

Teknoloji ve Siyaset: ABD'nin Ulusal Kuantum Stratejisi

Technology and Politics: The USA National Quantum Strategy

Murat KAÇER*

* Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Yıldırım
Bayazıt Üniversitesi, Siyasal
Bilgiler Fakültesi, Siyaset Bilimi
ve Kamu Yönetimi Bölümü,
Ankara, Türkiye
e-posta: muratkacer@aybu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6076-3403

Öz

Bu çalışma, ABD'nin kuantum teknolojilerine yönelik stratejilerini incelemektedir. İçerik analizi yöntemiyle, ABD'nin ilgili stratejik belgelerindeki ana temalar, hedefler, yatırımlar ve araştırma-geliştirme faaliyetleri analiz edilmiştir. Buna göre, öncelikle ABD bu teknolojiyle küresel liderliğini sürdürmek, ulusal güvenlik ile ekonomik büyüme arasında dengeli bir ilişki kurarak bu teknolojinin fırsatlarından faydalanmak ve risklerinden kaçınmayı hedeflemektedir. Belgelerde hükümet ve sektörler arası koordinasyon eksiklikleri, yetersiz nitelikli iş gücü, disiplinler arası eğitim eksiklikleri ve kuantum araştırmalarının ekonomik ve güvenlik üzerindeki belirsiz etkileri zayıf yönler ve zorluklar olarak tespit edilmiştir. Bu zorlukların aşılması için ülke içindeki kurumlar arasında daha güçlü bir koordinasyon ve iş birliği sağlanarak, kuantum ekosisteminin etkin bir şekilde oluşturulması hedeflenmiştir. Uluslararası iş birliklerine de büyük önem verilerek, benzer hedeflere sahip ülkelerle ortak çalışmalar yapılması amaçlanmıştır. Kuantum teknolojileri konusunda nitelikli iş gücünün yetiştirilmesi ve ülkeye beyin göçünün teşvik edilmesi, stratejik bir öncelik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, üniversite düzeyinde disiplinler arası kuantum eğitimi verilmesi ve lise öncesi seviyelerde bu alana olan ilginin artırılması için eğitim reformları yapılması önerilmiştir. Kuantum araştırmalarının etkin bir şekilde yürütülmesi için gerekli altyapıların geliştirilmesi gerektiği vurgulanırken, federal kurumlar ve sanayinin gelişen kuantum teknolojilerine uyum sağlaması da önemsenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ABD, Kuantum Teknolojisi, Ulusal Strateji, Ulusal Güvenlik, Liderlik

Abstract

This study examines the strategies of the USA for quantum technologies. Using content analysis, it analyzes the main themes, goals, investments, and research and development activities in the relevant strategic documents of the USA. Accordingly, the USA primarily aims to maintain its global leadership in this technology, leverage its opportunities, and mitigate its associated risks by establishing a balanced relationship between national security and economic growth. The documents highlight several weaknesses and challenges, such as inadequate coordination between government agencies, a workforce that is not well-trained, gaps in interdisciplinary education, and uncertain effects of quantum research on economy and security. To address these challenges, the goal is to establish a quantum ecosystem by promoting stronger coordination and cooperation among institutions within the country. It also emphasized the importance of international collaborations, aiming for joint studies with like-minded countries. Strategic priorities include training a qualified workforce in quantum technologies and encouraging the return of skilled professionals. Additionally, it is suggested that interdisciplinary quantum education be provided at the university level and that educational reforms be made to spark interest in the field at pre-high school levels. While the need to develop the necessary infrastructures for conducting quantum research effectively is emphasized, it is also recognized as essential for federal institutions and industry to adapt to emerging quantum technologies..

Keywords: USA, Quantum Technology, National Strategy, National Security, Leadership

Geliş Tarihi / Submitted:
16.03.2025

Kabul Tarihi / Accepted:
21.07.2025

Extended Summary

We are currently witnessing a rapid transformation in technology. This transformation differs from historical patterns in two key ways: first, the time between invention and adoption has decreased, and second, the time between the invention of innovations has also shortened. Quantum technology will be a major milestone for humanity, alongside the growing real-world applications of artificial intelligence in the first quarter of the 21st century. There is no doubt that quantum technology, which is still in the laboratory and tabletop experiment phase, will transform our lives in a completely new direction once it overcomes challenges such as applicability, cost, scalability, and commercialization, just like artificial intelligence. In a scenario where cryptography systems that would take years to break with classical computers—and form the foundation of the entire internet ecosystem, from healthcare to finance—can be cracked in days or even minutes with quantum computers, optimization problems can be solved swiftly with powerful calculations, new drugs can be developed rapidly, and quantum radars and sensors can function effectively even in the harshest weather conditions; therefore, nothing will ever be the same again.

Given that technology has historically been a key driver of global leadership, countries make strategic plans, programs, and investments to compete, maximize the benefits of these technologies, and mitigate their risks. Quantum technology has now become a key element of national strategic plans and future outlooks. This study examines the strategies and applications of the USA to quantum technologies. It analyzes various strategic documents prepared by the USA, particularly the National Quantum Initiative Act (NQI), by using content analysis. The study investigates the main themes, goals, investments, and research and development activities outlined in these documents.

The USA explicitly states in these texts that its goal is to maintain global leadership through this technology, strike a balance between national security and economic growth, and minimize the associated risks. These documents also indicate that the USA plans to develop a visible, systematic, and national approach to quantum information research and development. Four key challenges in quantum information sciences are identified in this context, shedding light on the USA's weaknesses in quantum technologies. The first challenge is the lack of coordination between government, the private sector, and other countries. Addressing this issue will help build a strong national and international ecosystem and position the USA as a global leader. The second challenge is the shortage of skilled labor, specifically a lack of workers with expertise in quantum technologies. The third challenge relates to education programs, emphasizing the need to develop interdisciplinary research and education programs that span fields like physics, computer science, and engineering from an early stage. The fourth challenge concerns the uncertainty surrounding the economic and national security implications of quantum information sciences.

These documents present six key policy priorities and strategies to address these challenges and maintain global leadership in quantum technologies. The first is a science-first approach, which emphasizes supporting quantum technologies as a rapidly developing field by strengthening research platforms and encouraging scientific inventions. The second priority is creating a quantum-competent workforce, which indicates that it is necessary to train a skilled workforce in a range of specializations with an interdisciplinary educational approach and increased cooperation between business, industry, and academia. The third priority focuses on deepening collaboration with the quantum industry, urging the government to address critical technical gaps, workforce shortages, and infrastructure needs in partnership with the quantum industry, including the establishment of joint forums and

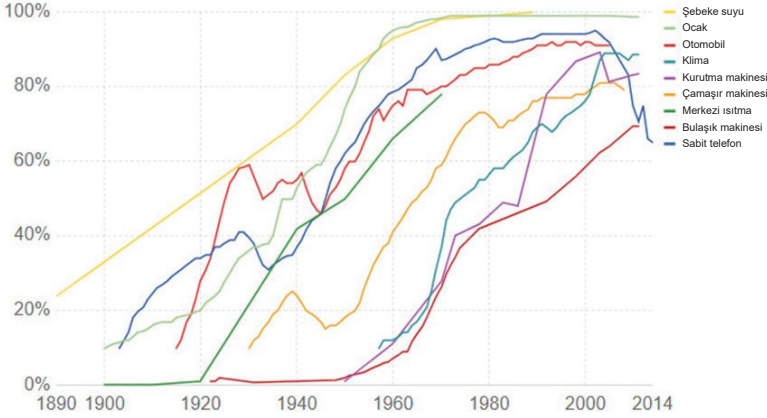
research centers. The fourth priority is the provision of critical infrastructure, stressing the importance of providing appropriate infrastructure for effective quantum research, with government support for collaboration with industry and academia in its development. The fifth strategy addresses maintaining national security and economic growth, noting the significant opportunities quantum technologies present for both sectors while recognizing the threat quantum computing could pose to current encryption systems. A transition to “quantum-resistant” cryptography is necessary. Finally, the sixth strategy advocates for the advancement of international cooperation, suggesting that scientific and technological developments should be accelerated through global collaboration. The USA should increase local investments and research while also strengthening global partnerships. Together, these strategies aim to maintain leadership in quantum technologies and ensure national security.

The USA strategy documents specifically focus on three key areas of quantum technology—quantum sensors, quantum-resistant cryptography, and quantum networks—along with general strategies for quantum information science and technology. The development of quantum sensors is aimed at transitioning them from laboratory environments to real-world applications, prioritizing increased technology readiness, accelerated development, and collaboration with end users. Institutions are encouraged to test prototypes and ensure that the sensors meet the needs of their specific applications. In terms of cryptography, documents focus on transitioning to quantum-resistant encryption systems to mitigate the cybersecurity risks posed by quantum computing. Lastly, these strategies emphasize the development of quantum networks, with short-term goals focused on building foundational infrastructure such as quantum interconnections, repeaters, and memories, and long-term aspirations to establish a quantum internet that will enable advanced capabilities far beyond classical computers.

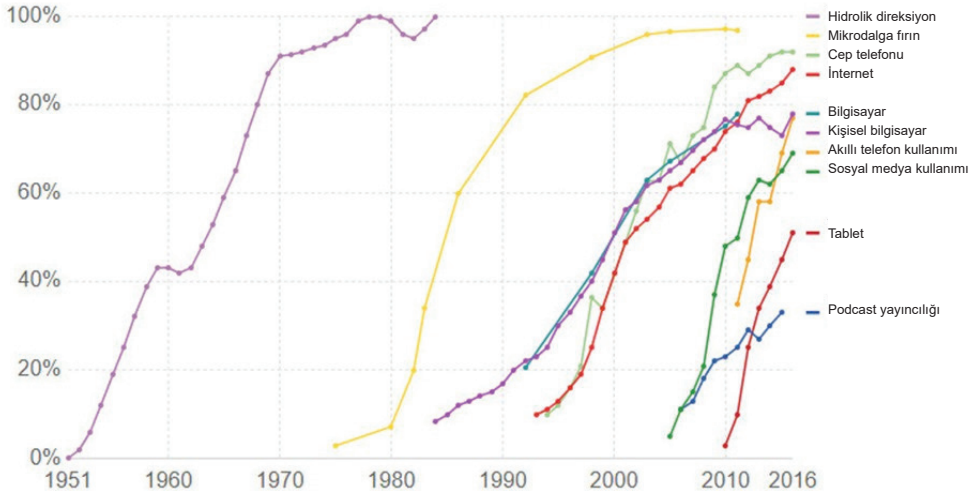
Giriş

Günümüzde teknoloji oldukça hızlı bir değişim süreci yaşamaktadır. Bu değişim sürecinin iki cephesinden bahsetmek mümkündür. Öncelikle yeniliklerin icat edilmesi ile benimsenmesi arasında geçen süre gittikçe azalmaktadır. Aşağıda bulunan Grafik 1 ve Grafik 2’de bazı teknolojilerin icadı ile benimsenmesi arasında geçen süre gösterilmektedir. Grafik 1’de yer alan ocak, otomobil, kurutma makinesi, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, sabit telefon gibi ürünlere bakıldığında bunların icadından sonra benimsenmeleri daha uzun bir zaman dilimine yayılmıştır. Örneğin, telefon 1876’da icat edilmesine rağmen, sabit hatların evlerde yaygınlık kazanması yaklaşık 100 yıl sürmüştür. Araba ise 1886 yılında icat edilmiştir, ancak popülerleşmesi 1920-1930’ları bulmuştur.¹

¹ Jeff Desjardins, “A Brief History of Technology”, *World Economic Forum*, <https://www.weforum.org/stories/2018/02/the-rising-speed-of-technological-adoption/>, erişim 13.03.2025.

Grafik 1. Çeşitli Teknolojilerin İcat ve Benimsenme Süreci²

Öte yandan, Grafik 2'ye gelindiğinde mikrodalga, cep telefonu, internet, bilgisayar, akıllı telefon, sosyal medya kullanımı ve tablet gibi teknolojilerin icadı ile benimsenmesi arasında geçen sürenin giderek kısaldığı görülmektedir. Örneğin, ilk cep telefonu 1973 yılında icat edilmiştir ve yaygın kullanımı 1990'ların ortalarına denk gelmekte, bu da yaklaşık 20 yıla tekabül etmektedir. Benzer şekilde, internetin icadı 1983 yılına dayanırken, yaygın kullanımı 1990'ların ortalarında başlamış ve bu süre kabaca on yılda tamamlanmıştır. Son olarak, beş yıl veya daha kısa bir sürede neredeyse %0'dan %50'ye çıkan tablet bilgisayarlar ise, grafikte en dikkat çeken teknolojiler arasında yer almaktadır.³

Grafik 2. Çeşitli Teknolojilerin İcat ve Benimsenme Süreci⁴

Değişim sürecinin ikinci yönü ise yeniliklerin icadı arasında geçen sürenin gittikçe kısalmasıdır. Teknolojinin bu değişim dinamiklerini bilgisayar dünyasında görmek

² Age.

³ Age.

⁴ Desjardins, "A Brief History of Technology".

mümkündür. Oda büyüklüğünde dev bilgisayarlar önce masaüstüne, sonra dizüstüne sonra avuç içine ve en son bilek üstüne kadar küçülmüş, bu ise insanlık tarihi açısından oldukça küçük bir zaman aralığında gerçekleşmiştir. Sürecin burada bitmeyeceği, bunların bir son değil, başka teknolojilerin ve gelişmelerin başlangıcı olduğu noktasında çok az kişinin kafasında soru işareti vardır.

Tüm teknolojik gelişmelerin merkezinde ise kuantum teknolojileri, gelecek için büyük potansiyel taşıyan ve umut vadeden bir alan olarak öne çıkmaktadır. Taş çağından bronz çağına, demir çağından çelik çağına, oradan silikon çağına geçen insanlık tarihi, mekanik hesaplamalardan başlayarak dijitalleşmeyi yaşamış olan teknoloji tarihi, artık kuantum mekaniğinin karmaşık prensiplerine dayalı bir sürece evrilmektedir. Özellikle yapay zekanın yarattığı heyecan dalgası dindikten sonra bilim ve teknoloji dünyasında yeni bir odak noktası olarak kuantum teknolojilerinin ön plana çıkması mümkündür. Halihazırda kuantum bilgisayarlarının gerçek dünya uygulamalarında kullanılabilecek kadar olgunlaşacağı ve insan güvenliği, gelişimi ve refahının tüm alanlarında büyük bir etki yaratacağı “Quantum Günü” (Q-Day) beklentisi giderek yaygınlaşmaktadır.⁵ Küresel iş birliğini teşvik etmek ve modern kuantum mekaniğinin 100. yıl dönümü kutlamak amacıyla, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu’nun UNESCO liderliğinde 7 Haziran 2024’te, 2025 yılını Uluslararası Kuantum Bilimi ve Teknolojisi Yılı (IQY) olarak ilan etmesi, bu konunun giderek daha çok önem kazanacağını da göstermektedir.⁶

Birçok alanda devrim yaratma potansiyeline sahip olan kuantum bilgi teknolojileri birçok ülkenin de ilgisini çekmektedir. Çünkü bu teknolojiler doğası gereği ülkelerin ekonomisi ve ulusal güvenliği için hem fırsatlar hem de riskler barındırmaktadır. Bu çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri’nin kuantum teknolojilerine yönelik planları, stratejileri ve uygulamaları, ilgili stratejik belgeler ışığında ele alınacaktır.

1. Araştırma

1.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı, Amerika Birleşik Devletleri’nin (ABD) kuantum teknolojilerindeki küresel liderliğini sürdürme ve ulusal güvenlik ile ekonomik büyüme arasında denge sağlama hedefleri doğrultusunda, kuantum teknolojilerinin potansiyel faydalarından yararlanmak ve risklerinden korunmak için belirlediği stratejileri incelemektir. Çalışma, ABD’nin kuantum bilgi bilimleri ve teknolojilerine ilişkin ulusal strateji belgelerini ele alarak, bu belgelerde yer alan stratejik planlar, programlar, yatırımlar, araştırma-geliştirme (AR-GE) öncelikleri ve yönelimlerini tespit etmeye çalışmaktadır.

1.2. Önemi

Bu çalışma, ABD’nin ulusal kuantum strateji belgelerini Türkiye’de bütüncül olarak ele alan, bilindiği kadarıyla, ilk akademik çalışma olma özelliği taşımaktadır.⁷ Bu yönüyle çalışmanın, Türkçe kuantum literatürüne katkı sağlamanın yanı sıra, ulusal güvenlik, ekonomi ve savunma gibi kritik alanlarda, sivil ve askeri kabiliyetlerin geliştirilmesinde önemli rol oynayacak

5 GESDA Diplomatic Forum / Open Quantum Institute. Intelligence Report on the Multilateral Governance of Quantum Computing For the SDGS. Geneva, 2023; Arthur Herman ve Idalia Friedson, *Quantum Computing: How to Address the National Security Risk*, Hudson Institute, Washington, 2018; Scott Buchholz et al., “The Realist’s Guide to Quantum Technology and National Security”, *The Deloitte Center for Government Insights*, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/public-sector/the-impact-of-quantum-technology-on-national-security.html>, erişim 10.02.2025.

6 Nature Photonics, “A Year Full of Quantum Celebrations”, *Nature Photonics*, 19:1, 2025.

7 DergiPark, Google Akademik, YÖK Tez, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi elektronik veri tabanında “ulusal kuantum stratejisi”, “kuantum ulusal stratejisi” “ABD” gibi anahtar kelimeler ile tarama yapılmıştır.

kuantum teknolojilerine yönelik Türkiye'nin ulusal strateji çalışmaları için de faydalı olması beklenmektedir. Her ne kadar uzun soluklu bir laboratuvar ve araştırma-geliştirme sürecine dayansa da, yapay zekanın insanların, toplumların ve devletlerin gündemine beklenmedik bir anda girmesi göz önüne alındığında, kuantum teknolojileri konusunda bu tarz stratejik belgelerin, yasal düzenlemelerin, etik rehberlerin zamanlaması ve içeriği önem arz etmektedir.

1.3. Yöntem

Bu çalışmada içerik analizi yöntemi kullanılacaktır. İçerik analizi, iletişim ortamı görevi gören her türlü yazılı, görsel ya da sözlü öge (metin) içerisindeki kelimeler, anlamlar, resimler, semboller, fikirler veya iletilen diğer mesajları (içerik) toplama ve analiz etme sürecidir.⁸ Bu analiz, metnin içerisinde bir kelimenin kaç kez geçtiği gibi yüzeysel ve gözlemlenebilir içeriğe dayalı açık kodlama ile yapılabileceği gibi, metnin altında yatan örtülü anlamlara, tema ve bağlamlara dayalı örtülü kodlama ile de gerçekleştirilebilir.⁹ Bu çalışmada belli kelimelerin referans düzeylerine dayalı açık kodlamadan ziyade ilgili metinlerdeki ana temalar, ilkeler, hedefler, yatırımlar, araştırma ve geliştirme faaliyetleri, ekonomik büyüme, ulusal güvenlik, küresel liderlik yarışları ve uluslararası iş birliği gibi unsurların örtülü kodlama yöntemiyle analiz edilmesi tercih edilecektir. Belgelerin (metin) seçilme kriterine ilişkin olarak, ABD Ulusal Kuantum Koordinasyon Ofisi'nin yönettiği resmi internet sitesinde (quantum.gov) “yayınlar kütüphanesi” altında “stratejik belgeler” olarak listelenmiş dokümanlar seçilmiştir. Bu belgeler, kuantum araştırmaları ve geliştirme faaliyetleri üzerine bilgi ve kaynakları içermektedir. Bunun yanı sıra, Ulusal Kuantum Girişimi Kanunu (*the National Quantum Initiative Act - NQI*) ve Kuantum Bilişim Siber Güvenlik Hazırlık Yasası (*Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act*) da çalışmanın kapsamına dâhil edilmiştir.

1.4. Veri Seti

Bu çalışmanın veri seti, iki yasa ve Ulusal Kuantum Koordinasyon Ofisi'nin resmi web sitesi (quantum.gov) üzerindeki “yayınlar kütüphanesi” altında “stratejik belgeler” olarak listelenen dokümanlardan oluşmaktadır. Aşağıda, bu veri setini oluşturan belgeler sıralanmıştır.

- Kuantum Bilgi Bilimi için Ulusal Stratejik Bakış (*National Strategic Overview for Quantum Information Science*)
- Ulusal Kuantum Girişimi Kanunu (*the National Quantum Initiative Act - NQI*)
- Kuantum Bilgi Bilimi İçin Federal Bir Vizyon (*A Federal Vision for Quantum Information Science*)
- Kuantum Bilgi Bilimini Geliştirmek: Ulusal Zorluklar ve Fırsatlar (*Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities*)
- Amerika'nın Kuantum Ağları İçin Stratejik Bir Vizyon (*A Strategic Vision for America's Quantum Networks*)
- Kuantum Sınırları Raporu (*the Quantum Frontiers Report*)
- Kuantum Ağlarına Koordineli Bir Yaklaşım (*A Coordinated Approach to Quantum Networking*)
- Kuantum Bilgi Bilimi ve Teknolojisi İşgücü Geliştirme Ulusal Stratejik Planı (*QIST Workforce Development National Strategic Plan*)

8 W. Lawrence Neuman, *Toplumsal Araştırma Yöntemleri; Nitel ve Nicel Yaklaşımlar 2* (çev. Özlem Akkaya), Siyasal Kitabevi, Ankara, 2020, s. 586.

9 Neuman, *Toplumsal Araştırma Yöntemleri; Nitel ve Nicel Yaklaşımlar*, s. 593-594.

- Kuantum Bilgi Biliminde Uluslararası Yeteneğin Rolü Raporu (*the Role of International Talent in Quantum Information Science Report*)
- Kuantum Sensörlerini Gerçekleştirmek (*Bringing Quantum Sensors to Fruition*)
- Kuantum Dirençli Kriptografi Üzerine Ulusal Güvenlik Muhtırası (*National Security Memorandum on Quantum-Resistant Cryptography*)
- Kuantum Bilişim Bilimi ve Teknolojisinde Uluslararası İşbirliğinin Geliştirilmesi Raporu (*Advancing International Cooperation in Quantum Information Science and Technology Report*)
- Kuantum Bilişim Siber Güvenlik Hazırlık Yasası (*Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act*)

2. Kuantum Teknolojisi ve Türleri

Enerjiyi ifade etmek için kullanılan kuantum, sözlük anlamı itibariyle bir şeyin en küçük miktarı ya da ölçülebilen en küçük birimi demektir.¹⁰ Kuantum teknolojileri, dolanıklık ve süperpozisyon gibi kuantum mekaniği özelliklerine dayanan, bunları pratik uygulamalarda kullanan bir fizik ve mühendislik dalıdır.¹¹ Süperpozisyon, bir kuantum nesnesinin fiziksel özelliklerinin ölçülmesine, görülüp test edilmesine kadar tanımsız, belirsiz kaldığı, böylece aynı anda birden fazla duruma sahip olmasını ifade etmektedir. Oldukça soyut olan bu durumun anlaşılması için genellikle bir düşünce deneyi olan Schrödinger'in kedisi deneyi örnek gösterilmektedir. Kuantum mekaniğine katkılarından dolayı 1933 yılında Paul Dirac ile Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger'in deneyinde, bir kedi, bir şişe siyanür, bir Geiger sayacı ve bir atomla birlikte kapalı bir kutunun içine yerleştirilir. Atom bozunursa, Geiger sayacı şişeyi kırar, siyanürü serbest bırakır ve kediyi öldürür. Kuantum mekaniğinin ilkelerine göre, kutu açılıp gözlemlenene kadar kedi aynı anda hem canlı hem de ölü olma süperpozisyonunda bulunur. Ancak gözlemci kutuyu açtığında, kuantum fiziğinde ölçüm yapmaya benzeyen bir işlemle, süperpozisyon çöker ve kedinin canlı ya da ölü olduğu ortaya çıkar. Bunu test etmeden önce kedinin konumu klasik mantığın kuralları dışında bir kuantum durumundadır.¹²

Albert Einstein'ın "uzak mesafeden ürpertici etkileşim" (*spooky action at a distance*) olarak dile getirdiği kuantum dolanıklığı ise, kuantum mekaniğinde iki veya daha fazla parçacığın, aralarındaki mesafe ne olursa olsun, birinin özelliklerinin diğer parçacığın özelliklerinden etkilenmesidir. Yani kuantum dolanıklık, iki veya daha fazla parçacığın (örneğin kuantum bit) fiziksel özelliklerinin aralarındaki mesafeden bağımsız olarak birbirini etkileyebilmesidir.¹³ İki çift elektron dolanık hâlde olduğunda, bir elektronun spin'i yukarı ise, aralarındaki mesafe ne olursa olsun diğer elektronun spin'i aşağı durumdadır. Bunun tersi

10 Alper Genar, "Harekât Alanındaki Kuantum Fizik Uygulamaları: Bir Süperpozisyon Farkındalığı", Özgür Körpe (ed.), *Harp'te Yeni Kavramlar: Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hukukundaki Yansımalar*, Milli Savunma Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2021, s. 89.

11 Michal Krelina, "Quantum Technology for Military Applications", *EPJ Quantum Technology*, 8:1, 2021, s. 3.

12 Christoph Capellaro, "A Primer on Quantum Computing and Quantum Communications", Mohammad Hammoudeh et al. (ed.), *Quantum Computing: A Journey Into the Next Frontier of Information and Communication Security*, CRC Press, Abingdon, 2025, s. 4; Michio Kaku, *Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution Will Change Everything*, Penguin Books, London, UK, 2023, s. 43.

13 Capellaro, "A Primer on Quantum Computing and Quantum Communications", s. 4; Kaku, *Quantum Supremacy*, s. 11; Çağrı Mert Bakırcı, "Uzak Mesafeden Ürpertici Etkileşim: Kuantum Dolanıklık nedir? Cisimler Birbiryle Işık Hızından Hızlı İletişim Kurabilir Mi?" 2022, https://evrimagaci.org/uzak-mesafeden-urpertici-etkilesim-kuantum-dolaniklik-nedir-cisimler-birbiryle-isisik-hizindan-hizli-iletisim-kurabilir-mi-12183?srsltid=AfmBOorBX-aAgyHuE_MTmqjNq1NqYBQxAT9lsgM1STEMgaBfbjz_K-S0, erişim 10.03.2025.

de geçerlidir. Benzer şekilde, iki çift foton dolanık hâle geldiğinde, bir fotonun polarizasyonu yatay ise, yine aralarındaki mesafeden bağımsız olarak diğer fotonun polarizasyonu dikey durumdadır.

Kuantum teknoloji, kuantum bilişim, kuantum iletişim ve kuantum sensörler olmak üzere üç başlık altında incelenebilir.

2.1. Kuantum Bilişim

Kuantum bilişim, bilgi işleme ve hesaplamanın kuantum mekaniğinin prensiplerine dayalı olarak gerçekleştirilmesidir. Klasik bilgisayarlar her bitin 1 (bir) veya 0 (sıfır) olduğu doğrusal (sıralı) bir “bit” dizisinde veriyi işlemek için elektrik sinyalleri kullanırken, kuantum bilgisayarlar “kuantum biti” (kübit) denilen atom, elektron, iyon, foton veya süperiletken devreler gibi fiziksel bileşenleri kullanmaktadır. Kuantum mekaniğinin süperpozisyon ilkesinde bu bileşenler aynı anda iki durumda olabilir, aynı anda hem sıfır hem de bir olarak işlev görebilir. Bu durum bir kuantum bilgisayarının aynı anda iki veya daha fazla hesaplama yapmasını sağlar. Daha fazla kübit eklendiğinde hesaplama hızı da üssel olarak artmaktadır. Bu durum kuantum bilgisayarlarının, günümüzün en hızlı süper bilgisayarlarından binlerce kat daha hızlı şekilde matematiksel sorunları çözmesini sağlayacaktır. Örneğin 300 kuantum biti (kübit) içeren bir kuantum bilgisayar, evrendeki atom sayısından daha fazla hesaplama yapabilecektir.¹⁴ Yine Google, Sycamore kuantum bilgisayarının, dünyanın en hızlı süper bilgisayarında on bin yılda çözülebilecek bir matematik problemini 200 saniyede çözebileceğini açıklamıştır. Çin Bilimler Akademisi, kuantum bilgisayarlarının sıradan bir süper bilgisayardan 100 trilyon kat daha hızlı olduğunu iddia etmiştir.¹⁵

2.2. Kuantum İletişim

Kuantum iletişim, ultra güvenli iletişim kanalları ve küresel ağların geliştirilmesi için kuantum mekaniğinin prensiplerini kullanılmasıdır. Burada kullanılan birincil uygulama rastgele kriptografi¹⁶ anahtarlar üreten ve dağıtan Kuantum Anahtar Dağıtımı (*Quantum Key Distribution-QKD*) yöntemidir. Bu yöntem, üçüncü tarafların anahtarları elde etmeye yönelik girişimlerini tespit etmeyi mümkün kılar ve böylece klasik bilgisayarların sunduğu güvenlikten daha güçlü bir koruma sağlar.¹⁷ Kuantum iletişimin potansiyel uygulamalarına bakıldığında gelişmiş güvenlik, gizlilik ve kriptografi ve uydu tabanlı küresel kuantum ağları yer almaktadır. Mevcut kuantum anahtar dağıtımı kullanımlarına örnek olarak, fiber optik ağlar, bazı doğrudan görüş hatları ve son olarak Çin'in 2016 yılında fırlattığı Micius uzay uydusu aracılığıyla Pekin ile Avusturya arasında gerçekleştirdiği iletişim gösterilebilir.¹⁸

14 Kaku, *Quantum Supremacy*, s. 10; Herman ve Friedson, *Quantum Computing*, s. 5

15 Kaku, *Quantum Supremacy*, s. 3

16 Yunanca “kryptos” (gizli veya sır) ve “graphein” (yazmak) kelimelerinden türeyen kriptografi, gizlilik, kimlik denetimi, bütünlük gibi bilgi güvenliği kavramlarını sağlamak için çalışan matematiksel yöntemleri ifade etmektedir. Bu yöntemler, bir bilginin iletimi esnasında muhtemel saldırılardan bilgiyi, bilgi göndericisini ve alıcısını korunmasını amaçlamaktadır. Bu yönüyle kriptografi, okunabilir durumdaki bir bilginin üçüncü taraflarla okunamaz hale getirmek için çeşitli teknikler kullanmaktadır. Bununla ilişkili bir kavram da kriptanaliz olup, bu teknik, ele geçen şifrelenmiş yani anlamlı olmayan metinden bazı teknikler kullanarak doğru metni bulma yöntemidir. Bu iki alanın bütününe ise eski Yunanca “kryptos” (gizli) ve “logos” (bilim) kelimelerinden oluşan kriptoloji denmektedir.; Canan Çimen, Sedat Akleyek ve Ersan Akyıldız *Şifrelerin Matematiği: Kriptografi*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara, 2009, s. 8-9; Sadullah Çelik, “Kuantum Kriptolojisi ve Siber Güvenlik”, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14:1, 2021, s. 55-56.

17 McKinsey & Company, *Quantum Techonology Monitor*. McKinsey & Company, s. 3; Nicolas Gisin ve Rob Thew, *Quantum Communication*, *Nature Photonics*, 1:3, 2007, s. 1.

18 Jiajun Chen, “Review on Quantum Communication and Quantum Computation”, *Journal of Physics: Conference Series* 1865:2, 2021, s. 5; Elsa Kania, “China’s Quest For Quantum Advantage—Strategic and Defense Innovation at A New Frontier”, *Journal of Strategic Studies*, 44:6, 2021, s. 933.

2.3. Kuantum Sensörler

Kuantum sensörler, kuantum mekaniğinin prensiplerini kullanmak suretiyle zaman, ivme ve manyetik, elektrik veya yerçekimi alanlarındaki değişikliklerin son derece hassas, seçici ve verimli bir şekilde ölçülebilmesidir. Örneğin, eğer bir başlangıç noktası biliniyorsa, harici GPS sinyallerine ihtiyaç duyulmadan ve harici bir gücün sinyalleri bozma veya engelleme yeteneği olmadan, gelecekteki tam konum da bilinebilir. Kuantum sensörlerinin bir başka uygulaması olan ve benzer şekilde dolanık fotonlar gibi kuantum mekaniği prensipleriyle çalışan hayalet görüntüleme (*ghost imaging*), hedef tespitin zor olduğu durumlarda, duman ve bulut gibi engelleri aşabilen çok zayıf aydınlatma ışınları kullanarak uzaktaki nesneleri tespit etmekte kullanılabilir.¹⁹ Kuantum sensör teknolojisi erken kanser teşhisi ve geliştirilmiş kanser tedavisi, jeolojik keşiflerin iyileştirilmesi, yapısal biyoloji ve savunma gibi sivil ve askeri olmak üzere birçok alanda potansiyel uygulamalara sahiptir.²⁰

3. Ulusal Strateji ve Ulusal Güvenlik Bağlamında Kuantum Teknolojileri

Strateji, askeri konsey ofisi anlamına gelen Yunanca “*strategia*” kelimesinden türemiştir. Bu kavram genel bir plan veya yaklaşımı ifade etmek üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ulusal strateji ise ulusal çıkarların muhafazası için devletin yürüttüğü politikalar veya üst düzey hedefler ile somut eylemler arasında köprü işlevi görmektedir. Ulusal strateji, mevcut kaynakları kullanarak ulusal bir çıkarı takip etmek için belirli eylemlere yönelik özel rehberlik sağlayan pragmatik, eylem ve hedef odaklı bir süreçtir.²¹

Ulusal stratejin unsurlarına bakıldığında, uygulama için genellikle orta veya uzun vadeli bir zaman dilimi öngörmektedir. İkinci olarak stratejinin etki değeri, tutarlı bir şekilde ölçülmesi zor olsa da harcanan yatırım ve sermayenin getirisine göre değerlendirilmektedir. Ayrıca ulusal strateji, ulusal bir rekabet avantajını desteklemek/şekillendirmek veya rakiplerinin rekabet avantajını azaltma amaçlarına odaklanmaktadır. Son olarak devletler, ulusal stratejiye konu olan meseleleri kendi coğrafi ve bölgesel sınırlarından ziyade rekabet avantajını küresel düzeyde ele almaktadır.²²

Devletler değişen koşullara karşı hazırlıklı olmak; hem fırsatlardan yararlanmak hem de olası risklere karşı tedbir almak için çeşitli stratejiler geliştirmek zorundadır. Özellikle söz konusu teknoloji olduğunda bu durum daha kritik bir hal almaktadır. Zira büyük güçlerin yükselişi ve düşüşü tarihsel süreç boyunca teknoloji ile yakından ilişkili olmuştur. Bugün de ülkeler arası stratejik rekabetin gelecekteki yörüngesinin askeri ve ekonomik kabiliyetleri etkileyecek olan yeni teknolojiler olacağı görülmektedir. Kuantum da bu yeni teknolojilerinin merkezine yerleşme olasılığı yüksek olan bir teknolojidir. Profesör Sánchez Toural’a göre, kuantum teknolojileri, 1960’larda ABD ile Sovyetler Birliği’nin uzayı fethetme mücadelesine benzer şekilde, dünyadaki en rekabetçi sektörlerden biri olacaktır. Toural, bu teknolojiyi ilk öğrenen hükümetin, yeni bir ilacın geliştirilmesi, doğal felaketler veya finansal krizler gibi senaryoları daha iyi tahmin etme, simüle etme ve analiz etme yeteneğine sahip olacağını, bu avantajları sayesinde diğerlerinden daha avantajlı bir durumda olacağını belirtmektedir.²³

19 McKinsey & Company, *Quantum Techonology Monitor*, s. 3; Quantumtech, A Quantum Computing Glossary, <https://quantumtech.blog/2022/01/24/a-quantum-computing-glossary/>, 2022, erişim 13.03.2025.

20 Krelina, “Quantum Technology For Military Applications”, s. 32-33; Buchholz et al. *The Realist’s Guide to Quantum Technology and National Security*.

21 Babak Akhgar, Simeon Yates ve Eleanor Lockley, “Introduction”, Babak Akhgar ve Simeon Yates (ed.), *Strategic Intelligence Management: National Security Imperatives and Information and Communications Technologies*, Butterworth-Heinemann, Portsmouth, NH, 2013, s. 2.

22 Akhgar, Yates ve Lockley, “Introduction”, s. 2-3

23 BBVA, “How the World Map of Quantum Computing Is Looking”, *BBVA Innovation*, <https://www.bbva.com/en/innovation/how-the-world-map-of-quantum-computing-is-looking/>, 2023, erişim 15.02.2025.

Türkiye'nin bu alandaki stratejik adımlarına bakıldığında, Kasım 2024'te TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen Türkiye'nin ilk kuantum bilgisayarı dikkat çekmektedir. *Quantum Computer of TOBB ETÜ* (Quant) adı verilen bu bilgisayar, beş kübit kapasitesine sahip olup, Türkiye'nin sınırlı sayıda kuantum teknolojisi geliştiren ülke arasında yer almasını sağlamaktadır.²⁴ Bu ve benzeri stratejik gelişmeler, Türkiye'ye küresel rekabetin içinde önemli bir stratejik avantaj sağlayacak bilişsel, donanımsal ve kültürel altyapıyı oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Cumhurbaşkanı Erdoğan, 18 Aralık 2024'te yaptığı açıklamada, kuantum bilgisayar teknolojisindeki bu kritik adımın Türkiye'yi küresel rekabette stratejik bir noktaya taşıyacağını vurgulamış ve ilerleyen dönemde süper iletken çip üretim evi kurarak çok daha yüksek kapasiteli kuantum bilgisayarlarına giden yolu açacaklarını belirtmiştir.²⁵

ABD'nin strateji metinlerinde de görüleceği üzere kuantum teknolojilerinin bir yönü ekonomik kalkınma ise diğer yönü ulusal güvenlidir. ABD, bu ikisi arasında bir denge kurmayı amaç edinmektedir. Askeri güç ve dış tehditlerden korunma gibi dar bir çerçevede tanımlanan geleneksel ulusal güvenlik,²⁶ teknolojinin ilerlemesi ve dünyanın dijitalleşmesiyle, diğer başka parametrelerle birlikte siber güvenliği de kapsayacak şekilde genişlemiştir. Yapay zekâ tarihinde önemli bir kırılmaya yol açan makine öğrenimi, derin öğrenme, yapay sinir ağları ve doğal dil işleme gibi gelişmelerle ön plana çıkan siber güvenlik meselesi, kuantum bilişimdeki ilerlemelerin yarattığı tehdit algısıyla daha karmaşık, çok boyutlu ve tehlikeli bir hale gelmiştir.

Kuantum teknolojisinin ulusal güvenlik meselesini karmaşık ve riskli hale getirmesi kriptografik sistemlerin çözülebilme ihtimaliyle ilgilidir. Bugün, şifreleme, veri güvenliği ve dijital imza gibi alanlarda, klasik bilgisayarların çözmesinin yıllar alacağı asimetrik şifreleme protokolleri bulunmaktadır. Özellikle yöntemi bulan üç kişinin baş harflerinden oluşan RSA (*Rivest-Shamir-Adleman*) gibi asimetrik şifreleme yöntemleri günümüzün neredeyse tüm elektronik verilerini korumak için kullanılan ve modern internetin büyük kısmının bağlı olduğu yöntemlerdir. RSA, matematiğin zor problemlerinden biri olan çarpanlara ayırma problemine dayanmaktadır. Büyük sayıları çarpanlarına ayırmak, hala matematiğin algoritmik yöntemlerle çözemediği bir konudur. RSA'nın kullandığı N sayısı, her biri en az 512 bitten oluşan iki asal sayının çarpımından elde edilir, yani toplamda en az 1024 bitten oluşur. Bu tür büyük sayıların çarpanlarına ayrılması, klasik bilgisayarlar için yıllar sürecek bir işlemdir.²⁷

Kuantum bilişim kullanarak büyük sayıların asal çarpanlarını oldukça hızlı bir şekilde bulan Shor'un algoritması²⁸ gibi kuantum algoritmaları, RSA gibi klasik yöntemleri devre dışı

24 Mertkan Oruç, Seda Tolmaç, "Türkiye'nin İlk Kuantum Bilgisayarı Quant Tanıtıldı", *Anadolu Ajansı*, <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-ilk-kuantum-bilgisayari-quant-tanitildi/3400083>, 2024, erişim 10.02.2025.

25 Zafer Fatih Beyaz, Oğuzhan Sarı, "Cumhurbaşkanı Erdoğan: Çağa Liderlik Eden Güçlü Türkiye Hedefine Emin Adımlarla İlerliyoruz", *Anadolu Ajansı*, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/cumhurbaşkanı-erdogan-caga-liderlik-eden-guclu-turkiye-hedefine-emin-adimlarla-ilerliyoruz/3427654>, 2024, erişim 10.02.2025.

26 William Wallace, "National Security", Bruce A. Arrigo (ed.), *The SAGE Encyclopedia of Surveillance, Security, and Privacy*, Sage Publications, Charlotte, USA, s. 647.

27 Herman ve Friedson, *Quantum Computing*, s. 5; Kania, "China's Quest For Quantum Advantage", s. 928; Çimen, Akçeleyle ve Akıldız, *Şifrelerin Matematiği: Kriptografi*, s. 81-82.

28 1994 yılında matematikçi Peter Shor, kuantum bilgisayarlar için büyük sayıları hızlıca çarpanlarına ayırabilen bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma, periyodik fonksiyonlar, kuantum süperpozisyonu ve Kuantum Fourier Dönüşümü gibi kuantum tekniklerini kullanarak, problemi polinom zamanda çözebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu durum açık anahtarlı kriptografide yaygın olarak kullanılan RSA kriptosisteminin güvenliğini tehdit etmektedir.; Sedat Akçeleyle ve Meryem Soysaldı, "Kuantum Bilgisayarlar ile Kriptanaliz ve Kuantum Sonrası Güvenilir Kripto Sistemleri", Şeref Sağıroğlu ve Mustafa Şenol (ed.), *Siber Güvenlik ve Savunma: Problemler ve Çözümler*, Grafiker Yayınevi, 2019, s. 143; Çelik, "Kuantum Kriptolojisi ve Siber Güvenlik", s. 59.

birakabilir ve verilerin güvenliğini ciddi şekilde tehdit edebilir. Çünkü bir kuantum sistemi, her potansiyel çözümü aynı anda inceleyebilir ve bir saniyeden kısa bir sürede yalnızca “en iyi cevabı” değil, aynı zamanda buna yakın on binlerce alternatif cevabı da üretebilir. Bu, belirli bir soruya yanıt veren kitabı bulmak için Amerikan Kongre Kütüphanesi’ndeki tüm kitapları aynı anda okuyabilmek ya da elindeki adresi kaybettiği için tek tek her evi kontrol etmek yerine kendini klonlayarak aynı anda her kapının önünde beliren bir kuryenin hızına ulaşmak gibidir.²⁹

Bu durum, devlet hizmetlerinin dijitalleştiği, evlerdeki cihazların internet üzerinden birbirine bağlanarak “akıllı” hale geldiği, kritik altyapıların (enerji, su arıtma, şebeke, hava, kara ve demir yolları) elektronik sistemlerle yönetildiği ve finansal sistemlerin büyük ölçüde kriptografiye dayandığı bu dönemde, kuantum bilişimi ve teknolojilerinin ulusal güvenlik açısından kritik bir öneme sahip olmasına yol açmaktadır. Bu gelişmeler, ülkeleri kuantum teknolojileri alanında yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmeye teşvik etmektedir. Bu çabaların bir kısmı; hem geleneksel hem de potansiyel kuantum bilgisayarları tarafından gerçekleştirilebilecek siber saldırılara karşı koruma sağlamak amacıyla “kuantum sonrası şifreleme algoritmaları” geliştirilmesidir.³⁰ Esasen, “kuantum günü” için devlet hazırlıklarının iki temel yönü bulunmaktadır. Birincisi, kuantum bilgisayarlarına doğrudan yatırım yapmaktır. İkincisi ise, “şimdi topla, sonra çöz” (*harvest now, decrypt later*) yaklaşımıyla, diğer ülkelerin verilerini toplamak ve depolamak, böylece kuantum bilişim yetenekleriyle kullanılabilir hale geldiğinde bu şifreleri çözmektir.³¹ Kuantum bilgisayar alanındaki gelişmelerin yanı sıra, Türkiye’nin siber güvenlik konusundaki kayda değer ilerlemeleri dikkat çekmektedir. Bu ilerlemeleri, güçlü bir “siber vatan” söylemi ve 12 Mart 2025’te yürürlüğe giren, Milli Güvenlik Kurulu’na benzer bir yapıda olan Siber Güvenlik Kurulu’nun kurulmasını da sağlayan Siber Güvenlik Kanunu’nda görmek mümkündür.³²

Sonraki bölümlerde ulusal güvenlik ve kriptografi de dahil ABD’nin kuantum teknolojilerine dönük stratejik metinleri detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

4. ABD’nin Ulusal Kuantum Strateji Belgeleri

Kuantum teknolojisi, gündelik hayatımızın bir parçası haline geldiğinde, sadece bilimsel ve ekonomik değil, tıpkı 20. yüzyılda nükleer silahların dünya siyaseti üzerindeki etkisi gibi büyük bir etki yaratacaktır. Kuantum teknolojilerine atfedilen bu rol, küresel bir rekabetin ortaya çıkmasını da beraberinde getirmektedir. Bu rekabetin en önemli eksen ABD ve Çin etrafında dönmektedir. ABD bu süreçte kritik bir virajdadır; ya 21. yüzyılda küresel liderliğini koruyup genişletecek ya da bir daha geri kazanması imkansız ya da son derece belirsiz hale gelebilecek şekilde bu liderliği başka bir güce devredecek ve güç geçişi yaşanacaktır. Amerikan hava üstünlüğünün bel kemiğini oluşturan hayalet uçakları tespit edebilen kuantum radarlar³³ ve hava savunma sistemlerinden kaçmayı başaran kuantum

29 Harbaksh Singh, “Managing the Quantum Cybersecurity Threat: Harvest Now, Decrypt Later”, M. Hammoudeh et al (ed.), *Quantum Computing: A Journey into the Next Frontier of Information and Communication Security*, CRC Press, Abingdon, 2025, s. 144; Herman ve Friedson, *Quantum Computing*, s. 6; Çimen, Akleyek ve Akyıldız, *Şifrelerin Matematiği: Kriptografi*, s. 102-103

30 Singh, “Managing the Quantum Cybersecurity Threat: Harvest Now, Decrypt Later”, s. 146.

31 Age, s. 142; Herman ve Friedson, *Quantum Computing*, s. 10.

32 Buğrahan Ayhan, “Siber Güvenlik Kanunu Resmi Gazete’de”, *Anadolu Ajansı*, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/siber-guvenlik-kanunu-resmi-gazetede-/3513728#>, erişim 03.04.2025.

33 Kasım 2018’de Çin devlet şirketi CETC (*China Electronics Technology Group Corporation*), henüz gerçek zamanlı bir gösterim yapmasa da, 100 km menzile sahip olduğunu iddia ettiği bir kuantum radar geliştirdiğini açıklamıştır. Böyle bir radarın varlığı halinde 1,5 trilyon doları aşan maliyetiyle tarihin en pahalı projelerinden olan F-35 gibi hayalet uçakların güvenliği tehdit altında demektir.; Meryem Erten, “Avcı Uçakların Avcısı: Kuantum Radar”, *ThinkTech STM*, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608997320_stm-avci-ucaklarin-avcisi.pdf, erişim 01.03.2025.

algoritmalar tarafından yönlendirilen silah sistemleri devreye girdiğinde, bu teknolojilerin gerisinde kalmış bir ABD'nin küresel liderliğinden söz etmek mümkün olmayacaktır. Bu bağlamda, ABD, kuantum teknolojisini stratejik bir öncelik olarak belirlemiş durumdadır. Öyle ki, bu mesele, yalnızca bir parti veya siyasi görüşün değil, hem Demokratlar hem de Cumhuriyetçiler tarafından desteklenen ve üzerinde mutabık kalınan, siyaset üstü bir konu haline gelmiştir.³⁴ Çeşitli bilim insanları da kuantum teknoloji ile ikinci dünya savaşı öncesi Manhattan Projesi arasında kıyaslama yapmakta ve bunun ABD'nin yeni bir Manhattan Projesi olması gerektiğini söylemektedir.³⁵ Yine siber güvenlik stratejileriyle ilgilenen ve kamusal bir figür olan Morgan Wright'ın³⁶ “herkesin el birliğiyle çalışması gerekiyor. Para harcanmalı. Araştırma yapılmalı. Ve araştırmalarımıza ve bilimsel tesislerimize Çinliler, Ruslar ve diğer düşman ülkelerin erişimi engellenmeli” şeklindeki telaşlı ve aceleci ifadeleri konunun ilgili çevreler nezdindeki önemine dair fikir vermektedir.

ABD, küresel liderliğini sürdürmek amacıyla kuantum teknolojilerine ilişkin stratejik belgeler yayımlamış, bu belgeler doğrultusunda çeşitli koordinasyon birimleri oluşturmuş ve yeni birimler ihdas etmiştir. Aynı zamanda mevcut kurumlara da çeşitli görev ve sorumluluklar verilmiştir. ABD'nin kuantum teknolojilerine yönelik stratejik belgeleri, 2018'de yayımlanan Kuantum Bilgi Bilimi için Ulusal Stratejik Bakış ve Ulusal Kuantum Girişimi Yasası (NQI) gibi belgelerle somutlaşmıştır.

4.1. Kuantum Bilgi Bilimi için Ulusal Stratejik Bakış (National Strategic Overview for Quantum Information Science)

Bu belge Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi (*National Science and Technology Council*/NSTC) altında bulunan Kuantum Bilgi Bilimi Alt Komitesi (*Subcommittee on Quantum Information Science*) tarafından hazırlanmış olup 2018 yılı Eylül ayında yayımlanmıştır. ABD'nin kuantum bilgi araştırma ve geliştirmesine yönelik görünür, sistematik ve ulusal bir yaklaşım geliştireceği belirtilen belgede, kuantum teknolojilerinin ABD'nin sanayi altyapısını güçlendirebileceği, istihdam yaratabileceği ve ekonomi ile ulusal güvenlik açısından önemli faydalar sağlayabileceği vurgulanmaktadır. Ayrıca, yarı iletken mikroelektronik, fotonik, küresel konumlandırma sistemi (GPS) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRI) gibi teknolojilerin ulusal ekonomi ve sanayi sektörünü destekleyeceği ifade edilmektedir.

Bu belgede halihazırda dört temel zorlukla başa çıkılması gerektiğinin altı çizilmektedir. Bu aynı zamanda ABD'nin kuantum teknolojilerindeki zayıf noktalarına denk gelmektedir. Bunlardan ilki; hem hükümet içinde hem de kamu ve özel sektör kuruluşları arasında yaşanan koordinasyon sorunudur. Belgede bu sorunun iyileştirilmesi ve kolaylaştırılması gerektiğine dikkat çekilmektedir. Bu sağlandığı takdirde güçlü bir yerel ekosistem ortaya çıkacak ve bu durum ABD'ye dünya çapında liderlik sağlayacaktır. İkinci olarak, endüstri, akademi ve hükümetin araştırma ve geliştirme girişimlerini hayata geçirebilecek yeterli sayıda nitelikli ve yetkin bir işgücünün (kuantum bilgisine sahip bir işgücünün) eksikliği söz konusudur. Üçüncü zorluk eğitim programlarına ilişkindir. Eğitim sisteminin daha erken seviyelerinde, fizikten bilgisayar bilimine ve mühendisliğe kadar uzanan disiplinler arası araştırma ve eğitim programlarının geliştirilmesi ve böylece disiplinler arası bağlantıların güçlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Dördüncü zorluk ise kuantum bilgi bilimi

34 Michael G Raymer ve Christopher Monroe, “the US National Quantum Initiative”, *Quantum Science and Technology*, 4:2, 2019, s. 4.

35 Herman ve Friedson, *Quantum Computing*, s. 4.

36 Morgan Wright, “America’s Enigma Problem with China: The Threat of Quantum Computing”, *The Hill*, March 5, 2018, <http://thehill.com/opinion/national-security/376676-americas-enigma-problem-with-china-the-threat-of-quantum-computing>, erişim 05.02.2025.

araştırma ve gelişiminin ekonomik ve ulusal güvenlik üzerindeki genel etkilerinin hala belirsiz olmasıdır. Bu zorluklarla mücadele ve küresel liderlik için belgede altı temel politika önceliği ve stratejisi belirlenmiştir.

4.1.1. Bilim-Öncelikli Yaklaşım (Science-First Approach):

Bu belgede, kökenleri 1960'lara kadar uzanmasına ve lazer, transistör, atom saati, manyetik rezonans görüntüleme gibi kuantum mekaniği prensiplerine dayanan kuantum teknolojisi cihazlarının varlığına rağmen, kuantum alanının hâlâ yenilik ve icat fırsatları sunan ve hızla gelişen bir bilimsel ve mühendislik disiplini olmaya devam ettiği ifade edilmektedir.

Bu nedenle, devlet, bilimi önceliklendiren bir yaklaşım benimseyerek, önemli ve dönüştürücü bilimsel icatları desteklemeye devam etmelidir. Bunun için güçlü ve çeşitli araştırma platformları oluşturmali ve bu platformlardaki araştırmaların sürdürülmesini sağlamalıdır. Ayrıca, temel araştırma programlarını güçlendirip, farklı kurumlar arasındaki iş birliğini artırarak katılımı sağlamak için yeni yollar bulmalıdır.

Devlet kurumları, akademi ve endüstri, bu alandaki zorlukları ve engelleri belirleyip önceliklendirmek, aynı zamanda ilerlemelerini izlemek ve araştırma ve geliştirme süreci ilerledikçe bilimsel ve teknolojik fırsatları yeniden değerlendirmek için iş birliği yapmalıdır. Bu amaçla, merkezler ve konsorsiyumlar, uzun vadeli ve merak odaklı araştırmaları sürdürebilecek araştırma topluluklarını bir araya getirip bu süreci devam ettirmelidir.

4.1.2. Kuantum Yetkinliğine Sahip İşgücü Oluşturma (Quantum-Smart Workforce):

Söz konusu strateji belgesinde, kuantum teknolojilerinde sürdürülebilir bir ilerleme için fen bilimleri ve mühendislik gibi geniş bir yelpazede uzmanlığa sahip, kuantum-yetkin iş gücü yetiştirmenin önemi vurgulanmaktadır. Ancak mevcut eğitim sisteminin, bu gereksinime yeterince karşılık veremediği, disiplinler arası bir yaklaşımı benimsemediği ve endüstri, ulusal laboratuvarlar ve akademinin talep ettiği nitelik ve becerilere sahip bireyler yetiştirme konusunda eksiklikler bulunduğu ifade edilmektedir. Öğrencilerin yetiştirilmesinde ana omurga eğitim ve akademi kurumları olsa da ülkenin gelecekteki ihtiyaçlarının karşılanması için hükümet organları ve endüstrinin akademi ile iş birliği ve ortaklık geliştirmesi gerektiği belirtilmektedir.

Bu bağlamda, kuantum bilgi biliminin mevcut müfredat ekosistemine entegre edilerek eğitim sistemine multidisipliner bir yaklaşım kazandırılması önemlidir. Bu, yeni lisans programlarının oluşturulması, endüstri ve hükümetle iş birliği yaparak staj ve dışa dönük eğitim fırsatlarının sunulması, toplumda kuantum teknolojilerinin gönüllü elçileri olacak uzmanların yetiştirilmesi gibi adımları içermektedir. Ayrıca, üniversite dışındaki kitlelere yönelik etkinlikler düzenlenmeli, ilkokuldan lise seviyesine kadar güçlü bir bilişim ve bilimsel düşünme programı geliştirilmelidir. Bu sayede kuantum alanına erken yaşta ilgi uyandırılmalı, endüstri, meslek birlikleri ve devlet kurumları da bu eğitimlere katkı sağlayarak yenilikçi teknolojilere erişim imkânı sunmalıdır.

4.1.3. Kuantum Endüstrisi ile İş Birliğinin Derinleştirilmesi:

Teknoloji sektörü, kuantum teknolojileri alanında araştırma ve geliştirmelere büyük bir ilgi göstermektedir. Hem IBM, Google, Microsoft gibi büyük teknoloji devleri hem de çeşitli start-up'lar başta kuantum bilgisayarlar olmak üzere kuantum teknolojilerine büyük yatırımlar yapmaktadır.

İlgili belgede kuantum teknolojilerinin ekonomik ve ulusal güvenlik açısından sağladığı fırsatlar ve tehditler göz önüne alındığında, hükümetin kuantum endüstrisiyle

koordinasyon sağlamak için yöntemler geliştirmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Endüstrinin karşılaştığı kritik teknik boşluklar, iş gücü, altyapı, standartlar, yol haritası ve diğer düzenleyici faaliyetler için hükümet kurumlarıyla kuantum endüstrisinin iş birliği yapması önemlidir. Bu çerçevede, ortak forumlar ve araştırma merkezleri kurulması, endüstrinin daha anlamlı ve hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlamak ve mevcut sorunları çözmek için kritik bir adım olacaktır.

4.1.4. Kritik Altyapının Sağlanması:

Kuantum araştırmalarının etkili bir şekilde yürütülmesi için uygun araçlar, tesisler ve diğer altyapı unsurlarının gerekliliğine dikkat çekilen belgede, mevcut durumda yeterli büyüklükte bir altyapının olmadığı dile getirilmektedir.

Bu nedenle, sürecin hızlandırılması ve federal kurumlar ile endüstrinin gelişen kuantum teknolojilerine hazırlanmaları için, ilgili altyapıların yanı sıra destekleyici faaliyetlerin planlı ve hedeflenmiş bir şekilde genişletilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, kritik altyapı ihtiyaçlarının belirlenmesi ve hükümet uzmanları, paydaşlar, endüstri ve akademi ile iş birliği yaparak gerekli yatırımların teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, devlet kurumlarının kuantum teknolojileri araştırma topluluğuna mevcut ve gelecekteki tesisler ile destekleyici teknolojilere daha fazla erişim sağlaması gerektiği, eğitim ve katılım süreçlerinin yanı sıra son kullanıcı test ortamları oluşturarak federal kurumlar ve diğer paydaşların kendi misyonlarına uygun uygulamaları keşfetmelerine fırsat tanınması gerektiği ifade edilmektedir. Son olarak, yeni altyapıların kurulmasının maliyet ve zaman açısından zorluklar yaratabileceği göz önüne alındığında, gerektiğinde yeniden kullanılabilir ve genişletilebilir üretim tesislerinin de dahil olduğu mevcut altyapının etkin bir şekilde kullanılmasının, kuantum teknolojilerinin gelişim hızını artırmada önemli rol oynayacağına dikkat çekilmektedir.

4.1.5. Ulusal Güvenliğin ve Ekonomik Büyümenin Sürdürülmesi:

Strateji belgesinde riskler ile ekonomi büyüme arasındaki karmaşık ilişkiye dikkat çekilmekte ve bu ikisi arasında uzun vadede faydalı olacak uygun bir dengenin kurulması gerektiği vurgulanmaktadır.

Kuantum teknolojilerin gelişmesi ekonomik büyüme, ulusal güvenlik ve savunma sanayinde inanılmaz faydalar sağlayabilir. Kuantum bilişim, kuantum ağlar ve iletişim teknolojileriyle ilaç keşfi, korozyona dayanıklı malzemeleri geliştirmek için kimyasal reaksiyonların modellenmesi ve lojistik çözümlerinin optimize edilmesi gibi fırsatlar hem ekonominin büyümesini sağlayacak hem de ülkenin ulusal güvenliğini ve savunmasını güçlendirecektir. Bununla birlikte, kuantum bilişim sayesinde klasik bilgisayarlarda kırılması yıllar sürecek şifrelerin kısa sürede kırılması mümkün hale gelecektir. Bu durum, günümüzde tüm internet dünyasıyla birlikte finanstan sağlığa kadar pek çok sektörün dayandığı kriptografiyi etkileyecektir. Bu da hem ülkenin ulusal güvenliği hem de ülke ekonomisi için ciddi riskler barındırmaktadır. Bu sorunla mücadele etmek için strateji belgesinde bugünün kriptografi standartlarını yarının kuantum dünyasına hazırlamak gerektiği, hassas verileri koruma ve uzun vadede güvenilir bir altyapı sağlamak için “kuantum sonrası” veya “kuantumdayanıklı” kriptografi biçimlerine geçilmesinin zorunluğu dile getirilmektedir.

Söz konusu belgede kuantum teknolojilerinin ulusal güvenlik, ekonomik büyüme ve savunma üzerindeki kritik rolü göz önünde bulundurularak, fikri mülkiyetin ve ekonomik çıkarların korunması için ihracat ve ticaret düzenlemelerinin yapılması gerektiği de vurgulanmaktadır.

4.1.6. Uluslararası İş Birliğinin İlerletilmesi:

Bu strateji belgesinde şirketlerin küresel ölçekte faaliyet gösterdiği, bilim insanları ile mühendislerin birlikte çalışmasının sınırları aştığı 21. yüzyılın son derece birbirine bağlı dünyasında uluslararası iş birliğinin önemine dikkat çekilmekte, bu iş birliklerinin bilimsel keşifleri ve teknolojik uygulamaları hızlandırdığı gibi ABD'nin ekonomik büyümesini ve ulusal güvenliğini de desteklediği belirtilmektedir.

Belgede ABD'nin kuantum teknolojilerindeki liderliğini ve rekabet gücünü sürdürmek için iki yönlü bir politika izlemesi gerektiği vurgulanmaktadır, ABD, yerel yatırımları ve araştırma stratejilerini ilerletip tüm sektörlerde yenilikleri ve icatları hızlandırırken kendisiyle benzer düşünen hükümetler ve endüstriyel ortaklarla uluslararası iş birliğini de artırmaya çalışmalıdır.

Bu noktada devlete üç görev yüklenmektedir. Öncelikle devlet, dünya çapındaki kuantum bilim ve teknoloji eğilimlerini belirlemek ve izlemek, boşlukları ve fırsatları değerlendirmek, gelişen uluslararası kuantum manzarasını anlamak ve mevcut programlardan haberdar olmak için uluslararası iş birliği faaliyetlerinin ve ortaklıklarını düzenli olarak inceleyecek ve gözden geçirecektir. İkinci olarak, devlet, en iyi uluslararası ortakları çekmek ve bu ortaklıkları sürdürmek için çaba gösterecek; ayrıca kuantum alanındaki uluslararası teknolojilere, araştırma tesislerine ve uzmanlara erişimini güvence altına almak amacıyla stratejik ikili ortaklıkları belirleyip önceliklendirecektir. Son olarak, devlet, ulusal çıkarlarla uyumlu olacak şekilde, liyakate dayalı ve şeffaf bir temel araştırma ve inovasyon sistemini teşvik etmeli; ayrıca kuantum araştırmalarından elde edilen kamu verilerine açık erişimi sağlamalıdır. Bunun yanı sıra, kuantum teknolojilerine ilişkin uluslararası standartların geliştirilmesine de katkı sağlamalıdır.

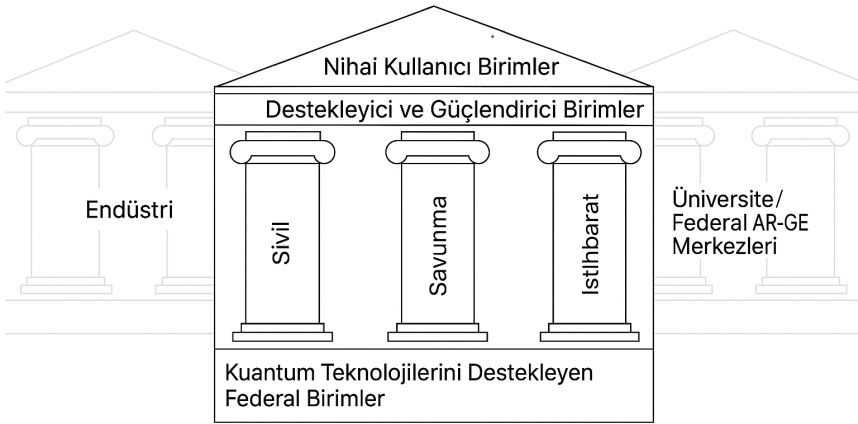
4.2. Ulusal Kuantum Girişimi Kanunu (*The National Quantum Initiative Act-NQI*)

Ulusal Kuantum Girişimi Kanunu (NQI) 21 Aralık 2018'de ABD'nin ekonomik ve ulusal güvenliği için kuantum araştırma ve geliştirmeyi hızlandırmak amacıyla Demokratlar ve Cumhuriyetçilerin desteğiyle yürürlüğe girmiştir. Bu yasa Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'ne (NIST), Ulusal Bilim Vakfı'na (NSF) ve Enerji Bakanlığı'na (DOE), kuantum bilgi bilimi programlarını, merkezlerini ve konsorsiyumlarını güçlendirme yetkisi vermektedir. Ayrıca sivil, savunma ve istihbarat sektörleri de dahil olmak üzere ABD genelindeki kurumlara kuantum bilişim araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çabalarına yönelik koordineli bir yaklaşım çağrısında bulunmaktadır. Bu amaçla Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi (NSTC) Kuantum Bilgi Bilimi Alt Komitesi (SCQIS), NSTC Kuantum Biliminin Ekonomik ve Güvenlik Etkileri Alt Komitesi (ESIX), Ulusal Kuantum Koordinasyon Ofisi (NQCO) ve Ulusal Kuantum Girişimi Danışma Komitesi (NQIAC) gibi organlara çeşitli sorumluluklar yüklenmiş ve birbiriyle koordineli çalışan bir kuantum ekosistemi meydana getirilmiştir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere bu ekosistemin merkezinde, kuantum araştırmalarına fon sağlayan, rehberlik eden ve yönlendiren federal sivil, savunma ve istihbarat kurumları yer almaktadır. Sivil kurumlar; Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (*The National Institute of Standards and Technology*), Ulusal Bilim Vakfı (*The National Science Foundation*), Enerji Bakanlığı (*The Department of Energy*), Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'dir (*The National Aeronautics and Space Administration*). Savunma kurumları; Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı (*Defense Advanced Research Projects Agency-DARPA*), Ordu Araştırma Ofisi (*Army Research Office-ARO*), Hava Kuvvetleri Bilimsel Araştırma Ofisi (*Air Force Office of Scientific Research-AFOSR*), Deniz Araştırma Ofisi (*Office of Naval Research-ORN*), Ordu Araştırma Laboratuvarı (*Army Research Lab-ARL*), Deniz Araştırma Laboratuvarı

(*Naval Research Lab-NRL*), Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı (*Air Force Research Lab-ARFL*), Savunma Bakanlığı/Araştırma ve Mühendislik Ofisi (*Office of the Secretary of Defense/Research and Engineering-OSD/R&E*). İstihbarat kurumları; İstihbarat İleri Araştırma Projeleri Faaliyeti (*Intelligence Advanced Research Projects Activity-IARPA*), Fizik Bilimleri Laboratuvarı (*Laboratory For Physical Sciences-LPS*). Nihai kullanıcı birimler Ulusal Sağlık Enstitüleri (*National Institutes of Health-NIH*), İç Güvenlik Bakanlığı (*Department of Homeland Security-DHS*), ABD Tarım Bakanlığı (*United States Department of Agriculture-USDA*), ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (*United States Geological Survey-DOI/USGS*), Savunma Bakanlığı (*Department of Defense-DOD*), Ulusal İstihbarat Direktörlüğü Ofisi (*Office of the Director of National Intelligence-ODNI*). Destekleyici ve güçlendirici birimler Federal Soruşturma Bürosu (*Federal Bureau of Investigation-FBI*), ABD Patent ve Ticaret Ofisi (*U.S. Patent and Trade Office-USPTO*), Dışişleri Bakanlığı (*Department of State-STATE*).³⁷

Bu ekosistemin ikinci sacayağı, kuantum hesaplama yazılımları ve algoritmalarının yanı sıra kuantum bilgisayarları ve ilgili fiziksel bileşenler gibi yazılım ve donanım alanlarında faaliyet gösteren özel sektör ve sanayi şirketlerinden oluşmaktadır. Özellikle Google, IBM, Microsoft, Amazon gibi teknoloji şirketleri hem farklı kübit türlerine dayalı kuantum işlemciler geliştirmekte, hem de bulut tabanlı kuantum bilişim platformları sağlamaktadır. Ekosistemin üçüncü sacayağı ise kuantum bilgi üretimi ve nitelikli iş gücünün yetiştirilmesinde önemli rol oynayan akademik araştırma kurumları, üniversiteler ve devlet destekli araştırma laboratuvarlarıdır.³⁸

Şekil 1. ABD Kuantum Teknolojisi³⁹



İlgili kanunun amaçları beş temel kategori altında toplanmıştır. Burada özellikle kuantum teknolojilerinde ABD'nin liderliğinin sürdürülmesine hizmet etmesi amaçlanmaktadır.

Kanun, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisini, bilginin depolanması, iletilmesi, işlenmesi, hesaplanması ve ölçülmesi süreçlerinde kuantum fiziği yasalarının kullanılması olarak tanımlamaktadır. Bu çerçevede, birinci amaç, söz konusu alanda araştırma ve

37 National Science & Technology Council, *Supplement to the President's FY 2025 budget*, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf>, 2024, s. 9.

38 National Science & Technology Council, *Supplement to the President's FY 2025 budget*, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf>, 2024, s. 9.

39 Age, s. 9.

geliştirme faaliyetlerinin yapılması, test edilmesi ve gerçek hayatta uygulanabilmesi için destek sağlanmasıdır.

Birinci amaçla ilgili olarak, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisinin gelişimini desteklemek için çeşitli adımların atılması öngörülmüştür. Bu adımlar arasında, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisinde bir işgücü havuzu oluşturmak için bu alanda eğitim almış araştırmacı, eğitimci ve öğrenci sayısının artırılması yer almaktadır. Ayrıca, lisans, yüksek lisans, doktora ve doktora sonrası düzeylerde kuantum bilgi bilimi için çok disiplinli müfredatların ve araştırma fırsatlarının geliştirilmesi teşvik edilmekte, temel araştırma alanlarında bilgi eksikliklerinin giderilmesi hedeflenmektedir. Bunun yanı sıra, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi araştırmalarının, testlerinin ve eğitimlerinin daha verimli hale gelmesi için mevcut tesislerin ve merkezlerin daha da geliştirilmesi teşvik edilmekte ve kuantum tabanlı teknolojiler üzerine yapılacak araştırmaların hızlandırılması amaçlanmaktadır.

Kanunun ikinci amacı federal kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi araştırma ve geliştirmesi noktasında kurumlar (ajanslar) arası planlama ve koordinasyonunun iyileştirilmesidir. Kanunun üçüncü amacı federal hükümetin kuantum bilgi bilimi ve teknolojisinin araştırma, geliştirme ve test programlarının etkinliğini en üst düzeye çıkarılmasıdır. Kanunun dördüncü amacı federal hükümet, federal laboratuvarlar, endüstri ve üniversiteler arasındaki iş birliğinin teşvik edilmesidir. Son olarak, kanun, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisinin güvenliği için uluslararası standartların geliştirilmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, teknolojik yeniliği ve özel sektörün ticarileşmesinin kolaylaştırılmasını ve ekonomi ve ulusal güvenliğe ilişkin hedeflere ulaşılmasını sağlamak gerekmektedir.

İlgili kanun, Ulusal Kuantum Girişimi Programı'nın uygulanmasını öngörmektedir. Bu program, yasanın amaçlarıyla uyumlu olarak aşağıdaki hedefleri ve öncelikleri içermektedir. İlk olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi uygulamalarının gelişimini hızlandırmak amacıyla on yıllık bir planın hedeflerini, önceliklerini ve ölçütlerini belirlemek gerekmektedir. Ardından, yasada belirtilen beş başlık altında yer alan amaçlara ulaşabilmek için temel federal kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi araştırma, geliştirme, test ve diğer faaliyetlere yatırım yapılması öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi işgücü havuzunu geliştirmeye yönelik faaliyetlere yatırım yapılması da programın önemli bir parçasıdır. Ayrıca, bu program kapsamındaki federal kuantum bilişim bilimi ve teknolojisi araştırma, geliştirme, tanıtım, standartlara katılım ve diğer faaliyetlerin kurumlar arası planlanması ve koordinasyonu sağlanmalıdır. Sanayi ve üniversitelerle ortaklıklar kurarak bilgi ve kaynaklardan yararlanmak, programın bir diğer temel hedefidir. Son olarak, yasada belirtilen hedefler ve öncelikler doğrultusunda mevcut federal yatırımların verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Kanun, Ulusal Kuantum Girişimi Programı'nın yanı sıra Ulusal Kuantum Koordinasyon Ofisi (NQCO) kurulmasını da öngörmektedir. Bu ofise atfedilen görev ve sorumluluklar şu şekilde sıralanmaktadır. İlk olarak, kanun kapsamında kurulan ve kuantum teknolojisi ile ilgili komitelere teknik ve idari destek sağlamak, ofisin temel görevlerinden biridir. Ayrıca, program kapsamındaki faaliyetlerin finansmanı için başvuruların ortak kurumlar tarafından talep edilmesini ve seçilmesini teşvik etmek ve desteklemek de dahil olmak üzere, programın kurumlar arası koordinasyonunu denetlemek de bir başka önemli sorumluluktur. Ulusal Kuantum Koordinasyon Ofisi, teknik ve program bilgilerini paylaşmak amacıyla, federal departmanlar ve ajanslar, sanayi, üniversiteler, meslek kuruluşları, eyalet hükümetleri ve Ofisin uygun gördüğü diğer paydaşlarla iletişimde olarak, federal

sivil kuantum bilgi bilimi ve teknolojisi faaliyetleri için bir irtibat noktası olarak hizmet verecektir. Ayrıca, kanun kapsamında kurulan ortak girişimler veya konsorsiyumlar, Çok Disiplinli Kuantum Araştırma ve Eğitim Merkezleri ve Ulusal Kuantum Bilgi Bilimi Araştırma Merkezleri arasında koordinasyonu sağlamak da ofisin görevleri arasındadır. Kamuya yönelik bilgilendirme yapmak, danışma komitesinin bulguları ve tavsiyelerinin yayılmasını sağlamak da bir diğer önemli sorumluluktur. Federal hükümetin misyonları ve sistemleriyle yeni kurulan girişimler dahil olmak üzere, endüstrinin program faaliyetlerinden elde edilen teknolojilere, yeniliklere ve uzmanlığa erişimini sağlamak ve bu yeniliklerin erken aşamada uygulanmasını teşvik etmek de Ofisin görevleri arasında yer almaktadır. Son olarak, uygun federal hükümet kurumları ve açık, rekabetçi bir süreç aracılığıyla, sanayi, üniversiteler ve federal laboratuvarlar tarafından geliştirilen mevcut kuantum hesaplama ve iletişim sistemlerinin, yeni uygulamaları keşfetmek amacıyla genel kullanıcı topluluğunun erişimine sunulmasını teşvik etmek ofisin bir diğer önemli sorumluluğudur.

2023 Kasım ayında Bilim, Uzak ve Teknoloji Komitesi'ne sunulan ve yasama süreci hâlâ devam eden Ulusal Kuantum Girişimi Yeniden Yetkilendirme Yasası (*National Quantum Initiative Reauthorization Act*) ile bu kanunda önemli değişiklikler yapılması planlanmaktadır. Söz konusu değişiklikler arasında, ilgili kurumlara 2,7 milyar dolarlık bütçe ayrılması, programın süresinin 2034 yılına kadar uzatılması, kuantum araştırmalarının pratik uygulamalara yönlendirilmesi, yeni kuantum araştırma merkezleri ve iş gücü koordinasyon merkezlerinin kurulması ile kamu-özel iş birliği aracılığıyla kuantum algoritmalarının geliştirilmesi yer almaktadır. Bu düzenlemeler, temel araştırmaya odaklanan mevcut yasanın, toplumsal ve ekonomik faydaya dönüşümünü hızlandırmak amacıyla daha somut ve uygulamaya yönelik bir yapıya kavuşturulmasını hedeflemektedir.

4.3. Diğer Stratejik Belgeler

Yasa ve yasadan önce çıkarılan strateji belgesi dışında, kuantum teknolojilerine dair başka stratejik belgeler de mevcuttur. Bu belgelerin bazıları genel stratejik mahiyetteyken bazıları da kuantum teknolojilerinin belirli alanlarına tematik olarak yaklaşan ve bu alanlarda daha spesifik hedefler belirleyen belgelerdir.

Kuantum Bilgi Bilimi İçin Federal Bir Vizyon (*A Federal Vision for Quantum Information Science*) başlıklı 2009 tarihli belge, diğer stratejik belgelere kıyasla erken dönem belgelerden biridir. Bu belge, ABD'nin 21. yüzyıl teknolojisi olarak tanımladığı kuantum teknolojisinin temelini oluşturan kuantum maddesinin davranışını kontrol etmek, manipüle etmek ve kullanmak için gerekli bilimsel altyapıyı oluşturmayı hedeflediğini belirtmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için, kritik bilimsel unsurların belirlenmesi ve bu unsurların araştırma öncelikleri olarak benimsenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, kuantum bilgi bilimlerinde bilim insanlarının eğitime büyük önem verilmesi gerektiği ve bu alandaki başarı için kritik kurumların koordineli bir şekilde hareket etmesinin gerekliliği ifade edilmektedir.

Kuantum Bilgi Bilimini Geliştirmek: Ulusal Zorluklar ve Fırsatlar (*Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities*) başlıklı 2016 tarihli belgede kuantum bilgi biliminin kısa bir tanımı verilerek, bu alanda federal koordinasyon ve yatırımların bir öncelik haline getirilmesi önerilmektedir. Belgede, özellikle istikrarlı ve sürekli finansman, kurumsal ve disiplin sınırları, eğitim ve işgücü, bilgi transferi, malzeme ve imalat gibi alanlardaki engelleri aşmak için uygun mekanizmaların bulunması ve uygulanmasına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Amerika'nın Kuantum Ağları İçin Stratejik Bir Vizyon (*A Strategic Vision for America's Quantum Networks*) başlıklı Şubat 2020 tarihli belge spesifik olarak kuantum ağlarına odaklanmaktadır. Bu belgede iki temel amaç ön plana çıkarılmaktadır. Bunlardan ilki, çok kısa vadede ABD'deki şirketler ve laboratuvarların, kuantum ara bağlantıları, kuantum tekrarlayıcıları ve kuantum belleklerinden yüksek verimli kuantum kanallarına ve kıtalararası mesafelerde uzay tabanlı dolanıklık dağılımının keşfine kadar kuantum ağlarını mümkün kılacak temel bilim ve anahtar teknolojilerinin ortaya konmasıdır. Bununla birlikte, bu tür sistemlerin ticari, bilimsel, sağlık ve ulusal güvenlik yararları için potansiyel etkisi ve geliştirilmiş uygulamaları belirlenmelidir. İkinci amaç ise, yirmi yıllık bir süre zarfında kuantum internet bağlantılarının, ağ bağlantılı kuantum cihazları kullanarak, klasik teknolojiyle mümkün olmayan yeni yöntem ve yetenekleri mümkün kılınması ve dolanıklığın rolünü anlama konusunda ilerlemelerin kaydedilmesidir.

Kuantum Sınırları Raporu (*The Quantum Frontiers Report*) başlıklı Ekim 2020 tarihli belge kuantum ile ilgili olarak karşılaşılan temel sorunlara çözüm arayan sekiz öncelikli alanı belirlemektedir. Belirlenen öncelikli alanlar şunlardır: kuantum teknolojilerinin topluma fayda sağlaması için fırsatları genişletmek, kuantum mühendisliği disiplini oluşturmak, kuantum teknolojileri için malzeme bilimine yoğunlaşmak, kuantum simülasyonları aracılığıyla kuantum mekaniğini keşfetmek, hassas ölçümler için kuantum bilgi teknolojilerinden yararlanmak, yeni uygulamalar için kuantum dolanıklığını oluşturmak ve dağıtmak, kuantum hatalarını karakterize etmek ve azaltmak, kuantum bilgisi aracılığıyla evreni anlamak.

Kuantum Ağlarına Koordineli Bir Yaklaşım (*A Coordinated Approach to Quantum Networking*) başlıklı Ocak 2021 tarihli belge yine kuantum ağlarına odaklanmaktadır. Belgede yararlı kuantum ağ bileşenleri ve uygulamaları geliştirmek için gerekli olan bilim ve mühendisliği hızlandırmak noktasında dört teknik, üç programatik öneri geliştirilmektedir. Teknik öneriler, kuantum ağları için kullanım örnekleri üzerine yapılan araştırmaların sürdürülmesi, kuantum ağları için çapraz faydalı temel bileşenlere öncelik verilmesi, kuantum ağlarını desteklemek için klasik yöntem ve yeteneklerin iyileştirilmesi ve doğru boyutlandırılmış kuantum ağ test ortamlarından yararlanılmasıdır. Programatik öneriler ise kuantum ağları araştırma ve geliştirme sürecinde kurumlar arası koordinasyonun artırılması, kuantum ağları araştırma ve geliştirme sürecinin altyapısı için zaman çizelgelerinin oluşturulması ve kuantum ağları araştırma ve geliştirme sürecinde uluslararası iş birliğinin kolaylaştırılmasıdır.

İlgili tüm stratejik belgelerde, kuantum teknolojisine ilişkin işgücü eksikliği önemli bir zorluk olarak vurgulanmıştır. Şubat 2022 tarihli Kuantum Bilgi Bilimi ve Teknolojisi İşgücü Geliştirme Ulusal Stratejik Planı (*QIST Workforce Development National Strategic Plan*) ve Ekim 2021 tarihli Kuantum Bilgi Biliminde Uluslararası Yeteneğin Rolü Raporu (*The Role of International Talent in Quantum Information Science Report*) da, bu zorluğun giderilmesine yönelik olarak, kuantum teknolojileri alanında sağlam bir işgücü havuzunun özellikle eğitim yoluyla sağlanması ve uluslararası yetenek akışının desteklenmesiyle bu işgücü havuzunun genişletilmesi ve güçlendirilmesi konularına odaklanmaktadır.

Kuantum Sensörlerini Gerçekleştirmek (*Bringing Quantum Sensors to Fruition*) başlıklı Mart 2022 tarihli belgede, kuantum teknolojilerinin bir alanı olan kuantum sensörlerinin laboratuvarlardan pazara, masaüstü deneylerden gerçek yaşam uygulamalarına dönüştürülmesi merkeze alınmaktadır. Belge, kuantum sensörlerinin gelişimi ve yaygınlaştırılması konusunda stratejik bir yaklaşım izlemektedir. Çünkü diğer kuantum teknolojileriyle kıyaslandığında, kuantum sensörleri teorik ve mühendislik yönüyle daha hızlı sonuç elde edilebilecek bir alan

olarak öne çıkmaktadır. Kuantum sensörlerinin gerçek dünya uygulamalarına entegrasyonu için belgede dikkat çekilen hususlar şunlardır: kuantum teknolojileriyle ilişkili kurumlar, yeni kuantum sensörlerinin gelişimini hızlandırarak, teknoloji hazırlık seviyelerini yükseltmek için son kullanıcılarla iş birliklerini önceliklendirmelidir. Sensör kullanan kurumlar ise fizibilite çalışmaları yaparak, kuantum prototiplerini test edip, görevlerine uygun sensörlere odaklanmalıdır. Mühendisliğe ilişkin kurumlar, kuantum teknolojilerinin gelişimini kolaylaştırmak için geniş çapta uygulanabilir bileşenler ve alt sistemler geliştirmeli, aynı zamanda kuantum sensörlerinin erken benimsenmesini teşvik etmek amacıyla teknoloji transferi ve edinim uygulamalarını iyileştirmelidir.

Spesifik bir kuantum alanına odaklanan başka bir stratejik belge de; Başkan Joe Biden'ın Mayıs 2022 tarihinde imzalayarak yayımladığı Kuantum Dirençli Kriptografi Üzerine Ulusal Güvenlik Muhtırası (*National Security Memorandum on Quantum-Resistant Cryptography*) belgesidir. Bu belgede, siber güvenlik risklerini azaltmak için kriptografik sistemlerin kuantum dirençli şifrelemeye zamanında ve adil bir şekilde geçişinin önceliklendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

ABD özellikle kuantum bilgisayarların yol açacağı siber güvenlik ve ulusal güvenlik sorunlarına önem vermektedir. Yukarıda bahsi geçen muhtıradan sonra bu konuyla alakalı bir yasa çıkarılmıştır. Aralık 2022'de yürürlüğe giren Kuantum Bilişim Siber Güvenlik Hazırlık Yasası (*Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act*), kriptografinin ABD'nin ulusal güvenliği ve ekonomisi için olmazsa olmaz nitelikte olduğunu, mevcut şifreleme protokollerinin siber güvenliği sağlamak için klasik bilgisayarların hesaplama sınırlarına dayandığını, kuantum bilgisayarların gelecekte bu sınırları aşma potansiyeline sahip olduğunu ve bu durumun mevcut güvenlik altyapısını tehdit edebileceğini, ayrıca kuantum bilişimdeki hızlı ilerlemenin ABD düşmanlarının güçlü kuantum sistemleri hayata geçtiğinde şifrelerini çözmek üzere hassas verileri toplama (*harvest now, decrypt later*) stratejisini izlemeye sevk ettiğini vurgulamaktadır. Bu bulgulardan hareketle yasada ABD'nin bilgi teknolojisinin kuantum sonrası kriptografiye geçiş için bir stratejiye ihtiyaç olduğunu ve kuantum sonrası kriptografiye yönelik hem hükümet hem de endüstri nezdinde, kriptografik çevikliği destekleyecek şekilde uygulamaların, donanımına ilişkin fikri mülkiyet haklarının ve kolayca güncellenebilir yazılımların geliştirilmesine öncelik verilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Yasada bu yönüyle bir yol haritası ve zaman çizelgesi çizilmekte, kurumların kuantum bilgisayarlar tarafından şifre çözülmesine karşı savunmasız olan mevcut bilgi teknolojilerinin envanterini oluşturması ve bu envanteri önceliklendirerek, kuantum sonrası şifrelemeye geçiş için bir plan geliştirmesi öngörülmektedir.

Kuantum Bilişim Bilimi ve Teknolojisinde Uluslararası İşbirliğinin Geliştirilmesi Raporu (*Advancing International Cooperation in Quantum Information Science and Technology Report*) başlıklı Ağustos 2024 tarihli belge birçok stratejik belgelerde geçen uluslararası iş birliğine odaklanmaktadır. Raporda, yeniliği hızlandıran, tedarik zincirlerine ve pazarlara güçlü erişim sağlayan iş birliklerin, uluslararası toplumda kuantum teknolojisiyle ilgili ilke, politika ve uygulamaların geliştirilmesine rehberlik ettiği ve ABD ulusal kuantum stratejisinin önemli bir bileşeni olduğu vurgulanmaktadır. Bu kapsamda, bu iş birlikleri için hükümete çeşitli önerilerde bulunulmaktadır. Bu öneriler, uluslararası kuantum teknolojisi iş birliklerini finanse etmek için özel ve uzun vadeli mekanizmaların oluşturulması, ABD hükümetinin uluslararası kuantum teknolojisine katılımı artırmak amacıyla kurumlar arası koordinasyonu güçlendirmesi ve son olarak, kuantum teknolojisinin küresel rekabet edebilirliğini izlemek için metrikler oluşturulması ve bunların takip edilmesidir.

Kuantum teknolojileri için ayrılan bütçe 2021 yılından itibaren yayınlanan yıllık raporlarda yer almıştır. Yıllık raporlara⁴⁰ göre kuantum bilgi bilimi ve teknolojileri için gerçekleşen bütçe 2019 yılı için 456 milyon, 2020 yılı için 690 milyon dolar, 2021 yılı için 851 milyon dolar, 2022 için 1,041 milyon dolar, 2023 yılı için 1,036 milyon dolar, 2024 yılı için ise 1,006 milyon dolardır.⁴¹ 2025 yılı için öngörülen bütçe ise 998 milyon dolar olarak belirlenmiştir. Verilere bakıldığında 2022 yılından sonra gerçekleşen bütçe miktarında düşüş göze çarpmaktadır.

Yukarıda sayılan kanunlar ve diğer metinlerde dile getirilen ABD'nin kuantum teknolojilerine dönük stratejileri Tablo 1'de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 1. ABD Ulusal Kuantum Stratejisi⁴²

Strateji ve Öncelik	Açıklama	Zorluklar / Sorunlar
Bilim-Öncelikli Yaklaşım	Kuantum teknolojilerindeki bilimsel icatların desteklenmesi, güçlü ve çeşitli araştırma platformlarının oluşturulması Araştırma, geliştirme, test ve gerçek hayat uygulamaları için destek sağlanması	Koordinasyon eksiklikleri, disiplinler arası eğitim ve araştırma eksikliği
Kuantum Yetkinliğine Sahip İşgücü	Eğitilmiş işgücü yetiştirilmesi Araştırmacı, eğitimci ve öğrenci sayısının artırılması Çok disiplinli müfredat ve araştırma fırsatlarının geliştirilmesi	Yetersiz iş gücü, disiplinler arası yaklaşımlar eksikliği
Kuantum Endüstrisi ile İş Birliği	Kuantum endüstrisiyle koordinasyon sağlanması ve kritik teknik boşlukların giderilmesi Federal hükümet, federal laboratuvarlar, endüstri ve üniversiteler arasında iş birliğinin teşvik edilmesi.	Teknik boşluklar, altyapı eksiklikleri ve ekonomi dengesi
Kritik Altyapının Sağlanması	Kuantum araştırmalarını destekleyecek altyapıların geliştirilmesi.	Yetersiz altyapı, zaman ve maliyet engelleri
Ulusal Güvenliğin ve Ekonomik Büyümenin Sürdürülmesi	Kuantum teknolojilerinin güvenlik ve ekonomik büyüme üzerindeki etkilerinin yönetilmesi.	Kriptografi riskleri, güvenlik ve ekonomi dengesi
Uluslararası İş Birliği	Küresel iş birlikleri ile kuantum teknolojilerinin gelişiminin hızlandırılması ve ABD'nin liderliğinin sürdürülmesi. Kuantum teknolojisinin güvenliği için uluslararası standartların geliştirilmesi.	Uluslararası iş birliği eksikliği, standart ve düzenleme sorunları.

40 Yayınlanan her yıllık planda önceki yıllara ait talep edilen ve gerçekleşen bütçe miktarına da yer verilmiştir, bununla birlikte farklı ve değişen rakamlar söz konusu olmuştur. Bu nedenle bu çalışma kapsamında 2025 yılına ait veriler esas almıştır.

41 National Science & Technology Council, *Supplement to the President's FY 2025 budget*.

42 Yazar tarafından düzenlenmiştir.

Sonuç

Teknolojiler büyük güçlerin yıkılmasında veya ortaya çıkmasında kritik rol oynamaktadır. 20. yüzyılı küresel lider olarak tamamlayan ABD, 21. yüzyılda kritik bir eşikte yer almaktadır. Bu dönemde, ya küresel liderliğini koruyup daha da pekiştirecek, ya da bu liderliği başka bir güce devrederek geri kazanması imkânsız ya da belirsiz bir hale getirecektir. Küresel rekabette ABD'nin karşısında en büyük rakip olarak Çin yer almakta, bu rekabetin merkezini ise teknoloji sektörü oluşturmaktadır. Kuantum teknolojisi de teknoloji sektöründe ciddi potansiyeller vaat eden önemli bir bileşendir. Kuantum teknolojisinde beklentiler karşılandığında, kuantum bilgisayarlar ve diğer kuantum teknolojileri inşa edilip laboratuvarlardan pazarlara ulaştığında, bu hedefe ulaşan ülkeler küresel rekabette bambaşka bir düzeye erişecektir. Zira, kuantum bilgisayarlar sayesinde, normal bilgisayarlarla yıllar sürecektir şifrelerin günler ya da belki de dakikalar içinde kırılabileceği, güçlü hesaplamalar sayesinde optimizasyon sorunlarının çözülebileceği, yeni ilaçların hızla geliştirilebileceği bir senaryoda, bu teknolojiye sahip ülkelerin elde edeceği güç onları bu rekabette üst sıralara yerleştirecektir.

Kuantum teknolojisinin sunduğu büyük avantajları göz önünde bulunduran Amerika Birleşik Devletleri, bu teknolojiyi siyaset üstü bir bakış açısıyla ve geniş bir uzlaşa temelinde ele almaktadır. ABD, kuantum teknolojisini stratejik bir öncelik olarak kabul ederek, bu hedef doğrultusunda bir dizi stratejik plan ve program geliştirmektedir. Bu çalışmada, ABD'nin kuantum teknolojilerine yönelik planları, stratejileri ve uygulamaları, ilgili stratejik belgeler ışığında ele alınmıştır. Çalışmada, içerik analizi yöntemi kullanılarak, bu belgelerdeki ana temalar, ilkeler, hedefler ve yatırımlar, araştırma ve geliştirme faaliyetleri incelenmiş, ayrıca bu belgelerdeki ekonomik büyüme, ulusal güvenlik, küresel liderlik yarışları ve uluslararası iş birliği gibi unsurlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

ABD'nin kuantum teknolojilerine ilişkin stratejik belgeleri, ülkenin küresel liderliğini sürdürme ve şu an gelişme aşamasında olan kuantum bilişimin ekonomik, ulusal güvenlik ve savunma alanındaki fırsatlarından faydalanma ve risklerine karşı önlem alma amacını taşımaktadır. Bu doğrultuda önce stratejik metinler yayınlayan ABD, 2018 yılının sonunda da bu metinleri Ulusal Kuantum Girişimi Kanunu (NQI) ile yasalastırmıştır.

Yasada ve diğer stratejik belgelerde öncelikle temel zorluklar ve eksiklikler tespit edilmiştir. Bu zorluklar ve eksiklikler, hükümet ve sektörler arası koordinasyon eksikliği, yetersiz nitelikli işgücü, eğitimde disiplinler arası eksiklikler ve kuantum araştırmalarının ekonomik ve güvenlik üzerindeki belirsiz etkileri olarak belirlenmiştir. Sorunlar bu şekilde tespit edildikten sonra çözüm önerileri ve stratejik hedefler de bu eksende şekillenmiştir. Hem ülke içindeki kurumlar arasında koordinasyona ve iş birlikleri, hem de benzer düşünen ülkeler ile iş birlikleri ve kuantum ekosistemi oluşturmak öncelikli hedeflerden birini oluşturmuştur. Bu nedenle çeşitli koordinasyon birimleri oluşturulmuş ve yeni birimler ihdas edilmiştir. Aynı zamanda mevcut kurumlara da çeşitli görev ve sorumluluklar verilmiştir. İkinci olarak, kuantum teknolojilerinde nitelikli iş gücünün sağlanması, dışarıdan ülkeye yetenekli öğrencilerin, kısacası beyin göçünün teşvik edilmesi de hedeflenmiştir. Bununla bağlantılı olarak, eğitim programları ve reformlarına büyük önem verilmiş, lisans, yüksek lisans, doktora ve doktora sonrası programlarda disiplinler arası bir yaklaşımla kuantum teknolojilerine dair eğitim verilmesi ve üniversite öncesi seviyelerde kuantuma ilgi uyandıracak faaliyetlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yine kuantum araştırmalarının etkin yürütülmesi için gerekli altyapıların yetersiz olduğu tespitinden hareketle federal kurumlar ve endüstrinin gelişen teknolojilere uyum sağlaması için kritik altyapıların belirlenmesi, destekleyici faaliyetlerin genişletilmesi ve mevcut altyapının etkin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Ayrıca ulusal güvenliği, savunma ve ekonomi sektörünü de yakından ilgilendiren kriptografi, kuantum ağları ve sensörler gibi spesifik kuantum teknolojilerine de odaklanan stratejik belgeler yayınlanmıştır.

Çatışma Beyanı:

Araştırmamın yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışma beyanım bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

Basılı Eserler

- AKHGAR Babak, YATES Simeon ve LOCKLEY Eleanor (2013). "Introduction", Babak Akhgar ve Simeon Yates (ed.), *Strategic Intelligence Management: National Security Imperatives and Information and Communications Technologies*, Butterworth-Heinemann, Portsmouth, NH, 1-8.
- AKLEYLEK Sedat ve SOYSALDI Meryem (2019). "Kuantum Bilgisayarlar ile Kriptanaliz ve Kuantum Sonrası Güvenilir Kripto Sistemleri", Şeref Sağıroğlu ve Mustafa Şenol (ed.), *Siber Güvenlik ve Savunma: Problemler ve Çözümler*, Grafiker Yayınevi, Ankara, 137-168.
- CAPELLARO Christoph (2025). "A Primer on Quantum Computing and Quantum Communications", Mohammad Hammoudeh et al. (ed.), *Quantum Computing: A Journey Into the Next Frontier of Information and Communication Security*, CRC Press, Abingdon, UK, 1-10.
- CHEN Jiajun (2021). "Review on Quantum Communication and Quantum Computation", *Journal of Physics: Conference Series*, 1865:2.
- ÇELİK Sadullah (2021). "Kuantum Kriptolojisi ve Siber Güvenlik", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 14:1, 53-64.
- ÇİMEN Canan, AKLEYLEK Sedat ve AKYILDIZ Ersan (2009). *Şifrelerin Matematiği: Kriptografi*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara.
- GENAR Alper (2021). "Harekât Alanındaki Kuantum Fizik Uygulamaları: Bir Süperpozisyon Farkındalığı", Özgür Körpe (ed.), *Harp'te Yeni Kavramlar: Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hukukundaki Yansımalar*, Milli Savunma Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 88-121.
- GESDA Diplomatic Forum / Open Quantum Institute. (2023). *Intelligence Report on the Multilateral Governance of Quantum Computing for the SDGs*, Geneva, October 2023.
- GISIN Nicolas ve THEW Rob (2007). "Quantum Communication", *Nature Photonics*, 1:3, 165-171.
- HERMAN Arthur ve FRIEDSON Idalia (2018). *Quantum Computing: How to Address the National Security Risk*, Hudson Institute, Washington.
- KAKU Michio (2023). *Quantum Supremacy: How the Quantum Computer Revolution will Change Everything*. Penguin Books.
- KANIA Elsa (2021). "China's Quest for Quantum Advantage-Strategic and Defense Innovation at A New Frontier", *Journal of Strategic Studies*, 44:6, 922-952.
- KRELINA Michal (2021). "Quantum Technology for Military Applications", *EPJ Quantum Technology*, 8: 1.
- MCKINSEY & COMPANY. (2024). *Quantum Techonology Monitor*. McKinsey & Company.
- Nature Photonics. (2025). "A Year Full of Quantum Celebrations", *Nature Photonics*, 19:1, 117.
- NEUMAN W. Lawrence. (2020), *Toplumsal Araştırma Yöntemleri; Nitel ve Nicel Yaklaşımlar 2* (çev. Özlem Akkaya), Siyasal Kitabevi, Ankara.
- RAYMER Michael ve MONROE Christopher (2019). "The US National Quantum Initiative", *Quantum Science and Technology*, 4:2.
- SINGH Harbaksh (2025). "Managing the Quantum Cybersecurity Threat: Harvest Now, Decrypt Later", M. Hammoudeh et al (ed.), *Quantum Computing: A Journey into the Next Frontier of Information and Communication Security*, CRC Press, Abingdon, UK.
- WALLACE William (2018). "National Security", Bruce A. Arrigo (ed.), *The SAGE Encyclopedia of Surveillance, Security, and Privacy*, Sage Publications, Charlotte, USA, 647-654.

İnternet Kaynakları

- AYHAN Buğrahan (2025). “Siber Güvenlik Kanunu Resmi Gazete’de”, *Anadolu Ajansı*, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/siber-guvenlik-kanunu-resmi-gazetede-/3513728#>, erişim 3.04.2025.
- BAKIRCI Çağrı Mert (2022). “Uzak Mesafeden Ürpertici Etkileşim: Kuantum Dolanıklık Nedir? Cisimler Birbirleriyle Işık Hızından Hızlı İletişim Kurabilir Mi?”, *Evrım Ağacı*, https://evrimagaci.org/uzak-mesafeden-urpertici-etkilesim-kuantum-dolaniklik-nedir-cisimler-birbirleriyle-isik-hizindan-hizli-iletisim-kurabilir-mi-12183?srsitid=AfmBOorBXaAgyHuE_MTmqjNq1NqYBQxkAT9lsgM1STEmgaBfbjz_K-S0, erişim 10.03.2025.
- BBVA (2023). “How the World Map off Quantum Computing is Looking”, *BBVA Innovation*, <https://www.bbva.com/en/innovation/how-the-world-map-of-quantum-computing-is-looking/>, erişim 15.02.2025.
- BEYAZ Zafer Fatih ve SARI Oğuzhan (2024). “Cumhurbaşkanı Erdoğan: Çağa Liderlik Eden Güçlü Türkiye Hedefine Emin Adımlarla İlerliyoruz”, *Anadolu Ajansı*, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/cumhurbaskani-erdogan-caga-liderlik-eden-guclu-turkiye-hedefine-emin-adimlarla-ilerliyoruz/3427654>, erişim 10.02.2025.
- BUCHHOLZ Scott, et al (2020). “the Realist’s Guide to Quantum Technology and National Security”, *The Deloitte Center for Government Insights*, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/public-sector/the-impact-of-quantum-technology-on-national-security.html>, erişim 10.02.2025.
- DESJARDINS Jeff (2018). “A Brief History of Technology”, *World Economic Forum*, <https://www.weforum.org/stories/2018/02/the-rising-speed-of-technological-adoption/>, erişim 13.03.2025.
- ERTEN Meryem (2019). “Avcı Uçakların Avcısı: Kuantum Radar”, *ThinkTech STM*, https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608997320_stm-avci-ucaklarin-avcisi.pdf, erişim 01.03.2025.
- INTERAGENCY WORKING GROUP ON QUANTUM INFORMATION SCIENCE (2016). “Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities”, https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/quantum_info_sci_report_2016_07_22_final.pdf, erişim 07.03.2025.
- NATIONAL QUANTUM INITIATIVE “About”, <https://www.quantum.gov/about/>, erişim 04.02.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL. (2009). “A Federal Vision for Quantum Information Science”, https://science.osti.gov/-/media/_pdf/initiatives/qis/FederalVisionQIS.pdf, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2018). “National Strategic Overview for Quantum Information Science”, https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL QUANTUM COORDINATION OFFICE (2020). “Quantum Frontiers”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/QuantumFrontiers.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL QUANTUM COORDINATION OFFICE. (2020). “A Strategic Vision For America’s Quantum Networks”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2021/01/A-Strategic-Vision-for-Americas-Quantum-Networks-Feb-2020.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2021). “A Coordinated Approach to Quantum Networking Research”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2021/01/A-Coordinated-Approach-to-Quantum-Networking.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2021). “the Role of International Talent in Quantum Information Science”, https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2021/10/2021_NSTC_ESIX_INTL_TALENT_QIS.pdf, erişim 1.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2022). “Bringing Quantum Sensors to Fruition”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2022/03/BringingQuantumSensorsToFruition.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2022). “Quantum Information Science and Technology Workforce Development National Strategic Plan”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2022/02/QIST-Natl-Workforce-Plan.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2024). “Advancing International Cooperation in Quantum Information Science and Technology”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/08/Advancing-International-Cooperation-in-QIST.pdf>, erişim 01.03.2025.
- NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (2024). “Supplement To The President’s FY 2025 Budget (Report)”, <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2024/12/NQI-Annual-Report-FY2025.pdf>, erişim 01.03.2025.
- ORUÇ Mertkan ve TOLMAÇ Seda (2024). “Türkiye’nin İlk Kuantum Bilgisayarı “Quant” Tanıtıldı”,

- Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/turkiyenin-ilk-kuantum-bilgisayari-quantanitildi/3400083>, erişim 10.02.2025.
- QUANTUMTECH (2022). “A Quantum Computing Glossary”, <https://quantumtech.blog/2022/01/24/a-quantum-computing-glossary/>, erişim 13.03.2025.
- THE WHITE HOUSE (2022). “National Security Memorandum on Promoting United States Leadership in Quantum Computing While Mitigating Risks to Vulnerable Cryptographic Systems”, <https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2022/05/04/national-security-memorandum-on-promoting-united-states-leadership-in-quantum-computing-while-mitigating-risks-to-vulnerable-cryptographic-systems/>, erişim 14.03.2025.
- U.S. CONGRESS (2018). “The National Quantum Initiative Act (NQI)”, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227/text>, erişim 14.03.2025.
- U.S. CONGRESS (2022). “Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act. Public Law No: 117-260”, <https://www.congress.gov/117/plaws/publ260/PLAW-117publ260.pdf>, erişim 18.03.2025.
- WRIGHT Morgan (2018). “America’s Enigma Problem with China: The Threat of Quantum Computing”, *The Hill*, <http://thehill.com/opinion/national-security/376676-americas-enigma-problem-with-china-the-threat-of-quantum-computing>, erişim 05.02.2025.