Scientific Journal of Passive Defence
Vol. 15, No. 2, Summer 2024, Serial No. 58
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

The Mapping Pattern of Quantum Technologies in Ict and Basic Electronic Missions of the Target Organization

Seyed Ali Soleimani, Ali Naseri*, Mohammad Reza Karimi Kahrodi

*Professor of Imam Hossein University (AS), Tehran, Iran

(Received: 06/11/2023, Revised: 25/12/2023, Accepted: 19/02/2024, Published: 15/08/2024)

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.4.3

ABSTRACT

Today, one of the paradigms of the field of technology is quantum. A lot of research activities and international patents registration indicate that researchers are achieving quantum technologies at high speed. Expert surveys show that countries are trying to achieve quantum technologies with careful planning and focusing on creating scientific alliances. Certainly, the use of these technologies in the defense and non -defense sectors has opportunities and threats. Organizations are confused in the use of quantum technologies due to the complexity of knowledge and lack of knowledge of functional characteristics. In this paper, according to the functional characteristics and mission geography of the target organization, the quantum technologies that can be used in ICT and basic electronic missions were extracted with expert opinion. Then, a questionnaire of 76 questions (validity 0.638 and reliability 0.86) was prepared and sent to 27 people of the target community and questionnaire description sessions were held for the target community. At the end, completed questionnaires were collected and analyzed. From their analysis, "The mapping pattern of quantum technologies in ICT and basic- electronic missions of the target organization" was obtained. Results of questionnaire analysis and expert meetings with research and operational experts at the level of the target organization, the five priorities, (1. Quantum key generator, quantum key distribution and quantum DAS system, 2. Quantum communication based on sending and receiving a single photon on optical fiber and FSO, 3. Quantum gyroscope and accelerometer, quantum sensor and quantum clock, 4. Quantum processor, 5. Communications based on entangled pair properties by optical fiber and FSO, quantum radar) were determined for the target organization.

Keywords: Pattern Mapping, Quantum Technology, ICT, Basic Electronic System

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: anaseri@ihu.ac.ir

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، (پیاپی ۵۸): صص ۵۹-۴۹

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | **شاپای الکترونیکی:** ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی – پژوهشی

الگوی نگاشت فناوری‌های کوانتومی در مأموریت‌های فاوایی و الکترونیک پایه سازمان هدف

سید علی سلیمانی[۱]، علی ناصری[۲*]، محمد رضا کریمی قهرودی[۳]

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.4.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

چکیده

امروزه یکی از پارادایم‌های حوزه فناوری، کوانتوم می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی خیلی زیاد و ثبت پتنت‌های بین‌المللی زیاد در حوزه کوانتوم، نشان از سرعت فوق‌العاده محققین در دستیابی به فناوری‌های کوانتومی دارد. بررسی‌های کارشناسی حاکی از آن است که کشورهای مطرح با برنامه‌ریزی‌های دقیق و تمرکز بر تشکیل ائتلاف‌های علمی، تلاش می‌نمایند به فناوری‌های مذکور، دست یابند. قطعاً بهره‌گیری از این فناوری‌ها در بخش‌های مختلف اعم از دفاعی و غیر دفاعی فرصت‌ها و تهدیداتی را به دنبال خواهد داشت. سازمان‌ها، علی‌الخصوص سازمان‌های دفاعی با توجه به کاربردهای فوق‌العاده فناوری‌های کوانتوم و همچنین گستره دانشی و پیچیدگی آن همواره در برنامه‌ریزی، دستیابی و بهره‌گیری از این فناوری‌ها دچار سردرگمی می‌باشند. در این مقاله با توجه به ویژگی‌های کارکردی و جغرافیای مأموریتی سازمان هدف، فناوری‌های کوانتومی قابل استفاده در مأموریت‌های فاوایی و الکترونیک پایه سازمان با نظر خبرگی احصاء گردید و سپس طی پرسشنامه ۷۶ سؤالی با روایی معادل ۰/۶۳۸ و پایایی معادل ۰/۸۶ به صورت تمام شمار برای ۲۷ نفر از جامعه هدف ارسال گردید. پس از برگزاری جلسات تشریح پرسشنامه برای جامعه هدف و جمع‌آوری تکمیل شده آنها "الگوی نگاشت فناوری‌های کوانتومی در مأموریت‌های فاوایی و الکترونیک پایه سازمان هدف" تبیین گردید. نتایج تحلیل پرسشنامه و نشست‌های تخصصی با صاحب‌نظران تحقیقاتی و عملیاتی سطح سازمان هدف، به ترتیب ۵ اولویت شامل مولد و توزیع کلید کوانتومی و سامانه DAS کوانتومی- ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری و FSO - ژیروسکوپ و شتاب‌سنج کوانتومی، سنسور کوانتومی و ساعت کوانتومی - پردازنده‌های کوانتومی- ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری و FSO و رادار کوانتومی تعیین گردید.

کلیدواژه‌ها: الگوی نگاشت، فناوری کوانتومی، فناوری اطلاعات و ارتباطات، سامانه الکترونیک پایه

[۱] دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

[۲] استاد دانشگاه جامع امام حسین (ع) ، تهران، ایران (anaseri@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

[۳] استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

۱- مقدمه

الکترونیک، ارتباطات و فناوری اطلاعات، مهم‌ترین رکن پشتیبانی صحنه نبرد محسوب می‌شود. در گذشته این فناوری‌های یکی از پارامترهای پشتیبانی صحنه عملیات بود. امروزه پیشرفت الکترونیک و فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی و سامانه‌های الکترونیک پایه باعث پیچیدگی فوق‌العاده مؤلفه‌ها و تعاملات بین مؤلفه‌ای صحنه عملیات شده است. انقلاب اول کوانتوم، زمانی شروع شد که قوانین مکانیک کوانتومی توسط فیزیکدانان کشف و معرفی شدند. در این دوران ایده دوگانگی موج-ذره مطرح شد که بر طبق آن ذرات مادی گاهی مانند موج رفتار می‌کنند و امواج الکترومغناطیس گاهی رفتار ذره گونه از خود بروز می‌دهند. این ایده در واقع مبنا و اساس انقلاب اول کوانتومی بود. شناخت رفتار موج گونه الکترون موجب توسعه فیزیک نیمه‌هادی و صنعت تراشه‌های کامپیوتری شد که به عصر اطلاعات انجامید. از طرف دیگر پذیرش رفتار ذره گونه نور، فهم پدیده فوتوالکتریک را امکان‌پذیر ساخت که منجر به ساخت سلول‌های خورشیدی و توصیف نحوه عملکرد لیزر شد. هم اکنون در میانه انقلاب دوم کوانتوم، شاهد ظهور فناوری‌های کوانتومی بوده که بر مبنای کنترل خواص کوانتومی تک ذرات مانند تک الکترون‌ها و تک فوتون‌ها و به کارگیری قوانین و اصول بنیادین مکانیک کوانتومی مانند برهم‌نهی، درهم‌تنیدگی، اندازه‌گیری کوانتومی و ... استوار می‌باشند. بنابراین هر چند مکانیک کوانتومی به عنوان یک علم، کاملاً به بلوغ خود رسیده است، مهندسی و کنترل کوانتومی به عنوان فناوری، هم اکنون در حال ظهور و توسعه است[۱]. در سال‌های اخیر تحول شگرفی در توسعه فناوری‌های کوانتومی رخ داده است. نهادهای مطرح جهانی که آینده‌نگاری حوزه فناوری را انجام می‌دهد من‌جمله مرکز DCDC بریتانیا و آزمایشگاه لینکلن دانشگاه MIT بهره‌گیری از فناوری کوانتوم در عرصه‌های مختلف جامعه را پیش‌بینی نموده‌اند[۲]. در سال ۲۰۱۴، دولت انگلیس و اتحادیه اروپا به ترتیب بیش از ۲۷۰ میلیون پوند و یک میلیارد پوند در این زمینه سرمایه‌گذاری کرده‌اند تا به کانون تحولات فناوری کوانتومی تبدیل شوند. مؤسسه هادسون در گزارش ماه آگوست ۲۰۱۸ اذعان می‌دارد همان‌طور که سرنوشت جنگ جهانی دوم و آینده نظم نوین جهانی با ساخت بمب اتم معین شد، آینده لیبرال دمکراسی را سیطره و برتری در حوزه فناوری کوانتومی در دنیا رقم خواهد زد[۳]. پروفسور اوبراین رهبر مرکز فوتونیک کوانتوم در دانشگاه بریستول، اعلام داشتند «اینترنت و شبکه‌های کوانتومی و سایر فناوری‌های کوانتومی این پتانسیل را دارد که کسب و کارهای سنتی را برهم زند و امنیت سایبری ما را به چالش بکشد». مرکز محاسبات و مخابرات کوانتومی استرالیا مبلغ ۲۶ میلیون دلار برای تحقیق و توسعه ۵ ساله دریافت نمود. ماهواره کوانتومی چین موسوم به QUESS نخستین نتیجه موفقیت‌آمیز در برپایی شبکه کوانتومی با استفاده از درهم تنیدگی کوانتومی و انتقال سیگنال‌های غیر قابل هک به حساب می‌آید. مسافت جابجایی اطلاعات با استفاده از این ماهواره ۱۲۰۰ کیلومتر است. جیان وی پان سرپرست شبکه ارتباطی کوانتومی چین از دانشگاه علم و فناوری چین، بیان کرد که انتظار دارد تا سال ۲۰۳۰ شبکه کوانتومی جهانی پدید آید. دانشگاه استرسکلاید اسکاتلند در همکاری با دانشگاه ملی سنگاپور برنامه‌ریزی کرده است تکنیک ارتباطات کوانتمی مبتنی بر درهم تنیدگی را با استفاده از ماهواره Cubesat پیاده‌سازی کنند. همچنین یک تیم از کانادا نیز به روشی‌هایی برای تولید فوتون‌های درهم‌تنیده دست یافته است. یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه پادووا در کشور ایتالیا، درهم تنیدگی را از یک ایستگاهی روی زمین به ماهواره‌ای در مداری به فاصله ۲۰۰۰۰ کیلومتری ارسال کردند[۴]. فناوری‌های نوین قطعاً در پیشبرد اهداف صحنه نبرد تأثیرگذار خواهند بود. فناوری‌های نوظهور سازمان‌های دفاعی را در برنامه‌ریزی مرسوم خود دچار چالش می‌نماید. رویکرد مناسب سازمان‌های دفاعی برای بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور، دغدغه ذهنی و فکری فرماندهان و مدیران سطوح مختلف سازمان را برطرف می‌نماید. شناخت دقیق فناوری و پارامترها و مؤلفه‌های صحنه نبرد مسیر توسعه و بهره‌گیری از فناوری را هموار خواهد نمود. یکی از مهم‌ترین فناوری‌های نوظهور، فناوری کوانتوم است که بسیار در موفقیت صحنه نبرد تأثیرگذار است.

۲- ویژگی‌ها و مأموریت‌های سازمان هدف

فناوری کوانتوم در حوزه‌های مختلف مأموریتی سازمان هدف کاربرد دارد و می‌تواند در پیشبرد صحنه عملیات و نبرد در قلمرو مأموریتی سازمان هدف نقش‌آفرین باشد. سازمان هدف مورد نظر تحقیق سازمانی دفاعی است که دارای ویژگی‌های زیر است:

- گستره جغرافیایی وسیع
- ناهمگونی در قلمرو عملکردی
- ناهمطرازی در نبرد

مأموریت‌های الکترونیک پایه و فاوا پایه سازمان هدف اقتباس شده از مأموریت‌های عملیاتی و پشتیبانی نیرو که با بررسی اسناد بالادستی نیرو و نظر خبرگی احصاء شده‌اند به شرح زیر می‌باشند:

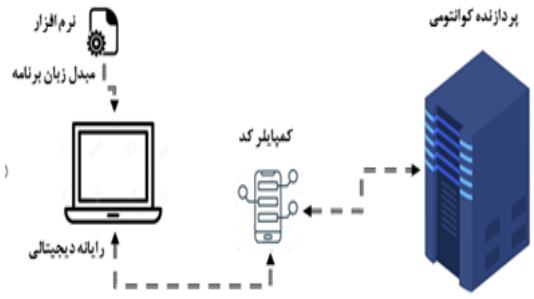
- تأمین شبکه ارتباطاتی زیرساختی امن و پایدار
- تأمین شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار
- تأمین شبکه مراقبت و کنترل امن، پایدار و بلادرنگ
- ناوبری امن، پایدار، سریع و دقیق سامانه‌ها و تسلیحات ثابت و متحرک
- کمک به هوشمندسازی و بلادرنگی تجهیزات، سامانه‌ها و تسلیحات دفاعی
- صحنه نبرد هوشمند
- فرماندهی و کنترل یکپارچه صحنه نبرد در گستره جغرافیایی
- آگاهی وضعیتی یکپارچه و جامع از صحنه نبرد

۳- فناوری‌های کوانتومی حوزه فاوا و سامانه‌های الکترونیک پایه سازمان هدف

بررسی‌های کارشناسی بر روی فناوری‌های کوانتومی نشان می‌دهد فناوری‌های کوانتومی در حوزه کاربردهای الکترونیکی و فناوری اطلاعات و ارتباطات را می‌توان به شرح زیر بیان نمود[۵] و[۶] :

❖ مدار واسط و نرم‌افزار مترجم برنامه برای کامپیوترهای کوانتومی

برای بهره‌گیری از پردازنده‌های کوانتومی و تعریف مسائل برای پردازش در پردازنده‌های کوانتومی نیاز به یک مبدل زبان برنامه نویسی است که بتواند روابط، مسائل، دیتاها و .... را به درستی برای پردازنده کوانتومی تعریف و بعد از حل مسئله خروجی را از حالت کوانتومی به زبان ماشین امروزی در آورده و بر روی رایانه‌های دیجیتالی رایج به نمایش بگذارد. این محصول برای انتقال الگوریتم‌ها و پردازش‌هایی با محاسبات بالا به پردازنده کوانتومی و نمایش پاسخ‌ها، طراحی و مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل (۱) مدار واسط و کامپایلر مذکور را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مدار واسط و کامپایلر

❖ ارتباطات کوانتومی

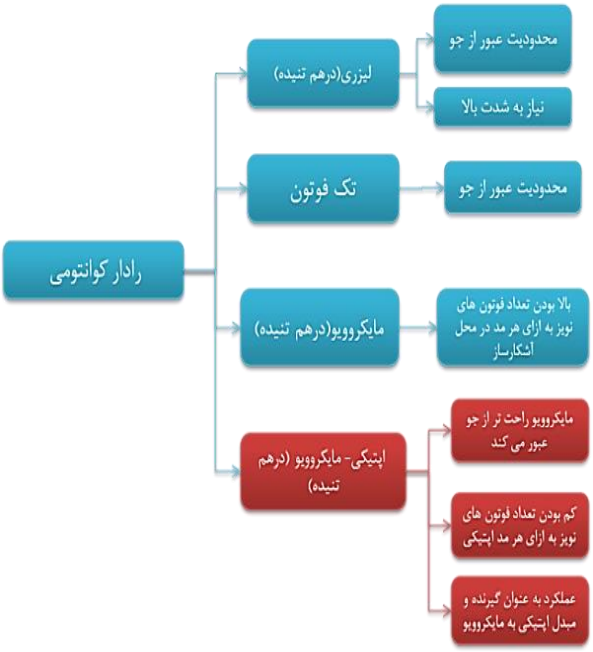
ارتباطات کوانتومی به چهار روش زیر مطرح می‌شوند:[۷]

- بستر انتقال فیبر نوری و استفاده از تک فوتون‌های کوانتومی
- بستر انتقال فیبر نوری و استفاده از زوج فوتون‌های درهم‌تنیده کوانتومی
- بستر انتقال فضای آزاد و استفاده از تک فوتون‌های کوانتومی
- بستر انتقال فضای آزاد و استفاده از زوج فوتون‌های درهم‌تنیده کوانتومی

❖ رادارکوانتومی

رادار کوانتومی یک سیستم پدافندی بسیار مؤثر در آشکارسازی اشیاء پرنده رادار گریز و اشیاء دارای سطح مقطع راداری بسیار کم می‌باشد. اساس عملکرد این سیستم بر پایه استفاده از فوتون‌های درهم‌تنیده و همبسته کوانتومی و فوتون‌های دارای حالت کوانتومی مشخص می‌باشد. متداول‌ترین پروتکل‌های مورد استفاده در رادارهای کوانتومی، روشن‌سازی کوانتومی، تصویربرداری روحی کوانتومی و رادار تک فوتون است. روشن‌سازی کوانتومی یکی از عملیاتی‌ترین روش‌های قابل استفاده در رادار کوانتومی می‌باشد. در این شیوه مناسب‌ترین حالت این است که از زوج درهم-تنیده اپتیکی- مایکروویو استفاده شود به این صورت که فوتون‌های مایکروویو به سمت هدف و فوتون‌های اپتیکی به سمت آشکارساز فرستاده می‌شوند و این دو هم‌زمان به محل آشکارساز می‌رسند و منجر به افزایش نسبت سیگنال به نویز متناسب با تعداد مدهای درهم تنیده می‌شوند. همچنین به دلیل اینکه در رادار کوانتومی از حالت‌های مشخص کوانتومی استفاده می‌شود امکان ایجاد اختلال و جمینگ[1] در آن تا حد زیادی پایین می‌باشد. یک آشکارساز کوانتومی در دمای ۷۷ کلوین می‌تواند فوتون‌های ماکروویو برگشتی از هدف را که درهم‌تنیده با فوتون‌های مرئی در سیستم تولید شده است را آشکارسازی نماید. با این روش سیگنال به نویز به شدت افزایش پیدا می‌کند. روش‌های مختلف دستیابی به رادار کوانتومی در شکل (۲) نشان داده شده است.[۲] و [۸].

[1] Jamming



شکل (۲): روش‌های دستیابی به رادار کوانتومی[۹]

همان‌طور که در شکل (۲) آمده است در بین روش‌های مختلف، رادار اپتیکی مایکروویوی (مبتنی بر درهم تنیدگی) از همه مناسب‌تر است.

❖ ناوبری کوانتومی

این سامانه که از دو بخش شتاب سنج و ژیروسکوپ تشکیل شده است با داشتن ۶ درجه آزادی (سه درجه برای شتاب در سه راستا و سه درجه برای چرخش و سرعت زاویه‌ای در سه جهت) قابلیت ناوبری کامل وسایل متحرک را به‌صورت کاملاً مستقل از GPS دارا است. مکانیسم عملکرد سامانه، بر اساس کاواک‌های اپتومکانیک کوانتومی است که ابعادی در مقیاس میکرو و نانو دارند و اندازه‌گیری شتاب، میزان چرخش و سرعت زاویه‌ای چرخش در آن‌ها به کمک مفاهیمی چون افت و خیزهای کوانتومی (Quantum Fluctuations)، فشرده‌سازی تابش (Light Squeezing) و درهم تنیدگی کوانتومی (Quantum Entanglement) صورت می‌گیرد. این سامانه دقت اندازه‌گیری را چندین مرتبه از نمونه شتاب سنج و ژیروسکوپ‌های استراتژیک موجود ارتقا می‌دهد و با توجه به همین موضوع، قابلیت جایگزینی برای سیستم‌های ناوبری چون GPS را دارا می‌باشند [۲] و[۹].

❖ پردازنده‌های کوانتومی

کامپیوترهای کوانتومی نسل آینده پردازش‌های کامپیوتری هستند که می‌توانند دنیای فناوری اطلاعات را به کلی دگرگون کنند. رایانه‌های کوانتومی از پدیده‌ها و قوانین مکانیک کوانتوم مانند برهم نهی یا درهم تنیدگی برای انجام محاسبات استفاده می‌کنند. محیط فوق‌العاده سرد پیش شرط الزامی برای بروز رفتار کوانتومی ذرات است.

مسائلی که زمانی تصور می‌شد غیر قابل حل است، در کامپیوترهای کوانتومی حل خواهد شد و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. حتّی ابر کامپیوترها هم در برابر آنها رقیبی محسوب نخواهند شد. کامپیوترهای کوانتومی به جای استفاده از ترانزیستورها و مدارهای رایانه‌ای معمولی از اتم‌ها و سایر ذرات ریز مانند نانو ذرات نیمه‌رسانا یا به اصطلاح نقاط کوانتومی برای پردازش اطلاعات استفاده می‌کنند. اصول حاکم دریک کامپیوتر کوانتومی نسبت به کامپیوترهای کلاسیک، تغییر نموده است و نه تنها، یک بیت کوانتومی، موسوم به کیوبیت می‌تواند در حالت‌های صفر و یک کلاسیک وجود داشته باشد بلکه همچنین می‌توانند در حالت برهم نهی قرار داشته باشد. پردازنده‌های کوانتومی در دو دسته پردازنده کوانتومی خاص منظوره و پردازنده کوانتومی همه منظوره مطرح می‌گردند [۲] و[۹].

❖ پرتوسنج کوانتومی

پرتو سنج کوانتومی شامل سنسور و الگوریتم‌های کوانتومی است. در پرتوسنج کوانتومی طیف نگاری انواع ذرات باردار و ذرات بنیادی و فوتون‌ها به صورت یکجا و یکپارچه مشابه سیستم‌های SPRD انجام می‌شود. با ایجاد یک آرایه از این SPRD ها می‌توان قابلیت‌های پدافندی و تشخیص مربوط به تهدیدات حوزه جنگ‌های نوین هسته‌ای را به طور چشم‌گیری ارتقا داد.

❖ ساعت کوانتومی

ساعت اپتیکی که دقت آن به مراتب بالاتر از ساعت اتمی است. خروجی ساعت اپتیکی از یک فرکانس نوری استاندارد حاصل می‌شود، چنین مرجعی بر اساس اتم‌ها یا یون‌هایی است که برای جلوگیری از پهن‌شدگی داپلر در یک تله نوری نگهداری می‌شوند و تحت لیزر خنک می‌شوند. فرکانس گذار آنها توسط یک با لیزر فرکانس تثبیت شده کاوش می‌شود، و فرکانس تابش آنها دقیقاً در گذار اتمی قفل شده است. این فرکانس نوری فوق‌العاده پایدار برای شمارش نوسانات الکترونیکی خیلی بالاست. همچنین ساعت اپتیکی را می‌توان با دقت به فرکانس‌های پایین (مایکروویو) مرتبط کرد. یک ساعت اپتیکی دقت و ثبات فرکانسی بسیار بالا را ارائه می‌دهد[۹].

❖ الگوریتم‌ها و محاسبات کوانتومی

برای حل مسائل نیاز به منابع کامپیوتری داریم و در حال حاضر مسائلی وجود دارند که حل آنها با کامپیوتر کلاسیک غیرممکن بوده و نیاز به منابع بهتری مانند کامپیوتری کوانتومی برای حل

آنها است. برای نخستین بار؛ نظریه کامپیوتر کوانتومی از سال ۱۹۸۲ توسط فیزیک‌دان مشهور و برنده جایزه نوبل ریچارد فاینمن، مطرح و پیشنهاد شد که باید محاسبات از دنیای دیجیتال وارد دنیای جدیدی به نام کوانتوم شود. الگوریتم‌های کوانتومی روشی است که هر مرحله آن بر روی کامپیوترهای کوانتومی قابل اجرا باشد. مسئله‌های غیرقابل حل با الگوریتم‌های کلاسیک همچنان با الگوریتم کوانتومی غیرقابل حل است. اما مزیت الگوریتم کوانتومی این است که مسئله‌های قابل حل با زمان کمتری حل می‌شوند. معروف‌ترین الگوریتم‌های کوانتومی الگوریتم شر برای تجزیه به عوامل اول و الگوریتم گراور برای جستجو در یک پایگاه داده نامرتب است. الگوریتم شر به صورت نمایی از بهترین الگوریتم کلاسیکی که تجزیه به عامل اول را انجام می‌دهد بهتر عمل می‌کند و همین‌طور الگوریتم گراور به اندازه رادیکال زمان بهترین الگوریتم کلاسیک با عملکرد مشابه زمان می‌گیرد [۹].

❖ توزیع کلید کوانتومی

تبادل کلید به طور امن بین دو کاربر از طریق یک کانال بالقوه نا امن، یک کار مهم در رمزنگاری است. در رمزنگاری مرسوم، اطلاعات دیجیتالی ارسال شده می‌تواند توسط یک استراق سمع شنود شود، بدون اینکه فرستنده یا گیرنده از وقوع این شنود آگاه گردد. در مقابل، استفاده از اصول مکانیک کوانتومی انتقال امن اطلاعات دیجیتال را تقویت می‌کند. در این حالت، استراق سمع منجر به افزایش چشمگیر خطا در انتقال داده می‌شود بطوریکه این خطا توسط کاربران قانونی قابل تشخیص است. هنگامی که کلید به طور امن بین کاربران قانونی رد و بدل شد، آن‌ها می‌توانند امنیت ارتباط را نیز تضمین کنند. توزیع کلید کوانتومی در افزایش سطح امنیت بسیار مؤثر است. از این رو حتی می‌توان گفت که رمزنگاری کوانتومی در نهایت به وظیفه انتقال امن کلیدهای رمزنگاری یا همان توزیع کلید کوانتومی منجر می‌شود. در کنار توزیع کلید کوانتومی بر بستر فیبر نوری ، روشهایی برای توزیع کلید کوانتومی بر بستر ماهواره نیز مطرح است. [۱۰] و [۱۱] و[۱۲].

❖ شبکه‌های کوانتومی

ارتباطات کوانتومی به تبادل اطلاعات کوانتومی از طریق یک شبکه کوانتومی اشاره دارد. یک شبکه کوانتومی از مجموعه‌ای از کانال‌های کوانتومی، که عمدتاً در بستر فیبر نوری و یا فضای آزاد هستند، برای تبادل اطلاعات کوانتومی یا کیوبیت بین نقاط مختلف شبکه استفاده می‌کند. در بیشتر موارد، اطلاعات کوانتومی توسط فوتون‌های منفرد حمل می‌شود و به این ترتیب انتقال اطلاعات کوانتومی همواره در معرض چالش است. علاوه بر این، بسیاری از برنامه‌های کاربردی شبکه کوانتومی مبتنی بر درهم تنیدگی کوانتومی هستند و کیفیت کانال کوانتومی برای انتقال بدون تغییر فوتون‌ها اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

❖ همگام‌سازی ساعت

همگام‌سازی ساعت یکی از اساسی‌ترین بلوک‌های سازنده برای بسیاری از کاربردها در علوم کامپیوتر و مهندسی است. هدف از همگام‌سازی ساعت در یک سیستم توزیع شده، ارائه مفهومی مشترک از زمان به همه اجزاء سیستم است. برای سال‌های متمادی، پروتکل زمان شبکه NTP که یک روش استاندارد برای همگام‌سازی زمان در شبکه‌ها بوده است و امروزه نیز به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیاری از سرویس‌هایی که در شبکه‌های مخابراتی دیجیتال مدرن اجرا می‌شوند، برای عملکرد صحیح نیاز به همگام‌سازی دقیق دارند. هدف همگام‌سازی ساعت، هماهنگ کردن ساعت‌های مستقل، به ویژه ساعت‌های اتمی مثلاً در GPS و ساعت‌های دیجیتال محلی در رایانه‌ها است. یک شبکه کوانتومی که از درهم تنیدگی کوانتومی استفاده می‌کند، به همگام‌سازی دقیق‌تری می‌رسد، به خصوص زمانی که ساعت‌های کوانتومی به کار گرفته شوند[۱۳].

❖ رایانش کوانتومی توزیع شده

رایانش کوانتومی شبکه‌ای یا رایانش کوانتومی توزیع شده بر اساس ارتباط چندین پردازنده کوانتومی به واسطه یک شبکه کوانتومی کار می‌کند. کامپیوترهای کمتر قدرتمند را می‌توان از این طریق به یکدیگر متصل کرد تا یک پردازنده قدرتمندتر ایجاد شود. این شبیه به اتصال چندین کامپیوتر کلاسیک برای تشکیل یک خوشه کامپیوتری در محاسبات کلاسیک است. با این تفاوت که در اینجا به جای بیت‌های کلاسیک، کیوبیت ها بین کامپیوترها تبادل می‌شود.

❖ حسگرهای کوانتومی توزیع شده

سنجش کوانتومی توزیع شده موضوعی نوظهور است که به بررسی افزایش عملکرد حسگری به واسطه حالت‌های درهم‌تنیده به اشتراک گذاشته شده توسط چندین حسگر کوانتومی می‌پردازد. با این روش امکان بهبود حساسیت حسگرها و کاهش خطاها و ارزیابی ویژگی‌های جهان شمول به جای جمع‌آوری داده‌ها در مورد بخش‌های خاص یک سیستم وجود دارد.

❖ تکرارکننده کوانتومی

ارتباط کوانتومی در فواصل طولانی به دلیل تلفات جذب و

پراکندگی فوتون و همچنین واهمدوسی کوانتومی به تکرارکننده‌های کوانتومی نیاز دارد. تکرارکننده کوانتومی یک گره میانی است که مشابه تقویت‌کننده نوری در شبکه‌های مخابرات نوری کلاسیک عمل می‌کند اما با این تفاوت که از قضیه عدم امکان شبیه‌سازی تبعیت می‌کند. در واقع، تکرارکننده کوانتومی امکان درهم‌تنیدگی کیوبیت‌های گره‌های انتهایی را فراهم می‌کند. هنگامی که دو گره انتهایی درهم‌تنیده باشند، می‌توان از اثر تلپورت کوانتومی یا دوربردی کوانتومی استفاده کرد. این بدان معنی است که اطلاعات کوانتومی را می‌توان بدون ارسال فیزیکی فوتون و از راه دور منتقل کرد.

❖ حافظه کوانتومی

حافظه‌های کوانتومی، نسخه کوانتومی حافظه‌های معمولی کامپیوتر هستند. در حالی که حافظه معمولی اطلاعات را به صورت حالت‌های دوتایی " ۰ " و" ۱" ذخیره می‌کند، حافظه کوانتومی یک کیوبیت را برای بازیابی بعدی ذخیره می‌کند. بر خلاف حافظه رایانه‌های کلاسیک، حالت‌های ذخیره شده در حافظه کوانتومی می‌توانند در یک برهم نهی کوانتومی باشند، که انعطاف‌پذیری عملی بسیار بیشتری در الگوریتم‌های کوانتومی نسبت به ذخیره‌سازی اطلاعات کلاسیک می‌دهد. حافظه کوانتومی یک عنصر کلیدی در محاسبات کوانتومی نوری و ارتباطات کوانتومی است. حافظه کوانتومی می‌تواند به عنوان یک تکرارکننده در شبکه کوانتومی استفاده شود که پایه و اساس اینترنت کوانتومی را ایجاد می‌کند. حافظه‌های کوانتومی مبتنی بر ایتربیوم می‌توانند برای انتقال سریع از یک تکرارکننده به تکرارکننده دیگر در حالی که فوتون را تا زمانی که همگام‌سازی لازم فراهم شود حفظ کنند، استفاده شوند[۱۳].

❖ مولد اعداد تصادفی کوانتومی

مولد اعداد تصادفی برای بسیاری از برنامه‌ها مانند شبیه‌سازی مونت کارلو و انتگرال‌گیری، عملیات رمزنگاری، آمار و بازی‌های رایانه‌ای ضروری هستند. با این وجود، مولد اعداد تصادفی در یک کامپیوتر کلاسیک واقعاً تصادفی نیست و منجر به تولید اعداد شبه تصادفی می‌شود. با این حال، برای بسیاری از کاربردها، تولید اعداد شبه تصادفی کفایت می‌کند. از سوی دیگر، تولید کلیدهای قوی سنگ بنای امنیت است که تنها با تولید اعداد واقعاً تصادفی قابل دستیابی است. یک راه حل، ساخت مولد اعداد تصادفی کوانتومی است که مبتنی‌بر سخت‌افزار است. علاوه‌بر این، QRNG بخش مهمی از پروتکل‌های توزیع کلید کوانتومی، مبتنی بر BB84 است تا به طور قابل اثبات امن باشد. QRNG را می‌توان برای هر پروتکل رمزنگاری استفاده کرد و همه رمزنگاری‌ها را می‌تواند با آن بهبود داد[۱۳].

❖ اینترنت کوانتومی

در حوزه ارتباطات کوانتومی، این چشم‌انداز وجود دارد که بتوان کیو بیت‌ها را از یک پردازنده کوانتومی به پردازنده کوانتومی دیگری در فواصل دور ارسال کرد. به این ترتیب، شبکه‌های کوانتومی محلی می‌توانند به اینترنت کوانتومی متصل شوند. اینترنت کوانتومی بر این اصل استوار است که با ایجاد کیوبیت‌های درهم‌تنیده می‌توان اطلاعات را بین پردازنده‌های کوانتومی از راه دور منتقل کرد[۱۳] و [۱۴].

❖ فناوری DAS[1] کوانتومی

زیرساخت‌های ارتباطی فیبر نوری یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین زیرساخت‌هاست. تپ زنی این روزها به دلیل توسعه آشکارسازها و روش‌های استخراج سیگنال بشدت توسعه پیدا کرده است. این موضوع امنیت فیبر نوری را با چالش جدی مواجه نموده است. امروزه یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های فنی ارتباطات فیبر نوری، محافظت فیبر نوری در مواجهه با تلاش‌های دشمن برای دسترسی و دستیابی به فیبر و محتوی آن است. در حال حاضر محافظت از فیبر نوری توسط سامانه‌های مرسوم نظیر OTDR و DAS کلاسیک می‌باشد. این سامانه‌ها قادر به تشخیص تپ‌های غیر مجاز و به تبع آن شنود ناشی از آن نیستند. خواص کوانتومی می‌تواند در پایش فیبر نوری و تشخیص دقیق‌تر قطع‌شدگی و تلفات فیبر تأثیرگذار باشد، حاصل این موضوع منجر به طراحی و ساخت DAS کوانتومی شده است.

با توجه به موارد فوق با نظر خبرگی فناوری‌های کوانتومی مورد استفاده در بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات و تجهیزات، سامانه‌ها و تسلیحات الکترونیک پایه سازمان هدف را می‌توان به شرح زیر تعیین گردید:

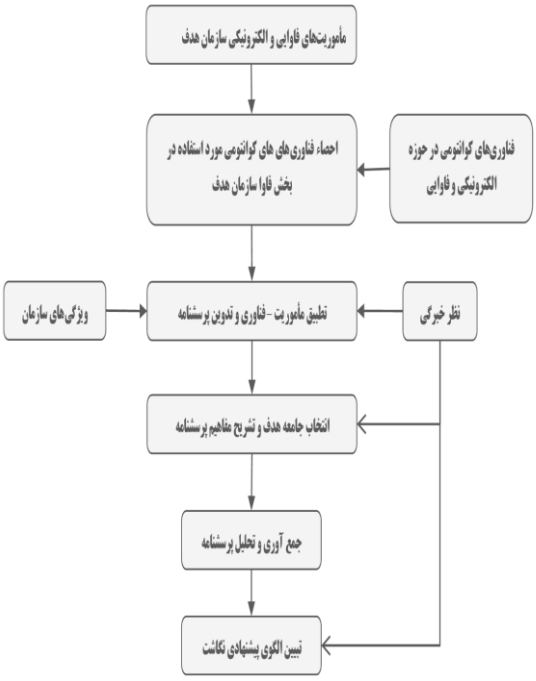
- ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری
- ارتباطات کوانتومی تک فوتون FSO
- ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری
- ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده FSO
- مولد و توزیع کلید کوانتومی
- پردازنده‌های کوانتومی
- رادار کوانتومی
- ژیروسکوپ و شتاب‌سنج کوانتومی

[1] Distributed Acustic Sensor

- ساعت کوانتومی
- سنسورهای کوانتومی
- سامانه DAS کوانتومی

۴- الگوی نگاشت

برای دستیابی به الگوی نگاشت با نظر خبرگی (۱۰ نفر خبره) از متدولوژی شکل (۳) استفاده شد.



شکل (۳): متدولوژی تدوین الگوی نگاشت

همان‌طور که در شکل (۳) آمده است مطابق ویژگی‌ها و مأموریت‌های فاوایی و الکترونیکی سازمان هدف و همچنین فناوری‌های کوانتومی در حوزه فاوا و سامانه‌های الکترونیک پایه، فناوری‌های مورد استفاده در بخش فاوا سازمان هدف احصاء گردید و نهایتاً با تطبیق سه وجهی **ویژگی – مأموریت – فناوری** پرسشنامه‌ای ۷۶ سؤالی جهت دستیابی به الگو، تدوین گردید.

در نشست تخصصی با حضور ده نفر از صاحب‌نظران روی تک تک سؤالات بحث شد که پس از بررسی منطق حاکم بر تدوین پرسشنامه، سؤالات مورد تأیید قرار گرفتند. در نهایت برای اطمینان بیشتر با روش سه گزینه‌ای لیکرت و پرسش از جامعه ۱۵ نفری از نخبگان علمی و خبرگان عملیاتی روایی پرسشنامه مورد ارزیابی قرار گرفت. روایی هر بخش از پرسشنامه که بر مأموریتی از مأموریت‌های سازمان هدف معطوف است به شرح جدول (۱) است.

جدول (۱): وضعیت روایی پرسشنامه

ردیف	حوزه مأموریتی	سؤالات	روایی
۱	شبکه ارتباطاتی زیرساختی امن و پایدار	۱ الی ۷	۰/۹۶۱
۲	شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار	۸ الی ۱۴	۰/۷۱۴
۳	شبکه مراقبت و کنترل امن، پایدار و بلادرنگ	۱۵ الی ۲۵	۰/۶۳۶
۴	آگاهی وضعیتی یکپارچه و جامع از صحنه نبرد	۲۶ الی ۳۰	۰/۳۵۹
۵	صحنه نبرد هوشمند	۳۱ الی ۴۱	۰/۵۳۹
۶	فرماندهی و کنترل یکپارچه، امن و پایدار صحنه نبرد در گستره جغرافیایی بین‌المللی	۴۲ الی ۴۸	۰/۸۴۷
۷	هوشمند سازی، بلادرنگی و مقاوم‌سازی سامانه‌ها و تسلیحات دفاعی	۴۹ الی ۵۳	۰/۵۹۹
۸	ناوبری امن، پایدار، سریع و دقیق سامانه‌ها و تسلیحات ثابت و متحرک	۵۴ الی ۵۷	۰/۸۳۳
۹	سامانه‌ها و شبکه‌های الکترونیک دفاعی	۵۸ الی ۶۷	۰/۴۵۲
۱۰	الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی	۶۸ الی ۷۴	۰/۴۸۵
۱۱	سامانه تحلیل داده‌های حجیم	۷۵ آل ۷۶	۰/۵۹۹

بنا بر داده‌های جدول (۱)، روایی سؤالات هر حوزه مأموریتی قابل قبول است و روایی کل پرسشنامه برابر ۰/۶۳۸ می‌باشد. فلذا پرسشنامه با توجه به تعداد جامعه هدف از روایی خوبی برخوردار است. آلفای گرونباخ پرسشنامه هم با نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید که ۰/۸۶ بدست آمد. فلذا پرسشنامه دارای پایایی خیلی خوبی است. ویژگی‌های زیر برای انتخاب جامعه هدف پرسشنامه در نظر گرفته شد:

- آشنا با سازمان هدف و قابلیت‌های عملکردی و مأموریتی آن
- شناخت کامل مأموریت‌های الکترونیک پایه و فاوا پایه سازمان هدف
- آگاهی نسبی از فناوری‌های کوانتوم با رویکرد فرصت و تهدید محوری

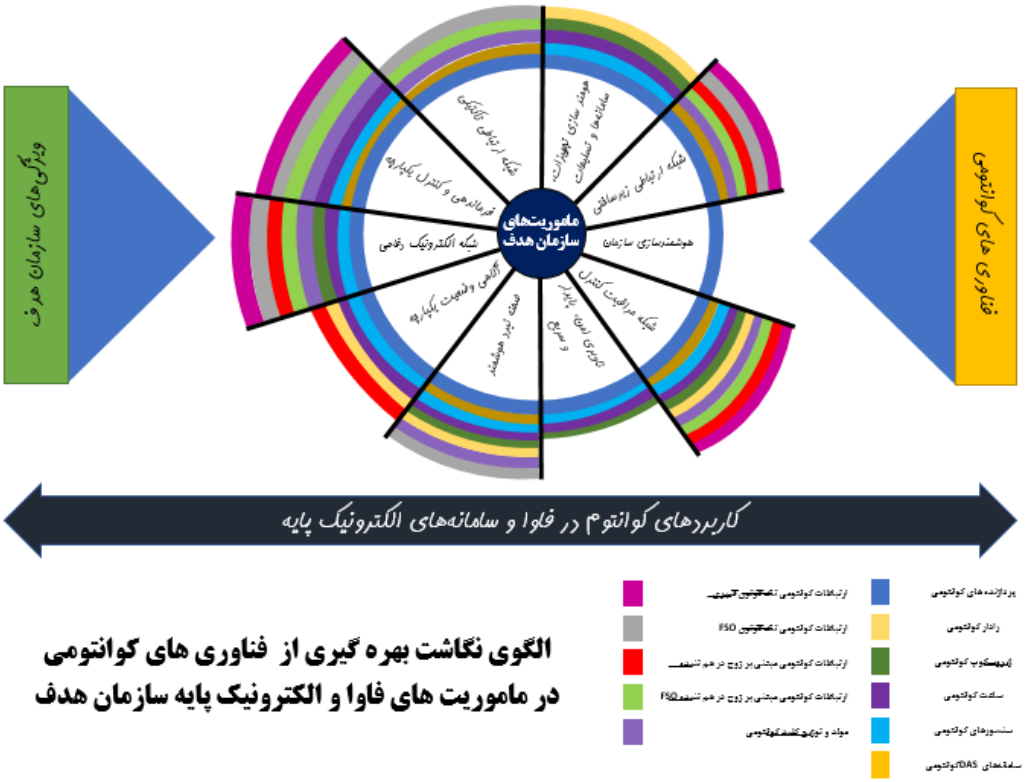
بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است کل جامعه هدف دارای ویژگی‌های بالا، تعداد ۲۷ نفر می‌باشد. فلذا رویکرد تمام شمار دنبال شد.

پرسشنامه‌ها توزیع گردید و سپس طی جلسات متعدد با جامعه هدف ابعاد موضوع تحقیق و پرسشنامه تشریح شد و در نهایت پس از تکمیل نمودن، پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد.

طی جلسه‌ای با حضور ده نفر از نخبگان علمی و خبرگان عملیاتی سازمان هدف، حد آستانه پذیرش ۵۰ درصد تعیین گردید. مطابق این حد آستانه مذکور موارد زیر مورد پذیرش قرار نگرفت:

- ❖ بهره‌گیری از "پروسسورها، میکروپروسسورها و میکرو کنترلرهای کوانتومی" در نیازمندی مأموریتی "شبکه ارتباطاتی زیرساختی امن و پایدار" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از "ارتباط کوانتومی تک فوتون فیبری" در نیازمندی مأموریتی "شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از "ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده کوانتومی مبتنی بر فیبر " در نیازمندی مأموریتی "شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " DAS مبتنی بر کوانتوم " در نیازمندی مأموریتی " شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی تک فوتون FSO " در نیازمندی مأموریتی "شبکه مراقبت و کنترل امن، پایدار و بلادرنگ " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " رادار کوانتومی " در نیازمندی مأموریتی " آگاهی وضعیتی یکپارچه و جامع از صحنه نبرد " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " DAS مبتنی بر کوانتوم " در نیازمندی مأموریتی "آگاهی وضعیتی یکپارچه و جامع از صحنه نبرد " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از "ارتباط کوانتومی تک فوتون فیبری " در نیازمندی مأموریتی " صحنه نبرد هوشمند " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از "ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده کوانتومی مبتنی بر فیبر " در نیازمندی مأموریتی "صحنه نبرد هوشمند " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده مبتنی بر FSO " در نیازمندی مأموریتی " صحنه نبرد هوشمند" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده کوانتومی مبتنی بر فیبر " در نیازمندی مأموریتی " صحنه نبرد هوشمند" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " سامانه DAS مبتنی بر کوانتوم " در نیازمندی مأموریتی " شبکه‌های الکترونیک دفاعی" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی تک فوتون فیبری " در نیازمندی مأموریتی "الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از "ارتباطات کوانتومی تک فوتون FSO " در نیازمندی مأموریتی " الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده کوانتومی مبتنی بر فیبر " در نیازمندی مأموریتی "الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ارتباط کوانتومی زوج درهم‌تنیده مبتنی بر FSO " در نیازمندی مأموریتی "الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " مولد کلید و توزیع کلید کوانتومی " در نیازمندی مأموریتی " الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " سامانه DAS مبتنی بر کوانتوم " در نیازمندی مأموریتی " الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان" سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " پروسسورها، میکروپروسسورها و میکرو کنترلرهای کوانتومی " در نیازمندی مأموریتی "الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان " سازمان هدف
- ❖ بهره‌گیری از " ساعت کوانتومی " در نیازمندی مأموریتی " سامانه‌های تحلیل داده‌های حجیم" سازمان هدف

با توجه به پرسشنامه ۷۶ سؤالی، انتخاب هوشمندانه جامعه هدف و تشکیل جلسات توجیهی برای آنها و همچنین توزیع، جمع‌آوری و تحلیل ۲۷ پرسشنامه به صورت تمام شمار، الگوی نگاشت فناوری‌های کوانتومی در مأموریت فاوا و سامانه‌های الکترونیک پایه سازمان هدف در شکل (۴) آمده است. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است کاربرد فناوری‌های کوانتومی در حوزه‌های مأموریتی سازمان هدف به شرح جدول (۲) می‌باشند.



شکل (۴): الگوی نگاشت

جدول (۲): کاربرد فناوری‌های کوانتومی در حوزه‌های مأموریتی سازمان هدف

حوزه	ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری	ارتباطات کوانتومی تک فوتون FSO	ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری	ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده FSO	مولد و توزیع کلید کوانتومی	پردازنده‌های کوانتومی	رادار کوانتومی	ژیروسکوپ و شتاب سنج کوانتومی	ساعت کوانتومی	سنسورهای کوانتومی	سامانه DAS کوانتومی
شبکه ارتباطاتی زیرساختی امن و پایدار	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	---	---	---	✓
شبکه ارتباطات تاکتیکی امن و پایدار	---	✓	---	✓	✓	✓	---	---	---	---	---
شبکه مراقبت و کنترل امن، پایدار و بلادرنگ	✓	---	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
آگاهی وضعیتی یکپارچه و جامع از صحنه نبرد	---	---	---	---	---	✓	---	---	✓	✓	---
صحنه نبرد هوشمند	---	---	---	---	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
فرماندهی و کنترل یکپارچه، امن و پایدار صحنه نبرد در گستره جغرافیایی بین‌المللی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	---	---	---	✓
هوشمند سازی، بلادرنگی و	---	---	---	---	---	✓	✓	✓	✓	✓	---

حوزه	ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری	ارتباطات کوانتومی تک فوتون FSO	ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری	ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده FSO	مولد و توزیع کلید کوانتومی	پردازنده‌های کوانتومی	رادار کوانتومی	ژیروسکوپ و شتاب سنج کوانتومی	ساعت کوانتومی	سنسورهای کوانتومی	سامانه DAS کوانتومی
مقاوم‌سازی سامانه‌ها و تسلیحات دفاعی											
ناوبری امن، پایدار، سریع و دقیق سامانه‌ها و تسلیحات ثابت و متحرک	---	---	---	---	---	✓	---	✓	✓	✓	---
سامانه‌ها و شبکه‌های الکترونیک دفاعی	✓	✓	✓	✓	✓	✓	---	✓	✓	✓	---
الکترونیکی نمودن و هوشمند سازی سازمان	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
سامانه تحلیل داده‌های حجیم	---	---	---	---	---	✓	---	---	---	---	---

با توجه به فراوانی کاربرد فناوری‌های کوانتومی در مأموریت‌های فاوا و الکترونیک پایه سازمان هدف، اولویت‌های فناوری کوانتومی به ترتیب به شرح زیر می‌باشد:

اولویت ۱: پردازنده‌های کوانتومی

اولویت ۲: مولد و توزیع کلید کوانتومی، ساعت کوانتومی و سنسور کوانتومی

اولویت ۳: ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده FSO و ژیروسکوپ و شتاب سنج کوانتومی

اولویت ۴: ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری، ارتباطات کوانتومی تک فوتون FSO، ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری و سامانه DAS کوانتومی

اولویت ۵: رادار کوانتومی

طی جلسات متعددی با صاحب‌نظران علمی و عملیاتی سازمان هدف، سه شاخص وضعیت نیروی انسانی متخصص، زیرساخت پژوهشی و میزان اهمیت در مأموریت (اعم از زمان دستیابی و اثربخشی) تعیین گردید. متناسب با سه شاخص مذکور، اولویت فناوری‌های کوانتومی الگوی احصاء شده تحقیق در ۵ اولویت به شرح زیر تبیین گردید.

اولویت ۱: مولد و توزیع کلید کوانتومی و سامانه DAS کوانتومی

اولویت ۲: ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری و FSO

اولویت ۳: ژیروسکوپ و شتاب سنج کوانتومی، سنسور کوانتومی و ساعت کوانتومی

اولویت ۴: پردازنده‌های کوانتومی

اولویت ۵: ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری و FSO و رادار کوانتومی

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق متناسب با ویژگی‌های سازمان هدف و مأموریت‌های فاوایی و الکترونیک پایه سازمان هدف، کاربرد فناوری‌های کوانتوم در پیشبرد اهداف سازمان هدف در قالب"الگوی نگاشت فناوری‌های کوانتومی در مأموریت‌های فاوایی و الکترونیک پایه سازمان هدف " تبیین گردید.

سپس متناسب با سه شاخص وضعیت نیروی انسانی متخصص، زیرساخت پژوهشی و میزان اهمیت در مأموریت که توسط صاحب‌نظران حوزه تحقیقات و عملیات سازمان هدف تعیین گردید، اولویت‌های دستیابی به فناوری‌های کوانتومی برای پیشبرد اهداف مد نظر در سازمان هدف در ۵ اولویت به شرح زیر تعیین گردید.

اولویت ۱: مولد و توزیع کلید کوانتومی و سامانه DAS کوانتومی

اولویت ۲: ارتباطات کوانتومی تک فوتون فیبری و FSO

اولویت ۳: ژیروسکوپ و شتاب سنج کوانتومی، سنسور کوانتومی و ساعت کوانتومی

اولویت ۴: پردازنده‌های کوانتومی

اولویت ۵: ارتباطات مبتنی بر زوج درهم‌تنیده فیبری و FSO و رادار کوانتومی

انجام این تحقیق مسیر پرداختن سازمان هدف (اعم از برنامه‌ریزی برای تأمین و یا طراحی و تولید) به فناوری‌های کوانتومی مورد نیاز را هموار نمود. نتایج این تحقیق در تدوین نقشه راه سازمان هدف برای تأمین، دستیابی و بهره‌گیری از فناوری‌های کوانتومی بسیار مؤثر است.

اقدامات راهبردی-اجرایی برای تحقق الگوی نگاشت پیشنهادی که با مد نظر قرار دادن الگو و با نظرخواهی از خبرگان عملیاتی و نخبگان علمی احصاء شده است، به شرح زیر می‌باشد:

- برگزاری نشست‌های تخصصی با ذینفعان وذیربطان برای ایجاد فهم مشترک در خصوص الگو
- تبیین طرح‌ها، پروسه‌ها و پروژه‌های اجرایی برگرفته از الگوی پیشنهادی
- تدوین برنامه بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت برای اجرای طرح‌ها، پروسه‌ها و پروژه‌ها
- تدوین راهبردهای اجرایی برای تحقق برنامه‌ها
- تدوین اقدامات و نگاشت نهادی آنها
- تدوین نظام نظارت و کنترل شامل زیر نظام ارزیابی، زیر نظام اثربخشی و زیر نظام بازخورد
- تخصیص و تأمین اعتبارات لازم
- تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص و متعهد
- اهتمام ویژه به مشارکت‌ها و ائتلاف‌های علمی، دانشی و فناورانه
- فراهم‌سازی زیرساخت‌های پژوهشی و تولیدی با رویکرد شبکه محوری
- استقرار نظام همکاری و تعامل برای تحقق برنامه‌ها در جغرافیای عملکردی سازمان هدف
- استقرار نظام راهبری بهره‌گیری از فناوری‌های کوانتومی در جغرافیای مأموریتی سازمان هدف

۶- مراجع

[1] J. P. Dowling and J. M. Gerard, "Quantum technology: the second quantum revolution." Philosophical Transactions of the Royal Society of London A:Mathematical, Physical and Engineering Sciences 361.1809, 2003.

[۲] گزارشات پروژه " نقشه راه دستیابی به فناوری‌های کوانتومی مورد نیاز بخش دفاعی " دانشگاه امام حسین (ع) - دانشکده و پژوهشکده فاوا – مرکز علم و فناوری ارتباطات و شبکه، علی ناصری، زمستان ۱۳۹۹.

[3] A. Herman and I. Friedson, "Quantum Comuting How to Address the National Security Risk," Hudson Institute, 2018.

[۴]گزارشات پروژه " بررسی اصول و مبانی فناوری ارتباطات کوانتومی "، دانشگاه امام حسین (ع) - دانشکده و پژوهشکده فاوا – مرکز علم و فناوری ارتباطات و شبکه، علی ناصری، ۱۳۹۸.

[5] A. Peres, "Quantum theory: concepts and methods," Springer Science & Business Media, 1993.

[6] A. Purohit and M. Kaur, "Building a quantum-ready ecosystem, open Access Paper, IET, 2023.

[7] T. Rastogi, V. Hhassija, and V. Saxena, "Quantum communication:concept, Applications and future outlook,international cinference on contemporary computing, IC3-2021, pp. 51-56, 2021.

[8] M. Mathews, "A study on Quantum Radar Technology Development and Design consideration for its integration," Rowan university,USA, 2020.

[۹]سند مطالبات حوزه فناوری‌های کوانتومی، قرارگاه سایبری و تهدیدات نوین، ۱۳۹۹.

[10]Donghai Huang, Yongli Zhao, Tiancheng Yang, Sabidur Rahman, Xiaosong Yu, Xinyi He, and Jie Zhang, "Quantum Key Distribution Over Double-Layer Quantum Satellite Networks," ieeexplore.ieee.org- 2020.

[11]L. Laursen, " As Chinas Quantum Encrypting Sattelite Shrink ," their.Networking Abilities grow, website: Spectrum.IEEE.ORG,25 AUG 2022, Access time,OCT 2023.

[12]Lu, Chao-Yang, Yuan Cao, Cheng-Zhi Peng, and Jian-Wei Pan. "Micius quantum experiments in space." Reviews of Modern Physics 94, no. 3, 2022, 035001.

[۱۳] گزارشات پروژه " نقشه راه ورود به حوزه ارتباطات ورمزنگاری کوانتومی "، سند سیاسی تفصیلی مرکز اندیشه‌ای کوثر، حسین طالب،۱۴۰۰.

[14]L. Gyongyosi and S. Lmre, "Advances in the Quantum internet," Magazinof communication ACM @vol. 65, no. 8 , 2022.