



Journal of Quantum Technologies
and Informatics Research

JQTAIR



E-ISSN : 3023-4735

DOI: 10.5281/zenodo.10102956

International Peer-Reviewed and Open Access Electronic Journal
Uluslararası Hakemli ve Açık Erişimli Elektronik Dergi

IKTEAD

Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları Dergisi

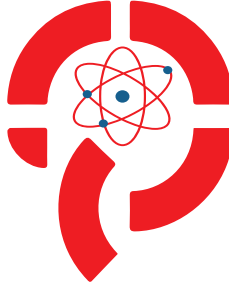


HOLISTENCE
publications

<https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>

ISSUE
1

VOLUME/CİLT: 1
YEAR/YIL: 2023



Journal of Quantum Technologies
and Informatics Research

JQTIR

E-ISSN: 3023-4735

DOI: 10.5281/zenodo.10102956

International Peer-Reviewed and Open Access Electronic Journal
Uluslararası Hakemli ve Açık Erişimli Elektronik Dergi

Volume/Cilt: 1

Issue/Sayı: 1

Year/Yıl: 2023

E-posta: jqtair@gmail.com

Web: <https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>

İletişim: Adres: Anafartalar Yerleşkesi, B2 Blok, Oda No: 8,
Çanakkale, Türkiye



HOLISTENCE
publications

Baş Editörden;

KTEAD olarak, kuantum teknolojileri ve enformatik alanında köklü bir adım atmanın heyecanını ve gururunu yaşıyoruz. Bugün, bilim dünyasında yeni bir sayfa açıyoruz: Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları Dergisi'nin ilk sayısı, Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. yılı şerefine, 29 Ekim 1923 tarihinde saat 20:23'te siz değerli okuyucularımızın erişimine sunulmuştur.

Bu tarihi dönüm noktasında, kuantum teknolojilerinin göz kamaştıran evrimine tanıklık ediyoruz. İkinci Kuantum Devrimi olarak adlandırılan bu dönem, temelleri dolanık fotonlar ve Bell eşitsizliklerinin bozulmasına dair kritik deneylerle atılmış, kuantum enformasyon bilimi alanında devrim niteliğindeki çalışmalarla şekillenmiştir. Öyle ki, bu çığır açan araştırmalar 2022 ve 2023 Nobel Fizik Ödülleri'ne layık görülmüştür. Attosaniye ışık atımları ile madde içindeki elektron dinamiklerinin incelenebilmesi gibi yenilikler, bu alandaki inovasyonun ve potansiyelin sadece birer göstergesidir.

KTEAD olarak amacımız, bu hızla büyüyen ve şekillenen alanda, ulusal ve uluslararası arenada ses getirecek, disiplinler arası araştırmaları teşvik etmek ve yayınlamaktır. İlk sayımızın hazırlık sürecinde, her biri kendi alanında değerli araştırmacılarımızın ve Dergi Tasarımcımız İlknur Herseksari'nin yoğun emekleriyle karşılaştığımız zorlukları aştık. Belki gözden kaçan eksikliklerimiz olabilir; fakat bilim, hatayla beslenir, eleştiriyle büyür ve iş birliğiyle ilerler. Bu bağlamda, her türlü geri bildiriminiz dergimizin geleceği için değerli olacaktır.

Bu yolculuğun başlangıcında, araştırmalarını bizimle paylaşan, taşın altına ellerini koyan bilim insanlarına şükranlarımızı sunuyoruz. Ayrıca, bu süreçte bize inançlarını ve desteklerini esirgemeyen herkese teşekkür ederiz. KTEAD, bilimin ışığında, Türkiye Cumhuriyeti'nin 100. yılında, bu kutsal emaneti geleceğe taşıma kararlılığındadır.

En içten saygılarımla,

Prof. Dr. İhsan YILMAZ

Baş Editör, Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları Dergisi

EDITORS/EDİTÖRLER

Sahibi ve Yayıncı

Dr. Cumali Yaşar

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Baş Editör

Prof. Dr. İhsan YILMAZ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Editör

Doç. Dr. Can AKTAŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Yayın Kurulu

Prof. Dr. İhsan YILMAZ

Prof. Dr. İdris KABALCI

Prof. Dr. Mehmet Şahin

Doç. Dr. Can AKTAŞ

Doç. Dr. Uğur ERCAN

Dr. Öğr. Üyesi Sevdanur GENÇ

Dr. Öğr. Üyesi Bayram KÖSE

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Zahid KÜÇÜK

Dr. Öğr. Üyesi Sevgi DEMİRCİOĞLU

Dr. Davut Emre Tasar

Dr. Öğr. Üyesi Samet MEMİŞ

Öğr. Gör. Dr. Cumali Yaşar

Dr. Öğr. Üyesi Veli Özcan BUDAK

Teknik Destek

Cumali Yaşar

Dergi Tasarımı

İlknur Hersek Sarı

İletişim: Adres: Anafartalar Yerleşkesi,

B2 Blok, Oda No: 8, Çanakkale, Türkiye

Telefon: 5052423644

E-posta: jqtair@gmail.com

Web: <https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Baş Editörden	III
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Kuantum Weyl Dönüşümlerin Cirq Üzerinde Uygunlaması <i>Implementation of Quantum Weyl Transformations on Cirq</i>	1
Osman Semi Ceylan	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Kuantum Hesaplama ile Amino Asit Dizilimlerinin Hamiltonian Analizi <i>Hamiltonian Analysis of Amino Acid Sequences by Quantum Computing</i>	7
Sevdanur Genç	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Kuantum Teknolojisinin Meta Evren Üzerindeki Etkisi: Gelecekteki Olanaklar ve Sorunlar <i>The Impact of Quantum Technology on the Metaverse: Future Possibilities and Challenges</i>	17
Sevdanur Genç	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Kuantum Veri Bilimine Giriş: Grover Arama Algoritması <i>Introduction to Quantum Data Science: Grover Search Algorithm</i>	29
Ercan Çağlar	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Veri, Enformatik, Yapay Zeka ve Optimizasyon <i>Data, Informatics, Artificial Intelligence and Optimization</i>	35
Bayram Köse & Serkan Ansay & Muhammed Pektaş	

RESEARCH ARTICLE / ARAşTIRMA MAKALESİ

Magnetized Strange Quark Matter in Lyra Theory

Lyra Teoride Manyetize Acayip Kuark Madde

Sinem Kalkan

41

RESEARCH ARTICLE / ARAşTIRMA MAKALESİ

Kuantum Tavlamayı Keşfetmek: Kuantum Hesaplamaya Giden Yol

Exploring Quantum Annealing: A Pathway to Quantum Computing

Hüseyin Türker

45

RESEARCH ARTICLE / ARAşTIRMA MAKALESİ

Türev ve Kısmi İntegral Yöntemi ile Gaus İntegralinin Belirsiz İntegral Çözümü ile Kuantum Mekanğinde Dalga Fonksiyonunda Kullanımı ve Dalga Fonksiyonunun Konuma ve Zamana Bağlı Tam Çözümleri

Derivative And Partial Integral Method and The use of Gauss Integral in Undefined Integral Solution With Wave Function in Quantum Mechanics and Complete Solutions of The Wave Function Depending on Location and Time

Dila Başpınar & Ela Başpınar & Nesrin Başpınar & Umut Aldoğan

55

RESEARCH ARTICLE / ARAşTIRMA MAKALESİ

Kuantum Çağında Makine Öğrenimi: Kuantum ve Klasik Destek Vektör Makinelerinin Karşı Karşıya Gelmesi

Machine Learning in the Quantum Age: Quantum vs. Classical Support Vector Machines

Davut Emre Taşar & Kutun Koruyan & Ceren Öcal Taşar

65

Kuantum Weyl Dönüşümlerin Cirq Üzerinde Uygunlaması

Implementation of Quantum Weyl Transformations on Cirq

Osman Semi Ceylan 

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Çanakkale, Türkiye, e-mail: osman.semi.ceylan@gmail.com

Öz

Kuantum hesaplama, kuantum algoritmaların çözüm kümesini bilinmeyen bir kuantum durumun evrimsel sürecinde kubitlere kodlanması prensibine dayanır. Bir başlangıç kuantum durumun çözüm durumuna geçmesi için bir dizi temel kuantum kapının uygulanması gerekmektedir ve matematiksel matrisler ile soyutlanırlar. Temel kuantum kapılarının matrisleri Weyl dönüşümleri ile elde edilirler. Her ne kadar ikili kuantum sistemlerde bu dönüşümler simülasyonu yapılabilir de yüksek boyut kuantum sistemlerde simülatörler için kullanılabilen hazır durumda bir kütüphane veya benzeri bir kodlama bulunmamaktadır. Bu çalışma ile kuantum yüksek boyutta Weyl dönüşümlerinin matrisleri kodlanmış olup bu dönüşümler Cirq kuantum simülatörü için kapılar olarak kodlanmıştır. Böylelikle araştırmacılar ve alana meraklıları için Cirq simülatöründe çalışan kuantum kapılar kolayca erişilebilir olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kuantum Bilgi, Kuantum Yüksek Boyut

Abstract

Quantum computing is based on the principle of encoding the solution space of quantum algorithms into qubits in the evolutionary process of an unknown quantum state. In order for an initial quantum state to transition to a solution state, a series of basic quantum gates must be applied and are abstracted by mathematical matrices. The matrices of fundamental quantum gates are obtained by Weyl transformations. Although these transformations can be simulated in binary quantum systems, there is no ready-made library or similar coding that can be used for simulators in high-dimensional quantum systems. In this study, the matrices of quantum high-dimensional Weyl transformations were coded and these transformations were coded as gates for the Cirq quantum simulator. Thus, quantum gates running in the Cirq simulator are easily accessible for researchers and field enthusiasts.

Keywords: Quantum Information, Quantum High Dimension

Citation/Atf: CEYLAN, O. S. (2023). Kuantum Weyl Dönüşümlerin Cirq Üzerinde Uygunlaması. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 1-5, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Osman Semi Ceylan
E-mail: osman.semi.ceylan@gmail.com



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. GİRİŞ

Kuantum parçacıklar kullanılarak hesaplama yapılabileceği fikri ilk olarak Richard Feynman tarafından ortaya atıldı[1]. Bu öncü çalışma kuantum bilgisayarların teorikte klasik bilişim teknolojilerinden farklı olarak süperpozisyon fenomeninden dolayı üstel veri işleme kapasitesine sahip olduğunu öne sürdü. Günümüze kadar ise nükleer manyetik rezonans[2], süperiletken[3], foton[4], iyon tuzaklama[5] tabanlı gibi farklı prensiplerde çalışan küçük ölçekli kuantum bilgisayarlar geliştirilmiştir. Günümüzde geliştirilen genel amaçlı kuantum bilgisayarlar kapı tabanlı kuantum bilgisayarlar olarak bilinmektedir.

Kapı tabanlı kuantum bilgisayarlar başlangıçta temel durumda olan bir kuantumun kubitlerinde çözüm kümesi elde edilene kadar iteratifce bir seri dönüşümün uygulanması prensibi ile çalışmaktadır. Kuantum durumlar arasındaki evrimsel bu geçişi evrensel kuantum kapılar[6] sağlamaktadır. Bu kapılar kuantum bilgi biliminde matrisler olarak ifade edilmektedirler. Bu kapılar Weyl dönüşümü[7] kullanarak elde edilebilir. Weyl dönüşümleri ile ancak karmaşık uzayda kuditlerin bir temsil biçimi olan keyfi bir boyutun Fock durumunda işlem yapılabilir.

Weyl dönüşümleri ile elde edilen d -boyutlu matrisler kullanılarak yüksek boyutta kuditlerde kuantum algoritmalar çalıştırmak mümkündür. Fakat yüksek boyut kuantum simülatörleri ikili sistemler için halihazırda bu dönüşümleri entegre kullanılabilecek şekilde sunmakta iken yüksek boyutta ise kullanıcılardan gelen ek girdilere ihtiyacı vardır. Bizler bu çalışma ile keyfi bir d -boyutta Weyl dönüşümlerini Cirq kuantum devre simülatöründe[8] çalışabilecek biçime getirdik. Bunu gerçekleştirebilmek için önce Weyl dönüşüm matrislerini çıktısını verebilecek bir yordan yazdık. Sonra Cirq simülatörü üzerinde kapı olarak tanıtımını sağlayacak olan entegre sınıfı oluşturduk.

Bu makale 4 bölümde derlenmiştir. İlk bölümde çalışmaya giriş yapılmıştır. Bölüm 2 ise kullanılan yöntem anlatılmıştır. Bölüm 3 bir örnek üzerinden önerilen yöntem gösterilmiştir. Son bölümde bulgular ve sonraki çalışmalar tartışılmıştır.

2. YÖNTEM

Önerilen bu çalışmada öncelikle Weyl dönüşüm formülü bir Python yordamı yardımıyla kodu geliştirilmiştir.

$${}_{m\alpha}^d U_{pq} = \sum_{k=0}^{d-1} e^{\frac{2\pi\alpha i}{d} kp} |k\rangle \langle (k+q) \bmod d| \quad (1)$$

Denklem (1) ile d -boyutta Weyl dönüşümünün formülü verilmektedir. Burada $p, q \in [0, 1, \dots, d-1]$ aralığında değerlerden oluşmaktadır. Denklemden görüleceği üzere bir d -boyutta d^2 adet Weyl dönüşümü üretilebilmektedir.

Denklem (1) d boyutuna m köküne, α dönme miktarına ve p ve q varyant parametreleri kullanarak bir dönüşüm matrisi oluşturmaktadır.

$${}_{11}^4 U_{00} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Denklem (2) ile $d=4$ boyutta ve p, q ise 0 değerine eşit olduğunda elde edilen matris gösterilmektedir. Bu matris ikili sistemlerde evrensel kapılardan birisi olan birim (I) kapısının yüksek boyuttaki matrisidir.

$${}_{11}^4 U_{01} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Denklem (3) ile verilen matris ikili sistemlerde karşılığı evrensel X kapısıdır. Kuantum yüksek boyutta bilgi işlemede X kapısının $d-1$ adet karşılığı bulunmaktadır. Bu denklemde q değerini keyfi bir değişken aldığında matrisin bir kudite etkisi

$${}_{11}^d U_{0q} |0\rangle = |q\rangle \quad (4)$$

biçiminde olmaktadır.

$$Y_p = i^{(p \bmod d)} {}_{11}^d U_{pp} \quad (5)$$

Denklem (5) ile verilen yüksek boyutta Y kapısı ise Weyl dönüşümünün üzerine karmaşık bir çarpan gerekmektedir.

$${}_{m\alpha}^d Z_q = {}_{m\alpha}^d U_{qq} \quad (6)$$

Denklem (6) ile verilen yüksek boyutta Z kapısı α dönüşüm miktarı ve m kök değeri parametrelerini kullanmaktadır. Kök değeri m ile iki seviyeli kuantum sistemde karşılaşılan kapının kök

kuvvetleri, α ile de faz dönüşüm miktarı elde edilebilir.

Denklemi (1)'i formüle ettiğimiz yordam kod ile kuantum yüksek boyut algoritmalarında kullanılan evrensel kapıların matrisleri kolayca hesaplanabilir. Fakat bu dönüşüm matrisleri ile yüksek boyutlu algoritma simüle etmek için yeterli değildirler. Bu nedenle kuantum yüksek boyutlu simülasyon yapabilme kapasitesi olan Cirq simülatörüne bu matrislerin sistematik kullanılmasına izin veren entegre bir sınıf geliştirdik.

Bu entegre oluşturulan matrisleri kullanarak Cirq üzerinde kullanılabilecek kapılara çevirmektedir. Bunu yapabilmek için dönüşüm matrisi, çalışılan boyut ve devre diyagram bilgisini bulmak yeterlidir.

```
class Gate(cirq.Gate):
    def __init__(self,
        unitary_matrix: typing.Iterable,
        dimension: int,
        diag_info: typing.Union[cirq.CircuitDiagramInfo,
            typing.Tuple[str, str, None] = None):
```

Miras alınan bu sınıf kullanılabilmesi için tanımlanması gereken sınıf yordamları bulunmaktadır.

```
def _qid_shape_(self) -> typing.Tuple[int]:
    return (self.dimension, ) * self.qubit_count
```

Verilen yoram `_qid_shape_` ile boyut ve kudit sayısına bağlı bir set elde eder. Bu set Cirq simülatörünün kapıları devreye yerleştirme aşamasında önem teşkil eder.

```
def _num_qubits_(self) -> int:
    return self.qubit_count

def _unitary_(self) -> numpy.ndarray:
    return self.unitary_matrix
```

Verilen yordamlar ve ile Cirq kuantum simülatörünün çalışma zamanında kullanılan kapının işlenmesi sırasında kullanılmaktadır.

Verilen yordam `_circuit_diagram_info_` ile Cirq'de programlanan tüm devrelerinin görselleştirilmesi gerektiğinde kapıların etiketleri, konumları ve etkileşimlerini ifade eder.

3. KUANTUM FOURİER DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMASI

Bu çalışmada önerilen entegre kod ile kuantum yüksek boyutta kolayca simülasyonlar gerçekleştirilebilir. Bu bölümde uygulamayı göstermek adına kuantum fourier dönüşümü algoritması kullanarak gerçekleştirilmiş devre simülasyonu bulunmaktadır.

Kuantum fourier dönüşümü(QFT) iki seviyeli sistemlerde de olduğu üzere *Hadamard* ve *kontrollü-Z* kapıları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yüksek boyutta kuantum hesaplamada da bu kapıların denklikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunu gerçekleştirebilmek için gerekli matrisler elde edildikten sonra entegre kapı sınıfına tanıtmak ve sonrasında kuantum devreye yerleştirmek yeterli olacaktır.

```
dimension = 4
H_matrix = general_Hadamard(dim=dimension)
Z_matrix = general_Z(1, root=1, dim=dimension)
S_matrix = general_Z(1, root=2, dim=dimension)
T_matrix = general_Z(1, root=3, dim=dimension)
X_matrix = general_X(1, dimension)
swap_matrix = swap(dimension)
```

Verilen bu QFT örneği $d=4$ boyutta hazırlanan *Hadamard*, *Z*, *S*, *T*, *X* ve *Swap* matrisleri entegre yordamlar yardımıyla hazırlanırlar. Burada kullanılan *X* temel durumdaki bir kudit birinci seviye Fock bazına çıkaran varyantıdır ve QFT'de kayda değer bir değişikliğin görülmesi için eklenir. Çünkü kuantum devre temel durumda başlar ise QFT sadece süperpozisyona dönüşür.

```
H_gate = Gate(H_matrix, dimension, f'H_{dimension}')
Z_gate = Gate(Z_matrix, dimension, f'Z_{dimension}')
S_gate = Gate(S_matrix, dimension, f'S_{dimension}')
T_gate = Gate(T_matrix, dimension, f'T_{dimension}')
X_gate = Gate(X_matrix, dimension, f'X_{dimension}')
swap_gate = Gate(swap_matrix, dimension, ('x', 'x'))
CZ_gate = Z_gate.controlled(1, (1, ), (dimension, ))
CS_gate = S_gate.controlled(1, (1, ), (dimension, ))
CT_gate = T_gate.controlled(1, (1, ), (dimension, ))
```

QFT için gereken kapılar elde edilen matrisler kullanılarak hazırlanırlar. Verilen kontrollü kapılar ise Cirq içerisinde `.controlled` hazırda bulunan kullanılarak hazırlanırlar. Fakat yüksek boyut kuantum hesaplamada iki seviyeli sistemlerden farklı olarak sadece birinci seviye Fock bazı kontrol etmez. Multi-value Controlled Gate(MVCG) olarak adlandırılan bu kontrollü kapıların kontrol değerleri kümesi kullanarak olu-

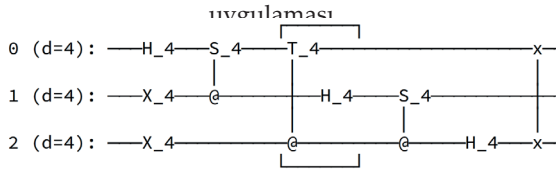
şan bir alt kümedir.

```
qudits = circq.LineQid.range(3, dimension=dimension)
circuit = circq.Circuit()

circuit.append(X_gate.on(qudits[1]))
circuit.append(X_gate.on(qudits[2]))
circuit.append(H_gate.on(qudits[0]))
circuit.append(CS_gate.on(qudits[1], qudits[0]))
circuit.append(CT_gate.on(qudits[2], qudits[0]))
circuit.append(H_gate.on(qudits[1]))
circuit.append(CS_gate.on(qudits[2], qudits[1]))
circuit.append(H_gate.on(qudits[2]))
circuit.append(swap_gate.on(qudits[0], qudits[2]))
print(circuit)
```

4 boyutta 3 adet kudit içeren bir Cirq devresi oluşturulduktan sonra öncesinde hazırlanmış kapılar gerekli kubitlere etki ettirilmelirler. Verilen kod parçasında görüleceği üzere X kapıları ile devrenin başlangıç durumu değiştirilmiştir. *Hadamard* ile süperpozisyona evrilen kuditler sonrasında, CS, CT kontrollü kapıları kullanmıştır. QFT devresi kubitlerin yerlerinin değiştirilmesi ile .swap sonlanmaktadır. Kullanılan kapısı kudit sıralamayı tersten hazırlayan devre simülatörleri için gerekli olmaktadır. Böylelikle hazırlanan Weyl dönüşümü yordamları ve Cirq kapı entegrasyonu sayesinde yüksek boyutta bir kuantum algoritma kuantum devreye eklenmiş ve simülasyona hazır durumda olur.

Şekil-1. 3 kuditlik QFT algoritmasının Cirq devre



Şekil-1 ile kuantum yüksek boyutta hazırlanan 3 kuditlik QFT algoritması örneğinin devre görseli sunulmaktadır. Şekilden görüleceği üzere daha öncesinde hazırlanan entegre kodlar sayesinde QFT için gereken kapılar ilgili konumlarındadırlar.

Cirq üzerinde $d=4$ boyutta hazırlanan bu devre simüle edildiğinde elde edilen kuantum durum ile QFT matrisinin başlangıçtaki kuantum durum vektörüyle çarpımı karşılaştırıldığında tüm elemanlarının bire bir eşit olduğu saptanmıştır. Böylelikle oluşan Weyl dönüşüm matrislerinin ve onlardan oluşturulan evrensel kuantum kapıların doğruluğu sağlanmaktadır.

4. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma ile önerilen Weyl dönüşüm matrislerinin ve onların Cirq kütüphanesi üzerinde entegrasyonu sayesinde araştırmacılar ve alana meraklıları için hazırda bulunan yöntemler sunulmaktadır. Bu çalışma ile kuantum algoritmaların kodlanmasına ve kolayca kullanılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Özellikle kuantum yüksek boyutun iki seviyelere göre gürültü duyarlılığı, az kudit üzerinde daha geniş veri kodlama ve işleme hacmi ve devre karmaşıklığının daha az olması gibi çeşitli avantajları[9] ve alana olan artan ilgi göz önüne alındığında önerilen çalışmanın kuantum hesaplama alanına fayda sağlayacağı aşikardır.

Bizler bu çalışmamızı taban alarak daha fazla yüksek boyut kuantum kapı matrisleri oluşturabilecek yordamlar üzerinde çalışmalarda bulunacağız. Bunun yanı sıra belirtilen yordamları diğer yüksek boyut simülatörlerine entegre ederek kullanıcıları matematiksel matris altyapısından soyutlayarak geliştirdikleri yüksek boyut kuantum algoritmalara odaklanmasını sağlamayı hedefliyoruz.

KAYNAKÇA

- [1] Feynman, R. P. *Simulating physics with computers*. CRC Press, 2018, pp. 133 – 153.
- [2] Vandersypen, L., Matthias S., Breyta, G., Contantino, Y., Mark, S., Isaak, C. *Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance*. Nature, 2001.
- [3] Ballon, A. *Quantum computing with superconducting qubits — PennyLane*. PennyLane Demos. Retrieved 2022-12-13.
- [4] Svetlana, K., Felix, P., Karoline, S., Simone, F., Oliver, K., Vadim, K., Patrik, R., Andreas, V., Frank, H. Manfred, M. K. *Fully integrated quantum photonic circuit with an electrically driven light source*. Nature Photonics, 2016, pp. 727-732.
- [5] Juan, I. C., Peter, Z. *Quantum computations with cold trapped ions*. Physical Review Letters, 1995.
- [6] Barenco, A., Bennett, C. H., Cleve, R., DiVincenzo, D. P., Margolus, N., Shor, P., Sleator, T., Smolin, J. A., Weinfurter, H. *Elementary gates for qu-*

- antum computation*. Physical Review A. American Physical Society (APS), pp. 3457–3467.
- [7] Berkani, M. *On the equivalence of Weyl thorem and generalized Weyl theorem*. Acta Mathematica Sinica, 2007, pp. 103-110.
- [8] Cirq Developers. *Cirq*. Zenodo. Doi: 10.5281/zenodo.8161252.
- [9] Daniele, C., Beatrice, D. L., Davide, B., Leif, K. O. *High-dimensonal quantum communication: benefits, progress, and future challanges*. Advanced Quantum Technologies, 2019.

"This page is left blank for typesetting"



HOLISTENCE
publications

Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır

Kuantum Hesaplama ile Amino Asit Dizilimlerinin Hamiltonian Analizi

Hamiltonian Analysis of Amino Acid Sequences by Quantum Computing

Sevdanur Genç 

Dr., Kastamonu Üniversitesi, Taşköprü Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kastamonu, Türkiye, e-mail: sgenc@kastamonu.edu.tr

Öz

Moleküler biyolojide ve biyoinformatikteki hızlı ilerlemeler, genomik verilerin analizi ve işlenmesi alanında büyük bir ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaç, geleneksel bilgisayarlarla işlenmekte olan genetik bilginin büyüklüğü ve karmaşıklığı göz önünde bulundurulduğunda, mevcut hesaplama kapasitesini zorlamaktadır. Bu makale, kuantum teknolojisinin genetik bilgi işlemeye nasıl katkı sağlayabileceğini incelemektedir. Kuantum bilgisayarlar, paralel işleme yetenekleri sayesinde büyük ve karmaşık genetik veri setlerini daha hızlı ve verimli bir şekilde işlemek için potansiyel sunmaktadır. Özellikle, amino asit dizilimlerinin analizi ve dönüşümü gibi biyoinformatik görevler, kuantum hesaplamaların potansiyel uygulama alanları arasındadır. Bu makale, temel seviyede amino asit dizilimlerinin nasıl kuantum devrelerine dönüştürülebileceğini ve kuantum teknolojisinin bu dönüşüm sürecinde Hamiltonian'ın rolünü ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Ayrıca, makalede kuantum devrelerinin ve algoritmalarının kullanımıyla elde edilen sonuçlar ve örnekler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kuantum teknolojisinin biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanındaki potansiyelini vurgulamak ve şuan ki genetik bilgi işlemeyi nasıl dönüştürebileceğimize dair Türkçe literatüre bir perspektif sunmaktır.

Anahtar kelimeler: Kuantum Teknolojisi, Amino Asit Dizilimleri, Biyoinformatik, Kuantum Hesaplama, Kuantum Algoritma ve Kuantum Devreleri

Citation/Atf: GENÇ, S. (2023). Kuantum Hesaplama ile Amino Asit Dizilimlerinin Hamiltonian Analizi. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 7-16, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Sevdanur Genç
E-mail: sgenc@kastamonu.edu.tr



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstract

Rapid advances in molecular biology and bioinformatics have created a great need for the analysis and processing of genomic data. This need challenges current computational capacity, given the size and complexity of genetic information being processed by conventional computers. This paper explores how quantum technology can contribute to genetic information processing. Quantum computers offer the potential to process large and complex genetic data sets faster and more efficiently thanks to their parallel processing capabilities. In particular, bioinformatics tasks such as the analysis and transformation of amino acid sequences are among the potential application areas of quantum computing. This article discusses in detail how amino acid sequences can be transformed into quantum circuits at the fundamental level and the role of quantum technology and the Hamiltonian in this transformation process. In addition, the paper includes results and examples obtained through the use of quantum circuits and algorithms. The aim of this paper is to highlight the potential of quantum technology in bioinformatics and molecular biology and to provide a perspective to the Turkish literature on how we can transform current genetic information processing.

Keywords: Quantum Technology, Amino Acid Sequences, Bioinformatics, Quantum Computing, Quantum Algorithms and Quantum Circuits

1. GİRİŞ

Günümüzde bilim ve teknoloji, hayatın her alanında önemli bir evrim yaşamaktadır. Bu evrim, özellikle biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanlarında, kuantum bilgisayarların yükselişi ile daha da derinleşmektedir. Kuantum programlamanın sağladığı güçlü hesaplama yetenekleri, biyoloji dünyasının temel unsurlarından biri olan amino asit dizilimlerinin dönüşümü konusunda yeni kapılar açmaktadır. Bu makalede, kuantum programlamanın biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanlarına getirdiği potansiyeli ve özellikle amino asit dizilimlerinin dönüşümü üzerindeki etkisini keşfedeceğiz. Kuantum bilgisayarların gelişimiyle, biyolojik sistemlerin daha iyi anlaşılması ve gelecekteki biyoteknoloji ve ilaç tasarımı projelerinin daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi konusunda heyecan verici yeni olanaklar sunulmaktadır.

Moleküler biyoloji ve biyoinformatik alanlarında hızla artan veri miktarı, genetik bilginin analizi ve işlenmesinde büyük bir zorluk ve fırsat yaratmıştır. Özellikle, genetik bilginin temel taşı olan amino asit dizilimlerinin analizi, tıp, biyoteknoloji, ilaç geliştirme ve daha birçok alanda önemli sonuçlar doğurabilecek bir araştırma alanı olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, genetik dizilerin karmaşıklığı ve büyüklüğü, geleneksel bilgisayarlarla bu verilerin hızlı ve verimli bir şekilde işlenmesini zorlaştırmaktadır.

Bu bağlamda, kuantum teknolojisi, genetik bilgi işlemenin geleceğine ışık tutabilecek bir potansiyele sahiptir. Kuantum bilgisayarlar, geleneksel bilgisayarlara kıyasla büyük ve karmaşık veri setlerini işleme konusunda önemli avantajlar sunabilirler. Bu avantajlar, özellikle amino asit dizilimlerinin analizi gibi biyoinformatik görevlerde büyük önem taşır. Kuantum bilgisayarlar, doğada kuantum mekaniği prensiplerine dayandıkları için geleneksel bilgisayarlarla mümkün olmayan paralel işlem yetenekleri sunarlar. Bu özelliği sayesinde, genetik verilerin hızlı ve hassas analizi mümkün hale gelir.

Bu makale, kuantum teknolojinin moleküler biyoloji ve biyoinformatik alanlarına nasıl bir katkı sağlayabileceğini incelemek amacıyla yazılmıştır. Özellikle, amino asit dizilimlerinin kuantum devreleri ile nasıl dönüştürülebileceğini ve kuantum hesaplamaların bu süreçteki rolünü ayrıntılı bir şekilde ele almaktadır. Makale aynı zamanda kuantum devrelerinin ve algoritmalarının kullanımıyla elde edilen sonuçları ve potansiyel avantajları da örneklerle açıklamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kuantum teknolojinin biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanındaki potansiyelini vurgulamak ve gelecekte genetik bilgi işleme yöntemlerini nasıl dönüştürebileceğimize dair bir perspektif sunmaktır. Makalemizin ilerleyen bölümleri, kuantum teknolojinin genetik bilgi işleme alanındaki potansiyelini daha ayrıntılı bir şekilde inceleyecektir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Son zamanlarda, kuantum hesaplamanın moleküler dinamiklerin analizi, ilaç tasarımı, protein katlanma problemleri ve amino asit dizilimlerinin dönüşümü gibi konulardaki potansiyel etkileri tartışılmaktadır. Bu alandaki önceki çalışmaların nasıl bir temel oluşturduğu ve gelecekteki araştırmalara nasıl ilham verdiği de söz konusudur. Kuantum programlamanın biyoinformatik ve biyolojik bilimlerle ilgili literatürdeki en güncel ve ilginç uygulamalarına birkaç örnek verilmiştir. Bunlar;

Iriyama ve Ohya 2009'da yapmış oldukları çalışma ile genom veya amino asit dizilerinin hizalanmasını NP problemlerinden biri olarak Kabul etmiş ve hesaplama karmaşıklığını $O(LN)$ olarak vermiştir [1]. Bununla birlikte, çoklu hizalamaları gerçekleştirebilmek adına kuantum algoritması ve kaos bilgi dinamiği aracılığıyla bir algoritma önermişlerdir. Fox ve arkadaşları 2021'de yayınlamış oldukları çalışmayla kodon optimizasyonu için kuantum hesaplama teknolojisinden yararlanmanın potansiyel etkisini araştırmışlardır [2]. Bir Kuantum Tavlayıcı (QA), aynı amaç fonksiyonu ile programlanmış standart bir genetik algoritma (GA) ile karşılaştırılmıştır. QA'nın optimum çözümleri belirlemede rekabetçi olduğu bulunmuştur. Geçit tabanlı sistemlerin faydası da bir simülatör kullanılarak değerlendirilmiş ve mevcut nesil cihazların gerçekçi sorunları çözmek için hem kübit sayısı hem de bağlantı açısından donanım gereksinimlerinden yoksun olmasına rağmen, gelecek nesil cihazların oldukça verimli olabileceği sonucuna varılmıştır. Wong ve Chang 2022 yılındaki yapmış oldukları çalışmayla, iki boyutlu kare kafes üzerinde hidrofobik-hidrofilik modelde, klasik muadiline göre ikinci dereceden bir hızlanma ile N amino asit uzunluğundaki herhangi bir dizi için problemi çözmek için bir kuantum algoritması geliştirmişlerdir. Bu hızlanma Grover'ın kuantum arama algoritması kullanılarak elde edilir. Algoritma, keyfi uzunluktaki amino asit dizileri için kullanılabilir. Algoritmayı Qiskit SDK kullanılarak IBM Quantum'un qasm simülatöründe başarıyla simüle etmişlerdir [3]. Bu iki araştırmacının yapmış oldukları diğer bir çalışma ise, klasik muadillerine göre kuadratik hızlanma ile vücut merkezli kübik kafes üzerinde üç boyutlu

hidrofobik-hidrofilik modelde PSP için hızlı bir kuantum algoritması geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmanın uygulanabilirliğini kanıtlamak için 21 ve 25 kübit içeren IBM kuantum simülatöründe problemi başarıyla çözdük. Teorik olasılık tahminlerini hesaplayarak istenen konformasyonu bulmada deneysel olarak elde edilen yüksek başarı olasılığını doğrulamışlardır [4].

3. MATERYEL VE YÖNTEM

Bu bölüm, kuantum teknolojisi ile amino asit dizilimlerinin dönüşümünü gerçekleştirmek için kullanılan materyal ve yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklar. Bu adım, Türkçe literatür için yeni ve heyecan verici araştırma alanının temeli oluşturur ve okuyuculara, yapılan deneylerin ve analizlerin nasıl yürütüldüğüne dair bir içgörü sunar.

3.1. Amino Asit Dizilimleri

Proteinler, hücrelerimizin yapı taşlarıdır ve birçok biyolojik sürecin düzenlenmesi ve gerçekleştirilmesi için gereklidir. Amino asit dizilimleri, bir proteinin yapısını ve işlevini belirler. Bu nedenle, bu dizilimlerin doğru bir şekilde analiz edilmesi, hücresel süreçlerin ve organizmanın sağlığının anlaşılması için temel öneme sahiptir. Amino asit dizilimleri, genetik bilginin proteinler aracılığıyla nasıl ifade edildiğini gösterir. DNA'daki genetik bilgi, mRNA aracılığıyla amino asit dizilimlerine çevrilir ve bu dizilimler, sonunda işlevsel proteinlerin üretimini başlatır. Bu süreç, merkezi bir öneme sahip olan merkezi bir konsepttir ve genetik mühendislik ve biyoteknoloji gibi birçok uygulama alanında kullanılır. Amino asit dizilimlerinin biyoinformatikteki analizi, bu önemli moleküler bileşenlerin işlevlerini ve etkileşimlerini anlamamıza yardımcı olur.

Bu çalışma için temel veri kaynağı, çeşitli organizmalardan elde edilen amino asit dizilimleridir. Genom verilerinin belirlenmesi, amino asit dizilimlerinin çıkarılması ve bu verilerin temizlenmesi, bu çalışmanın başlangıç aşamasını oluşturur. Ayrıca, bu dizilimlerin doğru bir şekilde anlamlandırılması ve genetik bilginin hassas bir şekilde temsil edilmesi için gerekli olan tüm veri ön işleme adımları "Kuantum Teknolojisi ile Amino Asit Dizilimlerinin Dönüşümü" başlığı altında ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.2. Kauntum Devreleri ve Algoritmaları

Kuantum bilgisayarlar, büyük miktarda genomik verinin daha hızlı işlenmesine olanak tanır. Genom analizi, hastalık teşhisi, kişiselleştirilmiş tıp ve genetik araştırmalar gibi birçok alanda önemlidir. Kuantum bilgisayarlar, genetik verilerin analizini hızlandırabilir ve daha hassas sonuçlar elde etmemizi sağlayabilir. Proteinlerin doğru bir şekilde katlanması, biyolojik işlevlerini yerine getirebilmeleri için kritiktir. Kuantum bilgisayarlar, proteinlerin katlanma problemini daha hızlı ve etkili bir şekilde çözmek için kullanılabilir. Kuantum bilgisayarlar, kimyasal reaksiyonların ve moleküler etkileşimlerin simülasyonlarını daha hassas bir şekilde gerçekleştirmemize yardımcı olabilir. Biyoinformatikte sıkça karşılaşılan optimizasyon problemleri, kuantum bilgisayarlar tarafından daha hızlı ve etkili bir şekilde çözülebilir. Örneğin, gen dizilimlerinin analizi, genetik mühendislik projeleri ve biyoteknolojik süreçlerin iyileştirilmesi gibi alanlarda optimizasyon problemleri bulunur.

3.3. Veri Analizi

Protein Data Bank (PDB), proteinlerin üç boyutlu (3D) yapılarını içeren bir veritabanıdır [5]. PDB, bilim insanlarının proteinlerin yapısını anlamalarına, incelemelerine ve analiz etmelerine yardımcı olan uluslararası bir kaynaktır. Bu kaynaklar, X-ışını kristalografisi, nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi ve elektron mikroskopisi gibi farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir. PDB'ye erişmek oldukça kolaydır ve çoğu veri ücretsiz olarak sunulur. Bilim insanları, bu veritabanını çeşitli bilgisayar programları ve yazılımlar aracılığıyla kullanarak protein yapısı ile ilgili analizler yapabilirler. PDB, veri kalitesini yüksek tutmak için katı bir kalite kontrol sürecine sahiptir. Ayrıca, yeni protein yapıları keşfedildikçe ve çözümlendikçe sürekli güncellenir.

Dizilim, protein ya da DNA/RNA dizilimi şeklinde alınır. FASTA (Fast-All) formatı, biyoinformatik alanında genetik dizilerin ve protein dizilerinin temsil edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir veri formatıdır.

FASTA format [6], genetik bilgiyi düzenlemek, depolamak ve paylaşmak için kullanılır ve birçok biyoinformatik yazılımı/aracı tarafından

desteklenir. FASTA formatı, bir dosya içinde birden fazla genetik veya protein dizisi girdisini destekler. Her girdi, başlık satırı ile başlar ve ardışık dizi satırları ile devam eder. Bu, birçok genetik veya protein dizisinin aynı dosya içinde düzenli bir şekilde saklanmasını sağlar. FASTA formatı, genetik dizilerin ve protein dizilerinin depolanması, paylaşılması, analiz edilmesi ve işlenmesi için standart bir araçtır. Bu format, BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) gibi birçok biyoinformatik aracın giriş ve çıkış veri formatı olarak kullanılır ve genetik araştırmalarda yaygın olarak kullanılır.

Bu format, bir başlık (header) satırı ve bir dizi satırından oluşur ve temel bilgileri içerir. FASTA formatındaki her girdi, bir başlık satırı ile başlar. Başlık satırı, verinin neyi temsil ettiğini veya hangi organizmadan geldiğini açıklar. Başlık satırının genellikle bir '>' işareti ile başladığı ve hemen ardından bir tanım veya kimlik bilgisi geldiği görülür.

3.4. Kuantum Teknolojisi ile Amino Asit Dizilimlerinin Dönüşümü

Amino asit dizisini ikili diziler halinde kodluyor ve her biri için bir kuantum devresi oluşturuluyor. Ardından, her devre için bir Pauli operatörleri listesi oluşturulur, her kubit için bir tane ve onları birlikte çarparak bir Hamiltonian elde edilir. Sonrasında, her bir devre için ortaya çıkan kuantum durumları yazılır. Bu operatörleri ve Hamiltonianları oluşturmak için sırasıyla *qiskit.quantum_info* ve *qiskit.opflow*'daki *Pauli* ve *PauliOp* sınıfları kullanılır. Devreleri simüle etmek ve kuantum durumlarını hesaplamak için *qiskit*'in *Aer* modülü kullanılır. Tüm bu işlemler dört adımdan oluşmaktadır. Bunlar:

Adım 1: Amino Asit Diziliminin Hazırlanması

İlk adım, analiz edilmek istenen amino asit diziliminin hazırlanmasıdır. Bu çalışmada, örnek olarak Avrupa Biyoinformatik Enstitüsü tarafından oluşturulan bir PDB'dan "*Hemoglobin subunit alpha*" isimli bir dizilim FASTA formatında alınmıştır [7]. Hemoglobin subunit alpha, bir hemoglobin molekülünün yapı taşlarından biridir. Hemoglobin, kanımızdaki oksijen taşıma ve taşıma işlevini yerine getiren bir protein kompleksi olan tetramerik bir yapıya sahiptir. Bu yapıdaki her bir tetramer, iki alfa (alpha) alt birimi

ve iki beta (beta) alt birimini içerir. Hemoglobin subunit alpha, oksijen moleküllerini akciğerlerden dokulara taşıırken önemli bir rol oynar ve oksijen moleküllerini tutarak hemoglobinin işlevini gerçekleştirir. Her bir hemoglobin molekülü dört hemoglobin subunit alpha ve dört hemoglobin subunit beta içerir. Alınan FASTA formatında bulunan başlık satırının hemen ardından, genetik veya protein dizisi kendisi gelir. Dizi satırları, genellikle tek harfli amino asitlerin veya nükleotitlerin dizilerini içerir. Bu satırlar, başlık satırında belirtilen veriyi temsil eder. Hemoglobin protein dizisine ait FASTA dizisi Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Hemoglobin protein dizisine ait FASTA sekansı

```
>pdb|1c7c|A
MLSPADKTNVKAANGKVGAGAGEYGAEALERMFLSFPTTKTYFPHFDSLHSGSAQVKGHGKKVADALT
NAVAHVDDMPNALSALSDLHAHLKLVDPVNFKLLSHCLLVTLAAHLPAEFTPAVHASLDKFLASVST
VLTSKYRGVLSPADKTNVKAANGKVGAGAGEYGAEALERMFLSFPTTKTYFPHFDSLHSGSAQVKGHG
KKVADALTNAVAHVDDMPNALSALSDLHAHLKLVDPVNFKLLSHCLLVTLAAHLPAEFTPAVHASLD
KFLASVSTVLTSKYR
```

Adım 2: Verilerin Kuantum Hesaplama İçin Hazırlanması

Amino asit dizilimi, kuantum hesaplama için uygun bir veri formatına dönüştürülmelidir. Kuantum bilgisayarların kullandığı kubitler (quantum bits) ile çalışıldığı için, veriyi bu kubitler ile temsil etmek gerekir.

Amino asitlerin bir DNA dizisine kodlanmasını simüle etmek için kullanılan basit bir algoritma tasarlanır. Verilen bir amino asit kodlama sözlüğü ve bir giriş DNA dizisi (Şekil 1'de bulunan hemoglobin verisi bir metin belgesi ile alınır) kullanılarak, DNA dizisindeki baz çiftlerini amino asitlere dönüştürür. Her amino asit iki bitlik bir ikili değere eşitlenir. Örneğin, Çizelge 1'de gösterildiği gibi 'A' amino asiti '00' olarak kodlanmıştır. Bu, DNA dizisindeki her iki bazın bir amino aside karşılık geldiği bir kodlama şemasıdır.

Çizelge 1. Aminoasitlerin bitlik kodlamaya çevirilmesi

Amino Asit	Bitlik Eşitliği	Amino Asit	Bitlik Eşitliği
A	00	M	10
C	01	N	11
D	10	P	00
E	11	Q	01
F	00	R	10
G	01	S	11
H	10	T	00
I	11	V	01
K	00	W	10
L	01	Y	11

DNA dizisini iki karakterlik çiftler halinde böler. Yani, 'AATTCCGG' gibi bir dizi 'AA', 'TT', 'CC' ve 'GG' gibi ikili çiftlere ayrılır. Her iki baz çiftini amino asitlere dönüştürmek için bu ikili çiftleri ilgili amino asit kodlarına dönüştürür. Örneğin, 'AA' -> '00' + '00' şeklinde bir dönüşüm yapar. Bu kodlama yöntemi, DNA dizileri ve amino asitler arasındaki dönüşümü basit bir şekilde simüle eder ve çıktıda her baz çiftinin amino asit koduyla ilişkilendirilmiş olduğunu gösterir.

Adım 3: Kuantum Devrelerinin Tasarımı

Bu çalışmada, python programlama dilinde kuantum hesaplamaları için Qiskit [8] program kullanılmıştır. Bu program, belirli bir veri dizisi üzerinde kuantum devrelerini oluşturur. Bu çalışma için, devreler Hamiltonian [9] ile hesaplanır. Kuantum programlamada, Hamiltonian enerji seviyelerini ve sistemlerin dinamiklerini tanımlayan önemli bir kavramdır. Ancak, kuantum mekaniği bağlamında Hamiltonian, klasik mekanikten farklı bir rol oynar. Kuantum programlama da Hamiltonian, kuantum devrelerinin oluşturulması, kubitlerin enerji seviyeleri ve kubitler arası etkileşim gibi bir çok amaçla kullanılabilir. Aynı zamanda, kuantum bilgisayarlarla çeşitli hesaplamaların yapılmasına ve özellikle karmaşık kimya ve malzeme bilimi problemlerini çözmek için kullanılır. Hamiltonian'ın özdeğerleri ve özvektörleri, kuantum sistemlerin temel özelliklerini ve enerji seviyelerini incelemek için kullanılır. Hamiltonian, bir kuantum sistemdeki enerji seviyelerini ve etkileşimleri temsil eden bir matematiksel ifadedir.

Kuantum programlama içinde “Hamiltonian” veya “Hamilton operatörü”, kuantum sistemlerin enerjilerini ve evrimlerini tanımlayan önemli bir kavramdır. Hamiltonian, klasik fizikteki Hamilton fonksiyonuna benzer bir rol oynar, ancak kuantum sistemler için uyarlanmış bir operatördür. Kuantum mekaniğinde, sistemlerin dinamiklerini ve enerji seviyelerini açıklamak için kullanılır. Hamiltonian (H), bir kuantum sisteminin enerjilerini ve davranışlarını matematiksel olarak ifade eden bir operatördür. Genellikle $H = T + V$ şeklinde gösterilir. Burada: T, kinetik enerjiyi temsil eden kinetik terimi ifade eder. Bu terim, sistemin momentumu ve kinetik hareketini tanımlar. V, potansiyel enerjiyi temsil eden potansiyel terimi ifade eder. Bu terim, sistemin konumuna bağlı enerjiyi tanımlar. Hamiltonian operatörü, kuantum sistemlerin Schrödinger denklemiyle ilişkilendirilir. Eşitlik 1’de verilen Schrödinger denklemi [10], bir kuantum sisteminin zaman içindeki evrimini açıklamaktadır.

$$H|\psi\rangle = i\hbar \partial|\psi\rangle/\partial t \quad (1)$$

Burada:

- H : Hamiltonian operatörüdür.
- $|\psi\rangle$: sistem tarafından tanımlanan dalga fonksiyonunu ifade eder.
- I : karmaşık birimdir.
- $\hbar$: indirgenmiş Planck sabitidir.

Şekil 2. Qiskit kullanılarak kuantum devrelerinin tasarlanması

```
circuits = []
for binary in sequence:
    circuit = QuantumCircuit(len(binary), len(binary))
    for i, bit in enumerate(binary):
        if bit == '1':
            circuit.x(i)
    circuits.append(circuit)

paulis = []
for j in range(len(binary)):
    pauli_label = 'X'
    pauli = Pauli(pauli_label)
    pauli_op = PauliOp(pauli)
    paulis.append(pauli_op)

hamiltonian = paulis[0]
for j in range(1, len(paulis)):
    hamiltonian = hamiltonian @ paulis[j]

print(f"Circuit {i} Hamiltonian:")
print(hamiltonian)
```

Şekil 2’de amino asit dizilimi için oluşturulmuş sözlük yapılarının kuantum devrelerine dönüştürülmesi için geliştirilen qiskit algoritması yer almaktadır.

Çalışmada, oluşturulan ikili dizeleri kübitlere eşleyen sözlük yapıları oluşturulur. Bu sözlükte, iki bitlik ikili dizelerin kuantum operatörlerine nasıl dönüştürüleceği tanımlanır. Örneğin, ‘00’ -> 0, ‘01’ -> 1, ‘10’ -> 2 ve ‘11’ -> 3. Her ikili dize için bir kuantum devresi oluşturulur. Bu, her ikili dizideki ‘1’leri belirlemek için X kapısı kullanarak yapılır. Örneğin, ‘1011’ ikili dizesi için 2. ve 4. pozisyonlardaki ‘1’leri belirtmek için X kapıları uygulanır. Oluşturulan kuantum devreleri ‘circuits’ isimli bir listede saklanır. Her ikili dize için bir dizi Pauli operatörü oluşturulur.

Pauli operatörleri [11] kuantum mekaniği ve kuantum bilgisayarlarında önemli bir rol oynayan matematiksel işlemcilerdir. Bu operatörler, temel kuantum kapılarını ve işlemlerini temsil etmek için kullanılır. Genellikle σ ile temsil edilirler ve dört ana Pauli operatörü vardır:

1. X Operatörü (σ_x): X operatörü, bir qubit’in x-eksenindeki spinini değiştirir. Eşitlik 2’de matris temsillemesi verilmiştir. Burada $|0\rangle$ ve $|1\rangle$, qubit’in temel durumlarını temsil etmektedir.

$$\sigma_x = |0\rangle\langle 1| + |1\rangle\langle 0| \quad (2)$$

2. Y Operatörü (σ_y): Y operatörü, bir qubit’in y-eksenindeki spinini değiştirir. Eşitlik 3’de matris temsillemesi verilmiştir. Burada “i”, karmaşık birimdir.

$$\sigma_y = -i(|0\rangle\langle 1|) + i(|1\rangle\langle 0|) \quad (3)$$

3. Z Operatörü (σ_z): Z operatörü, bir qubit’in z-eksenindeki spinini değiştirir. Eşitlik 4’de matris temsillemesi verilmiştir.

$$\sigma_z = |0\rangle\langle 0| - |1\rangle\langle 1| \quad (4)$$

4. Hadamard Operatörü (H Operatörü): Hadamard operatörü, bir qubit’i superpozisyon durumuna getirmek ve farklı durumlar arasında geçiş yapmak için kullanılır. Eşitlik 5’de matris temsillemesi verilmiştir.

$$H = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)(\sigma_x + \sigma_z) \quad (5)$$

Bu operatörler, her bir pozisyonda X veya I operatörlerini temsil eder. X operatörü, ‘1’ pozisyonundaki biti işlerken I operatörü ‘0’ pozis-

yonundaki biti temsil eder. Oluşturulan Pauli operatörleri, bir Hamiltonian'ı hesaplamak için birbiriyle çarpılır. Her bir ikili dize için hesaplanan Hamiltonian, ekrana yazdırılır. Bu, her ikili dizinin kuantum operatörleri tarafından temsil edilen enerji seviyelerini ve etkileşimlerini gösterir.

Adım 4: Kuantum İşleme

Kuantum bilgisayarlar, sürekli ve karışık bir şekilde 0 ve 1 değerleri arasında bulunan kuantum durumlarını kullanarak veriyi işlerler. Bu süreç, belirli bir kuantum devresi tarafından tanımlanan işlemler aracılığıyla gerçekleştirilir. Oluşturulan listede kuantum devreleri tanımlanmıştır, bu devreler bir simülatör üzerinde döngü aracılığıyla tek tek çalıştırılır. Şekil 3'de bu döngüye ait algoritma yer almaktadır.

Şekil 3. Her devre için ortaya çıkan kuantum durumlarını listeleyen algoritma

```
for i, circuit in enumerate(circuits):
    print(f"Circuit {i}:")
    print(circuit)
    backend = Aer.get_backend('statevector_simulator')
    result = execute(circuit, backend).result()
    print(result.get_statevector())
```

`backend = Aer.get_backend('statevector_simulator')` kodu, Aer adlı Qiskit modülünü kullanarak bir kuantum simülatörünü belirler. `'statevector_simulator'` parametresi, kuantum devrelerinin durum vektörlerini hesaplamak için kullanılan bir simülatör türünü temsil eder. Bu, her bir devrenin sonucunun hesaplanması için kullanılacak arka uç (backend) cihazını tanımlar. `result = execute(circuit, backend).result()` kodu, belirtilen kuantum devreyi ve simülatörü kullanarak hesaplamayı başlatır ve sonucu `result` adlı bir değişkende saklar. `result.get_statevector()` kodu, kuantum devrenin sonucu olan durum vektörünü ekrana yansıtmak için kullanılır. Bu, her bir devrenin sonucunda bulunan kuantum durumunu gösterir. Kuantum durum, tüm kubitlerin olası durumlarını içerir ve kuantum devresinin sonucunu temsil eder.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölüm, kuantum teknolojisinin amino asit dizilimlerinin dönüşümü üzerindeki etkisini değerlendirmek için verilen deneysel çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır. Hazırlanan algoritmayla birlikte yapılan çalışmada, protein veri

bankasından elde edilen Hemoglobin protein dizisinin toplamda 283 amino asit bulunmaktadır. Şekil 1'de ilgili protein dizisinin FASTA formatı verilmişti. Qiskit çerçevesi ile birlikte Hemoglobin dizisi öncelikle FASTA formatından bitlik formata dönüştürülmüştür. Şekil 1'de verilen Hemoglobin dizisinin bu kurallar doğrultusunda bitlik dönüşümü Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'de her bir amino asit sırayla çiftli olacak şekilde bitlik formatına dönüştürülmüştür. Toplamda 141 adet çift oluşup sonuncu amino asit olan R çifti olacak bir amino asit olmadığı için değerlendirilmeye alınmamıştır. Deney sonucunda toplamda 141 adet kuantum devresi ve beraberinde durum vektör (statevector) listesi oluşturulmuştur. Böylelikle, kuantum işlemi tamamlanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, her bir devrenin sonucunda elde edilen kuantum durumlarına örnek olabilecek rastgele dört adet kuantum devresinin çıktısı Şekil 4'de verilmiştir.

Aynı zamanda Şekil 4 (a)'da , 41 numaralı kuantum devresine ait devre çizimi ve durum vektör (statevector) listesinin çıktısı bir arada bulunmaktadır. Şekil 4 (b)'de 82, Şekil 4 (c)'de 84 ve Şekil 4 (d)'de de 114 numaralı kuantum devrelere ait devre çizimleri ve durum vektörleri örnek olarak verilmiştir. Geri kalan 137 kuantum devresi yine bu dört devreye benzer şekillerde üretilmiştir. Bu ve bunun gibi geliştirilmiş algoritmalar neticesinde alınan sonuçlar, kuantum teknolojisinin biyoinformatik alanında nasıl bir devrim yaratabileceği konusunda önemli ipuçları sunmaktadır.

Çizelge 2. Hemogloblin dizisinin bitlik dönüşümü

ML -> 1001	TY -> 0011	SA -> 1100	VH -> 0110	AH -> 0010	GK -> 0100	KL -> 0001
SP -> 1100	FP -> 0000	LS -> 0111	AS -> 0011	AG -> 0001	KV -> 0001	LS -> 0111
AD -> 0010	HF -> 1000	DL -> 1001	LD -> 0110	EY -> 1111	AD -> 0010	HC -> 1001
KT -> 0000	DL -> 1001	HA -> 1000	KF -> 0000	GA -> 0100	AL -> 0001	LL -> 0101
NV -> 1101	SH -> 1110	HK -> 1000	LA -> 0100	EA -> 1100	TN -> 0011	VT -> 0100
KA -> 0000	GS -> 0111	LR -> 0110	SV -> 1101	LE -> 0111	AV -> 0001	LA -> 0100
AW -> 0010	AQ -> 0001	VD -> 0110	ST -> 1100	RM -> 1010	AH -> 0010	AH -> 0010
GK -> 0100	VK -> 0100	PV -> 0001	VL -> 0101	FL -> 0001	VD -> 0110	LP -> 0100
VG -> 0101	GH -> 0110	NF -> 1100	TS -> 0011	SF -> 1100	DM -> 1010	AE -> 0011
AH -> 0010	GK -> 0100	KL -> 0001	KY -> 0011	PT -> 0000	PN -> 0011	FT -> 0000
AG -> 0001	KV -> 0001	LS -> 0111	RG -> 1001	TK -> 0000	AL -> 0001	PA -> 0000
EY -> 1111	AD -> 0010	HC -> 1001	VL -> 0101	TY -> 0011	SA -> 1100	VH -> 0110
GA -> 0100	AL -> 0001	LL -> 0101	SP -> 1100	FP -> 0000	LS -> 0111	AS -> 0011
EA -> 1100	TN -> 0011	VT -> 0100	AD -> 0010	HF -> 1000	DL -> 1001	LD -> 0110
LE -> 0111	AV -> 0001	LA -> 0100	KT -> 0000	DL -> 1001	HA -> 1000	KF -> 0000
RM -> 1010	AH -> 0010	AH -> 0010	NV -> 1101	SH -> 1110	HK -> 1000	LA -> 0100
FL -> 0001	VD -> 0110	LP -> 0100	KA -> 0000	GS -> 0111	LR -> 0110	SV -> 1101
SF -> 1100	DM -> 1010	AE -> 0011	AW -> 0010	AQ -> 0001	VD -> 0110	ST -> 1100
PT -> 0000	PN -> 0011	FT -> 0000	GK -> 0100	VK -> 0100	PV -> 0001	VL -> 0101
TK -> 0000	AL -> 0001	PA -> 0000	VG -> 0101	GH -> 0110	NF -> 1100	TS -> 0011
						KY -> 0011

Şekil 4. Kuantum devrelerine ait devre çizimi ve durum vektör (statevector) listeleri

Circuit 41:

```

q_0: _____
q_1: [ X ]
q_2: [ X ]
q_3: [ X ]
c: 4/_____

Statevector([0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
1.+0.j, 0.+0.j],
dims=(2, 2, 2, 2))

```

(a)

Circuit 82:

```

q_0: [ X ]
q_1: [ X ]
q_2: [ X ]
q_3: [ X ]
c: 4/_____

Statevector([0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 1.+0.j],
dims=(2, 2, 2, 2))

```

(b)

Circuit 84:

```

q_0: [ X ]
q_1: [ X ]
q_2: _____
q_3: _____
c: 4/_____

Statevector([0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 1.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j],
dims=(2, 2, 2, 2))

```

(c)

Circuit 114:

```

q_0: [ X ]
q_1: _____
q_2: _____
q_3: _____
c: 4/_____

Statevector([0.+0.j, 1.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j, 0.+0.j,
0.+0.j, 0.+0.j],
dims=(2, 2, 2, 2))

```

(d)

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı, kuantum teknolojisinin amino asit dizilimlerinin dönüşümünde nasıl kullanılabileceğini göstermektir. Amino asit dizilimleri, FASTA formatından iki bitlik formata dönüştürüldükten sonra kuantum devreleri oluşturulmuştur. Kullanılan Qiskit çerçevesi ile birlikte python programlama dilinde ilgili kütüphaneler kullanılmıştır. Özellikle Hamiltonian hesaplamak için Pauli operatörleri kullanılarak bir algoritma oluşturulmuştur. Makalede, kuantum programlamanın biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanlarına getirdiği potansiyeli inceledik ve özellikle amino asit dizilimlerinin dönüşümü üzerindeki etkisini araştırdık. Kuantum programlamanın, bu alanlarda hızlı ve etkili çözümler sunabileceği görüldü.

Kuantum hesaplama, geleneksel bilgisayarlarla karşılaştırıldığında, çok büyük moleküler sistemlerin daha hızlı ve hassas bir şekilde simüle edilmesini sağlar. Bu, özellikle ilaç tasarımı ve protein katlanma problemleri gibi karmaşık sorunların çözümünde büyük bir potansiyel sunar. Ayrıca, kuantum programlama, amino asit dizilimlerinin hızlı bir şekilde karşılaştırılması ve analiz edilmesi için yeni yöntemler geliştirmemizi sağlar. Kuantum bilgi işlem, temel olarak özellikle büyük veri setleri ve kompleks optimizasyon problemleri gibi alanlarda büyük bir atılım yapabilir. Ancak, kuantum bilgisayarlar henüz erken aşamada olduklarından, pratik uygulamaların tam potansiyeline ulaşabilmesi için daha fazla geliştirme ve optimize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu makalede ele alınan konuların yanı sıra, kuantum programlamanın biyoinformatik, tıp ve biyokimya gibi alanlarda daha geniş bir etki yaratabileceği birçok başka uygulama alanı da vardır. Kuantum bilgisayarların geliştirilmesi ve kullanılabilirliğinin artması, bu potansiyelin daha fazla keşfedilmesine ve uygulamalara dönüştürülmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, kuantum programlama, biyoinformatik ve moleküler biyoloji alanlarına önemli katkılar sağlayabilir. Bu yeni teknolojinin, büyük ölçekli veri analizi, simülasyon ve optimizasyon problemlerinin çözümünde önemli bir rol oynayacağını ve gelecekte daha fazla inovasyonun kapılarını açacağı düşünülmektedir. Bu alandaki

araştırmaların devamı, kuantum programlamanın bu potansiyelinin tam olarak anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] S. Iriyama ve M. Ohya, "On Quantum Algorithm for Multiple Alignment of Amino Acid Sequences", *Quantum Bio-Informatics II: From Quantum Information to Bio-Informatics*, ss. 92-104, Oca. 2009, doi: 10.1142/9789814273756_0009.
- [2] D. M. Fox, K. M. Branson, ve R. C. Walker, "mRNA codon optimization with quantum computers", *PLoS One*, c. 16, sy 10, s. e0259101, Eki. 2021, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0259101.
- [3] R. Wong ve W. L. Chang, "Fast quantum algorithm for protein structure prediction in hydrophobic-hydrophilic model", *J Parallel Distrib Comput*, c. 164, ss. 178-190, Haz. 2022, doi: 10.1016/J.JPDC.2022.03.011.
- [4] R. Wong ve W. L. Chang, "Quantum speedup for protein structure prediction", *IEEE Trans Nanobioscience*, c. 20, sy 3, ss. 323-330, Tem. 2021, doi: 10.1109/TNB.2021.3065051.
- [5] S. K. Burley, H. M. Berman, G. J. Kleywegt, J. L. Markley, H. Nakamura, ve S. Velankar, "Protein Data Bank (PDB): The single global macromolecular structure archive", *Methods in Molecular Biology*, c. 1607, ss. 627-641, 2017, doi: 10.1007/978-1-4939-7000-1_26/COVER.
- [6] W. R. Pearson, "Using the FASTA program to search protein and DNA sequence databases.", *Methods Mol Biol*, c. 24, ss. 307-331, 1994, doi: 10.1385/0-89603-246-9:307/COVER.
- [7] "Hemoglobin subunit alpha in PDB entry 1c7c < PDB < EMBL-EBI". Erişim: 14 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.ebi.ac.uk/pdbe/entry/pdb/1c7c/protein/1>
- [8] A. Cross, Cross, ve Andrew, "The IBM Q experience and QISKit open-source quantum computing software", *APS*, c. 2018, s. L58.003, 2018, Erişim: 14 Ekim 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018APS..MARL58003C/abstract>
- [9] A. Ciani, B. M. Terhal, ve D. P. Divincenzo, "Hamiltonian quantum computing with supercon-

ducting qubits", *Quantum Sci Technol*, c. 4, sy 3, s. 035002, May. 2019, doi: 10.1088/2058-9565/AB18DD.

- [10] Rabinowitz ve P. H., "On a class of nonlinear Schrödinger equations", *ZaMP*, c. 43, sy 2, ss. 270-291, Mar. 1992, doi: 10.1007/BF00946631.
- [11] P. Nema ve M. J. Nene, "Pauli Matrix based Quantum Communication Protocol", *Proceedings of IEEE International Conference on Advent Trends in Multidisciplinary Research and Innovation, ICATMRI 2020*, Ara. 2020, doi: 10.1109/ICATMRI51801.2020.9398393.

RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ

Kuantum Teknolojisinin Meta Evren Üzerindeki Etkisi: Gelecekteki Olanaklar ve Sorunlar

The Impact of Quantum Technology on the Metaverse: Future Possibilities and Challenges

Sevdanur Genç 

Dr., Kastamonu Üniversitesi, Taşköprü Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kastamonu, Türkiye, e-mail: sgenc@kastamonu.edu.tr

Öz

Metaverse, gerçek ve sanal dünyaları birleştirmek için sanal bir alan yaratan ve kişinin her bir dünyadaki deneyimini en üst düzeye çıkaran bir kavramdır. Gerçek dünyayı kopyalayan tutarlı kullanıcı etkileşimi için bir alan formüle etmek üzere sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, blockchain teknolojisi ve sosyal medya kavramlarından yararlanan simüle edilmiş bir dijital ortamdan oluşan sosyal bağlantıya odaklanır. Gerçek hayattaki benzerini ideal bir şekilde kopyalayan sanal bir dünya yaratmak için birkaç sektörü tek bir ekosisteme çekmeyi amaçlamaktadır. Bu sanal dünyaları oluşturmak için dev süper bilgisayarlar kullanılmaktadır. Süper bilgisayarlar ile kuantum teknolojileri terimi gündeme gelmektedir. Kuantum teknolojilerinin özü kuantum hesaplama değildir. Hesaplamaları gerçekleştirmek için, kuantum mekaniğinin süperpozisyon ve dolanıklık gibi özelliklerinden yararlanır. Bilgisayarlar kuantum hesaplaması yapabildiklerinde, bunlara kuantum bilgisayarlar denir. Kuantum hesaplamanın, meta veri depolama alanında bir dizi farklı kullanım senaryosu bulunmaktadır. Metaverse çok sayıda hesaplama ve simülasyon kullanır, bu nedenle hesaplamayı ve genel deneyimi geliştirmek için kuantum hesaplama yararlanılmaktadır. Kuantum makine öğrenimi gibi bazı alanların, finans ve ilaç endüstrisi gibi çeşitli sektörlerde giderek daha kullanılır olduğu kanıtlanmıştır. Bu doğrultuda, kuantum bilgi işlemin, meta veri deposunu hayata geçirmede kesin bir rolü vardır ve birkaç kritik uygulamanın yürütülmesine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, metaverse'de, daha fazla etkileşim yakalandıkça, gerçekleşen herhangi bir ticaret ve işlem için kuantuma dayanaklı güvenliğe ihtiyaç duyulacak ve kuantuma dayanaklı blok zinciri teknolojisi, başvurulacak bir teknoloji olacaktır. Meta veri deposunun karmaşıklığı arttıkça makine öğrenimi, nasıl geliştiği konusunda giderek daha önemli bir rol oynayacaktır. Metaverse'de artan makine öğrenimine duyulan ihtiyaç, gerçekte olduğu kadar derin olacaktır. Kuantum makine öğreniminin daha fazla gelişmesiyle, metaverse'de daha fazla uygulama yer alacaktır. Bu nedenle, Metaverse, yavaş yavaş anlaşılması gereken bir kavramdır. Kuantum hesaplama, herkesin metaverse'nin uygulamalarını ve yeteneklerini anlaması, potansiyel avantajlardan yararlanılması için öğrenilmesi ve kullanılması gerekli bir teknolojidir.

Anahtar kelimeler: Metaverse, Meta Evren, Kuantum Hesaplama, Kuantum Teknolojileri, Kuantum Bilgisayarlar

Citation/Atf: GENÇ, S. (2023). Kuantum Teknolojisinin Meta Evren Üzerindeki Etkisi: Gelecekteki Olanaklar ve Sorunlar. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 17-27, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Sevdanur Genç
E-mail: sgenc@kastamonu.edu.tr



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstract

Metaverse is a concept that creates a virtual space to merge the real and virtual worlds, maximizing one's experience in each world. It focuses on social connectivity, consisting of a simulated digital environment that leverages virtual reality, augmented reality, blockchain technology and social media concepts to formulate a space for consistent user interaction that replicates the real world. It aims to pull several industries into a single ecosystem to create a virtual world that ideally replicates its real-life counterpart. Giant supercomputers are used to create these virtual worlds, and with supercomputers comes the term quantum technologies. The essence of quantum technologies is quantum computing. To perform calculations, properties of quantum mechanics such as superposition and entanglement are exploited. When computers can perform quantum computation, they are called quantum computers. Quantum computing has a number of different use cases in metadata storage. The metaverse uses a lot of computation and simulation, so quantum computing is being leveraged to improve computation and the overall experience. Some areas, such as quantum machine learning, have proven to be increasingly used in various sectors, such as finance and the pharmaceutical industry. Along these lines, quantum computing has a definite role to play in bringing the metadata store to life, helping to drive several critical applications. However, in the metaverse, as more interactions are captured, quantum-resistant security will be needed for any trade and transaction that takes place, and quantum-resistant blockchain technology will be the go-to technology. As the complexity of the metadata store increases, machine learning will play an increasingly important role in how it evolves. The need for increased machine learning in the metaverse will be as profound as it actually is. With the further development of quantum machine learning, more applications will take place in the metaverse. Therefore, the Metaverse is a concept that needs to be understood gradually. Quantum computing is a technology that needs to be learned and used in order for everyone to understand the applications and capabilities of the metaverse and to take advantage of the potential benefits.

Keywords: Metaverse, Meta Universe, Quantum Computing, Quantum Technologies, Quantum Computers

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji, dijital dünyayı ve sanal gerçekliği, gerçek hayatın bir parçası haline getirerek birçok alanda inovasyon yaratmıştır. Bu teknolojilerden biri de kuantum mekanikine dayanan kuantum teknolojileridir. Kuantum teknolojileri, parçacıkların ilginç özelliklerini kullanarak, geleneksel teknolojilerin sınırlarını aşarak daha hızlı, daha güvenli ve daha güçlü hesaplama, iletişim ve veri saklama imkanları sunmaktadır. Bu teknolojiler, sadece bilgi işlem ve iletişim alanlarında değil, aynı zamanda enerji, finans, sağlık, lojistik, çevre koruma ve daha birçok sektörde de etkilerini göstermektedir.

Kuantum teknolojilerinin en son kullanım alanlarından biri de “meta evren” olarak bilinen dijital bir dünya olan sanal gerçeklik veya dijital evrenlerdir. Meta evren, çeşitli cihazlar aracılığıyla erişilebilen, büyük ölçekli bir sanal gerçeklik ortamıdır. Bu dijital evrenler, gerçek hayatta mümkün olmayan sanal etkileşimleri ve aktiviteleri mümkün kılarak birçok sektörde inovasyon yaratabilirler.

Bu makalede, kuantum teknolojilerinin meta evren üzerindeki etkisi incelenecektir. Öncelikle, kuantum teknolojilerinin temelleri ve bu teknolojilerin meta evren üzerindeki potansiyel uygulamaları hakkında bir genel bakış verilecektir. Ardından, bu teknolojilerin sağlık, enerji, finans, çevre koruma, lojistik ve yapay zekâ gibi farklı sektörlerdeki potansiyel uygulamaları tartışılacaktır. Aynı zamanda, makalede ele alınan alt başlıklar, bu teknolojilerin sektörel açıdan analizi, matematiksel ve teorik modellere dayalı yorumları, artıları ve eksileri, uygulanabilir algoritmalar gibi konuları içermektedir; bu teknolojileri geleceğin ortak teknolojileri olarak değerlendirilebilir. Özetle, kuantum teknolojilerinin meta evren üzerindeki etkileri ve bu teknolojilerin gelecekteki potansiyel gelişimi hakkında bir değerlendirme sunulacaktır. Bu makale, kuantum teknolojilerinin meta evren üzerindeki etkisi hakkında akademik bir çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu çalışma, kuantum teknolojileri ve meta evrenin birlikte kullanımının inovasyon, gelişim ve gelecekteki potansiyel uygulamalarının incelenmesi açısından önemlidir ve Türkçe literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR

Özellikle son yıllarda daha çok bahsedilen meta evren terimi, kuantum teknolojisi ile birlikte anıldığı çalışmalar literatürde birçok örnekle yer almaktadır. Bazıları şöyledir;

Kwon ve arkadaşları 2022'de yapmış oldukları çalışmada, Kuantum uygulamasının tüm olası durumlarının kapsamlı ve ayrıntılı bir incelemesini önermişlerdir. Ayrıca, hibrit Kuantum çekirdek yapısından bahsederek, optimize edilmiş bir doğrusal istatistiksel yöntemi açıklamışlardır. Aynı zamanda, Metaverse uygulamalarının ölçeklenebilirliğini ve performansını iyileştirmek için bir model önermişlerdir [1].

Bajkoti ve arkadaşları 2023'de yayınlamış oldukları çalışmada, kuantum hesaplama ve metaverse'in sağlık ve tıp alanında kullanım alanlarından bahsetmişlerdir. Çalışmada kuantum bilişimin mevcut durumunun bir taslağını sunmaktadır. Sağlık hizmetleri ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda meta evrenin girişimcilik yanı tartışılmıştır [2].

Khalid ve arkadaşları 2023'de yayınlamış oldukları çalışmada, Metaverse kullanıcılarının sanal ortamlarla daha güvenilir ve güvenli bir şekilde etkileşime girmesini sağlaması için kuantum anlamsal iletişimi geliştirmeyi açıklamışlardır. Özellikle, kuantum gömme, kuantum makine öğrenimi, anlamsal iletişimi çıkarmak ve bunlarla ilgili kodlamalardan bahsetmişlerdir [3].

Chehimi ve ekibi 2023'teki çalışmalarında, meta evren ile ilgili kuantum teknolojilerinin potansiyeline ve son gelişmeleri araştırmışlardır. Özellikle, kuantum iletişim, hesaplama, algılama ve yapay zeka terimlerini açıklayarak meta evren ile ilgili kullanım yönlerini tartışmışlardır. Aynı zamanda, meta evren için dönüştürebilecek ve uygulanabilir kuantum araçlarından bahsedilmiştir [4].

Safari ve Kharrati 2023'teki çalışmalarıyla, Akıllı şehirlerde meta evren ve kuantum teknolojilerinin hibrit bir şekilde nasıl kullanılabileceğini tartışmışlardır. Bu konuyu ele almak için kuantum IoT teriminden bahsetmişlerdir. Bir başka metodoloji olarak, kuantum sinir ağları (QNN)'nı da incelemişler ve tüm bu oluşumların akıllı şehirler için ortak olan geleceklerinden bahsetmişlerdir [5].

Bu örneklerin yanı sıra, kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki etkisi hakkında birçok araştırma ve makale bulunmaktadır. Kuantum teknolojisi, meta evren simülasyonlarının daha hızlı, daha doğru ve daha verimli hale getirilmesine yardımcı olabilecek bir araç olarak görülmektedir.

3. META EVREN

Meta evren (Metaverse), farklı evrenlerin bir arada bulunduğu bir teorik kavramdır. Bu kavram, evrenlerin sonsuz sayıda var olabileceği ve her birinin kendine özgü fiziksel yasalarına sahip olabileceği fikrine dayanır. Meta evrenin varlığına dair hiçbir doğrudan kanıt yoktur, ancak bazı teoriler ve matematiksel modeller meta evrenin varlığını öngörmektedir [6]. Bu teoriler, farklı evrenlerin birbirleriyle etkileşime girdiğini ve bu etkileşimlerin gözlemlenebilir sonuçlar doğurabileceğini öne sürmektedir. Meta evren kavramı, bazı filozoflar ve bilim insanları tarafından farklı yorumlanmaktadır. Bazıları, meta evrenin varlığına ilişkin hiçbir somut kanıt olmadığı için, bu kavramın tamamen teorik bir kavram olduğunu ve gerçekliği yansıtmadığını savunmaktadır [7]. Diğerleri ise, meta evren kavramının, evrenin gizemlerini çözmede bir yol açabileceğine ve farklı evrenlerin keşfedilmesiyle insanlığın düşünce yapısını değiştirebileceğine inanmaktadır [8]. Meta evren kavramı, evrenin doğası ve evrende yaşayan varlıkların yerini anlamak için son derece önemlidir. Meta evren teorisi, evrende yaşayan varlıkların neden burada olduğunu ve evrenin neden var olduğunu anlamak için bir anahtar olabilir. Ancak, bu teori henüz tam olarak anlaşılamadığı için, meta evren kavramı hala birçok bilim insanı tarafından tartışmalı bir konu olarak görülmektedir. Meta evren kavramı, kuantum fiziği, kozmoloji ve genel görelilik gibi farklı alanlardan gelen teorilerin birleştirilmesiyle oluşmuştur. Kuantum mekaniği, evrenin mikroskobik ölçekte nasıl davrandığını açıklarken, genel görelilik evrenin büyük ölçekli yapısını açıklar [9]. Bu iki teori, evrenin farklı ölçeklerinde farklı davranışlar sergileyebileceğini öngörmektedir. Bazı meta evren modelleri, paralel evrenlerin olduğunu ve bu evrenlerin birbirlerinden bağımsız olarak var olabileceğini öne sürmektedir [10]. Diğer modeller ise evrenlerin birbirleriyle etkileşim içinde olduğunu ve

bu etkileşimlerin kozmik arka plan radyasyonu gibi gözlemlenebilir sonuçlar doğurabileceğini öne sürmektedir [11]. Meta evrenin varlığına dair en ilginç teorilerden biri, çoklu evrenler teorisidir [12]. Bu teoriye göre, herhangi bir anki evrenin yanı sıra, sonsuz sayıda başka evren de bulunmaktadır. Bu evrenler farklı fiziksel sabitlere, boyutlara veya kozmik olaylara sahip olabilirler. Çoklu evrenler teorisi, evrendeki sabitlerin doğru ayarlanması nedeniyle evrenin hayatı destekleyebilecek şekilde evrildiği fikrini ortaya atmaktadır [13]. Bu teoriye göre, evrende yaşayan akıllı varlıkların sayısının yüksek olmasının sebebi, evrenin birçok farklı versiyonunun varlığıdır. Bazı bilim insanlarına göre, meta evren kavramı, evrende yaşayan varlıkların yerini anlamak için bir anahtar olabilir. Örneğin, evrende yaşayan akıllı varlıkların sayısını tahmin etmek için kullanılabilir. Ayrıca, meta evren kavramı, evrenin doğasını anlamak için yeni bir perspektif sunabilir ve evrendeki gizemlerin çözülmesine yardımcı olabilir [8].

Ancak, meta evren kavramının felsefi, teorik ve bilimsel olarak hala tartışmalı bir konu olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, meta evren hakkındaki çalışmalar ve araştırmalar devam etmektedir. Ayrıca, meta evren kavramı, evrende meydana gelen olayların nedenlerini açıklamak için de kullanılabilir. Örneğin, evrende neden, neden evrenin genişlemesi hızlandığı gibi sorulara yanıt aramak için meta evren kavramından yararlanılabilir.

Özetle, meta evren kavramı, evrende yaşayan varlıkların ve evrenin doğasını anlamak için önemli bir araç olarak görülebilir. Ancak, meta evren hakkındaki çalışmaların henüz tamamlanmadığı ve bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

4. KÜANTUM TEKNOLOJİSİ

Kuantum teknolojisi, kuantum mekaniği prensiplerine dayalı olarak çalışan yeni bir teknoloji alanıdır. Kuantum mekaniği, atomik ve sub-atomik düzeydeki parçacıkların davranışını açıklamak için geliştirilmiş bir teodir. Kuantum mekaniğindeki temel prensipler arasında **süperpozisyon** [14], **dolanıklık (entanglement)** [15,16], **belirsizlik ilkesi** [17] ve **kuantum durumların çökmesi** [18] yer alır.

Kuantum teknolojisi, bu prensipleri kullanarak yeni ve gelişmiş teknolojiler geliştirmek için çalışır. Örneğin, kuantum bilgisayarları, geleneksel bilgisayarlardan çok daha hızlı ve güçlü hesaplamalar yapabilirler. Kuantum şifreleme sistemleri, daha güvenli veri iletimi sağlar ve kuantum sensörler, geleneksel sensörlere göre çok daha hassas ölçümler yapabilirler. Kuantum teknolojinin diğer alanlardaki uygulamaları arasında kuantum iletişim, kuantum telemetri, kuantum simülasyonu, kuantum metrolojisi ve kuantum mühendisliği yer alır.

Kuantum teknolojisi, birçok avantaj sunar. Örneğin, kuantum bilgisayarları, karmaşık hesaplamaları çok daha hızlı yapabilen paralel hesaplama özellikleri ile geleneksel bilgisayarlardan çok daha hızlıdır. Kuantum şifreleme sistemleri, daha güvenli bir şekilde veri iletimi sağlar ve kuantum sensörleri, özellikle tıp ve çevre alanlarında kullanılan geleneksel sensörlere göre çok daha hassas ölçümler yapabilirler.

Ancak kuantum teknolojisi aynı zamanda bazı zorluklar ve riskler de taşır. Kuantum bilgisayarları, hassas verilerin çözülmesine olanak tanıdığı için siber güvenlik sorunlarına yol açabilirler. Kuantum bilgisayarlarının güçlü hesaplama özellikleri, bazı kriptografi yöntemlerinin etkisiz hale gelmesine yol açabilir. Ayrıca, kuantum sensörlerin kullanımı ve ölçümleri, çoğu kez çok karmaşık ve pahalıdır.

Kısacası, kuantum teknolojisi, birçok avantajlı uygulamalar sunarken aynı zamanda bazı riskler de taşır. Ancak, ilerleyen teknolojik gelişmelerle birlikte, kuantum teknolojinin daha fazla uygulama alanı bulması ve bu risklerin azaltılması veya ortadan kaldırılması beklenmektedir.

5. KÜANTUM TEKNOLOJİSİNİN META EVREN ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Kuantum teknolojisi, kuantum mekaniği temelinde geliştirilen ve klasik bilgisayarlarla mümkün olmayan hesaplama ve iletişim yöntemleri sunan bir teknolojidir. Bu teknolojinin meta evren üzerindeki etkisi, özellikle kriptografi, bilgisayarların hızı ve hassasiyeti, veri depolama, doğal kaynakların daha etkili kullanımı, yapay zekâ, tıp ve çevre gibi birçok alanda olabilir. Aynı zamanda, birçok farklı sektörü etkileyebilir ve bu etkiler farklı şekillerde açıklanabilir. Çizel-

ge 1’de kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki etkisine örnek olabilecek sektörel açıdan potansiyel etkilerine bazı örnekler verilmiştir.

Bu çizelge, kuantum teknolojisinin farklı sektörler üzerindeki potansiyel etkilerini açıklamak için genel bir bakış sunmaktadır. Her sektör, kuantum teknolojisinin sunduğu fırsatları ve potansiyel zorlukları farklı şekillerde deneyimleyecektir ve bu etkiler gelecekteki araştırmalar ve uygulamalarla daha da netleşecektir. Aynı zamanda, her sektörde meta evren teorilerinin dikkate alınması, gelecekteki araştırmaların ve uygulamaların daha karmaşık hale gelmesine neden olabilir.

Söz konusu meta evren, sağlık alanında pek çok fırsat sunabilir. Örneğin, uzaktan sağlık hizmetleri sağlamak için kullanılabilir.

Kuantum teknolojisi ile entegre edilmiş meta evren, sağlık hizmeti sunucuları ile hastalar arasında etkileşimde bulunarak, doktor randevularını, uzaktan muayeneleri ve tıbbi danışmanlığı gerçekleştirebilir. Ayrıca, sanal gerçeklik [20] ve artırılmış gerçeklik [21] teknolojileri kullanılarak,

hastalara tıbbi prosedürler ve tedaviler hakkında daha iyi bir anlayış kazandırılabilir. Örneğin, bir sanal gerçeklik ortamında, hastalara cerrahi operasyonların nasıl gerçekleştirildiği ve bir tedavi sürecinde nelerin olacağı hakkında detaylı bir şekilde bilgi verilebilir. Bu şekilde hastalar, tedavi sürecine daha hazırlıklı ve bilinçli bir şekilde girebilirler. Ayrıca, meta evren teknolojisi, fiziksel aktivite ve egzersizleri teşvik etmek için kullanılabilir. Sanal gerçeklik spor oyunları, fitness uygulamaları ve egzersiz programları, insanları motive etmek ve onların sağlık ve fitness hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmak için kullanılabilir.

Bir başka açıdan meta evren, iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi çevre sorunlarıyla mücadele konularına daha iyi çözümler üretmek için kullanılabilir. Meta evren ve kuantum teknolojilerinin birlikte kullanımı, çevre koruma alanında daha hızlı, daha doğru ve daha sürdürülebilir çözümler sunabilir. Örneğin, çevre sorunlarına yönelik bilinçlendirme kampanyaları, eğitim programları ve simülasyonlar için bir platform sağlayabilir. Meta evren tabanlı bir uygulama,

Çizelge 1. Meta evrenin sektörel açıdan incelenmesi

Sektör	Etki ve Açıklamalar
Bilgisayar ve Bilişim	Kuantum bilgisayarlar, karmaşık hesaplama problemlerini hızlı bir şekilde çözebilmekte, bu da yapay zeka, veri analitiği ve kriptanaliz gibi alanlarda büyük potansiyel sağlamaktadır. Meta Evren bağlamında, çoklu evrenlerdeki verilerin işlenmesi ve analizi için kullanılabilir, bu da özellikle büyük veri analizinde önemlidir.
İletişim ve Kriptografi	Kuantum iletişim, güvenli ve izinsiz erişime karşı dirençli iletişim sağlayabilir. Kuantum anahtar dağıtımı, güvenli iletişimde önemli bir rol oynamaktadır [19]. Meta Evren teorileri, iletişim sırasında farklı evrenlerdeki sonuçları hesaba katma gerekliliği getirebilir ve iletişim güvenliğini daha karmaşık hale getirebilir.
Malzeme Bilimi	Kuantum teknolojisi, yeni malzemelerin tasarımını ve simülasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu, enerji depolama, süperiletkenlik ve nanoteknoloji gibi alanlarda yeni keşiflere yol açmaktadır. Meta Evren bağlamında, farklı evrenlerdeki malzeme özelliklerinin anlaşılması için kullanılabilir.
Sağlık ve İlaç	Kuantum bilgisayarlar, biyokimyasal süreçleri daha iyi anlamamıza ve ilaç keşfini hızlandırmamıza yardımcı olabilmektedir. Aynı zamanda hastalıkların daha iyi teşhis edilmesine ve tedavi edilmesine yönelik yeniliklere yol açabilmektedir. Meta Evren teorileri, farklı evrenlerdeki sağlık sonuçlarını incelemek için kullanılabilir.
Ulaşım ve Lojistik	Kuantum optimizasyon algoritmaları, ulaşım ve lojistik sektöründe daha verimli rota çözümleri ve kaynak kullanımı sağlamaktadır. Bu, yakıt tasarrufu ve karbon ayak izini azaltma potansiyeli taşır. Meta Evren bağlamında, farklı evrenlerdeki ulaşım koşulları dikkate alınabilir.
Enerji ve Çevre	Kuantum teknolojisi, enerji üretimi ve depolama yöntemlerini iyileştirebilir, bu da sürdürülebilir enerjiye geçişi hızlandırabilir. Aynı zamanda çevresel izleme ve doğal kaynak yönetiminde kullanılabilir. Meta Evren teorileri, enerji ve çevre politikalarını daha karmaşık hale getirebilir.
Finans ve Ekonomi	Kuantum bilgisayarlar, finansal tahminler, risk yönetimi ve portföy optimizasyonu gibi finansal işlemlerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda kripto para ve blockchain teknolojilerini etkilemektedir. Meta Evren bağlamında, finansal kararların farklı evrenlerdeki sonuçlarını analiz etmek önemlidir.
Savunma ve Güvenlik	Kuantum teknolojisi, şifreleme çözümlemesine yönelik tehditlerin yanı sıra güvenli iletişim ve casusluk alanlarında savunma ve güvenlik uygulamalarını etkileyebilir. Meta Evren teorileri, güvenlik stratejilerinin farklı evrenlerdeki sonuçlarını hesaba katma gerekliliği getirebilir.

insanların evlerinde geri dönüşüm yaparken ne kadar enerji tasarrufu yaptıklarını veya bir orman yangını durumunda neler yapmaları gerektiğini öğrenmelerine yardımcı olabilir. Ayrıca, meta evren tabanlı simülasyonlar, çevre felaketlerine hazırlık eğitimlerinin verilmesi veya yeni çevre politikalarının test edilmesi gibi alanlarda da kullanılabilir.

Kuantum teknolojisi ve meta evren teknolojisi birlikte kullanıldığında, finansal sektörde daha büyük fırsatlar ortaya çıkabilir. Örneğin, kuantum hesaplamaları ile risk yönetimi, portföy yönetimi ve ticaret işlemleri daha hızlı ve daha hassas hale getirilirken, meta evren teknolojisi ile müşteriler daha iyi bilgilendirilebilir ve finansal hizmetler daha anlaşılır hale getirilebilir. Ancak, bu teknolojilerin kullanımı, finansal sektördeki gizlilik, güvenlik ve düzenleyici gereklilikler gibi birçok zorlukla da karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle, finansal kuruluşlar, bu teknolojileri kullanmadan önce iyi bir risk analizi yapmalı ve uygun güvenlik önlemlerini almalıdır.

Kuantum teknolojisinin potansiyel etkilerine ek olarak, bu teknolojinin meta evren üzerindeki etkisi, bazı riskler de içerebilir. Özellikle kuantum bilgisayarları, kriptografi ve siber güvenlik açısından yeni riskler taşıyabilir. Örneğin, kuantum bilgisayarları klasik kriptografi algoritmalarını kolayca çözebilirler, bu da kriptografik anahtarların güvenliğini tehlikeye atabilir [22]. Bununla birlikte, kuantum teknolojisi geliştikçe, bu risklerin de farkındalığı artmaktadır. Kuan-

tum güvenlik protokolleri ve kuantum güvenli kriptografi algoritmaları gibi yeni güvenlik çözümleri de geliştirilmektedir. Ayrıca, kuantum bilgisayarlarının bazı geleneksel şifreleme yöntemlerini kırma potansiyeli, iletişim güvenliğini tehdit edebilir. Meta Evren teorileri, bu tür saldırıların sonuçlarını daha karmaşık bir şekilde ele alabilir, çünkü farklı evrenlerdeki etkiler farklı olabilir. Bu nedenle, kuantum teknolojisinin meta evren bağlamında güvenlik açısından ele alınması gereklidir. Çizelge 2'de kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki etkisi ele alındığında dikkat edilmesi gereken potansiyel riskleri özetlenmiştir.

Bu çizelge, kuantum teknolojisinin Meta Evren üzerinde potansiyel risklerini özetlemektedir. Bu riskler, teknolojinin hızlı gelişimine ve Meta Evren teorilerine dayalı karmaşık hesaplamalara dayanmaktadır. Bu nedenle, bu potansiyel risklerin daha fazla araştırılması ve yönetilmesi önemlidir.

Özetle, meta evrenin kuantum teknolojisi üzerindeki etkisi, bu teknolojinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında oldukça yararlı olabilir. Bu simülasyonlar, kuantum bilgisayarların gerçek dünya uygulamaları için daha iyi hazırlanmalarına yardımcı olabilir ve birçok alanda daha doğru sonuçlar elde edilmesine yol açabilir. Ancak, bu teknolojinin gelişimi, güvenlik riskleri de içerebilir ve bu risklerin de farkında olunması gerekmektedir.

Çizelge 2. Meta evran üzerinde kuantum teknolojilerinin potansiyel riskleri.

Riskler	Açıklamalar
Güvenlik Riskleri	Kuantum bilgisayarlar, klasik şifreleme yöntemlerini etkileyebilir ve bu da çevrimiçi iletişimlerin ve hassas verilerin güvenliğini tehlikeye atabilir. Meta Evren teorileri bağlamında, şifrelenmiş verilerin farklı evrenlerdeki güvenliği daha karmaşık hale gelebilir.
Kriptoanaliz Tehditleri	Kuantum bilgisayarlar, kriptografik algoritmaları daha hızlı bir şekilde kırmak için kullanılabilir, bu da dijital güvenliği tehdit edebilir. Büyük sayıları hızla çarpanlarına ayırma yetenekleri, kripto paraların ve dijital kimliklerin tehlikede olmasına neden olabilir.
Veri Gizliliği Sorunları	Meta Evren teorileri, çoklu evrenlerdeki verilerin işlenmesi ve analizi gerektirebilir, bu da veri gizliliği sorunlarını artırabilir ve kişisel bilgilerin korunmasını zorlaştırabilir.
Etik Sorumluluklar	Etik sorumluluklar ön plana çıkabilir. Farklı evrenlerdeki sonuçların ve etkilerin hesaba katılması gerekebilir, bu da etik açıdan karmaşık durumlar yaratabilir.
Bilgi Yönetimi Zorlukları	Meta Evren teorileri, bilgi yönetimi ve analizini karmaşılaştırabilir. Farklı evrenlerdeki verilerin düzgün bir şekilde yönetilmesi ve yorumlanması gerekebilir.
Teknolojik Denge Bozulması	Teknolojik dengenin bozulması ortaya çıkabilir. Bazı sektörler daha hızlı ilerleyebilirken diğerleri geride kalabilir, bu da ekonomik ve sosyal dengesizliklere yol açabilir.

5.1. Bazı Matematiksel ve Teorik Modeller

Kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki etkisine dair bazı matematiksel ve teorik modeller bulunmaktadır. Bu matematiksel ve teorik model ve örnekler, kuantum teknolojisi ve kuantum kuramları çerçevesinde meta evrenin doğası ve davranışları hakkında farklı bakış açıları sunmaktadır. Örnek olarak:

- **Kuantum Bilgi İşlem (Quantum Computing)** : Kuantum bilgisayarlar, geleneksel bilgisayarlardan çok farklıdır. Kuantum bilgisayarlar, kuantum mekaniği temelli işlemler yapabilen özel donanımlı bilgisayarlardır. Bu bilgisayarların meta evren üzerindeki etkisi, kuantum paralellik ve kuantum ayrışması gibi kuantum özelliklerini kullanarak daha hızlı ve daha verimli hesaplamalar yapabilme kapasitesine dayanmaktadır [23].
- **Çoklu Evren Yorumu (MWI - Many-Worlds Interpretation)** : Hugh Everett tarafından geliştirilen çoklu evren yorumu, kuantum mekaniğinin bir yorumudur ve meta evren konsepti ile yakından ilişkilidir. Bu yorum, kuantum mekaniği evrenin birçok farklı versiyonunu içerdiğini ve her bir versiyonun ayrı bir evren olarak var olduğunu öne sürmektedir [24].
- **Wheeler-DeWitt Denklemi (Wheeler-DeWitt Equation)** : Kuantum yerçekimi alanında, Wheeler-DeWitt denklemi meta evren hakkında bazı matematiksel modeller sağlar. Bu denklem, ev-

renin çizgili yapısını açıklamaya çalışır ve kuantum yerçekimi, evrenin geometrisi ve zamanın doğası gibi konuları içermektedir [25].

- **Matematiksel Evren Hipotezi (Mathematical Universe Hypothesis)** : Max Tegmark'ın önerdiği Matematiksel Evren Hipotezi, evrenin matematiksel bir yapıya sahip olduğunu ve bu matematiksel yapının evrende gerçekleşen tüm olayları belirlediğini öne sürer. Bu hipotez, evrenin matematiksel olarak açıklanabileceği ve meta evren kavramı ile bağlantılıdır [26].
- **Kuantum Teleportasyonu (Quantum Teleportation)** : Kuantum teleportasyonu, bir kuantum sisteminin bir yerden diğerine taşınması işlemidir. Bu işlem, kuantum bilgisayarların meta evren üzerindeki etkisini araştırmak için kullanılabilir. Örneğin, kuantum teleportasyonu, meta evren içindeki farklı versiyonlar arasında bilgi transferi yapmak için kullanılabilir [27].
- **Kuantum Ayrışması (Quantum Decoherence)** : Kuantum ayrışması, bir kuantum sisteminin çevresiyle etkileşime girdiği ve bu etkileşim sonucu kuantum özelliklerinin kaybolduğu bir süreçtir. Bu süreç önemlidir, çünkü kuantum ayrışması, bir kuantum sisteminin belirli bir versiyonunun diğer versiyonlardan ayrılmasını sağlayabilir [28,29].
- **Kuantum Alan Kuramı (Quantum Field Theory)** : Kuantum alan kuramı, kuantum mekaniği ve özel görelilik kuramlarının birleştirilmesiyle

Çizelge 3. Üstünlükleri ve Eksiklikleri

Üstünlükleri	Eksiklikleri
Kuantum bilgisayarların meta evren simülasyonları, gerçek dünya uygulamaları için daha iyi hazırlanmalarına yardımcı olabilir. Bu simülasyonlar, gerçek dünyadaki koşulları taklit edebildiği için, kuantum bilgisayarların gerçek dünyadaki performanslarını daha doğru bir şekilde ölçebilirler.	Kuantum teknolojisi henüz gelişim aşamasında olduğu için, meta evren simülasyonlarındaki sonuçların gerçek dünya uygulamalarındaki sonuçlarla tam olarak örtüşmeyebilir. Bu nedenle, kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki kullanımının gerçek dünya uygulamalarına uyarlanması, daha fazla çalışma ve test gerektirebilir.
Meta evren simülasyonları, kuantum bilgisayarların daha hızlı ve daha verimli olmalarını sağlayabilir. Bu da, kuantum bilgisayarların daha karmaşık sorunları daha hızlı bir şekilde çözmelerine yardımcı olabilir.	Meta evren simülasyonları, yüksek işlem gücü gerektirdiği için, kuantum bilgisayarların daha da geliştirilmesini gerektirebilir. Bu da, kuantum teknolojisinin daha pahalı olmasına yol açabilir.
Meta evren simülasyonları, kuantum bilgisayarların daha doğru sonuçlar vermesini sağlayabilir. Bu, özellikle tıp ve finansal sektör gibi doğru sonuçların hayati önem taşıdığı alanlarda oldukça yararlı olabilir.	Kuantum teknolojisi, sınırlı bir sayıda problemi çözebilen bir teknolojidir. Bu nedenle, meta evren simülasyonları da sınırlı bir sayıda problemi çözebilir. Bu, özellikle geniş ölçekli simülasyonlar için bir dezavantaj olabilir.
Kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki kullanımı, daha önce çözilemeyen sorunların çözülmesine yol açabilir. Bu da, yeni keşiflerin ve inovasyonların ortaya çıkmasına yardımcı olabilir.	Kuantum teknolojisinin potansiyel olarak tehlikeli uygulamaları da vardır. Örneğin, kuantum bilgisayarların güçlü şifrelemeleri kırabilme potansiyeli, veri güvenliği açısından bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, kuantum teknolojisinin meta evren üzerindeki kullanımı dikkatle düşünülmeli ve güvenlik önlemleri alınmalıdır.

oluşan bir kuramdır. Bu kuram, temel parçacıkların davranışlarını açıklamakta ve evrenin en küçük ölçeklerindeki olayların modellenmesinde kullanılmaktadır [30].

Bu kuramlar, kuantum dünyasının meta evren üzerindeki etkisini anlamamızı sağlar ve evrenin temel yapısını ve oluşumunu daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır.

5.2. Üstünlük ve Eksiklikleri

Kuantum Teknolojisinin Meta Evren Üzerindeki Etkisi hakkında artılar ve eksiler Çizelge 3'de özetlenmiştir.

5.3. Algoritmalar: Grover ve Shor Algoritmaları

Kuantum teknolojisi, meta evren üzerinde çalışmak için geliştirilecek bir araç olduğu düşünüldüğünde, bu alandaki araştırmalar genellikle matematiksel ve teorik modeller üzerine odaklanmıştır. Dolayısıyla, bu alandaki araştırmaların kodlama çalışmaları genellikle yazılım geliştirme veya bilgisayar programlama alanlarındaki geleneksel kodlama çalışmaları gibi değildir. Bununla birlikte, kuantum teknolojisi ve meta evren arasındaki bağlantılar hakkında çalışmalar yapan araştırmacılar, kuantum algoritmaları veya kuantum simülasyonları geliştirmek için kodlama becerilerine sahip olmaları gerekir.

Örneğin, kuantum simülasyonları genellikle kuantum devreleri ve kuantum algoritmaları gibi araçları kullanır. Bu tür çalışmalar için araştırmacıların kuantum dolanıklığı ile ilgili teorik modelleri simüle etmeye yarayacak kuantum programlama ile ilgili geliştirilmiş araçlar kul-

lanmaktadır. Bunlara örnek verilecek olursa;

- Python programlama dilinde bir kütüphane olan QuTiP (Quantum Toolbox in Python) [31]
- IBM tarafından geliştirilen Qiskit [32]
- Kuantum bilişim sektöründe öncü olan D-Wave tarafından geliştirilen Ocean yazılımı [33]
- Microsoft tarafından geliştirilen Q# [34]
- Google tarafından geliştirilen Cirq [35] 'dir.

Meta evren, kuantum bilgisayarlarının etkili bir şekilde kullanılabileceği bir platformdur. Bu açıdan incelenecek olursa kuantum programlama da sıklıkla kullanılan Grover ve Shor algoritmaları'nın bu alanda uygulanabilirliği öne çıkmaktadır.

[36], büyük veri kümelerinde hızlı bir şekilde arama yapabilen bir kuantum algoritmasıdır. Meta evren gibi büyük veri kümeleri üzerinde de kullanılabilir. Örneğin, meta evren içerisinde bir nesne aranıyor ise, Grover algoritması kullanılarak bu arama işlemi kuantum bilgisayarlar ile daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir.

[37] ise, RSA gibi popüler şifreleme algoritmalarını kırmak için kullanılabilen bir kuantum algoritmasıdır. Meta evren gibi dijital dünyalarda da güvenliği sağlamak için kriptografi kullanılır ve Shor algoritması da bu alanda önemli bir rol oynayabilir. Örneğin, bir meta evren platformunda kullanılan şifreleme algoritmaları, Shor algoritması tarafından kırılabilir ve kullanıcıların verileri tehlikeye atılabilir.

Çizelge 4. Grover ve Shor algoritmalarının karşılaştırılması.

Özellik	Grover Algoritması	Shor Algoritması
Temel İşlev	Veritabanlarında hızlı bir şekilde belirli bir hedefi bulma ve tespit etme amacı taşır.	Büyük sayıları çarpanlarına ayırmak için kullanılır ve bu nedenle RSA gibi klasik şifreleme yöntemlerini etkileyebilir.
Hızlandırma Faktörü	Klasik algoritmalarla göre kökten karesi kadar hızlandırma sağlar, yani $O(\sqrt{N})$ karmaşıklığına sahiptir.	Büyük sayı çarpanlarına ayırma işleminde, klasik algoritmaların üstesinden gelmek için kullanıldığında büyük hızlandırmalar sağlar ve böylece $O(N^3)$ karmaşıklığını $O((\log N)^3)$ veya daha iyi bir karmaşıklığa indirir.
Kullanım Alanları	Arama problemleri ve veritabanı sorgulamaları için kullanışlıdır.	Büyük sayıları çarpanlarına ayırmak ve bu nedenle kriptografiyi etkilemek için kullanılır. Özellikle RSA şifrelemesi gibi klasik şifreleme yöntemlerini kırmak için kullanılabilir.
Klasik Bilgisayarlara Göre Dezavantajlar	Bazı özel durumlarda klasik algoritmaların hızına erişebilir, ancak genel olarak sınırlı hızlandırma potansiyeline sahiptir.	Klasik algoritmaların çok daha yavaş olduğu problemlerde büyük hızlandırmalar sağlar. Bu, şifrelenmiş verilerin güvenliğini tehdit edebilir.

Çizelge 4’de Grover ve Shor algoritmalarının temel özellikleri ve farklılıkları verilmiştir.

Bu çizelge, Grover ve Shor algoritmalarının ana özelliklerini ve farklarını özetlemektedir. Her iki algoritma da kuantum bilgisayarlarının potansiyelini gösterirken, farklı türde problemler için optimize edilmişlerdir. Grover, arama problemleri ve veritabanı sorgulamaları gibi genel kullanımlar için uygundurken, Shor, büyük sayıları çarpanlarına ayırma işlemi ve klasik şifreleme yöntemlerini çözme konusunda büyük bir etki potansiyeline sahiptir.

Tabloda karşılaştırılan Grover ve Shor algoritmaları, kuantum teknolojinin Meta Evren üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olacak önemli araçlardır. Grover algoritması, veritabanlarında hızlı bir şekilde hedefleri bulma ve tespit etme konusunda kullanışlıdır ve bu, çoklu evrenlerdeki verilerin analizi gibi genel kullanımlar için büyük potansiyel taşır. Öte yandan, Shor algoritması büyük sayıları çarpanlarına ayırmada büyük hızlandırmalar sağlar ve klasik şifreleme yöntemlerini etkileyebilir, bu da Meta Evren teorileri bağlamında şifrelenmiş verilerin güvenliğini daha karmaşık bir hale getirebilir. Dolayısıyla, bu algoritmaların Meta Evren üzerindeki etkileri, özellikle güvenlik, iletişim ve veri analizi gibi alanlarda daha fazla araştırma gerektirir. Kuantum teknolojinin bu potansiyel etkilerini anlamak ve yönetmek, gelecekteki araştırmalar ve teknolojik gelişmeler için kritik bir konu olacaktır.

Bu örnekler meta evren ile ilişkilendirilebilir, çünkü metaverse, dijital bir dünya olarak, fiziksel dünyanın matematiksel modelleri ve yapısı üzerine kuruludur. Kuantum teknolojilerinin etkileri de doğal dünyanın matematiksel modellenmesine dayanmaktadır. Bu nedenle, kuantum teknolojilerinin kullanımı, meta evren’de kullanılan matematiksel yapıların işlevselliğini azaltabilir veya değiştirebilir. Örneğin, kuantum süperpozisyonu ve kuantum dolanıklığı gibi kuantum mekaniksel özellikler, matematiksel algoritmaların ve yapay zeka modellerinin işleyişini değiştirebilir veya optimize edebilir. Bu nedenle, meta evren içindeki matematiksel modellerin kuantum teknolojilerine adapte edilmesi, daha etkili ve verimli dijital dünya deneyimleri suna-

bilir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu makale, kuantum teknolojinin meta evren üzerindeki potansiyel etkilerini incelenmiştir. Meta evren, sanal dünyaların ve gerçek dünya arasındaki köprü görevi gören bir alan olarak tanımlanmaktadır. Kuantum teknolojisi ise, kuantum mekaniği kurallarına dayalı olarak geliştirilen ve geleneksel teknolojilere göre daha hızlı ve güçlü hesaplama ve iletişim imkanları sunan bir teknolojidir. Kuantum teknolojisi, bilim ve teknoloji dünyasında büyük bir devrim yaratmıştır. Bu teknoloji, çoklu evrenler ve meta evren teorileri ile ilginç bir kesişme noktası oluşturur. Kuantum hesaplama, Meta Evren teorilerinin daha derinlemesine anlaşılmasına olanak tanır. Kuantum iletişimin çoklu evrenlerdeki rolü düşünüldüğünde ise, kuantum iletişim, kuantum mekaniği özelliklerini kullanarak iletişim güvenliğini artırma amacını taşır. Kuantum dolanıklık gibi özellikler, iletişim sırasında bilginin izinsiz erişime karşı korunmasına yardımcı olur. Bu, çoklu evrenlerdeki iletişimi daha güvenli hale getirebilir ve meta evren teorileri ile birleştğinde farklı evrenlerdeki iletişim sonuçlarını daha karmaşık bir şekilde düşündürür.

Geleceğin ortak teknolojileri olarak nitelendirebileceğimiz bu teknolojiler hakkında makalede incelenen alt başlıklar da; bu teknolojilerin sektörel açıdan incelenmesi, bazı matematiksel ve teorik modeller bakımından yorumlanması, üstünlük ve eksiklikleri, kullanılabilecek algoritmalar gibi konular yer almıştır.

Sonuç olarak, kuantum teknolojinin meta evren üzerindeki etkileri oldukça önemli ve umut vericidir. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ile birlikte, meta evrenin kullanım alanı daha da genişleyerek, daha gelişmiş sanal dünyaların ve daha verimli gerçek dünyanın oluşması sağlanabilir. Ayrıca, bu çalışma ile Türkçe literatüre de katkı sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Kwon H-J, El Azzaoui A, Park JH. MetaQ: A Quantum Approach for Secure and Optimized Metaverse Environment. *Human-Centric Computing and Information Sciences* 2022;12:42. <https://doi.org/10.22967/HICIS.2022.12.042>.
- [2] Bajkoti AS, Tiwari S, Ranjan T, Bisht RS, Mittal A. Role of Quantum Computing and Metaverse in the Field of Healthcare and Medicine 2023:306–11. <https://doi.org/10.1109/ICIR-CA57980.2023.10220921>.
- [3] Khalid U, Ulum MS, Farooq A, Duong TQ, Dobre OA, Shin H. Quantum Semantic Communications for Metaverse: Principles and Challenges. *IEEE Wirel Commun* 2023;30:26–36. <https://doi.org/10.1109/MWC.002.2200613>.
- [4] Chehimi M, Hashash O, Saad W. The Roadmap to a Quantum-Enabled Wireless Metaverse: Beyond the Classical Limits. 2023 5th International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications, ACTEA 2023 2023:7–12. <https://doi.org/10.1109/ACTEA58025.2023.10194017>.
- [5] Safari A, Kharrati H. Application of Optical Wireless Communications in IoT Devices of Smart Grids within Smart Sustainable Cities: With Hybrid Perspectives to Metaverse & Quantum IoT. 2023 8th International Conference on Technology and Energy Management, ICTEM 2023 2023. <https://doi.org/10.1109/ICTEM56862.2023.10083835>.
- [6] Wang X, Wang J, Wu C, Xu S, Ma W. Engineering Brain: Metaverse for future engineering. *AI in Civil Engineering* 2022 1:1 2022;1:1–18. <https://doi.org/10.1007/S43503-022-00001-Z>.
- [7] Nevelsteen KJL. Virtual world, defined from a technological perspective and applied to video games, mixed reality, and the Metaverse. *Comput Animat Virtual Worlds* 2018;29:e1752. <https://doi.org/10.1002/CAV.1752>.
- [8] Darkazanli I. The Metaverse and its implications on humanity and digital future 2022.
- [9] Capozziello S, De Martino S, De Siena S, Illuminati F, Di D, Fische S, et al. Quantum Signature of Cosmological Large Scale Structures 1998. <https://doi.org/10.48550/arxiv.gr-qc/9809053>.
- [10] Alam A, Mohanty A. Metaverse and Posthuman Animated Avatars for Teaching-Learning Process: Interperception in Virtual Universe for Educational Transformation. *Communications in Computer and Information Science* 2022;1737 CCIS:47–61. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23233-6_4/COVER.
- [11] Kamionkowski M, Kosowsky A. THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND AND PARTICLE PHYSICS. <https://doi.org/10.1146/AnnurevNucl49177> 2003;49:77–123. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.NUCL.49.1.77>.
- [12] Park J, Choi J, Kim S-L, Bennis M. Enabling the Wireless Metaverse via Semantic Multiverse Communication 2022. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2212.06908>.
- [13] Tegmark M. Parallel Universes 2003;288:40–51. <https://doi.org/10.2307/26060282>.
- [14] Friedman JR, Patel V, Chen W, Tolpygo SK, Lukens JE. Quantum superposition of distinct macroscopic states. *Nature* 2000 406:6791 2000;406:43–6. <https://doi.org/10.1038/35017505>.
- [15] Baaquie BE, Kwek L-C. Quantum Superposition and Entanglement. *Quantum Computers* 2023:107–30. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7517-2_5.
- [16] Horodecki R, Horodecki P, Horodecki M, Horodecki K. Quantum entanglement. *Rev Mod Phys* 2009;81:865–942. <https://doi.org/10.1103/REVMODPHYS.81.865/FIGURES/3/MEDIUM>.
- [17] Robertson HP. The Uncertainty Principle. *Physical Review* 1929;34:163. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.34.163>.
- [18] Weber SJ, Chantasri A, Dressel J, Jordan AN, Murch KW, Siddiqi I. Mapping the optimal route between two quantum states. *Nature* 2014 511:7511 2014;511:570–3. <https://doi.org/10.1038/nature13559>.
- [19] Song F. A note on quantum security for post-quantum cryptography. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 2014;8772:246–65. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11659-4_15/COVER.
- [20] Zheng JM, Chan KW, Gibson I. Virtual reality. *IEEE Potentials* 1998;17:20–3. <https://doi.org/10.1109/45.666641>.
- [21] Carmigniani J, Furht B. Augmented Reality: An Overview. *Handbook of Augmented Reality* 2011:3–46. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0064-6_1.
- [22] Fisher KAG, Broadbent A, Shalm LK, Yan Z, LaVoie J, Prevedel R, et al. Quantum computing on encrypted data. *Nature Communications* 2014 5:1 2014;5:1–7. <https://doi.org/10.1038/ncomms4074>.

- [23] Huang P-Hsin. The Quantum Technology of the Future-ENGINEERING & TECHNOLOGIES:Taiwan Research Highlight n.d. <http://140.122.64.105/en/article/content/271> (accessed March 14, 2023).
- [24] Review GB-EA, 2014 undefined. Quantum Horrors, Quantum Doom: Dangerous Consciousness in the Work of Greg Egan and Charles Stross. Taylor & Francis 2014;31:170–84. <https://doi.org/10.1080/10131752.2014.965429>.
- [25] Hume D. WHY IS THERE SOMETHING RATHER THAN NOTHING? Journey into Philosophy: An Introduction with Classic and Contemporary Readings 2016:206–7. <https://doi.org/10.4324/9781315623818-65>.
- [26] Ransford C. Immanence or Transcendence? A Mathematical View Immanence or Transcendence? A Mathematical View This is the full text of an article published under Open Source rules with the. Dialogo Journal 2016;2. <https://doi.org/10.18638/dialogo.2015.2.2.1>.
- [27] Cui Y. A Cross-Chain Protocol based on Quantum Teleportation for Underlying Architecture of Metaverse. 2022 7th International Conference on Computer and Communication Systems, ICCCS 2022 2022:508–12. <https://doi.org/10.1109/ICCCS55155.2022.9845967>.
- [28] Sui D, Shaw SL. New Human Dynamics in the Emerging Metaverse: Towards a Quantum Phygital Approach by Integrating Space and Place (Vision Paper). DROPS-IDN/16896 2022;240. <https://doi.org/10.4230/LIPICS.COSIT.2022.11>.
- [29] Rawal BS, Mentges A, Ahmad S. The Rise of Metaverse and Interoperability with Split-Protocol. Proceedings - 2022 IEEE 23rd International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science, IRI 2022 2022:192–9. <https://doi.org/10.1109/IRI54793.2022.00051>.
- [30] Joye SR. Ethical Implications Of a Virtual Reality Metaverse: The Pribram-Bohm Hypothesis 2016.
- [31] QuTiP - Quantum Toolbox in Python n.d. <https://qutip.org/> (accessed October 1, 2023).
- [32] Qiskit n.d. <https://qiskit.org/> (accessed October 1, 2023).
- [33] D-Wave Ocean Software Documentation — Ocean Documentation 6.5.0 documentation n.d. https://docs.ocean.dwavesys.com/en/stable/?_gl=1*1w7y867*_ga*MjA0MDUz-MTk0MS4xNjk2MTU2NzQ5*_ga_DXNKH-9HE3W*MTY5NjE1Njc0OS4xLjAuMTY5N-jE1Njc0OS42MC4wLjA. (accessed October 1, 2023).
- [34] Introduction to Q# & Quantum Development Kit - Azure Quantum | Microsoft Learn n.d. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/overview-what-is-qsharp-and-qdk> (accessed October 1, 2023).
- [35] Cirq | Google Quantum AI n.d. <https://quantumai.google/cirq> (accessed October 1, 2023).
- [36] Toyama FM, Van Dijk W, Nogami Y. Quantum search with certainty based on modified Grover algorithms: Optimum choice of parameters. Quantum Inf Process 2013;12:1897–914. <https://doi.org/10.1007/S11128-012-0498-0/METRICS>.
- [37] Ekert A, Jozsa R. Quantum computation and Shor's factoring algorithm. Rev Mod Phys 1996;68:733. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.68.733>.

"This page is left blank for typesetting"



HOLISTENCE
publications

Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır

Kuantum Veri Bilimine Giriş: Grover Arama Algoritması

Introduction to Quantum Data Science: Grover Search Algorithm

Ercan Çağlar 

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi, Çanakkale, Türkiye, e-mail: ercaglar@comu.edu.tr

Öz

Günümüzde verinin saklanması ve veriye erişim önemlidir. Arama algoritmalarının genel amacı veriye en kısa sürede ulaşmaktır. Bu makalede arama problemine kuantum mekaniği ile farklı bir bakış açısı getiren Grover arama algoritması incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Grover, Veri, Kuantum Arama Algoritması, Kuantum Hesaplama, Kuantum Bilgisayarlar

Abstract

Nowadays, storing and accessing data is important. The general purpose of search algorithms is to access data as quickly as possible. In this article, the Grover search algorithm, which brings a different perspective to the search problem with quantum mechanics, is examined.

Keywords: Grover, Data, Quantum Search Algorithm, Quantum Computing, Quantum Computers

Citation/Atf: ÇAĞLAR, E. (2023). Kuantum Veri Bilimine Giriş: Grover Arama Algoritması. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 29-34, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Ercan Çağlar
E-mail: ercaglar@comu.edu.tr



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. GİRİŞ

1980 yılında Benioff [1], Turing makineleri tarafından temsil edilen bilgisayarların kuantum mekaniği ilkelerine dayalı mikroskobik modelini oluşturmuştur. Feynman [2], 1982 yılında kuantum mekaniği ilkelerine dayanan bir bilgisayar fikrini ortaya atmıştır. Shor [3], geliştirdiği algoritma ile büyük sayıların çarpanlara ayrılma probleminin kuantum teknolojileri ile çözülebileceğini kanıtlamıştır. Klasik bilgisayarlar ile çözülmesi zor olan problemlerin kuantum bilgisayarlar ile çözülebileceği görülmektedir.

Klasik veri biliminde, doğrusal ve ikili arama algoritmaları kullanılmaktadır. Doğrusal arama, arama yapılacak listenin ilk elemanından başlanarak tüm elemanların tek tek karşılaştırılması ile yapılır. İkili arama ise daha önce sıralanmış listeler üzerinde çalışır. Aranan veri listenin ortasında bulunan eleman ile karşılaştırılır. Aranan verinin büyük ya da küçük olmasına göre listenin sağına ya da soluna yönelerek aynı şekilde arama devam eder [5]. N adet kayıttan oluşan sıralanmamış bir veri tabanından istenilen bir kayıta ulaşmak için neredeyse tüm kayıtların kontrol edilmesi gerekecektir. Algoritmanın istenilen veriye ulaşması $O(N)$ adımda olacaktır.

Kuantum mekaniği ilkelerine göre tasarlanmış bir sistem, dalga benzeri özelliklerinden dolayı aynı anda birden fazla işlem gerçekleştirebilmektedir. Grover [4] algoritması, kuantum teknolojileri kullanılarak bir veri tabanındaki istenilen veriye $O(\sqrt{N})$ adımda ulaşılacağını göstermektedir. Makalenin geri kalanı aşağıdaki gibi organize edilmiştir: Bölüm 2’de Grover algoritmasının çalışma prensibi örnek verilerek incelenmektedir. Bölüm 3’te Grover algoritmasının kullanım alanları tartışılarak bir sonuç sunulmaktadır.

2. GROVER ALGORİTMASI

Rastgele yerleştirilmiş N tane veri içerisinde istenilen bir veriye erişmek için neredeyse tüm verilerin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun en basit örneğini bir dizi olarak düşünülebilir. Dizinin elemanları, 0’dan $N-1$ ’e kadar indislerle sahiptir. Dizinin elemanları belirli bir kritere göre sıralanmamış olsun. Aranan verinin dizinin en son elemanı olduğu kabul edilsin. Aranan

verinin bulunması için tüm dizi elemanlarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

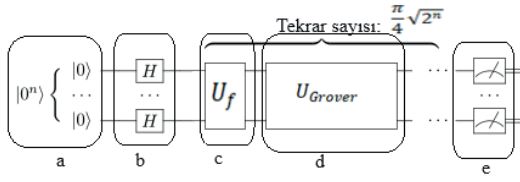
Klasik bilgi teknolojilerinde her kıyaslama işlemi için ayrı karşılaştırma yapılmaktadır. Kuantum bilgi teknolojilerinde ise süperpozisyon durumu sayesinde olası tüm durumlar aynı anda işleme tabi tutulabilmektedir. Kuantum mekaniği yasaları, bir kubitin süperpozisyonu olarak adlandırılan $|0\rangle$ ve $|1\rangle$ ’in bir kombinasyonu olmasına izin verir [6]. Her olası durum bir genliğe sahiptir. Genliğin karesi ise bize ölçüm sonucunda o durumun gelme olasılığını verir. Grover algoritmasının yapmış olduğu işlem ise aranan verinin genliğini yükseltmektir. Bu sayede ölçüm sonucunda aranan veri elde edilir.

Bir kubitlik bir kuantum durum için iki olası durum vardır. Süperpozisyon halindeki bu kuantum durum, $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ şeklinde gösterilir. α ve β genlik olarak adlandırılır. Genlikler, kuantum durumun $|0\rangle$ ya da $|1\rangle$ değerine sahip olma olasılıklarıdır. Genliklerin karesi toplamı 1’e eşit olmalıdır, yani $\alpha^2 + \beta^2 = 1$. n kubitlik bir kuantum durum ise 2^n olası duruma sahiptir.

tane veri içerisinde aranan veri $|x_a\rangle$ ile gösterilsin. Tüm veriler ise $|x\rangle = |x_0\rangle + |x_1\rangle + \dots + |x_{N-1}\rangle$ ile temsil edilebilir. Bu arama işlemine fonksiyonel olarak bakıldığında zaman tüm $|x\rangle$ ’ler için ve $f(x_a) = 1$ ve $f(x) = 0$ ’dır. Arama işlemi x_a için 1 değerini verirken diğer tüm durumlarda 0 değerini verecektir. $|x_a\rangle$ kuantum durumunu arama işlemi yapılırken girdi değerleri süperpozisyon durumuna $|x\rangle = |x_0\rangle + |x_1\rangle + \dots + |x_{N-1}\rangle$ getirilir. N tane kuantum durumun her biri kubit ile ikili sistemde temsil edilmektedir. $N = 2^n$ olduğuna dikkat edilmelidir.

Grover algoritması, Hadamard kapısı, U_f ve U_{Grover} operatörlerini kullanmaktadır. Hadamard kapısının matris gösterimi $H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ şeklindedir. $|0\rangle$ ya da $|1\rangle$ durumuna uygulandığı zaman kuantum durum süperpozisyon halini alır. $|0\rangle$ durumuna uygulanırsa, $\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$, $|1\rangle$ durumuna uygulanırsa $\frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$ elde edilir.

Şekil 1. Grover Algoritması Devresi



Grover algoritmasının adımları aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: n kubitlik bir kuantum durum oluşturulur (Şekil 1a).

Adım 2: n tane Hadamard kapısı uygulanır (Şekil 1b).

Adım 3: U_f operatörü uygulanır (Şekil 1c).

Adım 4: U_{Grover} operatörü uygulanır (Şekil 1d).

Adım 5: Adım 3 ve Adım 4, $4, \frac{\pi}{4}\sqrt{2^n}$ kez tekrarlanır.

Adım 6: Ölçüm yapılır (Şekil 1e).

Adım 1'de, $\frac{|0..0\rangle}{\sqrt{n}}$ şeklinde n kubitlik bir kuantum durum oluşturulur.

Adım 2'de, Grover algoritması süperpozisyon durumunu oluşturur. durumundaki tane başlangıç girdi kubitine adet Hadamard kapısı uygulanarak girdiler süperpozisyon durumuna getirilir.

$$H^{\otimes n} \frac{|0..0\rangle}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle \quad (1)$$

Denklem 1'de elde edilen kuantum süperpozisyon durumundaki olası tüm durumlar $\frac{1}{\sqrt{2^n}}$ genliğine sahiptir. Eşit genliğe sahip durumlar içerisinde $|x_a\rangle$ kuantum durumu aranmaktadır. Grover algoritmasının bundan sonraki adımları aranan durumun genliğini yükseltmeyi amaçlamaktadır. Bu sayede ölçüm sonucu aranan durum olacaktır.

Adım 3'de, Denklem 1'deki kuantum duruma operatörü U_f uygulanır. U_f operatörü Denklem 2'de gösterilmiştir.

$$U_f = \sum_{x=0}^{2^n-1} (-1)^{f(x)} |x\rangle\langle x| ; f(x) = \begin{cases} 0 & x \neq x_a \\ 1 & x = x_a \end{cases} \quad (2)$$

U_f operatörü uygulanarak aradığımız $|x_a\rangle$ kuantum durumunun genliği Denklem 3'deki gibi negatif hale getirilir.

$$|\psi'\rangle = U_f |\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{\substack{x=0 \\ x \neq x_a}}^{2^n-1} |x\rangle - \frac{1}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \quad (3)$$

Adım 4'de, Denklem 3'deki kuantum duruma U_{Grover} operatörü uygulanır. U_{Grover} operatörü Denklem 4'de gösterilmiştir.

$$U_{Grover} = 2|\psi\rangle\langle\psi| - I \quad (4)$$

Grover operatörünü uygulayabilmemiz için öncelikle Denklem 3'deki $|\psi'\rangle$ kuantum durumunu $|\psi'\rangle$ kuantum durumu gösterimi ile ifade etmemiz gerekmektedir.

$$|\psi'\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle - \frac{1}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle - \frac{1}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \quad (5)$$

$$|\psi'\rangle = |\psi\rangle - \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle$$

Denklem 5'deki $|\psi'\rangle$ kuantum durumuna U_{Grover} operatörü uygulanarak aranan $|x_a\rangle$ kuantum durumunun genliği Denklem 6'daki gibi yükseltilir.

$$\begin{aligned} |\psi''\rangle &= U_{Grover} |\psi'\rangle = (2|\psi\rangle\langle\psi| - I) \left(|\psi\rangle - \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \right) \\ &= 2|\psi\rangle \underbrace{\langle\psi|\psi\rangle}_1 - \frac{4}{\sqrt{2^n}} |\psi\rangle \underbrace{\langle\psi|x_a\rangle}_{\frac{1}{\sqrt{2^n}}} - |\psi\rangle + \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \\ &= 2|\psi\rangle - \frac{4}{2^n} |\psi\rangle - |\psi\rangle + \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \\ &= \frac{2^n - 4}{2^n} |\psi\rangle + \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \\ &= \frac{2^n - 4}{2^n} \left(\frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{x=0}^{2^n-1} |x\rangle \right) + \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \\ &= \frac{2^n - 4}{2^n \sqrt{2^n}} \sum_{\substack{x=0 \\ x \neq x_a}}^{2^n-1} |x\rangle + \frac{2^n - 4}{2^n \sqrt{2^n}} |x_a\rangle + \frac{2}{\sqrt{2^n}} |x_a\rangle \\ &= \frac{2^n - 4}{2^n \cdot \sqrt{2^n}} \sum_{\substack{x=0 \\ x \neq x_a}}^{2^n-1} |x\rangle + \frac{3 \cdot 2^n - 4}{2^n \cdot \sqrt{2^n}} |x_a\rangle \end{aligned} \quad (6)$$

Denklem 6'da $|x_a\rangle$ kuantum durumunun genliğinin yükseldiği görülmektedir. dışındaki diğer olası kuantum durumların genlikleri azalmıştır. $|x_a\rangle$ dışındaki kuantum durumların genlikleri negatif olana kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrar edilir. Tekrar sayısı yaklaşık olarak $\frac{\pi}{4}\sqrt{2^n}$ olacaktır.

3 kubitlik Grover Örneği

$n = 3$ kubitlik bir kuantum durumda $x_0 = 011$ durumunu Grover algoritması ile bulalım. $n = 3$ kubit için $2^3 = 8$ olası durum Denklem 7'deki gibidir.

$$|\psi\rangle = \alpha_0|000\rangle + \alpha_1|001\rangle + \alpha_2|010\rangle + \alpha_3|011\rangle + \alpha_4|100\rangle + \alpha_5|101\rangle + \alpha_6|110\rangle + \alpha_7|111\rangle \quad (7)$$

İlk olarak $|000\rangle$ gibi 0 değerlerinden oluşan 3 kubitlik bir başlangıç durumu oluşturulur. Daha sonra her kubit için hadamard kapısı uygulanarak aşağıdaki süperpozisyon hali elde edilir. Böylece olası tüm durumlar eşit genlikler ile gösterilmiş olur.

$$\begin{aligned} |\psi\rangle &= H^{\otimes 3}|000\rangle = \frac{1}{\sqrt{2^3}} \sum_{x=0}^7 |x\rangle \\ |\psi\rangle &= \frac{1}{2\sqrt{2}}|000\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|001\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|010\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|011\rangle \\ &\quad + \frac{1}{2\sqrt{2}}|100\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|101\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|110\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|111\rangle \end{aligned} \quad (8)$$

Tekrar sayısı Denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$\frac{\pi}{4}\sqrt{2^n} = \frac{\pi}{4}\sqrt{2^3} = \frac{\pi}{2}\sqrt{2} \cong 2,22 \cong 2 \quad (9)$$

Üç kubit için tekrar sayısı 2'dir

1. Tekrar:

$|\psi'\rangle$ kuantum durumuna aşağıdaki gibi U_f kapısı uygulanır.

$$|\psi'\rangle = U_f|\psi\rangle = \frac{1}{2\sqrt{2}}|000\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|001\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|010\rangle - \frac{1}{2\sqrt{2}}|011\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|100\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|101\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|110\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|111\rangle$$

U_f kapısını uygulanarak aradığımız kuantum durumun genliği negatif hale getirilmektedir. $|\psi'\rangle$ kuantum durumunu $|\psi\rangle$ kuantum durumu gösterimi ile ifade edilmesi gerekmektedir.

kuantum durumu içerisinde durumu pozitif olarak bulunmaktadır. $|\psi'\rangle$ kuantum durumundan $\frac{1}{2\sqrt{2}}|011\rangle$ kuantum durumu çıkarılırsa $|\psi'\rangle$ elde edilir.

$$|\psi'\rangle = |\psi\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle$$

$|\psi'\rangle$ kuantum durumu şeklinde ifade edilen duruma Grover operatörü uygulanır.

$$\begin{aligned} |\psi''\rangle &= (2|\psi\rangle\langle\psi| - I)|\psi'\rangle \\ &= (2|\psi\rangle\langle\psi| - I)\left(|\psi\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle\right) \\ &= 2|\psi\rangle\langle\psi|\psi\rangle - \frac{2}{\sqrt{2}}|\psi\rangle\langle\psi|011\rangle - |\psi\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= 2|\psi\rangle - \frac{1}{2}|\psi\rangle - |\psi\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= \frac{1}{2}|\psi\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2\sqrt{2}}\sum_{x=0}^7 |x\rangle\right] + \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= \frac{1}{4\sqrt{2}}\sum_{\substack{x=0 \\ x \neq 3}}^7 |x\rangle + \frac{1}{4\sqrt{2}}|011\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|011\rangle \\ |\psi''\rangle &= \frac{1}{4\sqrt{2}}\sum_{\substack{x=0 \\ x \neq 3}}^7 |x\rangle + \frac{5}{4\sqrt{2}}|011\rangle \end{aligned}$$

1. tekrar sonunda $|011\rangle$ durumunun genliği $\frac{1}{2\sqrt{2}}$ 'den $\frac{5}{4\sqrt{2}}$ 'ye yükseltilmiştir.

2. Tekrar:

$|\psi'\rangle$ kuantum durumuna aşağıdaki gibi U_f kapısı uygulanır.

$$\begin{aligned} |\psi'''\rangle &= U_f|\psi''\rangle = \frac{1}{2\sqrt{2}}|000\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|001\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|010\rangle \\ &\quad - \frac{5}{4\sqrt{2}}|011\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|100\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|101\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|110\rangle + \frac{1}{2\sqrt{2}}|111\rangle \\ &= \frac{1}{4\sqrt{2}}\sum_{\substack{x=0 \\ x \neq 3}}^7 |x\rangle - \frac{5}{4\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= \frac{1}{4\sqrt{2}}\sum_{x=0}^7 |x\rangle - \frac{1}{4\sqrt{2}}|011\rangle - \frac{5}{4\sqrt{2}}|011\rangle \\ &= \frac{1}{4\sqrt{2}}\sum_{x=0}^7 |x\rangle - \frac{6}{4\sqrt{2}}|011\rangle \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2\sqrt{2}} \sum_{x=0}^7 |x\rangle \right] - \frac{6}{4\sqrt{2}} |011\rangle$$

$$|\psi'''\rangle = \frac{1}{2} |\psi\rangle - \frac{6}{4\sqrt{2}} |011\rangle$$

$|\psi'\rangle$ kuantum durumuna Grover operatörünü uygulanır.

$$\begin{aligned} |\psi''''\rangle &= (2|\psi\rangle\langle\psi| - I)|\psi'''\rangle \\ &= (2|\psi\rangle\langle\psi| - I) \left(\frac{1}{2} |\psi\rangle - \frac{6}{4\sqrt{2}} |011\rangle \right) \\ &= |\psi\rangle \underbrace{\langle\psi|\psi\rangle}_1 - \frac{3}{\sqrt{2}} |\psi\rangle \underbrace{\langle\psi|011\rangle}_{\frac{1}{2\sqrt{2}}} - \frac{1}{2} |\psi\rangle + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \\ &= |\psi\rangle - \frac{3}{4} |\psi\rangle - \frac{1}{2} |\psi\rangle + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \\ &= |\psi\rangle - \frac{3}{4} |\psi\rangle - \frac{1}{2} |\psi\rangle + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \\ &= -\frac{1}{4} |\psi\rangle + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \end{aligned}$$

yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} &= -\frac{1}{4} \left[\frac{1}{2\sqrt{2}} \sum_{x=0}^7 |x\rangle \right] + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \\ &= -\frac{1}{8\sqrt{2}} \sum_{\substack{x=0 \\ x \neq 3}}^7 |x\rangle - \frac{1}{8\sqrt{2}} |011\rangle + \frac{3}{2\sqrt{2}} |011\rangle \\ &= -\frac{1}{8\sqrt{2}} \sum_{\substack{x=0 \\ x \neq 3}}^7 |x\rangle + \frac{11}{8\sqrt{2}} |011\rangle \end{aligned}$$

Görüldüğü üzere $|011\rangle$ kuantum durumunun dışındaki kuantum durumlarının genlikleri negatif olmuştur. Aranılan $|011\rangle$ durumunun bulunma olasılığının %94,5 olduğu Denklem 10'da gösterilmiştir.

$$\left(\frac{11}{8\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{121}{128} \cong 0,945 \quad (10)$$

3. SONUÇ

Klasik veri biliminde arama yaparken, aranan veri ile tüm verilerin tek tek karşılaştırılması gerekmektedir. Aranılan veriyi ilk karşılaştırma ile bulunabileceği gibi son karşılaştırma yapılarına kadar bulunamayabilir. Kuantum teknolojilerinin üstünlük sağlayan yönü paralel işlem

gerçekleştirebilmesidir. Aynı anda tüm verilere erişebilme yeteneğidir.

Grover algoritmasının klasik yöntemlere göre çok daha hızlı bir arama algoritması olduğu görülmektedir. Grover algoritmasının, makine öğrenmesi [7-12] ve optimizasyon [13-16] problemlerinin çözümünde kullanıldığı çalışmalar mevcuttur. Optimizasyon problemleri için geliştirilen farklı algoritmalar, Grover algoritması ile kuantum dünyasına dahil edilebilecektir. Kuantum teknolojileri geliştikçe Grover algoritması da dahil bir çok kuantum temelli algoritma günümüz problemlerine çözüm sunacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Benioff, P. *The computer as a physical system: A microscopic quantum mechanical Hamiltonian model of computers as represented by Turing machines*, Journal of Statistical Physics, 1980, Vol:22 pp. 563-591.
- [2] Feynmann, R. P. *Simulating Physics with Computers*, International Journal of Theoretical Physics, 1982, Vol: 21 pp. 467-488.
- [3] Shor, P. W. *Algorithms for Quantum computation: Discrete Logarithms and factoring*, A Proceedings of the 35th Symposium on Foundations of Computer Science, Los Alamitos, California, 1994, pp. 124-134.
- [4] Grover, L. K. *A fast quantum mechanical algorithm for database search*, Symposium on the Theory of Computing, 1996, pp. 212-219.
- [5] Çölkesen, R. *Veri yapıları ve Algoritmalar*, Papatya Yayıncılık, 2014, pp. 189-205.
- [6] Wong, T. G. *Intoduction to Classical and Quantum Computing*, <https://www.thomaswong.net/introduction-to-classical-and-quantum-computing-1e3p.pdf>, 2022, pp. 74-79.
- [7] Dong, D., Chen, C., Li, H., Tarn, T.Z. *Quantum Reinforcement Learning*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2008, vol. 38, no. 5, pp. 1207-1220.
- [8] Meng, X., Chen, Y., Pi, Y., Yuan, Q. *A Novel Multiagent Reinforcement Learning Algorithm Combination with Quantum Computation*, 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2006, pp. 2613-2617.

- [9] O'Quinn, W., Mao, S. *Quantum Machine Learning: Recent Advances and Outlook*, IEEE Wireless Communications, 2020, vol.27, no.3, pp. 126-131.
- [10] Mengoni, R., Di Pierro, A. *Kernel Methods in Quantum Machine Learning*, Quantum Machine Intelligence, 2019, pp. 65-71.
- [11] Ramezani, S. B., Sommers, A., Manchukonda, H. K., Rahimi, S., Amirlatifi, A. *Machine Learning Algorithms in Quantum Computing: A Survey*, 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2020, pp. 1-8.
- [12] Dong, D., Chen, C., Zhang, C., Chen, Z. *Quantum robot: Structure, algorithms and applications*, Robotica, 2006, pp. 513-521.
- [13] Chiang, CF., Alsing, P.M. *Grover search inspired alternating operator ansatz of quantum approximate optimization algorithm for search problems*, Quantum Inf Process, 2023, pp. 22:221.
- [14] Wu, X., Li, Q., Li, Z., Yang, D., Yang, H., Pan, W., Perkowski, M., Song, X. *Circuit optimization of Grover quantum search algorithm*, Quantum Inf Process, 2023, pp. 22:69.
- [15] Wang, Y. *A quantum walk enhanced Grover search for global optimization*, arXiv preprint arXiv:1711.07825, 2017.
- [16] Wang, Y. *Global optimization with quantum walk enhanced Grover search*, In: Proc. of 2014 ASME International Design Engineering Technical Conferences & The Computer and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE2014), 2014, vol. 46322, pp: 34634.

RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ

Veri, Enformatik, Yapay Zeka ve Optimizasyon

Data, Informatics, Artificial Intelligence and Optimization

Bayram Köse¹ 

Serkan Ansay² 

Muhammed Pektaş³ 

¹ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İzmir, Türkiye, e-mail: bayram.kose@bakircay.edu.tr

² İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, İzmir, Türkiye, e-mail: serkanansay@gmail.com

³ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, İzmir, Türkiye, e-mail: 6041004@bakircay.edu.tr

Öz

İnsanoğlu, çevresindeki olayları, durumları veya sorunları tanımlamak ve bunlara çözümler üretmek için öncelikle duyuşal algılarını kullanır. Bunun yanında çeşitli ölçümlerle bu problemlerle ilgili bilgi ve verileri elde eder. Bu verileri çeşitli işlemlerden geçirerek analiz eder, sınıflandırılır ve anlamlı bilgilere dönüştürür. Bu bilgilere dayalı olarak, insanlık kararlar alır ve eylemlerde bulunurlar. Bu süreçler ve deneyimler, gelecekte karşılaşılabilecek problemleri daha iyi anlamak ve çözmek için kullanılan yöntemleri geliştirmeye katkıda bulunur.

Bilgisayarlar, veri işleme kapasiteleri sayesinde problem çözme süreçlerine büyük katkı sağlar. Optimizasyon ve yapay zeka, problem çözme yeteneğini artıran iki önemli araçtır. Bu araçların bilgisayarlar eşliğinde kullanılmasıyla problem çözme süreçleri kısalmış, veya alternatif çözümlere ulaşmak kolaylaşır. Bu üç kavramın birlikte kullanımıyla, teknoloji gerektiren (örneğin Uzay ve Havacılık, Enformatik, Biyoteknoloji, Enerji Teknolojileri, Otomasyon gibi) pek çok alanda daha hızlı gelişmeler öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Veri madenciliği, Veri, Yapay zeka, Algoritma, Enformatik

Abstract

Human beings use their sensory perceptions to define and solve the events, situations or problems in their environment. In addition, they obtain information and data related to these problems through various measurements. They analyze, classify and transform these data into meaningful information. Based on this information, humans make decisions and take actions. These processes and experiences contribute to the development of methods used to understand and solve problems that may be encountered in the future.

Computers provide great contribution to problem solving processes with their data processing capacities. Optimization and artificial intelligence are two important tools that increase problem solving ability. With the use of these tools along with computers, problem solving processes are shortened, or it becomes easier to reach alternative solutions. With the use of these three concepts together, faster developments are expected in many fields that require technology (such as Space and Aviation, Informatics, Biotechnology, Energy Technologies, Automation etc.).

Keywords: Data mining, Data, Artificial Intelligence, Algorithm, Informatics.

Citation/Atf: KÖSE, B., ANSAY, S. & PEKTAŞ, M. (2023). Veri, Enformatik, Yapay Zeka ve Optimizasyon. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 35-40, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Bayram Köse
E-mail: bayram.kose@bakircay.edu.tr



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. GİRİŞ

İnsanların hayatta kalma, ihtiyaçlarını karşılama, dünyayı algılama ve anlama, kendilerini gerçekleştirme gibi temel yaşam süreçlerinde devreye giren problem çözme becerileri, insanlığın en esas ve önemli özelliklerinden birini oluşturur. İnsanoğlu, çevresindeki olayları algılayarak sorunları tanımlar, veri toplar, analiz eder, bilgilere dönüştürür, kararlar alır ve çözüm geliştirir. Bu süreçler, gelecekteki problemlerin çözümü için kullanılan yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlar. Verilerin etkili bir şekilde işlenmesini mümkün kılarak problemlerin çözümünde büyük kolaylık sağlayan en önemli araçlar bilgisayarlardır. Bilgisayarın hesaplama kapasiteleri arttıkça, problem çözme yeteneğimiz de gelişmektedir. Bilgisayar aracılığı ile etkin biçimde kullanımı mümkün olan optimizasyon ve yapay zeka, problem çözme aşamalarındaki tecrübe-lerimizin artmasındaki iki önemli etkidir. Optimizasyon, verilen koşullar altında en uygun çözümü bulmaya çalışan bir yaklaşımdır. Yapay zekâ ise, verileri ve modelleri kullanarak problemleri çözmeye yönelik çıktı veren ve aynı zamanda öğrenen bir teknolojidir.

Problem çözme, ortaya çıkan bir sorun karşısında farklı (çözüm) seçenekleri üretmeyi ve bu seçenekler arasından en uygun olanını seçmeyi öne çıkaran bilişsel bir süreçtir. Problem çözme (genellikle), problemin tanımlanması, problemin formüle edilmesi, alternatif çözümlerin oluşturulması, karar verme, ve değerlendirme olmak üzere beş aşamadan oluşur (D'zurilla, 1971).

İnsanlık daha fazla besin kaynağına erişmek, daha iyi yaşam koşulları sağlamak, sınırlarını aşmak için yeni problemlerle karşılaşmakta ve bunları çözmeye çalışmaktadır. İnsanoğlu problemleri çözmek maksadıyla önemli keşifler ve icatlar yapmıştır. İnsanlık, dil ve iletişim bilimlerinden, sosyal, sağlık ve eğitim bilimlerinden fen mühendislik bilimlerine kadar çok çeşitli bilim dallarıyla problemleri tanımlamış sınıflara ayırmış ve çözüm yöntemleri geliştirmiştir. Verileri işlemek ve karara yönelik bilgi üretmek için bu bilimlerden istatistik, matematik, veri ve bilgisayar bilimleri ile problem çözümleri hızlı bir şekilde yapabilen bilgisayar gibi araçlar da icat etmiştir. Bu icatlar sayesinde, bilgisayarlar matematiksel

çözümleri hızlıca hesaplayarak hem çok sayıda hem de daha önce deneyemediğimiz alternatifleri test etmemize olanak sağlamıştır. Bu gelişme, sağlıktan ekonomiye birçok alanda problemlerin çözümünü kolaylaştırmış, insanlık için büyük bir ilerleme sağlamıştır.

Bilgisayar aracılığıyla problem çözümünün gerçekleştirilebilmesi için, problem çözümünün algoritmasının bilinmesi gerekmektedir (Alpaydın, 2013). Algoritma, bir işlemi gerçekleştirmek için izlenmesi gereken adımların açık ve anlaşılır bir şekilde tanımlanmasıdır. Bilgisayar, algoritmanın girdilerini alır, algoritmadaki adımları uygular ve çıktıyı verir. Bu süreç, problem çözümünün otomatikleştirilmesini sağlar ve bu sayede karmaşık problemlerin çözümü hızlandırılır. Bu, veri, enformatik, yapay zeka ve optimizasyon alanlarının birleştiği noktadır. Bu alanlar, problemlerin çözümünde kullanılan araçları ve yöntemleri geliştirmekte ve böylece problem çözme yeteneğimizi artırmaktadır.

2. VERİ VE ENFORMATİK

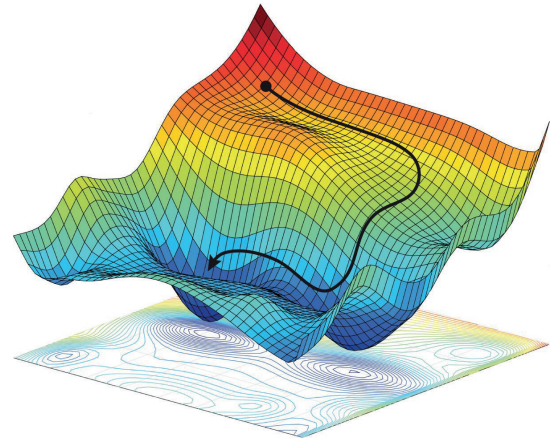
Veri, ölçme veya gözlem sonucu bilgiye dönüştürülebilecek ham gerçeklik parçaları olarak, sayılar, kelime, görüntü veya ses veya özel simgelerle kaydedilir. Genellikle ham veriler çeşitli işlemlerle işlenerek belli bir bağlamda anlam ifade eden enformasyon veya bilgiye dönüştürülür. Enformatik (bilişim) ise verinin toplanması, saklanması, işlenmesi ve iletilmesi ile ilgilenen bilim dalıdır. Enformatik, veriyi anlamlı bilgiye dönüştürme sürecini yönetir ve bu süreç genellikle verinin toplanması, sınıflandırılması, saklanması, aranması ve dağıtılması adımlarını içerir. Veri ve enformatik kavramları birlikte kullanıldığında, büyük veri kümelerinin analiz edilmesi ve değerli bilgilerin çıkarılması için güçlü bir araç oluştururlar. İstatistik bilim dalı ile de iç içe olan enformatik, yapay zeka ve optimizasyon tekniklerinin uygulanmasını mümkün kılar ve bu da daha iyi karar verme ve daha etkili sonuçlar elde etme yeteneğimizi artırır (Clack ve diğerleri, 2017; Microsoft Copilot, 2023).

3. OPTİMİZASYON

Optimizasyon; TDK'ya göre "En uygun duruma getirme" olarak tanımlanmaktadır (TDK, 2023). İnsanlık, günlük hayatta veya bilimsel çalışmalarda olsun, sürekli bir problem çözme süreci

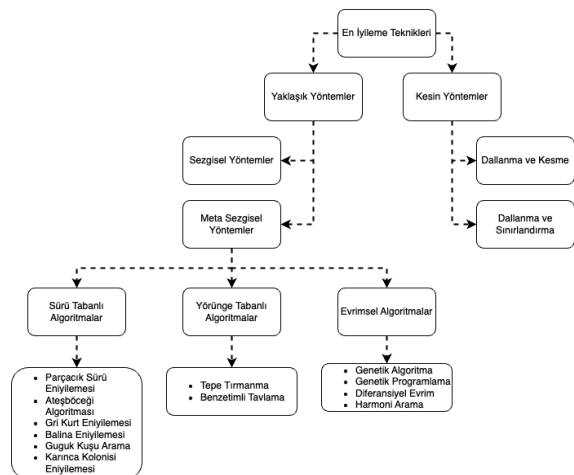
içindedir. Karşılaşılan problemlerin çoğunun birden fazla çözümü vardır. Bir problem için mümkün olan tüm çözümleri içeren kümeye çözüm uzayı denir. Optimizasyon süreci, verilen koşullar ve kısıtlar altında olası çözümler arasından en uygun olanını bulma sürecidir. Bu süreçte kullanılan teknikler problem türüne göre değişiklik gösterir. En uygun çözüme ulaşmak için kullanılan yöntem veya yöntemlere optimizasyon algoritması adı verilir. Optimizasyon algoritmaları ile çözüm uzayında arama yapılır ve en iyi çözüme yaklaşılmaya çalışılır. Çözüm uzayı farklı şekillerde modellenenebilir. Şekil 1’de bir işin maliyetinin iki parametreye bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Bu durumda x ve z eksenleri bir çözümün koordinatlarını, y eksenisi işin maliyetini temsil eder. Bu durumda grafiğin en alt noktası, yani y değerinin en küçük olduğu nokta, küresel minimum (global minimum) olarak adlandırılır. Bu çözüm uzayı işin maliyetini gösterdiği için, bu durumda küresel minimum aslında en iyi çözümü ifade eder. Şekil 1’deki diğer çukur noktaları ise yerel minimum (lokal minimum) olarak adlandırılır. Bu durumda da yerel minimumlar olası faydalı çözümleri temsil eder. Şekil 1’de gösterilen çözüm uzayı optimizasyon probleminin en küçük değerinin en iyi çözüm olduğu durumda geçerlidir. Bu şekilde modellenen optimizasyon problemleri minimizasyon problemi olarak adlandırılır. Çoğu zaman aynı problemi en iyi çözümün en yüksek değer olduğu şekilde, yani maksimizasyon problemi şeklinde de modellemek mümkündür. En iyi çözüme olan yakınlığın ölçüldüğü fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Optimizasyon algoritmaları temel olarak kesin çözüm bulan yöntemler ve yaklaşık çözüm bulan yöntemler olarak ikiye ayrılabilir. Kesin çözüm bulan yöntemler, doğrudan problemin en iyi çözümüne ulaşmayı amaçlarlar. Yaklaşık çözüm bulan yöntemler ise genellikle tam çözüm bulmanın çok zor olduğu durumlarda yaklaşık çözüme odaklanırlar.

Şekil 1. Çözüm Uzaı (Kumar, 2023)



Optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesinde, araştırmacılar sıklıkla doğadan ilham alırlar. Örneğin; Parçacık sürü optimizasyonu algoritması (Kennedy ve Eberhart, 1995) doğada sürüler halinde yaşayan hayvanların yiyecek bulma davranışlarından, Karınca kolonisi optimizasyonu algoritması (Dorigo ve diğerleri, 2006) ise karıncaların sürüler halinde yuvalarını ve yiyeceklerini bulma davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Bu algoritmaların yanı sıra daha matematiksel yaklaşımlar ile sürekli problemler için farklı optimizasyon algoritmaları da geliştirilmiştir bu tekniklerin bir sınıflandırması Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2. Eniyileme algoritmaları genel bakış (Roni ve diğerleri, 2022)



Bu algoritmaların en çok bilinen örneklerinden biri olarak gradyan inişi (gradient descent) verilebilir. Gradyan inişi, türevlenebilir fonksiyonlardan oluşan problemlerin çözümünde kullanılan bir algoritmadır. Yapay zekada son zamanlarda sıkça kullanılmaktadır.

4. YAPAY ZEKÂ VE OPTİMİZASYON

Yapay zekâ, bilgisayarların insani görevleri yerine getirmelerini sağlamak için yapılan araştırma ve uygulamaları içeren bilim dalı ve mühendislik alanıdır. Algoritma, optimizasyon, modelleme ve yapay zekâ, bilgisayar biliminin önemli alanlarıdır. Veri enformasyon, optimizasyon, modelleme ve yapay zekâ, hayatımıza birçok kolaylıklar getirmektedir.

Yapay zeka, son zamanlardaki başarılarıyla birlikte, problem çözmek için en etkili araçlardan biri haline gelmiştir. Problemler, gerçek dünyada, bir robotun engellere çarpmadan hedefine ulaşması probleminden, gerçek bir insan yüzü fotoğrafı üretme problemine kadar, hatta yeni ilaç keşifleri de dahil olmak üzere çok çeşitli alanlarda ortaya çıkabilmektedir. Tüm bu problemlerin çözümünde yapay zekanın alt dallarından biri olan makine öğrenmesi aktif olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi, probleme özgü veriler kullanarak problem çözümünün modellenmesiyle ilgilenen bir alandır. Veriler kullanılarak en iyi modellemeyi yapmak bir optimizasyon problemi olarak görülebilir. Birçok farklı makine öğrenmesi yöntemi vardır. Bunlardan günümüzde en yaygın olanı yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarından ilham alınarak tasarlanmıştır. En temel birimi nöronlardır. Nöronlar ağırlık (weight) adı verilen parametreler ve aktivasyon fonksiyonları içerir. Girdiler ağırlıklarla çarpılır ve elde edilen sonuçlar toplanarak aktivasyon fonksiyonuna verilir. Bu çıktı nihai çıktı olabileceği gibi bir sonraki nöronun girdisi de olabilmektedir. Bir problem çözücü olarak yapay sinir ağları, veriler kullanılarak eğitilirler. Eğitim süreci aslında girdiye göre en doğru çıktıyı üretecek parametrelerin optimize edilmesi sürecidir. Bu optimizasyon sürecinde en az hata ile çözüm üretecek yapay sinir ağı modelinin parametreleri iyileştirilmeye çalışılır. Optimizasyon, herhangi bir problemin çözümünü için insanoğlunun en önemli araçlarından biridir. Yapay zekanın birçok görevde insan seviyesinde başarılar elde ettiği çağımızda optimizasyon, yapay zeka modellerinin öğrenme sürecinin temelini oluşturmaktadır.

5. BULGULAR

Modern yaşamın temel bir ögesi haline gelen yapay zeka; insanın biyolojik özellikleri, sinir sistemi, organları, düşünme yetisi, öğrenme, hafıza, karar verme ve eylem alma gibi davranışlarından ilham alan bir bilim, teknoloji ve mühendislik disiplini olarak çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Medya sektöründe, içerik önerileri ve kişiselleştirilmiş reklamlar vb. uygulamalarda yapay zeka kullanımı oldukça etkindir. Yapay zeka ile entegre haber merkezleri, büyük verilerin analizini yapabilir, haberleri sınıflandırabilir ve içerik analizi yaparak haber akışlarını düzenleyebilirler. Yapay zeka, iletişim ağlarının işleyişini geliştirmek ve onları optimize etmek için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Yine yapay zeka teknolojisi ile, doğal dil işleme ve metin analizleri eşliğinde haberleri değerlendirir, derecelendirir ve duygusal tonlamalarla konular yeniden analiz edilebilir (Kırık ve Özkoçak, 2023).

Büyük veri ve yapay zeka çalışmalarına, bireyler ve özel sektör firmalarının ardından devletlerin de katılması ve bu teknolojilere uyum sağlama çabası gereklidir. Hatta bu çalışmaların finansmanını ve denetimini yapan aktörler olarak devletlerin önemli bir rol oynadığı görülebilir. Bu bağlamda, Rus lider Vladimir Putin, "Yapay zeka alanında lider olan dünyayı yönetir." demiştir (Hürriyet Gazetesi, 2019). Devletlerin desteği, bu alanda hızlı ve etkili gelişimi getirir. Bu teknolojiyi hızla geliştiren ülkeler, ekonomik açıdan da lider konumuna yükselme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle tüm ülkeler, dijital dönüşümü benimseyerek gelecekte yönetimde büyük veri ve yapay zeka teknolojilerine yer vermeye hazırlanmalıdır (Avaner ve Çelik, 2021).

Son altmış yılda yapay zeka alanında, arama algoritmalarından makine öğrenmesine, derin öğrenme algoritmalarından doğal dil işleme algoritmalarına kadar birçok algoritma ve alt dal gelişmiştir. Bu gelişmeler insanlar tarafından sıklıkla fark edilmese de, konuşan makineler veya uzay görevleri kadar büyük bir yankı yaratmasa da, bu teknolojiler fark edilmeyen işlevlerde kullanılır. Özellikle kişiselleştirilmiş pazarlama ve arama motorları gibi alanlarda kullanılırlar (Adams, 2004). YZ uzmanlarınca yapılan çalışmalar YZ'yı programlarını insan beynine ben-

zemesi yönünde yoğunlaştırmışlardır. Sonuçta insanımsı yapay zekâlar yapılmıştır. Mesela çocuklara benzer olarak gözlem ve sınama yanılmayla öğrenebilen ve öğrendikleriyle programını güncelleyen, izlediğinde öğrenen süper zeki robotlar gerçekleşenler arasındadır. Yapay zekâ ile özellikle son yıllarda geliştirilen yazılım ve Android robotlar kendilerini geliştirebilmektedirler. Kişisel asistan olarak hayatımıza giren, Google asistan, Luna, Siri gibi yazılımların yanında, Sophia ve Icop robotları bilinen örneklerdir. Konuşan, tepkisinde jest ve mimik gösteren, vatandaşlık ve evlenmek isteyen robotlara doğru bir gelişme olmuştur. İnsan-robot etkileşimi ilgili olarak robot sosyolojisinden bahsedilir olmuştur. Kabiliyet olarak rakipsiz olan Alexa'nın becerilerinin altı ay gibi **kısa** bir sürede, 7 binden 15 bine çıktığı belirtilmiştir (Dağ, 2020). Yapay zekânın nitelikleri insanlaştıkça insan-robot birleşme ihtimali de güçlenmiştir. (Bal ve Sarıkaya, 2022).

Yapay zeka temelli öğrenme stratejileri, sürekli insan-makine etkileşimi içinde gelişmektedir ve yapay zeka teknolojisinin ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Bu katkılardan biri, OpenAI tarafından 30 Kasım 2022'de tanıtılan ChatGPT adlı sohbet robotudur. Kullanıcı girdilerine hızlı ve kabul edilebilir çıktılar üreten ChatGPT, insan yapımı çıktılardan ayırt etmesi zor performans sergilemektedir (Karakoç ve Keskin, 2023).

ChatGPT, araştırmacılara veri işleme, çıkarım yapma, senaryo oluşturma ve model değerlendirme gibi konularda yardımcı olma amacıyla çeşitli şekillerde kullanılabilir. Ayrıca ChatGPT, sağlık ve iletişim gibi alanlarda etkili bir rol oynama potansiyeline sahiptir. Metin üretme yeteneği sayesinde karar alma süreçlerine destek sağlayabilir. Ancak, her teknolojide olduğu gibi, ChatGPT'nin sağlık, iletişim ve diğer farklı alanlarda kullanımı sırasında dikkate alınması gereken sınırlamalar ve zorluklar bulunmaktadır (Kırık ve Özkoçak, 2023).

Son zamanlarda adından sıkça söz ettiren yapay zeka tabanlı uygulamalar, her geçen gün daha fazla gelişmekte olup bireyler ve kurumlar bu uygulamalardan faydalanmaktadır. Bu yapay zeka uygulamalarının bazı avantajları ve belirli dezavantajları vardır. Özellikle son dönemde

popüler olan yapay zeka uygulamalarından biri olan etkileşimli OPEN AI ChatGPT ve Google Bard, tartışmaların merkezindedir. Sohbet tabanlı yapay zeka uygulamaları, kişiselleştirilmiş hizmetler sunma, içerik oluşturma yeteneği ve kapsamlı veri toplama yetenekleri ile kullanıcıları cezbetmektedir. Ancak, insan gibi davranmalarına rağmen empati ve duyguları olmadığı için tam bir iletişim sürecini gerçekleştirmek zordur. Bu zorlukların ilerleyen zamanlarda aşılması beklenmekle birlikte, yapay zeka programları ve teknolojilerinin beraberinde getirdiği çeşitli tehditler ve fırsatlar göz ardı edilmemelidir.

Bu teknolojilerin birçok faydası olmasına rağmen, bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. YZ birçok işi otomatikleştirirken işsizlik oranının artmasına neden olabilir. Özellikle rutin ve tekrar eden işler yapan kişiler, işlerini kaybedebilirler. YZ, zengin ve fakir arasındaki eşitsizliği artırırken, YZ teknolojilerine sahip olan şirketler, YZ kullanarak daha fazla kar elde edebilir ve zenginlerin daha zenginleşmesine, fakirlerinde daha fakirleşmesine neden olabilir. YZ yanlış bilgilendirmenin yayılmasına, doğru ve yanlış bilgileri ayırt etmekte zorlanabilmesi kaynaklı, insanların yanlış bilgiye maruz kalması dolayısı ile yanlış kararlar almasına neden olabilir. YZ, etik açıdan, savaşta kullanılarak insan hayatını tehlikeye sokması ayrıca insanların düşüncelerini ve davranışlarını kontrol etmek için de kullanılmasıyla insanların özgürlüklerini kısıtlayabilir. YZ kullanımında olumsuzlukları azaltmak için, bu alanda etik ve sosyal sorumluluk ilkelerini dikkatten kaçırılmamalıdır.

6. SONUÇ

Problem çözme yeteneğimiz, hesaplama araçlarının gelişmesi, bilgisayarların yaygınlaşması ve hesaplama kapasitelerindeki artış ile birlikte önemli ölçüde gelişmiştir. Bu gelişmelere optimizasyon ve yapay zeka alanlarındaki ilerlemeler de eklenince, insanoğlu yüzyıllar öncesine göre çok daha etkili bir problem çözücü haline gelmiştir. Gelecek, büyük verilerle birlikte yeni problemleri beraberinde getirecektir. Bugüne kadar olduğu gibi bundan sonra da insanlığın güçlü problem çözücülere ihtiyacı olacaktır.

Optimizasyon, algoritmalar ve yapay zekâ gibi araçlar, insanoğlunun karşılaştığı problemleri

en kısa sürede en düşük maliyetle ve en yüksek kalite ve fayda elde edecek şekilde çözüm sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Neticede bunlar günümüz teknoloji nimetleri, istifade ederken bilmediğimiz veya bildiğimiz konularda yardım alırken, kritik analitik düşünme süzgecinden geçirerek kullanmamız gerektiğini hep hatırdta tutmak gerekmektedir. Bilmediğimiz alanlarda da aldığımız bilgilerin geçerliliğini başka kaynaklarla mutlaka test etmemiz gerekmektedir.

YZ kullanım olumsuzluklarını azaltmak için alınabilecek bazı önlemler şöyle sırlanabilir. YZ etik ve sosyal sorumluluk ilkelerini göz önünde bulundurmak, ani işsizlik oranını değiştirmeyecek şekilde kullanmak, yanlış bilgilendirmenin yayılmasına neden olmayacak şekilde kullanmak ve etik sorunları engelleyecek şekilde kullanmak önerilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Alpaydın, E. (2013). Yapay öğrenme, s:1. Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- [2] D'zurilla, T. J., Goldfried, M. R. (1971). Problem solving and behavior modification. *Journal of abnormal psychology*, 78(1), 107.
- [3] TDK (Türk Dil Kurumu) sözlüğü. Erişim: 14 Mayıs 2023, <https://sozluk.gov.tr/>
- [4] Clack, Lesley; Houser, Shannon H.; Kadlec, Lesley; Mikaelian, Raymond; Tabisula, Braden; Zeglen, Margie. "Data Analytics and Informatics are Two Separate Disciplines (And Why This Matters to HIM)" *Journal of AHIMA* 88, no.10 (October 2017): 20-24.
- [5] Microsoft. (2023). Coplot (erşim:27.10.2023) [Yapay Zeka Modeli].
- [6] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- [7] Dağ, A. (2020). Transhümanizm insanın ve dünyanın dönüşümü (2. baskı). Elis Yayınları.
- [8] Dorigo, M., Birattari, M., Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE computational intelligence magazine*, 1 (4), 28-39.
- [9] Kumar, A., (April, 2023). Access Date: 14.06.2023, <https://vitalflux.com/convex-optimization-explained-concepts-example-s/>
- [10] Roni, M. H. K., Rana, M. S., Pota, H. R., Hasan, M. M., Hussain, M. S. (2022). Recent trends in bio-inspired meta-heuristic optimization techniques in control applications for electrical systems: A review. *International Journal of Dynamics and Control*, 1-13.
- [11] Kırık, A. M., Özkoçak, V. (2023). Medya Ve İletişim Bağlamında Yapay Zekâ Tarihi Ve Teknolojisi: Chatgpt Ve Deepfake İle Gelen Dijital Dönüşüm . *Karadeniz Uluslararası Bilimsel Dergi*, (58), 73-99 . DOI: 10.17498/Kdeniz.1308471
- [12] Avaner, T., Çelik, M. (2021). Türkiye'de Dijital Dönüşüm Ofisi ve Yapay Zekâ Yönetimi: Büyük Veri ve Yapay Zekâ Daire Başkanlığı'nın Geleceği Üzerine . *Medeniyet Araştırmaları Dergisi*, 6 (2), 1-18 . DOI: 10.52539/mad.1050640
- [13] Adams, R. (2004). Intelligent Advertising. *AI & Society*, 68-81.
- [14] Bal, S. Y., Sarıkaya, B. (2022). Kelami açıdan insan fıtratı ve bilinci bağlamında yapay zekâ ve transhümanizm, *Mavi Atlas*, 10(2), 404-418)

Magnetized Strange Quark Matter in Lyra Theory

Lyra Teoride Manyetize Acayip Kuark Madde

Sinem Kalkan 

Çanakkale Onsekiz Mart University, Department of Mathematics, Institute of Graduate Education, Çanakkale Onsekiz Mart, University, Çanakkale, Türkiye,
e-mail: sinemkalkan@gmail.com

Abstract

In this study, the Kasner universe, which is a homogeneous anisotropic universe, have been discussed. For the Kasner universe, the behavior of magnetized strange quark matter (MSQM) have been examined within the framework of the Lyra theory. The solutions of the field equations in Lyra theory have been obtained and examined with the help of graphics.

Keywords: Kasner metric, Lyra Theory, Magnetized strange quark.

Öz

Bu çalışmada, homojen anizotropik bir evren olan Kasner evreni ele alındı. Kasner evreni için manyetize acayip kuark madde (MAKM) davranışını Lyra teorisi çerçevesinde incelendi. Lyra teorisinde alan denklemlerinin çözümleri elde edilerek grafik yardımıyla irdelendi.

Anahtar kelimeler: Kasner metriği, Lyra Teori, Manyetize acayip kuark madde.

Citation/Atf: KALKAN, S. (2023). Magnetized Strange Quark Matter in Lyra Theory. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 41-44, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Sinem Kalkan
E-mail: sinemkalkan@gmail.com



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

1. INTRODUCTION

The formation process of the universe is still being investigated by scientists today. There are many theories that try to explain the formation and evolution of the universe. However, the theory that best explains the evolution of the universe is known as the Big Bang Theory. According to the Big Bang theory, the universe began to expand by exploding from a hot and dense point 13.8 billion years ago. General Relativity Theory (GRT), which best explains the interaction between matter-energy and space-time, was put forward by Albert Einstein. These solutions were largely rejected until the first observational evidence for an expanding universe appeared in 1929. In 1998 and 1999, two independent research groups observed that the universe was expanding at an accelerating pace [1,2,3]. It was thought that dark energy might be responsible for this accelerated expansion. Although GRT tries to explain the universe in general on a large scale, it is insufficient to explain the dark energy that causes the accelerated expansion of the universe. Due to the lack of theoretical motivation, alternative theories have emerged [4,5,6]. In this study have been discussed Lyra theory.

Until about the mid-1900s, cosmic magnetic fields were generally viewed as unimportant. Only a few scientists, such as Biermann, Alfvén, Parker and Chandrasekhar, recognized the potential role of magnetism in the universe [7,8,9,10]. After that time, the magnetic field is thought to have an important place today. Magnetic fields play a crucial role in the physics of the interstellar medium in galaxies, but there are few observational studies of how they evolve over time [11,12].

Quark matter is one of the substances formed immediately after the Big Bang. In this study, Strange Quark Matter, one of the types of quark matter, have been discussed.

Hatkar et al., obtained Kasner solution, in a study they conducted in 2018 [13]. Özcan and Aktaş have studied MSQM in Lyra theory [14]. Kalkan and Aktaş have studied MSQM in $f(R, T)$ theory [15].

In this study, First of all, Kasner solutions are obtained in Lyra theory for MSQM. Then, the solu-

tions will be acquired with the help of the equation of state(EoS) used for SQM. In conclusion, the graphs of the acquired solutions are scrutinised.

2. MODIFIED FIELD EQUATION IN KASNER UNIVERSE AND MAGNETIZED SQM

The modified field equations are as follows [4,16]:

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R + \frac{3}{2}\phi_i\phi_k - \frac{3}{4}g_{ik}\phi_j\phi^j = T_{ik} \quad (1)$$

Where R_{ik} , R , g_{ik} , T_{ik} , and ϕ_i respectively Ricci tensor, Ricci scalar, metric tensor, energy momentum tensor, and displacement vector.

$$\phi_i = (0, 0, 0, \beta(t)) = \delta_i^4 \beta(t) \quad , i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (2)$$

Kasner metric which is homogeneously anisotropic is

$$ds^2 = -dt^2 + t^{2k_1}dx^2 + t^{2k_2}dy^2 + t^{2k_3}dz^2 \quad (3)$$

Here, k_1 , k_2 , and k_3 are parameters. These parameters ensure

$$k_1 + k_2 + k_3 = s$$

and

$$k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 = \theta$$

Parameters k_1 , k_2 , and k_3 will get be constants. As long as at least two of the three are different, space is anisotropic.

The energy-momentum tensor for MSQM is

$$T_{ik} = \frac{h^2}{2} (2u_i u_k - g_{ik}) + u_i u_k \rho + p(u_i u_k - g_{ik}) - h_i h_k \quad (4)$$

where, h^2 is magnetic field, ρ is energy density [17,18]. with the help of Eq. (1), Eq.(3) and Eq.(4), modified field equations in Lyra theory are obtained as follows:

$$\frac{k_2^2}{t^2} + \frac{k_2 k_3}{t^2} + \frac{k_3^2}{t^2} - \frac{k_2}{t^2} - \frac{k_3}{t^2} + \frac{3\beta^2}{4} = -p + \frac{h^2}{2} \quad (5)$$

$$\frac{k_1^2}{t^2} + \frac{k_1 k_3}{t^2} + \frac{k_3^2}{t^2} - \frac{k_1}{t^2} - \frac{k_3}{t^2} + \frac{3\beta^2}{4} = -p - \frac{h^2}{2} \quad (6)$$

$$\frac{k_1^2}{t^2} + \frac{k_1 k_2}{t^2} + \frac{k_2^2}{t^2} - \frac{k_1}{t^2} - \frac{k_2}{t^2} + \frac{3\beta^2}{4} = -p - \frac{h^2}{2} \quad (7)$$

$$\frac{k_1 k_2}{t^2} + \frac{k_1 k_3}{t^2} + \frac{k_2 k_3}{t^2} - \frac{3\beta^2}{4} = \rho + \frac{h^2}{2} \quad (8)$$

The EoS for strange quark matter is as follows:

$$p = \frac{\rho - 4 B_c}{3} \quad (9)$$

Where, B_c is bag constant [19]. Using Eq.(6) and Eq.(7),

$k_2 = k_3$ is obtained. By solving equations (5)-(9) together, the following results are obtained:

Where, B_c is bag constant [19]. Using Eq.(6) and Eq.(7),

$k_2 = k_3$ is obtained. By solving equations (5)-(9) together, the following results are obtained:

$$h^2 = -\frac{(k_1 + 2k_3 - 1)(k_1 - k_3)}{t^2}$$

$$p = -2B_c + \frac{(k_1 + 2k_3 - 1)(k_1 + k_3)}{2t^2}$$

$$\rho = -2B_c + \frac{3(k_1 + 2k_3 - 1)(k_1 + k_3)}{2t^2}$$

$$\beta^2 = \frac{8}{3}B_c + \frac{4(-k_1^2 + (-2k_3 + 1)k_1 - 3k_3^2 + 2k_3)}{3t^2}$$

3. CONCLUSION

In this study, the behavior of MSQM for Kasner solutions in lyra theory have been examined. In this section, the graphs for magnetic field, energy density and pressure obtained in section (2) will be examined.

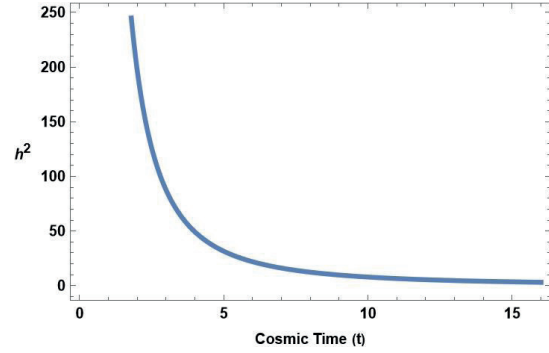


Fig 1. Change of magnetic field with time.

It is seen that the Kasner solutions of the magnetic field decrease over time.

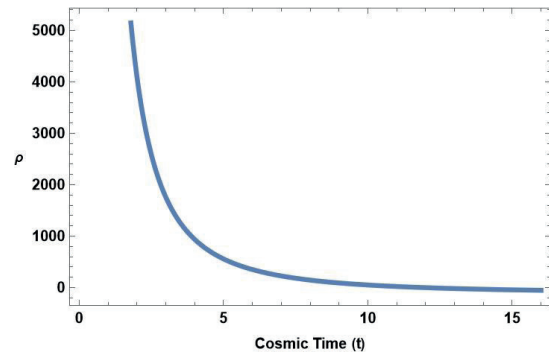


Fig 2. Change of energy density with time.

Density indicates the ratio of energy to volume. At the beginning of the universe, the density was infinite because the energy was concentrated in a region smaller than a point, and as the universe expanded, the density decreased. In this study, energy density has a positive value and decreases over time.

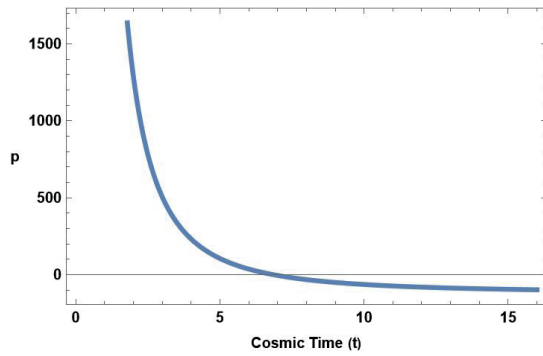


Fig 3. Change of pressure with time.

It has been observed that the pressure initially has a positive value and after a certain time it turns to a final negative value.

KAYNAKÇA

- [1] Riess, A.G., Filippenko, A.V., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Garnavich, P.M., Gilliland, R.L., Hogan, C.J., Jha, S., Kirshner, R.P., Leibundgut, B., Phillips, M.M., Reiss, D., Schmidt, B.P., Schommer, R.A., Smith, R.C., Spyromilio, J., Stubbs, C., Suntzeff, N.B., Tonry, J., Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant, *Astron. J.* 1998, 1009–1038.
- [2] Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G., Knop, R.A., Nugent, P., Castro, P.G., Deustua, S., Fabbro, S., Goobar, A., Groom, D.E., Hook, I.M., Kim, A.G., Kim, M.Y., Lee, J.C., Nunes, N.J., Pain, R., Pennypacker, C.R., Quimby, R., Lidman, C., Ellis, R.S., Irwin, M., McMahon, R.G., Ruiz-Lapuente, P., Walton, N., Schaefer, B., Boyle, B.J., Filippenko, A.V., Matheson, T., Fruchter, A.S., Panagia, N., Newberg, H.J.M., Couch, W.J., Project, T.S.C.: Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae. *Astrophys.J.*, 1999, 565–586.
- [3] Spergel, D.N., Verde, L., Peiris, H.V., Komatsu, E., Nolte, M.R., Bennett, C.L., Halpern, M., Hinshaw, G., Jarosik, N., Kogut, A., Limon, M., Meyer, S.S., Page, L., Tucker, G.S., Weiland, J.L., Wollack, E., Wright, E.L.: First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters. *Astrophys. J. Suppl.*, 2003, 175–194.
- [4] Lyra, G. “Über Eine Modifikation der Riemannschen Geometrie”. *Mathematische Zeitschrift*, 1951, 54(1).
- [5] Harko, T., Lobo, F. S. N., Nojiri, S., ve Odintsov, S. D., “ $f(R,T)$ gravity”. *Physical Review D*, 2011, 84(2), 024020.
- [6] Brans, C., ve Dicke, R. H. “Mach’s Principle and a Relativistic Theory of Gravitation”. *Physical Review*, 1961, 124(3).
- [7] Alfvén, H., “Existence of Electromagnetic-Hydrodynamic Waves”. *nature*, 1942, 150(3805), 405–406.
- [8] Biermann, L., ve Schlüter, A., “Cosmic Radiation and Cosmic Magnetic Fields. II. Origin of Cosmic Magnetic Fields”. *Physical Review*, 1951, 82(6), 863–868.
- [9] Chandrasekhar, S., ve Fermi, E., “Magnetic Fields in Spiral Arms”. *The Astrophysical Journal*, 1953, 118, 113.
- [10] Parker, E. N., “Amplification of Weak Magnetic Fields in Turbulent Flow”. *The Astrophysical Journal*, 1969, 157, 1119.
- [11] Beck, R., “Erratum: Erratum to: Magnetic fields in spiral galaxies”. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 2016, 24, 7.
- [12] Mao, S. A., Carilli, C., Gaensler, B. M., Wucknitz, O., Keeton, C., Basu, A., Zweibel, E. . “Detection of microgauss coherent magnetic fields in a galaxy five billion years ago”. *Nature Astronomy*, 2017 , 621–626.
- [13] S.P. Hatkarand , S.V. Gore, and S.D. Katore, Kasner type Magnetized String cosmological models in $f(R,T)$ gravity, *Serbian Astronomical Journal*, 2018, 197, 1–11.
- [14] S. Özcan, C. Aktaş, Magnetized Strange Quark Models in Lyra Theory, *Journal of New Theory*, 2023, 92–101.
- [15] S. Kalkan, C. Aktaş, S. Aygün, Does Magnetized Strange Quark Matter Exist in the Early Universe?, *Modern Physics Letters A*, 2022 37, 39–40.
- [16] D. K. Sen, K. A. Dunn, A Scalar-Tensor Theory of Gravitation in a Modified Riemannian Manifold, *Journal of Mathematical Physics*, 1971, 578–586.
- [17] J. D. Barrow, R. Maartens, C. G. Tsagas, Cosmology with Inhomogeneous Magnetic Fields, *Physics Reports*, 2007, 131–171.
- [18] C. G. Tsagas, J. D. Barrow, A Gauge-Invariant Analysis of Magnetic Fields in General-Relativistic Cosmology, *Classical and Quantum Gravity*, 1997, 2539–2562.
- [19] J. I. Kapusta, P. V. Landshoff, Finite-Temperature Field Theory, *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 1989, 267–285.

Kuantum Tavlamayı Keşfetmek: Kuantum Hesaplamaya Giden Yol

Exploring Quantum Annealing: A Pathway to Quantum Computing

Hüseyin Türker 

Bilişim Uzmanı, QTURKEY Eğitmen, e-mail: huseyinturker@gmail.com

Öz

Tüm dünyada Kuantum'un 2.devrimi ile Kuantum hesaplama alanında bir yarış başlamıştır. Günümüz teknolojisi ile kuantum mekaniğini temel alan kuantum bilgisayarları, bebek adımları ile gelişmeye başlamış, büyüyen dev adımlarla da gelişme sürecini sürdürmektedir. Saf kuantum bilgisayarları gelişirken, klasik bilgisayarların uzun işlem sürelerinde çözdüğü problemleri, Kuantum Tavlamanın istatistiksel verilerini kullanarak daha hızlı hesaplama yapabilen "Hibrit" bilgisayarlar hemen çözmeye hazırdır. Kuantum tavlama, geliştirilen yöntemlerle, (Ising Model, Binary Quadratic Model, Quadratic unconstrained Binary Optimizasyon) yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Bu amaçla, D-Wave, IBM, Rigetti, Qilimanjaro gibi firmalar bu alanda yoğunlaşmışlardır. Bu firmaların çözümleri (D-Wave'in Dimod, Networkx vb.) gelişmeye katkı vermektedirler.

Atatürk'ün emaneti olan Türkiye Cumhuriyeti'nin 100'üncü yılında, Türkiye'de, kuantum hesaplama ve kuantum tavlamaya dönük farkındalık yaratmak için bu makaleyi yazma ihtiyacı doğmuştur. Quantum alanında yürütülen araştırmaların yakın gelecekteki amacının çözüm bekleyen endüstriyel uygulamalar için kuantum tavlama temeline hazırlanacak yazılımların geliştirilmesi yönünde olacağı düşünülmektedir.

Bu makalede ele alınan hususlar, literatürde yaygın olarak referans yapılan kaynaklardan derlenmiştir.

Kuantum hesaplama ve Kuantum tavlamanın, yapısı, nasıl çalıştığı, hangi çözüm platformlarının olduğu, avantajları ve kısıtları okuyucuya aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: İkinci Dereceden Kısıtlanmamış İkili Optimizasyon (QUBO), Kuantum Hesaplama, Kombinatoriyal Optimizasyon, Kuantum Tavlama, Ising Modeli.

Citation/Atf: TÜRKER, H. (2023). Kuantum Tavlamayı Keşfetmek: Kuantum Hesaplamaya Giden Yol. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 45-54, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Hüseyin Türker
E-mail: huseyinturker@gmail.com



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstract

With the second revolution of Quantum, a race has begun in the field of Quantum computing all over the world. With today's technology, quantum computers based on quantum mechanics have started to develop with baby steps and continue to develop with giant steps. While pure quantum computers are developing, "Hybrid" computers that can perform faster calculations using the statistical data of Quantum Annealing are ready to immediately solve the problems that classical computers solve in long processing times.

Quantum annealing has begun to be used intensively with the developed methods (Ising Model, Binary Quadratic Model, Quadratic unconstrained Binary Optimization). For this purpose, companies such as D-Wave, IBM, Rigetti, Qilimanjaro have concentrated in this field. The solutions of these companies (D-Wave's Dimod, Networkx, etc.) contribute to development.

On the 100th anniversary of the Republic of Turkey, which was entrusted to us by Atatürk, the need to write this article arose to raise awareness about quantum computing and quantum annealing in Turkey.

It is thought that the aim of research in the field of quantum in the near future will be to develop software based on quantum annealing for industrial applications that require solutions. The issues discussed in this article have been compiled from sources widely referenced in the literature. Quantum computing and Quantum annealing, their structure, how they work, which solution platforms there are, their advantages and limitations are explained to the reader.

Keywords: Second Order Unconstrained Binary Optimization (QUBO), Quantum Computing, Combinatorial Optimization, Quantum Annealing, Ising Model

1. GİRİŞ

Karmaşıklık teorisi içerisinde süzülerek ortaya çıkan argümanlar, kuantum bilgisayarlarının belirli problemleri ele alırken klasik hesaplama yöntemlerine kıyasla önemli ölçüde hızlanma potansiyeli barındırdığına işaret etmektedir. Ne var ki, bu durumun P ve NP problemlerinin doğası kadar belirsizliğini koruduğu ve alanında uzman kişiler arasında bile nihai sonuca dair bir konsensüs oluşmadığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda, dünya genelindeki fizik laboratuvarlarında yürütülen çapı büyük kuantum bilgisayar üretim girişimleri, bu alanda karşılaşılan ciddi engellerin altını çizmektedir.

Çoğu zaman, kuantum hesaplamanın pratik başarıları için gerekli olan teorik çerçeve, kapı modeli kullanılarak evrensel hesaplama ulaşmayı hedefleyen yaklaşımlar tarafından şekillendirilmekte; fakat bu, sıradışı platformlar için her zaman geçerli olmayabilir. D-Wave tarafından geliştirilen çipler, daha geniş çapta bilinen kuantum kapı modelinin bir alternatifi olan adyabatik kuantum hesaplama (AQC) modeline dayanarak tasarlanmıştır. Bu çipler, tam anla-

myla merkezi işlem birimleri (CPU) olarak işlev görmemekte, ancak Kuantum Tavlama (QA) olarak bilinen, NP-Zor optimizasyon problemlerini çözme amacı güden bir teknik kullanarak "akıllı bellek hızlandırıcıları"na benzemektedir.

Bu çipler, 20 mili Kelvin gibi mutlak sıfıra yakın derecelere kadar aşırı soğutulduğunda, hesaplamalar sırasında kuantum özelliklerini etkin bir şekilde kullanabilmektedir. AQC çerçevesinde gerçekleştirilen hesaplamaların teorik temelleri, bilim insanları tarafından öne sürüldüğünden bu yana sürekli olarak gelişme göstermiştir. İlk başlarda klasik platformlarda kullanılması planlanan QA paradigması üzerine yapılan araştırmalar da büyük bir ivme kazanmıştır. 2007 yılından itibaren, araştırmacılar, belirli amaçlar için geliştirilmiş platformlarda bu problem çözme yöntemlerini detaylı olarak inceleme fırsatı bulmuşlardır [8].

Bu sistemlere dair başarılı modeller üzerine gerçekleştirilen kapsamlı deneysel çalışmalar literatüre kazandırılmış ve sistemlerin genel özellikleri hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Yine de bu yeni hesaplama yaklaşımının potansiyel gücüne dair sorular mevcudiyetini korumakta-

dır. Büyüklükleri genişleyen yeni modeller, genellikle önceki versiyonlara kıyasla daha hızlı performans gösterir ve daha düşük hata oranlarına sahiptir, bu da her bir çip üzerinde yürütülen deneysel çalışmaların ömrünün göreceli olarak kısa olmasına neden olmaktadır.

Gelişmelerin kronolojisi göz önünde bulundurulduğunda, D-Wave'in çip boyutları, 2007'de duyurulan 16 kübitlik prototipten başlayarak sürekli bir artış göstermiş ve günümüzde 5000'den fazla kübit kapasitesine sahip, kübitler, bağlantılar ve tutarlılık açısından sürekli gelişim gösteren birinci sınıf tavlama kuantum işlemcilerine ulaşmıştır. D-Wave Systems tarafından geliştirilen Leap platformu, kuantum-klasik hibrit çözücüsü aracılığıyla, 1 milyona kadar değişken ve 100.000 kısıtlamayı içeren gerçek dünya uygulamalarını desteklemek üzere tasarlanmıştır [6].

Üretim, finansal hizmetler ve yaşam bilimleri gibi çeşitli sektörlerdeki sayısız uygulama, günümüzde D-Wave kuantum sistemlerini aktif olarak kullanmaktadır. Ancak, alan sınırlamaları, bu kavramların temel ilkelerden itibaren eksiksiz bir şekilde geliştirilmesine engel olmaktadır. Bu nedenle, bu makale, alanda hızla büyüyen literatürün kapsamlı bir incelemesini sunmaktan ziyade, temel kavramları tanıtmayı, önemli araştırma konularını özetlemeyi ve daha derinlemesine araştırmalar için referanslar sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu tartışma, bilgisayar bilimleri alanında lisansüstü düzeyde eğitim almış ve karmaşıklık teorisi, algoritmalar, bilgisayar mimarisi, eşzamanlı sistemler, kombinatoriyal optimizasyon ve deneysel algoritmalar gibi çeşitli disiplinlerde bilgi sahibi olan okuyucuları hedeflemektedir. Ayrıca, doğrusal cebir ve temel fizik kavramlarına dair temel bir malumatın da okuyucu tarafından sağlanmış olması beklenmektedir [1].

1.1. Kuantum Tavlama: Genel Bakış

Teorik arka plan

Kuantum tavlama, temelde adyabatik teorem tarafından yönlendirilen karmaşık bir kuantum hesaplama yöntemidir[2]. Bu teorem, belirli koşullar altında, bir kuantum sisteminin temel durumunun korunacağı ilkesini varsayar. Özellikle,

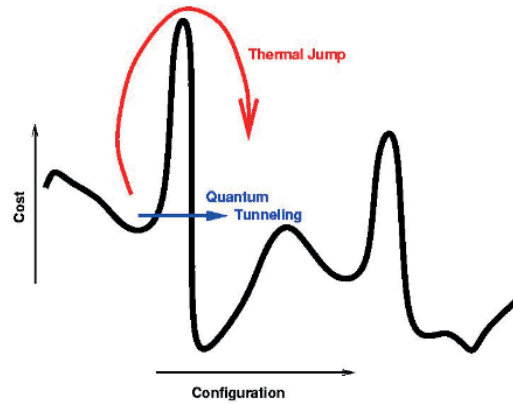
eğer bir sistemdeki Hamiltonyen yeterince yavaş değişirse, sistem büyük olasılıkla başlangıçtaki temel durumuna sadık kalacaktır. Bu kavram, kuantum tavlama sürecinin temelini oluşturur ve kritik dinamikleri anlamada merkezi bir rol oynar[9].

Teorik Çerçeve

Adyabatik teorem, kuantum tavlama yaklaşımının merkezinde yer alır. Bu teorem, sistemdeki temel durum ile ilk uyarılmış durum arasındaki enerji farkının veya "minimum boşluğun" dinamikleri üzerinden, Hamiltonyenin evriminin hızını belirleyici bir faktör olarak tanımlar. Sistemin temel durumunun korunması, Hamiltonyenin evriminin bu enerji boşluğuna bağlı olarak ne kadar yavaş gerçekleştiğine bağlıdır [14].

Bu durum, kuantum sisteminin, geçiş süreci boyunca diğer potansiyel enerji durumlarına geçiş yapmadan temel durumda kalabilmesi için kritiktir. Adyabatik teorem, bu süreçte, Hamiltonyenin kontrollü bir şekilde manipüle edilmesi gerektiğini belirtir, böylece sistem, temel durumdaki tutarlılığını korurken, enerji düzeylerindeki değişikliklere yeterince yavaş bir şekilde yanıt verebilir.

Özetle, kuantum tavlama yöntemleri, sistemlerin kuantum durumlarının evrimleşmesini ve bu evrim sürecinde enerji yapılarının nasıl değiştiğini inceleyerek, enerji minimumlarına veya diğer istatistiksel özelliklere dayalı en uygun çözümleri arar.



Şekil 1. Kuantum Tavlamanın teorik görseli

2. Kuantum Tavlama'yı Anlamak

Klasik Hesaplama'da Tavlama

Optimizasyon algoritmaları, karar verme ve problemlerin çözülmesi bağlamında kritik öneme sahiptir. Özellikle, benzetilmiş tavlama (SA) algoritması, çözüm arayışında olasılık içeren bir yaklaşım benimseyerek klasik hesaplama alanında kendine sağlam bir yer edinmiştir. Bu algoritma, metalurji alanında uygulanan fiziksel tavlama sürecinden esinlenerek, küresel bir optimuma ulaşmak için rastgele arama tekniklerini kullanır.

Benzetilmiş Tavlamanın Algoritmik Yapılandırması:

Benzetilmiş tavlama, enerji minimizasyonuna dayanan bir süreçtir ve bu yaklaşım, metalik materyallerin ısı işlemlerini taklit eder; madde önce yüksek sıcaklıklara çıkarılır, ardından kontrollü bir şekilde soğutulur. Algoritmik çerçevede, bu süreç bir dizi adımda gerçekleştirilir:

- **Başlatma Aşaması:** Algoritma, potansiyel bir başlangıç noktasından, genellikle bir rastgelelik unsuru taşıyan bir çözümle başlar.
- **Maliyet Fonksiyonunun Tanımlanması:** Algoritmanın temel hedefi, genellikle minimize edilmesi gereken bir maliyet fonksiyonudur. Bu fonksiyon, problem bağlamında en uygun çözümü yansıtır.
- **Sıcaklık Düzenlemesi:** Algoritma, arama sürecinde 'sıcaklık' adı verilen bir katsayıyı kullanır. Bu, çözüm uzayındaki rastgele gezinmeyi kontrol eder; yüksek sıcaklıklar geniş bir arama alanına izin verirken, düşük sıcaklıklar aramayı saflaştırır ve yerel aramaya odaklanır.
- **Geçiş Olasılığının Hesaplanması:** Yeni bir çözüm, mevcut çözüme kıyasla değerlendirilir ve kabulü veya reddi, belirli bir geçiş olasılığına göre gerçekleşir. Bu olasılık, mevcut sıcaklığa ve maliyet fonksiyonundaki değişikliklere bağlıdır.
- **Çözüm Değerlendirmesi:** Algoritma, olası yeni çözümleri, belirlenen olasılıklara dayalı olarak kabul eder veya reddeder. Bu süreç, yerel en uygun değerlerden kaçınmayı ve çözüm uzayının daha geniş bir kısmını keşfetmeyi amaçlar.
- **Soğutma Stratejisi:** Sıcaklık, belirlenmiş bir program doğrultusunda kademeli olarak düşü-

rülür, bu da rastgele arama olasılıklarını zamanla azaltır.

- **Algoritmanın Sonlandırılması:** Belirlenmiş bir durdurma kriterine ulaşıldığında, genellikle belirli bir yineleme sayısının tamamlanması veya çözümde belirgin bir iyileşme olmaması durumunda, algoritma sonlandırılır.

Uygulama Alanları ve Algoritmanın Önemi:

Tavlama benzetimi, karmaşık optimizasyon problemlerine yaklaşık çözümler bulmak için makine öğrenimi, yöneylem araştırması, yapay zekâ ve birleştirilmiş optimizasyon gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Evrensel optimumu bulmanın zor olduğu dışbükey (convex) olmayan, yüksek boyutlu veya yeterince anlaşılmamış maliyet fonksiyonlarıyla uğraşırken özellikle faydalıdır [3][4].

3. Kuantum Tavlama Nasıl Çalışır

Kuantum Tavlama Algoritması

Kuantum Tavlama, optimizasyon problemlerinin çözümlenmesine yönelik karmaşık bir yaklaşım sunar ve temelinde, kuantum mekaniklerinin duyarlarla benzersiz bilinenlerini -özellikle süperpozisyon ve tünelleme- kullanır [17]. Bu yöntem, olası çözüm alanlarını etkili bir şekilde tarayarak ve enerji seviyelerindeki en düşük noktaları belirleyerek, en uygun çözümlere ulaşmayı amaçlar.

1. **Başlangıç Hamiltonyen'inin İnşası:** Algoritmanın ilk aşaması, sistemin başlangıç durumunu temsil eden ve kolayca tanımlanabilir bir zemin durumuna sahip bir başlangıç Hamiltonyeni oluşturmaktır. Bu, sistemin tüm olası durumlarının kuantum süperpozisyonunu kapsar.
2. **Hedef Hamiltonyen'in Tanımlanması:** Optimizasyon-sorunun çözümü, enerji seviyelerini kodlayan ve sorunun kalite fonksiyonunu temsil eden belirli bir 'hedef' Hamiltonyeni ile karakterize edilir. Bu görünümdeki en düşük enerji seviyesi, istenen en uygun çözüme işaret eder.
3. **Adyabatik Evrim:** Sistemin evrimi, başlangıç Hamiltonyeni'nden hedef Hamiltonyen'e doğru önceden belirlenmiş bir zamanlama protokolüne uygun olarak kontrollü bir şekilde gerçekleştirilir. Adyabatik teorem, değişimin yeterince yavaş

olduğunda sistemin büyük olasılıkla temel durumunda kalacağını ve böylece hedef Hamiltonyeninin temel durumuna geçeceğini belirtir.

4. Tünelleme ve Süperpozisyon Kullanımı: Kuantum tavlama süreci, kubitlerin enerji engellerini tünelleme yoluyla geçebilmesine ve süperpozisyon vasıtasıyla birden çok olası çözüm durumunu eş zamanlı olarak keşfetmesine olanak tanır. Bu, algoritmanın enerji seviyeleri üzerinde daha geniş bir arama yapmasını ve yerel minimumlarda sıkışıp kalmamasını sağlar.

5. Ölçüm ve Sonuçların Elde Edilmesi: Adyabatik evrim sürecinin tamamlanmasının ardından, sistemin ölçülmesi yoluyla nihai çözüm elde edilir. Kuantum sisteminin bu ölçümü, hedef Hamiltonyeninin zemin durumunu açığa çıkarır, bu da aranan optimizasyon problemi için çözümü temsil eder.

Kuantum Tavlama Algoritması'nın etkili uygulanması, yüksek tutarlılık sürelerine sahip kubitler ve gelişmiş hata düzeltme teknikleri gibi teknolojik gelişmelere bağlıdır. Bu yaklaşım, özellikle klasik yöntemlerle hesaplanması mümkün olmayan karmaşık birleştirilmiş optimizasyon problemlerini ele almak için büyük bir olasılığa sahiptir.

Bir örnek olarak rastgele bir portföy optimizasyon problemi ele alalım. Bu durumda, çeşitli varlıklar arasında yatırım yaparak beklenen getiriye en büyüğe çıkarmaya ve kaybı en aza indirmeye çalışıyoruz. Bu tür problemler, birçok değişken ve kısıtlama içerebilir ve kuantum tavlama kullanılarak etkili bir şekilde çözülebilir.

Problem Tanımı:

- Diyelim ki elimizde N adet farklı finansal varlık var ve bu varlıklar arasında bölüştürülecek belirli bir miktar sermayemiz var.
- Her bir varlığın beklenen getirisi ve kaybı(örneğin, değişkenliği) biliniyor.
- Amacımız, portföyümüzün toplam getirisini en büyük seviyeye çıkarmak ve aynı zamanda toplam kaybımızı en düşük seviyeye düşürmektir.

Bu problemi kuantum tavlama ile çözmek için şu adımları izleyeceğiz:

1. Problem Formülasyonu: Öncelikle, problemi-

mizi QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) biçimine dönüştürmeliyiz. Bu, portföy getirisini maksimize eden en büyükle-yen ve riski minimize eden kaybı en küçükleyen bir amaç fonksiyonu tanımlamayı içerir. Amaç fonksiyonu, her bir varlık için karar değişkenle-rini (yatırımın ikili temsili), beklenen getirileri ve riskleri kayıpları içerecek şekilde oluşturulur.

Formülün genelleştirilmiş biçimi aşağıdadır:

$$F(x) = - \sum_{i=1}^N r_{ij} x_{ij} + \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} x_i x_j$$

2. Kuantum Tavlama Hazırlığı: Amaç fonksiyonumuzu bir başlangıç Hamiltonyenini temsil edecek şekilde tanımladıktan sonra, bu fonksiyonu en düşük enerji durumuna karşılık gelen bir amaç Hamiltonyenine evirecek şekilde bir süreç başlatırız. Bu aşamada, tüm kubitler, portföyümüzdeki olası yatırım dağılımlarının süperpozisyonunu temsil edecek şekilde ayarlanır.

3. Adyabatik Evrim ve Tavlama: Sistemimizi yavaşça başlangıçtan amaç Hamiltonyenine evirerek, sistem sürekli olarak en düşük enerji durumunu "arama" eğiliminde olur. Bu süreçte, kubitlerin süperpozisyonu, portföyümüz için en iyi sonuçları veren yatırım birleşimlerine yönelik taramayı temsil eder.

4. Ölçüm ve Değerlendirme: Evrim sürecinin sonunda, kubitlerimizin son durumlarını ölçerek, portföyümüz için en uygun yatırım dağılımını belirleriz. Ölçümler, hangi varlıklara yatırım yapılacağı ve hangilerinden kaçınılacağı konusunda ikili (0 veya 1) sonuçlar üretecektir.

5. Sonuçların Analizi: Elde edilen sonuçları kullanarak, yatırım stratejimizi uygulayabiliriz. Hangi varlıkların portföyümüzde yer alacağını ve hangi oranlarda sermaye ayrılacağını belirleyebiliriz.

Şekil 2'de kuantum tavlamanın finansal karar verme ve kayıp yönetimi gibi daha karmaşık alanlardanasıl kullanılabileceğini göstermektedir. Kuantum tavlama, özellikle büyük ölçekli ve yüksek derecede kısıtlı problemlerde, en uygun çözümleri bulma konusunda klasik yöntemlere göre avantajlar sunabilir. Bununla birlikte, bu tür bir uygulamanın gerçek dünyada etkin bir

şekilde gerçekleştirilmesi, kuantum donanımının kapasitesi, hata oranları ve sistem gürültüsü gibi faktörlere de bağlıdır [5].

Şekil 3'de programın ekran çıktısı verilmiştir.

4. KUANTUM TAVLAMA UYGULAMALARI

Kuantum tavlama, klasik hesaplama yöntemleriyle çözülmesi zor olan bir dizi problemin üstesinden gelmek için kuantum mekaniğinin prensiplerini kullanan bir optimizasyon tekniğidir.

Bu teknoloji, özellikle karmaşık arama problemleri ve optimizasyonun gerekli olduğu alanlarda umut vaat ediyor. Aşağıda, kuantum tavlamanın bazı pratik uygulamalarını ve bu alanlardaki örnekleri bulabilirsiniz.

4.1 Finansal Modelleme:

- Portföy Optimizasyonu: Yatırımcılar, belirli bir getiri hedefi için kaybı en aza indiren veya öngörülen bir kayıp seviyesi için en yüksek getiriyi sağlayan varlık bileşimlerini bulmak ister.

Şekil 2. Kuantum tavlamanın finansal karar verme ve risk yönetimi ile ilgili bir örnek.

```
import numpy as np
import dimod

# Portföydeki varlık sayısı
num_assets = 10

# Rastgele getiri (mu) ve volatilité (sigma) değerlerini üretme
np.random.seed(0)
mu = np.random.rand(num_assets) # Beklenen getiriler
sigma = np.random.rand(num_assets, num_assets) # Volatilité
for i in range(num_assets):
    sigma[i, i] = 1.0 # Diagonal elemanlar 1
    for j in range(i+1, num_assets):
        sigma[i, j] = sigma[j, i] = np.random.rand() # Simetrik matris oluşturuluyor

# Risk-getiri oranını dengeli bir şekilde belirleme
risk_return_ratio = 0.5

# QUBO problem matrisini oluşturma
Q = {}
for i in range(num_assets):
    for j in range(num_assets):
        if i == j:
            Q[(i, i)] = -mu[i] + risk_return_ratio * sigma[i, i] # Diagonal terimler
        else:
            Q[(i, j)] = risk_return_ratio * sigma[i, j] # Off-diagonal terimler

# Kuantum tavlama benzetimi ile problemi çözme
sampler = dimod.SimulatedAnnealingSampler() # Benzetimli tavlama örnekleyici
response = sampler.sample_qubo(Q, num_reads=100) # QUBO problemini çözme

# En iyi çözümü alma
portfolio = None
for datum in response.data(['sample', 'energy']):
    if portfolio is None or datum.energy < portfolio['energy']:
        portfolio = {'combination': datum.sample, 'energy': datum.energy}

# Sonuçları yazdırma
print("Optimal portföy kombinasyonu:")
for asset in range(num_assets):
    print(f"Varlık {asset + 1}: {'Yatırım yapılıyor' if portfolio['combination'][asset] else 'Yatırım yapılmıyor'})
```

Şekil 3. Şekil 2'de verilen kodun ekran çıktısı.

```
Optimal portföy kombinasyonu:
Varlık 1: Yatırım yapılmıyor
Varlık 2: Yatırım yapılmıyor
Varlık 3: Yatırım yapılmıyor
Varlık 4: Yatırım yapılmıyor
Varlık 5: Yatırım yapılmıyor
Varlık 6: Yatırım yapılmıyor
Varlık 7: Yatırım yapılmıyor
Varlık 8: Yatırım yapılıyor
Varlık 9: Yatırım yapılıyor
Varlık 10: Yatırım yapılmıyor
```

Kuantum tavlama, parasal olarak büyük portföylerde ve karmaşık finansal ürünlerde bile bu tür kararları hızlandırabilir [16].

- **Fiyatlandırma Seçenekleri:** Kuantum tavlama, finansal türevlerin ve diğer enstrümanların karmaşık fiyatlandırma modellerini çözmede kullanılabilir, çünkü bu hesaplamalar, çok sayıda değişken ve gelecekteki senaryoları içerebilecek karmaşık matematiksel modellere dayanır.

4.2 Tedarik Zinciri Yönetimi:

- **Rota Planlaması ve Lojistik:** Şirketler, ürünlerini mümkün olan en düşük maliyetle müşterilere ulaştırmak için en verimli nakliye rotalarını bulmak ister. Kuantum tavlama, trafik, hava durumu, yakıt maliyetleri gibi dinamik değişkenleri hesaba katan karmaşık lojistik problemlerini çözebilir [15].

- **Envanter Yönetimi:** Kuantum tavlama, envanter seviyelerini optimize en iyileyerek, depolama maliyetlerini düşürebilir ve ürün kullanılabilirliğini artırabilir.

4.3 Enerji:

- **En küçük kapsayan ağaç yöntemi ile elektirik şebekelerinin yapılmasını sağlamak:** Kuantum tavlama, enerji dağıtımını en iyi şekilde dengelemek ve böylece tüketimi en iyi şekilde yönetmek için kullanılabilir. Bu, enerji kaynaklarını daha verimli kullanmayı ve kesintileri en aza indirmeyi amaçlar [10].

- **Yenilenebilir Enerji Düzenlemesi:** Enerji üretimini çevresel koşullara (örneğin, rüzgâr hızı veya güneş ışığı) ve talebe göre en uygun çözümü bularak, kuantum tavlama enerji şirketlerinin yenilenebilir kaynaklardan en iyi şekilde yararlanmalarına yardımcı olabilir. [11].

4.4 İlaç ve Sağlık Hizmetleri:

- **Moleküler Tasarım:** Kuantum tavlama, olası ilaç adaylarının keşfini hızlandırmak için kullanılabilir. Örneğin, belirli bir biyolojik hedefe bağlanabilecek moleküllerin tasarımı ve ilaç keşfi için kuantum tavlama yaklaşımı ve kafes protein katlamasında farklı kodlama yöntemlerinin kullanılması [7].

- **Genomik Veri Analizi:** Kuantum tavlama yöntemleri, büyük ölçekli genetik verilerin analiz edilmesine yardımcı olarak, hastalıklar için tehli-

ke etmenlerini belirlemede veya kişiselleştirilmiş tedavi planları oluşturmada kullanılabilir.

4.5 Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi:

- **Veri Kümeleme ve Sınıflandırma:** Makine öğrenimi algoritmaları, büyük veri setlerinden anlamlı örüntüler çıkarmak için kullanılır. Kuantum tavlama, veri noktalarını özelliklerine göre etkili bir şekilde sınıflandırmak veya kümelemek için kullanılabilir [12].

- **Derin Öğrenme:** Kuantum tavlama, özellikle sinir ağlarının eğitilmesi ve en uygun çözümü bulma söz konusu olduğunda, derin öğrenme modellerinin performansını artırabilir [13].

Bu uygulamalar, kuantum tavlamanın sunduğu hız ve hesaplama kapasitesinden faydalanarak, karmaşık problemleri daha verimli ve etkili bir şekilde çözme olasılığına sahiptir. Ancak, kuantum tavlamanın pratikte kullanılabilirliği ve etkinliği, kullanılan kuantum donanımının olgunluğuna ve ilgili algoritmaların geliştirilmesine bağlıdır.

5. KUANTUM TAVLAMANIN ÜSTÜNLÜKLERİ VE SINIRLAMALAR

5.1 Üstünlükleri

- **Paralellik ve Süperpozisyon:** Kuantum tavlama, kuantum süperpozisyon prensibini kullanarak aynı anda birden fazla olası durum üzerinde hesaplama yapabilir. Bu özellik, sistemlerin karmaşık çözüm uzaylarında çok daha geniş bir alanı eş zamanlı olarak tarayabilmesine olanak tanır, bu da optimizasyon süreçlerinde klasik yöntemlere kıyasla üstün bir hız ve verimlilik sağlar.

- **Enerji Verimliliği:** Geleneksel hesaplama tekniklerine kıyasla, kuantum tavlama prosedürleri, hesaplama süreçlerini birleştirerek ve kuantum durumlarının doğal özelliklerini kullanarak enerji tüketiminde olasılığı mevcut olan iyileştirmeler sunabilir. Bu, daha düşük enerji maliyetleri ve artan hesaplama kapasitesi anlamına gelir.

- **Çözüm Alanının Keşfi:** Kuantum tavlama algoritmaları, çözüm uzaylarını geniş bir açıdan inceleyebilir ve kuantum paralelliğinin sağladığı geniş kapsamlı arama kapasitesi sayesinde en uygun ve en uyguna yakın çözümlere ulaşabilir. Bu özellikle, sayısız olası çözüm birle-

şimine sahip optimizasyon en iyileme görevleri için kritik öneme sahiptir.

- **Çözüm Kalitesi:** Kuantum tavlama, çözüm yelpazesinin derinliklerine nüfuz edebilir ve enerji seviyeleri üzerinde tünelleme yaparak evrensel endüşük seviyeleri keşfetme yeteneğine sahiptir. Bu, özellikle klasik yöntemlerin yerel en küçüklerde sıkışıp kaldığı durumlarda çözüm kalitesinde belirgin bir artış sağlar.
- **Azaltılmış Arama Süresi:** Kuantum tavlama, klasik yöntemlerin aksine, kuantum tünelleme özelliğini kullanarak arama süreçlerini hızlandırır. Bu, çözüm uzayındaki yerel en küçüklerden çıkışı ve daha geniş bir evrensel arama kabiliyetini mümkün kılar.
- **Birleştirilmiş Optimizasyon Uygulamaları:** Kuantum tavlama, birleştirilmiş optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problemler, genellikle, gezgin satıcı problemi ve portföy optimizasyonu problemi gibi, çok sayıda değişkenin ve kısıtlamaların en uygun düzenlemelerini gerektirir. Kuantum tavlama, bu tür problemlerdeki çözümlerin kalitesini ve elde edilmiş hızını iyileştirebilir.
- **Gürültü Toleransı ve Sağlamlık:** Kuantum tavlama sistemleri, çevresel bozulmalara ve işlemel kusurlara karşı gösterdikleri dirençle dikkat çeker. Kuantum tutarsızlığı ve kabul edilen gürültü seviyesi, bu sistemlerin güvenilirliğini ve dayanıklılığını artıran hassas etmenler arasındadır.
- **Hibrit Yaklaşımlar:** Kuantum ve klasik hesaplama tekniklerinin bir arada kullanımı, her iki örneğin güçlü yanlarını birleştirir. Hibrit sistemler, kuantum hızlandırmaları ve klasik hesaplama altyapıları arasında bir köprü kurarak, daha geniş bir uygulama yelpazesi ve artan işlevsel esneklik sunar.
- **Hızlanma Potansiyeli:** Kuantum tavlama, belirli problemlerde teorik olarak üstel hızlandırma sunabilir. Bu, en uygun çözümlerin bulunmasında gereken sürenin dramatik olarak azaltılmasıyla sonuçlanabilir, böylece çözüm süreçleri klasik yöntemlere göre daha verimli hale gelir.

5.2 Sınırlamalar

Kuantum tavlama belirli optimizasyon problemlerini çözme konusunda umut verici olsa da aynı zamanda sınırlamaları da vardır. Kuantum tavlama ile ilgili temel sınırlamalardan bazıları şunlardır:

- **Sınırlı Problem Türleri:** Kuantum tavlama, birleştirilmiş optimizasyon problemlerini çözmek için çok uygundur, ancak çok çeşitli diğer problemler için en etkili yaklaşım olmayabilir. Kuantum tavlama belirli optimizasyon problem türleri ile sınırlıdır. Kapı tabanlı kuantum hesaplama ile karşılaştırıldığında genel amaçlı kuantum hesaplama için çok yönlü olmayabilir.
- **Sorun Ölçeklendirme:** Daha büyük ve daha karmaşık sorunları çözmek için kuantum tavlama ölçeklendirmek önemli bir zorluktur. Sorunun boyutu arttıkça kuantum donanımı, kübit bağlantısı, tutarlılık süreleri ve kuantum süperpozisyonunu ve dolanıklığını sürdürme yeteneği açısından sınırlamalarla karşı karşıya kalabilir [17].
- **Kübit Bağlantı Kısıtlamaları:** Mevcut kuantum tavlama donanımındaki kübitler arasındaki bağlantı genellikle sınırlıdır. Bu sınırlama, tüm kübit çiftlerinin doğrudan bağlanmaması nedeniyle verimli bir şekilde çözülebilecek sorun türlerini kısıtlayabilir.
- **Kübit Tutarlılığı ve Hata Oranları:** Kuantum sistemleri gürültüye ve çevresel bozulmalara karşı hassastır, bu da kübit uyumsuzluğuna ve hatalara yol açar. Yeterince uzun bir süre boyunca (tutarlılık süresi) kübit tutarlılığını korumak ve hata oranlarını düşük tutmak, kuantum tavlamanın en büyük zorluklarıdır ve sonuçların güvenilirliğini ve doğruluğunu etkiler.
- **Donanım Kısıtlamaları:** Kuantum tavlama donanımının oluşturulması ve bakımı karmaşık ve maliyetlidir. Kübitlerin çalışması için gereken kontrolü, kararlılığı ve düşük sıcaklıkları elde etmek zorludur ve kuantum tavlama teknolojisinin yaygın olarak benimsenmesini sınırlayabilir.
- **Sorunları İfade Etmedeki Zorluk:** Gerçek dünyadaki optimizasyon problemlerini kuantum tavlama ile uygun bir şekilde dönüştürmek zor olabilir. Sorunun uygun bir *Ising* veya *QUBO* (İkinci Dereceden Kısıtlanmamış İkili Optimizasyon)

şekline eşlenmesi gerekir; bu her zaman basit veya verimli olmayabilir.

- **Hibrit Yaklaşımlar Gerekli Olabilir:** Kuantum tavlama, karmaşık sorunları en iyi şekilde çözmek için her zaman tek başına yeterli olmayabilir. Daha iyi performans ve çözüm kalitesi elde etmek için kuantum tavlama ile klasik algoritmalarla birleştiren hibrit yaklaşımlara ihtiyaç duyulabilir.

- **Piyasada Bulunabilen Sınırlı Donanım:** Son güncellemeler itibarıyla, ticari olarak temin edilebilen kuantum tavlama donanımı sınırlıdır ve kuantum tavlama için erişim yaygın değildir. Bu, araştırmacıların ve uygulayıcıların kuantum tavlama için deneme yapma ve uygulamalar geliştirme yeteneğini sınırlar.

- **Algoritma ve Tavlama Programı Hassasiyeti:** Kuantum tavlamanın verimliliği, algoritma seçimine, tavlama planına ve diğer değişkenlere duyarlı olabilir. Belirli bir sorun için en uygun ayarları bulmak, zaman alıcı ve önemli bir iş olabilir.

- **Bazı Problemler İçin Kanıtlanmamış Hızlanma:** Kuantum tavlamanın teorik olarak belirli problemler için hızlanma sağlaması beklenirken, bu hızlanmanın özellikle büyük, gerçek dünya problemleri için pratik olarak gerçekleştirilmesi hala açık bir sorudur ve devam eden araştırmalara tabidir.

6. SONUÇLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Kuantum tavlama, sunduğu çeşitli üstünlüklerle, optimizasyon teorisinde ve pratiğinde önemli bir devrim olasılıklarına sahiptir. Bununla birlikte, bu teknolojinin etkin bir şekilde uygulanması, kuantum donanımının gelişimi, algoritmaların mükemmelleştirilmesi ve sistemin genel kararlılığının sağlanması gibi çeşitli teknik zorlukların üstesinden gelmeyi gerektirir. Bu bağlamda, kuantum tavlamanın pratikteki etkinliği ve kullanılabilirliği, alanda devam eden araştırmalara ve teknolojik ilerlemelere bağlı olarak şekillenecektir.

İleri Okumalar

Kuantum teknolojilerini anlamak, kuantum hesaplama ve kuantum tavlama konusunda, grafik ve şemalarla, ansiklopedik bilgiler sunan Olivier

Ezratty [17].

Kombinatoriyal Optimizasyon Problemlerin çözümünde öncülük yapan Kochenberger [18].

Endüstri uygulamaları konusunda detaylı bilgi veren Yarkoni, Sheir [19]. Alanında deneyimli yazarlar tarafından oluşturulmuş, yüzlerce referans kaynaktan QUBO konusunda detaylı bir derleme olan Punnen, Abraham [20]. Ayrıca [21] [22]. Bu alana ilgi duyanlara ilgiyle önerilir.

Teşekkür

Bu makalenin oluşturulmasına vesile olan Sayın Öğr. Grv. Dr. Cumali Yaşar'a ve yazım düzeni ve hatalarının giderilmesi için çaba sarfeden Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sevdanur Genç'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

- [1] C. McGeoch, Catherine Adiabatic Quantum Computation and Quantum Annealing Theory and Practice Copyright © 2014 by Morgan & Claypool
- [2] Morita, Satoshi & Nishimori, Hidetoshi Mathematical Foundation of Quantum Annealing, [Submitted on 11 Jun 2008]
- [3] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
- [4] Van Laarhoven, P. J., & Aarts, E. H. (1987). Simulated annealing: Theory and applications. Springer Science & Business Media.
- [5] Yaşar, Cumali. Kuantum tavlama benzetimi ile Portföy Optimizasyonu problemi <https://github.com/cyasar/qubo>
- [6] <https://docs.dwavesys.com/docs/latest/leap.html?highlight=leap> & <https://youtu.be/4-ctzeBQkTc>
- [7] Irbäck, Anders Knuthson, Lucas Mohanty, Sandipan and Peterson, Carsten *Folding lattice proteins with quantum annealing*

- ling, PHYSICAL REVIEW RESEARCH 4, 043013 (2022)
- [8] E. Farhi, J. Goldstone, S. Gutmann, J. Lapan, A. Lundgren, and D. Preda “A quantum adiabatic evolution algorithm applied to random instances of an NP-Complete problem.” *Science*, vol. 292, no. 5516, pp. 472–475, 20 April 2001.
- [9] Childs, Andrew Lecture 19: *The quantum adiabatic theorem*, *Quantum Algorithms* (CO 871 Winter 2008)
- [10] Silva, Filipe F. C. Carvalho, Pedro M. S. Ferreira, Luís A. F. M. and Omar, Yasser A *QUBO Formulation for Minimum Loss Spanning Tree Reconfiguration Problems in Electric Power Networks* arXiv:2109.09659v2
- [11] Sharabiani, Mansour T.A. Jakobsen, Vibe B. Jeppesen, Martin and Mahani, Alireza S. *Quantum Annealing Continuous Optimisation in Renewable Energy* arXiv:2105.11322v2 (2 Apr 2022)
- [12] Kurihara, Kenichi Tanaka, Shu Miyashita, Seiji *Quantum Annealing for Clustering* arxiv.org/abs/0905.3527v1
- [13] Hegde, Pratibha Raghupati Passarelli, Gianluca Cantele, Giovanni and Lucignano, Procolo *Deep learning optimal quantum annealing schedules for random Ising models* arXiv:2211.15209v3 [quant-ph] 26 Jun 2023
- [14] Childs, Prof. Andrew *LECTURE 18: The quantum adiabatic theorem* University of Waterloo Quantum algorithms (CO 781, Winter 2008)
- [15] Játiva, Pablo Galán García, Jesús Abel García *Application of Quantum Annealing to Supply Chain Planning under Uncertainty* //dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3583133.3596350
- [16] G, Kochenberger, Ma, M. *Quantum computing applications of QUBO models to portfolio optimization*. White paper, University of Colorado, Denver, Sept 2019 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10288-020-00464-9>
- [17] Ezratty, Olivier. *Understanding Quantum Technologies Fifth edition* 2022.
- [18] Glover, Fred Kochenberger, Gary Du, Yu Ma, Moses. *Quantum Bridge Analytics I: A Tutorial on Formulating and Using QUBO Models* *Annals of Operations Research* (2022) 314:185–212 <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04695-3>
- [19] Yarkoni, Sheir Raponi, Elena Bäck, Thomas and Schmitt, Sebastian. *Quantum annealing for industry applications: introduction and review* Published 21 September 2022 • © 2022 IOP Publishing Ltd.
- [20] Punnen, Abraham P. *The Quadratic Unconstrained Binary Optimization Problem Theory, Algorithms, and Applications* © Springer Nature Switzerland AG 2022.
- [21] Der-San Chen, Robert G. Batson, Yu Dang. *Applied Integer Programming Modeling And Solution* © 2010 by John Wiley & Sons, Inc.
- [22] Chandra, Anjan Kumar. *Quantum Quenching, Annealing and Computation* Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010 ve *Binary Quadratic Models* © Copyright 2017, D-Wave Systems Inc Revision 8c1dd16f

Türev ve Kısmi İntegral Yöntemi ile Gauss İntegralinin Belirsiz İntegral Çözümü ile Kuantum Mekaniğinde Dalga Fonksiyonunda Kullanımı ve Dalga Fonksiyonunun Konuma ve Zamana Bağlı Tam Çözümleri

Derivative And Partial Integral Method and The use of Gauss Integral in Undefined Integral Solution With Wave Function in Quantum Mechanics and Complete Solutions of The Wave Function Depending on Location and Time

Dila Başpınar¹ 

Ela Başpınar² 

Nesrin Başpınar³ 

Umut Aldoğan⁴ 

¹ Private TED Atakent High School İstanbul, Türkiye, e-mail: dilabaspinar2007@gmail.com

² Private Saint Benoit French High School, İstanbul, Türkiye, e-mail: elabaspinar2304@gmail.com

³ Kucukcekmece Municipality İstanbul, Türkiye, e-mail: nesrinab@gmail.com

⁴ The İstanbul Metropolitan Municipality İstanbul, Türkiye, e-mail: umut.aldogan@emo.org.tr

Öz

Bu çalışma, $\int e^{-\alpha x^2} dx$, Gauss İntegrali'nin diferansiyel denklem ile çözümü[18,19]; kısmi integral yöntemi kullanılarak x diferansiyel altına alınarak belirsiz integral çözümü[29,30,31] ve Gauss İntegrali diferansiyel altına alınarak belirsiz integral çözümü[33,38,39] hem harmonic seri hem de fonksiyon çözümü bulunmuştur. Gauss İntegralinin belirsiz integral çözümü[38] Kuantum Fiziğinde dalga fonksiyonunda yerine koyarak x konum ve k uzayında değişkeni cinsinden $f(x, \alpha)$ dalga fonksiyonu çözümü[44,45] ve bir boyutlu zamana bağlı Schrödinger denkleminde, dalga fonksiyonu denklemi[66,67] bulunur. Direkt uzayda dalga fonksiyonunu k uzayında yaklaşık değeri kullanılmadan kısmi integral yöntemiyle diferansiyel altına alındığında konuma göre k uzayında genel dalga denklemi[72] ve yaklaşık olarak ise $f(x, \alpha)$ dalga fonksiyonu[78] bulunur. $\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk$ ve $f(x, t, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx - i\omega k t} dk$ konuma ve zamana bağlı k uzayında dalga denklemlerinin çözümü[81,87] tam çözümü ve Taylor Serisi çözümü ile de konum ve zamana göre k uzayında dalga denklemi[85,88] bulunur.

Citation/Atf: BAŞPINAR, D., BAŞPINAR, E., BAŞPINAR, N. & ALDOĞAN, U. (2023). Türev ve Kısmi İntegral Yöntemi ile Gauss İntegralinin Belirsiz İntegral Çözümü ile Kuantum Mekaniğinde Dalga Fonksiyonunda Kullanımı ve Dalga Fonksiyonunun Konuma ve Zamana Bağlı Tam Çözümleri. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 55-63, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:

Dila Başpınar

E-mail: dilabaspinar2007@gmail.com



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Bu çözüm yönteminin geliştirilmesinde diferansiyel denklem, kısmi integral, harmonik seriler ve Taylor serisi Gauss İntegralinin belirsiz integral çözümünü ve uzayda konuma ve zamana bağlı dalga fonksiyonunun çözümünü elde etmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak bu çözüm yöntemi diğer integrallerin belirsiz integral değerlerinin hesaplanması için bir yöntem olacağı ve kuantumlu yapıya sahip integrallerin yaklaşımsal olarak hesaplanabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Gauss İntegrali, Türev, Kısmi İntegral, Belirsiz İntegral, Dalga Fonksiyonu, Kuantum Fiziği, Schrödinger

Abstract

This study, $\int e^{-\alpha x^2} dx$, solution of Gaussian Integral with differential equation [18,19]; By using the partial integral method, the indefinite integral solution by taking x under the differential [29,30,31] and the indefinite integral solution by taking the Gaussian integral under the differential [33,38,39] both harmonic series and function solutions are found. Indefinite integral solution of Gaussian Integral [38] In Quantum Physics, the wave function solution $f(x, \alpha)$ in terms of α variable in x position and k space by substituting it in wave function [44,45] and in one-dimensional time dependent Schrödinger equation, wave function equation [66, 67] is found. When the wave function in direct space is differentiated by the partial integral method without using the approximate value of $w(k)$ [50] in space k , the general wave equation in k space by position [72] and approximately the wave function $f(x, \alpha)$ [78] is found. $\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk$ and $f(x, t, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx - i\omega k t} dk$ in space k depending on location and time the exact solution of the wave equations [81,87] and the Taylor Series solution give the wave equation [85,88] in k space according to position and time.

Keywords: Gaussian Integral, Derivative, Partial Integral, Indefinite Integral, Wave Function, Quantum Physics. Schrödinger

1. INDEFİNİTE INTEGRAL SOLUTION OF GAUSS INTEGRAL

INTRODUCTION

In this article, in the development of the solution method, differential equation, partial integral, harmonic series and Taylor series are used to obtain the indefinite integral solution of the Gaussian Integral and the solution of the wave function dependent on position and time in space. As a result, it has been revealed that this solution method will be a method for calculating the indefinite integral values of other integrals and that integrals with quantized structure can be calculated approximately.

1.1 Solution Of The Gauss Integral With A Differential Equation

Let's write the indefinite integral solution of the Gaussian integral as the derivative of the product;

$$\int e^{-x^2} dx = x e^{-x^2} \cdot f_n = g(x) \cdot f_n$$

$$g = g(x) = x e^{-x^2} \quad (1)$$

Equation 3 is obtained by taking the derivative in equation 1.

$$e^{-x^2} = g' \cdot f_n + g \cdot f_n' \quad (2)$$

$$g'(x) = e^{-x^2} - 2x^2 e^{-x^2} \quad \frac{d}{dx} \int e \quad (3)$$

$$e^{-x^2} = e^{-x^2} (1 - 2x^2) f_n + x e^{-x^2} f_n' \Rightarrow \\ = e^{-x^2} [(1 - 2x^2) f_n + x f_n']$$

$$1 = (1 - 2x^2) f_n + x f_n' \quad (4)$$

The derivative of equation (4) is taken again;

$$0 = -4x f_n + (1 - 2x^2) f_n' + f_n' + x f_n'' \quad (5) \text{ Equation (5) is found.}$$

$$x f_n'' + 2(1 - x^2) f_n' - 4x f_n = 0$$

$$f_n'' + \frac{2}{x} (1 - x^2) f_n' - 4x f_n = 0 \quad (5)$$

$x = 0$ is the undefined point.

$$f_n'' + p(x) \cdot f_n' + q(x) f_n = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} x p(x) = \lim_{x \rightarrow 0} x \cdot \frac{2}{x} (1 - x^2) = 2$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} x^2 q(x) = \lim_{x \rightarrow 0} x^2 \cdot (-4) = 0$$

$x = 0$ 'da *regular singular point*

$$\begin{aligned} f'_n &= \sum_{n=0}^{\infty} (n+s) a_n x^{n+s-1} \\ f_n(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^{n+s} \quad a_0 \neq 0 \\ f''_n &= \sum_{n=0}^{\infty} (n+s)(n+s-1) a_n x^{n+s-2} \end{aligned} \quad (6)$$

Let's substitute it into the equation in (5);

$$\begin{aligned} x. f''_n \text{ due to } x' &+ 1 \\ \sum_{n=0}^{\infty} (n+s)(n+s-1) a_n x^{n+s-1} &+ 2 \sum_{n=0}^{\infty} (n+s) a_n x^{n+s-1} - 2 \sum_{n=0}^{\infty} (n+s) a_n x^{n+s+1} - 4 \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^{n+s+1} \\ \sum_{n=0}^{\infty} [(n+s)(n+s-1)+2(n+s)] a_n x^{n+s-1} &- 2 \sum_{n=0}^{\infty} [(n+s)+2] a_n x^{n+s+1} = 0 \\ \sum_{n=0}^{\infty} (n+s)(n+s+1) a_n x^{n+s-1} &- 2 \sum_{n=0}^{\infty} [(n+s)+2] a_n x^{n+s+1} = 0 \\ n=0 \text{ için ; } s.(s+1) a_0 x^{s-1} &+ (s+1)(s+2) a_1 x^s \\ n-1 = n' + 1 \\ \sum_{n=-2}^{\infty} (n+s+2)(n+s+3) a_{n+2} x^{n+s+1} &- 2 \sum_{n=0}^{\infty} (n+s+2) a_n x^{n+s+1} = 0 \end{aligned}$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} [(n+s+2)(n+s+3) a_{n+2} - 2(n+s+2) a_n] x^{n+s+1} \quad (7)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} [(n+s+2)(n+s+3) a_{n+2} - 2(n+s+2) a_n] s.(s+1) a_0 x^{s-1} + (s+1)(s+2) a_1 x^s \quad (8)$$

(when parentheses common a'_n).

$$\begin{aligned} s.(s+1) a_0 &= 0 \quad a_0 \neq 0 \\ (s+1).(s+2). a_1 &= 0 \\ (n+s+2)(n+s+3) a_{n+2} &- 2(n+s+2) a_n = 0 \quad n \geq 0 \\ s.(s+1) a_0 &= 0 \quad a_0 \neq 0 \\ s=0, -1 \end{aligned}$$

$$L(x) = x. \frac{d^2}{dx^2} + 2(1-x^2) \frac{d}{dx} - 4x \quad (9)$$

$$L(-x) = (-x \frac{d^2}{dx^2} + 2(1-x^2) \frac{d}{dx} - 4(-x))$$

$$L(-x) = -[x \frac{d^2}{dx^2} + 2(1-x^2) \frac{d}{dx} - 4x]$$

$$L(-x) = -L(x)$$

$$a_1 \neq 0 \quad s = -1$$

$$(n+1).(n+2). a_{n+2} - 2(n+1) a_n = 0 \quad n \geq 0$$

$$a_{n+2} = \frac{2(n+1)}{(n+1)(n+2)} \cdot a_n \quad n \geq 0$$

$$a_{n+2} = \frac{2}{(n+2)} \cdot a_n \quad n \geq 0$$

(10)

$$n=0 \quad a_2 = a_0$$

$$n=2 \quad a_4 = \frac{2}{4} a_2 \quad a_4 = \frac{1}{2} a_0$$

$$n=4 \quad a_6 = \frac{2}{6} a_4 \quad a_6 = \frac{1}{2.3} a_0$$

$$n=6 \quad a_8 = \frac{2}{8} a_6 \quad a_8 = \frac{1}{2.3.4} a_0$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\Rightarrow a_{2n} = \frac{1}{n!} a_0$$

(11)

(11) found as a result.

$$n=1 \quad a_3 = \frac{2}{3} a_1$$

$$n=3 \quad a_5 = \frac{2}{5} a_3 \quad a_5 = \frac{2.2}{5.3} a_1 = \frac{2^2}{3.5} a_1$$

$$n=5 \quad a_7 = \frac{2}{7} a_5 \quad a_7 = \frac{2^2}{3.5} \cdot \frac{2}{7} \cdot a_1 = \frac{2^3}{3.5 \cdot 7} a_1$$

$$a_{2n+1} = \frac{2^n}{3.5.7 \dots (2n+1)} \cdot a_1 \text{ is found.} \quad (12)$$

$$f_n(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{2n} x^{2n-1} + \sum_{n=0}^{\infty} a_{2n+1} x^{2n+1-1} \quad (13)$$

When a_{2n} and a_{2n+1} values in (11) and (12) are written instead;

$$f_n(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_0 \frac{1}{n!} x^{2n-1} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^n}{3.5.7 \dots (2n+1)} \cdot a_1 x^{2n} \quad (14)$$

$$f_n(x) = a_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n-1}}{n!} + a_1 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n x^{2n}}{3.5 \cdot 7 \dots (2n+1)} \quad (15)$$

$$\Rightarrow f_n(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^{2n} n!}{(2n+1)!} x^{2n} \quad (16)$$

solution of the differential equation,

$$f_n(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n!}{(2n+1)!} \cdot (2x)^{2n} \quad (17)$$

The general solution of the second part of the differential equation is found.

$$\int e^{-x^2} dx = x e^{-x^2} \cdot f_n(x)$$

Let's write the general solution (15) in the indefinite integral solution of the Gaussian integral in equation (1);

$$\int e^{-x^2} dx = x e^{-x^2} \cdot \left[a_0 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n-1}}{n!} + a_1 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n x^{2n}}{3.5 \cdot 7 \dots (2n+1)} \right] \quad (18)$$

Consider the 2nd term with a_1 ;

$$\int e^{-x^2} dx = x e^{-x^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n!}{(2n+1)!} \cdot (2x)^{2n}$$

$$\int e^{-x^2} dx = x \frac{1}{\sqrt{2x}} e^{-x^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{n!}{(2n+1)!} \cdot (2x)^{2n+1} \quad (19)$$

Indefinite integral solution of Gaussian integral; It is found as $f_n(x)$ harmonic series product. And its derivative also manifests itself according to the rule in (3).

1.2 Indefinite Integral Solution By Taking x Under The Differential Using The Partial Integral Method

Solving the Gaussian integral by partial integral method;

$$I(x, \alpha) = \int e^{-\alpha x^2} dx \quad (20)$$

Using the partial integral method,

$$u = e^{-\alpha x^2} \quad v = x$$

$$du = -2\alpha x e^{-\alpha x^2} dx \quad dv = dx$$

$$I(x, \alpha) = x e^{-\alpha x^2} + 2\alpha \int x^2 e^{-\alpha x^2} dx$$

By applying the partial integral again,

$$u = e^{-\alpha x^2} \quad v = \frac{x^3}{3} \quad du = -2\alpha x e^{-\alpha x^2} dx \quad dv = x^2 dx$$

$$\text{whereas; } 2\alpha \cdot [e^{-\alpha x^2} \cdot \frac{x^3}{3} + 2\alpha \int \frac{x^4}{3} e^{-\alpha x^2} dx]$$

$$I(x, \alpha) = x e^{-\alpha x^2} + \frac{2\alpha}{3} x^3 e^{-\alpha x^2} + \frac{4\alpha^2}{3} \int x^4 e^{-\alpha x^2} dx$$

$$; \frac{4\alpha^2}{3} [\frac{x^5}{5} e^{-\alpha x^2} + \frac{2\alpha}{5} \int x^6 e^{-\alpha x^2} dx] \quad u = e^{-\alpha x^2} \quad v = \frac{x^5}{5}$$

$$du = -2\alpha x e^{-\alpha x^2} dx \quad dv = x^4 dx$$

$$I(x, \alpha) = x e^{-\alpha x^2} + \frac{2\alpha}{3} x^3 e^{-\alpha x^2} + \frac{4\alpha^2}{3.5} x^5 e^{-\alpha x^2} + \frac{2.4\alpha^3}{3.5} \int x^6 e^{-\alpha x^2} dx$$

By applying the partial integral again,

$$\int x^6 e^{-\alpha x^2} dx = \frac{x^7}{7} e^{-\alpha x^2} + \frac{2\alpha}{7} \int x^8 e^{-\alpha x^2} dx$$

$$u = e^{-\alpha x^2} \quad v = \frac{x^7}{7}$$

$$du = -2\alpha x e^{-\alpha x^2} dx \quad dv = x^6 dx$$

$$I(x, \alpha) = x e^{-\alpha x^2} + \frac{2\alpha}{3} x^3 e^{-\alpha x^2} + \frac{2^2 \alpha^2}{3.5} x^5 e^{-\alpha x^2} +$$

$$\frac{2^3 \alpha^3}{3.5 \cdot 7} x^7 e^{-\alpha x^2} + \frac{2^4 \alpha^4}{3.5 \cdot 7} \int x^8 e^{-\alpha x^2} dx$$

$$I(x, \alpha) = x \cdot e^{-\alpha x^2} [1 + \frac{2\alpha}{3} x^2 + \frac{2^2 \alpha^2}{3.5} x^4 + \frac{2^3 \alpha^3}{3.5 \cdot 7} x^6 + \frac{2^4 \alpha^4}{3.5 \cdot 7 \cdot 9} x^8 + \dots + \frac{2^n \alpha^n x^{2n}}{3.5 \cdot 7 \cdot 9 \dots (2n+1)} + \frac{2^q \alpha^q}{3.5 \cdot 7 \cdot 9 \dots (2q+1)} \int x^{2\alpha} e^{-\alpha x^2} dx$$

derivative of $I(x, \alpha)$; It gives itself according to the rule in (3).

$$I(x, \alpha) = x \cdot e^{-\alpha x^2} [1 + \sum_{n=1}^q \frac{2^n \alpha^n x^{2n}}{3.5 \cdot 7 \dots (2n+1)} + \frac{2^q \alpha^q}{3.5 \cdot 7 \dots (2q+1)} I_q(x, \alpha)] \quad (21)$$

(21) the general equation is found.

Where;

$$I_q(x, \alpha) = \int x^{2q} e^{-\alpha x^2} dx$$

$$I_q(x, \alpha) = (-1)^q \frac{d^q I(x, \alpha)}{dx^q} \quad q = 1, 2, 3, \dots \quad (22)$$

The last term because q is too big;

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \int x^{2q} e^{-\alpha x^2} dx \rightarrow \frac{2}{e} \quad (23)$$

(23) It takes the value. here; $e = 2.7182 \dots$

Thus, by the approximation method, the indefinite integral value;

$$\int e^{-ax^2} dx = x \cdot e^{-ax^2} \cdot \left[1 + \sum_{n=1}^q \frac{2^n a^n x^{2n}}{3.5.7 \dots (2n+1)} + \frac{2^{q+1} a^q}{3.5.7 \dots (2q+1)} \cdot \frac{1}{e} \right] \quad (24)$$

(24) is found as.

$$3.5.7 \dots (2n+1) = \frac{2.3.4.5 \dots (2n+1)}{2^n (1.2.3.4 \dots n)} = \frac{(2n+1)!}{2^n \cdot n!} \quad (25)$$

$$\frac{1}{3.5.7 \dots (2n+1)} = \frac{2^n \cdot n!}{(2n+1)!} \quad (26) \quad 3.5.7 \dots (2q+1) = \frac{(2q+1)!}{2^q \cdot q!} \quad (26)$$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \frac{2^{2q} \cdot q!}{(2q+1)!} \rightarrow 0 \quad (28) \quad \lim_{q \rightarrow \infty} \int x^{2q} e^{-ax^2} dx \rightarrow \frac{2}{e} \quad (28)$$

$$\text{Where; } 0 < a \leq 1 \quad e = 2.7182 \dots$$

Let's substitute the equations (25), (26), (27) and (28) in equation (24);

$$\int e^{-ax^2} dx = x e^{-ax^2} \cdot \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{2n} a^n x^{2n} \cdot n!}{(2n+1)!} \right] \\ \int e^{-ax^2} dx = x e^{-ax^2} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^{2n} a^n x^{2n} \cdot n!}{(2n+1)!} \right] \quad (29)$$

if we make an arrangement in the equation (29);

$$I(x, a) = \int e^{-ax^2} dx = x e^{-ax^2} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{n!}{(2n+1)!} (2\sqrt{ax})^{2n} \right] \quad (30)$$

Equation number (30) is found.

$$I(x, a) = \int e^{-ax^2} dx = x e^{-ax^2} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n n!}{(2n+1)!} (\sqrt{2ax})^{2n} \right]$$

$$I(x, a) = \frac{x\sqrt{2a}}{\sqrt{2a}} e^{-ax^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} (\sqrt{2ax})^{2n}$$

$$I(x, a) = \frac{1}{\sqrt{2a}} e^{-ax^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\sqrt{2ax})^{2n+1}}{(2n+1)}$$

$$I(x, a) = \int e^{-ax^2} dx = \frac{1}{\sqrt{2a}} e^{-ax^2} \cdot \text{arctanh}(\sqrt{2ax}) + c \quad (31)$$

The equation takes its simplest form as follows.

1.3 Understanding Integral Solution Of The Gauss Integral By Differentializing With Both Harmonic Series And Function Solution

$$I(x, a) = \int e^{-ax^2} dx = \int \left(-\frac{1}{2ax} \right) d e^{-ax^2} = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} - \int e^{-ax^2} d \left(-\frac{1}{2ax} \right)$$

$$I(x, a) = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} - \int \left(-\frac{1}{2a} \right) \cdot \left(-\frac{1}{x^2} \right) e^{-ax^2} dx = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} - \int \left(\frac{1}{2ax^2} \right) \cdot \left(-\frac{1}{2ax} \right) d e^{-ax^2}$$

$$I(x, a) = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} + \int \left(\frac{1}{2^2 a^2 x^3} \right) d e^{-ax^2} = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} + \frac{1}{2^2 a^2 x^3} e^{-ax^2} - \int e^{-ax^2} d \left(\frac{1}{2^2 a^2 x^3} \right)$$

$$I(x, a) = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} + \frac{1}{2^2 a^2 x^3} e^{-ax^2} - \int \left(\frac{1 \cdot (-3)}{2^2 a^2 x^4} \right) e^{-ax^2} dx$$

$$I(x, a) = -\frac{1}{2ax} e^{-ax^2} + \frac{1}{2^2 a^2 x^3} e^{-ax^2} - \frac{3}{2^3 a^3 x^5} \cdot \frac{3.5}{2^4 a^4 x^7} e^{-ax^2}$$

$$- \dots + \int \frac{(-1)^{n+1} \cdot 1.3.5 \dots (2n+1)}{2^n a^n x^{2n+1}} e^{-ax^2} dx \quad (32)$$

General equation no (32) and (33) is found.

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2ax} e^{-ax^2} \left[-1 + \frac{1}{2a} \frac{1}{x^2} - \frac{3}{2^2 a^2 x^4} + \frac{3.5}{2^3 a^3 x^6} - \frac{3.5.7}{2^4 a^4 x^8} + \dots + \frac{1.3.5.7 \dots (2n+1)}{2^n a^n x^{2n}} \right]$$

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2ax} e^{-ax^2} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} \cdot 1.3.5 \dots (2n+1)}{2^n a^n x^{2n}} \right] \quad (33)$$

Let's write the equations (25), (26), (27) and (28) in equation (33);

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2ax} e^{-ax^2} \cdot \left[- \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot (2n+1)!}{2^n \cdot a^n \cdot x^{2n} \cdot (2n)!} \right]$$

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{e^{-ax^2}}{\sqrt{2a}} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cdot (2n+1) \cdot (2n)!}{(2n)! \cdot (\sqrt{2ax})^{2n+1}} \right]$$

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{e^{-ax^2}}{\sqrt{2a}} \cdot \left[- \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot (2n+1) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2ax}} \right)^{2n+1} \right]$$

If we substitute i^2 for -1 , $(-1)^n = i^{2n}$ and $i \cdot i$ in place of -1 in front of the sum;

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{e^{-ax^2}}{\sqrt{2a}} \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{i^{2n} \cdot i}{\frac{1}{(2n+1)}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2ax}} \right)^{2n+1} \right]$$

$$\int e^{-ax^2} dx = \frac{e^{-ax^2}}{\sqrt{2a}} \cdot \left[i \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\frac{1}{(2n+1)}} \cdot \left(\frac{i}{\sqrt{2ax}} \right)^{2n+1} \right] \quad (34)$$

$$\text{arctanh}(x) = \text{arccoth} \left(\frac{1}{x} \right) \quad (35)$$

since (35);

$$\text{arctanh} x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)}{(-i\sqrt{2ax})^{2n+1}}$$

$$\text{arctanh}(-ix) = -i \cdot \text{arctanh} x$$

becomes;

$$\int e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} e^{-\alpha x^2} \cdot i [\operatorname{arctanh}(-i\sqrt{2\alpha}x)] + c \quad (37)$$

In general, the function value of the Gaussian integral;

$$\int e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} e^{-\alpha x^2} \cdot \operatorname{arctanh}(\sqrt{2\alpha}x) + c \quad (38)$$

Logarithmically inverse function;

$$\operatorname{arctanh}(x) = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{1+x}{1-x} \right]; |x| < 1$$

equal;

$$\int e^{-\alpha x^2} dx = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} e^{-\alpha x^2} \cdot \ln \left[\frac{1+\sqrt{2\alpha}x}{1-\sqrt{2\alpha}x} \right] + c \quad | \sqrt{2\alpha}x | < 1 \quad (39)$$

The indefinite integral of the Gaussian Integral; In both the differential equation and the partial integral method, the variables were determined differently and the same value was found in all three solutions.

2.1 Solution Of The Indefinite Integral Solution Of Gauss Integral [38] In Quantum Physics[1] Wave Function In x Position And k Space f(x,α) Wave Function As Variable f(x),

Wave packets in Quantum Physics and the use of Gauss Integral in indefinite integral solution in uncertainty connections;

Wave function in space;

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(k) \cdot e^{ikx} dk \quad (40)$$

Let's consider the defined function. The real part of f(x); It is $\int_{-\infty}^{\infty} g(k) \cdot \cos kx dk$. And this is linear overlapping of waves of wavelength $\lambda = 2\pi/k$. Because the wave reproduces itself when x is changed to $x+2\pi/k$ for each value of k.[1]

$$g(k) = e^{-\alpha(k-k_0)^2} \quad (41)$$

Let's choose (41).

Then the derivative can be taken.

($k' = k - k_0$ including,

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(k) \cdot e^{i(k-k_0)x} \cdot e^{ik_0x} dk$$

$$f(x) = e^{ik_0x} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik'x} e^{-\alpha k'^2} dk'$$

$$f(x) = e^{ik_0x} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha[k'-(ix/2\alpha)]^2} e^{-(x^2/4\alpha)} dk'$$

[1] This is;

$$k' - (ix/2\alpha) = q$$

to write and made to leave the derivative along the real axis.

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha k^2} dk = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \quad [1] \quad \text{is used;} \quad (42)$$

$$f(x) = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} e^{ik_0x} e^{-(x^2/4\alpha)}$$

(42) is obtained.

When $|e^{ik_0x}|^2 = 1$,

e^{ik_0x} product is known as a 'phase multiplier'.

$$|f(x)|^2 = \frac{\pi}{\alpha} e^{-x^2/2\alpha} \text{ will be. [1]} \quad (43)$$

If we substitute the indefinite integral value in the formula of the Gaussian integral (38);

$$\text{When used as } \int e^{-\alpha k^2} dk = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} e^{-\alpha k^2} \cdot \operatorname{arctanh}(\sqrt{2\alpha}k)$$

$$f(x, \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}} e^{-\alpha k^2} \cdot \operatorname{arctanh}(\sqrt{2\alpha}k) \cdot e^{ik_0x} \cdot e^{-(x^2/4\alpha)} \quad (44)$$

$$|f(x, \alpha)|^2 = \frac{1}{2\alpha} e^{-2\alpha k^2} \cdot \operatorname{arctanh}^2(\sqrt{2\alpha}k) \cdot e^{-(x^2/2\alpha)} \quad (45)$$

2.2 Wave Function Equation In The One-Dimensional, Time-Dependent Schrödinger Equation (66,67)

Since it has a spatial variation only in the x direction but not in the y and z directions, if we add a simple plane wave time factor;

It can be written as $e^{ikx-iwt}$

Where $w = 2\pi\nu$ is the angular frequency.

Since the quantity k depends on the wavelength by $k = 2\pi/\lambda$, this can be written in a simple wave form $e^{2\pi i[(x/\lambda)-\nu t]}$. (46)

Here, with the simple relation $\nu = c/\lambda$

$$e^{2\pi i(x-ct)/\lambda} = e^{ik(x-ct)} \text{ becomes the formula.} \quad (47)$$

$$f(x,t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(k) \cdot e^{ik(x-ct)} dk = f(x-ct) \quad (48)$$

$$f(x,t) = \int g(k) \cdot e^{ikx-i\omega kt} dk \quad (49)$$

$$f(x,t) = \int g(k) \cdot e^{ikx-i\omega kt} dk \quad (49)$$

We can write;

$$w(k) \approx w(k_0) + (k - k_0) \left(\frac{dw}{dk} \right)_{k_0} + \frac{1}{2} (k - k_0)^2 \left(\frac{d^2w}{dk^2} \right)_{k_0} \quad (50)$$

$$f(x,t) = e^{ik_0 x} e^{-i\omega(k_0)t} \int e^{-\alpha k'^2} \cdot e^{-i(k'^2/2)[(d^2w/dk^2)]t} \cdot e^{ik'[x - (dw/dk)t]} dk' [1] \quad (51)$$

Leaving aside the previous phase multiplication, the form of the x and t coordinates can be written as the propagation speed of the packet, that is, the group speed, as follows;

$$\text{Where } v_g = \left(\frac{dw}{dk} \right)_{k_0} \text{ Like this;} \quad (52)$$

$$\text{If } \frac{1}{2} \left(\frac{d^2w}{dk^2} \right)_{k_0} = \beta \text{ is defined;} \quad (53)$$

We can write the formula;

$$f(x,t) = e^{i[k_0 x - w(k_0)t]} \int e^{ik'(x-v_g t)} \cdot e^{-(\alpha+i\beta t)k'^2} dk \quad (54)$$

If $x-v_g t$ is substituted for x and $\alpha+i\beta t$ is substituted for α

$$f(x,t) = e^{i[k_0 x - w(k_0)t]} \cdot \left(\frac{\pi}{\alpha+i\beta t} \right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{(x-v_g t)^2}{4(\alpha+i\beta t)}} \quad (55)$$

formula is obtained.

The most important result is: If it represents a particle with momentum p and kinetic energy

$$p^2/2m \quad v_g = \frac{dw}{dk} = \frac{p}{m} \quad (56)$$

$$|f(x,t)|^2 = \left(\frac{\pi}{\alpha^2 + \beta^2 t^2} \right)^{1/2} \cdot e^{-\frac{\alpha(x-v_g t)^2}{2(\alpha^2 + \beta^2 t^2)}} \quad (57)$$

$$E = \hbar \omega \quad (58)$$

$$\text{by establishing the connection } w = \frac{p^2}{2m\hbar} \quad (59)$$

$$\text{To be consistent, } k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{p}{\hbar} \quad (60)$$

This connection needs to be made between them.

Let's substitute the solution of the Gaussian Integral (38);

$$f(x,t) =$$

$$\frac{1}{\sqrt{2(\alpha+i\beta t)}} e^{-(\alpha+i\beta t)k^2} \cdot \text{arctanh}[\sqrt{2(\alpha+i\beta t)} \cdot k] \cdot e^{-\frac{(x-v_g t)^2}{4(\alpha+i\beta t)}} \quad (61)$$

In quantum physics, by solving the Gauss Integral, the position-time equation of the wave function is found as the function value.[1]

On the other hand, our wave equation is;

$$\text{It can be written as; } \Psi(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \cdot \int dp \phi(p) \cdot e^{\frac{i(px-Et)}{\hbar}}$$

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \cdot \int dp \phi(p) \cdot E \cdot e^{\frac{i(px-Et)}{\hbar}} \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \cdot \int dp \phi(p) \frac{p^2}{2m} e^{\frac{i(px-Et)}{\hbar}} \\ = \frac{\hbar}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} \text{ become. [1]} \quad (62)$$

The wave function is a general solution of the differential equation.

One of the solutions of the wave packet is located between the widths in x and k spaces;

$$\Delta k \cdot \Delta x \geq 1 \text{ is the reverse reciprocity connection.} \quad (63)$$

$$\text{If we take the derivative } \hbar k = p \Rightarrow \hbar dk = dp$$

$$\text{that is; } \Delta k = \frac{\Delta p}{\hbar}$$

If we write the value $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$ instead;

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar [1]$$

One-dimensional time dependent Schrodinger equation;

Here the wave function is;

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V \cdot \Psi(x,t) \quad (65)$$

$$\frac{1}{\sqrt{2(\alpha+i\beta t)}} e^{-(\alpha+i\beta t)k^2} \cdot \text{arctanh}[\sqrt{2(\alpha+i\beta t)} \cdot k] \cdot e^{-\frac{(x-v_g t)^2}{4(\alpha+i\beta t)}} \quad (66)$$

$$\Psi(x,t) = \frac{1}{2\sqrt{2(\alpha+i\beta t)}} e^{-(\alpha+i\beta t)k^2} \cdot \ln \left[\frac{1+\sqrt{2(\alpha+i\beta t)}k}{1-\sqrt{2(\alpha+i\beta t)}k} \right] \cdot e^{-\frac{(x-v_g t)^2}{4(\alpha+i\beta t)}} \quad (67)$$

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \text{ is found.} \quad (68)$$

$$g(k) = e^{-\alpha k^2} \quad (69)$$

$$f(x) = \int g(k) e^{ikx} dk [1] \quad (70)$$

2.3 Direct Space Wave Function In Space K $w(k)$, By The Method Of Partial Integration Without Approximate Value e^{ikx} , Differential, General Wave In Space k (72)

Let's write the wave function in k space using the equations (69) and (70);

$$f(x) = \int g(k) e^{ikx} dk = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \int e^{-\alpha k^2} \left(\frac{1}{ix} \right) de^{ikx} = \frac{1}{ix} \left[e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \int e^{ikx} de^{-\alpha k^2} \right]$$

In the last equation, the integral value of the function, equation (70), let's take it to the common denominator and apply partial integration continuously;

$$\left(1 + \frac{2\alpha}{i^2 x^2} \right) \cdot \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \frac{1}{ix} \left[e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2\alpha}{ix} k e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^2 \alpha^2}{ix} \int k^2 e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk \right] \quad (71)$$

$$\left(1 + \frac{2\alpha}{ix} + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2^3 \alpha^3}{i^3 x^3} + 5 \cdot \frac{2^5 \alpha^5}{i^5 x^5} + \dots b_{n-2} \cdot \frac{2^{n-2} \alpha^{n-2}}{i^{n-2} x^{n-2}} \right) \cdot \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \left[e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2\alpha}{ix} k e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^2 \alpha^2}{i^2 x^2} k^2 e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^3 \alpha^3}{i^3 x^3} \left(\frac{2}{\alpha} k - k^3 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^4 \alpha^4}{i^4 x^4} \left(\frac{5}{\alpha} k^2 - k^4 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^5 \alpha^5}{i^5 x^5} \left(\frac{5}{\alpha} k + \frac{1}{\alpha} k^3 + k^5 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^6 \alpha^6}{i^6 x^6} \left(-\frac{3}{2\alpha^2} k^2 + \frac{5}{2\alpha} k^2 + \frac{1}{2\alpha} k^3 - \frac{5}{2\alpha} k^4 + k^6 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{2^7 \alpha^7}{i^7 x^7} \int \left[\left(\frac{3}{\alpha^2} - \frac{5}{2\alpha} \right) \cdot k + \left(\frac{5}{2\alpha} - \frac{3}{2\alpha^2} \right) \cdot k^2 - \frac{3}{2\alpha^2} k^3 + \frac{1}{2\alpha} k^4 - \frac{11}{2\alpha} k^5 + k^7 \right] \cdot e^{-\alpha k^2} de^{ikx} + \dots + \frac{2^n \alpha^n}{i^n x^n} \int [a_1 \cdot k + a_2 \cdot k^2 + a_3 k^2 + a_4 k^2 + \dots + a_{n-1} k^{n-1} + a_n k^n] \cdot e^{-\alpha k^2} de^{ikx} \right] \quad (72)$$

As a result,

the general equation (72) of the $f(x) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk$ function is found.

2.4 Approximately Wave Function (78)

$$a_n = a_1, a_2, a_3, \dots a_{n-1}, a_n = \text{constant} \quad n=1,2,3,4,\dots$$

$$b_n = b_1, b_2, b_3, \dots b_{n-3}, b_{n-2} = \text{constant} \quad n=1,2,3,4,\dots (73)$$

Since;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int k^{2n} e^{-\alpha k^2} dx \rightarrow \frac{2}{e} \quad \text{and} \quad \left| \frac{2\alpha}{ix} \right| < 1 \quad (74)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2^n \alpha^n}{i^n x^n} = \left(\frac{2\alpha}{ix} \right)^n = 0 \quad (75)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n \alpha^n}{i^n x^n} = \frac{1}{1 - \frac{2\alpha}{ix}} = \frac{ix}{ix - 2\alpha} \quad (76)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2^n \alpha^n}{i^n x^n} \int [a_1 \cdot k + a_2 \cdot k^2 + a_3 k^2 + a_4 k^2 + \dots + a_{n-1} k^{n-1} + a_n k^n] \cdot e^{-\alpha k^2} de^{ikx} \rightarrow 0 \quad (77)$$

$$\left(1 + \frac{2\alpha}{ix} + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2^3 \alpha^3}{i^3 x^3} + 5 \cdot \frac{2^5 \alpha^5}{i^5 x^5} + \left(\frac{5\alpha^2 - 6\alpha}{2\alpha^2} \right) \cdot \left(\frac{2^7 \alpha^7}{i^7 x^7} \right) \right) \cdot \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \left[1 + \frac{2^2 \alpha^2}{i^2 x^2} k^2 + \frac{2^3 \alpha^3}{i^3 x^3} \cdot \left(\frac{2}{\alpha} k - k^3 \right) + \frac{2^4 \alpha^4}{i^4 x^4} \cdot \left(\frac{5}{\alpha} k^2 - k^4 \right) + \frac{2^5 \alpha^5}{i^5 x^5} \cdot \left(\frac{5}{\alpha} k + \frac{1}{\alpha} k^3 + k^5 \right) + \frac{2^6 \alpha^6}{i^6 x^6} \cdot \left(-\frac{3}{2\alpha^2} k^2 + \frac{5}{2\alpha} k^2 + \frac{1}{2\alpha} k^3 - \frac{5}{2\alpha} k^4 + k^6 \right) + \frac{2^7 \alpha^7}{i^7 x^7} \cdot \left(\left(\frac{3}{\alpha^2} - \frac{5}{2\alpha} \right) \cdot k + \left(\frac{5}{2\alpha} - \frac{3}{2\alpha^2} \right) \cdot k^2 - \frac{3}{2\alpha^2} k^3 + \frac{1}{2\alpha} k^4 - \frac{11}{2\alpha} k^5 + k^7 \right) \right] \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + c \quad (78)$$

Positional wave equation in space; with the approximate method, the function ; the 7th degree equation of x and k values is found by equation (78).

2.5 $\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk$ and $f(x, t, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx - i\omega k t} dk$ In Location And Time Dependence , Exact Solution Of Wave Equations [81,87]

Approaching it from another angle, let's differentiate the expression $e^{-\alpha k^2}$ in the partial integral;

$$f(x) = \int g(k) e^{ikx} dk = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \int e^{ikx} \cdot \left(\frac{1}{-2\alpha k} \right) de^{-\alpha k^2} = -\frac{1}{2\alpha} \cdot \left[\frac{1}{k} e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \int e^{-\alpha k^2} d \left(\frac{1}{k} e^{ikx} \right) \right]$$

$$= -\frac{1}{2\alpha k} e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \left(\frac{1}{2^2 \alpha^2 k^2} \right) \cdot \left(-\frac{1}{k} + i x \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{1}{2^3 \alpha^3 k^3} \left(\frac{3}{k^2} - \frac{3ix}{k} + i^2 x^2 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \frac{1}{2^4 \alpha^4} \int \left(-\frac{3.5}{k^6} + \frac{15ix}{k^5} - \frac{3i^2 x^2}{k^4} + \frac{3ix}{k^5} - \frac{3i^2 x^2}{k^4} + \frac{i^3 x^3}{k^3} \right) \cdot \left(\frac{1}{k} \right) e^{ikx} de^{-\alpha k^2}$$

$$\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = -\frac{1}{2\alpha k} e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \left(\frac{1}{2^2 \alpha^2 k^2} \right) \cdot \left(-\frac{1}{k} + i x \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{1}{2^3 \alpha^3 k^3} \left(\frac{3}{k^2} - \frac{3ix}{k} + i^2 x^2 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \frac{1}{2^4 \alpha^4 k^4} \left(-\frac{3.5}{k^3} + \frac{15ix}{k^2} - \frac{6i^2 x^2}{k} + i^3 x^3 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + \frac{1}{2^5 \alpha^5 k^5} \left(-\frac{3.5}{k^3} + \frac{15ix}{k^2} - \frac{6i^2 x^2}{k} + i^3 x^3 \right) \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} - \frac{1}{2^6 \alpha^6 k^6} \left(\frac{3.5.8}{k^4} - \frac{15.8ix}{k^3} - \frac{17.3i^2 x^2}{k^2} - 5i^3 x^3 - \frac{6i^3 x^3}{k} + i^4 x^4 \right) + \frac{1}{2^5 \alpha^5} \int e^{-\alpha k^2} \cdot \left(-\frac{3.5.8.9}{k^{10}} + \frac{15.8^2 ix}{k^9} + \frac{17.3.7i^2 x^2}{k^8} + \frac{5^2 i^3 x^3}{k^5} + \frac{6^2 i^3 x^3}{k^7} - \frac{5i^4 x^4}{k^6} + \frac{3.5.8ix}{k^9} - \frac{15.8i^2 x^2}{k^8} - \frac{17.3i^3 x^3}{k^7} - \frac{5i^4 x^4}{k^5} - \frac{6i^4 x^4}{k^6} + \frac{i^5 x^5}{k^5} \right) \cdot e^{ikx} dk \quad (79)$$

Let's write equation (79) above in the simplest way, in binomial expansion;

$$\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{2^n \alpha^n k^n} \right] \cdot \sum_{p=0}^{n-2} \binom{n-2}{p} \left(\frac{1}{k} \right)^p (ix)^{n-2-p} + c \quad (80)$$

$$f(x) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{2^n \alpha^n k^n} \right] \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right)^{n-2} + c \quad c = \text{constant} \quad (81)$$

$$\text{Since; } \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left(\frac{1}{2\alpha k} \right)^n = \frac{1}{1+2\alpha k} \quad |2\alpha k| < 1 ; \quad (82)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left(\frac{1}{2\alpha k} \right)^n = \frac{1}{1+2\alpha k} - 1 = \frac{-2\alpha k}{1+2\alpha k} \quad (83)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot \left[\left(\frac{1}{2\alpha k} \right) \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right) \right]^n = \frac{1}{1 + \frac{1}{2\alpha k} \left(\frac{1}{k} + ix \right)} = \frac{2\alpha k^2}{2\alpha k^2 + 2\alpha i x k + 1} \quad (84)$$

(84) is found from the Taylor series.

$$f(x, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{2^n \alpha^n k^n} \right] \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right)^{n-2} + C$$

$$f(x, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \left[\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \left(\frac{1}{2\alpha k} \right)^n \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right)^n \right] \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right)^{-2} \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + C$$

$$f(x, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = \left(\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left[\left(\frac{1}{2\alpha k} \right) \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right) \right]^n \right) \cdot \left(\frac{1}{k} + ix \right)^{-2} \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + C$$

$$\int e^{-\alpha k^2} e^{ikx} dk = -\frac{(2\alpha i x k + 1)}{2\alpha k^2 + 2\alpha i x k + 1} \cdot \frac{k^2}{(1 + i x k)^2} \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx} + C \quad (85)$$

The general wave equation in k space is found with equation (85).

Time dependent wave equation;

$$f(x, \alpha, t) = \int g(k) \cdot e^{ikx - i\omega k t} dk \quad (86)$$

$$f(x, \alpha, t) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx - i\omega k t} dk = e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx - i\omega k t} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{2^n \alpha^n k^n} \right] \cdot \left[\frac{1}{k} + (ix - i\omega t) \right]^{n-2} + C \quad (87)$$

2.6 Wave Equation In K Space With Location And Time With Taylor Series Solution(88)

If $\left| \frac{1}{2\alpha k} \cdot \left(\frac{1}{k} + ix - i\omega t \right) \right| < 1$, when we use Taylor Series;

$$f(x, t, \alpha) = \int e^{-\alpha k^2} e^{ikx - i\omega k t} dk = -\frac{\frac{1}{2\alpha k} \left(\frac{1}{k} + ix - i\omega t \right)}{1 + \frac{1}{2\alpha k} \left(\frac{1}{k} + ix - i\omega t \right)} \cdot \left(\frac{1}{k} + ix - i\omega t \right)^{-2} \cdot e^{-\alpha k^2} \cdot e^{ikx - i\omega k t} + C \quad (88)$$

The position and time dependent wave equation is found.

KAYNAKÇA

- [1] Gasiorowicz, S. (2000). Quantum physics / Translation: Prof.Dr.Ayla Çelikel / Editing: Asst.Prof. Dr.Hanash Gür. Ankara/Turkey: Ankara University Faculty of Science.

"This page is left blank for typesetting"



HOLISTENCE
publications

Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır

Kuantum Çağında Makine Öğrenimi: Kuantum ve Klasik Destek Vektör Makinelerinin Karşı Karşıya Gelmesi

Machine Learning in the Quantum Age: Quantum vs. Classical Support Vector Machines

Davut Emre Taşar¹ 

Kutan Koruyan² 

Ceren Öcal Taşar³ 

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, Türkiye, e-mail: davutemre.tasar@ogr.deu.edu.tr

² Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İzmir, Türkiye, e-mail: kutan.koruyan@deu.edu.tr

³ Bağımsız Araştırmacı, İzmir, Türkiye, e, mail: ceren.ocaltasar@gmail.com

Öz

Bu çalışma, klasik ve kuantum hesaplama paradigmalarındaki makine öğrenimi algoritmalarının performansını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Özellikle, Destek Vektör Makineleri (SVM) üzerinde durarak, klasik SVM ile kuantum donanımı üzerinde çalıştırılan Kuantum Destek Vektör Makineleri (QSVM)'nin Iris veri seti üzerindeki sınıflandırma başarısını değerlendirmektedir. Kullanılan metodoloji, Qiskit kütüphanesi ile gerçekleştirilen kapsamlı deneyler serisini ve hiperparametre optimizasyonunu içermektedir. Elde edilen sonuçlar, belirli durumlarda QSVM'lerin klasik SVM'lerle rekabet edebilecek düzeyde doğruluk sağladığını, fakat çalışma sürelerinin şu an için daha uzun olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kuantum hesaplama kapasitesinin ve paralellik derecesinin artırılmasının, kuantum makine öğrenimi algoritmalarının performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini belirtmekteyiz. Bu çalışma, kuantum çağında makine öğrenimi uygulamalarının mevcut durumu ve gelecekteki potansiyeli hakkında değerli içgörüler sunmaktadır. Colab: <https://t.ly/QKuz0>

Anahtar kelimeler: Kuantum Hesaplama, Kuantum Makine Öğrenimi, Kuantum Destek Vektör Makineleri (QSVM), Klasik Destek Vektör Makineleri (SVM), Iris Veri Seti, Qiskit Kütüphanesi, Hiperparametre Optimizasyonu

Citation/Atf: TAŞAR, D. E., KORUYAN, K. ÖCAL TAŞAR, C. (2023). Kuantum Çağında Makine Öğrenimi: Kuantum ve Klasik Destek Vektör Makinelerinin Karşı Karşıya Gelmesi. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 1(1): 65-72, DOI: 10.5281/zenodo.10102956

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Davut Emre Taşar
E-mail: davutemre.tasar@ogr.deu.edu.tr



Bu çalışma, Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Abstract

This work endeavors to juxtapose the efficacy of machine learning algorithms within classical and quantum computational paradigms. Particularly, by emphasizing on Support Vector Machines (SVM), we scrutinize the classification prowess of classical SVM and Quantum Support Vector Machines (QSVM) operational on quantum hardware over the Iris dataset. The methodology embraced encapsulates an extensive array of experiments orchestrated through the Qiskit library, alongside hyperparameter optimization. The findings unveil that in particular scenarios, QSVMs extend a level of accuracy that can vie with classical SVMs, albeit the execution times are presently protracted. Moreover, we underscore that augmenting quantum computational capacity and the magnitude of parallelism can markedly ameliorate the performance of quantum machine learning algorithms. This inquiry furnishes invaluable insights regarding the extant scenario and future potentiality of machine learning applications in the quantum epoch. Colab: <https://t.ly/QKuz0>

Keywords: Quantum Computing, Quantum Machine Learning, Quantum Support Vector Machines (QSVM), Classical Support Vector Machines (SVM), Iris Dataset, Qiskit Library, Hyperparameter Optimization

1. GİRİŞ

Son yıllarda, kuantum hesaplamanın yükselişi ve gelişen teknolojik kapasiteler, hem akademik hem de endüstriyel araştırmacılar için makine öğrenimi (ML) algoritmalarının potansiyelini keşfetme olanağı sunmuştur [1]. Kuantum hesaplama, süperpozisyon ve örtüşme gibi kuantum mekaniği prensiplerini kullanarak, klasik bilgisayarların ulaşamayacağı hesaplama kapasitelerine erişim sağlar [2]. Bu durum, ML algoritmalarının performansını ve ölçeklenebilirliğini artırma potansiyelini beraberinde getirir. Bu çalışma, klasik ve kuantum ML algoritmalarının performansını, özellikle Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Kuantum Destek Vektör Makineleri (QSVM) üzerinden karşılaştırarak, mevcut durumu ve gelecek potansiyellerini değerlendirmeyi amaçlar. Qiskit ve Scikit-learn **kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilen deneylerle, klasik ve kuantum ML algoritmalarının**, Iris veri seti üzerindeki sınıflandırma başarımı ve QSVM hiperparametre optimizasyonu incelenmiştir.

1.1 Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi terimi, ilk olarak 1959 yılında Arthur Samuel tarafından ortaya atılmış ve bu alandaki erken çalışmaları temsil etmiştir [3]. Samuel, makine öğrenmesini “bilgisayarların açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği” olarak tanımlamıştır [3]. Zamanla, ML algorit-

maları ve modelleri, geniş bir uygulama yöntemi haline gelmiş ve önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Özellikle, Geoffrey Hinton, Yann LeCun ve Yoshua Bengio’nun derin öğrenme üzerine yaptığı çalışmalar [4][5], ML’nin bu alandaki etkisini göstermektedir. En çok atıf alan makine öğrenmesi çalışmalarından biri olan “Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms” başlıklı makale, ML’nin teorik ve algoritmik temellerini anlatmakta ve ML’nin geniş bir uygulama yelpazesine sahip olan veri madenciliği, otomatik metin tanıma, görüntü işleme ve biyoinformatik gibi alanlarda nasıl kullanılabileceğini tartışmaktadır [6].

1.2 Kuantum Makine Öğrenmesi

Quantum Makine Öğrenmesi (QML) kuantum bilgisayarlarının ilkelerini klasik makine öğrenimi teknikleri ile beraber, veri analizi için yeni bir yaklaşım sunar. Bu alan, Feynman’ın 1981 yılında klasik bilgisayarlar için mümkün olmayan kuantum sistemlerine alternatif olması amacıyla kuantum bilgisayarlarını kullanma önerisine dayanır [7]. QML’nin amacı, kuantum algoritmalarını ve kuantum hesaplama modellerini kullanarak makine öğrenimi algoritmalarını geliştirmektir. Kuantum algoritmalar, klasik algoritmaların aksine, süperpozisyon ve örtüşme gibi kuantum mekaniği ilkelerini kullanarak büyük veri setlerini hızlı bir şekilde işleyebilir.

Kuantum Makine Öğrenimi'nin temel bir algoritması, Aram Harrow, Avinatan Hassidim ve Seth Lloyd tarafından lineer denklem sistemlerini çözmek için önerilen bir kuantum algoritmasıdır [8]. Kuantum Makine Öğrenimi, kuantum bilgisayarların klasik modellerden daha sağlıklı bir maliyetle daha geniş ölçekli makine öğrenimi modelleri sağlama yeteneklerini kullanmayı amaçlar [9]. Bu alan hızla büyümekte ve birçok farklı algoritmayı ve uygulamayı içermektedir, 2017 sonrasında yayınlanan makalelerde çeşitli algoritmalar ve uygulamalar tanımlanmış, analiz edilmiş ve uygulamaları ele alınmıştır[10]. Kuantum Makine Öğrenimi, kuantum ve klasik bilgisayarların birleşiminden elde edilen hızlı veri analizi yetenekleri ile klasik makine öğrenimi ve kuantum bilgisayar bilimi arasında bir köprü oluşturur [11][12].

2. VERİ, YÖNTEM VE DENEY

2.1 Veri

Bu çalışma için, klasik ve kuantum makine öğrenmesi algoritmalarının performansını karşılaştırmak amacıyla Iris veri seti kullanılmıştır. Iris veri seti, İngiliz istatistikçi ve biyolog Ronald Fisher tarafından 1936 yılında tanıtılmış ve çok değişkenli bir veri seti olarak kullanılmıştır. Bu veri seti, üç farklı Iris bitki türünün (Iris setosa, Iris virginica ve Iris versicolor) taç yaprak ve çanak yaprak boyutlarını içerir. Her bir türden 50 kayıt olmak üzere toplamda 150 kayıt bulunur. Veri setinin her bir satırı bir çiçeği, sütunlar ise çanak yaprak uzunluğu, çanak yaprak genişliği, taç yaprak uzunluğu ve taç yaprak genişliği özelliklerini temsil eder [13]. Çizelge 1'de veri setinin temsili gösterimi bulunmaktadır. Ölçüler cm cinsinden ifade edilmektedir.

Çizelge 1. Iris Veri Setinin Temsili Gösterimi

Tür	Çanak Yaprak Uzunluğu	Çanak Yaprak Genişliği	Taç Yaprak Uzunluğu	Taç Yaprak Genişliği
Iris-setosa	5.1	3.5	1.4	0.2
Iris-versicolor	7.0	3.2	4.7	1.4
Iris-virginica	6.3	3.3	6.0	2.5

Veri seti, Scikit-learn kütüphanesinin datasets modülü kullanılarak yüklenmiştir. Iris veri seti, load_iris fonksiyonu aracılığıyla "iris" değişkenine, bağımsız ve bağımlı değişkenler ise sırasıyla "X" ve "y" değişkenlerine atanmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Destek Vektör Makineleri

SVM, sınıflandırma ve regresyon analizleri gibi çeşitli görevler için kullanılan güçlü ve esnek bir makine öğrenimi modelidir. SVM, 1995 yılında geliştirilmiştir. Bu model, veri noktalarını ayıran bir marjin maksimize eden bir karar hiperdüzlemi oluşturmayı amaçlar. Maksimum marjin, modelin genelleştirme yeteneğini artırır ve aşırı öğrenme riskini azaltır.

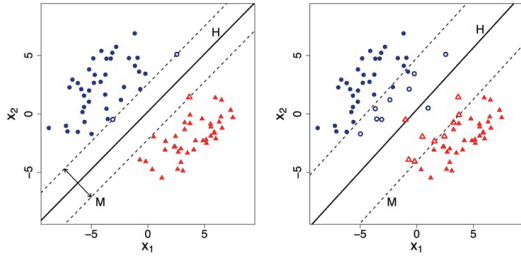
SVM, doğrusal ve doğrusal olmayan sınıflandırma görevlerinde etkili bir şekilde çalışabilir. Doğrusal olmayan sınıflandırma için, SVM, kernel trick adı verilen bir teknik kullanır. Bu teknik, veriyi daha yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürerek doğrusal olarak ayrılabilir hale getirir [14].

Destek vektörleri, karar hiperdüzleminin oluşturulmasında kritik öneme sahiptir. Bu vektörler, karar hiperdüzlemine en yakın veri noktalarıdır ve marjinin hesaplanmasında esas alınır. Marjin, destek vektörlerine olan en kısa mesafeyi temsil eder [15]. Şekil-1'de, doğrusal SVM sınıflandırmasının iki farklı senaryosu temsil edilmektedir. İki belirleyici (X1 ve X2) temelinde, iki farklı sınıf mavi daireler ve kırmızı üçgenler ile gösterilmiştir. Her bir grafikte, sınıflandırma hiperdüzlemi (H) ve maksimal marjin (M) belirgin bir şekilde gösterilmiştir. Destek vektörleri ise açık daireler ve üçgenler ile belirtilmiştir.

Sol taraftaki görselde: Karar sınırı doğrusal olarak ayrılabilir ve tüm gözlemler mükemmel bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bu durum, verilerin doğrusal olarak ayrılabilir olduğu ve karar hiperdüzlemi ile iki sınıfı tamamen doğru bir şekilde ayırabileceği senaryoyu temsil eder.

Sağ taraftaki görselde: Karar sınırı doğrusal olmasına rağmen, tüm gözlemleri mükemmel bir şekilde sınıflandıramamaktadır. Bu durum, yumuşak marjinlerin kullanıldığı ve karar hiperdüzlemi ile bazı gözlemlerin yanlış sınıflandırıldığı bir senaryoyu temsil eder. Yumuşak marjin kullanımı, SVM'nin doğrusal olmayan sınıflandırma problemleri üzerinde daha esnek ve tolere bir performans sergilemesini sağlar.

Şekil 1. X_1 ve X_2 Değişkenlerine dayalı doğrusal destek vektör makinası sınıflandırma örneği [16]



SVM modelinin başarısını artırmak ve daha iyi sınıflandırma sonuçları elde etmek için hiperparametre optimizasyonu önemli bir adımdır. SVM'nin temel hiperparametreleri arasında C , kernel ve gamma bulunur. C parametresi, yanlış sınıflandırma durumlarına karşı toleransı kontrol eder. Kernel parametresi, kullanılacak kernel fonksiyonunu belirtir ve gamma parametresi, RBF kernel fonksiyonunun genişliğini kontrol eder [17][18][19].

SVM, çeşitli gerçek dünya uygulamalarında başarı ile kullanılmıştır. Özellikle, metin ve görüntü sınıflandırma, doğal dil işleme çıktıların tabular data olarak sınıflandırılması, yüz tanıma, biyoinformatik ve medikal görüntü analizi gibi alanlarda geniş bir uygulama yelpazesi bulunmaktadır [20][21].

SVM, Qiskit kütüphanesinin bir parçası olarak quantum destek vektör makineleri (QSVM) ile birlikte, bu çalışmada kullanılan metodolojilerin temelini oluşturmaktadır. Iris veri seti üzerindeki deneyler, SVM ve QSVM modellerinin sınıflandırma başarısını karşılaştırmayı ve kuantum makine öğrenimi algoritmalarının performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2.2.2. Kuantum Destek Vektör Makineleri

Quantum Destek Vektör Makineleri (QSVM), kuantum hesaplama prensiplerini temel alan ve klasik Destek Vektör Makineleri'nin (SVM) bir uzantısı olarak geliştirilen yenilikçi bir makine öğrenimi modelidir [22]. QSVM, klasik SVM'nin doğrusal ve doğrusal olmayan sınıflandırma yeteneklerini, kuantum mekaniksel süreçlerin avantajları ile birleştirir. Kuantum hesaplaması, süperpozisyon ve örtüşme gibi kuantum mekaniği ilkelerini kullanarak, klasik hesaplamaların ulaşabileceği sınırları aşmayı amaçlar. Bu bağlamda, QSVM, kuantum hızlandırıcıları kullanarak sınıflandırma problemlerini daha hızlı ve

etkili bir şekilde çözme hedefler.

QSVM'nin temelinde, kuantum kernel metodları bulunur. Klasik kernel metodları, verileri yüksek boyutlu bir uzaya dönüştürerek doğrusal olarak ayrılabilir hale getirirken, kuantum kernel metodları, kuantum süperpozisyon ve örtüşme prensiplerini kullanarak bu dönüşümü gerçekleştirir. Bu, QSVM'nin karmaşık ve yüksek boyutlu veri setlerini daha etkili bir şekilde işlemesine olanak tanır [23].

QSVM algoritmalarının uygulanması, kuantum donanım ve yazılım platformlarına bağlıdır. Bu çalışmada, IBM'in Qiskit kütüphanesi kullanarak, Google Colab üzerine, IBM api KEY vasıtası ile QSVM modelleri kurulmuş ve eğitilmiştir. Qiskit, kuantum algoritmalarının geliştirilmesi ve simülasyonu için güçlü bir araç seti sunar [24]. QSVM'nin performansı, klasik SVM modeli ile karşılaştırılarak Iris veri seti üzerinde değerlendirilmiştir.

Hiperparametre optimizasyonu, QSVM modellerinin performansını artırmak için kritik bir öneme sahiptir. Qiskit kütüphanesinin sağladığı araçlar, C , kernel ve gamma gibi hiperparametrelerin optimizasyonunu sağlar, bu da modelin sınıflandırma doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir [25].

Deney bölümünde, QSVM'nin Qiskit kütüphanesi kullanarak nasıl uygulandığı edildiği ve QSVM'nin klasik SVM modeli ile karşılaştırıldığında sınıflandırma performansının nasıl farklılık gösterdiği açıklanacaktır. Ayrıca, kuantum kernel metodlarının klasik kernel metodlarına göre üstünlükleri ve sınırlamaları tartışılacaktır. QSVM'nin kuantum hesaplama kapasitesini ve paralellik derecesini artırarak sınıflandırma performansını nasıl iyileştirebileceği üzerinde durulacaktır.

QSVM, kuantum makine öğrenimi algoritmalarının gelecekteki potansiyelini anlamak ve kuantum hesaplamanın makine öğrenimi uygulamalarındaki rolünü değerlendirmek için önemli bir örnektir. Iris veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneyler, QSVM'nin klasik SVM modelleri ile rekabet edebilecek düzeyde performans sunabileceğini göstermektedir.

2.3. Deney

Bu bölümde, makalede bahsedilen metodolojileri kullanarak gerçekleştirilen deneylerin detaylarına yer verilmiştir. Deneyler Python programlama dilinde Qiskit ve Scikit-learn kütüphaneleri kullanarak yürütölmüştür. İlk olarak, Iris veri seti Scikit-learn kütüphanesinin datasets modöülü ile yüklenmiş ve train_test_split fonksiyonu aracılığıyla eğitim ve test setlerine ayrılmıştır. Daha sonra, StandardScaler kullanılarak özeellikler ölçeklendirilmiştir.

Klasik Destek Vektör Makineleri (SVM) modeli, Radial Basis Function (RBF) kerneli ile oluşturulmuştur [26]. RBF kerneli, iki örnekte arasındaki benzerliği ölçen bir fonksiyon olarak işlev görür ve bu örnekte Gaussian RBF olarak kullanılmıştır. Olasılıkları hesaplamak amacıyla probability=True parametresi belirlenmiştir, böylece model sınıflandırma olasılıklarını hesaplayabilir. SVC sınıfı kullanılarak model kurulmuş ve eğitilmiştir. Modelin eğitim süresi, time modöülü aracılığıyla kaydedilmiştir ve sınıflandırma raporu classification_report fonksiyonu ile elde edilmiştir.

Kuantum Destek Vektör Makineleri (QSVM) için, Qiskit kütüphanesinin farklı özeellik haritaları ve entanglement tipleri kullanılarak bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde, ZFeatureMap, ZZFeatureMap ve PauliFeatureMap sınıfları kullanılmıştır. ZFeatureMap, veri örneklerini kuantum durumlarına haritalayan bir özeellik haritasıdır. ZZFeatureMap, kuantum durumları arasındaki çift karşılıklı etkileşimi haritalayan bir özeellik haritasıdır, ve PauliFeatureMap, Pauli matrislerini kullanarak özeellikleri haritalayan bir özeellik haritasıdır [24][27]. Linear, circular ve full entanglement tipleri kullanılmıştır. Linear entanglement tipinde, iki qubit arasında sadece bitişik qubitler birbirine bağlanır. Circular entanglement tipinde, her qubit bir sonraki ile ve son qubit de ilk kübit ile bağlanır. Full entanglement tipinde ise, her qubit her diğer qubit ile bağlanır [28]. QSVC modeli, QuantumKernel sınıfı ve Qiskit'in qasm_simulator backend'i kullanılarak kurulmuş ve eğitilmiştir. QuantumKernel sınıfı, kuantum mekaniği ilkelerini kullanarak bir kernel hesaplar. qasm_simulator backend'i [24], bir kuantum devresinin simü-

lasyonunu sağlar. Her bir modelin eğitim süresi kaydedilmiş ve sınıflandırma raporu elde edilmiştir [24].

Son olarak, en iyi sonuç elde edilen modele, hiperparametre optimizasyonu için bir grid search uygulanmış ve farklı reps, C ve gamma değerleri ile QSVM modelleri eğitilmiştir. Reps parametresi, özeellik haritasındaki devre tekrar sayısını belirtir. C parametresi, hata terimi üzerindeki düzenleme parametresini belirtir. Gamma parametresi ise, RBF kernelinin genişliğini belirtir. Her bir modelin doğruluk, F1-Skoru ve çalışma süresi kaydedilmiş ve en iyi model, en yüksek F1-Skoruna göre seçilmiştir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, hem klasik hem de kuantum destek vektör makineleri (SVM ve QSVM) kullanılarak sınıflandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Klasik SVM, Gaussian RBF kerneli kullanılarak uygulanmış ve mükemmel bir doğruluk oranı elde etmiştir. Bununla birlikte, kuantum algoritmalarının potansiyelini değerlendirmek amacıyla, farklı özeellik haritaları ve dolanıklık stratejileri kullanarak bir dizi QSVM deneyi Quantum Simulator kullanarak gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, ZFeatureMap, ZZFeatureMap ve PauliFeatureMap özeellik haritaları üzerinde çeşitli entanglement stratejileri test edilmiştir. Yapılan analizler, ZFeatureMap'in lineer ve dairesel entanglement stratejileri ile en yüksek doğruluk oranlarını gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, belirli özeellik haritalarının ve entanglement stratejilerinin QSVM'nin performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, QSVM'nin simölasyon süresi, klasik SVM'ye kıyasla önemli ölçüde daha uzundur. Bu, özellikle yüksek hesaplama gereksinimleri nedeniyle kuantum simölasyonlarının doğası gereğidir. Çizelge-2'de ilk deneyin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Klasik SVC ile Quantum SVC 1. Kademe Yöntem Arama Karşılaştırması

Metodoloji	Özellik Haritası (Feature Map)	Entanglement	F1-Score (Macro)	Simülör Çalışma Süresi (saniye)
Klasik SVC	-	-	1.00	0.002
Quantum SVC	Z	Linear	0.96	58.418
Quantum SVC	Z	Circular	0.96	38.237
Quantum SVC	Z	Full	0.96	34.960
Quantum SVC	ZZ	Linear	0.45	59.371
Quantum SVC	ZZ	Circular	0.43	54.979
Quantum SVC	ZZ	Full	0.43	65.219
Quantum SVC	Pauli	Linear	0.76	52.692
Quantum SVC	Pauli	Circular	0.74	52.906
Quantum SVC	Pauli	Full	0.72	52.922

İkinci aşamada, en iyi performans gösteren ZFeatureMap özelliği ile hiperparametre optimizasyonu uygulanmıştır. Çizelge-3'te farklı "reps", "C" ve "gamma" değerleri üzerinde yapılan grid search'in sonuçlarını göstermektedir. En iyi sonuç, "reps=1, C=10, gamma=scale" parametreleri ile elde edilmiş ve bu model, klasik SVM ile karşılaştırılabilir mükemmel bir doğruluk oranı sunmuştur.

Bu çalışma, kuantum destek vektör makinelerinin (QSVM) potansiyelini ve klasik SVM yaklaşımlarına kıyasla performansını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır. Ancak, uygulamada karşılaşılan zorluklar ve sınırlamalar, kuantum hesaplamaların pratik uygulamalarını genişletme yolunda atılması gereken adımları da vurgulamaktadır.

Bir engel, QSVM'nin yüksek hesaplama süreleriyle ilişkilidir. Bu, özellikle kuantum durumlarının klasik bilgisayarlarda simülasyonu söz konusu olduğunda belirgindir, çünkü bu durumlar genellikle büyük miktarda hesaplama kaynağı gerektirir. Ayrıca, kullanılan entanglement stratejileri ve özellik haritalarının içsel karmaşıklığı, simülasyon sürelerinin artmasına neden olabilir, özellikle de çok sayıda qubit'in işin içine girdiği durumlarda. Simülasyon altyapısının kendine özgü kısıtlamaları da bu süreçte bir diğer değişkeni oluşturur.

Ancak, teknolojik ilerlemeler ve kuantum donanımının evrimi, bu hesaplama sürelerini radikal

bir şekilde azaltma potansiyeline sahiptir. Daha verimli kuantum simülasyon teknikleri ve algoritmalarının yanı sıra hiperparametre optimizasyonu yoluyla QSVM modellerinin rafine edilmesi, hem doğruluk hem de hesaplama süresi açısından iyileştirmeler sağlayabilir. Ayrıca, kuantum sınıflandırma algoritmalarının farklı veri setleri ve daha karmaşık sınıflandırma görevleri üzerindeki performansını değerlendirmek, bu araştırmaların gerçek dünya uygulamaları için ne kadar uygun olduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır.

Çizelge 3. Quantum SVC 2. Kademe En İyi Yöntemde Grid Search Karşılaştırması

Model Numarası	Model	F1-Score	Çalışma Süresi (saniye)
0	reps=1, C=0.1, gamma=scale	0.935936	34.665.970
1	reps=1, C=0.1, gamma=auto	0.957672	33.181.926
2	reps=1, C=1, gamma=scale	0.978120	31.604.035
3	reps=1, C=1, gamma=auto	0.978120	31.331.928
4	reps=1, C=10, gamma=scale	1.000.000	31.087.780
5	reps=1, C=10, gamma=auto	0.978645	34.686.012
6	reps=2, C=0.1, gamma=scale	0.854024	36.600.080
7	reps=2, C=0.1, gamma=auto	0.854024	37.226.757
8	reps=2, C=1, gamma=scale	0.955556	37.672.417
9	reps=2, C=1, gamma=auto	0.978120	36.095.115
10	reps=2, C=10, gamma=scale	0.978645	34.315.468
11	reps=2, C=10, gamma=auto	0.928313	35.639.712
12	reps=3, C=0.1, gamma=scale	0.540741	42.556.955
13	reps=3, C=0.1, gamma=auto	0.540741	42.073.531
14	reps=3, C=1, gamma=scale	0.797378	44.945.621
15	reps=3, C=1, gamma=auto	0.804495	46.811.185
16	reps=3, C=10, gamma=scale	0.843162	45.161.285
17	reps=3, C=10, gamma=auto	0.885470	45.514.616

Bu makalede, kuantum makine öğreniminin olası avantajlarını ele almaya çalışmış, aynı zamanda pratik uygulamaların önündeki mevcut engelleri ve gelecekteki araştırma yönlerini de belirlemek için bu deneyi gerçekleştirmiştir. Gerçek kuantum bilgisayarlar üzerinde, daha büyük ölçekli veri setleri ile yapılan deneylerin tekrarı, kuantum makine öğreniminin ölçeklenebilirliği

ve büyük veri problemleri karşısındaki etkinliği konusunda daha derin anlayışlar sağlayacaktır. Kuantum bilgi işlem teknolojisinin süregelen gelişimi, bu alanın zorluklarının üstesinden gelmeyi ve kuantum makine öğreniminin uygulama yelpazesini genişletmeyi vaat etmektedir. Gerçekleştirilen deneyler ile ilgili kodlar ve veri Google Colab not defteri olarak paylaşılmıştır [29].

KAYNAKÇA

- [1] Martín-Guerrero, J. D., & Lamata, L. (2022). Quantum machine learning: A tutorial. *Neurocomputing*, 470, 457-461.
- [2] Ciliberto, C., Herbster, M., Ialongo, A. D., Pontil, M., Rocchetto, A., Severini, S., & Wossnig, L. (2018). Quantum machine learning: a classical perspective. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 474(2209), 20170551.
- [3] A. L. (1959). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of research and development*, 3(3), 210-229.
- [4] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- [5] Bengio, Y., Lecun, Y., & Hinton, G. (2021). Deep learning for AI. *Communications of the ACM*, 64(7), 58-65.
- [6] Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge university press.
- [7] Feynman, R. P. (2018). Simulating physics with computers. *Int. j. Theor. phys*, 21(6/7).
- [8] Mishra, N., Kapil, M., Rakesh, H., Anand, A., Mishra, N., Warke, A., ... & Panigrahi, P. K. (2021). Quantum machine learning: A review and current status. *Data Management, Analytics and Innovation: Proceedings of ICDMAI 2020, Volume 2*, 101-145.
- [9] Melnikov, A., Kordzanganeh, M., Alodjants, A., & Lee, R. K. (2023). Quantum machine learning: From physics to software engineering. *Advances in Physics: X*, 8(1), 2165452.
- [10] García, D. P., Cruz-Benito, J., & García-Peñalvo, F. J. (2022). Systematic literature review: Quantum machine learning and its applications. *arXiv preprint arXiv:2201.04093*.
- [11] Cerezo, M., Verdon, G., Huang, H. Y., Cincio, L., & Coles, P. J. (2022). Challenges and opportunities in quantum machine learning. *Nature Computational Science*, 2(9), 567-576.
- [12] Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning. *Nature*, 549(7671), 195-202.
- [13] Fisher, R. A., & Marshall, M. (1988). Iris plants database. Donor Michael Marshall (MARSHALL% PLU@ io. arc. nasa. gov).
- [14] Shawe-Taylor, J., & Cristianini, N. (2004). *Kernel methods for pattern analysis*. Cambridge university press.
- [15] Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992, July). A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory* (pp. 144-152).
- [16] Kirchner, A., & Signorino, C. S. (2018). Using support vector machines for survey research. *Survey Practice*, 11(1).
- [17] Wainer, J., & Fonseca, P. (2021). How to tune the RBF SVM hyperparameters? An empirical evaluation of 18 search algorithms. *Artificial Intelligence Review*, 54(6), 4771-4797.
- [18] Czarnecki, W. M., Podlowska, S., & Bojarski, A. J. (2015). Robust optimization of SVM hyperparameters in the classification of bioactive compounds. *Journal of cheminformatics*, 7(1), 1-15.
- [19] Kalita, D. J., Singh, V. P., & Kumar, V. (2020). SVM hyper-parameters optimization using multi-PSO for intrusion detection. In *Social Networking and Computational Intelligence: Proceedings of SCI-2018* (pp. 227-241). Springer Singapore.
- [20] Cervantes, J., Garcia-Lamont, F., Rodríguez-Mazahua, L., & Lopez, A. (2020). A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends. *Neurocomputing*, 408, 189-215.
- [21] Şükrü, O. Z. A. N., TAŞAR, D. E., & Özdil, U. (2021). Deep Feature Generation for Author Identification. *Celal Bayar University Journal of Science*, 17(2), 137-143.
- [22] Rebentrost, P., Mohseni, M., & Lloyd, S. (2014). Quantum support vector machine for big data classification. *Physical review letters*, 113(13), 130503.
- [23] Ciliberto, C., Herbster, M., Ialongo, A. D., Pontil, M., Rocchetto, A., Severini, S., & Wossnig, L.

- (2018). Quantum machine learning: a classical perspective. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 474(2209), 20170551.
- [24] Qiskit Contributors. (2023). Qiskit: An Open-source Framework for Quantum Computing [Computer software]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2573505>.
- [25] Demirtas, F., & Tanyildizi, E. (2022). Hyper-parameter Tuning for Quantum Support Vector Machine. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 22(4), 47-54.
- [26] Thurnhofer-Hemsi, K., López-Rubio, E., Molina-Cabello, M. A., & Najarian, K. (2020). Radial basis function kernel optimization for support vector machine classifiers. *arXiv preprint arXiv:2007.08233*.
- [27] Havlíček, V., Córcoles, A. D., Temme, K., Harrow, A. W., Kandala, A., Chow, J. M., & Gambetta, J. M. (2019). Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces. *Nature*, 567(7747), 209-212.
- [28] Sharma, D., Singh, P., & Kumar, A. (2023). The role of entanglement for enhancing the efficiency of quantum kernels towards classification. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 128938.
- [29] Taşar, D. E. (2023). SVC-VS-gridSearchQSVC [Google Colab defteri]. Google Colab. Url: https://colab.research.google.com/drive/1HT88TW_5TAy8Csb74oF5us7nmsKHte9W?usp=sharing



Journal of Quantum Technologies
and Informatics Research

JQTIR