

KUANTUM DEVRİMİ

• VE

KUANTUM TEKNOLOJİLERİNİN MODERN DÜNYADAKİ UYGULAMALARI





KUANTUM DEVRİMİ VE KUANTUM TEKNOLOJİLERİNİN MODERN DÜNYADAKİ UYGULAMALARI

1. Giriş

İnsanlık tarihi var olduğundan beri her alanda sürekli bir değişim içerisinde olmuştur. Bu değişimin en önemli sebeplerinden bir tanesi, sahip olunan teknoloji ve onun gelişimi olarak ön plana çıkmakta, toplumların yaşayış biçimlerine, kültürlerine, ekonomilerine, devlet politikalarına, barış ve savaş stratejilerine doğrudan etki etmektedir.

Aynı şekilde diğer alanlarda olduğu gibi askeri teknolojiler bir örnek olarak ele alınırsa her şeyin başlangıcı olarak kabul edilen ilk çağlarda ilkel silahlar, dönemin teknolojisini içeren taş, bronz ve demirden yapılan mızrak, ok ve kılıç olarak görülmektedir. Savaş strateji ve taktikleri de bu dönemde gelişmeye başlamış, kale ve surların ilk örnekleri bu dönemin ürünleri olmuştur.

Orta çağ'a gelindiğinde ise zırh, kılıç ve okçuluk alanlarında yeni teknikler geliştirilmiş, şövalye denilen zırhlı askerler ve kale yapılarındaki gelişmeler dönemin askeri teknolojisinin en önemli çıktıları olmuştur. Bu dönemde barutun icat edilmesi ve tüm Avrupa'da kullanılmaya başlanması, ateşli silahların kritik hâle gelmesine yol açmış, savaşların seyrini değiştirmiştir.

Rönesans Dönemi'nde ise top ve tüfek gibi ateşli silahların kullanımı yaygınlaşmış, askerî stratejiler de silah teknolojisinin gelişimine bağlı olarak evrimleşmiştir. Endüstri Devrimi ile silah üretimine büyük ölçekli yatırımlar yapılmış, modern makineli tüfekler ve toplar bu dönemde ön plana çıkmıştır. Demiryolları, telgraf ve buharlı gemi gibi teknolojiler, askerî lojistik ve haberleşmeye farklı bir boyut kazandırmıştır.

I. ve II. Dünya Savaşları ise askerî teknolojilerin gelişiminde kritik bir dönüm noktası olmuştur. Uçak, tank, denizaltı, roket, atom bombası gibi teknolojiler ve ayrıca radar ve telsiz gibi sistemlerin devreye girmesiyle muharebe sahası kökten değişime uğramıştır. Soğuk Savaş ve sonrasında nükleer silahlanma ve uzay araştırmaları hız kazanmıştır. Elektronik sistemlerin ve bilgisayarların askerî uygulamaları yaygınlaşmıştır¹.

Modern zamanlara kadar muharebe sahasında kullanılan silahlara ilişkin teknolojilerin yüksek ateş gücüne sahip olması kritik bir unsur iken günümüzde muharebe sahasının dışında geliştirilen askerî teknolojiler, dijitalleşme ve yapay zekâ gibi alanlara yoğunlaşmıştır. Sivilleri korumanın artan önemi ile birlikte hassas angaje,

¹ Stone, G. C. (1999). Glossary of the Construction, Decoration and Use of Arms and Armor in all Countries and in all Times. Courier Corporation.





hedef tespiti ve isabet oranı önem kazanmıştır. Bu da yapay zekâ, çoklu verilerin hızlı işlenmesi, anlık aktarım, görüntüleme, konum cihazlarının önemini daha da artırmıştır. Elektronik savaş, dron, siber güvenlik ve yapay zekâ destekli sistemler, modern askerî teknolojilerin temelini oluşturmaktadır. Son yıllarda güncel tüm teknolojilere farklı bir boyut kazandırabilecek devrim niteliğinde bir kavram üzerine çalışmalar hız kazanmıştır. Bu kavram “Kuantum”dur.

2. Kuantum Teorisi, Tarihsel Gelişim Süreci ve Teknolojisi

Kuantum kavramı ya da teorisi, atom ve atom altı ölçeklerde meydana gelen olayları açıklamak üzerine kurulu bir bütün olarak ifade edilebilmektedir.

Kuantum teorisi, 1900’lerin başında Max Planck’ın “Kara Cisim Işınması²” olarak bilinen çalışması sonucunda ortaya çıkmış ve klasik fizik kuramlarının dışında bir devrim olarak nitelendirilmiştir. Bu teoride, maddeler klasik fizik perspektifinden farklı olarak ele alınmakta ve atom altı boyutta incelenmektedir. Kuantum kelimesinin fizik bilimi kapsamında sözlük anlamı “bir enerjinin/maddenin ölçülebilen en küçük miktarı” olarak ifade edilmektedir.

Planck, yaptığı çalışma kapsamında parlayan bir yüzeyden yansıyan radyasyondaki renk değişimlerinin nedenlerini incelemiş, çalışmasının sonucunda sabit bir elektromanyetik dalga yerine her birimde ayrı ayrı enerjilerin var olduğunu ve ölçülebilir olduğunu varsaymıştır. Kuanta adını verdiği bu enerji birimlerini ifade eden matematiksel bir denklem yazmıştır.

İlerleyen süreçte Albert Einstein, Max Planck’ın çalışmasına ek olarak, enerjinin yanı sıra “Fotoelektrik Olay” ile radyasyonun da nicel olarak ele alınabileceğini göstermiştir³. Louis de Broglie, “Dalga-Parçacık İkiliği İlkesi⁴” ile madde ve enerjinin hem parçacık hem de dalga davranışı gösterdiğini ifade etmiştir. Werner Heisenberg ise “Belirsizlik İlkesi⁵” olarak bilinen ve bir parçacığın konumu ile momentumunun aynı anda ölçülemeyeceği çalışmasını ortaya koymuştur. Erwin Schrödinger, bir kuantum sistemi için izin verilen enerji seviyeleri, bunlara karşılık gelen dalga fonksiyonları hakkında bilgi veren ve parçacıkların davranışını ifade eden “Schrödinger Denklemi⁶”ni formülize etmiştir. Bu çalışmalar kuantum teorisinin temellerini oluşturmuş ve günümüzde kuantum alanında gerçekleştirilen çalışmalara ışık tutmuştur.

² Piela, L. (2006). Ideas of quantum chemistry. Elsevier.

³ Güémez, J., & Fiolhais, M. (2018). Relativistic description of the photoelectric effect. American Journal of Physics, 86(11), 825-830.

⁴ Gueret, P., & Vigier, J. P. (1982). De Broglie's wave particle duality in the stochastic interpretation of quantum mechanics: A testable physical assumption. *Foundations of Physics*, 12, 1057-1083.

⁵ Heisenberg, W. (1927). Heisenberg Uncertainty Principle.

⁶ Berezin, F. A., & Shubin, M. (2012). The Schrödinger Equation (Vol. 66). Springer Science & Business Media.





Kuantum çalışmalarının teknolojik anlamda kullanılmaya başlaması 1950 yılından itibaren olmuştur. I. Kuantum Devrimi olarak adlandırılan bu süreçte II. Dünya Savaşı'nın ardından bilimsel çalışmalar doğrultusunda bilgisayarların geliştirilmesi sürecine girilmiş, bilgi sistemlerinin omurgası olarak nitelendirilebilecek transistörler kullanıma sunulmuştur⁷. Transistörlerin yanı sıra lazer, yarı iletken cihazlar ve MRI tarayıcılar I. Kuantum Devrimi'nin diğer çıktılarıdır.

II. Kuantum Devrimi ise bilim insanlarının tek bir kuantum durumunu anlamak için tek atomlar, elektronlar veya fotonlar üzerinde çalışmaya başladığı 1980'lerde gerçekleşmiştir. 1982 yılında nötr atomların lazerle soğutulması kapsamındaki çalışmalar sonucunda "Bose-Einstein"⁸ yoğunlaşması kavramı ortaya çıkararak modern atomik saatlerin⁹ yolunu açmıştır. Bu çalışmanın ardından, Eric Cornell metalik atom bulutlarını yakalamanın bir yolunu göstermiştir. Bu çalışma, daha iyi bir Bose-Einstein yoğunlaşma sistemini ortaya çıkararak atom lazeri ile süper akışkan gazların oluşturulmasına öncülük etmiştir¹⁰. II. Kuantum Devrimi kapsamında geliştirilen teknolojiler atom, iyon, elektron, foton ve moleküller gibi kuantum sistemlerinin manipülasyonuna ve kontrol edilmesine yoğunlaşarak standart kuantum sınırlarına ulaşmayı hedeflemektedir.

2.1. Kuantum Teknolojileri

Kuantum teknolojileri kuantum fiziği temelinde çalışmakta ve bilgiyi bu yolla iletebilmektedir. Klasik bilgi teknolojilerinde verilerin saklanması, işlenmesi ve iletimi ikili sayma düzenine dayalı olarak yalnızca "0" ve "1" olabilen bitler tarafından yapılabilmektedir. Kuantum teknolojilerinde ise bir parçacığın aynı anda farklı durumlarda olabilmesi olarak ifade edilebilen "Süperpozisyon" ve iki benzer parçacığın aralarında fiziksel bir etkileşim olmadan bağlantılı olmasını ifade eden "dolanıklık" ilkelerine dayanmaktadır¹¹. Bu teknolojiye verilerin iletimi kuantum bitler¹² (kısaca kübit) ile sağlanmaktadır. Kübitler, $|0\rangle$ ve $|1\rangle$ ya da bu durumların kuantum süperpozisyonu olarak adlandırılan karmaşık lineer bir kombinasyonu olabilmektedir. Böylelikle kuantum verisinin kopyalanmadığı bir durum ortaya konmuş olmaktadır.

Kuantum uygulamaları yukarıdaki temele dayanmaktadır ve potansiyel avantajlarının anlaşılabilmesi için kuantum hesaplama ve bilgisayarlar, iletişim, algılama ve görüntüleme kavramlarının öncelikli olarak ele alınması gereklidir.

⁷ Riordan, M., Hoddeson, L., & Herring, C. (1999). The invention of the transistor. *Reviews of Modern Physics*, 71(2), S336.

⁸ Marshall, I. N. (1989). Consciousness and Bose-Einstein condensates. *New ideas in Psychology*, 7(1), 73-83.

⁹ Major, F. G. (2007). *The quantum beat: principles and applications of atomic clocks*. Springer Science & Business Media.

¹⁰ Cornell, E. A., & Wieman, C. E. (1998). The bose-einstein condensate. *Scientific American*, 278(3), 40-45.

¹¹ Wineland, D. J. (2013). Nobel Lecture: Superposition, entanglement, and raising Schrödinger's cat. *Reviews of Modern Physics*, 85(3), 1103.

¹² Berthiaume, A., & Feynman, R. P. (1997). Quantum computation. *Complexity Theory: Retrospective II*, 2, 23.





Bu kapsamda, Richard Feynman 1981 yılında kuantum bilgisayar¹³ fikrini ortaya koymuştur. Kuantum fiziği yasalarının, klasik bilgisayarlardan farklı olarak tasarlanacak yeni bir bilgisayar sisteminde kullanılabileceğini ifade etmiştir. 1990'lı yıllarda kubitlerin üretilmesi, Peter Shor¹⁴ ve ayrıca Lov Grover¹⁵ tarafından kuantum bilgisayarlarda kullanılabilecek algoritmaların yazılması ile kuantum hesaplama alanında kritik adımlar atılmıştır.

Shor Algoritması, büyük sayıları klasik algoritmalarından üstel olarak daha hızlı çarpanlarına ayırmak için kullanılabilmektedir. Bu algoritmanın öncelikli uygulaması internet bankacılığı ve ticaret uygulamalarına ait verilerin şifrelerinin çözümü olması muhtemeldir. Shor Algoritması ile blok zinciri tasarımlarına ait şifrelerin çözümü de mümkün olabilecektir. Henüz Shor Algoritması'nı tamamıyla kullanılabilecek bir kuantum bilgisayar mevcut değildir.

Grover Algoritması, büyük veri tabanlarında yapılan arama hızını artırabilmektedir. Shor Algoritması'nda üstel bir hızlanma mevcut iken Grover Algoritması'nda karekök hızlanma mevcuttur.

Kuantum hesaplamalar, kuantum bilgisayarlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kuantum bilgisayarlar, kuantum fiziği yasalarına göre, birden fazla durumda olma ve tüm olası permütasyonları aynı anda kullanarak görevleri yerine getirme yeteneği sayesinde, klasik bilgisayarlara göre çok yüksek bir işlem gücü kazanmaktadır.

Birinci sınıf yarı iletken tabanlı bilgisayarlar, "Moore yasası¹⁶" olarak bilinen bir gözleme göre her 18 ayda bir kapasite ve hız olarak iki katına çıkmaktadır. Bilgisayar bileşenleri küçüldükçe, kuantum etkileri, genellikle bir bilgisayarın güvenilirliğine zarar verecek şekilde daha önemli hale gelmektedir. Ancak, kuantum dünyasının iki büyük avantajı olan süperpozisyon ve dolanıklık ilkeleri zorlukları avantaja çevirerek, klasik bilgisayarların yeteneklerinin çok ötesinde bilgiyi kodlamak ve manipüle etmek için güçlü yöntemler sunmaktadır. Kuantum bilgisayarların ilk örneklerinde atom altı parçacıklar elektronlar, fotonlar ve iyonlar kullanılmaktadır. Bu parçacıkların herhangi bir direnç olmadan elektrik akımını iletebilmeleri ve süperiletken hale getirilmeleri için mutlak sıfır¹⁷ olarak tanımlanan $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmaları gerekmektedir. Bu

¹³ Feynman, R. (1985). Quantum mechanical computers. *Optics news*, 11(2), 11-20.

¹⁴ Ugwuishiwu, C. H., Orji, U. E., Ugwu, C. I., & Asogwa, C. N. (2020). An overview of quantum cryptography and shor's algorithm. *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng*, 9(5).

¹⁵ Lavor, C., Manssur, L. R. U., & Portugal, R. (2003). Grover's algorithm: Quantum database search. *arXiv preprint quant-ph/0301079*.

¹⁶ Voller, V. R., & Porte-Agel, F. (2002). Moore's law and numerical modeling. *Journal of Computational Physics*, 179(2), 698-703.

¹⁷ Fröhlich, H. (1950). Theory of the superconducting state. I. The ground state at the absolute zero of temperature. *Physical Review*, 79(5), 845.





soğutma ve kontrol bloklarının büyüklükleri sebebi ile geliştirilmekte olan kuantum bilgisayarların geniş alanlara ihtiyacı bulunmaktadır.

Kuantum bilgisayarlar özelliklerine göre aşağıda listelenmiştir.

- **Dijital Kuantum Bilgisayar:** Kapı Seviyesi Kuantum Bilgisayar olarak bilinirler. Kuantum kapıları klasik bilgisayarlardaki mantık kapıları (ve, veya, değil) ile benzer işlevsellikte kubitler arasında kuantum geçişlerini kontrol edebilmektedir. Programlanabilir özellikte olup tüm olası kuantum algoritmalarını gerçekleştirebilen bilgisayarlardır.
- **Analog Kuantum Bilgisayar:** Hamiltonian hesaplama bilgisayarı olarak da bilinirler. Kullanımları dijital kuantum bilgisayarlara göre daha sınırlıdır. Kuantum sönümlenme simülasyonunu temel almaktadır¹⁸.
- **Kuantum Simülatörü:** Genellikle daha az erişilebilen diğer kuantum sistemlerinin çalışması ve simülasyonu için kullanılmaktadır. Çoğunlukla tek amaçlı makine olarak inşa edilmektedir. Bir kuantum bilgisayarı ile karşılaştırıldığında programlanabilir olmayan bir kuantum devresi olarak düşünülebilir¹⁹.

Kuantum hesaplama, mevcut yöntemlere karmaşık problemlerin çözümünde yardımcı olarak optimizasyon, yapay zeka geliştirmeleri, data analizleri ve daha hızlı nümerik modelleme imkanları sunmaktadır. Askeri düzeyde bu yöntemlerle muharebe sahası simülasyonları, spektrum analizi, lojistik yönetimi, tedarik zinciri optimizasyonu, enerji yönetimi ve bakım faaliyetleri, çoklu verilerin anlık analizi, hedef belirleme, gerçek zamanlı taktik resim oluşturulmasına yönelik verilerin toplanması, işlenmesi ve paylaşılması iyileştirilebilecektir.

Kuantum hesaplamanın askeri alanda en verimli şekilde kullanması klasik bilgisayarlar ile kuantum bilgisayarların hibrit bir sisteme dönüştürülmesi ile gerçekleşebilir. Bu sistem ile herhangi bir problem makine öğrenmesi ya da yapay zekâ ile analiz edilirken, hesaplamaların en hızlı şekilde yapılabileceği CPU, GPU, FPGA veya QPU gibi kaynaklara bölünerek sonuçlandırılabilir²⁰.

Kuantum hesaplamanın işlem kapasitesi ve kabiliyeti yapay zekâ alanlarındaki gelişmelerin hızlanmasına katkı sağlayabileceği bir gerçektir. Yapay zekâ alanlarında

¹⁸ Marella, S. T., & Parisa, H. S. K. (2020). Introduction to quantum computing. Quantum Computing and Communications.

¹⁹ Altman, E., Brown, K. R., Carleo, G., Carr, L. D., Demler, E., Chin, C., ... & Zwierlein, M. (2021). Quantum simulators: Architectures and opportunities. PRX quantum, 2(1), 017003.

²⁰ Humble, T. S., McCaskey, A., Lyakh, D. I., Gowrishankar, M., Frisch, A., & Monz, T. (2021). Quantum computers for high-performance computing. IEEE Micro, 41(5), 15-23.





kuantum algoritmaların kullanılması makine öğrenmesi kavramının gelişmesi ve yeteneklerin artması anlamını taşımaktadır.

Kuantum hesaplamanın askeri kullanım alanlarına denizaşırı operasyon, konuşlanma, görev planlama, araç tasarımı, sistem geçirme ve kabul gibi faaliyetler örnek verilebilir. Bu sistemin en tepesinde, askeri operasyonları ve fonksiyonel ihtiyaçları destekleyen, makine öğrenimi ve yapay zeka içeren gelişmiş karar verme uygulaması olacaktır. Kuantum bilgisayarların durumsal analizlerle farkındalık yaratmak, planlama ve takip olanağı sunmak, en doğru kararların alınabilmesi için olası senaryoları simüle etmek gibi komuta ve kontrol alanında da ön plana çıkabileceği bir alan bulunmaktadır²¹.

3. Kuantum Teknolojisinin Askeri Alan Uygulamaları

Kuantum teknolojisi çift kullanımlı (Dual Use)²² bir teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır. I. ve II. Dünya Savaşları sonrasında orduların devamlılığı için gerekli olan teknolojik ihtiyaçlar dolayısıyla sivil ve askeri anlamda iki farklı Ar-Ge alanı mevcut iken, ilerleyen süreçte bu iki alanı tek noktada birleştiren çift kullanım kavramı ortaya çıkmıştır. Kuantum uygulamaları bilişim, güvenlik, haberleşme, sağlık, endüstri, fizik, matematik, kimya, biyoloji, felsefe, yönetim ve liderlik gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır²³.

Devletler tarafından ülke güvenliğinin sürdürülebilir olması hedeflenerek askeri teknolojilere yatırım yapılmaktadır. Teknolojideki değişim ve gelişmeler sebebiyle muharebe sahasındaki ihtiyaçlar da değişim göstermektedir. Askeri teknoloji ihtiyaçlarının endüstriyel teknolojilerden farklı olarak daha zorlayıcı istekleri kapsamı değişim süreçlerinin de farklı olmasına sebep olmaktadır. Kuantum teknolojileri bu açıdan incelendiğinde haberleşme, algılama ve görüntüleme gibi birçok ihtiyaca yönelik detaylı isteklere cevap verebilecek niteliktedir.

Kuantum teknolojilerinin askeri kullanımı muharebe sahasındaki gelişmeler ve ihtiyaçlar doğrultusunda şekillenmektedir. Günümüzdeki modern muharebe sahasında kara, deniz, hava alanlarına (domain) uzay ve siber alanları da eklenerek genişletilmiştir. Kuantum teknolojisinin bu alanlara yönelik kullanımı ile mevcut sistemlerin hedefteki etkilerinin optimizasyonu, isabet hassasiyetlerinin artırılması, düşmanın erken teşhis edilmesi, bilgi toplama, komuta/kontrol, haberleşme, bilgi-işlem ve istihbarat kabiliyetlerinin kapsam ve hızının artırılması, tek er ve birlik seviyesinde durumsal

²¹ <https://sdi.ai/blog/the-most-useful-military-applications-of-ai/>

²² Molas-Gallart, J. (1997). Which way to go? Defence technology and the diversity of 'dual-use' technology transfer. Research policy, 26(3), 367-385.

²³ <https://www.forbes.com/sites/chadorzel/2018/12/04/three-ways-quantum-physics-affects-your-daily-life/?sh=5caa5d2944b7>





farkındalığın yükseltilmesinin sağlanması hedeflenmektedir²⁴. İkinci kuantum devrimi ile yüksek verimlilikte yeni sistemler ve modernize edilmiş savaş teknikleri geliştirilmesi de diğer bir hedef olarak öne çıkmaktadır.

Uygulama alanları;

- Kuantum Haberleşme ve Siber Güvenlik,
 - Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama (PNT) Sistemi,
 - Kuantum İstihbarat, Gözetleme, Hedef Tespit ve Keşif,
 - Elektronik Harp,
 - Kuantum Radar ve LiDAR,
 - Sualtı Harp,
 - Uzay Harp,
 - Kimyasal ve Biyolojik Simülasyonlar ve Tespit
- Başlıkları altında ele alınacaktır.

3.1. Kuantum Haberleşme ve Siber Güvenlik

Kuantum teknolojileri, bir yandan mevcut asimetrik şifreleme sistemlerine karşı çok etkin yeni saldırı yöntemleri sunarken, bu tehditlere karşı dirençli şifreleme algoritmaları ve yaklaşımları ile önleyici yöntemler de ortaya koymaktadır.

Kuantum bilgisayarlar ile şifrelenmiş verilerin çözülme amacıyla toplanması kritik seviyede bir risk teşkil etmektedir. Devlet sırları, askeri operasyonlara ilişkin bilgiler, uydu ve füze şifreleri, Ar-Ge projeleri ve banka bilgileri bu kapsamda değerlendirildiğinde tehdidin büyüklüğü daha anlaşılabilir hale gelmektedir. Bu tehditlere karşı Homomorfik Şifreleme²⁵ (FHE) gibi yeni kuantum dayanıklı algoritmalar ile verilerin çözülmeyen ve deşifre olmadan işlenebilmesi sağlanabilmektedir. Bir diğer yeni yöntem ise güvenli şifreleme anahtarı değişimi sağlayan Kuantum Anahtar Dağıtımıdır.

Kuantum Anahtar Dağıtımı²⁶ (QKD), güvenli haberleşme konusundaki en olgunlaşmış kuantum uygulamasıdır. Bu yöntem Heisenberg Belirsizlik İlkesi'ni temel alır ve fotonlar ile veri iletimi sağlamaktadır. BB84 (Bennet-Brassard 1984) ve E91 (Ekert 1991) protokollerini kullanmaktadır. BB84 Protokolü teknik olarak daha basit olmasına rağmen rastgele sayı üretimine ve kuantum anahtarın dağıtımdan önce

²⁴ Niels Neumann, Maran P.P. van Heesch, Patrick de Graaf, "Quantum Communication for Military Applications", The Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), The Hague, (2020).

²⁵ Yi, X., Paulet, R., Bertino, E., Yi, X., Paulet, R., & Bertino, E. (2014). Homomorphic encryption (pp. 27-46). Springer International Publishing.

²⁶ Cao, Y., Zhao, Y., Wang, Q., Zhang, J., Ng, S. X., & Hanzo, L. (2022). The evolution of quantum key distribution networks: On the road to the qinternet. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 24(2), 839-894.





hazırlanmasına ihtiyaç duymaktadır. E91 Protokolü ise kuantum dolanıklığı ilkesine dayanır ve anahtarları dağıtım sırasında hazırlamaktadır²⁷.

Kuantum Anahtar Dağıtımını fiber optik kablolar, hava ve uydu gibi farklı iletim kanalları üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Gönderici ve alıcı arasındaki veri transferine dışarıdan bir müdahale olması durumunda mesajı ileten ve alan her iki tarafı da uyarabilmektedir.

Fiber optik kablolar en yaygın iletim kanalıdır ancak mesajın iletileceği uçların sabit noktalarda olması gerekmektedir. Bu yöntemde iletim mesafesi şu anki teknoloji çerçevesinde birkaç yüz kilometrede kalmaktadır. Bu teknolojinin ticari uygulamalarından birisi ID Quantique şirketi tarafından Hollanda telekom veri merkezleri, İsviçre bankaları ve İsviçre hükümeti seçim merkezleri arasında kuantum anahtar dağıtım sistemi kurulmuş olmasındır²⁸.

İletimin havadan yapılması uç noktalara hareket imkânı verebilmektedir ancak bu yöntemde de iki ucun birbirinin doğrudan görüş hattında olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu yöntemde bir diğer problem iletim mesafesini etkileyen atmosferik parazitlerdir. Kuantum haberleşme deneyleri incelendiğinde BB84 protokolü kullanılarak 2007 yılında aralarında 144 km mesafe bulunan sabit noktalardan fiber üzerinde anahtar dağıtımının gerçekleştirildiği, 2017 yılında Çin tarafından “Quantum Experiments at Space Scale” projesi kapsamında yer istasyonundan önce Micius²⁹ isimli uyduya, uydudan da başka bir yer istasyonuna 1200 km mesafede fotonların iletimi sağlandığı görülebilmektedir.

Devam eden süreçte Rusya ve Çin'den bilim insanlarının Çin'in kuantum uydusundan iletilen güvenli anahtarları kullanarak 3800 kilometrelik bir mesafede kuantum iletişimi başarılı bir şekilde sağladıklarına yönelik haberler 30 Aralık 2023 tarihli The South China Morning Post³⁰ gazetesi tarafından haber olarak servis edilmiştir. İletişim, Moskova yakınlarındaki bir yer istasyonundan, Çin'in batısındaki Urumqi yakınlarındaki bir başka istasyona kadar devam etmiştir. Ekipler, kuantum anahtarları ile kodlanan ve güvence altına alınan iki görüntüyü başarıyla iletibilmiştir.

Muharebe sahası çok fazla parametrenin kritik seviyede öneme sahip olduğu bir alandır. Sahadaki bilginin alınması, değerlendirilmesi ve çıkarılan sonuç doğrultusunda karar verilmesi muharebenin ilerleyeceği yolu çizen en büyük faktörlerdir. Askeri alanda

²⁷ Nurhadi, A. I., & Syambas, N. R. (2018, July). Quantum key distribution (QKD) protocols: A survey. In 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT) (pp. 1-5). IEEE.

²⁸ You, L. X. (2018). Miniaturizing superconducting nanowire single-photon detection systems. *Supercond Sci Tech*, 31.

²⁹ Lu, C. Y., Cao, Y., Peng, C. Z., & Pan, J. W. (2022). Micius quantum experiments in space. *Reviews of Modern Physics*, 94(3), 035001.

³⁰ <https://thequantuminsider.com/2024/01/02/report-china-and-russia-test-quantum-communication-link/>





iletişimin güvenli olmaması bilgiye olan hakimiyeti azaltarak taarruz ve savunma [171]harekâtlarının tehlikeye girmesi anlamına gelmektedir. Muharebe sahasının tamamını kapsayacak bir operasyon senaryosu düşünülürse uydu, gemi, denizaltı, uçak, dron, kara araçları ve kontrol noktaları arasında iletişimin güvenli olarak sağlanması elzemdir.

3.2. Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama (PNT) Sistemi

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), zamanlamayı uydularda bulunan çoklu atomik saatlerin yer gözlem noktalarındaki atomik saatler üzerinden doğrulanması ile gerçekleştirmektedir. GNSS teknolojisi; sinyal karıştırma, yanlış konum bilgisi verme veya elektromanyetik spektrumun yoğun olduğu bölgelerde GNSS erişimini kaybetme, yeraltı ve sualtında kullanılamama gibi problemlere sahiptir. Kuantum jiroskopu, ivmeölçer ve atomik saatlerden oluşan kuantum ataletsel navigasyon sistemi, GNSS teknolojisinde mevcut olan eksikliklerin çözümü olabilecek niteliktedir. Kuantum ataletsel navigasyonu için gerekli olan sensörler laboratuvarlarda test edilse de operasyonel kullanım hala üzerine çalışılmakta olan bir konudur. Kuantum ataletsel navigasyon cihazının çip boyutuna küçülmesiyle, özellikle insansız otonom araçlar veya füzeler gibi daha küçük araçlarda kullanımı beklenmektedir.

PNT sistemlerinin muharebe sahasında kullanımı ele alınırsa, askeri operasyonların başarısı için temel bir unsur olduğu ve navigasyondan hedef belirlemeye, lojistikten stratejik planlamaya kadar çeşitli yönleri etkilediği görülür. PNT sistemlerinin güvenilirliği ve hassasiyeti, askeri faaliyetlerin etkinliği ve verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Etkin stratejiler geliştirmek ve potansiyel tehditlere hazırlıklı olmak operasyonların başarılı olarak gerçekleştirilmesinin temel şartıdır³¹.

Muharebe öncesi, sırası ve sonrasında tedarik zinciri yönetimi ve lojistik planlamalar mevcut PNT verilerine dayanarak yapılmaktadır. Bu kapsamda nakliyat rotalarının programlanması, ikmal noktalarının belirlenmesi ve gerekli ihtiyaçların birliklere doğru zamanda ulaştırılması PNT verilerinin güvenilirliği ile doğru orantılıdır.

Muharebe sahasında başarıya ulaşmanın temel faktörlerinden biri farklı askeri birimlerin uyumlu çalışmasıdır. PNT sistemleri ile iletişim kanallarının senkronizasyonu üzerinden koordinasyon sağlanabilmekte ve etkin komuta sürdürülebilir hale getirilebilmektedir. Benzer bakış açısı ile düşmanın PNT sistemlerine ve dolayısı ile iletişim ağına müdahale edilerek doğru bilgiye ulaşılması önlenebilir.

PNT sistemlerinin etkin kullanımı ile güdümlü mühimmatların belirlenen hedeflere hatasız olarak yönlendirilmesi, yan hasarların önüne geçilmesini ve tehditlerin doğrudan ortadan kaldırılmasını sağlayarak başarı oranını yükseltebilecektir.

³¹ Van Uffelen, L. J. (2021). Global Positioning Systems: Over land and under sea. *Acoust. Today*, 17(1), 52-60.





Arama ve kurtarma görevlerinde PNT sistemleri tarafından sağlanan hassas konum bilgisi ile kayıpların minimuma çekilmesi mümkündür. Düşen hava araçları veya kayıp personelin hızlı bir şekilde bulunması için kritiktir.

QuantX Labs³², 23 Kasım 2023 tarihli habere göre savunma uygulamaları için güvenli bir PNT sisteminin geliştirilmesi için 750.000 dolarlık fon sağladığını duyurmuştur. "Esnek PNT için Kuantum Güvenli Zaman Aktarımı" projesi ile alınan PNT verilerinin doğruluğunu garanti etmek için kuantum teknolojisi kullanılacaktır.

Yeni proje, dolaşık fotonlar kullanılarak kuantum güvenli zaman transferinin gösterilmesi, boş bir uzay bağlantısı boyunca klasik iki yönlü bir zaman transferinin geliştirilmesi ve kayıp ve türbülansın her iki zaman transfer yöntemi üzerindeki etkisinin araştırılması dahil olmak üzere birçok önemli hedefi kapsamaktadır.

3.3. İstihbarat, Gözetleme, Hedef Tespit ve Keşif

İstihbarat, gözetleme, hedef tespit ve keşif (ISTAR) muharebe sahası ve operasyonlar için kritik bir kapsamı ifade etmektedir. Çok alanlı muharebe sahası için kuantum teknolojileri durumsal farkındalığı artırabilecek bir potansiyele sahiptir. Kuantum hesaplama, görüntüleme, haberleşme ve kriptografi gibi teknolojilerin tamamından faydalanılabilecek geniş bir alandır.

Kuantum sistemler ile istihbarat verileri elde etme, gözetleme ve keşiften gelen veriyi işleme ve kuantum yapay zeka kullanarak tanımlama konusunda büyük bir etki gösterme potansiyeline sahiptir. ISTAR'ın işleme kısmının yanı sıra kara, deniz, hava araçlarına ve düşük yörüngeli uydulara yerleştirilen kuantum algılama sistemleriyle bir ilerleme gerçekleşmesi muhtemel bir sonuç olacaktır.

Kuantum gravimetreler, yerçekimi gradyometreleri ve kuantum manyetometreler ile halihazırda kullanımda olan teknolojiler geliştirmekte ve yeni uygulamaların yolu açılmaktadır. Jeofizik, sismoloji, arkeoloji, maden ve yeraltı tarama, coğrafi referanslama ve topografik haritalama alanlarının tümünü kapsayan bir kullanım alanı mevcuttur. Bu sistemlerin hava, deniz ve kara araçlarına monte edilerek operasyon sahalarında kullanılması muharebe sahasına yön verebilecek bir seçenek olacaktır.

Yeryüzü ve yer altı gözlemlerinde kuantum algılama temelli manyetometri, gravimetri kara ve deniz yüzeylerinin yeraltındaki değişiklikler de dahil olmak üzere analizinde kullanılabilir. Bu uygulamaların çoğunda LEO yörüngesinde yer alan uydulara kuantum sensör yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunların haricinde sözü edilen kuantum sensörlerin hava, kara ve deniz platformlarına yerleştirildiği uygulamalara yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Örnek olarak tünellerin gözleminin

³² <https://www.australiandefence.com.au/defence/cyber-space/quantx-labs-secures-750-000-for-quantum-secured-pnt-research>





yapılabilmesi için kuantum gravimetrelerin dronlar üzerine yerleştirildiği deneyler mevcuttur.

Düşük çözünürlüklü kuantum algılama, su altı navigasyonuna veya engebeli arazilerde gerçekleştirilecek görevlerin planlaması için hassas coğrafi referanslama ve topografik haritalamalar için kullanılabilir. Ayrıca, yer altı maden ve deniz tabanının altında da bu sistemden yararlanılabilir.

ISTAR'ın kapsamına giren diğer bir uygulama kuantum görüntülemedir. Kuantum radarlar, 3D kameralar ve mesafe ölçerler örnek verilebilir.

Yüksek çözünürlüklü kuantum manyetik ve yerçekimi algılama ile kamufle edilmiş araçlar, uçaklar ve gemilerin tespit edilmesi, mağaralar, tüneller, yeraltı sığınakları, araştırma tesisleri ve füze siloları gibi yeraltı yapılarını tespit etmek, kara mayınları ve su altı mayınlarının konum bilgilerini elde etmek üzere bir kullanım alanı mevcut olabilecektir³³.

3.4. Kuantum Elektronik Harp Kavramı

Kuantum Elektronik Harp kavramı, kuantum ile desteklenmiş klasik elektronik harp ve yeni kuantum teknolojisini içerecek şekilde ikiye ayrılabilir. Klasik elektronik harp sistemlerinde Rydberg atomları temelli ve ölçülen sinyal dalga boyundan bağımsız olarak küçük boyutlu kuantum antenler kullanılabilir. Bunun anlamı MHz'ten kHz'e kadar bir aralığı kapsayan düşük frekanslı sinyallerin çok küçük boyutlu kuantum antenler ile yakalanmasıdır. Rydberg atomlarına dayalı antenler, AM (Genlik Modülasyonu) ve FM (Frekans Modülasyonu) sinyallerini ölçebilmektedir. Kuantum antenlerin kullanımıyla ilgili zorlukların başında Rydberg atomlarının soğutulması için kriyojenik sıcaklıklara ihtiyaç duyulması gelmektedir³⁴.

Klasik Elektronik Harp, kuantum makine öğrenmesi ya da yapay zekâ teknikleriyle geliştirilmiş RF spektrum analizörleri için kullanılabilir. Kuantum verisinin RF kuantum sensörler tarafından işlenmesi ve analiz edilmesi ile etkin bir kullanım sağlamaktadır.

Kuantum elektronik harp, klasik elektronik harp yöntemlerini kuantum teknolojileriyle iyileştirmekten kuantum kanallarındaki tehditlere karşı stratejiler geliştirmeye kadar geniş bir yelpazede faaliyetleri içerir. Bu alan, kuantum teknolojilerinin iletişim ve savaşın çeşitli yönlerine entegrasyonunun artmasıyla şekillenmeye devam etmektedir.

³³ Krelina, M. (2021). Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technology*, 8(1), 24.

³⁴ Krelina, M. (2023). The prospect of quantum technologies in space for defence and security. *Space Policy*, 65, 101563.



3.5. Kuantum Radar ve LiDAR

Kuantum algılama teknolojilerindeki gelişim radar ve LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemlerini kapsamakta ve kuantum radar olarak bilinmektedir. Geleneksel radar sistemleri nesnelere tespit etmek ve konumunu belirlemek için hedeflerden yansıyan sinyalleri kullanmaktadır. Kuantum radarlar ise hedefe doğru dolanık mikrodalga veya optik fotonlar gönderen ve ardından ortak fotonlar ile geri dönen sinyal arasındaki korelasyonu ölçerek çalışan kuantum görüntüleme sistemidir.

Kuantum radarlarının potansiyel avantajları düşük sinyal gürültü oranı, hedef ve mikrodalga fotonlar kullanıldığında bulut/duman/sis ortamında daha keskin tespit yeteneğidir.

Kuantum radar sistemlerinde kullanılan sensörler Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 olmak üzere üç farklı tipte incelenebilir. Tip-1, alıcı ile karışık olmayan ışığın kuantum durumlarını ileten bir kuantum sensördür. Tip-2, klasik ışık durumlarını ileten ancak performansı artırmak için kuantum dedektörler kullanmaktadır. Tip-3 ise alıcıdaki referans durumları ile karışık kuantum durumlarını yayabilen bir vericidir.

Tek foton radarları Tip-1 kapsamına girmektedir ve klasik radarlara benzer bir çalışma prensibi vardır ancak tek foton darbesi kullanmaktadır. Bu tür kuantum radarlar, klasik radarlardan daha büyük bir kesit alanına sahiptir.

LiDAR teknolojisi Tip-2 kuantum sensördür. Görünür bölgeye yakın bir aralıkta çalıştığından, bulutlu ve sisli ortamda kullanılmaya elverişli değildir.

Dolanık Foton Tabanlı kuantum radarlar Tip-3 kuantum sensörlerine sahiptir. Dolanık kaynak, dolanık bir foton çifti, sinyal ve boş fotonları üretir. Boş foton, alıcıdaki kuantum belleğinde kalmakta iken sinyal fotonu gürültünün, kaybın ve atmosferik türbülansın olduğu bir kanaldan hedefe doğru iletilmektedir. Radar sistemi, yansıyan fotonu algılayarak hassasiyet ve hedef tespit olasılığını artırmak için kullanılmaktadır³⁵.

Kuantum radar teknolojisi sahip olduğu özellikler ve potansiyeli sebebiyle muharebe sahasında kritik bir unsur olma ihtimali yüksektir.

3.6. Sualtı Harp

Sualtı harpte ataletsel navigasyon sistemleri ve kuantum destekli sonarlar vasıtasıyla mayın, denizaltı ya da diğer sualtı araçlarının tespiti, gizlenmesi ve alanın haritalandırılması yapılabilmektedir. Sualtı araçlarının sahip olduğu fiziksel özellikler

³⁵ Torromé, R. G., & Barzanjeh, S. (2023). Advances in quantum radar and quantum LiDAR. Progress in Quantum Electronics, 100497.





kuantum sistemlerinin ihtiyaç duyduğu alanı sağlayabilecek kapasitededir. Kuantum manyetometre ve gravimetreler ile sonar kullanımına ihtiyaç duyulmadan denizaltılar, yer şekilleri ve deniz tabanının haritalandırılmasında kullanılacaktır.

Kuantum manyetometresi sualtında operasyonlarında kullanılacak bir diğer araçtır. Kuantum manyetometreler ile ortamdaki gürültü azaltılarak uzun mesafeleri kapsayacak şekilde tespit ve teşhis gerçekleştirilebilir. Sahil şeritleri boyunca konumlandırılmış kuantum manyetometreler ile sualtı araçlarına karşı bir “engelleme/önleme” alanı oluşturulabilir. Bunun yanı sıra sualtı mayınlarının tespit edilebilmesi için kullanılabilir³⁶.

3.7. Kuantum Uzay Harp

Uzay, gelişen teknolojiler ve ülkelerin bu alana yaptığı yatırımlar sebebiyle kritik bir savaş alanı olma yolunda ilerlemektedir. Haberleşme, navigasyon, haritalama ve gözlem gibi amaçlarla kullanılan uyduların bir silah olarak kullanılmaya başlandığı bir gerçektir. Lazer silahlarla donatılmış uydular, kamikaze uydular ve karşıt uydular dünya yörüngesinde konumlanmış durumdadır³⁷.

Alçak Dünya Yörüngesi (LEO) başta olmak üzere yörüngelerde yer alan uydularda kuantum gravimetre, manyetometre ve yerçekimi gradyometresi konumlandırılarak haberleşme, algılama, haritalama ve navigasyon uygulamalarında kullanılabilir³⁸.

Uydu temelli kuantum haberleşme uygulamalarıyla uzun mesafeler arasında iletişim sağlanabilmektedir. Fiber optiklerle sağlanan bağlantının problemleri siber saldırılara imkân vermesidir.

Uzay alanında askeri kullanıma yönelik ihtiyaçların başında uyduları, uzay çöplerini ve göktaşları gibi uzay kaynaklı nesnelere tespit ve takip gelmektedir. Klasik radar sistemleri bu amaçla kullanmakta ancak küçük boyutlu nesnelere takibini gerçekleştirememektedir. Ayrıca bu sistemlerdeki diğer bir problem takip edilecek nesnelere sayıdır. Klasik radarların yerine kuantum radarların kullanılması bu problemlerin çözülmesine katkı sağlayacaktır.

3.8. Kimyasal ve Biyolojik Algılama

KBRN uygulamaları özellikle askeri laboratuvarlar tarafından üzerine çalışılan kritik konuların başında gelmektedir. Yeni ilaçlar ve kimyasal maddelere ilişkin kuantum simülasyonları gelişmiş kuantum bilgisayarlara ve uzmanlara ihtiyaç

³⁶ Kubiak, K. (2022). Quantum technology and submarine near-invulnerability. European Leadership Network.

³⁷ <https://kstatelibraries.pressbooks.pub/drone-delivery/chapter/14-satellite-killers-and-port-disrupters/>

³⁸ Sidhu, J. S., Joshi, S. K., Gündoğan, M., Brougham, T., Lowndes, D., Mazzarella, L., ... & Oi, D. K. (2021). Advances in space quantum communications. IET Quantum Communication, 2(4), 182-217.





duymaktadır. Kuantum simülasyonlarının kimyasal ve biyolojik uygulamalarının öne çıkan teknikleri kuantum faz tahmini ve kuantum varyasyonel tekniklerinden (VQE) oluşmaktadır. 2020 yılında Google tarafından, VQE yöntemi kullanarak H_{12} molekülü için büyük çapta bir kuantum kimyasal simülasyonu gerçekleştirilmiştir³⁹. Kuantum kimyasal simülasyonları için algoritmalar geliştirilmeye devam etmekte, kübit sayısına bağlı olarak daha karmaşık simülasyonlara uygulanabilir hale gelmektedir. Genel olarak, bu tür simülasyonlar yeni ilaçlar, kimyasallar ve malzemelerin keşfini ve tasarımında kullanılmaya elverişlidir. Yüksek sıcaklık süper iletkenliği, piller, protein katlanması, azot fiksasyonu ve peptit araştırmaları gibi konular bu alanda yapılan çalışmalara örnektir.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Kuantum teknolojilerinin sunabileceği olanaklar ortaya konmaya ve anlaşılmaya başlamıştır. Teknolojik gelişmelerin kuantum alanında hız kazandığı ve her geçen gün teknolojik hazırlık seviyesini (THS) yükselttiği göz önüne alındığında, bu çağın gerekliliklerine uyulması ve bu doğrultuda stratejiler geliştirilmesi gerektiği söylenebilir. Yapılan inceleme ve değerlendirmelerde kuantum alanında pratikte kullanılan sistemlerin (Kuantum Bilgisayar, Kuantum Anahtarı Dağıtımı, Kuantum Kriptografi vb.) 2030 yılına kadar Teknolojik Hazırlık Seviyesini en az 6'ya ulaştıracağı öngörülmektedir.

Bu hızlanma ve gelişmenin hayatın her alanına olumlu ve olumsuz etki edeceği bir gerçektir. Toplum hayatındaki en göze çarpan örnek mevcut şifreleme yöntemleri üzerine olacaktır. Kişisel veriler ve finansal bilgiler gibi verilere ilişkin şifrelerin güvenliği tehlikeye girebilecektir. Gerçekleşmesi muhtemel siber saldırılar sebebiyle gizlilik anlamında kişilerin ve kurumların güvenlik yaklaşımı değişecektir. Bu risk beraberinde bir fırsatı da getirmekte, kuantum şifreleme kullanarak bilgi güvenliğini artırma imkânı doğmaktadır.

Kuantum teknolojilerinin savunma ve güvenlik alanında muhtemel ve planlanan kullanım alanları hakkında yukarıda verilen bilgilerden hareketle, söz konusu teknolojilerin;

- Kuantum işlemcilerin kullanımı sayesinde askerî bilgi sistemlerinin veri işleme ve depolama hız ve kapasitelerinde büyük artışa neden olacağı; bu sayede, büyük verilerin işlenmesi ve komuta-kontrol maksatlı kullanımında çığır açabileceği,

³⁹ Google AI Quantum and Collaborators*†, Arute, F., Arya, K., Babbush, R., Bacon, D., Bardin, J. C., ... & Zalcman, A. (2020). Hartree-Fock on a superconducting qubit quantum computer. *Science*, 369(6507), 1084-1089.





- Muhabere emniyetini artıracak kriptolama sistemleri, bilgi/veri güvenliğini sağlayacak kripto algoritma ve şifreleri üretim/dağıtım sistemleri ve siber savunma/saldırı sistemleri geliştirilmesine imkân sağlayacağı,
- Askerî haberleşme sistemlerinin veri transfer kapasitesi ve haberleşme menzilini önemli ölçüde artıracığı,
- Kuantum jiroskopu, ivmeölçer ve atomik saatlerden oluşan kuantum ataletsel navigasyon sisteminin GNSS teknolojisinde mevcut olan eksikliklerin çözümü olabileceği, GNSS karıştırma ve aldatmaya karşı etkin bir tedbir olarak kullanılabilmesi,
- İstihbarat verileri elde etme, gözetleme, keşif ve bu sensörlerden gelen veriyi işleme ve kuantum yapay zekâ kullanarak tanımlama ve hedefleme (targeting) konusunda büyük bir etki gösterme potansiyeline sahip olduğu,
- Klasik elektronik harp yöntemlerini kuantum teknolojileriyle iyileştirmekten kuantum kanallarındaki tehditlere karşı stratejiler geliştirmeye kadar geniş bir yelpazede Elektronik Harp faaliyetlerinde kullanılabilmesi,
- Kuantum radarlarının düşük sinyal gürültü oranı ve mikrodalga fotonlar kullanma özelliği ve Kuantum LiDAR'ların gelişmiş görüş kabiliyeti sayesinde bulut/duman/sis ortamında daha keskin tespit yapılmasında istifade edilebileceği,
- Kuantum manyetometre ve gravimetreler ile sonar kullanımına ihtiyaç duyulmadan denizaltılar, yer şekilleri ve deniz tabanının haritalandırılabilmesi,
- Uydularda kuantum gravimetre, manyetometre ve yerçekimi gradyometresi konumlandırılarak haberleşme, algılama, haritalama ve navigasyon uygulamalarında kullanılabilmesi,
- Uydu temelli kuantum haberleşme uygulamalarıyla uzun mesafeler arasında iletişim sağlanabileceği,
- KBRN harbi kapsamında kimyasal ve biyolojik tespit ve teşhisinde kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

Kuantum teknolojilerinin askerî uygulamaları, mevcut yeteneklerin daha etkin hâle getirilmesine olanak sağlamaktadır. Kuantum teknolojileri ile henüz yeni silahlar üretilmese bile, bu teknolojilerin mevcut askerî teknolojiyi geliştirmesi ve modernize etmesiyle karar verme, ikaz ve saldırı süresinin kısılması beklenmektedir. Kuantum teknolojileri bu yönden değerlendirildiğinde kuvvet kullanımını daha olası hâle getirebilecek ve savaşları olası kılacaktır. Aynı zamanda bu teknolojiye sahip olunması, bir ülkenin nükleer silahlarına karşı diğer ülkelerin de nükleer silaha sahip olmasının sağladığı nükleer denge (dehşet dengesi) caydırıcılığına benzer bir caydırıcı unsur olarak da düşünülebilir.





Kuantum çağına yönelik olarak yeni teknikler ve silahlar geliştirmek amacıyla yeni askeri doktrinlerin oluşturulması, askeri senaryo ve planların güncellenmesi, değiştirilmesi veya oluşturulması gerekecektir.

Bu kapsamda, devletlerin halihazırdaki durumu incelendiğinde ilk yapılması gereken çalışmanın üniversite, Ar-Ge kuruluşları, insan kaynağı ve gerekli bütçelerin olduğu bir çalışma ekosistemi kurmak ve geliştirmektir. Kuantum teknolojilerinin çift kullanıma uygun olması sivil ve askerî alanın paralel bir şekilde gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Kuantum teknolojilerinin uzak olmayan bir gelecekte daha somut çıktıları olacağı öngörülmektedir. Tüm bunların yanında ulusal ticaret ve ihracat politikaları da önemli olacaktır. Örneğin, Avrupa Birliği, kuantum bilişimini küresel stratejik öneme sahip yükselen bir teknoloji olarak ilan etmiştir ve Horizon Europe adlı programa sınırlı erişim getirilmesi gündeme gelmiştir.

Kuantum mekaniği ve kuantum teknolojilerinin- kuantum bilgisayar, kuantum iletişimi ve kuantum algılama gibi - bilgi ve uzmanlığındaki evrimi, günlük gerçekliğin algısını zorlamıştır. Kuantum teknolojisinin sunabileceği olanakların tam olarak anlaşılması bir gecede gerçekleşmeyecektir. Kuantum teknolojisi hala emekleme aşamasında olsa da dünya üzerinde büyük bir değişim potansiyeline sahip olan ve yeni bir silahlanma yarışını tetikleyen bir teknolojidir. Amerika Birleşik Devletleri ve Çin, kuantum teknolojisinin askeri uygulamalar için önemini kabul etmektedir.

Savaşın taktik seviyesinde, kuantum teknolojisi kişisel donanım, silah sistemleri, araçlar ve platformlar (örneğin, İHA'lar) gibi askeri ekipmanlara entegre olacaktır. Savaşın operatif seviyesinde, kuantum teknolojisi tüm boyutlar boyunca operasyonları etkileyecektir. Kuantum teknolojisi, veri toplama ve analizini kolaylaştırmakta ve Observe Orient Decide Act (OODA) döngüsünü hızlandırmaktadır (örneğin, kuantum bilgisayarlar ve yapay zekâ). Zamanla, kuantum teknolojisi askeri kuvvetleri organize etme ve kullanma paradigmasını değiştirecektir, çünkü zaman ve hareket değiştirilebilir olacaktır. Savaşın stratejik seviyesinde, kuantum teknolojisi caydırıcılık ve hibrit savaş için yeni seçenekler sunacaktır (örneğin, geleneksel ve geleneksel olmayan savaşın siber savaşla kombinasyonu). Politik seviyede, kapsamlı bir kuantum yaklaşımı, kuantum teknolojisinin daha fazla geliştirilmesini ve ulusal gücün tüm unsurlarına entegrasyonunu kolaylaştıracaktır.





Ayrıca, kuantum teknolojisinin silahlandırılması, yapay zekâ tarafından yönlendirilen otonom silah sistemleri ve insan karar verme konularında etik ikilemlerin tartışılmasını gerektirmektedir. Askeri liderler, kuantum teknolojisinin gelecekteki askeri uygulamalar için sunduğu fırsatları benimsemelidir. Ancak, bu yeni teknolojinin olanakları öncelikle anlaşılmalı ve eğitim, öğretim ve gelecekteki kuvvet geliştirme süreçlerine entegre edilmelidir.

Caner SEÇKİN
M. Sc. Fizikçi

