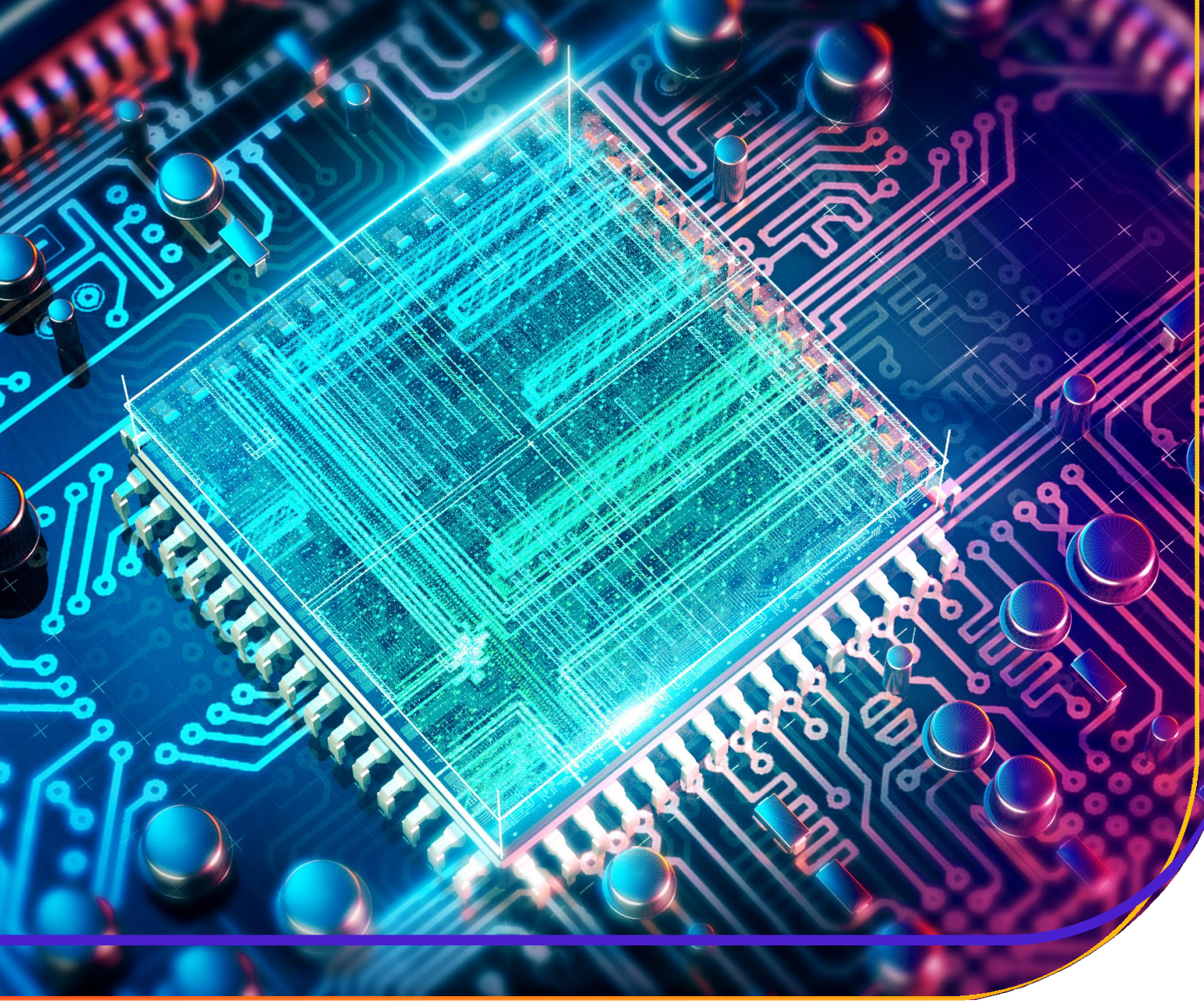


المملكة العربية السعودية والمشاركة في سباق الحوسبة الكمية

مركز استشراف التقنية
Technology Foresight Center

وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات
MINISTRY OF COMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY

Arthur D Little

المحتويات

الملخص التنفيذي	3
الحوسبة الكمية	4
الطفرة التقنية للحوسبة الكمية	7
الاستثمار في الحوسبة الكمية	8
تطوير علوم الحوسبة الكمية	10
بناء كوادر مؤهلة للعمل في مجال الحوسبة الكمية	11
مشاركة القطاعات ذات الصلة بتقنية الحوسبة الكمية	13
بعض السياسات المتاحة للمملكة العربية السعودية	14
التشجيع على تطوير برامج الحوسبة الكمية وخدماتها	14
تأسيس مجلس يُعنى بالحوسبة الكمية في المملكة العربية السعودية	15
الاستثمار في مواهب الحوسبة الكمية	15
تحديد أغراض الاستخدام في القطاعات المختلفة بالتعاون مع شركات التقنية الرائدة	15

تنويه

أُعِدَ هذا التقرير بتكليف من وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات (MCIT) بالمملكة العربية السعودية (KSA) وفقًا لشروط تحدّد مسؤولية آرثر د لتل الشرق الأوسط (Arthur D. Little Middle East). وننوه هنا إلى أننا نستمد استنتاجاتنا من خلال أفضل الممارسات المهنيّة التي نتبعها، والتي تستند جزئيًا إلى المواد والمعلومات التي قدمتها لنا وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات إضافةً إلى عددٍ من الأبحاث الثانوية والمقابلات التي أجرتها آرثر د لتل مع الخبراء المتخصصين في هذا المجال. وفي سياق حديثنا هذا، تجدر الإشارة إلى أن استخدام هذا التقرير من قبل أي طرف ثالث لأي غرضٍ كان لا ينفي عن الطرف المذكور مسؤولية توخي أقصى درجات الحرص اللازم للتحقق من المحتوى الذي يُورِده هذا التقرير.

وعليه، في حال استخدام أي طرف ثالث لهذه الوثيقة، أو الاستناد إليها، أو اتخاذ أي قرار على أساسها، تقع المسؤولية الناجمة عن ذلك على عاتق الطرف المذكور. هذا ولا يترتب على وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات (MCIT) ومركز استشراف التقنية التابع لها وآرثر د لتل الشرق الأوسط (Arthur D. Little Middle East) أي مسؤوليات أو التزامات أيًا كان نوعها تجاه أي طرف ثالث، كما أنها لن تكون مسؤولةً عن الأضرار التي قد تلحق بأي طرف ثالث نتيجةَ القرارات التي اتخذها أو لم يتخذها الطرف المذكور أو التدابير التي نفذها أو لم ينفذها استنادا إلى هذه الوثيقة.

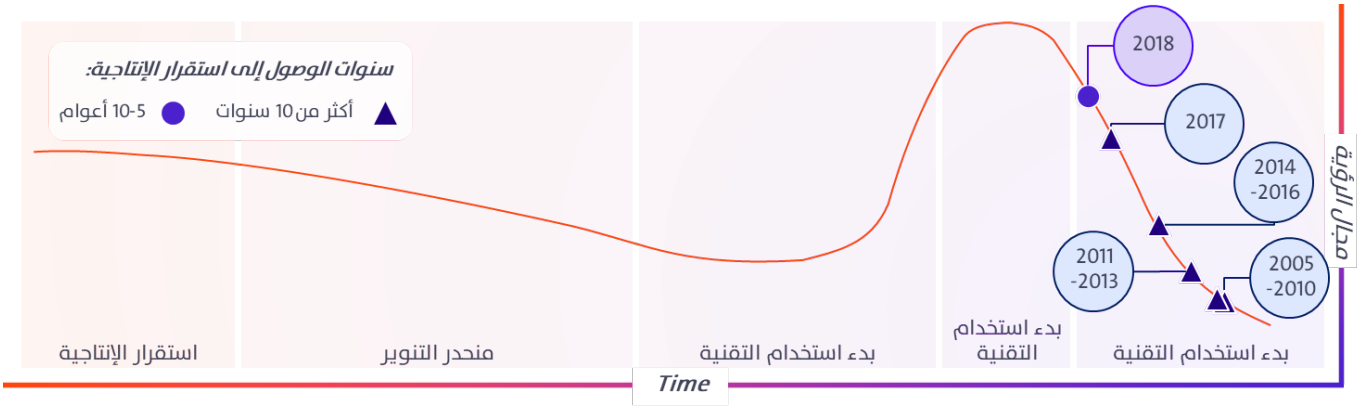
1. الملخص التنفيذي

يتسارع انتشار الحوسبة الكمية من مجرد تقنية ناشئة مثيرة للاهتمام إلى إحدى أولويات الجامعات البحثية البارزة والشركات الرائدة في مختلف القطاعات والحكومات التي تسعى إلى استشراف المستقبل، حيث تتميز الحوسبة الكمية بقدراتها على إيجاد حلول للمشكلات التي يصعب حلها بالطرق التقليدية، والانطلاق بالابتكار إلى أفاق جديدة، وهذا بفضل سرعتها الحاسوبية الفائقة، وقدرتها على معالجة كميات هائلة من البيانات في وقت واحد، فضلاً عن امتلاكها لجملة من الخوارزميات المتقدمة. ومن ثم، ومع انتشار الحوسبة الكمية، قد تتعرض المؤسسات والحكومات التي لا زالت تعتمد طرقًا تقليدية في التشفير إلى هجمات الأمن الرقمي بسبب الحوسبة الكمية التي تتميز بقدرة فائقة على فك واختراق التشفيرات التقليدية. فكثيرًا ما تُعلن الجامعات والشركات الرائدة في أبحاث الحوسبة الكمية عن إنجازات تقنية بالغة الأهمية، كما يتزايد عدد براءات الاختراع التي يتم تقديمها سنويًا في مختلف أنحاء العالم، مما يُبرز تقدمًا هائلاً في جاهزية الحوسبة الكمية وإمكانية الاعتماد عليها. لذا فإن تأخر الاستثمار في الحوسبة الكمية قد يحد من فرص التنافس على المدى البعيد عندما تُصبح هذه التقنية واقعاً سائدًا.

وسيتمكن المبادرون باعتماد هذه التقنية من الاستحواذ على مكانة قوية على الساحة التقنية المحتملة. وحتمًا، لن يكون للبلدان والشركات التي تفتقر إلى الملكية الفكرية والمهارات دور فعال في مستقبل الحوسبة الكمية. لذلك، يمكن للمملكة العربية السعودية أن تلعب دوراً فاعلاً في هذا المجال الناشئ والاستفادة منه. فأجهزة الحوسبة الكمية لم تصل حتى الآن إلى مرحلة الجاهزية الكاملة، وتواجه تحديات تقنية كبيرة، وتحتاج إلى استثمارات هائلة في الأبحاث والتطوير كونها تقنية باهظة التكلفة ومعقدة التشغيل. ولهذا السبب، يجب على المملكة التركيز على فرص تقنية الحوسبة الكمية المقدمة كخدمة سحابية، وتطوير قدرات وإمكانات برمجياتها وخدماتها، من خلال استقطاب وتنمية الكفاءات المطلوبة وتشجيع الشركات السعودية على اقتناء الأدوات اللازمة لتحقيق أقصى استفادة ممكنة من تقنية الحوسبة الكمية عندما تصل إلى مرحلة الاكتمال والجاهزية. وعليه، يوضح هذا التقرير بعض التوصيات الاستراتيجية والتكتيكية التي تحتاج إليها المملكة لإحراز قصب السبق في مجال الحوسبة الكمية.

ظهرت الحوسبة الكمية لأول مرة في تقرير هايب سايكل للتقنيات الناشئة عام 2005م، ومنذ ذلك الحين وهي تنمو بوتيرة متسارعة إلى أن أصبحت واقعًا وشيكاً.

ومن المتوقع أن تُصبح مُتاحة لاقتنائها وتشغيلها من قبل الشركات والحكومات خلال السنوات الخمس إلى العشر القادمة. (أنظر الشكل 1).



المصدر: شركة غارتنر، تحليلات آرثر د لتل

الشكل 1: الحوسبة الكمية في تقرير هايب سايكل للتقنيات الناشئة الصادر عن شركة جارتنر (2005–2018)

بدأت تقنية الحوسبة الكمية في التحول من مجرد نماذج نظرية إلى نماذج أولية عملية، وهذا يدعم قدراتها غير المسبوقة وسرعتها الفائقة على معالجة البيانات الضخمة، وهو ما يميزها عن غيرها من التقنيات. ففي أكتوبر 2019، سجلت شركة غوغل "تفوقًا تقنيًا كميًا" عندما نجحت في استخدام الحوسبة الكمية لحل مشكلة حسابية خلال 200 ثانية فقط، والتي كان من الممكن أن يستغرق حلها وقتًا أطول[1] بكثير إذا استخدمت أقوى التقنيات الحاسوبية المتاحة حالياً. وبالرغم من أن الشركة والأوساط العلمية تدرك بأن هذا الإنجاز ما هو إلا خطوة أولى ومحدودة النطاق، فلا شك من أن تقنية الحوسبة الكمية باتت على وشك أن تتجاوز القدرات المعروفة للحوسبة التقليدية، ومن المتوقع أن تحقق إنجازات أكثر قيمة في المستقبل المنظور.

ومن المتوقع أن يؤدي التقدم المحرز في تطوير الحوسبة الكمية إلى تحقيق الإنجازات التالية على المدى القريب، مما يؤدي بدوره إلى تحقيق إيرادات كبيرة و/أو خفض التكاليف و/أو تعزيز البنية الأمنية:

1. رفع مستوى الكفاءة: يمُكن للحوسبة الكمية حل مشكلات الكفاءة الحسابية الأكثر تعقيداً أو التي تحتاج إلى أضعاف مضاعفة من القدرات التقنية في ظل الزيادة المستمرة للمتغيرات. ويشمل ذلك:

- إيجاد الطريقة المثلى لإدارة المخاطر في المحافظ الاستثمارية
- تحديد طرق الشحن الأكثر فعالية من حيث الأداء والتوفير لتكلفة شحن البضائع
- تحديد أكثر الأساليب فعالية لاستخراج الموارد من باطن الأرض
- استحداث طرق مبتكرة لتحضير المستحضرات الصيدلانية

[1] ما بين 2.5 يومًا (وفقًا لشركة آي بي إم) و10,000 سنة (وفقًا لشركة جوجل)، استنادًا إلى مقال "عن التفوق الكمي"، آي بي إم، أكتوبر 2019

2. عمليات المحاكاة في مجالي الكيمياء والفيزياء: يمكن أن تقوم الحوسبة الكمية بدورٍ رئيسي في استكشاف الخصائص الطبيعية للذرات والجسيمات دون الذرية وتفاعلاتها، وهي مجالات ظلت بعيدة المنال بالنسبة لقدرات الحوسبة التقليدية. ويمكن للحوسبة الكمية أن تساعد على تحويل آثار التفاعلات الكيميائية في المواد العضوية وغير العضوية والمعقدة إلى نماذج، أو محاكاة المعادلات الفيزيائية مثل نظرية "الأجسام المتعددة" حول الأنظمة التي تتكون من العديد من الجسيمات المتفاعلة[2]. ويمكن أن تخلّف هذه التطورات تأثيرًا كبيرًا على العديد من القطاعات، مثل الخصائص الجديدة للأسمدة في مجال الزراعة، وحلول البطاريات المحسنة في أنظمة الطاقة، واكتشاف عقاقير جديدة في مجال الرعاية الصحية.

3. الذكاء الاصطناعي (AI): تعمل خوارزميات الذكاء الاصطناعي بشكل أفضل عند توفير كميات هائلة من البيانات من مجموعات مختلفة، لتقوم خوارزميات تعلم الآلة المستخدمة بتصنيفها وتحليلها. ومع ذلك، فإن دقة وسرعة معالجة هذه البيانات وفقًا لخصائص محددة تمثل أحد أكبر التحديات التي تواجه الذكاء الاصطناعي. لذلك، يمكن أن توفر الحوسبة الكمية قدرات وسرعة هائلة في معالجة البيانات للحصول على نتائج "بالغة الدقة"، على خلاف التقنيات التقليدية. وبدأت الشركات الرائدة في استكشاف الفرص الناتجة عن استخدام الحوسبة الكمية والذكاء الاصطناعي معًا. فعلى سبيل المثال، جمعت شركتا فولكس فاجن (Volkswagen)، ودي-ويف (D-Wave) للأنظمة بين كلتا التقنيتين؛ لتطوير نظام لإدارة حركة المرور، بحيث يمكن التنبؤ الفوري بعدد الركاب وتحديد أفضل الطرق للسير. وتعتزم فولكس فاجن حاليًا إطلاق هذه التقنية على نطاق تجاري على المدى القريب في مرحلة تجريبية.

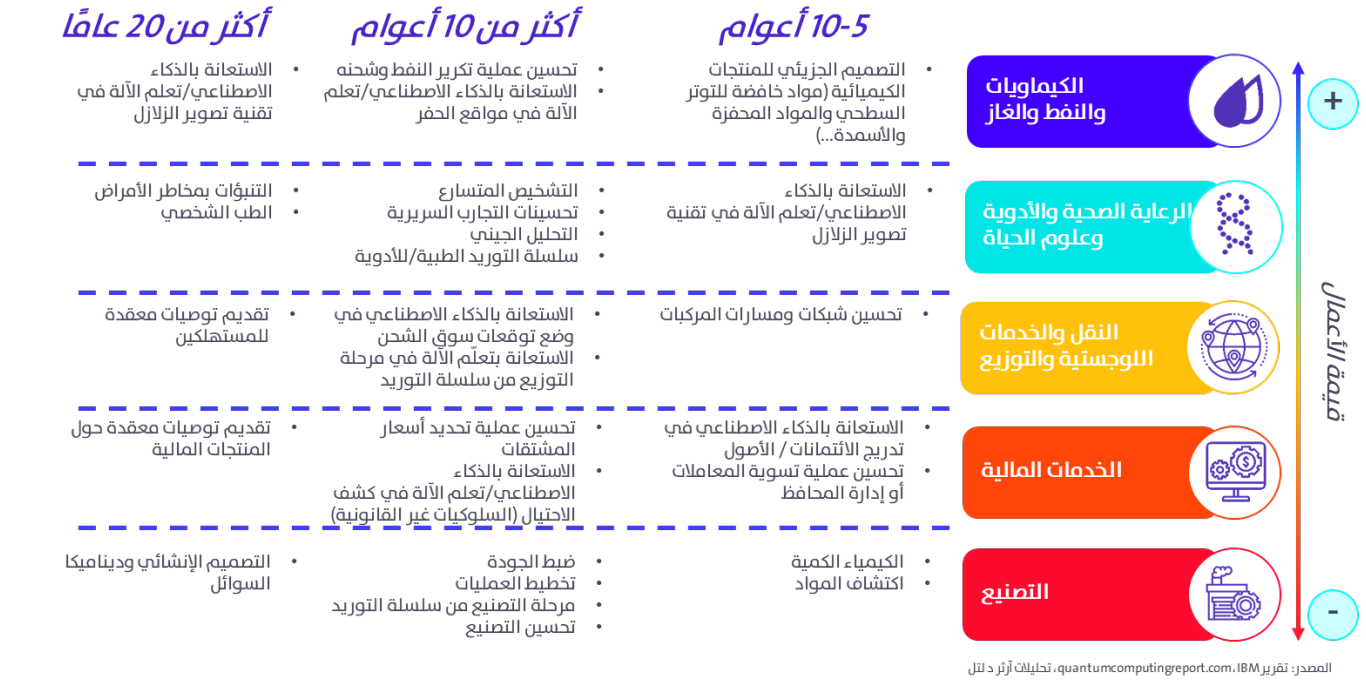
4. الأمان: أثبتت الأبحاث أن الحوسبة الكمية يمكن أن تخرق أقوى أنظمة التشفير الحالية (أو تُضعِفها على الأقل بشكل كبير)، وذلك بفضل قدرتها على تجربة العديد من المفاتيح الممكنة في الوقت ذاته والعثور على المفتاح الصحيح، وهو أمر لا يمكن تحقيقه باستخدام أقوى الحواسيب العملاقة الموجودة في الوقت الحالي. كما تعد الحوسبة الكمية في حد ذاتها حلاً آمنًا، حيث لا يمكن لأي شخص نسخ أو حذف المعلومات في العناصر الكمية أو "الكيوبتات" (qubits) باستثناء المستخدم الذي قام بتخزين تلك المعلومات. وبدلًا من ذلك، يتم دمج "التشفير ما بعد الكم" كبديل أبسط لحماية الأنظمة من الهجمات الإلكترونية المحتملة. ولا يتم استخدام التقنية الكمّية، بل يُستخدم بدلًا من ذلك التقنيات الحسابية والخوارزميات (مثل التقنيات القائمة على الترابط الشبكي (lattice) أو التقنيات القائمة على التجزئة (lash) التي يصعب اختراقها سواء في تقنية الحوسبة الكمية أو التقنيات التقليدية.

5. ومن حيث تطوير عنصر الأمن الإلكتروني، فستوفر تجربة الحوسبة الكمية مرونة وقدرة على التكيف للجهات والهيئات في القطاعين العام والخاص، خاصة مع تزايد أهمية البيانات واستمرار التهديدات الناتجة عن الهجمات الإلكترونية.

ومن المتوقع أن تشهد الحوسبة الكمية مراحل ابتكار مختلفة خلال العقدين المقبلين، مع ترك بصمة في جميع القطاعات. ففي حين أنه لا يزال من الصعب تقدير العوائد الاقتصادية بدقة، فمن المتوقع أن تحقق شركات المواد الكيميائية والطاقة والرعاية الصحية أكبر قيمة ممكنة من استخدام الحوسبة الكمية في عمليات المحاكاة، تليها الشركات العاملة في قطاع النقل لاستخدامها هذه التقنية في مشاريع تحسين ورفع كفاءة الأداء. (أنظر الشكل 2).

---

[2] "محاكاة الديناميات الكمية للأجسام المتعددة على حاسوب كمي رقمي"، مجلة نيتشر، نوفمبر 2019



المصدر: تقرير IBM، quantumcomputingreport.com، تحليلات آرثر د لتل

الشكل 2: الجاهزية المتوقعة والأغراض الرئيسية المحتملة لاستخدام الحوسبة الكمية

ستتيح الحوسبة الكمية إمكانيات لم تكن موجودة في الحوسبة التقليدية. ومع ذلك، فهي ليست بديلاً للنموذج التقليدي للحوسبة. فباستثناء الحالات المذكورة أعلاه، من المرجح صعوبة تطوير الحوسبة الكمية لدرجة أنها تحل محل الحوسبة التقليدية تمامًا. ولهذا يجب استخدام النموذجين معًا في المستقبل.

إن أفضل وسيلة لفهم الثورة التقنية للحوسبة الكمية هي مقارنتها بالحوسبة التقليدية (أنظر الشكل 3). فبخلاف نظام العناصر الثنائي في الحوسبة التقليدية، يعزز نظام العناصر الكمية (qubits) قدرة الجسيمات دون الذرية، مثل: الإلكترونات والفوتونات والأيونات، لتتخذ أكثر من قيمة في أي وقت (صفر أو واحد أو كلاهما في الوقت ذاته). وهذا ما يطلق عليه "التراكب الكمي" وهي الحالة التي تتيح لكل عنصر كمي إجراء عمليتين حسابيتين في وقت واحد. فضلاً عن ذلك، وبمقارنة العناصر الكمية التي تعمل في معزلٍ عن بعضها، نجد أنه من الممكن أن تصبح العناصر الكمية مترابطة أو "متشابكة" من خلال ميكانيكا الكم وأن تعمل كمجموعة واحدة. فعندما يتشابك عنصران كميان، يمُكن أن تنفذ الحوسبة الكمية عمليتين[2] أو أربع عمليات حسابية في وقتٍ واحد؛ وعندما تتشابك ثلاثة عناصر كمية، فحينئذ يمكن إجراء عمليتين[3] أو ثماني عمليات حسابية؛ وهكذا[3]. وتزيد هذه القدرة بشكل كبير من القدرات الحسابية من حيث السرعة والكم، وتمُكّن الحوسبة الكمية من حل المشاكل التي تعجز الحوسبة التقليدية عن حلها. فبإمكان الحوسبة الكمية تنفيذ مهام محددة أسرع مليارات المرات من أنظمة الحوسبة التقليدية[4]. الأمر الذي يعني أنه يمكننا -على سبيل المثال- استخدام الحوسبة الكمية في معالجة المشاكل التي لا تقل تعقيدًا عن حل مشاكل تحليل معاملات الأعداد الصحيحة (العملية الأساسية التي يعتمد عليها العديد من أنظمة التشفير المتقدمة الحالية) بسهولة.

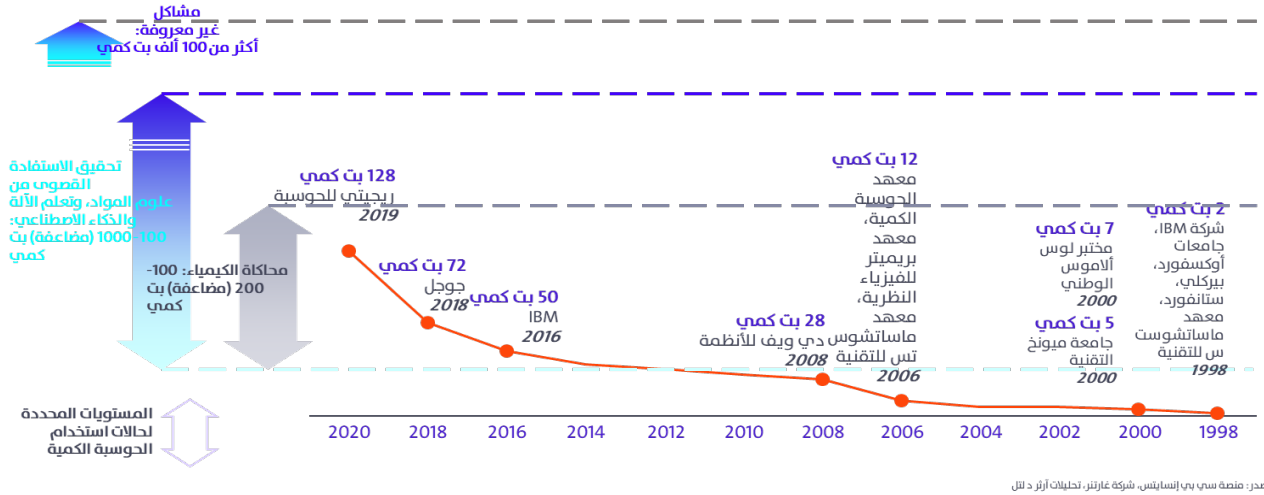
المصدر: آرثر د لتل

الشكل 3: مقارنة بين الحوسبة التقليدية والحوسبة الكمية

نظرًا لارتباط القدرة على حل أطول المشاكل وأكثرها تعقيدًا بحجم الحاسوب الكمي، فإن قياس حجم عناصر الكم المتشابكة هو العامل الأساسي للاستفادة القصوى من قدرات الحوسبة الكمية. ورغم أن مفهوم الحوسبة الكمية يشهد تطورًا منذ أكثر من 30 عامًا، إلا أن قياس حجم وعناصر الكم لم يشهد تطورًا إلا في الآونة الأخيرة (أنظر الشكل 4). وكما يوضح نموذج "قانون مور[5]" التقليدي فكرة تطوير معالج أشباه الموصلات، يوضح "قانون روز[6]" للحوسبة الكمية نمطاً مماثلاً يبين العلاقة بين القوة الأسّية للحوسبة الكمية والسرعة التي تزداد بها.

على الرغم من ذلك، وعلى غرار العديد من التقنيات الناشئة، لم تتحول هذه التقنيات من مجرد نظريات بحثية إلى تطبيقات عملية بالسرعة المطلوبة. وفي حين أنه يمكن توسيع التقنيات وعمليات التصنيع الحالية وزيادتها إلى قرابة 10000 عنصر كمي[7]، فإن تجاوز هذا الحد وزيادته إلى مئات الآلاف (أو الملايين) من العناصر الكمية سيتطلب تقنيات مختلفة وإعادة تصميم للعمليات. رغم ذلك، ترى الشركات المُصنّعة لأجهزة الحوسبة الكمية أن هناك سبلاً لتحقيق هذا الغرض ولا تعتبره مشكلة كبيرة. وستظل أنشطة البحث والتطوير عاملاً رئيسيًا لاستمرار التقدم في تحقيق "التفوّق أو التميّز الكمي"، والوصول إلى مستوى تفوق فيه الحواسيب الكمية نظيراتها من الحواسيب التقليدية من حيث الوقت والتكلفة ومستوى الجودة للاستخدام في أغراضٍ معينة.

[3] "استعراض القطاع: الحوسبة الكمية"، شركة هايبريدن إل بيه، فبراير 2019
[4] تقديرات آرثر د لتل المستندة إلى المنشورات العلمية، ديسمبر 2019
[5] يشير قانون مور إلى تضاعف عدد الترانزستورات في الشريحة الدقيقة كل عامين رغم انخفاض تكلفة صناعة الحواسيب إلى النصف، إنفستوبيديا، سبتمبر 2019
[6] مصطلح صاغه جوردي روز، مؤسس شركة دي-ويف للأنظمة، يشير إلى أن أجهزة الكمبيوتر الكمومية ستكون قادرة على حل مشكلات التحسين المنفصلة أكثر مما تستطيع جميع أجهزة الكمبيوتر التقليدية مجتمعة، فاناتيكل فيوتشريست 2016
[7] "مقدمة إلى الأجهزة الكمية بشركة دي-ويف"، شركة دي-ويف للأنظمة، 2019



المصدر: منصة سي بي إنسايتس، شركة غارتنر، تحليلات أرثر د لتل

الشكل 4: عدد العناصر الكمية المحققة مرتبة حسب التاريخ والشركة إضافة إلى الحدود الأولية لاستخدامات الحوسبة الكمية

4. الاستثمار في الحوسبة الكمية

تدرك الدول مدى أهمية الاستثمار في الحوسبة الكمية عاجلًا وليس آجلًا، لأسباب تتعلق بالأمن الإلكتروني وحماية القدرة التنافسية لاقتصاداتها. حيث يؤدي عدم الاستثمار في هذا المجال إلى صعوبة التغلب على العقبات التي قد تنشأ عن ندرة المواهب والكفاءات والملكية الفكرية. وللبرهنة على هذا الاتجاه العالمي الحالي، يصل مجموع التمويل الحكومي لأنشطة البحث والتطوير في مجال الحوسبة الكمية إلى 2.2 مليار دولار أمريكي سنويًا[8]، ولا يزال يتزايد نظرًا لإطلاق برامج جديدة كل عام (أنظر الشكل 5). فقد تعهدت الصين عام 2017 باستثمار 11.4 مليار دولار أمريكي في المختبر الوطني لخدمات المعلومات الكمية، الذي لا يزال قيد الإنشاء في مقاطعة آنهوي[9]، ليفوق حجم الإنفاق الذي خصصته الدول الأخرى بشكل كبير. وبعد أن أدركت الولايات المتحدة الحاجة الماسة إلى زيادة جهود الحوسبة الكمية للحفاظ على مكانتها الريادية على المستويين العلمي والتقني، أقرت "قانون المبادرة الوطنية لتطوير التقنيات الكمية" في أواخر عام 2018، الذي شهد استثمارًا بقيمة 1.275 مليار دولار أمريكي على مدار 10 سنوات[9]. وأعلنت مؤخرًا دول رائدة أخرى (بما في ذلك المملكة المتحدة وهولندا وألمانيا وسنغافورة وكندا ودول الاتحاد الأوروبي) إطلاق المزيد من الاستثمارات في مجال الحوسبة الكمية.

الدولة	المبادرة	العام	الاستثمار، الإطار الزمني	النطاق
المملكة المتحدة	المملكة المتحدة - برنامج التقنيات الكمية الوطنية	2013	270 مليون يورو (358 مليون دولار أمريكي) على مدار 5 سنوات، بدءًا من 2014	أجهزة الاستشعار وعلم القياس، وتقنيات التصوير المعزز الكمي (مركز QuantIC)، وتقنيات المعلومات الكمية الشبكية (NQIT)، وتقنيات الاتصالات الكمية
الاتحاد الأوروبي	التقنيات الكمية الرائدة	2016	مليار يورو (1.1 مليار دولار أمريكي) على مدار 10 سنوات	الاتصال الكمي، والاستشعار وعلم القياس، والمحاكاة، والحوسبة، والعلوم الأساسية.
أستراليا	المركز الاسترالي للحوسبة الكمية وتقنيات الاتصال	2017	33.7 مليون دولار أسترالي (25.11 مليون دولار أمريكي) على مدار 7 سنوات	الاتصال الكمي، والحوسبة الكمية البصرية، وشركة سيليكون كوانتم كومبيوتيشن للحوسبة الكمية، والموارد الكمية وتكاملها
السويد	مركز والنبيرغ للتقنيات الكمية	2017	مليار كرونة سويدية (110 مليون دولار أمريكي)	الحواسيب الكمية، وأجهزة المحاكاة الكمية، والاتصال الكمي، وأجهزة الاستشعار الكمية؛ ويتم رعاية تلك المجالات جميعها من جانب مؤسسات صناعية وخاصة
الصين	المختبر الوطني لعلوم المعلومات الكمية	2017	76 مليار يوان (11.4 مليار دولار أمريكي)؛ تم إنشاؤه على مدار عامين ونصف	المنشآت المركزية في مجال الأبحاث الكمية
الولايات المتحدة	قانون المبادرة الوطنية لتطوير التقنيات الكمية	2018	1.275 مليار دولار أمريكي على مدار 10 سنوات	برنامج شامل يضم مبادرات ترمي إلى تطوير العلوم والمهارات والبنية التحتية والمنظومة الكمية بأكملها
هولندا	مركز كوتك (QuTech)	2019	135 مليون يورو (على مدار 10 سنوات)	الحوسبة الكمية في تدارك الأخطاء، الحوسبة الكمية للشبكات والإنترنت، والحوسبة الكمية الطوبولوجية

المصدر: دار نشر الأكاديميات الوطنية، تحليلات أرثر د لتل

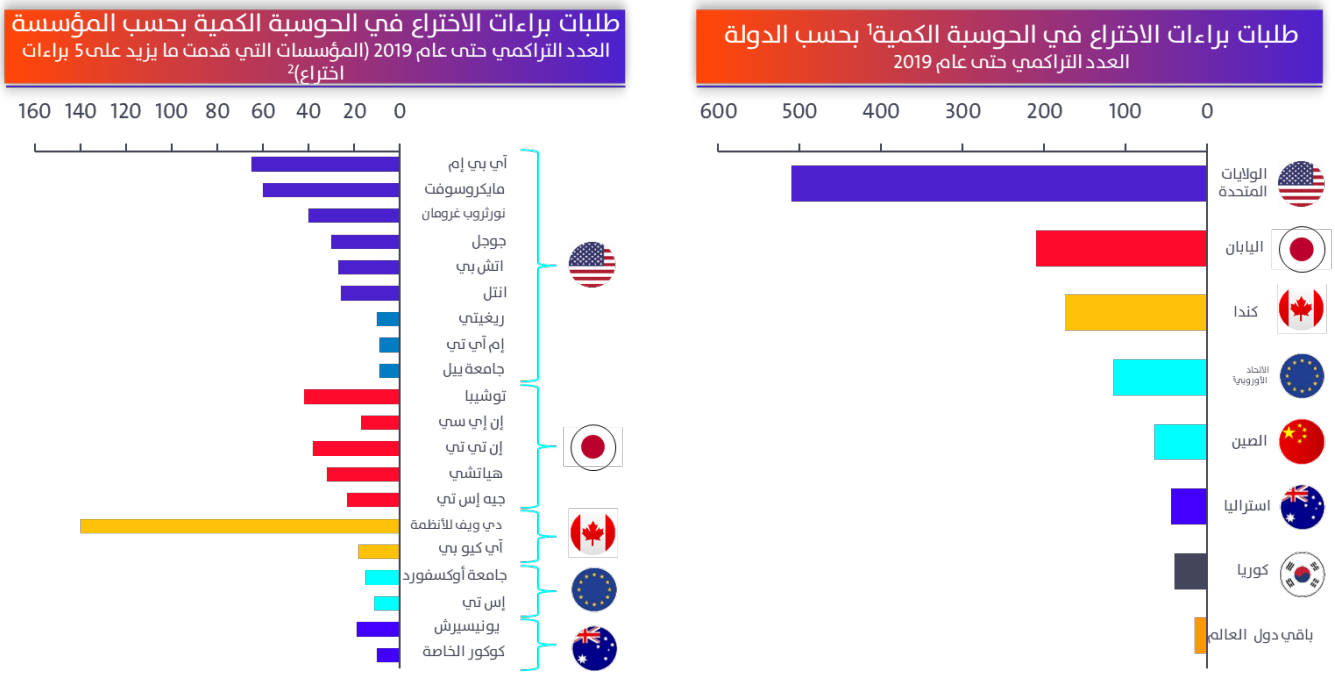
الشكل 5: مبادرات بعض الدول في مجال الأبحاث والتطوير في قطاع التقنيات والعلوم الكمية حتى تاريخ 2019

[8] "يسعى الاتحاد الأوروبي جاهدًا لمواكبة تطور الاستثمارات في هذا المجال حيث تتعهد الحكومات بإنفاق المزيد من الأموال على الحوسبة الكمية"، مجلة ساينس بيزنس، نوفمبر 2018

[9] قانون المبادرة الوطنية لتطوير التقنيات الكمية بالولايات المتحدة، ديسمبر 2018

وإذا كان للإنفاق الحكومي أهمية كبيرة في نجاح تطوير الحوسبة الكمية (خاصة في المجال الأكاديمي)، فإن دور القطاع الخاص ورأس المال الجريء لا يقل أهمية في هذا المجال. ففي عامي 2017 و2018، بلغت الاستثمارات الخاصة على مستوى العالم في قطاع الحوسبة الكمية 450 مليون دولار أمريكي، مقارنةً بقرابة 100 مليون دولار أمريكي[10] خلال عامي 2015 و2016. ويعود هذا الأمر إلى مراهنة الشركات الرائدة في مجال التقنيات مثل غوغل وآي بي إم وإنتل ومايكروسوفت بشكلٍ كبير على تطوير الحوسبة الكمية، بجانب الاستثمارات المستمرة التي لم تعلن عنها والتي تصل إلى مليارات الدولارات، فضلاً عن استثمار أصحاب رأس المال الجريء في الشركات المتخصصة في الحوسبة الكمية، مثل شركة دي ويف الكندية للأنظمة، والتي تلقت استثمارات بإجمالي 177 مليون دولار أمريكي منذ 2012. وهي الآن الشركة الرائدة عالميًا بالنظر إلى عدد براءات الاختراع المقدمة في مجال الحوسبة الكمية (أنظر الشكل 6).

علاوة على ذلك، بدأت منطقة الشرق الأوسط باتخاذ أولى خطواتها نحو تطوير إمكانات الحوسبة الكمية، وتعد دولة الإمارات العربية المتحدة أولى دول المنطقة التي بادرت بإطلاق مبادرات الحوسبة الكمية؛ فمن المقرر أن يضم متحف المستقبل بدبي أول حاسوب كمي في المنطقة، بالشراكة مع شركة دي-ويف. كما أعلنت هيئة كهرباء ومياه دبي في يونيو 2018 عن خطط للتعاون مع شركة مايكروسوفت بهدف تطوير المنتجات القائمة على التقنية الكمية لتلبية متطلبات تحسين مستوى الطاقة، وهو المجال الذي لم يستفيد كثيراً من التقنيات التقليدية بسبب محدودية قدراتها، وبذلك أصبحت هيئة كهرباء ومياه دبي أول جهة خارج الولايات المتحدة تشارك في برنامج التقنية الكمية المقدم من شركة مايكروسوفت. وفي المملكة العربية السعودية، بدأت جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية في إجراء أبحاث عن الحوسبة الكمية. ومن الممكن أن تكون الجهات الرائدة في القطاع الخاص، مثل شركة أرامكو السعودية، والتي تستخدم بالفعل أنظمة الحوسبة الفائقة، إحدى المستثمرين المحتملين في هذا المجال.



المصدر: مركز البحوث المشترك التابع للمفوضية الأوروبية، تحليلات آرثر د لتل
ملاحظات: (1) تشمل براءات الاختراعات المصنفة باعتبارها "حوسبة كمية"، كما تشمل فئات أخرى ذات صلة مثل "التوزيع الرئيسي الكمي"، و"التشابك"، وما شابه ذلك. (2) تشمل أبرز 20 جهة عاملة في مجال الحوسبة الكمية التي سجلت 648 براءة اختراع من 1149 (بنسبة 65% من الإجمالي)؛ (3) الاتحاد الأوروبي + سويسرا

الشكل 6: براءات الاختراع في مجال الحوسبة الكمية مصنفة حسب الدولة والمؤسسة

ينبغي أن تتناول استراتيجيات الاستثمار الفعالة في الحوسبة الكمية آلية تنسيق جهود الحكومة والمؤسسات الأكاديمية والقطاع الخاص؛ لذا تراعي الدول الناجحة على مستوى العالم العوامل الرئيسية الثلاثة التالية عند وضع سياسة الحوسبة الكمية:

- تطوير علوم الحوسبة الكمية
- بناء كوادر مؤهلة للعمل في مجال الحوسبة الكمية
- التفاعل مع القطاعات ذات الصلة بتقنية الحوسبة الكمية

[10] "الحوسبة الكمية كنز العصر"، مجلة نيتشر، أكتوبر 2019

على غرار الحوسبة التقليدية، يتكون نظام الحوسبة الكمية من ثلاثة عناصر رئيسية: الأجهزة، والبرامج، والخدمات. وقد تبنت الجامعات والشركات الخاصة على مستوى العالم طرقاً مختلفة لتطوير علوم الحوسبة الكمية، بدءًا من اتباع النهج "الشامل" وحتى النهج المتخصص في خدمات معينة (أنظر الشكل 7).

المصدر: quantumcomputingreport.com؛ تحليلات آرثر د لتل

الشكل 7: مجموعة خدمات الحوسبة الكمية

ضمن أسس مجموعة خدمات الحوسبة الكمية الشاملة، نجد أن مركز تنفيذ الأوامر الخاصة بمرور البيانات، والمعروف باسم "data plane"، يوجد في "صميم" الحاسوب الكمي، والذي يتكون من طبقات من العناصر الكمية المتشابكة وهياكل داعمة لها. ويأتي فوق كل ذلك طبقة التحكم بالأنظمة، والتي تعمل على تنظيم مركز الأوامر الخاصة بمرور البيانات وتمكينه من تنفيذ العمليات. في الوقت الراهن، تُشكّل الأجهزة عائقًا كبيرًا أمام تطوير حلول الحوسبة الكمية نظرًا إلى مستوى تعقيدها؛ إذ ينبغي وضعها في محيط تقترب حرارته من الصفر المطلق لمنع سخونتها المفرطة. أما بالنسبة إلى مستوى البرامج، تقوم المحولات أو المُحسّنات البرمجية بتحديد لغات برمجة الحوسبة الكمية المستخدمة في الخوارزميات والتطبيقات في الأجهزة الكمية. في الوقت الحالي، ترتبط برامج الحوسبة الكمية ترابطاً عميقًا مع أجهزتها الأساسية. ومع ذلك، وعلى غرار الحوسبة التقليدية، وفي ظل التطور التقني، ستعتمد وظائف البرامج بصورة كبيرة على بعض الوظائف التي يتم تنفيذها باستخدام الأجهزة، ومن المتوقع تحقيق تقارب بين مختلف لغات البرمجة الأصلية وتقنيات البرمجة الخاصة بالحوسبة الكمية. وبالإضافة لذلك، طبقة الخدمات والأدوات تتيح للحوسبة الكمية حل المشاكل الواقعية.

ومنذ عام 2019، أصبح هناك أكثر من 100 فريق أكاديمي وبحثي حكومي يشارك في إعداد أجهزة الحوسبة الكمية بمختلف جوانبها وميزاتها وتصميماتها[11]. وهناك العديد من النماذج الواعدة التي يُجرى فحصها في الوقت الحالي، والتي تتضمن الأنظمة فائقة التوصيل (superconducting systems)، والوحدات الأيونية (ion traps)، والشواغر النيتروجينية (nitrogen vacancy)، والنقاط الكمية (quantum dots)، والعناصر الكمية التخطيطية (topological qubits). وسيستمر اتباع هذا النهج "المخصص" حتى عام 2024[12] الذي يتوقع أن يشهد ميلاد بنية موحدة. وفي الوقت الحالي، تُعد البنية التحتية لأنظمة الحوسبة الكمية هشة للغاية، حيث قد تتسبب أقل الاهتزازات، وتقلبات درجات الحرارة، والموجات الكهرومغناطيسية، وغيرها من التفاعلات التي تحدث مع البيئة الخارجية في تدمير الخصائص الكمية للحاسوب، مما يجعل عمليات تشغيل وصيانة البرامج وأجهزة هذه التقنية معقدة ومكلفة للغاية. لذلك، فمن المرجح أن يتم حفظ الحواسيب الكمية في أماكن معدة خصيصاً لهذا الغرض، ويتم الوصول إليها عن بُعد عبر التقنية السحابة باستخدام الحواسيب التقليدية، بعد أن أصبحت منصات الحوسبة الكمية باستخدام التقنية السحابية بديلاً مثاليًا للشركات والجامعات، وهو ما يعرف باسم الحوسبة الكمية السحابية بوصفها خدمة أو (QCaaS)، إذ

[11] "الحوسبة الكمية: التوقعات والآفاق"، الأكاديمية الوطنية للعلوم، 2019

[12] "الدليل الاستراتيجي لتعزيز انتهاج الحوسبة الكمية"، جارتنر، سبتمبر 2019

تتيح لها الاستفادة من قدرات البنية التحتية للحوسبة الكمية دون الحاجة إلى استثمار الكثير من الأموال في تصميم أو صيانة أو تشغيل أجهزة الحاسوب الداعمة لتقنية الحوسبة الكمية. وتقدم الشركات الكبرى، مثل: دي ويف، وآي بي إم، ومؤخراً ريجيتي[13]، منصات سحابية تجريبية للحوسبة الكمية. ومن المتوقع أن تحذو جميع الشركات الكبرى الأخرى حذوها حيث يمكن اختبار خوارزميات الحوسبة الكمية وتطوير المهارات ذات الصلة، دون الحاجة إلى تصميم أو تشغيل أو صيانة أجهزة معدة خصيصاً للحوسبة الكمية وفق ما أعلنته جامعة لينشوبينج مؤخرًا[14]، عن امكانية استخدام نظام محاكاة كمية باستخدام أجهزة حاسوب تقليدي بشرط أن تكون هذه الأجهزة عالية القدرة.

نظراً إلى ظهور تقنية الحوسبة الكمية وما تعد به من مزايا هائلة في المستقبل، بدأت الحكومات في جميع أنحاء العالم بمباشرة دور فعال في مسيرة تطوير هذه التقنية، حيث قامت الولايات المتحدة وغيرها من الدول الأخرى بتأسيس جهات تنسيق على المستوى الوطني لتوحيد جهود تطوير الحوسبة الكمية، ومن ثم تحديد المشكلات الجوهرية من الناحية العلمية أو التقنية وترتيب أولوية حلها من حيث تأثيرها على الصعيدين الاقتصادي والعلمي. وتعمل دول أخرى، مثل سنغافورة والمملكة المتحدة، على تعزيز البرامج البحثية الرئيسية بتمويل حكومي وفق منهجيات مختلفة، بدءًا من توزيع المنح الصغيرة إلى تمويل المشاريع التي تدعم الأبحاث المتعلقة بالحوسبة الكمية على المدى الطويل. في الوقت ذاته، تعمل الصين على تعزيز التعاون الأكاديمي والتنسيق بين المراكز البحثية التي تركز على الحوسبة الكمية، على مستوى العديد من التخصصات والمؤسسات العلمية، بحيث تضمن مشاركة أوسع بين الأوساط العلمية لإبراز ومشاركة مزايا هذه التقنية (أنظر الشكل 8).

	تدابير السياسة	الأمثلة
1	تأسيس **جهة وطنية رسمية معنية بتنسيق الحوسبة الكمية**	**الولايات المتحدة الأمريكية:** إنشاء لجنة فرعية للمجلس الوطني للعلوم والتقنية معنية بعلم المعلومات الكمية ((SCQIS، بهدف وضع خارطة طريق لسياسة الحوسبة الكمية وتنسيق أعمال البحث والتطوير الممولة من الحكومة في مجال التقنيات الكمية
2	تعزيز **برامج الأبحاث الأساسية الممولة من الحكومة**	**سنغافورة:** تُعد وكالة العلوم والتقنية والبحث (A * STAR) وكالة تابعة لحكومة سنغافورة، بالإضافة إلى معهد أبحاث وهندسة المواد (IMRE) الذي يضطلع بمسؤولية أعمال البحث والتطوير في مجال الحوسبة الكمية **المملكة المتحدة:** يقدم برنامج البحث والابتكار في المملكة المتحدة (UKRI) منحًا إلى بعض مختبرات أبحاث الحوسبة الكمية
3	التشجيع على **الحوار والتعاون** الأكاديمي بين الباحثين المتخصصين في العلوم الكمية على مستوى مؤسسات وتخصصات الحوسبة الكمية	**الصين:** تُعد أكاديمية بكين لعلوم المعلومات الكمية (BAQIS) مؤسسة بحثية حديثة المنشأ تحت رعاية حكومة بكين المحلية وبالشراكة مع المؤسسات البحثية الرائدة بما يشمل الأكاديمية الصينية للعلوم وجامعة بكين وجامعة تسينغهوا

المصدر: تحليلات آرثر د لتل

الشكل 8: السياسات التي اتخذتها بعض الدول لتطوير علوم الحوسبة الكمية

4.2 بناء كوادر مؤهلة للعمل في مجال الحوسبة الكمية

سيخلق نجاح الحوسبة الكمية كذلك سباقًا لتنمية المواهب واستقطابها، إلا أنّ القوى العاملة التي تتمتع بالخبرة المطلوبة لا تزال محدودة للغاية، فضلًا عن صعوبة اكتساب الخبرات في هذا المجال. ووفقًا لبعض التقارير، فإن أقل من 1000 شخص على مستوى العالم لديهم القدرة على القيام بأبحاث متقدمة في هذا المجال[15]. وفي الوقت ذاته، ينبغي عدم النظر إلى الحوسبة الكمية بوصفها علماً منفصلاً عن غيره من العلوم، بل ينبغي النظر إليها باعتبارها نقطة التقاء لمختلف المجالات العلمية التي تتنوع بين معالجة درجات الحرارة شديدة الانخفاض، إلى إنشاء لغات برمجة خاصة بالحوسبة الكمية.

ولتعزيز مستوى التنافسية في قطاع الحوسبة الكمية، ينبغي توفير العديد من الكفاءات التي تتمتع بخبرات في جميع التخصصات التي تتنوع بين مجالات الفيزياء، والرياضيات، وعلوم الحاسوب، والمعلومات، والهندسة (أنظر الشكل 9). وبالرغم من ضرورة تنمية مهارات جديدة لمعالجة المشاكل الخاصة بالحوسبة الكمية، فلا تزال الشركات بحاجة إلى امتلاك مهارات الحوسبة التقليدية والمهارات المرتبطة بها، وذلك بسبب استخدام التقنيتين معاً لفترة من الوقت وضرورة تحقيق التكامل بينهما.

[13] "ريجيتي تطلق المنصة التجريبية العامة للخدمات السحابية الكمية"، تك كرانش، يناير 2019

[14] "إطلالات على الحواسيب الكمية"، جامعة لينشوبينغ، سبتمبر 2019

[15] "الحوسبة الكمية: التوقعات والآفاق"، الأكاديمية الوطنية للعلوم، 2019

[15] "الدليل الا

المصدر: quantumcomputingreport.com؛ تحليلات آرثر د لتل

الشكل 9: المهارات الرئيسية موزعة حسب مكوّنات الحوسبة الكمية

وعلى الصعيد العالمي، يتخذ واضعو السياسات العديد من التدابير لضمان تطوير مهارات الحوسبة الكمية، مع توحيد جهود الشركات والأوساط الأكاديمية (أنظر الشكل 10). ويحظى مجال الحوسبة الكمية بأهمية كبيرة، وأصبح تخصصًا مستقلاً يدرس في الجامعات، مما يزيد الحاجة إلى وجود هيئة تدريس وبرامج ومبادرات جديدة خاصة بها على جميع المستويات. وتعقد شركات القطاع الخاص والأوساط الأكاديمية شراكات بهدف تتبع وتقييم احتياجات القوى العاملة الحالية والمستقبلية في قطاع الحوسبة الكمية، وضمان تغطية هذه الاحتياجات في المناهج الأكاديمية. فبعض الدول، مثل سنغافورة، تسعى إلى استقطاب المواهب الأجنبية للاضطلاع بأدوار تقنية في مجال الحوسبة الكمية عن طريق تخفيف القيود والإجراءات التنظيمية. ويأتي ذلك في وقت تعاني فيه البلدان الرائدة في مجال الحوسبة الكمية، مثل الولايات المتحدة ودول الاتحاد الأوروبي، من صعوبات في استقطاب الكفاءات والمواهب بسبب سياسات الهجرة الصارمة.

	تدابير السياسة	الأمثلة
1	اعتبار **العلوم والهندسة الكمية تخصصًا قائمًا بذاته**	عدد الجامعات التي تمتلك مجموعات بحثية في الحوسبة الكمية بحسب المنطقة[1]: آسيا والمحيط الهادي: 25+ أوروبا: 30+ الشرق الأوسط وأفريقيا: 5 الأمريكتان 50+
2	**متابعة وتقدير الاحتياجات الحالية والمستقبلية من القوة العاملة** في القطاع الكمي	**الولايات المتحدة الأمريكية**: إبرام شراكة بين شركة مايكروسوفت وجامعة واشنطن لتعزيز المعرفة والمهارات الكمية وتنميتها
3	تعزيز **المواهب والكفاءات الأجنبية** وتسهيل عملية استقطابها من خلال برامج التأشيرات الخاصة والحوافز الضريبية وما شابه ذلك	**سنغافورة**: إطلاق برنامج Tech@SG، مما كان له أثر في تسهيل تعيين كفاءات أجنبية في الشركات التقنية

المصدر: تحليلات آرثر د لتل
ملاحظات: (1) استندت التقديرات إلى موقع quantumcomputingreport.com اعتبارًا من نوفمبر 2019

الشكل 10: سياسات بعض الدول لتطوير مواهب الحوسبة الكمية

لن تتحقق الاستفادة القصوى من إمكانات الحوسبة الكمية إلا بعد توفير تطبيقات الحوسبة الكمية على نطاق تجاري للشركات والمؤسسات. ونظرًا لاختلاف مستوى جاهزية هذه التقنية من قطاع إلى آخر، ينبغي للجهات الرائدة في القطاع العمل عن كثب مع الجهات الحكومية والأكاديمية لتحقيق أقصى استفادة من الحوسبة الكمية عندما تصبح هذه التقنية جاهزة للاستخدام في مجالات معينة. فهناك العديد من المبادرات التي يجري تنفيذها بهدف تسريع وتيرة تبني الحوسبة الكمية في قطاعات رئيسية:

- في الولايات المتحدة الأمريكية، تم تأسيس تحالف وطني بمشاركة جهات مختلفة من القطاع والأوساط الأكاديمية والجهات الحكومية للتنبؤ بالاحتياجات والعقبات، والتوافق بشأن حلها، وتنسيق الجهود في الأبحاث في المراحل التي تسبق الإعلان عن هذه التقنية والتنافس عليها، ومعالجة مشاكل الملكية الفكرية وتبسيط آليات نقل التقنيات.
- وتعمل اليابان على تطوير مراكز بحثية مشتركة في مجال التقنيات الكمية بالتنسيق بين الجهات الرائدة في القطاع والأوساط الأكاديمية بهدف تسريع وتيرة أنشطة البحث والتطوير في مجال الحوسبة الكمية قبل الإعلان عنها والتنافس عليها.
- وتقوم فرنسا بإطلاق حملات للتوعية بمدى تأثير ثورة الحوسبة الكمية على اقتصادها وقطاعاتها المختلفة، إضافة إلى التشجيع على الإسهام في مجال التقنيات الكمية (أنظر الشكل 11).

	تدابير السياسة	الأمثلة
1	التشجيع على تشكيل **تحالف وطني** يتألف من المشاركين من القطاع والأكاديميات والحكومة	**الولايات المتحدة الأمريكية:** تم تأسيس اتحاد التنمية الاقتصادية الكمية (QED-C) بالولايات المتحدة لضم الباحثين في القطاع والأكاديميين وغيرهم من الباحثين ذوي الصلة لمساعدة الولايات المتحدة في تحقيق الهيمنة المحلية في مجال الحوسبة الكمية
2	تعزيز **المراكز البحثية المشتركة المتخصصة في التقنيات الكمية**	**اليابان:** عقد اتفاقية بين شركة آي بي إم وجامعة كيئو والجهات الرائدة في القطاع مثل مؤسسة جيه إس آر وبنك إم يو أف جي وميزوهو فاينانشال جروب وميتسوبيشي للكيماويات لتعزيز مجال الحوسبة الكمية في الدولة
3	**التوعية** المستمرة بمدى تأثير التطور الكمي على الاقتصاد والقطاعات المختلة ومدى تعزيز اعتماد التقنيات الكمية	**فرنسا:** تدشين مركز باريس للحوسبة الكمية (PCQC) بهدف زيادة، من بين أشياء أخرى، الظهور على الساحة الدولية للأبحاث الكمية في باريس وفي جميع أنحاء فرنسا ونشر الأبحاث الكمية عن طريق ورش العمل/الزيارات وتبادل الطلاب والتعاون مع القطاع بشأن التسويق التجاري للحلول الكمية الشاملة

المصدر: تحليلات آرثر د لتل

الشكل 11: سياسات بعض الدول لضمان مشاركة مختلف القطاعات في استخدام الحوسبة الكمية

5. عدد من السياسات المتاحة للمملكة العربية السعودية

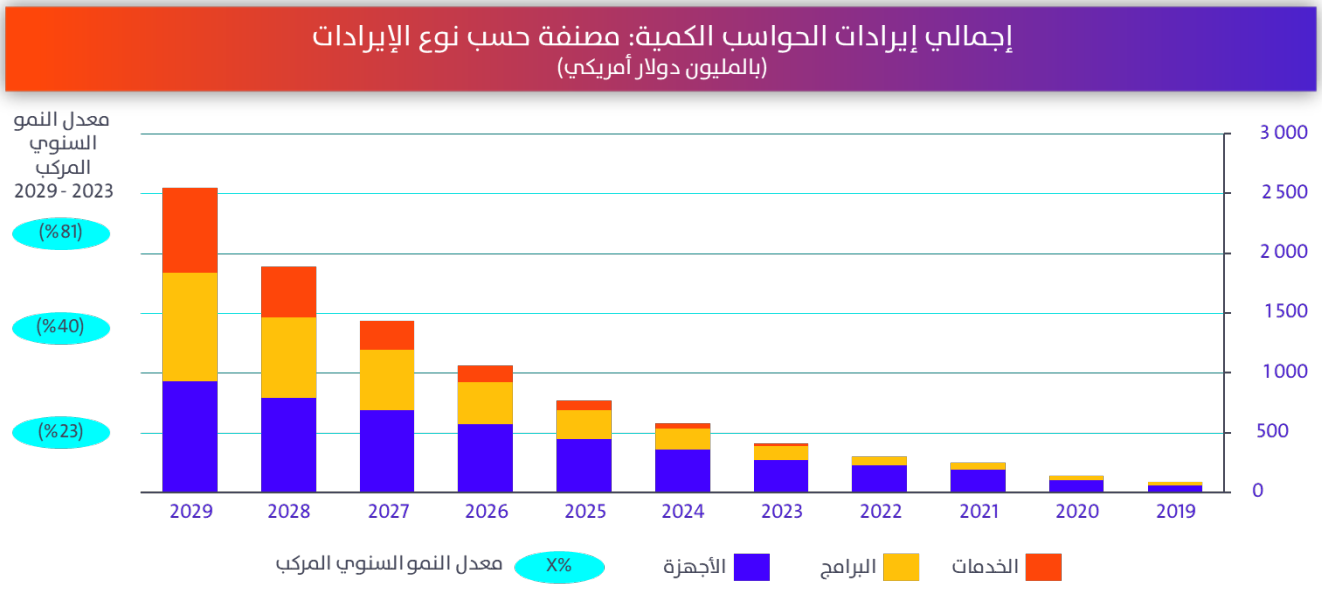
إن سرعة تطور تقنية الحوسبة الكمية، والدعم الحكومي في الاقتصادات المتقدمة، والفرص التي أتاحتها الحوسبة الكمية والمخاطر التي تنطوي عليها، تحتم على المملكة وضع سياسات خاصة بالحوسبة الكمية.

حيث تتضمن الاستراتيجيات المتكاملة التي تبنتها دول كالولايات المتحدة والصين، إطلاق مبادرات على مستوى جميع خدمات الحوسبة الكمية. إذ تتمتع كلتا الدولتين بالقدرات المالية التي تمكّنهما من دعم البحث والتطوير في مجال الحوسبة الكمية من خلال ضخ مليارات الدولارات مستعينةً في ذلك بمشاركة عمالقة التقنية المحليين مثل شركة علي بابا ومايكروسوفت وآي بي إم لدعم جهود الدولتين في هذا المجال. ويتركز جانب كبير من هذه الاستثمارات حاليًا على العنصر الرئيسي المتمثل في الأجهزة، والتي تحتاج إلى الكثير من الاستثمارات لتصميمها وتشغيلها وصيانتها، كما ذكرنا سابقاً، ولا تزال بعيدة عن مستوى الجاهزية والتكامل التقني. حيث يزيد هذا الأمر من خطر الاستثمار في تقنية بعينها. لهذا السبب، تتبنى بعض الدول مثل سنغافورة "نهج الحوسبة الكمية المرن" الذي يركز على تطوير قدرات الحوسبة الكمية والخوارزميات، بدلاً من استثمار مبالغ ضخمة في تصميم أجهزة قادرة على تشغيل الحوسبة الكمية.

ينبغي أن تعتمد استراتيجية المملكة العربية السعودية على فرص النمو التي تسعى إلى تحقيقها، والموارد التي تريد استثمارها لتحقيق هذا المسعى. ولكي تتمكن المملكة من المشاركة في سباق الحوسبة الكمية، من الأفضل اتخاذ الإجراءات الآتية لتطبيق نهج السياسة المرنة لضمان قدرة المملكة على تنمية المهارات والقدرات المطلوبة على المدى المتوسط.

5.1 التشجيع على تطوير برامج الحوسبة الكمية وخدماتها

يمكن للمملكة العربية السعودية تعزيز الاستثمارات وتحقيق ميزة تنافسية أكبر من خلال التركيز على تطوير البرامج والخدمات التي تدعم مصالح الشركات المحلية. ولتحقيق ذلك، لا بد من إطلاق برنامج حكومي لتمويل مشاريع البحث والتطوير في الجامعات والقطاع الخاص. وفيما يتعلق بالأجهزة، فيمكن الاستفادة منها في صورة خدمة حوسبة كمية (QCaaS) أو الاستعاضة عنها -بالنسبة لبعض الخوارزميات- بنظام منطقي للمحاكاة الكمية يتم العمل عليه باستخدام أجهزة حاسوبية فائقة القدرة. وبهذا ستتمكن المملكة من المشاركة في سباق برامج الحوسبة الكمية وخدماتها الذي من المتوقع أن يشهد أكبر نمو له في السنوات القليلة القادمة (أنظر الشكل 12).



المصدر: إنسايد كوانتم تكنولوجي 2019، تحليلات آرثر د لتل

الشكل 12: إجمالي إيرادات الحواسب الكمية مصنفة حسب نوع الإيرادات (بالمليون دولار أمريكي)

5.2 تأسيس مجلس خاص بالحوسبة الكمية في المملكة العربية السعودية

لضمان تحقيق المملكة العربية السعودية الاستفادة الكاملة من الاستثمار في الحوسبة الكمية، فينبغي للمملكة أن تؤسس جهة رسمية تتولى تنسيق جهود الحوسبة الكمية، وتضم المؤسسات الأكاديمية، مثل جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية، والجهات الرائدة في القطاع بالإضافة إلى وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات والجهات الحكومية الأخرى، على أن تتم مواءمة هذا المشروع مع المبادرات القائمة بالفعل، مثل مبادرات مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. وينبغي أن تشتمل اختصاصات هذا المجلس القيام بالمهام التالية:

- الإشراف على مبادرات الحوسبة الكمية بهدف تحديد أوجه التنسيق والتعاون.
- تحديد جهود البحث والتطوير وفرص الأعمال مع ضمان توفير التمويل اللازم للمبادرات ذات الصلة (مثل: مشاريع البحث والتطوير الأكاديمية، والشركات الناشئة).
- تعزيز التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والقطاع الخاص.
- التوعية المستمرة بمدى تأثير الثورة الكمية على الاقتصاد وقطاعاته.

5.3 الاستثمار في مواهب الحوسبة الكمية

لتسريع تطوير الكفاءات المؤهلة في مجال الحوسبة الكمية، تم تحديد ثلاث عوامل محفزة رئيسية يمكن الاستفادة منها في المملكة العربية السعودية، وتتضمن مبادرات داخلية وأخرى خارجية:

- تشجيع إنشاء تخصصات خاصة للحوسبة الكمية في الجامعات، مع توفير هيئة التدريس والبرامج الأكاديمية المخصصة لها. فالجامعات الرائدة مثل جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية التي تمتلك مراكز قائمة، مثل مختبر شاهين للحوسبة الفائقة، يمكن لها أن تنشئ معهداً متخصصاً في الحوسبة الكمية؛ الأمر الذي من شأنه توفير مظلة لتجميع وتنسيق المجالات ذات الصلة بما يسهم في التطور العلمي. وينبغي للمملكة أن تشجع على تنمية مهارات برمجة الحوسبة الكمية على المستويين المهني والأكاديمي لتتمكن من تحقيق الاستفادة القصوى من الحوسبة الكمية.
- الاستفادة من الإجراءات المفروضة على التأشيرات في الأسواق الأخرى ورفع بعض القيود المفروضة بغرض استقطاب خبراء الحوسبة الكمية، والتخصصات ذات الصلة إلى الجامعات والشركات الرائدة بالمملكة، وهو ما يتماشى مع السياسات الوطنية التي اعتمدتها المملكة مؤخراً، وبهدف استقطاب أفضل المواهب العلمية والتقنية.
- دراسة البدائل المتاحة مثل رعاية مبادرات إنشاء مختبرات البحث والتطوير في مجال الحوسبة الكمية خارج البلاد. على سبيل المثال، قامت شركة الاتصالات اليابانية "إن تي تي" بتأسيس مركز أبحاث الحوسبة الكمية في وادي السيليكون وميناء السيليكون. كما يرعى معهد موسكو للتقنية جامعة الفضاء في برشلونة والتي تقدم دورات تدريبية في تشفير الحوسبة الكمية.

5.4 تحديد أغراض الاستخدام في القطاعات المختلفة بالتعاون مع شركات التقنية الرائدة

يمكن للمملكة العربية السعودية أن تضطلع بدورٍ مهم بالتعاون مع الشركات الرائدة في قطاع التقنية في إعداد وتطوير أغراض الاستخدام من خلال عقد شراكات مع الشركات التقنية، وهو النموذج الأمثل لمعظم الأنشطة التجارية في القطاع حتى الآن. وتتضمن المشاريع التعاونية القائمة حاليًا في مناطق أخرى من العالم التعاون القائم بين شركتي فولكس فاجن وغوغل لصناعة بطاريات السيارات الكهربائية، والتعاون بين شركتي جي بي مورغان وآي بي أم لإنشاء حلول لتقييم المخاطر واختيار المحفظة الاستثمارية المثلى، وكذلك تحالف هيئة كهرباء ومياه دبي مع مايكروسوفت لإنشاء حلول تهدف للاستغلال الأمثل للطاقة. فقد تضمنت الاتفاقية تمكين هيئة كهرباء ومياه دبي من برمجة واختبار الخوارزميات الكمية على منصة "مايكروسوفت أزور الكمية" التي يمكن استخدامها في البنية التقنية التقليدية. وسوف يسهل هذا المشروع عملية انتقال هيئة كهرباء ومياه دبي لاستخدام حاسوب مايكروسوفت الكمي بمجرد توفره.

وبفضل البرنامج الطموح الذي بدأته المملكة العربية السعودية لتنويع مصادر اقتصادها، ونظراً للتطور العلمي الذي تشهده حاليًا تقنيات الحوسبة الكمية، تتمتع المملكة الآن بمكانة متميزة تمكنها من حشد جهود المؤسسات الحكومية والأكاديمية للمشاركة بدور فعال في ثورة الحوسبة الكمية. إضافة إلى ذلك، تتمتع المملكة بمكانة متميزة للغاية تمكنها من القيام بهذا الدور في منطقة الشرق الأوسط نظرًا لمكانتها الراسخة والأنشطة القطاعية المتعددة الموجودة بها فضلاً عن نفوذها الإقليمي الواسع. وتمثل الخيارات المطروحة أعلاه مبادرات استراتيجية من شأنها أن تتيح للمملكة "تحسين" جوانب رئيسية، مثل البرامج والخدمات، مع ترك الخيارات مفتوحة أمامها إلى أن تصبح تقنية الحوسبة الكمية متطورة تماماً وجاهزة للاستخدام، لا سيما فيما يتعلق بجانب الأجهزة. مما لا شك فيه أن الفرص المتاحة للابتكار في جميع القطاعات والتأثير الذي أحدثته الحوسبة الكمية على الأمن السيبراني قد أحال الحوسبة الكمية إلى سباق شرس ينبغي للمملكة أن تستعد لخوضه بدءاً من هذه اللحظة.

شكر وتقدير

نود أن نعرب عن شكرنا وتقديرنا للأشخاص الذين عقدنا معهم المقابلات على إسهاماتهم ورؤاهم القيمة التي شاركوها معنا (الواردة أسماؤهم أدناه وفق الترتيب الأبجدي):

ألفونسو روبيو مانزاناريس، المؤسس المشارك والرئيس التنفيذي لشركة إنتانجلمنت بارتنرز ورئيس برشلونة كيوبت-بي كيو بي، مركز أبحاث المعلومات الكمية والأمن السيبراني

د. آرون كومار باتي، أستاذ نظرية المعلومات الكمية، والحوسبة الكمية والنظرية الكمية العامة وأسس النظرية الكمية بمعهد هاريش شاندرا للأبحاث

بجفان كومادي، مؤسس شركة كوانتيا كومبيوتيكاو، وهي أول شركة هندية ناشئة في مجال الحوسبة الكمية

د. كيفن كولين، نائب رئيس قسم الابتكار والتنمية الاقتصادية بجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية

توموبا ماتسوكوا، مدير بآرثر د لتل اليابان ومتحدث بقمة الحوسبة الكمية "كيو سميت" المنعقدة بطوكيو عام 2019

مسرد الاختصارات

AI – الذكاء الاصطناعي

APAC – آسيا والمحيط الهادئ

DEWA – هيئة كهرباء ومياه دبي

EU – الاتحاد الأوروبي

IP – الملكية الفكرية

KAUST – جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية

KSA – المملكة العربية السعودية

MEA – الشرق الأوسط وأفريقيا

MCIT – وزارة الاتصالات وتقنية المعلومات

ML – تعلم الآلة

QC – الحوسبة الكمية

QCL – لغة الحوسبة الكمية

QFC – مخططات التدفق الكمي

R&D – البحث والتطوير

ROW– بقية دول العالم

USA – الولايات المتحدة الأمريكي

آرثر د لتل

كانت آرثر د لتل ولا تزال في طليعة المؤسسات التي اتخذت الابتكار نهجًا لها منذ نشأتها في عام 1886. نفخر دومًا بكوننا إحدى الجهات الرائدة في مجال تعزيز التكامل بين عناصر الاستراتيجية والابتكار والتحول، في الصناعات التي تعتمد على التقنية الحديثة بشكلٍ كبير. ومن خلال تعاوننا مع العديد من العملاء، نتميز بقدرتنا على تغيير منظومة الأعمال لديهم لتطوير حلول نمو جديدة. فنمكّن عملاءَنا من بناء قدرات الابتكار وتنفيذ التحول لمؤسساتهم.

يتمتع مستشارونا بخبرة عملية قوية في المجال جنبًا إلى جنب مع المعرفة الممتازة بالاتجاهات والديناميكيات الرئيسية. تمتلك شركة آرثر د لتل مكاتب في أهم مراكز الأعمال في جميع أنحاء العالم. ونفتخر بتقديم خدماتنا للكثير من الشركات التي تندرج ضمن أغنى 1000 شركة على مستوى العالم، بالإضافة إلى المؤسسات الرائدة الأخرى ومؤسسات القطاع العام.

لمزيد من المعلومات، يرجى زيارة موقعنا الإلكتروني www.adlittle.com أو www.adl.com.

حقوق النشر © لشركة آرثر د لتل لوكسمبورغ ش.م. 2020. جميع الحقوق محفوظة.