

Building a quantum workforce

ساخت نیروی انسانی متخصص برای اقتصاد کوانتومی

https://mitsloan.mit.edu

MIT Sloan MANAGEMENT

مرکز شتابدهی نوآوری

ساخت نیروی انسانی متخصص برای اقتصاد کوانتومی

(این مقاله نوشته Beth Stackpole است و در ۱۵ سپتامبر ۲۰۲۵ در mitsloan.mit.edu منتشر شده است.)

آنچه از این مقاله می‌آموزید:

تقاضا برای مهارت‌های کوانتومی به‌سرعت در حال افزایش است؛ تعداد آگهی‌های شغلی که به مهارت‌های کوانتومی نیاز دارند، از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۴ حدود سه برابر شده است.
دولت‌ها، شرکت‌ها و دانشگاه‌ها در حال سرمایه‌گذاری برای ایجاد نیروی انسانی متخصص در حوزه کوانتوم از طریق برنامه‌های آموزشی و دوره‌های مهارتی هستند.
نیاز به متخصصان کوانتومی همین حالا وجود دارد؛ در آمریکا تعداد فرصت‌های شغلی مرتبط با کوانتوم از تعداد نیروی متخصص موجود بیشتر است و برای پر کردن این شکاف، به استعدادهای بین‌المللی نیز نیاز خواهد بود.
حوزه کوانتوم وارد مرحله جدیدی شده است.
حوزه فناوری‌های کوانتومی دیگر محدود به آزمایشگاه‌های تحقیقاتی پیشرفته و گروه کوچکی از متخصصان بسیار تخصصی نیست. بر اساس Quantum Index Report 2025 ، این حوزه در حال بلوغ است و هم‌زمان برنامه‌های جدید آموزشی و مهارتی برای شکل‌دهی به یک نیروی انسانی چندرشته‌ای در حوزه کوانتوم در حال شکل‌گیری است.

جاناتان روآن، مدرس ارشد MIT Sloan و پژوهشگر MIT Initiative on the Digital Economy و سردبیر گـــزارش Quantum Index، می‌گوید انتظار می‌رود تعداد افرادی که پژوهشگر مستقیم فناوری کوانتومی نیستند اما در بازار گسترده‌تر کوانتوم مشغول به کار می‌شوند، افزایش پیدا کند.

به گفته او، در آینده شاهد حضور گروه بسیار متنوع‌تری از کارکنان خواهیم بود که ممکن است تمام یا بخشی از فعالیت حرفه‌ای خود را در اکوسیستم کوانتومی انجام دهند.

چرا توسعه نیروی انسانی کوانتومی همین حالا اهمیت دارد؟

رایانش کوانتومی با استفاده از کیوبیت‌ها (Qubits) تلاش می‌کند مسائل پیچیده‌ای را حل کند که رایانه‌های کلاسیک در حل آنها با محدودیت مواجه‌اند.

اما تجاری‌سازی فناوری‌های کوانتومی که با سرعت زیادی در حال توسعه هستند، به نیروی انسانی متخصص نیاز دارد.

این حوزه به ترکیبی خاص از دانش نظری و مهارت عملی نیازمند است و همین موضوع، استخدام نیروی مناسب را برای شرکت‌ها دشوار می‌کند؛ زیرا فرد موردنظر باید مجموعه‌ای از مهارت‌های فنی و توانمندی‌های کاربردی را هم‌زمان داشته باشد.

بر اساس داده‌های بازار کار شرکت Lightcast که در این گزارش مورد استفاده قرار گرفته، سهم آگهی‌های شغلی آمریکا که در آنها مهارت‌های کوانتومی موردنیاز بوده، از سال ۲۰۱۱ تا اواسط ۲۰۲۴ سه برابر شده است.

در حال حاضر نیز تعداد فرصت‌های شغلی مرتبط با کوانتوم در آمریکا بیشتر از تعداد نیروی متخصص آمریکایی‌ای است که می‌توانند این موقعیت‌ها را پر کنند.

چه نوع مشاغلی در اقتصاد کوانتومی مورد نیاز هستند؟

نیاز بازار فقط به فیزیکدانان کوانتومی محدود نمی‌شود.

پژوهشگران تقاضای فزاینده‌ای برای طیف متنوعی از نقش‌های تخصصی مرتبط با رایانش کوانتومی در دانشگاه‌ها، صنایع، آزمایشگاه‌های ملی و دولت شناسایی کرده‌اند.

از جمله:

-توسعه‌دهندگان الگوریتم‌های کوانتومی

-متخصصان تصحیح خطای کوانتومی

-دانشمندان داده

-متخصصان طراحی تراشه‌های کوانتومی

-متخصصان ساخت سخت‌افزارهای کوانتومی

-مهندسان و متخصصان فناوری

-متخصصان توسعه کسب‌وکار در شرکت‌های کوانتومی

نکته مهم این است که همه مشاغل اقتصاد کوانتومی الزاماً به دانش عمیق فیزیک کوانتوم نیاز ندارند.

برای مثال، یک شرکت فعال در رایانش کوانتومی به متخصص توسعه کسب‌وکار، مدیر محصول، متخصص بازاریابی، تحلیلگر بازار، مشاور حقوقی و متخصص سیاست‌گذاری نیز نیاز خواهد داشت.

این موضوع نشان می‌دهد که اقتصاد کوانتومی آینده، یک اکوسیستم چندرشته‌ای خواهد بود.

دولت‌ها چگونه در حال سرمایه‌گذاری روی نیروی انسانی کوانتومی هستند؟

کشورهای مختلف در پاسخ به افزایش تقاضا برای نیروی انسانی متخصص، برنامه‌های ملی متعددی راه‌اندازی کرده‌اند.

آمریکا

یکی از این برنامه‌ها National Quantum Initiative است که برای توسعه نیروی انسانی حوزه کوانتوم فعالیت می‌کند.

بر اساس گزارشMIT ، این برنامه بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۴ حدود ۲/۵ میلیارد دلار در برنامه‌های مرتبط سرمایه‌گذاری کرده است.

همچنین CHIPS and Science Act آمریکا نیز موضوع نیازهای نیروی انسانی کوانتومی و برنامه‌های توسعه آن را مورد توجه قرار داده است.

کانادا و استرالیا

این کشورها نیز برنامه‌هایی برای گسترش نیروی انسانی و توسعه استعدادهای تخصصی در حوزه فناوری‌های کوانتومی اجرا می‌کنند.

اروپا

کمیسیون اروپا نیز در قالب برنامه Digital Europe برای دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۲۷، ایجاد Quantum Digital Skills Academy را در نظر گرفته است.

فقط آموزش فنی کافی نیست

یکی از نکات مهم گزارش این است که توسعه نیروی انسانی کوانتومی صرفاً به آموزش فیزیک و مهندسی کوانتوم محدود نمی‌شود.

پژوهشگران MIT معتقدند باید یک اکوسیستم کامل از متخصصان آشنا با فناوری کوانتومی شکل بگیرد؛ افرادی که بتوانند شکاف میان تحقیق و کاربرد تجاری را پر کنند.

دانشگاه‌ها و مؤسسات تحقیقاتی در حال ایجاد مراکز و هاب‌های کوانتومی هستند و برخی شرکت‌ها نیز برنامه‌های آموزشی تخصصی راه‌اندازی کرده‌اند تا مدیران کسب‌وکار را با پژوهشگران و متخصصان کوانتوم مرتبط کنند.

نقش«Quantum-as-a-Service»

برخی شرکت‌ها از مدل Quantum-as-a-Service یا QaaS استفاده می‌کنند.

در این مدل، سازمان‌ها بدون اینکه الزاماً خودشان سخت‌افزار کوانتومی داشته باشند، می‌توانند از منابع محاسباتی کوانتومی استفاده کنند.

این رویکرد دو مزیت مهم دارد:

۱-امکان آزمایش فناوری کوانتومی با هزینه نسبتاً پایین‌تر

۲-افزایش مهارت و تجربه کارکنانی که متخصص مستقیم کوانتوم نیستند

بنابراین QaaS می‌تواند به‌عنوان پلی میان کسب‌وکارهای سنتی و فناوری کوانتومی عمل کند.

دانشگاه‌ها درباره کوانتوم چه آموزش می‌دهند؟

کار با فناوری کوانتومی نیازمند دانش مفاهیم پیشرفته ریاضی و فیزیک است؛ موضوعی که می‌تواند گسترش آموزش کوانتوم را دشوار کند.

با این حال، برنامه‌های آموزشی در کشورهای مختلف از مقطع مدرسه تا تحصیلات تکمیلی و آموزش حرفه‌ای در حال توسعه هستند.

در آمریکا، National Q-12 Education Partnershipکه در سال ۲۰۲۰ راه‌اندازی شد، منابع آموزشی و ابزارهای کلاس درس برای دانش‌آموزان فراهم می‌کند تا آنها تجربه عملی بیشتری در زمینه فناوری‌های کوانتومی داشته باشند و به این حوزه علاقه‌مند شوند.

برنامه‌های مشابهی نیز در کشورهای مختلف از جمله چین و کشورهای عضو اتحادیه اروپا در حال اجراست.

رشد دوره‌های دانشگاهی تخصصی

دانشگاه‌ها نیز دوره‌ها و مدارک تخصصی فناوری‌های کوانتومی را در مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی ارائه می‌کنند.

ویژگی مهم این برنامه‌ها، میان‌رشته‌ای بودن آنهاست؛ یعنی ترکیبی از:

فیزیک + علوم کامپیوتر + مهندسی

بر اساس گزارش، آلمان با ۱۲ برنامه کارشناسی ارشد تخصصی فناوری‌های کوانتومی در رتبه بالاتری قرار دارد؛ پس از آن بریتانیا با ۱۰ برنامه و آمریکا با ۹ برنامه قرار دارند.

تجربه MIT در آموزش "کسب‌وکار کوانتومی"

یکی از بخش‌های جالب مقاله، تجربه MIT است.

جاناتان روآن وWill Oliver ، استاد فیزیکMIT ، حدود چهار سال پیش دوره‌ای با عنوان Global Business of Quantum Computing راه‌اندازی کردند. این دوره به‌صورت مشترک توسط MIT Sloan و دپارتمان مهندسی برق و علوم کامپیوتر MIT ارائه می‌شود. دانشجویان این دوره فقط دانشجویان فیزیک یا مهندسی نیستند؛ بلکه از دانشجویان MBA تا دانشجویان دکتری مهندسی کوانتوم در آن شرکت می‌کنند.

هدف دوره این است که دانشجویان:

-اصول فناوری کوانتومی را بشناسند؛

-ظرفیت تجاری آن را درک کنند؛

-کاربردهای آن را در صنایع مختلف بررسی کنند؛

و ارتباط میان فناوری کوانتومی و تصمیم‌گیری کسب‌وکار را بفهمند.

برای مثال، حوزه‌هایی مانند مالی و لجستیک می‌توانند در آینده از کاربردهای کوانتومی بهره ببرند.

روآن می‌گوید تعداد دانشجویان این دوره از حدود ۱۲ نفر در سال اول به ۶۵ نفر در سال گذشته رسیده است.

هدف اصلی این دوره، به تعبیر او، گرد هم آوردن جوامع مختلف و رساندن دانشجویان از «شناخت تقریباً صفر از کوانتوم» به سطحی است که بتوانند درک کنند این فناوری چگونه می‌تواند به کسب‌وکار کمک کند.

آموزش مدیران ارشد نیز در حال گسترش است

MIT علاوه بر دوره دانشگاهی، مجموعه‌ای از برنامه‌های آموزش مدیران را نیز در حوزه کوانتوم از طریق پلتفرم MIT xPRO ارائه می‌کند.

در این دوره‌ها موضوعاتی مانند:

-الگوریتم‌های کوانتومی برای امنیت سایبری

-راهبردهای رایانش کوانتومی

-کاربردهای تجاری کوانتوم را بررسی می‌کنند.

این دوره‌ها به‌صورت آنلاین نیز در اختیار دانشجویان و مدیران سراسر جهان قرار دارند.

برای پاسخ به تقاضای آینده چه باید کرد؟

با وجود تعداد زیادی از برنامه‌های آموزشی که در حال اجرا هستند، گزارش MIT هشدار می‌دهد که ظرفیت فعلی آموزش ممکن است برای پاسخگویی به تقاضای آینده کافی نباشد.

یکی از عوامل مهم، استفاده از استعدادهای بین‌المللی است. بر اساس گزارشی در سال ۲۰۲۱، حدود نیمی از فارغ‌التحصیلان دانشگاه‌های آمریکا که وارد حوزه‌های مرتبط با کوانتوم می‌شوند، دانشجویان خارجی هستند.

بنابراین آمریکا برای پاسخ به نیازهای آینده خود باید هم مسیر تربیت نیروی متخصص داخلی را گسترش دهد؛ و هم بتواند متخصصان بین‌المللی را جذب و حفظ کند.

توسعه نیروی انسانی کوانتومی؛ یک موضوع چندرشته‌ای

از نگاه پژوهشگرانMIT ، توسعه نیروی انسانی آینده نباید فقط بر همکاری دولت و صنعت یا دانشگاه و صنعت متمرکز باشد.

این مسئله به همکاری رشته‌ها و نهادهای مختلف نیاز دارد.

برای مثال:

دانشکده‌های مهندسی ← فناوری و سخت‌افزار

دانشکده‌های علوم کامپیوتر ← الگوریتم و نرم‌افزار

دانشکده‌های فیزیک ← مبانی کوانتوم

دانشکده‌های مدیریت ← مدل کسب‌وکار و تجاری‌سازی

دانشکده‌های حقوق ← مالکیت فکری و تنظیم‌گری

دانشکده‌های سیاست‌گذاری ← سیاست فناوری و حکمرانی

شرکت‌ها ← کاربرد و تجاری‌سازی

روآن تأکید می‌کند که برای توسعه نیروی انسانی کوانتومی باید رویکردهای چندرشته‌ای ایجاد شود؛ برای مثال دانشکده‌های حقوق و سیاست‌گذاری نیز باید برنامه‌های متناسب خود را توسعه دهند.

جمع‌بندی مقاله

پیام اصلی مقاله MIT این است که رقابت در فناوری کوانتومی فقط رقابت بر سر ساخت بهترین رایانه کوانتومی نیست؛ رقابت بر سر ساخت نیروی انسانی و قابلیت‌های سازمانی موردنیاز این فناوری نیز هست.

در واقع، اقتصاد کوانتومی آینده به سه گروه محدود نخواهد شد: فیزیکدانان، مهندسان، برنامه‌نویسان. بلکه به طیف بسیار گسترده‌تری از متخصصان نیاز خواهد داشت. مدیران، متخصصان کسب‌وکار، سرمایه‌گذاران، حقوق‌دانان، سیاست‌گذاران، تحلیلگران داده، متخصصان امنیت، مدیران محصول و پژوهشگران.

از این منظر، یکی از نکات بسیار مهم مقاله برای مدیریت فناوری این است که آمادگی برای فناوری‌های نوظهور فقط به معنای خرید یا توسعه فناوری نیست؛ بلکه باید از سال‌ها قبل قابلیت انسانی، سازمانی و مدیریتی لازم برای جذب و تجاری‌سازی فناوری ایجاد شود.