

Kuantum Uyarlamalı Genetik Algoritmalar için Çözüm Kalitesini Artıracak Yeni Bir Yaklaşım

Hasan YETİŞ^{1*}, Mehmet KARAKÖSE²

^{1,2} Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

^{*1} h.yetis@firat.edu.tr, ² mkarakose@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 08/06/2020;

Kabul/Accepted: 04/10/2020)

Öz: Günümüzde kullanımları oldukça kısıtlı olan kuantum bilgisayarlar, sahip oldukları hesaplama gücü potansiyelleri sebebiyle birçok araştırma alanı için heyecan verici olarak karşılanmaktadır. Kuantum bilgisayarların yanında, süper pozisyon ve dolanıklık gibi kuantum hesaplamada kullanılan terimler de klasik algoritmalara uyarlanarak mevcut yöntemlerin kuantum uyarlamaları geliştirilmektedir. Bu çalışmada kuantum uyarlamalı genetik algoritmalar ile elde edilen çözümün kalitesini artırmak adına yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, kuantum popülasyonun gözlemlenmesi ve çözüm adayının elde edilmesi işlemini, önceki çözümlerin uygunluğunu da hesaba katarak gerçekleştirmektedir. Önerilen yaklaşım ile gözlem işlemi sonucunda daha iyi çözümün elde edilme olasılığının artırılması amaçlanmaktadır. Önerilen yaklaşımın, yakınsama hızında artışa yol açtığı ve çözüm kalitesinde yaklaşık 12% civarında bir iyileşme sağladığı deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, mevcut optimizasyon yöntemini daha verimli hale getirmesinin yanında, bu algoritmaların tamamen kuantum bilgisayarlarda çalışabilecek versiyonlarının geliştirilmesi aşaması için de büyük önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Kuantum uyarlamalı genetik algoritma, Kuantum hesaplama, Optimizasyon.

A New Approach to Improve Solution Quality for Quantum-inspired Genetic Algorithms

Abstract: Quantum computers, which are very limited to use today, are welcomed with excitement for many research fields due to their computing power potential. In addition to quantum computers, quantum computing terms based on different bases are also effective in the development of classical algorithms. In this study, a new approach is proposed to improve the quality of the solution obtained by quantum-inspired genetic algorithms. The proposed approach performs the process of observing the quantum population and obtaining a candidate for solution, taking into account the suitability of previous solutions. With the proposed approach, it is aimed to increase the probability of obtaining a better solution as a result of the improved observation process. It is demonstrated by experimental studies that the proposed approach increases the convergence rate and improves solution quality by about 12%. In addition to making the current optimization method more efficient, the work carried out is also of great importance for the development of versions of these algorithms that can run on completely quantum computers.

Key words: Quantum-inspired genetic algorithm, Quantum computing, Optimization.

1. Giriş

Bilgisayar üzerine teorik çalışmalar daha önceden başlamış olsa da gerçek anlamda ilk fiziksel bilgisayar 20. yüzyılın ortalarında geliştirilmiştir [1,2]. Teorik olarak Boole Cebirine dayanan bu bilgisayarların fiziksel olarak ortaya çıkmasında manyetizma ve elektronik konularındaki bilimsel gelişmeler etkili olmuştur [3]. İkinci dünya savaşı sırasında şifre çözmek için kullanılmaya başlanan ilk genel amaçlı bilgisayar örnekleri çok maliyetli ve işlem güçleri günümüz bilgisayarları ile kıyaslandığında oldukça düşüktü [4,5]. Bilgisayarların maliyetinin düşmesi ve kişisel bilgisayarların ortaya çıkması ise 20. yüzyılın son çeyreğinde gerçekleşmiştir [6].

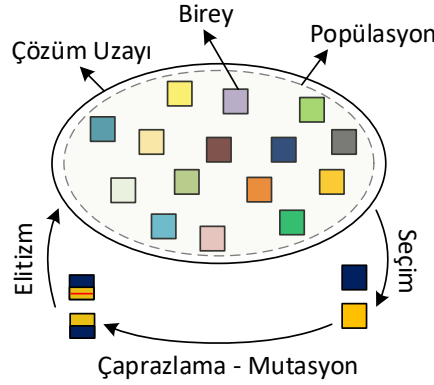
Gelişen teknoloji ile günümüzde insanoğlu kuantum fiziği ve atom altı parçacıklar üzerinde daha bilgili hale gelmiştir [7]. Teorisi 1982 yılından beri var olan ve fiziksel olarak çoğunlukla elektron hareketlerini gözlemlenmesi ile gerçekleştirilen kuantum bilgisayarlar, henüz laboratuvar ortamında çalışsa da yeni nesil kişisel bilgisayarlar için umut vaat etmektedir [8-10]. Günümüzde yaygın olarak uygulanan kuantum bilgisayarların temeli atom altı parçacıkların birbiri ile etkileşiminin incelenmesine dayanmaktadır. Saat çevrimi gerektiren klasik bilgisayarların aksine, bu avantajı sayesinde günümüz laboratuvar ortamında geliştirilen kuantum bilgisayarların, süper bir bilgisayardan 3600 kat daha hızlı çalıştığı belirtilmektedir [11]. Dolayısı ile kuantum bilgisayarlar NP-

* Sorumlu yazar: h.yetis@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹0000-0001-7608-3293, ²0000-0002-3276-3788

hard problemlerin çözümü ve yüksek hesaplama gerektiren makine öğrenmesi yöntemleri için önemli bir potansiyel arz etmektedir.

Günümüzde ancak laboratuvar ortamında stabil çalışabilen kuantum bilgisayarlara bulut servisler ile erişim sağlanması üzerine çalışmalar yürütülmektedir [12]. Ancak kişisel bilgisayarlarda uygulanana kadar kuantum bilgisayarların sahip olduğu potansiyeli tam anlamıyla kullanmış sayılmayacağız. Bu sebeple kuantum hesaplamaların avantajlarını klasik bilgisayarlarda kullanabilmek adına kuantumdan uyarlanan algoritmalar geliştirilmiştir. Kuantumdan uyarlanan algoritmalar temel olarak klasik algoritmalar olmakla birlikte kübit kullanımı gibi bazı kuantum kavramlarının bu algoritmalara entegre edilmesi ile ortaya çıkmıştır. Kuantumdan uyarlanan algoritmalara örnek olarak; Kuantum uyarlamalı Evrimsel Algoritma (KEA), Kuantum uyarlamalı Genetik Algoritma (KGA), Kuantum uyarlamalı Diferansiyel Gelişim Algoritması (KDGA), Kuantum uyarlamalı Parçacık Sürü Optimizasyonu (KPSO) verilebilir [13].

Popüler bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma (GA), günümüze kadar bir çok problemin çözümünde kullanılmıştır [14-15]. Evrimsel süreci örnek alan GA, birey adı verilen çözüm adaylarından oluşmaktadır. Bu çözümlerin uygunluk değerlerini hesaplayacak bir fonksiyon bulunur. GA iteratif bir yöntem olup, her adımda çözüm uzayından bireyler seçilerek, çaprazlama ve mutasyon gibi genetik algoritmaya ait işlemler bu bireylere uygulanır. Sonuçta yeni birey elde edilir ve daha iyi uygunluk değerine sahip olan bireyler bir sonraki popülasyona katılırken, düşük uygunluk değerine sahip olan bireyler yok olur. GA'nın çalışması şekil 1 ile gösterilmiştir [16].



Şekil 1. Genetik algoritma yönteminin görselleştirilmesi [16].

GA'nın kuantum uyarlaması çeşitli şekillerle gerçekleştirilebilir. Bireylerin bit yerine kübitlerden oluştuğu ve çaprazlama-mutasyon işlemlerinin klasik şekilde gerçekleştiği, çaprazlama ve mutasyonun olmayıp kuantum kapılar ile iyileştirme sürecinin gerçekleştirildiği, algoritmaların aynı anda birden fazla çalıştırılarak dolanıklık kavramı ile birbiri ile ilişkide olması gibi farklı uygulamaları mevcuttur [17]. Farklı uygulamalara sahip olsa da, ortak olarak hepsinde çözüm elde etmek için bitler yerine kübitler kullanılmaktadır ve bu da gözlem işlemini gerektirmektedir. Bu çalışmada kapı tabanlı KGA'da, gözlem işlemine bir önceki ve iki önceki çözümün uygunluğu göz önünde bulundurularak yeni bir yaklaşımda bulunulmuştur. Çalışmanın devamı yöntemin temelini oluşturan kuantum hesaplama hakkında teorik bilgi, önerilen yöntem, deneysel sonuçlar ve sonuçlardan oluşmaktadır.

2. Kuantum Hesaplama

Kuantum hesaplama kavramından önce kuantum kavramının bilinmesi gerekmektedir. Kuantum temel olarak bir atom altı parçacığın durumunun gözlemlenene kadar 0 veya 1 olduğunun belli olmamasına dayanmaktadır. Bu durum kuantum fiziğinde süper pozisyon olarak isimlendirilir ve gözlemlenene kadar bir atom altı parçacığın durumu hem 0 hem 1 olarak kabul edilir. Bu temele dayanarak kuantum bilgisayarlar bit yerine kübit kullanırlar ve bir kübit dönüş (*spin*) yönüne bağlı olarak 0 ile 1 arasında sonsuz değer alabilir. Bir kübitin temsili Bloch küresi veya sadeleştirilmiş hali olan Bloch dairesi ile gösterilebilir [18]. Kuantum fiziği ile ilgili bir başka kavram ise dolanıklık kavramıdır. Dolanıklık kavramı iki benzer parçacığın eşzamanlılığa sahip olması anlamına gelmektedir. Yani aralarındaki mesafe ne olursa olsun birbirinden etkilenen parçacıkların olduğunu ifade etmektedir [19]. Bu daha çok adyabetik (*adiabatic*) kuantum bilgisayarlarda karşımıza çıkan bir kavramdır [20].

Kuantum bilgisayarlar, sahip oldukları işlem gücü açısından polinomsal zamanda çözümü mümkün olmayan problemler için büyük bir potansiyel arz etmektedir [21]. Günümüzde IBM Q ve D-Wave Systems gibi büyük firmaların öncülüğünde atom altı parçacıkların dönüş yönlerinin manipüle edilmesi ile kuantum bilgisayarların ilk örnekleri geliştirilmektedir [22,23]. Şu an ihtiyaç duydukları ortam koşulları sebebi ile izole laboratuvar ortamında

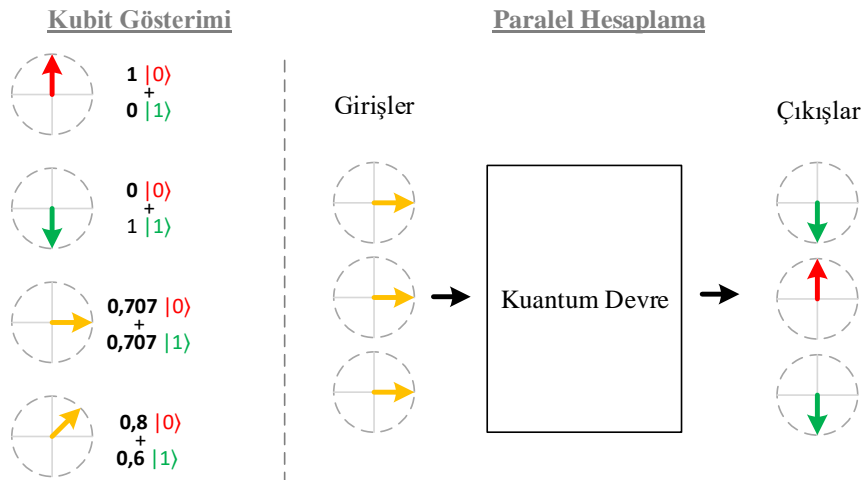
çalışabilen kuantum bilgisayar prototiplerinin, teknolojinin gelişmesi ile normal bilgisayarların yerini alacağı öngörülmektedir. Klasik bilgisayarlarda 0 ve 1'ler bitler ile temsil edilirken, kuantum bilgisayarlarda aynı anda belirli bir olasılıkla hem 0 hem 1 olan kubitler kullanılmaktadır [24]. Kuantum fiziğine göre bir kubitin gözlemlenene kadar durumu belli olmamakla birlikte işlem sonunda gözlemlendiğinde ya 0 ya da 1 olmak durumundadır. Kuantum hesaplamının temelleri bu kurama dayanmaktadır. Gözlemlenene kadar değerinin belli olması, bir kuantum algoritmanın çalışması sonucu üretilen sonuçların farklılaşmasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı kuantum algoritmalar birçok kez çalıştırılarak elde edilen sonuçlar nerede yoğunlaşıyorsa o sonuç çözüm olarak alınmalıdır. Bu durum görünüşte süre açısından dezavantaj gibi gözükse de, kuantum hesaplamının atom altı parçacıklar üzerinde çok daha pratik bir şekilde uygulanması nedeniyle kuantum hesaplama çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Günümüzde 50 kubitlik bir kuantum bilgisayarın bir süper bilgisayardan yaklaşık 3600 kat daha hızlı çalıştığı raporlanmaktadır [11].

Kuantum hesaplama fiziksel olarak farklı yöntemlerle uygulanabilse de günlük kullanımı açısından en umut vadeden tipi atom altı parçacıkların gözlemlenmesine dayanır [25]. Atom altı parçacıkların dönüş yönlerinin insan müdahalesi ile kontrollü bir şekilde değiştirilmesi sonucu çeşitli hesaplamalar yapılabilmektedir. Kuantum hesaplama ve kuantum işlemciler bu temele dayanmaktadır. Kuantum fiziğinin temelinde bir parçacığın gözlemlenene kadar durumunun belli olmaması vardır. Dolayısı ile bir olasılık söz konusudur. Kuantum hesaplamada yararlanılan en küçük birimler kubit olarak adlandırılır ve klasik Boolean mantığı aksine 0 ile 1 arasında süper pozisyon olarak adlandırılan değere sahiptir. Bu durum matematiksel olarak Denklem 1'de verilen bra-ket notasyonu ile ifade edilmektedir [26]. a_n n. durumunun gerçekleşme ihtimalinin karekökünü temsil etmek üzere, kubitlerin bra-ket notasyonuna göre gösterimi Denklem 2'de verildiği gibi olmaktadır. Buradan yola çıkarak gözlemlendiğinde her zaman 0 olacak bir ifadenin ilk indisi 1, diğerinin 0; her zaman 1 olacak bir ifadenin ise ilk indisi 0, diğerinin 1 değerini alması gerekir.

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$|\psi\rangle = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \quad a_1^2 + a_2^2 = 1, \quad \rightarrow \quad |0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Süper pozisyon durumunda olan kubitlerin sağlamış oldukları en büyük avantaj ise 0 ile 1 arasında bir değer alıp, gözlemlendiklerinde 0 veya 1 olabilmeleridir. Şekil 2'de kubitlerin Bloch daireleri ile gösterimine karşılık gelen bra-ket değerleri ve kuantum bilgisayarların paralel hesaplama yeteneği gösterilmiştir. Paralel hesaplama, gözlemlendiğinde 0 veya 1 olma olasılıkları eşit olan kubitlerin devreye giriş olarak verilmesi sonucu hem 0 hem 1 için aynı anda işlem yapılmasıyla gerçekleşir. Elde edilen sonuçlar ise olasılıksal sonuçlar olup, sonucun nerde yoğunlaştığını belirlemek için algoritmaların aynı girişler ile birçok kez çalıştırılması gerekmektedir.



Şekil 2. Kubit gösterimi ve paralel kuantum hesaplamasının gerçekleştirilmesi.

Kullanılan yapıtaşları ve genel prensipler farklı olduklarından dolayı, kuantum sistemlerin çalışması için temelde farklı yaklaşımlar gerekmektedir. Kuantum hesaplamada, klasik Boolean hesaplamalarında kullanılan “ve”, “veya” ve “ya da” gibi operatörler yerine Hadamard, Pauli-X, Pauli-Y, Pauli-Z, Phase ve $\pi/8$ gibi kuantum operatörleri kullanılmaktadır [27]. Donanımsal olarak kuantum kapısı olarak isimlendirilen bu operatörler, kubitler ile işleme girerek kubitlerin durum değiştirmesine neden olmaktadır. Kuantum algoritmaların çalıştırılabilirliği kuantum Turing makineleri veya kuantum devreleri aracılığıyla test edilir [28]. Kuantum Algoritmalar temelde OpenQASM dili ile koda dönüştürülür [29]. Tablo 1’de temel kuantum kapılarına ait matematiksel modeller ve bunlara ait semboller verilmiştir.

Tablo 1. Sık kullanılan temel kuantum kapıları

Adı	Sembolü	Denklemi
Hadamard	H	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
Pauli-X	X	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Y	Y	$\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$
Pauli-Z	Z	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
Phase	S	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix}$
$\pi / 8$	T	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\pi/4} \end{bmatrix}$

Günümüzde kuantum hesaplama yöntemi ile gerçekleştirilen belli başlı algoritmalar bulunmaktadır. Deutsch, Shor, Grover ve Deutsch-Jozsa bunlardan en çok bilinenleridir [30]. Yetersiz kubit sayısı, kubitlerin hafızada doğrudan tutulmaması gibi problemler, kuantum bilgisayar ve algoritmaların önündeki en büyük engellerdendir. Günümüzde IBM-Q ve D-Wave olmak üzere başlıca 2 büyük kuantum işlemci bulunmaktadır. IBM tarafından geliştirilen IBM-Q kuantum devre tabanlı çalışmaktayken, Google, Nasa gibi firmaları arkasına alan D-Wave 2000Q ise Chimera graf topolojisine göre çalışmaktadır [31]. IBM bilgisayarları günümüzde 50 kübite kadar ulaşırken, 128 kubit ile başlayan D-wave, 2017 yılı itibari ile 5000 kübite sahip işlemcileri tanıtmıştır [7].

3. Önerilen Yöntem

GA’ların kuantum uygulaması farklı şekillerde gerçekleştirilebilir [17]. Kuantum tabanlı GA’lar temel olarak GA’lardaki bireylerin bit yerine kubitler ile temsiline dayanır. Dolanıklık adı verilen kavramın uygulanması ile bu algoritma paralel olarak işletilebilir ancak bu çalışmanın odağı kubit kullanımı üzerinde olacaktır. Bu çalışmada kuantum kapılar ile gerçekleştirilen KGA temel alınmıştır. Bu yöntemle göre çözümler, kubitler ile temsil edilen kuantum popülasyonunun gözlemlenmesi sonucu elde edilir. Yöntemin çalışmasına ait sözde kod tablo 2 ile verilmiştir.

Tablo 2. Kuantum uyarlamalı genetik algoritma sözde kodu [17].

	Sözde Kod
1	Q(0) başlangıç kuantum popülasyonunu oluştur
2	Q(0)’daki verileri gözlemleyerek P(0) ikili çözümünü elde et
3	P(0) uygunluğunu hesapla ve en iyi çözümü tut
4	
5	while (sonlanma kriteri sağlanmadığı sürece) do
6	begin
7	t ← t+1
8	U(a) uygulayarak Q(t)’yi güncelle
9	Q(t)’deki verileri gözlemleyerek P(t) ikili çözümünü elde et
10	P(t) uygunluğunu hesapla ve en iyi çözümü tut
11	end

Uygulamada yararlanılan KGA sahte kodu tablo 2’de verildiği gibidir. Burada kuantum popülasyonlardan anlamlı çözümler elde edebilmek için gözleme (*collapse*) işlemi uygulanmalıdır. Kuantum fiziğinde bir parçacığın gözlemlenene kadar 0 veya 1 olduğu bilinemez. Yani gözlemlenene kadar sonuç sadece olasılıksaldır. Kübitler ifade edilirken değerlerinin kareleri toplamının 1’e eşit olması gerekir. Bir başka deyişle değerlerin kareleri bize gerçekleştirilme olasılığını vermektedir. Dolayısı ile parçacıkların gözlemlenme işlemi bu olasılıklar dâhilinde yapılır. Algoritmadaki ikinci temel dinamik de kuantum popülasyonunun güncellenmesi işlemidir. Popülasyonun güncellenmesi tüm genomların belirli bir açı ile dönmesi ile gerçekleştirilir. a dönme açısı olmak üzere matematiksel hesaplamalar, Denklem 3 ve 4’teki gibi gerçekleştirilerek güncellenmiş $|\psi'\rangle$ değeri elde edilir.

$$U(a) = \begin{bmatrix} \cos(a) & -\sin(a) \\ \sin(a) & \cos(a) \end{bmatrix} \quad (3)$$

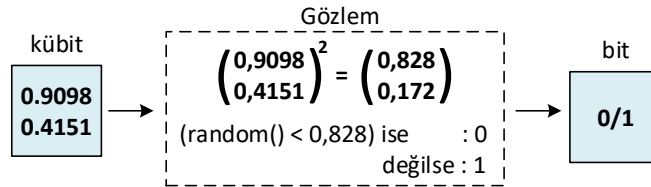
$$|\psi'\rangle = U(a) * |\psi\rangle \quad (4)$$

Dönme açıları en iyi çözümün bit değeri ve o andaki çözümün bit değerine göre belirlenir. İlgili genomun bit değeri ile en iyi çözümde denk gelen genomun bit değerleri aynı ise güncelleme yapılmazken, diğer durumlarda uygunluk değerlerine göre güncelleme işlemi gerçekleştirilir. Burada negatif yönde dönme işlemi 0 olasılığını artırırken, pozitif yöndekilerin 1 olasılığını artırması beklenmektedir. Tablo 3’te kübit güncelleme için seçilecek açı değeri verilmiştir. Burada f uygunluk fonksiyonu olup, x_i anlık çözümün i. biti, b_i ise en iyi çözümün i. bitini ifade etmektedir.

Tablo 3. Dönme açılarının belirlenmesi [15].

x_i	b_i	$f(x) > f(b)$	<i>güncelleme açısı</i>
0	1	hayır	a
0	1	evet	-a
1	0	hayır	-a
1	0	evet	a

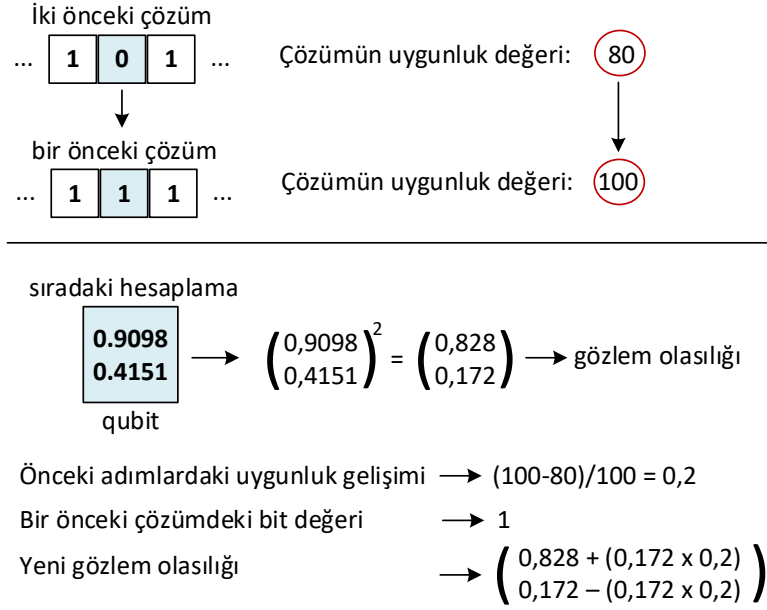
Gözlem işlemi sonucunda, kübit biçimindeyken olasılıksal olarak 0 veya 1 olabilecek ifadelerin net olarak 0 mı 1 mi olduğu belirlenir. İlgili bitin 0 veya 1 olma olasılığı kübitin karesine bağlı olarak gerçekleşir. Denklem 2’de kübit değerlerinin karelerinin toplamının 1 olacağı ifade edilmiştir. Dolayısı ile bu işlem simülasyon ortamında olasılık hesabına dönüşmektedir. Gözlem işleminin gerçekleştirilmesi şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Kuantum uyarlamalı genetik algoritma gözlem (*collapse*) işlemi.

Şekil 3’te de görüldüğü üzere kübitlerin gözlem sonucu alacağı bit değerleri her adımda bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada gözlem işleminde bir önceki ve iki önceki adımlardaki uygunluk değerindeki iyileşmenin de hesaba katılması önerilmiştir. Böylelikle iyi sonuç veren gözlemin bir sonraki adımda daha baskın olması hedeflenmektedir.

Önerilen yaklaşımda gözlem işlemi Şekil 4’te verildiği üzere gerçekleştirilmektedir. Klasik KGA’da, anlık çözüm ve en iyi çözüm değerlerine göre kuantum popülasyon üzerinde Denklem 3 ve 4’ten yararlanılarak güncellemeler yapılır. Önerilen yöntemde ise bir önceki ve iki önceki adımlarda elde edilen en iyi ikili çözümler tutulur. Bu ikili çözümlerde mevcut çözümünün uygunluk değeri en iyi çözümden daha iyi ise, bit değerlerindeki değişimin durumu incelenir. Bit değerlerinde değişim söz konusu ise gözlem sonucunun mevcut çözümün bit değerini verme olasılığı artırılır. Bunun için uygunluk değerindeki artış oranı doğrultusunda güncellemeler yapılır. Çözüm uygunluk fonksiyonu sonucu artış oranı hesaplandıktan sonra gözlem olasılığı düşük olan değer ile artış oranını çarpılarak değişim miktarı hesaplanır. Değişim miktarı bir önceki çözümün bit değerinin olasılığını artıracak biçimde olasılıklardan birine eklenirken diğerinden çıkarılır. Yeni kuantum popülasyondaki değerler, yeni gözlem oranının karekökü olacak şekilde popülasyon güncellenir.

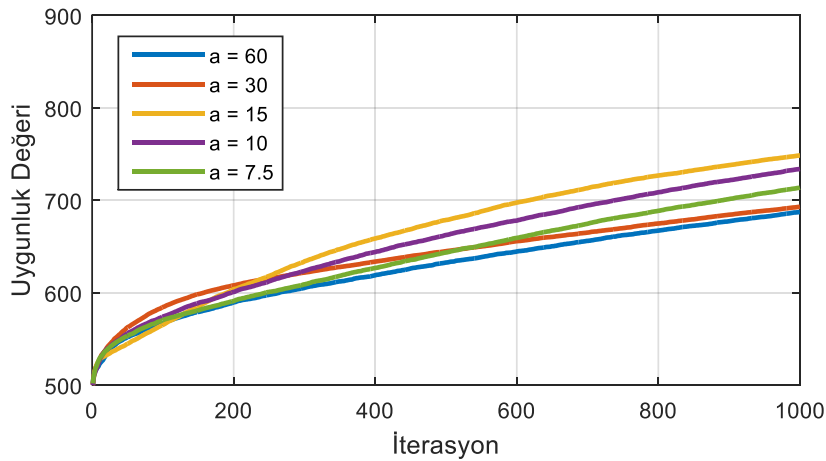


Şekil 4. Önerilen yöntem ile gözlem işleminin gerçekleştirilmesi

4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek üzere GA, KGA ve önerilen yöntem sık kullanılan kıyaslama problemlerinden biri olan Sphere problemi üzerinde uygulanmıştır [32]. Uygulamaların test edilmesinde üzerinde SSD bulunan, 7. nesil i7 işlemcili, 6gb ram kapasitesine sahip Windows 10 işletim sistemi yüklü bir bilgisayar kullanılmış olup, çalışmalar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Sezgisel yöntemlerin çalışmaları kararlı olmadıklarından dolayı her bir yöntem 100 kez çalıştırılmış ve her adımdaki en iyi çözümlerin ortalaması alınarak sonuçlara eklenmiştir. Yöntemlerin yakınsama hızlarının daha net görülebilmesi için erken çıkma kriteri konulmamış ve bütün yöntemler sabit 1000 iterasyon boyunca devam ettirilmiştir.

İlk olarak uygun güncelleme açısının tespit edilmesi için farklı açılarla KGA çalıştırılmıştır. Farklı değişim açılarının yöntem üzerindeki etkisini görmek adına 7.5, 10, 15, 30 ve 60 güncelleme açıları ile yöntem test edilmiştir. Uygunluk değerlerindeki değişim şekil 5 ile verilmiştir.



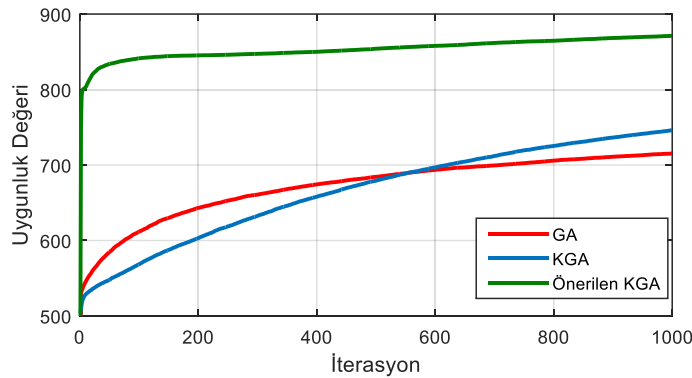
Şekil 5. Farklı güncelleme açıları için KGA performansı.

Şekil 5'teki grafik incelendiğinde $a=30$ değeri için yöntemin yakınsama hızının ilk 200 iterasyon için diğer parametrelere göre yüksek olduğu görülmektedir. Ancak ilerleyen iterasyonlarda yakınsama hızı düşmekte ve nerdeyse en kötü sonuçlardan birini vermektedir. Bunun tam tersi olarak $a=15$ değeri ilk 200 iterasyon boyunca diğer eğrilerin gerisinde kalsa da, 1000 iterasyon sonunda en iyi sonucu veren parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi yüksek açı değişimlerinin, başlangıçta çözüme yaklaşma hızını artırması, ancak ilerleyen adımlarda daha hassas değişimlere imkan vermemesi olarak gösterilebilir. 1000 iterasyonluk performanslar sayısal olarak tablo 4 ile verilmiştir. Tabloda farklı değişim açısına sahip yöntemlerin, farklı çalışma süreleri ile gerçekleşmiş olması dikkat çekmektedir. Bu farklılık, en iyi çözüm ile anlık çözümdeki bitlerin uyumsuzluğu sonucu daha fazla kod parçacığı çalıştırma gereğinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. Farklı değişim açılarının çalışma performansına etkisi

Değişim açısı	En iyi çözüm	Geçen Süre (sn.)
7.5	704	1,49
10	735	1,42
15	751	1,38
30	694	1,26
60	680	1,74

GA, KGA ve önerilen yöntem bilgisayar ortamında çalıştırılarak uygunluk değerlerindeki değişim şekil 6 ile verilmiştir. Grafikte, çaprazlama oranı 0.85 ve mutasyon oranı 0.01 olan, 20 popülasyon büyüklüğüne sahip GA'dan elde edilen sonuçlar verilmiştir. GA'nın çalışması ortalama 4,53 sn sürmüştür. Ardından $a=15$ dönme açısı parametresine sahip KGA'dan sonuçlar toplanmıştır. KGA'larda kuantum popülasyon ilk başta tüm olasılıklar eşit ve 0.707 olacak şekilde başlatılmıştır. 1000 iterasyon gerçekleşme süresi ortalama 1,39 sn sürmüştür. Şekil 6 incelendiğinde GA'ların başlangıçta yakınsama hızının daha fazla olduğu görülürken, iterasyon sayısının artması ile bu hızın azaldığı görülmektedir. Aksi olarak KGA'da ise ilk baştaki yakınsama hızı ile sondaki hız arasında nispeten daha az fark bulunmaktadır. Toplam 1000 iterasyon sonucunda KGA'nın daha iyi bir çözüme ulaştığı görülmektedir. Son olarak gözlem aşamasında önemli katkılar sunduğumuz KGA tabanlı yöntem uygulanmıştır. Ortalama 1,48 sn çalışma süresine sahip yöntemin, diğer yöntemlerden çok daha başarılı şekilde sonuca ulaştığı görülmektedir. Burada GA'ların çaprazlama ve mutasyon gibi farklı adımlara sahip olmasından ve farklı parametreler ile daha iyi sonuçlar elde etme ihtimali bulunduğundan dolayı değerlendirme için bir kısas oluşturamamaktadır. Ancak aynı şartlarda gerçekleşen orijinal KGA'ya bakıldığında sağlanan katkının büyük oranda getirisi olduğu görülmektedir. Uygunluk değerinin 500'e ulaşması ise her 3 yöntemde de çok erken iterasyonlarda gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Yöntemlerin performans kıyaslaması

5. Sonuçlar

Kuantum bilgisayarların sahip oldukları işlem gücü potansiyeli, özellikle çözümü uzun süre gerektiren yapay zeka yöntemleri için umut kaynağı olmuştur. Sahip oldukları potansiyel, araştırmacıları bu alana doğru itmektedir. Günümüzde kuantum bilgisayarlar emekleme çağını yaşamaktadır. Gerek donanımsal olarak gerek yazılımsal olarak aşılması gereken birçok problem yer almaktadır. Kuantum bilgisayarların bu döneminde, kuantum

uyarlamalı algoritmalar ile hem kuantum hesaplamının sağlamış olduğu bazı avantajlardan yararlanılmakta, hem de mevcut algoritmaların kuantum bilgisayarlara uyarlanabilirliği artırılmaktadır. Kuantum uyarlamalı algoritmalar temel olarak süper pozisyon ve dolanıklık gibi kavramların klasik algoritmalara uyarlanması ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmada KGA üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. KGA'da, kuantum popülasyondan normal popülasyon elde etmek için gözlem işlemi yapılmaktadır. Gözlem işlemi ile süper pozisyon durumunda olan çözümler 0 veya 1 durumlarından birine dönüştürülmektedir. Kübit ile ifade edilen olasılıklara göre gerçekleşen bu gözlem işlemi, yapılan çalışma ile önceki çözümlerin başarımındaki artışa bağlanarak iyileştirilmiştir. Yönteme göre gözlemlenecek olan kübit, ilgili kübitin bir önceki ve iki önceki iterasyonda gözlemlenmesi sonucu elde edilen bit değerinden etkilenir. Bit değerindeki değişim uygunluk değerinde artışa sebep oluyorsa, gözlem işlemi artışa sebep olan değer olasılığını artıracak şekilde gerçekleştirilir. Bu sayede yöntemin çözüme yakınsama hızında büyük bir artış elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile sunulan katkımın, yöntemin başarımı üzerinde doğrudan olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir. 1000 iterasyon sonunda orijinal yönteme oranla yaklaşık 12% oranında daha iyi sonuç elde edildiği görülmektedir. Ayrıca diğer yöntemlerin daha yavaş çözüme yakınsamasına rağmen, önerilen yöntemin ilk iterasyonlarda büyük ölçüde çözüme yakınsadığı görülmektedir. Gerçekleşme süreleri göz önüne alındığında ise, önerilen yöntemin GA'lardan daha kısa sürede gerçekleştiği görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Campbell-Kelly M. Computer, Student Economy Edition: A History of the Information Machine. Routledge, 2018.
- [2] Daylight EG. Towards a historical notion of 'Turing - the father of Computer Science'. Hist. Philos. Logic, 2015; 36(3): 205-228.
- [3] Bo C, Xingyou Z, Pengfei Z, Cong C, Wnxue L, Kang Z. The Boolean Algebra Logic: The Soundness and Completeness Theorem" IEEE 13th International Conference on Semantics, Knowledge and Grids (SKG), 2017.
- [4] O'Regan G. EDVAC and ENIAC Computers. The Innovation in Computing Companion, Springer. 2018: 113-117.
- [5] O'Regan G. The First Digital Computers. Introduction to the History of Computing, Springer. 2016: 55-72.
- [6] Siddiqui N. Byting Out the Public: Personal Computers and the Private Sphere. Dissertations, Theses, and Masters Projects, 2018.
- [7] Singh J, Mohit S. Evolution in quantum computing. IEEE International Conference System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), 2016.
- [8] Samaroo, McGuigan M. Using IBM-Q to study and visualize the ground state properties of the Su-Schrieffer-Heeger model. IEEE New York Scientific Data Summit (NYSDDS), 2018.
- [9] Nishio S, Takahiko S, Rodney DM. High Fidelity Qubit Mapping for IBM Q. Proc. 2nd International Workshop on Quantum Compilation, 2018.
- [10] Albash T, Rønnow TF, Troyer M, Lidar DA. Reexamining classical and quantum models for the D-Wave One processor. The European Physical Journal Special Topics, 2015; 224(1): 111-129.
- [11] Elsayed N, Anthony SM, Magdy B. A Review of Quantum Computer Energy Efficiency. IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), 2019.
- [12] Castelvocchi D. IBM's quantum cloud computer goes commercial. Nature News. 2017; 543(7644): 159.
- [13] Karmakar S, Dey A, Saha I. Use of Quantum-inspired Metaheuristics during Last Two Decades. IEEE 7th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2017.
- [14] Yetiş H, Baygın M, Karaköse M. A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines. Journal of Image and Graphics. 2017; 5(1): 20-24.
- [15] Aydın İ, Karaköse M, Karaköse E. A navigation and reservation based smart parking platform using genetic optimization for smart cities. IEEE 5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG), 2017.
- [16] Yetiş H, Karaköse M. Performance Comparison of Population-Based Quantum-Inspired Evolutionary Algorithms. 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK), 2019.
- [17] Rafael LB. Quantum genetic algorithms for computer scientists. Computers. 2016; 5(4): 1-31.
- [18] Mukai T. Completely scrambled memory for quantum superposition. Sci. Rep. 2019; 9(1): 1-5.
- [19] Cleland. Acoustic Phonon Fock States and Phonon-mediated Quantum Entanglement. Bulletin of the American Physical Society, 2020.
- [20] Grant E, Travis H. Adiabatic Quantum Computing. Oxford Research Encyclopedia of Physics, 2019.
- [21] Gyongyosi L, Sandor I. A survey on quantum computing technology. Comput. Sci. Rev. 2019; 31: 51-71.
- [22] Dinneen MJ, Anuradha M, Kai L. Finding the chromatic sums of graphs using a D-Wave quantum computer. The Journal of Supercomputing. 2019; 75(8): 4811-4828.
- [23] Behera BK, Seth S, Das A, Panigrahi PK. Demonstration of entanglement purification and swapping protocol to design quantum repeater in IBM quantum computer. Quantum Inf. Process. 2019; 18(4): 108.
- [24] Wright K, Beck KM, Debnath S, Amini JM, Nam Y, Grzesiak N, Chen JS, Pseni NC vd. Benchmarking an 11-qubit quantum computer. Nat. Commun. 2019; 10(1):1-6.

- [25] Jain V, Yoon T, Lei CU, Chu Y, Frunzio L, Rakich P, Schoelkopf R, Jain V, vd. Listening to Bulk Crystalline Vibrations with Superconducting Qubits. *Bulletin of the American Physical Society*, 2020.
- [26] Chen C, Huamin Y. Characterizing turbulence-induced decay of mutual unbiasedness of complementary bases relevant to propagated photonic spatial-mode states. *IEEE Access*. 2019; 7: 108761-108767.
- [27] Bakkegaard T, Kristensen LB, Loft NJS, Andersen CK, Petrosyan D, Zinner NT. Realization of efficient quantum gates with a superconducting qubit-qutrit circuit. *Sci. Rep.* 2019; 9(1):1-10.
- [28] Bravyi S, Browne D, Calpin P, Campbell E, Gosset D, Howard M. Simulation of quantum circuits by low-rank stabilizer decompositions. *Quantum*. 2019; 3:181.
- [29] Murali P, Javadi-Abhari A, Chong FT, Martonosi M. Formal constraint-based compilation for noisy intermediate-scale quantum systems. *Microprocess. Microsyst.* 2019; 66: 102-112.
- [30] Montanaro. Quantum algorithms: an overview. *npj Quantum Inf.* 2016; 2(1):1-8.
- [31] Vert D, Sirdey R, Louise S. On the limitations of the chimera graph topology in using analog quantum computers. *Proceedings of the 16th ACM international conference on computing frontiers*, 2019.
- [32] Hussain K, Salleh MN, Cheng S, Naseem R. Common Benchmark Functions for Metaheuristic Evaluation: A Review. *International Journal on Informatics Visualization (JOIV)*. 2017; 4(2): 218-223.