ارائهٔ طرح احراز اصالت سبک با قابلیت گمنامی و اعتماد در اینترنت اشیا

شادی جانبابائی[1]، حسین قرائی*[2] و ناصر محمدزاده[3]

[1و3] دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شاهد تهران

[2] پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات (مرکز تحقیقات مخابرات ایران)

چکیده

اینترنت اشیا مفهوم جدیدی است که باعث حضور حس‌گرها در زندگی انسان شده است؛ به‌طوری‌که تمامی اطلاعات توسط همین حس‌گرها جمع‌آوری، پردازش و منتقل می‌شوند. برای برقراری یک ارتباط امن، با افزایش تعداد حس‌گرها، نخستین چالش، احراز اصالت بین آنها است. گمنامی، سبک‌وزنی و قابلیت اعتماد نیز از جمله مواردی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. در این پژوهش پروتکل‌های احراز اصالت در حوزه اینترنت اشیا بررسی شده و محدودیت‌ها و آسیب‌پذیری‌های امنیتی آنها مورد تحلیل واقع شده‌اند. هم‌چنین پروتکل احراز اصالت جدیدی پیشنهاد می‌شود که گمنامی به‌عنوان یک پارامتر مهم، در آن لحاظ می‌شود. از طرفی تابع چکیده‌ساز و عمل‌گرهای منطقی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند تا هم پروتکل سبک باشد و هم حس‌گرها بتوانند به‌عنوان موجودیت‌هایی محدود از لحاظ محاسباتی، از آنها استفاده کنند. در این پروتکل نیازمندی‌های امنیتی از قبیل قابلیت عدم ردیابی، مقیاس‌پذیری، دسترس‌پذیری و غیره لحاظ شده‌اند و پروتکل در مقابل حملات مختلف از جمله حمله جعل هویت، تکرار، مرد میانی و ... مقاوم است.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، احراز اصالت، گمنامی، سبک وزنی و اعتماد.

The Lightweight Authentication Scheme with Capabilities of Anonymity and Trust in Internet of Things (IoT)

Shadi Janbabaei[1], Hossein Gharaee*[2] & Naser Mohammadzadeh[3]

[1,3]Department of Computer Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

[2]Department of Network Security, ICT Research Institute (ITRC), Tehran, Iran

Abstract

The Internet of Things (IoT), is a new concept that its emergence has caused ubiquity of sensors in the human life. All data are collected, processed, and transmitted by these sensors. As the number of sensors increases, the first challenge in establishing a secure connection is authentication between sensors. Anonymity, lightweight, and trust between entities are other main issues that should be considered. However, this challenge also requires some features so that the authentication is done properly. Anonymity, light weight and trust between entities are among the issues that need to be considered. In this study, we have evaluated the authentication protocols concerning the Internet of Things and analyzed the security vulnerabilities and limitations found in them. A new authentication protocol is also proposed-using the hash function and logical operators, so that the sensors can use them as computationally limited entities. This protocol is performed in two phases and supports two types of intra-cluster and inter-cluster communication. The analysis of proposed protocol shows that security requirements have been met and the protocol is resistant against various attacks. In the end, confidentiality and authentication of the protocol are proved applying AVISPA tool and the veracity of the protocol using the BAN logic. Focusing on this issue, in this paper, we have evaluated the authentication protocols in the Internet of Things and analyzed their limitations and security vulnerabilities.

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات • تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۷/۱۴ • تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۷ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۱۵

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

Moreover, a new authentication protocol is presented which the anonymity is its main target. The hash function and logical operators are used not only to make the protocol lightweight but also to provide some computational resources for sensors. In compiling this protocol, we tried to take into account three main approaches to covering the true identifier, generating the session key, and the update process after the authentication process. As with most authentication protocols, this protocol is composed of two phases of registration and authentication that initially register entities in a trusted entity to be evaluated and authenticated at a later stage by the same entity. It is assumed that in the proposed protocol we have two types of entities; a weak entity and a strong entity. The poor availability of SNs has low computing power and strong entities of CH and HIoTS that can withstand high computational overhead and carry out heavy processing. We also consider strong entities in the proposed protocol as reliable entities since the main focus of this research is the relationship between SNs. On the other hand, given the authenticity of the sensors and the transfer of the key between them through these trusted entities, the authenticity of the sensors is confirmed, and the relationship between them is also reliable. This protocol supports two types of intra-cluster and inter-cluster communication. The analysis of the proposed protocol shows that security requirements such as untraceability, scalability, availability, etc. have been met and it is resistant against the various attacks like replay attack, eavesdropping attack.

Keywords: Internet of things, Authentication, Anonymity, Lightweight.

۱- مقدمه

امروزه حدود دو میلیارد نفر در سراسر جهان برای دریافت خدماتی مانند وب‌گردی، ارسال و دریافت رایانامه، دست‌یابی به محتوا و خدمات اینترنتی، بازی‌ها و غیره از اینترنت استفاده می‌کنند. برای این‌که بیش‌تر مردم به این زیرساخت ارتباطات و اطلاعات جهانی دسترسی یابند و از آن بهره برند، جهش بزرگ دیگری در حال وقوع است که در آن استفاده از اینترنت به‌عنوان یک پلت‌فرم جهانی مفروض است. از طریق این پلت‌فرم، ماشین‌ها و اشیای هوشمند می‌توانند با یکدیگر ارتباط و همکاری داشته باشند. این فناوری، با نام اینترنت اشیا[1](IoT) شناخته می‌شود [1]. عبارت اینترنت اشیا برای نخستین‌بار توسط *کوین اشتون* در سال ۱۹۹۰ مورد استفاده قرار گرفت. اشتون جهانی را توصیف کرد که در آن همه چیز، از جمله اشیای بی‌جان، برای خودشان هویت دیجیتالی داشته باشند و به رایانه‌ها اجازه داده شود تا آن‌ها را سازماندهی و مدیریت کنند [2]. به‌عبارت دیگر، اینترنت اشیا فناوری نوینی است که در آن برای هر موجودیتی (انسان، حیوان و یا اشیا) امکان ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترانت، فراهم می‌شود. بیش از پنجاه درصد اتصالات اینترنت، اشیا هستند، که در سال ۲۰۱۱ تعداد آن‌ها بیش از پانزده بیلیون تخمین زده شد و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۰ به سی بیلیون دستگاه برسد [3]. فناوری‌های تعبیه‌شده از قبیل شناسایی خودکار رادیویی[2](RFID)، فناوری‌های ارتباطات بی‌سیم، شبکه‌های حس‌گر[3](WSN)، شبکه تجهیزات تعبیه‌شده و ... فناوری اینترنت اشیا را شکل می‌دهد [4]. این فناوری دو حالت کلی دارد: متمرکز[4] و توزیع‌شده[5]. در یک رویکرد متمرکز، پلتفرم‌های برنامه کاربردی در اینترنت (به عنوان مثال خدمات ابر) قرار گرفته و اطلاعاتی را از موجودیت‌های واقع در شبکه کسب کرده و داده‌های خام و خدماتی را برای سایر موجودیت‌ها فراهم می‌کنند. از سوی دیگر، در یک رویکرد توزیع‌شده، نه‌تنها هوشمندی و ارائهٔ خدمات در لبه‌های شبکه قرار می‌گیرند، بلکه پلت‌فرم‌های مختلف نرم‌افزاری نیز می‌توانند با یکدیگر به‌صورت پویا همکاری کنند [5].

محیط کنترل‌نشده[6]، ناهمگونی[7]، مقیاس‌پذیری[8] و منابع محدود، ویژگی‌های اصلی اینترنت اشیا را تشکیل می‌دهند. براساس این ویژگی‌ها، نیازمندی‌های امنیتی این فناوری نیز در پنج مجموعهٔ امنیت شبکه[9]، مدیریت شناسه[10]، حریم خصوصی، قابلیت اعتماد[11] و انعطاف‌پذیری[12] طبقه‌بندی می‌شوند [6]. احرازاصالت[13] یکی از زیرشاخه‌های اصلی مدیریت شناسه است که در آن اعتبار هویت ادعاشده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به‌عبارت بهتر، احرازاصالت، ارائهٔ اطلاعات توسط یکی از موجودیت‌های ارتباطی است که این اطلاعات بایستی به‌طوردقیق با هویت یادشده، هم‌خوانی داشته باشند [7]. هم‌چنین گمنامی[14] نیز یکی از مهم‌ترین زیرشاخه‌های حریم خصوصی محسوب می‌شود که با وجود آن مهاجم توانایی ردیابی موجودیت را نداشته و درنهایت امکان برخی حملات

[1] Internet of Things
[2] Radio Frequency Identification
[3] Wireless Sensor Networks

[4] Centralized
[5] Distributed
[6] Uncontrolled environment
[7] Heterogeneity
[8] Scalability
[9] Network Security
[10] Identity Management
[11] Trust
[12] Resilience
[13] Authentication
[14] Anonymity

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

به سیستم‌ها محدود شود [8,9]. از طرفی احرازاصالت دو جانبه و برقراری کلید دو موضوع اساسی در بررسی پروتکل‌های احراز اصالت هستند [7]. هدف پروتکل‌های احراز اصالت، اطمینان‌یافتن یک موجودیت از هویت موجودیت دیگر است. گرچه محدودیت‌های بسیاری نیز در این حوزه وجود دارد، اما می‌توان برخی مسائل عمومی را به‌عنوان قاعدهٔ کلی در طراحی این نوع پروتکل‌ها برقرار کرد. نخست، باید گام‌های محاسباتی و هزینه‌ها را به‌منظور صرفه‌جویی در انرژی به کمینه رساند؛ علاوه‌براین، به‌منظور توزیع بار محاسباتی میان گره‌ها، ویژگی‌ها و قابلیت‌های دستگاه‌ها بایستی مدنظر قرار گیرد. درنهایت، تعداد پیام‌هایی که رد و بدل می‌شوند و طول آنها، پارامترهایی هستند که باید با ملاحظه انتخاب شوند [10]. حال به این نتیجه می‌رسیم که احراز اصالت دوطرفه به همراه مجموعه‌ای از ویژگی‌های مرتبط با اینترنت اشیا، یکی از مهم‌ترین چالش‌های روز محسوب می‌شود که بایستی بیش از پیش مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. در ادامه، ابتدا کارهای مرتبط، ویژگی‌ها، آسیب‌پذیری‌ها و محدودیت های موجود مورد بررسی قرار می‌گیرند و معماری مورد استفاده جهت طراحی پروتکل توصیف می‌شود؛ سپس پروتکل پیشنهادی به‌تفصیل تشریح شده و پس از آن به تحلیل امنیتی و مقایسهٔ بار محاسباتی آن با سایر پروتکل‌ها خواهیم پرداخت.

۲- کارهای مرتبط

در اینترنت اشیا، ارتباط بین موجودیت‌ها به چندین دسته طبقه‌بندی می‌شود. احراز اصالت، حس‌گرهای انتهایی یکی از این نوع ارتباطات است [11]. در [9]، معماری انتها به انتهایی برای احراز اصالت دومرحله‌ای مبتنی بر DTLS[1] پیشنهاد شده است. در این طرح، گره‌هایی که می‌خواهند به شبکه متصل شوند، باتوجه به قابلیت‌هایشان، مجموعهٔ رمزنگاری مناسب خود را انتخاب می‌کنند؛ اما با توجه به این‌که هشت پیام برای دست‌تکانی استفاده می‌شود، سربار قابل توجهی به‌وجود می‌آید. از طرفی استفاده از گواهی‌نامه‌های X.509 و کلید عمومی RSA با دست‌تکانی DTLS برای حس‌گرهایی با قدرت محاسباتی پایین و محدودیت بالای منابع، بیش از حد سنگین است. هم‌چنین ویژگی‌هایی از اینترنت اشیا مانند گمنامی و قابلیت عدم ردیابی[2] در آن لحاظ نشده است. از طرفی در هر دو مرحله، طرفین ارتباط جهت برقراری یک‌پارچگی، نیاز به یک کلید مخفی خواهند داشت. در سال ۲۰۱۶، یک طرح امنیتی دیگری بر اساس گواهی‌نامهٔ ضمنی ECQV[3] و DTLS برای اینترنت اشیا طراحی و پیاده‌سازی شد [12]. در مرحلهٔ ثبت نام این پروتکل، تمامی دستگاه‌ها گواهی ضمنی خود را از CA دریافت می‌کنند. اجرای طرح تولید گواهی ضمنی از طریق پروتکل دست‌تکانی، نقطه قوت این مرحله است. در مرحلهٔ برقراری کلید امن، الگوریتم تبادل کلید ECDH[4] و گواهی ضمنی ECQV ترکیب می‌شوند تا طرح ارائه‌شده، برقراری کلید و احراز اصالت را توأماً برقرار کند. ساختار و محتوای پیام‌ها به‌طوردقیق همانند DTLS 1.2 است؛ با این تفاوت که به‌جای گواهی X.509 از گواهی ضمنی استفاده شده است. در طرح [13]، پروتکل احراز اصالت دومرحله‌ای برای شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم پیشنهاد شده است. این پروتکل در سال ۲۰۱۴، کامل‌تر شده و برای استفاده در برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا نیز پیشنهاد شد [14]. در این دو پروتکل به‌جای استفاده از RSA، از ECC و یک کلید مشترک ازپیش‌تعیین‌شده استفاده می‌شود تا پروتکل سبک‌تر از طرح‌های قبلی شود؛ اما بسیاری از چالش‌های اینترنت اشیا از جمله گمنامی و قابلیت عدم ردیابی در این پروتکل لحاظ نشده است. هم‌چنین وجود یک کلید نشست ثابت بین دو گره، جستجوی خطی درجهٔ n جهت حفظ تازگی پیام و ارتباط سنگین DTLS موجود بین سرخوشه‌ها از جمله نقاط ضعف پروتکل یادشده است. برای سبک‌تر ساختن پروتکل‌های احرازاصالت در اینترنت اشیا، طرح‌های احراز اصالت [15] و [16] مبتنی بر تابع چکیده‌ساز، عمل‌گرهای یای انحصاری و الحاق مطرح شده‌اند. در [15] پروتکل احرازاصالت برچسب RFID مبتنی بر تابع چکیده‌ساز ارائه شده است. در این پروتکل احراز اصالت فقط بین برچسب و سرور اتفاق می افتد و پروتکل در مقابل حمله جعل[5] آسیب‌پذیر است. در طرح [16] پروتکل احراز اصالت دیگری به‌همراه گمنامی و قابلیت عدم ردیابی ارائه شده است. از جمله نقاط ضعف این طرح می‌توان به بالابودن حجم کاری سرور، نبود کلید نشست در انتهای احراز اصالت، عدم احرازاصالت گره‌های انتهایی توسط یکدیگر و آسیب‌پذیری در مقابل حملهٔ تکرار[6] اشاره کرد. در [17]، طرح احراز اصالت گره‌های انتهایی با قابلیت اعتماد توسعه‌یافته در شبکه‌های موردی خودرو پیشنهاد شده است. در این پروتکل علاوه‌بر استفاده از تابع چکیده‌ساز، عمل‌گرهای یای انحصاری و الحاق، یک مجموعه کلید امن مبتنی بر زنجیرهٔ چکیده‌ساز نیز تولید می‌شود؛ اما برای احراز اصالت

[1] Datagram Transport Layer Security
[2] Untraceability
[3] Elliptic Curve Qu-Vanstone
[4] Elliptic curve Diffie–Hellman
[5] Impersonating Attack
[6] Replay Attack

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

مجدد در ارتباط امن بین موجودیت‌ها شکاف وجود دارد. از طرفی کل ارتباطات به یک کلید از پیش تعیین‌شده وابسته‌اند که در صورت فاش‌شدن آن کل ارتباطات زیر سؤال می‌رود.

تحلیل و بررسی کارهای پیشین، نشان می‌دهد که در ابتدا از زیرساخت PKI و رمزنگاری RSA جهت احراز اصالت استفاده می‌شد، درحالی‌که امروزه به‌دلیل سربار محاسباتی بالا و سنگین‌بودن آن، این روش کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد؛ سپس ECC به‌عنوان رمزنگاری سبک‌تر نسب به RSA مطرح شده که این رمزنگاری نیز برای دستگاه‌های محدود از نظر محاسباتی و پردازشی، همچنان سنگین است. درهمین‌اواخر توابع چکیده‌ساز و عمل‌گرهای منطقی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند، تا سبک وزنی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم برقرار شود. هم‌چنین بسیاری از پروتکل‌های ارائه‌شده فقط ارتباط هر موجودیت را با موجودیت بالادستی در نظر می‌گیرند؛ درحالی‌که ارتباط بین موجودیت‌ها با یکدیگر نیز ضروری است [11].

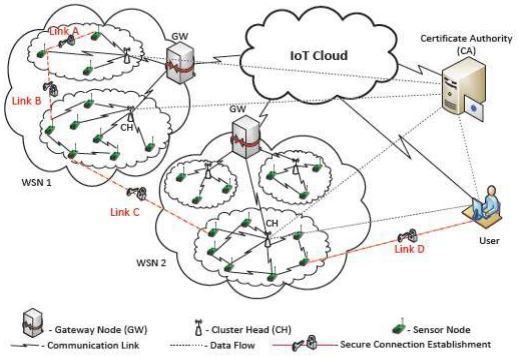
۳- مدل پیشنهادی

۳-۱- معماری مفروض

مدل پروتکل احرازاصالت مفروض طرح پیشنهادی در شکل (۱) نمایش داده شده است [14]. همان‌طورکه مشخص است، موجودیت‌ها می‌توانند به‌صورت عمودی و افقی با یکدیگر در ارتباط باشند. ارتباط بین دو حس‌گر در یک سرخوشه، ارتباط افقی و ارتباط بین کاربر و حس‌گر، یک ارتباط عمودی محسوب می‌شود. تمرکز ما در این پژوهش ارتباط بین حس‌گرها است.

۳-۲- طرح پیشنهادی

در تدوین این پروتکل، تلاش شده است سه رویکرد اصلی، پوشش شناسهٔ حقیقی، تولید کلید نشست و فرآیند به‌روزرسانی پس از فرآیند احراز اصالت را لحاظ کنیم. این پروتکل همانند بیش‌تر پروتکل‌های احراز اصالت از دو مرحلهٔ ثبت نام و احراز اصالت تشکیل شده که در ابتدا موجودیت‌ها در یک نهاد قابل اعتماد ثبت نام می‌کنند تا در مرحلهٔ بعد به‌کمک همان نهاد مورد ارزیابی و احراز اصالت قرار گیرند. فرض بر این است که در پروتکل پیشنهادی دو نوع موجودیت ضعیف و موجودیت قوی داریم. موجودیت ضعیف SNها هستند که توان محاسباتی پایینی دارند و موجودیت‌های قوی CHها و HIoTSها هستند که می‌توانند سربار محاسباتی بالایی را تحمل کرده و پردازش‌های سنگینی را انجام دهند. هم‌چنین موجودیت‌های قوی را در پروتکل پیشنهادی موجودیت‌های قابل اعتماد در نظر می‌گیریم؛ چون تمرکز اصلی در این پژوهش ارتباط بین SNها است. از طرفی باتوجه به این‌که احراز اصالت بین حس‌گرها و انتقال کلید نشست بین آنها از طریق این موجودیت‌های قابل اعتماد انجام می‌شود، پس با تأیید احراز اصالت حس‌گرها، ارتباط بین آنها نیز قابل اعتماد خواهد بود. نمادهای استفاده‌شده در پروتکل پیشنهادی در جدول (۱) نشان داده شده است.



(شکل-۱): معماری مفروض
(Figure-1): Assumed architecture

(جدول-۱): نمادهای استفاده‌شده در طراحی پروتکل پیشنهادی
(Table-1): Notations

نماد	توضیحات
SNi	گره حس‌گر ام i
Chi	سرخوشه ام i
HIoTS	سرور اصلی
IDi/ IDi'	شناسه حقیقی گره حس‌گر (سرخوشه)
IDh	شناسه حقیقی سرور اصلی
Ni/Ni'	اعداد تصادفی تولیدشده در احراز اصالت دو حس‌گر (دو سرخوشه)
Ki/ Ki'	کلید مشترک تعبیه شده بین سرخوشه و حس‌گر ام i (بین سرور و سرخوشه ام i)
AIDi/ AIDi'	شناسه غیرحقیقی و مستعار یک‌بارمصرف برای حس‌گر (سرخوشه)ام i
Tri/ Tri'	شماره تصادفی تولید شده برای بررسی تازگی پیام بین سرخوشه و حس‌گر(سرور)
Vi/Vi'	عبارت‌هایی جهت ارزیابی پیام دریافتی
SK	کلید نشست تعیین شده در انتهای پروتکل بین دو حس‌گر
SKi	کلید ارسالی برای حسگر ام i جهت دست‌یابی به SK
AK	کلید توافق‌شده بین دو سرخوشه
H (.)	تابع چکیده‌ساز یک‌طرفه- تابع Hash
$\oplus$	عمل‌گر XOR
$\|\|$	عمل‌گر الحاق

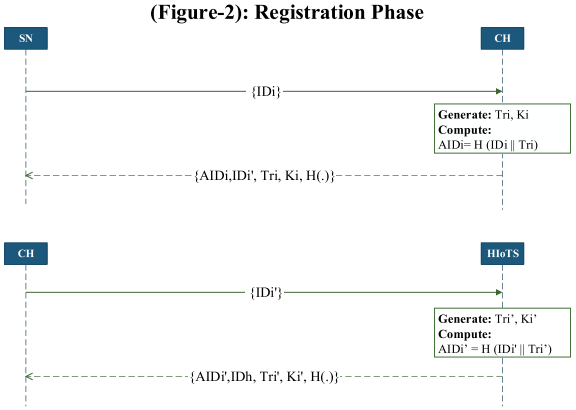
[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

۱-۲-۳- مرحلهٔ ثبت نام

در این مرحله گره‌های حس‌گر، شناسهٔ حقیقی خود را از طریق یک کانال ارتباطی امن برای سرخوشه ارسال می‌کنند؛ سپس سرخوشه دو مقدار تصادفی Trseq و K را تولید کرده و مقدار شناسهٔ غیرحقیقی مستعاری (AIDi) را برای حس‌گر محاسبه می‌کند تا از طریق همان کانال به حس‌گر منتقل شود. این مقادیر در پایگاه دادهٔ خودِ سرخوشه نیز ذخیره خواهند شد تا در مراحل احرازهویت، مقادیر آنها مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین همین فرآیند برای ثبت نام سرخوشه‌ها در HIoTS نیز تکرار خواهد شد تا تمامی موجودیت‌ها در شبکه و توسط نهاد مرتبهٔ بالاتر ثبت نام شوند. ذکر این نکته ضروری است که در پروتکل پیشنهادی، توزیع کلید به‌صورت سلسله‌مراتبی است بدین صورت که حس‌گرها نیازی به ثبت نام در HIoTS نخواهند داشت و هر CH به‌طورمستقیم وظیفهٔ ثبت نام حس‌گرها را بر عهده دارد. پروتکل این مرحله در شکل (۲) نمایش داده شده است.

(شکل-۲): مرحلهٔ ثبت نام پروتکل پیشنهادی

(Figure-2): Registration Phase



۲-۲-۳- مرحلهٔ احراز اصالت

در این مرحله، دو گره حس‌گر می‌خواهند به‌صورت گمنام یکدیگر را احرازاصالت کرده و در انتها کلید نشستی با یکدیگر برقرار و از طریق آن کلید، داده‌هایی را باهم مبادله کنند. تعاملات بین این دو حس‌گر باتوجه به موقعیت آنها به دو دسته طبقه‌بندی می‌شود: دو حس‌گر در CH یکسان و دو حس‌گر در دو CH متفاوت. با این حال برای احرازِ اصالتِ دو حس‌گر در CHهای متفاوت، نیاز به احراز اصالت CHها توسط HIoTS نیز خواهیم داشت.

احراز اصالت بین دو حس‌گر در CH یکسان:

هنگامی‌که دو حس‌گر در CH یکسانی واقع شده‌اند، برای احراز اصالت یکدیگر از CH کمک می‌گیرند، چون CH به‌عنوان موجودیت قابل اعتماد وارد عمل می‌شود و احراز اصالت بین دو حس‌گر را میسر می‌سازد. تعاملات بین حس‌گرها در شکل (۳) نشان داده شده است. در ادامه این تعاملات را به‌تفصیل بیان می‌کنیم:

گام ۱: حس‌گر SN1 مقدار تصادفی N1 را تولید کرده و دو رابطهٔ A=N1 ⊕ K1 و V1= H(AID1|| AID2 ||N1 ||Tr1) را محاسبه می‌کند. عبارت V1 جهت ارزیابی سمت گیرنده تولید و در پایان گام ۱، پیام M1= {AID1, AID2, Tr1, V1, A} از طریق یک کانال ناامن برای CH ارسال می‌شود.

گام ۲: CH با دریافت پیام M1، در ابتدا مقدار Tr1 دریافتی را با مقدار ذخیره‌شده در پایگاه داده مقایسه و سپس مقدار N1 را به‌دست آورده و با توجه به مقادیر دریافتی، مقدار V1 را محاسبه و V1 محاسبه‌شده را با V1 دریافتی مقایسه می‌کند. درصورت برابربودن این دو مقدار، SN1 برای CH احرازاصالت می‌شود. درصورت معتبربودن این ارزیابی، CH از حس‌گری با AID2 درخواست می‌کند تا اطلاعات خود را جهت احراز اصالت برای CH ارسال کند. این درخواست توسط پیام M2= {AuthReq} فرستاده می‌شود.

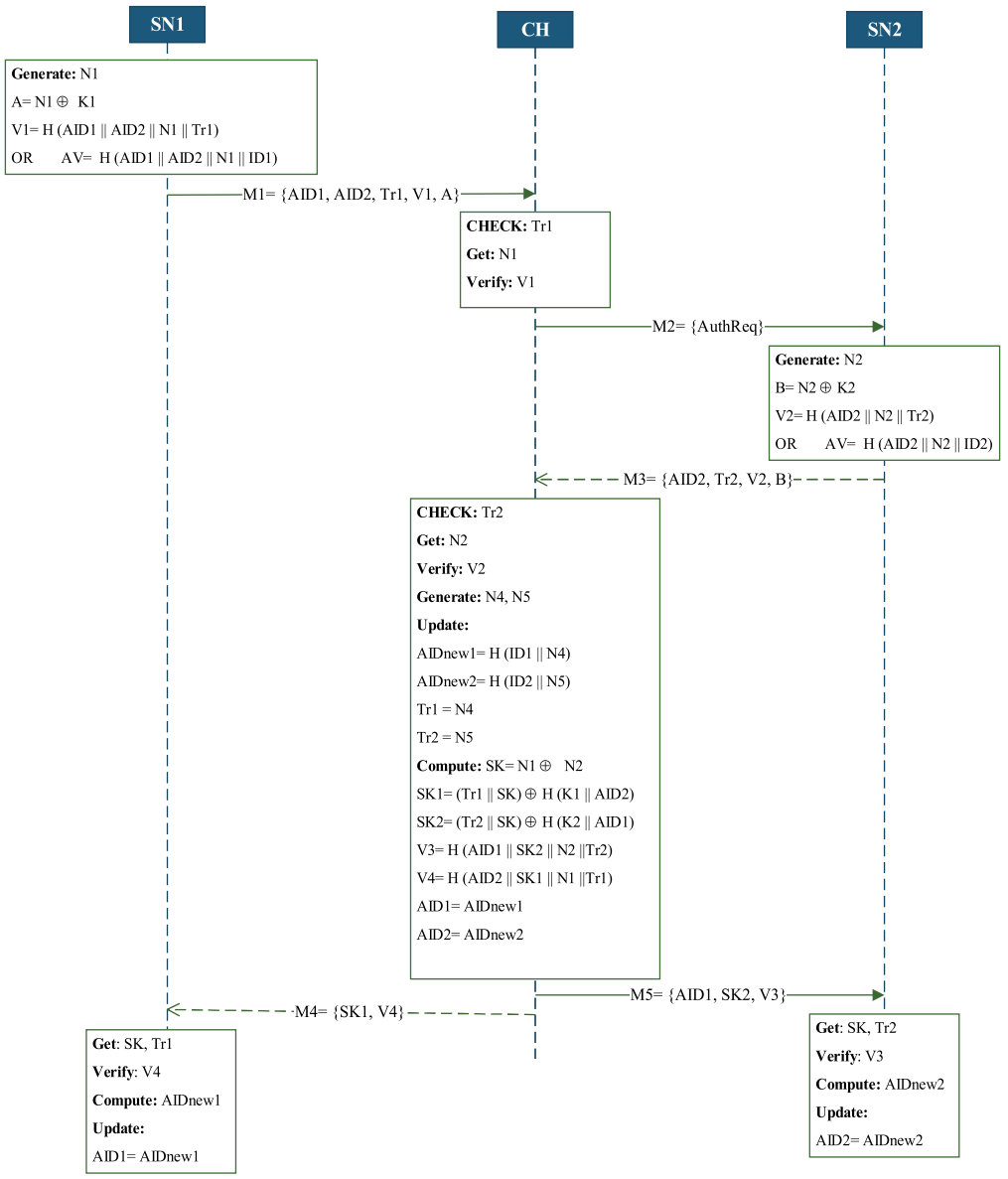
گام ۳: حس‌گر دوم با دریافت پیام M2، همانند حس‌گر نخست مقادیر لازم را تولید و برای CH ارسال می‌کند با این تفاوت که از AID حس‌گر نخست مطلع نیست! پیام M3= {AID2, Tr2, V2, B} برای CH ارسال می‌شود.

گام ۴: در ابتدا، CH همانند گام ۲ عمل می‌کند و احراز اصالت حس‌گر دوم نیز انجام می‌شود؛ سپس مقادیر Tr و AID مربوط به هر دو حس‌گر را به‌روزرسانی و درنهایت CH کلید نشست بین این دو حس‌گر را از طریق رابطه SK= N1⊕N2 محاسبه می‌کند. حال برای ارسال کلید نشست و مقدار Tr به‌روزشده، بایستی از دو عبارت SK1= (Tr1||SK) ⊕ H(K1||AID2) و SK2= (Tr2 ||SK) ⊕ H (K2||AID1) استفاده شود. از طرفی دو رابطهٔ V3= H (AID1 || SK2 || N2 ||Tr2) و V4= H (AID2 || SK1 || N1 ||Tr1) نیز برای ارزیابی سمت گیرنده، تولید شده و روی خط ارسال می‌شوند. در انتهای این گام، دو پیام M4= {SK1, V4,Tr1} و M5= {AID1, SK2, V3, Tr2} به‌ترتیب برای حس‌گر نخست و حس‌گر دوم ارسال می‌شود.

گام ۵: هریک از حس‌گرها مقدار کلید نشست و Tr به‌روزرسانی‌شده را با استفاده از SK1 و V4 (یا SK2

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

و V3) دریافتی به‌دست آورده و ارزیابی می‌کنند. در انتها بایستی مقدار AIDها از طریق روابط AID1= H (ID1 || N4) و AID2 = H (ID2 || N5) به‌روزرسانی شوند.



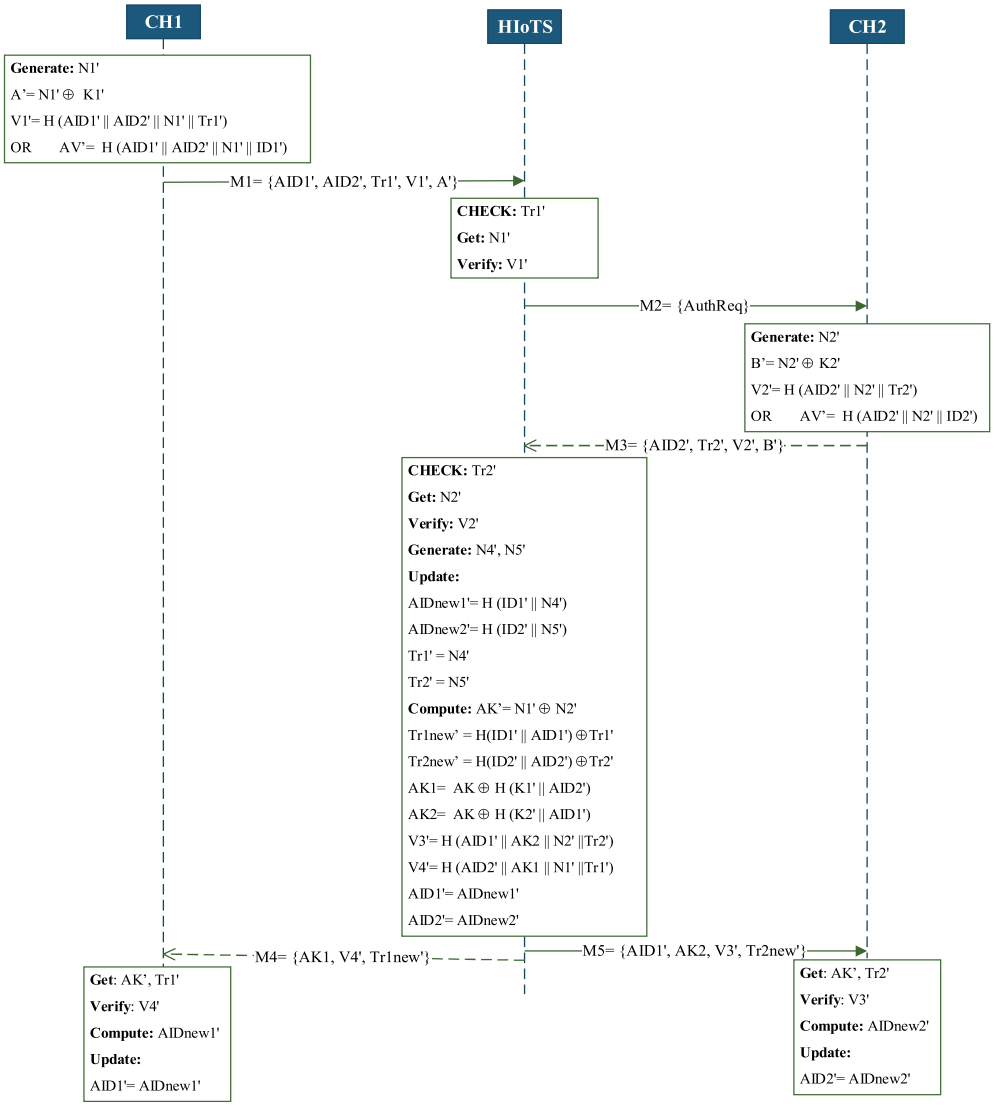
(شکل-۳): احراز اصالت بین دو حس‌گر موجود در سرخوشهٔ یکسان

(Figure-3): Authentication between two sensors in the same cluster head

احراز اصالت بین دو حس‌گر در CHهای متفاوت:

هنگامی‌که دو حس‌گر در CHهای متفاوتی قرار دارند، احراز اصالت با کمک هر دو CH انجام می‌شود. SN1 درخواست خود را به CH مربوط به خودش ارسال می‌کند؛ CH1 چون مقدار AID مقصد را ندارد، مقادیر را برای CH2 می‌فرستد؛ CH2 نیز با حس‌گر مورد نظر ارتباط برقرار می‌کند. درواقع ارتباط بین حس‌گرها از طریق CHها میسر می‌شود. نکتهٔ حائز اهمیت این است که CHها برای احراز اصالت یکدیگر به موجودیت بالادستی یا همان HIoTS رجوع می‌کنند و درنهایت کلیدی بین آنها برقرار می‌شود تا هرزمان که لازم شد از آن کلید جهت برقراری ارتباط استفاده کنند. به‌عبارت دیگر، برای احراز اصالت موجودیت‌ها از روش سلسله‌مراتبی استفاده شده است. حس‌گرها برای احراز اصالت به CH و CHها به HIoTS رجوع می‌کنند. شکل (۴) احراز اصالت بین دو CH و شکل (۵) احراز اصالت بین دو حس‌گر در CHهای مختلف را نشان می‌دهد. روند احراز اصالت در شکل (۴) همانند شکل (۳) است، به همین دلیل دوباره آن را تشریح نمی‌کنیم. از طرفی بسیاری از گام‌های شکل (۵) مشابه احرازاصالت حس‌گرهای موجود در CH یکسان است، به همین سبب تفاوت‌های این دو پروتکل در ادامه توضیح داده می‌شوند:

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]



(شکل-۴): احراز اصالت بین دو سرخوشه

(Figure-4): Authentication between cluster heads

گام ۱: همانند گام ۱ در شکل (۳) انجام می‌شود.

گام ۲: CH1 پس از دریافت پیام M1 از حس‌گر SN1، آن را احراز اصالت و سپس دو رابطهٔ B= N1⊕ AK و V2= H (AID1 || AID2 || N1) را تولید و پیام M2= {AID1, AID2, B, V2} را برای CH مقصد ارسال می‌کند.

گام ۳: CH مقصد در ابتدا مقدار N1 را به‌دست می‌آورد و سپس از SN مورد نظر می‌خواهد که اطلاعاتش را برای CH ارسال کند.

گام ۴: این مرحله همانند گام ۱ انجام می‌شود.

گام ۵: CH2 ابتدا SN2 را احراز اصالت می‌کند و مقدار N2 را محاسبه و سپس مقادیر E=(N1|| Tr2)⊕H(K2||AID2) و V5=H (AID1 || AID2 || N1||Tr2) را برای SN2 ارسال می‌کند.

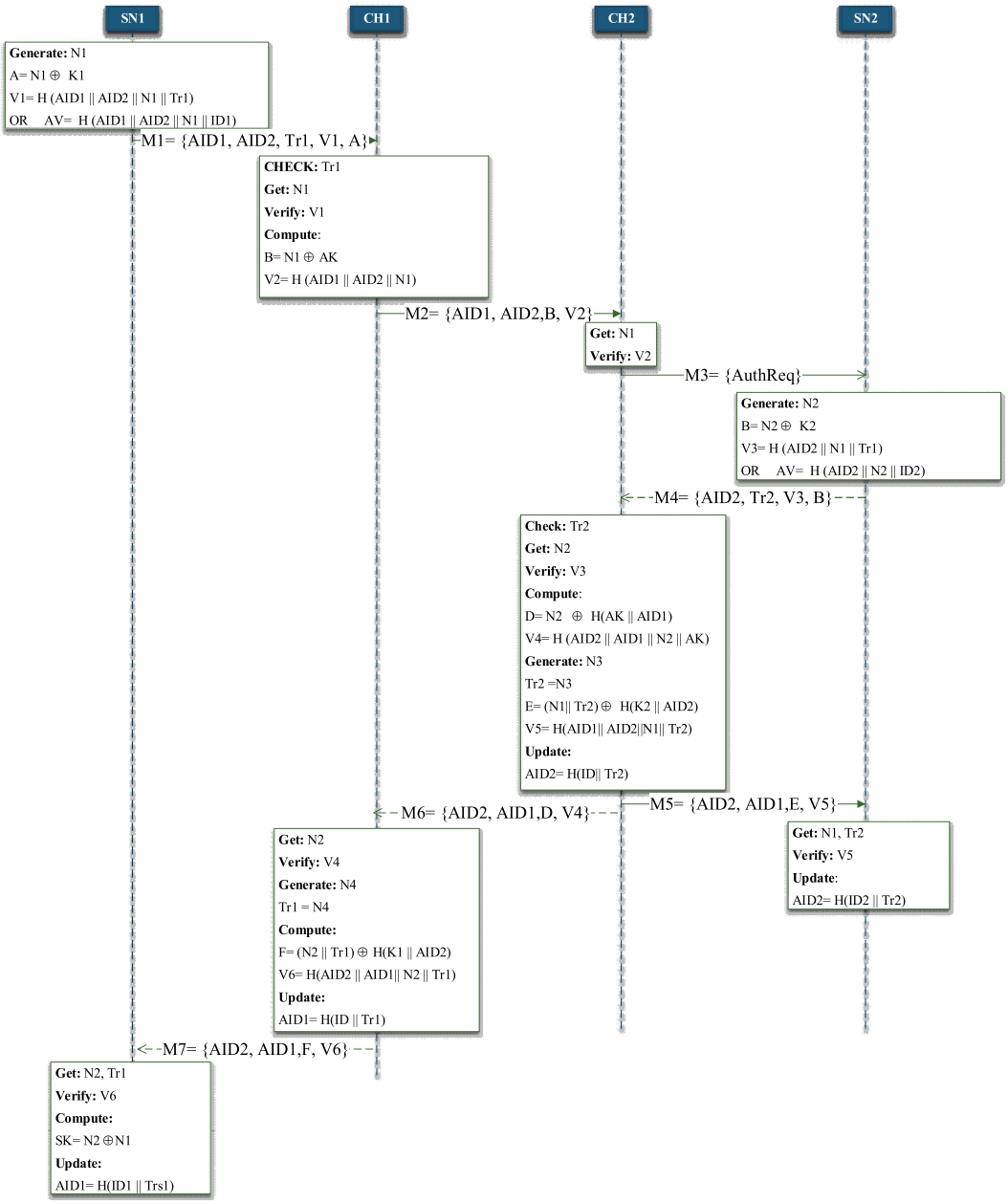
گام ۶: SN2 مقدار N1 و Tr2 را محاسبه و مقدار AID2 را به‌روزرسانی می‌کند. درنهایت مقدار کلید نشست برای این ارتباط محاسبه می‌شود.

گام ۷: در این مرحله مقدار N2 ترکیب‌شده با AK و V4 تولیدشده توسط CH2، برای CH1 ارسال می‌شود.

گام ۸: CH1 با دریافت پیام M6= {AID2, AID1,D, V4}، در ابتدا مقدار N2 را به‌دست می‌آورد و سپس مقدارهای Tr1 و AID1 را به‌روزرسانی می‌کند. درنهایت پیام M7= {AID2, AID1, F, V6} برای SN1 ارسال می‌شود.

گام ۹: SN1 مقدار N2 و Tr1 را محاسبه و مقدار AID1 را به‌روزرسانی می‌کند. هم‌چنین با به‌دست‌آوردن N2 می‌تواند کلید نشست SK را نیز محاسبه کند.

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]



(شکل-۵): احراز اصالت بین دو حس‌گر در سرخوشه‌های متفاوت

(Figure-5): Authentication between two sensors in the same cluster head

ذکر این نکته ضروری است که در پروتکل پیشنهادی، طول عمری برای کلید در نظر گرفته می‌شود، تا زمانی‌که این محدوده به پایان نرسیده باشد، موجودیت می‌تواند از طریق کلید، خود را برای موجودیت مقابلش احراز اصالت کند؛ اما درصورت اتمام طول عمر، ارتباط بایستی دوباره از مرحلهٔ ثبت نام آغاز شود. به‌عبارت دیگر طرح ابطال کلید برحسب طول عمر کلید است.

۴- تحلیل

۴-۱- برآورده ساختن نیازمندی‌های امنیتی

پروتکل‌های پیشنهادی مجموعه‌ای از نیازمندی‌های مطرح‌شده در حوزه IoT و احراز اصالت را در بر می‌گیرند. این نیازمندی‌ها عبارتند از: احراز اصالت دوطرفه، گمنامی، قابلیت عدم ردیابی، مقیاس‌پذیری، توافق کلید منصفانه، دسترس‌پذیری و سبک وزنی. همان‌طورکه در جدول (۲) مشخص است، طرح پیشنهادی به‌گونه‌ای طراحی شده که تمامی نیازمندی‌های امنیتی یادشده را پوشش دهد. این نیازمندی‌ها در طرح [17] و همکاران نیز برقرار هستند؛ اما براساس جدول (۴)، بار محاسباتی و درنتیجه زمان اجرای پروتکل [17] در مقایسه با پروتکل پیشنهادی بیشتر شده است.

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

(جدول-۲): نیازمندی‌های اینترنت اشیا
(Table-2): IoT Requirements

	احراز اصالت دوطرفه	گمنامی	قابلیت عدم ردیابی	مقیاس پذیری	توافق کلید منصفانه	دسترس پذیری
[14]	✓	×	×	✓	✓	✓
[17]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[15]	✓	✓	✓	×	×	✓
[16]	✓	✓	✓	✓	×	✓
[12]	✓	×	×	✓	✓	✓
طرح پیشنهادی	✓	✓	✓	✓	✓	✓

احراز اصالت دوطرفه: برای اثبات احراز اصالت دوطرفه دو حالت موجود است: ارتباط بین حس‌گرها در سرخوشه یکسان و دو سرخوشهٔ متفاوت. این ویژگی به‌طور کامل در تشریح پروتکل مشخص شده است. برای احراز اصالت موجودیت‌ها از عبارت‌های Vi (i=1,…,6) استفاده شده است.

گمنامی: پروتکل‌های پیشنهادی با استفاده از AID گمنام شده‌اند؛ چون مهاجم نمی‌تواند هویت واقعی حس‌گرها را شناسایی کند.

قابلیت عدم ردیابی: ساختار پویای AID و به‌روزرسانی آن پس از هر ارتباط، باعث می‌شود تا هیچ موجودیتی جز موجودیت قابل اعتمادِ بالادستی نتواند فعالیت‌های حس‌گر را دنبال کند.

مقیاس‌پذیری[1]: در ابتدا و در تمامی مراحل پروتکل‌های پیشنهادی، مقایسه Tri (Tri') مربوطه با مقدار ذخیره‌شده در پایگاه داده، باعث می شود تا بار محاسباتی شبکه با افزایش تعداد موجودیت‌ها، افزایش چشم‌گیری نداشته باشد و درنتیجه نیازی به انجام عملیات سنگین جستجو نخواهد بود.

توافق کلید به‌صورت منصفانه[2]: در پروتکل پیشنهادی هر دو موجودیت به یک اندازه در تولید کلید سهیم هستند. درنتیجه توافق کلید SK به‌صورت منصفانه انجام شده است تا در مراحل بعد، اطلاعات به‌صورت ایمن بین SNها مبادله شود.

دسترس‌پذیری[3]: در بسیاری از پروتکل‌های احراز اصالت، یک سری کلید محرمانه بین موجودیت‌ها وجود دارد که بعد از هر بار نشست، به‌روزرسانی می‌شوند. این به‌روزرسانی امکان حملهٔ ناهم‌زمانی[4] یا حملهٔ انکار سرویس[5] را افزایش می‌دهد و به‌طورکلی دسترس‌پذیری فرآیند احراز اصالت را مورد تهدید قرار می‌دهد. در پروتکل پیشنهادی برای جلوگیری از این حملات عبارت AV تولید شده است. در این عبارت به‌جای Tr از ID حس‌گر استفاده شده است تا اگر چنین حملاتی رخ داد، به جای V1، عبارتAV ارسال شود. به همین دلیل دسترس‌پذیری در این پروتکل برقرار شده است.

سبک وزنی: با توجه به این‌که حس‌گرها محدودیت‌های محاسباتی و پردازشی دارند، برای احراز اصالت فقط از تابع چکیده‌ساز و عمل‌گرهای یای انحصاری و الحاق استفاده شده است تا نسبت به سایر روش‌ها و توابع رمزنگاری، راه‌حل سبک‌تری ارائه شود. هم‌چنین در بخش ۴-۳ بار محاسباتی پروتکل پیشنهادی با سایر طرح ها مقایسه خواهد شد تا سبک وزنی آن به‌صورت کمی نیز تضمین شود.

۴-۲- مقابله با حملات مختلف

در این بخش، انواع حملات مختلف را نام برده و دلیل مقاومت پروتکل پیشنهادی در مقابل این حملات را بیان می‌کنیم.

حمله جعل هویت: در پروتکل پیشنهادی، فقط حس‌گر قانونی می‌تواند پیام M1 یا M3 را برای CH ارسال کند. چون این پیام‌ها شامل Tri مخفی بین حس‌گر و CH، N1 (یا N2) ترکیب‌شده با کلید مشترک بین حس‌گر و CH هستند. به همین جهت، مهاجم برای محاسبهٔ این پیام‌ها نیاز دارد تا مقدار کلید مشترک بین حس‌گر و CH را داشته باشد. به‌طور مشابه، فقط CH قانونی می‌تواند پیام‌های M4 و M5 را تولید کند؛ چون این پیام‌ها نیز وابسته به کلید مشترک بین حس‌گر و CH هستند. به همین علت، پروتکل در مقابله با حمله جعل هویت مقاوم است.

حملهٔ تکرار: فرض کنید مهاجم پیام M1 را ضبط کرده و بعدها دوباره برای CH ارسال می‌کند. با توجه به این‌که CH در همان ابتدا مقدار Tr1 را بررسی می‌کند، درصورت تکرار، این حمله کشف می‌شود. روال مشابهی برای پیام M3 نیز رخ می‌دهد؛ زیرا CH بلافاصله بعد از دریافت آن، مقدار Tr2 را تطبیق می‌دهد. هم‌چنین اگر پیام‌های M4 و M5 توسط مهاجم دوباره برای حس‌گرها ارسال شوند، به‌دلیل وجود مقدار تصادفی N1 و N2، مقدار عبارت‌های V4 و V3 دریافتی با مقدار محاسبه‌شده متفاوت خواهد بود و حمله تکرار کشف خواهد شد.

حملهٔ مرد میانی[6]: باتوجه به عبارت‌های ارسالی V1 تا V6 در پیام‌های M1 تا M7 و فرآیند احراز اصالت هر یک از

[1] Scalability
[2] Fair Key Agreement
[3] Availability
[4] De-synchronization Attack
[5] Denial of Service Attack
[6] Man In the Middle

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

این عبارات در سمت گیرنده، هرگونه تغییر در داده‌ها توسط فرد میانی، قابل تشخیص خواهد بود. از طرفی تمامی مقادیر موجود در عبارت‌های ارسالی روی خط نیز ارسال می‌شوند که درصورت ایجاد تغییر، در طول فرآیند احراز اصالت این تغییر کشف می‌شود.

حملهٔ استراق سمع[1]: درصورتی‌که مهاجم پیام‌های ارسالی را شنود کند، به داده‌های حساس و مهم دسترسی پیدا نمی‌کند؛ زیرا این داده‌ها قبل از ارسال با یک مقدار تصادفی ترکیب شده و در عبارت‌های V1 تا V4 قرار می‌گیرند تا هم مقدار حقیقی پنهان و هم مقادیر ارسالی به‌صورت تصادفی تولید شود.

حملهٔ انکار سرویس: درصورتی‌که مهاجم پیام‌ها را شنود کرده و مجموعه‌ای از آنها را دوباره و یکجا برای CH ارسال کند، فقط با بررسی مقدار Tr، امکان کشف این حمله وجود دارد؛ چون سایر محاسبات اضافی جهت احراز اصالت انجام نمی‌شوند. به همین سبب، امکان جلوگیری از حمله انکار سرویس وجود دارد.

حملهٔ ناهمگام‌سازی: اگر مهاجم بتواند در فرآیندهای به‌روزرسانی مراحل احراز اصالت، خللی وارد کند، احتمال رخداد حمله ناهمگام‌سازی به‌وجود می‌آید. سازوکار لازم برای مقابله با این حمله، استفاده از عبارت AV به جای Vi است. در عبارت AV به جای Tr از ID حس‌گر استفاده می‌شود تا اگر خللی در به‌روزرسانی Tr به‌وجود آمد، حمله ناهمگام‌سازی رخ ندهد.

در جدول (۳) نیز مقاومت پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های پیشین مقایسه شده است. حملات عبارتند از: جعل هویت، تکرار، مرد میانی، استراق سمع، انکار سرویس و ناهمگام‌سازی.

(جدول-۳): مقابله با حملات مختلف
(Table-3): Resistance against attacks

	جعل هویت	تکرار	مرد میانی	استراق سمع	انکار سرویس	ناهمگام‌ساز
[14]	✓	×	×	×	✓	✓
[17]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[15]	×	✓	×	✓	×	×
[16]	✓	×	✓	✓	✓	✓
طرح پیشنهادی	✓	✓	✓	✓	✓	✓

[1] Eavesdropping Attack

۳-۴- مقایسهٔ هزینهٔ محاسباتی

حس‌گرها قدرت پردازشی و محاسباتی پایینی دارند؛ به همین جهت بایستی هزینه محاسباتی پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های پیشین مقایسه شود (جدول۴). نمادهای Tmul، Tinv، Teca، Tecm و Th به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ زمان اجرای عملیات ضرب پیمانه‌ای، عملیات معکوس ضربی، عملیات جمع نقطه‌ای منحنی بیضوی، عملیات ضرب نقطه‌ای منحنی بیضوی و عملیات تابع چکیده‌ساز هستند. زمان اجرای عملیات مختلف براساس ضرب پیمانه‌ای بیان و زمان اجرای پروتکل‌ها به‌طور تقریبی محاسبه می‌شوند.

(جدول-۴): مقایسه بار محاسباتی و زمان اجرای پروتکل‌ها
(Table-4): Comparison of computational cost and protocol time execution

	بار محاسباتی	زمان اجرای پروتکل
[14]	$2T_{.ECC}+T_{+ECC}+2T_H+2T_{MAC}$	$\approx 2406.44T_{mul}$
[16]	$12_{TH} + 6T_{XOR} + 28T_{\|\|}$	$\approx 4.32T_{mul}$
[17]	$18_{TH} + 11T_{XOR} + 10T_{\|\|}$	$\approx 6.48T_{mul}$
[15]	$20_{TH} + 30T_{XOR} + 18T_{\|\|}$	$\approx 7.21T_{mul}$
طرح پیشنهادی	$16_{TH} + 9T_{XOR} + 30T_{\|\|}$	$\approx 5.76T_{mul}$

باتوجه به [18]، Tinv ≈ 3Tmul، Teca ≈ 5Tmul، Tecm ≈ 1200Tmul و Th ≈ 0.36Tmul است.

مقایسهٔ پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های مشابه، بیان‌گر این موضوع است که پروتکل پیشنهادی توانسته است با مقدار مناسبی، هزینهٔ محاسباتی و زمان اجرا، ویژگی‌های مختلفی را برآورده ساخته و در مقابل حملات گوناگون مقاوم باشد.

۵- نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا مفهوم جدیدی است که در سال‌های اخیر، توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. این‌که تمامی اشیا بتوانند از طریق اینترنت با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، مبنای کار این مفهوم است. با افزایش ارتباطات، احراز اصالت به‌عنوان یکی از مسائل کلیدی این حوزه ظاهر می‌شود؛ که به‌علت محدودیت‌های محاسباتی اشیا، بهتر است از راه‌حل‌های سبک و متقارن استفاده شود. از طرفی یکی از مباحث مهم در اینترنت اشیا، مسئلهٔ گمنامی است بدین معنا که کاربران و

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

موجودیت‌های شبکه، تمایلی به شناخته‌شدن در شبکه ندارند و ترجیح می‌دهند به‌صورت گمنام ارتباطات خود را با سایر موجودیت‌ها حفظ کنند. با بررسی پژوهش‌های پیشین و تحلیل آسیب‌پذیری‌ها و مشکلات آنها، مشاهده شد که بیش‌تر پروتکل‌های احراز اصالت، پارامترهای مهم در این حوزه را یکجا لحاظ نکرده‌اند. برخی، از گواهی‌نامه‌های استانداردی، از جمله گواهی‌نامه X.509 و کلید عمومی RSA استفاده کرده‌اند که برای حس‌گرهایی با قدرت محاسباتی پایین و منابع محدود، بیش از حد سنگین است؛ برخی، بیش‌تر روی گمنامی توجه داشته و از رمزنگاری‌هایی مانند رمزنگاری خم بیضوی استفاده کرده‌اند، اما همچنان مشکل سنگینی پروتکل پابرجا بوده است. برخی دیگر بیشتر روی سبک وزنی تمرکز کرده و به‌جای استفاده از توابع رمزنگاری، از تابع چکیده‌ساز و عملگرهای منطقی ساده بهره برده‌اند؛ اما این پروتکل‌ها نیز در مقابل حملات خاصی آسیب‌پذیر بوده‌اند. از طرفی، هر یک از این پژوهش‌ها، بخشی از نیازمندی‌های امنیتی محیط اینترنت اشیا را در نظر گرفته‌اند و موفق به جلوگیری از برخی حملات خاص نشده‌اند. علاوه‌براین بسیاری از پروتکل‌های ارائه‌شده، تنها ارتباط یک موجودیت با موجودیت بالادستی را در نظر گرفته‌اند؛ درحالی‌که بررسی ارتباط بین موجودیت‌ها نیز امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

لذا بر آن شدیم تا پروتکل احراز اصالتی به‌صورت سلسله‌مراتبی بین موجودیت‌ها در خوشهٔ یکسان و دو خوشه متفاوت ارائه کنیم که ضمن برآوردساختن نیازمندی‌های امنیتی لازم، از جمله گمنامی، قابلیت عدم ردیابی و سبک‌وزنی، تا حد ممکن نیز نسبت به حملات مقاوم باشد. در طراحی این پروتکل از تابع چکیده‌ساز و عمل‌گرهای منطقی یای انحصاری و الحاق استفاده شده است. در ادامه، پروتکل پیشنهادی از چند منظر مورد تحلیل واقع شد. بدین صورت که ابتدا نیازمندی‌های امنیتی پروتکل‌ها با یکدیگر مقایسه شده و سپس ارزیابی مناسبی از مقاومت آنها در برابر حملات گوناگون ارائه شد. درنهایت، هزینهٔ محاسباتی مبتنی بر عمل ضرب پیمانه‌ای برآورد و تخمین زده شد. با توجه به مقایسه‌ها، به این نتیجه رسیدیم که پروتکل پیشنهادی با حفظ سبک‌وزنی توانسته ویژگی‌های مختلفی را پوشش دهد و با حملات مختلف مقابله کند.

۶- مراجع 6- References

[1] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini, and I. Chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," *Ad Hoc Networks,* vol. 10, pp. 1497-1516, 2012.

[2] K. Ashton, "That 'internet of things' thing," *RFiD Journal,* vol. 22, pp. 97-114, 2009.

[3] M. Abomhara and G. M. Koien, "Security and privacy in the Internet of Things: Current status and open issues," in *Privacy and Security in Mobile Systems (PRISMS), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 1-8.

[4] D. Bandyopadhyay and J. Sen, "Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization," *Wireless Personal Communications,* vol. 58, pp. 49-69, 2011.

[5] R. Roman, J. Zhou, and J. Lopez, "On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things," *Computer Networks,* vol. 57, pp. 2266-2279, 2013.

[6] E. Vasilomanolakis, J. Daubert, M. Luthra, V. Gazis, A. Wiesmaier, and P. Kikiras, "On the Security and Privacy of Internet of Things Architectures and Systems," in *Secure Internet of Things (SIoT), 2015 International Workshop on*, 2015, pp. 49-57.

[7] J. M. Kizza, "Computer Network Security Protocols," in *Guide to Computer Network Security*, ed: Springer, 2015, pp. 357-386.

[8] M. R. Kanjee, K. Divi, and H. Liu, "A physiological authentication scheme in secure healthcare sensor networks," in *Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference on*, 2010, pp. 1-3.

[9] T. Kothmayr, C. Schmitt, W. Hu, M. Brunig, and G. Carle, "A DTLS based end-to-end security architecture for the Internet of Things with two-way authentication," in *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops), 2012 IEEE 37th Conference on*, 2012, pp. 956-963.

[10] M. Hernandez-Goya and P. Caballero-Gil, "Analysis of Lightweight Cryptographic Solutions for Authentication in IoT," in *Inter-national Conference on Computer Aided Systems Theory*, 2013, pp. 373-380.

[11] S. Janbabaei, H. Gharaee, and N. Mohammadzadeh, "Lightweight, anonymous and mutual authentication in IoT infrastructure," in *Telecommunications (IST), 2016 8th Interna-tional Symposium on*, 2016, pp. 162-166.

[12] D. A. Ha, K. T. Nguyen, and J. K. Zao, "Efficient authentication of resource-constrained IoT devices based on ECQV implicit certificates and datagram transport layer security protocol," in *Proceedings of the Seventh Symposium on Information and Communication Technology*, 2016, pp. 173-179.

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]

[13] P. Porambage, C. Schmitt, P. Kumar, A. Gurtov, and M. Ylianttila, "Two-phase authentication protocol for wireless sensor networks in distributed IoT applications," in *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2014 IEEE*, 2014, pp. 2728-2733.

[14] P. Porambage, C. Schmitt, P. Kumar, A. Gurtov, and M. Ylianttila, "Pauthkey: A pervasive authentication protocol and key establishment scheme for wireless sensor networks in distributed iot applications," *International Journal of Distributed Sensor Networks,* vol. 2014, 2014.

[15] K. Srivastava, A. K. Awasthi, S. D. Kaul, and R. Mittal, "A hash based mutual RFID tag authentication protocol in telecare medicine information system," *Journal of medical systems,* vol. 39, p. 153, 2015.

[16] P. Gope and T. Hwang, "Untraceable sensor movement in distributed IoT infrastructure," *Sensors Journal, IEEE,* vol. 15, pp. 5340-5348, 2015.

[17] M.-C. Chuang and J.-F. Lee, "TEAM: Trust-extended authentication mechanism for vehicular ad hoc networks," *Systems Journal, IEEE,* vol. 8, pp. 749-758, 2014.

[18] D. He and S. Zeadally, "An analysis of RFID authentication schemes for internet of things in healthcare environment using elliptic curve cryptography," *IEEE Internet of Things Journal,* vol. 2, pp. 72-83, 2015.

شادی جانبابائی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی رشته مهندسی فناوری اطلاعات در دانشگاه صنعتی ارومیه در سال ۱۳۹۱ به اتمام رساند و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات گرایش امنیت اطلاعات از دانشگاه شاهد تهران در سال ۱۳۹۵ اخذ کرد.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

sh_janbabaei@yahoo.com

حسین قرائی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک در دانشکدهٔ مهندسی برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در سال ۱۳۷۷ به اتمام رسانید. مقاطع کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق – الکترونیک را در دانشکدهٔ مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ تکمیل کرد. از سال ۱۳۸۱ تاکنون عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات مخابرات است و زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی مدارات VLSI دیجیتال، آنالوگ و سیگنال مختلط، پردازش سیگنال‌های دیجیتال، سامانه‌های تشخیص و پیش‌گیری از نفوذ، مرکز عملیات امنیت و اجزای آن و مراکز اشتراک‌گذاری و تحلیل اطلاعات است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

gharaee@itrc.ac.ir

ناصر محمدزاده تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف به ترتیب در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ به اتمام رسانید. او مقطع دکترای مهندسی کامپیوتر را در دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر در سال ۱۳۸۹ تکمیل کرد. از سال ۱۳۹۰ تاکنون عضو هیأت علمی دانشگاه شاهد و زمینه‌های پژوهشی مورد علاقهٔ ایشان محاسبات کوانتومی، طراحی مدارات VLSI دیجیتال، پردازش سیگنال‌های دیجیتال، سامانه‌های تشخیص و پیش‌گیری از نفوذ است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

mohammadzadeh@shahed.ac.ir

[DOI: 10.29252/jsdp.15.4.111]