



از حل مسائل پیچیده تا ظهور تهدیدات سایبری جدید

فناوری کوانتومی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و پیشرفته‌ترین حوزه‌های علمی در دهه‌های اخیر تحولات چشمگیری را تجربه کرده و اکنون در آستانه ورود به دوره‌ای تحول‌آفرین قرار دارد.

فناوری کوانتومی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و پیشرفته‌ترین حوزه‌های علمی در دهه‌های اخیر تحولات چشمگیری را تجربه کرده و اکنون در آستانه ورود به دوره‌ای تحول‌آفرین قرار دارد.

به گزارش خبرنگار مهر؛ این فناوری که توانایی ایجاد تغییرات بنیادی در ساختار علم، صنعت و حتی اقتصاد جهانی را داراست، توجه گسترده‌ای را از سوی دولت‌ها، دانشگاه‌ها و شرکت‌های پیشرو به خود جلب کرده است.

میزان تحول‌آفرینی این فناوری به حدی است که حتی سازمان ملل متحد نیز با اعلام سال ۲۰۲۵ به عنوان سال بین‌المللی علم و فناوری کوانتومی، اهمیت استراتژیک این حوزه را در شکل‌دهی آینده جهانی مورد تأکید قرار داده است. ویژگی‌های منحصر به فرد این فناوری، مانند توان پردازشی بی‌نظیر، امکان تحلیل و پردازش داده‌های عظیم و حل مسائل پیچیده غیرممکن یا بسیار زمان‌بر برای رایانه‌های کلاسیک، افق‌های جدیدی را در علوم پایه، فناوری‌های کاربردی و صنایع نوآورانه گشوده است. با این حال، گسترش این فناوری نیازمند پژوهش‌های گسترده و رویکردهای استراتژیک برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل آن است. به زعم بسیاری از کارشناسان، درک عمیق از فرصت‌ها و چالش‌های این حوزه، از جمله توسعه زیرساخت‌ها، تربیت نیروی انسانی متخصص و همکاری‌های بین‌المللی، برای تحقق این اهداف ضروری هستند.

تراشه‌های کوانتومی: هسته تحول در محاسبات پیشرفته

تراشه‌های کوانتومی که هسته اصلی رایانه‌های کوانتومی را تشکیل می‌دهند، ساختاری کاملاً متفاوت از نیمه‌هادی‌های رایانه‌های کلاسیک دارند. در حالی که رایانه‌های کلاسیک اطلاعات را به صورت صفر و یک (بیت) ذخیره و پردازش می‌کنند، کیوبیت‌ها، به عنوان واحد پایه در محاسبات کوانتومی، قادر به نمایش حالت‌های صفر، یک، یا ترکیبی از هر دو هستند. این قابلیت، رایانه‌های کوانتومی را به ابزاری بی‌نظیر برای حل مسائل پیچیده تبدیل کرده است.

به طور کلی، فناوری‌های متنوعی برای ساخت کیوبیت‌ها به کار گرفته می‌شود که هر کدام دارای ویژگی‌ها و چالش‌های خاص خود هستند و انتخاب آن‌ها به کاربردها و نیازهای خاص کاربران وابسته است:

ابرساناها: این فناوری به دلیل پایداری فوق‌العاده و دقت عملکرد بالا، یکی از برجسته‌ترین روش‌ها برای ساخت کیوبیت‌ها محسوب می‌شود. با این حال، استفاده از ابرساناها مستلزم نگهداری در دماهای بسیار پایین نزدیک به صفر مطلق است که نیاز به تجهیزات خنک‌کننده پیچیده و هزینه‌بر دارد. نیاز به چنین شرایطی باعث محدودیت در کاربردهای تجاری گسترده این روش می‌شود.

فوتونیک: فوتون‌ها به دلیل قابلیت انتقال اطلاعات با سرعت نور و مقاومت در برابر برخی نویزها، گزینه‌ای جذاب برای ایجاد سیستم‌های کوانتومی هستند. با این حال، ایجاد و حفظ همبستگی کوانتومی بین فوتون‌ها و کنترل دقیق آن‌ها در مقیاس بزرگ، چالش‌هایی را ایجاد کرده که نیازمند توسعه ابزارهای پیشرفته و مهندسی دقیق است. نیمه‌هادی‌ها: این فناوری به دلیل انعطاف‌پذیری بالا و امکان تولید انبوه، پتانسیل زیادی برای استفاده صنعتی دارد. نیمه‌هادی‌ها می‌توانند در مقیاس وسیع برای ساخت پردازنده‌های کوانتومی مقرون به صرفه به کار گرفته شوند؛ اما حساسیت بالا به نویزهای محیطی و ناپایداری در شرایط متغیر، چالش‌های قابل توجهی برای این فناوری ایجاد کرده است.

با عنایت به الگوهای مورد اشاره، چالش اصلی و مشترک در تمام این فناوری‌ها، ایجاد کیوبیت‌هایی با کیفیت و پایداری بالا است. کیوبیت‌ها به شدت به نویزهای محیطی، تغییرات دمایی و حتی کوچک‌ترین اختلالات فیزیکی حساس هستند. این حساسیت، دقت محاسبات کوانتومی را محدود کرده و نیاز به روش‌های پیشرفته برای تصحیح خطاها را برجسته نموده است. یکی از رویکردهای مؤثر برای حل این مشکل، استفاده از تکنیک‌های تصحیح خطای کوانتومی است که با استفاده از کیوبیت‌های اضافی، خطاها را شناسایی و اصلاح می‌کنند. چنین تکنیک‌هایی به محققان اجازه می‌دهد تا با وجود محدودیت‌های فیزیکی، سیستم‌های کوانتومی پایدار و قابل اعتماد ایجاد کنند؛ امری که توانایی حل مسائل پیچیده و چالش‌برانگیز را دارند.

تصحیح خطا و کیوبیت‌های منطقی: کلید پایداری در محاسبات کوانتومی

تصحیح خطا یکی از اساسی ترین چالش ها در مسیر توسعه فناوری کوانتومی است و نقش حیاتی در تحقق توانمندی های بالقوه این فناوری دارد. در همین راستا، مفهوم کیوبیت های منطقی که از ترکیب چندین کیوبیت فیزیکی ساخته می شوند، به عنوان یکی از راه حل های کلیدی برای افزایش دقت و پایداری محاسبات کوانتومی مطرح شده است. این کیوبیت ها با طراحی خاص خود قادرند خطاهای محیطی و نویزهای احتمالی را به حداقل رسانده و پایداری محاسبات را بهبود بخشند.

برخی شرکت های فناوری پیشرو از جمله آی بی ام، گوگل و «CSIRO» در سال های اخیر دستاوردهای چشمگیری در زمینه توسعه کیوبیت های منطقی داشته اند. این شرکت ها نه تنها موفق به ایجاد نمونه هایی از این کیوبیت ها شده اند، بلکه تلاش های گسترده ای برای ادغام آن ها در پردازنده های کوانتومی کارآمدتر انجام داده اند. با وجود این پیشرفت ها، ترکیب تعداد زیادی کیوبیت منطقی در یک تراشه کوانتومی همچنان یک چالش بزرگ باقی مانده است. مشکلات مرتبط با همبستگی میان کیوبیت ها، پایداری در شرایط عملیاتی مختلف و هزینه های بالای تولید، موانعی هستند که نیازمند پژوهش های عمیق تر و راه حل های خلاقانه تر در این زمینه هستند.

بهبود این فناوری، نه تنها به افزایش توانایی پردازش مسائل پیچیده در رایانه های کوانتومی کمک می کند، بلکه زمینه ساز ورود این فناوری به کاربردهای عملی در حوزه هایی نظیر امنیت سایبری، شبیه سازی مولکولی و هوش مصنوعی نیز خواهد شد. آینده فناوری کوانتومی به شدت به پیشرفت های حاصل در زمینه کیوبیت های منطقی و روش های مؤثر تصحیح خطا وابسته است و همکاری جهانی میان محققان، شرکت ها و دولت ها برای رفع این چالش ها از اهمیت بالایی برخوردار است؛ از همین روی، کارشناسان پیش بینی می کنند که تعاملات جهانی معطوف به این حوزه موضوعی در سال ۲۰۲۵ افزایش یابد.

کاربردهای بالقوه فناوری کوانتومی

رایانه های کوانتومی به دلیل توان پردازشی بی نظیر خود، ظرفیت ایجاد تحولات بنیادین در حوزه های علمی، صنعتی و حتی اجتماعی را دارند. همان طور که پیش تر ذکر شد، این فناوری با استفاده از قابلیت های محاسباتی پیشرفته خود، امکان حل مسائل پیچیده ای را که تاکنون برای رایانه های کلاسیک غیرممکن یا بسیار زمان بر بوده است، فراهم می آورد. در ادامه، برخی از مهم ترین کاربردهای این فناوری با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می گیرد:

پزشکی و داروسازی: یکی از امیدهای بزرگ رایانه های کوانتومی تسهیل کشف و توسعه داروهای جدید است. این سیستم ها با استفاده از شبیه سازی مولکولی دقیق می توانند رفتار مولکول های دارویی را در سطح اتمی تحلیل کرده و به کشف ترکیبات جدید برای درمان بیماری های پیچیده مانند سرطان و بیماری های عصبی کمک کنند. علاوه بر این، تحلیل داده های ژنتیکی در مقیاس بزرگ نیز می تواند به شخصی سازی درمان ها و کاهش عوارض جانبی داروها منجر شود.

هوش مصنوعی: رایانه های کوانتومی قادرند حجم عظیمی از داده ها را با سرعتی فوق العاده پردازش نمایند. این قابلیت بهبود دقت الگوریتم های یادگیری ماشین و توسعه مدل های پیچیده تر هوش مصنوعی را امکان پذیر می سازد. کاربردهای این پیشرفت شامل بهبود امنیت سیستم های خودکار، افزایش کارایی خودروهای خودران و بهینه سازی فرایندهای صنعتی می شود.

امنیت سایبری: فناوری کوانتومی می تواند انقلابی در امنیت اطلاعات ایجاد کند. توسعه پروتکل های رمزنگاری مقاوم در برابر حملات کوانتومی، به سازمان ها و دولت ها امکان می دهد تا از داده های حساس خود در برابر تهدیدات نوظهور محافظت نمایند. از سوی دیگر، این فناوری به شناسایی سریع تر الگوهای نفوذ و مقابله با حملات سایبری نیز کمک شایان توجهی می کند.

مهندسی مواد: طراحی و شبیه سازی مواد جدید یکی دیگر از حوزه هایی است که از توسعه رایانه های کوانتومی بهره مند خواهد شد. با شبیه سازی دقیق ساختارهای مولکولی، می توان موادی با ویژگی های منحصر به فرد، مانند رسانایی بهتر، استحکام بالاتر و کارایی بیشتر در حوزه های خاص ایجاد کرد. این مواد می توانند در صنایع خودروسازی، الکترونیک و انرژی کاربرد گسترده ای داشته باشند.

مالیات و تحلیل مالی: در دنیای تبادلات تجاری، توانایی تحلیل هزاران متغیر به صورت هم زمان می تواند به بهبود دقت پیش بینی ها و تصمیم گیری های مالی منجر شود. از بهینه سازی سبدهای سرمایه گذاری گرفته تا شناسایی الگوهای پیچیده در داده های مالی، رایانه های کوانتومی می توانند انقلابی در این صنعت ایجاد کنند.

این کاربردها تنها بخش کوچکی از پتانسیل عظیم فناوری کوانتومی را نشان می دهند. توسعه این فناوری نه تنها مرزهای علمی

را گسترش خواهد داد، بلکه تأثیرات عمیقی بر اقتصاد جهانی و زندگی روزمره انسان ها خواهد داشت.

مخاطرات توسعه فناوری کوانتومی

همان طور که ذکر شد، رایانش کوانتومی به عنوان یکی از پیشرفته ترین دستاوردهای علمی و فناورانه، قابلیت تحول بنیادین در حوزه فناوری و امنیت سایبری را دارد. این فناوری که بر اصول مکانیک کوانتومی استوار است، توانایی پردازش محاسباتی بی سابقه ای را فراهم می کند. با این حال، همین ویژگی ها می توانند به تهدیدی جدی برای امنیت داده های حساس تبدیل شوند!

مفهوم «روز کوانتومی» (Q-Day) نمادی از نقطه ای بحرانی است که در آن یک رایانه کوانتومی قدرتمند توانایی شکستن سیستم های رمزنگاری موجود را خواهد داشت و امنیت زیرساخت های حیاتی و ارتباطات دیجیتال را به خطر می اندازد. رمزنگاری های متعارف کنونی که مبتنی بر مسائل پیچیده ریاضی هستند با اتکا به قدرت محدود محاسباتی رایانه های کلاسیک طراحی شده اند و شکستن آن ها در عمل غیرممکن به نظر می رسد. اما در سال ۱۹۹۴، پیتر شور، ریاضی دان برجسته، با معرفی یک الگوریتم اثبات کرد رایانه های کوانتومی قادر به فاکتورگیری اعداد بسیار بزرگ با سرعتی بسیار بیشتر از رایانه های کلاسیک خواهند بود. هرچند فناوری رایانه های کوانتومی هنوز به نقطه ای نرسیده که بتواند این تهدید را عملی کند، اما پیشرفت های مداوم در این زمینه احتمال تحقق چنین سناریویی را در آینده ای نزدیک افزایش داده است.

یکی از ابعاد مهم تهدید رایانش کوانتومی، انتظار بسیار از بازیگران مخرب برای دستیابی به فناوری رمزگشایی محتوای رمزگذاری شده است. این استراتژی بدین معناست که نهادهای مختلف می توانند داده هایی را که اکنون قابل رمزگشایی نیستند، ذخیره کنند تا در آینده و با دستیابی به رایانه های کوانتومی قدرتمند، آن ها را رمزگشایی نمایند. این مسئله به خصوص در زمینه امنیت ملی، حریم خصوصی و حفاظت از داده های حساس اهمیت فراوانی دارد. از همین روی، جامعه علمی و دولت ها برای مقابله با این تهدیدات، تلاش های گسترده ای را برای توسعه رمزنگاری مقاوم در برابر فناوری کوانتومی (PQC) آغاز کرده اند. همچنین مؤسسات پیشرو مانند مؤسسه ملی استاندارد و فناوری ایالات متحده (NIST) در پاسخ به این چالش ها، در حال تدوین استانداردهایی برای رمزنگاری مقاوم در برابر کوانتوم هستند. این استانداردها به عنوان یک تحول بنیادین در حوزه امنیت سایبری شناخته می شوند و انتظار می رود تا سال ۲۰۳۳ به صورت گسترده در زنجیره های تأمین سایبری مورد استفاده قرار گیرند.

به زعم طیف گسترده ای از کارشناسان، با وجود این پیشرفت های محقق شده در حوزه توسعه فناوری کوانتومی، توسعه رمزنگاری مقاوم در برابر کوانتوم تنها بخشی از راه حل است. امنیت اطلاعات به دلیل ماهیت پویای فناوری همواره در معرض چالش های جدید قرار دارد. هیچ نوع سیستم رمزنگاری نمی تواند امنیتی مطلق و دائمی را تضمین کند، زیرا فناوری های جدید ممکن است قابلیت های پیش بینی نشده ای ارائه دهند. از همین روی، تحقیق و توسعه مستمر، نظارت بر پیشرفت های علمی و همکاری گسترده میان دولت ها، دانشگاه ها و صنایع، ضروری است تا بتوان همگام با تکامل فناوری، امنیت دیجیتال را تضمین کرد.

چشم انداز فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۵ و پس از آن

انتظار می رود سال ۲۰۲۵ نقطه عطفی در پیشرفت فناوری کوانتومی باشد. به عقیده بسیاری از کارشناسان، جهان در این سال می تواند شاهد آغاز یک تحول گسترده در توسعه و کاربرد این فناوری در حوزه های مختلف باشد. از همین روی، روندهای پیش بینی شده در این حوزه به شرح زیر است:

۱. افزایش تعداد کیوبیت های منطقی: توسعه تراشه های کوانتومی که قادر به حل مسائل واقعی و کاربردی باشند، یکی از اهداف اصلی دولت ها و شرکت های سراسر جهان محسوب می شود. این پیشرفت نه تنها به بهبود عملکرد سخت افزاری کمک می کند، بلکه امکان انجام محاسبات پیچیده تر و دقیق تر را نیز فراهم می سازد.

۲. پیشرفت در الگوریتم های کوانتومی: هم زمان با پیشرفت سخت افزار، توسعه نرم افزارها و الگوریتم های کوانتومی که بهینه ترین استفاده را از قدرت پردازشی رایانه های کوانتومی داشته باشند، ضروری است. این الگوریتم ها می توانند در حوزه هایی مانند شبیه سازی مولکولی، تحلیل داده های پیچیده و رمزنگاری نوین کاربرد داشته باشند.

۳. همکاری های بین المللی: افزایش همکاری ها میان دولت ها، دانشگاه ها و شرکت های فناوری برای تبادل دانش و تسریع در پیشرفت این حوزه اهمیتی فراوان دارد. این همکاری ها می توانند شامل پروژه های مشترک تحقیقاتی، تبادل نیروی متخصص و سرمایه گذاری های بین المللی باشند.

۴. سرمایه گذاری در زیرساخت ها؛ ایجاد آزمایشگاه های پیشرفته و مراکز تحقیقاتی تخصصی برای توسعه و آزمایش فناوری های کوانتومی از اهمیت بالایی برخوردار است. این سرمایه گذاری ها باید نه تنها در زمینه سخت افزار، بلکه در حوزه های مرتبط مانند سیستم های خنک کننده و تجهیزات دقیق کنترل نیز انجام شود.

۵. تحقیقات نرم افزاری و شبیه سازی: یکی از مهم ترین زمینه های تحقیقاتی در سال های آینده، توسعه شبیه سازی های پیشرفته برای آزمایش الگوریتم های کوانتومی پیش از رسیدن به سخت افزارهای مناسب است. این شبیه سازی ها می توانند به بهینه سازی فرآیند توسعه و کاهش هزینه ها کمک کنند.

به طور کلی، پیشرفت فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۵ و پس از آن به شدت به هماهنگی میان تلاش های علمی، صنعتی و دولتی وابسته است. به عقیده کارشناسان، این هماهنگی می تواند راه را برای بهره برداری گسترده و مؤثر از این فناوری انقلابی هموار کند.

سخن پایانی

در نهایت می توان نتیجه گرفت که فناوری کوانتومی در آستانه تحولی بزرگ قرار دارد که پتانسیل گسترش مرزهای دانش و فناوری و ایجاد تأثیرات عمیق بر زندگی بشر را دارد. این فناوری با ویژگی های منحصر به فرد خود، از جمله توان پردازشی بی نظیر و قابلیت حل مسائل پیچیده ای که رایانه های کلاسیک از عهده آن بر نمی آیند، مسیرهای جدیدی در علوم و صنایع مختلف باز کرده است. پیشرفت های چشمگیر در طراحی تراشه های کوانتومی، توسعه کیوبیت های منطقی و ایجاد تکنیک های پیشرفته برای تصحیح خطاهای محاسباتی، گواهی بر توانایی بی نظیر این فناوری در رفع چالش های علمی و صنعتی است.

با این وجود، فناوری کوانتومی همچنان با چالش های جدی مواجه است. حساسیت بالای کیوبیت ها به نویزهای محیطی و تغییرات دمایی، و همچنین نیاز به زیرساخت های پیشرفته و تجهیزات گران قیمت، از جمله موانعی هستند که توسعه این فناوری را پیچیده می سازند. به عقیده بسیاری از کارشناسان، رفع این موانع نیازمند همکاری گسترده میان دولت ها، شرکت ها و نهادهای تحقیقاتی است.

با عنایت به نکات مطرح شده در این نوشتار کوتاه، برای بهره برداری کامل از ظرفیت های این فناوری، باید سرمایه گذاری های قابل توجهی در حوزه تحقیق و توسعه انجام شود. این امر، شامل ایجاد مراکز تحقیقاتی پیشرفته، حمایت از نوآوری های علمی، و تربیت نیروی انسانی متخصص می شود. علاوه بر این، تدوین چارچوب های حقوقی و اخلاقی برای استفاده مسئولانه و پایدار از فناوری کوانتومی، به ویژه در زمینه هایی که می تواند پیامدهای اجتماعی و اقتصادی گسترده ای داشته باشد، امری ضروری است. با اجرای این اقدامات، می توان به طور مؤثر راه را برای ورود به عصر جدیدی از فناوری و دستیابی به پیشرفت های علمی هموار کرد؛ امری که به طور مستقیم و غیرمستقیم به بهبود کیفیت زندگی انسان ها منجر خواهد شد.