بنیادتک ۳۷
Bonyad Tech

نشریه فناورانه بنیاد مستضعفان انقلاب اسلامی

بنیادتک درصدد است در شماره‌های پیوسته خود به بررسی کوتاه و تخصصی برخی پرونده‌ها با محوریت کمک به امر تحول دیجیتال و هوش مصنوعی در صنایع بنیاد بپردازد. امید ما به نقد، نظرات و پیشنهادات شما برای بهبود این حرکت است.

کاربردهای بالقوه فناوری‌های کوانتومی

سال ۲۰۲۵، سال علم و فناوری کوانتومی

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. 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 تحول آفرینی 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 تاکید قرار داده است. ویژگی‌های منحصربه‌فرد این فناوری، مانند توان پردازشی بی‌نظیر، امکان تحلیل و پردازش داده‌های عظیم و حل مسایل 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 مسایل 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:

۱. ابررساناها: این فناوری به دلیل پایداری فوق‌العاده و دقت عملکرد بالا، یکی از برجسته‌ترین روش‌ها برای ساخت کیوبیت‌ها محسوب می‌شود. با این حال، استفاده از ابررساناها 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.

۲. 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.

۳. 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 مقرون‌به‌صرفه به کار گرفته شوند؛ اما حساسیت بالا به نویزهای محیطی و ناپایداری در شرایط متغیر، چالش‌های قابل‌توجهی 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 موثر 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 قابل‌اعتماد ایجاد کنند؛ امری که توانایی حل مسایل پیچیده و چالش‌برانگیز را دارند.

تصحیح خطا و کیوبیت‌های منطقی: کلید پایداری در محاسبات کوانتومی

تصحیح خطا یکی از اساسی‌ترین چالش‌ها در مسیر توسعه فناوری کوانتومی است و نقش حیاتی در تحقق توانمندی‌های بالقوه این فناوری دارد. در همین

راستا، مفهوم کیوبیت‌های منطقی که از ترکیب چندین کیوبیت فیزیکی ساخته می‌شوند، به عنوان یکی از راه‌حل‌های کلیدی برای افزایش دقت و پایداری محاسبات کوانتومی مطرح شده است. این کیوبیت‌ها با طراحی خاص خود قادرند خطاهای محیطی و نویزهای احتمالی را به حداقل رسانده و پایداری محاسبات را بهبود بخشند.

برخی شرکت‌های فناوری پیشرو از جمله آی‌بی‌ام، گوگل و «CSIRO» در سال‌های اخیر دستاوردهای چشمگیری در زمینه توسعه کیوبیت‌های منطقی داشته‌اند. این شرکت‌ها نه تنها موفق به ایجاد نمونه‌هایی از این کیوبیت‌ها شده‌اند، بلکه تلاش‌های گسترده‌ای برای ادغام آن‌ها در پردازنده‌های کوانتومی کارآمدتر انجام داده‌اند. با وجود این پیشرفت‌ها، ترکیب تعداد زیادی کیوبیت منطقی در یک تراشه کوانتومی همچنان یک چالش بزرگ باقی مانده است. مشکلات مرتبط با همبستگی میان کیوبیت‌ها، پایداری در شرایط عملیاتی مختلف و هزینه‌های بالای تولید، موانعی هستند که نیازمند پژوهش‌های عمیق‌تر و راه‌حل‌های خلاقانه‌تر در این زمینه هستند.

کاربردهای بالقوه فناوری کوانتومی

رایانه‌های کوانتومی به دلیل توان پردازشی بی‌نظیر خود، ظرفیت ایجاد تحولات بنیادین در حوزه‌های علمی، صنعتی و حتی اجتماعی را دارند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، این فناوری با استفاده از قابلیت‌های محاسباتی پیشرفته خود، امکان حل مسایل پیچیده‌ای را که تاکنون برای رایانه‌های کلاسیک غیرممکن یا بسیار زمان‌بر بوده است، فراهم می‌آورد. در ادامه، برخی از مهم‌ترین کاربردهای این فناوری با جزییات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱. پزشکی و داروسازی: یکی از امیدهای بزرگ رایانه‌های کوانتومی تسهیل کشف و توسعه داروهای جدید است. این سیستم‌ها با استفاده از شبیه‌سازی مولکولی دقیق می‌توانند رفتار مولکول‌های دارویی را در سطح اتمی تحلیل کرده و به کشف ترکیبات جدید برای درمان بیماری‌های پیچیده مانند سرطان و بیماری‌های عصبی کمک کنند. علاوه بر این، تحلیل داده‌های ژنتیکی در مقیاس بزرگ نیز می‌تواند به شخصی‌سازی درمان‌ها و کاهش عوارض جانبی داروها منجر شود.

۲. هوش مصنوعی: رایانه‌های کوانتومی قادرند حجم عظیمی از داده‌ها را با سرعتی فوق‌العاده پردازش نمایند. این قابلیت بهبود دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و توسعه مدل‌های پیچیده‌تر هوش مصنوعی را امکان‌پذیر می‌سازد. کاربردهای این پیشرفت شامل بهبود امنیت سیستم‌های خودکار، افزایش کارایی خودروهای خودران و بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی می‌شود.

۳. امنیت سایبری: فناوری کوانتومی می‌تواند انقلابی در امنیت اطلاعات ایجاد کند. توسعه پروتکل‌های رمزنگاری مقاوم در برابر حملات کوانتومی، به سازمان‌ها و دولت‌ها امکان می‌دهد تا از داده‌های حساس خود در برابر تهدیدات نوظهور محافظت نمایند. از سوی دیگر، این فناوری به شناسایی سریع‌تر الگوهای نفوذ و مقابله با حملات سایبری نیز کمک شایان توجهی می‌کند.

۴. مهندسی مواد: طراحی و شبیه‌سازی مواد جدید یکی دیگر از حوزه‌هایی است که از توسعه رایانه‌های کوانتومی بهره‌مند خواهد شد. با شبیه‌سازی دقیق ساختارهای مولکولی، می‌توان موادی با ویژگی‌های منحصربه‌فرد، مانند رسانایی بهتر، استحکام بالاتر و کارایی بیشتر در حوزه‌های خاص ایجاد کرد. این مواد می‌توانند در صنایع خودروسازی، الکترونیک و انرژی کاربرد گسترده‌ای داشته باشند.

۵. مالیات و تحلیل مالی: در دنیای تبادلات تجاری، توانایی تحلیل هزاران متغیر به صورت هم‌زمان می‌تواند به بهبود دقت پیش‌بینی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مالی منجر شود. از بهینه‌سازی سبدهای سرمایه‌گذاری گرفته تا شناسایی الگوهای پیچیده در داده‌های مالی، رایانه‌های کوانتومی می‌توانند انقلابی در این صنعت ایجاد کنند.

مخاطرات توسعه فناوری کوانتومی

همان‌طور که ذکر شد، رایانش کوانتومی به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین 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 بی‌سابقه‌ای را فراهم می‌کند. با این حال، همین ویژگی‌ها می‌توانند به تهدیدی جدی برای امنیت داده‌های حساس تبدیل شوند!

مفهوم روز کوانتومی (Q-Day) نمادی از نقطه‌ای بحرانی است که در آن یک رایانه کوانتومی قدرتمند توانایی شکستن سیستم‌های رمزنگاری موجود را خواهد داشت و امنیت زیرساخت‌های حیاتی و ارتباطات دیجیتال را به خطر می‌اندازد. رمزنگاری‌های متعارف کنونی که مبتنی بر مسایل پیچیده ریاضی هستند با اتکا به قدرت محدود محاسباتی رایانه‌های کلاسیک طراحی شده‌اند و شکستن آن‌ها در عمل غیرممکن به نظر می‌رسد. اما در سال ۱۹۹۴، پیتر شور، ریاضی‌دان برجسته، با معرفی یک الگوریتم اثبات کرد رایانه‌های کوانتومی قادر به فاکتورگیری اعداد بسیار بزرگ با سرعتی بسیار بیشتر از رایانه‌های کلاسیک خواهند بود. هرچند فناوری رایانه‌های کوانتومی هنوز به نقطه‌ای نرسیده که بتواند این تهدید را عملی کند، اما پیشرفت‌های مداوم در این زمینه احتمال تحقق چنین سناریویی را در آینده‌ای نزدیک افزایش داده است.

چشم‌انداز فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۵ و پس از آن

انتظار می‌رود سال ۲۰۲۵ نقطه عطفی در پیشرفت فناوری کوانتومی باشد. به عقیده بسیاری از کارشناسان، جهان در این سال می‌تواند شاهد آغاز یک تحول گسترده در توسعه و کاربرد این فناوری در حوزه‌های مختلف باشد. از همین روی، روندهای پیش‌بینی‌شده در این حوزه به شرح زیر است:

۱. افزایش تعداد کیوبیت‌های منطقی: توسعه تراشه‌های کوانتومی که قادر به حل مسایل واقعی و کاربردی باشند، یکی از اهداف اصلی دولت‌ها و شرکت‌های سراسر جهان محسوب می‌شود. این پیشرفت نه تنها به بهبود عملکرد سخت‌افزاری کمک می‌کند، بلکه امکان انجام محاسبات پیچیده‌تر و دقیق‌تر را نیز فراهم می‌سازد.

۲. پیشرفت در الگوریتم‌های کوانتومی: هم‌زمان با پیشرفت سخت‌افزار، توسعه نرم‌افزارها و الگوریتم‌های کوانتومی که بهینه‌ترین استفاده را از قدرت پردازشی رایانه‌های کوانتومی داشته باشند، ضروری است. این الگوریتم‌ها می‌توانند در حوزه‌هایی مانند شبیه‌سازی مولکولی، تحلیل داده‌های پیچیده و رمزنگاری نوین کاربرد داشته باشند.

۳. همکاری‌های بین‌المللی: افزایش همکاری‌ها میان دولت‌ها، دانشگاه‌ها و شرکت‌های فناوری برای تبادل دانش و تسریع در پیشرفت این حوزه اهمیتی فراوان دارد. این همکاری‌ها می‌توانند شامل پروژه‌های مشترک تحقیقاتی، تبادل نیروی متخصص و سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی باشند.

۴. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها: ایجاد آزمایشگاه‌های پیشرفته و مراکز تحقیقاتی تخصصی برای توسعه و آزمایش فناوری‌های کوانتومی از اهمیت بالایی برخوردار است. این سرمایه‌گذاری‌ها باید نه تنها در زمینه سخت‌افزار، بلکه در حوزه‌های مرتبط مانند سیستم‌های خنک‌کننده و تجهیزات دقیق کنترل نیز انجام شود.

۵. تحقیقات نرم‌افزاری و شبیه‌سازی: یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در سال‌های آینده، توسعه شبیه‌سازی‌های پیشرفته برای آزمایش الگوریتم‌های کوانتومی پیش از رسیدن به سخت‌افزارهای مناسب است. این شبیه‌سازی‌ها می‌توانند به بهینه‌سازی فرآیند توسعه و کاهش هزینه‌ها کمک کنند.

به طور کلی، پیشرفت فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۵ و پس از آن به شدت به هماهنگی میان تلاش‌های علمی، صنعتی و دولتی وابسته است. به عقیده کارشناسان، این هماهنگی می‌تواند راه را برای بهره‌برداری گسترده و موثر از این فناوری انقلابی هموار کند.