Journal of Health and Biomedical Informatics 2024; 11(2): 101-114
doi:10.34172/jhbmi.2024.17
Medical Informatics Research Center, Kerman University of Medical Sciences

Original article

Providing and Implementing the Secure Structure of the Waiting List Management System for Organ Transplantation Patients with Blockchain Technology based on IPFS

Mohamahd Amin Samsami[1], Parviz Rashidi-Khazaee[2]*, Omid Reza Boloki Speily[2]

1. MA Student, Department of Information Technology and Computer Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran
2. PhD in Information Technology Engineering, Assistant Professor, Department of Information Technology and Computer Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

ARTICLE INFO:

Article History:

Received: 26 Jan 2024

Accepted: 11 Sep 2024

Published: 21 Sep 2024

**Corresponding Author:*

Parviz Rashidi-Khazaee

Email:
p.rashidi@uut.ac.ir

Citation: Samsami MA, Rashidi-Khazaee P, Boloki OR. Providing and Implementing the Secure Structure of the Waiting List Management System for Organ Transplantation Patients with Blockchain Technology based on IPFS. Journal of Health and Biomedical Informatics 2024; 11(2): 101-14. [In Persian]

Abstract

Introduction: In recent decades, the medical field has faced many challenges in managing and maintaining information security on waiting lists for organ transplantation patients. The lack of trust of the participants in this process, which requires more efforts to ensure the security and privacy of patients and donors, highlights the necessity for finding new security solutions.

Method: In this study, a safe and reliable method was presented and implemented using blockchain technology based on the Network Distributed File System (IPFS) to improve waiting list management and solve the challenge of maintaining voluminous medical documents. In this method, patient information is anonymized using appropriate algorithms, and then, stored and linked to the blockchain network.

Results: The implemented system provides an integrated and innovative method in organ transplantation management, which not only comprehensively provides the security and privacy of patients, but also reduces social inequalities and increases trust in the organ donation process, as well as fair management of patient waiting lists.

Conclusion: The proposed system has provided a scalable and efficient system using microservices architecture and can be provided as a reliable tool for medical stakeholders.

Keywords: Blockchain, Organ Transplant Waiting List, Anonymization of Medical Documents, Storage of Patients' Medical Documents, Patient Privacy security

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۱۰۱
doi: 10.34172/jhbmi.2024.17
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

مقاله پژوهشی

ارائه ساختار امن سامانه مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند عضو مبتنی بر فناوری بلاک‌چین و ذخیره‌سازی توزیع شده پرونده

محمد امین صمصامی[۱]، پرویز رشیدی خزاعی[۲]*، امیدرضا بلوکی اسپیلی[۲]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی فناوری اطلاعات و کامپیوتر، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۲. دکتری تخصصی مهندسی فناوری اطلاعات، استادیار، گروه مهندسی فناوری اطلاعات و کامپیوتر، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

سابقه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۶

پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۲۱

انتشار برخط: ۱۴۰۳/۶/۳۱

نویسنده مسئول:

پرویز رشیدی خزاعی

ایمیل:

p.rashidi@uut.ac.ir

ارجاع: صمصامی محمد امین، رشیدی خزاعی پرویز، بلوکی اسپیلی امیدرضا. ارائه ساختار امن سامانه مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند عضو مبتنی بر فناوری بلاک‌چین و ذخیره‌سازی توزیع شده پرونده. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۴۰۳؛ ۱۱(۲): ۱۴-۱۰۱.

چکیده

مقدمه: مدیریت و حفظ امنیت اطلاعات لیست انتظار بیماران نیازمند پیوند عضو در دهه‌های اخیر با چالش‌های متعددی مواجه بوده است. عدم اعتماد بین مشارکت‌کنندگان و نگرانی‌ها درباره حفظ حریم خصوصی بیماران و اهداکنندگان، لزوم یافتن راهکارهای امنیتی جدید را برجسته کرده است.

روش کار: در این مطالعه روشی امن و قابل اعتماد برای بهبود مدیریت لیست انتظار پیوند عضو با استفاده از فناوری بلاک‌چین و شبکه سیستم پرونده توزیع شده مبنی بر IPFS ارائه و پیاده‌سازی شده است که علاوه بر ذخیره‌سازی امن اطلاعات، چالش نگهداری اسناد پزشکی حجیم را نیز حل نموده است. در ساختار پیشنهادی اطلاعات بیمار با کمک الگوریتم‌های مناسب، گمنام‌سازی و سپس ذخیره‌سازی شده و به شبکه بلاک‌چین نیز متصل می‌شوند.

یافته‌ها: پس از بررسی روش‌های مشابه، چالش‌های موجود (حفاظت از هویت بیماران، نگهداری امن اسناد پزشکی و ...) شناسایی و سپس روشی یکپارچه و نوآورانه در مدیریت پیوند عضو با کمک الگوریتم‌های رمزنگاری و شبکه IPFS پیشنهاد و فراهم نموده که نه‌تنها امنیت و حریم خصوصی بیماران را به صورت جامع تأمین می‌کند، بلکه باعث کاهش نابرابری‌های اجتماعی و افزایش اعتماد به فرآیند اهدای عضو نیز می‌شود و به مدیریت عادلانه لیست انتظار بیماران پیوند عضو و حل چالش‌های اساسی حوزه پزشکی کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری: سیستم پیشنهادی با به کارگیری معماری میکروسرویس، یک سیستم مقیاس‌پذیر و کارا را فراهم نموده است و می‌تواند به عنوان ابزاری مطمئن در اختیار دست اندرکاران قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بلاک‌چین، لیست انتظار پیوند عضو، گمنام‌سازی اسناد پزشکی، ذخیره‌سازی اسناد پزشکی بیماران، امنیت حریم خصوصی بیماران

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مقدمه

پیوند عضو به معنای انتقال عضو یا بافت از یک فرد به فرد دیگر است که به‌عنوان آخرین راه‌حل برای بسیاری از مشکلات پزشکی در نظر گرفته می‌شود و هدف آن بهبود وضعیت سلامت بیمار است [۱]. از زمان اولین پیوند موفقیت‌آمیز عضو بدن انسان در سال ۱۹۵۴، پیوند عضو به‌عنوان یک رشته جدید و مهم با تمرکز بر نوآوری در طراحی دارو و جراحی پزشکی مدرن ظاهر شد [۲]، ولی به دلیل کمبود عضو پیوندی، بیمار برای دریافت عضو مورد نیاز خود در لیست انتظار عضو قرار می‌گیرد. در بسیاری از موارد، زمان انتظار برای یافتن یک عضو مناسب برای بیماران بسیار طولانی است و باعث ایجاد مشکلات بزرگی در سراسر جهان شده است [۳].

با افزایش تعداد بیماران در لیست انتظار و تقاضای روزافزون برای اعضای پیوندی، چالش‌هایی مانند مدیریت عادلانه لیست انتظار، حفظ حریم خصوصی بیماران و جلوگیری از سوءاستفاده‌های احتمالی به مشکلاتی اساسی تبدیل شده‌اند. اهمیت امنیت و حریم خصوصی داده‌های بیماران، به دلیل حساسیت این اطلاعات و پیامدهای احتمالی نقض آن‌ها، امری ضروری است که نباید نادیده گرفته شود [۴]. با ظهور فناوری‌های نوین مانند بلاک‌چین و IPFS (Inter Planetary File Shystem)، این امکان فراهم شده است که داده‌های پزشکی به صورت غیرمتمرکز، امن و با حفظ حریم خصوصی ذخیره و مدیریت شوند تا از مشکلاتی مانند حمله باج‌افزار به سیستم‌های سلامت پیشگیری نماید و فرآیند عمل پیوند را آسان‌تر کند. به کارگیری فناوری بلاک‌چین می‌تواند علاوه بر اشتراک‌گذاری و نگهداری ایمن داده‌های لیست بیماران، امنیت و عدالت لازم را برای اهداکنندگان و گیرندگان فراهم کند [۵].

Zouarhi یک سیستم اهدای کلیه تحت وب مبتنی بر بلاک‌چین به نام "Kidner" پیشنهاد داده است. این سیستم، راهکار جدیدی را به‌جای ساختار متمرکز مدیریت لیست انتظار پیوند کلیه ارائه می‌دهد. هدف سیستم پشنهادی شناسایی و تطبیق اهدا کننده و گیرنده سازگار در سراسر جهان است [۶]. Dajim و همکاران، یک برنامه غیرمتمرکز تحت وب مبتنی بر بلاک‌چین برای ثبت اطلاعات بیماران از جمله شناسه پزشکی، نوع عضو و گروه خونی پیشنهاد کرده‌اند که فرآیند اهدای عضو را ایمن‌تر و خودکار می‌کند و از هرگونه امکان دستکاری جلوگیری می‌کند [۷]. در سیستم پیشنهادی Soni و Kumar بیمار با وضعیت بحرانی به صورت جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد و به جستجو، تطبیق دهنده و گیرنده کمک می‌کند [۸]. Hawashin و همکاران، یک برنامه اهدا و پیوند عضو مبتنی بر بلاک‌چین اتریوم پیشنهاد دادند که بر اساس اطلاعات ثبت شده، اهداکننده را با گیرنده مناسب مطابقت می‌دهد [۹].

در روش پیشنهادی Alandjani، فرآیند اهدای عضو با امضای یک قرارداد هوشمند توسط اهداکننده و گیرنده شروع می‌شود. سپس اسناد ارسال و توسط پزشک مجاز مراقبت‌های بهداشتی تأیید می‌شوند. در صورت عدم تطابق، پزشک یک جفت عدم تطابق ایجاد و در شبکه پخش می‌کند. شبکه یک تطابق مناسب جستجو می‌کند و برای تأیید به پزشک ارسال می‌گردد سپس اطلاعات اهداکننده و گیرنده که تأیید شده‌اند در بلاک‌چین ثبت می‌شوند [۱۰].

Yahaya و همکاران روشی برای ذخیره‌سازی و اشتراک سوابق پزشکی بیماران در شبکه زنجیره‌ای مبتنی بر بلاک‌چین پیشنهاد داده‌اند که با استفاده از یک سرویس مشتری اختصاصی، کاربران مختلف می‌توانند با بلاک‌چین تعامل داشته باشند. هنگام اضافه کردن سوابق، محدودیت‌های کنترل دسترسی به عنوان بخشی از منطق قرارداد هوشمند اجرا می‌شود تا اهدا کننده دیگری را از دیدن یا تولید اسناد برای بیمارانی که به آن‌ها مجوز ندارد، منع کند [۱۱]. Daniel و همکاران سیستمی برای ثبت، ذخیره‌سازی و تضمین مالکیت سوابق پزشکی بیماران مبتنی بر IPFS ارائه داده‌اند [۱۲].

بررسی‌هایی که پژوهشگران انجام داده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که در ایران و جهان، سازمان‌ها و مراکز درمانی برای پیوند عضو فاقد شفافیت و امنیت هستند و نظارت بر آن‌ها کاری بسیار دشوار است [۹]. در کشور ایران و اکثر کشورهای درحال‌توسعه، مشکلات متعددی برای شناسایی اهداکنندگان و اتصال آن‌ها به گیرندگان دارای اولویت در لیست انتظار پیوند وجود دارد و این مشکلات عبارت‌اند از: ۱- نبود زیر ساخت مناسب ۲- عدم وجود نظام منسجم برای پیوند عضو - ۳- عدم وجود بانک اطلاعاتی کامل در زمینه پیوند عضو - ۴- عدم مشارکت اهداکنندگان به دلیل نبود اطمینان در خصوص محافظت از اطلاعات محرمانه [۱۳]. لازم است برای اجرای عدالت در تخصیص عضو پیوندی مکانیزم‌هایی برای مدیریت لیست گیرندگان در نظر گرفته شود و از طرفی عدم حفظ محرمانگی داده‌های اشخاص اهداکننده و گیرنده بر میزان تمایل افراد برای مشارکت تأثیر منفی می‌گذارند [۱۴]. سیستم‌های فعلی باعث سوء استفاده و

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۱۰۱
doi: 10.34172/jhbmi.2024.17
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

تبعیض بین بیماران خواهد شد که در نتیجه منجر به آسیب رساندن بیشتر به گیرنده‌های با توان مالی پایین‌تر، اما با الویت نیاز بالاتر به پیوند عضو، می‌شود.

بررسی و مقایسه پژوهش‌های انجام شده در جدول ۱ نشان داد که چگونه فناوری بلاک‌چین می‌تواند راه‌حل‌های مدیریت پیوند عضو را بهبود بخشد؛ اما این پژوهش‌ها همه معیارهای لازم برای فرآیند ثبت داده‌های حجیم پزشکی به صورت کاملاً محرمانه در لیست پیوند عضو را در نظر نمی‌گیرند. در این پژوهش، ساختاری امن برای ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری داده‌های لیست انتظار بیماران پیوندی در جهت برطرف شدن بخشی از چالش‌ها مانند: ۱- دستکاری لیست پیوند عضو ۲- عدم امکان ذخیره‌سازی اسناد پزشکی حجیم در بلاک‌چین ۳- پیوست نشدن اسناد پزشکی بیمار در لیست پیوند ۴- عدم محافظت از حریم خصوصی اطلاعات بیماران در اسناد پزشکی ذخیره شده ۵- نبود یک سیستم یکپارچه غیرمتمرکز برای مدیریت لیست بیماران پیوندی، ارائه شده است. فناوری بلاک‌چین به عنوان یک فناوری نوآورانه، می‌تواند به حل بخشی از مشکلات فوق کمک نماید و اشتراک‌گذاری داده‌ها را ایمن‌تر و فرآیندهای اهدا عضو را آسان‌تر می‌کند [۱۵]. در این پژوهش با به کارگیری بلاک‌چین و شبکه IPFS، به دنبال ارائه و پیاده‌سازی ساختاری مناسب برای مدیریت لیست بیماران پیوندی هستیم تا بتوان محرمانگی داده‌ها را تضمین کند و اعضاء بتوانند با اعتماد بیشتری در آن مشارکت داشته باشند.

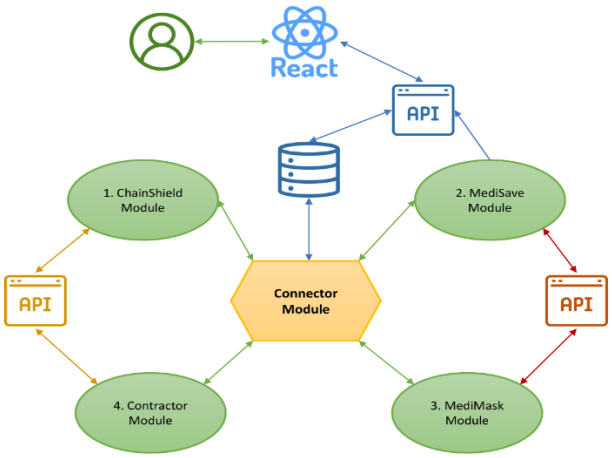
روش کار

این پژوهش از نوع کاربردی و بنیادی می‌باشد و به صورت گذشته نگر انجام گرفته است. روش‌های ارائه شده طی ده سال گذشته در جدول ۱جمع‌آوری و ویژگی‌های مهم آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده است و نقاط ضعف و قوت آن‌ها به‌طور کامل مورد مطالعه کیفی و بررسی قرار گرفته است. برای غلبه بر چالش‌ها و مشکلات روش‌های قبلی، ساختاری مطابق شکل ۱ پیشنهاد شده است که با استفاده از ماژول‌های مختلف، لیست کاملی از اهداکنندگان و گیرندگان، همراه با اسناد پزشکی بیماران را می‌توان با امنیت بیشتری ذخیره و نگهداری کرد. استفاده از این ساختار باعث کاهش خطاهای پزشکی در فرآیند انتخاب عضو و عمل پیوند شده و به حل چالش ناعدالتی‌های اجتماعی در لیست انتظار پیوند عضو کمک می‌نماید.

جدول ۱: مرور کلی آخرین روش‌های انجام شده مرتبط

سال	مرجع	نوع شبکه بلاک‌چین	استفاده از IPFS	دسترسی بیمار به اطلاعات خود	هدف اصلی	نقاط قوت	نقاط ضعف
۲۰۲۲	Hawashin و همکاران [۹]	خصوصی	NA	×	اهدای عضو و پیوند عضو به صورت هوشمند از طریق یک برنامه غیرمتمرکز	یکپارچه سازی ردیابی فرآیند پیوند عضو اهدایی	عدم ذخیره‌سازی اسناد پزشکی بیماران
۲۰۲۱	Soni و Kumar [۸]	هایبرید	NA	✓	ایجاد یک برنامه غیر متمرکز با رویکرد FIFO برای انتخاب اهداکننده و گیرنده عضو	استفاده از الگوریتم‌های رمزنگاری مختلف و ایجاد عدالت در لیست انتظار	روش پیشنهادی در بستر بلاک‌چین زمان‌بر و کند است
۲۰۲۱	Yahaya و همکاران [۱۱]	خصوصی	نامشخص	✓	مدیریت اطلاعات و جلوگیری از دسترسی غیرقانونی یا نادرست به داده‌های اهدا کننده و گیرنده	احراز هویت بالای سیستم و امنیت بالای کاربران	نا مشخص بودن روش ذخیره‌سازی سوابق پزشکی بیماران
۲۰۲۰	Daniel و همکاران [۱۲]	خصوصی	IPFS	×	ذخیره‌سازی اسناد پزشکی بیماران نیازمند عضو با فناوری بلاک‌چین	استفاده از فناوری IPFS برای ذخیره‌سازی اسناد پزشکی	عدم محافظت از هویت بیماران در اسناد پزشکی ذخیره‌سازی شده
۲۰۱۹	Dajim و همکاران [۷]	خصوصی	NA	×	فرآیند اهدای عضو را با کمک فناوری بلاک‌چین، ایمن و خودکار می‌کند	سیستم امن برای مدیریت لیست انتظار گیرندگان عضو	عدم ذخیره‌سازی اسناد پزشکی بیماران
۲۰۱۹	Alandjani [۱۰]	عمومی	NA	✓	راه‌اندازی یک سیستم غیرمتمرکز برای تعامل و تبادل اطلاعات بین اهداکننده عضو و بیمار	یکپارچه سازی فرایند انتقال عضو و ارتباط دیجیتالی بین اهداکنندگان و گیرندگان	تعامل کند سیستم به علت ماهیت فناوری بلاک‌چین
۲۰۱۷	Zouarhi [۶]	خصوصی	NA	×	انتخاب عضو از میان اهداکنندگان با روش کیدنر در یک برنامه غیرمتمرکز	پیدا کردن مناسب‌ترین عضو برای جراحی پیوند عضو	تأخیر در دسترسی به داده‌های پزشکی

ساختار راه حل پیشنهادی بر مبنای معماری میکروسرویس می‌باشد و شامل پنج ماژول: ۱- ماژول Coordinator، ۲- ماژول ChainShield (Chain Shield)، ۳- ماژول MediSave (Medical Save)، ۴- ماژول MediMask (Medical Mask) و ۵- ماژول Contractor می‌باشد که ارتباط بین ماژول‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ماژول‌های ساختار پیشنهادی

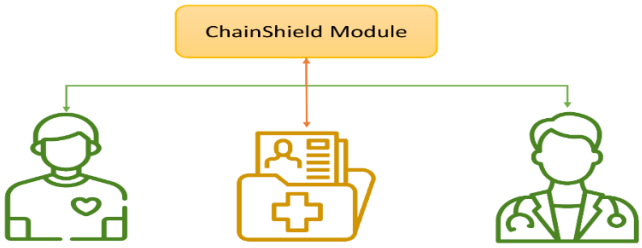
الف) ماژول رابط (coordinator)

ماژول Coordinator به عنوان هسته مرکزی، وظیفه ارتباط و هماهنگی سایر ماژول‌ها را بر عهده دارند و برای اتصال به پایگاه داده‌های مختلف استفاده می‌شود. با استفاده از Coordinator، شما می‌توانید به راحتی با هر پایگاه داده‌ای از طریق (دپ Dapp (Decentralized Applications ارتباط برقرار کنید.

با رشد محاسبات اینترنتی، به ویژه بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند، دپ به نوع جدیدی از برنامه‌ها تبدیل شده است. از این طریق کاربران می‌توانند بدون درگیر شدن با جزئیات پیچیده برنامه‌های سروری مانند IPFS و ... از این سرویس استفاده نموده و در عین حال داده‌ها و نتایج عملیات اصلی در قراردادهای هوشمند در یک زنجیره بلوکی را ذخیره نمود. دپ‌ها از طریق تراکنش‌ها، با قراردادهای هوشمند تعامل دارند و بر اساس آن‌ها خدمات ارائه می‌دهند [۱۶] و ماژول مشخص می‌کند بخش‌های مختلف چگونه به هم دیگر متصل شوند.

ب) ماژول سپر زنجیره‌ای (ChainShield Module)

ماژول ChainShield یک سپر زنجیره‌ای است که از فناوری بلاکچین در جهت افزایش امنیت و حفظ حریم خصوصی کاربران استفاده می‌کند.



شکل ۲: ذخیره‌سازی و نگهداری مشخصات پزشکان و بیماران در ماژول ChainShield Module

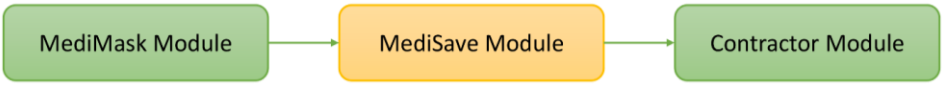
[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۱۰۱
doi: 10.34172/jhbmi.2024.17
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ماژول ChainShield بر مبنای فناوری بلاک‌چین عمل می‌کند که امکان ذخیره‌سازی و تبادل اطلاعات بدون نیاز به واسطه دسترسی به دیتابیس توزیع شده را فراهم می‌کند. در فناوری بلاک‌چین با استفاده از رمزنگاری و توزیع داده‌ها، امکان هک، حذف و دستکاری اطلاعات ثبت شده، تا حد زیادی کاهش می‌یابد و با موفقیت در حوزه‌های مختلفی استفاده شده است [۱۷]. به این ترتیب، هر گونه تغییر یا دسترسی غیرمجاز به اطلاعات بیمار، برای دیگر اعضای شبکه قابل رؤیت خواهد بود و با تعریف سطح دسترسی برای هر یک از اعضای شبکه [۱۸] می‌تواند اطلاعات پزشکی افراد را به صورت امن در سیستمی توزیع شده ذخیره کند. به این ترتیب، هر گونه تغییر یا دسترسی غیرمجاز به اطلاعات پزشکی، برای دیگران امکان‌پذیر نخواهد بود. در ChainShield، هر پزشکی که در شبکه بلاک‌چین عضو می‌شود، باید هویت خود را تأیید کند این روش می‌تواند به تضمین امنیت در ارائه خدمات پزشکی کمک کند.

پ) ماژول ذخیره‌سازی اسناد پزشکی (MediSave Module)

ذخیره‌سازی اسناد پزشکی بیماران و نگهداری آن‌ها از وظایف اصلی ماژول MediSave می‌باشد. در شکل ۳، این ماژول با ارتباط بین ماژول MediMask و ماژول Contractor اسناد حجیم پزشکی را که قابلیت ذخیره‌سازی در قراردادهای هوشمند ندارند را در IPFS ذخیره‌سازی می‌کند.



شکل ۳: ارتباط ماژول MediSave با دیگر ماژول‌ها

شبکه IPFS به عنوان یک پروتکل انتقال و ذخیره‌سازی فایل‌های دیجیتالی معرفی شده است. در این شبکه، بدون نیاز به سرور مرکزی فایل‌ها به صورت قطعات (chunk) ذخیره می‌شوند و هر قطعه با یک شناسه یکتا مانند یک هش مشخص می‌شود. این شبکه امکان ذخیره‌سازی فایل‌های بزرگ و حجیم را فراهم می‌کند و باعث می‌شود که اسناد پزشکی بدون محدودیت در اینترنت قابل دسترس باشند. همچنین با استفاده از IPFS، از گم شدن و از بین رفتن اسناد پزشکی جلوگیری می‌شود [۱۹] و امکان دسترسی به آن‌ها برای مراکز درمانی مختلف به صورت سریع و آسان فراهم می‌شود و از سرعت و کارایی بالای این ماژول تحت شبکه IPFS برای این منظور بهره برده می‌شود. همچنین استفاده از MediSave باعث می‌شود زمانی یکی از سرورهایی که در این شبکه اطلاعات را ذخیره کرده است خراب شود، دسترسی به اطلاعات از طریق سرورهای دیگر امکان‌پذیر شود.

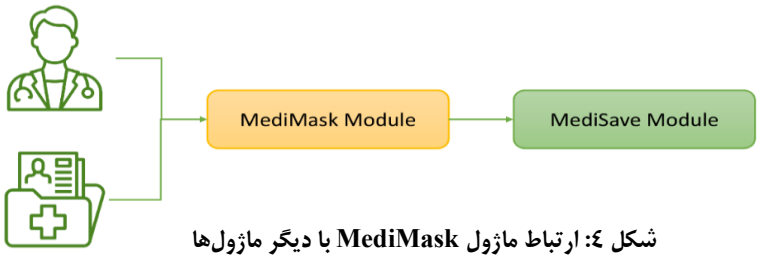
با استفاده از IPFS در این ماژول، اطلاعات پزشکی بیماران می‌تواند به صورت توزیع‌شده و در اختیار چندین سازمان و دستگاه پزشکی قرار گیرد. در این حالت، اطلاعات پزشکی بیماران به صورت متمرکز در یک سرور نگهداری نمی‌شود و هر بخش مربوطه به صورت مستقل و مستقل از سایر بخش‌ها از اطلاعات بیماران استفاده می‌کند [۲۰].

ت) ماژول گمنام‌سازی اسناد پزشکی (MediMask Module)

برای حفظ محرمانگی اطلاعات بیماران از روش گمنام‌سازی (Anonymization) قبل از ذخیره‌سازی اسناد پزشکی استفاده می‌شود. در این ساختار، اطلاعات شخصی بیماران از جمله نام، شماره‌تماس، آدرس و ... از اسناد پزشکی بیمار حذف می‌شود و فقط اطلاعات پزشکی مرتبط با بیمار باقی می‌ماند. در این حالت، اسناد پزشکی بیماران با حفظ حریم شخصی و امنیت اطلاعات، در دسترس مراکز پزشکی مختلف قرار می‌گیرد [۲۱].

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

در شکل ۴ ماژول MediMask برای حفظ حریم خصوصی بیماران، ابتدا به پزشکی که در این سرویس توسط سازمان یا مرکز درمانی که اجازه بارگذاری داده‌های پزشکی را داده است، از پزشک، اسناد پزشکی بیمار را دریافت می‌کند و سپس مشخصات بیمار را از آن اسناد حذف می‌کند و یک هش یا شناسه رمزنگاری شده به اسناد پیوست می‌کند و در نهایت اسناد را در اختیار MediSave قرار می‌دهد.

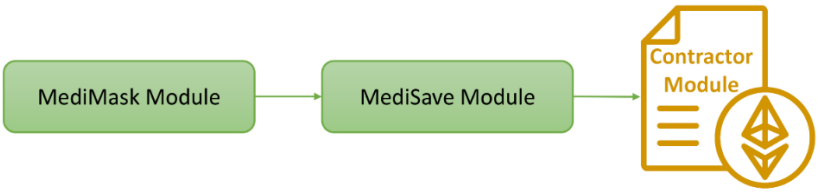


شکل ٤: ارتباط ماژول MediMask با دیگر ماژول‌ها

با گمنام‌سازی اسناد پزشکی بیماران، از اطلاعات شخصی و حساس آن‌ها در مواقعی که به دسترسی اطلاعات پزشکی آن‌ها احساس می‌شود، جلوگیری می‌شود. همچنین، با این روش، امکان مقایسه اطلاعات پزشکی بیماران با یکدیگر به منظور بهبود خدمات پزشکی امکان‌پذیر است. همچنین با استفاده از MediMask می‌توان تمام داده‌های بیماران را برای مراکز تحقیقاتی جمع‌آوری کرد که آن‌ها با دسترسی به این داده‌ها بتوانند راه‌حل‌های بهتری برای درمان بیماران ارائه دهند. برای رمزنگاری و گمنام سازی داده از تابع درهم سازی SHA3 به عنوان آخرین نسل الگوریتم SHA که، غیر قابل رمزگشایی بوده و برگشت پذیر نمی‌باشد و در اغلب در پروتکل‌های ارتباطی امن، مانند TLS (Transport Layer Security)(امنیت لایه حمل و نقل)، برای ارائه رمزنگاری و تأیید اعتبار پیام استفاده می‌شوند، استفاده خواهد شد [۲۲]. در این ماژول اطلاعات بیمار شامل: ۱- نام بیمار، ۲- تاریخ تولد بیمار، ۳- شماره تماس بیمار و ... توسط الگوریتم SHA3 هش می‌شوند و به اسناد بیماران تگ می‌شوند. سپس اسناد پزشکی بیماران به همراه تگ رمزنگاری شده توسط ماژول MediMask به ماژول MediSave برای ذخیره‌سازی انتقال داده خواهد شد.

ث) ماژول قرارداد هوشمند (Contractor Module)

همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، ماژول Contractor یک قرارداد هوشمند بین پزشکان و مراکز پزشکی است که برای ثبت اطلاعات پزشکی بیمار ایجاد می‌شود. برای ساخت این قرارداد هوشمند، از بلاک‌چین اتریوم استفاده می‌شود که امکان ذخیره‌سازی امن و تغییر ناپذیری اطلاعات را فراهم می‌کند. با استفاده از این ماژول، پزشکان می‌توانند اطلاعات پزشکی بیمار خود را به صورت الکترونیکی در قرارداد هوشمند ثبت کنند و بیمار دسترسی به این اطلاعات را دارد [۲۳]. همچنین، با استفاده از این قرارداد هوشمند، پزشکان می‌توانند تشخیص‌های خود را به همراه اسناد پزشکی و نتایج آزمایش‌های بیماران ثبت کنند و به صورت الکترونیکی با آن‌ها ارتباط برقرار کنند. با توجه به این که اطلاعات پزشکی بسیار حساس است، استفاده از این ماژول باعث افزایش امنیت و حریم خصوصی بیماران می‌شود.



شکل ٥: ارتباط ماژول Contractor با دیگر ماژول‌ها

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

ساختار مبتنی بر قرارداد هوشمند برای اشتراک‌گذاری داده‌های بیماران، می‌تواند به عنوان یک راه حل امن و شفاف برای انتقال اطلاعات پزشکی و بهبود هماهنگی بین مراکز درمانی و نهادهای پزشکی مورد استفاده قرار گیرد. در این ساختار، یک قرارداد هوشمند برای اشتراک‌گذاری داده‌های پزشکی بین مراکز مختلف توسط پزشک بیمار ایجاد می‌شود. این قرارداد، شامل شرایط و معیارهایی است که توسط مراکز پزشکی تعیین می‌شود. در این ساختار، اطلاعات پزشکی بیماران در قرارداد هوشمند قرار می‌گیرد و تنها در صورتی که تمامی معیارها و شرایط توافق شده در قرارداد هوشمند بین مراکز پزشکی و پزشکان برآورده شود، به اشتراک گذاشته می‌شود. این معیارها و شرایط شامل اجازه دسترسی به اطلاعات پزشکی بیماران، نحوه استفاده از این اطلاعات، تضمین امنیت و حفظ حریم شخصی و محرمانگی اطلاعات پزشکی بیماران می‌باشد. در الگوریتم جدول ۴ نحوه ایجاد قرارداد هوشمند برای لیست انتظار پیوند عضو و اضافه کردن بیماران در لیست نشان داده شده است.

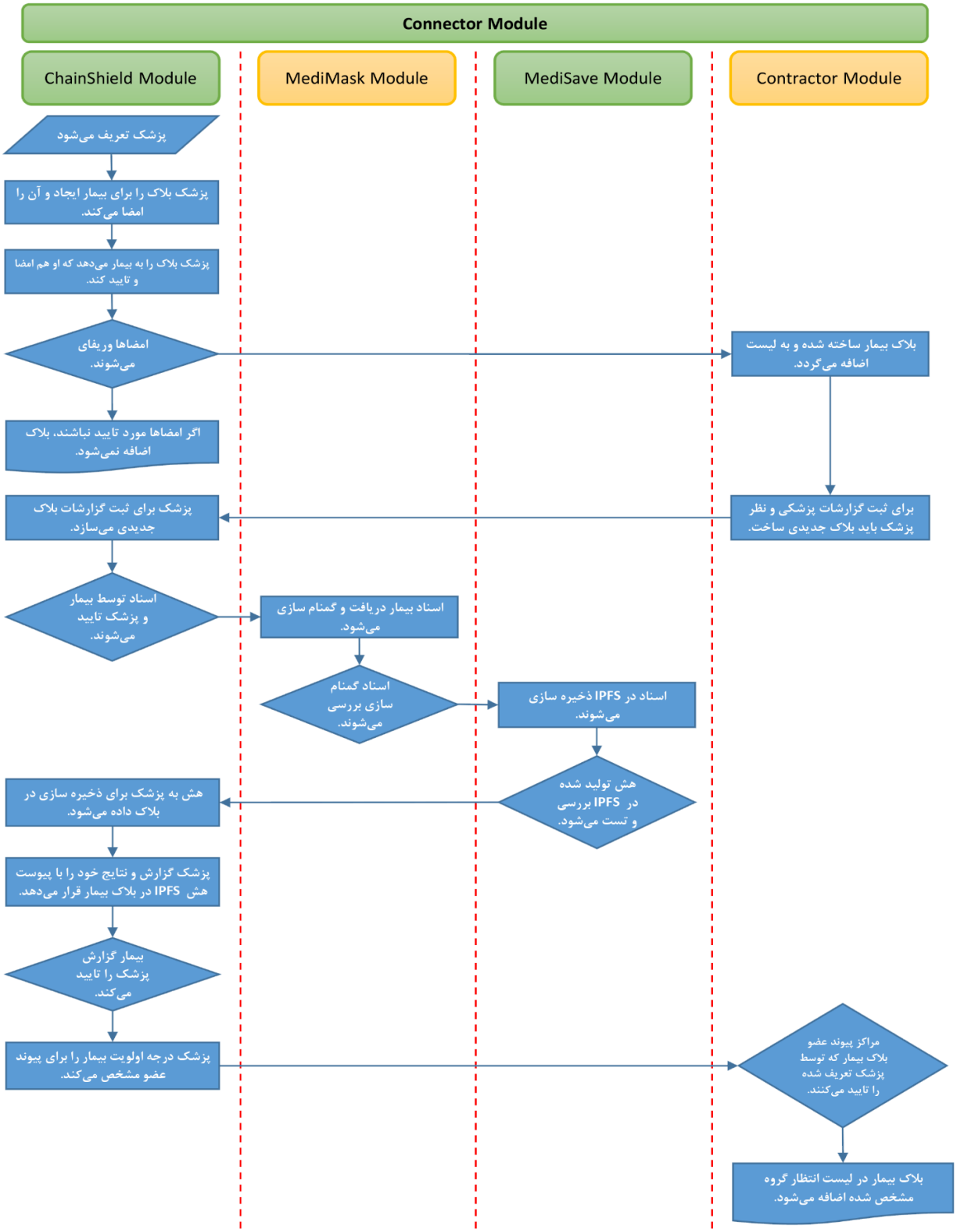
استفاده از Contractor به کاهش سرقت اطلاعات پزشکی، کاهش خطاهای ثبت اسناد پزشکی و کارآمدی در بخش پزشکی، بهبود امنیت و حریم شخصی بیماران و بهینه‌سازی مدیریت اطلاعات پزشکی کمک می‌کند. همچنین، این روش، تعامل بین مراکز درمانی را هماهنگ‌تر می‌کند و کیفیت درمان بهتر می‌شود، همچنین اعتماد بیماران به بخش نگهداری‌های سوابق پزشکی سازمان‌های سلامت افزایش می‌یابد.

ج) پیکربندی ساختار پیشنهادی

شکل ۶ فرآیند کلی عملکرد سامانه را نشان می‌دهد. در این ساختار ابتدا به پزشک دسترسی داده می‌شود که بتواند گیرندگان را ثبت نام کند. در مرحله نخست پزشک برای ثبت گزارش خود و اضافه کردن بیمار به لیست انتظار، ابتدا گروه انتظاری که باید بیمار در آن‌جا ثبت شود را مشخص و انتخاب می‌کند. سپس پزشک برای تکمیل و تأیید اطلاعات بیمار جهت امضا، بلاک را به بیمار می‌دهد که امضا کند. پس از آن که امضاها اعتبارسنجی شدند، بلاک بیمار جدید به زنجیره بلاک‌ها متصل خواهد شد.

در مرحله بعد برای ثبت نظر پزشک و گزارش‌های بیمار در بلاک جدید ابتدا نیاز است که اسناد پزشکی بیمار گمنام‌سازی شود و سپس در سامانه جهت ذخیره‌سازی در IPFS بارگذاری می‌گردد. شبکه IPFS یک هش به پزشک می‌دهد و پزشک هش را در قرارداد هوشمند به همراه نظر خود در رابطه با بیمار ثبت می‌کند. بیمار هم مالکیت گزارش‌های نوشته شده توسط پزشک را تأیید می‌کند. پس از تکمیل فرآیند ثبت گزارش داده‌های بیمار و مشخص شدن درجه اولویت بیمار توسط پزشک، قرارداد هوشمند وارد فرآیند تأیید نهایی خواهد شد. برای ثبت قرارداد هوشمند در لیست انتظار پیوند، لازم است که مراکز پیوند عضو، قرارداد نوشته شده توسط پزشک را امضا کنند. سپس بیمار به لیست انتظار برای دریافت عضو اضافه می‌شود.

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]



شکل ٦: دیاگرام نحوه ثبت بیمار توسط پزشک و اضافه شدن به لیست انتظار پیوند عضو

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۱۰۱
doi: 10.34172/jhbmi.2024.17
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

نتایج

برای گمنام سازی اسناد پزشکی الگوریتمی مبتنی بر SHA3 در جدول ۳ ارائه داده شد که با استفاده از آن ابتدا اطلاعات بیمار گمنام می‌شود و سپس سند پزشکی در شبکه IPFS ذخیره‌سازی می‌گردد.

جدول ۳: الگوریتم رمزنگاری SHA3 برای گمنام‌سازی داده‌های بیماران

Algorithm 1 Compute SHA-3 Hash

Require: String to be hashed: `string_to_hash`

Ensure: SHA-3 Hashed String: `hashed_string`

1: Initialize a SHA-3 hash object: `sha3_hash`

2: Update the hash object with the input string encoded in UTF-8: `sha3_hash.update(string_to_hash.encode('utf-8'))`

3: Compute the hashed string in hexadecimal format: `hashed_string = sha3_hash.hexdigest()` =0

پس از گمنام‌سازی اسناد، اطلاعات بیماران در قراردادهای هوشمند ذخیره‌سازی می‌گردد. جدول ۴ الگوریتم پیاده‌سازی شده برای ایجاد، ذخیره‌سازی و مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند را ارائه داده است.

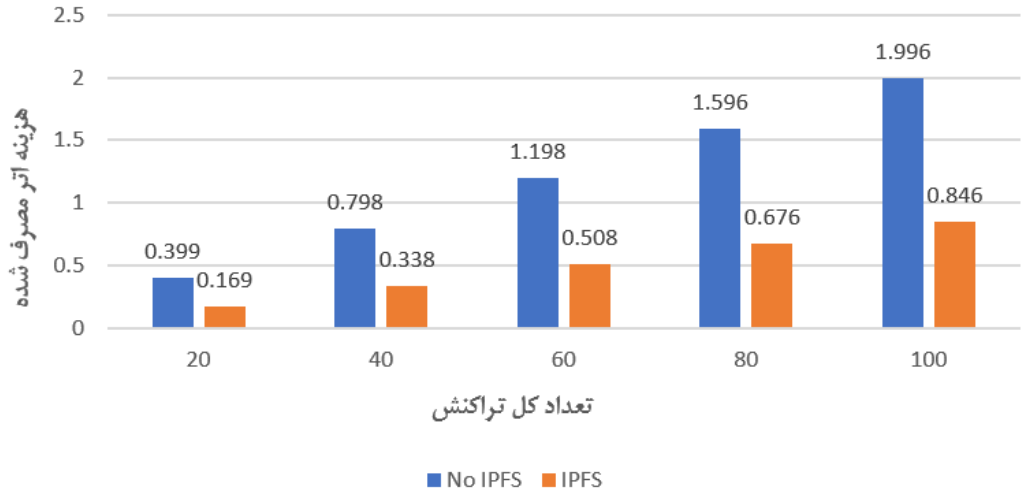
جدول ٤: الگوریتم سیستم پیشنهادی برای قرارداد هوشمند لیست انتظار پیوند عضو

Algorithm 2 Contract Organ transplant waiting list

1: **Variables:**
2: $PatientCount \leftarrow 0$
3: *Patients* is a mapping from *uint* to *Patient*
4: **Struct List:**
5: *id* : *uint*
6: Doctor's Report : string
7: *complete* : bool
8: **procedure** CONSTRUCTOR
9: Call ADDPATIENT with 'test Report'
10: **end procedure**
11: **Status:** ADDEDPATIENT with *uint* id, *string* content, *bool* complete
12: **Status:** THE TRANSPLANT IS COMPLETED with *uint* id, *string* content, *bool* complete
13: **procedure** ADDPATIENT(_content: string)
14: $PatientCount \leftarrow PatientCount + 1$
15: $tasks[PatientCount] \leftarrow$ PATIENT($PatientCount$, _content, false)
16: Emit ADDEDPATIENT($PatientCount$, _content, false)
17: **end procedure**
18: **procedure** TOGGLECOMPLETED(id: uint)
19: $t \leftarrow Patients[id]$
20: $t.complete \leftarrow true$
21: $Patients[id] \leftarrow t$
22: Emit TRANSPLANTATION WAS DONE(id, $Patients[id].content$, true)
23: **end procedure**

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

نگهداری اسناد حجیم پزشکی در بلاک‌چین از مشکلات اصلی به کارگیری شبکه بلاک‌چین برای مدیریت پرونده‌های پزشکی می‌باشد که در این تحقیق برای حل این چالش از شبکه IPFS استفاده شد. شکل ۴ نشان داد شد که استفاده از IPFS منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های انجام تراکنش در شبکه اتریوم منجر شده است. برای راه‌اندازی و انجام تراکنش در قرارداد هوشمند باید گس (Gas) صرف شود. نرخ گس، هزینه‌ای است که یک کاربر باید به ازای هر واحد گس پرداخت کند. نرخ گس با توجه به ازدحام شبکه تعیین می‌شود [۲۴]. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شد استفاده از IPFS در آزمایش‌های انجام شده منجر به کاهش شدید هزینه‌های ذخیره‌سازی شد.



شکل ۷: هزینه‌های ذخیره‌سازی اسناد پزشکی در سیستم پیشنهادی با IPFS در مقابل بلاک‌چین

ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری داده‌های لیست بیماران پیوندی در سیستم‌های متمرکز با تهدیدهای امنیتی برای نفوذ غیرقانونی، سرقت اطلاعات بدون اطلاع کاربران یا اجرای سایر اقدامات مخرب همراه است. به‌طور کلی استفاده از سیستم‌های متمرکز برای ذخیره‌سازی داده‌های محرمانه کاربران مناسب نیست، چرا که این سیستم‌ها امنیت بسیار پایینی دارند و همچنین مدیریت لیست انتظار پیوند در سیستم‌های فعلی شفافیت لازم را ندارند و باعث می‌شوند که انتقال عضو به صورت عادلانه بین گیرندگان با اولویت بالا تخصیص پیدا نکند. در تلاش برای حل این چالش‌ها و بهبود کیفیت و امنیت لیست انتظار پیوند عضو، مطالعه حاضر یک رویکرد نوین مبتنی بر فناوری بلاک‌چین ارائه می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش ارائه و پیاده‌سازی یک سامانه امن و مقیاس‌پذیر برای مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند عضو با استفاده از فناوری بلاک‌چین و ذخیره‌سازی توزیع شده است که امنیت، حریم خصوصی و عدالت در دسترسی را بهبود بخشد. این پژوهش در مقایسه با سیستم‌های مشابه که از فناوری بلاک‌چین استفاده کرده‌اند، با افزودن الگوریتم گمنام سازی و IPFS به عنوان بستر ذخیره‌سازی، مشکلات مربوط به مدیریت داده‌های حجیم پزشکی را نیز برطرف کرده است. به‌علاوه، پیوست اسناد پزشکی به لیست پیوند عضو به‌صورت امن و غیرقابل تغییر از دیگر مزایای این سیستم است که در مقایسه با پژوهش‌های قبلی برتری دارد.

همان طور که در جدول ۵ مشاهده شد، این راهکار با ارائه سیستمی غیرمتمرکز، توانایی حفظ امنیت داده‌ها و شفافیت را بهبود بخشیده و به ویژه در انتقال عضو، عدالت تخصیص عضو را بهبود می‌بخشد. فناوری بلاک‌چین با ویژگی‌هایی چون تغییرناپذیری داده‌ها و توزیع‌شده بودن، به عنوان پایه‌ای قوی برای ایجاد یک سیستم امن و شفاف انتقال عضو عمل می‌کند.

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی دوره یازدهم، شماره دوم، سال ۱۴۰۳، ص ۱۱۴-۱۰۱
doi: 10.34172/jhbmi.2024.17
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

جدول ۵: مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های مشابه

سال	مرجع	نوع شبکه بلاک‌چین	سکو بلاک‌چین	قرارداد هوشمند	ذخیره‌سازی اسناد پزشکی	فناوری ذخیره‌سازی اسناد	گمنام‌سازی اسناد پزشکی	دسته‌بندی بر اساس تایپ بافت عضو در یک بلاک‌چین
۲۰۲۳	راه‌حل پیشنهادی	هایبرید	اتریوم	✓	✓	IPFS	✓	✓
۲۰۲۲	Hawashin و همکاران [۹]	خصوصی	اتریوم	✓	×	NA	×	×
۲۰۲۱	Soni و Kumar [۸]	هایبرید	اتریوم	✓	×	NA	×	×
۲۰۲۱	Yahaya و همکاران [۱۱]	خصوصی	نامشخص	✓	✓	بلاک‌چین	×	×
۲۰۲۰	Daniel و همکاران [۱۲]	خصوصی	اتریوم	✓	✓	IPFS	×	×
۲۰۱۹	Dajim [۷]	خصوصی	نامشخص	✓	×	NA	×	×
۲۰۱۹	Alandjani [۱۰]	عمومی	نامشخص	✓	×	NA	×	×
۲۰۱۷	Zouarhi [۶]	خصوصی	اتریوم	✓	×	NA	×	×

این پژوهش با استفاده از IPFS ذخیره‌سازی اسناد پزشکی که دارای حجم بالایی هستند را در سیستم‌های غیرمتمرکز امکان پذیر می‌کند. در ساختار پیشنهادی با استفاده از روش گمنام‌سازی برای اسناد پزشکی باعث می‌شود سطح محرمانگی هویت بیماران ارتقاء پیدا کنند و از حریم خصوصی بیماران محافظت خواهد شد. به علاوه، روش پیشنهادی با پیوست شدن اسناد پزشکی بیمار باعث می‌شود از ذخیره‌سازی نتایج و نسخه پیچی اشتباه برای بیماران توسط پزشکان یا مراکز درمانی کاهش یابد. در روش پیشنهادی می‌توان با پیوست اسناد پزشکی بیماران توسط پزشکان، آزمایشگاه‌ها و مراکز درمانی، خطاهای نتیجه‌گیری از گزارش‌های اشتباه پزشکی را کاهش داد.

با این حال، روش پیشنهادی با چالش‌هایی نیز روبه‌رو است. اصلاح داده‌های پزشکی پس از ثبت در بلاک‌چین به دلیل ماهیت غیرقابل تغییر بودن آن، کاری دشوار و زمان‌بر است. همچنین، سرعت پایین ثبت داده‌ها به دلیل نیاز به تأیید بلاک‌ها توسط مراکز درمانی، ممکن است در شرایط اضطراری مشکل‌ساز باشد.

برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود که راهکارهایی برای بهبود سرعت عمل ثبت و تطبیق داده‌ها و تسهیل در اصلاح اطلاعات پزشکی بررسی شود. بهبود این موارد می‌تواند باعث پذیرش گسترده‌تر این سیستم در مراکز درمانی و افزایش کارایی آن در مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند عضو شود.

سیستم پیشنهادی می‌تواند به عنوان ابزاری مطمئن در دسترس تصمیم‌گیران قرار گیرد تا فرآیند پیوند عضو را بهبود داده و اعتماد عمومی به این فرآیند حیاتی را افزایش دهد.

در این پژوهش، با بهره‌گیری از فناوری بلاک‌چین و IPFS، روشی نوآورانه برای مدیریت لیست انتظار بیماران پیوند عضو ارائه شده است. روش پیشنهادی از طریق گمنام‌سازی اطلاعات بیماران و ذخیره‌سازی امن اسناد پزشکی، توانسته است مشکلات مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها را حل کند. این رویکرد با استفاده از ساختار غیرمتمرکز، امکان دستکاری و سوء استفاده از اطلاعات حساس بیماران را به حداقل می‌رساند. پژوهش حاضر با ارائه ساختاری امن و مقیاس‌پذیر، توانسته است نیازهای مهمی از جمله حفظ حریم خصوصی و عدالت در فرآیند پیوند عضو را پاسخ دهد. با استفاده از این سیستم، بیماران و اهداکنندگان می‌توانند با اعتماد بیشتری در این فرآیند مشارکت کنند و از صحت و امنیت اطلاعات خود اطمینان حاصل نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان تأیید می‌کنند که تعارض منافع وجود ندارد.

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

حمایت مالی

این کار در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی ارومیه انجام شده است و فاقد حمایت مالی می‌باشد.

کد اخلاق

دانشگاه‌های صنعتی فاقد فرایند صدور کد اخلاق می‌باشند. پروپوزال پایان نامه مرتبط در مدیریت امور پژوهشی دانشگاه صنعتی ارومیه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۱/۱۹ به شماره ۸۶۱۰۲/۳۵۵ مصوب گردیده است.

سهم مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در بخش‌های مختلف فعالیت داشته و از سهم مساوی برخوردار می‌باشند.

References

[1]. Fishman JA. Infection in organ transplantation. American Journal of Transplantation 2017;17(4):856-79. https://doi.org/10.1111/ajt.14208

[2]. Merrill JP, Murray JE, Harrison JH, Guild WR. Successful homotransplantation of the human kidney between identical twins. Journal of the American Medical Association 1956;160(4):277-82.

[3]. LI PK, Chu KH, Chow KM, Lau MF, Leung CB, Kwan BC, et al. Cross sectional survey on the concerns and anxiety of patients waiting for organ transplants. Nephrology 2012;17(5):514-8. https://doi.org/10.1111/j.1440-1797.2012.01615.x

[4]. Haleem A, Javaid M, Singh RP, Suman R, Rab S. Blockchain technology applications in healthcare: An overview. International Journal of Intelligent Networks 2021;2:130-9. https://doi.org/10.1016/j.ijin.2021.09.005

[5]. Tagde P, Tagde S, Bhattacharya T, Tagde P, Chopra H, Akter R, et al. Blockchain and artificial intelligence technology in e-Health. Environ Sci Pollut Res Int 2021;28(38):52810-31. doi: 10.1007/s11356-021-16223-0

[6]. Zouarhi S. Kidner – A Worldwide Decentralised Matching System for Kidney Transplants. Journal of the International Society for Telemedicine and EHealth 2017; 5;e62:1-4.

[7]. Dajim LA, Al-Farras SA, Al-Shahrani BS, Al-Zuraib AA, Mathew RM. Organ donation decentralized application using blockchain technology. 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS); 2019 May 1-3; Riyadh, Saudi Arabia: IEEE; 2019. p. 1-4. doi: 10.1109/CAIS.2019.8769459

[8]. Soni A, Kumar SG. Creating organ donation system with blockchain technology. European Journal of Molecular & Clinical Medicine 2021;8(03):2021.

[9]. Hawashin D, Jayaraman R, Salah K, Yaqoob I, Simsekler MC, Ellahham S. Blockchain-based management for organ donation and transplantation. IEEE Access 2022;10:59013-25. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3180008

[10]. Alandjani G. Blockchain based auditable medical transaction scheme for organ transplant services. 3C Tecnología 2019;31(2):41-63.

[11]. Yahaya CA, Firdaus A, Khen YY, Yaakub CY, Abd Razak MF. An Organ Donation Management System (ODMS) based on Blockchain Technology for Tracking and Security Purposes. International Conference on Software Engineering & Computer Systems and 4th International Conference on Computational Science and Information Management (ICSECS-ICOCSIM); 2021 Aug 24; Pekan, Malaysia: IEEE; 2021. p. 377-82. doi: 10.1109/ICSECS52883.2021.00075

[12]. Daniel IA, Pop C, Anghel I, Antal M, Cioara T. A blockchain based solution for managing transplant waiting lists and medical records. 16th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP) 2020 Sep 3-5; Cluj-Napoca, Romania: IEEE; 2020. p. 505-10. doi: 10.1109/ICCP51029.2020.9266214

[13]. Kiani M, Abbasi M, Ahmadi M, Salehi B. Organ transplantation in Iran; current state and challenges with a view on ethical consideration. J Clin Med 2018;7(3): 45. https://doi.org/10.3390/jcm7030045

[14]. Kumari S, Dixit T, Prakash P, Sharma V. Public Fund Care Tracking System based on Blockchain. 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON); 2022 Aug 26; Ravet, India: IEEE; 2022. p. 1-5. doi: 10.1109/ASIANCON55314.2022.9908651

[15]. Hussien HM, Yasin SM, Udzir NI, Ninggal MI, Salman S. Blockchain technology in the healthcare industry: Trends and opportunities. Journal of Industrial Information Integration 2021;22:100217. https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100217

[16]. Wu K. An empirical study of blockchain-based decentralized applications. arXiv preprint arXiv:1902.04969. 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.04969

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]

[17]. Johari R, Kumar V, Gupta K, Vidyarthi DP. BLOSOM: BLOckchain technology for Security of Medical records. ICT Express 2022;8(1):56-60. https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.06.002
[18]. Wu H, Dwivedi AD, Srivastava G. Security and privacy of patient information in medical systems based on blockchain technology. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM). 2021;17(2s):1-7. https://doi.org/10.1145/3408321
[19]. Azbeg K, Ouchetto O, Andaloussi SJ. BlockMedCare: A healthcare system based on IoT, Blockchain and IPFS for data management security. Egyptian Informatics Journal 2022;23(2):329-43. https://doi.org/10.1016/j.eij.2022.02.004
[20]. Kumar R, Marchang N, Tripathi R. Distributed off-chain storage of patient diagnostic reports in healthcare system using IPFS and blockchain. International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS) 2020 Jan 7-11; Bengaluru, India: IEEE; 2020. p. 1-5. doi: 10.1109/COMSNETS48256.2020.9027313
[21]. Olatunji IE, Rauch J, Katzensteiner M, Khosla M. A review of anonymization for healthcare data. Big Data 2022. doi: 10.1089/big.2021.0169
[22]. Long S. A comparative analysis of the application of hashing encryption algorithms for MD5, SHA-1, and SHA-512. Journal of Physics Conference Series 2019;(1):012210. doi:10.1088/1742-6596/1314/1/012210
[23]. Nishi FK, Shams-E-Mofiz M, Khan MM, Alsufyani A, Bourouis S, Gupta P, et al. [Retracted] Electronic Healthcare Data Record Security Using Blockchain and Smart Contract. Journal of Sensors 2022;2022(1):7299185. https://doi.org/10.1155/2022/7299185
[24]. Koutmos D. Network activity and ethereum gas prices. J. Risk Financial Manag 2023;16(10): 431. https://doi.org/10.3390/jrfm16100431

[DOI: 10.34172/jhbmi.2024.17]