نشریه علمی «پدافند الکترونیکی و سایبری»
سال هفتم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸؛ ص ۲۴-۱۱

ارائه راه‌کار جهت بهبود امنیت و حریم خصوصی در سامانه سلامت همراه با استفاده از سیم‌کارت

مریم میابی جغال[۱]، محمدعلی دوستاری[۲*]

۱- کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، ۲- استادیار، دانشگاه شاهد

(دریافت:۹۶/۰۳/۲۲، پذیرش:۹۷/۰۳/۲۱)

چکیده

امروزه استفاده از تلفن همراه در حوزه ارائه خدمات سلامت الکترونیک گسترش یافته است. امنیت و حریم خصوصی کاربران در سلامت الکترونیک از چالش‌های مهم محسوب می‌شود. با توجه به ماهیت دسترس‌پذیری تلفن همراه، قابلیت‌های متعدد ارتباطی و توسعه بدافزارها، امنیت در این حوزه با چالش مهمی روبروست. در این مقاله راه‌کاری جهت بهبود امنیت و حریم خصوصی در سلامت الکترونیک بر روی گوشی‌های هوشمند ارائه شده است. به این منظور ابتدا سازوکاری جهت نحوه دریافت سیم‌کارت سلامت توسط متقاضیان بیان شده است. در ادامه پروتکل‌های ارتباطی لازم در شرایط مختلف درمانی جهت افزایش امنیت تراکنش‌های بین ارائه‌دهندگان خدمات درمانی و بیماران که از تلفن همراه استفاده می‌کنند، ارائه شده است. با توجه به اهمیت کاهش سربار محاسباتی در پروتکل‌های پیشنهادی از رمزنگاری خم بیضوی استفاده شده است. همچنین علاوه بر امنیت، گمنامی و حریم خصوصی بیماران نیز موردتوجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، راه‌کاری جهت ذخیره‌سازی امن اطلاعات نیز ارائه شده است. درنهایت، به مقایسه طرح پیشنهادی با سایر پژوهش‌ها پرداخته‌شده و سربار محاسباتی پروتکل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و امنیت پروتکل‌های مطرح‌شده با استفاده از ابزار آویسپا اثبات شده است.

کلیدواژه‌ها: سلامت همراه، امنیت، حریم خصوصی، سیم‌کارت، احراز هویت

۱- مقدمه

سازمان بهداشت جهانی[۱] 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 [۱].

پرونده سلامت الکترونیک[۲](EHR) شامل ابزارهایی جهت مدیریت اطلاعات سلامت است. مدیریت این اطلاعات به‌منظور ارتباط با منابع درمانی و تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده صورت می‌پذیرد. داده‌های جمع‌آوری‌شده در تحقیقات و ارائه خدمات درمانی کاربرد دارد. EHR امکان سازمان‌دهی و تفسیر داده‌ها و واکنش به آن‌ها را فراهم می‌کند [۲].

سلامت همراه[۳] زیرمجموعه‌ای از سلامت الکترونیک می‌باشد. رصد جهانی سلامت الکترونیک[۴] سلامت همراه را به‌عنوان یک راه‌کار ارائه خدمات عمومی درمانی معرفی نموده است؛ که از دستگاه‌های قابل‌حمل نظیر تلفن‌های همراه، دستگاه‌های نظارت بیمار، دستیاران دیجیتال شخصی[۵] (PDAها) و سایر دستگاه‌های بی‌سیم پشتیبانی می‌کند [۳].

سرویس‌های مبتنی بر سلامت همراه، به بیماران و متخصصان حوزه سلامت اجازه می‌دهد تا به‌آسانی در هر زمان و هر مکانی به داده‌های پزشکی دسترسی یابند. همچنین بیماران به‌راحتی می‌توانند نیازمندی‌های سلامت خود را در خانه مدیریت کنند. درنتیجه 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 [۴].

امروزه به سلامت همراه بیش‌ازپیش توجه می‌شود و به دلایل زیر روند رو به رشدی را در پیش گرفته است [۵]:

- ارزان است، درواقع امکانات ارتباطی گسترده‌ای را با هزینه کمتر و کارایی بالاتر ارائه می‌دهد.
- مقبولیت عمومی زیادی دارد و حس اطمینان در استفاده از کامپیوتر و فنّاوری ارتباطات را به همراه دارد.
- از استانداردهای جهانی رو به رشد در ارتباطات استفاده می‌کند نظیر ویدئو کنفرانس.

*رایانامه نویسنده پاسخگو: doostari@shahed.ac.ir

1- World Health Organization (WHO)
2- Electronic Health Record (EHR)
3- Mobile Health
4- Global Observatory for eHealth(GOe)
5- Personal Digital Assistant (PDA)

- جهت پیشگیری از افزایش هزینه‌های درمانی بهداشت ضروری است.
- خدمات درمانی باکیفیت 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 زیرساخت[1] قابل توجه‌ای برای مراقبت‌های بهداشتی و درمانی به‌حساب می‌آیند، به‌طوری‌که، تخمین زده‌شده تا پایان سال ۲۰۱۷، مجموع درآمد بازار سلامت همراه با ۶۱ درصد رشد، به ۲۶ میلیارد دلار برسد. با توجه به این‌که، دستگاه‌های سلامت همراه قابلیت جمع‌آوری اطلاعات را در بازه‌های زمانی و به‌طور 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. به‌طور مثال، برنامه‌های سلامت همراه متعدد، اطلاعاتی در مورد سبک زندگی و فعالیت‌های بیمار را جمع‌آوری می‌کند [۶]. به همین دلیل از چالش‌های اساسی در سلامت همراه حفظ امنیت و حریم خصوصی کاربران می‌باشد.

حریم خصوصی به‌عنوان توانایی فرد یا گروه بر آشکارسازی گزینشی اطلاعات خود بر اساس 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 ازجمله این راه‌کارها می‌باشد [۷].

راه‌کارهای متعددی برای پیاده‌سازی و بهبود امنیت و حریم خصوصی ساختار سلامت همراه ارائه شده است. برخی از این راه‌کارهای به ارائه برنامه‌های کاربردی سلامت الکترونیک بر روی پلتفرم تلفن همراه تکیه دارند. این برنامه‌ها برای ارتباط با سایر اجزای سامانه سلامت الکترونیک از امکانات و بسترهای تلفن همراه استفاده می‌کند. همچنین تلفن همراه از قابلیت‌های متعددی جهت برقراری ارتباط با سایر دستگاه‌ها ازجمله NFC[2] را دارا می‌باشد. علاوه بر این تلفن‌های همراه جدید از سخت‌افزارهای امنیتی همچون محیط اجرای قابل‌اعتماد بهره برده‌اند [۸]، که انطباق راه‌کارهای پیشنهادی با آن سبب بهبود امنیت در سطح سامانه می‌گردد.

یکی از مسائل مهم در حفظ امنیت و حریم خصوصی کاربران احراز هویت قوی کاربر می‌باشد. طرح‌های احراز هویت به‌طورکلی به سه دسته تقسیم می‌شوند، احراز هویت یک، دو و سه عامل. احراز هویت مبتنی بر رمز عبور احراز هویت یک عاملی گفته می‌شود. درصورتی‌که از کارت هوشمند نیز استفاده شود احراز هویت مبتنی بر دو عامل خواهد بود. درنهایت با افزودن یک لایه امنیتی بیشتر و استفاده از بیومتریک کاربر احراز هویت، سه عاملی است [۹].

سیم‌کارت نوعی کارت هوشمند است و از چارچوب جاوا کارت پشتیبانی می‌کند. سیم‌کارت محیط سخت‌افزاری و نرم‌افزاری چند کاربردی است. این مسئله به سایر برنامه‌ها، علاوه بر برنامه استاندارد سیم‌کارت، اجازه می‌دهد تا بر روی همان تراشه، مستقر و اجرا شوند [۱۰]. به همین منظور در این طرح از سیم‌کارت به‌عنوان کارت هوشمند سلامت استفاده شده است. که علاوه بر سایر قابلیت‌هایش، به ذخیره‌سازی و پردازش بخشی از اطلاعات سلامت می‌پردازد. همچنین امکان استفاده از المان امن[3] موجود در سیم‌کارت جهت بهبود امنیت سخت‌افزاری طرح در نظر گرفته شده است.

در مقاله حاضر یک طرح سلامت همراه ارائه شده است که با بهره‌گیری از سیم‌کارت سلامت به بهبود امنیت و حریم خصوصی کاربران می‌پردازد. در طرح پیشنهادی ابتدا به ارائه روندی جهت توزیع ایمن سیم‌کارت سلامت با در نظر گرفتن گمنامی کاربران پرداخته شده است. سپس پروتکل‌های مراحل ثبت‌نام، احراز هویت، بازیابی و بارگذاری اطلاعات ارائه شده‌اند. در این طرح با توجه این‌که رمزنگاری خم بیضوی ازنظر امنیت مشابه رمزنگاری RSA می‌باشد ولی طول کلید کوتاه‌تری دارد درنتیجه در پروتکل‌های پیشنهادی از این رمزنگاری استفاده شده است تا تطابق بیشتری با سامانه سلامت همراه داشته باشد.

در بخش ۲ به معرفی مختصر رمزنگاری خم بیضوی پرداخته می‌شود. بخش ۳ برخی راه‌کارهای سلامت الکترونیک مرور شده‌اند. در بخش ۴ کلیات طرح پیشنهادی تشریح شده است. بخش ۵ جنبه‌های امنیتی و حملات طرح پیشنهادی ارزیابی و با سایر طرح‌ها مقایسه شده است. همچنین نتایج ارزیابی با نرم‌افزار Avispa ارائه شده است. مقاله با نتیجه‌گیری در بخش ۶ به پایان می‌رسد.

۲- رمزنگاری خم بیضوی

رمزنگاری خم بیضوی[4] (ECC) در سال ۱۹۸۵ توسط نیل کوبلیتز[5] و ویکتور میلر[1] کشف شد. این طرح قابلیت‌هایی همچون

1- Platform
2- Near-field communication
3- Secure Element (SE)
4- Elliptic curve cryptography
5- Neal Koblitz

طرح RSA ارائه می‌کند. در یک سطح امنیتی موردنظر طول کلید دستگاه‌های خم بیضوی بسیار کوچک‌تر از RSA می‌باشد. به‌طور مثال ازنظر امنیت، امنیتی که کلید ۱۶۰- بیتی رمز مبتنی بر خم بیضوی برقرار می‌نماید معادل امنیتی است که کلید ۱۰۲۴-بیتی RSA ایجاد می‌کند [۱۱]. از این منظر ECC به‌عنوان یک رمزنگاری کلید عمومی کارآمد برای دستگاه‌های همراه شناخته شده است [۴].

فرض کنید p عدد اول و $\mathbb{F}_q$ میدان به پیمانه p باشد. یک خم بیضوی E بر بروی $\mathbb{F}_q$ با معادله (۱) تعریف می‌شود [۱۱]:

$$y^2 = x^3 + ax + b \quad (۱)$$

که $a, b \in \mathbb{F}_p$ در معادله (۲) صدق می‌کند:

$$4a^3 + 27b^2 \equiv 0 \pmod{p} \quad (۲)$$

یک جفت (y،x) که x,y∈𝔽p، یک نقطه روی منحنی است اگر (y،x) است در معادله صدق کند.

۳- پژوهش‌های پیشین

در این بخش برخی طرح‌های ارائه شده در سامانه سلامت الکترونیک به اختصار مرور شده است. همچنین نقاط قوت و ضعف این طرح‌ها بیان شده است. نقاط قوت هریک از طرح‌های پیشین در طرح پیشنهادی در نظر گرفته شده است.

ستیا و همکارانش [۱۲] به ارائه معماری برای سلامت الکترونیک با کمک فناوری‌های NFC و المان امن پرداختند. در این معماری سه حالت استفاده از برچسب NFC، همتا با همتا NFC و شبیه‌ساز کارت NFC در نظر گرفته شده است. این طرح برای افزایش امنیت ذخیره‌سازی اطلاعات از المان امن بهره برده است. با این وجود امکان ارتباط راه دور بین کاربران فراهم نمی‌باشد.

لطفی و دوستاری [۱۳] پروتکلی در حوزه پرداخت سیار که مبتنی بر سناریوی ارتباطی فروشنده محور ارائه کردند. در این پروتکل از طرح کلید عمومی خودگواهی مبتنی‌بر رمزنگاری خم بیضوی استفاده شده است. همچنین در این طرح گمنامی مشتری و انجام تراکنش منصفانه لحاظ شده است. طرح ارائه شده در حوزه پرداخت همراه می‌باشد.

ری و بیسواز [۱۴] سامانه سلامت الکترونیک منطبق با نیازمندی‌های استاندارد HIPAA ارائه کردند. در این طرح از زیرساخت کلید عمومی استفاده شده است سرور مرکزی پزشکی[۲] را به‌عنوان مرکز صدور گواهی تعریف شده است. اطلاعات بیمار به‌طور متمرکز بر روی MCS ذخیره می‌شود. در این طرح پروتکل‌هایی جهت احراز هویت، بارگذاری و بازیابی اطلاعات درمانی از سرور مرکزی پزشکی نیز ارائه شده است. علاوه بر این‌که این طرح مبتنی بر کارت هوشمند می‌باشد به گمنامی بیمار نیز توجه نشده است.

ری و بیسواز [۱۵] راه‌کار دیگری را برای سلامت همراه ارائه کردند که برای ارائه خدمات از ارسال پیامک از طریق درگاه دسترسی امن جهت ارتباط با سامانه هوشمند پزشکی بهره می‌گیرد. این راه‌کار با وجود این‌که امکان ارائه خدمات درمانی راه دور را فراهم می‌آورد اما به دلیل ذخیره اطلاعات به‌صورت پیامک، امکان افشا و جعل هویت کاربر در صورت سرقت گوشی وجود دارد.

دوستاری و همکاران [۱۶] نیز به جهت بهبود طرح‌های ارائه شده توسط ری و بیسواز به ارائه راه‌کاری جهت برقراری نیازمندی‌های حریم خصوصی و امنیتی HIPAA که به گمنامی کاربران توجه دارد پرداختند. به این منظور از امضای کور عادلانه و زیرساخت کلید عمومی استفاده نمودند. با این وجود، در این طرح، احراز هویت مستقل وجود نداشت در نتیجه امکان حمله تکرار و قابلیت ردیابی بیمار فراهم است.

چادهری و همکارانش [۱۷] پروتکل احراز هویت برای سامانه اطلاعات پزشکی راه دور ارائه کرد. این طرح بهبودیافته طرح [۱۸] می‌باشد. در این پروتکل از رمزنگاری خم بیضوی استفاده شده است و بیومتریک بیمار جهت احراز هویت مورد استفاده قرار گرفته است. این طرح به برقراری ارتباط امن بین بیمار و پزشک با استفاده از یک سرور پزشکی مرکزی قابل اعتماد می‌پردازد. با این وجود احراز هویت سرور پزشکان توسط سرور مرکزی انجام نمی‌پذیرد.

۴- طرح پیشنهادی

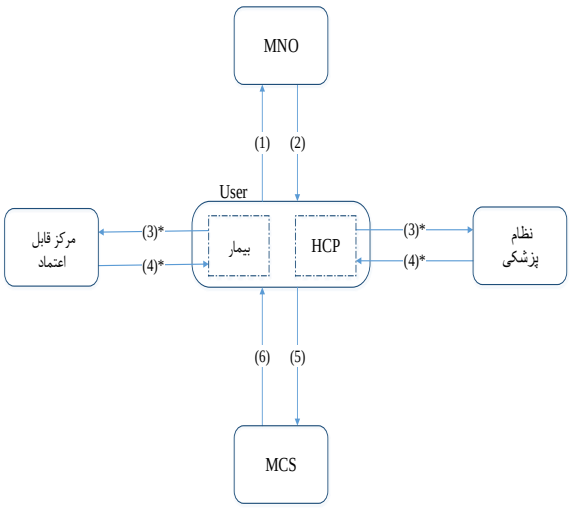
اولین گام در ارائه طرحی جهت حفظ امنیت و حریم خصوصی کاربران در سلامت همراه شناخت موجودیت‌ها و روابط آن‌ها با یکدیگر است. بر اساس این روابط، روال دریافت و فعال‌سازی سیم‌کارت سلامت برای کاربران تعریف می‌شود. گام دوم استفاده از شناسه و کلیدهای کاربر برای احراز اصالت مؤثر وی در سامانه سلامت جهت ارائه خدمات می‌باشد. علاوه تضمین امنیت و یکپارچگی اطلاعات در طول انتقال، جهت حفظ حریم خصوصی کاربر بایستی سازوکاری برای نگه‌داری ایمن اطلاعات در سرور سلامت و گوشی کاربر تعریف گردد. همچنین لازم است،

1-Victor Miller
2- Medical Center Server (MCS)

پروتکل‌هایی جهت ارائه خدمات درمانی که با ساختار حاضر سازگاری دارد، ارائه شود.

۴-۱- روند دریافت و فعال‌سازی سیم‌کارت سلامت

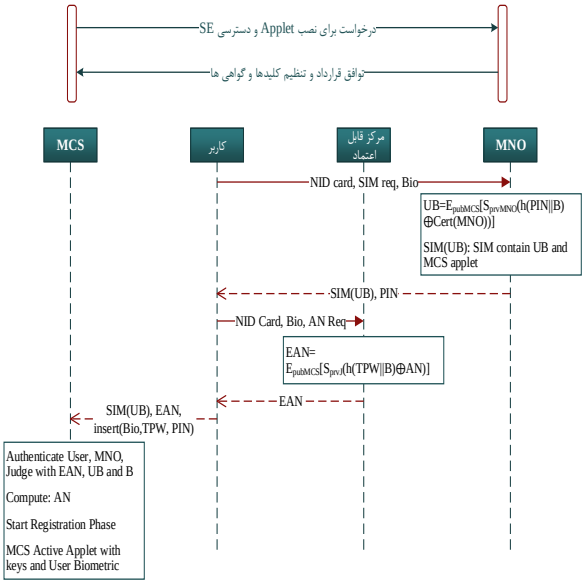
کاربر بایستی جهت دریافت خدمات بهداشتی و درمانی دارای سیم‌کارت سلامت باشد. در گام اول، کاربر سیم‌کارت را از MNO[1] دریافت می‌کند. با توجه به این‌که کاربران به‌طورکلی به دو دسته بیماران و کادر درمانی تقسیم می‌شوند، در گام دوم کادر درمانی با مراجعه به نظام پزشکی تایید صلاحیت خود را دریافت می‌نمایند. مرکز قابل‌اعتمادی همچون ثبت‌احوال برای بیماران نام مستعاری در نظر می‌گیرد و بیمار نام مستعار تائید شده خود را دریافت می‌کند. این نام مستعار به جهت افزایش حریم خصوصی بیماران می‌باشد. در صورت وجود مشکل قانونی فقط مرکز قابل‌اعتمادی می‌تواند هویت بیمار را آشکار نماید. در گام آخر بیمار برای ثبت‌نام و عقد قرارداد به MCS مراجعه می‌نماید. این روند در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱): ساختار ارتباط موجودیت‌ها برای ثبت‌نام در سامانه سلامت

برای استقرار این سامانه، MCS درخواست نصب برنامک[2] و دسترسی به SE سیم‌کارت‌ها را برای MNO ارسال می‌کند. پس از آن‌که دو طرف بر عقد قرارداد توافق نمودند، MNO کلید و گواهی لازم برای دسترسی MCS به برنامک خود بر روی SE را در اختیار وی قرار می‌دهد. بارگذاری برنامک و فعال نمودن آن توسط MCS را می‌توان از طریق پروتکل‌های OTA بر روی سیم‌کارت‌ها اجرا کرد.

کاربر برای دریافت سیم‌کارت به‌طور حضوری به MNO مراجعه می‌نماید. سیم‌کارت کاربر پس از بررسی هویت بیمار صادر می‌شود. اپراتور بیومتریک و PIN متقاضی را امضا کرده به همراه گواهی خود با کلید عمومی MCS رمز می‌کند. درواقع با این مقدار رمز شده (UB) برنامک را برای کاربر شخصی‌سازی می‌کند. جزئیات این روند در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): روند دریافت و فعال‌سازی سیم‌کارت سلامت

از طرف دیگر بیمار برای دریافت نام مستعار خود به مرکز قابل‌اعتماد (Judge) مراجعه می‌نماید. مرکز پس از تائید هویت کاربر چکیده رمز عبور موقتی و بیومتریک بیمار را به همراه نام مستعار وی امضا می‌کند و با کلید عمومی MCS رمز می‌نماید. مقدار رمز شده نام مستعار به همراه بیومتریک (EAN[3]) تائید مرکز بر روی نام مستعار بیمار می‌باشد. کادر درمانی نیز با ارائه مستندات تحصیلی و هویتی خود به نظام پزشکی پس از تایید آن مقدار رمز شده و امضا شده هویت و بیومتریک خود(EHC[4]) را دریافت می‌کنند. حال کاربران با مراجعه به MCS و ارائه SIM(UB) و EAN برای بیماران و EHC برای کادر درمانی تقاضای ثبت‌نام در سامانه سلامت الکترونیک را می‌نمایند. MCS با ارزیابی امضاها و تائید بیومتریک و رمز عبور ورودی کاربر، هویت کاربر را تائید می‌کند و پس‌ازآن مرحله ثبت‌نام در MCS آغاز می‌شود. نمادهای استفاده‌شده در طرح پیشنهادی در جدول (۱) آورده شده است.

1-Mobile Network Operator (MNO)
2-Applet
3- Encrypted Anonymous Name (EAN)
4- Encrypted of Healthcare Provider Certificate(EHC)

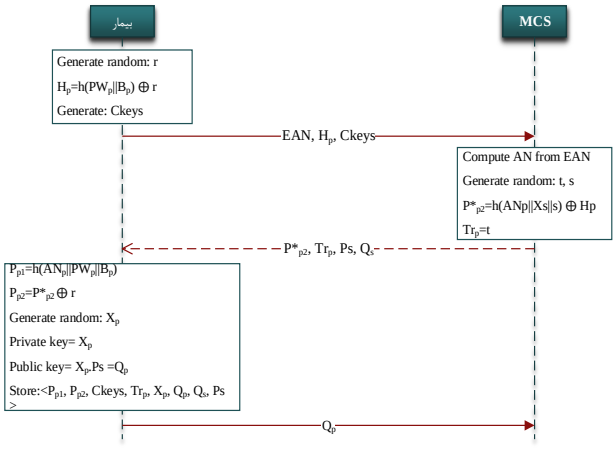
جدول (۱): نمادهای مورداستفاده در پروتکل‌های پیشنهادی

نماد	توضیحات
P	بیمار
D	ارائه‌دهنده خدمات درمانی (پزشک و ...)
S	سرور MCS
B	بیومتریک
PW	رمز عبور
AN	نام مستعار
ID	شناسه موجودیت
Tr	برچسب زمانی
Ckeys	کلید کلاس‌های پرونده سلامت
(X,Q)	(کلید عمومی، کلید خصوصی)
SK	کلید نشست
D/E	رمزگذاری و رمزگشایی متقارن
.	ضرب نقطه‌ای ECC
Ps	نقطه اولیه ECC
h()	تابع چکیده ساز یک‌طرفه
⊕	عملگر XOR
||	عملگر الحاق

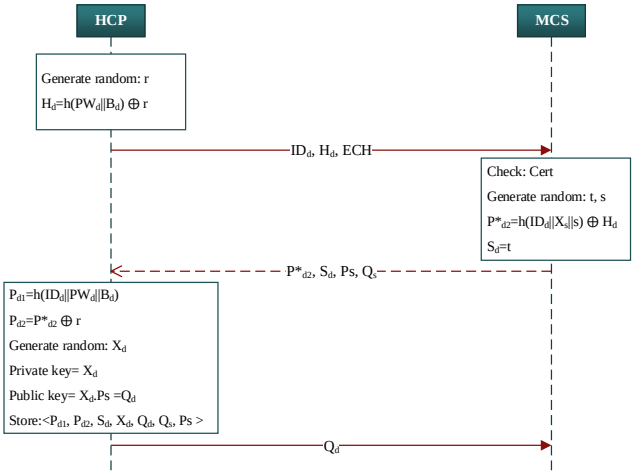
۴-۲- مرحله ثبت‌نام کاربران در MCS

مرحله ثبت‌نام پس از تائید EAN و ECH آغاز می‌گردد. مرحله ثبت‌نام از طریق یک کانال امن و یا به‌صورت حضوری انجام می‌گردد. ابتدا بیمار مقدار H_p که ترکیبی از رمز عبور و بیومتریک بیمار می‌باشد را محاسبه می‌نماید. همچنین هسته مرکزی برنامک مجموعه کلیدهای کلاس‌های پرونده سلامت را تولید می‌کند. کاربرد این مجموعه کلید در بخش ۴-۴ تشریح خواهد شد. این مقادیر را به MCS می‌دهد.

MCS مقدار Tr جهت جلوگیری از حمله تکرار و P^*_{p2} که ترکیبی از مؤلفه‌های خصوصی سرور و بیمار می‌باشد، را تولید می‌نماید. این مقادیر را به همراه مؤلفه‌های رمزنگاری خم بیضوی و کلید عمومی MCS برای بیمار ارسال می‌گردد. بیمار پس از محاسبه P_{p1} و P_{p2} به تولید کلید خصوصی و عمومی خود می‌پردازد. درنتیجه مقادیر محاسبه‌شده را به همراه، کلید کلاس‌ها، مقدار Tr و زوج کلید خود در SE ذخیره می‌نماید به‌نحوی‌که دسترسی به این مقادیر صرفاً توسط برنامک مجاز صورت پذیرد. مرحله ثبت‌نام بیمار در شکل (۳) نشان داده شده است. ثبت‌نام ارائه‌دهندگان خدمات درمانی نیز تقریباً مشابه بیمار می‌باشد. مقدار مشترک مخفی تصادفی S_d توسط MCS برای HCP[1] ارسال می‌شود. مراحل ثبت‌نام HCP در MCS در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۳): پروتکل مرحله ثبت‌نام بیمار در MCS



شکل (۴): پروتکل مرحله ثبت‌نام HCP در MCS

۴-۳- مرحله احراز اصالت بیمار و کادر درمانی

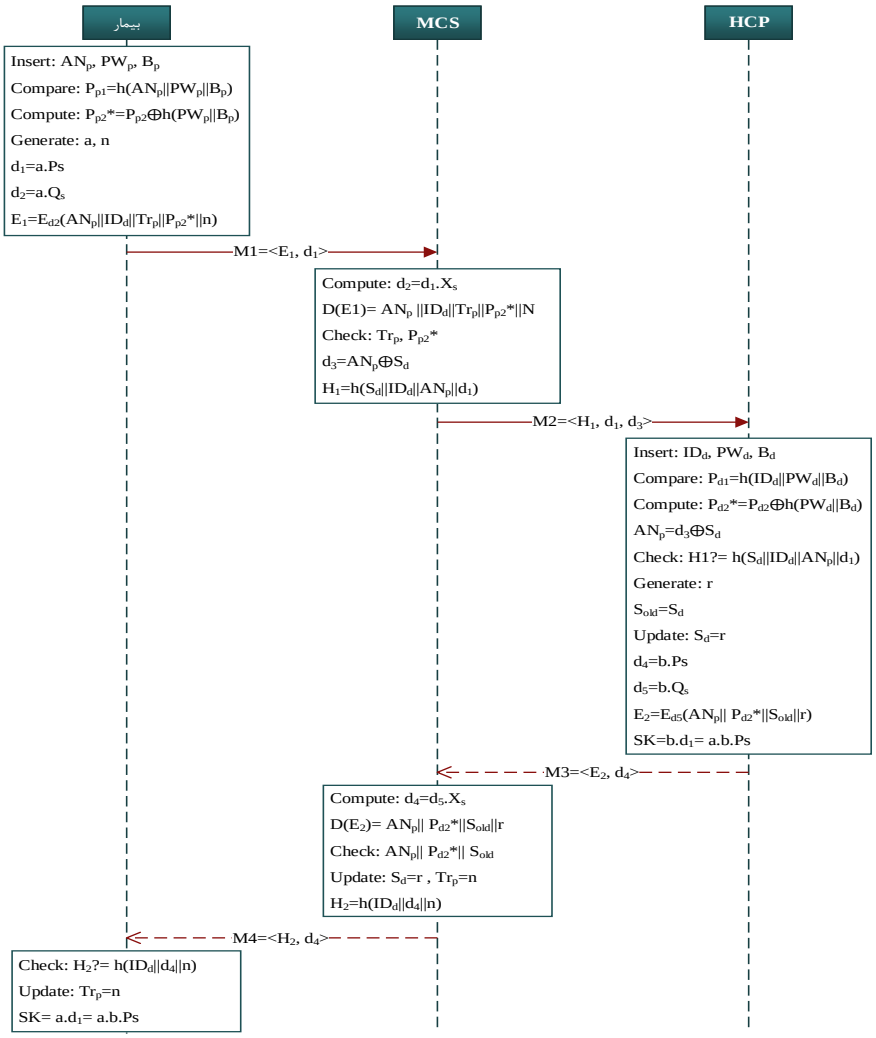
یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌ها در تضمین امنیت و حریم خصوصی کاربران، خصوصاً بیماران، احراز اصالت موجودیت‌هاست. هنگامی‌که بیمار[1] بخواهد خدماتی دریافت نماید، برای ایجاد نشست ایمن، احراز اصالت بین بیمار و ارائه‌دهنده خدمات با واسطه MCS انجام می‌شود. در مرحله احراز اصالت، علاوه بر

1- Health Care Provider (HCP)

تائید هویت موجودیت‌ها برای یکدیگر، گمنامی و قابلیت عدم ردیابی بیمار نیز در نظر گرفته‌شده است. پروتکل احراز اصالت در شکل (۵) نمایش داده شده است. جزئیات این پروتکل در ادامه تشریح می‌شود.

گام ۱: بیمار نام مستعار، رمز عبور و بیومتریک خود را وارد می‌کند، مقدار P_{p1} محاسبه می‌شود و با مقداری که در SE محافظت می‌شود، مقایسه می‌شود. در صورت صحت، دو عدد تصادفی a و n تولید می‌شود. چالش n و مقدار d_2 با کمک مسئله ECDLP محاسبه می‌شود. در نهایت مقادیر E_1 و d_1 برای MCS ارسال می‌گردد.

گام ۲: MCS مقدار کلید d2 را با ضرب نقطه‌ای کلید خصوصی خود در d1 محاسبه می‌کند و با آن تابع E1 را رمزگشایی می‌نماید. بر اساس ANp مقادیر Tr و Pp2* را ارزیابی می‌نماید. پس از احراز اصالت بیمار نزد MCS، مقادیر H1، d1، d3 برای HCP ارسال می‌شود



شکل (۵): پروتکل احراز اصالت بیمار و ارائه‌دهنده خدمات درمانی

گام ۳: HCP پس از دریافت پیام، رمز عبور و بیومتریک خود را وارد می‌کند و همچون بیمار، هویتش در سیم‌کارت تائید می‌شود. سپس نام مستعار بیمار را محاسبه نموده و یکپارچگی مقدار H1 را ارزیابی می‌کند. به دلیل آن‌که مقدار Sd مخفی مشترک متغیر در هر ارتباط بین HCP و MCS می‌باشد، بر اساس آن HCP هویت MCS را احراز می‌نماید و از عدم تکراری بودن پیام اطمینان می‌یابد. HCP با تولید عدد تصادفی b و مسئله ECDLP، مقدار E2 را به محاسبه می‌نماید. همچنین مقدار تصادفی r را به‌عنوان مقدار Sd جدید برای MCS ارسال می‌نماید. درنهایت مقدار کلید نشست SK را محاسبه می‌نماید. امنیت این کلید بر اساس ECDHP می‌باشد.

گام۴: MCS همچون گام ۲ مقدار E2 را رمزگشایی می‌نماید. بر اساس محتوای رمزگشایی‌شده، هویت HCP را ارزیابی می‌نماید. سپس مقادیر Sd و Tr را به ترتیب بر اساس r و n به‌روز

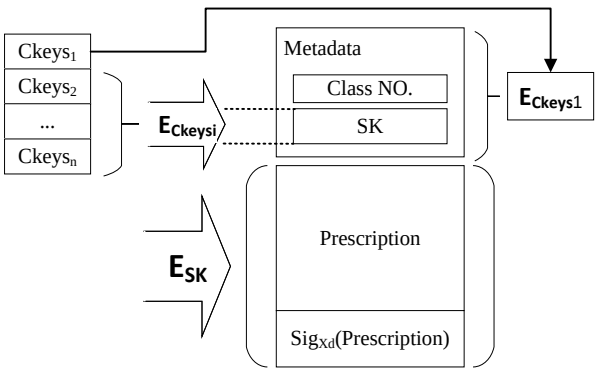
می‌نماید و مقادیر H2 و d4 را برای بیمار ارسال می‌نماید.

گام۵: بیمار با دریافت پاسخ، مقدار H2 را ارزیابی می‌کند. به دلیل اینکه مقدار n را خود به‌عنوان چالش برای MCS ارسال نموده بود، حال هویت MCS را تائید می‌نماید. سپس مقدار Tr خود را بر اساس n به‌روز می‌نماید. درنهایت مقدار کلید نشست SK را تقریباً مشابه HCP محاسبه می‌نماید.

۴-۴- راه‌کار ذخیره‌سازی امن

در فاز ثبت‌نام مجموعه کلید Ckeys تولید و به‌طور محرمانه بین سیم‌کارت بیمار و MCS به اشتراک گذاشته شد. این مجموعه جهت رمز کردن اجزای مختلف پرونده بیمار استفاده می‌شود. درواقع پرونده بیمار به زیرمجموعه‌های تقسیم‌شده و هر یک از این کلیدها متعلق به یک زیرمجموعه می‌باشد. پرونده را می‌توان بر اساس نوع داده و یا محتوای آن تقسیم‌بندی نمود. نحوه رمزگذاری و کلیدهای اختصاص داده‌شده برای هر نسخه در شکل ۶ نشان داده شده است.

هر نسخه بیمار با کلید نشستی که بین پزشک و بیمار توافق شده، رمز می‌شود. با توجه به اینکه کلید نشست در انتهای ارتباط از بین می‌رود و برای کاهش سرباز رمزگشایی و رمزگذاری مجدد، از کلید نشست به‌عنوان کلید رمزگذاری نسخه استفاده می‌شود. این کلید سپس با کلید کلاس مربوطه رمز شده و در فراداده[1] نسخه به همراه شماره کلاس ذخیره می‌شود. کل فراداده نیز با کلید $Ckeys_1$ رمز می‌شود. $Ckeys_1$ برای رمزگذاری متادیتا تخصیص داده شده است. این ایده با الهام از ایده شرکت اپل در ذخیره‌سازی فایل‌ها بروی گوشی [۱۹] ارائه شده است.



شکل (۶): کلیدها و رمزگذاری نسخه بیمار

۴-۵- پروتکل‌های ارائه خدمات درمانی

برای ارائه خدمات به بیماران لازم است مراحل بارگذاری و بازیابی اطلاعات درمانی بیمار بررسی شود. همچنین بررسی راه‌کاری جهت افزایش حریم خصوصی و ارائه اطلاعات به پزشکان و واحد اورژانس معتبر در شرایط اضطراری اهمیت دارد. با توجه به تأکید بر تغییر رمز عبور و بیومتریک به ارائه پروتکل سازگار با مرحله ثبت‌نام و احراز اصالت ضروری است. در این بخش به ارائه پروتکل‌هایی خدمات درمانی پرداخته شده است.

تمامی پروتکل‌های ارائه‌شده با فرض حضور فعال بیمار در هر تراکنش می‌باشد. درصورتی‌که نیاز به ارائه خدمات در یک بازه زمانی مشخص و توسط پزشکان و یا مراکز درمانی معین باشد، بیمار با MCS قراردادی توافق می‌نماید که به‌موجب آن در تمامی این پروتکل‌ها نقش بیمار را MCS ایفا می‌کند.

۴-۵-۱- مرحله بارگذاری اطلاعات در MCS و تلفن هوشمند بیمار

در این مرحله بیمار یا حضوراً نزد پزشک می‌باشد و یا علائم و نتایج جمع‌آوری‌شده توسط حسگرهای تلفن همراه را با کلید نشست رمز کرده و برای پزشک ارسال می‌نماید. پزشک پس از تشخیص، نسخه را امضا نموده و با کلید نشست رمز می‌نماید. با تولید عدد تصادفی a، مقدار مخفی d2 محاسبه می‌شود. سپس درخواست بارگذاری به همراه شناسه پزشک و بیمار و کلید نشست با d2 رمز شده (L4) و برای MCS به همراه نسخه رمز شده ارسال می‌کند. مراحل این پروتکل در شکل (۷) نمایش داده شده است.

در ادامه MCS پس از محاسبه d2 به کمک کلید خصوصی خود، L4 را رمزگشای می‌نماید. اعتبار کلید نشست بین پزشک و بیمار ارزیابی می‌کند. سپس نسخه بیمار را با استفاده از کلید نشست رمزگشایی می‌کند. صحت امضای پزشک بر روی نسخه را نیز بررسی می‌نماید. درنهایت بر اساس نحوه ذخیره پرونده‌ها، کلید نشست با کلید کلاس مربوطه رمز شده و نتیجه نهایی در MCS و در صورت درخواست کاربر در گوشی وی ذخیره می‌شود.

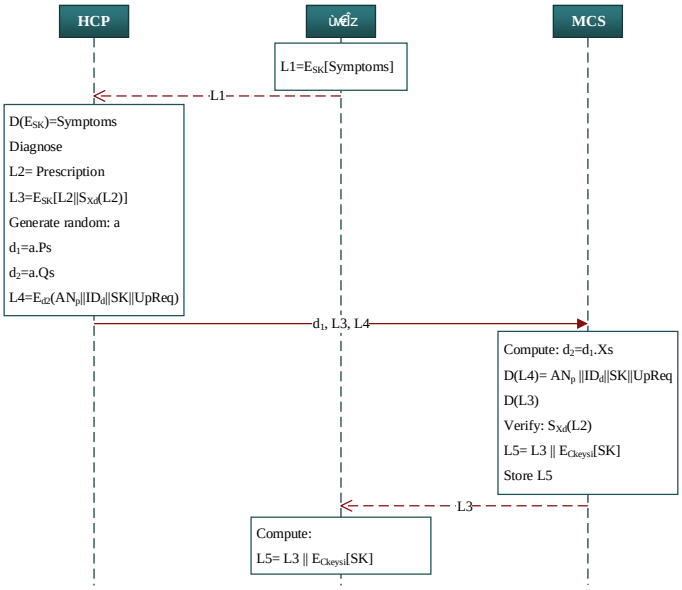
۴-۵-۲- مرحله بازیابی اطلاعات از MCS و تلفن هوشمند بیمار

در این مرحله HCP درخواست دریافت نسخه بیمار را با کلید نشست رمز کرده، برای بیمار می‌فرستد. بیمار پس از رمزگشایی بررسی می‌نماید که آیا این نسخه در تلفن همراه وجود دارد یا خیر. در صورت وجود بیمار مقدار کلید نسخه ki را با رمزگشایی آن توسط Ckeys محاسبه می‌نماید. سپس مقدار L3 را با ترکیب نسخه رمز شده به همراه رمزگذاری ki با کلید نشست محاسبه می‌نماید. در نتیجه مقدار L3 را برای پزشک ارسال می‌کند. مراحل پروتکل بازیابی در شکل (۸) نشان داده شده است.

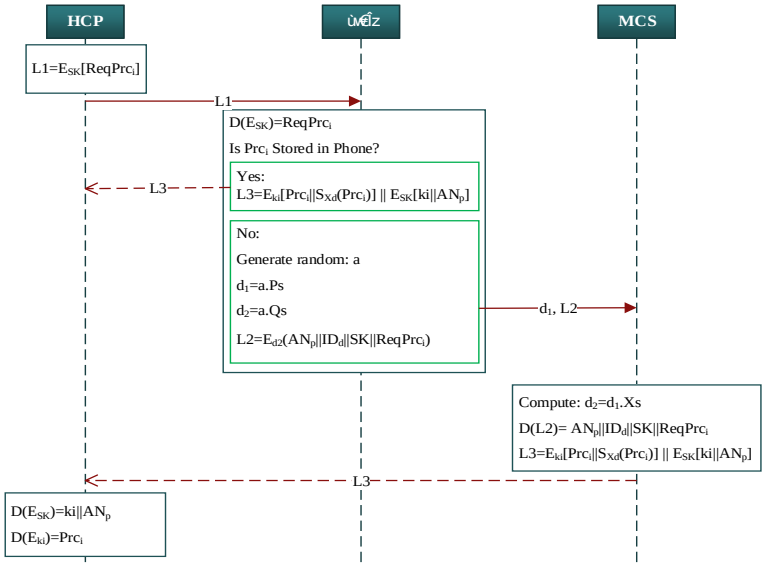
1Metadata

درصورتی‌که نسخه در تلفن همراه ذخیره نشده باشد، بیمار مقدار رمز شده L2 را برای MCS ارسال می‌نماید. L2 شامل شناسه HCP و بیمار، کلید نشست و درخواست نسخه می‌باشد.

MCS پس از رمزگشایی و ارزیابی SK مقدار L3 را همانند بیمار محاسبه نموده و آن را برای HCP ارسال می‌کند.



شکل (۷). پروتکل بارگذاری اطلاعات به پرونده بیمار



شکل (۸): پروتکل بازیابی اطلاعات از پرونده بیمار

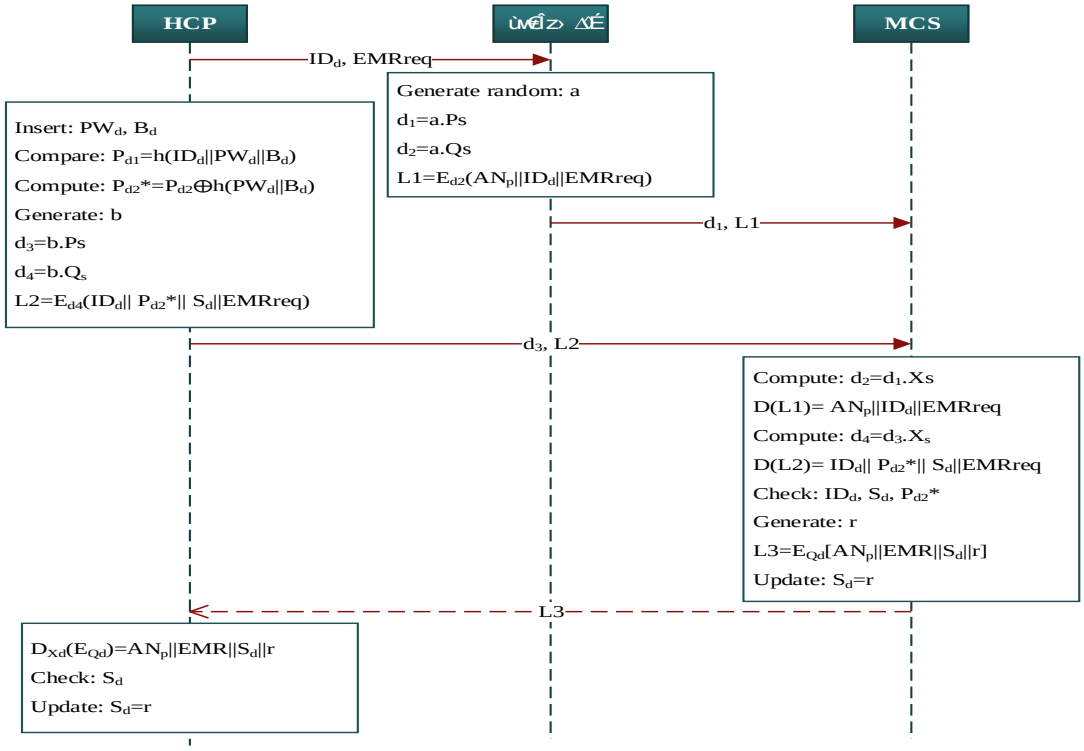
۴-۵-۳- وضعیت اورژانس

در این شرایط فرض بر این است که بخشی از اطلاعات ضروری و مهم بیمار با عنوان EMR بر روی سرور MCS ذخیره شده است. به دلیل آنکه امکان از بین رفتن تلفن همراه در شرایط اورژانس وجود دارد، اجرای این مرحله با فعال کردن سیم‌کارت بر روی دستگاه مرکز اورژانس ممکن است. با توجه به این‌که در شرایط اضطراری بیمار توانایی ورود اطلاعات را به سامانه ندارد، پزشک شرایط اورژانس را در برنامک بیمار اعلام می‌نماید. پزشک پس از درخواست شناسه توسط برنامک آن را وارد می‌کند. در این زمان دو عملیات هم‌زمان انجام می‌شود.

۱. در برنامک بیمار مقدار تصادفی a محاسبه‌شده و با کمک ضرب نقطه‌ای مقادیر d1 و d2 محاسبه می‌شوند. سپس شناسه پزشک، نام مستعار بیمار و اعلام وضعیت اورژانس با کمک d2 رمز شده و به همراه d1 برای MCS ارسال می‌گردد.

۲. HCP همچون فاز احراز اصالت پس از ورود رمز عبور و بیومتریک خود، مقادیر ورودی را با مقادیر ذخیره‌شده مقایسه می‌نماید؛ سپس مقادیر مخفی خود را به همراه اعلام شرایط اورژانس (L2) رمز می‌کند. کلید رمزگذاری بر اساس ضرب نقطه‌ای ECC محاسبه می‌شود. HCP مقادیر محاسبه‌شده را برای MCS ارسال می‌نماید.

ابتدا MCS مقادیر دریافتی از برنامک بیمار و HCP را رمزگشایی می‌نماید. با توجه به این‌که شناسه پزشک در هر دو پیام یکسان است، MCS به احراز اصالت HCP می‌پردازد. درصورتی‌که احراز اصالت موفقیت‌آمیز باشد، MCS نام گمنام بیمار به همراه پرونده EMR و عدد تصادفی r را با کلید عمومی HCP رمز می‌نماید. نتیجه حاصل را برای HCP ارسال می‌کند. مقدار r به‌عنوان مقدار جدید Sd در نظر گرفته می‌شود. HCP با رمزگشایی توسط کلید خصوصی خود به پرونده EMR بیمار دسترسی دارد. مراحل این پروتکل در شکل (۹) تشریح شده است.



شکل (۹): پروتکل شرایط اورژانس

۴-۵-۴- تغییر رمز عبور و بیومتریک

این مرحله به دلیل اهمیت تغییر رمز عبور و بیومتریک، برای راحتی کاربر، به کمک برنامه کاربردی سلامت و برنامک صورت می‌پذیرد. درنتیجه نیازی به مراجعه به مرکزی جهت تغییر رمز نمی‌باشد. به این منظور ابتدا کاربر نام مستعار، رمز عبور و بیومتریک خود را وارد می‌نماید. با محاسبه مقدار $P_{p1}=h(AN_p||PW_p||B_p)$ و مقایسه آن با مقدار ذخیره‌شده احراز اصالت کاربر نزد سیم‌کارت انجام می‌شود. سپس از وی تقاضای ورود رمز عبور و بیومتریک جدید را می‌نماید. پس از ورود با محاسبه مقادیر $P_{p1}=h(AN_p||PW_{p.new}||B_{p.new})$ و $P_{p2new}=P_{p2}\oplus h(PW_p||B_p) \oplus h(PW_{p.new}||B_{p.new})$ مقادیر جدید جایگزین مقادیر قبلی می‌گردد.

۵- ارزیابی و نتایج

در این بخش ابتدا به معرفی و ارزیابی حملات بر روی پروتکل احراز اصالت پیشنهادی می‌پردازیم. سپس ویژگی‌های این پروتکل را مطرح نموده و تحلیل می‌نماییم. درنهایت به مقایسه پروتکل پیشنهادی با سایر طرح‌ها می‌پردازیم.

۵-۱- ارزیابی حملات

حمله حدس رمز عبور[1]: این حمله، زمانی ممکن است که مهاجم یک کپی رمز شده از کلمه عبور را در کانال‌های ارتباطی و یا کارت‌های هوشمند به دست آورد. در این حمله، مهاجم با استفاده از لغت‌نامه رمز عبور[2] و یا حدس هزاران رمز در ثانیه به

1- Password guessing attack
2- Password dictionary

جستجو می‌پردازد تا انطباق آن‌ها با کلمه عبور رمز شده موفقیت‌آمیز باشد. در حدس رمز عبور آنلاین پس از تعداد محدودی حدس اشتباه، فعالیت مهاجم مسدود می‌شود. درحالی‌که مهاجم در حدس رمز عبور آفلاین با چنین محدودیتی مواجه نیست [۹].

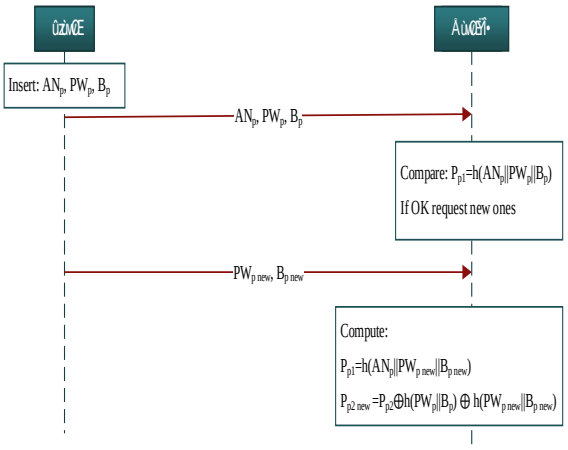
فرض می‌کنیم مهاجم مقادیر P_{p2}، P و Tr_p را به همراه بیومتریک سرقت می‌نماید. مهاجم با حدس PW_p' به محاسبه $P_{p2}^*=P_{p2}\oplus h(PW_p'||B_p)$ می‌پردازد. با شنود پیام‌های مبادله شده قبلی مقدار E_1 را ضبط نموده است. برای تائید حدس رمز عبور، رمزگشایی E_1 لازم است. $E_1=E_{d2}(AN||Tr_{pold}||P_{p2}||Tr_p)$ شامل Tr_{pold} که مقدار تصادفی حذف‌شده می‌باشد. مهاجم برای رمزگشایی E_1 نیاز به محاسبه d_2 بر اساس d_1 دارد که این محاسبه با توجه به مسئله ECDH بسیار دشوار است. این تحلیل به همین ترتیب برای نیز HCP نیز صادق است

حمله تکرار[1]: در حمله تکرار، دشمن کانال ارتباطی را شنود کرده و پیام‌های تأیید هویت را به دست می‌آورد. پیام‌های را مجدداً برای دسترسی و سوءاستفاده از موجودیت‌ها مورداستفاده قرار می‌دهد. حملات تکرار همچنین می‌توانند بر روی در دسترس بودن سامانه تأثیر بگذارند، به این صورتی که مهاجم پیام‌های تکراری را ارسال و سامانه به پردازش آن‌ها بپردازد، حمله تکرار رخ می‌دهد [۹].

مهاجم ابتدا به ضبط پیام‌های مبادله شده می‌پردازد. در ارتباط جدید در صورت ارسال تکراری پیام M1 سرور با مقایسه Tr_p با مقداری که در جدول خود دارد، متوجه تکراری بودن پیام می‌گردد. درصورتی‌که مهاجم بخواهد پیام M2 و یا M3 را تکرار کند، HCP و MCS بر اساس S_d به تکراری بودن پیام پی می‌برند. تکراری بودن پیام M4 نیز با ارزیابی H_2 و مقدار n مشخص می‌شود. درنتیجه پروتکل پیشنهادی نسبت به حمله تکرار مقاوم است.

حمله داخلی ممتاز[2]: این حمله توسط یک فرد با دسترسی مجاز به سامانه صورت می‌گیرد. فرد می‌تواند اطلاعات حساس کاربر را از سامانه سرقت نماید، ازاین‌رو حریم خصوصی، عدم ردیابی و ناشناس ماندن کاربر به‌راحتی توسط مهاجم به خطر می‌افتد [۹].

در مرحله ثبت‌نام، رمز عبور و بیومتریک با یک مقدار تصادفی ادغام‌شده، برای سرور ارسال می‌شود، درنتیجه کاربر ممتاز در سمت سرور به مقادیر دقیق رمز عبور و بیومتریک دسترسی ندارد. به همین دلیل پروتکل‌های ارائه‌شده، در برابر حمله داخلی ممتاز مقاوم است.



شکل (۱۰): پروتکل تعویض رمز عبور و بیومتریک

حمله انکار سرویس[3]: در این حمله، مهاجم حجم بالایی پیام‌های تکراری و یا نادرست را به سرور می‌فرستد تا سرور را مشغول نگه دارد و از ارائه خدمات به کاربران قانونی جلوگیری نماید[۹]. با توجه به این‌که پروتکل پیشنهادی نسبت به حمله تکرار مقاوم است، در صورت ارسال پیام تکراری سرور بلافاصله متوجه شده و منابع سرور صرف محاسبات اضافی نمی‌شود. از طرفی در صورت ارسال پیام نادرست نیز در اولین ارزیابی سرور به ارتباط خاتمه می‌دهد.

حمله جعل هویت[4]: در این حمله، مهاجم هویت یکی از موجودیت‌های قانونی را برای دسترسی به سامانه سرقت می‌کند [۹]. در حمله جعل هویت کاربر، مهاجم بایستی بتواند مقدار E_1 و d_1 قانونی را تولید نماید. برای تولید E_1 قانونی باید مقدار صحیح P_{p2}^* را محاسبه نماید. محاسبه مقدار صحیح P_{p2}^* منحصر به دانستن کلید خصوصی سرور و یا هر سه عامل احراز اصالت می‌باشد. درنتیجه پروتکل در برابر حمل جعل کاربر(بیمار و HCP) مقاوم است.

زمانی که مهاجم بخواهد هویت سرور را برای HCP جعل نماید، بایستی مقدار قانونی H_1 را برای HCP ارسال نماید. محاسبه مقدار قانونی H_1 منحصر به دانستن مخفی S_d می‌باشد. از طرف دیگر مهاجم فقط با ارسال مقدار قانونی H_2 می‌تواند هویت سرور را برای بیمار جعل نماید. با توجه به اینکه عدد تصادفی n موجود در H_2 قبلاً توسط بیمار با مقدار d_2 رمز شده است، مهاجم فقط با دانستن کلید خصوصی سرور می‌تواند مقدار n را محاسبه نماید؛ بنابراین پروتکل در برابر این حمله مقاوم است.

1- Replay attack
2- Privileged insider attack
3- Denial-of-service attack
4- Impersonation attack

حملـه Stolen verifier: در ایـن حملـه، مهـاجم داده‌هـای ارزیابی‌شده را از سرور در یک نشست احراز اصالت موفق فعلی یـا گذشته سرقت می‌کند. مهاجم با استفاده از اطلاعـات بـه سـرقت رفته، پیام‌هـای احـراز اصـالت را تولیـد کـرده و آن را بـه سـرور می‌فرستد. اگر سرور پیام‌هـای احـراز اصـالت را بپـذیرد، مهـاجم موفق به جعل هویت یک کاربر قانونی شده است [۹].

در پروتکل پیشنهادی، مهـاجم مقـادیر AN_p، s' و Tr_p بـرای بیمـار و مقـادیر ID_d، s'' و S_d را بـرای HCP از سـرور اسـتخراج می‌نمایـد. ایـن اطلاعـات شـامل رمـز عبـور و بیومتریـک کـاربر نمی‌باشد. درصورتی‌که کلید خصوصی سرور مخفـی بـاقی بمانـد، مهاجم نمی‌تواند با استفاده از اطلاعات استخراج‌شده، خود را برای سرور احراز اصالت نماید.

۵-۲- ویژگی‌های حریم خصوصی و امنیتی

احراز اصالت دوطرفه[1]: در پروتکـل پیشـنهادی، احـراز اصـالت دوطرفه بین تمامی موجودیت‌ها برقرار است. MCS با رمزگشـایی E_1 و مقایسه P_{p2} بیمار را احراز اصالت می‌نماید، به همین ترتیـب با رمزگشایی E_2 و مقایسه P_{d2} پزشک را احراز اصـالت مـی‌نمایـد. بیمار نیز بر اساس پاسخ چالش عدد تصادفی n و مقـدار سـرور را احراز اصالت نموده و به‌طور ضمنی بر اساس $h(ID_d||d_4||n)$ پزشک را تائید صلاحیت مـی‌نمایـد. از طـرف دیگـر پزشـک بـا ارزیـابی $h(S_d||ID_d||AN_p||d_1)$ سرور و بیمار را احراز اصالت می‌نماید.

گمنامی: این ویژگی بـه حفاظـت از هویـت واقعـی کـاربر و تضمین حریم خصوصی اشاره دارد. گمنـامی عـدم افشـاء هویـت واقعی کاربر را در طول انتقال تضمین می‌کند [۹]. علاوه بر اینکه بیمار از یک نـام مسـتعار اسـتفاده مـی‌نمایـد، مقـدار AN در E_1 مخفیانه برای MCS ارسال می‌گردد. بدون دانستن کلید خصوصی MCS رمزگشایی E_1 و استخراج AN غیرممکن است.

عدم ردیابی[2]: ایـن ویژگـی تضـمین مـی‌کنـد کـه مهـاجم نمی‌تواند سلسله ارتباطات کاربر را ردیابی نماید [۹]. در پروتکـل احراز اصالت، شناسه کاربر به همراه مقدار تصادفی n که متعلق به همان نشست است، رمزگذاری و ارسال مـی‌شـود. درنتیجـه ایـن مقدار در هر نشست مقداری غیرقابل ردگیری است.

امنیت پیشرو[3]: این ویژگی تضمین می‌کند کـه در صـورت افشاء کلید و اطلاعات محرمانه طولانی مدت، مهاجم نتواند کلیـد نشست‌های قبلی را بیابد و ارتباطات گذشته را ردیابی نماید [۹]. اطلاعات محرمانه طولانی مدت کاربر شامل P_{p2}، AN_p و X_p، برای HCP مقادیر P_{d2} و X_d و برای سرور X_s می‌باشد. در صورت افشاء این اطلاعات محرمانه، مهاجم نمی‌تواند کلیدهای نشست قبلی را استخراج نماید. کلید نشست ترکیبی از مقـادیر تصـادفی مـوقتی می‌باشد که بر اساس ECDHP محافظت می‌شود.

توافق کلید نشست[4]: یک کلید نشست کلید متقارنی است که برای حفظ ارتباط بین دو طرف و پس از احراز اصـالت موفـق توافـق مـی‌گـردد [۹]. در پایـان مرحلـه احـراز اصـالت پروتکـل پیشـنهادی، کلیـد نشسـت SK کـه ترکیبـی از مقـادیر تصـادفی تولیدشده توسط پزشک و بیمار می‌باشد، محاسـبه مـی‌شـود. بـه همین منظور توافق کلید نشست در این پروتکل عادلانه است.

تغییر کارآمد رمز عبور و بیومتریـک[5]: در یـک پروتکـل ارتباطی کارآمد جهت تعویض رمز عبور و بیومتریک نیاز بـه رمـز عبور قبلی و مطابقت آن می‌باشد. رمز عبور به‌طور رمز نشـده بـر روی کانال‌های ارتباطی انتقال نمی‌یابد. همچنین قبـل از ارتبـاط با سرور سمت کاربر ارزیابی می‌گردد [۹]. با توجه به اینکه سـرور مقادیر رمـز عبـور و بیومتریـک را ذخیـره نمـی‌کنـد، در مرحلـه تعویض رمز عبور و بیومتریک کاربر مـی‌توانـد بـدون مراجعـه بـه سرور، تغییر را به‌طور امنی اعمال نماید.

۵-۳- مقایسه پروتکل پیشنهادی

در ایـن بخـش بـه مقایسـه پروتکـل‌هـای پیشـنهادی بـا سـایر پروتکل‌های ارائه‌شـده مـی‌پـردازیم. مقایسـه کلـی پروتکـل‌هـای پیشنهادی در جدول (۲) آورده شده اسـت. طـرح پیشـنهادی از تلفن همراه و زیرساخت‌های قابل‌اعتماد بهره می‌گیرد. درحالی‌که در طرح‌هایی که پروتکل‌های بازیابی و بارگذاری اطلاعات سلامت و ارتباط پزشک و بیمار را مطرح می‌کنند به این مسئله توجـه‌ای نشده است. سربار محاسباتی طرح پیشنهادی نسبت به طرح‌هـای قبلی به دلیل استفاده از رمزنگاری خم بیضوی کاهش یافته است.

ذخیره‌سازی پرونده سلامت الکترونیک در طرح‌های قبلی بـر روی MCS بوده و در برخی از طرح‌هـا بـا توجـه بـه فضـای کـم حافظه ذخیره‌سازی کارت هوشمند چند نسخه آخر بیمار بر روی کـارت ذخیـره شـده اسـت. امـا در طـرح پیشـنهادی عـلاوه بـر ذخیره‌سازی بر روی MCS بر اساس حافظه ذخیـره‌سـازی تلفـن همراه، بخش‌هایی از پرونده بر روی تلفن همراه ذخیره مـی‌شـود. همان‌طور که در بخش ۴-۴ آورده شد، در ایـن طـرح سـازوکاری جهت رمزنگاری پرونده‌ها ارائه کـردیم تـا پرونـده سـلامت را بـه بخش‌های مختلف تقسیم نموده و سربار رمزنگاری مجدد پرونـده را کاهش دهیم.

1- Mutual Authentication
2- Untraceability
3- Forward secrecy
4- Session key agreement
5- Efficient password and biometric change

جدول (۲): مقایسه پروتکل‌های پیشنهادی با پروتکل‌های موجود

ویژگی‌ها		[۱۴]	[۱۵]	[۱۶]	پیشنهادی
نوع کلید		نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن	نامتقارن
روش رمزنگاری		RSA	RSA	RSA	ECC
فاز احراز اصالت مجزا		برای پزشک	✓	×	✓
فاکتورهای احراز اصالت	کارت	✓	✓	✓	✓
	رمز عبور	×	×	✓	✓
	بیومتریک	×	×	✓	✓
واسط ارتباط با MCS		Internet	تلفن/SMS	کارت	تلفن
محل ذخیره پرونده		MCS	MCS	کارت/MCS	تلفن/MCS
دسترسی هم‌زمان به پرونده		✓	✓	×	✓
راهکار جهت وضعیت اورژانس		✓	×	✓	✓
مقاومت در برابر حمله تکرار		×	✓	✓	✓
مقاومت در برابر حمله مردمیانی		✓	✓	✓	✓
عدم نیاز به رمزنگاری مجدد کل پرونده		×	×	×	✓
تغییر کارآمد رمز عبور		×	×	×	✓

در طرح پیشنهادی اکثر ارائه‌دهندگان خدمات درمانی مدنظر بوده و صرفاً به ارتباط پزشک و بیمار پرداخته نشده است. در مرحله اورژانس با توجه به احراز اصالت پزشک بر اساس رمز عبور و بیومتریک و همچنین ارسال شناسه پزشک توسط سیم‌کارت احتمال تخلف کاهش‌یافته و تخلف قابل‌پیگیری است.

در این طرح به ارائه مرحله احراز اصالت مجزا پرداخته‌ایم. امنیت در سایر مراحل به احراز اصالت و توافق کلید موفق وابسته است. به همین منظور در ادامه به بررسی پروتکل احراز اصالت پیشنهادی می‌پردازیم. همان‌طور که در جدول‌های (۴-۳) نمایش داده شده است و در بخش قبل تحلیل شد، پروتکل پیشنهادی تمامی این ویژگی‌ها را دارا می‌باشد. از این منظر با پروتکل [۱۷] برابر است. درحالی‌که پروتکل امین نسبت به حمله stolen verifier مقاوم نمی‌باشد.

جدول (۳): مقایسه مقاومت در برابر حملات پروتکل احراز اصالت پیشنهادی

مقاومت در برابر حملات	[۱۸]	[۱۷]	پیشنهادی
حدس رمز عبور	✓	✓	✓
تکرار	✓	✓	✓
داخلی ممتاز	✓	✓	✓
انکار سرویس	✓	✓	✓
جعل هویت	✓	✓	✓
Stolen verifier	×	✓	✓

جدول (۴): مقایسه ویژگی‌های امنیتی و حریم خصوصی پروتکل احراز اصالت پیشنهادی

ویژگی‌های امنیتی و حریم خصوصی	[۱۸]	[۱۷]	پیشنهادی
احراز اصالت دوطرفه	✓	✓	✓
گمنامی	✓	✓	✓
عدم ردیابی	✓	✓	✓
امنیت پیشرو	✓	✓	✓
توافق عادلانه کلید نشست	✓	✓	✓
تغییر کارآمد رمز عبور و بیومتریک	×	✓	✓
احراز اصالت مبتنی بر بیومتریک پزشک	×	×	✓

در جدول (۵)، سربار به تفکیک هزینه محاسباتی سمت کاربر و سرور آورده شده است. این تفکیک به دلیل محدودیت محاسباتی بیشتر در سمت کاربر که از دستگاه‌هایی با توان محاسباتی محدودتر نسبت به سرور استفاده می‌کند، انجام شده است. بر اساس محاسبات، سربار محاسباتی کاربر در پروتکل پیشنهادی بهبود جزئی نسبت به پروتکل [۱۷] و بهبود قابل توجه‌ای نسبت به پروتکل [۱۸] دارد. همچنین هزینه ارتباطی پروتکل‌ها نیز محاسبه شده‌اند. بر اساس نتایج، سربار ارتباطی پروتکل پیشنهادی نسبت به هر دو پروتکل دیگر کاهش مناسبی داشته است.

جدول (۵): ارزیابی سربار محاسباتی و ارتباطی

پروتکل	هزینه محاسباتی		هزینه ارتباطی
	سرور	کاربر	
[۱۸]	$3T_{mec}+ 6T_{ha}+ 1T_{eds}$	$8T_{mec}+ 11T_{ha}+ 4T_{eds}$	2048 bits
	6.6964ms	17.8517ms	
[۱۷]	$1T_{mec}+ 4T_{ha}+ 1T_{eds}$	$6T_{mec}+ 9T_{ha}+ 5T_{eds}$	1664 bits
	2.2398ms	13.3997ms	
پیشنهادی	$2T_{mec}+ 4T_{ha}+ 2T_{eds}$	$6T_{mec}+ 6T_{ha}+ 2T_{eds}$	1536 bits
	4.4704ms	13.379ms	

محاسبات انجام‌شده در جدول (۵) بر اساس [۱۷] می‌باشد. بر این اساس، زمان محاسباتی برای هریک از عملیات رمزنگاری را به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم: $T_{ha} \approx 0.0023ms$, $T_{eds} \approx 0.0046ms$, $T_{mec} \approx 2.226ms$.

که در آن، T_{ha} زمان محاسباتی تابع چکیده ساز، T_{eds} زمان لازم برای عملیات رمزگذاری و رمزنگاری متقارن و T_{mec} زمان محاسبه ضرب نقطه‌ای ECC می‌باشد.

همچنین برای محاسبه هزینه ارتباطی طول ضرب نقطه‌ای ECC و خروجی تابع چکیده‌ساز را ۱۶۰ بیت و طول تمامی شناسه‌ها و اعداد تصادفی را ۳۲ بیت در نظر می‌گیریم. طول توابع رمزگذاری نیز مجموعی از طول ورودی تابع می‌باشد.

با توجه به جداول، پروتکل پیشنهادی از امنیت قابل قبولی برخوردار است. همچنین سربار ارتباطی و سربار محاسباتی آن در سمت کاربر کاهش یافته است. با این‌وجود سربار محاسباتی در سمت سرور نسبت به [۱۷] افزایش داشته است. این مسئله به دلیل اهمیت احراز اصالت ارائه‌دهندگان خدمات درمانی نزد سرور می‌باشد، این در حالی است که در پروتکل چادهری به این احراز اصالت توجه نشده و صرفاً سرور پزشکی به‌صورت ضمنی نزد بیمار احراز اصالت می‌شود. همچنین در پروتکل پیشنهادی ارائه‌دهندگان خدمات درمانی نیز همچون بیمار بر اساس سه عامل، احراز اصالت می‌شوند که در پروتکل [۱۷] با فرض سرور پزشکی به‌جای ارائه‌دهندگان خدمات درمانی این مسئله لحاظ نشده است.

نتیجه تحلیل امنیت پروتکل احراز اصالت پیشنهادی بر اساس ابزار آویسپا به روش OFMC و CL-AtSe در شکل (۱۱) نشان داده شده است. در این ابزار به بررسی احراز اصالت موجودیت‌ها و محرمانگی هر یک از اطلاعات حساس همچون رمز عبور، بیومتریک، کلید خصوصی سرور و ... پرداخته شده است. احراز اصالت پزشک و بیمار با واسطه MCS انجام می‌شود. بر اساس خروجی ابزار، پروتکل احراز اصالت پیشنهادی امن می‌باشد.

```
% OFMC
% Version of 2006/02/13
SUMMARY
  SAFE
DETAILS
  BOUNDED_NUMBER_OF_SESSIONS
PROTOCOL
  /home/span/span/testsuite/results/Authentication.if
GOAL
  as_specified
BACKEND
  OFMC
COMMENTS
STATISTICS
  parseTime: 0.00s
  searchTime: 0.22s
  visitedNodes: 64 nodes
  depth: 6 plies
```

```
SUMMARY
  SAFE

DETAILS
  BOUNDED_NUMBER_OF_SESSIONS
  TYPED_MODEL

PROTOCOL
  /home/span/span/testsuite/results/Authentication.if

GOAL
  As Specified

BACKEND
  CL-AtSe

STATISTICS

  Analysed   : 6 states
  Reachable  : 0 states
  Translation: 21.50 seconds
  Computation: 0.00 seconds
```

شکل (۱۱): خروجی ارزیابی پروتکل احراز اصالت با استفاده از ابزار آویسپا

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله راه‌کاری جهت بهبود امنیت و حریم خصوصی در سلامت الکترونیک بر روی گوشی‌های هوشمند ارائه شده است. در طرح پیشنهادی از سیم‌کارت به‌عنوان یک کارت هوشمند

جهت ذخیره‌سازی کلیدها، اجرای عملیات رمزنگاری و احراز اصالت کاربر استفاده شده است. روند ثبت‌نام و دریافت سیم‌کارت سلامت توصیف شد. همچنین امکان استفاده از المان امن و محیط اجرایی قابل اعتماد نیز در آن در نظر گرفته شده است.

بیماران در سامانه سلامت پیشنهادی، با یک نام مستعار ثبت‌نام می‌کنند. سپس در مرحله احراز اصالت، بیمار و پزشک به کمک سرور مرکزی پزشکی برای یکدیگر احراز اصالت شده و توافق کلید بین آن‌ها انجام می‌شود. در این مرحله گمنامی و عدم ردیابی بیمار جهت حفظ حریم خصوصی لحاظ شده است. همچنین پروتکل‌های بازیابی و بارگذاری اطلاعات به همراه راهکاری جهت ارائه اطلاعات حیاتی در زمان اورژانس پیشنهاد شده‌اند. راه‌کار اورژانس، در صورت از بین رفتن گوشی با سیم‌کارت قابل اجراست. در پروتکل‌های ارائه‌شده به‌جای استفاده از RSA، از رمزنگاری خم بیضوی استفاده شده است، چرا که این رمزنگاری جهت استفاده در تلفن همراه مناسب‌تر می‌باشد. برای ارزیابی پروتکل‌های پیشنهادی، ابتدا حملات مختلف و ویژگی‌های امنیتی و حریم خصوصی بیان گردید و پروتکل پیشنهادی بر اساس آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفت و مقاومت پروتکل‌های پیشنهادی به‌صورت نظری و با کمک نرم‌افزار Avispa اثبات شد. درنهایت، به محاسبه سربار محاسباتی و ارتباطی پروتکل پرداخته شد که نسبت به پژوهش‌های پیشین کاهش داشته است.

۷- منابع

[1] L. DeNardis, “Standards and eHealth,” ITU-T Technology watch report, 2011.

[2] E. H. Shortliffe and J. J. Cimino, “Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine,” Springer-Verlag London, 2014.

[3] M. Kay, J. Santos, and M. Takane, “mHealth: New horizons for health through mobile technologies,” 2011.

[4] F. Zubaydi, A. Saleh, F. Aloul, and A. Sagahyroon, “Security of mobile health (mHealth) systems,” in Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2015 IEEE 15th International Conference on, pp. 1-5, 2015.

[5] S. A. Basheer, “QUESTION 14-2/2: Mobile eHealth solutions for Developing Countries,” International Telecommunication Union, 2010.

[6] 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.

[7] 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.

[8] S. Taremi, M. A. Doostari, S. Hajimohseni, M. Maghsoudloo, and M. Mayabi Joghal, “An Innovative Solution for Preventing Relay Attack on Mobile Phones Using TEE,” Journal of Electronical & Cyber Defence, vol. 6, 2017. (in Persion)

[9] M. U. Aslam, A. Derhab, K. Saleem, H. Abbas, M. Orgun, W. Iqbal, et al., “A Survey of Authentication Schemes in Telecare Medicine Information Systems,” Journal of medical systems, vol. 41, p. 14, 2017.

[10] I. Kounelis, H. Zhao, and S. Muftic, “Secure Middleware for Mobile Phones and UICC Applications,” in International Conference on Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications, pp. 143-152, 2011.

[11] D. Hankerson, A. J. Menezes, and S. Vanstone,Guide to elliptic curve cryptography: Springer Science & Business Media, 2006.

[12] D. Sethia, D. Gupta, T. Mittal, U. Arora, and H. Saran, “NFC based secure mobile healthcare system,” in Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2014 Sixth International Conference on, pp. 1-6, 2014.

[13] A. Lotfi and M. A. Doostari, “A New M-Payment protocol Using SignCryption & Elliptic Curve Cryptography,” Journal of Electronical & Cyber Defence, vol. 1, 2015. (in Persion)

[14] S. Ray and G. Biswas, “A Certificate Authority (CA)-based cryptographic solution for HIPAA privacy/security regulations,” Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, vol. 26, pp. 170-180, 2014.

[15] S. Ray and G. Biswas, “Design of an efficient mobile health system for achieving HIPAA privacy-security regulations,” International Journal of Wireless and Mobile Computing, vol. 7, pp. 378-387, 2014.

[16] M. A. Doostari, M. Mayabi Joghal, and M. Momeny Tazangi, “Design of Protocol Providing Privacy and Anonymity in E-Health using Public Key Infrastructure,” presented at the 4th International Conference on Applied Research in Computer Engineering & Signal Processing, Tehran, 2016. (in Persion)

[17] S. A. Chaudhry, M. T. Khan, M. K. Khan, and T. Shon, “A multiserver biometric authentication scheme for TMIS using elliptic curve cryptography,” Journal of medical systems, vol. 40, p. 230, 2016.

[18] R. Amin, S. H. Islam, G. Biswas, M. K. Khan, and N. Kumar, “An efficient and practical smart card based anonymity preserving user authentication scheme for TMIS using elliptic curve cryptography,” Journal of medical systems, vol. 39, p. 180, 2015.

[19] Apple, “iOS security, ios 8.3 or later,” Apple, 2015.

Journal of Electronical & Cyber Defence
Vol. 7, No. 1, 2019, Serial No. 25

A Scheme for Improvement of Security and Privacy in Mobile Health Systems by Using SIM Card

M. Mayabi Joghal, M. A. Doostari*

*Shahed University

(Received: 12/06/2017, Accepted: 11/06/2018)

ABSTRACT

Nowadays, mobile devices are going to be widely used in the field of e-health services. Therefore, the security and privacy of users in e-health are considered as major challenges. Due to accessibility nature of mobile, multiple communication capabilities and malware expansion, security in this area is facing major challenges. This article provides a solution to improve the security and privacy of mobile health on smartphones. Accordingly, a mechanism is proposed for obtaining a health SIM card by the applicants. Here, some communication protocols necessary in different treatment settings are provided to enhance the security of transactions between healthcare providers and patients who use mobile phones. Considering the importance of reducing the computational overhead, the elliptic curve cryptography is applied in the proposed protocols. In addition to security, attention has also been paid to anonymity and privacy of patients. Furthermore, a solution is provided for secure storage of information. Finally, the proposed plan is compared with other studies, and the computational overhead is evaluated and the security of the protocols is proved by Avispa tools.

Keywords: Mobile Health, Security, Privacy, SIM card, Authentication .

* Corresponding Author Email: doostari@shahed.ac.ir