

# ۱۰ پیش‌بینی کوانتومی در ۲۰۲۵



ندا اظهاری

محاسبات کوانتومی در آستانه تغییر چشم‌انداز فناوری بوده و نویدبخش حل مسائل پیچیده و انجام محاسبات با سرعتی بسیار فراتر از دسترسی

## ورود کامپیوترهای کوانتومی به دنیای واقعی

کامپیوترهای کلاسیک امروزی است. این کامپیوترها با استفاده از قدرت مکانیکی کوانتومی، ابرجایگزینی، درهم‌تنیدگی و تداخل کوانتومی، اطلاعات را به روش‌های کاملاً جدیدی پردازش کرده و قابلیت‌هایی را ارائه می‌دهند که سیستم‌های سنتی نتوانند رؤیای آن را داشته باشند. در سال‌های اخیر، خبرها درباره این حوزه از فناوری بالا گرفته و به‌تازگی نیز

کریس بالانس، مدیرعامل و یکی از بنیانگذاران شرکت آکسفورد آیونیکس سه پیش‌بینی را برای سیستم‌های کوانتومی در سال جدید بیان کرده است. نخستین پیش‌بینی پیرامون این است که لحظه ChatGPT محاسبات کوانتومی بسیار نزدیک‌تر از حد تصور است. از دستاوردهای گوگل در تصحیح خطای کوانتومی گرفته تاکردهای جهانی Oxford Ionics در استفاده از کیوبیت، سال ۲۰۲۴ با نقاط عطفی در صنعت محاسبات کوانتومی مواجه بود. تمایل بازار به‌سرعت در حال رشد است و همین نشان‌دهنده این نقاط‌عطف است. طی چند ساعت پس از معرفی تراشه کوانتومی جدید Willow، گوگل بیش از ۱۰۰ میلیارد دلار به ارزش بازار خود افزوده است. زمانی که شرکت‌های محاسبات کوانتومی بر سر R&D با یکدیگر رقابت می‌کنند، تمرکز روی ساخت دستگاه‌های بزرگ‌تر و بهتر معطوف شده است. در واقع دنیای ناشناخته کوانتوم

به پایان رسیده و زنگ شروع مسابقه زده شده است. دومین پیش‌بینی این است که در سال ۲۰۲۵، کامپیوترهای کوانتومی از آزمایشگاه‌ها وارد دنیای واقعی خواهند شد. در سال گذشته، عطش مشتریان برای خرید سیستم‌های محاسباتی کوانتومی بالا گرفت و با سرعتی که در پیشرفت این سیستم‌ها ایجاد شد، انتظار می‌رود کامپیوترهای کوانتومی در شبکه‌ها و مراکز داده مشتریان مستقر شده و به کار گرفته شوند و باید بتوانند در روزهای سخت و پرچالش به کار بیایند. سومین پیش‌بینی درباره این است که برای استفاده از کامپیوترهای کوانتومی به درک فیزیک کوانتوم نیازی نیست و در واقع به‌جای اینکه چالش فیزیکی باشد، چالش مهندسی است و شرکت‌ها برای استفاده از چنین سیستم‌هایی تنها به سادهدن کار خود فکر می‌کنند و از توانایی آن‌ها به نفع خود برای حل مشکلات بهره می‌برند.

## انقلاب در صنعت داده و هوش مصنوعی با محاسبات کوانتوم

بیل ویستوسکی، معمار فنی شرکت «ساس» درباره محاسبات کوانتومی گفته این فناوری پیشرفت‌های قابل‌توجهی در کاهش و تصحیح خطاها داشته و همین امر باعث می‌شود بتواند تعداد کیوبیت‌های محاسباتی را افزایش دهد. این پیشرفت به ایجاد انقلاب در صنعت داده و هوش مصنوعی کمک خواهد کرد. حوزه‌های یادگیری ماشین کوانتومی، بهینه‌سازی کوانتومی و شیمی کوانتومی و زیست‌شناسی بیشترین سود را از این فناوری خواهند برد. همچنین محاسبات کوانتومی در توسعه ترکیبی خود پیشرفت

خواهند کرد و واحدهای پردازش کوانتومی (QPU) بیشتر با CPU، GPU و LPUs ادغام می‌شوند. QPUها که برای کلاس‌های مشخصی به کار می‌روند، الهام بخش رویکردهای جدیدی برای الگوریتم‌های کلاسیک خواهد بود که منجر به توسعه الگوریتم‌های کلاسیک الهام‌گرفته از کوانتوم می‌شود. با نگاهی به آینده، سرمایه‌گذاری در رایانه‌های کوانتومی نویدبخش موفقیت‌هایی برای ارائه راه‌حل‌ها و اکتشافات بی‌سابقه‌ای در علم و فیزیک خواهد بود.

## مدل‌سازی‌های جدید آب‌وهوایی با محاسبات کوانتومی

در یک سیستم هیبریدی، محققان شاهد ظهور پلتفرم‌های بسیار کارآمد از نظر سرعت، مقیاس‌پذیری و کارایی انرژی خواهند بود. به‌رغم هیاهوی صنعتی در استفاده از محاسبات نوری برای محاسبات هوش مصنوعی، او اجرای سریع‌تر و نوآوری فناوری‌های پیچیده‌ای را برای مدل‌سازی‌های آب‌وهوایی و مهندسی به کمک رایانه پیش‌بینی کرده است. ماهیت تکراری بسیاری از این محاسبات به پردازنده‌های نوری مزیت قابل‌توجهی می‌دهد، زیرا می‌توانند محاسبات واحد را با سرعتی بی‌رقیب با رایانه‌های کلاسیک انجام دهند.

چن تراودونسکی، مدیر بخش فناوری و هم‌بنیانگذار شرکت «لاتیسالور» درباره آینده محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۵ معتقد است در این سال، محاسبات نوری کام‌های بلندی را برمی‌دارد و نسل جدیدی از سیستم‌های ترکیبی نوری-الکترونیکی را ایجاد خواهند کرد. پیشرفت‌ها در تعدیل‌کننده‌های نوری فضایی و تولید تراشه‌های فوتونیک، پایه‌ای را برای طراحی پردازنده‌های نوری بسیار متنوع و قابل‌تنظیم مچسده ایجاد خواهند کرد که می‌توانند وظایف محاسباتی متنوعی را انجام دهند و بار وظایف پردازنده‌های الکترونیکی را بر دوش گیرند. با ترکیب بهترین‌ها

## هم‌افزایی بین محاسبات کوانتومی و هوش مصنوعی

اتریکه لیزا اولموس، مدیر و بنیانگذار شرکت «محاسبات مالی ورس» درباره محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۴ گفته این سال با سرمایه‌گذاری بیش از ۲۷ میلیون دلاری در این فناوری آغاز شد. در سالی که گذشت، محققان شرکت از نرم‌افزار فشرده‌سازی الهام گرفته شده از سیستم کوانتومی خود برای سبزش و کارآمدتر کردن هوش مصنوعی و کاهش هزینه اجرا و آموزش LLM استفاده کردند. انتظار می‌رود در سال‌های آینده، دامنه CompactifAI به عنوان یک ابزار فشرده‌سازی مدل هوش مصنوعی گسترش یابد تا این مدل‌های قدرتمند برای شرکت‌هایی در هر اندازه در دسترس باشند. اما در سال ۲۰۲۵ انتظار می‌رود محاسبات کوانتومی جایگاه خود را به عنوان یک فناوری تحول‌آفرین با برنامه‌های

## توزیع کلید کوانتومی و ایمن‌سازی زیرساخت‌های حیاتی

فلوریان نوکارت، مدیر ارشد تولید شرکت «تراکونوم» در گفته‌های خود به نقاط عطف محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۵ اشاره داشته، به طوری‌که پیش‌بینی کرده صنعت فناوری کوانتوم به نقاط عطف مهمی، به‌ویژه در ادغام سیستم‌های ترکیبی کوانتومی-کلاسیک دست یابد. صنایعی چون داروسازی، لجستیک و خدمات مالی، راه‌حل‌های کوانتومی را به کار می‌گیرند. پیشرفت‌ها در شبکه‌های کوانتومی، به‌ویژه توزیع کلید کوانتومی برای ایمن‌سازی زیرساخت‌های حیاتی تسریع خواهند شد. ظهور اکوسیستم‌های سخت‌افزاری کوانتومی استانداردترین راه را برای قابلیت همکاری و دسترسی بیشتر هموار می‌کند. او به عوامل مختلفی اشاره می‌کند که به رشد صنعت محاسبات کوانتومی در سال جدید کمک کرده‌اند. افزایش فوریت برای رسیدگی به چالش‌های امنیت سایبری منجر به پذیرش راه‌حل‌های رمزنگاری کوانتومی ایمن می‌شود. صنایع به‌دنبال پیشرفت در بهینه‌سازی و شبیه‌سازی، از محاسبات کوانتومی استفاده می‌کنند که کارایی و دقت بالاتری را ارائه می‌دهند. راهکارهای دولتی و بودجه‌روی تحقیق و توسعه کوانتومی، نوآوری و همکاری‌ها را تقویت خواهد کرد. در نهایت بلوغ سیستم‌های کوانتومی-کلاسیک ترکیبی، فناوری‌های کوانتومی را کاربردی‌تر و از نظر تجاری باادام‌ت و صنعت را ترغیب به پذیرش گسترده آن می‌کند.

شرکت IBM به‌دنبال نمایش موفقیت‌آمیز اولیه اتصال دو تراشه محاسباتی کوانتومی، قصد دارد رکورد بزرگ‌ترین کامپیوتر کوانتومی را بشکند و برای ساخت بزرگ‌ترین کامپیوتر کوانتومی جهان در حال برنامه‌ریزی است و سعی دارد با اتصال سیستم‌های کوچک‌تر به یکدیگر، کامپیوتری با بیت‌ها یا کیوبیت‌های کوانتومی تولید کند. این شرکت در نخستین گام‌های خود در این

## تولید فناوری الماس در سال جدید

مارکوس دوهرتی، بنیانگذار و مدیر ارشد علمی شرکت «برلیانس کوانتوم» درباره تازه‌ترین روندهای فناوری کوانتوم در سال ۲۰۲۵ عنوان کرده پیش‌بینی می‌شود در این سال، فناوری الماس به بخش قابل‌توجهی از مباحث کلی صنعت تبدیل شود؛ چراکه شرکت‌های بیشتری به پتانسیل استفاده از سیستم‌های کوانتومی مبتنی بر الماس در مراکز داده و برنامه‌های لبه فناوری پی می‌برند. مزیت اصلی این فناوری این است که امکان محاسبات کوانتومی در دمای اتاق را بدون نیاز به پردازنده‌های مرکزی بزرگ فراهم می‌کند. همچنین نیاز به دمای صفر مطلق و سیستم‌های پیچیده لیزری را از بین می‌برد. به این ترتیب، فناوری الماس امکان استفاده از دستگاه‌های کوانتومی کوچک‌تر و قابل‌حمل را فراهم می‌کند که می‌توانند در مکان‌ها و محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند و در نهایت محققان را به مقیاس‌پذیری دستگاه‌های کوانتومی نزدیک‌تر کنند. پس از آنکه آژانس مسابری آلمان، قرارداد مشترکی را برای ساخت نخستین

## وضع استانداردهای بین‌المللی برای تبادل اطلاعات

ژیل تونت، معاون دبیرکل کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC) همچنین در پیش‌بینی محاسبات کوانتومی در سال جدید عنوان کرده این فناوری در راه است و به‌زودی چالش‌های جدیدی را پیش رو خواهد داشت که از مدیریت پیچیدگی سیستم‌های کوانتومی در مقیاس بزرگ گرفته تا اطمینان از دسترسی عادلانه به این فناوری قدرتمند را در برمی‌گیرد. استانداردهای بین‌المللی در به

## استفاده از محاسبات کوانتومی برای کاهش مصرف انرژی

آلن باراتو، مدیرعامل شرکت «دی-ویو» درباره بهینه‌سازی کوانتومی پیش‌بینی کرده این فناوری به عنوان یک مورد استفاده از محاسبات کوانتومی ظاهر و به یک ضرورت عملیاتی برای مشاغلی تبدیل می‌شود که به‌دنبال استراتژی‌های جدید برای حفظ قابلیتند. شرکت‌هایی که از محاسبات کوانتومی برای غلبه بر چالش‌های بهینه‌سازی پیچیده استفاده می‌کنند باید از رقابلی پیشی بگیرند که از راه‌حل‌های منسوخ شده استفاده می‌کنند. همچنین افزایش استفاده از محاسبات کوانتومی در سال باعث تولید تعداد بی‌سابقه‌ای از برنامه‌های کاربردی در دنیای واقعی می‌شود که بیانگر گذار از دنیای کوانتوم به واقعیت تجاری است. در زمینه زیرساخت‌های کوانتومی نیز سال ۲۰۲۵ شاهد رشد تمایل و سرمایه‌گذاری روی سیستم‌های محاسبات کوانتومی در محیط‌های محاسباتی با کارایی بالا در دنیاست؛ چراکه محققان، موسسات دانشگاهی و مشاغل به‌دنبال تقویت امنیت ملی و تسریع تمایز جنبه رقابتی پیدا می‌کنند. با کنار هم قرار دادن محاسبات کوانتومی، پیشرفت قابل‌توجهی در استفاده از فناوری‌های هیبریدی-کوانتومی برای کمک به اکتشافات جدید و دستیابی به نتایج تجاری غیرقابل‌دستیابی ایجاد خواهد

شد. در زمینه هوش مصنوعی و کوانتوم پیش‌بینی‌هایی صورت گرفته که با تسریع پذیرش هوش مصنوعی، سازمان‌ها درحالی‌که در معرض محدودیت‌های انرژی قرار دارند، با افزایش تقاضای محاسباتی روبه‌رو خواهند شد. استقبال‌های فناوری از منابع انرژی جایگزین مانند انرژی هسته‌ای برای همگام شدن با افزایش مصرف برق هوش مصنوعی، ضرورت یافتن راه‌حل‌های محاسباتی کارآمدتر را برجسته می‌کند. فناوری‌های کوانتومی مسیری رو به جلو ارائه می‌دهند. سازمان‌هایی که از محاسبات کوانتومی برای افزایش کارایی هوش مصنوعی و تغییر طراحی مدل استفاده می‌کنند، قادرند در حین کاهش مصرف انرژی به دستاوردهای عملکردی دست پیدا کنند. همچنین محققان برجسته جهان از فناوری‌های کوانتومی برای دستیابی به پیشرفت‌های علمی پیشگام و اکتشافات جدید خارج از دسترسی رایانه‌های کلاسیک استقبال خواهند کرد. حوزه‌هایی چون هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، بهینه‌سازی صنعتی و شبیه‌سازی مواد، از پیشرفت مداوم توسعه محصول و عملکرد قدرتمند سیستم‌های کوانتومی سود بیشتری می‌برند.

## اکوسیستم کوانتوم رشد بیشتری پیدا خواهد کرد

پیش‌بینی یان گوتسز، مدیرعامل و هم‌بنیانگذار شرکت «کامپیوترهای کوانتومی IQM» درباره فناوری محاسبات کوانتومی در سال جدید عنوان کرده انتظار می‌رود در این سال، ترکیب هوش مصنوعی و محاسبات کوانتومی سرعت بیشتری پیدا کنند. سیستم‌های ترکیبی کوانتومی هوش مصنوعی بر زمینه‌هایی مانند بهینه‌سازی، کشف دارو و مدل‌سازی آب‌وهوا تأثیر خواهند گذاشت. درحالی‌که کاهش خطای کوانتومی با کمک هوش مصنوعی به‌طور قابل‌توجهی قابلیت اطمینان و مقیاس‌پذیری فناوری‌های کوانتومی را افزایش می‌دهد. همچنین توسعه الگوریتمی با الگوریتم‌های جدید توسعه‌یافته در زمینه‌های مالی، تدارکات و شیمی در مرکز توجه قرار خواهد گرفت.

استیو بریرلی، مؤسس و مدیر شرکت استراتژی «ریورلین» درباره موقعیت محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۵ عنوان کرده حالا وقت تصحیح و اصلاح خطاهای کوانتومی (QEC) فرا رسیده است. به گفته او شاهد افزایش همسویی جهانی در مورد ضرورت QEC برای حذف عیوب در محاسبات کوانتومی و کمک به دستیابی به مقیاس مفید برای پیشبرد صنعت و امکان‌پذیر ساختن کاربردهای تحول‌آفرین این فناوری بوده‌ایم. دولت‌ها، سرمایه‌گذاران، شرکت‌های محاسبات کوانتومی و محققان در مورد نیاز به تصحیح خطای بلادرنگ و مسیری برای دستیابی به این امر موافق بوده و اقدامات آن‌ها نشان‌دهنده همین مسئله است. همچنین شرکت‌های سخت‌افزار کوانتومی به استقبال از این اصلاحات در مقیاس بزرگ‌تر خواهد رفت. تقریباً دوسوم از

## تقاضا برای اصلاحات خطاهای کوانتومی افزایش خواهد داشت

این شرکت‌ها تمرکز بالایی روی این اصلاحات خواهند داشت. برای بسیاری از سازمان‌ها، این مستلزم توسعه یک برنامه داخلی یا تلاش پژوهشی است که به تصحیح خطا اختصاص داده شده باشند. علاوه بر این، معیارهای به‌روزشده در این دوره جدید محاسبات کوانتومی حیاتی خواهند بود. با ادامه رقابت دنیا در زمینه محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۵، تقاضا برای ایجاد ایسن اصلاحات نیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت. به نظر می‌رسد دنیا در سال پیش رو چشم انتظار MegaQuOp خواهد بود که هدف برجسته بعدی محاسبات کوانتومی به‌شمار می‌رود و قدرت کامپیوترهای کوانتومی در آن، فراتر از دسترس هر ابررایانه کلاسیکی است و تنها با ایجاد اصلاحات می‌توان به آن دست یافت.

مسیر در سال ۲۰۲۵ باید شاهد رکورد جدیدی از کیوبیت باشد و در نهایت قصد دارد ابعاد بزرگ‌ترین کامپیوتر کوانتومی موجود را بیش از سه‌برابر کند. به‌تازگی کارشناسان این حوزه، پیش‌بینی‌های کلیدی و روندهای نو ظهور خود را پیرامون این فناوری نو ظهور ارائه کرده‌اند که ممکن است محاسبات کوانتومی و علم اطلاعات کوانتومی را برای سال ۲۰۲۵ شکل دهند.