu DO. Blockchain-enabled contextual online learning under local differential privacy for coronary heart disease diagnosis in mobile edge computing. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2020;24(8):2177-88. doi: 10.1109/JBHI.2020.2999497
[123]. Isa IS, El-Gorashi TE, Musa MO, Elmirghani JM. Energy efficient fog-based healthcare monitoring infrastructure. IEEE Access 2020;8:197828-52. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3033555
[124]. Tuli S, Basumatary N, Gill SS, Kahani M, Arya RC, Wander GS, et al. HealthFog: An ensemble deep learning based Smart Healthcare System for Automatic Diagnosis of Heart Diseases in integrated IoT and fog computing environments. Future Generation Computer Systems 2020;104:187-200. https://doi.org/10.1016/j.future.2019.10.043
[125]. Firouzi F, Farahani B, Panahi E, Barzegari M, editors. Task offloading for edge-fog-cloud interplay in the healthcare Internet of Things (IoT). 2021 IEEE International Conference On Omni-Layer Intelligent Systems (COINS); 202 Aug 23-25; Barcelona, Spain: IEEE; 2021. doi: 10.1109/COINS51742.2021.9524098
[126]. Cheikhrouhou O, Mahmud R, Zouari R, Ibrahim M, Zaguia A, Gia TN. One-dimensional CNN approach for ECG arrhythmia analysis in fog-cloud environments. IEEE Access 2021;9:103513-23. doi:10.1109/ACCESS.2021.3097751
[127]. Le-Anh T, Ngo-Van Q, Vo-Huy P, Huynh-Van D, Le-Trung Q. A container-based edge computing system for smart healthcare applications. International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems; 2021 Apr 22-23; Hanoi, Vietnam: Springer; 2021. doi:10.3390/s18124307
[128]. Verma P, Tiwari R, Hong WC, Upadhyay S, Yeh YH. FETCH: a deep learning-based fog computing and IoT integrated environment for healthcare monitoring and diagnosis. IEEE Access 2022;10:12548-63. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143793
[129]. Ahmed LJ, Anishfathima B, Gokulavasan B, Mahaboob M, editors. Fog-assisted real-time coronary heart disease risk detection in IOT-based healthcare system. 3rd EAI International Conference on Big Data Innovation for Sustainable Cognitive Computing. Springer; 2022.
[130]. Vijayakumar V, Malathi D, Subramaniyaswamy V, Saravanan P, Logesh R. Fog computing-based intelligent healthcare system for the detection and prevention of mosquito-borne diseases. Computers in Human Behavior 2019;100:275-85. https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.12.009Get rights and content
[131]. Rahman MA, Hossain MS, Alrajeh NA, Guizani N. B5G and explainable deep learning assisted healthcare vertical at the edge: COVID-I9 perspective. IEEE Network 2020;99:1-8. doi:10.1109/MNET.011.2000353
[132]. Rahman MA, Hossain MS. An internet-of-medical-things-enabled edge computing framework for tackling COVID-19. IEEE Internet of Things Journal 2021;8(21):15847-54. doi: 10.1109/JIOT.2021.3051080
[133]. Sood SK, Kaur A, Sood V. Energy efficient IoT-Fog based architectural paradigm for prevention of Dengue fever infection. Journal of Parallel and Distributed Computing 2021;150:46-59. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2020.12.002
[134]. Ghayvat H, Awais M, Gope P, Pandya S, Majumdar S. Recognizing suspect and predicting the spread of contagion based on mobile phone location data (counteract): a system of identifying covid-19 infectious and hazardous sites, detecting disease outbreaks based on the internet of things, edge computing, and artificial intelligence. Sustainable Cities and Society 2021;69:102798. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102798
[135]. Yassine A, Hossain MS. COVID-19 networking demand: An auction-based mechanism for automated selection of edge computing services. IEEE Transactions on Network Science and Engineering 2020;9(1):308-18. doi: 10.1109/TNSE.2020.3026637
[136]. Sood SK, Sood V, Mahajan I, Neelam S. Fog–cloud assisted IoT-based hierarchical approach for controlling dengue infection. The Computer Journal 2022;65(1):67-79. doi:10.1093/comjnl/bxaa005

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[137]. Sarabia-Jácome D, Usach R, Palau CE, Esteve M. Highly-efficient fog-based deep learning AAL fall detection system. Internet of Things 2020;11:100185. https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100185
[138]. Mrozek D, Koczur A, Małysiak-Mrozek B. Fall detection in older adults with mobile IoT devices and machine learning in the cloud and on the edge. Information Sciences 2020;537:132-47. https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.05.070
[139]. El Attaoui A, Largo S, Kaissari S, Benba A, Jilbab A, Bourouhou A. Machine learning-based edge-computing on a multi-level architecture of WSN and IoT for real-time fall detection. IET Wireless Sensor Systems 2020;10(6):320-32. https://doi.org/10.1049/iet-wss.2020.0091
[140]. Divya V, Sri RL. Docker-based intelligent fall detection using edge-fog cloud infrastructure. IEEE Internet of Things Journal 2020;8(10):8133-44. doi:10.1109/JIOT.2020.3042502
[141]. Mahmoud MM, Rodrigues JJ, Saleem K, Al-Muhtadi J, Kumar N, Korotaev V. Towards energy-aware fog-enabled cloud of things for healthcare. Computers & Electrical Engineering 2018;67:58-69. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.02.047
[142]. Hossain MA, Ferdousi R, Alhamid MF. Knowledge-driven machine learning based framework for early-stage disease risk prediction in edge environment. Journal of Parallel and Distributed Computing 2020;146:25-34. https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2020.07.003
[143]. Dar BK, Shah MA, Islam SU, Maple C, Mussadiq S, Khan S. Delay-aware accident detection and response system using fog computing. IEEE Access 2019;7:70975-85. doi:10.1109/ACCESS.2019.2910862
[144]. Butt TA. Context-aware cognitive disaster management using fog-based internet of things. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies 2022;33(8):e3646. https://doi.org/10.1002/ett.3646
[145]. Kaur A, Sood SK. Cloud-fog assisted energy efficient architectural paradigm for disaster evacuation. Information Systems. 2022;107(3):101732. doi:10.1016/j.is.2021.101732
[146]. Das J, Ghosh S, Mukherjee A, Ghosh SK, Buyya R. RESCUE: enabling green healthcare services using integrated IoT-edge-fog-cloud computing environments. Software: Practice and Experience. 2022;52(7):1615-42. **https://doi.org/10.1002/spe.3078**
[147]. Yang L, Li Z, Ma S, Yang X. Artificial intelligence image recognition based on 5G deep learning edge algorithm of Digestive endoscopy on medical construction. Alexandria Engineering Journal. 2022;61(4):1852-63. doi:10.1016/j.aej.2021.07.007
[148]. Tanwar S, Vora J, Kaneriya S, Tyagi S, Kumar N, Sharma V, et al. Human arthritis analysis in fog computing environment using Bayesian network classifier and thread protocol. IEEE Consumer Electronics Magazine 2019;9(1):88-94. doi: 10.1109/MCE.2019.2941456
[149]. Gupta A, Jain V, Hussain W, editors. A Fog–Cloud Computing-Inspired Image Processing-Based Framework for Lung Cancer Diagnosis Using Deep Learning. Intelligent Systems: Proceedings of SCIS; Springer; 2021. doi:10.1007/978-981-16-2248-9_3
[150]. Moreira MW, Rodrigues JJ, Furtado V, Kumar N, Korotaev VV. Averaged one-dependence estimators on edge devices for smart pregnancy data analysis. Computers & Electrical Engineering 2019;77:435-44. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.07.041
[151]. Figueiredo AS. Data sharing: convert challenges into opportunities. Front Public Health 2017:5:327. doi: 10.3389/fpubh.2017.00327
[152]. Islam J, Kumar T, Kovacevic I, Harjula E. Resource-aware dynamic service deployment for local iot edge computing: Healthcare use case. IEEE Access 2021;9:115868-84. doi:10.1109/ACCESS.2021.3102867
[153]. Sood SK, Mahajan I. A fog-based healthcare framework for chikungunya. IEEE Internet of Things Journal 2017;5(2):794-801. doi**:** 10.1109/JIOT.2017.2768407
[154]. Sood SK, Mahajan I. Fog-cloud based cyber-physical system for distinguishing, detecting and preventing mosquito borne diseases. Future Generation Computer Systems 2018;88:764-75. https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.008
[155]. Sacco A, Esposito F, Marchetto G, Kolar G, Schwetye K. On edge computing for remote pathology consultations and computations. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2020;24(9):2523-34. doi: 10.1109/JBHI.2020.3007661
[156]. Parand FA, Tavakoli-Golpaygani A, Rezvani F. Medical device risk assessment based on ordered weighted averaging aggregation operator. J Biomed Phys Eng 2021;11(5):621-8.
[157]. Li FL, Horkoff J, Mylopoulos J, Guizzardi RS, Guizzardi G, Borgida A, et al. Non-functional requirements as qualities, with a spice of ontology. IEEE 22nd International Requirements Engineering Conference (RE); 2014 Aug 25-29; Karlskrona, Sweden: IEEE; 2014. doi: 10.1109/RE.2014.6912271
[158]. Zhang X, Wang X. Tradeoff analysis for conflicting software non-functional requirements. IEEE Access. 2019;7:156463-75. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949218
[159]. Perry DE, Wolf AL. Foundations for the study of software architecture. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes 1992;17(4):40-52. https://doi.org/10.1145/141874.141884
[160]. Wang L, Xu B, Cai H, Zhang P. Context-aware emergency detection method for edge computing-based healthcare monitoring system. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies 2022;33(6):e4128. https://doi.org/10.1002/ett.4128

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]

[161]. Alseelawi NS, Adnan EK, Hazim HT, Alrikabi H, Nasser K. Design and implementation of an e-learning platform using N-TIER architecture. International Journal of Interactive Mobile Technologies 2020; 14(6): 171–85.
[162]. Niknejad N, Ismail W, Ghani I, Nazari B, Bahari M, Hussin AR. Understanding Service-Oriented Architecture (SOA): A systematic literature review and directions for further investigation. Information Systems 2020;91:101491. https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101491
[163]. Quy VK, Hau NV, Anh DV, Ngoc LA. Smart healthcare IoT applications based on fog computing: architecture, applications and challenges. Complex & Intelligent Systems 2022;8(5):3805-15. doi:10.1007/s40747-021-00582-9
[164]. Sworna NS, Islam AM, Shatabda S, Islam S. Towards development of IoT-ML driven healthcare systems: A survey. Journal of Network and Computer Applications 2021;196:103244. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103244
[165]. Pine KH, Chen Y. Right information, right time, right place: Physical alignment and misalignment in healthcare practice. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems; 2020 Apr 25-30; New YorkNY, United States: Association for Computing Machinery; 2020. p. 1-12. https://doi.org/10.1145/3313831.3376818
[166]. Carbonaro A, Piccinini F, Reda R. Integrating heterogeneous data of healthcare devices to enable domain data management. Journal of e-Learning and Knowledge Society 2018;14(1). https://doi.org/10.20368/1971-8829/1450
[167]. Othman SB, Almalki FA, Chakraborty C, Sakli H. Privacy-preserving aware data aggregation for IoT-based healthcare with green computing technologies. Computers and Electrical Engineering 2022;101:108025. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108025
[168]. Akila A, Parameswari R, Jayakumari C. Big data in healthcare: Management, analysis, and future prospects. Handbook of Intelligent Healthcare Analytics: Knowledge Engineering with Big Data Analytics 2022:309-26. doi:10.1186/s40537-019-0217-0
[169]. Pathinarupothi RK, Durga P, Rangan ES. IoT-based smart edge for global health: Remote monitoring with severity detection and alerts transmission. IEEE Internet of things Journal 2018;6(2):2449-62. doi: 10.1109/JIOT.2018.2870068
[170]. Tabor KM, Holland MB. Opportunities for improving conservation early warning and alert systems. Remote Sensing in Ecology and Conservation 2021;7(1):7-17. https://doi.org/10.1002/rse2.163
[171]. Xu Y, Wilson K. Early Alert Systems During a Pandemic: A Simulation Study on the Impact of Concept Drift. 11th International Learning Analytics and Knowledge Conference; 2021 Apr 12-16; New YorkNY, United States: Association for Computing Machinery; 2021. p. 504 - 10. https://doi.org/10.1145/3448139.344819
[172]. Ameller D, Burgués X, Costal D, Farré C, Franch X. Non-functional requirements in model-driven development of service-oriented architectures. Science of Computer Programming 2018;168:18-37. https://doi.org/10.1016/j.scico.2018.08.001
[173]. Richards M, Ford N. Fundamentals of software architecture: an engineering approach. O'Reilly Media; 2020.
[174]. Kimovski D, Mehran N, Kerth CE, Prodan R. Mobility-Aware IoT Application Placement in the Cloud–Edge Continuum. IEEE Transactions on Services Computing 2021;15(6):3358-71. doi:10.1109/TSC.2021.3094322
[175]. Eslami M, Sakhaei-nia M, editors. A novel service deployment policy in fog computing considering the degree of availability and fog landscape utilization using multiobjective evolutionary algorithms. 12th International Conference on Information and Knowledge Technology (IKT); https://doi.org/10.1109/IKT54664.2021.9685175

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-05-19]
[DOI: 10.34172/jhbmi.2025.18]