

ارایه چارچوب حفظ حریم خصوصی در سلامت الکترونیک

محمد بهشتی آتشگاه^۱، محمدرضا عارف^۲، مجید بیات^۳، مرتضی براری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱

چکیده

مفهوم اینترنت اشیا جهان دیجیتال واقعی را می‌سازد که در آن تمامی اشیاء به یکدیگر متصل می‌باشند. این مفهوم تقریباً تمامی حوزه‌های کاربردی موجود را دچار تغییرات اساسی کرده است. حوزه سلامت هوشمند یکی از پرکاربردترین زیرحوزه‌های اینترنت اشیا محسوب می‌گردد که امکانات و سرویس‌های پزشکی و سلامت الکترونیک جدیدی را به ارمان آورده است. در کنار افزایش کاربرد اینترنت اشیا و زیرحوزه‌های مختلف آن، نگرانی‌ها و مشکلات امنیتی و حریم خصوصی نیز به شدت افزایش یافته و تبدیل به معضل اول پیاده‌سازی مفهوم نهایی اینترنت اشیا شده است. هر چند که تاکنون کارهای زیادی برای حفظ امنیت و حریم خصوصی اینترنت اشیا و زیرحوزه‌های آن شده است اما هنوز یک چهارچوب امنیتی کامل و کارآمد که بتواند ویژگی‌های امنیتی مختلف را برآورده نماید ارایه نشده است. در این مقاله سعی داریم تا در ابتدا یک چهارچوب امنیتی و حفظ حریم خصوصی برای حوزه سلامت الکترونیک را که اخیراً ارایه شده است مورد بررسی قرار داده و چهارچوب کامل‌تری را ارایه نماییم که اولاً حریم خصوصی شناسه بیمار و محتوای پرونده او را حفظ نموده و ثانیاً ویژگی‌های امنیتی بیشتری را پوشش دهد. همچنین یک طرح احرازاصالت با ویژگی حفظ حریم خصوصی بیمار ارایه می‌نماییم. طرح ارایه‌شده کارآمد و سبک‌وزن بوده و تمامی ویژگی‌های امنیتی مربوطه را برآورده می‌نماید.

کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، سلامت هوشمند، حریم خصوصی، احرازاصالت، شناسه، رایانش ابری.*

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، m_beheshti_a@mut.ac.ir

آستاد تمام، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، نویسنده مسئول aref@sharif.edu

آستادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر؛ دانشگاه شاهد، mbayat@shahed.ac.ir

دانشیار، مجتمع دانشگاهی برق و کامپیوتر؛ دانشگاه صنعتی مالک اشتر، m.barari@mut.ac.ir

* نسخه اولیه این مقاله در کنفرانس دهمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ارایه شده است.

۱. مقدمه

در این بخش، برخی از مفاهیم مورد نیاز مقاله را معرفی و مرور می‌نمایم.

۱-۱. اینترنت اشیا

مفهوم اینترنت اشیا (IoT) به شبکه‌ای متصل و یکپارچه مبتنی بر اینترنت جهانی اشاره می‌کند که امکان تبادل اطلاعات متنوع را در حجم وسیع میان اشیای هوشمند مختلف تسهیل می‌نماید [1]. این مفهوم گسترده زیرحوزه‌های کاربردی مهم و اساسی همچون شهر هوشمند، خانه/ساختمان هوشمند، شبکه هوشمند انرژی، سلامت هوشمند و غیره دارد. برای نمونه، برخی از مثال‌های کاربردی IoT عبارتند از: مراقبت و کنترل از راه دور سلامت بیماران، کنترل مصرف انرژی، کنترل ترافیک، سیستم پاک‌کردن هوشمند، مدیریت موجودی (کالا)، زنجیره محصول، شخصی‌سازی خرید در سوپر مارکت، حفاظت مدنی. برای همه آن‌ها، کاربران نیاز به محافظت از اطلاعات شخصیشان که مربوط به جابجائی‌هایشان، عادت‌های رفتاری و تعامل با دیگران می‌شود، دارند [2]. در حقیقت با توجه به این مطلب که ارتقای سطح کیفی زندگی بشر یکی از اهداف اصلی اینترنت اشیا به شمار می‌رود، با توسعه مفهوم اینترنت اشیا در حوزه‌های مهمی چون سلامت هوشمند و مراقبت‌های بهداشتی شاهد بروز سرویس‌ها و خدمات هوشمند جدید به بیماران خواهیم بود. برای نمونه می‌توانیم به تجهیزات هوشمند پوشیدنی اشاره نماییم که هر کدام وظیفه سنجش و مراقبت از وضعیت قسمتهای حیاتی بدن انسان همانند قلب را برعهده دارند و به محض وقوع علائم خطرناک سلامت شخص قادرند تا به مراجع مربوطه اعلام خطر نموده و وضعیت را گزارش دهند [3].

انتظار می‌رود که در آینده‌ای بسیار نزدیک، شبکه جهانی نامتجانس IoT به لحاظ تعداد دستگاه‌های متصل به طور چشمگیری رشد داشته باشد. پیش‌بینی‌های مختلف تخمین می‌زنند که تعداد دستگاه‌های IoT به رقمی فراتر از ۱۰۰ میلیارد برسد. در واقع، IoT جهش بزرگ بعدی در دنیای فناوری خواهد بود که در آن تقریباً هر چیزی می‌تواند متصل شود [4]. در [5] و [6]، IoT به صورت "یک الگوی جدید تعریف می‌شود که اشیاء را در دنیای واقعی به دنیای مجازی پیوند می‌دهد، بنابراین امکان اتصال و ارتباط در هر زمان و برای هر چیزی و نه فقط یک نفر فراهم می‌نماید. در واقع، IoT به دنیایی اشاره می‌کند که اشیاء فیزیکی و موجودات در آن در یک فضا و زمان یکسان با هم تعامل و تراکنش دارند". هدف این مفهوم، توانمندسازی امکان ارتباط، اتصال و تبادل اطلاعات کارآمد میان مجموعه‌های بزرگی از اشیاء و موجودات نامتجانس است تا با همکاری هم سرویس‌های مفیدی را فراهم آورند. به هر حال، IoT نگرانی‌های امنیتی و حریم خصوصی را با خود آورده که نیاز است تا راه‌حل‌های مناسب و در خور برای آن‌ها ارائه گردد [7].

۱-۲. حوزه سلامت الکترونیک

سازمان بهداشت جهانی^۵ سلامت الکترونیک را "استفاده ایمن و مقرون‌به‌صرفه از اطلاعات و فناوری‌های ارتباطی برای پشتیبانی از حوزه‌های سلامت و حوزه‌های مرتبط با آن، همچون خدمات مراقبت‌های بهداشتی، پایش سلامت، مطالعات بهداشت و درمان، آموزش پزشکی، دانش و تحقیقات سلامت" تعریف می‌کند [8]. PHR یک داده پزشکی است که توسط خود بیمار نگهداری و مدیریت می‌گردد [9]. یک PHR خوب شامل یک پرونده کوتاه و جزئی از داده تاریخچه پزشکی بیمار

⁵ World Health Organization (WHO)

است که از منابع مختلف جمع‌آوری شده‌اند (همانند EHRs). این داده‌ها به آسانی توسط هر کسی که دسترسی مجاز به PHR داشته باشد قابل دسترسی خواهد بود.

پرونده سلامت الکترونیک⁶ (EHR) شامل ابزارهایی جهت مدیریت اطلاعات سلامت است. مدیریت این اطلاعات به منظور ارتباط با منابع درمانی و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده صورت می‌پذیرد. داده‌های جمع‌آوری شده در تحقیقات و ارائه خدمات درمانی کاربرد دارد. EHR امکان سازماندهی و تفسیر داده‌ها و واکنش به آن‌ها را فراهم می‌کند [10].

سلامت همراه⁷ زیر مجموعه‌ای از سلامت الکترونیک می‌باشد. رصد جهانی سلامت الکترونیک⁸ سلامت همراه را به‌عنوان یک راهکار ارائه خدمات عمومی درمانی معرفی نموده است؛ که از دستگاه‌های قابل حمل نظیر گوشی‌های موبایل، دستگاه‌های نظارت بیمار، دستیاران دیجیتال شخصی⁹ (PDAها) و سایر دستگاه‌های بی‌سیم پشتیبانی می‌کند [11].

سرویس‌های مبتنی بر سلامت همراه، به بیماران و متخصصان حوزه سلامت اجازه می‌دهد تا به آسانی در هر زمان و هر مکانی به داده‌های پزشکی دسترسی یابند. همچنین بیماران به راحتی می‌توانند نیازمندی‌های سلامت خود را در خانه مدیریت کنند. در نتیجه تعداد مراجعین به بیمارستان‌ها و هزینه‌های درمانی کاهش می‌یابد. علاوه بر این پزشکان می‌توانند از راه دور بر سلامتی بیماران خود نظارت داشته باشند و بدون نیاز به ملاقات فیزیکی به آن‌ها مشاوره دهند [12].

امروزه به سلامت همراه بیش از پیش توجه می‌شود و به دلایل زیر روند رو به رشدی را در پیش گرفته است [13]:

- ارزان است، در واقع امکانات ارتباطی گسترده‌ای

را با هزینه کمتر و کارایی بالاتر ارائه می‌دهد.

- مقبولیت عمومی زیادی دارد و حس اطمینان در استفاده از کامپیوتر و تکنولوژی ارتباطات را به همراه دارد.

- از استانداردهای جهانی رو به رشد در ارتباطات استفاده می‌کند نظیر ویدئو کنفرانس.

- جهت پیشگیری از افزایش هزینه‌های درمانی بهداشت ضروری است.

- خدمات درمانی با کیفیت بالا در ۲۴ ساعت روز در ۷ روز هفته برای تمام شهروندان بدون در نظر گرفتن موقعیت فیزیکی فراهم می‌آورد.

در همین راستا گوشی‌های هوشمند پلتفرم¹⁰ (بستر) قابل توجه‌ای برای مراقبت‌های بهداشتی و درمانی به حساب می‌آیند، به طوری که، تخمین زده شده تا پایان سال ۲۰۱۷، مجموع درآمد بازار سلامت همراه با ۶۱ درصد رشد، به ۲۶ میلیارد دلار برسد. با توجه به اینکه، دستگاه‌های سلامت موبایلی قابلیت جمع‌آوری اطلاعات را در بازه‌های زمانی و به طور پیوسته دارند، سلامت همراه امکان جمع‌آوری داده‌های پزشکی بیشتری در خصوص بیمار فراهم می‌کند. علاوه بر این، گردآوری اطلاعات در سلامت همراه صرفاً به اطلاعات پزشکی محدود نمی‌شود، بلکه بازه وسیع‌تری از اطلاعات را شامل می‌شود. به طور مثال، برنامه‌های سلامت موبایل متعدد، اطلاعاتی در مورد سبک زندگی و فعالیت‌های بیمار را جمع‌آوری می‌کند [14]. به همین دلیل از چالش‌های اساسی در سلامت همراه حفظ امنیت و حریم خصوصی کاربران می‌باشد.

⁹ Personal Digital Assistant (PDA)

¹⁰ Platform

⁶ Electronic Health Record (EHR)

⁷ Mobile Health

⁸ Global Observatory for eHealth (GOe)

۳-۱. رایانش ابری در حوزه سلامت

هرچند که رایانش ابری به تنهایی با حوزه اینترنت اشیا و زیرحوزه‌های آن متفاوت می‌باشد؛ اما باید توجه نمود که IoT بدون آمیخته شدن با دو فناوری رایانش ابری و داده‌بزرگ به مفهوم نهایی خود نخواهد رسید. البته در این میان باید توجه نمود که نیاز است تا جایگاه رایانش ابری برای زیرحوزه‌های مختلف IoT از جمله حوزه سلامت الکترونیک محرز و به نوعی شخصی سازی شود چرا که به عنوان مثال، در حالت کلی تفاوتی میان استفاده از رایانش ابری در خانه هوشمند و استفاده از رایانش ابری در سلامت الکترونیکی وجود ندارد و نیاز است که این کاربرد در هر زیرحوزه IoT شخصی سازی و منحصر به فرد گردد.

فناوری رایانش ابری^{۱۱} (CC) امکان دسترسی آسان و ساده به شبکه‌ای از یک گروه مشترک از منابع پردازشی را فراهم می‌کند که در آن‌ها، نصب و حفظ داده‌ها و نرم‌افزارها با حداقل زحمت صورت می‌پذیرد. امروزه این فناوری تبدیل به یک فناوری مهم شده و بسیاری از اندیشمندان و محققان ادعا می‌کنند که رایانش ابری فرآیندهای پردازشی و بازار IT را دچار تغییرات اساسی نموده است. زمانی که دسترسی به وسیله رایانش ابری صورت می‌پذیرد، کاربران می‌توانند مجموعه‌های جامع از ابزارها برای ارزیابی کاربردهای مختلف و امکان ذخیره‌سازی داده خود بر روی سرورهای توزیع شده ابری را در اختیار داشته باشند و پلتفرم‌های مربوطه را از طریق فضای اینترنت مورد بهره‌برداری قرار دهند [15].

موسسه ملی استانداردها و فناوری^{۱۲} (NIST) ایالات متحده اظهار می‌کند که CC یک مدل برای استفاده از

منابع رایانه‌ای و دیگر عاملیت‌های فناورانه مدرن در دنیای فناوری اطلاعات به منظور فراهم نمودن سرویس‌هایی همانند ذخیره‌سازی و کاربردهای مختلف می‌باشند [16]. کاربران می‌توانند به سرویس‌های رایانش ابری دسترسی داشته و از آن استفاده نمایند بدون آن که نیاز به کسب دانش، تجربه یا حتی مدیریت زیرساخت‌هایی را داشته باشند که این سرویس‌ها را پشتیبانی می‌نمایند. به طور کلی، سه نوع سرویس اصلی توسط ابرها پیشنهاد می‌شود [17]: نرم‌افزار به عنوان یک سرویس^{۱۳} (SaaS)، پاتفرم به عنوان یک سرویس^{۱۴} (PaaS) و زیرساخت به عنوان یک سرویس^{۱۵} (IaaS) [18]. به علاوه، چهار مدل پیاده‌سازی برای راه‌حل‌های معماری ابری پیشنهاد شده است: ابر محرمانه^{۱۶}، ابر ارتباطی^{۱۷}، ابر عمومی^{۱۸} و ابر ترکیبی^{۱۹} [19,20]. به دلیل آن که رایانش ابری منابع توزیع شده‌ای در اینترنت و در میان چندین اینترنت قرار می‌دهد پس مبحث امنیت مسأله مهمی به شمار می‌رود.

۲. کارهای مربوطه

حریم خصوصی به‌عنوان توانایی فرد یا گروه بر آشکارسازی گزینشی اطلاعات خود براساس تغییر شرایط معرفی نمود. محرمانگی، فرد را قادر می‌سازد تا انتشار اطلاعات سلامت خود را نزد ارائه‌دهندگان خدمات کنترل نماید. برای این منظور راهکارهای متعددی جهت حفظ حریم خصوصی ارائه شده است. روش‌های گمنام‌سازی، کنترل دسترسی و رمزنگاری از جمله این راهکارها می‌باشد [21].

راهکارهای متعددی برای پیاده سازی و بهبود امنیت و حریم خصوصی ساختار سلامت همراه ارائه شده است.

¹⁵ Infrastructure as a Service

¹⁶ Private cloud

¹⁷ Community cloud

¹⁸ Public cloud

¹⁹ Hybrid cloud

¹¹ Cloud Computing

¹² National Institute of Standards and Technology

¹³ Software as a Service

¹⁴ Platform as a Service

برخی از این راهکارهای به ارائه برنامه‌های کاربردی سلامت الکترونیک بر روی پلتفرم تلفن همراه تکیه دارند. این برنامه‌ها برای ارتباط با سایر اجزای سیستم سلامت الکترونیک از امکانات و بسترهای موبایل استفاده می‌کند. یکی از مسائل مهم در حفظ امنیت و حریم خصوصی کاربران احراز هویت قوی کاربر می‌باشد. طرح‌های احراز هویت/احراز اصالت به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌شوند، احراز هویت یک، دو و سه فاکتور. احراز هویت مبتنی بر رمز عبور احراز هویت یک فاکتوری گفته می‌شود. در صورتی که از کارت هوشمند نیز استفاده شود احراز هویت مبتنی بر دو فاکتور خواهد بود. در نهایت با افزودن یک لایه امنیتی بیشتر و استفاده از بیومتریک کاربر احراز هویت، سه فاکتوری است [22]. در [23]، Jiang و همکارانش یک طرح احراز اصالت سه-عاملی ارائه می‌نمایند که در حوزه سلامت هوشمند ارائه شده است. این طرح از حریم خصوصی شناسه کاربر محافظت می‌نماید. Irshad و همکارانش [24] به طرح Jiang و همکارانش حمله نموده و سپس یک طرح بهبود یافته مبتنی بر طرح آن‌ها ارائه نمودند. در سال ۲۰۱۶، Liu و Chung [25] یک طرح احراز اصالت کاربر برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم سلامت هوشمند ارائه نمودند که در توسط Li و همکارانش در [26] مورد ارزیابی امنیتی قرار گرفته و بهبود داده شد؛ البته آن‌ها هیچ اثبات امنیتی رسمی با ابزار استاندارد ارائه نکرده‌اند.

Nordgren نیز در [27] براساس ایده حریم خصوصی در طراحی^{۲۰} که توسط Cavoukian و همکارانش [28] به حوزه حریم خصوصی در طراحی و ابعاد مختلف آن پرداخته است اما در عمل هیچ طرح، پروتکل یا چهارچوب مشخصی برای محافظت از حریم خصوصی ارائه نکرده است. به طور مشابه، Chen و همکارانش در

[29] یک چهارچوب برای حفظ حریم خصوصی در حوزه سلامت الکترونیک ارائه نموده‌اند اما هیچ طرح یا پروتکل کاربردی در آن معرفی نشده است. در [15]، Sahi و همکارانش یک چهارچوب برای حفظ امنیت و حریم خصوصی ارائه نمودند که بحث رمزگذاری پرونده شخصی الکترونیک بیمار و ذخیره‌سازی آن در ابر را با استفاده از پروتکل توافق کلید^{۲۱} 3PAKE [30] و سیستم رمزگذاری AES انجام می‌دهد. در اکثر ورش‌ها و رویکردهای ارائه شده مبتنی بر دانش رمزنگاری، اولیه‌ها و پروتکل‌های آن می‌باشند اما به هر حال رویکردهای غیر رمزنگاری نیز ارائه شده‌اند. برای نمونه، Anjum و همکارانش در [31]، مکانیزمی برای حفظ حریم خصوصی در سلامت هوشمند براساس روش k -گمنامی ارائه شده است که این روش نیز هیچ اثبات امنیتی نداشته و تنها در قالب یک مدل ارائه شده است. همچنین اخیراً رویکرد دیگری توسط GabyDager و همکارانش مبتنی بر فناوری زنجیره بلوکی ارائه شده است [32]. در این مقاله، مولفین یک چهارچوبی به نام Ancile ارائه نموده‌اند که از قراردادهای هوشمند مبتنی بر زنجیره‌های بلوکی براساس رمزارز اتریوم بهره می‌برد. هرچند که زنجیره بلوکی فناوری جدیدی است که اعتماد و امنیت را با خود به ارمغان می‌آورد اما این فناوری با محدودیت‌هایی نظیر کارآمدی، مصرف بالای انرژی، هزینه نگهداری بالا، وضعیت رگولاتوری نامشخص، نگرانی پیرامون امنیت و حریم خصوصی و غیره روبرو است که مانع پذیرش کاربردی این فناوری در تمامی حوزه‌ها می‌شود.

برخی از طرح‌های ارائه شده مبتنی بر سیم کارت مخابراتی شبکه سلولی می‌باشند. سیم کارت نوعی کارت هوشمند است و از چهارچوب جاوا کارت پشتیبانی می‌کند. سیم کارت محیط سخت‌افزاری و نرم‌افزاری چند

^{۲۱} *Three-Party Key Exchange Protocol*

^{۲۰} *Privacy by design*

۳. مروری بر کلیات چارچوب ارایه شده

در این بخش قصد داریم تا کلیات چارچوب حفظ حریم خصوصی پیشنهادی خود را ارایه نماییم. این چارچوب پیشنهادی شامل گام‌های زیر می‌باشد:

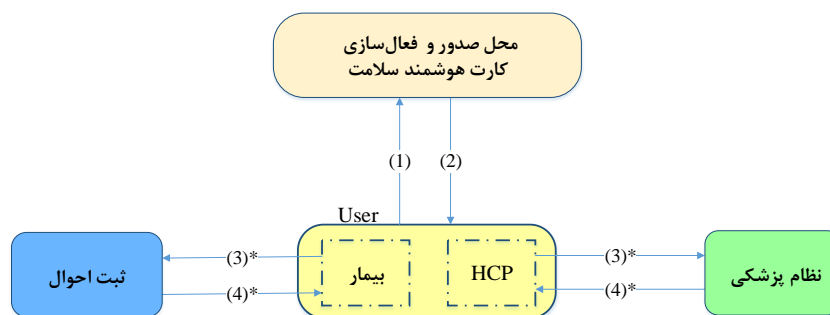
گام ۱) اولین گام در ارائه طرحی جهت حفظ حریم خصوصی کاربران در سلامت همراه شناخت موجودیت‌ها و روابط آن‌ها با یک دیگر است. براساس این روابط، روال دریافت و فعال‌سازی کارت هوشمند سلامت برای کاربران تعریف می‌شود. در حقیقت، گام اول تعریف و فعال‌سازی کارت هوشمند سلامت بیمار می‌باشد. این کارت حاوی اطلاعات پزشکی و شخصی بیمار نظیر کلمه‌های عبور لازمه می‌باشد. همچنین می‌توان برای حفظ امنیت بیشتر کارت سلامت بیمار، چند عامل برای احراز مجوز لازم دسترسی به آن تعریف نمود که اثرانگشت بیمار می‌تواند یکی از آن‌ها باشد.

گام ۲) در این گام، بیمار برای خود یک وکیل انتخاب می‌کند که می‌تواند از اعضای خانواده، آشنایان و یا دوستان او باشد. بدین منظور، ما استفاده از یک طرح امضای وکالتی دو بخشی را پیشنهاد می‌نماییم. در حقیقت، در چنین طرحی صاحب امضا (بیمار) وکالت خود را به دو بخش یعنی وکیل و میانجی امنیتی^{۲۲} (SEM) اعطا می‌کند. هر زمان که وکیل بخواهد به نمایندگی از صاحب امضا، امضایی صورت داده و یا در روند احراز اصالت شرکت نماید مجبور است با SEM همکاری نماید.

کاربردی است. این مسأله به سایر برنامه‌ها، علاوه بر برنامه استاندارد سیم‌کارت، اجازه می‌دهد تا بر روی همان تراشه، مستقر و اجرا شوند [22]. به همین منظور در بسیاری از طرح‌های ارائه شده در این حوزه از سیم‌کارت به عنوان کارت هوشمند سلامت استفاده شده است که علاوه بر سایر قابلیت‌هایش، به ذخیره‌سازی و پردازش بخشی از اطلاعات سلامت می‌پردازد. از طرفی، در طرح تحول سلامت کشور که در چند سال اخیر مطرح شده و در حال توسعه می‌باشد رویکرد استفاده از کارت هوشمند سلامت در نظر گرفته شده است. بنابراین در این مقاله، ما نیز چهارچوبی ارائه می‌نماییم که مبتنی بر کارت هوشمند سلامت بیمار بوده و حریم خصوصی شناسه بیمار را محافظت می‌نماید. ایده کلیات چارچوب جدید ارایه شده مبتنی بر طرح Sahi و همکارانش [15] می‌باشد اما آن‌ها در طرحشان تنها از حریم خصوصی محتوای پرونده سلامت و آن هم با استفاده از رمزگذاری از محتوای پرونده سلامت شخصی بیمار محافظت می‌کنند. در حقیقت منظور Sahi و همکارانش از حفظ حریم خصوصی، محافظت از حریم خصوصی محتوای پرونده پرونده شخصی بیمار بوده است و آن‌ها هیچ توجهی به حریم خصوصی شناسه بیمار نداشته‌اند.

ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است: در بخش بعد، کلیات چارچوب حفظ حریم خصوصی ارایه شده مورد معرفی و بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۳، پروتکل احراز اصالت پیشنهادی با ویژگی محافظت از حریم خصوصی بیمار را با جزئیات ارایه می‌نماییم. ویژگی‌های امنیتی مربوط به طرح احراز اصالت پیشنهادی در بخش ۵ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و نهایتاً با نتیجه‌گیری در بخش ۶ به کار خود پایان می‌دهیم.

^{۲۲} *Security Mediator*



شکل ۱. صدور و فعال‌سازی کارت هوشمند سلامت بیمار.

منظور تأمین امنیت نشست مورداستفاده قرار خواهد گرفت.

گام ۵) پس از انجام موفقیت‌آمیز فرآیند احرازاصالت توسط طرفین ارتباط، مجوز دسترسی HCP ها یا همان ارائه‌دهندگان سرویس‌های سلامت به پرونده‌های PHR ذخیره‌شده در ابر صادر شده و امکان دسترسی به اطلاعات پزشکی بیمار برای HCP ها وجود خواهد داشت.

شمای کلی چهارچوب پیشنهادی در قالب شکل ۲ نشان داده شده است. رویکرد ارائه‌شده برای محافظت از حریم خصوصی شامل موجودیت‌های زیر می‌شوند:

- **مصرف‌کننده داده:** افراد یا شرکت‌هایی هستند که علاقه‌مند به استفاده از داده PHR یا EHR می‌باشند. به بیان دیگر، مصرف‌کننده داده ارائه‌دهنده‌های مراقبت‌های بهداشتی همچون پزشکان و پرستاران می‌باشند.
- **کنترل‌کننده:** مسئول مذاکره و برقراری و تولید کلید نشست برای بخش‌های مربوطه می‌باشد.
- **صاحب داده:** تنها بخشی است که دسترسی کامل به داده EHR دارد.
- **بخش موردا اعتماد:** دو موجودیت کنترل‌کننده و مالک‌داده توسط تمامی بخش‌ها مورد اعتماد هستند.

بدین منظور، ما استفاده از یک طرح امضای وکالتی دو بخشی را پیشنهاد می‌نماییم. در حقیقت، در چنین طرحی صاحب امضا (بیمار) وکالت خود را به دو بخش یعنی وکیل و میانجی امنیتی^{۲۳} (SEM) اعطا می‌کند. هر زمان که وکیل بخواهد به نمایندگی از صاحب امضا، امضایی صورت داده و یا در روند احرازاصالت شرکت نماید مجبور است با SEM همکاری نماید.

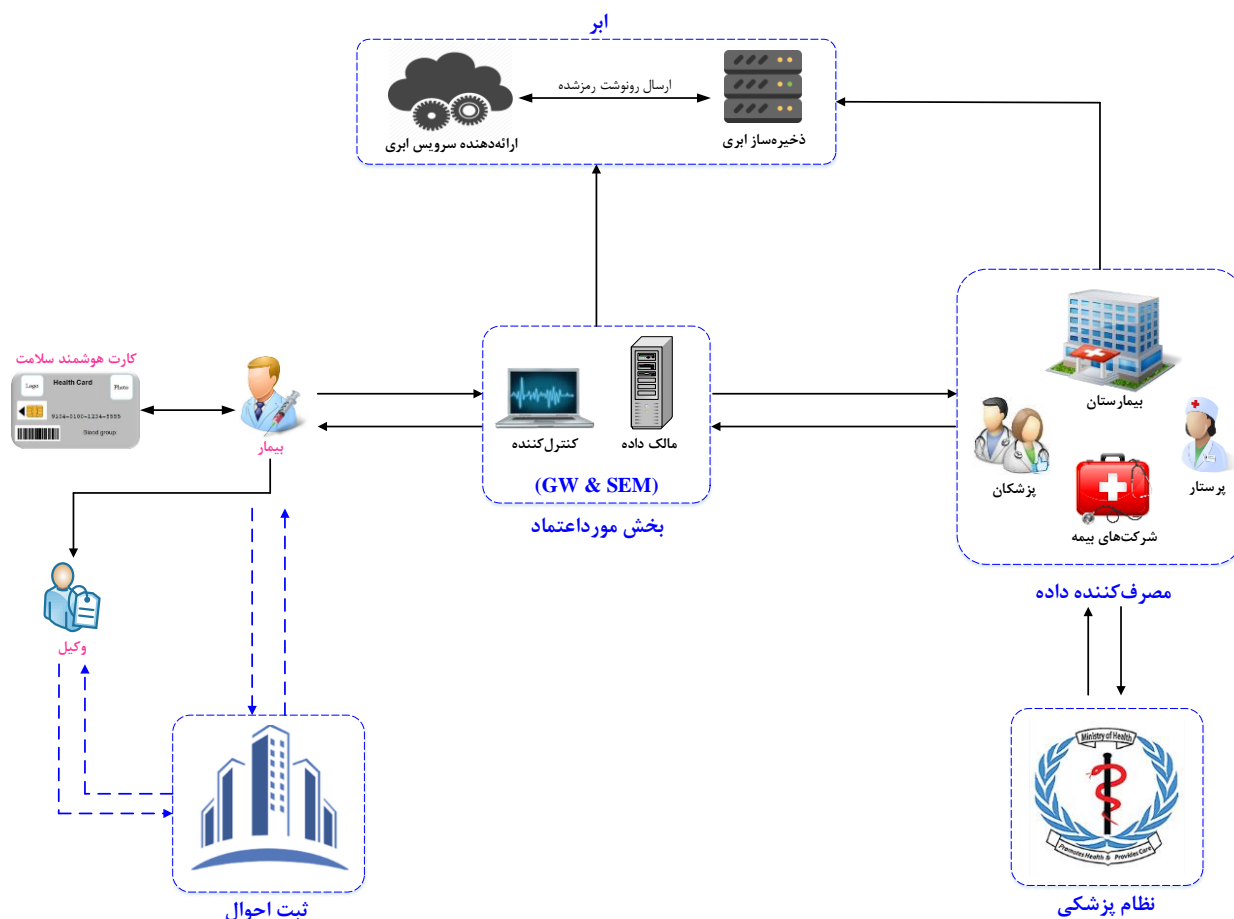
گام ۳) در این گام، بیمار به همراه وکیل خود از یک نهاد قانونی همانند ثبت‌احوال، شناسه مستعار دریافت می‌کنند. متعاقباً، آن‌ها باید براساس شناسه جدید خود کلیدهای مستعاری نیز داشته باشند. پزشکان نیز می‌توانند چنین فرآیندی را دنبال نمایند. با استفاده از شناسه‌های مستعار، شناسه واقعی بیمار و در نهایت حریم خصوصی شناسه بیمار مورد محافظت قرار می‌گیرند.

گام ۴) این گام شامل احرازاصالت دو طرف اصلی یعنی بیمار (به عنوان طرف اول) و پزشکان و پرستاران و به عبارت صحیح‌تر، کلیه ارائه‌دهندگان سرویس‌های پزشکی و سلامتی (به عنوان طرف دوم) می‌باشد. برای این منظور، ما یک طرح احرازاصالت پیشنهاد خواهیم نمود که از یک دروازه^{۲۴} به عنوان میانجی امنیتی استفاده می‌کند. نقش دروازه را می‌تواند همان کنترل‌کننده ایفا نماید. در طی این گام، طرفین احرازاصالت، یک کلید نشست میان خود به اشتراک خواهند گذاشت که به

²⁴ Gateway

²³ *SEcurity Mediator*

- بیماران: بیمار مالک PHR خود بوده و کنترل کاملی بر حریم خصوصی اطلاعات PHR خود دارد. او می‌تواند نقش خود را به بخش‌های دیگر همانند یکی از اعضای خانواده و یا دوست تفویض (وکالت) یا واگذار نماید تا در مواقع ضروری به PHR خودش دسترسی داشته باشد.
- ابر: شامل ارائه‌دهنده سرویس ابری و ذخیره‌سازی ابری است. ارائه‌دهنده سرویس ابری به درخواست‌ها از سوی مصرف‌کننده داده پاسخ داده و سرویس متناظر آن درخواست را ارائه می‌نماید. ذخیره‌ساز ابری برای ذخیره و تسهیم داده رمز شده از مالک داده مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۲. کلیات چهارچوب پیشنهادی برای محافظت از حریم خصوصی.

۴. جزئیات پروتکل احراز اصالت پیشنهادی

طرح ارایه شده پنج فاز دارد: اخذ شناسه مستعار، آغازین، ثبت نام (صدور کارت)، ورود و احراز اصالت، تغییر کلمه عبور.

۴-۱. فاز اخذ شناسه مستعار

به منظور حفظ حریم خصوصی شناسه کاربر (بیمار)، استفاده از شناسه‌های مستعار را در چهارچوب خود

پیشنهاد می‌نماییم. بدین منظور در این فاز، بیمار برای اخذ شناسه مستعار اقدام می‌نماید. او چنین شناسه‌ای را می‌تواند از یک نهاد حاکمیتی همانند ثبت احوال درخواست نماید. همچنین برای مواقع ضروری همانند بروز انواع سگته که سطح هوشیاری خود بیمار در حد قابل قبولی نمی‌باشد، نیاز است تا یک نفر به نمایندگی از بیمار کارهای پزشکی و سلامت او را انجام دهد. لذا

۳-۴. فاز ثبت نام

این فاز شامل فرآیند ثبت نام بیمار p_i و پزشک d_j می باشد.

برای p_i :

- کاربر p_i عدد تصادفی r_0 و کلمه عبور PW_i را انتخاب می کند. پس از آن، عبارت $MP_i = h(r_0 \parallel PW_i)$ را محاسبه نموده و $\{MP_i, ID'_i, ID_i, ID_{pr_i}, ID'_{pr_i}\}$ را از طریق یک کانال امن به SEM ارسال می کند.

$$MP_i = h(r_0 \parallel PW_i) \quad (1)$$

- SEM عبارت $e_i = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID'_i) \oplus MP_i$ و $f_i = h(ID'_i \parallel x) \oplus ID'_i$ را محاسبه نموده و (e_i, f_i, P, p, q) را در داخل کارت هوشمند تزریق کرده و شناسه ID'_i و ID_i را در پایگاه داده ذخیره نموده و کارت هوشمند سلامت را از طریق یک کانال امن به بیمار p_i ارسال می کند.

$$e_i = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID'_i) \oplus MP_i \quad (2)$$

$$f_i = h(ID'_i \parallel x) \oplus ID'_i \quad (3)$$

- عبارت $p_i = h(ID_i \parallel PW_i) \oplus r_0$ را در داخل کارت هوشمند ذخیره می کند.

$$d_i = h(ID'_i \parallel PW_i) \oplus r_0 \quad (4)$$

برای d_j :

- d_j شناسه خود یعنی ID_j را از طریق یک کانال امن در میانجی امنیتی SEM ثبت می کند.
- SEM عبارت $c_j = h(ID_j \parallel x)$ را محاسبه نموده و سپس آن را از طریق یک کانال امن به d_j ارسال می کند. d_j همچنین ID_j و c_j را ذخیره می کند.

بیمار می تواند یکی از دوستان یا آشنایان خود را به عنوان وکیل معرفی نماید تا در موارد لازم بتواند کارهای پزشکی او را انجام دهد. بیمار برای موکل خود نیز شناسه مستعار درخواست می نماید.

۲-۴. فاز آغازین

میانجی امنیتی SEM یک گروه جمعی G با مرتبه اول بزرگ q بر روی خم $E(F_q)$ تولید می کند. P مولد گروه G بوده و ID_{SEM} شناسه میانجی امنیتی SEM می باشد. SEM همچنین کلید محرمانه خود یعنی x و دو تابع چکیده ساز $H(\cdot)$ و $H_1(\cdot)$ را انتخاب می کند.

جدول ۱. شیوه نوشتاری مورد استفاده در طرح پیشنهادی

نمادها	توصیف
p, q	اعداد اول بزرگ
$E(F_q)$	خم بیضوی E بر روی میدان منتهای F_q
G	زیرگروه F_q با مرتبه اول q
P	مولد گروه G
SEM, x_{SEM}	میانجی امنیتی و کلید محرمانه متناظر آن
p_i, ID_i, PW_{p_i}	بیمار i -ام، شناسه و کلمه عبور او
d_j, ID_j	پزشک j -ام و شناسه آن
pr_i, ID_{pr_i}	وکیل بیمار i -ام و شناسه آن
ID'_i, ID'_{pr_i}	شناسه مستعار بیمار و وکیل او
sk_p, sk_d	کلید نشست محاسبه شده توسط بیمار و پزشک
$H(\cdot), H_1(\cdot)$	توابع چکیده ساز یکطرفه
T_i	مهر زمانی بیمار p_i
\mathcal{A}	مهاجم (حمله کننده)
l	پارامتر امنیتی سیستم
$E_k(\cdot)/D_k(\cdot)$	توابع رمزگذاری/رمزگشایی متقارن با کلید k
$a \oplus b, a \parallel b$	عملیات الحاق و جمع پیمانه ای رشته های a و b
$a \bar{?} b$	بررسی این که آیا a و b با هم برابرند؟

۴-۴. فاز ورود و احراز اصالت

• کارت p_i هوشمند خود را در داخل کارتخوان

قرار داده، ID'_i و PW_i را وارد می‌نماید. کارت

هوشمند عبارت‌های $r_1 = d_i \oplus h(ID'_i \parallel PW_i)$

و $MP_i = h(r_1 \parallel PW_i)$ را محاسبه می‌کند.

$$r_1 = d_i \oplus h(ID'_i \parallel PW_i) \quad (5)$$

$$MP_i = h(r_1 \parallel PW_i) \quad (6)$$

• p_i اعداد تصادفی $\alpha \in [1, q-1]$ و r_2 را

به همراه پزشک موردنظر خود یعنی d_j انتخاب

نموده، همچنین یک مهر زمانی T_i را به دست

آورده و سپس $B_1 = MI_i^{new} = h(r_2 \parallel ID'_i)$

$$B_3 = e_i \oplus MP_i \oplus r_3, \quad B_2 = \alpha P$$

$$B_4 = f_i \oplus ID'_i \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_3 \parallel ID'_i)$$

$$B_5 = h(ID_i \parallel h(r_3 \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j)) \oplus ID'_i$$

$(ID'_i \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j)$ را محاسبه می‌نماید.

$$MI_i^{new} = h(r_2 \parallel ID'_i) \quad (7)$$

$$B_1 = e_i \oplus MP_i \oplus r_3 \quad (8)$$

$$B_2 = \alpha P \quad (9)$$

$$B_3 = f_i \oplus ID'_i \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_3 \parallel ID'_i) \quad (10)$$

$$B_4 = h(r_3 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \oplus ID'_i \quad (11)$$

$$B_5 = h(ID_i \parallel ID'_i \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j \parallel T_i) \quad (12)$$

سپس او پیام M_1 را به میانجی امنیتی SEM

ارسال می‌کند.

$$M_1 = \{MI_i, ID_j, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, T_i\} \quad (13)$$

• SEM اعتبار $|T - T_i| < \Delta$ را بررسی می‌کند که

در آن، T نشان‌دهنده زمان حاضر و Δ یک

تأخیر از پیش تعریف شده می‌باشد. اگر

$|T - T_i| > \Delta$ باشد، میانجی امنیتی نشست را

لغو می‌کند. اگر T_i پذیرفته گردد، SEM

عبارت‌های $r_3 = B_1 \oplus h(ID_{SEM} \parallel x \parallel$

$$MI_i^{new} = B_3 \oplus h(ID'_i \parallel x) \oplus h(r_3 \parallel ID'_i)$$

$$B_3 = f_i \oplus ID'_i \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_3 \parallel ID'_i)$$

$$ID'_i = h(r_3 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \oplus B_4, \quad ID'_i$$

محاسبه می‌کند.

$$r_3 = B_1 \oplus h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID'_i) \quad (14)$$

$$MI_i^{new} = B_3 \oplus h(ID'_i \parallel x) \oplus h(r_3 \parallel ID'_i) \quad (15)$$

$$ID'_i = B_4 \oplus h(r_3 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \quad (16)$$

سپس، SEM بررسی می‌کند که آیا ID'_i در

پایگاه داده وجود دارد و اگر وجود داشت

مقدار واقعی آن یعنی ID_i را برداشته و

$$B_5 = h(ID_i \parallel ID'_i \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j)$$

محاسبه نموده و بررسی می‌کند که آیا این رابطه

برقرار است یا نه. اگر نباشد نشست رد می‌شود.

در غیر این صورت، SEM عدد تصادفی

$\lambda \in [1, q-1]$ و یک مهر زمانی T_G را

انتخاب و عبارت‌های زیر را محاسبه می‌کند:

$$C_0 = \lambda P \quad (17)$$

$$c_j = h(ID_j \parallel x) \quad (18)$$

$$D_1 = h(ID'_i \parallel ID_j \parallel c_j C_0 \parallel B_2 \parallel T_G) \quad (19)$$

سپس، پیام $M_2 = \{ID'_i, ID_j, B_2, D_1, C_0, T_G\}$

به پزشک d_j فرستاده می‌شود.

$$M_2 = \{ID'_i, ID_j, B_2, D_1, C_0, T_G\} \quad (20)$$

• d_j صحت پارامترهای ID_j را $|T - T_G| > \Delta$

$$D_1 = h(ID'_i \parallel ID_j \parallel c_j C_0 \parallel B_2 \parallel T_G)$$

بررسی می‌نماید. اگر این بررسی حاکی از

نادرست بودن هر کدام از این دو پارامتر باشد، d_j

نشست را متوقف خواهد کرد. در غیر این

صورت، d_j عدد تصادفی $\beta \in [1, q-1]$ را

انتخاب نموده و سپس پارامترهای $C_1 = \beta P$

$$C_3 = sk_d = h_1(B_2 \parallel C_1 \parallel C_2), \quad C_2 = \beta B_2$$

$$C_4 = h(c_j C_0 \parallel ID'_i \parallel h(ID'_i \parallel ID_j \parallel sk_d))$$

ID_j را محاسبه می‌کند.

$$C_1 = \beta P \quad (21)$$

$$C_2 = \beta B_2 \quad (22)$$

$$d_i^{new} = r_2 \oplus h(ID_i' \parallel PW_i) \quad (33)$$

$$e_i^{new} = D_2 \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_3) \oplus h(r_2 \parallel PW_i) \quad (34)$$

$$f_i^{new} = D_3 \oplus MI_i^{new} \oplus h(ID_i' \parallel r_3) \oplus h(r_2 \parallel PW_i) \quad (35)$$

در نهایت، کاربرد عبارت (d_i, e_i, f_i) را با جایگزین می‌کند.

۴-۵. فاز تغییر کلمه عبور

این گام دقیقاً با گام ۱ از فاز ورود و احراز اصالت یکسان است.

• این اعداد تصادفی r_4 و r_5 را انتخاب نموده و

$$B_7 = MI_i^{new} = h(r_4 \parallel ID_i')$$

$$B_8 = e_i \oplus MP_i \oplus r_5$$

$$B_9 = f_i \oplus ID_i' \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_5 \parallel ID_i')$$

$$B_{10} = ID_i' \oplus h(r_5 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \text{ و}$$

$$h(ID_i \parallel ID_i' \parallel MI_i^{new} \parallel r_5) \text{ را محاسبه نماید.}$$

$$MI_i^{new} = h(r_4 \parallel ID_i') \quad (36)$$

$$B_7 = e_i \oplus MP_i \oplus r_5 \quad (37)$$

$$B_8 = f_i \oplus ID_i' \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_5 \parallel ID_i') \quad (38)$$

$$B_9 = ID_i' \oplus h(r_5 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \quad (39)$$

$$B_{10} = h(ID_i \parallel ID_i' \parallel MI_i^{new} \parallel r_5) \quad (40)$$

پیام $p_i = \{M_i, B_7, B_8, B_9, B_{10}\}$ را به

همراه درخواست تغییر کلمه عبور به میانجی

امنیتی SEM ارسال می‌کند.

• به محض دریافت پیام M_5 و درخواست تغییر

کلمه عبور، SEM عبارت $r_5 =$

$$MI_i^{new} = B_7 \oplus h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID_i')$$

$$ID_i' = B_8 \oplus h(ID_i' \parallel x) \oplus h(r_3 \parallel ID_i')$$

$$B_9 \oplus h(r_5 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \text{ را محاسبه می‌کند.}$$

$$r_5 = B_7 \oplus h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID_i') \quad (41)$$

$$MI_i^{new} = B_8 \oplus h(ID_i' \parallel x) \oplus h(r_3 \parallel ID_i') \quad (42)$$

$$ID_i' = B_9 \oplus h(r_5 \parallel MI_i^{new} \parallel B_2) \quad (43)$$

$$sk_d = h_1(B_2 \parallel C_1 \parallel C_2) \quad (23)$$

$$C_3 = h(ID_i' \parallel ID_j \parallel sk_d) \quad (24)$$

$$C_4 = h(c_j C_0 \parallel ID_i' \parallel ID_j) \quad (25)$$

در ادامه، d_j پیام $M_3 = \{C_1, C_3, C_4\}$ را به SEM ارسال می‌کند.

$$M_3 = \{C_1, C_3, C_4\} \quad (26)$$

• در ابتدا، SEM صحت عبارت $C_4 = h(c_j C_0 \parallel$

$ID_i' \parallel ID_j)$ را بررسی می‌کند. اگر درست بود،

آن گاه $D_2 = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel$

$$D_3 = MI_i^{new} \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_3)$$

$$D_4 = h(MI_i^{new} \parallel x) \oplus h(ID_i' \parallel r_3) \text{ و}$$

$$h(ID_i \parallel ID_i' \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j \parallel D_2 \parallel D_3 \parallel r_3) \text{ را محاسبه می‌کند.}$$

$$D_2 = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel MI_i^{new} \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_3)) \quad (27)$$

$$D_3 = h(MI_i^{new} \parallel x) \oplus h(ID_i' \parallel r_3) \quad (28)$$

$$D_4 = h(ID_i \parallel ID_i' \parallel MI_i^{new} \parallel ID_j \parallel D_2 \parallel D_3 \parallel r_3) \quad (29)$$

در نهایت، SEM پیام $M_4 =$

$\{C_1, C_3, D_2, D_3, D_4\}$ را به p_i ارسال می‌کند.

$$M_4 = \{C_1, C_3, D_2, D_3, D_4\} \quad (30)$$

• p_i صحت عبارت $D_4 = h(ID_i \parallel ID_i' \parallel$

$MI_i^{new} \parallel ID_j \parallel D_2 \parallel D_3 \parallel r_3)$ را بررسی

می‌کند. اگر درست نبود، مقدار $B_6 = \alpha C_1$

را محاسبه می‌کند. $sk_p = h_1(B_2 \parallel C_1 \parallel B_6)$

$$B_6 = \alpha C_1 \quad (31)$$

$$sk_p = h_1(B_2 \parallel C_1 \parallel B_6) \quad (32)$$

• پس از آن، p_i صحت عبارت $C_4 =$

$h(c_j \parallel ID_i' \parallel ID_j)$ را بررسی می‌کند. اگر

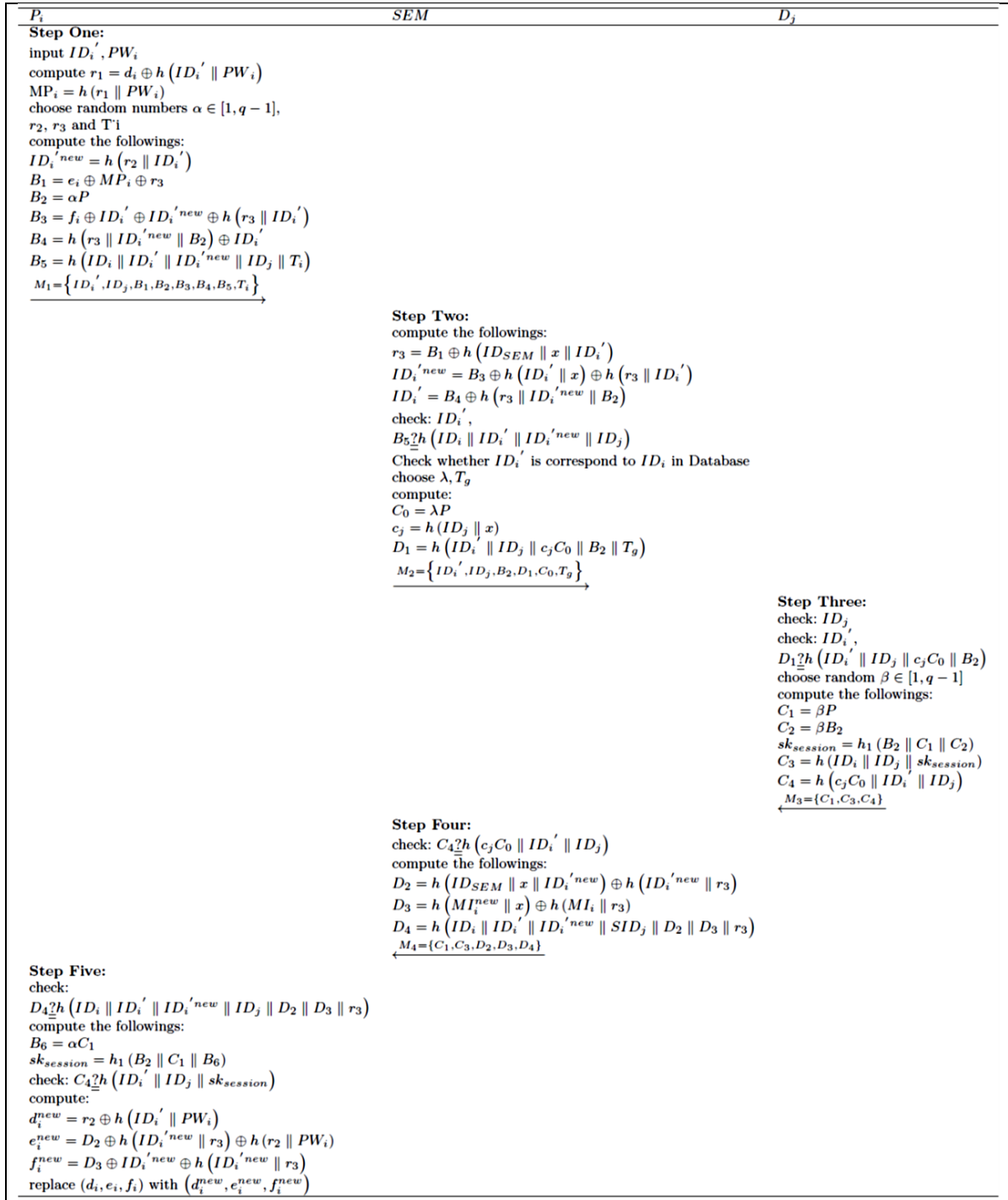
درست بود، کارت هوشمند داده جدید

$$e_i^{new} = d_i^{new} = r_2 \oplus h(ID_i' \parallel PW_i)$$

$$\text{و } D_2 \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_3) \oplus h(r_2 \parallel PW_i)$$

$$f_i^{new} = D_3 \oplus MI_i^{new} \oplus h(ID_i' \parallel r_3) \oplus h(r_2 \parallel PW_i) \text{ را محاسبه می‌نماید.}$$

$$B_{10} = h(ID_i \parallel ID_i' \parallel MI_i^{new} \parallel r_5) \quad (44) \quad B_{10} = h(ID_i \parallel \text{همچنین} \parallel MI_i \parallel MI_i^{new} \parallel r_5) \text{ را بررسی می نماید.}$$



شکل ۳. شمای مربوط به فازهای ورود و احرازصالت طرح پیشنهادی.

- اگر هر کدام از این پارامترها نامعتبر باشند، درخواست احرازصالت رد می شود.
- در غیر این صورت، SEM عبارت های $D_5 = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel MI_i^{new}) \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_5)$ محاسبه می نماید. SEM پیام $M_6 = \{D_5, D_6, D_7\}$ را به کاربر p_i ارسال می کند.

$$d_i^{new2} = D_6 \oplus h(ID'_i \parallel r_5) \oplus MI_i^{new} \quad D_5 = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel MI_i^{new}) \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_5) \quad (45)$$

$$r_4 \oplus h(ID'_i \parallel PW_i^{new}) \quad D_6 = h(MI_i^{new} \parallel x) \oplus h(ID'_i \parallel r_5) \quad (46)$$

$$MP_i^{new} = (r_4 \parallel PW_i^{new}) \quad (49) \quad D_7 = h(ID_i \parallel r_5 \parallel ID'_i \parallel MI_i^{new} \parallel D_5 \parallel D_6) \quad (47)$$

$$e_i^{new2} = D_5 \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_5) \oplus MP_i^{new} \quad (50) \quad \text{پیام } M_6 = \{D_5, D_6, D_7\} \text{ را به کاربر } p_i$$

$$f_i^{new2} = D_6 \oplus h(ID'_i \parallel r_5) \oplus MI_i^{new} \quad (51) \quad \text{ارسال می کند.}$$

$$d_i^{new2} = r_4 \oplus h(ID'_i \parallel PW_i^{new}) \quad (52) \quad M_6 = \{D_5, D_6, D_7\} \quad (48)$$

• ابتدا p_i اعتبار $p_i = h(ID_i \parallel r_5 \parallel ID'_i \parallel MI_i^{new} \parallel D_5 \parallel D_6)$

را بررسی می کند. اگر این

معادله اشتباه بود، p_i نشست را لغو می نماید. در

غیر این صورت، p_i درخواست ورود یک

کلمه عبور PW_i^{new} می نماید.

سپس، کارت هوشمند عبارت های مربوطه یعنی

$$e_i^{new2} = MP_i^{new} = (r_4 \parallel PW_i^{new})$$

$$f_i^{new2} = D_5 \oplus h(MI_i^{new} \parallel r_5) \oplus MP_i^{new}$$

5. تحلیل رسمی امنیت با ProVerif

برای بررسی و ارزیابی امنیت طرح ارائه شده، ابتدا

باید آن را به زبان مورد فهم برای ابزار ProVerif تبدیل

نماییم. بدین منظور ابتدا تعاریف کُد ProVerif و

مقدمات کلی را به صورت زیر تعریف می کنیم:

تعریف کُد ProVerif

(* Channels and shared keys are listed below *)

free ch1: channel. (* the public channel between the user and the sensor *)

free ch2: channel. (* the public channel between the sensor and SEM *)

free sch1: channel [private]. (* the secret channel between the user and SEM *)

free sch2: channel [private]. (* the secret channel between the sensor and SEM *)

free sks: bitstring [private]. (* the session key between Patient and Doctor *)

(* Constants are listed below *)

free x:bitstring [private]. (* the private key of SEM *)

free IDi:bitstring [private]. (* pi's identity *)

free ID'i:bitstring [private]. (* pi's alias identity *)

free IDpr_i:bitstring [private]. (* pi proxy's identity *)

free ID'pr_i:bitstring [private]. (* pi proxy's alias identity *)

free PWi:bitstring [private]. (* pi's password *)

free Ti:bitstring [private]. (* TimeStamp of Patient *)

free Tg:bitstring [private]. (* TimeStamp Of SEM *)

const IDSEM:bitstring. (* SEM's identity *)

const P:bitstring. (* the generator P *)

const IDj:bitstring. (* dj's identity *)

table d(bitstring). (* database in SEM *)

(* Functions and equations are listed below: *)

fun h(bitstring):bitstring. (* hash function *)

fun h1(bitstring):bitstring. (* hash function *)

fun mul(bitstring,bitstring):bitstring. (* scalar multiplication function *)

fun xor(bitstring,bitstring):bitstring. (* X-OR function *)

fun con(bitstring,bitstring):bitstring. (* string concatenation *)

equation forall m:bitstring,n:bitstring; xor(xor(m,n),n)=m. (* X-OR computation *)

equation forall m:bitstring,n:bitstring; mul(mul(P,m),n)= mul(mul(P,n),m). (* scalar multiplication *)

رویدادها و پرسش و پاسخ‌های مربوط به کُد

ProVerif نیز به صورت زیر است:

رویدادها و پرسش و پاسخ‌های کُد ProVerif
<pre>(*Events*) event PatientStart(bitstring). event PatientAuth(bitstring). event DoctorStart(bitstring). event DoctorAuth(bitstring). (*Queries*) query attacker(sks). query attacker(sks). query id:bitstring; inj-event(PatientAuth(id)) ==> inj-event(PatientStart(id)). query sid:bitstring; inj-event(DoctorAuth(sid)) ==> inj-event(DoctorStart(sid)).</pre>

در تعداد صفحات مقاله، در اینجا تنها به آوردن کُد ProVerif بیمار اکتفا کرده و از آوردن کُد‌های پزشک و میانجی امنیتی خودداری نموده‌ایم.

کُد ProVerif مربوط به نقش‌های موجودیت‌های شرکت‌کننده یعنی بیمار، پزشک و میانجی امنیتی (SEM) باید به تفکیک تعریف شوند. به دلیل وجود محدودیت

کُد مربوط به بیمار
<pre>(*% Code for the Patient: The Patient's process:*) let Patient= new r0:bitstring; let MPi=h(con(r0,PWi)) in out(sch1,(MPi,ID'i,IDI,IDpr_i,ID'pr_i)); in(sch1,(xei:bitstring,xfi:bitstring)); let ei = xei in let fi = xfi in let di = xor(h(con(IDi,PWi)),r0) in ! (event PatientStart(ID'i); let r1 = xor(di,h(con(ID'i,PWi))) in let MPi' = h(con(r1,PWi)) in new alpha:bitstring; new r2:bitstring; new r3:bitstring; new Ti' :bitstring; let ID'new = h(con(r2,IDI)) in let B1= xor(xor(ei,MPi'),r3) in let B2 = mul(P,alpha) in let B3 = xor(xor(xor(fi,ID'i),ID'new),h(con(r3,ID'i))) in let B4 = xor(ID'i,h(con(con(r3,ID'new),B2))) in let B5 = h(con(con(con(con(IDi,ID'i),ID'new),IDj),Ti)) in let M1 =(ID'i,IDj,B1,B2,B3,B4,B5) in out(ch1,M1); in (ch1,(xC1:bitstring,xC3:bitstring,xD2:bitstring,xD3:bitstring, xD4:bitstring)); if xD4 = h(con(con(con(con(con(IDi,ID'i),ID'new),IDj), xD2),xD3),r3)) then let B6 = mul(xC1,alpha) in</pre>

```

let sku' = h1(con(con(B2,xC1),B6)) in
if xC3 = h(con(con(ID'i,IDj),sks)) then
let dinew = xor(r2,h(con(IDi,PWi))) in
let einew = xor(xor(xD2,h(con(ID'inew,r3))), h(con(r2,PWi))) in
let finew = xor(xor(xD3,ID'inew),h(con(ID'i,r3))) in
let di' = dinew in
let ei' = einew in
let fi' = finew in
0
).

```

خروجی اجرای نرم افزار به صورت نشان داده شده در شکل ۴ می باشد.

در نهایت کد فوق را با دستور زیر اجرا می نمایم:

```
process !Patient!SEMReg2!Doctor
```

```

-- Query inj-event(DoctorAuth(sid)) ==> inj-event(DoctorStart(sid))
nounif mess(sch2[,yIDj_5387]/-5000
Completing...
Starting query inj-event(DoctorAuth(sid)) ==> inj-event(DoctorStart(sid))
RESULT inj-event(DoctorAuth(sid)) ==> inj-event(DoctorStart(sid)) is true.
-- Query inj-event(PatientAuth(id)) ==> inj-event(PatientStart(id))
nounif mess(sch2[,yIDj_12018]/-5000
Completing...
Starting query inj-event(PatientAuth(id)) ==> inj-event(PatientStart(id))
RESULT inj-event(PatientAuth(id)) ==> inj-event(PatientStart(id)) is true.
-- Query not attacker(sks[])
nounif mess(sch2[,yIDj_18364]/-5000
Completing...
Starting query not attacker(sks[])
RESULT not attacker(sks[]) is true.
-- Query not attacker(sks[])
nounif mess(sch2[,yIDj_24508]/-5000
Completing...
Starting query not attacker(sks[])
RESULT not attacker(sks[]) is true.

```

شکل ۴. نمایش خروجی نرم افزار ProVerif

۵. تحلیل ویژگی های امنیتی

در این بخش، مقاومت طرح ارائه شده را در مواجهه با حملات و تهدیدات مختلف بررسی می نمایم.

▪ **مقاومت در برابر حمله داخلی:** در خلال فاز ثبت نام، عبارت $p_i = h(r_0 \parallel PW_i)$ را به میانجی امنیتی SEM ارسال می کند. به دلیل آن که مهاجم عدد تصادفی r_0 را ندارد، قادر نیست تا کلمه عبور PW_i را حدس بزند. بنابراین یک میانجی امنیتی بداندیش نمی تواند کلمه عبور بیماران را به دست آورد.

▪ **مقاومت در برابر حمله حدس کلمه عبور آفلاین:** فرض کنید یک مهاجم همانند A کانال ارتباطی میان کاربر p_i و SEM را با هدف به دست آوردن کلمه عبور PW_i شنود نماید. مهاجم پیام M_1 را ضبط نموده و سعی می کند تا کلمه عبور را بیابد. به دلیل آن که کلمه عبور در پیام M_1 وجود ندارد، مهاجم قادر به یافتن PW_i نیست. به علاوه، در نظر بگیرید که مهاجم کارت هوشمند سلامت بیمار را دزدیده و پارامترهای e_i ، f_i و d_i را به دست آورد. به دلیل آن که مهاجم عدد تصادفی r_0 و پارامتر محرمانه x را ندارد، نمی تواند کلمه عبور را از روی

طرح ارایه شده از وقوع حمله غیرهمزمان سازی جلوگیری می کند.

- **مقاومت در برابر حمله تکرار:** به دلیل وجود اعداد تصادفی مورد استفاده توسط بیمار، میانجی امنیتی و پزشک و همچنین استفاده از مهرزمانی، طرح ارایه شده در مقابل حمله تکرار امن می باشد.
- **مقاومت در برابر حمله کلید مشخص:** در طرح ارایه شده، کلید نشست $sk_p = h_1(B_2 \parallel C_1 \parallel C_2)$ است که در آن $C_2 = \beta B_2 = \alpha C_1$ می باشد. به دلیل آن که α و β در هر نشست به طور تصادفی انتخاب می شوند، کلیدهای نشست کاملاً به طور مستقل ایجاد می شوند. بنابراین، اگر مهاجم \mathcal{A} می تواند یک کلید نشست را به دست آورد، نمی تواند کلیدهای نشست بعدی را محاسبه نماید.
- **گمنامی کاربر:** در طرح ارایه شده، به جای استفاده از شناسه واقعی بیمار (ID_i) ، از شناسه مستعار (ID'_i) استفاده می شود. علاوه بر آن، حتی همین شناسه مستعار هم در طرح ارایه شده بر روی کانال ارتباطی به صورت فاش ارسال نمی گردد. بنابراین طرح ارایه شده ویژگی گمنامی را برای کاربر (بیمار) p_i برآورده می کند.
- **امنیت پیشرو قوی:** فرض کنید که مهاجم یعنی کسی که جریانهای نشستهای قبلی را ضبط می کند، تمامی اطلاعات محرمانه p_i ، d_j و SEM را به دست می آورد. با فرض غیرقابل حل بودن مسأله دیفی-هلمن مبتنی بر خم بیضوی (ECCDLP)، او نمی تواند مقادیر تصادفی α و β و کلید نشست مربوط به نشستهای قبلی را محاسبه نماید. بنابراین، طرح ارایه شده ویژگی امنیت پیشرو قوی را برآورده می کند.

e_i و d_i بیابد. بنابراین، طرح ارایه شده در مقابل حمله حدس کلمه عبور آفلاین ایمن می باشد.

- **مقاومت در برابر حمله جعل کاربر:** به منظور جعل p_i ، مهاجم \mathcal{A} باید یک پیام معتبر M_1 را تولید نماید. به دلیل این که \mathcal{A} مقدار x را نمی داند، محاسبه مقادیر $B_1 = h(ID_{SEM} \parallel x \parallel ID'_i) \oplus r_3$ و $B_3 = h(ID'_i \parallel x) \oplus MI_i^{new} \oplus h(r_3 \parallel ID'_i)$ ممکن نیست. به علاوه، به خاطر وجود مهرزمانی، مهاجم نمی تواند یک پیام قدیمی M_1 را به منظور جعل p_i مورد استفاده قرار دهد. بنابراین، پروتکل ارایه شده در برابر حمله جعل کاربر امن است.
- **مقاومت در برابر حمله جعل میانجی امنیتی:** اگر مهاجم \mathcal{A} بخواهد میانجی امنیتی SEM را جعل نماید، باید به ترتیب مقادیر D_1 ، D_2 ، D_3 و r_3 را محاسبه نماید. به خاطر آن که \mathcal{A} مقدار محرمانه x را ندارد، محاسبه مقادیر مورد نظر مربوطه ممکن نمی باشد. بنابراین، \mathcal{A} قادر نیست تا SEM را در طرح ارایه شده جعل نماید.
- **مقاومت در برابر حمله غیرهمزمان سازی:** حمله غیرهمزمان سازی به این معنی است که میانجی امنیتی، ورود و احراز اصالت کاربران مجاز را رد می کند. در طرح ارایه شده، کلمه عبور قبل از تغییر در نشست با میانجی امنیتی بررسی می شود. در حقیقت، کلمه عبور اشتباه وارد می شود. همچنین، ممکن است داده ناسازگار مابین میانجی امنیتی و بیمار منجر به این حمله گردد. میانجی امنیتی هیچ اطلاعاتی در مورد کاربران واقعی ندارد مگر جز شناسه آنها. داده مبادله شده همواره تنها در طرف بیمار رخ می دهد. غیرممکن است که داده ناسازگار میان بیمار و میانجی امنیتی ظاهر می شود. بنابراین،

۶. نتیجه گیری

کاربرد IoT در حوزه‌های نظامی جزء جدانشدنی و اضطراری توسعه اطلاعاتی بخش نظامی محسوب می‌گردد. IoT توسعه حوزه نظامی را به طور عمده‌ای پیش خواهد برد و به نظر می‌رسد که به زودی شاهد شبکه‌های اینترنت اشیا نظامی باشیم که در آن نقش انسان کم‌رنگ‌تر از قبل شده و دستگاه‌ها و جنگ‌افزارهای هوشمند با تکیه بر ارتباطات گسترده و متعاقباً توانایی تصمیم‌گیری و انجام فعالیت‌های تصمیم‌گیرانه، نقش‌آفرینی قابل ملاحظه‌ای داشته باشند.

همانند تمامی حوزه‌ها و زیرحوزه‌های اینترنت اشیا، امنیت و حریم خصوصی داده از عوامل مهم در حوزه سلامت الکترونیک به شمار می‌رود. به ویژه حریم خصوصی به دلیل امکان انتشار مورد و اطلاعات محرمانه و شخصی کاربران بسیار مورد توجه می‌باشد. تاکنون چندین رویکرد به منظور حفظ حریم خصوصی کاربران در حوزه سلامت الکترونیک ارائه شده است که چهارچوب پیشنهادی Sahi و همکارانش در سال ابرها و رایانش ابری به شمار می‌روند. در این مقاله، دو رویکرد جدید ارائه شده است که یکی با رویکرد تأمین میلادی یکی از جدیدترین آن‌ها به شمار می‌رود. رویکرد آن‌ها تنها به حفظ حریم خصوصی محتوای پرونده پزشکی بیمار پرداخته و به حفظ حریم خصوصی شناسه بیمار اشاره نکرده است. ضمن آن که در مواقعی که بیمار خودش در وضعیت پزشکی بحرانی قرار داشته باشد، چهارچوب پیشنهادی آن‌ها هیچ راهکاری پیشنهاد نمی‌نماید. در این مقاله، یک چهارچوب کلی جدیدی را به همراه طرح احرازصالت جدید برای حفظ حریم خصوصی در حوزه سلامت الکترونیک ارائه نمودیم که هم حریم خصوصی محتوای پرونده بیمار و هم حریم خصوصی شناسه بیمار را در ارتباطات موردنظر

حفظ می‌نماید. طرح ارائه‌شده از اولیه‌های سبک‌وزن رمزنگاشتی بهره می‌برد و بنابراین سربار پردازشی چندانی ندارد. همچنین تمامی ویژگی‌های امنیتی برای یک طرح احرازصالت با ویژگی حفظ حریم خصوصی شناسه بیمار را برآورده می‌نماید. همچنین علاوه بر تأمین ویژگی‌های امنیتی موردنظر، نشان دادیم که طرح ارائه‌شده به طور رسمی نیز امن می‌باشد. بدین منظور از نرم‌افزار معروف ProVerif استفاده نمودیم که به منظور ارزیابی امنیتی پروتکل‌های امنیتی طراحی و پیاده‌سازی شده است. همان‌طور که خروجی این نرم‌افزار نشان می‌دهد طرح ارائه‌شده امن بوده و مهاجم قادر به یافتن کلید نشست میان پزشک و بیمار نخواهد بود.

سپاس‌گذاری

این مقاله توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره قرارداد ۵۳۹۷۹/ص/۹۶ مورد حمایت قرار گرفته است.

منابع

- [1]. R. H. Weber, "Internet of things: Privacy issues revisited", *Computer Law and Security Review* 31, pp. 618-627, 2015.
- [2]. S. Sicari, A. Rizzardi, L.A. Grieco, A. Coen-Porisini, "Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead", *Computer Networks* 76, pp. 146-164, 2015.
- [3]. E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, Applications and open issues," *Computer Communications*, pp. 1-31, 2014.
- [4]. S. Iraj, P. Mogensen, R. Ratasuk, "Recent Advance in M2M Communications and Internet of Things", *International Journal of Wireless Information Networks* 24 (3), pp. 240-242, 2017.
- [5]. H. Sundmaeker, P. Guillemin, P. Friess, & S. Woelfflé, "Vision and challenges for realising the Internet of Things". Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commission (CERP-IoT), 2010.
- [6]. A. Al-Gburi, A. Al-Hasnawi, L. Lilien, "Differencing Security from Privacy in Internet of Things: A Survey of Selected Threats and Controls". In: Daimi. K (eds) *Computer and Network Security Essentials*, Springer, pp. 153-172, 2017.

- [22]. M. U. Aslam, A. Derhab, K. Saleem, H. Abbas, M. Orgun, W. Iqbal, "A Survey of Authentication Schemes in Telecare Medicine Information Systems," *Journal of medical systems*, vol. 41, 2017.
- [23]. Q. Jiang, M.-K. Khan, X. Lu, J. Ma, D. He, "A privacy preserving three-factor authentication protocol for e-health clouds", *Journal of Supercomputing*, doi:10.1007/s11227-015-1610-x, 2016.
- [24]. A. Irshad, Sh.-A. Chaudhry, "Comments on a privacy-preserving three-factor authentication protocol for e-health clouds", *Journal of Supercomputing*, doi:10.1007/s11227-016-1837-1, 2016.
- [25]. C.-H. Liu, Y.-F. Chung, "Secure user authentication scheme for wireless healthcare sensor networks", *Computer Electronic Engineering*, 59, pp. 250-261, doi:10.1016/j.compeleceng.2016.01.002, 2016.
- [26]. Ch.-T. Li, T.-Y. Wu, Ch.-L. Chen, Ch.-Ch. Lee, Ch.-M. Chen, "An Efficient User Authentication and User Anonymity Scheme with Provably Security for IoT-Based Medical Care System", *Sensors*, doi:10.3390/s17071482, 2017.
- [27]. A. Nordgren, "Privacy by design in personal health monitoring", *Health Care Anal*, doi:10.1007/s10728-013-0262-3, 2013.
- [28]. A. Cavoukian, A. Fisher, S. Killen & D. Hoffman, "Remote home health care technologies: How to ensure privacy? Build it in: Privacy by design", *Identity in the Information Society*, 3(2), pp. 363-378, 2010.
- [29]. F. Chen, Y. Lou, J. Zhang, Z. Zhang, Ch. Zhao, T. Wang, "An infrastructure framework for privacy protection of community medical internet of things. Transmission Protection, Strong Protection & Access Control", *World Wide Web*, doi:10.1007/s11280-017-0455-z, 2017.
- [30]. A.-S. Khader, D. Lai, "Preventing man-in-the-middle attack in Diffie-Hellman key exchange protocol", in: *Proceedings of the 22nd International Conference on Telecommunications (ICT)*, 2015, pp.204-208.
- [31]. A. Anjum, S.-R. Malik, K.-K. Chao, A. Haroon, S. Jan, S.-U. Khan, A. Khan, B. Raza, "An efficient privacy mechanism for electronic health records", *Computers & Society*, doi:10.1016/j.cose.2017.09.014, 2017.
- [32]. G. GabyDagher, J. Mohler, M. Milojkovic, P.-B. Marella, "Ancile: privacy-preserving Framework for Access Control and Interoperability of Electronic Health Records Using Blockchain Technology", *Sustainable Cities & Society*, doi:10.1016/j.scs.2018.02.014, 2018.
- [7]. C.-P. Pflieger, S.-L. Pflieger, & J. Margulies, "Security in computing (5th ed.)". Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2015.
- [8]. L. DeNardis, "Standards and eHealth," *ITU-T Technology watch report* 2011.
- [9]. A. Abbas, S.-U. Khan, "A review on the state-of-the-art privacy-preserving approaches in the e-health clouds", *IEEE J. Biomed. Health Inform.* 18, pp. 1431-1441, 2014.
- [10]. E. H. Shortliffe and J. J. Cimino, "Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine", Springer Science & Business Media, 2013.
- [11]. M. Kay, J. Santos, and M. Takane, "mHealth: New horizons for health through mobile technologies," 2011.
- [12]. F. Zubaydi, A. Saleh, F. Aloul, and A. Sagahyoon, "Security of mobile health (mHealth) systems," in *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, 2015 IEEE 15th International Conference on, pp. 1-5, 2015.
- [13]. S. A. Basheer, "QUESTION 14-2/2: Mobile eHealth solutions for Developing Countries" *International Telecommunication Union* 2010.
- [14]. D. Kotz, S. Avancha, and A. Baxi, "A privacy framework for mobile health and home-care systems," in *Proceedings of the first ACM workshop on Security and privacy in medical and home-care systems*, pp. 1-12, 2009.
- [15]. A. Sahi, D. Lai, Y. Li, "Security and privacy preserving approaches in the eHealth clouds with disaster recovery plan". *Computers in Biology and Medicine*, Vol. 78, pp. 1-8, 2016.
- [16]. P. Mell, T. Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing", 2011.
- [17]. M. Sugumaran, B.B. Murugan, D. Kamalraj, "An architecture for data security in cloud computing", in: *Proceedings of the 2014 World Congress on Computing and Communication Technologies (WCCCT)*, pp. 252-255, 2014.
- [18]. K.-E. Kushida, J. Murray, J. Zysman, "Cloud Computing: From Scarcity to Abundance", *BRIE Working Paper*, Springer, 2014.
- [19]. D. Zissis, D. Lekkas, "Addressing cloud computing security issues", *Future Gener. Comput. Syst.* 28, pp. 583-592, 2012.
- [20]. I. Hsu, F.-Q. Cheng, "SAaaS: a cloud computing service model using semantic-based agent", *Expert Syst.* 32, pp. 77-93, 2013.
- [21]. S. Sadki and H. El Bakkali, "Towards controlled-privacy in e-health: A comparative study," in *Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, 2014 International Conference on, pp. 674-679, 2014.