روشی جدید برای احراز هویت دوطرفه در اینترنت اشیا

پیام محمودی نصر*[1] و حسین کیمیا[2]

[1]دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

[2]مؤسسه آموزش عالی صنعتی مازندران، مازندران، ایران

چکیده

امروزه شاهد گسترش خدمات مختلف اینترنت اشیا در حوزه‌های مختلف از قبیل نظارت و سلامت هستیم. این خدمات از طریق دستگاه‌های هوشمند در هر مکان و زمانی می‌تواند در دسترس کاربران قرار گیرند. این در حالی است که این دسترسی‌ها می‌تواند مسأله امنیت و حریم خصوصی را به امری حساس و حیاتی تبدیل کند. گزارش‌های دریافتی نشان می‌دهد که تعداد دستگاه‌های اینترنت اشیا تا سال ۲۰۳۰ به عدد ۲۵/۴۴ بیلیون خواهد رسید و این در حالی است که ۲۶٪ حملات اینترنت اشیا در سال ۲۰۱۹ مربوط به عدم احراز هویت بوده است. به همین دلیل احراز هویت کاربران در اینترنت اشیا به یکی از حساس‌ترین مفاهیم امنیتی تبدیل شده است. در این مقاله یک پروتکل احراز هویت دوطرفه دستگاه‌به‌دستگاه برای شبکه‌های خانگی هوشمند، ارائه شده است. این پروتکل بر اساس رمزنگاری نامتقارن برای احراز هویت دستگاه‌های موجود در شبکه طراحی شده و در آن تمامی دستگاه‌ها یک کلید جلسه خصوصی مشترک دارند. برای حصول اطمینان از امنیت ارتباط‌ها در هر جلسه، کلیدهای جلسه پس از هر جلسه ارتباطی، تغییر می‌کنند. برنامه‌نویسی طرح پیشنهادی به‌وسیله HLPSL، شبیه‌سازی و ارزیابی بهینگی با ابزار SPAN و AVISPA انجام شده است. تحلیل‌های امنیتی نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی در مقابل حملات امنیتی، پایداری خود را حفظ می‌کند.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، پروتکل احراز هویت، رمزنگاری، امنیت، AVISPA.

A Mutual Authentication Method for Internet of Things

Payam Mahmoudi-Nasr*[1] & Hossein Kimia[2]

[1]Engineering and Technology Dep., University of Mazandaran, Mazandaran, Iran

[2]Mazandaran Institute of Technology, Mazandaran, Iran

Abstract

Today, we are witnessing the expansion of various Internet of Things (IoT) applications and services such as monitoring and health. These services are delivered to users via smart devices anywhere and anytime. Forecasts show that the IoT, which is controlled online in the user environment, will reach 25 billion devices worldwide by 2020.

Data security is one of the main concerns in the IoT. The IoT is supposed to deal with a population of about billions of objects, so the number of malicious attacks can be very high and alarming given the global connection (anyone access) and the wide availability (access to any place at any time). However, these accesses can make security and privacy critical. Reports show that 26% of IoT attacks in 2019 were related to non-authentication, which is why IoT authentication has become one of the most sensitive security concepts. IoT devices are usually left unattended and this makes it easy for an attacker to target such equipment. For example, security breaches and unwanted changes in patient's health parameters in smart health care systems can cause wrong treatments or even lead to his death. The fact that each device in the IoT knows who it is communicating with and at what level of access is one of the important aspects of security, especially in cases where various devices with different capabilities have to perform common tasks and cooperate with each other. IoT authentication is a trust model to protect control access and data when information travels between devices.

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱/۲۷ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۷ • نوع مطالعه: پژوهشی

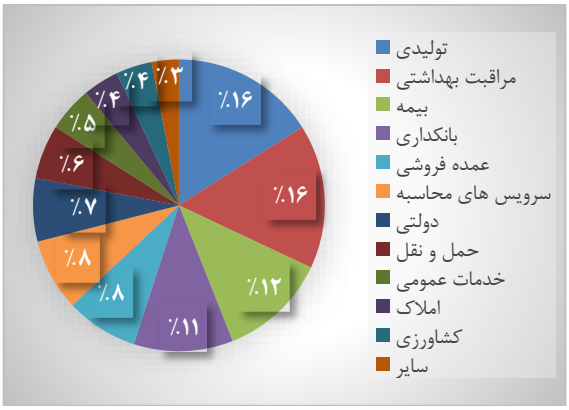
So far, different methods have been proposed for authentication in the IoT network. These methods are usually based on the public key, private key, random key distribution, and hash function. A point that should be taken into account in IoT authentication is that IoT networks and devices have limited bandwidth, low memory, low processing power, and energy limitations. Therefore, the proposed method should pay special attention to such limitations. In addition, IoT authentication needs to ensure enhanced security features such as confidentiality, data integrity, reliability, maintainability, scalability, and privacy to their consumers.
This paper proposes a two-way or mutual authentication protocol in which both devices authenticate each other without human intervention in a smart home network. The proposed protocol is based on asymmetric encryption for authentication of devices, which have a shared private session key, along with hashing operations in the network. Also, to ensure the security of communications at each session, each device has a one-time private session key. The session keys are changed regularly to ensure the security of sessions between devices. The proposed protocol is programmed by HLPSL and simulated and verified by the SPAN and AVISPA tools. The security analysis results show the proposed protocol is extremely practical, and secure against potential attacks.

Keywords: Internet of Things, Authentication protocol, Cryptography, Security,AVISPA.

۱- مقدمه

اینترنت اشیا (IoT) در همین اواخر به شکل قابل‌توجهی شکوفا و باعث به‌وجودآمدن شرکت‌های نوپای فراوانی شده و بسیاری از شرکت‌ها و سازمان‌های بزرگ، زمان و منابع خود را در این بخش سرمایه‌گذاری کرده‌اند. زمینه‌های کاربرد اینترنت اشیا از خانه تا بیمارستان، اتوماسیون صنعتی، کشاورزی تا شبکه‌های توزیع برق بسیار متنوع و متفاوت است. وسایل مختلفی مانند دست‌بندهای تناسب‌اندام، ضربان سنج‌ها، پمپ‌های انسولین، ساعت‌ها، ترموستات‌های خانگی و تلویزیون‌های هوشمند، ارتباط ماشین‌ها در محیط‌های صنعتی، تجهیزات جلوگیری/شناسایی برخورد اتومبیل‌ها، وسایل نقلیه بدون سرنشین و وسایل شبکه هوشمند برق همگی مثال‌هایی از کاربرد اینترنت اشیا است که امروزه تقاضای بیشتری دارند. اینترنت اشیا میزان اتصال تجهیزات را افزایش داده و باعث بهبود اقتصاد، کیفیت زندگی و حتی سلامتی می‌شود [1]. شکل (۱) زمینه‌های مختلف کاربردی اینترنت اشیاء را نمایش می دهد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که اینترنت اشیا و لوازمی که به‌صورت برخط در محیط اطراف کاربران کنترل می‌شوند تا سال ۲۰۲۰ به ۲۵ میلیارد دستگاه در سرتاسر دنیا خواهد رسید [2].

امنیت داده‌ها یکی از دغدغه‌های اصلی در اینترنت اشیا است. اینترنت اشیا قرار است با جمعیتی حدود میلیاردها شیء سروکار داشته باشد؛ بنابراین تعداد حمله‌های مخرب باتوجه‌به اتصال جهانی (دسترسی هر کسی) و دسترس‌پذیری گسترده (دسترسی به هر مکان در هر زمان) می‌تواند بسیار زیاد و نگران‌کننده باشد [3]. به‌عنوان مثال، نقض‌های امنیتی و تغییرات ناخواسته در سامانه‌های هوشمند مراقبت از سلامتی و داده‌های معیوب /ناقص/ نامرتب و بی‌نظم از پارامترهای سلامتی یک بیمار می‌تواند باعث درمان‌های ناخواسته/اشتباه و یا حتی منجر به مرگ وی شود. این موضوع که هر دستگاهی در اینترنت اشیاء بداند در حال ارتباط با چه کسی/دستگاهی و در چه سطحی از دسترسی است، از جنبه‌های مهم امنیتی است، به‌خصوص در مواردی که وسایل متنوعی با قابلیت‌ها مختلف مجبور به انجام وظایف مشترک و همکاری با یکدیگر هستند؛ لذا می توان گفت احراز هویت از نخستین گام‌های امنیتی در اینترنت اشیا است.



(شکل-۱): موارد استفاده اینترنت اشیا.
(Figure-1): IoT categories.

سامانه‌های هوشمند مراقبت از سلامتی و داده‌های معیوب /ناقص/ نامرتب و بی‌نظم از پارامترهای سلامتی یک بیمار می‌تواند باعث درمان‌های ناخواسته/اشتباه و یا حتی منجر به مرگ وی شود. این موضوع که هر دستگاهی در اینترنت اشیاء بداند در حال ارتباط با چه کسی/دستگاهی و در چه سطحی از دسترسی است، از جنبه‌های مهم امنیتی است، به‌خصوص در مواردی که وسایل متنوعی با قابلیت‌ها مختلف مجبور به انجام وظایف مشترک و همکاری با یکدیگر هستند؛ لذا می توان گفت احراز هویت از نخستین گام‌های امنیتی در اینترنت اشیا است.

احراز هویت، فرایند تأیید هویت یک وسیله و حصول اطمینان از منبع ارتباط است. با برقراری احراز هویت میان منابع، میزان فاکتور اطمینان در ارتباطات IoT افزایش‌یافته و از امنیت اطلاعات اطمینان حاصل می‌شود. مرسوم‌ترین روش احراز هویت بر اساس گواهی‌های انسانی مانند بیومتریک، ترکیب نام کاربری و رمز عبور، اطلاعات شخصی و یا نقش کاری در یک سازمان است. اینترنت اشیا یک شبکهٔ ناهم‌گون است که در آن انواع ارتباط‌ها میان دو دستگاه، دستگاه به انسان و یا انسان به دستگاه برقرار است. چالش دیگر موضوع سربار احراز هویت در ترافیک شبکه و صرف زمان برای برقراری آن است. دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا به‌طورعمومی توان پردازشی و حافظه محدودی دارند؛ بنابراین روش احراز هویتی که پیاده‌سازی می‌شود نیاز است که ظرفیت پایین پردازش و حافظه را به‌عنوان اولویت اصلی قرار دهد [4].

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در خصوص اینترنت اشیا انجام‌گرفته که در میان آنها جنبهٔ امنیتی اینترنت اشیا بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. Crossman و همکاران [5] مدلی جدید برای تأیید کاربر یا دستگاه مبتنی بر کاربر ارائه کرده‌اند. در این مدل که به آن تأیید هوشمند دومرحله‌ای اطلاق شده، پس از این‌که کاربر رمز خود را وارد کرد، به جای تولید کد تأیید، یک رمز امنیتی داده می‌شود. این رمز امنیتی مانند یک کارت هوشمند به‌عنوان فاکتور دوم احراز هویت برای دریافت کلید رمزنگاری پویا استفاده می‌شود. Ren و همکاران [6] یک سیستم شناسایی صدا و احراز هویت اینترنتی براساس موبایل ارائه کرده‌اند که شامل دو زیر سیستم است. در این سیستم از تجهیزات Raspberry Pi به‌عنوان مرکز کنترل زیرسیستم‌ها استفاده می‌شود. این مرکز کنترل به‌وسیلهٔ یک شبکه خصوصی مجازی (VPN) به تلفن همراه متصل شده تا شبکه ارتباطی امن را فراهم کند. در این روش همچنین یک روش آستانه پویا برای محاسبه امتیاز آستانه صداسنجی کاربر براساس ترکیب گاوسی ارائه شده است. پس از احراز هویت اولیه، کاربران متنی که روی صفحه نمایش آمده را می‌خوانند. این عمل باعث جلوگیری ورود مهاجمان به‌عنوان یک شخص دارای اعتبار می‌شود. می‌دانیم که احراز هویت به‌کمک صداسنجی دارای محاسبات رایانه‌ای بسیار است و لذا در این روش کارایی فدای امنیت خواهد شد. Ukil و همکاران [7] یک شمای تأیید امنیتی سبک‌وزن با استفاده از مدیریت حفاظت کلیدی ارائه کردند تا بتوانند کانالی امن برای سیستم‌های ردیابی وسایل نقلیه به‌وجود بیاورند. این پروتکل سبک‌وزن، به‌منظور افزایش کارایی، تبادل اطلاعات سنگین میان رایانه‌ها را کاهش داده و بر پایه اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه است. Barreto و همکاران [8]، نشان می‌دهند که چگونه تجهیزات می‌توانند فرایند احراز هویت را در یک سناریوی سرویس ابری IoT انجام دهند. در این پژوهش، فقط دستگاه‌های ایمن IoT برای پیوستن به ارائه‌دهنده سرویس ابری IoT مورد تأیید هستند. پس از فرایند پیوستن به این سرویس، انواع احراز هویت بسته به سازنده، کاربر عادی و کاربر پیشرفته در دسترس است. سازندگان می‌توانند به‌صورت دوره‌ای برای انجام کارهایی از جمله به‌روزرسانی، انجام تنظیمات، رفع مشکل و ... به دستگاه‌های IoT متصل شوند. کاربران عادی می‌توانند از طریق پلتفرم سرویس ابری IoT به دستگاه‌های IoT متصل شوند، درحالی‌که کاربران پیشرفته می‌توانند دسترسی مستقیم به دستگاه‌ها داشته باشند. با این وجود، برای انجام چنین احراز هویت‌هایی، خود کاربران می‌بایست در سرویس ابری عملیات احراز هویت را انجام دهند. جانبابایی و همکاران [9] یک پروتکل احرازهویت سبک بر پایه گمنامی ارائه کرده‌اند. در این پروتکل برخی نیازمندی‌های امنیتی مورد توجه قرار گرفته و نشان داده شده که در مقابل حملات جعل هویت، تکرار و مردمیانی مقاوم است. در این پروتکل سعی شده تا با استفاده از توابع درهم‌ساز تا حد مقدور پروتکل سبک، تا در حس‌گرها قابل استفاده باشد. مایسا و همکاران [10] یک پروتکل احراز هویت با استفاده از توکن ارائه کرده‌اند. در این مقاله از توابع درهم‌ساز و تابه XoR برای آسانی عملیات پردازشی و سرعت بیشتر استفاده شده است. محدودیت این روش آن است که تنها برای دسترسی موقت به داده‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. کیسانگ

و همکاران [11] یک پروتکل احراز هویت سبک مبتنی بر کلید مشترک را بدون نیاز به ذخیره‌سازی در پایگاه داده ارائه کرده‌اند. روش پیشنهادی که در کاربردهای پزشکی بیشتر مورد استفاده است با استفاده از ابزار Avispa شبیه‌سازی و ارزیابی شده است.

(جدول-۱): مقایسه تکنیک‌ها بر اساس مدل ارزیابی شده

(Table-1): Comparison of techniques based on evaluated model

	[21]	[20]	[5]	[20]	[7]	[17]	[6]	[19]	[3]	[18]	پروتکل پیشنهادی
پیاده‌سازی			*			*	*				
شبیه‌سازی	*				*	*			*	*	*
ارزیابی نظری	*	*		*	*	*	*	*	*		*
بررسی عملکرد	*	*			*	*	*			*	

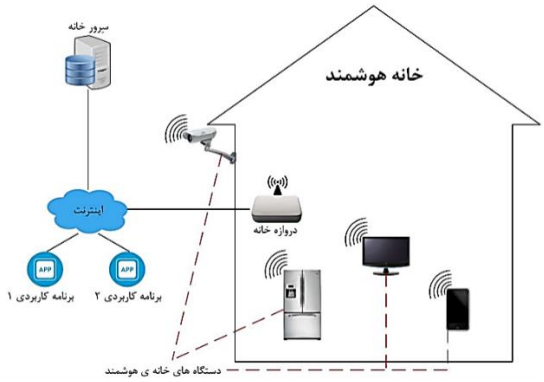
هدف اصلی این مقاله، ارائه یک پروتکل احراز هویت متقابل/دوطرفه دستگاه‌به‌دستگاه بدون دخالت انسان است. در این راستا به‌منظور انجام اعتبارسنجی دوطرفه، از رمزنگاری نامتقارن به همراه عملیات درهم‌سازی برای احراز هویت دستگاه‌های موجود در شبکه استفاده شده است. همچنین به‌منظور اطمینان از امنیت ارتباط‌ها در هر نشست، تمامی دستگاه‌ها دارای یک کلید جلسه خصوصی، مشترک، و یک‌بارمصرف هستند. برای شبیه‌سازی و نمایش کارایی پروتکل پیشنهادی از نرم‌افزار شبیه‌ساز AVISPA به‌منظور پیاده‌سازی اجزای مختلف پروتکل استفاده شده است. تحلیل‌های امنیتی انجام‌شده نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی در مقابل بسیاری از حملات امنیت خود را حفظ می‌کند. جدول (۱) مقایسه ارزیابی پروتکل پیشنهادی نسبت به کارهای پیشین را نشان می‌دهد.

۲- مفاهیم پایه

۲-۱- معماری خانه هوشمند

یک خانه هوشمند به خانه‌ای اطلاق می‌شود که دارای یک سامانه خودکار برای نظارت بر تمامی تجهیزاتی است که بدون دخالت انسان با یکدیگر در ارتباط هستند [12] مانند درجه حرارت، درب‌ها، مصرف انرژی، لوازم خانگی، و .... از آنجا که تمامی تجهیزات در یک خانه هوشمند با یکدیگر در ارتباطند (مانند لامپ‌ها، قفل‌های هوشمند، یخچال و فریزر، تلویزیون، لپ‌تاپ، ترموستات و غیره)، ایمنی و حفظ حریم خصوصی هر یک از آنها اهمیت زیادی دارد. چرا که اگر تنها یک دستگاه در معرض خطر باشد، مهاجم می‌تواند از این دستگاه به‌صورت یک نقطه مرکزی استفاده کرده و به شبکه‌ای که دستگاه عضوی از آن است وارد شده و در نهایت به منابع موجود در آن دسترسی پیدا کند. این دارایی‌ها یا منابع می‌توانند اطلاعات شخصی، اطلاعات هویتی، اطلاعات بانکی، اطلاعات کارت اعتباری یا اعتبارات امنیتی باشند که دسترسی به تجهیزات دیگری را فراهم کنند؛ این در حالی است که در سال ۲۰۱۴، شرکت هیولت پاکارد در مطالعه‌ای اعلام کرد که هفتاد درصد از متداول‌ترین دستگاه‌های اینترنت اشیا در کشور آمریکا به‌دلیل گذرواژه‌های ضعیف و یا اتصالات بدون رمزگذاری دارای آسیب‌پذیری‌های جدی هستند [13].

شکل (۲) معماری یک خانه هوشمند را نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در این مدل از سرور رایانش ابری بهره برده شده است. البته رایانش ابری هنگامی یک راه‌حل قابل‌قبول و سودمند است که بتوانیم از دسترسی کامل و بدون وقفه به سرور ابر اطمینان حاصل کنیم. باتوجه‌به محدودیت‌های موجود و به‌منظور پرکردن شکاف محدودیتی (پهنای باند، محدودیت‌های زمانی و مسائل مربوط به مقیاس‌پذیری)، امروزه رایانش مرزی به‌عنوان راه‌حل موفقیت‌آمیز معرفی شده است [14]. در این مدل داده‌ها به جای ابر یا مرکز داده دوردست، در دستگاه‌های محاسبات محلی جمع‌آوری و پردازش می‌شوند و لذا، داده‌ها به‌طور مکرر به سرور مرکزی برای پردازش ارسال نخواهند شد، بلکه هر دستگاه در شبکه محلی پردازش را انجام داده و سپس داده‌ها را به مرکز ارسال می‌کند. اگر چه این تجزیه و تحلیل بدون درنگ داده‌ها، امنیت به‌نسبه بهتری را تضمین می‌کند، اما نیاز به این دارد که تمام دستگاه‌های مرزی از نظر محاسباتی قدرتمند و دارای ظرفیت حافظه بیشتری باشند. در این مدل دروازه، که وظیفه تبادل اطلاعات و ارتباطات بین دستگاه‌ها را به عهده دارد، به‌عنوان عنصر اصلی شبکه در IoT در نظر گرفته می شود. این عنصر به‌عنوان یک رابط عمل کرده و می‌تواند ترافیک ورودی و خروجی از شبکه‌های با محدودیت و بدون محدودیت را کنترل کند [15].



(شکل-۲): سیستم شبکه خانگی هوشمند در IoT
(Figure-2): Smart home architecture in IoT

۲-۲- طبقه‌بندی تکنیک‌های احراز هویت

به‌طورکلی تکنیک‌های احراز هویت را می‌توان به دو روش طبقه‌بندی کرد. در روش نخست، طبقه‌بندی باتوجه به چگونگی اعمال فرایند احراز هویت صورت می‌گیرد. جدول (۲) تقسیم‌بندی بالا را نمایش می‌دهد.

(جدول-۲): تکنیک‌های احراز هویت
(Table-2): Authentication tecniques.

	سلسله‌مراتبی	یکنواخت
متمرکز	[3]، [8]، [18]	[14]، [6]، [19]، پروتکل پیشنهادی
توزیع شده	[17]	[5]، [7]، [19]، [21]، [22]

متمرکز: کاربران / دستگاه‌ها برای فراهم‌کردن مدارک لازم به یک سرور مرکزی قابل‌اعتماد متصل می‌شوند.

توزیع‌شده: اجزا به‌صورت جداگانه به‌منظور دست‌یابی به هدفی مشترک، با همکاران خود ارتباط برقرار کرده و هماهنگی لازم را ایجاد می‌کنند.

سلسله‌مراتبی: از یک سامانه سلسله‌مراتبی احراز هویت استفاده می‌کند که در آن هر کاربر باتوجه به حق دسترسی خود می‌توانند به اطلاعات احراز هویت دسترسی داشته باشد.

یکنواخت: فرایند احراز هویت، بدون درنظرگرفتن سلسله‌مراتب اجرا می‌شود.

در روش دوم تکنیک‌های احراز هویت را باتوجه‌به مشخصات فرایند احراز هویت به شرح زیر طبقه‌بندی می‌کنند [3]:

۱. **احراز هویت دوطرفه:** بستگی به این دارد که احراز هویت متقابل صورت‌گرفته است یا احراز هویت یک‌طرفه.
۲. **نیازمندی به سخت‌افزار:** آیا سخت‌افزاری برای کامل کردن فرایند احراز هویت نیاز است یا خیر.
۳. **چندمدرکی:** نیازمند این است که مدارک متعددی در سطوح مختلف برای تأیید صحت هویت کاربر یا دستگاه، تأیید شود.
۴. **احراز هویت چندسطحی:** نیازمند سطوح مختلف احراز هویت با مدارک متفاوت در هر سطح است.
۵. **ثبت‌نام:** نیازمند یک مرحله ثبت‌نام به‌منظور ثبت اطلاعات کاربر، دستگاه یا سرور است.
۶. **مرحله برون‌خط:** مرحله برون‌خط یا پیش‌راه‌اندازی برای آماده‌سازی شبکه و یا به‌روزرسانی‌ها نیاز است.

جدول (۳) مقایسه روش استفاده شده در پژوهش‌های پیشین و روش پیشنهادی را نشان می‌دهد [16,17].

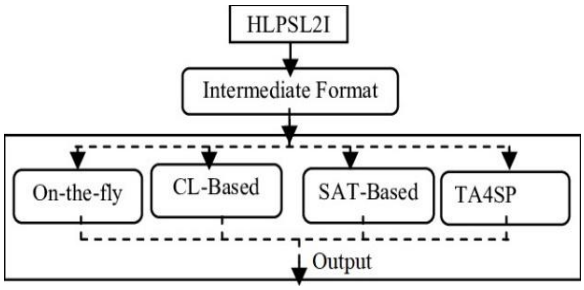
(جدول-۳): مقایسه تکنیک‌های احراز هویت
(Table-3): Comparision of authentication technique.

	[19]	[20]	[5]	[21]	[7]	[22]	[17]	[6]	[24]	[3]	[8]	[18]	پروتکل پیشنهادی
احراز هویت مقابل	*			*	*					*			*
سخت‌فزار اضافی			*		*	*				*	*		
چندمدرکی		*	*	*		*	*		*	*			*
چندسطحی			*						*			*	
ثبت‌نام				*			*	*			*		*
مرحله برون‌خط	*				*	*		*					

۲-۳- معماری AVISPA

معماری ابزار AVISPA در شکل (۳) نشان‌داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ابتدا پروتکل امنیتی با استفاده از زبان HLPSL پیاده‌سازی می‌شود. HLPSL یک زبان سطح بالا، مبتنی بر نقش برای مدل‌سازی پروتکل‌های ارتباطی و امنیتی است. ویژگی‌های HLPSL اجازه می‌دهد تا پروتکل بدون استفاده از تکنیک‌های خاص پیاده‌سازی شود، سپس پروتکل پیاده‌سازی‌شده به‌صورت خودکار توسط مترجم HLPSL2IF به IF ترجمه

می‌شود. این ترجمه‌ها، به‌عنوان ورودی برای پایانه‌های مختلف است که ابزار تحلیل AVISPA محسوب می‌شوند [23].



(شکل-۳): معماری ابزار AVISPA
(Figure-3): AVISPA architecture

ابزار AVISPA دارای چهار پایانه برای پردازش ریاضی است:

OFMG: این ابزار برای پروتکل‌هایی است که در آن خواص جبری توابع رمزنگاری مهم هستند. این ابزار نه‌تنها می‌تواند برای جعل محرمانه پروتکل‌ها، یعنی شناسایی سریع حملات، به کار گرفته شود بلکه برای تأیید نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر تأیید پروتکل برای تعداد محدودی از جلسات، بدون محدودکردن پیام‌هایی که دستگاه مزاحم می‌تواند تولید کند.

CL-AtSe: این ابزار یک سامانه مبتنی بر محدودیت است. به عبارتی بررسی‌های لازم را انجام می‌دهد تا مشخصات پروتکل امنیتی را به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها تبدیل کند. بدین ترتیب می‌تواند به‌طور مؤثر برای یافتن حملات به پروتکل‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

SATMC: این ابزار ترکیبی موفق از تکنیک‌های رمزگذاری است به‌عبارتی تلاش می‌کند تا یک فرمول پیشنهادی ارائه دهد که ناقض ویژگی‌های امنیتی است.

TA4SP: این ابزار یا به آسیب‌پذیری پروتکل اشاره می‌کند و یا میزان ثبات آن را به‌وسیلهٔ برآورد دقیق از قابلیت‌های دستگاه مهاجم پیش‌بینی می‌کند.

۴-۲- حملات امنیتی

مهم‌ترین حملات امنیتی به پروتکل های احراز هویت را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

حمله زمان‌سنجی: این حمله شیء مخربی را فعال کرده تا اطلاعات محرمانه در سامانه را با بررسی مدت زمانی که طول می‌کشد تا سامانه به پرس‌وجوهای مختلف پاسخ دهد، برملا کند و بر اساس آن شیوه پیاده‌سازی الگوریتم رمزنگاری را بفهمد.

(جدول-۴): فهرست نمادهای استفاده‌شده
(Table-4): List of symbols.

نشان گذاری	توضیحات
D_1	دستگاه ۱ اینترنت اشیا (فرضا تلویزیون)
D_2	دستگاه ۲ اینترنت اشیا (فرضا مایکروبو)
P_1	رمزعبور یکبار مصرف دستگاه D_1
G	دروازه
C	کنترل کننده
U_D	دستگاه شخصی کاربر
ID_1, ID_2	هویت دستگاه ۱ و ۲
K_{u1}, K_{u2}	کلید عمومی دستگاه ۱ و ۲
K'_{u1}, K'_{u2}	کلید خصوصی دستگاه ۱ و ۲
ID_g	هویت دروازه
K_{uG}, K_{uC}	کلید عمومی دروازه و کنترل‌کننده
IP_{v6}	هویت مجازی
T_c	برچسب زمان فعلی
N_1, N_2, N_3, N_4	Nonce ها – مجموعه بیت غیرقابل پیش‌بینی
H, H_1	Hash ها – تضمین عدم دستکاری پیام‌ها
$H(IP_{v6})$	درهم‌سازی IP_{v6} دستگاه اول
K_{12}	کلید مشترک میان دستگاه ۱ و ۲
M -> N	پیام ارسال شده از M به N
M^u	مقدار جدید M
En{M}	مقدار رمزنگاری شده M

حمله داخلی: این حمله زمانی رخ می‌دهد که یک عضو دارای صلاحیت، به سایر اعضای شبکه حمله می‌کند.

حمله جعل هویت: مهاجم از هویت و مدارک احراز هویت یک کاربر مورد اعتماد استفاده کرده تا بتواند به سایر موجودیت‌ها دسترسی پیدا کرده و پیام‌های مخربی را ارسال کند.

حمله بازپخش: مهاجم بسته‌ای ارسالی در شبکه را نزد خود ذخیره کرده تا پس از خروج کاربر اصلی از بازپخش آنها برای احراز هویت خود استفاده کند.

حمله تعویض / حدس رمز عبور: این حمله یکی از مخرب‌ترین تهدیدها است. در این حمله مهاجم از ضعف طرح امنیتی سوء استفاده کرده و با موفقیت رمز عبور موجودیت ثبت نام شده را تغییر / حدس می‌زند.

حمله جعل: یک مهاجم می‌تواند به‌عنوان کاربری قانونی ظاهر شود و به مدارک لازمه دسترسی پیدا کند.

حمله شنود: مهاجم با گوش دادن به تبادلات میان دو موجودیت، به اطلاعات سری و محرمانه دست می‌یابد.

حمله منع سرویس: مهاجم به طور مداوم به گیرنده پیغام ارسال کرده و منبع سیستم را مصرف می‌کند، به عبارت دیگر مهاجم با ارسال درخواست‌های بیش از حد منجر به ازکارافتادن آن می‌شود.

حمله کارت هوشمند سرقت‌شده: مهاجم از اطلاعات موجود در کارت هوشمند کاربر خبر دارد و از آن برای احراز هویت موفق استفاده می‌کند.

حمله جدول رنگین کمانی: جدول رنگین کمانی، جدول جستجوی از پیش محاسبه شده از کلمات عبور رمز شده است. در این حمله مهاجم سعی می‌کند تا با استفاده از جدول رنگین کمانی یک کلمه عبور را با توجه به رمز آن بازیابی کند.

حمله جستجوی فراگیر: مهاجم برای بازیابی کلمات عبور جستجوی جامع و کاملی را با استفاده از روش سعی و خطا انجام می‌دهد.

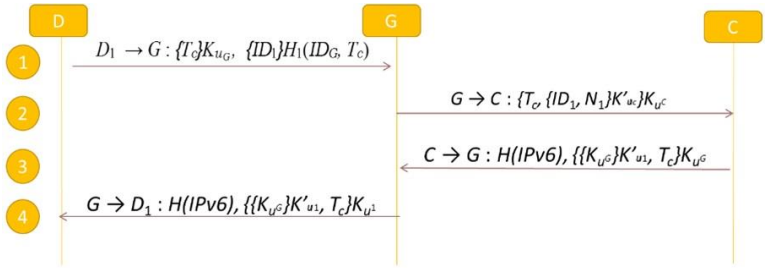
۳- طراحی پروتکل پیشنهادی

پروتکل پیشنهادی دارای سه مرحله است که در ادامه به تشریح آنها می‌پردازیم. جدول (۴) علائم استفاده شده در پروتکل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳-۱- مرحله پیش‌راه‌اندازی

این مرحله، در محل تولید دستگاه و پیش از رسیدن آن به دست فروشنده یا کاربر تحقق می‌یابد. در این مرحله تولیدکننده دستگاه را با اطلاعات و جزئیات رمزنگاری در رابطه با سرور ابری بارگذاری می‌کند. این عمل به ایجاد یک پل ارتباطی مطمئن میان تولیدکننده و دستگاه به جهت اجرای اعمالی از قبیل به‌روزرسانی نرم‌افزاری یا دانلود میان‌افزار کمک می‌کند؛ سپس کنترل‌کننده در سرور از راه دور هویت دستگاه (ID_1)، و با استفاده از یک مقدار تصادفی کلید عمومی، کلید خصوصی و یک رمز عبور یک‌بارمصرف (P_1) را برای دستگاه تولید، و آنها را با استفاده از یک کانال امن، بر روی دستگاه بارگذاری می‌کند به‌صورت زیر:

$$C \rightarrow D_1 : En\{ID_1, P_1, K_{u1}, K_u^{o}{}_{1g}\} \quad (۱)$$



(شکل-۴): مرحله راه‌اندازی
(Figure-4): Initialization part

۳-۲- مرحله راه‌اندازی

هنگامی که کاربر، دستگاه D1 را دریافت می‌کند از سرور ابری اطلاعات احراز هویت را درخواست می‌کند تا بتواند به دستگاه دسترسی داشته باشد. کنترل‌کننده سرور ابری رمز عبور یک‌بارمصرف را به کاربر ارسال کرده تا به کاربر اجازه دسترسی به سرویس‌های D1 را بدهد.

هنگامی که کاربر به سرویس‌های D_1 دسترسی پیدا کرد، دستگاه می‌تواند از طریق دروازه هوشمند G به سرور شبکه خانگی متصل شود. دستگاه شخصی کاربر، هویت دروازه هوشمند ID_g و کلید عمومی آن K_{uG} را به D_1 ارسال می‌کند.

$$U_D \rightarrow D_1 : ID_G, K_uG \quad (۲)$$

دستگاه D_1، ID دروازه به همراه برچسب زمان فعلی را رمزنگاری کرده و برای دروازه ارسال می‌کند تا در شبکه خانگی ثبت شود. به هنگام دریافت داده از D_1، دروازه پیام دریافتی را رمزگشایی کرده و برچسب زمانی را بررسی می‌کند. اگر صحیح باشد، مقدار $H_1(ID_G, T_C)$ که کلید رمزنگاری استفاده‌شده برای رمزنگاری و ID دستگاه D_1 بوده را محاسبه می‌کند. این گام در معادله پایین نشان داده شده است.

$$D_1 \rightarrow G : \{T_c\}K_uG , \{ID_1\}H_1(ID_G, T_c) \quad (۳)$$

هنگامی‌که دروازه هویت دستگاه را به‌دست آورد، هویت دستگاه، برچسب زمانی فعلی و N_1 را که هرکدام به شکلی مناسب رمزنگاری شده‌اند، برای کنترل‌کننده در سرور از راه دور ارسال می‌کند.

$$G \rightarrow C : \{T_c, \{ID_1, N_1\}Ku'c\}K_uC \quad (۴)$$

برچسب زمانی اطلاعاتی درباره زمان رخدادن یک واقعه را منتقل می‌کند. Nonce مقداری است که تنها یک‌بار استفاده می‌شود. برچسب‌های زمانی و Nonceها طوری انتخاب می‌شوند که از حملات بازپخش جلوگیری

کنند. کنترل‌کننده در سرور ابری، برچسب زمانی دریافت‌شده را با برچسب زمانی فعلی چک می‌کند. در صورت صحت، N_1 را می‌گیرد و تضمین می‌دهد که تاکنون دریافت نشده است و سپس ID دستگاه را دریافت می‌کند. کنترل‌کننده یک هویت مجازی IP_{v6} برای D_1 ایجاد کرده و آن را در پایگاه داده خود با ID متناظرش ذخیره می‌کند؛ سپس مقادیر به هم پیوسته درهم‌سازی شده IP_{v6}، کلید عمومی دروازه که با کلید خصوصی دستگاه رمزنگاری شده و با برچسب زمانی فعلی پیوست شده، با کلید عمومی دروازه رمزنگاری کرده و برای دروازه می‌فرستد. طبق رابطه زیر:

$$C \rightarrow G : H(IPv6), \{\{K_uG\}Ku'1, T_c\}K_uG \quad (۵)$$

در گام بعد، G برچسب زمانی را تأیید کرده و $H(IP_{v6})$ را به همراه ID متناظرش یعنی ID_1 در پایگاه داده خود ذخیره می‌کند؛ سپس دروازه $H(IP_{v6})$ و کلید عمومی خودش که با کلید خصوصی دستگاه که از کنترل‌کننده دریافت و رمزنگاری شده، و برچسب زمانی فعلی را که همگی با کلید عمومی D_1 رمزنگاری شده‌اند، برای D_1 ارسال می‌کند. D_1 برچسب زمانی دریافت‌شده را بررسی کرده و در صورت صحیح‌بودن، $H(IP_{v6})$ را در حافظه خود ذخیره می‌کند. این گام با معادله زیر نشان داده شده است:

$$G \rightarrow D_1 : H(IPv6), \{\{K_uG\}Ku'1, T_c\}K_u1 \quad (۶)$$

دروازه هوشمند می‌تواند با سایر دروازه‌ها ارتباط برقرار کند و همچنین دارای یک پایگاه داده محلی است که در آن تمام اطلاعاتی که دائم توسط شبکه خانگی و دستگاه‌های موجود در آن استفاده می‌شود را ذخیره می‌کند. دروازه هوشمند اطلاعات محلی را به‌طور بازه‌ای و متناوب در ابر به‌روزرسانی می‌کند. بدین ترتیب ابر اطلاعات تمام شبکه‌های خانگی و دستگاه‌های متصل را، و دروازه اطلاعات دستگاه‌های متصل در شبکه خانگی خود را دارند. شکل (۴) نحوه ارتباط موارد یادشده را به‌طور یکجا نمایش می‌دهد.

۳-۳- مرحله عملکرد

هنگام عملیات در شبکه خانگی، کاربر از یک دستگاه شخصی مثل تلفن همراه برای درخواست یک عمل خاص از D_1 استفاده می‌کند. برای این کار دستگاه D_1 می‌بایست با دستگاه دیگری در شبکه خانگی یعنی D_2 ارتباط برقرار کند. در ابتدا D1 درخواست این ارتباط را برای دروازه ارسال می‌کند.

$$D_1 \rightarrow G : H(IPv6), \{T_c, D_2\}K_uG \quad (۷)$$

دروازه برچسب زمانی را چک کرده و در صورت صحیح‌بودن، پایگاه داده را برای اطلاعاتی درباره D_2 بررسی و برای D_1 ارسال می‌کند. K_{12} که کلید مشترکی است که می‌تواند برای ارتباط میان D_1 و D_2 استفاده شود، پیوست شده با مقدار تصادفی یک‌بارمصرف N_2، برچسب زمانی فعلی و K_{uG} پیوست شده با K_{12} که با کلید خصوصی D_2 رمزنگاری شده، همگی با کلید عمومی دستگاه به‌صورت زیر رمزنگاری می‌شوند.

$$G \rightarrow D_1 : \{\{K_uG, K_{12}\}Kuj2\}, T_c, N_2, K_{12}\}K_u1 \quad (۸)$$

$\{K_{uG}, K_{12}\}K'_{12}$ارسال شده برای D_1 توسط G، به همین‌گونه برای D_2 ارسال می‌شود و این به D_2 تضمین می‌دهد که کلید واقعاً به‌وسیلهٔ دروازه به اشتراک گذاشته شده است. D_1 برچسب زمانی را بررسی کرده و در صورت صحت آن، کلید مشترک K_{12} را دریافت می‌کند. D_1، $\{K_{uG}, K_{12}\}K'_{12}$ را برای D_2 به همراه مقدار تصادفی یک بارمصرف N_3 و برچسب زمانی فعلی، پیوست شده و رمزنگاری شده، ارسال می‌کند.

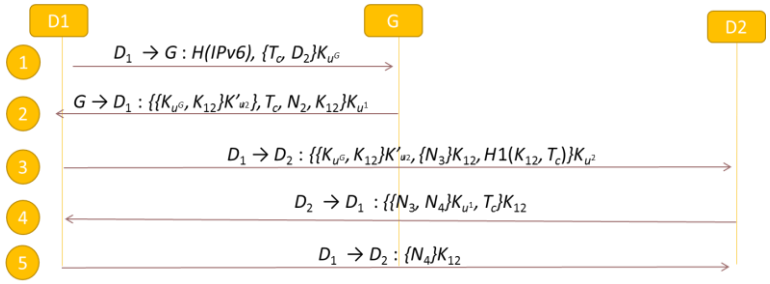
$$D_1 \rightarrow D_2 : \{\{K_uG, K_{12}\}Kuj2, \{N_3\}K_{12}, H1(K_{12}, T_c)\}K_u2 \quad (۹)$$

D_2 پیام دریافت شده را رمزگشایی کرده و K_{12} را از $\{K_{uG}, K_{12}\}K'_{12}$ با اطمینان از اینکه به‌وسیلهٔ دروازه به‌دست‌آمده، دریافت می‌کند؛ سپس توسط کلید K_{12} مقدار N_3 را رمزگشایی می‌کند. D_2 از تابع درهم ساز و K_{12} آگاه است و در نهایت می‌تواند T_c را دریافت کرده و برچسب زمانی را چک کند.

D_2 با مقدار تصادفی و یک‌بارمصرف N_4، که پیوست شده با مقدار دریافتی N_3 است به D_1 پاسخ می‌دهد. هنگامی‌که D_1، N_3 را به همراه برچسب زمانی معتبر رمزنگاری شده با کلید مشترک دریافت می‌کند، D_2 را معتبر در نظر می‌گیرد. برای اعتباربخشیدن خودش به D_2، D_1 با مقدار N_4 رمزنگاری شده با کلید مشترکی که فقط دو دستگاه از آن آگاه‌اند، به D_2 پاسخ می‌دهد. هر دو این گام‌ها در معادلات زیر نشان داده شده‌اند.

$$D_2 \rightarrow D_1 : \{\{N_3, N_4\}K_u1, T_c\}K_{12} \quad (۱۰)$$

$$D_1 \rightarrow D_2 : \{N_4\}K_{12} \quad (۱۱)$$



(شکل-۵): مرحله عملکرد

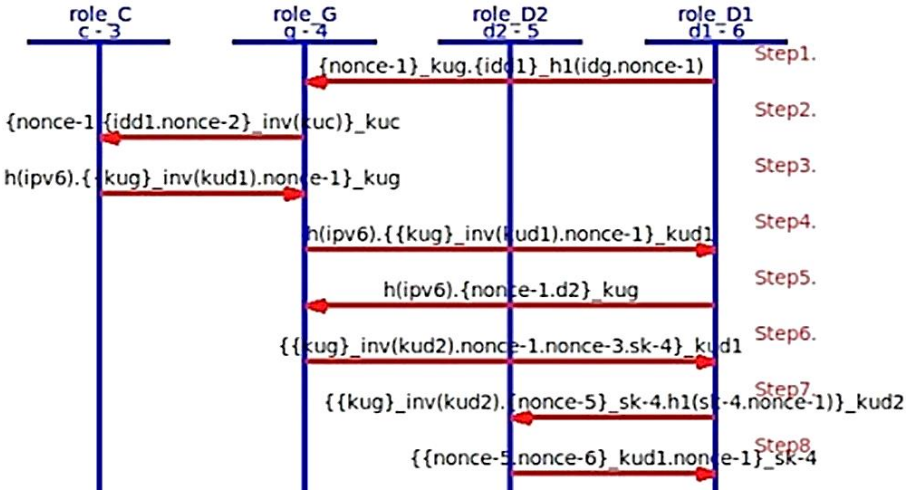
(Figure-5): Operation part

شکل (۵) نحوه ارتباط موارد یادشده را به‌طور یک‌جا نمایش می‌دهد.

۴- راستی‌آزمایی و نتایج شبیه‌سازی

۴-۱- محیط شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی از ابزارAVISP [25]، بر روی ماشین مجازی با ۲ گیگ حافظه و سیستم‌عامل Ubuntu 10 استفاده شده است. ابزار AVISPA بررسی می‌کند که آیا پروتکل پیشنهادی ویژگی‌های امنیتی نظیر تأیید، جامعیت و محرمانه‌بودن را برآورده می‌سازد یا خیر. اگر پروتکل ناامن باشد، ردپای حمله نشان داده می‌شود. نتیجه شبیه‌سازی طرح پیشنهادی بر اساس پشتیبان‌های مورد قبولی نظیر OFMC و CL-AtSe می‌باشد. همچنین با توسعه مدل AVISPA با استفاده از HLPSL، از یک انیماتور پروتکل امنیتی(SPAN) برای اجرای نمادین پروتکل پیشنهادی استفاده شده است. SPAN درک بهتری از پروتکل را در اختیار قرار داده و در صورت قابل‌اجرا بودن تشریح آن را تأیید می‌کند. شکل (۶) توالی پیام‌ها در پروتکل پیشنهادی را نشان می‌دهد.



(شکل-۶): شبیه‌سازی پروتکل پیشنهادی در AVISPA و توالی پیام‌ها

(Figure-6): Protocol simulation in AVISPA ans sequence of messages

۴-۲- بررسی‌های امنیتی

شبیه‌سازی شامل مدل‌سازی پروتکل با استفاده از HLPSL در AVISPA و ایجاد MSCها با استفاده از SPAN است. برای این منظور یک مهاجم فعال را معرفی کرده و مدل را با استفاده از پشتیبان‌های ارائه‌شده در ابزار بررسی می‌کنیم.

نتایج بررسی با استفاده از پشتیبان‌های OFMC و CL-AtSE به‌ترتیب در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده‌اند. دو پشتیبان دیگر یعنی SATMC وTA4SP، گزارش NOT SUPPORTED را ارائه کرده و نتیجه بررسی را بدون نتیجه اعلام کرده‌اند.

شکل‌های (۷ و ۸) تأیید می‌کنند که پروتکل پیشنهادی تحت هر دو ابزار ایمن شناخته شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی AVISPA تضمین می‌کنند که طرح پیشنهادی در مقابل حملاتی از جمله حملات بازپخش و مردِ میانی ایمن است. این نشان می‌دهد که هیچ حمله‌ای متوجه شناسایی و محرمانه‌بودن پروتکل نیست. شناسایی طرف‌های دخیل با تبادل شماره‌های تصادفی متناظر ایجادشده توسط آنها انجام می‌شود. هیچ حمله‌ای به کلید نشست توسط متجاوز یافت نشد. همچنین محرمانه‌بودن کلید نشست و پیام‌های انتقال‌یافته بین طرف‌ها حفظ شده است. از طرف دیگر تابع درهم‌ساز در مدل‌سازی پروتکل باعث حفظ جامعیت نیز شده است. ازآنجایی‌که ابزار AVISPA انواع حملات را بررسی می‌کند و اطلاعاتی در مورد حمله احتمالی اعلام نکرده است؛ لذا می‌توان گفت پروتکل امن است. باتوجه‌به ارزیابی‌های انجام‌شده به‌وسیلهٔ ابزار AVISPA، جدول (۵) امنیت روش پیشنهادی را در مقایسه با کارهای پیشین نمایش می‌دهد.

```
SUMMARY
   SAFE
DETAILS
BOUNDERD_NUMBER_OF_SESSIONS
TIME_MODEL
PROTOCOL
  Home / span / span / testsuite / results / hlpslGenFile .
if
GOAL
  As_Specified
BACKEND
  Cl-AtSe
STATISTICS
                Analaysed     :  22 states
  Reachable     :  8 states
  Translatetion :  0.01 seconds
```

(شکل-۷): آزمون تست پروتکل پیشنهادی با ابزار CL-AtSE

(Figure-7): Protocol verication with CL-AtSE.

```
% OFMC
% Version of 2006/02/13
SUMMAER
SAFE
DETAILS
BOUNDED_NUMBER_OF_SESSIONSPROTOCOL
/home / span / span / testsuite / results / hlpslGenFile .
if
                GOAL
as specified
BACKEND
OFMC
COMMENTS
STATTISTICS
parseTime: 0.00s
searchTime: 0.02s
visitNodes: 11 nodes
```

(شکل-۸): آزمون تست پروتکل پیشنهادی توسط ابزار OFMC

(Figure-8): Protocol verication with OFMC

۳-۴- تحلیل نظری امنیت پروتکل

همان‌طور که در بخش قبل ملاحظه شد، برای تشخیص حملاتی مانند تکرار، نشست موازی و جلوگیری از سرویس از ابزار CL-AtSe استفاده شد که حملات احتمالی را تشخیص می‌دهد و ردپای حملات را نشان می‌دهد. پشتیبان CL-AtSe تأیید کرد که پروتکل پیشنهادی از حملات بالا مصون است.

۱. **حمله تکرار:** مهرهای زمانی به‌طورعمومی برای مقاومت در برابر حمله تکرار استفاده می‌شوند. در برخی موارد، این شیوه ممکن است، تحت تأثیر مسأله همگام‌سازی پالس ساعت در هر نقطه از زمان قرار گیرد. پروتکل پیشنهادی از شماره‌های تصادفی علاوه‌بر مهرهای زمانی به‌منظور تضمین تازگی پیام استفاده می‌کند.

۲. **حمله حدس‌زدن رمز عبور:** کلمات رمز عبور یک‌بارمصرف با استفاده از سازوکار ساخت رمز عبور تصادفی در سمت تولیدکننده ایجاد می‌شود. ازآنجایی که رمز عبور به هیچ‌گونه اعتبارنامه‌ای وابسته نبوده تا متجاوز بتواند از طریق پروتکل به آن برسد، احتمال حدس‌زدن رمز عبور قابل‌چشم‌پوشی است و متجاوز از حدس زدن رمز عبور صحیح بازمی‌ماند.

۳. **حمله انعکاسی:** یک موجودیت متقلب را در نظر بگیرید که تلاش می‌کند D_1 را به‌جای D_2 جا بزند. مثالی از حمله انعکاسی بر یک پروتکل ساده مطابق زیر است:

$$1: iD_1 \rightarrow D_2 : D_1, ND_1 \qquad (۱۲)$$

$$2: D_2 \rightarrow iD_1 : D_2, ND_2 , \{ND_1\}K_{12} \qquad (۱۳)$$

در این مرحله، متجاوز گیر افتاده است؛ چون نمی‌تواند ND_2 را برای ارسال به D_2 رمزگذاری کند، اما متجاوز می‌تواند وهله دومی از پروتکل را آغاز کند و D_2 را وادار سازد تا ND_2 را رمزگذاری کند.

$$3: iD_1 \rightarrow D_2 : D_1, ND_2 \qquad (۱۴)$$

$$4: D_2 \rightarrow iD_1 : D2, ND_2 , \{ND_2\}K_{12} \qquad (۱۵)$$

متجاوز وهله دوم را رها می‌کند و وهله نخست را ادامه می‌دهد.

$$5: iD_1 \rightarrow D_2 : \{ND_2\}K_{12} \qquad (۱۶)$$

حمله انعکاسی بر روی این پروتکل ممکن است؛ زیرا آغازکننده نیازی ندارد هویت خود را اثبات کند و

گیرنده هر پیامی را که دریافت می‌کند، بدون تأیید هویت صادرکننده آن رمزگذاری و رمزگشایی می‌کند.

پروتکل پیشنهادی در این مورد از حمله انعکاسی جلوگیری می‌کند. تلاش برای حمله به‌صورت زیر است:

$$1:\ iD_1 \rightarrow D_2 : \{\{Ku_G\ ,\ K_{12}\}K^j_{u2}\ ,\ \{N_3\}K_{12},\ H_1(K_{12},\ Tc)\}Ku_{D2} \quad (۱۷)$$

$$2:\ D_2 \rightarrow iD_1 : \{\{N_3,N_4\}Ku_1\ ,\ Tc\}K_{12} \quad (۱۸)$$

حتی اگر متجاوز تلاش کند تا وهله دوم پروتکل پیشنهادی را اجرا کند، حمله به دو دلیل صورت نمی‌گیرد:

۱. متجاوز نمی‌تواند هیچ‌گونه اطلاعاتی را در مورد شماره تصادفی N_4 از گام ۲ دریافت کند. علت آن است که پیام ارسال‌شده توسط D_2 در گام ۲ طوری است که شماره‌های تصادفی می تواند تنها توسط D_1 رمزگشایی شوند.

۲. ماهیت چالش‌های ایجاد شده توسط D_1 و D_2 به‌واسطه وجود اطلاعات مختلف در پیام رمزشده و ارسال‌شده بین دو موجودیت متفاوت است. این امر تضمین می‌کند که ارسال کورکورانه یک پیام از نقطه دیگر به متجاوز اجازه شناساندن خود را نمی‌دهد.

۴. حمله چند پروتکلی: حمله‌ای ضد پروتکل شناسایی با استفاده از پیغام‌های ایجادشده از طرف یک پروتکل مجزا به‌منظور منحرف‌ساختن هر دو طرف. پروتکل زیر را در نظر بگیرید:

$$M1:\ D_2 \rightarrow D_1 : \{\{M\ ,N_4\}K_{u1}\ ,\ T_c\}K_{12} \quad (۱۹)$$

$$M2:\ D_1 \rightarrow D_2 :\ \{N_4, D_2\}K^J_{u1} \quad (۲۰)$$

پیغام ۱ در پروتکل ایجادشده به‌طوردقیق قالب مشابه گام ۱ در پروتکل پیشنهادی است. حمله‌کننده از پیغام‌های پروتکل‌های مختلف به‌منظور حمله به پروتکل شناسایی استفاده می‌کند که به‌صورت زیر است:

$$\text{Step 1:}\ i_{D_1} \rightarrow D_2 :\ \{\{K_uG\ ,\ K_{12}\}K^J_{u\ 2}\ ,\ \{N_3\}K_{12},\ H1(K_{12},T_c)\}K_{u_2} \quad (۲۱)$$

$$\text{Step 2:}\ D_2 \rightarrow i_{D1} :\ \{\{N_3,N_4\}K_{u1}\ ,\ T_c\}K_{12} \quad (۲۲)$$

$$\text{M1:}\ i_{D2} \rightarrow D_1 : \{\{M\ ,N_4\}K_{u1}\ ,\ T_c\}K_{12} \quad (۲۳)$$

$$\text{M2:}\ D_1 \rightarrow i_{D2} :\ \{N_4, D_2\}K^J_{u1} \quad (۲۴)$$

حمله به‌صورت زیر ادامه می‌یابد:

۱ .متجاوز i_{D1} با تغییر شکل به D_1 پیامی را در گام ۱ به D_2 می‌فرستد. پروتکل ایجادشده به N_3 و M برای داشتن قالب مشابه نیاز دارد.

۲ .متجاوز پیغام پاسخ را در گام ۲ از D_2 دریافت می‌کند.

۳ .متجاوز با تغییر شکل به D_2، این پیغام را به‌عنوان پیغام ۱ به D_1 ارسال می‌کند.

۴. D_1 به پیغام ۲ از پروتکل ایجادشده پاسخ می‌دهد، که این پاسخ شامل یک رونوشت عمومی از شماره تصادفی N_4 است.

۵. متجاوز این مقدار N_4 را برای ارسال آن به D_2 به‌منظور شناساندن خود دریافت می‌کند.

(جدول-۵): مقایسه امنیتی روش پیشنهادی نسبت به کارهای پیشین

(Table-5): Security comparison of the proposed method

	[17]	[5]	[20]	[6]	[7]	[21]	[8]	[19]	[23]	[18]	[3]	پروتکل پیشنهادی
مرد میانی	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*
زمان سنجی												
عامل داخلی		*										
جعل هویت			*	*				*			*	
بازپخش	*		*	*	*	*		*			*	*
تعویض / حدس رمز عبور		*	*	*					*			*
جعل				*		*	*					*
شنود					*	*						
منع سرویس										*		*
کارت هوشمند دزدیده شده		*	*									*
جدول رنگین کمانی		*	*									
جستوجوی فراگیر		*	*									

این حمله ناموفق است؛ زیرا اگرچه متجاوز قادر به وادارکردن D_1 به رمز گشایی N_4 از گام ۲ و ارسال آن به یک متجاوز در قالبی قابل خواندن توسط آن است، اما نمی‌تواند آن را با همان قالب مورد انتظار D_2 رمزگذاری و به D_2 ارسال کند. علت این است که پیغام در گام ۳ توسط K_{12} رمزگذاری می‌شود که برای متجاوز نا آشناست. بنابراین، تلاش‌های متجاوز برای شناساندن خود بدون آگاهی موجودیت میزبان بیهوده است.

۴-۴- نتایج ارزیابی

جامعیت

جامعیت به این معناست که اطلاعات توسط یک متجاوز/ موجودیت/ فرایند در طول ارتباط بین موجودیت‌های شناخته‌شده به شیوه‌ای نامعمول تغییر نیافته و یا از بین نرفته‌اند. علاوه‌بر استفاده از کلید نشست به‌منظور تضمین جامعیت، درهم‌سازی داده‌ها توسط فرستنده صورت می‌گیرد.

محرمانگی

این ویژگی تضمین می‌کند که اطلاعات قابل کشف نیستند و در اختیار موجودیت دیگری قرار نمی‌گیرند. پروتکل این امر را با رمزگذاری مقادیر تصادفی یک‌بارمصرف انجام می‌دهد، طوری‌که تنها دریافت‌کننده موردنظر می‌تواند پیام را رمزگشایی کند. کلید مشترک K12 نیز بین دو طرف ارتباط محرمانه باقی می‌ماند.

تأیید

تأیید، فرایند اعتبارسنجی هویت دستگاه به‌وسیلهٔ دیگر دستگاه‌های در ارتباط و تضمین اعتمادپذیری مبدأ ارتباط و اطمینان از ارتباط با یک طرف مطلوب است. تأیید دوطرفه به‌واسطه کلید نشست مشترک ایجادشده به‌وسیلهٔ دروازه انجام می‌شود و این کلید بین دو دستگاه موردنظر یعنی D_1 و D_2 محرمانه می‌ماند. D_1 و D_2 خود را به‌واسطه تبادل شماره‌های تصادفی N_3 و N_4 به یکدیگر می‌شناسانند. استفاده از کلید نشست محرمانه به‌منظور رمزگشایی پیام‌ها تضمین می‌کند که داده‌ها نمی‌توانند توسط یک عامل واسطه دست‌کاری شوند.

۴-۵- محدودیت‌ها

در ادامه محدودیت‌هایی باتوجه‌به پژوهش‌های انجام‌گرفته در اینترنت اشیا بر روی کنترل دسترسی و احراز هویت خلاصه شده است:

۱. فقدان یک معماری کامل برای کنترل دسترسی مانند AAA (احراز هویت، بررسی مجوز، و حسابرسی) در سناریوهای اینترنت اشیا برای سیستم‌های M2M.

۲. نیاز است که مسائل قابلیت همکاری در روش‌های کنترل دسترسی برای شبکه‌ها/ وسایل ناهمگن در سناریوهای اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گیرند.

۳. در سال‌های اخیر، روش‌های جالب زیادی برای احراز هویت غیر مبتنی بر گواهی‌نامه ارائه شده است. ولی همچنان روش‌های احراز هویت دیگری برای محیط‌های محاسباتی معمولی وجود دارند که نیاز است تا در محیط‌هایی با احراز هویت ناشناس مانند اینترنت اشیا آزمایش و پیاده‌سازی شوند.

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در این مقاله یک الگوریتم احراز هویت دوطرفه دستگاه به دستگاه در اینترنت اشیا ارائه شد که قابلیت استفاده‌شدن به‌وسیلهٔ دستگاه‌های مختلف در شبکهٔ IoT را دارد و برای استفادهٔ شبکهٔ هوشمند خانگی ساده‌سازی شده است. پروتکل پیشنهادی، انتقال دادهٔ امن بین نهادهای ارتباطی را با استفاده از اصول رمزنگاری تضمین می‌کند. در ابتدا پروتکل با نشان‌گذاری A-B برنامه‌نویسی و یک شبیه‌ساز پروتکل نیز پروتکل را به‌طوردقیق به همان صورتی‌که در ابزار AVISPA برنامه‌نویسی شد، شبیه‌سازی کرد؛ سپس یک اعتبارسنجی از پروتکل، با استفاده از ابزارهای OFMC و CL-AtSe به‌همراه تحلیل نظری انجام شد. نتایج بررسی نشان داد که پروتکل پیشنهادی امن است.

جنبه‌های متفاوتی برای ادامه کار در آینده می‌توان پیشنهاد کرد که از جمله به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱. گسترش پروتکل برای مواردی که دستگاه IoT یک شبکه خانگی مشخص را ترک کرده و به شبکه دیگری می‌پیوندد.

۲. درنظرگرفتن احتمال متفاوت بودن پروتکل ارتباطی شبکه‌های خانگی دو دستگاه IoT.

۶- مراجع 6- References

[1] M. El-hajj, A. Fadlallah, M. Chamoun, and A. Serhrouchni, "A survey of internet of things (IoT) Authentication schemes," *Sensors*, vol. 19, pp. 1141, 2019.

[2] M. Wazid, A. K. Das, R. Hussain, G. Succi, and J. J. Rodrigues, "Authentication in cloud-driven IoT-based big data environment: Survey and

challenges for enterprises," *Business Horizons*, vol. 58, pp. 431-440, 2015.

[14] V. Hassija, V. Chamola, V. Saxena, D. Jain, P. Goyal, and B. Sikdar, "A survey on IoT security: application areas, security threats, and solution architectures," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82721-82743, 2019.

[15] N. Moustafa, "A Systemic IoT-Fog-Cloud Architecture for Big-Data Analytics and Cyber Security Systems: A Review of Fog Computing," *arXiv preprint arXiv:1906.01055*, 2019.

[16] Y. Atwady and M. Hammoudeh, "A survey on authentication techniques for the internet of things," in *Proceedings of the International Conference on Future Networks and Distributed Systems*, 2017.

[17] V. Shivraj, M. Rajan, M. Singh, and P. Balamuralidhar, "One time password authentication scheme based on elliptic curves for Internet of Things (IoT)," in *2015 5th National Symposium on Information Technology: Towards New Smart World (NSITNSW)*, 2015, pp. 1-6.

[18] W.-T. Su, W.-M. Wong, and W.-C. Chen, "A survey of performance improvement by group-based authentication in IoT," in *2016 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, 2016, pp. 1-4.

[19] F. Chu, R. Zhang, R. Ni, and W. Dai, "An improved identity authentication scheme for internet of things in heterogeneous networking environments," in *2013 16th International Conference on Network-Based Information Systems*, 2013, pp. 589-593.

[20] X. Yao, X. Han, X. Du, and X. Zhou, "A lightweight multicast authentication mechanism for small scale IoT applications," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, pp. 3693-3701, 2013.

[21] N. Shone, C. Dobbins, W. Hurst, and Q. Shi, "Digital memories based mobile user authentication for IoT," in *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing*, 2015, pp. 1796-1802.

[22] H. Tschofenig, "Fixing user authentication for the internet of things (iot)," *Datenschutz und Datensicherheit-DuD*, vol. 40, pp. 222-224, 2016.

[23] L. Takkinen, "Analysing security protocols with AVISPA," in *TKK T-110.7290 research seminar on network security*, 2006.

[24] S. Emerson, Y.-K. Choi, D.-Y. Hwang, K.-S. Kim, and K.-H. Kim, "An OAuth based authentication mechanism for IoT networks," outlook," *Journal of Systems Architecture*, vol. 97, pp. 185-196, 2019.

[3] M. Saadeh, A. Sleit, M. Qatawneh, and W. Almobaideen, "Authentication techniques for the internet of things: A survey," in *2016 cybersecurity and cyberforensics conference (CCC)*, 2016, pp. 28-34.

[4] S. Kalra and S. K. Sood, "Secure authentication scheme for IoT and cloud servers," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 24, pp. 210-223, 2015.

[5] M. A. Crossman and H. Liu, "Study of authentication with IoT testbed," in *2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, 2015, pp. 1-7.

[6] H. Ren, Y. Song, S. Yang, and F. Situ, "Secure smart home: A voiceprint and internet based authentication system for remote accessing," in *2016 11th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, 2016, pp. 247-251.

[7] A. Ukil, S. Bandyopadhyay, A. Bhattacharyya, and A. Pal, "Lightweight security scheme for vehicle tracking system using CoAP," in *Proceedings of the International Workshop on Adaptive Security*, 2013, pp. 1-8.

[8] L. Barreto, A. Celesti, M. Villari, M. Fazio, and A. Puliafito, "An authentication model for IoT clouds," in *2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)*, 2015, pp. 1032-1035.

[9] S. Janbabaei, H. Gharaee, and N. Mohammadzadeh, "The Lightweight Authentication Scheme with Capabilities of Anonymity and Trust in Internet of Things (IoT)," Signal and Data Processing, vol. 15, no. 4, pp. 111-122, 2019.

[10] M. Dammak, O. R. M. Boudia, M. A. Messous, S. M. Senouci, and C. Gransart, "Token-based lightweight authentication to secure IoT networks," in 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 2019: IEEE, pp. 1-4.

[11] K. Park et al., "LAKS-NVT: Provably Secure and Lightweight Authentication and Key Agreement Scheme without Verification Table in Medical Internet of Things," IEEE Access, vol. 8, pp. 119387-119404, 2020.

[12] V. Plantevin, A. Bouzouane, B. Bouchard, and S. Gaboury, "Towards a more reliable and scalable architecture for smart home environments," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 10, pp. 2645-2656, 2019.

[13] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and

in *2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 2015, pp. 1072-1074.

[25] http://www.avispa-project.org/, online, 2020.

پیام محمودی نصر تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی رایانه به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۷۵ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و در مقطع دکترای مهندسی قدرت در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده و هم‌اکنون استادیار دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه مازندران است. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان عبارت‌اند از :امنیت شبکه‌های صنعتی و رایانه‌ای، امنیت داده‌ها و شبکه‌های رایانه‌ای.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

P.mahmoudi@umz.ac.ir

حسین کیمیا متولد ۱۳۶۶ تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی کامپیوتر - نرم‌افزار در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه غیردولتی شما آمل و در مقطع کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های رایانه‌ای در سال ۱۳۹۸ از مؤسسه غیردولتی صنعتی مازندران به پایان رسانده است. زمینه‌های موردعلاقه ایشان امنیت شبکه‌های رایانه‌ای است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

hosseinkimia@gmail.com