

SETA Gelişen Askeri
Teknolojiler Serisi .4.

Kuantum Teknolojisi

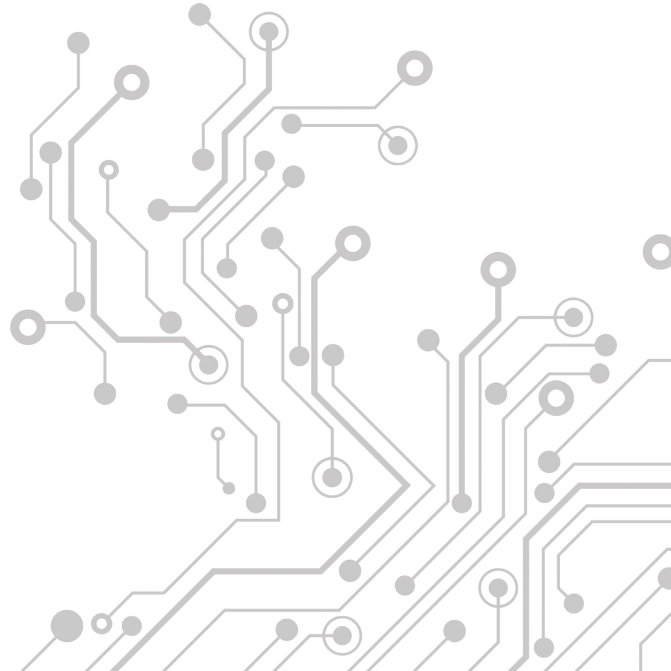
Çağrı Doğal Gül

SETA

SETA Gelişen Askeri
Teknolojiler Serisi .4.

Kuantum Teknolojileri

Çağrı Doğal Gül



ÇAĞRI DOĞAL GÜL

Makine Mühendisi, Balistik Silah ve Roket Sistemleri Uzmanı.

Gelişen Askeri Teknolojiler Serisi, yeni ve gelişmekte olan askeri teknolojilerin en önemli yönlerine küresel trendler ve Türkiye'nin kabiliyetlerine odaklanarak ışık tutan bir SETA projesidir. Proje, STM (Savunma Teknolojileri, Mühendislik ve Ticaret A.Ş.) tarafından desteklenmektedir.

COPYRIGHT © 2023

Bu yayının tüm hakları Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları (SETA) Vakfı'na aittir. SETA'nın izni olmaksızın yayının tümünün veya bir kısmının elektronik veya mekanik (fotokopi, kayıt ve bilgi depolama vd.) yollarla basımı, yayımı, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. Kaynak göstermek suretiyle alıntı yapılabilir.

SETA Yayınları 226

I. Baskı: 2023

ISBN: 978-625-8322-74-3

Kapak Tasarımı: Sema Türk Bayazıt

Uygulama: Said Demirtaş

Baskı: Turkuvaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul

SETA | SİYASET, EKONOMİ VE TOPLUM ARAŞTIRMALARI VAKFI

Nenehatun Cd. No: 66 GOP Çankaya 06700 Ankara TÜRKİYE

Tel: +90 312 551 21 00 | Faks: +90 312 551 21 90

www.setav.org | info@setav.org | @setavakfi

SETA | İstanbul

Defterdar Mh. Savaklar Cd. Ayvansaray Kavşağı No: 41-43

Eyüpsultan İstanbul TÜRKİYE

Tel: +90 212 395 11 00 | Faks: +90 212 395 11 11

SETA | Washington D.C.

1025 Connecticut Avenue, N.W., Suite 1106

Washington D.C., 20036 USA

Tel: 202 223 9885 | Faks: 202 223 6099

www.setadc.org | info@setadc.org | @setadc

SETA | Berlin

Kronenstraße 1, 10117 Berlin GERMANY

berlin@setav.org

SETA | Brüksel

Avenue des Arts 27, 1000 Bruxelles BELGIUM

Tel: +322 652 0486

SETA Gelişen Askeri
Teknolojiler Serisi .4.

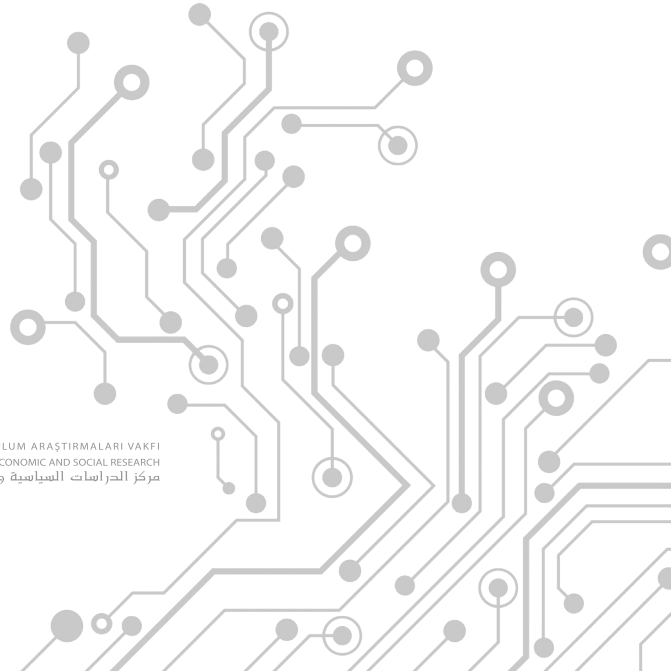
Kuantum Teknolojileri

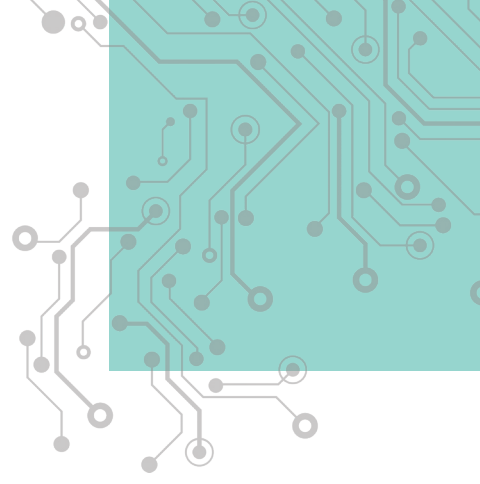
Çağrı Doğal Gül



SETA

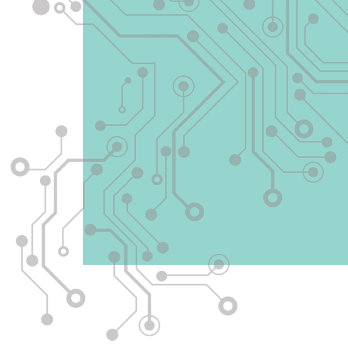
SIYASET, EKONOMİ VE TOPLUM ARAŞTIRMALARI VAKFI
FOUNDATION FOR POLITICAL, ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH
مركز الدراسات السياسية والاقتصادية والاجتماعية





İçindekiler

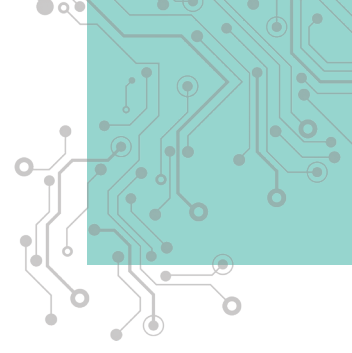
Özet	7
Giriş	9
Kuantum Teorisi ve Kuantum Teknolojisi	11
Askeri Alanda Kuantum Teknolojileri	13
Tarihsel Gelişiminde Rol Oynayan Ana Aktörler	15
Kuantum Askeri Uygulamaları	19
Şifreleme ve Bilgi Güvenliği	25
Kuantum Teknolojisi ve İstihbarat	31
K-RAD ve Görünmezlik	35
Kuantum Haberleşme ve İletişim	39
Kuantum Teknolojisinin Diğer Askeri Uygulama Alanları	43
Kuantum Teknolojisi ve Çift Kullanım	47
Terörizm ve Haydut Devlet Tehdidi	49
Değerlendirme ve Öneriler	51



Özet

Kuantum teknolojileri algılama, görüntüleme, iletişim ve hesaplamanın nihai sınırlarına ulaşabilmek için doğanın temel yasalarından yararlanmakta ve böylece şu an için imkansız görünen yetenekleri vaat etmektedir. Nanoteknoloji, biyoteknoloji, uzay teknolojisi, yapay zeka ve robotik gibi diğer gelişmekte olan teknolojilerle birleştirildiğinde bu husus daha da belirgin bir hal alacaktır. Şifreleme, bilgi güvenliği, haberleşme, istihbarat, radar ve görünmezlik gibi askeri ve sivil alandaki uygulamaları ise çok hızlı bir şekilde gelişmekte ve genişlemektedir.

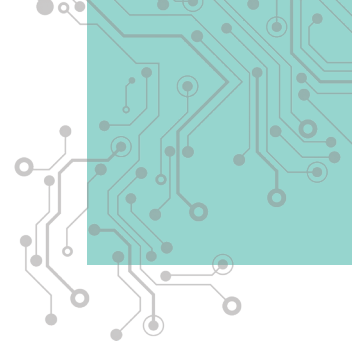
İçinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna doğru kuantum teknolojileri, kuantum sensörler, iletişim ve bilgisayar birimleri ile sabit platformlarda, kara, hava ve deniz otonom araçlarında ve gelişmiş durumsal farkındalık için uyduların etki alanlarında konuşlandırılabilir. Tüm bu unsurlar muharebe sahasının ve düşmanın çok gerçekçi şekilde algılanmasına ışık tutacaktır. Dahası geleceğin orduları, kuantum ordusu olacaktır ve ona emir komuta edecek şahıslar da kuantum bilgi kuşağının birer ürünü olacaktır. Dolayısıyla bu çalışma kuantum teknolojilerinin tarihsel gelişimini, askeri ve sivil alandaki uygulamalarını ve geleceğe yönelik değerlendirmeleri kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.



Giriş

1984'te gösterime giren "Terminatör" filmine kadar savaş üzerine yapılmış çok sayıda tarihi ve bilim kurgu filmleri, belgeseller izleyicilere sunulmuştu. Savaşın doğası ve insanlar ve toplum üzerindeki etkilerine pek çok açıdan vurgu yapılmıştı. Ancak muhtemelen hiçbirisi savaşı bir tür yapay zekaya bağlayan, robot teknolojilerinin etkin olarak işlendiği bu film serisi kadar etkileyici olamamıştır. Mevcut ve olası teknolojik gelişmeler bir araya getirilmiş, silahlar, hareket sistemleri, malzeme, sensör ve komuta kontrol sistemleri, radarlar, gece görüş sistemleri, insansız hava, kara, deniz ve denizaltı araçları göz önüne serilmiştir. Tüm bu kurgunun arka planında ise acımasız ve ölümcül hızda çalışan kuantum bilgisayar ve diğer kuantum teknolojisi unsurlarına yer verilmiştir. Filmin alt mesajı gelişen teknolojilerin insanlığın sonunu getireceği yönündedir. Yaklaşık kırk yıl önce çekilmiş olan bu filmde bahse konu olan teknolojilere bugün ne kadar eriştiğimiz dünya çapında devam eden bölgesel sıcak çatışmalarda aşikardır.

Yazının ilerleyen bölümlerinde de bahsedileceği üzere günümüzde hemen yanı başımızda devam etmekte olan çeşitli büyüklükteki sıcak çatışmalarla birlikte uzun zamandır meydana gelen siber çatışmalar, ülkelerin sahip oldukları teknolojik seviyeler nispetinde üstünlük kurmasını sağlayabilmektedir. Bu üstünlük bugün, yarın ve gelecekte ulusların yaşamı ve hayat standardını sürdürebilmesinin kesin bir ifadesi olacaktır. Bu yazıda bunun nasıl bir teknoloji ve yolla sağlanabileceği anlatılacaktır.



Kuantum Teorisi ve Kuantum Teknolojisi

Kuantumun sözlük anlamı “bir şeyin en küçük miktarı ya da ölçülebilen en küçük birimi” demektir. Kelimenin çoğul hali “kuanta” biçiminde kullanılır. Özellikle enerjiyi ifade etmek için faydalanan bir terimdir. Bu kapsamda fizik bilimi özelindeki tanımı ölçülebilen enerjinin en küçük miktarıdır.¹

Kuantum teorisi 1900’lerin başındaki keşiften bu yana klasik bilimsel algıları alt üst etmiştir. 20. yüzyılın hemen başlarında Alman fizikçi Max Planck’ın “Siyah Cisim Işıması” adlı kara madde üzerinde radyasyonun etkisini konu alan çalışmasıyla modern fizik kuantum teorisi doğmuştur.

Bu teori, maddeyi klasik fizikten farklı bir perspektifle inceleyen ve atom altı dünyaya dair açıklamalar getirmeye çalışan modern bir fizik teorisidir. Max Planck’ın Alman Fizik Derneği’ne sunduğu çalışmasında parlayan bir yüzeyden yansıyan radyasyonun renk değişimlerinin nedenini araştırmaktadır. Daha önce varsayıldığı gibi sabit bir elektromanyetik dalga yerine tek tek her birimde enerjinin -maddede olduğu gibi- var olduğunu ve bu nedenle ölçülebilir olduğunu varsayarak sorunun cevabını bulabileceğini keşfetmiştir. Bu birimlerin varlığı kuantum teorisinin ilk varsayımı olmuştur.

1905’te Albert Einstein sadece enerjinin değil radyasyonun kendisinin de nicelleştirilebileceğini ortaya koymuştur. 1924’te Louis de Broglie enerji ve maddenin yapısı ve davranışında temel bir fark olmadığını öne sürerek atom ve atom altı seviyede ya parçacıklardan ya da dalgalardan oluşmuş gibi davranabileceğini belirtmiştir. Bu teori dalga-parçacık ikiliği ilkesi olarak bilinmeye başlamıştır. Buna

¹ Burak Alp, Erol Demir, Ertuğrul Serkan Yalınpala, Alper Genar, Hasan Temel, *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*, (Milli Savunma Üniversitesi Yayınları, İstanbul: 2021).

göre hem enerji hem maddenin temel parçacıklarının, parçacıklar veya dalgalar gibi koşullara bağlı olarak davranabileceği kabul edilmiş oluyordu.²

1927’de Werner Heisenberg iki tamamlayıcı değerin -bir atom altı parçacığın konumu ve momentumu gibi- hassas ve eş zamanlı olarak ölçülebilmesinin imkansız olduğunu öne sürmüştür. “Klasik fiziğin ilkelerinin aksine, eş zamanlı ölçümler kaçınılmaz olarak kusurludur, bir değer ne kadar kesin ölçülürse diğer değerin ölçümü o kadar kusurlu olacaktır” demektedir. Bu teori Albert Einstein’ın belirsizlik ilkesi olarak bilinir hale gelmiştir.

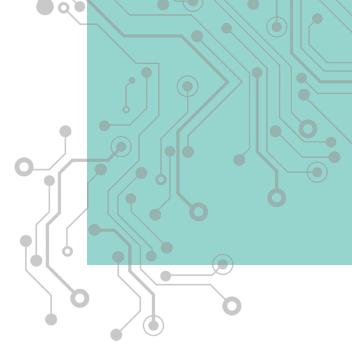
Kuantum teknolojileri çok yeni bir alan olarak bilinse de kuantumu gerçek anlamıyla kullanan teknolojilerin uygulanması 1950’lere kadar uzanmaktadır. Günümüzde konuşulmakta olan kuantum bilgisayar ve kuantum saat gibi kuantum bilgi teknolojilerini konu alan ürünler, ikinci kuantum devriminin eserleridir. ABD Deniz Araştırmaları Merkezi’nden Dr. Marco Lanzagorta’nın da belirttiği üzere “1950’lerde lazer ve yarı iletkenlerin gelişmesi ve modern bilgisayarların icadına götüren tüm teknolojiler aslında kuantum fenomenini kullanmaktadır”. İlk başlarda sadece cihaz üretme anlamında kullanılmaktaysa da yaşanan gelişmeler ile birlikte kuantum artık bilgi toplama, işlem ve analiz maksatlarıyla da kullanılır hale gelmiştir.³

Günümüzde temelde kuantum mekaniği etkilerine dayalı birçok cihaz ve teknoloji mevcuttur. Bunlar lazer sistemleri, transistör, mikroçipler, yarı iletken cihazlar ve manyetik rezonans görüntüleyiciler gibi alanları içermektedir. İngiltere Savunma Bilimi ve Teknoloji Laboratuvarı bu cihazları “Kuantum 1.0” olarak gruplandırmaktadır. Bunlar genellikle maddenin kuantum hallerini aktif olarak yaratan, manipüle eden, okuyan, genellikle süper pozisyon ve kuantum dolanıklığı etkilerini kullanan cihazlar olarak adlandırılmaktadır.

“Kuantum 2.0” olarak adlandırılacak ileri sürümde ise bu teknolojiler maddenin kullanım hallerini ve süper pozisyon ile korelasyon fenomenleri açıkça kullanmakta, yaratmakta, manipüle etmekte veya oluşturmaktadır. “Kuantum 2.0” teknolojilerinin, görüntüleme, zamanlama, hesaplama, sensörler (yerçekimi, manyetik alanlar), iletişim ve daha pek çok branşla ilgili kullanım alanı bulabileceği düşünülmektedir.

2 Ajele Lele, *Quantum Technology and Military Strategy*, (Springer, 2021).

3 Lele, *Quantum Technology and Military Strategy*.



Askeri Alanda Kuantum Teknolojileri

Kuantum teknolojilerinin bir silah teknolojisi olarak kullanımına muharebe sahasındaki gelişmeler paralelinde bakmak gereklidir. Günümüzdeki modern muharebe⁴ (ağ destekli muharebe)⁵ sahası kara, deniz, hava, uzay ve siber uzay ile atom altı parçacıkların dünyası arasında yayılmış durumdadır.⁶ Yüksek ateş gücünden ziyade ateşli silahlar, muhtelif mühimmat ve harp başlıklarının hedefteki etkilerinin optimize edilmesi, isabet hassasiyetlerinin artırılması, düşmanı uzaktan tespit etme ve haberleşmesine girilmesi, düşmanın haberleşme sistemine girmesi ve bilgi toplamasına engel olma, radar etkinliğinin artırılması, komuta, kontrol, haberleşme, bilgi-işlem ve istihbarat (*command, control, communication@intelligence* - C³I) kabiliyetinin⁷ kapsam, kabiliyet, erişim ve hızının artırılması, tek asker ve birlik seviyesinde durumsal farkındalığın yükseltilmesi, yapay zeka kullanan otonom ana ve yardımcı sistemlerin kullanılması olarak tarif edilebilecektir.

Kuantum teknolojilerinin gelişimi özellikle algılama, görüntüleme, iletişim ve hesaplamalarda doğa yasalarının halihazırda belirlediği sınırlamaların ötesine geçmeyi vaat etmektedir. Özellikle kuantum simülasyon, görüntüleme ve manyetoensefalografi (çok hassas manyetometreler kullanılarak beyin aktivitesinin kaydedilmesi için bir nörogörüntüleme tekniğidir) aracılığıyla insan-makine arayüzünü güçlendiren giyilebilir sensörler, kuantum iletişimle güvence altına alınan

4 "Küresel Savunma Sanayiinde 2021 Öngörüler", (STM Trend Analizi, Şubat 2021).

5 Alp, Demir, Yalın Pala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

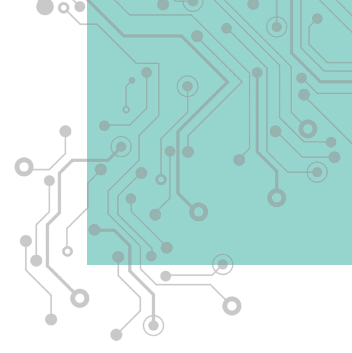
6 Michal Krelina, "Quantum Technology for Military Applications", EPJ Quantum Technology Springer Open, <https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y>, (Erişim tarihi: 1 Nisan 2023).

7 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).

otonom sistemler ve güçlü kuantum bilgisayarlar tarafından gelişmiş yapay zekaların etkinleştirilmesi akla gelebilecek alanlardır.⁸

İçinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna doğru kuantum teknolojileri sensörler, iletişim ve bilgisayar birimleri ile sabit platformlarda, kara, hava, deniz otonom araçları ve gelişmiş durumsal farkındalık için uyduların etki alanlarında konuşlandırılabilir. Tüm unsurlar muharebe sahasının ve düşmanın çok gerçekçi şekilde algılanmasına ışık tutacaktır. Konvansiyonel ya da meskun mahal çatışmalarında, el yapımı patlayıcı (EYP) tehditlerinde, terörist eylemlerde, hava, kara, deniz, uzay ve siber uzayda mücadeleyi etkin kılacak bir kuvvet çarpanı olacaktır.

8 Lele, *Quantum Technology and Military Strategy*.



Tarihsel Gelişiminde Rol Oynayan Ana Aktörler

Kuantum teknolojilerinin tarihsel gelişiminde özellikle 1950'lerden itibaren rol oynayan aktörler siyasidir. Atom bombasının keşif süreci ile Soğuk Savaş'ın başlangıcındaki kararlar ve yönlendirmeler her iki blokta karşılıklı olarak siyasi aktörler tarafından alınmıştır. Askeri üst ve orta komuta kademesi, akademi ve sanayi aktörleri bu kararlar doğrultusunda ortaya çıkan gereksinimler ve teknolojik karşılıkları buluşturmaya çalışmıştır. Dış aktörlerin etkisi ise toplam süreçlerin kritik konularda zaman zaman hızlanması ya da minör ölçüde sapmasına yol açmıştır denilebilir.

Atom bombasının keşfi ve Ağustos 1945'te ABD tarafından kullanılmasıyla Sovyetler Birliği'nin karşılık verme çabası neticesinde her iki blok nezdinde kuantum teknolojilerinin desteklediği bir seri çalışmanın önü açılmıştır. Nükleer silahlanma, atom enerjisinin kullanımı, uzaya çıkış ile hassas hesaplama ve zaman ölçümü, enerjinin çok küçük miktarlarının kullanımı, yeni malzeme tiplerinin üretimi, yüksek hassasiyette güdüm sistemleri, en uzakta, en hızlı ve en çok düşman unsurunun imhası ve kitle imhası gibi siyasi öncelikli hedefler yukarıda belirtildiği üzere etkili olmuştur.

1980'lerin sonuna doğru kuantum teknolojilerinin sunduğu imkanlarla hayata geçirilen ABD'nin Stratejik Savunma Girişim Programı'nın (Strategic Defence Initiative) zaten hassas bir denge üzerinde giden Sovyet ekonomisi üzerinde yıkıcı bir etki yaratarak birliğin parçalanmasına doğru süreci hızlandırması tarihe kaydı düşülecek bir diğer örnektir. Kuantum teknolojilerinin elde edilmesi ve bekasının sağlanması ekonomik yapıları zayıf ve dışa bağımlı ülke ve sistemler için sürdürülebilir olmaktan uzaktır. 1980'lerin sonundan itibaren ABD başta olmak üzere Batı blokunda yer alan ülkelerin de bu alandaki bekayı sağlamakta zorlandıkları yeni ortaya çıkan farklı tipteki aktörlere karşı etkinliklerini kısmen yitirebildikleri

gözlemlenmektedir. Farklı tipteki aktörler içerisinde siyasi/ulus aktörler olabildiği gibi çok uluslu sanayi ya da teknolojik aktörler de bulunabilmektedir.

İçerisinde bulunduğumuz uluslararası ortamda bir ülkenin hayatını sürdürebilirliği etrafındaki tehditleri en hızlı şekilde algılayabilmesi, her türlü trafiği (insan, ticaret yolları, doğal kaynak enerji, v.b.) denetleyebilmesi, erişimleri sağlayabilmesi (iletişim, ürün, enerji ve kaynakların dağıtımı ve erişiminin sağlanması), coğrafya ve kaynaklarına hakim ve bunları sürdürülebilir kılacak, koruyabilecek donanımına sahip olmasına bağlıdır.⁹

Bu anlamda hasmın önceden görülebilmesi, duyulabilmesi, farkına varılabilmesi ve en etkin şekilde ilk olarak vurulabilmesi esastır. Kuantum teknolojilerinde belirtilen kuantum hesaplama, sensörler, iletişim, bilgisayarlar, şifreleme ve şifre çözme kavramlarının alt açılımlarında yer alan tüm teknolojiler yukarıda vurgulanan ihtiyaçlara yanıt vermek üzere bulunmaktadır. Bugün temelde konvansiyonel ya da yüksek teknoloji silah yarışında bahse konu tüm teknolojiler bu noktaya dayanmaktadır.¹⁰

Günümüzde varlığını sürdürmek isteyen bir devlet için kuantum teknolojileri, olmazsa olmaz yatırım yapılması ve sürekli gelişip güncellenmesi gereken bir alan olarak kendini göstermektedir. Bu alandaki yarışta ikinci olmak bölgesel ya da küresel rekabette içinde bulunulan mücadelenin başlamadan kaybedilebileceği anlamına gelebilmektedir.

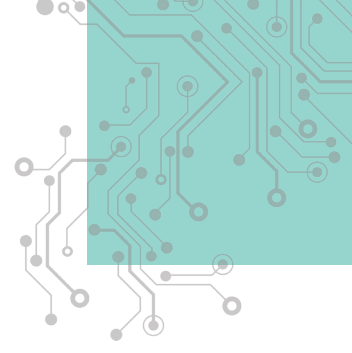
Kuantum teknolojileri konusundaki kabiliyetler ülkelerin coğrafi ya da demografik büyüklüğüyle değil teknolojiye erişme seviyesi ve bunu sürekli kılacak ekonomik yapıdan geçmektedir. Ek olarak bu teknolojilerin elde edilmesinde gerekli enerji kaynaklarının varlığı, cinsi ve büyüklükleri de bu noktada belirleyici olmaktadır. Diğer bir deyişle çeşitli yollarla yüksek seviyede enerji üretecek kaynaklarının o ülkede bulunması ya da böylesi kaynaklara erişiminin olması neredeyse mutlaklıdır. Az bulunan çok özel bazı maden ve minerallere erişim de tarihin başından bu yana olduğu gibi elzemdir. Ekonomik güç, enerji, maden ve minerallere erişim sağlanamadan kuantum teknolojilerinin sürdürebilirliği tartışmalıdır.

9 İbrahim Semih Akçomak ve Zeki Can Seskir, "Türkiye'de ve Dünyada Kuantum Teknolojilerinin Mevcut Durumu: Toplumsal Çerçeveden Bir Bakış", *Toplum ve Bilim*, Sayı: 157, (2021), s. 159-187.

10 Burak Bozkurtlar, "Ulus Devletlerin Güvenlik Stratejileri ve Siber Vatan Kavramıyla Bir Değerlendirme", Academia.edu, https://www.academia.edu/61993666/ULUS_DEVLETLER%C4%B0N_S%C4%B0BER_G%C3%9CVENL%C4%B0K_STRATEJ%C4%B0LER%C4%B0_VE_S%C4%B0BER_VATAN, (Erişim tarihi: 1 Nisan 2023).

Halen konvansiyonel kuvvetlerin II. Dünya Savaşı'nda yakaladığı paradigma - otomatik silahlar, zırhlılar, güdümlü füze ve bomba taşıyan uçaklar- önemli ölçüde devam etmektedir. 1960'ların ikinci yarısında yeni bir askeri devrim dönemine çoklu bağımsız hedeflere gidebilen savaş başlıkları, lazerli seyir füzeleri, kızılötesi ve görüntülü hedefleme, füze savunma ve uydu-savar gibi silahlarla girilmiştir. 1970'lerde uzay bilgi teknolojilerinde bir devrim yaşanmıştır. Sonrasında diğer devletler teknik olarak uçak gemisi, denizaltı, tank ve bombardıman uçağı gibi geleneksel silah platformlarını mükemmel hale getirme yönünde aşama kaydetmişlerdir. Bu silahların ömrünü artırmak ve tehditlere karşı koyabilmek için hassas güdümlü mühimmat teknolojileri ortaya çıkmıştır. Çıplak gözden çok daha büyük isabet oranı ve menzil atışı sağlayabilen atış kontrol sistemi yeni askeri teknik devrimin göstergesi olmuştur.¹¹

11 Sait Yılmaz, "Teknoloji ve Savaş", *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, Cilt: 1, Sayı: 1, (2021), s. 51-66.



Kuantum Askeri Uygulamaları

Kuantum teknolojileri algılama, görüntüleme, iletişim ve hesaplamanın nihai sınırlarına ulaşabilmek için doğanın temel yasalarından yararlanmakta ve böylece şu an için imkansız görünen yetenekleri vaat etmektedir. Bu gelişmeler artık birer bilimsel spekülasyon değildir. Dünya çapında önemli kamu ve özel kuruluşlar bu teknolojileri artık laboratuvarların dışına taşımakta ve gerçeğe dönüştürmektedir. Bu hızlanma kuantum teknolojilerinin önümüzdeki yirmi yıl içinde hayatları ciddi anlamda değiştirebileceğini göstermektedir. Nanoteknoloji, biyoteknoloji, uzay teknolojisi, yapay zeka ve robotik gibi diğer gelişmekte olan teknolojilerle birleştirildiğinde bu husus daha da belirgin bir hal alacaktır. Karar vericilerin görevi ise kuantum avantajını elde etmek ve korumak için operasyonlar boyunca kuantum teknolojilerini anlamak, keşfetmek ve kullanmaya zaman ayırmak olacaktır.¹²

Kuantum teknolojileri değişen derecelerde hazırlık seviyesine ve yıllara sari geliştirme zaman çizelgelerine sahip, birçok heterojen teknolojinin karışımından oluşan bir ürün paketidir. Uygulamaları çok hızlı bir şekilde geliştirmek ve genişlemektedir.

Umut verici askeri uygulama örneklerinden bahsedilecek olursa kuantum simülasyon, görüntüleme ve manyetoensefalografi aracılığıyla insan-makine arayüzünü güçlendiren giyilebilir sensörler, kuantum iletişim ile güvence altına alınan otonom sistemlerin güvenli ağları ve güçlü kuantum bilgisayarlar tarafından geliştirilmiş yapay zekanın etkinleştirilmesi gibi hususlar ilk etapta akla gelebilecek alanlardır.

Avustralya ordusuna ait bir askeri araştırma kuruluşuna göre 2040'lı yıllar itibarıyla kuantum özellikli bir savunma konsepti, tüm etki alanlarını kapsayan ve

¹² Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

savunma endüstrisi ve stratejik düzeydeki organizasyonlardan konuşlandırılmış operasyonel ve taktik birimlere kadar uzanan dağıtılmış bir kuantum sensörler, bilgisayar ve iletişim bağlantıları ağı olacaktır. Diğer bir deyişle tüm yapılar hibrit bir karakter kazanacak ve güç de bu birliktelikten doğacaktır. Bu teknolojilerin bazı uygulamaları bağımsız gelişebilecek ancak birçok uygulama diğer teknoloji ve platformlarla paralel gelişim gösterebilecektir.¹³

Kuantum görüntü işleme ve sensörler sabit platformlarda, kara, hava ve deniz dronelerinde veya mürettebatlı araçlarda ve gelişmiş durumsal farkındalık için uyduların etki alanlarında konuşlandırılabilir. Örnekler arasında yer altı/batık yapı veya araçların görüntülenmesi, jeo-uzamsal haritalama (örneğin, manyetik ve yerçekimi anormallikleri) ve geliştirilmiş radar ve diğer elektromanyetik görüntüleme ve algılamalar yer almaktadır. Bu görüntüleme ve algılama sistemleri, hareket alanı müşterek istihbarat hazırlığı (HAMİH), harp alanı stratejik istihbarat hazırlığı (HASİH), müşterek hareket bölgesi istihbarat hazırlığı (MHBİH), muharebe sahası istihbarat hazırlığı (MSİH) kapsamlarında muharebe sahasının çok daha gerçekçi algılanmasına ışık tutabilecektir. Özellikle paletli araçlar için elzem olan zemin yapısı ve beka için olmazsa olmaz EYP/mayın tehditlerinin bertaraf edilmesi bu gelişmiş uygulamalarla daha da kolay hale gelebilecektir.

Kuantum bilgisayarlar daha yüksek hız ve çözünürlüklerde sinyal ve görüntü işleme, korelasyon ve özellik tanımlama gerçekleştirerek, artan sensör popülasyonlarının hesaplama taleplerini karşılamak için ağ boyunca çeşitli platform ve ölçeklerde dağıtılabilecektir. Sabit hat veya uydu kuantum iletişimi uzamsal-zamansal korelasyonlar yoluyla algılamayı geliştirmek için ağ kuantum sensörleri birbirine bağlayabilecektir. Bu ise tespit ve teşhiste müthiş bir zamanlama ve kombinasyon imkanı yaratabilecektir.

Komuta-kontrol, muhabere ve siber yetenekler kapsamında stratejik ve operatif seviyede merkezde konuşlu kuantum bilgisayarlar operasyonel simülasyon ve optimizasyon, jeofiziksel modelleme (örneğin hareket alanı meteorolojisi), veri madenciliği ve yapay zekayı hızlandırarak karar verme hızını ve doğruluğunu artıracaktır. Kuantum bilgisayarlar ayrıca yeni elektronik harp (EH) araçlarının geliştirilmesinde de faydalar sağlayabilecektir. Kuantum iletişim bağlantıları, operatif ve stratejik seviye düğümleri arasında fiziksel olarak garantili muharebe elektronik bilgi sistemleri güvenliğini sağlamaya yardımcı olabilecek; kuantum

13 Lele, *Quantum Technology and Military Strategy*.

sensörler ise geleneksel iletişim ağlarını hızlandırarak ve hataları azaltarak gelişmiş bir zaman yönetimi imkanı sunabilecektir.

Manevra ve muharebe destek sistemleri alanında yerleşik kuantum atalet sensörleri, manevra unsurlarının ilerlemeleri ve lojistik akışın küresel konumlama sistemi (GPS) gibi sistemler kullanılmadan dahi hassas bir şekilde yönlendirilebilmesini sağlayabilecektir. Kendi coğrafyasında veya yakın alanlarda hareket icra eden ordular belki bu hususun önemini ilk başta kavrayamayacaklardır. Ancak bilinmeyen bir coğrafi ortamda bu husus çok büyük bir önem arz etmektedir. Birliklere dağıtılacak kuantum bilgisayarlar ile makine öğrenimi, otonom robot cihazların optimum kontrolü ve ayrıca hedeflerin elde edilmesi süreci hızlandırılabilir.¹⁴

Lojistik ve muharebe hizmet destek sistemleri kapsamında kuantum nano-sensörler, mikroskoplar, muharebe sahasında konuşlandırılabilir kimyasal ve biyolojik analiz cihazları aracılığıyla hassas mühendislik, çevre, sağlık izleme ve yeni yöntemlerle farklı tıbbi tedaviler gerçekleştirilebilecektir. Kuantum bilgisayarlar tıbbi görüntüleme tekniklerini (örneğin bilgisayarlı tomografi) geliştirmeye ve karmaşık lojistik sistemleri optimize etmeye son derece elverişli ortamlar yaratabilecektir.

Son olarak savunma sanayii alanında ise yaygın kuantum nanosensörler ve mikroskoplar, gelişmiş malzemeler, biyokimyasal süreçler ve nanoteknolojilerin (örneğin atomik hassas elektronik cihazlar) gelişimini ilerleten yeni anlayışların ortaya çıkmasına katkıda bulunabilecektir. Ulusal kuantum hesaplama tesisleri gelişmiş hesaplamalı simülasyon ve optimizasyon yoluyla mühendislik tasarımlarını hızlandırabilecek ve ülkelerin uzun vadede kazanmayı hedefledikleri yetenekleri bir an önce envanterlerine katmalarını mümkün hale getirebilecektir.

Fonksiyon alanları dışında gelişmiş kuantum bilgi teknolojilerinin sağladığı olanaklar istihbarat toplama, çözüm optimizasyonu, şifreleme, gizli teknoloji, bilgi işlem ve iletişim gibi çok önemli ulusal güvenlik araçları ve görevlerini etkileyebilecektir. Nitekim ulusal güvenlik alanındaki kuantum uygulamalarının çeşitliliği söz konusu sistemlerden nasıl yararlanılabileceği ve güvenliği nasıl zayıflatılabileceği konusunda bazı endişeleri haklı kılmaktadır. Bu teknoloji aslında hem bir çözüm hem de başlı başına bir tehdittir. Öte yandan kuantum sistemlerine sahip

14 Krelina, "Quantum Technology for Military Applications".

olmak türlü bilimsel, operasyonel ve mühendislik zorlukları olan kuantum yazılım, donanım ve algoritmalarına sahip bir ekosistem yaratmayı gerekli kılacaktır.

ABD’de de Savunma Bakanlığı nezdinde kuantum ile ilgili çalışan bir ofisin yöneticisi yakın vadede, birincil kullanım durumlarının atomik saatler ve kuantum sensörleri ile ilgili olacağını söyleyerek bu alanın askeri mahiyetteki ilk yansımalarına dair bir fikir ortaya atmış bulunmaktadır. Bu açıklamadan hareketle süper hassas kuantum sensör ve kuantum tabanlı sensörlerin askeri görevler için kritik olan hassas seyrüsefer ve zamanlamaya yardımcı olabileceği sonucu çıkarılmaktadır.

Gelecek harp ortamında bu vesileyle GPS’e bağımlı olmadan hareket etme serbestisi kazanılabilecektir. Pentagon yetkilileri de özellikle uzay çalışmalarında alternatif seyrüsefer çareleri aramaktadır. Kuantum uygulamalarının bu anlamda uzay çalışmalarına yeni yön vermiş olan ülkemizde de entegre bir şekilde Ar-Ge faaliyetlerine başlanarak yürütülebileceği öngörülmektedir.

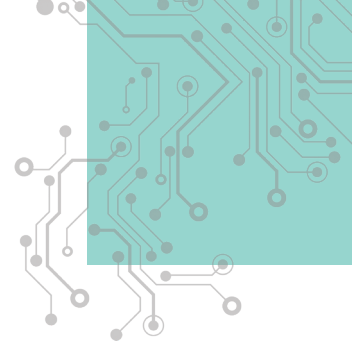
Her ne kadar çeşitli siyasi, ekonomik ve teknolojik endişeler ülkeleri zorlasa da yakın vadede kuantum alanında çok büyük bir sıçrama beklemek mümkün gözükmemektedir. Yine de devletler kuantum teknolojilerinin ortaya çıkaracağı fırsat ve risklerin farkında olmalı ve kuantum devrimine hazır olmak maksadıyla adımlar atmaya başlamalıdır. Bu anlamda ilk aşamada kuantumdan etkilenecek birincil alanlara değinmek daha yerinde olacaktır.

İkinci kuantum devrimi bilgi işlem ve iletişimle sınırlı değildir. Yaratacağı en önemli devrimlerden biri de ölçme alanında olacaktır. Aslında çok farkında olmasak da günlük faaliyetlerimizin çoğu böyle ölçümlere endekslidir. Bir fotoğraf çekebilmek için doğru ışığı yakalayabilmek, GPS kullanarak yön bulabilmek ve cihaz kalibrasyonlarında zamanı en kesin şekilde bilebilmek bunlardan sadece birkaçıdır. Kuantum bu tür parametreleri ölçme hassasiyetinde ezber bozucu bir durum yaratabilecektir. Klasik bilimde belli bir toleransın altındaki ölçümler yapılamamaktadır. Bir diğer deyişle bilim dahi bazı değerlerin altındakilerle uğraşamayacağını kabul etmiş durumdadır. Oysa kuantum mikro düzeylerin dünyasıdır, maddeyi ve olguyu en ince detayından çalışmayı konu edinmektedir. Bilgi işlem ve iletişimde olduğu gibi kuantum mekaniklerinin bu yetenekleri kuantum fiziği özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Örnek olarak kuantum radar (K-RAD) ve klasik radar algılama ve menzil yetenekleri ele alınabilir. Klasik radar ışık parçacıkları yaymakta, bu dalgaların geri dö-

nüşüne göre ölçüm yapmakta ve ölçümü beklenenle karşılaştırarak nesnenin hızı ve konumuyla ilgili tahmin sunmaktadır. Ancak bir çift dolanık kuantum parçacığı, klasik parçaların bilgisinin iki katını içermektedir. Diğer bir deyişle kuantum korelasyonları, klasik korelasyonlardan daha güçlüdür. Üstelik daha az emisyonla çalışma ve daha düşük güç seviyelerinde çalışırken bile aynı algılama doğruluğunu sağlama gibi başka üstün yanları da bulunmaktadır.

Bu husus görüntülerin geliştirilmesine de yardımcı olabilecektir. Birçok kuantum görüntüleme biçimi, fotonlardan manyetik veya yer çekimi alanlarındaki bozulmalara kadar her şeyi ölçebilmek için kuantum dolanıklığını kullanmaktadır. Kuantum dolanıklığının getireceği bilgiler kullanılarak okyanusların en derin yerlerinde bulunan yeraltı sığınakları ve denizaltıların tespit edilmesi dahi mümkün hale gelebilecektir. Yer çekimi ilkeleri aynı zamanda kuantum jiroskoplar olarak da kullanılabilir ve GPS uydularından başka, parazitli harici sinyaller gerektirmeyen çok hassas ataletsel navigasyon sistemlerinin temelini oluşturabilecektir. Klasik fizikte aslında şu an bu tür teknolojilerin kullanımı devam etmektedir. Ancak kuantum dönüşümle hassasiyet ve doğruluk artacak ve şu an için bilinmesi imkansız hususlar için de kapılar açılacaktır. Kısaca tekrarlamak gerekirse kuantum teknolojileri yeni kamera, radar ve diğer sistemlerin gelişimini hızlandıracak ve bu sayede gizli denizaltılar, hayalet uçaklar, yer katmanı ve okyanus tabanlarının en ulaşılmaz yerleri bile görüntülenebilecektir. GPS teknolojilerine bağımlılığı azaltarak yeni konumlama ve zamanlama biçimleri sağlayarak acil savunma sorunlarına çözüm bulunabilecektir.



Şifreleme ve Bilgi Güvenliği

Bilgi güvenliği devletler, şirketler gibi teknolojiyi yoğun kullanan tüm paydaşlar için önemli bir hedeftir. Askeri planlar, savunma sanayii projeleri, kişisel veya kurumsal bilgiler, devlet güvenliğiyle ilgili kritik detaylar, kamu veya özel ağlar aracılığıyla paylaşılan ağlar sayesinde işlem görmektedir. Bu bilgilerin korunması hayati önemdedir ve kuantum kriptolamanın bunu sağlayabilecek birkaç çözüm yolundan biri olduğu düşünülmektedir.

Kriptografi, dijital bilgileri birtakım matematiksel kompleks veriler kullanarak anlaşılabilir ve çözülemez hale getirmektedir. Bu şifreyi çözmek o kadar çok matematiksel hesaplama gerektirmektedir ki günümüz bilgisayarlarıyla dahi bunu yapabilmek neredeyse imkansızdır. İşte yine bu sistemle aslında bir bakıma kendi kendini çürüten bir mekanizma da ortaya çıkmaktadır. Çünkü kuantum bilgisayarlar mevzu bahis karmaşık hesaplamaları dahi yapabilecek kadar ileri teknoloji ürünü olacak ve kırılması en zor şifreleri dahi kırabileceklerdir. Kuantum dolanıklığı ve süper pozisyon etkisiyle basit bir kuantum bilgisayar bile bu işlemi birkaç saat içinde halledebilecektir. Elbette kuantum bilgisayarın var olması için gereken teknolojik seviyesinin karmaşıklığı bir an için göz ardı edilmek koşuluyla. Bu da devletler ve şirketler için önemli bir güvenlik sorunu yaratacaktır. Bu sorunun ciddiyeti ise ele geçirilmek istenen bilgilerin kuantum bilgi işlem yeteneği kazanılana kadar mevcut bilgisayarlarda depolanmaya devam etmesiyle birlikte daha da artacaktır.

Mevcut her türlü şifrelemeler kuantum bilgisayarlar tarafından kolaylıkla çözülebilmektedir. Hükümetlerin hassas sırlarının çoğu kuantum bağıışıklığına sahip simetrik şifreleme sistemleriyle korunmaktadır ve mühendisler kuantum bağıışıklığına sahip dirençli şifreleme algoritmaları üzerinde çalışmaya halen devam etmektedir.

Bu ortamda matematikçilerin kuantum bağıışıklığı olan şifreleme çözümleri geliştirmelerini beklemek tek çözüm değildir. Halen mevcut sistemlerin bir-

çoğuna sahip olan devletler için kuantum sonrası döneme adapte olmak ve mevcut sistemlere yamalarla işin üstesinden gelmeyi düşünmek çok uzun ve zahmetli bir çalışmayı gerektirecektir. Mevcut güvenlik sistemlerini desteklemek ve kuantum teknolojilerinin entegrasi oldukça zorlu bir süreç olacaktır. Esasen kuantum dönüşüm sonrası oluşturulacak güvenlik konsepti, mevcut kullanımı terk etmek anlamına gelmeyecektir. Var olan sistemlerin kuantum algoritmalarıyla entegre edilmesi gerekecektir ve asıl sorunun da şimdiden bu uyum ve entegrasyonu gerçekleştirebilecek yazılımcı ve mühendislerin -nitelikli insan kaynağı- istihdam edilmesi olacağı değerlendirilmektedir. Fiyat, veri miktarı ve mesafe parametreleri içerisinde kurgulanmak zorunda kalınacak yeni sistemde optimal bir çözüme hiçbir zaman ulaşamayabileceği ihtimali göz önüne alınmalıdır. Bununla ilgili siyasi, askeri ve teknik aktörlerin en optimal unsurlar arasında getir-götür (*trade off*) analizi yaparak ödün vermek durumu hesaba katılmalıdır.

Hasım devletlerle ilgili bilgilerin kaybedilmesi ihtimali bu ekosistemin bir ülke için ne kadar elzem olduğunu anlatmaya yetecek bir örnek olarak kabul edilebilir. Yeni sistemin doğası, kuantum şifreleme/kriptolama içeriğindeki kuantum anahtar dağılımı marifetiyle bilgiyi taşıyan kubitlerin transferi müteakip çökmesiyle açıklanmaktadır. Diğer bir deyişle görevini başarmayı takiben veriler yok olacaktır. Bu güvenlikle ilgili en büyük açıklardan biri olan bilginin muhafazası sorununu ortadan kaldıracaktır. Kuantum iletişiminin orta vadede internet iletişimi veya cep telefonlarının yerini alması beklenmese de denizaltılarla iletişim gibi senaryolarda inanılmaz derecede yararlı olabileceği tahmin edilmektedir. K-RAD'lar denizaltı harplerinde de inanılmaz fırsatlar sunabilecektir. Mevcut sistemde denizaltılar engelleri ve diğer su araçlarını sonarları vasıtasıyla tespit etmektedir. Aktif sonarlar şu anki en iyi teknolojidir ancak denizaltının kendi konum bilgisini de sağlamaktadır. K-RAD, denizaltıların sualtı mayınları ve engellerini hassasiyetle tespit edip, sessizce geçmesine imkan sağlayarak tespit ve takibini daha zor hale getirebilecektir.

Kuantum iletişim ve radar teknolojileri denizaltıların bulunmasını zorlaştırırken kuantum gravimetri ise bunu tam tersine kolaylaştırabilecektir. Günümüz ortamında olduğu gibi bu teknolojilerin de birbirine karşı kullanılabileceği ve teknoloji yarışının artarak devam edeceği değerlendirilmektedir. Burada karar vericilere düşen en optimal kullanım yöntemlerini belirlemek ve bu teknolojilerden faydalanmak için uygun ortam ve dinamikleri yaratmak ve dengeli bir temin süreci yürütmek olacaktır.

Kuantum kriptolama; hesaplama, ölçümler ve ışınlama faaliyetlerini içeren kuantum bilgi işlemenin bir alt dalıdır. Kuantum hesaplama ve işlem, kuantum mekaniği sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen bilgi işlem görevlerinin incelenmesi sürecidir. Kuantum mekaniği fiziksel teorilerin inşası için matematiksel bir çerçeve sunmaktadır. Kuantum mekaniğinin kuralları basittir ancak uzmanlar bile onları mantık dışı bulmaktadır. Fizikçiler kuantum mekaniğini daha iyi anlamak için uzun zamandır kuantum dolanıklığı ilkesi üzerinde çalışmaktadır. Henüz tam bir kuantum dolanıklığı teorisi olmamasına rağmen kuantum mekaniğinin bu özelliğini anlama konusunda bazı ilerlemeler kaydedilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından kuantum dolanıklığı üzerine daha fazla çalışmanın yapılmasının kuantum haberleşme ve işlemede yeni uygulamaların geliştirilmesini kolaylaştıracak öngörüler sağlayacağı düşünülmektedir. Kuantum kriptolama siber güvenlik için en önemli unsurlardan biridir ve bilgi çağında giderek daha önemli hale gelmektedir.

Klasik kript sistemlerde kriptografi algoritmaları çoğunlukla sayı teorisindeki klasik çözülmesi zor problemlere dayanmaktadır. Bununla birlikte kuantum bilgisayar ve Shor¹⁵ algoritmasının geliştirilmesi sayı teorisindeki zor problemlerin çözülebilmesini sağlayarak kript sistemlerin güvenliği üzerinde büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle hem kuantum hem de klasik bilgisayarlara karşı güvenli olan kuantum kriptolama önemli bir ihtiyaç haline gelmiş bulunmaktadır. Kuantum bilgisayar çevrim içi olduğunda bazı yaygın ve önemli şifreleme yöntemleri kullanılamayacaktır. Kuantum bilgisayarlar atom altı parçacıkları yöneten yasalardan yararlanarak mevcut şifreleme yöntemlerini kolayca kırabileceklerdir. ABD Maryland'deki Kuantum Enstitüsünde deneysel kuantum fizikçisi olan Chris Monroe, "Bilgi güvenliği, temel fizik yasaları tarafından garanti edilmektedir." ifadesiyle kuantumun önemine bir kez daha dikkat çekmiştir. Kriptografi bugün tüm elektronik iletişim sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin e-posta, şifre, finansal işlemler ve hatta elektronik oylama sistemlerinin güvenliği gizlilik ve güvenilirlik gibi güvenlik hedeflerini gerektirmektedir. Kriptografi yalnızca anahtar değişimi yapan tarafların şifreli mesajı okuyabilmesini sağlamaktadır. Kuantum bilgisayarlar, klasik bilgisayarların yapamayacağı hesaplamaları yapabildikleri için güvenli ve özgün iletişimi tehdit etmektedir. Sonuç olarak kuantum bilgisayar tüm gizli anahtarları kapsamlı bir şekilde tarayarak veya arayarak kriptografik anahtarları hızlı bir şekilde kırabilecek, gönderici ve alıcı

15 1994'te Amerikalı matematikçi Peter W. Shor tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma kuantum bilgisayarlarında çok büyük sayıları kolaylıkla asal çarpanlarına ayırabilmektedir. Shor algoritması bu özelliğiyle kriptoloji tarihinin dönüm noktalarından biri olarak kabul edilmektedir.

arasındaki iletişim kanalını kesebilecektir. Bunlar klasik bir bilgisayar tarafından hesaplanamayacak kadar kompleks işlemlerdir.

Modern bilim bazen kuantum malzemesi olarak adlandırılan yeni meta malzemeler geliştirmektedir. Bu alanda grafen ve topolojik yalıtkan madde gibi kuantum mekaniği özellikleri içeren malzemeler kullanılmaktadır.

Kuantum bilgisayar yetenekleriyle üretilen malzemenin elektronik yapısı simüle edilebilmekte ve entegre süper iletken ve daha uzun ömürlü bataryalar veya belli malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi gerçekleştirilebilmektedir. Yukarıda da bahsedilen simülasyon teknolojileri ve bu elektronik check-up işlemleri kuantum parçacıkları olan kübitler sayesinde yapılabilmektedir. Kübitler müthiş bir veri depolama imkanı sağlayan temel çıkış noktalarıdır ve birbirleriyle etkileşim halinde bulunmaktadır. Bu yeni uygulama ile geleceğin askerlerinin kuşanacakları elektronik suitler -elektronik hücum yelekleri- tam anlamıyla bir kuantum ürünü olacaktır. Zırh teknolojileri ve dört mevsime uygun arazi teçhizatı gibi uygulamalar ve kuantum mekaniği yasaları tatbik edilen metotlarla geliştirilebilecektir.

Kuantum Elektronik Harp (KEH), kuantumla güçlendirilmiş Klasik Elektronik Harp (EH) ve kuantum elektronik harp (KEH) olarak ikiye ayrılmaktadır. EH karşı önlemlere, karşı-karşı önlemlere ve kuantum kanallarının desteklenmesine odaklanmaktadır. Elektronik Destek (ED) önlemleri için Klasik EH sistemleri kuantum antenlerinden faydalanabilmektedir. Kuantum Rydberg atomlarına (çok yüksek temel nicem sayılı, bir veya iki elektrona sahip bir uyarılmış atomdur) dayalı anten ölçülen sinyal dalga boyundan bağımsız olarak çok daha az yer kaplayıp, menzil ve kalite ile ilgili farklı çözümler ortaya koyabilecektir. Öyle ki düşük frekanslı sinyal kesişmeleri için dahi birkaç mikrometre kuantum anten yeterli olabilecektir.

Dinamik bant değiştiren ve farklı frekanslarda hassas çalışabilen kuantum antenler düşman tarafına tespiti zor karıştırma dalgaları yaymada çok önemli bir kuvvet çarpanı yaratabilecektir. Dahası Rydberg atom tabanlı bu antenler hem AM (genlik modülasyonlu), hem de FM (frekans modülasyonlu) bantlardaki sinyalleri yakalayabilecek, kendi kendine kalibrasyon yapabilecek ve hem zayıf hem de çok güçlü sinyallerin ölçümünü yaparak varış açısını tespit edebileceklerdir. Gelecekte kuantum antenlerinin Rydberg atom hücrelerinden oluşan bir dizi (matris) gibi görünebileceği düşünülmektedir. Farklı hücreler farklı sinyalleri ölçebilecek ve iki veya daha fazla hücrenin ortak ölçümü yoluyla sinyal varış açısı belirlenebilecektir. Uygulamanın en zayıf noktası ise

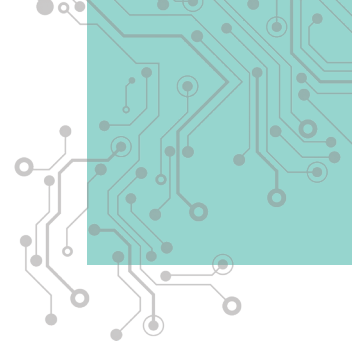
Rydberg'i soğutmak için gerekli olan kriyojeniktirin kabul edilebilir bir boyuta küçültülmesi olacaktır.¹⁶

Klasik EH, KH'den de yararlanarak gelişmiş radyo frekans (RF) spektrum analizörleri sunmaktadır. Buradan doğrudan gelen verilerin işlenmesiyle de verimlilikte önemli bir artış sağlanabileceği öngörülmektedir.

KEH'in bir diğer uygulama alanı ise sinyal istihbaratı (SİNİS), muhabere istihbaratı (MUİS; teşhis, tespit, tanımlama, konumlandırma) ve kuantum elektronik taarruz (KET) olacaktır. Klasik EH'nin verinin taşınma ortamı, sinyal-ortam gürültüsü ve diğer teknik dezavantajlarına göre KEH bu alanda daha tutarlı çözümler getirebilecektir. Ancak daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi kuantum kanalının kesilmesine neden olabilecek bir kuantum kaynaklı saldırı durumunda da sistem için bir o kadar önemli hassasiyetler de ortaya çıkabilecektir. Bir diğer önemli sorun da kuantum taşıma ortamında gürültü kirliliğine neden olabilecek ve fotonların hareketlerini engelleyebilecek yönlendirilmiş enerji silahları benzeri platformların kullanılması olabilecektir.¹⁷

16 Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

17 Neumann, Heesch, Graaf, "Quantum Communication for Military Applications".



Kuantum Teknolojisi ve İstihbarat

Önceki bölümlerde bahsi geçen kuantum uygulamalarının içinde belki de ordulara en büyük sıçramayı yaşatacak olan istihbarat boyutunda gerçekleşecek değişimler olacaktır. İleri teknoloji kullanılarak hassas doğrulukla ve kusursuz bir zamanlamayla elde edilecek istihbarat dünya orduları için son derece önemli bir kuvvet çarpanıdır.

1970’lerde Soğuk Savaş’ın zirvesinde ABD askeri planlamacıları SSCB ve diğer ülkelerden yönelen yeni radar güdümlü füze sistemlerinin savaş uçaklarına yönelik tehdidi konusunda endişelenmeye başlamışlardır. Buna karşılık ABD savunma devi Lockheed Martin’in ünlü “Skunk Works” gibi platformlarındaki mühendisler uçakları düşman radarının meraklı gözlerinden koruyabilecek gizlilik teknolojisi üzerindeki çalışmalarını hızlandırmışlardır.¹⁸ Bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan yenilikler arasında ABD B-2 bombardıman uçağının “uçan kanat” tasarımı gibi radar dalgalarını saptırabilen, alışılmadık bir şekli olan, karbon bazlı malzemeden ve yeni boyalardan imal edilen özel tasarımı da yer almıştır. Gizlilik teknolojisi henüz tamamen bir görünmezlik ve tespit edilmezlik sağlayamasa da endişelerin ortaya çıkmasından bugüne kadar bu alandaki çalışmalar bir hayli mesafe kazanmıştır. Bugünün en gelişmiş savaş uçakları bile bazı radar dalgalarını yansıtmaktadır. Ancak bu sinyaller o kadar küçük ve zayıftır ki arka plan gürültüsünde kaybolmakta ve uçağın fark edilmeden geçmesine olanak tanımaktadır.

Çin ve Rusya o dönemlerden bu yana kendi hayalet uçaklarını tasarlamaktadır. Ancak hala ABD’nin bu konuda açık ara üstünlüğü göze çarpmaktadır. 2003 Irak işgali gibi tecrübelerde de bu üstün teknoloji rüştünü ispatlamış durumdadır.

¹⁸ Yılmaz, “Teknoloji ve Savaş”.

Ancak bu avantajın artık tehdit altında olduğu söylenebilir. Kasım 2018’de Çin’in en büyük savunma ve elektronik şirketi olan CETC (China Electronics Technology Group Corporation) uçuş halindeki gizli uçakları tespit edebileceğini iddia ettiği bir radar prototipi geliştirdiğini açıklamıştır. Radar uçakların konumlarını ortaya çıkarmaya yardımcı olmak için kuantum fiziğinin bazı fenomenlerini kullanmaktadır. Savaşın çehresini değiştirebilecek kuantumdan ilham alan birkaç teknoloji-den sadece biri olan bu tip uygulamalarla, hayalet uçakların kolaylıkla tespitinin yanı sıra savaş alanı muhaberesinin güvenliğini artırılabilir ve denizaltıların okyanuslarda fark edilmeden gezinme yeteneklerini sınırlandırılabilir. İstihbari anlamda keşif, gözetleme ve tespit vazifelerinde karşılaşılan en önemli zorluklardan biri olan bu savaş makinelerinin mümkün olan en uzak mesafelerden tespiti klasik teknolojilerle neredeyse imkansızdır.

Diğer yandan kuantum dolanıklığı ile bu alanda çok önemli kazanımlar sağlanabilecektir. Kuantum dolanıklığının iki parçacığın birbirine bağlı kaldığı ve birbirlerinden ne kadar uzakta olurlarsa olsunlar fiziksel özelliklerini paylaştıkları bir fenomen olduğundan yazının önceki kısımlarında bahsedilmişti. IST Austria’dan (Avusturya Bilim ve Teknoloji Enstitüsü) bilim adamları MIT (Massachusetts Institute of Technology), York ve Camerino üniversitelerinden ekip üyeleri ile birlikte yeni bir tespit kabiliyeti keşfederek K-RAD uygulamalarının istihbari boyuttaki kabiliyetlerinin bir gösterisini yapmışlardır. Bu yeni algılama yöntemi dolanık mikrodalga fotonlarını kullanan “mikrodalga kuantum aydınlatması” adı verilen yeni bir teknolojidir. K-RAD olarak da bilinen bu prototip klasik radar sistemlerinin sıklıkla başarısız olduğu, gürültülü ve aşırı termal ortamlardaki nesneleri tespit edebilme yeteneğiyle son derece muazzam bir eşiği geçmiş bulunmaktadır.

Bu yeni cihazın arkasındaki çalışma prensibi ise son derece basittir. Araştırmacılar geleneksel mikrodalgalar kullanmak yerine sinyal ve boş fotonlar olarak adlandırılan iki grup fotonu birbirine karıştırmıştır. Sinyaller hedef nesneye gönderilirken boş fotonlar göreceli izolasyonla, parazit ve gürültüden arınmış olarak ölçülmektedir. Sinyaller geri yansıtıldığında, sinyal ve boş fotonlar arasındaki gerçek dolanıklık kaybolmakta, ancak az miktarda korelasyon hayatta kalmakta ve ortamdaki gürültüden bağımsız olarak hedef nesnenin varlığı veya yokluğunu tanımlayan bir imza veya model ortaya çıkmaktadır.

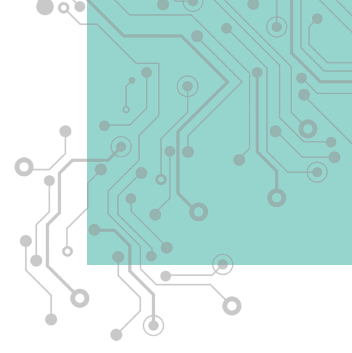
Önceki araştırmaları kuantum gelişmiş radar teknolojisinin arkasındaki teorik fikri iletmeye yardımcı olan Calgary Üniversitesi’nde baş araştırmacı ve yardımcı doçent olan Shabir Barzanjeh’in: “Gösterdiğimiz şey, mikrodalga kuantum radarı için kavramsal bir kanıttır. Mutlak sıfırın (-273,14°C) üzerindeki bir derecenin bir-

kaç binde birinde oluşan dolanıklığı kullanarak, oda sıcaklığında düşük yansıtma özelliği olan nesneleri tespit edebildik” ifadeleri K-RAD teknolojilerinde yaşanacak devrimin bir habercisi olarak görülmektedir. Meskun mahal muharebelerinde (UCW, Urban Combat Warfare) en çok ihtiyaç duyulan husus bina ve sokaklarla ilgili sağlıklı istihbarat elde edebilmektir. İşte bu yeni uygulama ile herhangi bir odanın içinde hemen hemen her zaman bulunabilecek nesnelerden faydalanarak şekil ve giriş bilgisi gibi malumatlar elde edilebilecektir. Üstelik yansıtma özelliğinden yararlanarak bir başka kombinasyonla şahısların duvar arkasından dahi bina içinde nerede durdukları ve ne yaptıkları tespit edilebilir hale gelebilecektir.

Kuantum dolanıklığı doğası gereği kırılğan olsa da cihazın geleneksel klasik radarlara göre birkaç avantajı bulunmaktadır. Örneğin düşük güç seviyelerindeki geleneksel radar sistemleri tipik olarak nesnenin yansıttığı radyasyonu doğal olarak oluşan arka plan radyasyon gürültüsünden ayırt etmekte sorun yaşadıkları için zayıf hassasiyetten muzdariptirler.

Kuantum dolanıklığı ile üretilen sinyal ve boş fotonlar arasındaki benzerlikler (hedef nesneden alınan) sinyalleri ortamda üretilen gürültüden ayırt etmeyi zorlaştırdığı için kuantum aydınlatma yoluyla bu soruna da çözüm bulunabileceği tahmin edilmektedir.

Araştırmacı Barzanjeh bu konuyla ilgili: “Araştırmamızın arkasındaki ana mesaj, kuantum radar veya kuantum mikrodalga aydınlatmanın sadece teoride değil, aynı zamanda pratikte de mümkün olduğudur” ifadesiyle daha emekleme döneminde olan bu yeni teknolojinin artık yürüme evresine geçebileceğini vurgulamıştır. Barzanjeh: “Halihazırda gördüğümüz aynı koşullarda, klasik düşük güçlü detektörlerle kıyaslandığında, çok düşük sinyalli foton sayılarında, kuantumla geliştirilmiş algılama daha üstün olabilir.” ifadesiyle de K-RAD uygulamalarının klasik radarlara göre daha avantajlı kullanım olanakları yaratabileceğini bir kez daha teyit etmiştir.



K-RAD ve Görünmezlik

Tarih boyunca temel bilim yenilikçilik, paradigma değişimi ve teknolojik atılımın temel itici güçlerinden biri olmuştur. Hala bir kavramsal kanıt olarak algı-lansa da bu son araştırma bazı durumlarda zaten klasik radardan daha üstün olabilecek yeni bir algılama yönteminin etkili bir şekilde geliştirilebileceğini de ortaya çıkarmıştır.

Açıklamalara bir örnekle devam etmek gerekirse 1.5 trilyon dolarlık tahmini fiyat etiketi ile F-35 müşterek taarruz uçağı tüm zamanların en pahalı askeri projesi durumundadır. Uçağın değerinin çoğu gizli yeteneklerinden ileri gelmektedir. F-35'in üreticisi Lockheed Martin yeni malzeme, teknik ve tasarım özellikleri geliştirmek için önemli miktarda para harcamış, böylelikle bu harikulade jet uçağı bir düşman radarı kaplama sahasından fark edilmeden geçebilecek seviyeye getirilmiştir.

Bununla birlikte Eylül 2016'nın ortalarında CETC'den bazı araştırmacılar dünyanın ilk uzun menzilli K-RAD'ını ortaya çıkarmışlardır. Bu deneysel sistemin ateşlediği her parçacığın algılayıcıda tutulan kuantum dolanıklığına haiz bir ilişkisi bulunmaktadır. Kuantum dolanıklığının tuhaf kuralları sayesinde bu parçacıkların karşılaştığı F-35 dahil her nesne sensöre geri dönen ilişkilerinde anında bir tepki yaratacak olup böylece kuantum dolanıklığı dünyanın en pahalı hayalet savaşçısının açığa çıkmasına neden olabilecektir. Bu ise tam anlamıyla bir asimetridir. İstihbarat alanında böyle bir savaş makinesine karşı belki de on yıllar sürecektir karşı tedbir geliştirme çabaları çok basit bir kuantum durumu oluşturularak daha kısa sürelerde başa çıkabilme imkanları yaratabilecektir.

Çin'in bu keşfi savunma sanayiinde şok dalgaları yaratmıştır. Lockheed Martin de dahil olmak üzere dünyanın dört bir yanından araştırma grupları son on yıldır K-RAD ile ilgili deneyler yapmaktadır. Ancak hiçbir kuruluş bu tarihe kadar böylesine keskin bir ilerleme kaydedememiştir. Bu çalışmadan sadece bir yıl

önce yapılan bir araştırmada K-RAD'ının maksimum etkili menzilin yedi milin altında olduğu ortaya konulmuştur. Çin ekibi modellerinin 61 mil gibi mesafelerde de çalıştığını iddia ederek inanılması güç bir keşif gerçekleştirdiklerini iddia etmektedir.¹⁹ Türk Hava Kuvvetlerinin imkan ve kabiliyetleri göz önüne getirildiğinde ise bunun özellikle Akdeniz'de Türkiye'ye ne kadar büyük bir yetenek kazandırabileceğini tahmin etmek hiç de zor değildir. Sonuçta hayalet olmalarıyla ünlenecek gelecek teknolojilerinin bu yeni keşif ile birlikte artık tarihin karanlıklarına gömülebileceği gerçeğinin harp alanına bambaşka boyutlar katabileceği öngörülmektedir.

K-RAD'ın kullanılabileceği bir diğer alan ise zırhlı araçlar, ana muharebe tankları ve benzeri askeri araç/yapıların muharebe sahasında çeşitli kinetik ve kimyasal etkili zırh delici mühimmata karşı korunmasında kullanılan aktif koruma sistemlerinin (*active protection systems*)²⁰ hedef tespit ve takip radar sistemleri olacaktır. Mevzubahis sistemlerin çok yüksek tepki sürelerinde hedefin niteliğini tespit ve takip etmesi, koruma sisteminin atış kontrol probleminin çözülmesini sağlayarak tehdidin aktif ya da pasif sistemlerle bertaraf edilmesini sağlaması beklenmektedir. Henüz bu alanda bilinen bir çalışma bulunmamakla birlikte mevcut gelişmeler ışığında oldukça yakın zamanda bir prototip sistemin ortaya çıkması şaşırtıcı olmayacaktır.

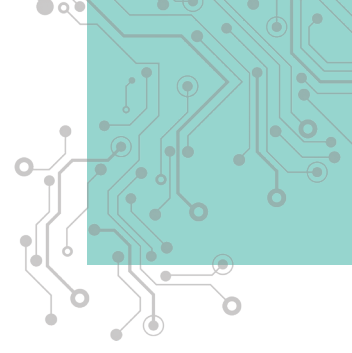
Operasyonel istihbaratın zamanında üretim ve yayımı için hassas nanosensörlerin önemi gittikçe artmaya başlamıştır. Sensör sistemleri askeri nanoteknoloji çalışmalarının temel araştırma noktalarından biridir. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen hassas nanosensörler mayınların tespitinin yanı sıra sınır boyunca terörist geçişlerinin tespit ve teşhisi için çeşitli imkanlar sağlayacaktır. Düşmanın konuşur kuruluğu, terörist faaliyetlerin niteliği ve muharebe hasar tespit değerlendirmesi gibi görevler için görüntü hassasiyeti yüksek sensörler istihbarat faaliyetleri içerisinde ihtiyaç duyulan en can alıcı sistemlerden biridir. Sensör sistemlerinin görüntü ve çözünürlük kalitesi toplanan istihbaratın doğruluk derecesine etki etmektedir. Bununla birlikte KBRN (kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer) serpintilerinin ölçümü nano seviyede üretilen sensörler vasıtasıyla daha hassas yapılabilecektir. Bu sayede özellikle biyo-terörizm ile mücadele daha etkili bir

19 Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

20 "Aselsan Tarafından Altay Tankı İçin Aktif Koruma Sistemi Akkor Geliştirilecek", ASELSAN, <https://www.aselsan.com.tr/basin-odasi/haber-detay/aselsan-tarafindan-altay-tanki-icin-aktif-koruma-sistemi-akkor-gelistirilecek>, (Erişim tarihi: 22 Ekim 2022).

şekilde icra edilebilecektir. Nanosensörler ile teçhiz edilmiş otonom hava ve kara araçları hareket alanının gözetlenmesi, dost birliklerin bekasının sağlanması ve erken ihbar ve ikaz anlamında önemli görevler üstleneceklerdir. Geleneksel sensörlerin aksine daha küçük, ucuz ve güçlü nanosensörler ile akıllı sistemler günlük yaşamımızın her alanında yer almaya başlayacaktır.

Nanoteknolojik materyalin sadece devletler tarafından değil terörist örgütler tarafından da üretilme olasılığı oldukça yüksektir. Bu imkan ve kabiliyeti kazanmış olan devletler veya terör örgütleriyle mücadele edebilmek için doğru ve zamanında elde edilmiş istihbarata her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulacaktır. Geleneksel silah sistemleri kolaylıkla tespit edilebilir ve bunlara karşı önlemler alınabilirken nano seviyede üretilen silahların tespiti hayli zor olacaktır.



Kuantum Haberleşme ve İletişim

İstihbarat unsurlarının belki de karşılaştıkları en önemli problem bilgiyi depolamak ve bir yere aktarmaktır. Hassas ve değerli olan bilginin bir başka platforma karşıt etkilere maruz kalmadan taşınması çok zor bir süreçtir. Özellikle günümüzde yaygın siber saldırı ve zorbalık ortamında bu konunun ne denli önem kazandığı daha da gözlemlenebilir olmuştur. Kuantum bilgisayar, kuantum kriptolama yetenekleriyle donatılmış olarak böylesi hassas bilgilerin muhafazası ve istenilen ortamlara iletilmesinde eşi benzeri olmayan imkanlar yaratabilecektir. Dahası veri işleme ve analiz de kuantum haberleşmeyle artık çok daha kolay hale gelebilecektir. Bu ise zahmet ve çok fazla ilişkiyi sorgulama gerektiren istihbarat üretim sürecinde personele çağ atlatacaktır. Karar verme sürecini tamamen sayısallaştırmanın dezavantajları da olsa bilinmeyen mümkün mertebe en bilinir hale getirerek deterministik karar verebilmek tamamen matematiksel bir süreçtir. İşte kuantum bilgisayar ile istihbarat gibi zorlu alanlarda en optimal çözümlere bu sayede ulaşılabilecektir.

Tabi bu faydalarıyla birlikte karşı tedbirlerin uygulaması da yapay zeka ve kuantum ile icra edildiğinde sistem bir o kadar da hassas hale gelecektir. Ancak bu her dönem karşılaşılan en temel sorunlardan biridir. Savaşlar geliştikçe yöntemler de gelişecek ve kullanılan ekipman ve teknoloji sürekli birbirini etkisiz hale getirmeye çalışacaktır.

Aynı zamanda kuantum haberleşmenin daha sağlam kriptografi ve güvenlik çözümleri sunacağı tahmin edilmektedir. Shor'un algoritmasını çalıştırabilen kuantum bilgisayarların (çok büyük sayıları verimli bir şekilde hesaba katmak için kuantum özelliklerinden yararlanarak) önümüzdeki on yıl içinde kullanıma sunulması beklenmektedir.²¹

21 Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

Bu algoritmalar günümüzde gömülü sistemlerde yaygın olarak kullanılan geleneksel dijital imza

şemalarını kırmak için kullanılabilecektir. Bu alandaki güvenlik sorunsalı zırh/anti-zırh paradoksu kadar net olmamakla birlikte ancak savunma ve saldırı uygulamaları arasında gelişen bir süreç olabileceği şeklindedir. Savunma tarafında kodlanmış iletişim sağlamak için konuşlandırılmış kuantum sistemlerine odaklanılmaktadır. Örneğin uzmanlar Çin’de yıllardır ana odak noktası olan kuantum iletişim ile ilgili faaliyet seviyesinin ABD’deki kuantum haberleşme gelişmesine karşı yönde ilerlediğini ifade etmektedir. Aslında çalışmalar birbirinden bağımsız yürütülüyor olsa da sistemler birbirine karşı panzehir olma özelliği sergilemektedir.

Google’ın kuantum üstünlüğü teoremi, kuantum saldırısına karşı sağlam algoritmalar bulma konusunda birtakım acil çözümler üretilmesine yol açmıştır. Kuantum iletişim anlamında bu tür sistemlere yönelik saldırıların geliştirilmesi yıllardır devam etmekte, tanımlanma ve yararlanılması ile ilgili büyük bir araştırma alanı oluşturulmaktadır.

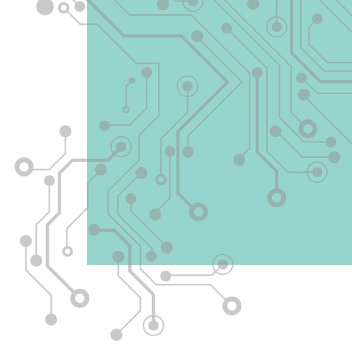
Kuantum haberleşme devrim niteliğindeki yapay zeka sistemlerinin geliştirilmesine de yardımcı olabilecektir. Bununla ilgili faydalar ise önceki başlıklarda ifade edilmişti. Bunlara ilave olarak son zamanlarda gösterilen çabalar, kuantum haberleşme ve yapay sinir ağları arasında güçlü ve beklenmedik bir bağlantı olduğunu göstermiş ve potansiyel olarak makine öğrenmede yeni yaklaşımları meydana çıkarmıştır. Bu tür ilerlemelerin büyük ölçüde iyileştirilmiş örüntü tanımaya yol açabileceği ve bunun da çok daha iyi bir makine tabanlı hedef tanımlamasına izin verebileceği öngörülmektedir. Örneğin geniş okyanuslar gibi devasa alanlarda faaliyet yürüten STEALTH teknolojiyi gizli denizaltıların bile yapay zeka destekli kuantum bilgisayarlar, sensörler ve robotlar aracılığıyla elde edilecek geniş verilerin müştereken analiziyle tespit edilebilme oranının ciddi miktarda artırılabilmesi tahmin edilmektedir.

Kuantum haberleşmenin, kuantum görüntü işlemeyi etkileyerek lojistik sorunları da daha hızlı çözme olasılığı yüksektir. Ancak bu hususların birçoğu henüz temel araştırma aşamasındadır. Kuantum sensör kombinasyonlarının sahada çok daha iyi algılamaya izin verebileceği düşünülmektedir. Bununla ilgili mevcut uygulamalarda konum bilgisi için uydular ve GPS teknolojileri kullanılmaktadır. Ancak kuantum haberleşme ile GPS ve uydu konum bilgisi olmadan dahi kuantum dolanıklığı ve süper pozisyon gibi kuantum özellikleri kullanılarak daha hassas

konum bilgisi sağlanabilecek ve sensör uygulamalarında tespit oran ve kalitesi daha yukarı seviyelere çıkartılabilecektir.

K3BİGM (komuta-kontrol, keşif/gözetleme, mebs ve istihbarat) özellikle hassas operasyonlar için bir ordunun olmazsa olmazıdır. Kuantum sistemleri muharebe sahası farkındalığı anlamında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu anlamda en büyük etkilerden birini de kuantum haberleşmenin yaratacağı düşünülmektedir. Muharebe sahasının karmaşık ve belirsiz ortamında büyük miktarda verinin depolanması, tasnifi ve anlamlandırılması planlamacılar için büyük bir problemdir ve kuantum haberleşme kullanılarak oluşturulan karar destek sistemleri, karar üstünlüğünün ele geçirilmesine çok olumlu katkılar yapabilecektir.

Kuantum algılama kullanılarak haber toplama görevleri farklı ve daha optimal kombinasyonlarla yerine getirilebilecek ve bu sistemler kara, deniz, hava tüm platformlara kolaylıkla entegre edilebilecektir. Hatta alçak yörüngeli uydular dahi artık kuvvetlerin direkt kullanımına tahsis edilebilecek ve münferit kullanıma sunulabilecektir.



Kuantum Teknolojisinin Diğer Askeri Uygulama Alanları

Kuantum algılama alanında kuantum gravimetreler ve yer çekimi gradiyometreleri ise hassas yeraltı görüntüleme ve tespit, hassas konum bilgisi sağlama ve navigasyon için yararlı uygulamalar sunabileceklerdir.

Bir başka önemli algılama türü de kuantum manyetometresidir. Kuantum manyetometri uygulamaları kuantum gravimetri uygulamaları ile kısmen örtüşmektedir ve yeni uygulamaları teşvik etmektedir. Denizaltı mayınlarının tespiti ve özellikle doğu bölgelerinde üs kurulumu safhasında dikkate alınması gereken arazinin metalik özelliği (yıldırım düşmesine karşılık vb.) gibi pratik uygulamalar için kuantum manyetometri aracılığıyla yüksek kalitede hassas veri üretilebilecektir. Son olarak bu alanda en büyük yeniliklerden biri de görüntüleme (radar, üç boyutlu kamera vb.) alanında yaşanacak, kaliteli ve yüksek çözünürlüklü ve daha az yer kaplayan imajlar ortaya çıkarılabilecektir.

Hem manyetik anormallik hem de yer çekimine dayalı algılama dünya yüzeyinin farklı bir resminin ortaya konulmasını sağlayabilecektir.

Söz konusu kuantum algılama teknolojileri, manyetometri, gravimetri ve yer çekimi gradiyometrisi en azından laboratuvar ortamında çok yüksek hassasiyetlere ulaşmaktadır. Algılama alanında süreci etkileyen birçok teknik zorluğa rağmen kuantum formüllerinin hassas veri yorumlama ve hesaplama yetenekleriyle fark yaratabileceği değerlendirilmektedir.

Gravimetrelerin drone vb. platformlara konuşlandırılarak Suriye bölgesinde yapılan operasyonlarda karşılaşılan hendek, tünel ve geçit gibi yer altı oluşumlarını derinlik, genişlik gibi yönlerden hassasiyetle tespit edebileceği düşünülmektedir. Deniz platformlarında da daha gelişmiş bir kullanım formasyonu için ileri mühendislik araştırmalarına muhtaç olan bu alan, arama-kurtarma, enkaz tespiti,

mayın karşı tedbirleri ve taarruz gibi satıh ve satıh altı hareket nevilerinde de benzersiz ilerlemelere yol açabilecektir. Deniz kuvvetlerimizin yüzer platformlarına entegre, hassas manyetometri ve gravimetri cihazlar ile gelecekte keşfi mümkün petrol ve hidrokarbon gibi yetki alanlarının tespitinde de önemli faydalar sağlayabileceği tahmin edilmektedir.

Kuantum radar uygulamalarının yanı sıra görüntüleme alanında farklı uygulamalar da gelişmektedir. Gündüz/gece taktik pasif algılama cihazları, gizli modda çalışabilen aktif/pasif görüntüleme sistemleri, farklı ortam gürültü seviyelerinde hassas tespit yapabilen cihazlar, hayalet araçları tespit edebilen uç teknolojiler, kuantum aydınlatma sistemleri ve kuantum üç boyutlu kameralar bunlardan sadece birkaçıdır. Alt çekim gürültüsünü veya uzun menzili hedefleyen düşük gürültülü, benzeri görülmemiş geniş odak derinliği ile hızlı üç boyutlu görüntüleme performansları sergilenebilecektir. Bu özellikle birlikte sapma veya yapısal çatlakları incelemek ve tespit etmek için kullanılabilen jet, uydu ve diğer hassas askeri teknolojiler ortaya çıkabilecektir. İnsansız hava aracından (İHA) uzun menzilli üç boyutlu görüntüleme yolu ile düşman tesisleri ve ekipmanının ayrıntılı keşifleri yapılabilecektir.

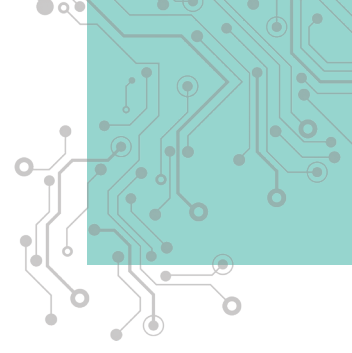
Kısa menzildeki spesifik özellikleri ile bu görüntüleme sistemi, köşelerin arkasında veya görüş alanı dışında gözetleme imkanı sağlamasıyla özellikle meskun mahal muharebeleri, rehine kurtarma operasyonları ve gözetlenemeyen bölgelerden yaklaşan araçların tespitinde kullanılabilir. Bu cihazlar düşük görüş ve ışık şartlarında dahi etkili bir şekilde kullanım imkanı sağlayabileceklerdir. Ayrıca bulut, yağmur, sis, toz, duman, ormanlık arazi ve gece şartları gibi hareketin doğasında var olan engel ve kısıtlayıcılar için de bu görüntüleme sistemleri önemli kazanımlar sağlayacaktır. Düşük sinyal gürültüsü ile hedef tespiti, sınıflandırma ve tanımlama kabiliyetleri, bu yeni sistemleri diğer klasik sistemlerden ayıran en önemli hususlardır. Örneğin tozlu bir zemine iniş yapmak isteyen helikopter pilotları için bu sistemler en önemli yardımcıları olacaklardır. Üstelik bu sistem yaydığı gürültü seviyesi ile tespit edilemez de olacaktır. Bu da karşı tedbirler için ayrılacak zaman, emek ve sermayeyi de önemli oranda azaltacaktır.

Uzay alanı devletlerin gündeminde gittikçe artan bir önem kazanmaktadır. Özellikle teknoloji odaklı gelişmiş ülkeler tarafından bu ortam da artık bir harp alanı olarak kullanılabilir. Şu an için yoğun olarak navigasyon, iletişim ve harita-cılık maksatlı kullanılan uzay, askeri maksatlı gözetleme için de kullanılabilir hale gelmiştir. Daha aktif bir tutum izleyerek, uzayda silahlanma yarışı da artmaya devam edecektir. Henüz uzaydan yönlendirilmiş bir silah veya atış rampası gibi

bir kullanım olmasa da yörüngeye yerleştirilmiş uydu ve lazerler bu maksatla kullanılabilecektir. Aslında büyük güçler kendi platform ve araçlarını halihazırda fırlatmaya devam etmektedir. İnternet hızının artırılması gibi teknik ve barışçıl maksatlar güttüğü ifade edilen bu uydular günün birinde kamikaze savaş araçlarına dönüşebilecektir. Şu an için uzayda yörüngeli bu sistemlerin sayısının 2 bin 200 olduğu değerlendirilmektedir.²²

Uzay ayrıca kuantum algılama ve iletişim teknolojisini uydulara yerleştirmenin anahtarı olacaktır. Birçok kuantum teknolojileri uygulaması için kuantum gravimetre, yer çekimi gradyometresi veya manyetometre gibi kuantum algılama teknolojileri özellikle alçak yörüngede konuşlu uydulara entegre edilerek kullanılabilecektir. Bu tür uygulamalar halen geliştirme aşamasındadır. Örneğin küçük bir uydu üzerinde uzayda konuşlandırılabilen düşük güçlü bir kuantum yer çekimi algılama cihazı, kaynakların doğru bir şekilde haritalandırılması veya doğal afetlerin etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olunması gibi maksatlarla kullanılabilecektir. Bu alanın bir sonraki aşaması ise karşı tedbirler kapsamında söz konusu cihazların tespiti ve uzayın gözetlenmesi olacaktır. Burada da kuantum radar uygulamalarının ileri aşamalarda çok daha farklı çözümler üretebileceği değerlendirilmektedir. Bu anlamda uzay kuantum radarın, küçük, karanlık ve hızlı nesneleri uzay gibi kompleks bir ortamda izlemesi ve tespit etmesi geleceğin uzay savaşlarında çok büyük katkılar yapabilecektir.

22 Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.



Kuantum Teknolojisi ve Çift Kullanım

İkinci Dünya Savaşı'nı takiben orduların devamlılığını sağlamak için ihtiyaç duyulan düzenlemeler ve teknoloji ihtiyacı neticesinde ortaya ordu ve sivil piyasaya yönelik iki ayrı Ar-Ge ve üretim endüstrisi çıkmıştır. Özellikle Soğuk Savaş esnasında artan teknolojik ihtiyaç Ar-Ge çalışmalarını artırırken 1990'ların ortalarından itibaren savunma giderleri ile silah geliştirmeye ayrılan bütçelerin kesintiye uğraması, o zamana dek ayrı ayrı ilerlemiş bu iki endüstrinin kesişiminde “*dual-use*” yani ordu ile sivil yaşam arasında “çift kullanım” teriminin yükselmesini sağlamıştır. Böylece ordunun yüksek performanslı silah sistemleri ihtiyacını karşılamak için harcanan giderlerin azalacağı iddia edilmiştir.²³

Kuantum teknolojileri başlığı altında verilmekte olan tüm unsurların gerek hesaplama gerek algılayıcılar gerek iletişim gerekse kriptolama konusunda olsun hepsinin sivil sektörlerde özellikle de tıp, elektronik, optik, uzay ve havacılık alanlarındaki çok sayıda uygulamada yeri bulunmaktadır.

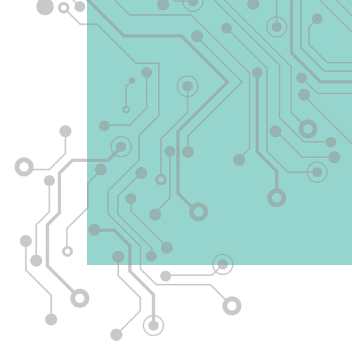
Çift kullanım konseptinin ordulara faydaları kısalan tedarik süreci ve azalan maliyetlerle sınırlı değildir. Çift kullanım aynı zamanda bir silahın kullanım ömrü boyunca devam ettirdiği operasyonel kapasitesinin artmasını, teknolojik gelişme elde etme süreçlerinin kısalmasını ve daha güvenilir, bakımı kolay teknolojiler geliştirilebilmesini sağlayabilmektedir.

Diğer yandan çift kullanıma yönelik eleştiriler de mevcuttur. Ordu ve sivil hayatta kullanılan teknolojilerin pek azının ortak olduğu endişesine ek olarak gerekli düzenleyici denetimlerin yokluğunda ticari ürünlerin maliyeti her ne kadar düşük olsa da yüksek performanslı silahların üretiminde hedeflenen tasarrufun elde edilemeyeceği iddia edilmektedir. Çift kullanım teknolojisine bu tip eleştiriler getiren uzmanların önerisi salt savunma sanayiine odaklanmış firmalarla ve hükü-

23 “Teknolojide Çift Kullanım ve COVID-19 ilişkisi”, *STM Trend Analizi*, (Temmuz 2020).

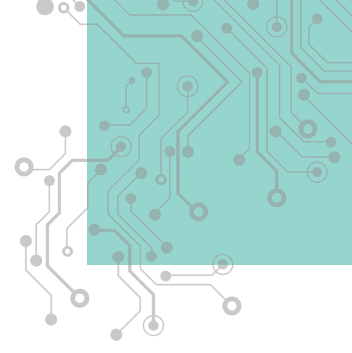
metin sıkı denetimi altında çalışılmasıdır. Bir diğer endişe de ordu çatısı altında kimi çalışmaların ticari ürünlerle sürdürülmesi durumunda personelin edinilmesi “şart” ya da “isteğe bağlı” olan malzemeleri ayırt edememesi dolayısıyla hedeflenen tasarrufun sağlanamaması ihtimalidir. Son olarak ticari ürünlere yönelme durumunda belirli silah sistemlerinin yapım bilgilerinin sözleşmeyle çalışılan ordu dışı firmalarla paylaşılmasının çift kullanımın vadettiği menfaatlerin önüne geçebileceğinden endişelenilmektedir.²⁴

24 “Teknolojide Çift Kullanım ve COVID-19 İlişkisi”.



Terörizm ve Haydut Devlet Tehdidi

Kuantum teknolojilerinin sahip olduğu seviye ve sürdürülebilirliği için gerekli kaynaklar açısından bakıldığında ortalama terör örgütleri tarafından temini ve kullanılabilme olasılığı son derece zayıftır. Bu olasılığın dışında kalabilecek yegane unsur haydut devlet olarak belirlenen bazı ülkeler tarafından doğrudan desteklenen terör oluşumlarının elde ettiği lojistik imkanlar doğrultusunda kuantum teknolojilerini içeren silahları yakın gelecekte kullanma olasılıkları az da olsa mümkün görünmektedir. Bu son derece düşük riskin gerçekleşmesi durumunda yaratabileceği tahribat hedef ülke/bölgenin her türlü altyapı ve üstyapıları nezdinde son derece yıkıcı olabilecektir. Buradaki durumda hali hazırdaki uluslararası protokoller çerçevesinde nükleer ve radyolojik ajanların terör örgütlerinin eline geçmesini önleyici anlayışın sürdürülmesiyle kontrol altında tutulmasının sağlanabileceği düşünülebilir. Nano boyutlardaki kuantum teknolojileri seviyesinde mümkün olabilecek terör tehdidi detayında aynı şekilde son derece pahalı ve üst seviye teknolojilerin terörist unsurlar tarafından destek sağlanmaksızın tedarik edilmesi mümkün görünmemektedir.



Değerlendirme ve Öneriler

Kuantum teknolojilerinin sadece askeri uygulamalar edinmek için değil gelişiminden kaynaklanan sorun, çıkarım, tehdit ve seçimleri anlamaya yönelik çalışmalar yapılmasını gerektireceği değerlendirilmektedir. Her şeyden önce bu yeni alan çok iyi kavranmayı ve çoklu bir bakış açısı ve alanlar arası bir disiplinle çok iyi etüt edilmeyi gerektirmektedir. Kuantum devrimini hesapsızca gerçekleştirmek yerine öncelikle bu uygulamaların ortaya çıkarabileceği mahzurların farkında olunması gerekmektedir. Bu mahzurlarla birlikte ortaya çıkacak sonuçlar askeri, etik ve teknik yönlerden incelenecektir.

Askeri uygulamalar kapsamında kuantum teknolojileri, mevcut yetenekleri koruyarak, daha hassas seyrüsefer, ultra güvenli iletişim veya gelişmiş K3BİGM ve kuantum bilgi işlemi yetenekleri sağlayacaktır. İstihbarat ana fonksiyon alanında teknoloji yoğun bir toplama vasıtaları çeşitliliği yaratacaktır.

Genel olarak kuantum harp kavramı askeri doktrinlerin güncellenmesi, değiştirilmesi veya yeniden oluşturulmasını gerektirecektir. Bu aşamada doktrin ve eğitim planlamacılarının ileri görüşlü bir bakış açısıyla sahadaki değişimleri çok iyi etüt etmeleri gerekmektedir. Bu anlamda müşterek istihbarat doktrininin de bu yeni alanın istihbari uygulamalarını da içerecek şekilde bilimsel bir süzgeçten geçirilerek güncellenmesinin ve hatta daha kapsamlı bir yaklaşımla istihbarat prensiplerine ithal edilerek yeni baştan ele alınmasının atılacak en önemli adımlardan biri olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca teknik istihbarat vurgusunun bu yeni yayında daha kuvvetli yapılmasının yerinde olacağı düşünülmektedir.

Planlamacıların askeri senaryolar ve kuantum çağı için yeni teknik ve silahlar geliştirme ve edinme hedeflerini şimdiden oluşturmaya başlamaları gerekmektedir. Daha da önemli olarak stratejik konum alabilmek ve değişimlere zamanında yanıt verebilmek için teknoloji politikaları ve stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. İstihbarat unsurları da gereken bu altyapıyı kazanmak ve kendi-

lerini bu alanda geliştirebilmek için fizik ve mühendislik alanlarında meslek içi eğitimlere tabi tutulmalı veya yüksek lisans, doktora gibi ileri eğitimlerini teorisyenlik alanında değil pratik alanlarda gerçekleştirmelidirler.

Bu anlamda karar makamlarına somut olarak bir tavsiyede bulunmak gerekirse şimdiden şekillendirilmesinde fayda görülen alanlar şunlardır:²⁵

- Ulusal kuantum teknolojileri kaynaklarının araştırılması (üniversiteler, laboratuvarlar ve şirketler), bu sektörlerle stratejik seviyede iş birlikleri kurulması ve personel değişimi yapılması yoluyla gelişmelerin anlık olarak takip edilmesi, kurum içi tehdit değerlendirmeleri ve fizibilite çalışmaları icra edilmesi başlangıç noktası teşkil etmektedir. İstihbarat üniteleri bu alandan en çok etkilenecek birimler olup farklı bakış açılarıyla dünyadaki kuantum trendlerini çok yakından takip edebilecek yeterliliğe ulaşmalıdırlar.
- Kuantum teknolojileri evrim ve adaptasyonunun izlenmesi, teknolojik gelişmeleri takip edebilmek için elzemdir. Bu alanla ilgili teşkilat ve Ar-Ge işlemlerinin esasa bağlanması hususu şimdiden üzerinde düşünülmesi gereken bir sorun sahasıdır. İstihbarat üniteleri bu anlamda gerçekçi ve elde edilebilir ihtiyaç listeleri oluşturmali ve hiyerarşik kademeleri bu doğrultuda yönlendirerek nokta kazanımlar elde etmeyi amaçlamalıdır.
- Komşu veya potansiyel tehdit ülkelerin gelişimlerini takip etme ve stratejik dokümanlara bu alanlarla ilgili gelişmelerin de kayıt olarak düşülmesi istihbari açıdan yürütülmesi gereken bir diğer önemli görevdir. Bu alanda klasik formatlar ve toplama vasıtaları yerine yukarıda bahsi geçen kuantum kriptolama avantajlarıyla sistematik bir toplama stratejisi oluşturulmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.
- Finansal, Ar-Ge veya teknolojik kapasiteler şu an için yetersiz bile olsa bu sektörün devamlı olarak takip edilmesi ve bu anlamda kararlı bir tutum izlenmesi son derece gereklidir. Bu nedenle tüm modern ordular bu alanı takip etmeli ve Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) de bu anlamdaki farkındalığını realiteye dönüştürmelidir. İstihbarat üniteleri kendi içinde

²⁵ Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

entegre ve koordine olmuş bir şekilde, alanla ilgili özellikle Çin gibi kapalı ülkelerden daha fazla teknolojik istihbarat elde etmeye çalışmalıdır.

- Ulusal ticaret ve ihracat politikaları da askeri karar makamları ile koordine edilerek şekillendirilmeli ve bu anlamda stratejik seviyede destek programları açıklanmalı, askeri ve sivil araştırmacılar bu anlamda ciddi oranda teşvik edilmelidir. Örnek olarak AB'nin bu konu ile ilgili önemli teşvikleri mevcuttur. Ülkemizde ve TSK istihbarat birimlerinin yurt dışı kurum/kuruluşlarla münferiden görüşme ve ticari ilişkiye girebilmesine dair yasal düzenlemelerin yapılmasının olumlu bir ivme kazandıracığı tahmin edilmektedir.
- Kuantum bilgi işlem, tüm uygulamalar içinde belki de en büyük gelişim ve değişim vadeden uygulamadır. Esasen tüm alanlarda önemli oranlarda kuantum bilgi işlem yeteneklerinden faydalanılmaktadır. İlk olarak kuantum bilgi işlem yeteneklerinin kazanımı için büyük çaba sarf edilmeli ve devamında diğer alanlarla ilgili gelişmeler milli usuller ve çalışmalarla gerçekleştirilmelidir. Bu teknolojilerin edinimi ordulara büyük mesafeler aldıracak olsa bile getireceği tehditler de bir o kadar büyük olacaktır. Hassas bilgilerin deşifre olması ve sistemsal saldırılar gibi riskler de beraberinde farklı karşı-karşı önlemler icat etmeyi gerektirecektir. Bu sebeple alanın sadece anlık edinimler değil sürekli bir araştırma ve geliştirme üzerine kurgulanması gerekmektedir. İstihbarat birimleri, yetenek kazanımına odaklanmakla birlikte karşı tedbirleri de eş zamanlı olarak düşünmelidir. Bu alanda en başından farkındalık kazanmanın önemi tüm ünitelere ciddi bir şekilde anlatılmalı ve bu disiplinin bozulmasına kesinlikle izin verilmemelidir. Bu teknolojilerin sağlıklı bir şekilde edinilip idame yeteneklerinin kazanılması bölgesel anlamda kuvvet çarpanı etkisi, küresel anlamda ise asimetrik etki yaratacak kazanımlar sağlayabilecektir.

Önceki kısımlarda kuantum teknolojilerinin mevcut kazanımları ve yetenekleri korunarak, daha hassas ve kesin sonuçlar sağlama anlamında ciddi getirileri olacağı belirtilmişti. Konu hep edinim ve kullanma üzerine incelenmiş olmakla birlikte, etik ve kuvvet kullanımı açısından incelendiğinde aslında disiplinler arası başka bir kaygıya yol açabileceği görülmektedir. Bu alan hukuk biliminin esas konusunu teşkil etmekle birlikte karşılaşılabilecek zorluklar özetle aktarılmaya çalışılacaktır.²⁶

²⁶ Alp, Demir, Yalınpala vd., *Harpte Yeni Kavramlar, Operatif Sanat, Teknoloji ve Harp Hakkında Yansımalar*.

Gelecekte kazanılacak kuantum yeteneklerle insan DNA'sının manipülasyonu, harp için kütle etkisi yaratabilecek silahların tasarımı, yapay zeka yoluyla daha hassas ancak ölümcül metotların keşfi ve uzayın harp imkan ve kabiliyetleri dahilinde kullanımı gibi konuların en azından şimdiden uluslararası konjonktürde takip edilerek çeşitli hareket tarzları üretilmesini gerektiren bir sorun sahası olduğu değerlendirilmektedir. Kuantum teknolojileri ile saldırı için karar verme zamanı kısaltılacak ve icra süresi çok kısa olacaktır. Bu da genel olarak bakıldığında kuvvet kullanımını daha olası hale getirecektir. Son derece hassas olan uluslararası dengeler ve diplomasi için bu hususların da etraflıca düşünülmesinde yarar vardır. İstihbari anlamda toplama gayretlerinin de bu endişeler muvacehesinde bir kez daha gözden geçirilmesi gerekecektir. Yoğun teknoloji gelecekte bilgiye daha kolay ulaşmayı mümkün kılacak, bu ise hukuki anlamda başka sınıklar meydana getirebilecektir. Dolayısıyla bu anlamda istihbarat birimlerinde de hukuk danışmanlarına duyulan ihtiyaç gündeme gelebilecektir. Üstelik bu teknolojilerin üretim ve ihracatının kontrolden çıkması ve yayılımının önlenmesinin mümkün olamaması ve marjinal odakların eline geçmesinin önlenememesi gibi ihtimaller de değerlendirildiğinde, edinimden önce idame ile ilgili çok boyutlu bir yaklaşım gerektirdiği gözlerden kaçmayacaktır.

Son olarak alandaki değişimi takip etmek ve bu teknolojiyi edinmek finansal olarak bir hayli zahmetli olacaktır. Dolayısıyla akıllıca politikalar izlenerek ilk etapta edinilmesi gereken yeteneklere odaklanılmasının daha yerinde olacağı düşünülmektedir.

Hassasiyet ve çözünürlük teknik anlamda ortaya çıkabilecek başlıca sorunlardır. Mevcut altyapının korunarak kuantum dönüşüme geçişi sağlayacak temellerin atılması pahalı ve teknik uzmanlık gerektiren bir husus olacaktır. Bunun için nitelikli iş gücü ihtiyacı da ilk etapta üst düzeyde olacaktır. Personelin temin, yetiştirilme ve idamesi belli bir zaman alacak ve özellikle ilk dönüşümü gerçekleştirecek kadroların yetiştirilmesinde büyük zorluklar yaşanabilecektir. Bu hususu ekarte edebilmek için kurum içinden doktoralı fizikçi ve mühendislerin şimdiden yetiştirilmeye başlanması, önde gelen üniversitelerle bu anlamda paylaşım içine girilmesi hususunun önemli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kuantum bilgi sistemlerinden gelen verileri işleyip analize tabi tutabilecek teknisyen personelin de farklı meziyet ve eğitime gereksinim duyacağı değerlendirilmektedir. Bu anlamda sayıca az ancak nitelikli iş gücü temini politikasının izlenmesinin yararlı olacağı ve istihbarat kadrolarında da bu yönde yaklaşımların izlenmesinin isabetli olacağı öngörülmektedir.

Bunun dışında böylesi nitelikli ve ihtisas sahibi personeli kurum içinde tutabilmek de ayrıca düşünülmesi gereken bir durum olacaktır. Pilot branşlı personelde geçmiş yıllarda görüldüğü gibi nitelikli iş gücü maddi veya manevi sebeplerle başka arayışlara kolaylıkla başvurabilmekte ve şartların oluşmasını müteakip kurum değişikliği yapabilmektedir. Bu durum da kurum için emek ve zaman kaybına yol açmaktadır. Bu gibi durumları asgariye indirebilmek için de çeşitli önlemler düşünülmeli ve kurum-birey menfaatlerini dengeleyebilecek optimal çözümler hedeflenmelidir.

Eğitim ve doktrin anlamında şimdiden harp okulları ve diğer askeri eğitim kurumlarının müfredatlarında bu konu incelenmeye başlanmalı ve kuantum farkındalığı yüksek ve gerekli altyapıya sahip nesiller yetiştirmek hedeflenmelidir.

Kuantum devriminin belki de en büyük zorluklarından biri muazzam miktardaki veri akışı olacaktır. Her türlü sistem ve uygulama ediniminde bu husus teknik olarak çok ince bir şekilde düşünülmelidir. K3BİGM sistem dizaynları, görüntüleme, işleme, muhabere altyapılarının şekillendirilmesi ve tüm altyapı çalışmalarında bu husus ayrıca değerlendirilip kapsayıcı ve detaylı çözümler ortaya konulmalıdır.

Bir diğer zorluk ise standardizasyondur. Nihayetinde tüm sistemlerin birbirini ağ üzerinden görerek uyum içinde çalışabileceği bir çevre düşünüldüğünde birlikte çalışabilir algoritmalara sahip olması son derece önemlidir. Arayüz, sistem protokolleri, güvenlik doğrulamaları gibi unsurlar sistem bütünlüğü içinde ele alınmalı ve gelecekte yaşanabilecek değişimlere de adapte olabilecek formatlar üzerinde durulmalıdır. İstihbarat birimleri gerek teşkilat gerekse ekipman anlamında bu kapsayıcı yaklaşıma sahip olmalı ve atacağı her adımda komşu birimler ve çevreyi hesaba katmalıdır.

Temel yetenek alanları kazanılmasını müteakip kurulacak bir kuantum ağ ile tüm sistemler birbirinin altyapısını kullanabilecek ve veri transferine izin verecek özellikte olmalıdır.

Sonuç olarak TSK'da kuantum alanında öncelikle farkındalığın artırılması, müteakiben alan ile ilgili gelişmeleri takip edebilecek yeterlilikte kadroların şimdiden oluşturulması ve takibin başlaması gerekmektedir. Eğitim ve doktrin çalışmaları ile beraber kuantum dönüşümü gerçekleştirecek teknik altyapı ve kadroların da hızlıca yetiştirilmesi ve ilk etapta edinilmesi elzem yeteneklere odaklanılarak bu geçişi sağlamanın gerekli olduğu değerlendirilmektedir. TSK bünyesinde faaliyet gösteren araştırma enstitüleri bu anlamda daha nitelikli ve fazla personel yetiştir-

tirmeyi esas almalıdır. Üniversiteler ve sivil kurumların araştırma imkanlarından daha fazla faydalanılmalı ve öğretici kadrolara özellikle ABD ve Çin gibi ülkelere giderek daha fazla yerinde gözlem yapma imkanı sağlanmalıdır. Alanın sivil birçok sektörde de uygulama sahası bulacak olmasıyla birlikte en büyük dönüşümü askeri ve güvenlik anlamında gerçekleştireceği tahmin edilmektedir. Hal böyleyken alan üzerine merak sahibi ve söz söyleme kapasitesi olan kişilerin de TSK'da daha fazla olmasının gerektiği düşünülmektedir.

Alan mühendis sınıfının üzerine bırakılamayacak kadar geniş ve anlık çözüm ve tedbirlerle geçiştirilemeyecek kadar kritiktir. Geleceğin orduları kuantum ordusu olacaktır ve ona emir komuta edecek şahıslar da kuantum bilgi kuşağının birer ürünü olacaktır. Bir bayrak yarışı olan kutsal vatan hizmetinde bu değişim ve dönüşümü en sağlıklı şekilde gerçekleştirebilmek adına her zaman olduğu gibi en büyük yol göstericinin akıl ve ilim olacağı, daha sayısal düşünebilen ancak his, sezgi, algı gibi manevi liderlik karakterlerini de bünyesinde taşıyabilecek karar vericiler yetiştirmenin yatırım yapılması gereken en önemli husus olacağı değerlendirilmektedir.

Kuantum Teknolojisi

Kuantum teknolojileri algılama, görüntüleme, iletişim ve hesaplamanın nihai sınırlarına ulaşabilmek için doğanın temel yasalarından yararlanmakta ve böylece şu an için imkansız görünen yetenekleri vaat etmektedir. Nanoteknoloji, biyoteknoloji, uzay teknolojisi, yapay zeka ve robotik gibi diğer gelişmekte olan teknolojilerle birleştirildiğinde bu husus daha da belirgin bir hal alacaktır. Şifreleme, bilgi güvenliği, haberleşme, istihbarat, radar ve görünmezlik gibi askeri ve sivil alandaki uygulamaları ise çok hızlı bir şekilde gelişmekte ve genişlemektedir.

İçinde bulunduğumuz yüzyılın sonuna doğru kuantum teknolojileri, kuantum sensörler, iletişim ve bilgisayar birimleri ile sabit platformlarda, kara, hava ve deniz otonom araçlarında ve gelişmiş durumsal farkındalık için uyduların etki alanlarında konuşlandırılabilir. Tüm bu unsurlar muharebe sahasının ve düşmanın çok gerçekçi şekilde algılanmasına ışık tutacaktır. Dahası geleceğin orduları, kuantum ordusu olacaktır ve ona emir komuta edecek şahıslar da kuantum bilgi kuşağının birer ürünü olacaktır. Dolayısıyla bu çalışma kuantum teknolojilerinin tarihsel gelişimini, askeri ve sivil alandaki uygulamalarını ve geleceğe yönelik değerlendirmeleri kapsamlı bir şekilde ele almaktadır.