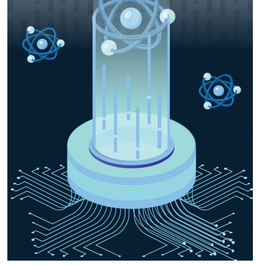
دنیا چگونه برای آینده‌ای کوانتومی آماده می‌شود؟

سرمایه‌گذاری کوانتوم از ۵۰ میلیارد دلار فراتر رفت

ندا اظهری
مترجم

وقتی صحبت از فناوری کوانتومی (QT) می‌شـــود، سرمایه‌گذاری‌ها در حال افزایش و پیشرفت‌ها چند برابر می‌شود. سازمان ملل متحد سال ۲۰۲۵ را سال بین‌المللی علوم و فناوری کوانتومی نام‌گذاری کرده است و صدمین سالگرد توسعه اولیه مکانیک کوانتومی را جشـــن می‌گیرد. پژوهش‌ها تأیید می‌کند که فناوری کوانتومی در سراسر دنیا مورد توجه گســترده قرار گرفته است. چهارمین گزارش سالانه صدفناوری کوانتومی «مک‌کنزی» پیشرفت‌ها، روندهای سرمایه‌گذاری و فرصت‌های نوظهور سال گذشته را در این چشم‌انداز به سرعت در حال تحول پوشش می‌دهد. صنعت فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۴ شاهد تغییر آیین‌های کوانتومی در حال رشد (کیوبیت‌ها) به کیوبیت‌های پایدارکننده بود و این یک نقطه عطف محسوب می‌شود. این به صنایع حیاتی نشان می‌دهد که فناوری کوانتومی می‌تواند به جزئی امن و قابل اعتماد در زیرساخت فناوری آن‌ها تبدیل شود. به همین منظور، گزارش امسال نگاهی ویژه و عمیق به بازار رو به رشد ارتباطات کوانتومی دارد که می‌تواند امنیت لازم را برای پذیرش گسترده این فناوری فراهم کند. در ارزیابی ســـرمایه‌گذاری‌ها، داده‌های سرمایه‌گذاری استارتاپ‌ها از سوی تیم «مک‌کنزی» مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که شامل حجم معامله، مرحله سرمایه‌گذاری، محل دفتر مرکزی و نوع سرمایه‌گذار می‌شود تا بینشی نســـبت به جریان‌های سرمایه در چشم‌انداز فناوری کوانتومی ارائه دهد. در ارزیابی بودجه عمومی، داده‌ها از طریق تحقیقات جامع مطبوعاتی جمع‌آوری شـــده است که سرمایه‌گذاری‌های دولتی و نهادی در فناوری‌های کوانتومی را ارائه می‌دهد. در ارزیابی چشم‌انداز ثبت اختراع نیز داده‌های ثبت اختراع از سوی این مرکز بررسی شده تا مسیر نوآوری در سنجش کوانتومی (QS)، محاسبات کوانتومی (QC) و ارتباطات کوانتومی (QComm) را ارزیابی کند. در ارزیابی مقالات علمی، داده‌های مربوط به مقالات به دســـت آمده و مقالات در علوم فیزیک را فیلتر کرده است. سهم هر کشور براساس سهم مقالات آن در نظر گرفته شـــده است در حالی که تعداد کل براساس تعداد کل مقالات محاسبه می‌شـــود. در این گزارش سالانه، حجم و اندازه بازار براساس نرخ رشد در دو سناریو تخمین‌زده شده که هر کدام، منعکس‌کننده مســـیرهای مختلف پذیرش QC، QS و QComm هســـتند. این سناریوها فرضیات مختلفی را در مورد ســـرعت پیشرفت‌های فناوری و میزان جذب تجاری در نظر می‌گیرند. محققان در نگارش این گزارش، چشم‌انداز فعالان فناوری کوانتومی را نیز مد نظر قرار دادند. استارتاپ‌ها، به عنوان شرکت‌های نوپایی که در ۲۵ سال پیش تأسیس شده و درآمد تخمینی آن‌ها کم‌تر از ۲۰۰ میلیون دلار است، شرکت‌های فعال، شرکت‌های تأسیس‌شده‌ای هستند که درآمدی بیش از ۲۰۰ میلیون دلار دارند. تولیدکنندگان قطعات، گروهی از تولیدکننـــدگان را دربرمی‌گیرند که قطعاتی را تولید می‌کنند که به طور ویژه برای کاربردهای فناوری کوانتومی طراحی شده‌اند. تأمین‌کنندگان قطعات عمومی از این امر مستثنی شده‌اند. توسعه‌دهندگان سخت‌افزار هم در صورتی مورد بررســـی قرار گرفته‌اند که یک کامپیوتر کوانتومی را به نمایش گذاشته باشند یا به طور عمومی متعهد به ساخت آن باشند. همچنین ارائه‌دهندگان خدمـــات مخابراتی، در صورتی که به صورت فعال در ارتباطات کوانتومی سرمایه‌گذاری کنند و قصد داشته باشند به عنوان اپراتورهای شبکه کوانتومی فعالیت کنند، شامل می‌شوند.



فناوری کوانتومی به چه کار می‌آید؟

فناوری کوانتومی از سه زیرشاخه محاسبات، ارتباطات و سنجش تشکیل شده است. اولین زیرشاخه، محاسبات کوانتومی است که یک الگوی محاسباتی جدید برای بهره‌گیری از قوانین مکانیک کوانتومی برای ارائه بهبود عملکرد برای کاربردهای خاص است که حوزه‌های جدیدی را در مقایسه با محاسبات کلاسیک موجود امکان‌پذیر می‌کند. دومین زیرشاخه، ارتباطات کوانتومی، شامل انتقال امن اطلاعات کوانتومی در فواصل است که می‌تواند امنیت ارتباطی را حتی به‌صورت قدرت محاسباتی محدود برقرار می‌کند. سومین زیرشاخه هم شامل سنجش کوانتومی است که شامل نسل جدید حسگرها براساس سیستم‌های کوانتومی می‌شود که اندازه‌گیری مقادیر مختلف را مانند میدان‌های مغناطیسی، جاذبه و زمان را ارائه داده و مرتبه‌های بزرگی آن حساس‌تر از حسگرهای کلاسیک است. محاسبات کوانتومی از قدرت بالایی برخوردار است و در این مسیر از مکانیک کوانتومی بهره می‌برد. یکی از دلایل قدرت این محاسبات، برهم‌نهی است که احتمال وجود نداشتن سیستم‌های کوانتومی در یک حالت واحد و تعریف‌شده را نشان می‌دهد. دوم، درهم‌تنیدگی است که احتمال دو یا تعداد بیشتری سیستم برای شکل دهی یک حالت ترکیبی جدایی ناپذیر است. سوم، تداخل است که قابلیت حالت‌های کوانتوم‌ به‌را برای ترکیب نشان می‌دهد. در این میان، فناوری کوانتومی قادر است مسائل مربوط به جبر خطی (یادگیری ماشینی و هوش مصنوعی)، شبیه‌سازی؛ بهینه‌سازی ریاضیاتی؛ و تجزیه اعداد بزرگ را حل کند.

پیام‌های کلیدی فناوری کوانتومی ۲۰۲۵

نوآوری و پیشرفت‌های چشمگیر
اطلاعیه‌های جدید بازیگران و استارتاپ‌های حوزه فناوری، پیشرفت‌های بزرگی را در کنترل کوانتومی به ویژه در اصلاح خطاها نســـبت به محاسبات کوانتومی باثبات و قابل اعتماد نشان می‌دهد.

اندازه بازار
شرکت‌های محاسبات کوانتومی تغییری را به سمت درآمدزایی، و کسب حداقل ۶۵۰ تا ۹۵۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۴ آغاز کردند و انتظار می‌رود تا انتهای سال ۲۰۲۵، این رقم از یک میلیارد دلار هم فراتر رود.

چشم‌انداز سرمایه‌گذاری
سرمایه‌گذاری‌های استارتاپی در فناوری کوانتومی، با افزایش چشمگیر بودجه‌های عمومی از سال ۲۰۲۳، به صورت سالانه ۵۰ درصد رشد کرده و در سال ۲۰۲۴ به ۲ میلیارد دلار رسیده است.

خوشه‌ها و استارتاپ‌ها
استارتاپ‌ها به طور روزافزونی، با ظهور مراکز فناوری در آسیا و رشد خوشه‌ها در سطح ایالتی آمریکا، در داخل خوشه‌ها ادغام شده‌اند.

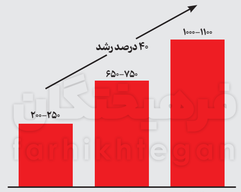
زنجیره ارزش
بیشتر استارتاپ‌های جدید در سال ۲۰۲۴، در حوزه قطعات و نرم‌افزارهای کاربردی ظهور کردند و تغییر ارزش از قطعات به سمت نرم‌افزارهای کاربردی مشاهده شده است.

تجزیه و تحلیل جامع ارتباطات کوانتومی
Q-Day (روزی که محاســـبات کوانتومی بتوانند پیچیده‌ترین مسائل را حل کند) یک تغییر محوری در بحث امنیت محســـوب می‌شود که مستلزم پذیرش اولیه ارتباطات کوانتومی با حجم کلی بازار یک میلیارد دلاری در سال ۲۰۲۳ بود که به میانگین رشد سالانه ۲۲ تا ۲۵ درصدی رسید.

تأثیر فناوری کوانتومی بر فناوری‌های پیشرفته
فناوری کوانتومی با تغییر در فناوری‌های کوانتومی، مانند سنجشگر پرودجه‌های عمومی از سال ۲۰۲۳، به‌صورت سالانه ۵۰ درصد رشد کرده و در سال ۲۰۲۴ به ۲ میلیارد دلار رسیده است.

آینده بازار کوانتوم چگونه پیش بینی می‌شود؟

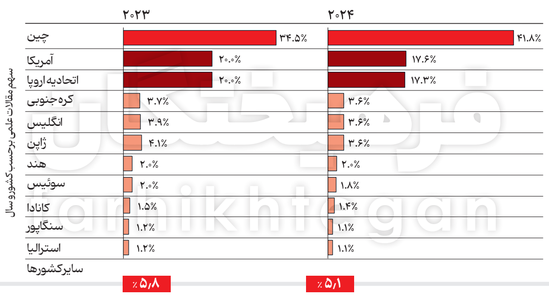
شرکت‌های فعال در حوزه محاسبات کوانتومی، مسیر خود را به سمت درآمدزایی تغییر داده‌اند. به طوری که درآمد آن‌ها از ۶۵۰ میلیون دلار به ۷۵۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۴ رشد داشته است. سناریوهای پیش‌بینی کننده‌ای که برای حجم بازار در زیرشاخه‌های مختلف فناوری کوانتوم‌ می‌بین‌سال‌های ۲۰۲۵-۲۰۳۰ مطرح‌شده، نشان می‌دهد که در سال ۲۰۳۵ اندازه بازار محاسبات کوانتومی بین ۲۸ تا ۷۲ میلیارد دلار خواهد شد؛ اندازه بازار ارتباطات کوانتومی در آن سال به ۱۱ تا ۱۵ میلیارد دلار می‌رسد و نیز اندازه بازار سنجش کوانتومی نیز در ۱۰ سال آینده بین ۱۰۷ تا ۱۰۱ میلیارد دلار خواهد رسید. تمام این ارقام تا ۵ سال آینده چند برابر خواهد شد، به طوری که اندازه بازار برای محاسبات کوانتومی بین ۲۵ تا ۱۳۱ میلیارد دلار؛ برای ارتباطات کوانتومی نیز بین ۲۴ تا ۳۶ میلیارد دلار خواهد بود و نیز اندازه بازار برای سنجش کوانتومی بین ۱۸ تا ۳۱ میلیارد دلار می‌رسد. بر آوردها نشان می‌دهد که ارزش اقتصادی بالقوه حاصل از محاسبات کوانتومی که با عامل محرک چهار صنعت مواد و انرژی‌های جهانی، فراورده‌های پزشکی و دارویی، صنعت مالی و سفر، حمل و نقل و لجستیک در سال ۲۰۳۵ بین ۹۰۰ میلیارد دلار تا ۲ هزار میلیارد دلار خواهد رسید. میانگین درآمد کســـب شده از شرکت‌های محاسبات کوانتومی از ۲۵۰ تا ۲۵۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۳ با میانگین رشد سالانه ۴۰ درصدی، به رقم درآمدی ۶۵۰ تا ۷۵۰ میلیون دلاری در سال ۲۰۲۴ و یک میلیارد تا یک میلیارد و ۱۰۰ میلیون دلار در سال ۲۰۲۵ رشد خواهد داشت.



برآورد درآمد شرکت‌های کنترل کیفیت برحسب میلیارد دلار

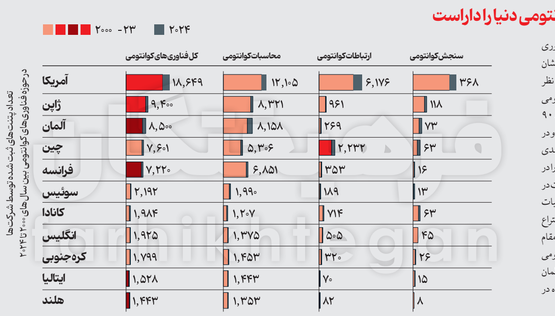
سهم ۴۲ درصدی چین در انتشار مقالات علمی

چین با افزایش ۷ درصـــدی ســـهم خود از مقالات جهانـــی از ســـال ۲۰۲۳ تـــا ۲۰۲۴ در مجـــلات علـــوم فیزیکـــی، از نظـــر تعـــداد ۴۲ درصـــدی مقـــالات علمـــی پیشـــتاز اســـت. ســـهم چـــین از ایـــن مقـــالات در ســـال ۲۰۲۳ حـــدود ۳۴٫۵ درصـــد بـــوده اســـت. در ایـــن میـــان، آمریـــکا و اتحادیـــه اروپـــا از نظـــر تعـــداد مقـــالات در ســـال‌های ۲۰۲۴-۲۰۲۳ نزدیـــک بـــه هـــم حرکـــت می‌کننـــد. ســـهم آمریـــکا از ۲۰ درصـــد در ســـال ۲۰۲۳ بـــه ســـهم ۱۷٫۶ درصـــدی در ســـال گذشـــته کاهـــش یافتـــه و اتحادیـــه اروپـــا نیـــز از ســـهم ۲۰ درصـــدی بـــه ۱۷٫۳ درصـــدی رســـیده اســـت. ســـهم مقـــالات در کشـــورهایی کـــه بیـــن ۱۱ کشـــور برتـــر نیســـتند، از ۵٫۸ درصـــد در ســـال ۲۰۲۳ بـــه ســـهم ۵٫۱ درصـــدی در ســـال ۲۰۲۴ کاهـــش یافتـــه اســـت.



آمریکا بالاترین پتنت‌های کوانتومی دنیا را داراست

طبق آمار، فعالیت روی اختراعات ثبت شـــده در حوزه فناوری کوانتومی به طور ســـالانه در سال ۲۰۲۴ تا ۱۳ درصد رشد نشان می‌دهد. طبق آمار، آمریکا با ۲۷ درصد و ژاپن با ۱۴ درصد از نظر سهم اختراعات ثبت شده جهانی در حوزه فناوری‌های کوانتومی در صدر جدول جا خوش کرده‌اند. ۱۱ کشور برتر دنیا حدود ۹۰ درصد از اختراعات ثبت شده دنیا را به خود اختصاص داده‌اند و در این میان، آلمان، فرانسه، اپتالیا و هلند به اتفاق، سهم ۲۷ درصدی دارند. چین با ۲۲۳۲ اختراع ثبت شده، بالاترین تعداد اختراع را در ارتباطات کوانتومی از آن خود کرده است که حکایت از پیشرفت در این حوزه است. آمریکا با ۱۲۱۰۵ اختراع ثبت شده در محاسبات کوانتومی، ۶۱۷۶ اختراع در ارتباطات کوانتومی و ۳۶۸ اختراع در سنجش کوانتومی با مجموع ۱۸۶۴۹ اختراع ثبت‌شده در مقام اول دنیا در تعداد اختراعات ثبت شـــده در فناوری‌های کوانتومی قرار گرفته است. بعد از آن به ترتیب ژاپن با ۹۴۰۰ اختراع، آلمان با ۸۵۰۰، چین با ۷۶۰۱ و فرانسه با ۷۲۲۰ اختراع ثبت شده در رده‌های دوم تا پنجم قرار گرفته‌اند.



نکات کلیدی پیشرفت‌های فناوری کوانتومی

نوآوری‌ها و پیشرفت‌ها در سال ۲۰۲۴ شامل پیشرفت‌های عمده در اصلاح خطاها نسبت به عصر جدیدی از محاسبات کوانتومی است. نکات مهمی در پیشرفت‌های حوزه فناوری کوانتومی مطرح می‌شود که عبارتند از:

۱ تغییر به ســـمت پایداری کیوبیت است. همزمان با تبدیل شدن مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان به محور توسعه سیستم‌های کوانتومی، کنترل کوانتومی به طور چشمگیری به عنوان یک اولویت استراتژیک در سراسر اکوسیستم، از سخت‌افزار گرفته تا یکپارچه‌سازی نرم‌افزار، شناخته می‌شود که تضمین‌کننده تثبیت و کاهش خطاست.

۲ خبرهای مهمی از ســـوی بازیگران کلیدی مطرح می‌شوند. در ســـال ۲۰۲۴، شرکت‌های فناوری از جمله گوگل، IBM و مایکروسافت به پیشرفت در نوآوری‌های کوانتومی ادامه دادند و از پیشـــرفت‌های چشمگیری در عملکرد و مقیاس‌پذیری پردازنده‌ها خبر دادند.

۳ نکته کلیدی دیگر هم تمرکز روی اصلاح خطاهای کوانتومی است. اصلاح خطاهای کوانتومی در قالب تمرکز اصلی در برخی شرکت‌ها، بیانگر آن است که اصلاح مؤثر خطاها دیگر گزینشی نیست، بلکه برای اطمینان از ثبات و دقت با بهره‌گیری از الگوریتم‌های اصلاح خطا الزامی است.

وضعیت اختراعات حوزه کوانتوم چگونه است؟

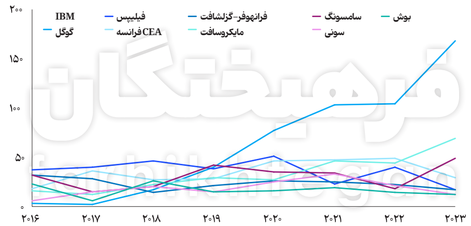
ارتبـــاطـــات کوانتومـــی (QComm): آمریـــکا ۴۳ درصد از درخواســـت‌های ثبت اختراع جهانی را در اختیار دارد که این امر ناشی از تلاش‌های آزمایشگاه‌های ملی و مؤسسات پژوهشی است.

سنجش کوانتومی (QS): آمریکا ۴۵ درصد از کاربردهای جهانی ثبت اختراعات را از آن خود کرده است که بیشتر آن‌ها در حوزه‌های دفاعی و نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

محاسبات کوانتومی: چین با در اختیار داشتن ۳۲ درصد از ثبت اختراعات با کاربردهای خاص در حوزه محاسبات کوانتومی در دنیا پیشـــگام است و در اینجا، در مقایسه با سهم ۲۲ درصدی آمریکا، جایگاه بالاتری را از آن خود کرده است.

IBM و گوگل بیشترین دارندهٔ اختراعات ثبت شده

فعال‌ترین پتنت‌ها برای بزرگ‌ترین بازیگران فناوری‌های کوانتومی در سال‌های اخیر بیانگر افزایش تلاش در حوزه مالکیت معنوی است. آمارها نشـــان می‌دهد دکه IBM و گوگل در سال ۲۰۲۳ با افزایش قابل توجهی در تعداد اختراعات ثبت شده مواجه شدند. برخلاف این روند، CEA فرانسه و فیلیپس، از سال ۲۰۲۲ تاکنون با بیشترین کاهش تعداد اختراعات ثبت شده روبه‌رو شده‌اند.



تعداد اختراعات سالانه ثبت شده درحوزه فناوری‌های کوانتومی
برای بازیگنانی که بیشترین اختراعات این حوزه را بین سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۱۶ در اختیار دارند

بالاترین رقم سرمایه‌گذاری کوانتومی برای چینی‌هاست

بخش عمده سرمایه‌گذاری‌های استارتاپ‌های حوزه فناوری‌های کوانتومی در ســـال ۲۰۲۴ به ســـمت شـــرکت‌های مستقر در آمریکا گرایش داشـــته اســـت کـــه عمدتاً توســـط بودجه‌های دولتی تأمین بودجه می‌شـــوند. بررســـی کل ســـرمایه‌گذاری در فناوری‌های کوانتومی برحســـب منطقه جغرافیایی استارتاپ‌های مســـتقر و نوع سرمایه‌گذاری اولیه نشـــان می‌دهد که بیشـــترین ســـرمایه‌گذاری‌ها روی استارتاپ‌های آمریکایی توســـط ســـرمایه‌گذاری‌های دولتـــی انجـــام می‌شـــود بـــه طـــوری کـــه ۶۴۰ میلیـــون دلار ســـرمایه‌گذاری در استارتاپ‌های آمریکایی ســـهم ســـرمایه‌گذاران دولتـــی، ۴۸۶ میلیون دلار ســـهم ســـرمایه‌گذاران خصوصـــی و ۳۳۳ میلیون دلار هم ســـرمایه‌گذاران ترکیبـــی هســـتند کـــه در مجموع یک میلیارد و ۵۵۹ میلیون دلار ســـرمایه‌گذاری در این استارتاپ‌ها را به خود اختصـــاص می‌دهـــد. اســـترالیا، انگلیـــس، اتحادیـــه اروپـــا و رژیـــم صهیونیســـتی حـــدود ۲۱ درصـــد از کل مبلـــغ ســـرمایه‌گذاری در ســـال ۲۰۲۴ را بـــه خـــود اختصـــاص دادەانـــد در حالـــی کـــه ســـهم آمریکـــا در این بین ۷۸ درصـــد بـــوده اســـت. دســـترسی بـــه داده‌هـــا در مـــورد ســـرمایه‌گذاری استارتاپ‌ها در چین محـــدود اســـت و همین امر باعث ایجاد عدم قطعیت در مورد ارقام می‌شـــود. کل ســـرمایه‌گذاری در اســـترالیا ۱۵۷ میلیون دلار بوده که ۱۴۴ میلیون دلار از آن ســـرمایه‌گذاری خصوصـــی اســـت. کل رقم ســـرمایه‌گذاری در انگلیس هم به ۱۰۵ میلیون دلار رسید که ۸۱ میلیون دلار از آن سهم سرمایه‌گذاران خصوصی اســـت. ســـرمایه‌گذاری‌های ملی اعلام شـــده تا امروز در مجموع حدود ۵۴ میلیارد دلار اســـت. در این میان، چین با ســـرمایه‌گذاری ۱۵ میلیـــارد و ۳۰۰ میلیون دلاری بالاترین رقم ســـرمایه‌گذاری در آمریکا فناوری‌های کوانتومی را به خود اختصاص داده اســـت. بعد از آن، ژاپن با ســـرمایه‌گذاری ۹ میلیارد و ۲۰۰ میلیون دلاری و آمریکا با سرمایه‌گذاری ۶ میلیارد دلاری در رده‌های دوم و سوم جای گرفته‌اند. سپس آلمان با ۵ میلیارد و ۲۰۰ میلیون دلار و انگلیس با ۴ میلیارد و ۶۰۰ میلیون دلار، سرمایه‌گذاری در رده‌های بعدی جای گرفته‌اند. اعلام سرمایه‌گذاری‌های دولتی در حوزه فناوری‌های کوانتومی در اوایل سال ۲۰۲۵ به ۱۰ میلیارد دلار رسید که ژاپن تقریباً ۷۵ درصد آن را تشـــکیل می‌دهد. در حالی که انگلیس، آلمان و کره جنوبی بیشـــترین میزان سرمایه‌گذاری را در ســـال ۲۰۲۳ داشتند، آمریکا و استرالیا بیشترین ســـرمایه‌گذاری را در ســـال ۲۰۲۴ رقم زدند که به دلیـــل پایین بودن نرخ بودجه‌های دولتی آن‌ها بوده اســـت. ژاپن از ســـرمایه‌گذاری قابل توجه ۷ میلیارد و ۴۰۰ میلیون دلاری در سال ۲۰۲۵ خبر داد که بیانگر افزایش تمایل آسیا به فناوری‌های کوانتومی ناشی می‌شود. بســـیاری از اعلامیه‌های بودجه‌های دولتی شامل برنامه‌هایی برای جذب سرمایه‌گذاری‌های خصوصی به عنوان بخشی از اهداف کلی برنامه بودند. در این میان، رقم ســـرمایه‌گذاری‌های کلی دولتی در انگلیس ۳ میلیارد و ۵۰۰ میلیون دلار برآورد شـــده و این رقم برای آلمان ۳ میلیارد و ۲۰۰ میلیون دلار بوده اســـت. کل رقم ســـرمایه‌گذاری‌های دولتی در آمریکا هم مانند آلمان ۳ میلیارد و ۲۰۰ میلیون دلار گزارش شده است.

بازار یک میلیارد دلاری ارتباطات کوانتومی در ۲۰۲۳

Q-Day، تغییری محوری را در امنیت، پذیرش اولیه ارتباطات کوانتومی و رشد بازار ارائه می‌دهد. Q-Day، نقطه‌ای در محاسبات کوانتومی است که در مرتکزهای سنتی را از بین برده و داده‌های حساس را افشا کرده و نیاز فوری به راه‌حلهای امنیتی کوانتومی ایجاد می‌کند. محرک اصلی این معیار، نوآوری است که عملکرد سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کل ارزش بازار ارتباطات کوانتومی در سال ۲۰۲۳ به رقمی بالغ بر یک میلیارد دلار رسید و انتظار می‌رود این آمار تا سال ۲۰۳۵ با میانگین رشد ۲۲ تا ۲۵ درصدی به حدود ۱۰ میلیارد و ۵۰۰ میلیون دلار تا ۱۴ میلیارد و ۹۰۰ میلیون دلار برسد. به نظر می‌رسد در سال ۲۰۲۳، به تا ۶۶ درصد، بزرگ‌ترین سهم کاربران را تا سال ۲۰۲۳ از آن خود کرده بود و انتظار می‌رود سهم سرمایه‌گذاری‌های خصوصی نیز به سرعت در حال رشد است.

بازار یک میلیارد دلاری در انتظار محاسبات کوانتومی

طبق برآوردهای انجام‌شده، کل درآمد فناوری محاسبات کوانتومی در سال ۲۰۲۴ از ۶۵۰ میلیون دلار به ۷۵۰ میلیون دلار رسید و انتظار می‌رود این رقم در سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۰ به ۱۶ تا ۳۷ میلیارد دلار و تا سال ۲۰۴۰ تا ۴۵ تا ۱۳۱ میلیارد دلار برسد که بر مبنای سناریوی رشد این فناوری برآورد شده است. نرخ رشد این بازار در دهه آینده به طور سالانه بین ۱۱ تا ۱۴ درصد پیش‌بینی شده است. تفاوت‌های کلیدی در این گمانه‌زنی‌ها، گامی به سوی حل چالش‌های امروز در ترکیب با تقاضای بالا در مورد پیشرفت سریع‌تر بازار برداشته است. هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت در سال ۲۰۲۴ فریب به ۳۴ درصد از کل اندازه بازار را از آن خود کرده بود.

بازار یک میلیارد دلاری ارتباطات کوانتومی

رشد ۲۵ درصدی بازار ارتباطات کوانتومی تا ۱۰ سال آینده

اندازه بازار ارتباطات کوانتومی در سال ۲۰۲۳ با بهره‌گیری از چشم‌اندازهای محصول همراه با روند‌های فناوری، حدود یک میلیارد دلار تخمین زده شد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۵، این رقم با نرخ رشد مرکب سالانه ۲۲ تا ۲۵ درصدی به ۱۱ تا ۱۵ میلیارد دلار برد. بخش دولتی، به ویژه حوزه دفاعی بزرگ‌ترین بازیگر این بازار است، به طوری که سهم ۶۲ تا ۶۶ درصد را تا سال ۲۰۲۳ را در اختیار داشتند و انتظار می‌رود مشارکت بخش خصوصی هم به سرعت رشد کند. به عنوان مثال، پیش‌بینی می‌شود فناوری‌های تلکام از ۲ تا ۶ درصد در سال ۲۰۲۳ به ۱۴ تا ۲۶ درصد در سال ۲۰۳۵ رشد داشته باشند. خدمات مالی نیز که یکی از موارد کاربردی بزرگ به شمار می‌رود، انتظار می‌رود در سال ۲۰۳۵ با افزایش سهم بازار بین ۱۴ تا ۲۴ درصدی همراه باشد.

رشد ۱۴ درصدی بازار محاسبات کوانتومی تا ۲۰۴۰

انتظار می‌رود بازار محاسبات کوانتومی تا سال ۲۰۳۰ به ۱۶ تا ۳۷ میلیارد دلار و تا سال ۲۰۴۰ به ۴۵ تا ۱۳۱ میلیارد دلار برسد که بر مبنای سناریوی رشد این فناوری برآورد شده است. نرخ رشد این بازار در دهه آینده به طور سالانه بین ۱۱ تا ۱۴ درصد پیش‌بینی شده است. تفاوت‌های کلیدی در این گمانه‌زنی‌ها، گامی به سوی حل چالش‌های امروز در ترکیب با تقاضای بالا در مورد پیشرفت سریع‌تر بازار برداشته است. هزینه‌های سرمایه‌ای صنعت در سال ۲۰۲۴ فریب به ۳۴ درصد از کل اندازه بازار را از آن خود کرده بود.

بازار یک میلیارد دلاری ارتباطات کوانتومی در ۲۰۲۳

رشد ۲۵ درصدی بازار ارتباطات کوانتومی تا ۱۰ سال آینده

بازار یک میلیارد دلاری ارتباطات کوانتومی در ۲۰۲۳

رشد ۲۵ درصدی بازار ارتباطات کوانتومی تا ۱۰ سال آینده

۲۷۴ استارتاپ محاسبات کوانتومی در دنیا فعال هستند

تنها ۲ اســـتارتاپ جدید آمریکایی در سال ۲۰۲۴ راه‌اندازی شده‌اند که نشـــان می‌دهد بازار به طور چشمگیری بالغ شده و بر تولید متمرکز شده است. سایر کشـــورهای جهان ۹۵ استارتاپ (حدود ۳۵ درصد از کل استارتاپ‌های جهان) را در اختیار دارند. اما ۷ کشور برتر به ویژه آمریکا با قراردادهای قابل توجه خود، تقریباً تمام بودجه را در سال ۲۰۲۴ دریافت می‌کنند. بعد از آمریکا، کانادا با ۲۹ استارتاپ و انگلیس با ۲۶ استارتاپ در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

تأثیر محاسبات کوانتومی در فناوری‌های جدید

محاسبات کوانتومی، یکی از عوامل کلیدی در اکوسیستم فناوری‌های نوآورانه به شمار می‌رود که هم افزایی قدرتمندی را ارائه می‌دهد.

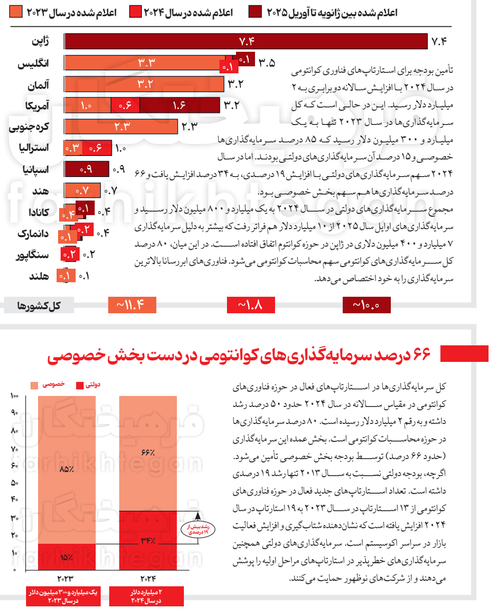
هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی: نقش کلیدی در تسریع عملکرد نرم‌افزاری کوانتومی داشته و از قدرت محاسبات کوانتومی بهره‌مند می‌شوند.

سیستم‌های رباتیک: باعث پیشبرد فعالیت‌های خودکار در تولیدات خودرو شده و با افزایش توان محاسباتی، بهینه کردن کاربرد نرم‌افزاری، ارتباطات ایمن و احراز هویت و نیز بهبود ناوبری و سنجش دقیق، از مزیت‌های فناوری‌های کوانتومی بهره‌مند می‌شود.

پایداری و فناوری‌های اقلیمی: تقاضای راه‌حل‌های کم مصرف و با تأثیر بالا می‌کند که هم از آن‌ها بهره‌مند بوده و هم آن‌ها را به محرک نوآوری در فناوری‌های کوانتومی تبدیل می‌کند که از محاسبات کامپیوتری، بهینه‌سازی الگوریتمی و شبیه‌سازی‌های مولکولی بهره می‌برند.

رمزنگاری و امنیت سایبری: هم با خطرات وجودی و هم فرصت‌های تحول‌آفرین حاصل از توانمندی‌های کوانتومی مواجه است که آن را به یک حوزه حیاتی برای تأثیرگذاری بیشتر تبدیل می‌کند.

یک‌سوم سرمایه‌گذاری‌های کوانتومی دولتی است



تأمین بودجه برای استارتاپ‌های فناوری کوانتومی در سال ۲۰۲۴ با افزایش ســـالانه دوبرابری به ۲ میلیارد دلار رسید. این در حالی اســـت که کل ســـرمایه‌گذاری‌ها در ســـال ۲۰۲۳ تنها به یک میلیارد و ۳۰۰ میلیون دلار رســـید کـــه ۸۵ درصد ســـرمایه‌گذاری‌ها خصوصـــی و ۱۵ درصـــد آن ســـرمایه‌گذاری‌های دولتی بودند. آمار در ســـال ۲۰۲۴ ســـهم ســـرمایه‌گذاری‌های دولتـــی با افزایش ۱۹ درصـــدی، به ۳۴ درصد افزایش یافت و ۶۶ درصـــد ســـرمایه‌گذاری‌ها هم ســـهم بخش خصوصـــی بود. مجموع ســـرمایه‌گذاری‌های دولتی در ســـال ۲۰۲۴ به یک میلیارد و ۸۰۰ میلیون دلار رســـید و ســـرمایه‌گذاری‌های اولیه ســـال ۲۰۲۵ با ۱۰ میلیارد دلار هم فراتر رفت که بیشتر به دلیل سرمایه‌گذاری ۷ میلیارد و ۴۰۰ میلیون دلاری در ژاپن در حوزه کوانتوم اتفاق افتاده اســـت. در این میان، ۸۰ درصد کل ســـرمایه‌گذاری‌های کوانتومی سهم محاسبات کوانتومی می‌شود. فناوری‌های ابررسانا بالاترین سرمایه‌گذاری را به خود اختصاص می‌دهد.

۶۶ درصد سرمایه‌گذاری‌های کوانتومی در دست بخش خصوصی

دولتی
خصوصی
کل سرمایه‌گذاری‌های خصوصی و دولتی روی فناوری‌های کوانتومی
۱۰۰
۹۰
۸۰
۷