

بررسی تولیدات علمی حوزه فناوری رایانه کوانتومی در طی سال‌های ۲۰۱۵

الی ۲۰۲۲ با رویکرد علم سنجی

حسین هدایتی^۱، مهدی غلام‌پور^۲، کامران رضایی^۳، وحید زراعتی^۴

چکیده

بر اساس دستورات ابلاغی از سوی ستاد کل نیروهای مسلح توسعه رایانه کوانتومی از اولویت‌های اصلی برای دانشگاه‌های افسری ارتش می‌باشد. در این مقاله هدف اصلی، مطالعه و بررسی روند تحقیقات رایانه کوانتومی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، بر اساس خروجی انتشارات تحت پوشش پایگاه داده scopus است. اهداف فرعی این مطالعه بر مطالعه رشد خروجی تحقیقات جهانی در تحقیقات رایانه کوانتومی و تأثیر استناد آن، مطالعه ۱۰ کشور برتر تولیدکننده، شناسایی کلیدواژه‌های مهم، رسم شبکه مفهومی جهت دستیابی به ارتباط با بقیه حوزه‌ها. این مطالعه یک سناریوی کاربردی از تحقیقاتی جهانی را در حوزه رایانه کوانتومی در روش آمیخته (کمی و کیفی) که با استفاده از روش تحلیل شبکه اسناد منتشرشده پژوهشی انجام شده است و تعداد ۲۸۱۲ مقاله جهانی در مورد تحقیقات رایانه کوانتومی را که در پایگاه داده اسکوپس طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ منتشرشده است، بررسی می‌کند. بر اساس مقالات چاپ‌شده در طی سال‌های مورد بررسی، رشد قابل توجه علاقه پژوهشگران سراسر دنیا به حوزه رایانه کوانتومی قابل مشاهده است. ۱۰ کشور برتر مولد به‌طور جداگانه سهم جهانی را از ۴٫۱۳٪ به ۳۱٫۲۲٪ داشتند که بیشترین سهم انتشار جهانی مربوط به ایالات متحده آمریکا (۳۱٫۲۲٪) و پس از آن چین (۱۳٫۳۰٪) و غیره بود. بررسی و تحلیل مقالات منتشر شده در حوزه رایانه کوانتومی می‌تواند به درک بهتر فعالیت‌های علمی صورت گرفته و تطبیق فعالیت‌های داخلی با فعالیت جهان جهت سیاست‌گذاری بهتر و روبه رشدتر به جهت جبران عقب‌ماندگی‌ها در این حوزه و نیز ترسیم یک نقشه راه برای پژوهش‌های بعدی امری ضروری و اساسی است.

واژگان کلیدی: علم‌سنجی، فناوری کوانتومی، رایانه کوانتومی

^۱ (نویسنده مسئول): دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران ایمیل:

hosseinhedayati77@gmail.com

^۲ دکتری فیزیک نانو، دانشکده علوم پایه، دانشگاه افسری امام علی(ع)، تهران، ایران

^۳ کارشناسی ارشد مدیریت، سازمان علوم و تحقیقات ارتش جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران

^۴ کارشناسی ارشد مدیریت دفاعی، دانشگاه فرماندهی و ستاد اجا، تهران، ایران

مقدمه و بیان مسئله

واژه تولید علم در انواع علوم و فناوری جایگاه ویژه‌ای پیدا نموده، به طوری که تولید علم و جنبش نرم‌افزاری ذهن تمام سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان امور علمی و پژوهشی کشور را به خود مشغول نموده است و در تمام مستندات علمی و برنامه‌های توسعه، سند چشم‌انداز و افق‌های آرمانی کشور، ارتقای تولید علم و کسب جایگاه نخست علمی در بین کشورهای منطقه هدف‌گذاری شده است. در ارزیابی‌های علم‌سنجی نیز اصلی‌ترین معیار سنجش برای تعیین جایگاه علمی و رتبه‌بندی کشورها، میزان مشارکت در تولید علم، نوآوری، فناوری و به‌طورکلی مشارکت در روند توسعه علم جهانی عنوان شده است (توکلی زاده راوری، حاضری، نجفی، & سهیلی، ۱۳۹۵). از مزایای روش علم‌سنجی می‌توان به شناسایی موضوعات نوظهور و یافتن روندهای حیاتی و نقاط محوری در یک کلید واژه دانش اشاره کرده. با مقایسه این روش با روش کیفی سنتی، این نوع به تصویر کشیدن یک مقوله دانشی است که می‌تواند با تکیه بر نتایج تجزیه و تحلیل دقیق‌تر و منطقی‌تر انجام گیرد و دید کلی خوبی بدهد. روش علم‌سنجی با ایجاد شفافیت در دیدگاه ادبیات می‌تواند پشتیبانی مؤثری برای محققان آن حوزه فراهم کند. بنابراین، یک زمینه تحقیقاتی این روش برای کاوش در توسعه علمی و تولیدات پژوهشی در یک زمینه خاص مناسب است (بیرانوند، سیفی کلستان، رحیم عیوضی، ۱۳۹۹).

فناوری کوانتومی یک موضوع داغ در سراسر جهان است. پس از اولین انقلاب کوانتومی در قرن بیستم که منجر به ساخت قطعاتی همچون ترانزیستور شد که در نتیجه ساخت چنین قطعات، منجر به ساخت رایانه و سپس ورود به دنیای اینترنت شد، اکنون در طلوع انقلاب کوانتومی دوم هستیم. موج دوم فناوری کوانتومی، کارهایی را امکان‌پذیر می‌کند که با رایانه‌های کلاسیک قابل انجام نیستند. به عنوان مثال، رایانه‌های کوانتومی این پتانسیل را خواهند داشت که برخی مسائل را با سرعت بیشتری نسبت به رایانه‌های معمولی حل کنند، این محاسبات سریع در شبیه‌سازی کوانتومی راه را برای درک فرایندهای کوانتومی، مانند رفتار پیچیده مولکول‌ها، باز می‌کند (Dijkgraaf, 2019). ظهور فناوری‌های کوانتومی به این

معنی است که موجی از کاربردهای جدید در آینده وجود دارد که دقیقاً تأثیرات مکانیکی کوانتوم را بر روی تعداد بسیار زیادی ذره یا تعداد کمی از ذرات کنترل می‌کند. در حال حاضر، رایانه کوانتومی بحث‌برانگیزترین حوزه فناوری کوانتومی است و درعین حال می‌تواند بیشترین پتانسیل مخرب را داشته، پیش‌بینی می‌شود که بسیاری از مشکلات را که فراتر از توانایی‌های ابررایانه‌های امروزی است را حل کند. این بررسی‌ها از تجزیه و تحلیل آماری کیفی و توصیفی به منظور علم‌سنجی استفاده می‌کند، که به طور مؤثر نمی‌توانید ساختار کلی یک جهت فکری را در آن حوزه درک کنید و به راحتی از پیوند ذاتی برخی ادبیات کلیدی چشم‌پوشی کنید.

محیط تحقیق به سرعت تغییر می‌کند و تکامل می‌یابد، حوزه‌های تحقیقاتی جدید دائماً ظهور می‌کنند، درحالی‌که برخی دیگر از بین می‌روند. توانایی تشخیص سریع ظهور موضوعات تحقیقاتی جدید، دارایی مهمی برای هرکسی که در محیط تحقیقاتی دخیل است، از جمله مراکز تحقیقاتی، اساتید دانشگاه، پژوهشگران، نهادهای دولتی و دفاعی و سایر ذی‌نفعان مرتبط است. امروزه، از آنجایی که ما در حال تجربه رشد تصاعدی نشریات تحقیقاتی هستیم، همگام شدن با روندهای جدید به تدریج چالش برانگیزتر می‌شود. در دو دهه گذشته، مخازن بسیار بزرگی از داده‌های علمی و سایر منابع مرتبط در دسترس قرار گرفته‌اند که راه را برای رویکردهای جدید داده‌ای که قادر به شناسایی موضوعات جدید و روند آن‌ها هستند، باز کرده است. با این حال، تشخیص به موقع موضوعات تحقیق هنوز یک چالش باز است. پس درک و واکنش به موقع به تحولات جدید در چشم‌انداز تحقیقاتی برای تمام کشورها حیاتی است. به عنوان مثال، محققان باید با روندهای جدید مرتبط با موضوعات خود و زمینه‌های تحقیقاتی جدید بالقوه جالب به روز بمانند. به لطف این بینش‌ها، آن‌ها می‌توانند دستور کار تحقیقاتی خود را توسعه دهند و اطمینان حاصل کنند که بر ایده‌ها و مفاهیم در لبه اصلی چشم‌انداز فعلی تمرکز می‌کنند. نهادها و شرکت‌های تأمین مالی سازمانی نیز باید از آخرین پیشرفت‌های تحقیقاتی و روندهای امیدوارکننده آگاه باشند. به عنوان مثال، این دانش می‌تواند تصمیمات تجاری را تعیین کند و انتخاب فناوری‌هایی را برای سرمایه‌گذاری پیشنهاد دهد. به همین

ترتیب، برای پژوهشگران بسیار مهم است که از قبل موضوعات نوظهور جدید را با هدف ارائه به روزترین و جالب‌ترین محتوا بدانند.

همراه با گسترش مباحث نظری این موضوع، انتشار طرح‌های رده‌بندی از دانش بشر، بازنمون کاربردی این مبحث را نیز توسعه داد. میانه قرن بیستم که در قرن بیست و یکم نیز به نحو چشمگیری ادامه یافت، موضوع‌های علمی را به گونه‌ای دچار پیچیدگی کرد که ساختاربندی کل دانش بشر با استفاده از طرح‌های رده‌بندی موجود را به چالش کشید. در نهایت تخصصی شدن علوم مختلف همراه با شکل‌گیری مباحث متعدد میان‌رشته‌ای، مرزهای رشته‌های علمی را آن‌چنان دچار اغتشاش کرد که طرح‌های رده‌بندی موجود در ارائه ساختاری از علم در میانه راه متوقف ماند. اگر تا پیش از این ارائه ساختاری از علم از دل مشغولی‌های نظری نظریه‌پردازان و فیلسوفان بود، به لحاظ نیاز به سیاست‌گذاری‌های علمی، ارائه چشم‌اندازی کلی از دانش بشر تبدیل به ضرورت کاربردی برای متخصصین این عرصه شد. بنا به این ضرورت، متخصصین این حوزه در پرداختن نظریه و یافتن رویکرد و روشی برای ارائه ساختار علم تلاش بسیار کردند (زندی روان، داورپناه، & فتاحی، ۱۳۹۵).

علم‌سنجی در آینده‌نگری فناوری، علم نوظهوری است که ممکن است منافع اقتصادی، دفاعی و اجتماعی زیادی را در برداشته باشند. ماهیت جنگ در حال تغییر و تحول بوده و سرعت این تغییر از هر زمان دیگری در تاریخ معاصر بیشتر است. در قرن بیست و یکم برای آنکه نیروهای مسلح بتوانند در بالاترین سطح ممکن به سرعت استراتژیکی و برتری مانور دست پیدا کنند، بایستی از طریق فناوری‌های نوظهور تأثیرات مربوط به آگاهی از فضای صحنه نبرد و آتش و مانور دقیق را به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار دهد. هنگامی که این تغییرات به‌طور کامل باهم تلفیق گردند، هم‌افزایی حاصل از این قابلیت‌های مختلف موجب می‌شود که نیروهای مسلح در میدان‌ها جنگ آینده به عامل مهمی در تصمیم‌گیری‌های ملی تبدیل شود (ولیوند زمانی & مینایی، ۱۳۹۶).

هدف اصلی این پژوهش، تحلیل محتوای تولیدات علمی منتشر شده در پایگاه اسکوپوس در بین سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ با رویکرد علم‌سنجی می‌باشد. سؤالات فرعی نیز به ترتیب

عبارت‌اند از: رشد جهانی تولیدات پژوهشی در حوزه فناوری رایانه کوانتومی چگونه است؟ کشورهای برتر در این حوزه؟ ترسیم شبکه پژوهش در حوزه رایانه کوانتومی؟

بیشینه تحقیق و ادبیات نظری

علم‌سنجی

شناخت و ارزیابی وضعیت پژوهشی، برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری پژوهشی و نیز محققان امری ضروری است. یکی از کارآمدترین شیوه‌های بررسی وضعیت کلی پژوهش، استفاده از مطالعات علم‌سنجی است که عمدتاً مرتبط با بررسی مقالات پژوهشی منتشرشده در نشریات علمی معتبر است (شریفی، ۱۳۸۲). در این مطالعه، اندازه‌گیری کمی از تولیدات علمی به عمل می‌آید که می‌تواند تا حدودی مشخص نماید که فراوانی پژوهش‌های هر کشور، نهاد، رشته چگونه است. پژوهشگران چه زمینه‌ها و سوابق را برای پژوهش خود انتخاب می‌کنند و چه زمینه‌ها و سوابق مورد غفلت واقع شده است چه کسانی و چه نهادهایی چه پژوهش‌هایی انجام می‌دهند و این پژوهش‌ها چه اثری بر محیط علمی دارد، این موارد حوزه‌های است که علم‌سنجی به آن می‌پردازد (شهبازی & علیجانی، ۱۳۹۲).

فناوری کوانتومی

فناوری‌های کوانتومی مجموعه‌ای از فناوری‌های نوظهور هستند که از دو قانون درهم‌تنیدگی^۱ و اصل برهم‌نهی^۲ 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 هیچ‌یک از سوپر رایانه‌های موجود بر نمی‌آید (IGRaymer & Monroe, 2019).

^۱ Entanglement

^۲ superposition

اصل برهم‌نهی

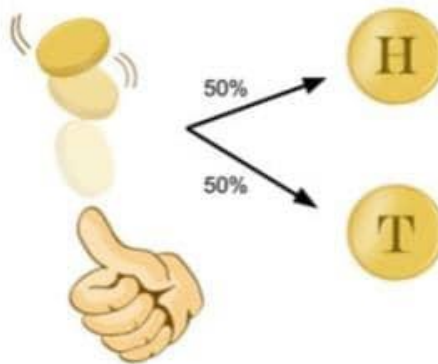
برهم‌نهی کوانتومی چارچوبی برای درک همه پدیده‌های کوانتومی است. از آنجایی که ما در زندگی روزمره خود پدیده‌های کوانتومی را مشاهده نمی‌کنیم، ممکن است در ابتدا گیج‌کننده به نظر برسد. یکی از جنبه‌های برهم‌نهی کوانتومی را می‌توان با استفاده از قیاس سکه توضیح داد. می‌توانیم بگوییم هنگامی که سکه را به هوا می‌اندازیم، 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. یک‌دز 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, Isaacson, Perry, & F. Sun, Introduction to Superposition, 2021).

کوبیت

در رایانه‌های کلاسیک، اطلاعات به‌صورت ارقام باینری^۱ یا ۱ نمایش داده می‌شود. این ارقام بیت نامیده می‌شوند. درواقع، هر رایانه کلاسیکی این بیت‌ها را به اطلاعات قابل خواندن توسط انسان روی دستگاه الکترونیکی ترجمه می‌کند. سندی که می‌خوانید یا ویدئویی که تماشا می‌کنید به زبان باینری رایانه بر اساس این ۱ و ۰ کدگذاری می‌شود. سخت‌افزار رایانه ۱ بیت را به‌عنوان جریان الکتریکی که از طریق سیم (در ترانزیستور) می‌گذرد درک می‌کند درحالی‌که، بیت عدم وجود جریان الکتریکی در سیم است. این سیگنال‌های الکتریکی را می‌توان به صورت "روشن" (۱ بیتی) یا "خاموش" (۰ بیت) در نظر گرفت. (Wong, 2021).

بیت‌های کوانتومی یا کیوبیت‌ها شبیه بیت‌ها هستند. زیرا دو حالت قابل اندازه‌گیری به نام‌های ۰ و ۱ وجود دارد. بااین‌حال، برخلاف بیت‌های کلاسیک، کیوبیت‌ها می‌توانند در حالت برهم‌نهی این حالت‌های ۰ و ۱ نیز باشند، همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده‌شده است.

^۱ binary



شکل (۱): نشان‌دهنده اصل برهم‌نهی است.

برخی از محاسباتی که معمولاً باید روی ۰ یا ۱ به‌طور جداگانه در یک رایانه کلاسیک انجام شوند، اکنون می‌توانند در یک عملیات واحد با استفاده از کویت در رایانه کوانتومی تکمیل شوند. به‌طور مستقیم، این می‌تواند محاسبات را بسیار سریع‌تر کند. درک این نکته مهم است که اگرچه یک کویت منفرد در برهم‌نهی دو بیت کلاسیک قرار دارد، وقتی یک کویت اندازه‌گیری می‌شود، اندازه‌گیری درواقع فقط به یک بیت کلاسیک از اطلاعات منجر می‌شود: ۰ یا ۱ (Hughes , Isaacson , Perry , & F. Sun , WhatIsaQubit?, 2021).

اصل درهم‌تنیدگی

درهم‌تنیدگی کوانتومی به‌عنوان یک پدیده فیزیکی، هنگامی رخ می‌دهد که چند کویت با یکدیگر هم‌بستگی داشته باشند. درهم‌تنیدگی می‌تواند عواقب عجیب و مفیدی داشته باشد که می‌تواند رایانه‌های کوانتومی را سریع‌تر از رایانه‌های کلاسیک و امنیت آن را بیشتر کند (Hughes , Isaacson , Perry , & F. Sun , WhatIsaQubit?, 2021).

فناوری رایانه کوانتومی

رایانه تنها بخشی از دنیایی است که ما آن را دنیای دیجیتالی می‌نامیم. پردازش ماشینی اطلاعات، در هر شکلی، بر مبنای دیجیتال و محاسبات کلاسیک انجام می‌شود. اما کمتر از

یک دهه است که روش بهتر و قدرتمندتر دیگری برای پردازش اطلاعات پیش رویمان قرار گرفته که بر اساس مکانیک کوانتومی است. این روش جدید با ویژگی‌هایی همراه است که آن را از محاسبات کلاسیک بسیار متمایز می‌سازد. البته وجود تفاوت بین این دوجه معنای حذف یکی و جایگزینی دیگری نیست؛ بنابراین محاسبات کوانتومی را به عنوان یک زمینه و روش جدید و بسیار کارآمد می‌توان مطرح کرد. برای بررسی رایانه‌های کوانتومی در ابتدا لازم است واحد اطلاعات کوانتومی را معرفی کنیم (احمدی، کریمی ثابت، محسنی، اسدینیا، & خلیلزاده، ۱۳۹۸).

محاسبات کوانتومی یک رشته گسترده چندوجهی است که شامل تخصص‌های ریاضیات، علوم رایانه نظری و کاربردی، فیزیک ماده چگال، نظریه میدان‌های کوانتومی، نظریه ارتباطات و اطلاعات و رمزنگاری است. ما استدلال می‌کنیم که درک چنین تفاوت‌هایی برای برنامه‌های تحقیقاتی که شباهت‌ها و تفاوت‌های نسبی بین فناوری‌های کوانتومی و کلاسیک را ارزیابی می‌کنند، مهم است (Perrier, 2021). پس از ایده بهره‌برداری از مکانیک کوانتومی برای کاربردهای دنیای واقعی، طغیان‌هایی از طریق سخنرانی ریچارد فاینمن در دهه ۱۹۸۰ اتفاق افتاد و این ایده را بیان کرد که رایانه‌های کوانتومی پتانسیل شبیه‌سازی چیزهایی را دارند که یک رایانه معمولی یا کلاسیک نمی‌تواند. فیزیکدانان و دانشمندان با توجه به مزایایی که نسبت به کامپیوترهای کلاسیک به دلیل اصل برهم‌نهی و درهم‌تنیدگی‌های کوانتومی دارد، الگوریتم‌ها و نقشه‌های مختلفی را برای ساخت یک کامپیوتر کوانتومی ارائه کردند (Alberts, AdriaanRol, & Last, 2021). رایانه‌های کوانتومی می‌توانند تأثیر بسیار بالایی در همه حوزه‌ها داشته باشند. این رایانه‌ها اطلاعات را با استفاده از بیت‌های کوانتومی یا کیوبیت‌ها ذخیره می‌کنند، انواع خاصی از مسائل و اطلاعات را مؤثرتر از یک رایانه دیجیتال پردازش می‌کنند. این یک روش جدید و قدرتمند برای حل مسائل یا مقابله با چالش‌ها در مقیاس بزرگی است که رایانه‌های معمولی با آن دست‌وپنجه نرم می‌کنند (A roadmap for quantum technologies in the UK, 2015).

پیشینه پژوهش

اوکتامین^۱ شرح کمی از فعالیت‌های ثبت اختراع در تحقیقات محاسبات کوانتومی را در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ ارائه می‌دهد. بر اساس این گزارش، فعالیت ثبت اختراع در سه‌چرخه رشد داشته است. علی‌رغم پیشرفت‌هایی که در سال ۲۰۱۳ شروع شد، پیشرفت در فناوری‌های محاسباتی کوانتومی هنوز بسیار دور است (GmbH, 2017). اسکنلون، تونی و میشر (Anthony (Tony) Trippe, 2017 & Bryan Scanlon) در گزارش خود سه حوزه از پتنت‌های محاسبات کوانتومی را تجزیه و تحلیل کردند: کیوبیت‌ها، سخت‌افزار و کاربردهای محاسبات کوانتومی. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۱۷، فناوری‌های کیوبیت بیشترین انتشارات خانواده ثبت اختراع را خواهند داشت و پس از آن پتنت‌های سخت‌افزار کوانتومی و کاربردهای پتنت‌ها قرار دارند (Anthony (Tony) Trippe, & Bryan Scanlon, 2017). این گزارش شرکت‌های کوانتومی نوظهور، دنیای دانشگاهی و فعالیت‌های ثبت اختراع آن‌ها را ترسیم می‌کند. هنوز هیچ مطالعه دیگری در مجموعه ادبیات مربوط به مطالعات کتاب‌سنجی که توصیفات کمی و کیفی تحقیقات محاسبات کوانتومی را پوشش دهد، موجود نیست. با این حال، تعدادی از مطالعات کتاب‌سنجی در مورد تحقیقات علوم کامپیوتر به‌طور کلی (Vivek Kumar Singh, 2014 & Ashraf Uddin) (B. M. Gupta, Avinash Kshitij) & Charu Verma, 2010) و زیرشاخه‌های آن مانند هوش مصنوعی (Jiqiang Niu, Wenwu) (Yanan Song, 2016 & Tang, Feng Xu, Xiaoyan Zhou) محاسبات ابری (Ashraf) (Vivek Kumar Singh, 2014 & Uddin)، رمزنگاری (Baskaran, 2013) وجود دارد.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از لحاظ هدف جز تحقیقات کاربردی است زیرا پژوهشگران می‌توانند از نتایج آن برای بهبود شرایط و یافتن مسیر تحقیقاتی خود در زمینه فناوری رایانه کوانتومی بهره ببرند. جامعه پژوهش عبارت است از ۲۸۱۲ مدرک علمی مربوط به کلیه پژوهشگران حوزه

^۱ Octamine

رایانه کوانتومی در بین سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ نمایه شده در پایگاه اسکوپوس می‌باشد. علت انتخاب این سال‌ها تحلیل به‌روزترین و جدیدترین حوزه‌های تحقیقاتی در بین کلیه پژوهشگران بوده است. در این پژوهش از نمونه‌گیری صرف نظر شده و کلیه داده‌های موجود مورد تحلیل قرار گرفت.

گام‌های زیر جهت جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات در این پژوهش برداشته شده که به طور کوتاه به آن اشاره خواهد شد. از آنجاکه رایانه کوانتومی یک موضوع کاربردی و تازه تلقی می‌گردد، مقالات گسترده‌ای در این زمینه وجود دارد. در گام نخست، ابتدا به شناسایی فناوری رایانه کوانتومی پرداخته شده تا پژوهشگر را قادر به شناسایی و استخراج مطالعات صورت گرفته در این حوزه سازد. در گام دوم پایگاه‌های داده، مجلات و موتورهای جست‌وجو مورد بررسی قرار گرفت که به دلایلی از جمله نحوه دسترسی، شناسایی جامع‌ترین پایگاه (به دلیل ماهیت بین‌رشته‌ای بودن این پژوهش) و همچنین با محدود کردن جست‌وجو به محدودیت‌های لازم، منجر به از بین تحقیقات ارزشمند و مرتبط نشود. چون علوم رایانه، در بین موضوعات، بیشترین سهم انتشار را به خود اختصاص داده پس مقالات این حوزه را مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن تمام موارد ذکر شده از بین پایگاه‌های خارجی، دو پایگاه یعنی scopus به دلیل پوشش طیف گسترده از اطلاعات مورد بررسی قرار گرفت. در گام سوم در پایگاه داده scopus کلمات کلیدی مربوط جست‌وجو گردیده که اطلاعات جست‌وجو آن به شرح جدول ۱ خواهد بود.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل، از روش‌های آماری توصیفی و علم‌سنجی استفاده گردیده. از آمار توصیفی جهت توصیف روند رشد تولیدات علمی و میزان تولیدات علمی و از روش علم‌سنجی جهت توصیف و تحلیل هم‌واژگانی و شبکه انجام شده است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای تحلیل آماری و علم‌سنجی مانند ووس و ویور^۱ استفاده شده است.

^۱. VOSviewer

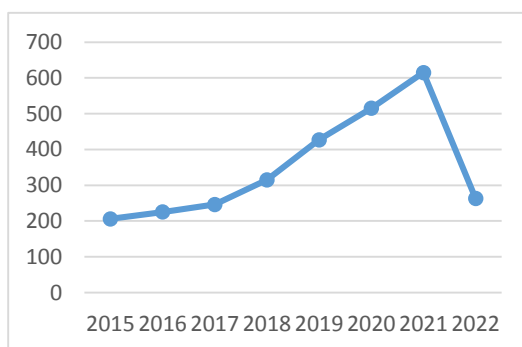
جدول ۱ نحوه جستجو و معیارهای ورود و خروج اطلاعات از پایگاه scopus

کلیدواژه مورد جستجو	فیلتر مرحله اول	تعداد یافته‌ها	فیلتر مرحله دوم	نتیجه نهایی
Quantum computer	Article title Abstract Keywords 2015 to 2022	21,310	English language Open Access Research articles conference paper Computer Science	2,812

یافته‌های پژوهش

رشد جهانی تولیدات پژوهشی در حوزه فناوری رایانه کوانتومی

خروجی تحقیقات جهانی در زمینه رایانه کوانتومی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ در جدول ۲ آورده شده است. از بین مقالات بررسی شده تعداد ۲۱۳۲ مقاله، از دسته مقالات علمی پژوهشی و ۶۸۰ مقاله حاصل اجلاس، مایی است که در scopus نمایه شده است. نمودار ۲ نشان‌دهنده تعداد مقالات چاپ‌شده در طی سال‌های مختلف است. بر طبق نمودار، رشد قابل توجه علاقه پژوهشگران سراسر دنیا به حوزه رایانه کوانتومی قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که سال ۲۰۲۲ در چند ماه طی شده میزان مقالات قابل توجهی را به چاپ رسانده‌اند که نشان‌دهنده صعودی بودن این نمودار تا پایان سال میلادی جاری است.



نمودار ۱ خروجی جهانی در تحقیقات کامپیوتر کوانتومی، ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲

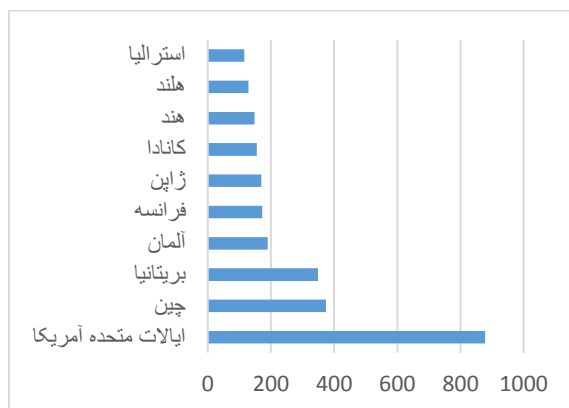
۱۰ کشور برتر در تحقیقات رایانه کوانتومی بین ۱۱۶ تا ۸۷۸ مقاله در طول سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ ارائه کرده‌اند. جدول ۲، ۱۰ کشور برتر در تحقیقات رایانه کوانتومی را در طی سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. هر یک از ۱۰ کشور برتر از مجموع ۳۷۳۹ مقاله منتشر شده، بین ۴,۱۳٪ تا ۳۱,۲۲٪ سهم انتشار جهانی در سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ را به خود اختصاص داده‌اند که ایالات متحده آمریکا (۳۱,۲۲٪) نفر نخست فهرست و پس‌از آن چین (۱۳,۳۰٪)، بریتانیا (۱۲,۴۱٪) و آلمان (۶,۷۵٪) بیشترین سهم انتشار به خود اختصاص داده است.

جدول ۲ سهم انتشار جهانی ۱۰ کشور برتر در زمینه کامپیوترهای کوانتومی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲

درصد تعداد مقالات منتشر شده	کل استنادها	تعداد مقالات منتشر شده	نام کشور
۳۱,۲۲	۲۹۱۹	۸۷۸	ایالات متحده آمریکا
۱۳,۳۰	۱۳۲۸	۳۷۴	چین
۱۳,۴۱	۸۵۱	۳۴۹	بریتانیا
۶,۷۵	۷۶۳	۱۹۰	آلمان
۶,۱۱	۱۷۸	۱۷۲	فرانسه
۶,۰۱	۳۷۷	۱۶۹	کانادا
۵,۵۲	۳۴۳	۱۵۵	ژاپن
۵,۲۷	۴۵۵	۱۴۸	هند
۴,۵۹	۵۴۱	۱۲۹	هلند
۴,۱۳	۳۰۰	۱۱۶	استرالیا
	۸۰۵۵	۲۶۸۰	مجموع
		۲۸۱۲	جهان

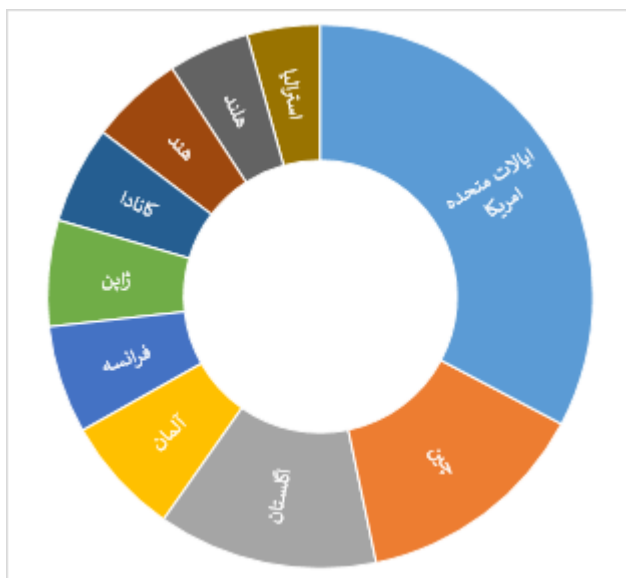
طبق جدول ۲، ۱۰ کشور برتر این حوزه مجموعاً ۹۵,۳۱٪ کل تولیدات علمی را به خود اختصاص داده‌اند. حال در نمودار ۲ این کشورها به‌طور جداگانه آورده شده و در نمودار ۳ درصد تولید مقالات علمی هر کشور نیز مورد بررسی قرار گرفته شده است.

بررسی تولیدات علمی حوزه فناوری رایانه کوانتومی در طی سالهای ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ با رویکرد علم سنجی / ۱۳



نمودار ۲ سهم انتشار جهانی ۱۰ کشور برتر در زمینه رایانه‌های کوانتومی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا

۲۰۲۲



نمودار ۳ سهم انتشار جهانی ۱۰ کشور برتر در زمینه رایانه‌های کوانتومی طی سال‌های ۲۰۱۵ تا

۲۰۲۲

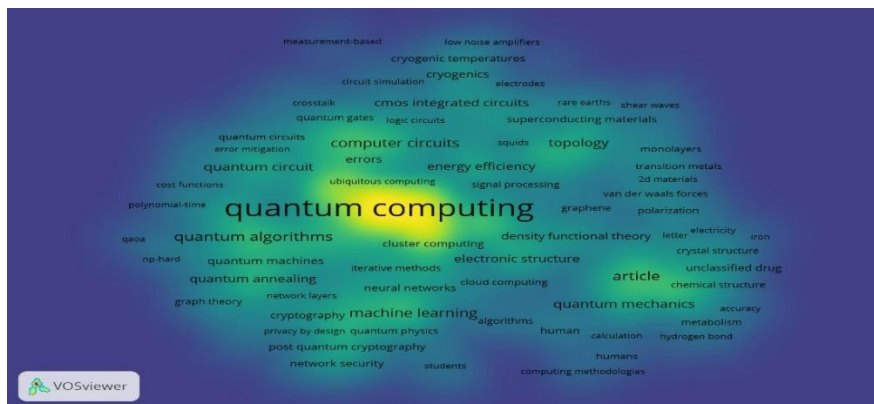
نویسندگان برتر در حوزه رایانه کوانتومی

در زمینه کامپیوتر کوانتومی در جهان، ۱۰ نویسنده برتر از ۱۰ تا ۲۵ مقاله منتشر کردند. مشخصات علم‌سنجی این ۱۰ نویسنده در جدول ۳ ارائه شده است. در کنار این کشورها می‌توان به موسسات تحقیقاتی علاقه‌مند به این حوزه نیز اشاره کرد. نمودار ۳ میزان تولیدات

جدول ۳ مشخصات علم سنجی ۱۰ نویسنده برتر در تحقیقات کامپیوتر کوانتومی از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲

ردیف	نام نویسنده	وابستگی نویسنده	مجموع مقالات	کل استنادها	h-index
۱	Fred Chong	Professor, UChicago; and Chief Scientist, Super.tech	۲۶	۷۱۷۴	۴۸
۲	Travis Humble	Oak Ridge National Laboratory	۲۳	۶۳۷۲	۲۸
۳	Robert Wille	Technical University of Munich	۲۱	۸۴۸۵	۴۸
۴	L Hanzo	University of Southampton	۱۹	۶۸۴۷۵	۱۰۹
۵	Soon Xin Ng (Michael)	University of Southampton	۱۹	۵۴۷۱	۳۶
۶	Zunaira Babar	University of Southampton	۱۶	۹۸۰	۱۹
۷	Margaret Martonosi	Princeton University	۱۶	۳۱۱۷۳	۷۷
۸	Dimitrios Alanis	Apple Inc	۱۵	۷۶۵	۱۷
۹	Bikash K. Behera	Indian Institute of Science Education and Research Kolkata	۱۵	۱۳۶۳	۲۱
۱۰	Panagiotis Botsinis	Apple Inc	۱۵	۹۱۷	۱۹

در شکل ۳ موضوعات مورد توجه و داغ پژوهشی تصویرسازی و با رنگ زرد نمایش داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از نرم افزار، حوزه محاسبات کوانتومی در کانون داغ پژوهشی این دو حوزه قرار دارد و رایانش کوانتومی نسبت به محاسبات کوانتومی در مرتبه ضعیف تری است. قابل ذکر است که نمودارهای رسم شده در ۳ و ۴ مربوط به چند ماه نخست در سال ۲۰۲۲ است.



شکل (۳): نقشه تراکم کلمات کلیدی بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲

نمودار چگالی پژوهشی نشان‌دهنده تمرکز پژوهشگران بر موضوع محاسبات کوانتومی و رایش کوانتومی است. لازم به ذکر است اندازه و حجم حباب‌های واژگان در هر نمودار نشانگر نسبت و حجم مطالعات صورت گرفته در هر حوزه مفهومی است که بر اساس نمودارها می‌توان حجم مطالعات صورت گرفته را به ترتیب در محاسبات کوانتومی، رایش کوانتومی، و کیوبیت‌ها مشاهده کرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تاریخ به ما یادآوری می‌کند که عمده‌تأ فناوری‌ها وقتی به سرعت رشد می‌کنند که تحقیقات دفاعی به دلیل نیازهای فوری ناشی از موقعیت‌های ژئوپلیتیکی بی‌ثبات تحت فشار باشد. در طول دوره جنگ جهانی دوم و جنگ سرد، یک ضرورت قانع‌کننده برای پیشرفت سریع فناوری نظامی وجود داشت. در آن دوره، رشد عمده‌ای در حوزه فناوری‌های موشکی و فضایی مشاهده شد. همچنین سکوهای نظامی مانند هواپیماها، کشتی‌ها، زیردریایی‌ها و تانک‌های جنگی شاهد انقلاب بزرگی بودند. احتمالاً دیدگاه ژئوپلیتیکی، در آن زمان، مطالبات مستمر از نیروهای مسلح می‌توانست مسئول اصلی ترغیب دولت‌ها به سرمایه‌گذاری بیشتر برای تحقیق و توسعه در فناوری‌های نظامی باشد. امروزه، فناوری‌های کوانتومی نیز از

پشتیبانی تحقیقاتی منطقی، هم از حوزه غیرنظامی و هم از حوزه نظامی برخوردار هستند. اگرچه، هیچ فوریتی برای توسعه فناوری نظامی جدید پیدا نشده است، همانطور که در مرحله جنگ سرد مشهود بود. بااین حال، چالش‌های استراتژیک قرن بیست و یکم با مرحله جنگ سرد متفاوت است.

به نظر می‌رسد که نیاز به ایجاد تعادل صحیحی از اخلاق، ضرورت و کارایی نظامی سلاح‌های کوانتومی وجود دارد. به رسمیت شناختن گسترش احتمالی سلاح‌های کوانتومی در زمانی که این فناوری به واقعیت تبدیل شوند، به سیاست‌گذاران، فرماندهان و صنعت فناوری کوانتومی (اعم از غیرنظامی و نظامی) نیاز دارد تا مسائل مربوط به کنترل تسلیحات و عدم اشاعه را پیشاپیش بررسی کنند. این احتمال وجود دارد که مسائل مربوط به تأثیر بالقوه چنین فناوری‌هایی بر صلح و امنیت هرازگاهی مطرح شود. در این مرحله، دادن یک دید نظامی مستقیم به همه این سرمایه‌گذاری‌ها کمی زود است، اما وقتی فناوری به بلوغ رسید، دولت‌ها گزینه‌های قوی‌تری برای تقویت قابلیت‌های نظامی خود خواهند داشت و احتمالاً بسیاری از چنین فناوری‌هایی می‌توانند همچنین به سمت حوزه استراتژیک برای استفاده نظامی منحرف شود. در حال حاضر، زمینه‌های احتمالی برای کاربرد دفاعی به‌طور گسترده شناسایی شده است و همچنین برخی کارها برای تحقیق در مورد چنین احتمالاتی آغاز شده است. از امنیت سایبری گرفته تا نوابری نظامی، بسیاری از جنبه‌های مهم جنگ وجود دارد که احتمالاً این فناوری‌ها در آینده حرفی برای گفتن خواهند داشت. هدف اصلی در این مقاله شناسایی روند جهانی فناوری رایانش کوانتومی بود که در کنار شناسایی این روند و تولیدات پژوهشی آن در سال‌های ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۲ به مطالعه ۱۰ کشور برتر تولیدکننده، شناسایی کلیدواژه‌های مهم و در نهایت رسم شبکه مفهومی جهت دستیابی به ارتباط با بقیه حوزه‌ها منجر شد.

با استفاده از پایگاه داده Scopus، این مطالعه توصیف کمی و کیفی از توسعه تحقیقات مربوط به رایانه کوانتومی در یک دوره ۸ ساله ارائه می‌کند. از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ متون علمی مرتبط با رایانه کوانتومی رشد بالای ۱۳۹۰۶ درصد در سال را به ثبت رساند. ایالات متحده در زمینه تحقیقات رایانه کوانتومی، تولیدکننده‌ترین کشور جهان است. سایر کشورهای آسیایی

که در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ به ۱۰ کشور برتر تولیدکننده پیوستند: چین (رتبه دوم)، ژاپن (رتبه ۶) و هند (رتبه هشتم). از جهان غرب، بریتانیا در میان ۱۰ کشور برتر تولیدکننده رتبه سوم را به خود اختصاص داده است و پس‌از آن آلمان (چهارم)، فرانسه (۵)، کانادا (۷) و هلند (۹) قرار دارند.

این مطالعه از روش‌های علم‌سنجی برای تجزیه و تحلیل تحقیقات جهانی در حوزه رایانه کوانتومی (۲۸۱۲ مقاله) که از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ منتشر شده است، استفاده کرد. این مطالعه یک نمای کلی از وضعیت تحقیق در رایانه کوانتومی بر روی یک رشته معیارهای کمی و کیفی ارائه می‌کند و یک نمای بصری از روابط شبکه بین نویسندگان برجسته، مؤسسات تحقیقاتی و کشورهای همکار ارائه می‌کند. علاوه بر این، این مطالعه بازیگران جهانی در تحقیقات رایانه‌های کوانتومی از جمله کشورهای کلیدی، مؤسسات کلیدی، نویسندگان کلیدی و حوزه‌های موضوعی کلیدی تحقیق را شناسایی می‌کند.

نتیجه دیگر این مطالعه نشان‌دهنده این موضوع است که تحقیقات رایانه کوانتومی به تدریج به عنوان یک حوزه تحقیقاتی بین‌رشته‌ای در زمینه علوم رایانه در حال ظهور است. این مطالعه نشان می‌دهد که رایانه کوانتومی به عنوان یک زمینه تحقیقاتی هنوز در مرحله نوپای توسعه خود است. حتی از آنجایی که مشارکت در تحقیقات رایانه کوانتومی به صورت جهانی است، اما تنها تعداد کمی از کشورها در بهره‌وری در این زمینه تسلط دارند. به عنوان مثال، ایالات متحده آمریکا، چین و بریتانیا سهم قابل توجهی بالای ۵۷,۹۳ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده‌اند، در مقابل، سهم جهانی کشورهای فعال تک‌رقمی است. این مطالعه نشان می‌دهد که اکثر کشورهایی که در فهرست ۱۰ برتر قرار دارند - از جمله هند، ایتالیا، ژاپن، استرالیا، کره جنوبی، فدرال رزرو روسیه، فرانسه، اسپانیا و اتریش - بازیگران پیرامونی در تحقیقات جهانی رایانه‌های کوانتومی خواهند بود. سیاست‌گذاران و سایر ذی‌نفعان در چنین کشورهایی باید برنامه‌های ملی را آغاز کنند و سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه جدیدی را باهدف تقویت زیرساخت‌های تحقیقاتی، همکاری‌های بین‌المللی، ظرفیت‌سازی و توسعه نیروی انسانی در حوزه تحقیقات یادگیری ماشین کوانتومی انجام دهند و از این

طریق کشور خود را به سمت توسعه برترین تحقیقات در این زمینه سوق دهند.

پیشنهادهای

کشور ما باید سیاست های مناسبی را برای پذیرش برنامه های رایانه کوانتومی ایجاد کنند. سیاست های دولت در کشور باید مبتنی بر (۱) ارزیابی از مزایا و معایب ممکن رایانه کوانتومی و درک کامل استفاده از این فناوری نوظهور داشته باشد. (۲) ادغام هرگونه استراتژی در برنامه کلی توسعه ملی و برنامه ریزی برای اجرا، نظارت و ارزیابی آن مهم است. (۳) آموزش برای درک و بکارگیری این فناوری باید برنامه ریزی دقیق گردد و از محققان فعال در این زمینه برای بالا بردن جایگاه کشور حمایت لازم گردد

منابع

احمدی، ا.، کریمی ثابت، ج.، محسنی، ن.، اسدینیا، م.، & خلیلزاده، ن. (۱۳۹۸). برنامه ریزی راهبردی توسعه فناوریهای کوانتومی با استفاده از تکنیک رهنمایی فناوری. دومین کنفرانس ملی تحقیقات بنیادین در مدیریت و حسابداری. تهران.

بیرانوند، م.، سیفی کلستان، ا.، & رحیم عیوضی، م. (۱۳۹۹). مطالعه علمی علمسنجی تولیدات پژوهشی در حوزه های آینده نگاری راهبردی. / آینده پژوهی دفاعی.

توکلی زاده راوری، م.، حاضری، ا.، نجفی، ر.، & سهیلی، ف. (۱۳۹۵). تحلیلی بر یک دهه تولید علم پژوهشگران ایرانی در سطح ملی. پژوهشنامه علم سنجی.

زندى روان، ن.، داورپناه، م.، & فتاحی، ر. ا. (۱۳۹۵). مروری بر رسم نقشه علم و روششناسی آن. پژوهشنامه علمسنجی.

شریفی، و. (۱۳۸۲). علم سنجی و علوم شناختی. تازه های علوم شناختی، ۸۹ تا ۹۲.

شهبازی، م.، & علیجانی، ر. (۱۳۹۲). بررسی تولیدات علمی دانشگاه پیام نور استان اصفهان براساس داده های پایگاه اطلاعاتی آی.اس.آی (ISI). مجله مطالعات کتابداری و علم اطلاعات، (ص. ۱۰۳ - ۱۲۲).

ولیوند زمانی، ح.، & مینایی، ح. (۱۳۹۶). آینده نگاری فناوریهای رزم زمینی در جنگ آینده. آینده پژوهی دفاعی.

Boqiang, L., & Tong, S. (2020). Mapping the oil price-stock market nexus

- researches: A scientometric review. *International Review of Economics & Finance*.
- Perrier, E. (2021). *Ethical Quantum Computing A Roadmap*. arxiv.
- van Eck, N., & Waltman, L. (2022). *VOSviewer Manual*.
- (2015). *A roadmap for quantum technologies in the UK*. National strategy for quantum technologies.
- Alberts, G., AdriaanRol, M & ,Last, T.(2021) *Accelerating quantum computer developments* .EPJ Quantum Technology.
- Ashraf Uddin & , Vivek Kumar Singh .(2014) *Mapping the Computer Science Research in SAARC Countries* .IETE Technical Review.
- B. M. Gupta, Avinash Kshitij & ,Charu Verma.(2010) *Mapping of Indian computer science research output, 1999–2008* .Akade'miai Kiado , Budapest.
- Baskaran .(2013) *Scientometric analysis of cryptography research output* .SRELS Journal of Information Management.
- Bryan Scanlon & ,Anthony (Tony) Tri (2017) *Quantum Information Technology (QIT): A Patent Landscape Report* .
<http://pateninformatics.com/quantum-computing-report>.
- Dijkgraaf, R. (2019). *NATIONAL AGENDA FOR QUANTUM TECHNOLOGY*.
- GmbH, O (2017) *Patents of Quantum Computing Companies.: Patent Reports* .<https://www.octimine.com/patents-of-quantum-computing-companies>.
- Hughes , C., Isaacson , J., Perry , A., & F. Sun , R. (2021). WhatIsaQubit? In *Quantum Computing for the Quantum Curious* (p. 7_10). Springer.
- Hughes , C., Isaacson , J., Perry , A., & F. Sun , R. (2021). WhatIsaQubit? In *Quantum Computing for the Quantum Curious* (p. 7_10). Springer.
- Hughes , C., Isaacson , J., Perry , A., & F. Sun, R. (2021). Introduction to Superposition. In *Quantum Computing for the Quantum Curious* (p. 1_5). springer.
- Jiqiang Niu, Wenwu Tang, Feng Xu, Xiaoyan Zhou & ,Yanan Song (2016) *Global Research on Artificial Intelligence from 1990–2014 : Spatially-Explicit Bibliometric Analysis* .ISPRS Int. J. Geo-Inf.
- GGraymer, M., & Monroe, C. (2019). The US National Quantum Initiative. *QuantumSci.Technol*.
- Wong, T. (2021) *Classical Information and Computation .Introduction to Classical and Quantum Computing*.