آینده‌پژوهی دفاعی، سال هشتم، شماره ۲۸، بهار ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۲۲/ ۱۰/ ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۹/ ۰۳/ ۱۴۰۲

از صفحه ۹۱ تا صفحه ۱۱۷

شناسایی عوامل داخلی و خارجی موثر بر توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش جمهوری اسلامی ایران

نوع مقاله: پژوهشی

مهدی غلامپور[۱]
حسین هدایتی*[۲]
کامران رضایی[۳]
وحیدزراعتی[۴]

چکیده

هدف از این پژوهش، شناسایی عوامل داخلی و خارجی موثر بر توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش جمهوری اسلامی ایران است. روش تحقیق در این پژوهش، توصیفی - تحلیلی، است. جامعه آماری این تحقیق تعداد ۳۰ نفر از اساتید هیئت‌علمی گروه فیزیک دانشگاه‌های افسری ارتش، مدیران و کارشناسان معاونت علوم و تحقیقات ارتش که در زمینه فناوری رایانه کوانتومی در حال فعالیت می‌باشند. به علت محدود بودن تعداد افراد جامعه نمونه، استفاده شده کل جامعه می‌باشد. داده‌های پژوهش با استفاده از آمار توصیفی و آزمون فریدمن تجزیه وتحلیل شد. یافته‌ها پس از تجزیه‌وتحلیل آنها در ماتریس سوات مشخص شد که جایگاه راهبردی فناوری رایانه کوانتومی در منطقه محافظه کارانه قرار دارد. باتوجه‌به نتایج تحقیق می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که از مهم ترین اولویت‌های راهبردی لازم برای توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش عبارت‌اند از: نقاط ضعف عدم تناسب بودجه و مأموریت محوله در ارتش، در نقاط قوت تمرکز بر رشته‌های با کاربرد نظامی در ارتش، در فرصت ها در امکان بهره‌برداری از امکانات مراکز پژوهشی در سطح ملی دانست.

واژه‌های کلیدی:

فناوری کوانتومی، رایانه کوانتومی، ماتریس سوات، شناسایی عوامل مؤثر.

[۱] استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی(ع)، تهران، ایران.

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

[۳] کارشناسی ارشد مدیریت، سازمان علوم تحقیقات آجا، تهران، ایران..

[۴] گروه آماد و پشتیبانی، دانشگاه فرماندهی و ستاد، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Email: hosseinhedayati77@gmail.com

CC BY NC ND

DOI: 10.22034/DFSR.2023.1973923.1661

مقدمه

همواره با تحول در دستاوردهای علمی و فناورانه بشر، فضای زرم نیز دچار تغییر و تحول شده است. دفاع در برابر فضای جدید ایجادشده نیازمند سازوکارهای نوین مطابق با تحولات عصرخود است و چنانچه اقدامی در جهت مقابله با این تهدیدات انجام نگردد می‌تواند موجب تغییر در نتیجه جنگ و در نتیجه از بین رفتن امنیت کشور گردد(ایجابی و همکاران، ۱۳۹۸). کامپیوتر کوانتومی دستگاهی است که از قوانین یکی از اساسی‌ترین نظریه‌های فیزیک یعنی مکانیک کوانتومی استفاده می‌کند. با استفاده از ویژگی‌های مکانیک کوانتومی، یک کامپیوتر کوانتومی قادر است وظایف پردازش اطلاعات خاصی را بسیار کارآمدتر از یک کامپیوتر کلاسیک معمولی انجام دهد. قرن گذشته جامعه مدرن با برخی از ساده‌ترین ایده‌ها در مکانیک کوانتومی مانند کوانتیزه‌سازی انرژی و تونل‌زنی کوانتومی متحول شد که به فناوری هایی مانند لیزر و ترانزیستور منجر شد (Huangand et al. 2022). از آنجایی که ما شروع به ساخت فناوری‌هایی با برخی از خواص پیچیده‌تر مکانیک کوانتومی مانند درهم تنیدگی کوانتومی و برهم نهی کوانتومی کرده‌ایم، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که در این قرن شاهد وقوع انقلاب‌های تکنولوژیکی بیشتری باشیم. این اثرات کوانتومی فناوری‌های رادیکال تری مانند کامپیوتر کوانتومی را ممکن می‌سازد. متأسفانه، چنین رایانه‌ای می‌تواند سیستم‌های رمزگذاری عمومی امروزی را در کمتر از یک‌چشم به‌هم‌زدن دچار اختلال کند. چنین سیستمی تهدیدی برای امنیت ملی خواهد بود زیرا می‌تواند اسرار رمزگذاری شده کشورها، شرکت‌ها و افراد را باز کند و زیرساخت‌های حیاتی و سیستم‌های مالی را فلج کند. یک رقیب خارجی با برتری در محاسبات کوانتومی نیز می‌تواند امنیت اقتصادی را تهدید کند و درعین حال از مزایای اقتصادی فراوان دوران کوانتومی بهره‌مند شود؛ بنابراین، ایران درگیر رقابت دیگری است که به همان اندازه برای امنیت ملی، اقتصاد و حتی آینده کشور حیاتی است که مسابقه ساخت اولین رایانه کوانتومی طور کامل عملیاتی که بنا به نظر کارشناسان در ۱۰ تا ۲۰ سال آینده اجرا خواهد شد (krelina. 2021). امروزه سازمان‌های نظامی و امنیتی کشور از جمله ارتش ناگزیر است که به طور دایم بر رویدادهای داخلی و خارجی نظارت کند تا بتواند برحسب ضرورت و در زمان مناسب تغییرات را شناسایی کرده و خود را با این تغییرات وقف دهد. در دنیای امروز که این‌گونه تغییرات با سرعتی بالا در حال تغییر است، تصمیم‌گیری یکباره و بر اساس مستندات شهودی و تجربی امری اشتباه و مشکل‌آفرین است (پاک‌نیک و همکاران، ۱۳۸۹).

تحلیل سوات[1] رویکردی است که به طور سنتی در زمینه برنامه‌ریزی راهبُردی و مدیریت راهبُردی به کار می‌رود. ماهیت آن در تجزیه‌وتحلیل عوامل درونی و بیرونی که می‌تواند بر توسعه سازمان تأثیرگذار باشد، یک فن مدیریتی معین و غیره بیان می‌شود. در حال حاضر، تحلیل کلاسیک سوات به طور گسترده‌ای برای ارزیابی رقابت‌پذیری و طراحی استراتژی برای توسعه هدف مدیریت استفاده می‌شود. این روش تنها ارزیابی کیفی کارایی فنی و اقتصادی را ارائه می‌دهد(دوستی مطلق و فاضلی، ۱۴۰۰).

به دلیل عدم تدوین راهبردهای این حوزه نوظهور و با توجه به این که شناخت نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید در حوزه رایانه کوانتومی به جهت توسعه آن در ارتش می‌تواند از غافل گیری، بالا رفتن هزینه‌های دفاعی و اقدام برای جلوگیری از آسیب رسیدن به نقاط آسیب پذیر مانند حوزه فناوری اطلاعات جلوگیری کند، بنابراین مسئله اصلی موردبحث در پژوهش، " عوامل داخلی و خارجی موثر در توسعه فناوری رایانه‌کوانتومی در ارتش ج. ا. ا " و " عوامل داخلی و خارجی موثر در توسعه رایانه کوانتومی به روش سوات کدام‌اند؟ "

با نگاهی به مأموریت‌های محول شده به ارتش ج. ا. ا، می‌توان به این واقعیت اشاره کرد که مسئولیت توسعه این فناوری به دلیل وجود نیروهای کارآمد در حوزه فاوا و جنگال به ارتش واگذار شده است؛ ولی با وجود این توان و نیروی کارآمد هنوز ارتش نتوانسته جایگاه مطلوب خود را در توسعه این فناوری پیدا کند. بدون شک اولین دلیل این قضیه نبود یک راهبُرد مطلوب جهت توسعه این فناوری است. باتوجه‌به موارد ذکر شده هدف اصلی این پژوهش "شناسایی عوامل داخلی و خارجی موثر بر توسعه فناوری رایانه کوانتومی به روش سوات " است تا راهبُرد مطلوب توسعه این فناوری را ارائه دهد. پس برای رسیدن به این هدف، اهداف فرعی را به شکل زیر در نظر گرفته‌شده:

- شناسایی و اولویت‌بندی نقاط قوت توسعه رایانه کوانتومی در ارتش
- شناسایی و اولویت‌بندی نقاط ضعف توسعه رایانه کوانتومی در ارتش
- شناسایی و اولویت‌بندی فرصت توسعه رایانه کوانتومی در ارتش
- شناسایی و اولویت‌بندی تهدیدات توسعه رایانه کوانتومی در ارتش
- تشکیل ماتریس عوامل خارجی توسعه رایانه کوانتومی در ارتش
- تشکیل ماتریس عوامل داخلی توسعه رایانه کوانتومی در ارتش

[1] SWOT

بنابراین به جهت ارتقا توان دفاعی ارتش جمهوری اسلامی ایران و شناسایی و اقدام در جهت برون رفت از چالش‌های احتمالی بعداز ساخت اولین رایانه کوانتومی ضروری استتا ضمن شناسایی نقاط قوت و ضعف و همچنین فرصت‌ها و تهدیدات پیرامون این فناوری در سطح ارتش به ارائه راهبرد جهت توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش پرداخته‌شود. بنابراین پژوهش حاضر را با این سوال شروع خواهیم کرد که عوامل داخلی و خارجی موثر در توسعه رایانه کوانتومی در ارتش کدام‌اند؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تحلیل سوات

تحلیل سوات به نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها اشاره دارد. نقاط قوت و ضعف به محیط داخلی سازمان اشاره دارد که شرکت بر آن کنترل دارد. نقاط قوت مناطقی هستند که در آن سازمان در مقایسه با رقبای خود برتری می‌یابد، درحالی‌که نقاط ضعف مناطقی هستند که ممکن است سازمان در نسبی ضعیف باشد. فرصت‌ها و تهدیدها به محیط بیرونی سازمان اشاره دارد که کنترل بسیار کمتری بر آن دارد. سوات ممکن است هم در محیط عمومی و هم در محیط رقابتی ایجاد شود. بااین‌حال، ماهیت غیرقابل‌پیش‌بینی رویدادها در محیط عمومی استفاده از تحلیل سوات را مشکل‌سازتر می‌کند(Henry, 2021).

محدودیت‌های تحلیل سوات

تجزیه‌وتحلیل سوات یک پیش‌فرض اساسی برای سازمان‌ها برای درک توانایی‌های خود در بازار فراهم می‌کند. این رویکرد دارای نقاط ضعفی است؛ زیرا افرادی که این تحلیل را انجام می‌دهند ممکن است فقط یک ارزیابی سطحی از قابلیت‌های سازمان انجام دهند. گاهی اوقات نقاط قوت و ضعف دربخش‌های خاصی از یک سازمان نهفته است و این ممکن است همیشه از تجزیه‌وتحلیل سوات مشخص نباشد. یک تحلیل واقعاً قوی باید با ممیزی سازمانی و همچنین تحقیقات بازار در مورد مشتریان و رقبا همراه باشد. بااین‌حال، برای تجزیه‌وتحلیل اولیه از موقعیت یک سازمان، این یک ابزار ساده و نسبتاً موثر است (Ranchhod, 2004).

فناوری

در مدیریت تعاریف مختلفی از واژه فناوری وجود دارد که می‌توان آن را بازتاب نظرات پژوهشگران و صاحب‌نظران این رشته دانست. برخی از تعاریف عبارت است از:

۱. به دانش و مهارت لازم برای تولید کالا یا ارائه خدمات که ترکیبی از قدرت فکری انسان و قانون‌های موجود طبیعت است(sharif,1997).

۲. به کاربرد عملی دانش و مهندسی برای طراحی، توسعه و به‌کارگیری محصولات است(Floyd,1997).
۳. به کاربرد علم در راستای پاسخگویی به نیازهای انسانی گویند(Khalil,2000).
۴. فناوری در لغت به معنای مطالعه علمی و استفاده از کاربردهای عملی و مهندسی است(oxford,2000).

از تعاریف ارائه شده می‌توان به این نتیجه رسید که فناوری به معنای کاربرد علمی یک دانش عملی است و تمایز آن با سایر حوزه‌های علمی کاربردی‌بودن آن است.

فناوری کوانتومی

فناوری‌های کوانتومی مجموعه‌ای از فناوری‌های نوظهور هستند که از دو قانون درهم تنیدگی و اصل برهم‌نهی در ایجاد قابلیت‌های بی‌سابقه‌ای مانند حسگرها، تصویرسازی، ارتباطات و محاسبات استفاده می‌کنند. این فناوری بشر را قادر می‌سازد تا به ابزارهای بسیار دقیقی نسبت به ابزار کلاسیک دست پیدا کند. برای مثال با وجود این پیشرفت شگفت‌انگیز در کارایی و سرعت پردازنده‌های محاسباتی کلاسیک، هنوز مسائل پیچیده‌ای وجود دارند که حل آنها از عهده هیچ یک از سوپر رایانه‌های موجود بر نمی‌آید(دوستی مطلق و فاضلی، ۱۴۰۰).

اصل برهم‌نهی

برهم‌نهی کوانتومی چارچوبی برای درک همه پدیده‌های کوانتومی است. ازآنجایی‌که ما در زندگی روزمره خود پدیده‌های کوانتومی را مشاهده نمی‌کنیم، ممکن است در ابتدا گیج‌کننده به نظر برسد. یکی از جنبه‌های برهم‌نهی کوانتومی را می‌توان با استفاده از قیاس سکه توضیح داد. می‌توانیم بگوییم هنگامی‌که سکه را به هوا می‌اندازیم، سکه در برهم‌نهی پشت‌ورو است (در هوا هم رو می‌تواند باشد و هم پشت). هنگامی که فرود می‌آید، یک حالت مشخص دارد، یا رو می‌شود یا پشت. یک ذره در یک برهم‌نهی کوانتومی به‌صورت ترکیبی از حالات مختلف در یک‌زمان وجود دارد. هر حالت ممکن یک احتمال مشخص برای مشاهده دارد، اما اندازه‌گیری برهم‌نهی را از بین می‌برد؛ زیرا فقط یک حالت مشخص دیده می‌شود (Hughes and et al. 2021).

اصل درهم‌تنیدگی

مفهوم درهم‌تنیدگی مفهوم دیگری است که اساس مکانیک کوانتومی را تشکیل می‌دهد و پتانسیل قدرتمند خود را برای رایانه‌های کوانتومی فراهم می‌کند. حتی آلبرت انیشتین که در کنار فیزیک‌دانان دیگر پودولسکی و روزن، اولین مقاله دانشگاهی را که این مفهوم را در سال ۱۹۳۵ ارائه کرد، نوشت، آن را به‌عنوان "عمل شبح مانند از راه دور" توصیف کرد و به این

نتیجه رسید که "هیچ تعریف معقولی از واقعیت نمی‌توان انتظار داشت که این امر را مجاز کند. ".

امروزه، درهم‌تنیدگی کوانتومی به طور گسترده پذیرفته شده است و توسط دانشمندان ثابت شده است که در واقع ممکن است. هنگامی که یک سیستم بیش از یک کیوبیت تشکیل شده باشد، آن کیوبیت‌ها احتمالاً درهم می‌مانند، به این معنی که وضعیت یک کیوبیت بر وضعیت دیگری تأثیر می‌گذارد (How does quantum computing work? , 2017). در این حالت درهم تنیده، اندازه گیری کیوبیت‌ها، حتی در فواصل بسیار زیاد، کاملاً همبسته خواهد بود. از نظر انیشتین، به نظر می‌رسید که این قوانین فیزیک را زیر پا می‌گذارد، زیرا پیشنهاد می‌کرد که یک الکترون فوراً اطلاعات را به دیگری می‌فرستد، بنابراین به این معنی است که اطلاعات سریعتر از سرعت نور حرکت می‌کند (Peter Mosley, 2017). به همین دلیل است که برای او، درهم‌تنیدگی «شور آور» و توضیح آن دشوار بود. البته با وجود درهم‌تنیدگی، اطلاعات کلاسیک همچنان نیاز به ارسال دارد، بنابراین در واقع سرعت محدودیت نور نقض نمی‌شود.

نظریه اطلاعات کوانتومی

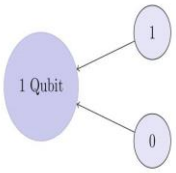
نظریه اطلاعات کوانتومی ایده‌هایی از نظریه اطلاعات کلاسیک، مکانیک کوانتومی و علوم رایانه را با هم ترکیب می‌کند. قضایا و تکنیک‌های‌بخش‌های مختلف ریاضیات و فیزیک، به‌ویژه نظریه گروه، نظریه احتمالات و فیزیک آماری کوانتومی در این زمینه جذاب، سریع درحال‌رشد و کاربردی است. نظریه اطلاعات کلاسیک نظریه ریاضی که وظیفه آن پردازش، ذخیره و انتقال اطلاعات است، درحالی‌که نظریه اطلاعات کوانتومی به مطالعه چگونگی انجام چنین وظایفی با استفاده از سیستم‌های مکانیکی کوانتومی برای دستیابی به ذخیره‌سازی و انتقال کارآمد اطلاعات می‌پردازد(Chuang. 2010) . این‌که محاسبات کوانتومی و اطلاعات کوانتومی چگونه عملی خواهند شد هنوز ناشناخته است. بااین‌حال، تحقیقات متمرکز در حال حاضر در این زمینه در حال انجام است. سطح فعلی تحقیق، توسعه و نوآوری نشان می‌دهد که تعداد کمی از پژوهشکده‌ها پیشرفت‌های قابل‌توجهی داشته‌اند و به سطح توسعه نمونه اولیه سیستم‌های محاسباتی کوانتومی رسیده‌اند. هیچ اصول فیزیکی اساسی هنوز شناخته نشده است، این اصول می‌توانند ساخت رایانه‌های کوانتومی قابل‌اعتماد و در مقیاس بزرگ را ممنوع کنند. بااین‌حال، چالش‌های مهندسی زیادی وجود دارد که هنوز حل نشده‌اند. رویکردهای امیدوارکننده بی‌شماری توسط نظریه‌پردازان و تجربه‌گرایانه در سراسر جهان مورد بررسی قرار می‌گیرند، اما عدم قطعیت قابل‌توجهی همچنان باقی است. هنوز تلاش‌ها برای توسعه یک

رایانه کوانتومی که قادر به انجام محاسبات کوانتومی عمومی بر روی صدها کیوبیت باشد ادامه دارد(Polak. 2011) . فناوری کوانتومی یک فناوری معمولی با کاربرد دوگانه است که نه تنها از سوی نظامیان، بلکه از سوی دولت مردان یا سازمان‌های حافظ صلح نیز موردتوجه قرار می‌گیرد. از این‌رو اصطلاح کاربردهای نظامی فناوری کوانتومی معرفی شده است(Nouwens and et al. 2010) .

محاسبات کوانتومی

محاسبات کوانتومی یک فناوری جدید و نوظهور است که از ذرات زیراتمی در طی فرایند محاسبات از طریق دستگاه خاصی به نام رایانه کوانتومی استفاده می‌کند. اولین سؤال در این فناوری زمانی آغاز شد که فاینمن پرسید: "از چه نوع رایانه‌ای برای شبیه‌سازی فیزیک استفاده خواهیم کرد؟ " او متوجه شد که رایانه‌های کلاسیک نمی‌توانند دنیای فیزیکی را شبیه‌سازی کنند. به دلیل زمان شبیه‌سازی، رایانه‌ها شبیه‌سازی نمی‌کردند. آنها فقط تقلید می‌کردند. او در این مرحله پرسید: آیا راهی برای شبیه‌سازی آن به‌جای تقلید وجود دارد؟ در نمای فضا - زمان پاسخ به سؤال او برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی در فناوری قرن بیست و یکم است، اگرچه زمانی که فاینمن به این سؤالات فکر می‌کرد، این موضوع ناشناخته بود؛ بنابراین، امروزه، این سؤالات باعث ایجاد مراحل شروع محاسبات کوانتومی می‌شود. مشخص است که مکانیک کوانتومی می‌تواند دنیای فیزیکی را با ماشین‌های کوانتومی شبیه‌سازی کند (Feynman. ۱۹۸۲).

یک بیت در رایانه‌های کلاسیک برای پردازش و انتقال داده‌ها تشکیل می‌شود. می‌تواند "۱" یا "۰" باشد. بیت ۱ مربوط به یک سیگنال الکتریکی در سیم است، درحالی‌که بیت ۰ با هیچ سیگنال الکتریکی مطابقت ندارد. در محاسبات کوانتومی، ویژگی‌های مکانیک کوانتومی در بیان و پردازش اطلاعات به‌صورت بیت کوانتومی استفاده می‌شود. بیت‌های کوانتومی آن‌قدر کوچک هستند که مانند بیت‌های کلاسیک با خواص فیزیکی ذرات اتمی کار می‌کنند. اگرچه بیت‌های کوانتومی، یا همان کیوبیت‌ها، شبیه بیت‌های کلاسیک هستند، یک تفاوت عمده وجود دارد: کیوبیت‌ها می‌توانند هم‌زمان در هر دو موقعیت ۱ و ۰ باشند. فرایند محاسبه که به آن «برهم‌نهی» نیز می‌گویند، همه احتمالات، یعنی موقعیت‌ها را نیز باتوجه‌به اندازه مسئله اندازه‌گیری می‌کند. نمایش گرافیکی بیت‌ها و کیوبیت‌ها را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.



شکل (۱) نشان‌دهنده یک بیت کوانتومی

در رابطه با محاسبات کوانتومی، بسیاری از درک نظری تا سال ۲۰۲۰ محقق شده است، بااین‌حال چالش در مورد ساخت واقعی سیستمی به نام "رایانه کوانتومی" است. رایانه کوانتومی وسیله‌ای است که برخی از قوانین اساسی مکانیک کوانتومی را به‌منظور حل مسائل به روش‌های کارآمدتر از رایانه‌های کلاسیک (استاندارد) به هم متصل می‌کند. چالش ساخت چنین دستگاهی همچنان ادامه دارد. اهداف تکمیلی شامل توسعه الگوریتم‌های کوانتومی برای حل مسائل خاص و ایجاد رابط بین رایانه‌های کوانتومی و سیستم‌های ارتباطی است. ساخت یک رایانه کوانتومی با هزاران بیت کوانتومی با شکستن بیشتر رمزنگاری‌های مورداستفاده روزمره، تأثیر قابل‌توجهی بر امنیت ارتباطات (مانند اینترنت) خواهد داشت. همچنین امکان حل برخی از مشکلات خاص را که فراتر از توانایی‌های ابررایانه‌های موجود است، می‌دهد. چنین مسائلی می‌تواند عمدتاً از شاخه‌های مختلف علوم پایه مانند فیزیک، شیمی و زیست شناسی و همچنین از رشته‌های مهندسی و سایر علوم کاربردی باشد (Katwala. 2020) .

براین‌اساس، رویکردهای محاسباتی کلاسیک، الگوریتم‌های اجرا شده بر روی رایانه‌های کوانتومی حتی می‌توانند به سرعت‌های نمایی نیز برسند. یک رایانه کوانتومی به لطف ویژگی های خاصی از فیزیک کوانتومی، می‌تواند با هزینه‌ای که به‌صورت چندجمله‌ای مقیاس‌پذیر است، کار کند، درحالی‌که در یک فضای محاسباتی به طور نمایی بزرگ کار می‌کند. ازاین‌رو، الگوریتم‌های محاسبات کوانتومی این پتانسیل را دارند که مسائل سخت و زمان‌بر را به‌سرعت قابل‌حل کنند (Martonosi and Roetteler. 2019).

پیشینه پژوهش

پل بنیوف تحقیق در مورد امکان نظری ساخت یک رایانه کوانتومی را در دهه ۱۹۷۰ آغاز کرد که نتیجه آن مقاله او در سال ۱۹۸۰ در مورد ماشین‌های تورینگ کوانتومی بود(Benioff. 1980) . کار او تحت‌تأثیر کار چارلز بنت بر روی ماشین‌های تورینگ برگشت‌پذیر کلاسیک از سال ۱۹۷۳ بود .(Bennett. 1973) در سال ۱۹۸۲، فیزیک‌دان مشهور برنده نوبل، ریچارد فاینمن، ساخت یک رایانه کوانتومی را برای حل مشکلات مکانیک کوانتومی تصور کرد(Feynman,1982). هدف نظریه مکانیک کوانتومی شبیه‌سازی

فرایندهای مواد و شیمیایی با پیش‌بینی رفتار ذرات بنیادی درگیر، مانند الکترون‌ها و هسته‌ها است. این شبیه‌سازی‌ها به‌سرعت در رایانه‌های دیجیتال سنتی غیرممکن می‌شوند که به سادگی نمی‌توانستند تعداد خیره‌کننده همه آرایش‌های ممکن الکترون‌ها را حتی در یک مولکول بسیار کوچک مدل‌سازی کنند. سپس فاینمن مشکل را برگرداند و یک ایده ساده اما جسورانه ارائه کرد: چرا ما اطلاعات مربوط به ذرات منفرد را ذخیره نمی‌کنیم که قبلاً از قوانین مکانیک کوانتومی پیروی می‌کنند که سعی می‌کنیم شبیه‌سازی کنیم؟ وی متذکر شد: «اگر می‌خواهید شبیه‌سازی طبیعت بسازید، بهتر است آن را مکانیکی کوانتومی کنید، و به قولی این یک مشکل فوق‌العاده است، زیرا به نظر آسان نمی‌آید». ایده محاسبات کوانتومی توسط پیش گامانی از جمله دیوید دویچ (elieser,1989 and Deutsch,1818) و دیوید آلبرت (Albert,1983) دقیق شد. از آن زمان، توسعه محاسبات کوانتومی عمیقاً نحوه تفکر و استفاده فیزیک‌دانان و شیمی‌دانان در مورد مکانیک کوانتومی را تغییر داده است. به‌عنوان مثال، با ابداع روش‌های جدید برای رمزگذاری یک سیستم بدنه‌های کوانتومی به‌صورت کیوبیت در یک رایانه کوانتومی، ما بینشی در مورد بهترین مدل کوانتومی برای توصیف ساختار الکترونیکی سیستم به دست می‌آوریم. زمینه‌های بین‌رشته‌ای مانند شیمی محاسباتی کوانتومی را به وجود می‌آورد. همان‌طور که پیشرفت‌های تجربی اخیر و نقاط عطف نظری در شبیه‌سازی کوانتومی ایجاد شده‌اند، دیگر نمی‌توانیم در مورد چگونگی مطالعه یک سیستم کوانتومی بدون آوردن محاسبات کوانتومی به جدول صحبت کنیم.

در حال حاضر تحولات مختلفی در حوزه سخت‌افزار در کشورهای معدودی رخ می‌دهد و در سطح پیشرفت‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. الزامات خاصی وجود دارد که انتظار می‌رود هر سخت افزار کوانتومی آنها را برآورده کند. به‌عنوان‌مثال، مانند اتصال منطقی، عمق مدار و مقیاس پذیری. همچنین مهم است که اطمینان حاصل شود که سخت‌افزار به‌راحتی از طریق ابر در دسترس است. بخش نرم‌افزار شاهد توسعه کتابخانه‌ها و ابزارهای جدید است. محیط‌های توسعه و شبیه‌سازها در تمام زبان‌های اصلی از جمله پایتون، C , C++، جاوا و غیره وجود دارد. به‌ویژه، در حال حاضر، به نظر می‌رسد پایتون زبان انتخابی برای ساخت مدارهای کوانتومی باشد. این زبان به‌صورت پویا تایپ می‌شود (در اینجا انواع متغیرها نباید توسط برنامه‌نویس اعلام شوند) و یک زبان تفسیر شده است (نیازی نیست که از قبل در یک پَروَنجا اجرایی باینری کامپایل شود) (Krupansky. 2020).

سازمان‌های تحقیق و توسعه در ایالات متحده، چین و اتحادیه اروپا در پروژه‌های مرتبط با محاسبات کوانتومی سرمایه‌گذاری زیادی می‌کنند. چین و اتحادیه اروپا میلیاردها دلار برای

تحریک تحقیق و توسعه کوانتومی سرمایه‌گذاری کرده‌اند. اتحادیه اروپا یک برنامه شاخص میلیارد دلاری برای تأمین مالی تحقیقات کوانتومی در سراسر اتحادیه اروپا دارد. چین در سال ۲۰۱۷ یک مرکز تحقیقاتی ۱۰ میلیارد دلاری را با تمرکز بر علوم اطلاعات کوانتومی اعلام کرده است[۱].

توپولوژی کوانتومی[۲] یکی از حوزه‌هایی است که آژانس‌هایی مانند مایکروسافت، آزمایشگاه های بل و تعداد کمی دیگر در آن کار می‌کنند. از سال ۲۰۱۶ به بعد، مایکروسافت در مسیر ساخت اولین کیوبیت توپولوژیکی است. طبق آنها، یک نوع قوی از بیت کوانتومی می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای یک سیستم رایانه‌ای کوانتومی مقیاس‌پذیر و باهدف عمومی عمل کند. در طول سال ۲۰۱۸، مایکروسافت رایانه‌های مایورانا فرمیون مایکروسافت را معرفی کرد که یک رایانه توپولوژیکی کوانتومی بسیار ساده، ۱ کیوبیتی است. فرمیون‌های مایورانا با تقسیم الکترون‌ها (که ذرات بنیادی هستند) به دو شبه ذره کوچک‌تر درهم‌تنیده ایجاد می‌شوند که اساساً کیوبیت‌های توپولوژیکی را تشکیل می‌دهند. در حال حاضر، هفت آزمایشگاه محاسبات کوانتومی مایکروسافت در سراسر جهان بر روی رایانه‌های کوانتومی کار می‌کنند (Roger. 2020).

غول فناوری اینتل تراشه‌های آزمایشی ابررسانا ۴۹ و ۱۷ کیوبیتی را برای محاسبات کوانتومی ایجاد کرده است. در طول سال ۲۰۱۸، در ایالات متحده، اینتل یک پردازنده ۴۹ کیوبیتی با نام رمز Tangle Lake را معرفی کرد. اینتل برای مدتی تلاش‌های سامانمند انجام داده است تا تحقیقات کوانتومی را بیشتر پیش ببرد و دراین‌رابطه چند سال قبل یک محیط آزمایش مجازی برای نرم‌افزارهای محاسبات کوانتومی ایجاد کرده بود که یک ابررایانه «Stampede» (در دانشگاه تگزاس در آستین) را برای شبیه‌سازی یک پردازنده ۴۲ کیوبیتی نیرو می‌داد. در اینجا هدف درک چگونگی نوشتن یک نرم‌افزار برای رایانه‌های کوانتومی بود[۳]. اینتل به‌عنوان آغازگر تحقیقات کوانتومی شناخته می‌شود. سازمان‌هایی مانند IBM نیز سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی انجام می‌دهند. رایانه آی‌بی‌ام از مدارهای ابررسانا استفاده می

---

[1] https://www.scientificamerican.com/article/how-close-are-we-really-to-building-a-quantum-computer/. Accessed on Apr 24, 2020.

[۲] در ریاضیات، توپولوژی با خواص یک جسم هندسی مرتبط است که تحت تغییر شکل های مداوم مانند کشش، پیچش، مچاله شدن و خم شدن حفظ می شود. توپولوژی کوانتومی مکانیک کوانتومی را با توپولوژی کم بعدی مرتبط می کند.

[3] https://www.scientificamerican.com/article/how-close-are-we-really-to-building-a-quantum

کند که در آن دو حالت انرژی الکترومغناطیسی مجزا یک کیوبیت را تشکیل می‌دهند. آژانس تحقیقاتی آنها به نام IBM Quantum ابتکاری برای ساخت رایانه‌های کوانتومی جهانی برای تجارت، مهندسی و علم است. این تلاش شامل پیشبرد کل پشته فناوری محاسبات کوانتومی و کاوش در برنامه‌های کاربردی برای ساختن کوانتوم به طور گسترده قابل‌استفاده و در دسترس است .(Knight. 2018)

در ماه مارس ۲۰۱۹، گوگل از ورود پردازنده کوانتومی جدید خود خبر داده بود. آنها یک پردازنده کوانتومی به نام "Bristlecone" توسعه داده‌اند. این سیستم فوق رسانا بستری برای تحقیق در مورد میزان خطای سیستم و مقیاس‌پذیری فناوری کیوبیت (Google) و همچنین کاربردهایی در شبیه‌سازی کوانتومی، بهینه‌سازی و یادگیری ماشینی فراهم می‌کند. این توسعه بخشی از رویکرد گام‌به‌گام Goggle برای دستیابی به هدف بزرگ‌تر برتری کوانتومی است. رهبری فناوری آنها بر این عقیده است که قبل از بررسی برنامه‌های کاربردی خاص، ابتدا نیاز به تعیین کمیت قابلیت‌های یک پردازنده کوانتومی وجود دارد. گروه مجهز نظریه آنها یک ابزار محک برای اندازه‌گیری عملکرد Bristlecone ایجاد کرده است. تعداد کمی از غول‌های فناوری وجود دارند که ادعای موفقیت در این زمینه داشته باشند. به نظر می‌رسد گوگل در این زمینه پیشرفت جالبی داشته است. آنها با ادعای اینکه در سال ۲۰۱۹ به برتری کوانتومی دست‌یافته‌اند، شگفتی بزرگی را ایجاد کردند. تأیید ادعای آنها در زمینه کلی تحقیقات در حال انجام در این زمینه مهم است. بااین‌حال، باید پذیرفت که دستاورد آنها می‌تواند درهای زیادی را برای تحقیقات آینده باز کند (Whitwam. 2018).

مفهوم برتری کوانتومی به طور گسترده‌ای برای دستیابی به افزایش چشمگیر سرعت در مقایسه با همه الگوریتم‌های کلاسیک شناخته شده است. این به معنای تحقق تجربی برتری کوانتومی است (Arute et al. 2019). گوگل یک رایانه کوانتومی به نام Sycamore توسعه داده است. این ریزتراشه به نام Sycamore از ۵۳ حلقه سیم استفاده کرده است که جریان می‌تواند با دو انرژی مختلف که نشان‌دهنده ۰ یا ۱ است. باعث ابررسانایی آنها می‌شود. برای یک‌لحظه - چند ده میلیونیم ثانیه - این باعث می‌شود که سطوح انرژی به‌صورت بیت کوانتومی یا کیوبیت رفتار کنند، موجوداتی که می‌توانند به‌اصطلاح در حالت‌های ۰ و ۱ برهم نهند (Aaronson. 2019). شرکت ادعا می‌کند که آنها به برتری کوانتومی بر قدرتمندترین ابررایانه‌های جهان با حل مشکلی که برای ماشین‌های معمولی تقریباً غیرممکن به نظر می‌رسد. رایانه محاسبه تولید یک فهرست بسیار طولانی از اعداد تصادفی و بررسی

مقادیر آنها را یک میلیون بار انجام داد. چنین مشکلاتی در واقع به بررسی قدرت پردازش یک دستگاه کمک می‌کند.

به‌طورکلی، محاسبات کوانتومی نویدهای زیادی دارد، اما همچنان یک کار در حال پیشرفت است و انتظار می‌رود رشد کلی یک فناوری مدتی طول بکشد. سطح فعلی برتری کوانتومی تا حدودی قابل‌بحث است، اما هنوز پیشرفت‌های عمده‌ای صورت‌گرفته است. تمام کارهایی که در زمینه محاسبات کوانتومی اتفاق می‌افتد بسیار دلگرم‌کننده است و نشان می‌دهد که رایانه کوانتومی یک واقعیت است. این فناوری زمانی که به بلوغ کامل برسد، مزایای عمده‌ای برای ارتش خواهد داشت. با درک پتانسیل دفاعی این فناوری، تعداد کمی از آژانس‌های دفاعی حمایت از تحقیقات در این زمینه را آغاز کرده‌اند. انتظار می‌رود که عمدتاً صنعت هوافضا می تواند از مزایای این فناوری بهره‌مند شود.

در مقاله‌ای که آقای هوانگ و همکارنش در کنفرانس هوش مصنوعی در سال ۲۰۲۲ ارائه کردند به این نکته توجه داشتند که بسیاری از کشورها مقدار زیادی از بودجه تحقیقات علمی را برای حمایت از فناوری اطلاعات کوانتومی سرمایه‌گذاری کرده‌اند و سیاست‌های بسیاری را برای حمایت از سه حوزه اصلی فناوری کوانتومی پیشنهاد کرده‌اند: سنجش کوانتومی، ارتباطات کوانتومی و محاسبات کوانتومی. بسیاری از غول‌های علم و فناوری نیز پلتفرم‌های آزمایشی محاسبات ابری کوانتومی را ارائه کرده‌اند که می‌توانند دسترسی کوانتومی را به صورت آنلاین فراهم کنند(Huangand et al. 2022). نصیب الله دوستی مطلق و سعید نائیه (۱۳۹۹) در مقاله‌ای با موضوع تاریخچه و انواع رایانه کوانتومی، چشم انداز رایانه کوانتومی را بدین صورت بیان می‌کند که تا سال ۲۰۳۰ میلادی از رایانه‌های کلاسیک سبقت می‌گیرد. اما از نظر این مقاله تا رسیدن دنیا به برتری کوانتومی فاصله زیادی خواهد بود(نائیه و دوستی مطلق، ۱۳۹۹).

سید عابدین کریمی و علیرضا صادقی (۱۳۹۹) در مقاله‌ای تحت عنوان چالش‌های جنگ الکترونیک با ظهور فناوری‌های کوانتومی با تاکید بر رادارهای کوانتومی و امنیت داده‌ها فناوری کوانتوم را جز آن دسته از فناوری‌هایی قرار داده که در آینده نه چندان دور انقلاب عظیمی در حوزه علم و فناوری ایجاد خواهد کرد. در همین مقاله به این نکته توجه دارد که این دسته فناوری‌ها نه تنها در علم و فناوری بلکه در مناسبات اقتصادی، سیاسی، نظامی و... تحول ایجاد خواهد کرد(کریمی و صادقی، ۱۳۹۹).

مهران فاضلی و سید نصیب الله دوستی مطلق (۱۳۹۹) در مقاله‌ای با موضوع برنامه‌ریزی راهبردیِ رمزنگاری پساکوانتومی برای مقابله با تاثیرات رایانش کوانتومی بر روی رمزنگاری‌ها با

استفاده از روش سوات نشان می‌دهند که ایران در ناحیه‌ی WT قرار گرفته است و راهبردهای متناسب برای مقابله با تهدیدات و پوشاندن نقاط ضعف این ناحیه به صورت خلاصه شده شامل این موارد هستند: ۱) ایجاد یک مرکز ملی برای تعیین و تصویب رمزنگاری‌های پساکوانتومی استاندارد و مورد تایید. ۲) ایجاد تمایل به همکاری در بین متخصصان و نخبگان ایرانی رمزنگاری پساکوانتومی. ۳) جذب بودجه و توجه ارگان‌های دولتی و خصوصی در زمینه اهمیت پیاده‌سازی این روش رمزنگاری. ۴) فراهم کردن زیرساخت آموزشی و تبادل اطلاعات(دوستی مطلق و فاضلی، ۱۴۰۰).

سیدعبدالرحیم موسوی و محمد سپهری (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان راهبردهای پدافندغیرعامل الکترونیک راداری در برابر تهدیدات آتی حساسه‌های اطلاعات الکترونیک دشمن در افق ۱۴۰۴ با توجه به این نکته که دشمن با بکارگیری حساسه‌های پیشرفته اطلاعات الکترونیکی (الینت) در پایگاه‌های مختلف نظامی از هوا، فضا، زمین، دریا و فضای سایبری کلیه فعالیت‌های سامانه‌های راداری آجا را رهگیری، شناسایی و موقعیتیابی مینماید. با استفاده از ماتریس سوات به این نتیجه مهم رسید که پدافندغیرعامل الکترونیک راداری موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقاء پایداری ملی، تسهیل مدیریت بحران و مصونسازی سامانه‌های راداری و به عنوان یکی از بهترین راه‌های مقابله با تهدیدات حساسه‌های اطلاعات الکترونیکی (الینت) دشمن می‌باشد (موسوی و سپهری، ۱۳۹۷).

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، در دسته پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد؛ زیرا می‌تواند در تدوین برنامه راهبُردی ارتش برای توسعه فناوری رایانه کوانتومی موثر باشد. روش تحقیق از نوع تحقیقات توصیفی، تحلیلی است. روش بدست آوردن اطلاعات روش آمیخته می‌باشد بدین صورت که پژوهشگر ابتدا با استفاده از مصاحبه نقاط قوت، ضعف، تهدیدات و فرصت‌ها را تا رسیدن به حالت اشباع شناسایی کرده سپس بر اساس یافته‌ها پرسش‌نامه‌ای آماده و در اختیار جامعه موردمطالعه قرار داده شده است. به منظور گردآوری اطلاعات در این پژوهش ابتدا با استفاده از کتابخانه و دسترسی به داده‌های موجود در اینترنت مانند پایگاه‌های معتبر خارجی و داخلی منابع موجود در این زمینه موردمطالعه قرار گرفت تا بتوان بر اساس آن‌ها عوامل موثر بر تدوین راهبُرد را شناسایی کرد. سپس برای تعیین و مشخص‌کردن مهم‌ترین عوامل و نقاط قوت و ضعف از خبرگان واجد شرایط داخل سازمان و خارج سازمان استفاده شد. در ادامه پرسش‌نامه‌ای برای رتبه‌بندی، آزمون‌های آماری و بررسی عوامل از در طیف لیکرت طراحی شد

که در این پرسش‌نامه عوامل از امتیاز ۵ (بسیار بااهمیت) تا ۱ (بسیار کم‌اهمیت) مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفت. جامعه آماری این تحقیق تعداد ۳۰ نفر از اساتید هیئت‌علمی گروه فیزیک دانشگاه‌های افسری ارتش، مدیران و کارشناسان سازمان علوم و تحقیقات ارتش که در زمینه فناوری رایانه کوانتومی در حال فعالیت می‌باشند. به علت محدود بودن تعداد افراد جامعه نمونه، استفاده شده کل جامعه می‌باشد. در تعیین روایی پرسش‌نامه، ۵ تن از اساتید صاحب نظر در حوزه مدیریت فناوری نظرسنجی انجام شد که همه آنها روایی پرسش‌نامه را تأیید کردند. در خصوص پایایی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS روش آلفای کرونباخ مقدار پایایی این پرسش‌نامه را ۰/۸۱ نشان داد که این مقدار نشان‌دهنده داشتن پایایی می‌باشد. جهت تجزیه وتحلیل داده‌ها از آمار توصیفی توصیف وضعیت پاسخ‌دهندگان و آمار استنباطی برای تجزیه وتحلیل اطلاعات و آزمون فریدمن برای تعیین اولویت گویه‌ها و برای تحلیل وضع موجود از روش سوات استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

شناسایی و استخراج عوامل داخلی موثر بر توسعه رایانه

برای پاسخ به فرض اولیه، از آزمون فریدمن استفاده گردید. بر اساس نتایج دست‌آمده حاصل از این پژوهش، در عوامل مرتبط با نقاط قوت فناوری رایانه کوانتومی در ارتش در سطح معناداری $p < 0/05$ قابل پذیرش می‌باشد. نتایج آزمون فریدمن در خصوص معیارهای‌بخش نقاط قوت فناوری رایانه کوانتوم در ارتش نیز با کای‌اسکوار ۱۴،۷۲۸ و درجه آزادی ۷ معنادار بود. این نتایج نشان‌دهنده اولویت بیشتر بر تمرکز بر رشته‌های با کاربرد نظامی در ارتش با میانگین ۵،۴۳ می‌باشد (جدول ۱).

برای پاسخ فرضیه دوم، همانند مورد قبل از آزمون فریدمن استفاده شده. بر اساس نتایج به دست‌آمده از این پژوهش، در عوامل مرتبط با نقاط ضعف فناوری رایانه کوانتومی در ارتش در سطح معناداری $p < 0/05$ قابل پذیرش می‌باشد. نتایج آزمون فریدمن در خصوص معیارهای‌بخش نقاط ضعف فناوری رایانه کوانتوم در ارتش نیز با کای‌اسکوار ۱۲،۴۱ و درجه آزادی ۷ معنادار بود. این نتایج نشان‌دهنده اولویت بیشتر بر عدم تناسب بودجه و مأموریت محوله در ارتش با میانگین ۴،۹۳ می‌باشد (جدول ۲).

جدول (۱) آماره‌های آزمون فریدمن حاصل از تحلیل نقاط قوت

	میانگین
وجود محیط رقابتی در ارتش	۴/۱۲
حمایت سازمان علوم تحقیقات ارتش	۴/۰۵
انضباط و ساختار سلسه‌مراتبی در ارتش	۴/۱۰
امکان استفاده از سربازان نخبه	۴/۳۵
وجود متخصصان در حوزه فاوا	۵/۰۷
تمرکز بر رشته‌های کاربردی نظامی	۵/۴۳
وجود دانشگاه‌های افسری در ارتش	۳/۷۸
گرایش فرماندهان بر به‌کارگیری فناوری‌ها	۵/۱۷

جدول (۲) آماره‌های آزمون فریدمن حاصل از تحلیل نقاط ضعف

	میانگین
عدم توجه به اصول مدیریت راهبُردی	۴/۵۲
عدم شفافیت اهداف بلندمدت و کوتاه‌مدت	۴/۶۵
توجه ناکافی به فناوری‌های نوظهور	۴/۳۲
توجه ناکافی به رشته و گرایش فیزیک در ارتش	۴/۱۵
محدودیت در سیستم و تجهیزات آزمایشگاه	۴/۴۷
عدم خودباوری در بین کارکنان	۴/۶۰
عدم تناسب بودجه و اعتبارات با مأموریت	۴/۸۸
محدودیت ظرفیت سرباز نخبه در ارتش	۴/۴۲

پس از شناسایی نقاط قوت و ضعف، عوامل اولویت‌دار در یک ستون قرار گرفته و سپس با استفاده از ضرایب و رتبه‌های خاصی که حاصل نظر خبرگان است ماتریس عوامل داخلی تشکیل گردید. این جدول در ۴ ستون تدوین شده که در ستون اول فهرست نقاط قوت و ضعف در ستون دوم ضریب اهمیت در ستون سوم رتبه‌بندی و در ستون آخر ضرب ستون دوم و سوم تحت عنوان نمره قرارداد. با جمع‌کردن تمام نمرات در ستون چهارم عددی بین ۱ تا ۴ به دست می‌آید (در نقاط قوت رتبه ۴ یک قوت عالی و رتبه ۳ یک قوت معمولی است در نقاط ضعف هم رتبه ۲ یک ضعف معمولی و رتبه ۲ ضعف جدی است) که اگر نمره بین ۱ تا ۲،۵ بود به معنی نداشتن شرایط مناسب سازمان در عوامل داخلی (نقاط قوت و ضعف) و اگر عددی بین ۲،۵ تا ۴ بود؛ یعنی شرایط مناسب سازمان در این عوامل مناسب است. امتیاز نهایی به‌دست آمده در عوامل قوت و ضعف سازمان در توسعه فناوری رایانه کوانتومی، ۲،۴۹ محاسبه شده

است. از عدد محاسبه شده می‌توان نتیجه گرفت که در عوامل داخلی ارتش وضعیت نامطلوب را داشته به گونه‌ای که نقاط ضعف پیش‌روی ارتش از نقاط قوت آن پیشی گرفته‌است.

جدول (۳) بررسی عوامل نقاط قوت توسعه رایانه کوانتومی

ردیف	فهرست نقاط قوت سازمان	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
۱	تمرکز بر رشته‌های با کاربرد نظامی	۰/۰۸	۴	۰/۳۲
۲	امکان استفاده از سرباز نخبه در ارتش	۰/۱	۳	۰/۳
۳	ساختار سلسله‌مراتبی و انضباط در ارتش	۰/۰۳	۳	۰/۰۹
۴	گرایش فرماندهان بر به‌کارگیری فناوری‌ها	۰/۰۲	۴	۰/۰۸
۵	وجود محیط رقابتی در ارتش	۰/۰۳	۳	۰/۰۹
۶	وجود متخصصان در حوزه فاوا در ارتش	۰/۰۶	۴	۰/۲۴
۷	حمایت سازمان علوم و تحقیقات ارتش	۰/۰۴	۳	۰/۱۲
۸	وجود دانشگاه‌های افسری ارتش	۰/۱	۴	۰/۴
جمع		۰/۴۶		۱/۶۴

جدول (۴) بررسی عوامل نقاط ضعف توسعه رایانه کوانتومی

ردیف	فهرست نقاط ضعف سازمان	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
۱	عدم تناسب بودجه و اعتبارات با مأموریت	۰/۰۶	۲	۰/۱۲
۲	عدم خودباوری در بین کارکنان	۰/۰۴	۱	۰/۰۴
۳	توجه ناکافی به رشته و گرایش فیزیک در ارتش	۰/۰۷	۲	۰/۱۴
۴	توجه ناکافی به فناوری نوظهور	۰/۱	۲	۰/۲
۵	عدم شفافیت اهداف بلندمدت و کوتاه‌مدت	۰/۰۸	۱	۰/۰۸
۶	محدودیت در جذب سرباز نخبه در ارتش	۰/۰۷	۱	۰/۰۷
۷	محدودیت در سیستم و تجهیزات آزمایشگاهی	۰/۰۸	۲	۰/۱۶
۸	عدم توجه به اصول مدیریت راهبُردی در ارتش	۰/۰۴	۱	۰/۰۴
مجموع		۰/۵۴		۰/۸۵

شناسایی و استخراج عوامل خارجی موثر بر توسعه رایانه کوانتومی در ارتش

برای پاسخ به سوال فرضیه سوم، همانند مورد قبل از آزمون فریدمن استفاده شده. بر اساس نتایج به دست‌آمده از این پژوهش، در عوامل مرتبط با فرصت‌های فناوری رایانه

کوانتومی جهت توسعه در ارتش با سطح معناداری $p < 0/05$ قابل پذیرش می‌باشد. نتایج آزمون فریدمن در خصوص معیارهای‌بخش فرصت‌های توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش نیز با کای‌اسکوار ۱۲،۳۲۸ و درجه آزادی ۷ معنادار بود. این نتایج نشان‌دهنده فرصت عالی در امکان بهره‌برداری از امکانات مراکز پژوهشی در سطح ملی با میانگین ۴،۹۳ می‌باشد (جدول ۵).

جدول(۵) آماره‌های آزمون فریدمن حاصل از تحلیل نقاط فرصت

	میانگین
حاکمیت علم در سطح نیروهای مسلح	۴/۸۷
وجود دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی نظامی	۴/۱۸
امکان بهره‌برداری از امکانات مراکز پژوهشی کشور	۴/۹۳
توان علمی‌پژوهشی وزارت علوم و تحقیقات	۴/۱۳
وجود نیروی انسانی خلاق و مستعد	۴/۳۵
وجود طرح‌های راهبردی در سطح ملی	۴/۳۸
وجود نهادهای بین‌المللی نظامی	۴/۷۰
وجود تجارب نیروهای مسلح در فناوری اطلاعات	۴/۴۵

برای یافتن پاسخ فرضیه چهارم، همانند مورد قبل از آزمون فریدمن استفاده شده. بر اساس نتایج به دست‌آمده از این پژوهش، در عوامل مرتبط با تهدیدات پیش روی ارتش جهت توسعه فناوری رایانه کوانتومی در سطح معناداری $p < 0/05$ قابل پذیرش می‌باشد. نتایج آزمون فریدمن در خصوص معیارهای‌بخش تهدیدات فناوری رایانه کوانتوم در ارتش نیز با کای‌اسکوار ۳،۵۷۷ و درجه آزادی ۷ معنادار بود. این نتایج نشان‌دهنده تهدید رهبردی در موقعیت ژئوپلتیکی جمهوری اسلامی ایران در جهان و منطقه با میانگین ۴،۹۸ می‌باشد (جدول ۶).

جدول(۶) آماره‌های آزمون فریدمن حاصل از تهدیدات

	میانگین
رشد سریع فناوری و نوع جنگ مرتبط با آن‌ها	۴/۷۳
عدم همکاری سازمان‌های بین المللی	۴/۴۸
جنگ اقتصادی با جمهوری اسلامی ایران	۴/۵۳
فقدان برنامه جامع جهت توسعه در کشور	۴/۰۱
عدم وجود استارتاپ‌های کوانتومی در کشور	۴/۲۷
موقعیت ژئوپلتیکی جمهوری اسلامی ایران	۴/۹۸
وجود تحریم از طرف دیگر کشورها	۴/۶۵
ضعف همکاری در بین نیروهای مسلح	۴/۴۲

مراحل تهیه ماتریس EFE نیز همانند ماتریس IFE است با این تفاوت که به‌جای عوامل داخلی عبارت خارجی و به‌جای نقاط قوت و ضعف به ترتیب فرصت‌ها و تهدیدها آورده می‌شود؛ ولی در مراحل کار مانند حالت قبل عمل می‌شود. توجه به اینکه ضروری است که درتهدیدها چنانچه بتوانیم آن را به‌خوبی مدیریت کنیم امتیاز بالا دریافت می‌کند و اگر از فرصت‌ها نتوانیم به‌خوبی استفاده کنیم امتیاز پایینی به آن تعلق می‌گیرد.

جدول (۷) بررسی عوامل فرصت و تهدید سازمان

ردیف	فهرست فرصت‌های سازمان	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
۱	امکان بهره‌برداری از امکانات مراکز پژوهشی در کشور	۰/۰۸	۴	۰/۳۲
۲	حاکمیت علم در نیروهای مسلح	۰/۰۵	۳	۰/۱۵
۳	وجود نهادهای بین‌المللی نظامی و غیرنظامی	۰/۰۷	۳	۰/۲۱
۴	وجود تجارب ارزشمند نیروهای مسلح در فناوری اطلاعات	۰/۰۳	۴	۰/۱۲
۵	وجود طرح‌های راهبردی ملی	۰/۰۳	۴	۰/۱۲
۶	وجود نیروهای انسانی خلاق و مستعد	۰/۰۷	۴	۰/۲۸
۷	وجود دانشگاه‌ها و مراکز علمی‌پژوهشی نظامی	۰/۱	۴	۰/۴
۸	توان علمی‌پژوهشی وزارت علوم و تحقیقات	۰/۰۵	۳	۰/۱۵
جمع		۰/۴۸		۱/۲۲

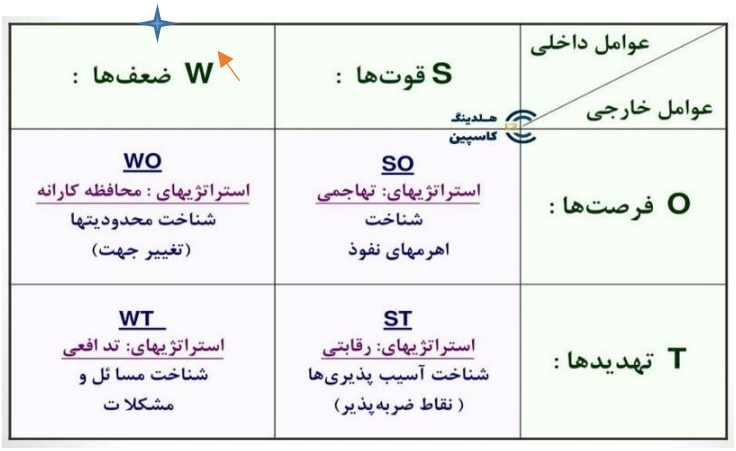
جدول (۸) بررسی عوامل فرصت و تهدید سازمان

ردیف	فهرست تهدیدات سازمان	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
۱	موقعیت پولتیکی جمهوری اسلامی ایران	۰/۰۸	۲	۰/۱۶
۲	رشد سریع فناوری‌ها و جنگ‌های آن	۰/۰۵	۲	۰/۱۰
۳	وجود تحریم‌ها از طرف کشورها	۰/۰۵	۲	۰/۱۰
۴	بحران اقتصادی جمهوری اسلامی ایران	۰/۰۹	۱	۰/۰۹
۵	عدم همکاری سازمان‌های بین‌المللی	۰/۰۷	۱	۰/۰۷
۶	ضعف همکاری در بین نیروهای مسلح	۰/۰۸	۱	۰/۰۸
۷	عدم وجود استارتاپ کوانتومی در کشور	۰/۰۷	۱	۰/۰۷
۸	فقدان برنامه جامع جهت توسعه در کشور	۰/۰۳	۲	۰/۰۶

ردیف	فهرست تهدیدات سازمان	ضریب اهمیت	رتبه	نمره
جمع		۰/۵۲		۰/۶۶

ماتریس عوامل داخلی و خارجی

شکل (۲) ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی جهت توسعه رایانه کوانتومی در ارتش را نشان می‌دهد. باتوجه‌به نتایج حاصل از جدول‌های (۷) و (۸) حاصل از موارد قبل مشخص شد که موقعیت راهبُردی ارتش در توسعه رایانه کوانتومی در منطقه WO یا راهبُرد محافظه‌کارانه قرارداد و برای پیشبرد اهداف خود باید از راهبُرد مربوط به این منطقه استفاده کند.



نمودار (۲) ماتریس تعیین موقعیت اقدام راهبردی

با توجه به موارد ذکر شده دربخش های قبل و با توجه به سوال اخر پژوهش که همان تدوین ماتریس سوات است، ماتریس سوات به شرح زیر تدوین می‌گردد:

جدول(۹) ماتریس ارزیابی نقاط قوت، ضعف، تهدیدات و فرصت‌ها در توسعه فناوری رایانه کوانتومی

ماتریس ارزیابی عوامل داخلی / ماتریس ارزیابی عوامل خارجی	نقاط قوت	نقاط ضعف
	۱. تمرکز بر رشته‌های با کاربرد نظامی ۲. امکان استفاده از سرباز نخبه در ارتش ۳. ساختار سلسله‌مراتبی و انضباط ۴. گرایش فرماندهان بر به کارگیری فناوری‌ها ۵. وجود محیط رقابتی در ارتش ۶. وجود متخصصان در حوزه فاوا ۷. حمایت از سازمان علوم و تحقیقات ارتش ۸. وجود دانشگاه‌های افسری ارتش	۱. عدم تناسب بودجه و اعتبارات با مأموریت ۲. عدم خودباوری در بین کارکنان ۳. توجه ناکافی به رشته و گرایش فیزیک در ارتش ۴. توجه ناکافی به فناوری نوظهور ۵. عدم شفافیت به اهداف بلند مدت و کوتاه مدت ۶. محدودیت در جذب سرباز نخبه در ارتش ۷. محدودیت در تجهیزات آزمایشگاهی ۸. عدم توجه به اصول مدیریت راهبردی در ارتش
فرصت‌ها ۱. امکان بهره‌برداری از مراکزپژوهشی کشور ۲. حاکمیت علم در بدنه نیروهای مسلح ۳. وجود نهادهای بین‌المللی نظامی و غیرنظامی ۴. تجارب ارزشمند نیروهای مسلح در فناوری اطلاعات ۵. وجود طرح‌های راهبردی ملی ۶. وجود نیروهای انسانی مستعد و خلاق ۷. وجود دانشگاه‌ها ومراکز علمی پژوهشی نظامی ۸. وجود توان علمی پژوهشی وزارت علوم	**استراتژی فرصت و قوت** ۱. تقاضای افزایش سرباز نخبه در ارتش ۲. همکاری متخصصان حوزه فاوا و اساتید دانشگاه و مراکز نظامی ۳. افزایش همکاری با نهادهای نظامی بین‌المللی کشورهای دوست ۴. تقویت مراکز رشد و پارک علم و فناوری در سطح نیروهای مسلح	**استراتژی ضعف فرصت** ۱. استفاده از اساتید مطرح دانشگاهی برای تقویت رشته فیزیک ۲. استفاده از طرح‌های راهبردی ملی جهت مشخص نمودن اهداف بلند مدت و کوتاه مدت ۳. استفاده از توان علمی کشور در جهت رفع محدودیت‌های آژمایشگاهی و توسعه زیر ساخت

تهدیدات	استراتژی تهدید و فرصت	استراتژی تهدید و ضعف
۱. موقعیت پولتیکی جمهوری اسلامی ایران ۲. رشد سریع فناوری‌ها و جنگ‌ها ۳. وجود تحریم‌ها از طرف کشورها ۴. بحران اقتصادی ج. ا. ا ۵. عدم همکاری سازمان های بین‌المللی ۶. ضعف همکاری بین نیروهای مسلح ۷. عدم وجود استارتاپ کوانتومی در کشور ۸. فقدان برنامه جامع جهت توسعه در کشور	۱. برنامه‌ریزی بر حوزه‌های زود بازده و فعال در کشور ۲. افزایش همکاری بین نیروهای مسلح ۳. شناسایی و تشویق نیروها در حوزه‌های مختلف استارتاپ کوانتومی	۱. تخصیص بودجه مورد نیاز جهت تحقیقات و افزایش جایگاه علمی ایران در این فناوری ۲. تلاش بر عدم توجه کارکنان بر بحران‌ها و تشویق آن‌ها جهت تلاش بر توسعه فناوری

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش شده است تا عوامل مؤثر بر توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش جمهوری اسلامی ایران مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. این تجزیه‌وتحلیل با ارائه یک نمای کلی از نقاط قوت، ضعف، تهدیدات و فرصت‌های موجود در ارتش یا به‌اصطلاح تحلیل سوات انجام شد. از آنجایی‌که می‌توان این فناوری در گروه فناوری‌های نوظهور قرارداد، ارزیابی دقیق عوامل مؤثر بر توسعه فرایندی بسیار پیچیده است. بااین‌حال برخی از عناصر مهم و جالب در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس یافته‌های‌بخش قبل در پژوهش حاضر، جهت توسعه رایانه کوانتومی در ارتش عوامل داخلی مهم و راهبردی بر طبق نظر خبرگان، ۱) تمرکز ارتش بر رشته‌های تحصیلی با کاربرد نظامی، ۲) گرایش فرماندهان بر توسعه و به‌کارگیری فناوری و ۳) وجود متخصصان حوزه فناوری اطلاعات در ارتش از جمله نقاط قوت راهبردی و در مقابل ۱) عدم تناسب بودجه و اعتبارات با مأموریت محوله بر ارتش، ۲) توجه ناکافی به گرایش‌های فیزیک در ارتش و ۳) محدودیت در سیستم و تجهیزات آزمایشگاهی از جمله نقاط ضعف مهم در ارتش است. در مقابل این عوامل درونی، عوامل بیرونی مهمی در توسعه این فناوری در ارتش دخیل هستند که با بهره‌گیری از نظر خبرگان، ۱) امکان بهره‌گیری از امکانات مراکز پژوهشی در سطح کشور، ۲) وجود طرح‌های راهبردی ملی و ۳) وجود و همکاری دانشگاه ها و مراکز پژوهشی نظامی از جمله فرصت‌های مهم برای ارتش و در مقابل، ۱) موقعیت

ژئوپلیتیکی ایران در جهان و منطقه، ۲) رشد سریع فناوری‌ها و به‌کارگیری آن در جنگ‌ها و ۳) وجود تحریم‌های ظالمانه از جمله تهدیدات راهبردی در توسعه رایانه کوانتومی در ارتش است. باتوجه‌به قرارگیری جایگاه راهبُرد توسعه رایانه کوانتومی در منطقه محافظه‌کارانه، مدیران و فرماندهان ارتش باید برنامه‌های خود را در جهت تقویت نقاط ضعف و افزایش فرصت‌ها متمرکز کنند. پس ارتش باید برنامه‌های خود را در جهت تقویت نقاط ضعف و تبدیل آن‌ها به نقاط قوت و تمرکز بر افزایش فرصت‌ها که همان راهبرد رشد و توسعه است، استفاده نماید.

پیشنهادات راهبردی

اولین پیشنهاد مربوط به نتایج این مطالعه در حوزه تهدیدات مرتبط با توسعه این فناوری می‌باشد. باید همه مؤسسات و افرادی که مسئول تحقیق و توسعه در حوزه رایانه کوانتومی هستند، اطلاعات مربوط و اقدامات انجام شده را جهت مدیریت دانش منتشر کنند تا از اقدامات جزیره‌ای و موازی جلوگیری شود و باعث هم افزایی بیشتر با سایر پژوهشگران شود. به‌عنوان توصیه بعدی، باتوجه‌به تخصیص منابع مالی قابل‌توجه توسط کشورهای مختلف و باتوجه‌به اینکه برخی کشورهای موجود از دشمنان کشور هستند، تأمین مالی کافی در ارتش، امری ضروری خواهد بود. حمایت از مراکز تحقیقاتی و پارک‌های علمی فناوری، به‌کارگیری نخبگان و صاحبان فکر در ارتش می‌تواند کیفیت تحقیقات را در ارتش ارتقا دهد و پیشنهاد آخر، متمرکز نمودن سیاست‌های کلان در ارتش برای توسعه فناوری رایانه کوانتومی در ارتش.

قدردانی

بدین‌وسیله از کلیه اساتید و خبرگان محترم که با همکاری و بذل عنایت در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، کمال امتنان را داریم.

منابع

- ابراهیم ایجابی، فرهاد درویشی سه تلانی، حسین مینایی، صفر فضلی، عین الله کشاورز، (۱۳۹۸). آینده نگاری راهبردی فناوری‌های دفاعی در حوزه پدافند هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۲۰، نشریه آینده پژوهی دفاعی، ۴(۱۴)، ۷-۳۴.
- آراستی، محمد رضا, پاک نیت, محمد. (۱۳۸۹). طبقه‌بندی مدل‌های تدوین استراتژی تکنولوژی مبتنی بر یک رویکرد فرایندی. *سیاست علم و فناوری. ۳(۱)، ۱۵-۱.*
- حشمتی, میرمحمد, رحمانی, کمال الدین, فقهی فرهمند, ناصر. (۱۳۹۸). ارزیابی توانمندی تکنولوژیکی برای تدوین راهبردهای فناوری نوین با استفاده از مدل پاندا، هکس و مجلوف در هلدینگ صنایع غذایی سینا. فصلنامه محیط زیست جانوری, ۱۱(۱), ۳۴۳-۳۵۲.

- سعید نائیه، سید نصیب االله دوستی مطلق، (۱۳۹۹). تاریخچه و انواع رایانه‌های کوانتومی، نشریه نشاء علم، ۱۰(۲)، ۱۶۳-۱۷۱
- سید عیدالرحیم موسوی، محمد سپهری، (۱۳۹۶). راهبردهای پدافند غیرعامل الکترونیک راداری در برابر تهدیدات آتی حساسه‌های اطلاعات الکترونیکی دشمن در افق چشم انداز ۱۴۰۴، نشریه آینده پژوهی دفاعی، ۲(۵)، ۷-۲۵.
- عابدین کریمی، علیرضا صادقی، (۱۳۹۹). چالش‌های جنگ الکترونیک با ظهور فناوری‌های کوانتومی با تاکید بر رادارهای کوانتومی و امنیت داده‌ها، فصلنامه علوم و فناوری دریا، ۲۴(۹۵)، ۱۱-۲۷.
- قاسمی, حاکم, نصیرلو, سودابه. (۱۴۰۰). فناوری‌های نوظهور و تأثیر آنها بر تمدن نوین اسلامی. فصلنامه مطالعات بنیادین تمدن نوین اسلامی, ۴(۱), ۱-۴۰.
- گودرزی, غلامرضا, اجلالی, محمدمهدی. (۱۴۰۰). تحلیل روندهای آینده فناوری‌های دفاعی در افق ده ساله. آینده‌پژوهی دفاعی, ۶(۲۳), ۳۷-۵۷.
- مزرعه، خدیجه و باوی فرد، فریده و معرفی رمیله، محمد، ۱۳۹۸، کاربرد مکانیک کوانتوم در ساخت رایانه‌های کوانتومی، کنگره ملی تحقیقات بنیادین در مهندسی کامپیوتر و فن اوری اطلاعات، تهران،
- نصیب الله دوستی مطلق، مهران فاضلی، (۱۴۰۰). طرح‌ریزی راهبردی رمزنگاری پساکوانتومی برای مقابله با تاثیرات رایانش کوانتومی بر روی رمزنگاری‌ها، نشریه فرماندهی و کنترل، ۴(۴)، ۲۱-۴۳.

- Anthony S (2011) First ever commercial quantum computer now available for $10 million, May 20, 2011. https: //www. extremetech. com/computing/84228-first-ever-commercial-qua ntum-computer-now-available-for-10-million. Accessed 20 Nov 2020.
- Beeton, D. A. , Phaal, R. & Probert, D. R. , 2008. Exploratory roadmapping for foresight. International Journal of Technology Intelligence and Planning, 4(4), p. 398.
- Bray, O. H. & Garcia, M. L. , 1997. Technology roadmapping: the integration of strategic and technologyplanning for competitiveness. Innovation in Technology Management. The Key to Global Leadership. PICMET ’97, pp. 25–28.
- Carayannis EG, Grigoroudis E, Campbell DF, Meissner D, Stamati D (2018) The ecosystem as helix: an exploratory theory-building study of regional co-opetitive entrepreneurial ecosystems as quadruple/quintuple helix innovation models. R&D Manag 48(1): 148–162.
- Charles H. Bennett. Logical reversibility of computation. IBM J. Res. Dev. , 17(6): 525– 532, November 1973.

- Clark, P. , Staunton, N. and Rogers, E. 1993. Innovation in technology and organization, Rutledge London.
- Danila, N. 1989. Strategic evaluation and selection of R&D projects, R&D Management, 19, pp. 47-62.
- David Deutsch. Quantum theory, the church-turing principle and the universal quantum computer. Proc. of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 400(1818): 97–117, 1985.
- David Elieser Deutsch. Quantum computational networks. Proc. of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 425(1868): 73–90, 1989.
- David Z. Albert. On quantum-mechanical automata. Physics Letters A, 98(5–6): 249–252, 1983.
- Garcia, M. L. & Bray, O. H. , 1997. Fundamentals of Technology Roadmapping. Distribution, 4205(April), p. 34.
- Gerdsri, N. , Kongthon, A. & Vatananan, R. S. , 2008. Mapping the knowledge evolution and network of technology roadmapping (TRM) using bibliometric analysis. PICMET: Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings, (August 2013), pp. 2115–2132.
- Grimes RA (2020) Cryptography apocalypse: preparing for the day when quantum computing breaks today's crypto. Wiley & Sons, Inc. , New Jersey, pp 44–54.
- Guo C et al (2019) General-purpose quantum circuit simulator with projected entangled-pair states and the quantum supremacy frontier. Phys Rev Lett 123
- Henry, A. (2021). Understanding strategic management. Oxford University Press.
- Huggins R, Johnston A (2009) Knowledge networks in an uncompetitive region: SME innovation and growth. Growth Change 40(2): 227–259
- Hughes, C. , Isaacson, J. , Perry, A. , Sun, R. F. , Turner, J. (2021). Introduction to Superposition. In: Quantum Computing for the Quantum Curious. Springer, Cham.
- Hughes, C. , Isaacson, J. , Perry, A. , Sun, R. F. , Turner, J. (2021). Introduction to Superposition. In: Quantum Computing for the Quantum Curious. Springer, Cham.
- J. Eisert, M. M. Wolf, Quantum computing, in Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications, (Springer, Berlin/ Heidelberg, 2013), pp. 2388–2405.
- Kania EB (2018) China's quantum future, September 26, 2018. https: //www. foreignaffairs. com/articles/china/2018-09-26/chinas-quantum-future. Accessed 12 Nov 2020.
- Katwala A (2020) Quantum computers will change the world (if they work). 05 March 2020. https: //www. wired. co. uk/article/quantum-computing-explained. Accessed on 24 Apr 2020.

- Ketels CH, Memedovic O (2008) From clusters to cluster-based economic development. Int J Technol Learn Innov Dev 1(3): 375–392
- Knight W (2018) Serious quantum computers are finally here. What are we going to do with them? https: //www. technologyreview. com/2018/02/21/145300/serious-quantum-comput ers-are-finally-here-what-are-we-going-to-do-with-them/. Accessed on 24 April 2020
- Knight W (2018) Serious quantum computers are finally here. What are we going to do with them? https: //www. technologyreview. com/2018/02/21/145300/serious-quantum-comput ers-are-finally-here-what-are-we-going-to-do-with-them/. Accessed on 24 April 2020
- Koenig, R. , 1999. Science Blueprint Is High on Ideals, Light on Details. Science, 285(5425).
- König, Harald, Martina F. Baumann, and Christopher Coenen. 2021. "Emerging Technologies and Innovation—Hopes for and Obstacles to Inclusive Societal Co-Construction" *Sustainability* 13, no. 23: 13197.
- Kostoff, R. N. & Schaller, R. R. , 2001. Science and technology roadmaps. IEEE Transactions on Engineering Management, 48(2), pp. 132–143.
- Kratsios M (2019) U. S. CTO: how America achieved ‘quantum supremacy’, October 23, 2019. https: //fortune. com/2019/10/23/google-sycamore-quantum-computer-supremacy/. Accessed 09 Nov 2020.
- Krelina, M. (2021). Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technology*, *8*(1), 24.
- Krelina, M. (2021). Quantum warfare: definitions, overview and challenges. *arXiv preprint arXiv: 2103. 12548*.
- Krelina, Michal. "Quantum technology for military applications. " EPJ Quantum Technology 8. 1 (2021): 24.
- Krupansky J (2020) The greatest challenges for quantum computing are hardware.
- Laur I, Klofsten M, Bienkowska D (2012) Catching regional development dreams: a study of cluster initiatives as intermediaries. Eur Plann Stud 20(11): 1909–1921
- Lefebvre C (2020) The Canadian ecosystem that supports quantum innovation, Aug 21, 2020. https: //quantumcomputingreport. com/the-canadian-ecosystem-that-supports-quantuminnovation/. Accessed 16 Nov 2020
- Lele, A. (2021). Global Investments. In: Quantum Technologies and Military Strategy. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham.
- Martonosi, M. Roetteler, Next steps in quantum computing (2019),
- McKinlay R. The UK can lead from the front in a brave new world. https: //www. newstates man. com/sites/default/files/epsrc_supp_update_2019. pdf. Accessed 08 Nov 2020.

- Meia Nouwens and Helena Legarda. China's pursuit of advanced dual-use technologies. IISS. Dec. 2018. url: https: //www. iiss. org/blogs/research-paper/2018/12/emerging-technologydominance (visited on 09/30/2010).
- Minina, S. V. , & Shklovskiy-Kordi, N. E. (2022). Neuron quantum computers and a way to unification of science: A compendium of Efim Liberman's scientific work. Biosystems, 104684.
- Mishra H (2021) Wipro signs MoU with Tel Aviv University for research in quantum computing, January 6, 2021. https: //in. news. yahoo. com/wipro-signs-mou-tel-aviv-124726244. html. Accessed 21 Jan 2021
- Munroe, Alan James (2014): Architecture for glass: the undeferred architecture of emerging technology. Toronto Metropolitan University. Thesis.
- Nielsen MA, Chuang IL (2010) Quantum computation and quantum information (10th Anniversary Edition). Cambridge University Press, New York, p 8
- Pagani, M. , 2009. Roadmapping 3G mobile TV: Strategic thinking and scenario planning through repeated cross-impact handling. Technological Forecasting and Social Change, 76(3), pp. 382–395.
- Paul Benioff. The computer as a physical system: A microscopic quantum mechanical Hamiltonian model of computers as represented by turing machines. Journal of Statistical Physics, 22: 563–591, May 1980.
- Penchev, D. (2021). SWOT analysis as a research method in pedagogy. *Педагогика*, *93*(5), 669-678.
- Porter, A. L. et al. , 2004. Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. Technological Forecasting and Social Change, 71(3), pp. 287–303.
- Pritchard, J. , & Till, S. (2014). UK Quantum Technology Landscape 2014. *Defence Science and Technology Laboratory*, *DSTL/PUB75620*.
- Proctor, T. , Rudinger, K. , Young, K. , Nielsen, E. , & Blume-Kohout, R. (2022). Measuring the capabilities of quantum computers. Nature Physics, 18(1), 75-79.
- Rader, M. & Porter, A. L. , 2006. FTA assumptions: Methods and approaches in the context of achieving outcomes. In Second International Seville Seminar on Future-Oriented Technology Analysis. pp. 28–29.
- RANCHHOD, Ashok. Marketing Strategies: A Twenty-first Century Approach. 1st edition. Essex, UK: Pearson Education Limited, 2004. 279 p. ISBN 0-273-65192-7.
- Ray K (2020) India plans mission on quantum technology to get super-secure communication, Jan 27 2020.
- Raymer MG, Monroe C. The US national quantum initiative. https: //iopscience. iop. org/article/ 10. 1088/2058-9565/ab0441/pdf. Accessed 06 Nov 2020.

- Richard P. Feynman. Simulating physics with computers. International Journal of Theoretical Physics, 21(6–7): 467–488, June 1982.
- Rieffel E, Polak W (2011) Quantum computing: a gentle introduction. The MIT Press, London, pp 1–4.
- Roger A (2020) Grimes, cryptography apocalypse: preparing for the day when quantum computing breaks today's crypto. Wiley & Sons, Inc. , New Jersey, p 50
- Scott, G. M. , 2000. Critical technology management issues of new product development in high-tech companies. Journal of Product Innovation Management, 17(1), pp. 57–77.
- Seth Lloyd. Universal quantum simulators. Science, pages 1073–1078, 1996.
- Sharma M (2018) Decrypting China's quantum leap. China J (The Australian National University) 80: 24–45
- Sigurdson J (1980) Technology and science in the People's Republic of China. Pergamon Press, Oxford, p vii
- Vallance P. Building an ecosystem for breakthroughs. file: ///C: /Users/idsa/Desktop/QT%20 investments/epsrc_supp_update_2019. pdf. Accessed 8 Nov 2020
- Vorwerk, Christian, et al. "Quantum embedding theories to simulate condensed systems on quantum computers. " Nature Computational Science 2. 7 (2022): 424-432.
- Wang, C. , Li, X. , Xu, H. , Li, Z. , Wang, J. , Yang, Z. ,... & Yu, H. (2022). Towards practical quantum computers: transmon qubit with a lifetime approaching 0. 5 milliseconds. npj Quantum Information, 8(1), 1-6.
- Whalen J (2019) The quantum revolution is coming, and Chinese scientists are at the forefront, August 19, 2019. https: //www. washingtonpost. com/elections/. Accessed 11 Nov 2020
- Williams J (2013) Quantum voltage standards. AccessScience, McGraw-Hill Education
- Z. Huang, L. Qian and D. Cai, "Analysis on the recent development of quantum computer and quantum neural network technology," 2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA), Dalian, China, 2022, pp. 680-684, doi: 10. 1109/ICAICA54878. 2022. 9844614.