

Petri net-based modeling for proposed telemedicine system¹

Talachian M.², Radfar R.³, Pilevari N.⁴, Akhavan P.⁵

Abstract

Introduction: Telemedicine, as a growing field, has the potential to fundamentally transform healthcare delivery.

Objective: The present study proposes a novel architecture combining IoT data collection systems, decision support systems, and expert physician collaboration to address the challenges in telemedicine and improve the quality of patient identification and treatment.

Methods: The proposed architecture enables data integration and simultaneous analysis, and by using Petri nets as a formal modeling tool, it enables system performance and feasibility analysis in complex and real environments and optimizes treatment processes. The proposed model was modeled using CPN Tools software and its performance was evaluated by a panel of experts using a structured Delphi approach, which confirms the results of the feasibility analysis and efficiency of the proposed system. In this regard, with a purposive sampling approach, 12 experts were selected and with the groupthink approach of the expert panel, after identifying six qualitative indicators (data integrity, data quality and security, analysis capability, accuracy and flexibility, general understanding of the model, model innovation, and implementation capability) by designing a closed questionnaire (containing 28 questions), the experts' attitudes were collected and analyzed with the Delphi method approach.

Results: The results of the Delphi method indicate that the data integrity index has the highest weight with an average of 4.01 and the model innovation index has the lowest weight with an average of 3.63.

Conclusion: The expert panel and Delphi methods accept the validation and efficiency of the proposed system from the total evaluation indicators.

Keywords: Telemedicine, Petri Net Modeling, CPN Tools Software, Expert Panel Method and Delphi.

1- **Cite this article:** Talachian, Maryam; Radfar, Reza; Pilevari, Nazanin; Akhavan, Peyman (2026). Petri net-based modeling for proposed telemedicine system. *Health Management*, 17(1): 85-102.

2- Phd student, Faculty of Management and Economics, RSC., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Professor of Industrial Management, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (Corresponding author), Email: r.radfar@srbiau.ac.ir

4- Associate Professor, Department of Industrial Management, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

5- Professor, Department of Industrial Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran.

مدل سازی مبتنی بر شبکه های پتری برای معماری سیستم پزشکی از راه دور پیشنهاد شده^۱

مریم طلاچیان^۲/ رضا رادفر^۳/ نازنین پیله وری^۴/ پیمان اخوان^۵

چکیده

مقدمه: پزشکی از راه دور، به عنوان یک حوزه در حال رشد، پتانسیل تحول اساسی در ارائه خدمات بهداشتی را داراست. پژوهش پیش روی، با هدف رفع چالش های موجود در پزشکی از راه دور و بهبود کیفیت شناسایی و درمان بیماران، معماری نوینی، از ترکیب سامانه های گردآوری داده های اینترنت اشیا، سامانه های پشتیبان تصمیم گیری و همکاری پزشک های خبره، پیشنهاد می دهد.

روش پژوهش: معماری پیشنهادی، امکان یکپارچه سازی داده ها و تحلیل همزمان را فراهم نموده و با استفاده از شبکه های پتری به عنوان ابزار مدل سازی رسمی، امکان تحلیل عملکرد و قابلیت اجرایی سیستم را در محیط های پیچیده و واقعی و بهینه سازی فرآیندهای درمانی فراهم می آورد. مدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار CPN Tools مدل سازی و عملکرد آن توسط پنل خبرگان و با رویکرد ساختاریافته ی دلفی مورد ارزیابی قرار گرفت، که نتایج تحلیل امکان سنجی و کارایی سیستم پیشنهادی را تأیید می کند.

یافته ها: در این راستا، با رویکرد نمونه گیری هدفمند، تعداد ۱۲ نفر از خبرگان انتخاب و با رویکرد اندیشه ی گروهی پنل خبرگان، پس از شناسایی شش شاخص کیفی (یکپارچگی داده ها، کیفیت و امنیت داده ها، قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف پذیری، درک کلی مدل، نوآوری مدل و قابلیت اجرایی) با طرح ریزی یک پرسش نامه ی بسته (برگیرنده ی ۲۸ سوال)، نگرش خبرگان جمع آوری و با رویکرد شیوه ی دلفی، تجزیه و تحلیل شد.

نتایج: نتایج شیوه ی دلفی نمایان گر بیش ترین وزن با میانگین ۴،۰۱ به شاخص یکپارچگی داده ها و کم ترین وزن با میانگین ۳،۶۳ به شاخص نوآوری مدل، است. شیوه ی پنل خبرگان و دلفی، اعتبارسنجی و کارآمدی سیستم پیشنهادی را از مجموع شاخص های ارزش سنجی، پذیرش می کند. یافته ها نشان می دهند که رویکرد ارائه شده می تواند تحلیل دقیق تری از سناریوهای آینده پزشکی از راه دور فراهم کند و از تصمیم گیری مؤثرتر در طراحی سیاست ها و خدمات سلامت پشتیبانی کند.

کلید واژه ها: پزشکی از راه دور، مدل سازی پتری نت، نرم افزار CPN Tools، شیوه ی پنل خبرگان و دلفی.

۱- استناد به این مقاله: طلاچیان، مریم؛ رادفر، رضا؛ پیله وری، نازنین؛ اخوان، پیمان (۱۴۰۵). مدل سازی مبتنی بر شبکه های پتری برای معماری سیستم پزشکی از راه دور پیشنهاد شده. مدیریت بهداشت و درمان، ۱۷(۱): ۸۵-۱۰۲.

۲- دانشجوی دکترای مدیریت فناوری اطلاعات، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استاد مدیریت صنعتی، واحد علوم تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (نویسنده مسئول). پست الکترونیک: r.radfar@srbiau.ac.ir

۴- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- استاد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

مقدمه

با گسترش نیاز به دسترسی سریع، ایمن و پایدار به خدمات درمانی، پزشکی از راه دور به عنوان راهکاری فناورانه برای رفع چالش‌های موجود در نظام سلامت مطرح شده است.

پزشکی از راه دور، به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های سلامت دیجیتال، نقش چشم‌گیری در ارتقای دسترسی به خدمات درمانی ایفا می‌کند. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که توسعه فناوری‌های ارتباطی پیشرفته، از جمله شبکه‌های پرسرعت و سیستم‌های هوشمند، نقش کلیدی در ارتقای عملکرد سامانه‌های پزشکی از راه دور ایفا کرده‌اند [۱]. این فناوری با حذف محدودیت‌های مکانی و زمانی، امکان ارائه خدمات پزشکی به بیماران را بدون نیاز به مراجعه حضوری فراهم می‌سازد. در بحران‌هایی نظیر همه‌گیری کووید-۱۹، استفاده از سامانه‌های پزشکی از راه دور رشد چشم‌گیری داشت و توانست فشار بر مراکز درمانی را کاهش دهد و ارتباط ایمن بین بیمار و پزشک ایجاد کند [۲].

با وجود رشد سریع فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا^۱، یادگیری ماشین، شبکه‌های ۵G و رایانش ابری، بسیاری از سامانه‌های پزشکی از راه دور همچنان با چالش‌هایی اساسی مواجه‌اند. از جمله این چالش‌ها می‌توان به عدم یکپارچگی داده‌ها، ناتوانی در تحلیل دقیق جریان‌های فرآیندی، نبود ارزیابی رسمی عملکرد سیستم، و وابستگی بیش از حد به تعامل مستقیم بیمار و پزشک اشاره کرد [۳].

پژوهش حاضر در راستای پاسخ به این خلأها، معماری‌ای نوین برای سامانه پزشکی از راه دور پیشنهاد می‌دهد. این معماری بر پایه سه مؤلفه طراحی شده است: (۱) گردآوری داده‌های بیمار از طریق سامانه‌های اینترنت اشیا، (۲) پردازش و تحلیل داده‌ها توسط سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، و (۳) مشارکت پزشکان خبره در تصمیم‌گیری نهایی [۴]. در

تحقیقات خود نشان داد که استفاده از ابزارهای مدل‌سازی رسمی مانند شبکه‌های پتری^۲ می‌تواند فرآیندهای پیچیده را به صورت دقیق و قابل تحلیل نمایش دهد.

نوآوری اصلی این پژوهش در به کارگیری مدل‌سازی رسمی با شبکه‌های پتری در معماری سامانه سلامت است. در بیشتر مطالعات پیشین، تحلیل سیستم‌های پزشکی از راه دور محدود به توصیف مفهومی یا شبیه‌سازی ساده بوده است. درحالی‌که استفاده از Petri Net این امکان را فراهم می‌کند که رفتار سیستم، روابط داخلی، و شرایط اجرا به طور دقیق ارزیابی شود. علاوه بر این، مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار CPN Tools پیاده‌سازی و شبیه‌سازی شده و با بهره‌گیری از روش دلفی و پنل خبرگان مورد اعتبارسنجی کیفی قرار گرفته است [۵].

در فرآیند ارزیابی، ۱۲ نفر از خبرگان حوزه فناوری اطلاعات سلامت با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. پس از طراحی پرسش‌نامه‌ای بسته شامل ۲۸ گویه، شش شاخص کیفی شامل یکپارچگی داده‌ها، کیفیت و امنیت داده‌ها، قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف‌پذیری، درک کلی مدل، نوآوری مدل و قابلیت اجرایی، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که شاخص یکپارچگی داده‌ها بالاترین میانگین (۴,۰۱) و نوآوری مدل پایین‌ترین میانگین (۳,۶۳) را دارا بود. این کاهش ممکن است ناشی از آشنایی کمتر برخی از ارزیابان با روش‌های مدل‌سازی رسمی باشد که در سایر پژوهش‌های فناورانه حوزه سلامت نیز به عنوان مانعی در پذیرش نوآوری گزارش شده است [۵].

شیوه‌ی پژوهش: پژوهش حاضر از نوع کاربردی-توسعه‌ای و با رویکرد کیفی انجام شده است. هدف اصلی، طراحی و اعتبارسنجی معماری‌ای نوین برای سامانه پزشکی از راه دور است که قابلیت تحلیل

² Petri Net

¹ IoT

هم‌زمان، تعامل چندمنظوره و مدل‌سازی رسمی را دارا باشد.

در گام نخست، معماری مفهومی سامانه شامل اجزای گردآوری داده‌های اینترنت اشیا، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری و تعامل با پزشکان خبره طراحی شد. سپس این معماری با استفاده از شبکه‌های پتری در نرم‌افزار CPN Tools نسخه ۴,۰,۱ مدل‌سازی گردید [۴].

برای ارزیابی عملکرد و اعتبار مدل پیشنهادی، از روش دلفی با مشارکت ۱۲ نفر از خبرگان حوزه فناوری سلامت استفاده شد. ابتدا با استفاده از تحلیل نوشتارهای مرتبط و جلسات گروهی، شش شاخص کیفی استخراج شد (یکپارچگی داده‌ها، کیفیت و امنیت، تحلیل پذیری، دقت و انعطاف‌پذیری، درک‌پذیری مدل، و نوآوری). سپس پرسش‌نامه‌ای بسته با ۲۸ گویه طراحی و در دو مرحله تحلیل شد.

برای تحلیل هم‌نگری میان نظرات پنل خبرگان، از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SPSS 24 انجام گرفت [۶]. نتایج، اعتبار ساختاری مدل و کفایت شاخص‌ها را تأیید کردند. وجه تمایز و نوآوری این روش پژوهش در استفاده هم‌زمان از مدل‌سازی رسمی با شبکه‌های پتری و ارزیابی ساختارمند کیفی (دلفی و پنل خبرگان) نهفته است. در حالی که بسیاری از مطالعات پیشین در حوزه پزشکی از راه دور صرفاً به طراحی مفهومی یا شبیه‌سازی‌های سطحی بسنده کرده‌اند، در این پژوهش با استفاده از ابزار رسمی CPN Tools، ساختار و رفتار سامانه به‌صورت دقیق مدل‌سازی و تحلیل شده است. این تحلیل رسمی، در کنار اعتبارسنجی کیفی مبتنی بر شاخص‌های مشخص، موجب ارتقای دقت و قابلیت اعتماد به معماری پیشنهادی می‌گردد و آن را از بسیاری از نمونه‌های مشابه متمایز می‌سازد [۴].

آینده‌پژوهی (آینده‌نگاری)^۱: از دهه ۱۹۹۰، کشورهای پیشرو مانند بریتانیا به استفاده از رویکردهای آینده‌پژوهی برای ارتقای فرآیند سیاست‌گذاری توجه جدی نشان دادند. دولت تونی بلر در آن زمان، آینده‌پژوهی را مکملی برای سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد دانست که می‌تواند ابزارهایی برای پیش‌بینی روندهای آتی و مواجهه با عدم قطعیت‌ها فراهم آورد [۷]. این رویکرد بعدها به‌عنوان بخشی از «سیاست‌گذاری پیش‌نگر» توسعه یافت، اما تحلیل‌گران تأکید دارند که نمی‌توان شواهد گذشته را مستقیماً به پیش‌بینی آینده تعمیم داد [۸].

آینده‌پژوهی را می‌توان به‌عنوان یک فرآیند ساختاریافته، نظام‌مند و مشارکتی تعریف کرد که با بهره‌گیری از دیدگاه ذی‌نفعان و خبرگان، در تلاش است چشم‌اندازهای محتمل آینده، ریسک‌ها، فرصت‌ها و پیامدهای بلندمدت را شناسایی و تحلیل کند [۹]. این فرآیند، ترکیبی از تحلیل‌های کیفی، سناریوپردازی، روش دلفی و تکنیک‌های مشارکتی را به کار می‌گیرد تا سازمان‌ها را در تصمیم‌گیری‌های پایدارتر یاری دهد. در این پژوهش، آینده‌پژوهی نقش چارچوبی دارد که از طریق بهره‌گیری از پنل خبرگان و روش دلفی، امکان استخراج، پالایش و اولویت‌بندی شاخص‌های کیفی مرتبط با معماری پیشنهادی را فراهم کرده است. این فرایند در مرحله تحلیل مدل، به‌عنوان ابزار کلیدی در ارتقای اعتبار و جامعیت ارزیابی به کار گرفته شده است.

شیوه‌ی دلفی^۲: روش دلفی یکی از رایج‌ترین ابزارهای آینده‌پژوهی برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت و مبتنی بر دیدگاه خبرگان است. این روش به‌ویژه در پژوهش‌های کیفی، به‌دلیل توانایی در گردآوری نظام‌مند تجربیات و تحلیل توافق میان متخصصان، کاربرد فراوان دارد. در پژوهش‌های کیفی

¹Futures Studies

²Delphi

با موضوعات پیچیده، مانند سلامت، دلفی جایگاهی برجسته و اثربخش دارد [۱۰].

دلفی فرآیندی ساختاریافته برای گردآوری، پالایش و اولویت‌بندی نظرات گروهی از خبرگان است که به‌طور ناشناس و از طریق پرسش‌نامه‌های چندمرحله‌ای صورت می‌گیرد [۶].

مزیت اصلی روش دلفی این است که امکان جمع‌آوری و هم‌سنگی نظرات مستقل خبرگان را بدون نیاز به جلسات گروهی حضوری فراهم می‌کند. در این فرایند، پاسخ‌دهندگان به‌صورت ناشناس در چند مرحله به پرسش‌نامه پاسخ می‌دهند. پس از هر مرحله، خلاصه‌ای از پاسخ‌ها تهیه شده و برای بازبینی در اختیار آن‌ها قرار می‌گیرد. این تکرار تدریجی باعث می‌شود نظرات به‌صورت گام‌به‌گام به سمت توافق علمی^۱ نزدیک شوند [۶].

در این پژوهش، از روش دلفی برای اعتبارسنجی شاخص‌های کیفی معماری پیشنهادی استفاده شد. ساختار اجرایی این فرایند شامل انتخاب هدفمند ۱۲ نفر از خبرگان، طراحی پرسش‌نامه‌ی بسته در دو مرحله، تحلیل میانگین‌ها، بررسی میزان توافق با ضریب کندال و نهایی‌سازی شاخص‌ها بود. این ساختار کمک کرد تا توافق مناسبی میان دیدگاه‌های تخصصی حاصل شود و چارچوب ارزیابی به لحاظ علمی تقویت گردد.

پنل خبرگان:^۲ پنل خبرگان به گروهی از متخصصان با تجربه در حوزه موضوعی پژوهش اطلاق می‌شود که دیدگاه آن‌ها برای تصمیم‌گیری و ارزیابی در مسائل پیچیده به‌کار گرفته می‌شود. در این پژوهش، پنل خبرگان به‌عنوان بخشی از فرایند ارزیابی کیفی مدل پیشنهادی، جهت شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌ها و تحلیل اعتبار مدل مورد استفاده قرار گرفت [۱۰].

در چارچوب این روش، ابتدا ۱۴ نفر از متخصصان فناوری اطلاعات سلامت شناسایی شدند. پس از بررسی تخصص، سوابق علمی و تجربی، در نهایت ۱۲

نفر به‌عنوان اعضای پنل نهایی انتخاب شدند. انتخاب این افراد با رویکرد نمونه‌گیری هدفمند^۳ انجام شد، که یکی از روش‌های معتبر در پژوهش‌های کیفی برای انتخاب مشارکت‌کنندگانی با بیشترین آگاهی و تجربه نسبت به موضوع مطالعه است [۱۱]. اعضای منتخب دارای مدارک تحصیلی کارشناسی، کارشناسی‌ارشد و دکتری در حوزه‌های مرتبط، با میانگین سنی ۴۳٫۹ سال و میانگین سابقه کاری ۱۹٫۷ سال بودند.

طی جلسات هم‌فکری اولیه، شاخص‌های کیفی اولیه شناسایی شدند و پرسش‌نامه اولیه طراحی گردید. پس از تحلیل نتایج مرحله اول و انجام بازنگری گروهی، پرسش‌نامه نهایی در قالب ۲۸ گویه و ۶ شاخص نهایی‌سازی شد. اعضای پنل نقش کلیدی در تعریف، اصلاح و ارزیابی این شاخص‌ها ایفا کردند. مشارکت فعال آن‌ها موجب شد ساختار نهایی پرسش‌نامه از اعتبار محتوایی و انسجام مفهومی قابل قبولی برخوردار باشد.

کارهای مرتبط

مطالعات و پژوهش‌های متعددی در زمینه سلامت دیجیتال و پزشکی از راه دور انجام شده که هرکدام با تمرکز بر ابعاد خاصی مانند زیرساخت‌های ارتباطی، تحلیل داده، امنیت اطلاعات، و یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، به ارائه راهکارهایی برای بهبود عملکرد این حوزه پرداخته‌اند. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، یادگیری ماشین، بلاک‌چین، رایانش ابری و شبکه‌های 5G از جمله محورهای اصلی در این مطالعات بوده‌اند که نقش آن‌ها در توسعه معماری‌های نوین پزشکی از راه دور مورد بررسی قرار گرفته است.

در مطالعه‌ای مروری، روند پیشرفت معماری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا برای کاربردهای پزشکی از راه دور، به‌صورت نظام‌مند تحلیل شده است. در این مطالعه، ساختارهای مختلف معماری اینترنت اشیا و نقش آن‌ها در ارتقای کیفیت خدمات پزشکی از راه دور تبیین

¹ consensus

²Expert Panel

³ Purposeful Sampling

شده‌اند [۱۲]. همچنین در پژوهشی دیگر، تأثیر سیر تکامل فناوری‌های ارتباطی از GSM به 5G و نقش آن در تسهیل پوشش همگانی سلامت بررسی شده و نشان داده شده است که سرعت بالا، تأخیر پایین و پوشش گسترده شبکه‌های 5G زیرساخت مناسبی برای توسعه سیستم‌های درمانی هوشمند فراهم می‌آورد [۱۳].

در مطالعه‌ای جدیدتر، ظرفیت فناوری‌های نوین از جمله هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در افزایش کارایی پزشکی از راه دور و دسترسی به خدمات در مناطق کم‌برخوردار ارزیابی شده است. این تحقیق نشان داده است که ترکیب این فناوری‌ها می‌تواند محدودیت‌های موجود در زیرساخت، نیروی انسانی و منابع مالی را در کشورهای در حال توسعه کاهش دهد [۵]. در پژوهشی دیگر نیز، کاربردهای اصلی پزشکی از راه دور و موانع پذیرش آن توسط بیماران و پزشکان شناسایی شده است. نویسندگان این تحقیق بر این باورند که انتقال دقیق اطلاعات بالینی و تاریخچه پزشکی از طریق کانال‌های صوتی و تصویری با کیفیت، لازمه اثربخشی سامانه‌های پزشکی از راه دور است [۱۴].

در همین راستا، استفاده از فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین برای ارتقای امنیت، و بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل داده‌های کلان، در برخی پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۱۵، ۱۴]. به‌عنوان نمونه، در مطالعه‌ای یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری بالینی مبتنی بر اینترنت اشیا و رایانش ابری معرفی شده است که با ترکیب 5G و بلاک‌چین، داده‌های بیماران را به‌صورت ایمن ذخیره و تحلیل کرده و شدت بیماری را پیش‌بینی می‌کند [۱۵].

علاوه بر این، بررسی‌های دیگری نیز به کاربرد تلفن‌های هوشمند، سنسورهای پوشیدنی، و الگوریتم‌های بهینه‌سازی در سامانه‌های پزشکی از راه دور پرداخته‌اند. در یکی از این مطالعات، با معرفی یک پروتکل فشرده‌سازی جدید مبتنی بر طبقه‌بندی‌کننده KNN، انتقال داده‌ها در بستر 5G با دقت و کارایی

بیشتری انجام شده است [۱۶]. پژوهش دیگری نیز نقش شبکه‌های اجتماعی در آموزش بیمار، ارتقای سواد سلامت و تسهیل ارتباط پزشک-بیمار در محیط‌های مجازی را بررسی کرده است [۱۷]. همچنین در برخی مطالعات اخیر، کاربرد فناوری‌های نوظهوری مانند واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و گجت‌های پوشیدنی در ترسیم چشم‌انداز آینده پزشکی از راه دور تحلیل شده است [۱۸].

به‌طور کلی، پژوهش‌هایی مانند مطالعه سلیمان و آدینویی (۲۰۲۳) نشان می‌دهند که بهره‌گیری هم‌زمان از فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، شبکه‌های نسل پنجم، رایانش ابری و ابزارهای هوشمند می‌تواند ستون فقرات تحول در نظام پزشکی از راه دور را شکل دهد [۱۹].

با وجود این تلاش‌ها، بسیاری از سامانه‌های طراحی‌شده در مطالعات پیشین دارای محدودیت‌هایی هستند که عمدتاً به نبود ساختار رسمی برای تحلیل فرآیندها، یکپارچگی پایین داده‌ها، و تحلیل ناپیوسته اطلاعات بالینی مربوط می‌شود. برای نمونه، در مطالعه‌ای از اینترنت اشیا برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده، اما به‌دلیل ذخیره‌سازی پراکنده داده‌ها در پایگاه‌های مختلف، امکان تحلیل هم‌زمان و یکپارچه اطلاعات فراهم نشده است [۲۰]. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، از معماری‌های ساده‌ای مبتنی بر ارتباط مستقیم پزشک و بیمار استفاده شده است، بدون آن‌که ساختار کاری سامانه به‌صورت مدل‌سازی شده و قابل تحلیل ارائه گردد [۳].

در این میان، پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف‌ها، یک معماری نوآورانه مبتنی بر مدل‌سازی رسمی با استفاده از شبکه‌های پتری ارائه می‌دهد. این معماری با ترکیب داده‌های حاصل از دستگاه‌های اینترنت اشیا، سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری، و نظرات پزشکان خبره، قابلیت تحلیل هم‌زمان و دقیق فرآیندها را فراهم می‌سازد. به‌کارگیری شبکه‌های پتری به‌عنوان ابزار مدل‌سازی رسمی، امکان شبیه‌سازی رفتار سیستم، جریان‌های داخلی و شرایط اجرای واقعی را

فراهم کرده و ساختار سامانه را از سطح مفهومی به سطح اجرایی قابل تحلیل ارتقاء می‌دهد. همچنین، اعتبار مدل پیشنهادی با استفاده از روش دلفی و ارزیابی توسط پنل خبرگان، از منظر شش شاخص کیفی تأیید شده است؛ امری که در بسیاری از مطالعات پیشین مورد غفلت قرار گرفته بود.

مزیت و چالش‌های پزشکی از راه دور

پزشکی از راه دور به‌عنوان ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی و تبادل اطلاعات بالینی از طریق فناوری‌های ارتباطی نوین، نقش مهمی در تحول نظام سلامت ایفا می‌کند. این فناوری امکان ارائه خدمات تخصصی را بدون نیاز به حضور فیزیکی بیمار و پزشک فراهم کرده و موجب گسترش دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی در مناطق محروم و دورافتاده شده است [۲]. از مهم‌ترین مزایای این رویکرد می‌توان به تشخیص به‌موقع بیماری، کاهش زمان واکنش در شرایط اضطراری، ارتقاء رضایت بیماران، کاهش نیاز به مراجعه حضوری و صرفه‌جویی در هزینه‌ها اشاره کرد [۲۱].

پزشکی از راه دور می‌تواند با تسهیل اشتراک‌گذاری سریع اطلاعات، نقش موثری در نجات جان بیماران ایفا کند؛ به‌ویژه در شرایط بحران، مانند همه‌گیری‌ها، بلایای طبیعی یا بحران‌های نظامی. همچنین، این سامانه‌ها می‌توانند از طریق کاهش مراجعات غیرضروری به مراکز درمانی، بار کاری کادر درمان را کاهش داده و با جلوگیری از ازدحام، کیفیت خدمات حضوری را نیز بهبود بخشند. همچنین، مرور آلتوقنا و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که بهره‌گیری از فناوری‌های مخابراتی پیشرفته، از جمله شبکه‌های پایدار و پرسرعت، نقش بسزایی در تسریع تشخیص و افزایش کیفیت خدمات پزشکی از راه دور دارد [۱]. در سال‌های اخیر، پیشرفت در فناوری‌های ارتباطی سیار، ابزارهای پوشیدنی، و حسگرهای هوشمند نیز موجب رشد بازار پزشکی از راه دور و افزایش تمایل به بهره‌برداری از آن شده است.

با این حال، اجرای موفق این سامانه‌ها با چالش‌هایی اساسی نیز همراه است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، حفظ حریم خصوصی و امنیت داده‌های بیمار در بسترهای ارتباطی باز و متنوع است. به‌ویژه در سیستم‌هایی که از دستگاه‌های اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده استفاده می‌کنند، خطر نشت یا سوءاستفاده از اطلاعات حساس وجود دارد. از سوی دیگر، نبود استانداردهای مشترک و پروتکل‌های سازگار میان سامانه‌ها، مانعی جدی در مسیر یکپارچه‌سازی و تعامل‌پذیری زیرساخت‌ها به شمار می‌رود.

چالش دیگر، عدم دسترسی پایدار و مطمئن به اینترنت در برخی مناطق، به‌ویژه روستاها و مناطق کم‌برخوردار است که می‌تواند کارایی سامانه را به شدت محدود کند. همچنین، کمبود آموزش و آگاهی بیماران و حتی برخی پزشکان در زمینه کار با این سامانه‌ها، یکی دیگر از موانع مؤثر بر پذیرش و اثربخشی آن‌هاست. مسئله مهم دیگر، نبود زیرساخت‌های قدرتمند برای تحلیل هم‌زمان داده‌ها و پشتیبانی تصمیم‌گیری دقیق در سامانه‌های پزشکی از راه دور است؛ عاملی که می‌تواند منجر به کاهش دقت در تشخیص یا تأخیر در اقدامات درمانی شود. در همین راستا، رسول و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که استفاده هم‌زمان از اینترنت اشیا و چارچوب‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی، می‌تواند عملکرد سیستم‌های پزشکی از راه دور را در تحلیل داده‌های بالینی و ارائه‌ی تصمیم‌گیری دقیق، به‌طور چشم‌گیری ارتقا دهد [۲۳].

با توجه به این ملاحظات، طراحی سامانه‌هایی که بتوانند ضمن حفظ امنیت و دقت، تعامل مؤثر میان پزشک، بیمار و سامانه‌های هوشمند را فراهم کنند، ضرورت دارد. همچنین بهره‌گیری از فناوری‌های نوین مانند مدل‌سازی رسمی، سیستم‌های پشتیبان تصمیم و تحلیل داده در زمان واقعی، می‌تواند نقشی تعیین‌کننده در افزایش کارایی و مقیاس‌پذیری این سامانه‌ها ایفا کند.

پتری نت

پتری نت چارچوبی رسمی برای مدل سازی سامانه های پیچیده است. شبکه پتری یک مدل ریاضی گراف محور است که به منظور توصیف، تحلیل و شبیه سازی رفتار سیستم های پیچیده، توزیع شده و همزمان مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل در علوم کامپیوتر، مهندسی سیستم ها و تحلیل فرایندهای صنعتی و درمانی کاربرد گسترده ای دارد و به عنوان یکی از ابزارهای رسمی مدل سازی در طراحی سامانه های هوشمند شناخته می شود [۲۲].

ساختار اصلی پتری نت از دو نوع گره تشکیل شده است:

مکان ها^۱ که وضعیت یا حالت های ممکن سیستم را نمایش می دهند و معمولاً با دایره نمایش داده می شوند. انتقال ها^۲ که نشان دهنده رویدادها یا تغییر وضعیت سیستم هستند و با مستطیل مشخص می شوند. مکان ها و انتقال ها از طریق کمان ها^۳ به یکدیگر متصل می شوند. این کمان ها مسیر جریان را از مکان به انتقال یا بالعکس تعیین می کنند. برای فعال سازی یک انتقال، باید شرایط خاصی در مکان های ورودی آن فراهم باشد.

در پتری نت، توکن ها^۴ عناصر دینامیکی سیستم هستند که در مکان ها قرار می گیرند و وضعیت جاری سیستم را نشان می دهند. حرکت توکن ها در شبکه نشان دهنده اجرای رویدادها یا تغییر وضعیت سیستم است. به عنوان مثال، اگر در یک مکان خاص توکن قرار داشته باشد و شرایط انتقال مرتبط با آن فراهم شود، توکن به مکان بعدی منتقل می شود و وضعیت سیستم تغییر می یابد. برای تعریف دقیق یک شبکه پتری، معمولاً از یک پنج تایی رسمی استفاده می شود:

$$PN = (P, T, F, W, M_0)$$

که در آن:

- ¹ Places
- ² Transitions
- ³ Arcs
- ⁴ Tokens

P: مجموعه ای متناهی از مکان ها

T: مجموعه ای متناهی از انتقال ها

F: مجموعه کمان های جهت دار میان مکان ها و انتقال ها^۵

W: تابع وزن دهی به کمان ها

($W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$)

M_0 : تابع نشانه گذاری اولیه^۶ که تعداد توکن ها در هر مکان را مشخص می کند.

استفاده از شبکه پتری در طراحی سامانه های پزشکی از راه دور، امکان مدل سازی دقیق رفتار سیستم، شبیه سازی فرایندهای همزمان، و ارزیابی قابلیت اجرایی معماری پیشنهادی را در محیط های واقعی فراهم می سازد. در این پژوهش، از این ابزار برای نمایش تعامل میان بیمار، دستگاه های اینترنت اشیا، پزشک مسئول و سیستم پشتیبان تصمیم استفاده شده است، به نحوی که جریان اطلاعات و تصمیم گیری در سطحی ساختاریافته و قابل تحلیل قابل مشاهده است.

سیستم پیشنهادی

در معماری پیشنهادی این پژوهش، تمرکز اصلی بر طراحی سامانه ای است که بتواند فرآیند تشخیص و درمان را بدون نیاز به مراجعه حضوری، به صورت هوشمند، دقیق و ساختاریافته انجام دهد. این سیستم بر پایه سه مؤلفه کلیدی طراحی شده است:

سامانه های اینترنت اشیا برای جمع آوری داده های فیزیولوژیکی بیماران

سیستم پشتیبان تصمیم گیری برای تحلیل داده ها

مشارکت پزشکان خبره در صدور تشخیص نهایی.

فرآیند عملکردی سیستم پیشنهادی در پنج گام اصلی به شرح زیر تعریف می شود:

۱. ثبت اولیه اطلاعات بیمار: سامانه از لحظه ای که بیمار وضعیت خود را از طریق درگاه ارتباطی (متن، صدا یا تصویر) گزارش می دهد، فعال می شود. به طور

⁵ Flow relation

⁶ Initial Marking

هم‌زمان، داده‌های فیزیولوژیکی نیز توسط حسگرهای پوشیدنی یا تجهیزات اینترنت اشیا جمع‌آوری شده و به سامانه منتقل می‌گردد.

۲. تجمیع و پردازش داده‌ها: اطلاعات گردآوری‌شده به شکل ساختاریافته در مخزن داده مرکزی ذخیره شده و با فراخوانی پایگاه‌های اطلاعاتی بیماری‌ها، امکان مقایسه الگوهای داده‌ای فراهم می‌گردد [۱۲].

۳. تحلیل چندلایه داده‌ها: در این مرحله سه مسیر تحلیلی به صورت موازی فعال می‌شود:

سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری با استفاده از الگوریتم‌های تحلیلی داده‌ها را بررسی می‌کند؛

پزشکان خبره با تکیه بر تجربه تخصصی خود، یافته‌ها را مرور می‌کنند؛

پزشک مسئول نیز به صورت مستقل، ارزیابی اولیه‌ای از وضعیت بیمار ارائه می‌دهد.

این ساختار چندلایه باعث کاهش احتمال خطا و ارتقای دقت تحلیل می‌گردد [۱۵].

۴. ادغام نتایج و صدور تشخیص نهایی: پس از تحلیل‌های سه‌گانه، پزشک مسئول با در نظر گرفتن نتایج به‌دست‌آمده، تشخیص نهایی را صادر کرده و پروتکل درمانی مناسب را تعیین می‌نماید [۱۳].

۵. بازخورد و تعامل با بیمار: سامانه، اطلاعات نهایی شامل تشخیص و راهکارهای درمانی را به بیمار منتقل کرده و امکان آغاز یک چرخه درمانی تعاملی را فراهم می‌کند. طراحی بازگشتی سیستم به‌گونه‌ای است که پاسخ به بازخوردهای بعدی بیمار نیز در نظر گرفته شده و تکرار فرآیند در صورت لزوم، قابل انجام است.

معماری پیشنهادی نه تنها امکان تعامل سریع و دقیق میان اجزای کلیدی سیستم را فراهم می‌سازد، بلکه بستر مناسبی برای پیاده‌سازی مدل‌سازی رسمی با شبکه‌های پتری نیز ایجاد می‌کند. این قابلیت، تحلیل و شبیه‌سازی رفتار سامانه در شرایط واقعی را ممکن می‌سازد و در بخش بعدی به صورت تفصیلی بررسی خواهد شد [۲۲].

برای تحلیل ساختار و کارکرد معماری پیشنهادی، از نرم‌افزار CPN Tools نسخه ۴,۰,۱ بهره گرفته شد. این ابزار، یکی از محیط‌های قدرتمند مدل‌سازی، شبیه‌سازی و تحلیل مبتنی بر شبکه‌های پتری رنگی^۱ به‌شمار می‌رود که امکان طراحی گرافیکی، تعامل‌پذیر و چندسطحی سامانه‌های پیچیده را فراهم می‌آورد [۴].

در چارچوب این پژوهش، اجزای اصلی معماری پیشنهادی شامل لایه‌های گردآوری داده از طریق اینترنت اشیا، سیستم اطلاعات بیماری‌ها، سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری و سطوح مختلف ارزیابی پزشکی به صورت سلسله‌مراتبی تعریف و مدل‌سازی شدند. این اجزا در محیط CPN Tools به عنوان «مکان»‌ها و «انتقال»‌ها پیاده‌سازی شدند و ارتباط آن‌ها از طریق کمان‌ها مشخص گردید.

مدل نهایی طراحی‌شده شامل چهار مرحله اصلی عملکرد سامانه است: آغاز با وضعیت اولیه بیمار (P1) که آماده ارسال پیام است، فعال‌سازی انتقال T1 برای ثبت داده‌ها، و ورود اطلاعات به مکان‌های P2 (داده‌های اینترنت اشیا، P3 (اطلاعات متنی یا صوتی)، و P4 (دسترسی به پایگاه اطلاعاتی بیماری‌ها). با فراهم شدن شرایط لازم، انتقال T2 فعال می‌شود و مسیرهای تحلیلی هم‌زمان آغاز می‌گردند؛ از جمله P5 برای تحلیل سیستم پشتیبان، P6 برای ارزیابی پزشکان خبره و P7 برای بررسی اولیه پزشک مسئول. در نهایت، انتقال T3 داده‌ها را تجمیع کرده و تشخیص نهایی در P8 ثبت می‌گردد. سپس، با فعال شدن انتقال T4، نتایج درمانی به بیمار بازمی‌گردد و سیستم به وضعیت اولیه بازمی‌گردد.

این مدل نه تنها امکان بازنمایی دقیق جریان داده‌ها، تصمیم‌گیری موازی و بازخورد را فراهم می‌سازد، بلکه به دلیل ماهیت رنگی شبکه‌های پتری مورد استفاده، قابلیت تمایزگذاری میان انواع داده‌های ورودی و مسیرهای تصمیم را نیز دارد. افزون بر این، با بهره‌گیری از قابلیت شبیه‌سازی نرم‌افزار CPN Tools،

¹ Coloured Petri Nets

امکان ارزیابی پویایی رفتار سیستم در شرایط مختلف، بررسی هم‌زمانی، تنگنایهای اجرایی و تعامل اجزا به صورت دقیق فراهم شده است [۲۲].

قابلیت تحلیل مدل در بستر CPN Tools یکی از مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی محسوب می‌شود، چرا که برخلاف بسیاری از معماری‌های مفهومی پیشین، این رویکرد امکان بررسی رسمی رفتار دینامیک سیستم، چرخه‌های تصمیم‌گیری، و تحلیل سناریوهای مختلف را در محیطی گرافیکی و تعاملی مهیا می‌سازد. این ویژگی، اعتبار و قابلیت اجرایی معماری پیشنهادی را در مقایسه با مدل‌های ساده و غیرفنی، به طور قابل توجهی ارتقا می‌دهد.

مزایای سیستم پیشنهادی

معماری پیشنهادی این پژوهش در حوزه پزشکی از راه دور، با بهره‌گیری هم‌زمان از فناوری اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بلادرنگ، مشارکت پزشکان خبره و مدل‌سازی رسمی با شبکه‌های پتری، مزایای متعددی را نسبت به رویکردهای سنتی و مفهومی فراهم می‌سازد.

نخست، بهره‌گیری از شبکه‌های پتری به عنوان ابزار رسمی مدل‌سازی، امکان تحلیل دقیق تعاملات پیچیده میان اجزای سامانه را فراهم کرده و رفتار سیستم را به صورت ساختاریافته و قابل تحلیل نمایش می‌دهد. این قابلیت موجب می‌شود فرآیندهای هم‌زمان، مانند جمع‌آوری داده، تحلیل، تصمیم‌گیری و بازخورد، در یک ساختار هماهنگ و دینامیک قابل پیاده‌سازی باشند [۲۳].

دوم، طراحی ساختار تصمیم‌گیری چندلایه که شامل تحلیل الگوریتمی، ارزیابی پزشکان خبره و بررسی نهایی توسط پزشک مسئول است، دقت تشخیص را افزایش داده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. این رویکرد، با فراهم کردن چند سطح تحلیل مستقل، کیفیت فرآیندهای تصمیم‌گیری درمانی را ارتقاء می‌بخشد [۱۲ و ۱۵].

سوم، سیستم پیشنهادی با تکیه بر پردازش بلادرنگ داده‌های جمع‌آوری‌شده از تجهیزات اینترنت اشیا، توانایی پاسخ‌گویی سریع و دقیق به وضعیت بالینی بیمار را داراست. این قابلیت، به‌ویژه در سناریوهای اورژانسی یا در مناطق با دسترسی محدود به خدمات پزشکی، نقش مهمی در تسریع تشخیص و اقدام درمانی ایفا می‌کند [۱۳].

چهارم، مزیت مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری معماری پیشنهادی، آن را در برابر تغییرات سریع فناوری‌های سلامت پایدار نگه می‌دارد. ساختار مدل به گونه‌ای طراحی شده که به راحتی می‌تواند با فناوری‌های نوین نظیر یادگیری ماشین، بلاک‌چین یا شبکه‌های نسل پنجم تلفن همراه (5G) ادغام شود، بدون آن که یکپارچگی عملکرد آن مختل گردد [۵].

در نهایت، استفاده از روش‌های ساختاریافته برای ارزیابی مدل، از جمله مدل‌سازی رسمی و اعتبارسنجی کیفی با مشارکت خبرگان، نه تنها دقت نظری، بلکه قابلیت اجرای عملی این معماری را نیز نشان می‌دهد. تحلیل آماری نتایج حاصل از نظرسنجی تخصصی نیز بر کارآمدی این مدل از منظر شاخص‌های کلیدی تأکید دارد [۱۰].

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، داده‌های موردنیاز برای ارزیابی معماری پیشنهادی از طریق پرسش‌نامه بسته مبتنی بر طیف لیکرت پنج‌درجه‌ای گردآوری شد. جامعه آماری شامل ۱۲ نفر از خبرگان حوزه فناوری اطلاعات سلامت بود که با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. این افراد دارای مدارج تحصیلی در رشته‌های مرتبط و میانگین سنی ۴۳،۹ سال و سابقه کاری ۱۹،۷ سال بودند.

فرآیند گردآوری داده‌ها در سه مرحله انجام شد:

۱. استخراج اولیه شاخص‌ها و گویه‌ها بر اساس مدل مفهومی،
۲. بازنگری ساختار پرسش‌نامه از طریق هم‌اندیشی خبرگان،

۳. نهایی سازی شاخص ها و تحلیل پاسخ ها با استفاده از نرم افزار SPSS

در مجموع، شش شاخص نهایی برای ارزیابی معماری پیشنهادی شناسایی و ۲۸ گویه مرتبط تدوین شد. این شاخص ها عبارت اند از:

یکپارچگی داده ها،

کیفیت و امنیت داده ها،

قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف پذیری،

درک کلی از مدل،

نوآوری مدل،

قابلیت اجرایی.

نتایج حاصل از تحلیل میانگین ها نشان داد که شاخص یکپارچگی داده ها بالاترین میانگین را با مقدار ۴,۰۱ به خود اختصاص داده است، در حالی که شاخص نوآوری مدل با میانگین ۳,۶۳ کمترین مقدار را داراست (جدول ۲). سایر شاخص ها در بازه ۳,۶۵ تا ۳,۹۲ قرار گرفته اند که همگی بالاتر از مقدار میانه طیف لیکرت (۳) هستند، و نشان دهنده ارزیابی مثبت خبرگان نسبت به کارایی معماری پیشنهادی می باشند.

پایین بودن میانگین شاخص نوآوری ممکن است ناشی از آشنایی محدود برخی از ارزیابان با مفاهیم مدل سازی رسمی مانند شبکه های پتری باشد، که در پژوهش های فناوریانه حوزه سلامت نیز به عنوان مانعی در پذیرش نوآوری گزارش شده است [۲۲]. در مقابل، میانگین بالای شاخص هایی مانند «درک کلی از مدل» (۳,۹۲) و «قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف پذیری» (۳,۶۵) نشان می دهد که ساختار پیشنهادی از نظر مفهومی برای کاربران قابل فهم بوده و انعطاف پذیری عملکردی مناسبی داشته است.

در سطح گویه ها، بیشترین میانگین مربوط به گویه ۱۸ با مقدار ۴,۲۵ است که بیانگر توانایی مدل در تحلیل داده ها برای بهبود دقت تشخیص می باشد. کمترین میانگین نیز متعلق به گویه ۲۰ با مقدار ۲,۶۷ است که به توانایی مدل در استفاده از فناوری یادگیری ماشین برای تحلیل خودکار اشاره دارد. این یافته نشان می دهد که هرچند معماری پیشنهادی در سطح مفهومی و

اجرایی قوی ظاهر شده، اما برخی انتظارات فناورانه پیشرفته مانند تحلیل خودکار مبتنی بر یادگیری ماشین، هنوز در مدل تعبیه نشده اند.

برای سنجش میزان توافق میان ارزیابان، از ضریب همابستگی کندال استفاده شد. نتایج تحلیل نشان داد که ضریب همابستگی برابر با ۰,۸۵۱ بود و سطح معناداری کمتر از ۰,۰۰۱ ($P < 0.001$) گزارش شد، که نشان دهنده همگرایی بسیار بالا در نظرات خبرگان نسبت به شاخص های سنجش مدل است. این میزان همابستگی، اعتبار نتایج و کفایت ساختاری شاخص ها را تقویت می کند.

در مجموع، یافته ها نشان می دهد که مدل پیشنهادی از نظر خبرگان قابل فهم، قابل اجرا و دارای ساختار تحلیلی مناسب ارزیابی شده و تنها در زمینه نوآوری فناورانه، نیاز به بهبود یا آموزش بیشتر در درک مدل وجود دارد.

ابزار گردآوری داده ها: در راستای ارزیابی معماری پیشنهادی، از یک پرسش نامه ساختاریافته با طیف لیکرت پنج درجه ای استفاده شد که به صورت بسته و مبتنی بر شاخص های کیفی طراحی گردید. طراحی این ابزار پژوهش، بر پایه مرور متون، مدل مفهومی اولیه و جلسات هم اندیشی با خبرگان انجام شد. پرسش نامه اولیه شامل ۳۰ گویه در قالب هفت شاخص بود که پس از بازنگری و پالایش محتوایی، نسخه نهایی شامل ۲۸ گویه در قالب شش شاخص اصلی تنظیم گردید.

این شاخص ها عبارت بودند از: یکپارچگی داده ها (۴ گویه)، کیفیت و امنیت داده ها (۳ گویه)، قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف پذیری (۱۳ گویه)، درک کلی از مدل پیشنهادی (۲ گویه)، نوآوری مدل (۲ گویه)، و قابلیت اجرایی (۴ گویه). در طراحی نهایی پرسش نامه، تلاش شد تا هر شاخص حداقل با دو گویه پوشش داده شود و تنوع ابعاد عملکردی معماری در نظر گرفته شود.

فرآیند طراحی و اعتبارسنجی ابزار گردآوری داده ها در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول، پیش نویس پرسش نامه بر اساس چارچوب مفهومی و اهداف پژوهش تدوین گردید. در مرحله دوم، نسخه اولیه

پرسش نامه برای بررسی مفهومی، شفافیت گویه ها و کفایت شاخص ها در اختیار اعضای پنل قرار گرفت و اصلاحات لازم انجام شد. در مرحله سوم، نسخه نهایی پرسش نامه بین اعضای منتخب پنل خبرگان توزیع شد و نتایج آن مبنای تحلیل نهایی قرار گرفت.

ساختار نهایی پرسش نامه به گونه ای تنظیم شد که علاوه بر سنجش نگرش های خبرگان نسبت به هر یک از جنبه های عملکردی مدل، قابلیت استخراج نتایج عددی، تحلیل های مقایسه ای و بررسی میزان توافق در سطح شاخص و گویه را نیز فراهم آورد. طراحی دقیق این ابزار نقش مهمی در افزایش اعتبار ساختاری ارزیابی و تحلیل قابلیت های معماری پیشنهادی ایفا کرده است.

هم نگری (هم اندیشی): به منظور سنجش میزان هم گرایی و توافق میان ارزیابی های انجام شده توسط اعضای پنل خبرگان، از ضریب همبستگی کندال^۱ استفاده شد. این آزمون آماری غیرپارامتریک برای بررسی میزان توافق میان داوران در رتبه بندی شاخص ها و گویه ها به کار می رود و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است؛ به طوری که عدد نزدیک به یک، نشان دهنده هم سوئی بالا میان نظرات است.

در این پژوهش، ضریب همبستگی کندال محاسبه شده برابر با ۰.۸۵۱ بود که در سطح معناداری $P < 0.001$ قرار دارد. این مقدار نشان می دهد که بین دیدگاه های اعضای پنل در خصوص ارزش گذاری شاخص ها و گویه های پرسش نامه، توافق بسیار بالا وجود داشته است. چنین سطحی از همبستگی نشان دهنده انسجام نظرات تخصصی و تقویت کننده اعتبار نتایج به دست آمده از تحلیل داده ها است.

وجود چنین هم نگری معناداری در سطح ۹۹ درصد اطمینان، مؤید آن است که ساختار مفهومی پرسش نامه و شاخص های استخراج شده از منظر متخصصان مرتبط با حوزه، هم راستا و قابل اعتماد بوده اند. در نتیجه،

تحلیل های مبتنی بر این داده ها از پشتوانه آماری قابل قبولی برخوردار است و می توان از آن ها در ارزیابی کیفی معماری پیشنهادی بهره گرفت.

یافته های پنل خبرگان: تحلیل پاسخ های پنل خبرگان به پرسش نامه نهایی حاکی از ارزیابی مثبت و نسبتاً هم سو نسبت به عملکرد معماری پیشنهادی بود. نتایج بررسی شاخص ها نشان داد که:

شاخص «یکپارچگی داده ها» با میانگین ۴.۰۱ بالاترین امتیاز را از دیدگاه خبرگان کسب کرده و پس از آن، شاخص «درک کلی از مدل» با میانگین ۳.۹۲ قرار دارد. این یافته نشان می دهد که مدل پیشنهادی از نظر انسجام داده ها و وضوح مفهومی، بیشترین پذیرش را در میان متخصصان داشته است.

در مقابل، شاخص «نوآوری مدل» پایین ترین میانگین را با مقدار ۳.۶۳ به خود اختصاص داده است. این مقدار هرچند از میانه طیف لیکرت (۳) بالاتر است و نشان دهنده ارزیابی نسبتاً مثبت است، اما نسبت به سایر شاخص ها پایین تر بوده که می تواند بیانگر چالش هایی در درک کامل جنبه های نوآورانه مدل توسط برخی از ارزیابان باشد. این موضوع ممکن است به دلیل ناآشنایی نسبی برخی از خبرگان با مفاهیم مدل سازی رسمی مانند شبکه های پتری باشد؛ پدیده ای که در ادبیات پژوهش نیز به عنوان یک مانع رایج در پذیرش فناوری های نوظهور در حوزه سلامت گزارش شده است [۲۲].

دامنه تغییرات میانگین شاخص ها در این پژوهش برابر با ۰.۳۸ بوده که مقدار کمی محسوب می شود و بیانگر آن است که ارزیابی شاخص ها از سوی خبرگان، بدون نوسان شدید و در بازه ای نسبتاً هم سطح صورت گرفته است. چنین توزیعی حاکی از ثبات نسبی در نگرش ها و نبود ارزیابی های افراطی یا تفریطی است که به نوبه خود، اعتبار و انسجام تحلیل را تقویت می کند.

در سطح گویه های منفرد، بالاترین میانگین متعلق به گویه ۱۸ (۴.۲۵) است که به توانایی مدل در استفاده از تحلیل داده ها برای بهبود دقت تشخیص بیماری اشاره دارد. این موضوع نشان می دهد که عملکرد مدل از

^۱ Kendall's W

شبیه‌سازی در محیط CPN Tools و ارزیابی کیفی با استفاده از روش دلفی و پنل خبرگان مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج ارزیابی نشان داد که از دیدگاه خبرگان، مدل پیشنهادی در شاخص‌هایی چون یکپارچگی داده‌ها، درک مفهومی، و انعطاف‌پذیری عملکردی دارای ارزیابی مطلوب است. بالاتر بودن میانگین شاخص‌های اصلی از میانه طیف لیکرت، و ضریب هماهنگی کندال بالا (۰,۸۵۱) در سطح معناداری کمتر از ۰,۰۰۱، نشان‌دهنده‌ی هم‌گرایی و توافق بالا میان ارزیابان و تأیید اعتبار ساختاری مدل بود.

با وجود آنکه شاخص نوآوری مدل نسبت به سایر شاخص‌ها میانگین پایین‌تری داشت، اما همچنان از آستانه مطلوب فراتر بوده و قابل قبول ارزیابی شد. به‌نظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از پیچیدگی مفهومی مدل‌سازی رسمی و ناآشنایی برخی از ارزیابان با ساختارهای مبتنی بر شبکه‌های پتری باشد.

محدودیت‌هایی همچون عدم استفاده از داده‌های واقعی بیماران، و تمرکز بر اعتبارسنجی مفهومی و کیفی، زمینه‌هایی برای توسعه آتی این پژوهش فراهم می‌سازد. از جمله مسیرهای آینده می‌توان به پیاده‌سازی عملی مدل در محیط‌های آزمایشی، اتصال به الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل خودکار، و بررسی اثربخشی بالینی آن اشاره کرد.

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که معماری پیشنهادی، با برخورداری از ساختاری تحلیلی، قابلیت ادغام با فناوری‌های نوین، و تأییدپذیری از سوی خبرگان، می‌تواند گامی مؤثر در بهبود فرآیندهای تشخیص و درمان از راه دور ایفا کند. این مدل با رویکردی رسمی، قابل تکرار و مبتنی بر شبیه‌سازی، الگویی قابل اتکا برای توسعه سیستم‌های سلامت هوشمند در آینده فراهم می‌سازد.

منظر تقویت فرآیند تصمیم‌گیری پزشکی، به‌ویژه در مرحله تحلیل داده، بیش‌ترین پذیرش را داشته است. همچنین گویه ۱۲ با میانگین ۴,۱۷ که به سهولت تفسیر نتایج برای کاربران اشاره دارد، نشان می‌دهد که دسترسی‌پذیری اطلاعات و وضوح نتایج، از نقاط قوت دیگر معماری محسوب می‌شود.

در مقابل، کم‌ترین میانگین به گویه ۲۰ با مقدار ۲,۶۷ اختصاص یافته است که درباره توانمندی مدل در بهره‌گیری از فناوری یادگیری ماشین برای تحلیل خودکار بوده است. این مقدار پایین، می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: نخست، محدودیت فعلی مدل در ادغام عملی الگوریتم‌های یادگیری ماشین؛ و دوم، انتظارات بالای برخی از ارزیابان از سطح اتوماسیون در سامانه‌های پیشرفته. همچنین گویه ۱۹ با میانگین ۲,۸۹ که به اطمینان از دسترس‌پذیری داده‌ها در هر زمان اشاره دارد، نشان‌دهنده نگرانی‌هایی در زمینه پایداری زیرساختی و امکانات پشتیبان‌گیری در محیط‌های واقعی است.

در مجموع، یافته‌ها حاکی از آن است که پنل خبرگان، مدل پیشنهادی را از منظر شفافیت، ساختار تحلیلی و قابلیت اجرای بالینی، مثبت ارزیابی کرده‌اند. درعین‌حال، مواردی چون بهره‌مندی از فناوری‌های پیشرفته تحلیل خودکار و نیاز به تقویت مؤلفه‌های فناورانه، به‌عنوان حوزه‌های بهبود در توسعه آتی مدل قابل توجه هستند. این ارزیابی واقع‌بینانه و دقیق، زمینه مناسبی برای ارتقاء مدل در مراحل بعدی فراهم می‌آورد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف طراحی و ارزیابی یک معماری نوین در حوزه پزشکی از راه دور انجام شد که با بهره‌گیری از مدل‌سازی رسمی مبتنی بر شبکه‌های پتری، امکان تحلیل دقیق عملکرد، یکپارچه‌سازی مؤلفه‌های داده‌محور، و تصمیم‌گیری چندلایه را فراهم می‌آورد. معماری پیشنهادی با ادغام فناوری اینترنت اشیا، سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری و مشارکت پزشکان خبره طراحی گردید و عملکرد آن از طریق

جدول شماره ۱: شناسایی انتقال‌ها و مکان‌ها (ماخذ: یافته‌های پژوهش‌گر)

Table 1: Identification of transitions and locations (Source: Researcher's findings)

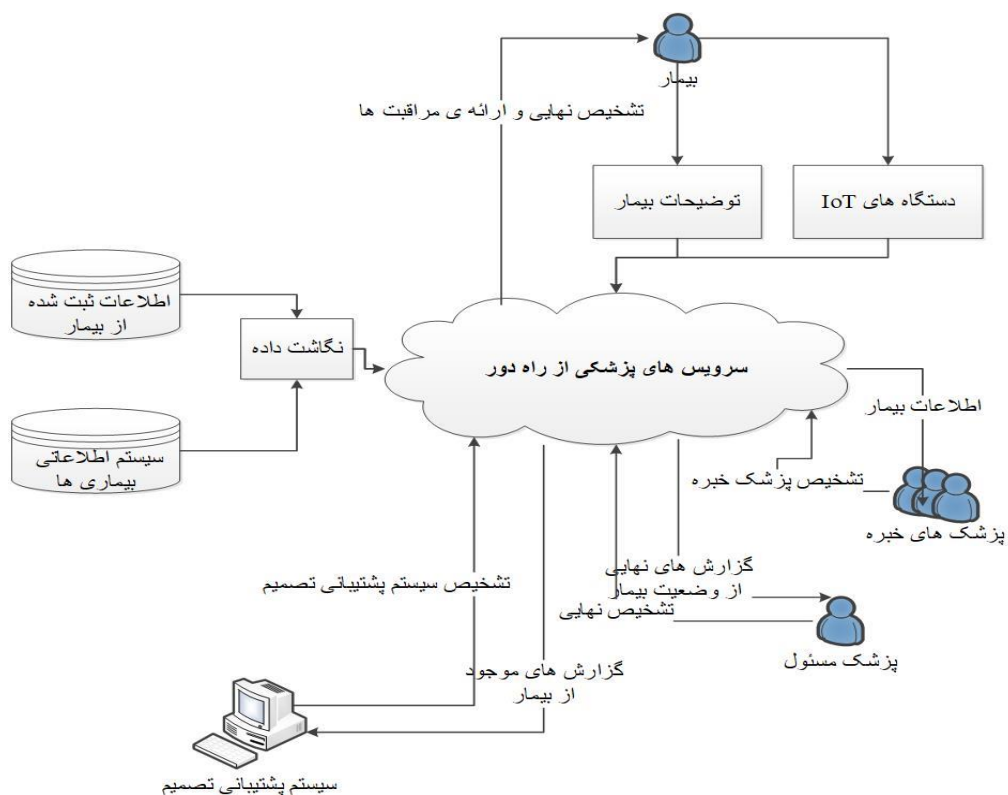
مکان‌ها	انتقال‌ها
P1 بیمار آماده‌ی ارسال پیام است.	T1 فرآیند گزارش وضعیت بیمار و درخواست اطلاعات سیستم.
P2 ثبت اطلاعات از طریق اینترنت اشیا.	T2 جمع‌آوری اطلاعات.
P3 ثبت اطلاعات بیمار (متن، صدا و تصویر).	T3 دسته‌بندی شناساندن وضعیت بیمار.
P4 سیستم اطلاعاتی بیماری‌ها.	T4 گزارش تشخیص پایانی و شیوه‌نامه‌ها.
P5 تشخیص سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم.	
P6 تشخیص پزشک‌های خبره.	
P7 تشخیص شخصی اولیه‌ی پزشک مسوول.	
P8 تشخیص پایانی پزشک مسوول.	

جدول شماره ۲: سنجش میانگین شاخص‌ها و سووال‌ها

Table 2: Average measurement of indicators and questions

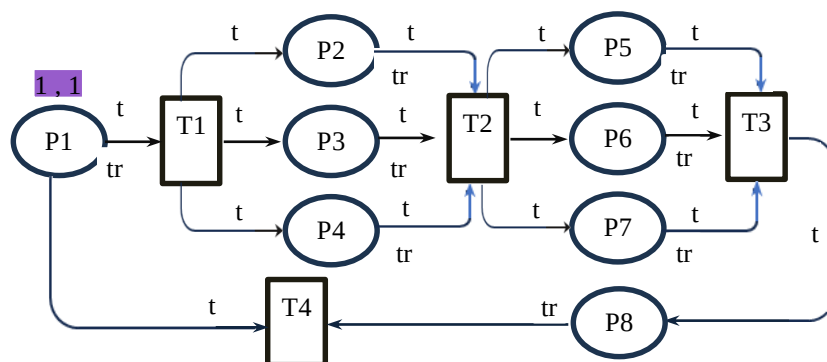
متغیر	ارزش	سووال	ارزش	متغیر	ارزش	سووال	ارزش
یکپارچگی داده‌ها	۴,۰۱	سووال-۱	4.00	قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف‌پذیری (ادامه)	۳,۶۵	سووال-۱۵	3.33
		سووال-۲	4.08			سووال-۱۶	3.67
		سووال-۳	4.00			سووال-۱۷	3.50
		سووال-۴	3.92			سووال-۱۸	4.25
کیفیت و حفاظت از داده‌ها	۳,۶۹	سووال-۵	3.58	درک کلی از مدل	۳,۹۲	سووال-۱۹	3.08
		سووال-۶	3.50			سووال-۲۰	3.25
		سووال-۷	4.00			سووال-۲۱	3.92
		سووال-۸	3.58			سووال-۲۲	3.92
قابلیت تحلیل، دقت و انعطاف‌پذیری	۳,۶۵	سووال-۹	3.33	نوآوری مدل	۳,۶۳	سووال-۲۳	3.75
		سووال-۱۰	4.08			سووال-۲۴	3.50
		سووال-۱۱	3.83	قابلیت اجرایی	۳,۶۷	سووال-۲۵	3.92
		سووال-۱۲	4.17			سووال-۲۶	3.58
		سووال-۱۳	3.75			سووال-۲۷	3.75
		سووال-۱۴	3.58			سووال-۲۸	3.42

(ماخذ: یافته‌های پژوهش‌گر)



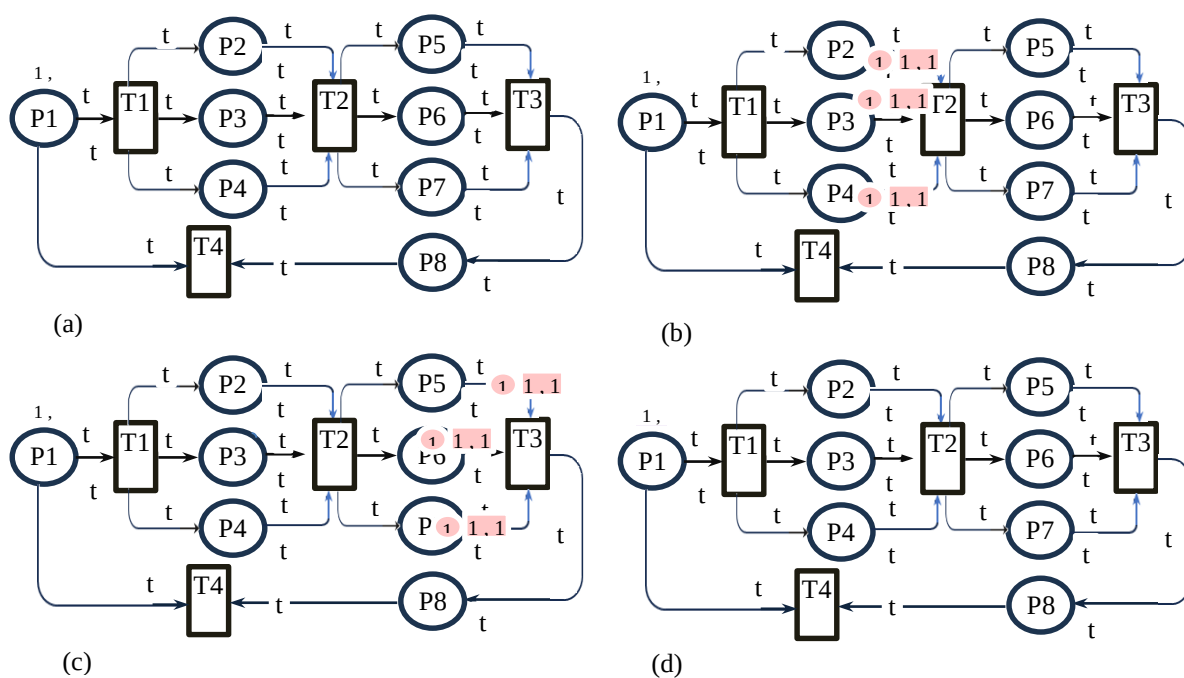
شکل شماری ۱: معماری پیشنهادی برای خدمات پزشکی از راه دور (ماخذ: یافته های پژوهش گر)

Figure 1: Proposed architecture for telemedicine services



شکل شماری ۲: شبکه ی خدمات پزشکی از راه دور (ماخذ: یافته های پژوهش گر)

Figure 2: Telemedicine Network



شکل شماره ۳: جریان اجرای شبکه‌ی پزشکی از راه دور در چهار سازه (ماخذ: یافته‌های پژوهش‌گر)
Figure 3: Telemedicine network implementation flow in four structures



شکل شماره ۴: مدل پایانی ارزش‌سنجی مدل پیشنهادی (ماخذ: یافته‌های پژوهش‌گر)
Figure 4: Final valuation model of the proposed model

Reference:

- [1] Alenoghena CO, Ohize HO, Adejo AO, Onumanyi AJ, Ohihoin EE, Balarabe AI, Okoh SA, Kolo E, Alenoghena B. Telemedicine: A survey of telecommunication technologies, developments, and challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2023 Mar 2;12(2):20.
- [2] Achenbach SJ. Telemedicine: benefits, challenges, and its great potential. *Health L. & Pol'y Brief* 2020;14:1.
- [3] Garai Á, Péntek I, Adamkó A. Revolutionizing healthcare with IoT and cognitive, cloud-based telemedicine. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2019 Jan 1;16(2):163-81.
- [4] Jensen K, Kristensen LM, Wells L. Coloured Petri Nets and CPN Tools for modelling and validation of concurrent systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*. 2007 Jun;9:213-54
- [5] Upreti K, Malik K, Kapoor A, Patel N, Tiwari P. Revolutionizing Healthcare Telemedicine's Global Technological Integration. In *Improving Security, Privacy, and Connectivity Among Telemedicine Platforms 2024* (pp. 71-92). IGI Global.
- [6] Linstone, H. A. & Murray,. *The Delphi Method, Techniques and Applications*. Melbourne: Addison Wesley Publishing Company. T (2002)
- [7] Radan, Alireza; Radfar, Reza; Afshar Kazemi, Mohammad Ali; Pourabrahimi, Alireza (1402). Identifying Sustainable Value Factors in the Use of Information Technology in Healthcare Services for the Management of Infectious Viral Diseases (Thematic Analysis - SEM. *Health Management*, 15(2): 27-41.
- [8] Voros J. A generic foresight process framework. *Foresight*. 2003;5(3):10–21.
- [9] Kuosa T. Practicing strategic foresight in government: The cases of Finland, Singapore and the European Union. *Futures*. 2011;43(1):79–88.
- [10] Hiwale M, Walambe R, Potdar V, Kotecha K. A systematic review of privacy-preserving methods deployed with blockchain and federated learning for the telemedicine. *Healthcare Analytics*. 2023 Nov 1;3:100192.
- [11] Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. E. (2015). Purposeful sampling for qualitative data collection and analysis in mixed method implementation research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, 42(5), 533–544
- [12] Albahri AS, Alwan JK, Taha ZK, Ismail SF, Hamid RA, Zaidan AA, Albahri OS, Zaidan BB, Alamoodi AH, Alsalem MA. IoT-based telemedicine for disease prevention and health promotion: State-of-the-Art. *Journal of Network and Computer Applications*. 2021 Jan 1;173:102873
- [13] Amuomo N. The Evolution of GSM Technologies into 5G and the Imminent Emergence of Transformative Telemedicine Applications: A Review.
- [14] Haleem A, Javaid M, Singh RP, Suman R. Medical 4.0 technologies for healthcare: Features, capabilities, and applications. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2022 Jan 1;2:12-30.
- [15] Hameed K, Bajwa IS, Sarwar N, Anwar W, Mushtaq Z, Rashid T. Integration of 5G and Block-Chain Technologies in Smart Telemedicine Using IoT. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021;2021(1):8814364
- [16] Islam S, Budati AK, Hasan MK, Goyal SB, Khanna A. Performance analysis of video data transmission for telemedicine applications with 5G enabled Internet of Things. *Computers and Electrical Engineering*. 2023 May 1;108:108712.
- [17] Sreedhar PS, Sujay V, Rani MR, Melita L, Reshma S, Boopathi S. Impacts of 5G Machine Learning Techniques on Telemedicine and Social Media Professional Connection in Healthcare. In *Analyzing Current Digital Healthcare Trends Using Social Networks 2024* (pp. 209-234). IGI Global.

- [18] Damaševičius R, Abayomi-Alli OO. The Future of Telemedicine: Emerging Technologies, Challenges, and Opportunities. Metaverse Applications for Intelligent Healthcare. 2024:306-38.
- [19] Suleiman TA, Adinoyi A. Telemedicine and smart healthcare—the role of artificial intelligence, 5G, cloud services, and other enabling technologies. International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2023 Mar 24;16(3):31-51.
- [20] Abdellatif MM, Mohamed W. Telemedicine: An IoT Based Remote Healthcare System. International Journal of Online & Biomedical Engineering. 2020 Jun 1;16(6).
- [21] Haleem A, Javaid M, Singh RP, Suman R. Telemedicine for healthcare: Capabilities, features, barriers, and applications. Sensors international. 2021 Jan 1;2:100117.
- [22] Hu W, Li M, Li L. Modeling of Electrocardiograph Telediagnosing System Based on Petri Net. Physics Procedia. 2011 Jan 1;22:651-5.
- [23] Rasool S, Tariq A, Hayat Y. Maximizing Efficiency in Telemedicine: An IoT-Based Artificial Intelligence Optimization Framework for Health Analysis. European Journal of Science, Innovation and Technology. 2023 Dec 8;3(6):48-61.