قلمرو علم
150 155

برتری کوانتومی

برتری کوانتومی

انقلاب کامپیوتر کوانتومی چگونه
همه‌چیز را دگرگون خواهد کرد

میچیو کاکو

ترجمه‌ی **جمیل آریایی**

انتشارات مازیار

سرشناسه : کاکو، میچیو
Kaku, Michio
عنوان و نام پدیدآور : برتری کوانتومی: انقلاب کامپیوتر کوانتومی چگونه همه چیز را دگرگون خواهد کرد/ میچیو کاکو؛ ترجمه‌ی جمیل آریایی.
مشخصات نشر : تهران: مازیار ، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری : ۳۳۶ ص؛ ۱۴/۵×۲۱/۵س‌م.
فروست : قلمروعلم
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۴۲-۰
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: Quantum supremacy : how the quantum computer revolution will change everything,2023
یادداشت : کتابنامه ؛ نمایه
عنوان دیگر : انقلاب کامپیوتر کوانتومی چگونه همه چیز را دگرگون خواهد کرد.
موضوع : Quantum computers
Quantum computing
موضوع : کامپیوترهای کوانتومی
محاسبات کوانتومی
شناسه افزوده : آریایی، جمیل، ۱۳۳۰ - ، مترجم
رده‌بندی کنگره : QA۷۶/۸۸۹
رده‌بندی دیویی : ۰۰۶/۳۸۴۳
شماره کتابشناسی ملی : ۹۳۲۳۷۵۵

mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

برتری کوانتومی:
انقلاب کامپیوتر کوانتومی چگونه همه‌چیز را دگرگون خواهد کرد

میچیو کاکو
ترجمه‌ی جمیل آریایی
صفحه‌آرایی مروا ک.
چاپ اول ۱۴۰۲
شمارگان ۱۲۰۰
لیتوگرافی سحر، چاپ و صحافی طیف‌نگار
شابک ۰-۴۲-۷۰۶۱-۶۲۲-۹۷۸

مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

| برای خرید اینترنتی و اطلاعات بیشتر |
www.mazyarpub.ir

فهرست مطالب

بخش اول: پیدایش کامپیوترهای کوانتومی ۷

۱. پایان عصر سیلیکون ۹

۲. پایان عصر دیجیتال ۳۱

۳. پیدایش کوانتوم ۴۷

۴. سپیده‌دمان کامپیوترهای کوانتومی ۶۹

۵. مسابقه شروع شده است ۹۹

بخش دوم: کامپیوترهای کوانتومی و جامعه ۱۱۱

۶. منشأ حیات ۱۱۳

۷. سبز کردن دنیا ۱۲۹

۸. تغذیه‌ی سیاره ۱۳۹

۹. انرژی‌رسانی به دنیا ۱۵۱

بخش سوم: پزشکی کوانتومی ۱۶۱

۱۰. بهداشت کوانتومی ۱۶۳

۱۱. ویرایش ژن و درمان سرطان ۱۷۷

۱۲. هوش مصنوعی و کامپیوترهای کوانتومی ۱۹۷

۱۳. جاودانگی ۲۲۱

بخش چهارم: مدل‌سازی دنیا و جهان هستی ۲۴۵

۱۴. گرمایش جهانی ۲۴۷

۱۵. خورشید در بطری ۲۶۱

۱۶. شبیه‌سازی جهان هستی **۲۷۷**
۱۷. روزی در سال ۲۰۲۵ **۳۰۵**
پایان سخن: معماهای کوانتومی ۳۱۵
قدردانی‌ها ۳۲۷

بخش اول

پیدایش
کامپیوترهای کوانتومی

۱
پایان عصر سیلیکون

انقلابی در راه است.

دو بمب خبری دور از انتظار در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰، دنیای علم را تکان داد. دو گروه اعلام کردند که به برتری کوانتومی دست یافته‌اند، خبری افسانه‌ای که می‌گفت نوع جدیدی از کامپیوتر، به نام کامپیوتر کوانتومی، می‌تواند در انجام کارهای خاصی هر اَبَرکامپیوتر دیجیتالی معمولی را از میدان به در کند. این پیام آشوبی به پا کرد که می‌تواند کل چشم‌انداز محاسباتی را تغییر دهد و هر جنبه از زندگانی روزمره‌ی ما را دگرگون سازد.

نخست، گوگل فاش کرد که کامپیوتر کوانتومی‌اش، به نام سیکامور، می‌تواند نوعی مسئله‌ی ریاضیاتی را که سریع‌ترین اَبَرکامپیوتر دنیا آن را در عرض ۱۰,۰۰۰ سال حل می‌کند، در عرض ۲۰۰ ثانیه حل کند. نشریه‌ی تکنولوژی ریویوی دانشگاه MIT این کامپیوتر را موفقیت بزرگی خواند. گوگل کامپیوتر کوانتومی‌اش را با پرتاب اسپوتنیک یا نخستین پرواز برادران رایت هم‌تراز خواند. این کامپیوتر «آستانه‌ی عصر تازه‌ای از ماشین‌هایی بود که قدرتمندترین کامپیوتر امروزی در برابر آن‌ها چرتکه را می‌ماند.»[۱]

آنگاه انستیتو نوآوری کوانتومی در آکادمی علوم چین از این هم فراتر رفت و اعلام کرد که کامپیوتر کوانتومی‌اش صد هزار میلیارد برابر سریع‌تر از هر اَبَرکامپیوتر معمولی است.

معاون شرکت IBM، باب سوتور، که درباره‌ی این پیدایش برق‌آسا اظهار نظر کرد، به روشنی بیان می‌کند که «به گمان من این کامپیوتر مهم‌ترین تکنولوژی محاسباتی قرن حاضر خواهد بود.»[۲]

کامپیوترهای کوانتومی «کامپیوتر نهایی» نامیده شده‌اند و پیشرفتی تعیین‌کننده در تکنولوژی هستند که پیامدهای ژرفی برای کل دنیا دارند. این کامپیوترها، به جای ترانزیستورهای ریز، با ریزترین شیء موجود که خود اتم‌ها هستند،

محاسبه می‌کنند و از این‌رو می‌توانند قدرت بزرگترین اَبَرکامپیوتر ما را به سخره بگیرند. کامپیوترهای کوانتومی عصر تازه‌ای را برای اقتصاد، جامعه، و شیوه‌ی زندگانی ما نوید می‌دهند.

باری، کامپیوترهای کوانتومی چیزی بیش از نوعی کامپیوتر قدرتمند هستند. این کامپیوترها نوع جدیدی از کامپیوترها هستند که می‌توانند مسائلی را حل کنند که کامپیوترهای دیجیتالی هرگز نمی‌توانند حل کنند، حتی اگر بی‌نهایت وقت به آن‌ها اختصاص داده شود. برای مثال، کامپیوترهای دیجیتالی هرگز نمی‌توانند به طور دقیق حساب کنند که اتم‌ها چگونه با هم ترکیب می‌شوند و واکنش‌های مهم را خلق می‌کنند، به ویژه واکنش‌هایی که حیات را ممکن می‌سازند. کامپیوترهای دیجیتالی فقط می‌توانند روی نوار دیجیتالی، متشکل از رشته‌هایی از 0ها و ۱ها، محاسبه کنند که برای توصیف امواج ظریف الکترون‌هایی که در اعماق درون مولکول‌ها می‌رقصند ناتوان هستند. برای مثال، کامپیوتر دیجیتالی آنگاه که بخواهد مسیرهای تودرتوی حرکت موش را در بازی ماز حساب کند، ناچار است هر تک مسیر ممکن موش را، یکی پس از دیگری، با دردسر فراوان حساب کند، اما کامپیوتر کوانتومی همزمان همه‌ی مسیرهای ممکن را با سرعت برق‌آسا تحلیل می‌کند.

بدین‌سان رقابت شدیدی میان غول‌های کامپیوتر به راه افتاده است که همه می‌خواهند قوی‌ترین کامپیوتر کوانتومی دنیا را بسازند. در سال ۲۰۲۱ شرکت IBM از کامپیوتر کوانتومی‌اش، به نام ایگل، رونمایی کرد که در این رقابت پیشتاز است و قدرت محاسباتی‌اش از هر کامپیوتر پیشین بیشتر است.

لیکن این پیشتازها مثل رویه‌ی تُرد شیرینی‌های پای، شکننده هستند.

با توجه به پیامدهای ژرف این انقلاب، جای تعجب نیست که بسیاری از شرکت‌های پیشگام دنیا در این تکنولوژی تازه سرمایه‌گذاری‌های سنگینی کرده باشند. گوگل، مایکروسافت، اینتل، IBM، ریگتی، و هانی‌بال جملگی برآنند که کامپیوترهای کوانتومی آغازین‌شان را بسازند. پیشگامان سیلیکون ولی می‌دانند که اگر با این انقلاب همراه نشوند، به دست فراموشی سپرده خواهند شد.

شرکت‌های IBM، هانی‌بال، و ریگتی، کامپیوترهای کوانتومی نسل اول‌شان را در اینترنت گذاشته‌اند تا اشتهای مردم کنجکاو را برانگیزند و نخستین

رویارویی مستقیم‌شان را با محاسبات کوانتومی تجربه کنند. هر کس که در اینترنت به نوعی کامپیوتر کوانتومی وصل شود می‌تواند برای نخستین‌بار این انقلاب کوانتومی تازه را تجربه کند. برای مثال، پلتفورم آنلاین «IBM کیو اکسپرینس»[1] که در سال ۲۰۱۶ راه افتاد، تعداد پانزده کامپیوتر کوانتومی را از طریق اینترنت به طور رایگان در اختیار عموم قرار می‌دهد. شرکت‌های سامسونگ و جی‌پی‌مورگان چیس از جمله کاربران آن هستند. در حال حاضر تعداد ۲,۰۰۰ نفر، از بچه‌های مدرسه‌ای گرفته تا اساتید دانشگاهی، ماهانه از آن استفاده می‌کنند.

وال استریت به این تکنولوژی علاقه‌ی وافری نشان داده است. شرکت آیون‌کیو، با عرضه‌ی اولیه‌ی سهام ۶۰۰ میلیون دلاری در سال ۲۰۲۱، نخستین شرکت محاسبات کامپیوتری بزرگ بود که به سهامی عام تبدیل شد. عجیب‌تر از آن، رقابت چنان شدید است که سهام استارت‌آپ جدید، پسای‌کوانتوم[2]، بدون داشتن نمونه‌ای تجاری در بازار یا ردپایی از محصولات پیشین، ناگهان در وال استریت ۳/۱ میلیارد دلار ارزش‌گذاری شد، با این توانایی که کم و بیش یک‌شبه ۶۶۵ میلیون دلار سرمایه‌گذاری جذب کند. تحلیگران تجاری نوشتند که به ندرت چیزی شبیه به این را دیده‌اند، شرکت جدیدی که یک‌شبه بر موج خیال‌پردازی هیجان‌انگیز و پرتب و تاب سوار شده باشد.

دلویته، شرکت مشاوره‌ای و حسابداری، برآورد می‌کند که سهام بازار کامپیوترهای کوانتومی در دهه‌ی ۲۰۲۰ به صدها میلیون دلار و در دهه‌ی ۲۰۲۳ به ده‌ها میلیارد دلار برسد. کسی نمی‌داند که چه هنگام کامپیوترهای کوانتومی وارد بازار تجاری می‌شوند و چشم‌انداز اقتصادی را دگرگون می‌کنند، لیکن پیش‌بینی‌ها لحظه به لحظه به‌روزرسانی می‌شوند تا با سرعت غیرمنتظره‌ی کشفیات علمی در این رشته هم‌آهنگ شوند. کریستوفر ساووی، رئیس هیأت مدیره‌ی شرکت کامپیوتری زاپاتا که از پیدایش سریع کامپیوترهای کوانتومی صحبت می‌کند، می‌گوید «دیگر مسئله این نیست که اگر، بلکه مسئله این است که کی.»[۳]

مجلس نمایندگان ایالات متحده نیز برای کمک به آغاز انفجاری این

1. IBM Q Experience
2. PsiQuantum

تکنولوژی جدید کوانتومی با اشتیاق به میدان آمده است. این مجلس که پی برده است ملت‌های دیگر هم‌اینک در رشته‌ی کامپیوترهای کوانتومی سرمایه‌گذاری سخاوتمندانه‌ای کرده‌اند، در ماه دسامبر سال ۲۰۱۸ لایحه‌ی ابتکار کوانتومی ملی را گذراند تا به سرمایه‌گذاری اولیه در این رشته‌ی پژوهشی جدید کمک کند. این مجلس دستور داد که دو تا پنج مرکز پژوهش‌های علم اطلاعات کوانتومی ملی، با بودجه‌ی سالانه‌ی ۸۰ میلیون دلار، تشکیل شوند.

در سال ۲۰۲۱، دولت ایالات متحده نیز اعلام کرد که مبلغ ۶۲۵ میلیون دلار در تکنولوژی‌های کوانتومی، به سرپرستی وزارت انرژی، سرمایه‌گذاری می‌کند. شرکت‌های غولی چون مایکروسافت، IBM، و لاکهید مارتین نیز مبلغ اضافی ۳۴۰ میلیون دلار را در این پروژه سرمایه‌گذاری کردند.

چین و ایالات متحده تنها کشورهایی نیستند که از بودجه‌های دولتی در این تکنولوژی شتاب‌دار استفاده می‌کنند. دولت بریتانیا در حال ساختن مرکز محاسبات کوانتومی ملی است که به عنوان مرکز پژوهش‌های محاسبات کوانتومی عمل خواهد کرد و در آزمایشگاه هارول انجمن تأسیسات علم و تکنولوژی در آکسفوردشایر بنا می‌شود. در پایان سال ۲۰۱۹ به کمک دولت تعداد سی کامپیوتر کوانتومی در بریتانیا راه‌اندازی شدند.

تحلیلگران صنعت این سرمایه‌گذاری را نوعی قمار هزار میلیارد دلاری می‌پندارند. در این رشته‌ی بسیار رقابتی هیچ تضمینی وجود ندارد. در سال‌های اخیر شرکت گوگل و دیگران دستاوردهای تکنیکی چشمگیری داشته‌اند، لیکن سال‌های زیادی طول می‌کشد تا نوعی کامپیوتر کوانتومی در آینده بسازند که بتواند مسائل دنیای واقعی را حل کند. کوهی از کارهای سخت هم‌چنان در برابر ماست. عده‌ای از منتقدان ادعا می‌کنند که این کار آب در هاون کوبیدن است. با وجود این، شرکت‌های کامپیوتری می‌دانند که اگر پای‌شان را جلو در نگذارند، چه‌بسا این در به روی آن‌ها بسته شود.

ایوان اوستوجیک، یکی از شرکای شرکت مشاوره‌ای مک‌کینزی، می‌گوید، «شرکت‌هایی صنعتی که کوانتوم می‌تواند در آن‌ها تغییرات بنیادینی را به وجود آورد، باید همین الان در ساخت کامپیوترهای کوانتومی دست به کار شوند.»[۴] قلمروهایی چون شیمی، پزشکی، نفت و گاز، حمل و نقل، تدارکات، بانک‌داری،

داروسازی، و امنیت سایبری، برای تغییری اساسی آماده‌اند. او می‌افزاید، «در اصل، کوانتوم به درد همه‌ی مدیران اطلاعاتی ارشد شرکت‌ها خواهد خورد، زیرا به یافتن جواب‌های گستره‌ی وسیعی از مسائل سرعت می‌بخشد. این شرکت‌ها نیاز دارند که صاحبان توانایی کوانتومی باشند.»

ورن براونل، مدیر ارشد پیشین اطلاعات شرکت کوانتوم کامپیوتینگ کانادایی سامانه‌های D–Wave، می‌گوید، «ما باور داریم که درست در آستانه‌ی کسب توانایی‌های هستیم که نمی‌توانیم آن‌ها را با محاسباتی کلاسیکی به دست آوریم.»

بسیاری از دانشمندان بر این باورند که ما در حال ورود به عصر کاملاً تازه‌ای هستیم که با امواج شوکی که ورود به عصر ترانزیستور و ریزتراشه خلق کرد قابل‌قیاس است. هم‌اینک شرکت‌هایی هم که رابطه‌ی مستقیمی با تولید کامپیوتر ندارند، مانند غول اتوموبیل دایملر که مالک مرسدس بنز است، در این تکنولوژی جدید سرمایه‌گذاری می‌کنند، چون احساس آن را دارند که کامپیوترهای کوانتومی راه را برای پیشرفت‌های تازه در صنعت آن‌ها هموار می‌کنند. جولیوس مارسی، مدیر اجرایی شرکت رقیب، بی‌ام‌دابلیو، نوشته است، «ما هیجان‌زده‌ایم که ظرفیت‌های دگرگون‌سازی کوانتوم کامپیوتینگ را در صنعت خودروسازی بررسی می‌کنیم و متعهد هستیم مرزهای توانمندی مهندسی را گسترش دهیم.»[۵] شرکت‌های بزرگ دیگر، چون فولکس‌واگن و ایرباس، بخش‌های کوانتوم کامپیوتنیگ خود را راه‌اندازی کرده‌اند تا ببینند که این تکنولوژی چگونه می‌تواند صنعت آن‌ها را دگرگون کند.

شرکت‌های داروسازی نیز عامدانه به نظاره‌ی پیشرفت‌های این رشته نشسته‌اند، زیرا پی برده‌اند که کامپیوترهای کوانتومی چه‌بسا بتوانند فرآیندهای پیچیده‌ی شیمیایی و زیست‌شناختی را شبیه‌سازی کنند، کاری که از عهده‌ی کامپیوترهای دیجیتالی برنمی‌آید. شاید تأسیسات عظیمی که میلیون‌ها دارو را امتحان می‌کنند روزی با نوعی «آزمایشگاه‌های مجازی» جایگزین شوند که داروها را در فضای سایبری امتحان می‌کنند. عده‌ای ترسیده‌اند که نکند روزی این تکنولوژی جایگزین شیمیدان‌ها شود. باری، درک لو که وبلاگی درباره‌ی کشف دارو را اداره می‌کند، می‌گوید، « قرار نیست ماشین‌ها جایگزین شیمیدان‌ها شوند. قرار است شیمیدان‌هایی که از این ماشین‌ها استفاده می‌کنند،

جایگزین شیمیدان‌هایی شوند که از این ماشین‌ها استفاده نمی‌کنند.»[۶]

برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون در خارج ژنو سوئیس، بزرگترین ماشین علم در دنیا، نیز که پروتون‌هایی با انرژی ۱۴ هزار میلیارد الکترون ولت را با هم برخورد می‌دهد تا شرایط حاکم بر جهان آغازین را بازسازی کند، امروزه با استفاده از کامپیوترهای کوانتومی حجم عظیمی از داده‌ها را تحلیل می‌کند. این کامپیوترها می‌توانند در عرض یک ثانیه یک هزار میلیارد بیت داده را که یک میلیارد برخورد ذره‌ای تولید کرده است، تحلیل کنند. شاید روزی کامپیوترهای کوانتومی بتوانند اسرار آفرینش جهان هستی را فاش کنند.

برتری کوانتومی

در سال ۲۰۱۲ وقتی که جان پرسکیل فیزیکدان از انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا، برای نخستین‌بار عبارت «برتری کوانتومی» را به کار برد، بسیاری از دانشمندان سر تکان دادند. به گمان این دانشمندان، اگر نه قرن‌ها، دهه‌ها طول خواهد کشید تا کامپیوترهای کوانتومی بتوانند بر کامپیوتر دیجیتالی تفوق یابند. وانگهی، محاسبه با تک اتم‌ها، به جای ویفرهای تراشه‌های سیلیکونی، ناشدنی پنداشته می‌شد. کوچکترین لرزش یا پارازیتی می‌تواند رقص موزون اتم‌های کامپیوترهای کوانتومی را مختل کند. با وجود این، این بیانیه‌های تکان‌دهنده از برتری کوانتومی پیش‌بینی‌های تیره و تار مخالفان آن را نقش بر آب کرده است. در حال حاضر، توجه‌ها به سرعت پیشرفت این رشته معطوف شده است.

لرزه‌های این دستاوردهای چشمگیر، اتاق‌های هیئت مدیره‌ها و امنیتی‌ترین سازمان‌های مخفی را نیز در سراسر دنیا تکان داده است. اسنادی که خبرچین‌ها درز می‌دهند نشان داده‌اند که سازمان سیا و آژانس امنیت ملی از نزدیک پیشرفت‌های این رشته را دنبال می‌کنند، زیرا کامپیوترهای کوانتومی چنان قوی هستند که در اصل می‌توانند هر رمز سابیری شناخته‌شده را بشکنند، یعنی اسراری که دولت‌ها در حفظ آن‌ها دقت عمل به خرج می‌دهند و حاوی حساس‌ترین اطلاعات این دولت‌ها هستند، مثل اسرار محافظت‌شده‌ی شرکت‌ها و حتی افرادی که در برابر حملات سایبری آسیب‌پذیرند. این وضع به قدری اضطراری است که اخیراً انستیتوی ملی استانداردها و تکنولوژی ایالات متحده (NIST) نیز که سیاست ملی و استانداردها را تعیین می‌کند، رهنمودهایی صادر

کرد تا به شرکت‌های بزرگ کمک کند برای انتقال اجتناب‌ناپذیر به این عصر جدید برنامه‌ریزی کنند. این انستیتو اعلام کرده است که انتظار دارد تا سال ۲۰۲۹ کامپیوترهای کوانتومی بتوانند رمزگذاری ۱۲۸ بیتی AES را بشکنند که شرکت‌های زیادی از آن استفاده می‌کنند.

علی الکافرانی در نشریه‌ی فوربس می‌نویسد، «این امر برای هر سازمانی که اطلاعات حساسی دارد و می‌خواهد از آن‌ها حفاظت کند، آینده‌ی بسیار هولناکی را به تصویر می‌کشد.»[۷]

چینی‌ها در آزمایشگاه ملی علوم اطلاعات کوانتومی‌شان ۱۰ میلیارد دلار هزینه کرده‌اند چون تصمیم دارند در این رشته مهم و در حال پیشرفت سریع حرف اول را بزنند. ملت‌ها ده‌ها میلیارد دلار صرف می‌کنند تا نگذارند این رمزگذاری‌ها لو بروند. هکرها اگر کامپیوتر کوانتومی داشته باشند، چه‌بسا بتوانند به هر کامپیوتر دیجیتالی وارد شوند و بدین‌سان صنایع و حتی ارتش را به هم بریزند. همه‌ی اطلاعات حساس در اختیار بالاترین پیشنهاددهنده قرار داده می‌شود. اگر کامپیوترهای کوانتومی به خلوت درونی وال استریت یورش ببرند می‌توانند بازارهای مالی را نیز به آشوب بکشند. کامپیوترهای کوانتومی می‌توانند از سامانه‌ی ثبت معاملات رمزگشایی کنند و در بازار رمزارز هم ویرانی ببار بیاورند. شرکت بیمه و مشاوره‌ی مالی بین‌المللی دلویته برآورد کرده است که در حدود ۲۵ درصد رمزارزها بر اثر حک کامپیوترهای کوانتومی، بالقوه آسیب‌پذیرند.

گزارش شرکت هوش مصنوعی نرم‌افزاری داده‌ها، سی‌بی اینسایت، این گونه نتیجه می‌گیرد، «آنان که پروژه‌های ثبت معاملات را اداره می‌کنند، با چشمی نگران پیشرفت‌های کوانتوم کامپیوتینگ را دنبال می‌کنند.»[۸]

بنابراین چیزی اندازه‌ی اقتصاد جهانی در خطر نیست که به شدت با تکنولوژی دیجیتال پیوند دارد. بانک‌های وال استریت از کامپیوترها استفاده می‌کنند تا معاملات چند میلیارد دلاری را رتق و فتق کنند. مهندسین از کامپیوترها استفاده می‌کنند تا آسمان‌ها، پل‌ها، و موشک‌ها را طراحی کنند. هنرمندان از کامپیوترها استفاده می‌کنند تا فیلم‌ها پرفروش هالیوودی را بسازند. شرکت‌های داروسازی از کامپیوترها استفاده می‌کنند تا داروی شگفتی‌ساز بعدی‌شان را تهیه

کنند. کودکان برای این که آخرین بازی ویدیویی را با دوستان‌شان بازی کنند به کامپیوترها متکی هستند. ما به شدت به گوشی‌های موبایل وابسته‌ایم تا لحظه به لحظه از احوال دوستان، آشنایان، و خویشاوندان‌مان باخبر شویم. ما همه، آنگاه که گوشی موبایل‌مان را نمی‌توانیم پیدا کنیم، دل‌نگران می‌شویم. در واقع، مشکل بتوان نوعی فعالیتی آدمی را سراغ داشت که کامپیوتر آن را دگرگون نکرده باشد. ما انسان‌ها به اندازه‌ای به کامپیوترها وابسته شده‌ایم که اگر روزی بنا به دلایلی همه‌ی کامپیوترهای دنیا از کار بیفتند، تمدن دچار هرج و مرج می‌شود. این است که دانشمندان پیشرفت کامپیوترهای کوانتومی با جدیت پیگیری می‌کنند.

پایان قانون مور

چه چیزی پشت این همه آشوب و مناقشه است؟

پیدایش کامپیوترهای کوانتومی نشانه‌ای است از این که عصر سیلیکون دارد اندک اندک به پایان می‌رسد. در نیم‌قرن گذشته، انفجار قدرت کامپیوتر را قانون مور توصیف کرده است که نام بنیانگذار شرکت اینتل، گوردن مور، را به خود گرفته است. قانون مور بیان می‌کند که قدرت کامپیوترها هر هجده ماه دو برابر می‌شود. این قانون به ظاهر ساده افزایش نمایی چشمگیر قدرت کامپیوتر را چنان پیش‌بینی کرده است که در تاریخ آدمی بی‌سابقه بوده است. هیچ نوآوری دیگری نیست که در چنین مدت زمان کوتاهی اثری تا این اندازه فراگیر داشته باشد.

کامپیوترها در مسیر تاریخ‌شان مراحل زیادی را پشت سر گذاشته‌اند و در هر یک از این مراحل قدرت‌شان را تا حد زیادی افزایش داده‌اند و سبب تغییرات اجتماعی عمده‌ای شده‌اند. در واقع، قانون مور را می‌توان تا سده‌ی ۱۸۰۰، عصر کامپیوترهای مکانیکی دنبال کرد. در آن روزگاران، مهندسین برای انجام چهار عمل اصلی ساده، از استوانه‌های چرخان، چرخ‌دنده‌ها، سامانه‌های چرخ‌دنده‌ای، و چرخ‌ها استفاده می‌کردند. در پایان قرن گذشته بود که این ماشین‌های محاسب از برق استفاده کردند و سامانه‌های چرخ‌دنده‌ای با رله‌ها و کابل‌ها جایگزین شدند. در حین جنگ جهانی دوم، کامپیوترها از آرایه‌های عظیم لامپ‌های خلاء استفاده می‌کردند تا کُدهای سری دولت را بشکنند. در دوران پساجنگ، گذار از لامپ‌های خلاء به ترانزیستورها رخ داد که می‌توانستند

به اندازه‌ی میکروسکوپی مینیاتوری شوند و پیشرفت‌های ادامه‌دار در سرعت و قدرت کامپیوترها را سهولت بخشند.

در دهه‌ی ۱۹۵۰، تنها سازمان‌های دولتی و شرکت‌های بزرگ مثل پنتاگون و بانک‌های بزرگ می‌توانستند کامپیوترهای مین‌فریم را بخرند. این کامپیوترها قدرتمند بودند (برای مثال، کامپیوتر انیاک ENIAC می‌توانست کاری را که انسان‌ها در عرض بیست ساعت انجام می‌دادند، در سی ثانیه انجام دهد). لیکن چنین کامپیوترهایی گران و جاگیر بودند و اغلب یک طبقه‌ی کامل ساختمان‌های اداری را اشغال می‌کردند. کل این فرآیند را ریزتراشه دگرگون کرد و اندازه‌اش در عرض چند دهه چنان کاهش یافت که امروزه هر تراشه‌ی نوعی به اندازه‌ی ناخن انگشت می‌تواند تعداد یک میلیارد تراشه را در خود جای دهد. امروزه، گوشی‌های موبایلی که بچه‌ها با آن‌ها بازی‌های ویدیویی می‌کنند، به مراتب از دایناسورهای سنگین اتاق‌پرکنی که روزگاری پنتاگون به کار می‌برد قوی‌ترند. دیگر فکرش را هم نمی‌کنیم که کامپیوترهای جیبی‌مان از کامپیوترهایی که در دوران جنگ سرد به کار می‌رفتند، پرقدرت‌تر هستند.

همه‌چیز باید بگذرد. هر توسعه‌ای در صنعت کامپیوتر، در نوعی فرآیند نابودی خلاق، تکنولوژی پیشین را منسوخ کرد. قانون مور به کُندی گراییده است و چه‌بسا به زودی برچیده شود، زیرا ریزتراشه‌ها به قدری کوچک شده‌اند که ریزترین لایه‌ی ترانزیستورها قطری در حدود تعداد بیست اتم دارند. آنگاه که این لایه‌ها به قطر تعداد پنج اتم برسند، مکان الکترون‌ها نامطمئن می‌شود و می‌توانند به بیرون نشت کنند و باعث قطع مدار شوند یا آن قدر گرما تولید کنند که تراشه بسوزد. به عبارت دیگر، طبق قوانین فیزیک، اگر عمدتاً هم‌چنان از سیلیکون استفاده کنیم، دست‌آخر قانون مور باید فروریزد. می‌توانیم شاهد پایان عصر سیلیکون باشیم. گام بعدی، شاید دوران پساسیلیکون یا عصر کوانتوم باشد.

آن‌گونه که سانجای ناتاراجان از شرکت اینتل گفته است، «بر این باوریم که آنچه را می‌توانستیم در این معماری فشرده کنیم، فشرده کرده‌ایم.»[۹]

شاید روزی سیلیکون ولی کمربند زنگار بعدی شود.

در حال حاضر اوضاع آرام است، لیکن دیر یا زود این آینده‌ی تازه طلوع خواهد کرد. هارتموت نون، رئیس آزمایشگاه هوش مصنوعی گوگل می‌گوید،

«به نظر می‌رسد که اتفاقی نمی‌افتد، هیچ اتفاقی، اما صبر کنید، ناگهان خود را در دنیای متفاوتی می‌یابید.»[۱۰]

چرا آن‌ها این قدر قوی هستند؟

چه چیزی سبب می‌شود تا کامپیوترهای کوانتومی به قدری قوی شوند که ملت‌های دنیا برای رهبری این تکنولوژی جدید سر و دست بشکنند؟

همه‌ی کامپیوترهای مدرن اساساً بر اطلاعات دیجیتالی بنا شده‌اند که می‌توان آن‌ها را با رشته‌هایی از ۰ها و ۱ها رمزگذاری کرد. کوچکترین یکای اطلاعات، یا تک رقم، بیت نام دارد. این رشته از ۰ها و ۱ها به پردازنده‌ی دیجیتالی خورانده می‌شوند که محاسبه انجام می‌دهد و سپس خروجی می‌دهد. برای مثال، اتصال اینترنتی ما برحسب بیت بر ثانیه (bps) اندازه‌گیری می‌شود که معنی آن این است که در هر ثانیه یک میلیارد بیت به کامپیوتر ما فرستاده می‌شود و به ما این امکان را می‌دهد که بتوانیم به فیلم‌ها، ایمیل‌ها، اسناد، و غیره دسترسی آنی داشته باشیم.

با وجود این، ریچارد فاینمن، برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، در سال ۱۹۵۹ دیدگاه متفاوتی به اطلاعات دیجیتالی داشت. او در مقاله‌ای پیامبرگونه و خط‌شکن با عنوان «آن زیر جا زیاد است» و مقالات پیرو، پرسید که چرا رشته‌ی ۰ها و ۱ها را با حالت‌های اتم‌ها جایگزین نکنیم و کامپیوتر اتمی بسازیم؟ چرا ترانزیستورها را با کوچکترین شیء موجود، یعنی اتم، جایگزین نکنیم؟

اتم‌ها نوعی فرفره‌ی چرخان هستند. در هر میدان مغناطیسی، اتم‌ها می‌توانند نسبت به میدان مغناطیسی رو به بالا یا رو به پائین صف‌آرایی کنند که می‌تواند با ۰ یا ۱ متناظر باشد. قدرت هر کامپیوتر دیجیتالی به تعداد حالت‌های (۰ها یا ۱ها) کامپیوتر ما بستگی دارد.

با وجود این، به دلیل قواعد عجیب و غریب دنیای زیراتمی، اتم‌ها می‌توانند در هر ترکیبی از این دو حالت اسپینی نیز باشند. برای مثال، می‌توانیم حالتی داشته باشیم که در آن اسپین اتم‌ها ۱۰ درصد مدت رو به بالا و در ۹۰ درصد مدت رو به پائین باشند. در واقع، تعداد بی‌نهایت راه هست که هر اتم می‌تواند بچرخد و از این‌رو تعداد حالت‌های مجاز بسیار زیاد است. بنابراین هر اتم می‌تواند اطلاعات زیادی را حمل کند، نه یک بیت، بلکه یک کیوبیت، یعنی

مخلوط همزمانی از حالت‌های اسپین بالا و اسپین پائین. بیت‌های دیجیتالی می‌توانند هر بار فقط یک بیت اطلاعات حمل کنند و این است که قدرت‌شان محدود است، اما کیوبیت‌ها، یا بیت‌های کوانتومی، به لحاظ قدرت کم و بیش محدودیتی ندارند. این واقعیت که اشیاء در مقیاس اتمی می‌توانند همزمان در چند حالت باشند، برهم‌نهی نام دارد. (آنچه گفتیم به این معنی نیز هست که در مقیاس اتمی قوانین آشنای عقل سلیم نقض می‌شوند. در مقیاس اتمی، الکترون‌ها می‌توانند در لحظه‌ی یکسانی در دو جا باشند که برای اشیای بزرگ چنین اتفاقی نمی‌افتد.)

افزون بر این، این کیوبیت‌ها می‌توانند با یکدیگر برهمکنش کنند که برای بیت‌های معمولی ممکن نیست. این پدیده را درهم‌تنیدگی می‌گویند. بیت‌های دیجیتالی حالت‌های مستقلی دارند، لیکن هر بار که کیوبیتی را اضافه کنیم، این کیوبیت با همه‌ی کیوبیت‌های پیشین برهمکنش می‌کند و از این‌رو با افزودن این کیوبیت تعداد برهمکنش‌های ممکن دو برابر می‌شود. بنابراین، کامپیوترهای کوانتومی ذاتاً به طور نمایی قوی‌تر از کامپیوترهای دیجیتالی هستند، زیرا هر بار که کیوبیتی را اضافه می‌کنیم، تعداد برهمکنش‌ها را دو برابر می‌کنیم.

برای مثال، کامپیوترهای کوانتومی امروزی می‌توانند بیش از ۱۰۰ کیوبیت داشته باشند، یعنی آن‌ها ۲۱۰۰ برابر قوی‌تر از اَبَرکامپیوتری هستند که تنها یک کیوبیت دارد.

کامپیوتر کوانتومی سیکامور شرکت گوگل، نخستین کامپیوتر کوانتومی که به برتری کوانتومی دست یافت، این توانایی را دارد که با تعداد پنجاه و سه کیوبیت‌اش ۷۲ میلیارد میلیارد بیت حافظه را پردازش کند. بنابراین کامپیوترهای رایج در برابر کامپیوتر کوانتومی سکامور، بازیچه‌هایی بیش نیستند.

پیامدهای تجاری و علمی کامپیوترهای کوانتومی بی‌شمار است. از دنیای اقتصاد دیجیتالی که گذر می‌کنیم و به اقتصاد کوانتومی قدم می‌گذاریم، خطرات فوق‌العاده بالا هستند.

موانع سرعت بر سر راه کامپیوترهای کوانتومی

پرسش بعدی این است که امروزه چه عاملی ما را از خرید و فروش کامپیوترهای کوانتومی بازمی‌دارد؟ چرا هیچ نوآور کارآفرینی نیست که از نوعی کامپیوتر

کوانتومی رونمایی کند که می‌تواند رمزهای شناخته‌شده را بشکند؟

نخستین‌بار که ریچارد فاینمن مفهوم کامپیوترهای کوانتومی را به میان آورد، مسئله‌ی رویارویی با کامپیوترهای کوانتومی را نیز پیش‌بینی کرد. برای این که کامپیوترهای کوانتومی کار کنند، اتم‌ها باید با چنان دقتی آرایش یافته باشند که با هم ارتعاش کنند. این پدیده، همدوسی نام دارد. اما اتم‌ها اشیای فوق‌العاده کوچک و حساسی هستند. کوچکترین ناخالصی یا آشفتگی از دنیای خارج می‌تواند این آرایش اتم‌ها را از همدوسی خارج کند و کل محاسبه را به هم بریزد. این شکنندگی مشکل اصلی کامپیوترهای کوانتومی است. بنابراین مشکل هزار میلیارد دلاری این است که آیا می‌توانیم واهمدوسی را تحت کنترل درآوریم؟

برای به حداقل رساندن ورود آلودگی از دنیای خارج، دانشمندان از ابزارمندی خاصی استفاده می‌کنند تا دما را به نزدیکی صفر مطلق برسانند که در آن ارتعاشات ناخواسته به حداقل می‌رسند. لیکن رسیدن به چنین دماهایی پمپ‌های خاص و لوله‌کشی را می‌طلبد که گران هستند.

اما در اینجا با سرّی روبرو هستیم. مادر طبیعت بدون هیچ مشکلی از مکانیک کوانتومی در دمای اتاق استفاده می‌کند. برای مثال، معجزه‌ی فتوسنتز، یکی از مهمترین فرآیندهای روی زمین، را در نظر می‌گیریم که فرآیندی کوانتومی است و در دماهای عادی رخ می‌دهد. مادر طبیعت از وسایل عجیب و غریب جاگیر در دمای مطلق استفاده نمی‌کند تا فرآیند فتوسنتز را انجام دهد. به دلایلی که هنوز خوب نمی‌دانیم، در دنیای طبیعی می‌توان همدوسی را حتی در روزی آفتابی و گرم نیز حفظ کرد که در آن اختلالات دنیای خارج باید در مقیاس اتمی آشوب به پا کنند. روزی که بتوانیم درک کنیم مادر طبیعت چگونه معجزه‌اش را در دمای اتاق انجام می‌دهد، آن وقت شاید در کوانتوم و حتی در خود حیات استاد شویم.

دگرگونی در اقتصاد

در کوتاه‌مدت کامپیوترهای کوانتومی تهدیدی برای امنیت سایبری ملت‌ها محسوب می‌شوند، اما در درازمدت دستاوردهای عملی وسیعی نیز دارند، از این بابت که قدرت آن را دارند تا اقتصاد دنیا را زیر و رو کنند، آینده‌ی باثباتی خلق کنند، و دورانی از پزشکی کوانتومی را آغاز کنند که در آن بیماری‌های لاعلاج پیشین درمان‌پذیر شوند. کامپیوترهای کوانتومی می‌توانند در حوزه‌های