مجلس الوزراء
مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

# تكنولوجيا الكم:
## رحلة من النظرية إلى التطبيق

# فكرة بكرة

أكتوبر العدد (٢)

2024

إصدارة غير دورية

مجلس الوزراء

مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

## رئيس المركز

**السيد الدكتور/ أسامة الجوهري**

مساعد رئيس مجلس الوزراء

رئيس مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

## فريق العمل

الإشراف العام

**د. نهلة السباعي**

رئيس الإدارة المركزية لدعم القرار

## الفريق البحثي

**أ. عبد الله محمد رجب**

باحث اقتصادي - الإدارة العامة للدراسات المستقبلية

**أ. منى جمال شلقامي**

باحث سياسي - الإدارة العامة للدراسات المستقبلية

## فريق التحرير

**أ. سالي عاشور**

مدير الإدارة العامة للدراسات المستقبلية

**أ. أمنية عاصي**

رئيس فريق عمل بالإدارة العامة للدراسات المستقبلية

## المراجعة والتدقيق:

**أ. داليا محمد**

**أ. عبد الحميد حلمي**

## التصميم الجرافيكي

**م. أيمن الشريف**

**أ. فادي يوسف**

# قائمة المحتويات


| | |
|---|---|
| عن المركز | ٥ |
| نبذه عن الإصدارة | ٧ |
| المقدمة | ٨ |
| القسم الأول: خلفية معلوماتية عن تكنولوجيا الكم | ٩ |
| أولًا: فروع تكنولوجيا الكم | ١١ |
| ثانيًا: بعض تطبيقات التكنولوجيا الكمومية | ١٧ |
| ثالثًا: تحديات التكنولوجيا الكمومية | ٢١ |
| القسم الثاني: توجهات الدول نحو تبني التكنولوجيا الكمومية | ٢٣ |
| أولًا: سوق الحوسبة الكمومية | ٢٥ |
| ثانيًا: الصراع العالمي التنافسي على التكنولوجيا الكمومية | ٣٢ |
| ثالثًا: واقع التكنولوجيا الكمومية في الشرق الأوسط | ٣٥ |

| | |
|---|---|
| **القسم الثالث: مستقبل التكنولوجيا الكمومية في مصر** | **٣٧** |
| **أولًا: توطين التكنولوجيا الكمومية في مصر.. الفرص والتهديدات** | **٤١** |
| **ثانيًا: أهم المجالات التي يمكن تطبيق التكنولوجيا الكمومية بها** | **٤٣** |
| **ثالثًا: متطلبات توطين التكنولوجيا الكمومية في مصر** | **٤٥** |

## عن المركز

مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار مركز فكر رائد ومُصنَّف دوليًا تابع للسيد رئيس مجلس الوزراء، أنشئ عام ١٩٨٥، وشهد منذ نشأته عددًا من التحولات في طبيعة مهامه وأدواره المختلفة بما يتلاءم مع متطلبات متخذ القرار واحتياجاته، ويتواكب في الوقت ذاته مع طبيعة التغيُّرات التي مر بها المجتمع المصري؛ حيث اهتم في مراحله الأولى بخلق بنية معلوماتية والإسهام في عمليات التطوير التكنولوجي في مصر، ثم شهد نقلة نوعية في طبيعة دوره ليصبح أكثر تخصصًا في مجال دعم القرار مع الاهتمام ببناء مجتمع المعرفة، ثم سار بخطًى راسخة ليصبح مركز فكر مجلس الوزراء المصري، تتمثَّل مهمته الرئيسة في دعم جهود متخذ القرار في مختلف القضايا التنموية، وطرح مجموعة من البدائل والتوصيات والسيناريوهات الداعمة له. وصولًا إلى مرحلته الراهنة، والتي يضطلع فيها المركز بمهام وأدوار أكثر تعددًا وتنوعًا، وذلك تزامنًا مع صدور قرار معالي دولة رئيس مجلس الوزراء رقم ٢٠٨٥ لسنة ٢٠٢٣ بشأن إعادة تنظيم المركز، والذي يعد تدشينًا لمرحلة عمل جديدة امتدت وتوسعت فيها اختصاصات المركز.

ومنذ نشأته كان للمركز العديد من الإنجازات والمشروعات والمبادرات المرموقة التي أسهمت في تعزيز دوره في تطوير البنية الرقمية والمعلوماتية ودعم عملية صنع القرار في مصر على عدد من الأصعدة، ولعل من أبرزها دوره فيما يتعلق بتطوير مشروع الرقم القومي للمواطن، وإدخال شبكة المعلومات الدولية "الإنترنت" للاستخدام في مصر، وإنشاء مركز الوثائق الاستراتيجية، وإنشاء مركز استطلاع الرأي العام، بالإضافة إلى دوره في تطوير وإنشاء مراكز المعلومات بالمحافظات والوزارات، وتدشين "منظومة الشكاوى الحكومية"، وإنشاء منظومة إدارة الأزمات على المستوى القومي والمحلي، وإنشاء المراصد المتخصصة، مثل: مرصد أحوال الأسرة المصرية، والمرصد المصري للتعليم والتدريب والتشغيل، ومرصد الغذاء المصري، بجانب إطلاق وثيقتي سياسة ملكية الدولة للأصول، والتوجهات الاستراتيجية للاقتصاد المصري (٢٠٢٤ - ٢٠٣٠).

ويتبنَّى المركز رؤية مفادها أن يكون الأكثرَ تميُّزًا في مجال دعم اتخاذ القرار في قضايا التنمية الشاملة، وإقامة حوار مجتمعي بنّاء، وتعزيز قنوات التواصل مع المواطن المصري الذي يُعَدُّ غاية التنمية وهدفها الأسمى، الأمر الذي يؤهِّله للاضطلاع بدور أكبر في صنع السياسة العامة، وترسيخ مجتمع المعرفة.

هذا ويسعى المركز باستمرار لأن يكون إحدى أفضل مؤسسات الفكر (Think Tank) على المستويات كافة؛ المحلية والإقليمية والدولية، وقد واكب ذلك اعترافٌ إقليميٌّ ودوليٌّ بدوره الجوهري كمؤسسة فكر، وهو ما ظهر جليًّا في نتائج تصنيف برنامج مراكز الفكر والمجتمعات المدنية (Think Tanks and Civil Societies Program, TTCSP) بجامعة "بنسلفانيا" الأمريكية، التي أُعلِن عنها في فبراير ٢٠٢١؛ حيث اختِير مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار ليكون:

- ضمن أفضل ٢٠ مركز فكر على مستوى العالم استجابةً لجائحة "كوفيد-١٩" لعام ٢٠٢٠.
- في المرتبة ٢١ من بين ٦٤ مركز فكر على مستوى العالم كصاحب أفضل فكرة أو نموذج جديد طوَّره خلال عام ٢٠٢٠.
- في المرتبة ١٤ من بين ١٠١ مراكز فكر على مستوى إفريقيا والشرق الأوسط لعام ٢٠٢٠.

وقد فاز المركز خلال السنوات الخمس الأخيرة بـ (١٨) جائزة دولية في مجالات عمله كافة؛ حيث فاز في يونيو ٢٠٢٢ بجائزة (SAG Award) الأمريكية الممنوحة لإصدارة المركز الرقمية "وصف مصر بالمعلومات" من بين نحو ١٠٠ ألف مؤسسة دولية حول العالم.

وفي مايو ٢٠٢٣، حصل المركز على ٦ جوائز في مسابقة درع الحكومة الذكية في دورتها السادسة عشرة، والتي عُقدت بإمارة دبي، عن فئات: الابتكار الحكومي، والمسؤولية الاجتماعية والحكومية، والعمل عن بُعد، والمواقع الإلكترونية الحكومية، وحسابات التواصل الاجتماعي الحكومية، والتطبيقات الذكية.

كما نال المركز ثلاث جوائز من مؤسسة "جلوبي" للأعمال (Globee Business Awards)بالولايات المتحدة الأمريكية في سبتمبر ٢٠٢٣، والتي تُمنَح لأفضل المنظمات على مستوى العالم تقديرًا لإنجازاتها في مختلف الأعمال والمجالات التكنولوجية.

وكذلك حصد المركز ثماني جوائز من مؤسسة "ستيفي أووردز" (STEVIE Awards) العالمية لمنطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا؛ ففي أبريل ٢٠٢٢ فاز بخمس جوائز من بينها جائزة ذهبية، وذلك بعد منافسة بين أكثر من ٧٠٠ فريق من ١٧ دولة في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، وفي يناير من عام ٢٠٢٤ حاز المركز ثلاث جوائز، منها جائزتان ذهبيتان.

## نبذة عن الإصدارة

تقدم سلسلة 'فكرة لبكرة' رحلة استكشافية إلى عالم المستقبل؛ حيث نستكشف أحدث الابتكارات والتوجهات العالمية التي تشكل حياتنا. ومن خلال تسليط الضوء على التطورات في مجالات العلوم والتكنولوجيا والاقتصاد والبيئة، تسعى السلسلة إلى تزويد صناع القرار والباحثين والأفراد بمعلومات قيمة تساعدهم على فهم التغيرات الجارية واتخاذ قرارات مستنيرة. كما تهدف السلسلة إلى إلهام الجيل القادم من المبتكرين، وتشجيع الحوار حول قضايا المستقبل، وبناء مجتمع أكثر استدامة.

## المقدمة

يعيش العالم اليوم ثورة حقيقية في مجال الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات، ولم يعُد بإمكان أي دولة تتطلع إلى الإنجاز والتطوير، بهدف تحقيق التنمية المستدامة على جميع الأصعدة، أن تحقق ذلك دون أن يكون هذا القطاع إحدى ركائزها الأساسية. وتُعَد التكنولوجيا الكمومية من بين التكنولوجيات الأقل فهمًا على نطاق واسع، وعلى الرغم من ذلك فإن التطورات بشأن تلك التكنولوجيا من شأنها إحداث ثورة في عالم الأعمال والصناعات والعديد من المجالات الأخرى في السنوات القادمة، وبالتالي فهي عكس الابتكارات الرقمية الكلاسيكية، فلا يمكن إنشاء التقنيات الكمومية بواسطة شخص يعمل بمفرده، حتى مع وجود الآلات المناسبة وسنوات من البرامج البحثية الممولة جيدًا من المؤسسات الكبيرة، لأنها ستواجه العديد من التحديات انطلاقًا من أنها ما زالت في المرحلة التمهيدية لها، لكن تشغيل الأبحاث الكمومية سيؤدي إلى تحقيق اختراقات تكنولوجية مهمة، فهي تتمتع بالقدرة على سرعة المعالجة؛ مما سيؤدي إلى تحسين الجودة وإحداث ثورة في صناعات كثيرة مثل: الطائرات، والطاقة النظيفة، والأدوية، والمخاطر البيئية والمناخية.

وقد أدركت العديد من البلدان إمكانات تكنولوجيا الكم، وتستثمر فيها لتطوير قدرات الحوسبة والاتصالات والاستشعار، ويشمل ذلك استثمارات البحث لكل من الحكومة والقطاع الخاص، وتنفق القوى العلمية والتكنولوجية الرائدة مئات الملايين من الدولارات لتمويل البحث والتطوير، واعتبارًا من عام ٢٠٢٢، أعلنت تسع دول والاتحاد الأوروبي عن إنفاق أكثر من ٣٠ مليار دولار مجتمعة على البرامج الكمومية. وتشير الاستثمارات المتزايدة إلى الثقة في قدرة الحوسبة الكمومية على إحداث ثورة في مختلف القطاعات. ومع النمو السريع لهذه التكنولوجيا عالميًّا، فقد تكون هناك فرصة أمام الدولة المصرية للاستفادة من الشراكات والخبرات الدولية لتطوير قدراتها في هذا المجال الحيوي.

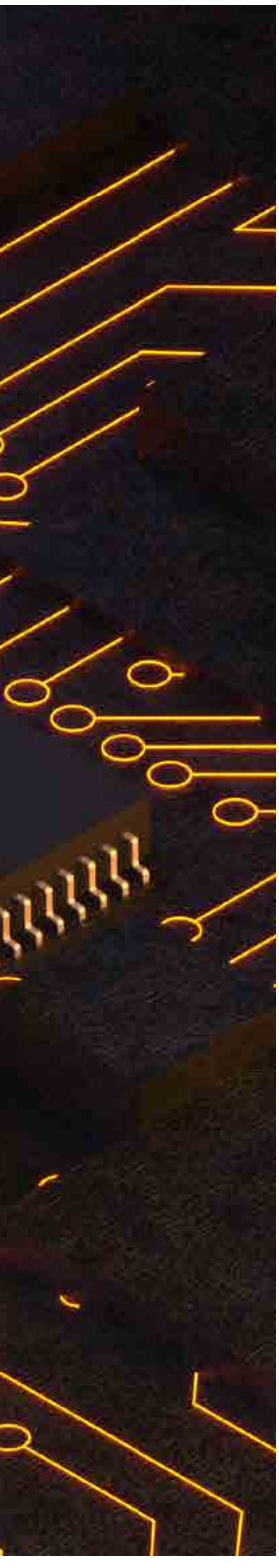
# القسم الأول:

## خلفية معلوماتية عن تكنولوجيا الكم

ONLINE
SUPPORT
ASSISTANCE
MAINTENANCE

# أولًا: فروع تكنولوجيا الكم

## ١- الحوسبة الكمومية:



تم تطوير نظرية الكم الحديثة في عشرينيات القرن العشرين، وظهرت أجهزة الكمبيوتر بعد ذلك بوقت قصير، ولعبت كلتا التقنيتين دورًا في الحرب العالمية الثانية، ومع مرور الوقت، بدأ الفيزيائيون في دمج مجالي نظرية الكم والحوسبة لإنشاء مجال الحوسبة الكمومية "Quantum Computing" ، والتي تُعَد مجالًا متعدد التخصصات يشمل جوانب علوم الكمبيوتر والفيزياء والرياضيات التي تستخدم ميكانيكا الكم بهدف حل المشكلات المعقدة بسرعة أكبر من أجهزة الكمبيوتر التقليدية. ويشمل مجال الحوسبة الكمومية بحوثًا حول الأجهزة وتطوير التطبيقات، كما تُعَد أجهزة الكمبيوتر الكمومية قادرة على حل أنواع معينة من المشكلات بسرعة أكبر من أجهزة الكمبيوتر التقليدية من خلال الاستفادة من التأثيرات الميكانيكية الكمية، مثل: التراكب، والتداخل الكمي. هذا، وتشتمل بعض التطبيقات التي يمكن أن توفر فيها أجهزة الكمبيوتر الكمومية هذه الزيادة في السرعة على تعلُّم الآلة (ML) ، وتحسين الأداء، ومحاكاة الأنظمة المادية. كما يمكن أن تكون حالات الاستخدام النهائية هي تحسين أداء المحفظة في التمويل أو محاكاة الأنظمة الكيميائية، وحل المشكلات التي تجدها حتى أكثر أجهزة الكمبيوتر فعاليّة في السوق مستعصية حاليًّا.

وتحظى الحوسبة الكمومية بقدر كبير من الاهتمام بين التطبيقات التكنولوجية الحديثة؛ إذ تُستخدَم لحل المشكلات بسرعة غير ممكنة ودقة متناهية وبكفاءة أعلى من أجهزة الحوسبة التقليدية، ويعتبر أساس هذه التقنية الكمومية هو "الكيوبت" (اختصار لـ "البت الكمي")، وفي حين تستخدم أجهزة الكمبيوتر التقليدية "البتات" والتي تمثل إما "٠" أو "١" ففي المقابل البتات الكمومية لديها القدرة على تمثيل "١" أو "٠" أو أي قيمة بينهما، فضلًا عن أن هذه الخاصية -والتي تسمى "التراكب" للحاسوب الكمومي- تسمح بإجراء العديد من العمليات في وقت واحد وبالتوازي، وهو ما يجعل عملية إجراء الحسابات أسرع بملايين المرات من تلك الخاصة بالحواسيب التقليدية.

يمكن أن يمثل ٥٠٠ كيوبت نفس المعلومات التي يمثلها ٢٥٠٠ عادي، في حين أن الكمبيوتر النموذجي يحتاج إلى ملايين السنين للعثور على العوامل الأولية لعدد ٢٠٤٨ بت -رقم مكون من ٦١٧ رقمًا- فإن الكمبيوتر الكمي يمكنه القيام بهذه المهمة في دقائق ؛ وهذا سيجعل الحوسبة الكمومية أداة بحثية جديدة استثنائية لجميع العلوم، فضلًا عن تحسين تحليل البيانات وتسريع أداء خوارزميات التعلم الآلي للأبحاث وتطوير الأعمال. وتستثمر شركات الخدمات المالية في الحوسبة الكمومية لأنها تمنحها ميزة في اتخاذ قرارات الاستثمار للمشتقات وحساب مخاطر السوق، فتتضمن التطبيقات الأمنية للحوسبة الكمومية القدرة على كسر التشفير الآمن وإجراء عمليات محاكاة معقدة، هذا بالإضافة إلى السماح بتحليل مجموعات البيانات الضخمة لتحسين اكتشاف التهديدات واتخاذ القرارات.

تتطلب الحوسبة الكمومية شرائح خاصة تختلف عن أشباه الموصلات التقليدية، والتي تجعل أجهزة الكمبيوتر الكمومية أسرع وأكثر قدرة، ولكنها باهظة الثمن؛ حيث تشير أحد التقديرات إلى أن تكلفتها قد تصل إلى ١٠ آلاف دولار للكيوبت الواحد مقارنة بأقل من ٢٠٠ دولار للشريحة التقليدية، فضلًا عن أنها تتطلب مجموعة من معدات الدعم المتخصصة. وفي عام ٢٠٠٩، تم تصنيع أول شريحة كمومية من قبل المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (NIST)، ويشهد العالم سباقًا لتطوير أجهزة الكمبيوتر التي تستخدم شرائح كمومية متعددة تلك التي تساعد على زيادة سرعة معالجة البيانات.

## ٢- الاستشعار الكمي:

يندرج الاستشعار الكمي "Quantum sensing" ضمن فئة التقنيات الكمومية، فهو تقنية تستخدم مبادئ ميكانيكا الكم لتطوير أنواع جديدة من أجهزة الاستشعار ، وتشمل تقنيات الاستشعار الكمي مجموعة واسعة من التطبيقات منها (الرعاية الصحية، الأبحاث الطبية، الرصد البيئي، البناء، الطاقة، الملاحة، الدفاع)، ويمكن لهذه التقنية التقاط قياسات عالية الدقة وحساسة للغاية على مستوى الذرات الفردية؛ مما يوفر دقة وموثوقية أكبر من أجهزة الاستشعار التقليدية.

يسمح الاستشعار الكمي بالتنقل عالي الدقة دون استخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، فالملاحة الكمومية لا تعتمد على إشارة خارجية -على عكس GPS-؛ مما يجعلها مقاومة للتشويش، كما يمكن لأجهزة الاستشعار الكمومية قياس مجالات الجاذبية والمغناطيسية للأرض لاكتشاف التغيرات الدقيقة في الحركة والنبضات الكهرومغناطيسية، كما يمكن لأجهزة قياس الجاذبية الحساسة (الأدوات التي تقيس مجال جاذبية الأرض) وأجهزة قياس المغناطيسية قياس الحالات الشاذة ومقارنتها بالبيانات الموجودة والسماح بالملاحة الدقيقة دون الحاجة إلى اتصالات الأقمار الصناعية.

يُقدم الاستشعار الكمي إمكانيات هائلة لتطوير قدرات الاستخبارات والمراقبة والاستطلاع، وقد طوّر مختبر أبحاث الجيش الأمريكي تقنية تُعرف باسم "تصوير الأشباح" تستخدم الخصائص الكمومية للضوء للكشف عن الأجسام البعيدة من خلال استخدام أشعة الإضاءة الضعيفة، وتُعد هذه الحزم قادرة على اختراق الظروف الجوية، كما أنها ضعيفة بما يكفي لتجنب اكتشاف الهدف المصور في كثير من الحالات؛ مما يجعلها أداة مفيدة في العمليات السرية. هناك تقنية أخرى تعرف باسم "الإضاءة الكمومية" يمكنها تحسين قدرات الكشف عن التخفي للرادار الكمي، ويُعتقد أن هذه التقنية قادرة على الحصول على نسبة إشارة إلى ضوضاء أعلى من أجهزة الاستشعار غير الكمومية، وهي مثالية لاكتشاف الأهداف منخفضة الانعكاس وسط خلفيات عالية الضوضاء مثل القاذفات الشبح في أثناء الطيران.

## ٣- الإنترنت الكمومي:

الإنترنت الكمومي هو إنترنت افتراضي عالي السرعة يوفر اتصالًا فائق الأمان بالأجهزة الكمومية في جميع أنحاء العالم، ومن المتوقع أن يكون الإنترنت الكمومي مستقبلًا عبارة عن مجموعة من الشبكات الضخمة التي تتكون من بنى تحتية كمومية صغيرة تقلصها مسافات طويلة أو حدود دولية، وعلى الرغم من وجود أجهزة كمبيوتر كمومية في العالم المادي، لا يزال مفهوم الإنترنت الكمومي نظريًا، ولا تتوسع الشبكات الكمومية الحالية إلى ما هو أبعد من غرف البحث.

يعتمد الإنترنت الكمومي على ظواهر ميكانيكية الكم، مثل: التراكب، والتشابك، وينفذ بروتوكولات التشفير الكمي لحماية الاتصالات، وسوف يتكامل الإنترنت الكمومي مع الإنترنت الكلاسيكي لإصلاح المشكلات المعقدة وتمكين الاتصال الآمن والحوسبة عالية السرعة.

### جدول رقم (١) مقارنة بين الإنترنت الكمومي والكلاسيكي

| وجه المقارنة | | الإنترنت الكلاسيكي | الإنترنت الكمومي |
|---|---|---|---|
| ١ | وحدة البيانات | البِت (Bit) | الكيوبت (Qubit) |
| ٢ | طريقة التشغيل | مجموعة بروتوكولات IP/TCP | مبادئ ميكانيكا الكم |
| ٣ | التغطية | عالمية | محدودة، مع بعض شبكات الحوسبة الكمومية |
| ٤ | البروتوكولات الأمنية | IPsec, VPN, SSL, SSH, TLS, WPA | الاتصال المباشر الكمي، الأمن الكمي، بروتوكولات التشفير الكمي، QKD |
| ٥ | الموثوقية | عالية، ولكن مع فقدان الحزمة | منخفضة، مع الحاجة المتكررة إلى تصحيح الخطأ |
| ٦ | السرعة | ميجابايت في الثانية إلى جيجابايت في الثانية | نظريًا عالية |
| ٧ | حالة التنفيذ | ٥,٤ مليارات مستخدم عالمي | افتراضية |

Source: Venus Kohli, Classical internet vs. quantum internet: How do they differ? TechTarget, 2024, Available at: https://2u.pw/KxFvi5GS.

## ٤- التشفير الكمومي

يُعد التشفير عملية استخدام صيغ رياضية معقدة لتشفير البيانات وجعلها غير قابلة للقراءة، ويُستخدم التشفير على نطاق واسع في التجارة عبر الإنترنت، والتمويل، وأنظمة الأمن القومي، وبالتالي ستكون أجهزة الكمبيوتر الكمومية -بسرعاتها الكبيرة للغاية- قادرة على إجراء العمليات الحسابية لفك تشفير الرسائل بسرعة بمجرد اعتبارها آمنة، بالإضافة إلى أنها سيكون لديها القدرة على حل المعادلات الرياضية المعقدة بمعدلات أسرع بكثير من أجهزة الكمبيوتر التقليدية؛ مما يسمح بـ "كسر" التشفير، وهو ما يخلق تهديدًا جديدًا للبرامج والخدمات الحالية.

ويُعد التشفير الكمومي علمًا يُطبِّق مبادئ ميكانيكا الكم على تشفير البيانات، فلا يمكن لقراصنة الإنترنت الوصول إلى البيانات، ويتم إنشاء وتنفيذ مهام التشفير المختلفة باستخدام قدرات الحواسيب الكمومية ، فضلًا عن أن أي نظام يستخدم تشفير المفتاح العام الموجود على نطاق واسع في التطبيقات التجارية سيكون عرضة لفك التشفير بواسطة أجهزة الكمبيوتر الكمومية، وفي حين أن هذا غير ممكن الآن، فإن العديد من البلدان تسعى إلى تحقيق هذه القدرة.

# ثانيًا: بعض تطبيقات التكنولوجيا الكمومية

## ١- تطبيقات الحوسبة الكمومية

شهدت تقنيات الحوسبة الكمومية تطورًا مذهلًا في السنوات الأخيرة، وتحولت من كونها مجرد فكرة نظرية إلى حقيقة واقعة، فلم يَعُد السؤال يدور حول "هل" ستحدث ثورة كمومية، بل أصبح "متى" ستحدث وكيف ستغير مجالات حياتنا، وقد تم وصف العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين بأنه "العقد الكمي"، ومن المتوقع أن تصبح حلول الإنتاج الأولى متاحة خلال السنوات المقبلة، وبالتالي بدأ سباق عبر الصناعات لتأمين المواهب الكمومية، وبناء المهارات الكمومية، ورسم خريطة لمشكلات العالم الحقيقي للخوارزميات الكمومية، بالإضافة إلى الاستعداد للحصول على المزايا الكمومية.

### أ- في مجال الصحة والطب

يوجد ثلاث مجالات رئيسة للاستخدام (علم الجينوم والبحوث السريرية، والتشخيص، والعلاجات والتدخلات).

- **علم الجينوم والبحوث السريرية**

أظهرت الأبحاث الحديثة أن وظيفة وعمل الجينوم البشري أكثر تعقيدًا مما كان متصورًا، فالارتباطات بين الجينوم والنتائج معقدة، فعلى سبيل المثال لا توجد عمومًا روابط فردية بين الجينات والأمراض، بالإضافة إلى ذلك فإن مشكلات الأنماط في دراسة الأنماط الفردانية (مجموعة الجينات الموروثة معًا) وتعدد أشكال النوكليوتيدات المفردة (الاختلافات الجينومية في المواضع الأساسية الواحدة بين الناس) سرعان ما تصبح معقدة للغاية، ونتيجة لذلك، هناك اهتمام كبير بتكييف التقنيات الكمومية التي تم تطويرها بالفعل لمشكلات مثل البحث عن السلسلة والمطابقة. وبالإضافة إلى علم الجينوم، هناك مجالات متنوعة من الأبحاث السريرية في علم الأحياء والكيمياء الحيوية التي يبدو أنها مهيأة للاستفادة من المزايا الكمومية المستقبلية.

- **التشخيص**

يمكن أن يؤدي التشخيص المبكر للأمراض إلى علاج أفضل، وفي حين تستخدم التقنيات الحالية أساليب الخلية الواحدة للتشخيص، أصبح هناك حاجة إلى أساليب تحليلية في بيانات تسلسل الخلية الواحدة وقياس التدفق الخلوي. وتتطلب هذه التقنيات أيضًا أساليب متقدمة لتحليل البيانات، وخاصة الجمع بين مجموعات البيانات من تقنيات مختلفة، وتساعد الحوسبة الكمومية في دعم رؤى التشخيص؛ مما يلغي الحاجة إلى التشخيص والعلاج المتكرر، وهو ما يُسهم في توفير المراقبة والتحليل المستمر لصحة الأفراد، باستخدام التشخيص الموسع القائم على البيانات.

- **العلاجات والتدخلات**

تشكل التطبيقات الموضحة في مجالي "علم الجينوم والأبحاث السريرية" بالإضافة إلى "التشخيص"، الأساس للعلاجات والتدخلات المخصصة، ومع استمرار تقدم التكنولوجيات الكمومية وانتشارها، هناك أمل في أن تتمكن من تسريع عملية اكتشاف الأمراض، فضلًا عن تمكين التقدم في بعض أكثر مشكلات العلاج والتدخل الطبي تعقيدًا. ويُعَد علم الأورام الدقيق مثالًا واضحًا على ذلك، ففي الوقت الحالي لا يستجيب سوى ثلث الأفراد للعلاجات القائمة على الأدوية للسرطان، وقد تم بدء العمل بالفعل على الاستفادة من الخوارزميات الكمومية لغرض الحصول على رؤى قابلة للتنفيذ من مثل هذه البيانات وفي النهاية تصميم علاجات السرطان، وأحد أهم التطبيقات الواعدة هو العلاج الإشعاعي التكيفي.

## ب- التصنيع والتصميم الصناعي

يتطلب التصنيع تخطيطًا دقيقًا وعمليات وتصميمات فعالة لإنتاج منتجات عالية الجودة، ويحتاج المصممون الصناعيون إلى النظر في متغيرات متعددة لصياغة منتج عملي، وهذا مهم بشكل خاص في الآلات والنقل والإلكترونيات، فعلى سبيل المثال: يحتاج المصممون غالبًا إلى عدة مسودات عند تصنيع طائرة نفاثة عالية السرعة، تضمن هذه العملية حصولهم على تصميم الجناح الأكثر كفاءة للسرعات العالية، وينطبق أيضًا على الأجزاء الرئيسة الأخرى بالجهاز. وتظهر أهمية الحوسبة الكمومية في أنها يمكن أن تساعد المصممين على استكشاف الاحتمالات المختلفة بشكل أسرع، كما تساعدهم في توفير الوقت وإنشاء تصميمات أفضل لمنتج أفضل، هذا بالإضافة إلى مساعدة الشركات المصنعة على استكشاف الأخطاء وإصلاحها، فيمكن إعطاء الكمبيوتر الكمي بيانات حول فشل الجهاز للمساعدة في اكتشاف المشكلات الكامنة والعمل على إصلاحها.

## ج- التمويل

سيشهد العالم في السنوات القادمة نموًّا كبيرًا في استخدامات التكنولوجيا الكمومية في مجالات مختلفة، فوفقًا لتوقعات سوق الحوسبة من المتوقع أن يشهد قطاع الخدمات المصرفية والمالية والتأمين تغييرات هيكلية في عمليات تقييم المخاطر والكشف عن الاحتيال إلى تحسين استراتيجيات التداول وإدارة المحافظ، كما سيستفيد القطاع من التكنولوجيا الناشئة في القدرة على التعامل مع البيانات الضخمة والمعقدة ومعالجتها بدقة وبسرعات كانت تعتبر في الماضي غير قابلة للتحقيق، كما يمكن لخوارزميات التكنولوجيا تحليل كم هائل من البيانات الفعلية؛ مما يوفر رؤى استباقية ويتيح تنبؤات أكثر دقة، وبذلك تكتسب هذه القدرة أهمية بالغة في الأسواق المالية؛ إذ يمكن أن تكون للقرارات المتخذة في أجزاء من الثانية عواقب وخيمة، ولذلك تستكشف المؤسسات المالية الحلول الكمومية لاكتساب ميزة تنافسية، وتعزيز تدابير الأمان، وتحسين خدمة العملاء.

## د- نمذجة الطقس

ستحدث الحوسبة الكمومية جنبًا إلى جنب مع الذكاء الاصطناعي ثورة في نمذجة الطقس؛ مما يجعل التنبؤ بالطقس أسرع وأكثر دقة، وبمجرد اعتماد الخوارزميات الكمومية لعمليات المحاكاة المعقدة والذكاء الاصطناعي للتعرف على الأنماط، يصبح بوسع العلماء توليد تنبؤات جوية فائقة الدقة؛ مما يؤدي إلى استعداد أفضل للكوارث، والتخطيط الأمثل، واستخدام أكثر فعالية للطاقة المتجددة.

## ر- علم الثقوب السوداء

هناك روابط عميقة بين الحوسبة الكمومية ونظرية المعلومات الكمومية وعلم الثقوب السوداء، فوفقًا لمقال صادر عن "Forbes" في غضون عقدين من الزمن ستكون أجهزة الكمبيوتر الكمومية واسعة النطاق المتسامحة مع الأخطاء قد فتحت مجال الجاذبية الكمية؛ مما سيعمق فهمنا للكون على المستوى الأكثر تفصيلًا.

## هـ- أمن البيانات والتشفير

غيرت الحوسبة الكمومية بالإضافة إلى الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي صناعات متعددة فيما يتعلق بأمن البيانات وتشفيرها وتحديدًا في مجال تكنولوجيا المعلومات من خلال بناء تقنيات تشفير أكثر أمانًا، عن طريق استخدام المفاهيم الكمومية كالتراكب والتشابك، وبالتالي سنتمكن من إنشاء مفاتيح تشفير أقوى ومكافحة التهديدات الإلكترونية المتطورة بشكل متزايد.

## و- الخدمات اللوجستية

تعتبر الخدمات اللوجستية صناعة حساسة للوقت والموقع، وهناك الكثير من العوامل التي يجب مراعاتها عند نقل شيء ما من مكان إلى آخر، منها: سلاسل التوريد، وتوافر المركبات، وحركة المرور، وتوقعات العملاء. ويمكن أن تساعد الحوسبة الكمومية الشركات في اكتشاف أفضل الطرق لكل شحنة، وتأخذ هذه التكنولوجيا أيضًا في الاعتبار عوامل الحياة الواقعية، كالطقس وحركة المرور، وبالتالي يمكن أن يؤدي اعتماد التكنولوجيا الكمومية إلى الوفاء بمعايير العملاء فيما يتعلق بالخدمات اللوجستية.

## ي- الحلول الاستشارية

وفقًا لتحليل صناعة الحوسبة الكمومية، استحوذ قطاع الحلول الاستشارية على أكبر حصة سوقية في عام ٢٠٢٢، ويُعزى هذا التطور إلى التعقيدات والمعرفة المتخصصة المطلوبة لتسخير قوة تقنيات الكم. ومع إدراك الشركات في مختلف القطاعات للإمكانات التحويلية للحوسبة الكمومية، فإنها تسعى إلى الحصول على إرشادات الخبراء لفهم وإدارة هذا السياق المعقد؛ إذ توفر الشركات الاستشارية المتخصصة في مجال الحوسبة الكمومية خدمات قيمة، مثل: تقييم جاهزية المؤسسات لتبني الحوسبة الكمومية، وتزويدها بفهم عميق للخوارزميات الكمومية، وتطوير استراتيجيات مخصصة لدمج الحلول الكمومية في البنى التحتية الحالية. وتعتبر الاستراتيجيات الكمية أحد المحركات الرئيسة للنمو في قطاع الاستشارات، ونظرًا لاختلاف تحديات كل قطاع في الصناعة؛ تقوم الشركات الاستشارية بدور حيوي في وضع خرائط طريق مخصصة للتكامل الكمومي.

## ٢- بعض تطبيقات التشفير الكمي

**أ- المعاملات المالية:** يوفر التشفير الكمي قناة اتصال آمنة للمعاملات المالية؛ مما يجعل من الصعب على مجرمي الإنترنت اعتراض المعلومات المالية الحساسة وسرقتها.

**ب- الاتصالات العسكرية والحكومية:** يمكن للوكالات العسكرية والحكومية استخدام التشفير الكمي لتوصيل المعلومات الحساسة بشكل آمن.

**ج- الرعاية الصحية:** يتم استخدام التشفير الكمي لتأمين بيانات الرعاية الصحية، بما في ذلك سجلات المرضى والأبحاث الطبية.

**د- إنترنت الأشياء (IOT):** يمكن استخدام التشفير الكمي لتأمين قنوات الاتصال الخاصة بأجهزة إنترنت الأشياء المعرضة للهجمات السيبرانية بسبب قوتها الحاسوبية المنخفضة.

# ثالثًا: تحديات التكنولوجيا الكمومية

## ١- التحديات التي تواجه الحوسبة الكمومية

- **فك الترابط وتخفيف الأخطاء:** تعتبر الحالات الكمومية حساسة ويمكن تعطيلها بسهولة بواسطة بيئتها؛ مما يؤدي إلى حدوث أخطاء.
- **التداخل:** تُظهر الأنظمة الكمومية ظاهرة التداخل؛ حيث تتداخل تراكبات البِتات الكمومية بشكل هدام أو بناء؛ مما يؤثر على نتائج الحساب.
- **التكلفة:** يُعد تطوير وصيانة الحوسبة الكمومية مكلفًا؛ لذلك تركز الجهود البحثية على تقليل تكاليف الأجهزة وتحسين تخصيص الموارد.
- **قابلية التوسع:** يُعَد بناء أجهزة كمبيوتر كمومية واسعة النطاق ومتسامحة مع الأخطاء تحديًا كبيرًا أيضًا.
- **نقص القوى العاملة الماهرة:** حيث تتطلب الحوسبة الكمومية مجموعة مهارات متخصصة.

## ٢- تحديات التشفير الكمي

على الرغم من أن التشفير الكمي يُعَد تقنية واعدة، فإنه لا يخلو من التحديات، وهي كالتالي:

- **التكلفة:** يُعَد التشفير الكمي تقنية باهظة الثمن تتطلب معدات وبنية تحتية متخصصة؛ مما يجعل من الصعب تنفيذها على نطاق واسع.
- **قيود المسافة:** للتشفير الكمي قيود على المسافة، بسبب طبيعة التشابك الكمي؛ مما يعني أنه يقتصر حاليًا على الاتصالات قصيرة المدى.
- **التنفيذ العملي:** لا يزال تنفيذ التشفير الكمي في سيناريوهات العالم الحقيقي في مراحله الأولى، وهناك حاجة إلى مزيد من البحث والتطوير لجعله أكثر عملية وقابلية للتطور.
- **التعقيد:** التشفير الكمي هو تقنية معقدة تتطلب معرفة ومهارات متخصصة لتنفيذها وصيانتها.

# القسم الثاني:
# توجهات الدول نحو تبني التكنولوجيا الكمومية

Q bits
QUBITS
IN OUPERPOSITION
& ENTANGATION

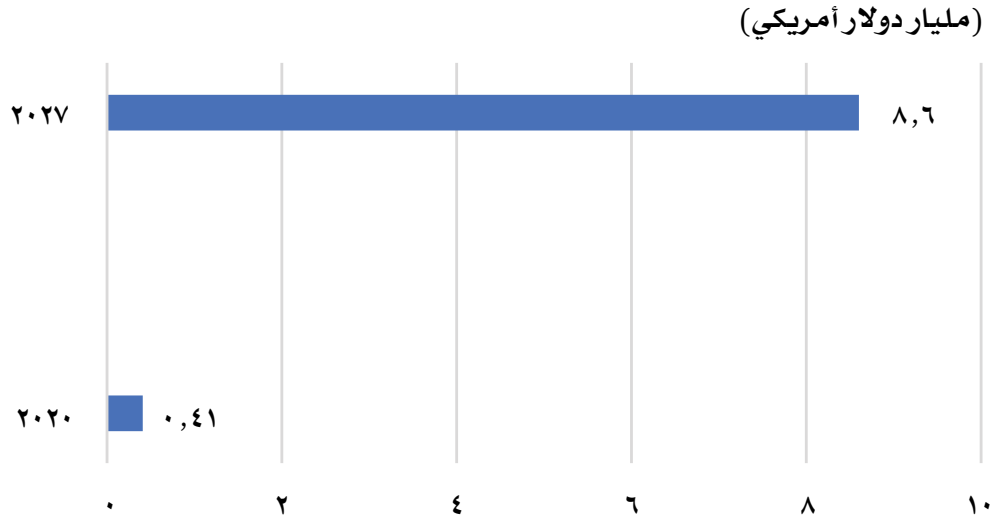
# أولًا: سوق الحوسبة الكمومية

## ١- رؤى السوق الرئيسة

يشهد سوق الحواسيب الكمومية تطورات سريعة مدفوعة بالتقدم في تكنولوجيا الحوسبة الكمومية وزيادة الاهتمام بتقنيات الكم في مختلف الصناعات. كما تتمتع التكنولوجيا بقدرتها الفائقة على حل المشكلات المعقدة بسرعة غير مسبوقة؛ لذلك يعتبر اهتمام الشركات بالتكنولوجيا كبيرًا من أجل تعظيم الاستفادة من هذه القدرات التي تتمتع بها التكنولوجيا. وفي الوقت ذاته، تنمو السوق بفضل التطبيقات المتنوعة مثل: التحسين، والذكاء الاصطناعي، والتشفير، واكتشاف الأدوية، والنمذجة المالية، وتغطي مجالات الفضاء والدفاع والرعاية الصحية والتمويل والتصنيع.

بلغ حجم سوق الحوسبة الكمومية العالمية ٨٨٥,٤ مليون دولار أمريكي في عام ٢٠٢٣، ومن المتوقع أن يستمر في النمو ليصل إلى ١٢,٦٢٠ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٣٢، وذلك بمعدل نمو سنوي مركب قدره ٣٤,٨٪ خلال الفترة المتوقعة (٢٠٢٤ - ٢٠٣٢).

**شكل رقم (١)، الحجم المتوقع لسوق الحوسبة الكمومية في جميع أنحاء العالم في عامي ٢٠٢٠ و٢٠٢٧**




المصدر: بيانات "Statista"، الحجم المتوقع لسوق الحوسبة الكمومية في جميع أنحاء العالم في عامي ٢٠٢٠ و٢٠٢٧.

وبالتالي، يتضح من خلال الشكل السابق أنه بلغت قيمة السوق للحوسبة الكمومية في جميع أنحاء العالم ٠,٤١ مليار دولار أمريكي في عام ٢٠٢٠، ومن المتوقع أن تصل إيرادات سوق الحوسبة الكمومية العالمية إلى ٨,٦ مليارات دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٢٧.

## ٢- بعض الشركات الرائدة في الحوسبة الكمومية

على الرغم من ظهور العديد من الشركات الناشئة المبتكرة في مشهد الحوسبة الكمومية، فقد أثبتت العديد من شركات الصناعة العملاقة أنفسها كرواد في هذا المجال، وفيما يلي لمحة عن أفضل شركات الحوسبة الكمومية التي تدفع هذه التكنولوجيا إلى الأمام:

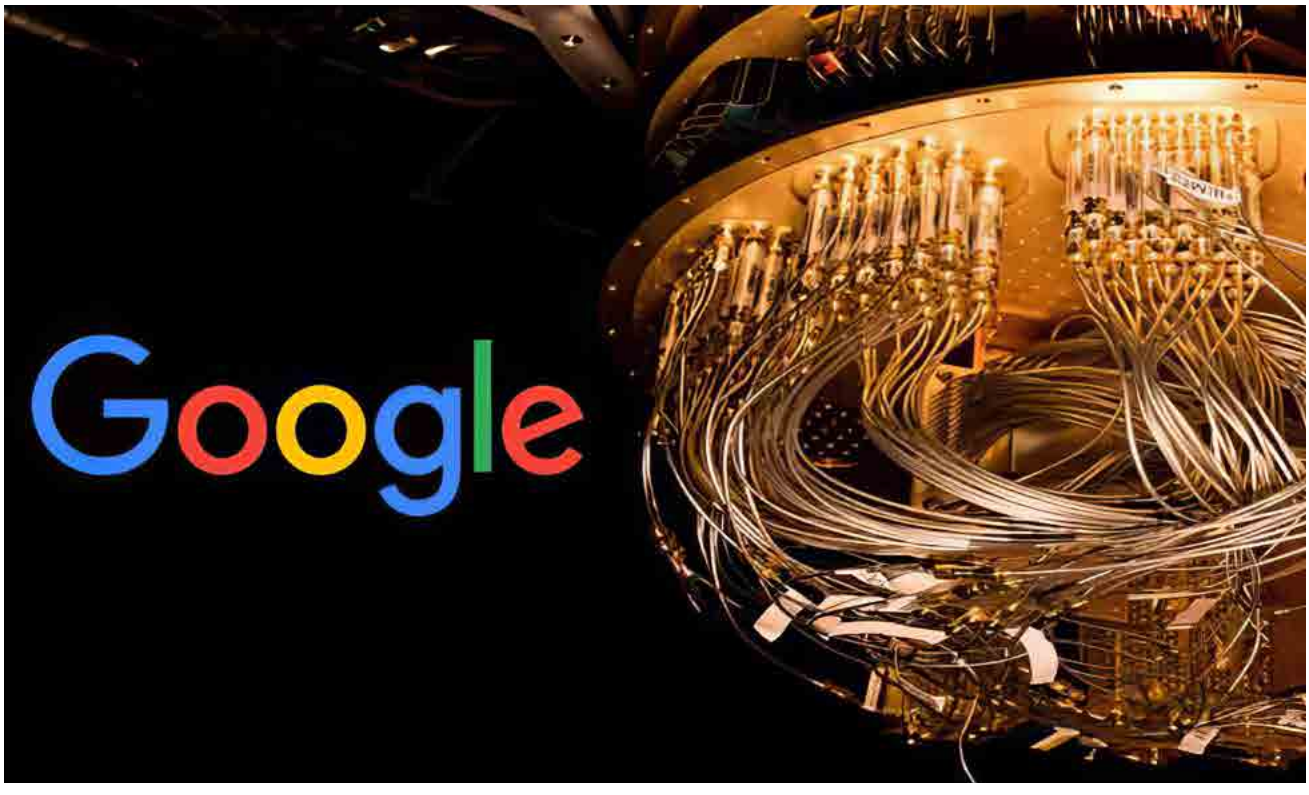
### ١- شركة "آي بي إم" (IBM)

تأسست شركة IBM عام ١٩١١ في نيويورك على يد رجل الأعمال "تشارلز رانليت فلينت"، وتُعتَبر أحد عمالقة التكنولوجيا العالمية في مجال استكشاف الكم ، وفي عام ٢٠٢٢ أطلقت نظام "Quantum System Two"، وهو جهاز كمبيوتر كمومي معياري يعمل بشريحة من صنع IBM تسمى Heron، تعمل الشريحة على تحسين "تصحيح الأخطاء" ومكافحة فك الاتساق –وهي ظاهرة تؤدي إلى فقدان الحالات الكمومية في النظام الكمي–، وكشفت الشركة عن Condor، وهو معالج كمومي فائق التوصيل بقدرة ١١٢١ كيوبت، وتأمل شركة IBM في إنتاج ١٠٠ ألف نظام كيوبت كمي بحلول عام ٢٠٣٣. تجدر الإشارة إلى أنه من المقرر أن تنتهي شركة IBM Quantum من بناء مركز بيانات كمومي جديد في ألمانيا على أن يتم ذلك في العام الجاري ٢٠٢٤، وهو ما يعني إدخال موارد الحوسبة الكمومية المحلية إلى أوروبا.

## ٢- شركة "جوجل إيه آي " (Google Quantum AI)

تعمل شركة Google Quantum AI بنشاط على دفع حدود قدرات الحوسبة الكمومية، وقد تأسس مختبر الذكاء الاصطناعي -الذي يعتبر المركز المحوري لجهود Google الكمومية، وهو مبادرة تم تنفيذها بشكل تعاوني من قبل Google وNASA ورابطة أبحاث الفضاء بالجامعات- في عام ٢٠١٣، ولعب دورًا محوريًّا في الإعلان المهم عن المطالبة بالتفوق الكمي في أكتوبر ٢٠١٩، وتم تصميم عروض برامج وأجهزة Google خصوصًا لتطوير خوارزميات كمومية مبتكرة تهدف إلى معالجة المشكلات العملية الفورية، ومن بين هذه الجهود Cirq، وهي مكتبة برمجيات Python تسهل إنشاء الدوائر الكمومية ومعالجتها وتحسينها، والتي يمكن تنفيذها لاحقًا على أجهزة الكمبيوتر الكمومية وأجهزة المحاكاة، بالإضافة إلى ذلك تُعَد OpenFermion جزءًا من المجموعة، وهي مكتبة مخصصة لتجميع وتحليل خوارزميات الكم لمحاكاة الأنظمة الفرميونية، لا سيما في كيمياء الكم، بالإضافة إلى ذلك، يعمل TensorFlow Quantum (TFQ) كمكتبة للآلة الكمومية؛ مما يسرع عملية إعداد النماذج الأولية لنماذج التعلم الآلي الكمومية الكلاسيكية الهجينة.

وبتوجيه من المدير الهندسي هارتموت نيفين، فيوجد لدى Google Quantum AI مهمة واضحة لقيادة الأبحاث حول كيفية تقاطع الحوسبة الكمومية مع التعلم الآلي ومعالجة التحديات المعقدة في علوم الكمبيوتر، وتُعد خارطة الطريق الكمومية-المخطط لها بدقة- أحد المكونات الأساسية لاستراتيجية Google، وقد حقق باحثو الذكاء الاصطناعي الكمومي من Google إنجازًا بارزًا من خلال تقليل أخطاء الحوسبة الكمومية عن طريق زيادة الكيوبتات، والتحول إلى التعامل مع الكيوبتات المادية المتعددة ككيوبت منطقي واحد، وتحسين الأداء، كما هو موضح في منشور مدونة الشركة الذي كتبه الرئيس التنفيذي للشركة في فبراير عام ٢٠٢٤.



## ٣- شركة "مايكروسوفت" (Microsoft)

تُعَد شركة مايكروسوفت منافسًا رئيسًا آخر في هذا المجال كرائدة للنظام البيئي للحوسبة الكمومية السحابية العامة، ويشمل هذا النظام البيئي مجموعة من الحلول والبرامج والأجهزة يمكن الوصول إليها جميعًا من خلال منصة Azure . هذا، ويدور نهج مايكروسوفت حول بناء كمبيوتر كمومي طوبولوجي قائم على الكيوبت معروف بقدراته على الاستقرار وتصحيح الأخطاء، بالإضافة إلى ذلك تبحث "مايكروسوفت كوانتم" (Microsoft Quantum) في البرامج والخوارزميات الكمومية، وتقدم مجموعة تطوير الكم لبرمجة ومحاكاة الخوارزميات الكمومية باستخدام لغة Q#. ومن خلال التعاون مع المؤسسات الأكاديمية وشركاء الصناعة، تهدف مايكروسوفت إلى دفع الابتكار في الحوسبة الكمومية واستكشاف تطبيقات جديدة عبر مختلف المجالات.

## ٤- "أمازون" (Amazon)

تُعَد Amazon Web Services (AWS)، وهي شركة تابعة لـ Amazon.com، لاعبًا مهمًّا في خدمات الحوسبة السحابية، وفي حين أن AWS لا تشارك بشكل مباشر في تطوير الأجهزة الكمومية، إلا أنها تقدم ما يُعرف بـ (Braket)، وهي خدمة قائمة على السحابة تدعم أبحاث الحوسبة الكمومية، وتوفر Braket الوصول إلى الموارد الكمومية؛ مما يسمح للباحثين بتجربة الخوارزميات باستخدام أجهزة المحاكاة والأجهزة الكمومية الحقيقية، بالإضافة إلى ذلك تقدم AWS خدمات سحابية مختلفة وتدعم مطوري الكم من خلال التدريب والموارد التعليمية؛ مما يُسهم بشكل كبير في النظام البيئي للحوسبة الكمومية.

## ٥- "إنتل" (Intel)

تعمل إنتل على تقديم نظام كمي تجاري كامل، وأصدرت مؤخرًا شريحة سيليكون بسعة ١٢ كيوبت، تسمى Tunnel Falls، تهدف إلى تطوير أبحاث كيوبت حول السيليكون، بالإضافة إلى ذلك تخطط الشركة لدمج الشريحة في مجموعتها الكمومية الكاملة مع مجموعة تطوير برامج إنتل الكمومية، كما تخطط لإطلاق شريحة كم من الجيل التالي في العام الجاري ٢٠٢٤ وأعلنت عن شراكة مع جامعة شيكاغو وجامعة طوكيو لتعزيز تطوير كمبيوتر كمي يتحمل الأعطال. وعلاوة على ذلك، تتعاون إنتل مع مختبر العلوم الفيزيائية (LPS) في جامعة ماريلاند، ومركز Qubit Collaboratory (LQC) التابع لجامعة كوليدج بارك، وهو مركز أبحاث وطني متميز في علوم المعلومات الكمومية؛ وذلك لدفع عجلة التقدم في أبحاث الحوسبة الكمومية.

## ٦- شركة "هياتشي" (Hitachi)

تعمل شركة هياتشي المحدودة، والتي يقع مقرها الرئيس في طوكيو باليابان، على استكشاف إمكانات الحوسبة الكمومية، ويتضمن نهج الشركة جهود البحث والتطوير للاستفادة من المبادئ الكمومية لحل المشكلات الحسابية المعقدة بشكل أكثر كفاءة، كما تهدف الشركة إلى تطوير أنظمة حوسبة كمومية قابلة للتطوير تعالج تحديات العالم الحقيقي في مختلف الصناعات، وتتضمن رؤية هياتشي بناء نظام بيئي شامل للحوسبة الكمومية لتمكين الاختراقات في العلوم والتكنولوجيا والأعمال، والإسهام -في نهاية المطاف- في التقدم المجتمعي.

## ٧- شركة (D-Wave)

تعتبر شركة D-Wave من أبرز الشركات الرائدة في مجال التكنولوجيا الكمومية؛ إذ تتخصص الشركة في التلدين الكمي ، وبمساعدة تلك التقنية طورت الشركة نسخ كمبيوتر كمومي تجاري بناءً على هذا النهج. وتستفيد معالجات D-Wave الكمومية، المعروفة باسم وحدات المعالجة الكمومية (D-Wave (QPUs، من تلدين الكم لحل مشكلات التحسين؛ إذ تم تصميم هذه الآلات لمواجهة التحديات الحسابية المعقدة عبر مختلف الصناعات، بما في ذلك التمويل والرعاية الصحية والخدمات اللوجستية. دخلت D-Wave في شراكة مع المؤسسات الأكاديمية ومختبرات الأبحاث وقادة الصناعة لتعزيز أبحاث الحوسبة الكمومية واستكشاف تطبيقات جديدة، كما تواصل D-Wave دفع حدود التكنولوجيا الكمومية ودفع الابتكار في هذا المجال.

## ٣- إيرادات الشركات الرائدة في سوق الحوسبة الكمومية

يعمل التعاون بين شركات التكنولوجيا والمؤسسات البحثية على تسهيل تسويق الحوسبة الكمومية؛ مما يعزز نمو السوق، وفيما يلي جدول يوضح إيرادات الشركات الرائدة في سوق الحوسبة الكمومية.

### جدول رقم (٢)، إيرادات الشركات الرائدة في سوق الحوسبة الكمومية

| الشركة | الإيرادات (مليار دولار) | السنة |
|---|---|---|
| Google AI | 279.8 | 2022 |
| Microsoft | 211.9 | 2023 |
| Hitachi | 80.4 | 2023 |
| Amazon | 80.1 | 2022 |
| IBM | 61.8 | 2023 |
| Intel | 54.2 | 2023 |
| D- Wave | 7.2 | 2022 |

Source: Tajammul Pangarkar, Top 10 Quantum Computing Companies | Quick Better Computations, Market. Us Scoop, 2024, available at: https://scoop.market.us/top-10-quantum-computing-companies/

وبالتالي يتضح من الجدول السابق أن شركة (Google AI) قد حققت أعلى إيرادات في سوق الحوسبة الكمومية؛ فقد حققت ٢٧٩,٨ مليار دولار، تليها شركة مايكروسوفت بنسبة ٢١١,٩ مليار دولار في عام ٢٠٢٣.

# ثانيًا: الصراع العالمي التنافسي على التكنولوجيا الكمومية

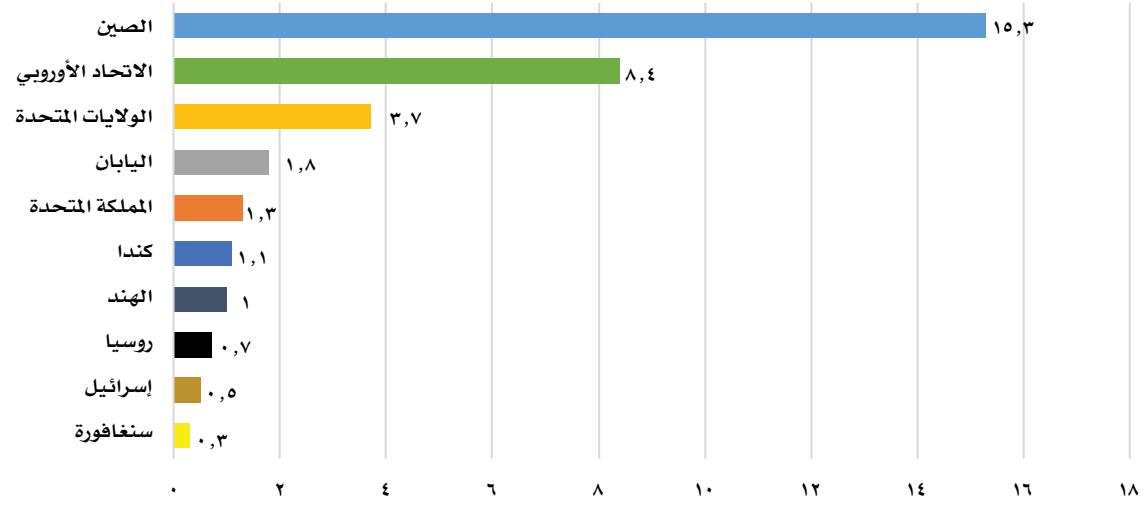
## الصين

تُضاعِف الصين جهودها في عهد الرئيس "شي جين بينج" لتصبح رائدة ومنافسة في مجال التكنولوجيات الاستراتيجية المتقدمة، وتستثمر بتركيز كبير في التقنيات الكمومية الناشئة، التي تستفيد من خصائص ميكانيكا الكم لإحداث ثورات في مجالات كالاستشعار والاتصالات والحوسبة. على الرغم من أن الكثير من هذه التقنيات ما زال قيد التطوير، فإن الباحثين الصينيين يحرزون تقدمًا ملحوظًا وقد أصبحوا من الفاعلين الأساسيين في ميدان التقنيات الكمومية، وقد استطاعت الصين، وبالأخص في مجال الاتصالات الكمومية، أن تثبت نفسها كقائد عالمي.

### النهج المتبع من الصين تجاه التكنولوجيا الكمومية

تتبع الصين استراتيجية مميزة تقودها الدولة لتمويل وتطوير التقنيات الكمومية، في تناقض واضح مع النموذج الأمريكي الذي يغلب عليه قيادة القطاع الخاص؛ إذ استثمرت الحكومة الصينية مبالغ ضخمة في هذا المجال، وعلى الرغم من عدم توفر أرقام دقيقة، فإن الأرقام تشير إلى تفوق الصين في الإنفاق الحكومي على التقنيات الكمومية. فوفقًا لتقديرات ماكينزي، بلغ إجمالي التمويل الذي أعلنت عنه الصين حتى عام ٢٠٢٢ نحو ١٥,٣ مليار دولار، ما يقارب ضعف ما خصصه الاتحاد الأوروبي والمقدر بـ ٨,٤ مليارات دولار، وأكثر من ثلاثة أضعاف ما خصصته الولايات المتحدة والمقدر بـ ٣,٧ مليارات دولار. وعلى الجانب الآخر تلقت الشركات الناشئة في الصين استثمارات تُقدَّر بـ ٤٨٢ مليون دولار أمريكي من القطاع الخاص خلال الفترة من ٢٠٠١ إلى ٢٠٢٢، وتُظهر هذه الأرقام تأخر الصين مقارنةً بالولايات المتحدة، التي حصلت على ٣,٣ مليارات دولار من الاستثمارات الخاصة، وهي الأعلى عالميًا كما تجاوزت كندا والمملكة المتحدة الصين بمراحل؛ حيث بلغت استثمارات كل منهما ١,١ مليار دولار أمريكي.

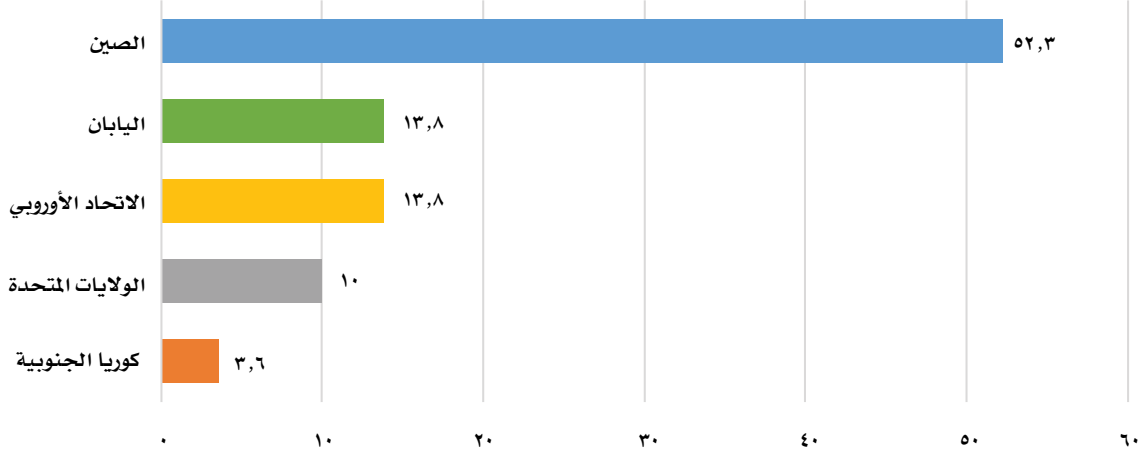
**شكل رقم (٢)، حجم الاستثمارات العالمية في تكنولوجيا الكم (٢٠٢٢ - ٢٠٢٣) (مليار دولار أمريكي)**



## مؤشر "H" لتقييم تفوق الدول في مجال تكنولوجيا الكم

يستخدم مؤشر "H" لتقييم تفوق الدول في مجال تكنولوجيا الكم؛ حيث يأخذ في الاعتبار عدد براءات الاختراع والأوراق العلمية المنشورة، ويعكس هذا المؤشر النشاط البحثي والابتكاري للدولة في هذا المجال الحيوي والمتقدم، ويمكن أن يشير إلى مدى التزامها بالبحث والتطوير في تكنولوجيا الكم.

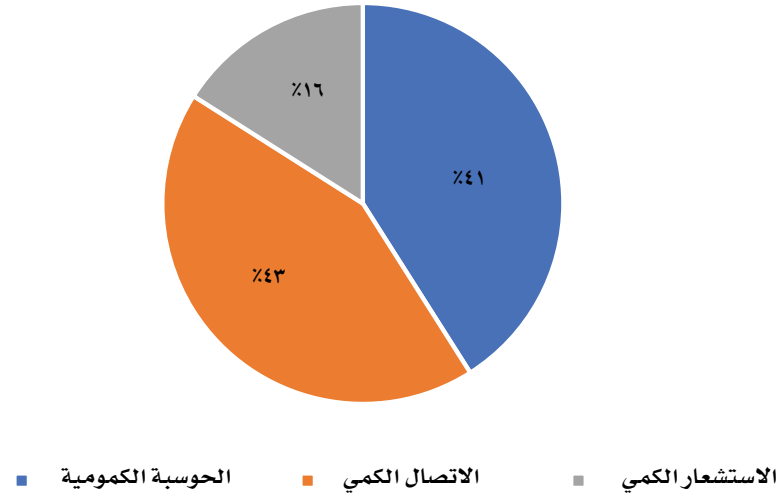
**شكل رقم (٣)، مؤشر "H" لتكنولوجيا الكم حسب الدولة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٢)**




تُعد براءات الاختراع مؤشرًا جيدًا على مستوى الابتكار والاستثمار للدول، وللمؤسسات، والشركات الأكاديمية في تكنولوجيا معينة على المستوى العالمي أو الإقليمي؛ إذ تسيطر الشركات والمؤسسات الأكاديمية الأمريكية بالإضافة إلى الشركات الصينية واليابانية على مساحة التكنولوجيا الكمومية للاختراعات الحاصلة على براءة اختراع، والشكل السابق عرضه يوضح صدارة الدول العالمية في تقديم براءات الاختراع؛ حيث تهيمن الصين على المشهد العالمي، وتليها اليابان ثم الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة الأمريكية ثم كوريا الجنوبية.

وتبرز الصين كقوة رائدة في مجال تكنولوجيا الكم، محققةً إنجازات ملحوظة في نشر الأوراق البحثية والاتصال الكمي، ومع ذلك تواجه الصين تحديات جديدة تتمثل في القيود التي تفرضها الولايات المتحدة الأمريكية؛ حيث أدرجت وزارة التجارة الأمريكية عام ٢٠٢١ ثلاث شركات صينية متخصصة في التكنولوجيا الكمومية على قائمة الكيانات المحظورة، كما أعلنت الإدارة الأمريكية في أغسطس ٢٠٢٣ عن قيود جديدة على الاستثمارات الأمريكية في التقنيات الكمومية بالصين ؛ مما يعوق تقدمها في مجالات تقنية حيوية.

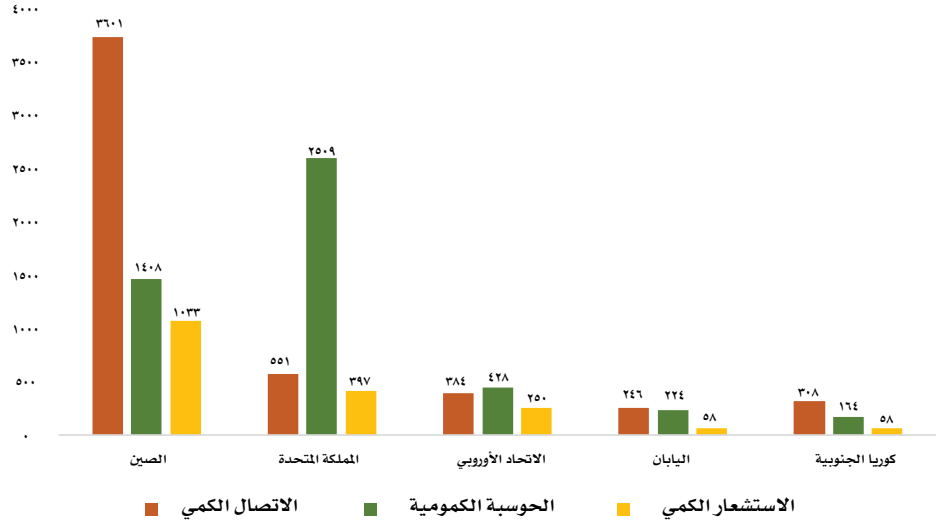
## شكل رقم (٤)، المشهد العالمي لبراءات الاختراع لتقنيات الكم حسب القطاع




Source: A Portrait of the Global Patent Landscape in Quantum Technologies, European quantum industry consortium.

يوضح الشكل السابق عرضه سيطرة الاتصال الكمي في براءات الاختراع بنسبة ٤٣٪ أي نحو ٥٣٦٦ براءة اختراع، ثم الحوسبة الكمومية بنسبة ٤١٪ أي ما يعادل ٥٠٤٠ براءة اختراع، والاستشعار الكمي بنسبة ١٦٪ أي ما يعادل ٢٠٣٣ براءة اختراع.

## شكل رقم (٥)، المساهمات النسبية لكل دولة في قطاعات التكنولوجيا الكمومية (براءات الاختراع)

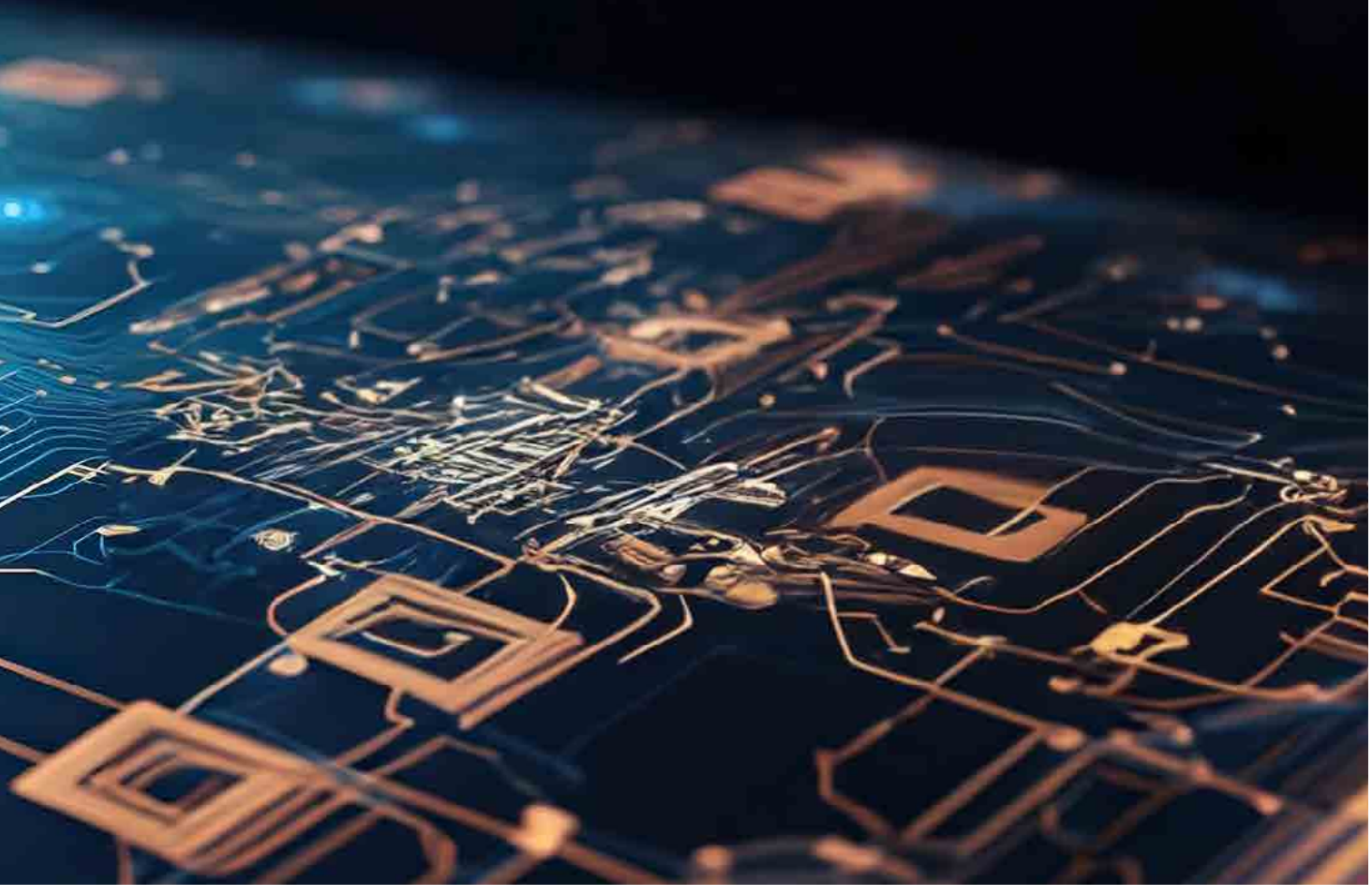



Source: A Portrait of the Global Patent Landscape in Quantum Technologies, European quantum industry consortium. consortium.

يُظهر الشكل السابق توزيع عدد براءات الاختراع لكل تقنية كمومية حسب اهتمام الدولة؛ حيث تركز الصين بشكل أساسي على الاتصال الكمي، بينما تركز الولايات المتحدة الأمريكية على الحوسبة الكمومية، ومن ناحية أخرى فإن أوروبا لا تركز بصفة محددة على قطاع بعينه؛ حيث يتميز التوزيع بالتوازن بين القطاعات الثلاثة، بينما يُلاحظ أن الاستشعار الكمومي في المناطق الأخرى، مثل اليابان وكوريا الجنوبية، أقل تطورًا مقارنة بباقي الدول.

## ثالثًا: واقع التكنولوجيا الكمومية في الشرق الأوسط

تهتم منطقة الشرق الأوسط بشكل متزايد بتكنولوجيا الكم، وعلى الرغم من أن حجم الاستثمار قد لا يُقارن بالدول الرائدة الأخرى (الولايات المتحدة والصين)، فإن المنطقة تشهد تطورًا سريعًا؛ إذ تتبنى المنطقة استراتيجية تركز على قطاعات حيوية مثل الطاقة وعلوم الحياة والتمويل؛ حيث تُظهر إمكانات عالية لتحقيق قيمة مضافة كبيرة، وتُعد الإمارات العربية المتحدة مثالًا بارزًا على الاهتمام المتنامي بالحوسبة الكمية، وهو ما يتضح في تنظيم فعاليات مثل "إنترسك ٢٠٢٤ "في دبي الذي يركز على التشفير الكمي، ومؤتمر الكم للتمويل في أبو ظبي، كما شهدت الدولة تقدمًا ملحوظًا في مجال الحوسبة الكمية، مما مكَّنها من البروز كقوة رائدة في إدارة رأس المال على الصعيدين الإقليمي والعالمي، وتمتلك الإمارات مركزًا للبحث الكمي، وقد استثمرت قطر مبلغًا قدره ١٠ ملايين دولار –من الحكومة القطرية– في مركز قطر للحوسبة الكمية . ومن جانب آخر قامت المملكة العربية السعودية بتخصيص استثمارات تُقدر بـ ٦,٤ مليارات دولار في التكنولوجيا الكمومية ، مع الاعتراف بالدور الحاسم الذي تلعبه الحوسبة الكمية في تحقيق الريادة في التكنولوجيات المستقبلية، كما تُعد جامعة الملك عبد الله للعلوم والتكنولوجيا رائدة في مجال البحث الكمي، ومن المتوقع أن تنشأ المملكة مجلسًا خاصًا للحوسبة الكمية.



وتُظهر البيانات أن الاستثمارات الرئيسة في الشرق الأوسط تُركز على الحوسبة الكمية، وتُعتَبر السعودية والإمارات وقطر من الدول الرائدة في هذا المجال، ويمكن الإشارة إلى أن هذه الدول قد استثمرت بفعالية في بحوث وتطوير الحوسبة الكمية خلال السنوات القليلة الماضية، من خلال إنشاء مراكز بحثية، والتعاون مع قادة التكنولوجيا العالميين، وإدماج الحوسبة الكمية ضمن استراتيجياتها الوطنية للتكنولوجيات المستقبلية.

# القسم الثالث:
## مستقبل التكنولوجيا الكمومية في مصر

تسعى الحكومة المصرية جاهدة إلى تعزيز مكانتها في مجال التكنولوجيا من خلال تبني استراتيجيات ومبادرات تهدف إلى تطوير البنية التحتية الرقمية وتحفيز الابتكار التكنولوجي؛ إذ تركز رؤية مصر ٢٠٣٠ على تحقيق التنمية المستدامة من خلال الاستخدام الفعّال للتكنولوجيا، وهو ما يتضح في استراتيجية الذكاء الاصطناعي والثورة الصناعية الرابعة. وتشمل الجهود الحكومية مشروعات ضخمة، وإنشاء مراكز تكنولوجية متطورة، بالإضافة إلى تحديث المناهج التعليمية لتشمل أحدث التقنيات. كما تسعى الحكومة إلى جذب الاستثمارات الأجنبية في قطاع التكنولوجيا من خلال توفير بيئة استثمارية محفزة وداعمة للابتكار. هذا، ويُسهم قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في ترسيخ مكانة مصر كمركز عالمي للتكنولوجيا، مدعومًا بوجود بنية تحتية قوية تشمل ٢٠ كابلًا بحريًا و١٦ محطة إنزال، إلى جانب توافر أسرع إنترنت ثابت في إفريقيا ومعدل انتشار للهاتف المحمول بنسبة ١٠٠٪.

تنفذ الدولة العديد من المشروعات الرئيسة التي تعكس التزام مصر بمواكبة التقدم التكنولوجي، بما في ذلك توصيل كابلات الألياف الضوئية إلى ٩,٣ ملايين مبنى، وإنشاء مدينة المعرفة، ونشر مراكز إبداع مصر الرقمية في مختلف المحافظات. وتمثل هذه المبادرات دافعًا قويًا للشركات العالمية للاستثمار في السوق المصرية، وتعزز من ريادة مصر في سوق تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في المنطقة. تعتبر "التكنولوجيا الكمومية" خطوة مهمة نحو فهم وتبني هذه المجال المتقدم؛ حيث تُعد من أكثر المجالات الواعدة القادرة على إحداث ثورة في العديد من القطاعات مثل: الصحة والأمن والصناعة، من خلال الاستثمار في البحث والتطوير في هذا المجال، ويمكن لمصر تحقيق قفزات نوعية تُسهم في تحسين جودة الحياة وتعزيز الاقتصاد الوطني.

وسوف نعرض فيما يلي تحليل (SWOT) لتوضيح أبرز نقاط القوة والضعف التي تمتلكها مصر لتبني التكنولوجيا الكمومية، إضافةً إلى أبرز الفرص والتهديدات المحتملة.

# أولًا: توطين التكنولوجيا الكمومية في مصر.. الفرص والتهديدات:

## نقاط القوة

- تمتلك مصر قاعدة قوية من الباحثين المؤهلين في مجال التكنولوجيا الكمية، خاصة في مجالات الفوتونات والبصريات. تتيح هذه الخبرات الواسعة لمصر تعزيز قدراتها في مجالات حيوية مثل الاتصالات الكمية والحوسبة الكمومية؛ مما يجعلها في طليعة الدول العربية التي تسعى لقيادة ثورة التكنولوجيا الكمومية.
- تم إنشاء مجموعة الإسكندرية للحاسبات الكمية في ٢٠١٦ بكلية العلوم جامعة الإسكندرية، وتضم عددًا كبيرًا من الباحثين، وحصل عدد كبير منهم على الماجستير والدكتوراه في تخصص الحاسبات الكمية.
- تم إطلاق برنامج الماجستير المهني في الحوسبة الكمية وعلوم المعلومات بكلية العلوم جامعة الإسكندرية، الذي يهدف إلى تأهيل كوادر قادرة على العمل في مجال برمجة الحوسبة الكمية.
- تم تأسيس مركز تميز في الحاسبات الكمية لخدمة المجتمع، ويمثل مصر في تخصص الحاسب الكمي في العديد من المحافل الدولية.

## نقاط الضعف

- يفتقر أغلب خريجي علوم الحاسب إلى المهارات اللازمة للعمل في مجال الحوسبة الكمومية؛ مما يستدعي توفير العديد من البرامج التدريبية المتخصصة.
- ضعف مخصصات البحث والتطوير الموجه لمجال التكنولوجيا الكمومية في مصر؛ نظرًا لحداثة المجال.
- لا يزال الوعي العام بتكنولوجيا الكم محدودًا في مصر، خاصة حول سبل استخداماتها وأبرز تطبيقاتها على مختلف نواحي الحياة.
- يواجه الباحثون في مجال الكم صعوبات في نشر أبحاثهم بسبب محدودية الدعم المالي.

## الفرص

- توجد إمكانية لتطبيق التكنولوجيا الكمومية في مختلف القطاعات مثل (القطاع الصحي، الأمني والعسكري، الصناعة، حفظ ونقل البيانات، الزراعة).
- يمكن لمصر الاستفادة من الشراكات الدولية من خلال التعاون مع مراكز بحثية وجامعات دولية تختص بالحوسبة الكمية لنقل الخبرات وتبادل الأفكار والتقنيات المتقدمة.
- يتيح التكامل في السوق العالمية فرصة لتوظيف التجارب الدولية لتطوير منتجات وخدمات تكنولوجيا الحوسبة الكمية التي تلبي الاحتياجات السوقية المحلية والعالمية.
- يمكن تعزيز بناء مراكز ومعامل بحثية في مصر من خلال بعثات قصيرة المدى لبعض الكوادر العلمية المتخصصة في تكنولوجيا الكم؛ مما يسرع من وتيرة توطين هذه التكنولوجيا داخل البلاد.

## التهديدات

- مع تقدم التكنولوجيا الكمومية قد تظهر تهديدات جديدة تتعلق بالأمن السيبراني؛ مما يتطلب مواكبة التطورات السريعة في مجال التكنولوجيا الكمومية عن طريق الاستثمارات المستمرة في تطوير المجال.
- قد تؤثر التغيرات الجيوسياسية على التعاون الدولي في مجال التكنولوجيا الكمومية، وتبادل الخبرات.
- تزايد حدة المنافسة بين الدول خاصة المتقدمة لتطوير تكنولوجيا الكم بما يؤثر على قدرة الاقتصادات الناشئة على توطين تلك التكنولوجيا.
- لا تزال التكنولوجيا الكمومية في مراحلها الأولى؛ مما يتطلب استثمارات ضخمة في البحث والتطوير.

# ثانيًا- أهم المجالات التي يمكن تطبيق التكنولوجيا الكمومية بها:

## ١- القطاع الصحي

يمكن الاستفادة من تطبيقات التكنولوجيا الكمومية في القطاع الصحي من خلال نمذجة المركبات الكيميائية، وذلك باستخدام الحوسبة الكمية لتطوير أدوية جديدة بشكل أسرع وأكثر كفاءة. كما يمكن استخدام الحوسبة الكمية في تحليل البيانات الطبية بشكل أسرع، فضلًا عن تحسين الصور الطبية، واستخدام الحواسيب الكمية لتحسين جودة ودقة الصور الطبية مثل الأشعة السينية والرنين المغناطيسي. هذا بالإضافة إلى اكتشاف بدائل محلية للأدوية المستوردة لتوفير العملة الصعبة، وتقليل تكلفة الأدوية على الدولة والمرضى من خلال التداخل بين الذكاء الاصطناعي والحوسبة الكمية. كما ستسهم تلك التطبيقات في تطوير أجهزة تشخيصية كمومية دقيقة لكشف الأمراض في مراحلها المبكرة وتصميم أنظمة علاجية كمومية لعلاج الحالات المعقدة كالسرطان، واكتشاف العديد من الأمراض بصورة أدق وأسرع من خلال تطبيقات Quantum Machine Learning.

## ٢- القطاع الأمني والعسكري

هناك ثلاثة مجالات رئيسة تُستخدَم في الدفاع: أجهزة الكمبيوتر الكمومية (لمعالجة كميات كبيرة من البيانات بشكل أسرع وأكثر دقة من أجهزة الكمبيوتر التقليدية)، والاستشعار الكمومي (اكتشاف الغواصات أو الألغام المعادية)، والاتصالات الكمومية (قنوات آمنة للاتصالات محمية من التنصت). قد تُحدث الحوسبة الكمومية ثورة في مجال الأمن السيبراني من خلال تطوير تقنيات تشفير أكثر تعقيدًا وأمانًا، واستخدام الحواسيب الكمومية في تحليل البيانات المخابراتية والاستخبارية، بالإضافة إلى تطوير أنظمة اتصالات وشفرات كمومية عالية الأمان لنقل المعلومات الحساسة.

## ٣- الصناعة

يمكن للحواسيب الكمومية التعامل مع مشكلات التحسين المعقدة التي تعجز الحواسيب التقليدية عن حلها؛ مما يعزز الكفاءة الصناعية؛ إذ تتميز الحوسبة الكمومية بشكل خاص بقدراتها المتقدمة على المحاكاة وحسابات التحسين، وهو ما يساعد قطاعات مثل: الخدمات اللوجستية، والتمويل، والنقل. ويمكن أيضًا استخدام تطبيقات الحوسبة الكمية لتحسين تخطيط وإدارة سلاسل التوريد والإنتاج، وتصميم وتحسين المواد والمكونات بشكل دقيق وفعال، فضلًا عن تحسين عمليات التصنيع والرقابة النوعية باستخدام استشعارات كمومية متطورة، بالإضافة إلى زيادة كفاءة استخدام الطاقة في العمليات الصناعية باستخدام التقنيات الكمومية، وتطوير عمليات التصميم والنمذجة باستخدام محاكاة الديناميكا الكمومية.

## ٤- الزراعة

لا يزال الأمن الغذائي يشكل مصدر قلق في القرن الحادي والعشرين، ويتم باستمرار تجريب وتطوير محاصيل وطرق زراعة أكثر قوة، فيمكن لأجهزة الكمبيوتر الكمومية أداء مثل هذه المهام في غضون دقائق، والتي تبدو مستحيلة على الكمبيوتر التقليدي، ومع مثل هذه القوة الحاسوبية، يمكن تحسين الزراعة بشكل كبير، وتطوير محاصيل أكثر مقاومة للجفاف. ورغم أن تكنولوجيا الكم لا تزال في مراحلها الأولى من النمو، فإنها تتمتع بالقدرة على زيادة إنتاجية وكفاءة المزارع، وهو ما من شأنه أن يعزز القدرات الزراعية إلى حد كبير، ويبشر المستقبل الكمي بمساعدة المزارعين على تحقيق الزيادات في الإنتاج التي يحتاجون إليها للفوز في معركة الأمن الغذائي.

## ٥- حفظ ونقل البيانات

يتم استخدام الكمبيوترات الكمية لتطوير أنظمة التشفير الآمنة التي تحمي البيانات من الاختراقات، فضلًا عن تطبيقات الحوسبة الكمية لتحسين أمان وسرعة الاتصالات السلكية واللاسلكية، كما تُسهم الحوسبة الكمومية في تحسين كفاءة وأمان نقل البيانات، وذلك بفضل خصائص التشابك الكمومي.

## ٦- الطاقة والبيئة

تتمتع الحوسبة الكمومية بالقدرة على إحداث تحول كبير في مجال الطاقة من خلال تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير، وخاصة تلك المتعلقة بإنتاج البطاريات، وإنتاج الخلايا الشمسية، وإنتاج الهيدروجين الأخضر والأمونيا، بالإضافة إلى تقنية التقاط الكربون من المصدر المباشر ومن الهواء.

## ٧- النقل

تُسهم التكنولوجيا الكمومية في تطوير الأنظمة الذاتية للقيادة وتحسين السيارات الكهربائية من خلال تحليل البيانات واتخاذ القرارات الذكية، أيضًا يمكن لأنظمة الملاحة المعززة بالكم أن تخفف من تأخيرات حركة المرور من خلال زيادة الدقة، في حين يمكن لأجهزة الاستشعار الكمومية وتقنيات التصوير ضمان سفر أكثر أمانًا وكفاءة، وتُجري الحوسبة الكمومية بالفعل تجارب لتحسين تدفق حركة المرور على طول السكك الحديدية والطرق، والحد من الازدحام، وتعزيز كفاءة النقل بشكل عام.

## ٨- المالية والاقتصاد

يمكن استخدام الحوسبة الكمية في التحليل والتنبؤ فيما يخص السوق المالية وإدارة المخاطر، إذ إنها تتمتع بالقدرة على إحداث ثورة في تحسين وإدارة المحافظ واستراتيجيات الاستثمار في قطاع الخدمات المالية. ومن خلال الاستفادة من قوة هذه التكنولوجيا المتطورة، يمكن للمؤسسات المالية تحسين محافظها الاستثمارية، وتقليل المخاطر، وتعظيم العائدات من خلال حل النماذج الرياضية المعقدة بكفاءة، مع مراعاة عدد كبير من المتغيرات والقيود، والاستفادة من خوارزميات التعلم الكمومي والآلي.

# ثالثًا: متطلبات توطين التكنولوجيا الكمومية في مصر

- تطوير المناهج التعليمية: من المهم أن تتم إضافة بعض المقررات المناسبة في مجالات علوم وتكنولوجيا الكم Quantum science and technology، وهذا يشمل:
  - Quantum computing الحوسبة الكمومية
  - Quantum information processing معالجة المعلومات الكمية
  - Quantum communication الاتصالات الكمومية

تهدف هذه المقررات إلى توفير قدر مناسب من المعرفة الأساسية للطلاب في هذه التخصصات، وتشجيع الخريجين للعمل في هذه الاتجاهات إما في المجال الأكاديمي أو في مجالات التكنولوجيا والصناعة.

- ضرورة البدء في استخدام تخصص الاتصالات الكمية على نطاق واسع؛ نظرًا لأهميته في نقل وتشفير البيانات، فضلًا عن أهمية استخدامه في الإنترنت الكمي.

- تشجيع الفعاليات العلمية وتشجيع الباحثين والأساتذة في هذا التخصص على تنظيم وإنشاء مدارس صيفية وورش عمل مجانية لجذب الطلبة، مع توفير دعم مالي مباشر لهذه الفعاليات.

- تشجيع الطلاب الذين سبق لهم أخذ أي مقرر تأسيسي على تنفيذ مشروع التخرج في هذا التخصص، وذلك من خلال الدعم المالي المباشر لهذه المشروعات.

- يجب توفير بعثات للخريجين والباحثين في مجالات التكنولوجيا الكمومية؛ لتعزيز خبراتهم ومعارفهم.

- إنشاء كيان بحثي مستقل (مركز تميز) يضم الباحثين المتميزين في هذا المجال، ويتم دعمه بشكل منفصل بحيث يقوم بعمل أبحاث علمية تؤدي إلى تكوين حاضنة تكنولوجية وطنية في هذا المجال، فضلًا عن تقديم الدورات التدريبية والمقررات التعليمية للباحثين الراغبين في العمل في هذا الاتجاه؛ لتلبية احتياجات الوطن من استشارات علمية وتطوير أجهزة تشفير كمية.

- دعم الشركات الناشئة في مجال التكنولوجيا الكمومية من خلال إعفائها من الضرائب والجمارك لفترة محددة.

- الاستثمار في البنية التحتية من خلال التوسع في عمليات البحث والتطوير خاصة فيما يتعلق بزيادة عدد المعامل المجهزة بأحدث التقنيات الكمومية، (حيث يوجد ٤ - ٦ معامل فقط متخصصة على مستوى الجمهورية).

- إقامة شراكات استراتيجية مع أبرز الجامعات والشركات العالمية الرائدة في مجال تكنولوجيا الكم، بهدف تبادل المعرفة والخبرات، وتنظيم برامج للباحثين على مستوى الدكتوراه وما بعد الدكتوراه، لتعزيز القدرات البحثية المصرية في هذا المجال.

- تأسيس لجنة دائمة تابعة لأكاديمية البحث العلمي لمناقشة وتنفيذ التوصيات اللازمة للنهوض بهذا المجال.

- توفير حاسب كمي لمساعدة الباحثين في إنجاز الأبحاث بدلًا من الشروط والتحديات التي تواجههم في أثناء العمل على محاكاة أجهزة الكمبيوتر الكمومية ذات الكيوبتات المحدودة.

مجلس الوزراء

مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

مجلس الوزراء
مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار


الحي الحكومي – العاصمة الإدارية الجديدة – مصر
رقم بريدي: 4829902 ص.ب: 191 الحي السكني R3
تليفون: 4-3-2-1-20546600 (202+) فاكس: 20532115 (202+)
info@idsc.gov.eg www.idsc.gov.eg

جائزة الشارقة للاتصال الحكومي