

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd>

Kuantum Revizyonu

Quantum Revision

Furkan AKKAYA ^{1*}

¹Harita Genel Müdürlüğü, Harita Yüksek Teknik Okulu, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Derleme

Başvuru: 25.07.2024

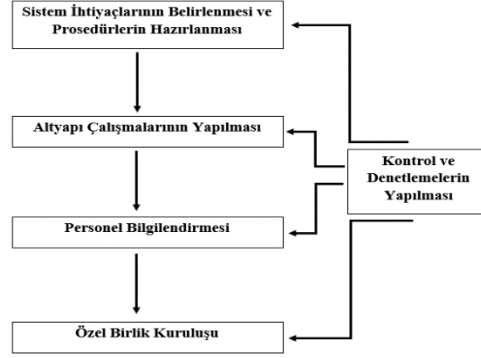
Düzeltilme: 16.09.2024

Kabul: 25.09.2024

Önemli Noktalar

Kuantum teknolojileri farklı askeri alanlarda birçok yeniliğin önünü açmıştır. Kuantum sistemlerine birliklerin hazırlık seviyesinin artırılması geçmiş sistemlerden farklı ve daha kapsamlı bir çalışma gerektirmektedir. Bu maksatla birliklerin adaptasyonu için Kuantum Revizyon planı hazırlanmalıdır.

Grafiksel Özet



Keywords

Quantum physics
Quantum technology
Quantum threats
Revision
Adaption

Anahtar Kelimeler

Kuantum fiziği
Kuantum teknolojisi
Kuantum tehditleri
Revizyon
Adaptasyon

Özet

Kuantum fiziği, elde edilen gelişmeler ile teknoloji alanına hizmet etme kapasitesi olduğunu kanıtlamıştır. Bu alanlardan en önemlilerinden birisi de askeri kullanım alanlarıdır. NATO bünyesinde de bu teknolojinin gelecek muharebe ortamının bir parçası haline gelmesi için müttefikler arasında iş birliği için stratejiler üretilmiştir. Bununla birlikte kuantum teknolojilerinin kullanımında hassasiyet ve altyapı gibi temel kısıtlar bulunmaktadır. Sistemin atom altı boyutta çalışıyor olması dış etkenlere karşı hassasiyeti muharebe ortamında uygulanmasını kısıtlayan bir etken haline gelmiştir. İkinci olarak sistemlerin hassasiyetinden ve uygulamanın güncel teknoloji ile gerçekleşmesinin güç olması sistemlerin kurulumundaki altyapı sorununun oluşmasına neden olmaktadır. Silahlı kuvvetlerin böyle bir değişime adaptasyonunu sağlaması için geçmiş teknolojik gelişmelere karşı yapmış olduğu doktrin ve teşkilat revizyonlarından farklı adımlar atması gerekmektedir. Kuantum revizyonu, silahlı kuvvetlerin adaptasyon sağlaması için kuantum teknolojilerinin askeri kullanım alanlarının araştırılarak bu alanlara karşı değişimde izlenilecek yolun araştırıldığı revizyon konseptidir.

Abstract

Quantum physics has proven that it has the capacity to serve the field of technology with the developments achieved. One of the most important of these areas is military use areas. Within NATO, strategies have been developed for cooperation between allies to make this technology a part of the future combat environment. However, there are fundamental limitations in the use of quantum technologies, such as sensitivity and infrastructure. The fact that the system operates in the subatomic dimension and its sensitivity to external factors has become a factor that limits its application in the combat environment. Secondly, the sensitivity of the systems and the difficulty of implementing them with current technology cause infrastructure problems in the installation of the systems. In order for the armed forces to adapt to such a change, they need to take different steps than the doctrine and organizational revisions they have made against past technological developments. Quantum revision is a revision concept in which the military usage areas of quantum technologies are researched in order to ensure adaptation of the armed forces and the path to be followed in changing these areas.

*Corresponding author, e-mail: h123376@kho.msu.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanlık tarihinin kaçınılmaz parçası haline gelmiş olan savaş ve çatışma kavramı, teknolojik gelişmeler ile eşzamanlı olarak kavram ve motivasyon değişikliğine uğramıştır. İlkçağ savaşlarında sopa ve mızrak kullanan insanlık, barutun icadı ile ateşli silahları muharebe ortamında kullanıma sunması ile savaşın iki hasım arasındaki muharebe sahasının genişlemesine yol açmıştır. Bu durum orduların muharebe sahasında farklı hareket tarzları izlemesine neden olmuştur. Bu tarz gelişmeler farklı araştırma alanları da ortaya çıkarmıştır. Savunma Sanayi'sinin hızla gelişen teknoloji karşısında üretkenliğini korumak için birçok farklı bilim dalından yararlanmaktadır. Bu dallarından biri 20'nci yüzyılda ortaya çıkmış olan kuantum fiziğidir [1].

Kuantum fiziği, gözle görülen dünyadan ayrılarak atomik boyutlardaki durumları incelemesinden kaynaklı olarak diğer fizik alanlarına göre kavranması daha güç bir bilim alanı olmuştur. Kuantum fiziği ile elde edilen edinimler, teknoloji uygulamalarında da farklı bakış açılarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kuantum fiziğinin gelişimine devam ediyor olmasından ve teknolojik altyapı eksiklikleri nedeni ile deneysel çalışmalar, büyük laboratuvarlar ve teorik çalışmalar aracılığı ile sürdürülmektedir. Atom altı parçacıklar ile ilgilenilmesi sistem hassasiyetini arttırarak uygulama alanlarının maliyet etkinliğini sınırlamaktadır [2].

Kuantum fiziği prensipleri kullanılarak, atomik boyuttaki parçacıkların manipüle edilerek bilgi işlem üzerine kullanımı amaçlanmaktadır. Güncel kullanımdaki sistemlere karşı elde

edilecek olan yüksek işlem gücü ile yapılması zor veya imkânsız gibi görünen birçok probleme (BigData, kriptoloji, NP problemler vb.) cevap aranmaktadır.

Yeni savaş ortamı ordulara her ne kadar ademi merkezietçi ve savaş tekelinin devletlerin kaybetmesi olarak görülse de farklı bir etken olarak ordular arasında teknoloji yarışının başladığı söylenebilir. Kuantum teknolojileri de bu yarışın bir parçası olmuştur. Kuantum teknolojilerinin gelişimi birçok alanda kendini göstermiştir. Geçmiş teknolojilerin birçok farklı askeri alanı etkilediği gibi kuantum teknolojileri de askeri uygulamalar konusunda yaşanan gelişmeler, çeşitli askeri alanların değişime başlanmasına neden olmuştur. Bu alanlara, Kuantum Veri Bilimi (ing. Quantum Information Science (QİS)), Kuantum Hesaplama (ing. Quantum Computing), Kuantum Haberleşme ve Kriptoloji (ing. Quantum Communication and Cryptography) ve Kuantum Radarı (ing. Quantum Radar (QR)) örnek verilebilir [3, 4].

Bu gelişmeler; keşif ve gözetleme sistemlerini, hava savunma sistemlerini, büyük boyuttaki istihbarat verilerinin incelenmesini, komuta-kontrol sistemlerini, akıllı mühimmat sistemlerini ve siber güvenliği önemli ölçüde etkileyerek gelecekte doktrinsel olarak değişimlere neden olabilecek potansiyele sahip olduğunu kanıtlamıştır. Muharebe sahasındaki gelişmeler ve silahlı kuvvetler içerisindeki tecrübeler ile oluşan ihtiyaçların, kuantum teknolojileri ile bütünleşmiş sistemler aracılığı ile karşılanmaya çalışılması maksadı ile savunma sanayisinde atılacak adımlar önem arz etmektedir [3, 5].

Bu çalışmada, kuantum teknolojilerinin askeri uygulama alanları ve gelecek dönemlerde bu yeni

alanın muharebe sahasında kullanımında güncel doktrin ve teşkilat üzerindeki etkileri incelenerek silahlı kuvvetler bünyesinde bir kuantum revizyonu önerilmektedir. Çalışmada yapılan incelemeler NATO doktrini kapsamında yapılmıştır. Avrupa Birliği, NATO ve Çin gibi devletler/topluluklar gibi ulusal bir strateji planı ve politika izlenmesi gerekmektedir [3].

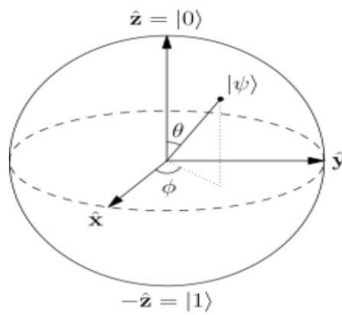
Çalışmanın kalan bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir; kullanılacak temel bilgiler ve sistemler Bölüm 2’de sunulmaktadır. Bölüm 3’te askeri uygulama alanları tartışılmış ve son bölümde ise kuantum revizyonu üzerine görüşlere yer verilmiştir.

2.YÖNTEMLER ve TEKNİKLER (METHODS and TECHNIQUES)

2.1 Temel Kuantum Fiziği Konsepti

Temel kuantum fiziği konsepti üzerinde bilgi edinilmesi, günlük gözlemlenebilir dünyadan farklı kurallar ile çalışan kuantum sistemlerinin kavranmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bölümde, gelecek bölümlerdeki sistemlerin çalışma prensiplerinin daha rahat anlaşılması maksadı ile temel kuantum konseptleri tartışılacaktır.

2.1.1 Bloch Küresi



Şekil 1: Bloch Küresi Gösterimi [9].

Güncel kullanımda olan klasik bilgisayarların işlem birimi bitlerdir. Bitler temel olarak bozuk paraya benzetilerek “tura” ve “yazı” gibi 0 ve 1’lerden oluşan iki durumlu işlem birimidir. Sistemin 0 ve 1 olma olasılığı dışında herhangi bir olasılık söz konusu değildir. Bunun yanı sıra kuantum bilgisayarlarında ise durum farklılık göstererek kübit adı verilen işlem birimi ile aynı anda iki durumu taşıma (süperpozisyon ilkesi) gibi özel durumlar bulundurulabilmektedir. Bu özel durumların somut gösterimi olarak Bloch küresi kullanılmaktadır [9].

2.1.2 Belirsizlik İlkesi

Werner HEISENBERG tarafından ortaya atılan belirsizlik ilkesi; temelinde bir parçacığın konum ve momentumunun aynı anda bilinmeyeceğini, momentum üzerindeki belirsizliğin ortadan kalkması ile doğru orantılı olarak konumundaki belirsizliğin artacağını aynı zamanda konumundaki belirsizliğin azalması ile de momentumundaki belirsizliğin doğru orantılı olarak artacağını gösterilmektedir [10]. Belirsizlik ilkesi (2) numaralı denklemde gösterildiği gibidir.

$$\sigma_A^2 \sigma_E^2 \geq \left(\frac{1}{2i} \langle [\hat{A}, \hat{E}] \rangle \right)^2 \quad (1)$$

Denklemi elde edilir ((1) numaralı denklem geliştirilmiş belirsizlik ilkesi). Buradan ilk gözlenebilir konum ($\hat{A}=x$), ikinci gözlenebilir momentum ($\hat{E}=p$) olarak kabul edilirse;

$$\sigma_x^2 \sigma_p^2 \geq \left(\frac{1}{2i} \hbar \right)^2 = \frac{\hbar^2}{4} \quad (2)$$

elde edilir [6].

Belirsizlik ilkesi ışığında, sistemde sabit tutulmaya çalışılan parçacığın hareket dinamiği incelenebilmektedir.

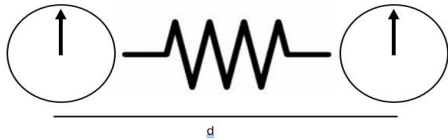
2.1.3 Kuantum Dolanıklığı

Kuantum dolanıklık, Schrödinger denkleminin açık bir sonucudur (üst-üste gelme ilkesi) ve iki benzer parçacığın aralarında fiziksel bir etkileşim olmadan bağlantı kurulmasını ifade etmektedir. Bir parçacığın aynı anda (1) farklı konumlarda bulunma, (2) spininin farklı yönlerde bulunma olasılıklarının sıfırdan farklı olmasını sağlar. Dolanık olaya verilebilecek en iyi örneklerden biri elektronun spin durumu olabilir; Her iki durumunda aynı anda taşınması durumuna günlük hayatta çokça duyulan süperpozisyon durumu denmektedir [6].

Örnek olarak iki kübitlik bir kuantum sisteminde faz vektörü $\sum |\alpha_i|^2 = 1$ olmak üzere,

$$\alpha_1|00\rangle + \alpha_2|01\rangle + \alpha_3|10\rangle + \alpha_4|11\rangle = |\psi\rangle \quad (3)$$

olarak gösterilebilir. Kübitlerin Bell durumuna sokularak dolanık hale gelmesi sağlanabilir [7].



Şekil 2: Dolanık Elektron Benzetimi; d, Parçacıklar Arasındaki Mesafeyi Tanımlamaktadır [9].

2.1.4 Kübit

Klasik bilgisayarlarda kompleks işlemlerin yapılabilmesi için özel bit dizinleri kullanılmaktadır (Megabyte(MB), Gigabyte(GB), Terabyte(TB) vb.). Kuantum Bilgisayarlarında ise kübit adı verilen veri yapısı kullanılmaktadır. Faz değerlerinin çökmesi sonucunda belirli bir değer alan kübitler, bitlerden farklı olarak tek durumda birden fazla durumu taşıyabilmektedir. α ve β değerleri karmaşık sayı olmak şartı ile;

$$\alpha + \beta = 1 \quad (4)$$

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle = |\psi\rangle \quad (5)$$

Kübitlerin sistemde uygulanmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

1-Çekirdek enerjileri arasında düşük enerji seviyesi ve yüksek enerji seviyelerini özel olarak atanması,

ENERJİ SEVİYESİ



Şekil 3: Kuantum Durumlarının Enerji Seviyelerindeki Gösterimi [6].

2-Fotonların yukarı ve aşağı polarize hallerinin atanması,

$$\alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle = |\psi\rangle \quad (6)$$

3-Herhangi bir kuantum parçacığında ölçülebilir iki durumun atanması, ile kübitlerin sistemdeki fiziksel yapıları oluşturulabilir [9].

2.2.1 Gerekli Koşulların Oluşturulması

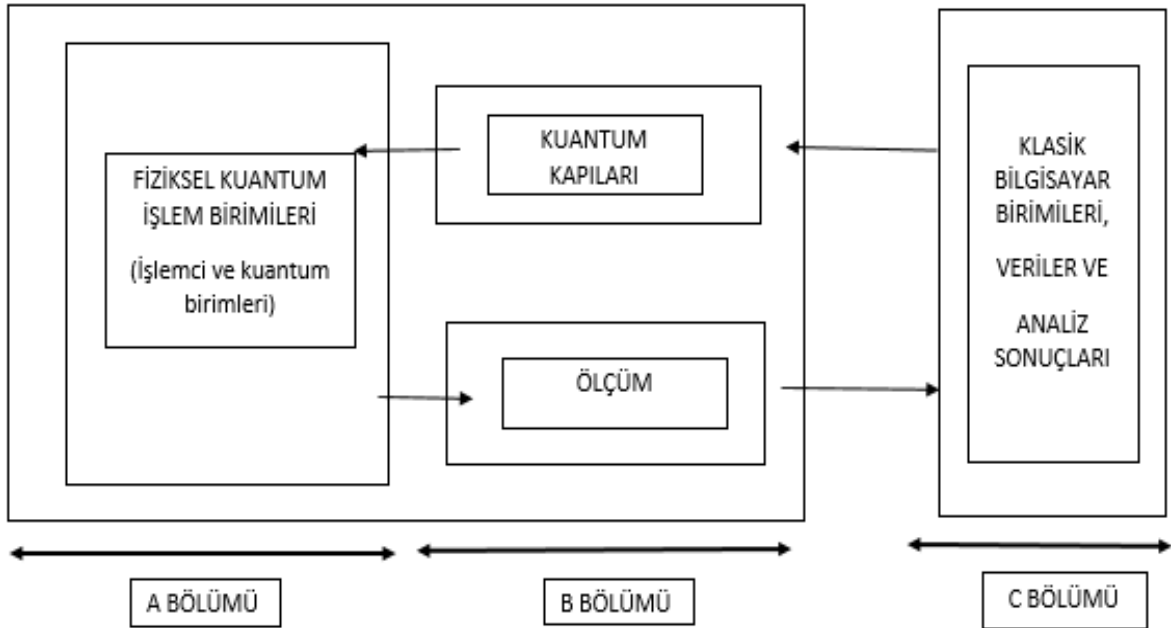
Kuantum sistemlerinin oluşturulması ve kabulünün sağlanması maksadı ile 1995 tarihinde Di Vincenzo 5 maddelik kuantum koşullarını oluşturmuştur. Bu koşullar; (1) Sistemde kullanılacak kübitlerin iyi tanımlanmış olması, (2) Hesaplamanın yapılmasından önce sistemin ilk ölçümden önce tanımlanmış bir taban durumunun oluşturulması, (3) Evrensel tanımlanmış olan kuantum geçitlerine sahip olunması, (4) Oluşturulan kübitlerin üzerinde

ölçme yeteneğinin var olması ve istenildiğinde kubitlerden ayrı ayrı sonuçların alınabilmesi, (5) Sistemin çalışma süresinden daha uzun bir durulma süresine sahip olması olarak özetlenebilir [8].

2.2.2 Genel Kuantum Mimarisi

Kuantum bilgi işlem sistemleri gözle görülebilir ortamdan daha küçük boyutlarda işlem yapılmasından kaynaklı olarak, verinin boyutlar arasında sağlıklı geçiş yaparak işlenmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu durum kuantum sistemlerinin mimarisinin veri giriş ve çıkışlarını daha karmaşık hale getirmektedir. Temel olarak kuantum sistemleri Şekil 4'te verildiği üzere 3 bölüme ayrılmaktadır [9]. A bölümü olarak adlandırılan kısım, fiziksel kuantum sisteminin

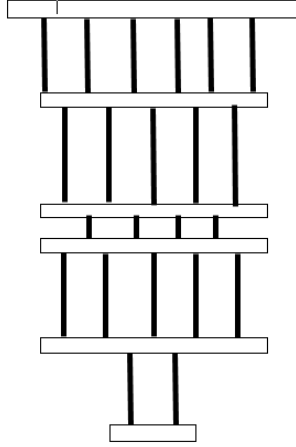
bulunduğu (işlemci) bölümdür. Sistemin en hassas kısımlarından biridir. Sıcaklığı ve içerdiği hava basıncı önemli değişkenler arasında olup A bölümünün değer ölçümlerinin hassasiyetle denetim altında tutulması gerekmektedir. B bölümü ise içeriden veya dışarıdan veri giriş çıkışlarını düzenleyen bölümdür. Gözle görünen dünyadan alınan verilerin kuantum bilgisayarının işleyebileceği veri şekline getirilmesi, klasik mantığa yakın çalışan kuantum kapılarından geçerek A bölümünde işlenir. İşlenen veri, B bölümüne dönerek kuantum dünyasından gözle görünen dünyaya veriyi aktarır. Elde edilen bu veri, hazırlanan ara yüz üzerinden kullanıma sunulur. Bahsi konu bu veriler C bölümüne iletilir.



Şekil 4: Temel Kuantum Sistem Mimarisi [9].

Bu sistem farklı kuruluşlar tarafından farklı yorumlanarak geliştirilmektedir.

En önemli örneklerinden olan avize şekli (Şekil 5) yaygın kullanılan sistem şeklidir [11].



Şekil 5: Kuantum Bilgisayarların Fiziki Sistemlerindeki Avize Sisteminin Gösterimi [11].

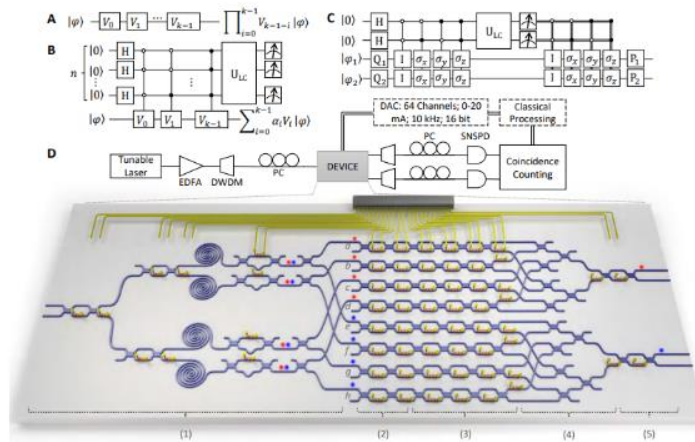
2.2.3 Fiziki Kuantum Uygulamaları

Kuantum teknolojilerinin gündeme gelmesi ile kuantum bilgisayarları büyük bir çalışma alanına dönüştürmüştür. Bununla birlikte kurumlar kendi kuantum sistemlerini geliştirmeye başlamışlardır. Bu durum ortaya farklı şekillerde sistem uygulamaları çıkartmıştır. Öncelik olarak sistemlerin prototiplerinin hazırlanması aşamasında klasik bilgisayarlar ile simüle edilen sistemler kullanıma sunulmuştur. Bu sistemlere örnek olarak IBM firmasının kuantum simülasyon sistemleri verilebilir [12].

Tablo 1: Fiziki Kuantum Bilgisayar Sistemleri [9].

Nu	Kuantum bilgisayar sistemleri
1	Süperiletken devre sistemleri (Superconducting loops)
2	Tuzaklanmış iyon sistemleri (Trapped ion systems)
3	Nükleer Manyetik Rezonans Sistemi (Nuclear Magnetic Resonance-NMR)
4	Topolojik kuantum sistemleri (Topological qubits)
5	Fotonik sistemler (Photonics systems)
6	Elmas boşlukları sistemi (NV Center-in-Diamond)

Tablo 1’de gösterilen 1 numaralı sistem olan Süperiletken devre sistemleri, Josephson eklemi bulunan devreler kullanılarak üretilen sistemlerdir. Bu sistemin kuantum durumlarında (ing. quantum states) kalma süresi 0.00005 saniye, kuantum kapılarının uygulanma başarısı ise %99,4’tür. 2 numaralı sistem olan Tuzaklanmış iyon sistemlerinin ise, kuantum durumlarında kalma süresi 1000 saniyeden fazla olup kuantum kapılarının uygulanma başarısı ise %99,9’dur.



Şekil 6: Fotonik Kuantum Sisteminin Devre Gösterimi [9].

Bu bağlamda uygulamada hangi kuantum sistemlerinin seçileceği ihtiyaca uygun (maliyet etkin, yüksek doğruluklu ve kaynaklar dahilinde) olup olmadığı üzerinde durulmalıdır [13].

Lineer optik kuantum hesaplaması (İng. Linear Optics Quantum Computing (LOQC)) ile fotonik çiplerin kuantum bilgisayarlarında kullanımı silikon tabanlı olmasından kaynaklı olarak sistemin maliyetini daha etkin kılmaktadır. Bu maksatla, University of Bristol ve Çin'in National University of Defence Technology'nin birlikte yürüttükleri araştırmada silikon tabanlı çipler kullanılmaktadır [9].

3. ASKERİ KULLANIM ALANLARI (MILITARY APPLICATIONS)

General Heinz GUDERIAN'ın "Dikkat Tank!" (alm. Achtung Panzer!) kitabında da değindiği üzere ordular I. Dünya Savaşı ile tank kullanımının yaygınlaşması ve savaş doktrininin oluşması sonucunda bu yeni silaha olan bakış açılarını genişleterek bünyelerine katmak için savunma sanayilerinde önemli gelişmelere imza atmışlardır. Bu silahın kullanıma sunulmasının ardından istenilen başarının alınması uzun yıllar almıştır. Bunun bir başka örneği ise kuyruktan dolmalı silahların yerine iğneli silahların kullanılması sonucunda istenilen başarının Prusya ordusu için 25 senelik bir sürecin sonucunda alınması verilebilir. Aynı durum Kuantum teknolojileri için de geçerli olabilir. Günümüzde prototipler ve deneysel çalışmalar yürütülen bu yeni teknoloji, yıllar sonra muharebe sahasının ayrılmaz bir parçası haline gelebilir. Son 20 yıl içerisinde birçok ülke -Çin, Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve Japonya- silahlı kuvvetleri kapsamında, kuantum teknolojilerinin kullanımı üzerine raporlar ve

çalışmalar yapmaktadır. Türk Silahlı kuvvetleri global olarak kuvvet eşitliğinin sağlanması maksadı ile yapılacak AR-GE çalışmaları ve elde edilecek tecrübeler ışığında, milli imkanlar ile geliştirilmiş bir ekosistem oluşturması önem arz etmektedir. Geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan kuantum teknolojisi birçok askeri alanda kullanılabilir. Bu bölümde ilgili teknolojinin askeri kullanım alanları tartışılmıştır [1, 12].

3.1 Tehditler

Kuantum teknolojilerinin hasım kuvvetlerce muharebe alanında kullanıma sunulmasına karşılık olarak savunma sistemlerine sahip olunmaması durumunda, düşman kuvvetlerin bu hassasiyetten yararlanarak dost unsurların zayıf taraflarının sömürülmesine neden olabilir.

Kuantum kriptografisi gerek asimetric gerek simetric şifrelemeler üzerindeki etkin durumu bilgi iletişim kaynakları üzerinde tehdit yaratarak verinin doğruluğunu, bütünlüğünü ve erişilebilirliği konularında manipülasyonlar yaratabilir. Görüntüleme sistemlerinin kullanılması ile dost kuvvetlerin örtü ve gizlenme vasıtalarının etkinliğini azaltarak birliğin bekası üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [14].

Dost kuvvetlerinin elektronik harp vasıtalarını kullanarak düşman üzerinde sinyal istihbaratı yapmasının önüne geçmek maksadı ile kuantum uyduları ile haberleşmenin sağlanması düşmanın birlikleri ile iletişimi üzerinde üstünlük sağlamasına neden olarak dost kuvvetlerin istihbarat üretimindeki etkinliğinin azaltarak düşman kuvvetler hakkında bilgi sağlamanın önüne geçebilir.

Radar sistemlerinin kullanımı hava taarruzu ve füze sistemlerinin etkinliğini azaltarak düşmanın

bekasını sağlamasına, dost kuvvetlerin hava üstünlüğünü sağlamasına engel teşkil edebilir.

Bu tarz dost kuvvetler üzerinde muharebenin icrasında tehdit oluşturulabilecek sistemler kullanılarak, düşman kuvvetlerin muharebede üstünlük sağlamasına ve dost kuvvetler üzerinde tehditler oluşmasına neden olabilir. Bu durumlarından sakınmak maksadı ile kuantum teknolojilerinin askerî harekât kapsamında kullanılabilmesi alanlar araştırılarak düşman üzerinde etki sağlanması amaçlanarak silahlı kuvvetler bünyesinde etkin olarak kullanıma sunulması gerekmektedir.

3.2 Kullanım Alanları

Kuantum teknolojilerinin ortaya çıkması ile konu üzerinde yapılan araştırmalar, farklı konseptlerin ortaya çıkmasına neden olarak çalışma alanını arttırmıştır. Konu üzerinde askeri alanda yapılan çalışmalar, dünya orduları arasında rekabeti arttırarak ilgili alanın farklı askeri alanlarda kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Yapılan bu çalışmalar, kuantum teknolojilerinin askeri kullanım alanlarını ortaya çıkartmıştır. Bu bölümde araştırmalar sonucunda ortaya çıkan askeri kullanım alanları tartışılmıştır [12].

3.2.1 Kuantum Simülasyon

Kuantum simülasyonları yakın gelecekte uygulama alanına en yakın olan sistemlerden birisidir. Kuantum simülasyon sistemlerinde kullanılacak optimizasyonlar, silahlı kuvvetler çerçevesinde harp oyunları, askeri operasyonları destekleyen karar verme süreçleri, lojistik faaliyetler üzerine kullanıma sunulabilir [3, 12]. Veri bilimi üzerinden örnek olarak, 10 bitlik bir klasik sistem 1024 (2^{10}) durumdan sadece bir

tanecini temsil ederken 10 kübitlik kuantum sisteminin 1024 durumu eşzamanlı olarak içinde temsil etmesi verilebilir. Bu durumda, birçok fonksiyon alanının simülasyon aşamasında işlenmesine olanak sağlayabilir [12].

Harekât planlarının yapılmasında ve harp oyunlarının icra edilmesinde muharebe simülasyon sistemleri (JCATS vb.) son dönemde sıkça başvurulan bir yöntemdir. Harekât ortamında birçok değişkenin olması, sistem karmaşıklığını arttırarak modelleme ve simülasyon sistemlerinin yüksek işlem güçlerine ulaşmasını gerektirerek büyük sistemlere ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır. Kuantum simülasyon sistemleri işlem gücünün yüksek olması nedeni ile değişkenleri ilişkilendirmede ve yorumlamada verimlilik sağlayabilir. Doğru bir eğitim modeli ile yapay zekâ sistemlerinin etkili kullanılması, muharebe ortamının daha yüksek doğrulukla yorumlanmasını sağlayabilir.

Son yıllarda savunma sanayisinde etik kuralları çok tartışılan otonom sistemler, kuantum veri gücünün makine öğrenmesinde ve yapay zekâ uygulamalarında etkin bir başarı sağlamasına olanak sağlayarak etik kurallar çerçevesinde otonom sistemlerin hedef seçme, hedef belirleme ve silah sistemlerinin (akıllı mühimmat sistemleri vb.) karar verme süreçlerinin gelişimine katkı sağlayabilir [15, 35].

3.2.2 İstihbarat

Kuantum sistemlerinin birçok alandaki avantajlı durumu klasik sistemlerin kullanımının önemini azaltmamaktadır. Klasik sistemler (CPU) ile kuantum sistemlerinin (GPU) birlikte kullanıldığı Hibrit sistemler, (İng. Hybrid systems) yapılandırılan modelin geleneksel istihbarat

sistemlerinden ve kuantum sistemlerinin avantajlarının birlikte kullanılmasını sağlayabilir [3].

Kuantum dolanıklığı kullanılarak güvenli ve hızlı iletişimin kurulmasının yanı sıra karşı istihbarat faaliyetleri olarak düşman kuvvetlerin sinyal dinleme ve kripto kanallarının çözülmesi sağlanarak karşı istihbarat sağlanabilir [5].

İstihbarat faaliyetlerinin yürütülmesinde en önemli faaliyetlerden biri olan verinin bilgiye çevrilme sürecinde istihbarat çarkının işleyişi esnasında birçok etken göz önünde bulundurulurken verinin işlenmesi sağlanmaya çalışılır. Bu verilerin farklı kaynaklardan alınmış olması ve formatlarının çeşitlilik göstermesi (Resim, belge, ses, sinyal vb.) verilerin anlamlandırma sürecinin karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra verinin anlamlandırma sürecinde kullanılabilmesi için barındırdığı gürültü ve deformasyonların giderilmesi gerekmektedir. Bu faaliyette anlamlandırma sürecinde olduğu gibi yüksek veri gücü ve anlamlandırma becerisi gerektirmektedir. Kuantum sisteminin yapay zekâ modelleri ile birleştirilmesi verinin anlamlandırma sürecine girmesine ve toplam verinin bilgi halini almasında büyük rol oynayabilir.

İstihbarat faaliyetlerinden biri olan karşı istihbaratın sağlanmasında düşman unsurun şifrelenmiş verilerinin elde edilmesinde ve kendi sistemlerimizin güvenliğini, bütünlüğünü, doğruluğunu ve inkâr edilemezliğini sağlamak maksadı ile Kuantum kriptografisi kullanılabilir. Kuantum kriptografisinde en büyük avantajlardan biri vektör atakları ile asimetrik şifrelemeleri etkin bir şekilde kırması ve teorik

olarak simetrik şifrelemelerin üzerinde etki sağlamasıdır [3, 14].

3.2.3 Hava Durumu

Muharebenin icrası üzerinde doğal etkenler olarak ilk akla gelen etkenlerden birisi hava durumudur. Hava durumu, muharebenin icra planlamasında ve kullanılacak silah sistemlerinin seçiminde yoğun olarak göz önünde tutulan bir etkidir. Hava durumunun doğru tahmini muharebenin kesin sonuç alınacak bölge ve zamanın seçimini etkileyebilir. Askeri istihbarat birliklerinin hava durumunu zaman ve doğruluk esasları çerçevesinde, verilerin hızlı ve güncel bir şekilde işlenmesi gerekmektedir. Bu durum veri boyutunu arttırarak işlem gücünün azalmasına neden olur.



Şekil 7: Kuantum Teknolojisinin Muharebedeki Kullanım Alanlarının Gösterimi [3].

Kuantum veri gücünün klasik bilgisayarlar üzerindeki yüksek anlamlandırma etkisi kullanılarak simülasyon sistemlerinin kullanılması dahilinde hava durumunun tahmininde kullanılması muharebe planlama ve icra aşamalarına olumlu etkilere neden olabilir.

3.2.4 Komuta ve Kontrol

Askeri hareketlerin planlama ve yürütme faaliyetlerinin düzenli olarak yürütülmesi ve belirsizliklerin çoğaldığı harekât ortamında,

bilginin ilgili birliklere doğru ve değişmeden iletilmesi ile taktik birliklerin bölgelerinden elde etmiş olduğu istihbarat verilerini üst komutanlık kademesine iletme konuları hareketin sürdürülebilmesi ve bekanın sağlanması için önemli etkenlerdendir.

Komuta ve kontrol sistemleri üzerinde durulan en önemli konulardan biri olan güvenliğin sağlanması konusu, telsizlerin kriptografik algoritmaları üzerine yapılan çalışmalar ve fiziki iletim ortamlarının üçüncü kişiler ve dış etkenlerden minimum şekilde etkilenmesi üzerine yapılan çalışmalar gibi teknolojik hamleler ile etkinliği arttırılmaya çalışılmaktadır.

Komuta-Kontrol sistemlerinin güvenliği, kuantum iletişim teknolojisi ile fiziki iletişim protokolleri, operatif ve stratejik seviyelerde klasik fiber optik taşıma şekillerinden daha etkili ve hızlı sonuçlar doğurabilir. Bu durum verinin kullanılan sistemlerden daha doğru ve güvenilir aktarımını sağlayarak hareketin sürdürülmesinde önemli ölçüde etkileyecek potansiyele sahiptir [5].

Komuta ve kontrol sistemlerinde kuantum teknolojilerinin kullanımı dost unsurlar için kuvvet kazandıracak bir etken olsa da düşman tarafından kullanılması halinde de kullanılan sistemlerin devamlılığını ve güvenliğini tehdit edecek operatif ve stratejik tehdit oluşturabilecek etkiler yaratabilir. Örnek olarak belgelerin onaylanması için kullanılan e-imza sisteminin güvenlik sistemi olarak kullanılmasının etkinliğini azaltarak ek güvenlik tedbirlerinin getirilmesi ve muharebe iletişim tekniklerinin (kriptografi vb.) güncellenerek farklı sistemlerin kullanıma sunulması konusunda adımların atılmasına neden olabilir.

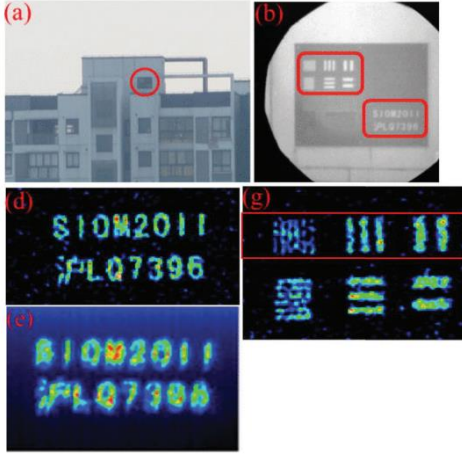
3.2.5 Keşif ve Gözetleme

Kuantum teknolojileri çok boyutlu muharebe ortamının en önemli yapıtaşı olan keşif ve gözetleme konuları bakımından çok önemli yeteneklere sahip bir teknolojidir. Topolojik haritalandırma, keşif ve gözetleme ve yeraltı gözetleme sistemlerinin verilerinin incelenme süreçleri gibi hız ve doğruluk gerektiren süreçlerin ilerleyişine büyük katkılar sağlama potansiyeline sahiptir. Sualtı ve yeraltı değişimlerinin izlendiği sistemlerde hassasiyeti yüksek olan magnetometre ve gravitometrelerin kuantum teknoloji tarafından elde edilmesi bu alanlardaki ölçüm hassasiyetinin artmasına neden olabilir [3].

Kuantum teknolojilerinden yararlanılarak üretilen gravimetrelerin özellikle Türk Silahlı Kuvvetleri'nin son hareketlerinde sıklıkla karşılaştığı mağara ve tüneller gibi yeraltı oluşumlarının derinlik, genişlik ve diğer özelliklerini hassas bir şekilde ölçüm verisi çıkartması, bölgelerdeki yürütülen hareketlerde harekât planlama ve hareket tarzlarının etkin şekilde belirleme kapasitesine sahiptir.

Son dönemlerde harekât ortamında keşif ve gözetleme faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan İnsansız Hava Araçları'nın (İHA) keşif ve gözetleme aygıtlarının görüntü analiz sistemlerinin etkin olarak çalışabilmesi için belirli bir irtifada uçuşması İHA'lar üzerinde hedef olma niteliği taşıyan beka sorunlarını beraberinde getirmektedir. Kuantum görüntüleme (İng. Quantum Imaging) sistemlerinin kullanılması İHA'ların beka sorununu gidermek amacıyla daha yüksek bir irtifadan aldığı verileri analiz etmesini sağlayarak İHA birliklerinin bekasının sağlanmasında ve klasik görüntüleme ve analiz

sistemlerinden daha doğru (Işık gibi etkenlerin olmadığı durumlarda daha etkin çalışması) ve hassas ölçümlerin elde edilmesi sağlanır.



Şekil 8: Kuantum görüntüleme sistemlerinin etkinliği; (a) ve (e) Geleneksel kamera ile çekilmiş bir fotoğraf (d) ve (g) Quantum ghost imaging aygıtları ile elde edilen görüntülerdir [16].

Kuantum teknolojilerinin keşif ve gözetlemede kullanılmasının sağladığı bir başka avantaj ise zor hava şartlarında (bulutlu, yağmurlu, sisli, tozlu, dumanlı ve gece), düşük sinyal ve gürültü şartlarında etkin bir şekilde çalışması sayesinde birliklerin operasyon kabiliyetlerini arttırmasıdır. Görüntüleme teknolojilerindeki bu ilerlemeler, askeri operasyonlarda kullanılan ekipmanların verimliliğini, doğruluğunu ve esnekliğini arttırarak, güvenlik ve istihbarat alanlarında önemli kazanımlar sunmaktadır.

Bu sistemler, personelin operasyonlardaki güvenliğinin sağlanmasına, riskleri minimize etmesine ve daha etkili kararlar alınmasına yardımcı olabilir. Bu da askeri gücün kullanımını daha etkili ve stratejik hale getirebilir.

3.2.6 Kuantum Radarlar

Kuantum radarlarında kullanılan kuantum sensörlerin muharebe alanında yeni metotlar ile

lojistik, kimyasal ve biyolojik tahlillerin yapılması muharebe hizmet destek birliklerinin etkinliğini arttırarak muharebe gücünün devamlılığında önemli roller oynayabilir.

Kuantum Radar teknolojisi ise, günümüz muharebe sahasını köklü değişimlere uğratabilecek potansiyele sahip bir teknolojidir ancak günümüz teknolojik koşullarında uzun mesafeli sistemlerin üretilmesi maliyet etkin değildir [5].

Kuantum Radar sistemlerinde Elektronik Harp (E/H) kapsamında zayıf ve yüksek seviyeli dalgaların birlikte kullanıldığı sistemler kullanılarak klasik E/H sistemlerinden daha etkin bir sistem tasarlanabilir. Kuantum Sinyallerinin oluşturduğu kanal yapıları 3 temel özelliğe sahiptir.

- 1- Sinyallerin basit manipülasyonlar ile bozulabilir olması; Kuantum Hata Giderme Algoritmaları (İng. Quantum Error Correction) bu nedenle büyük bir öneme sahiptir.
- 2- Çok düşük frekanslarda veri kullanılması, kullanılan sinyallerin tespitinin zorlaşmasına neden olur.
- 3- Kullanılan sinyaller lazer gibi hareket etmesinden kaynaklı olarak bir tarafın konumu tam olarak bilinmezse sinyalin bulunmasını zorlaştırır.

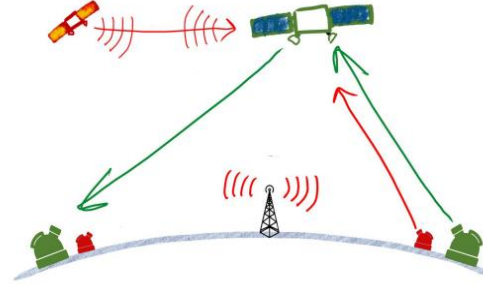
Bu özellikler Kuantum EH sistemlerini klasik EH sistemlerinden ayıran unsurlar haline gelmektedir. Uzun mesafeli savunma sistemlerinde, kuantum dolanıklık ve belirsizlik ilkeleri çerçevesinde üçüncü tarafın etkilerinden arındırılmış olması nedeni ile hedef tespitinde kullanılabilir potansiyeline sahiptir [3, 12].

3.2.7 Kuantum Uyduları

Uydu sistemleri, birliklerin muharebe ihtiyaçlarını önemli ölçüde karşılayan sistemler olarak son zamanlarda etkin olarak kullanılan sistemlerdir. Bu ihtiyaçlara binaen dünya orduları kendi uydularını yörüngelere oturtarak muharebe ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Çin son zamanlardaki yapmış olduğu çalışmalarla yörüngeye oturtmuş olduğu kuantum uydularını hayalet görüntüleme (İng. Ghost İmaging) teknolojisini kullanıma sunmuştur. Bu sistem verinin güvenliğinin yanı sıra veri iletim mesafesini arttırarak muhabere gereksinimlerini karşılamaktadır. Ancak bu teknolojinin yeni kullanıma sunulmasından kaynaklı karşılaşılan zorluklar neticesinde istenilen verimin alınmadığı görülmüştür [3].

Tablo 2: Kuantum Uydu Teknolojilerinde Karşılaşılan Zorluklar [17].

Nu	Karşılaşılan Zorluklar
1	Kuantum anahtar dağıtımı (İng. Quantum key distribution) dolanık parçacıkların etkileşimi ile gerçekleşmesinden kaynaklı olarak fiziki sistemlerin hayata geçirilmesi esnasında verici ve alıcı cihazlar arasındaki izolasyonun sağlanmış olmasını gerektirir.
2	En büyük dezavantajlarından olan sisli, bulutlu ve gece şartlarında hassas parçacıkların etkileşiminin sağlanmasında engel teşkil etmektedir.
3	Atomaltı parçacıkların birbiri arasındaki etkileşimin sağlanması maksadı ile protokollerin oluşturulması, sistem performansının ölçülmesi ve optimizasyon problemlerini beraberinde getirmektedir.



Şekil 9: Kuantum Uydu Sisteminin İşleyişinin Gösterimi [17].

4. Kuantum Revizyonu

Savunma sanayisinde kuantum teknolojileri, dünya genelinde ilgi alanı olarak seçilerek geliştirilmeye devam etmektedir. Bu konuda önemli yatırımlar yapan İngiltere, konu hakkında detaylı çalışmalar yürütmek maksadıyla kuantum teknolojileri üzerine ulusal strateji planları yaparak kuantum teknolojilerini muharebe sahalarında kullanarak milli savunma gücünü arttırmaya çalışmaktadır. İngiltere gibi ülkelerin yanı sıra müttefik ülkelerin oluşturduğu kuruluşlar da bu alanda ellerinde bulunan birikimlerini birleştirerek bir kuvvet alanı oluşturarak savunma teknoloji alanlarını genişletmeye çalışmaktadırlar. Bu durumun en önde gelen örneği olarak Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization)'nın Ocak 2024 yılında çıkarttığı NATO'nun Kuantum Teknolojileri Stratejisi Özeti verilebilir. Bu özet stratejide müttefik ülkelerin birbirleri ile ellerinde bulunan teknolojik birikimlerinin birleştirilerek savunma sanayisinde kuantum teknolojilerinin kullanımına hız kazandırmak amaçlanmaktadır [18, 19, 20].

Yıllarca yaşanan muharebelerde ve savaşlarda elde edilen tecrübeler teknolojik ihtiyaçları ortaya çıkartarak savunma sanayisinin ilgili

alanlara yönelmesini sağlamıştır. Günümüz muharebelerinde ortaya çıkan ihtiyaçlara karşı kuantum teknolojileri üzerine yoğunlaşan ülkeler, ilgili teknolojinin kullanımı için ihtiyaç duyulan ortamın sağlanması için çalışmalar yürütmeleri gerekmektedir. Bunun ana sebeplerinden bir tanesi ilgili teknolojinin günümüzde kullanılan klasik teknolojik araçlardan farklı altyapı gereksinimlerine ihtiyaç duymasıdır. Bu nedenle ülkeler teknolojik gelişmeleri sağlarken bir taraftan da silahlı kuvvetlerini bu alana adapte olacak şekilde revize etmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, “Kuantum Revizyon” planı silahlı kuvvetlerin bu alanda adaptasyonunun sağlanması maksadı ile temel olarak üzerinde durulması gereken aşamaları ele almaktadır.

Ulusal kaynakların belirlenmesi, stratejik iş birliktelikleri, uygulamada ihtiyaç duyulan bilim dallarındaki profesyonel kişilerden destek alınması, eldeki teknolojik bilgi birikiminin kullanılması, farklı bilgi alma kaynaklarından elde edilen bilgilerin birleştirilmesi, finansal ihtiyaçların tespiti, politik ve askeri karar mercilerinin koordineli çalışmaları sonucunda bir plan oluşturulmalıdır [5].

Kuantum Teknoloji Revizyon Planı kapsamında;

1. Sistem ihtiyaçları belirlenmesi ve raporların hazırlanması,
 2. Altyapı çalışmaları başlatılması,
 3. Kontrol ve Denetlemelerin yapılması,
 4. Personel bilgilendirmesi yapılması,
 5. Özel birliklerin kuruluşu tamamlanıp sahada görev alması,
- faaliyetleri icra edilmelidir [1].

4.1 Sistem İhtiyaçlarının Belirlenmesi ve Prosedürlerin Hazırlanması

Bir teknolojinin savunma sanayisi için kullanıma sunulmasının en önemli adımlarından biri olan sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi, gün geçtikçe belirsizliklerin artmakta olduğu muharebe ortamında kullanılabilir bir sistemin üretilmesinin temel yapıtaşı olacaktır. Bir teknolojinin sivil amaçlı kullanımı ile askeri amaçlı kullanımında arasında oluşacak sistem gereksinimleri kuantum teknolojileri için de geçerlidir.

Zor şartlarda hizmet vermesi beklenen askeri teknolojilere, hassasiyetin yüksek olduğu kuantum teknolojilerinin entegre edilmesi esnasında karşılaşılabilecek zorluklar tespit edilerek sistemin bu yönde revize edilmesi gerekmektedir. Bu revizyon esnasında ihtiyaçların önceden belirlenerek AR-GE çalışmalarında geliştirmelerin bu yönlere artırılması sağlanmalıdır. Karşılaşılabilecek zorluklar; değişken hava ve arazi şartları, düşman kuvvetlerce yapılacak Elektronik Harp (E/H) faaliyetleri olarak verilebilir [15, 36].

Kuantum sistemlerinin gelişmekte olması nedeni ile ergonomik ihtiyaçları karşılaması da büyük önem arz etmektedir. Operatif veya taktik birlik seviyesinde kullanılacak sistemlerin operatörün kullanımında ve malzemenin intikali esnasında dayanıklılığının sağlanması ve kolay hareket ettirilebilir olması gerekmektedir. Kuantum sensör teknolojisinin birliklerinin teşkili içerisinde kullanımı birliklerin bölgelerinden intikal ile farklı bir noktaya ilerlemeleri süratli bir şekilde yapılarak hedef statüsüne düşmeden bölge değişikliğinin yapılması önem arz etmektedir. Ancak günümüz sistemlerinin boyutu

nedeni ile hem intikal zorluğu hem de düşman gözetlemede nokta teşkil etme niteliğine sahiptir. Bu gibi örnekler ile muharebe sahasındaki birliklerin gereksinimleri üzerine sistem ihtiyaçları belirlenmelidir.

Kuantum teknolojilerinin geliştirilmesi esnasında silahlı kuvvetler bünyesine yapılacak stratejik çalışmalar, ilgili birliklerden görüşlerin alınması ve savunma sanayinde görevli personeller ile sivil-asker iş birliği sağlanarak ihtiyaçların belirlenerek sistem optimizasyonunun sağlanması gerekmektedir. Kuantum teknolojisinin maliyetinden kaynaklı olarak geçmiş dönemlerde prototiplerin kullanıma sunulması veya kullanıma sunulan sistemlerin muharebe sahasına kullanımının ardından sistem güncellemelerinin yapılması konseptlerine uymayarak AR-GE faaliyetlerinin maliyetinin istenilen seviyenin üstüne çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle sistemin geliştirilmesinde ihtiyaçların belirlenmesi diğer teknoloji sistemlerine göre daha büyük önem taşımaktadır.

Ülkelerin savunma sanayii sektöründe bireysel yapacakları geliştirme faaliyetlerinin yanı sıra bu alanda çalışmalar yapan müttefik ülkelerin çalışmaları örnek alarak sistem gelişmelerinde bu tecrübelerden yararlanılarak sistem maliyetinin minimize edilmesi sağlanabilir.

Tespit edilecek ihtiyaçların neticesinde gerekli görülen sistemlerin kullanımı ve altyapı çalışmaları için birleştirilmiş protokollerin hazırlanması ile muharebe sahasına sistemlerin entegrasyonu hızlandırılabilir. Birliklerin ilgili protokoller üzerine yapacakları çalışmalar sistemlerin farklı muharebe alanlarına da adaptasyonu sağlar.

4.2 Kontrol ve Denetlemelerin Yapılması

Teknolojik gelişmelerin stratejik olarak silahlı kuvvetler bünyesinde kullanıma sunulması verimin artırılması için sistemlerin düzenli olarak kontrol ve denetlemenin yapılması gerekmektedir. Muharebe sahasında yeni görev alan sistemlerin operasyon alanlarına adaptasyonunun sağlanması maksadı ile kontrol ve denetleme sonuçlarının ilgili kurumlara ulaştırılarak sistemlerin tespit edilen yönlerde gelişimi sağlanmalıdır. Aynı zamanda kuantum sistemlerinin maliyeti ve yeni bir teknoloji olmasından kaynaklı olarak kullanıcı hatalarının önüne geçmek ve sistem güncelliğinin sağlanması gerekmektedir.

Bu kontrol ve denetlemelerde, sistemlerin mevcut askeri sistemler ile uyumlu çalışıp çalışmadığı, muharebe alanındaki fiziki şartlardaki çalışma durumunun (farklı arazi şartlarında sistemler üzerinde yaratacağı istenmeyen manipülasyonların yaşanmasının kontrol ve denetlenmesi) incelenmesi sistemlerin entegrasyon sürecine olumlu etkiler yaratacak etkiye sahiptir.

Güvenlik sistemlerinde (Kuantum kriptografi, kuantum uygulamalar vb.) ise verinin iletiminde bilgi güvenliği ilkelerinin (gizlilik, bütünlük ve erişilebilirlik) korunup korunmadığı üzerine güvenlik kontrol ve denetlemelerinin de yapılması gerekmektedir.

Hazırlanan sistemlerin farklı birlikler tarafından kullanılarak uygunluk testlerine tabi tutması ile bu birliklerin kullanılan sistemler ile geçirdikleri zaman içerisinde üst komutanlığın niyetinin gerçekleştirilmesi çerçevesinde başarı durumları yapılan denetlemeler ile belirlenerek sonuçların

ilgili teknolojilerin geliştirildiği kurumlar ile paylaşarak analizlerin yapılması sistemlerin gelişiminde katkı sağlayacaktır.

4.3 Altyapı Çalışmalarının Yapılması

Kuantum teknolojileri için altyapı çalışmalarının yapılması kapsamlı stratejik çalışma gerektirmektedir. Hazırlanan raporların birleştirilerek stratejik bütünlüğün sağlanması maksadı ile birliklerin ve karargahların sistemi etkin şekilde kullanmaları sağlanmaya çalışılmalıdır. Günümüz sistemlerinin ihtiyaç duyduğundan farklı gereksinimlere ihtiyaç duyan kuantum teknolojilerinin istenilen performansın elde edilebilmesi için bu gereksinimlerin karşılanması gerekmektedir.

Kuantum hesaplama çerçevesinde fiziki etkenlerden oldukça fazla etkilenmesi nedeni ile gerek elde edilen verinin iletimi gerekse sistemin kendi içerisindeki hesaplama fonksiyonlarının doğru çalışması maksadı ile dış çevreden oldukça izole edilerek kapalı bir sistemin elde edilmesi gerekmektedir. AR-GE çalışmaları ile bu altyapı ihtiyaçlarının belirlenmesi gerekli tedbirlerin alınmasını sağlayacaktır ancak taktik veya operatif birlik seviyesinde kullanılacak sistemlerin malzeme tedarikinin sağlanması için detaylı bir lojistik plana ihtiyaç duyulacaktır. Malzemelerin maliyeti ve hassasiyeti nedeni ile lojistik faaliyetlerin bu hususlar göz önünde alınarak planlanması sağlanmalıdır [15, 20].

Gerekli malzeme tedarikinin yapılmasının ardından sistemin kurulumu ve kullanımı için ilgili birlik personelini bilgilendirecek özel birlik personellerinin bölgelere intikallerinin sağlanarak sistem devamlılığının sağlanması gerekmektedir.

Kuantum teknolojilerini ilgi konusu olarak almış müttefik ülkeler ile yapılan anlaşmalar çerçevesinde kullanıma sunulan teknolojilerin altyapı çalışmaları hakkında bilgiler alınarak gerekirse ortak çalışmalar ile kuantum teknolojileri için altyapı çalışmaları faaliyetleri planlanmalı ve kullanıma sunulmalıdır [21].

Altyapı çalışmalarının devamlılığının sağlanması için sistemlerin modülerliğinin sağlanması ile çalışmaların belirli kalıplar halinde prosedürler hazırlanmalı ve bu prosedürler çerçevesinde birliklere yeni bir sistemin kullanıma sunulacağı zamanlarda ilgili prosedürlerin birliklerle paylaşarak sistemin kullanıma sunulma aşamasının hızlandırılması sağlanır. Bu prosedürler aynı zamanda farklı arazi bölgelerinde görev yapan birliklerin sistemlerinin kurulumu için ihtiyaç duyulan ortamın hazırlanması konusunda ön çalışmalar yaparak gerektiği durumlarda ek tedbirlerin alınması yönünde kurulum yapacak personelleri bilgilendirebilir.

4.4 Personel Bilgilendirmesi

Kuantum teknolojilerinin kullanımı geçmiş dönem uygulamaya sunulan teknolojilerden daha farklı bir konsepte sahip olmasından kaynaklı olarak personel bilgilendirme konusu daha teknik ve detaylı bir bilgilendirme içermek zorundadır. Bu durum ilgili personelin konu hakkında ilgili ve seçim aşamasında yeteneklerinin örtüşmesi geçmişteki personel seçimlerinden daha detaylı yapılmalıdır. Konu kapsamının teknik bilgilerinin yüksek matematik, fizik ve algılama seviyesine ihtiyaç duymasından kaynaklı olarak uygulama kısmında çalışacak personelin geçmiş

safahatının uygun olması önem arz etmektedir [20, 21].

Bahsi konu durumda sadece uygulama kısmında bulunan personelden ziyade sistemin hassasiyetinden kaynaklı olarak kullanıcı kısım personelin de gerekli bilgi seviyesine ulaşması sağlanmalıdır. Örnek olarak Kuantum iletişim kısmından yaralanacak personelin dolanık çiftin kapsamını ve hassasiyetine hakim olarak olası sistemi dezavantaja sokacak manipülasyonlara karşı koruma tedbirlerini uygulayacak seviyede olmalıdır.

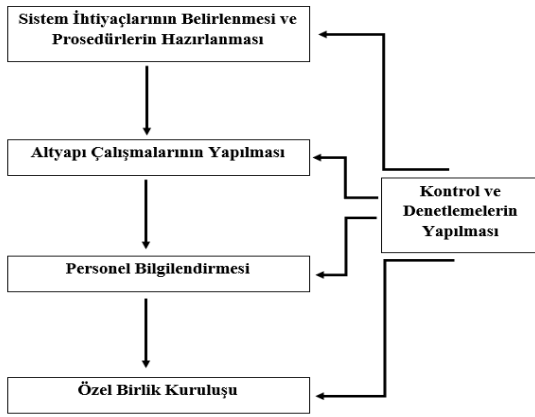
Özellikle kullanıcı kısmında bulunan personelin konu kapsamını daha rahat kavrayabilmesi açısından konular basitleştirilerek, teoriden ziyade daha çok uygulama alanlarının hassasiyetlerinden korunma kapsamlı broşürler hazırlanarak gerekirse tek er seviyesinde dağıtılarak olası istenmeyen sistem manipülasyonlarının önüne geçileceği değerlendirilmektedir. Kuantum sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biri olan sistem hassasiyeti muharebe alanında dost birlikler için bir dezavantaj niteliği taşımasından kaynaklı olarak özellikle bu konu kapsamlı değerlendirmeler ve bilgilendirmeler yapılmalıdır [20, 22].

Uygulama alanı genel olarak taktik birlik seviyesinden ziyade daha geniş bir kapsam alanında olmasından kaynaklı olarak stratejik ve operatif birlik seviyesinde uygulama alanına sahip olacağı değerlendirilmektedir. Bu durum kapsam içinde bulunan personelin bir bütün olarak çalışmasını sağlamak maksadı ile özel birlik kuruluşlarına ihtiyaç duyulabilir.

4.5 Özel Birlik Kuruluşu

Uygulanmak istenen sistemlerin genelinde ihtiyaç duyulan yüksek bilgi seviyesi ihtiyacı nedeni ile konu üzerindeki çalışmaların etkinliğinin sağlanması maksadı ile özel birlik teşkilatlarına başvurularak personelin tek çatı altında toplanması birliğin hızla değişen kuantum teknoloji atılımlarına ayak uydurması sağlanabilir. Özellikle eğitim ve uygulama konularına ağırlık verilmesi ile güncel birlik teşkilatlarından farklı olarak personelin bilgi seviyesinin yeterliliği her gelen sistem güncellemesi ve kullanıcı alanındaki geri bildirimlerin sistemlere uygulanması sağlanabilir. Kuantum teknolojilerinin muharebe sahasında yeni ortaya çıkması, sistemlerin muharebe sahasındaki etkilerinin tam olarak ortaya konulmasının önüne geçilmektedir. Bu nedenlerden dolayı kurulacak teşkilatın muharebe sahasından gelecek olan geri dönüşlere yüksek adaptasyon sağlayacak irtibat ve güncelleme birliklerinde ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmektedir. Teşkilatın bir diğer önceliğinin de müttefik ülkelerin kuantum teknolojileri üzerine askeri alanlardaki çalışmalarında iş birliğinin kurulması maksadı ile koordinasyon sağlanmalıdır.

Muharebe sistemlerinin ilgili bölgelere kurulumu, birlikler tarafından kullanıma sunulması, kullanılan sistemlerin güncellenme ve hataların giderilme süreçleri içerisinde karşılaşılabilecek aksaklıklar ve sistemlerin genel itibari ile karmaşık ve hassas olmasından kaynaklı olarak sistemlerin muharebe sahasında etkin kullanımını sağlayacak birliklerin teşkil edilerek muharebe sahasında görev yapması sağlanmalıdır [26].



Şekil 10: Kuantum Revizyonu İcra Planı.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Tarihte ortaya çıkan teknolojik gelişmeler askeri bilimler üzerinde önemli gelişmelere neden olmuştur. Bu bağlamda 20'nci Yüzyılda ortaya çıkmış olan kuantum fiziğinin teknolojik alanlarda kullanıma sunulması ile askeri bilimler üzerinde etkiler göstermeye başlamıştır. Ülkeler bu gelişmeler çerçevesinde savunma sanayilerini bu alana yönlendirerek stratejik raporlar hazırlamış ve müttefik ülkeleri ile konu kapsamında müşterek çalışmalar yürütme çabaları göstermektedir. Kuantum teknolojileri güncel kullanımda bulunan hedef tespit, keşif, gözetleme, hava savunma, akıllı mühimmat sistemlerine katılarak muharebe alanının yeniden şekillenmesine neden olacak gelişmeler yaşanmaktadır. Kullanıma sunulması ile dost unsurlar üzerinde yapacağı olumlu etkilerin yanı sıra düşman unsurların üzerimizde kullanımı sonucu hassas taraflarımızı sömürerek muharebenin gidişatını kendi avantajlarına çevirecek tehditlere de neden olmaktadır. Kuantum kriptografisi ile muhabere kaynaklarının manipülasyonu ile kriptolu iletişimin açığa çıkarak unsurlar arasındaki iletişimi deşifre edilmesine neden olmasına, radar sistemleri ile akıllı mühimmatların, füze

sistemlerinin ve hava kuvvetleri birliklerinin etkinliğinin azaltılmasına, Kuantum uydu sistemlerinin E/H kapsamında kullanımı telsiz karışımları ile birlikler arası iletişimin sekteye uğratılması sağlanarak dost unsurların muharebe etkinliğinin azalmasına sebebiyet verecek faktörler barındırmaktadır.

Bu kapsamda dost ve müttefik silahlı kuvvetler ile yapılacak teknolojik iş birlikleri ve kendi kaynaklarının kullanımı ile muharebe sahasında kuantum teknolojilerinin kullanımının yaygınlaştırılması çerçevesinde, girişimlerde bulunularak savunma sanayinde gelişmeler için çalışmalar yapılmalıdır. Yaşanacak gelişmeler ile üretilecek olan sistemlerin silahlı kuvvet bünyesinde adaptasyonunun sağlanması maksadı ile bir revizyon çalışması sürdürülmelidir. Uygulamaya alınan diğer sistemlerden farklı olarak daha hassas bir sistem olması ve birinci kullanıcı seviyesinde daha fazla bilgi gereksinimine sahip olunması gerekmesinden kaynaklı olarak özel revizyon planına ihtiyaç duyulacaktır. Kuantum revizyonu kapsamında sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi ve prosedürlerin hazırlanması, altyapı çalışmalarının yapılması, personel bilgilendirmesi, özel birlik kuruluşu ve kontrol ve denetlemelerin yapılması konu kapsamında üretici ve birinci kullanıcının koordinasyonu sağlanarak sistemlerin adaptasyon sürecinin hızlanması sağlanacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma hiçbir dış finansman almamıştır.

YAZAR KATKILARI

Furkan AKKAYA: Veri düzenleme, Analiz, Araştırma, Metodoloji, Kaynaklar, Denetim,

Onaylama, Görselleştirme, Yazma – Taslak, Geçirme ve Düzenleme.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Guderian, H. (2012). *Achtung Panzer!* Hachette UK. ISBN: 978-975-282-23-51

[2] Hossain, K. A. (2023). The potential and challenges of quantum technology in modern era. *Scientific Research Journal*, 11(6).

[3] Krelina, M. (2021). Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technology*, 8(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00113-y>

[4] Acín, A., Bloch, I., Buhrman, H., Calarco, T., Eichler, C., Eisert, J., Estève, D., Gisin, N., Glaser, S. J., Jelezko, F., Kuhr, S., Lewenstein, M., Riedel, M. F., Schmidt, P. O., Thew, R., Wallraff, A., Walmsley, I. A., & Wilhelm, F. K. (2018). The quantum technologies roadmap: a European community view. *New Journal of Physics*, 20(8), 080201. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aad1ea>

[5] Gül, Ç. D. (2021). *Quantum Technologies* (Vol. 4). SETA. <https://setav.org/en/assets/uploads/2023/05/R232En.pdf>

[6] Griffiths, D. J. (2013). *Kuantum mekaniğine giriş*. ISBN: 978-605-133-640-4

[7] Ural, M. N. (2021). *Kuantum Hesaplayıcılar ve Kuantum Hesaplamaya Giriş*. Kodlab yayın dağıtım yazılım LTD. ŞTİ. ISBN: 978-605-7744-41-8

[8] Di Vincenzo D.P. ,1995, Two-bit gates are universal for quantum computation, *Phys.Rev.A*, 51, 1015-1022

[9] Hidary, J. D. (2021). *Quantum Computing: an Applied Approach*. Springer. ISBN: 978-3-030-83273

[10] Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Z. Physik* 43, 172–198 (1927). <https://doi.org/10.1007/BF01397280>

[11] Ho, N. (2024, January 23). Why quantum computers resemble chandeliers? pQCee Pte Ltd. <https://qcve.org/blog/why-quantum-computers-resemble-chandeliers>

[12] Choi, D. (2023). Quantum Technology and the Military-Revolution or Hype?: The impact of emerging quantum technologies on future warfare. *Expeditions With MCUP*, 2023. <https://doi.org/10.36304/expwmcup.2023.11>

[13] Fisher, C. (2022). IBM | Quantum Computing. IBM Quantum. <https://www.ibm.com/quantum-computing/>

[14] Tanenbaum, A. S. (2021). *Computer networks*. Prentice Hall. Inglesant, P., Jirotko, M., & Hartswood, M. (2018). Responsible innovation in quantum technologies applied to defence and national security. *NQIT (Networked Quantum Information Technologies)*.

[15] Defense primer: quantum technology. (2023). Congressional Research Service, IF11836. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/download/IF/IF11836/IF11836.pdf>

- [16] Chengqiang Zhao, Wenlin Gong, Mingliang Chen, Enrong Li, Hui Wang, Wendong Xu, and Shensheng Han, "Ghost Imaging Lidar via Sparsity Constraints," *Applied Physics Letters*, Vol. 101, No. 14, 2012, Figure 2, p. 141123-2, used with the permission of AIP Publishing
- [17] Sidhu, J. S., Joshi, S. K., Gündoğan, M., Brougham, T., Lowndes, D., Mazzarella, L., Krutzik, M., Mohapatra, S. R. P., Dequal, D., Vallone, G., Villoresi, P., Ling, A., Jennewein, T., Mohageg, M., Rarity, J., Fuentes, I., Pirandola, S., & Oi, D. K. L. (2021). Advances in space quantum communications. *IET Quantum Communication*, 2(4), 182–217. <https://doi.org/10.1049/qtc2.12015>
- [18] X. Qiang, X. Zhou, J. Wang, C. M. Wilkes, T. Loke, S. O' Gara, L. Kling, G. D. Marshall, R. Santagati, T. C. Ralph, et al. Large-scale silicon quantum photonics implementing arbitrary two-qubit process-ing. *Nature Photonics*, 12(9):534, 2018. arXiv: 1809.09791.
- [19] Defence Science and Technology Laboratory. A perspective of UK Quantum Technology prepared by and for the UK Quantum Technology Community. 2016. Available at: <http://uknqt.epsrc.ac.uk/files/ukquantumtechnologylandscape2016/>.
- [20] Nato. (n.d.). Summary of NATO's quantum Technologies strategy. NATO. https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_221777.htm
- [21] National Quantum Strategy. (2023). In <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>. Department of Science, Inovation and Technology. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6411a602e90e0776996a4ade/national_quantum_strategy.pdf
- [22] Zaiser, S., Rendler, T., Jakobi, I., Wolf, T., Lee, S., Wagner, S., Bergholm, V., Schulte-Herbrüggen, T., Neumann, P., & Wrachtrup, J. (2016). Enhancing quantum sensing sensitivity by a quantum memory. *Nature Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms12279>
- [23] Susskind, L., & Friedman, A. (2014). *Quantum Mechanics: the theoretical minimum*. Penguin UK. ISBN: 978-014-1977-81-2
- [24] Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2016). *Feynman fizik dersleri*. ISBN: 978-605-171-343-4 (tk)
- [25] Pritchard, P., & (PhD) Till, S. (2014). *UK Quantum Technology Landscape (DSTL/PUB75620)*. Defence Science and Technology Laboratory. <https://www.quantumcommshub.net/wp-content/uploads/2020/09/QuantumTechnologyLandscape.pdf>
- [26] Akıncı, E. (2007). *Türk Savunma Sanayiinde Teknoloji Ve Strateji* [Master Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi]. <https://polen.itu.edu.tr/bitstreams/30f6f59a-f6c8-4cc0-a0e0-2da1865117d5/download>
- [27] Comparison of classical and quantum cryptography using QKD simulator. (n.d.). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8390120>
- [28] Havenstein, Christopher; Thomas, Damarcus; and Chandrasekaran, Swami (2018) "Comparisons of Performance between Quantum and Classical Machine Learning," *SMU Data Science Review*: Vol. 1: No. 4, Article 11.

- [29] Parker, E. (2022). Commercial and military applications and timelines for quantum technology.
- [30] Fabbri, N., De Natale, P., & Cataliotti, F. S. (2022). Quantum sensing technologies for Defence applications: the project QUANDO. Istituto Nazionale Di Ottica Consiglio Nazionale Delle Ricerche, and LENS European Laboratory. <https://doi.org/10.23919/irs54158.2022.9904994>
- [31] Krelina, M. (2020). Quantum Warfare: Definitions, Overview and challenges [Czech Technical University]. <https://indianstrategicknowledgeonline.com/web/2103.12548.pdf>
- [32] Wang, Y. Quantum computation and quantum information. *Statistical Science*, (27), (3) 2012
- [33] Koch, C. P., Boscain, U., Calarco, T., Dirr, G., Filipp, S., Glaser, S. J., Kosloff, R., Montangero, S., Schulte-Herbrüggen, T., Sugny, D., & Wilhelm, F. K. (2022). Quantum optimal control in quantum technologies. Strategic report on current status, visions and goals for research in Europe. *EPJ Quantum Technology*, 9(1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-022-00138-x>
- [34] Danon, J., Ali, S., Fuchs, F. G., UiO, N. L., Selstø, S., UiO, S. V., & UiO, J. W. Quantum Technology in Norway Proposal for a National Funding Strategy.
- [35] Wawrzyniak, Z. (2023). Quantum Computing – Challenges For The Military Needs. *Elektronika*, 1(8), 88–91. <https://doi.org/10.15199/13.2023.8.17>
- [36] Magnuson, S. (2019). Quantum Technology: Defense Community Slow to Grasp Potential of Quantum-Based Devices. *National Defense*, 103(784), 20–25. <https://www.jstor.org/stable/27022507>