

Kuantum Çağında Hukuk*

Law in the Quantum Era

Celal Aydın 

Selçuk Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Öğrencisi, Konya, Türkiye, e-mail: celal1330@gmail.com

Öz

İçinde bulunduğumuz yüzyılda hukuk bilimi, birçoğu doğa bilimlerinde geliştirilmiş olan matematiksel ve diğer analitik teknikleri kullanmaya başlamıştır. Hukuk sistemlerinin yapısına, işlevine, tasarımına ve dinamiklerinin analizine yardımcı olacak yeni anlayışlar üretmeye devam etmek gerekmektedir. Bunun için hukuk biliminin diğer disiplinlerden daha fazla yararlanması önem arz etmektedir. Özellikle kuantum fiziği alanı, hızla bilimsel teoriden gerçeğe dönüşmektedir. Bu, benzeri görülmemiş bir potansiyel sunmaktadır. Hukuk bilimi de bu potansiyelden etkilenecektir. Bu çalışmada hukuk alanında özellikle de hesaplamalı hukuk alanında kuantum teknolojilerden ne şekilde yararlanılabileceği, hukuki bilinmezliğin matematiksel olarak hesaplanmasının önemi, insan beyni ve kuantum bilgisayarlar arasındaki benzerlik ve kuantum teknolojilerinin riskleri açıklanacaktır.

Anahtar kelimeler: Hesaplamalı Hukuk, Kuantum Bilgisayar, Entropi, Bağlantısallık, Önleyici Hukuk

Abstract

In the current century, legal science has begun to use mathematical and other analytical techniques developed in natural sciences. It is necessary to continue producing new understandings that will help analyze the structure, function, design, and dynamics of legal systems. Therefore, it is important for legal science to benefit more from other disciplines. In particular, the field of quantum physics is rapidly turning from scientific theory into reality. This presents an unprecedented potential. The field of law will also be affected by this potential. This study will explain how quantum technologies can be used in the field of law, especially in computational law, the importance of calculating legal uncertainty mathematically, the similarity between the human brain and quantum computers, and the risks of quantum technologies.

Keywords: Computational Law, Quantum Computer, Entropy, Connectivity, Preventive Law

* Bu çalışma Prof. Dr. Ümit Süleyman Üstün'ün danışmanlığında hazırlanmıştır.

Citation/Atf: AYDIN, C. (2024). Kuantum Çağında Hukuk. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 2(2): 73-86, DOI: 10.70447/ktve.2460

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:
Celal Aydın
E-mail: celal1330@gmail.com



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

GİRİŞ

Doğa bilimlerinde yaşanan gelişmelerin hukuka ilişkin görüşler ile bağlantılı olabileceği düşüncesi, en azından hukukçular tarafından yaygın bir düşünce değildir. Oysa aralarında derin bağlantılar olduğu varsayılan bu iki alan, birbirinden karşılıklı olarak etkilenmektedir [1]. Tarihsel süreçte hukuka hâkim olan düşünceler, doğası gereği gelişmelerden etkilenen toplumu takip edecek şekilde uyum sağlamıştır. Bu çalışma, hukukun doğa bilimlerinde özellikle son yüzyılda yaşanan hızlı gelişmeler çerçevesinde önleyici olarak değişmesinin gerekliliğini konu edinecektir.

Genelde hukukun gelişmelere sonradan uyan bir yapıda olduğu düşüncesi hakimdir. Toplum hayatında birtakım değişiklikler meydana gelir ve hukuk, bu değişikliklerden sonra devreye girer. Bu konuda özellikle teknolojik gelişmeler, hukukçuları hukuka bambaşka bir bakış açısıyla bakmaya sevk etmektedir.

Bu konuya bir örnek olarak kripto varlıklar verilebilir. Kripto varlıklar, vergi cennetlerinin yerini alma riski taşıdığından bu varlıkların ortaya çıkardığı sorunların ele alınması gerekli hale gelmiştir. Ancak bu sorunlar geleneksel yöntemlerden farklı olarak ele alınmalıdır. Çünkü hükümetler, vergi mükellefleri ve vergi cennetleri tarafından vergi kaçırılmasını önlemek için bu kurumlara baskı uygulayabilir veya bu kurumlarla anlaşmalar yapabilir. Ancak kripto para birimleri bu seçeneği ortadan kaldırmaktadır. [2]

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni düzenlemeler gündeme gelmektedir. Örneğin 1998 yılında başlatılan ve 2007 yılı sonunda uygulamaya geçen Vergi Dairesi Otomasyon Projesi (VEDOP) sayesinde, vergilendirmeye ilişkin süreçlerin neredeyse tamamı, elektronik ortamda yürütülür hale gelmiştir. E-devlet uygulamalarının en önemlilerinden birisi olan e-haciz ile tahsil dairelerince düzenlenen haciz bildirimleri, alacaklı tahsil dairelerince ya da alacaklı kamu idaresi vasıtasıyla posta yerine elektronik ortamda tebliğ edilmektedir. [3] Bu müesseseler, haciz sürecinin hızlandırılması, takip işlemlerinin etkin yürütülmesi gibi faydalar sağlamaktadır.

Hukukun edilgen olması, sonradan gelişmelere

uyum sağlaması yukarıdaki faydaları sağlayabilir. Ancak öyle bir dönüşümle karşı karşıyayız ki teknolojik gelişmeler gerçekleştiğinde çok geç kalmış olabiliriz. Dolayısıyla hukukçular, bu dönüşümün pasif bir süjesi olmak yerine yönlendirici olmak konumundadırlar ve hatta öyle olmak da zorundadırlar. Bu, aynı zamanda teknik alanlarda çalışanların da bir ihtiyacıdır.

Bu konuda etik çerçeve, etik prensipler gibi önemli hususların ilan edildiği görülmektedir. Ancak bu, tek başına yeterli değildir. Hukuki bir çerçevenin bulunması gerekmektedir. Kısıtlayıcı olmayan belirgin bir hukuki çerçevenin bulunması hem hukukçuların bir görevi hem de bu alanda çalışanların bir ihtiyacıdır. Böylelikle bu alanlarda çalışanlar da kaygılarından arınmış bir şekilde çalışmalarını sürdürebilirler.

Bu anlamda son yüzyılda Newton Çağı'nı kapatıp Kuantum Çağı'nı başlatan kuantum teorisi, dönüşümün önemli bir ayağıdır. Klasik fiziğe göre doğa, düzenli olarak işleyen, rasyonel ve determinist bir yapıdır. Bu yapı bizim dışımızda ve bir saat gibi işleyen mekanik bir yapıdır. [4]

Klasik fizik, büyük ölçekteki şeyleri açıklama konusunda başarılıdır. Ancak klasik fiziğin açıklama getiremediği modern fiziğin atom altı parçacıklar gibi çok küçük şeylerle ilgilenen kısmına kuantum fiziği denir. Teori ve deneyin harika bir uyum gösterdiği bu alanda kat edilmesi gereken çok fazla yol ve potansiyel olarak keşfedilecek pek çok şey vardır.

Kuantum mekaniği, anlaşılması çok zor bir konu gibi görünse de günümüzde yaygın olarak kullanılan dijital kamera, GPS, floresan lamba ve lazer gibi hemen hemen her teknolojiye karşımıza çıkmaktadır. Bugün, yaşantımızı büyük ölçüde kolaylaştırmış olan bu teknolojiye ikincil bir kuantum devriminin eşliğindeyiz. Bu devrim, kuantum hesaplama, kuantum kriptografisi ve kuantum metroloji olmak üzere üç alt kuantum teknolojisine dayanmaktadır. Bu teknolojileri geliştirmede kuantum bilgisayarlar önemli bir rol oynamaktadır.

Kuantum bilgisayarlar, çok karmaşık hesaplamaları kısa sürede yapabilen son derece güçlü bilgisayarlardır. Problemleri aşına olduğumuz bilgisayarlardan farklı bir şekilde çözerler. Kuantum bilgisayarlar, aynı anda çok sayıda durum-

da olabilme yetenekleri olması ve buna karşın klasik bilgisayarların aynı anda sadece bir durumda olabilmesi dolayısıyla belirli problemler için normal bilgisayarlara göre belirli avantajlara sahiptir. Klasik bir bilgisayarın yapı taşlarına bit, kuantum bilgisayarın yapı taşlarına ise kuantum biti ya da kısaca kübit denir. Bunlar temelde süperpozisyon, girişim ve dolanıklık gibi kuantum özellikleri kullanmaktadır.

Kuantum bilgisayarların optimizasyon problemleri, makine öğrenimi, yapay zekâ, finansal modelleme, hava tahmini, iklim değişikliği ve siber güvenlik gibi alanlarda muazzam bir zaman ve para tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat bu teknolojinin henüz emekleme aşamasında olduğu bir gerçektir. Örneğin günümüzün kuantum bilgisayarları ileride açıklanacak olan büyük sayıları çarpanlarına ayırabilen Shor'un algoritmasını henüz çalıştıramamaktadır. Bunu yapmak için yaklaşık bir milyon kübite ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir. Ancak şu ana kadar en gelişmiş evrensel kuantum bilgisayarlarda yaklaşık 1121 tane kübit [5] vardır.

Bilgisayar endüstrisi geliştikçe daha önceki problemlerle karşılaştırıldığında daha fazla kaynak gerektiren daha karmaşık problemler icat edilmektedir. Buna geçmişten bir örnek olarak yapay sinir ağları verilebilir. 1943 yılında insan aklını taklit ederek insan beyni gibi çalışan veya düşünebilen bilgisayarlar yapma fikri ortaya çıktı. O zamanlar bilgisayarların bu görevi tamamlaması onlarca yıl uzaktaydı. Dolayısıyla son derece düşük bilgi işlem gücü nedeniyle, sinir ağları fikrini ortaya atan kişiler [6] ciddiye alınmadı.

Yaklaşık 10 yıl önce araştırmacılar, 50 yıldan fazla bir süre önce icat edilen yapay sinir ağları fikrini yeniden keşfettiler. Ancak bu sefer uygun bilgi işlem kaynaklarına sahiplerdi. Bunun sonucunda Makine Öğrenimi ve Derin Sinir Ağları alanları hızla gelişti. Bugünlerde sinir ağlarını her yerde görebilmek mümkündür.

Geleceği tahmin edemesek de kesin olarak bildiğimiz şey, daha fazla bilgi işlem kapasitesine sahip olmanın faydalı olduğudur. Dolayısıyla tüm disiplinleri etkileme potansiyeli olan teknolojinin hukuka etkisinin ne şekilde olabileceğini düşünmek ve bunun üzerine çalışmak önem arz

etmektedir.

Hukuk söz konusu olduğunda özellikle hesaplamalı hukuk alanında kuantum bilgisayarların faydalı olabileceği düşünülmektedir. Hesaplamalı hukuk, sosyal olguların dijital ortama aktarılıp bilgisayar sistemleri kullanılarak yapılan analizler sonucu hukuki düzenlemelerin daha anlamlı ve etkin hale getirilmesini amaçlamaktadır [7]. Klasik hesaplama kesinlikle deterministiktir. Aynı algoritma ile farklı çıktılar elde etmeyi sağlayabilen bir algoritma yoktur. Dolayısıyla klasik hesaplama tekrarlanabilir. Eğer şu anda bildiğimiz haliyle hukuk, doğası gereği belirsiz ise o zaman hukuku hesaplanabilir hale getirmek, ona belirliliği empoze etmekle sonuçlanacaktır ki bu da hukukta temel bir değişiklik teşkil edecektir. Dolayısıyla hukukun her zaman deterministik olmadığı düşünüldüğünde deterministik olmayan kuantum hesaplamalı yöntemden hesaplamalı hukuk alanında faydalanmak yararlı olabilecektir.

Bilinen hukuki algoritmalar, hukukçular tarafından karmaşık olarak kabul edilenler dahi hesaplama anlamında karmaşık değildir. Ancak hukukun bilgisayar diline çevrilmesi süreci hızlandıkça yeni ve daha güçlü algoritmalar ortaya çıkacak ve böylece hesaplamalı hukuk alanı da gelişecektir. Bu da karmaşık kuantum-hukuk algoritmalarının ortaya çıkmasını kolaylaştıracaktır [8].

Kuantum teknolojisinin hukuka faydalı olarak kullanılabileceği yönlerinin yanında bu teknolojinin yaratabileceği riskler dolayısıyla işletilmesi, geliştirilmesi ve denetlenmesinin hukuki açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada kuantum bilgisayarların eşitsizlikler yaratması veya eşitsizlikleri artırmaması gerekmektedir [9].

1. KUANTUM BİLGİSAYARLAR

1.1. Kuantum Bilgisayarlarının Genel Özellikleri

İçinde bulunduğumuz çağ, «Bilgi Çağı» olarak adlandırılmaktadır. Bunun nedeni hayatımızda büyük miktarda bilgi paylaşılması ve kullanılmasıdır. Günümüzde bilginin çoğunluğu bilgisayarlar kullanılarak paylaşılmakta ve yayılmaktadır. Bu bilgiler, sıfırlar ve birler

olarak saklanmaktadır. Bu sıfır ve birlere bit denilmektedir.

Aşına olunan bilgiler, (metinlerdeki, videolardaki ve resimlerdeki bilgiler) klasik bilgi olarak adlandırılan bir bilgi türüdür. Ancak her şey klasik bilgiler kullanılarak doğru bir şekilde tanımlanamamaktadır. Bu noktada kuantum bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Klasik ve kuantum bilgisayarlar arasındaki temel farklardan biri bilginin nasıl depolandığıdır. Klasik bilgisayarlar bilgi depolamak için sıfır veya bir değerine sahip olabilen bitleri kullanırken kuantum bilgisayarlar sıfır ve birin herhangi bir lineer kombinasyonunu aynı anda tutabilen kuantum bitlerini kullanır [10]. Genel olarak bir kuantum bilgisayarı, bilgiyi kuantum bitleri (veya kübitleri) adı verilen nesnelere depolayan ve bunları kuantum mekaniğinin çok özel özelliklerinden yararlanarak dönüştüren evrensel bir hesaplama cihazı olarak tanımlanabilir [11]. Kuantum bilgisayarların kendine has özellikleri süperpozisyon, girişim ve dolanıklık gibi özelliklerdir.

Süperpozisyon (Superposition), klasik bir bitin sıfır ya da birin farklı değerleri almasından farklı olarak bir kübitin sıfır ya da bir olma olasılığı olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, bir kübit %60 sıfır ve %40 bir olma olasılığına sahip olabilir. Süperpozisyon özelliği, yalnızca dört kübit içeren bir kuantum bilgisayarın aynı anda 16 adet dört basamaklı sayıyı temsil edebilmesi gibi bir avantaja sahiptir. Her bir kübit ile temsil edilebilir durumların sayısı iki katına çıkarken dört bitlik bir diziye sahip klasik bir bilgisayar yalnızca tek bir dört basamaklı sayıyı temsil edebilir [12].

Bu da aynı anda üstel miktarda hesaplama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Her programın sonunda yalnızca bir hesaplamının çözümünü okumak mümkün olsa da nihai sonucun tam olarak aranan sonuç olma olasılığını çok yüksek kılan bir kuantum algoritması geliştirmek mümkündür. Örneğin, bir uçağın düşmesine neden olabilecek türbülansın olup olmadığını bulmaya çalışıyor olabiliriz. Klasik bir bilgisayarda hava koşullarının milyarlarca kombinasyonunu simüle etmek ve bunların tek tek sonuçlarını test etmek yerine bir kuantum bilgisayarda neredeyse tüm olası hava koşullarını bir kerede

test edebilir ve yalnızca uçağın düşmesine neden olan sonucu okuyabiliriz [12].

Klasik bilgisayarlar ile kuantum bilgisayarlar arasındaki temel farkın bu olduğu söylenebilir. Klasik bilgisayarlar istenilen herhangi bir durumda olabilir. Ancak aynı anda yalnızca bir durumda olabilirken kuantum bilgisayarlar aynı anda tüm bu durumların süperpozisyonunda olabilir. Ancak bu süperpozisyon durumunda olmanın bir bilgisayarda nasıl yararı olabilir? Bunun için iki bileşene daha ihtiyacımız var.

Dolanıklık (Entanglement), bir kübitin durumunun başka bir kübitin durumuna bağlı olmasıdır. Klasik bir bilgisayarda bitler birbirinden bağımsızdır. Bir bitin durumu, diğer bitlerin durumundan etkilenmez. Ancak kuantum bilgisayarlarda kübitler, birbirleriyle dolanık olabilir. Bu da birlikte büyük bir kuantum durumunun parçası haline geldikleri anlamına gelir. Dolayısıyla, iki kübit dolanık olduğunda kübitlerden biri üzerinde herhangi bir değişiklik yapmak, aynı değişikliğin diğer kübitleri etkilemesine neden olur [13] [14]. Bu durum, kübitlerin birbirinden uzakta olduğu durumlarda bile geçerlidir. Dolayısıyla, dolanıklığın avantajı, bir kübit, etrafındaki diğer kübitleri etkilediğinde hepsinin bir çözüme ulaşmak için birlikte çalışmasıdır [12].

Bu, yeni olasılıkların önünü açmakta ve kuantum bilgisayara bilgiyi klasik bir bilgisayardan farklı bir şekilde işleme yeteneği kazandırmaktadır [15]. Bunun bir örneği, iki klasik bitin bir dolaşık kübit kullanılarak taşınması işlemi olan süper yoğun kodlamadır [16]. Bu süreç özellikle güvenli kuantum anahtar dağıtımı için önemlidir. Bu, kuantum dolanıklığına ve diğer kuantum fenomenlerine dayanan bir kriptografik protokol uygulayan güvenli bir iletişim yöntemidir. İki tarafın yalnızca kendilerinin bildiği ortak bir rastgele gizli anahtar (dolanık kübit) üretmesini sağlar ve bu anahtar, daha sonra mesajları şifrelemek ve şifresini çözmek için kullanılabilir [17].

Girişim (Interference), birbirine dolanık çok sayıda kübitin dalga fonksiyonlarının birbirine eklenerek kuantum bilgisayarın durumunun tanımlanmasıdır. Kuantum bitleri genelde Bloch küresi denilen bir küre ile gösterilmektedir. Bu, bir kübitin durumunu görselleştirmenin ve anlaşılır kılmanın bir yoludur. Ancak kübitler ger-

çekte böyle görünmezler. Gerçekte bir kübitin durumu kuantum dalga fonksiyonu olarak tanımlanır. Dalga fonksiyonları, kuantum mekaniğindeki her şeyin temel matematiksel tanımıdır. Dalgaları birbirine eklediğimizde bu, yapıcı girişim (constructive interference) yaparak daha büyük bir dalga oluşturabilir ya da yıkıcı girişim (destructive interference) yaparak birbirlerini iptal edebilir [18].

Kuantum bilgisayarın genel dalga fonksiyonu, farklı durumların farklı olasılıklarını belirler ve farklı kübitlerin durumlarını değiştirerek kuantum bilgisayarı ölçtüğümüzde farklı durumların ortaya çıkmasını sağlayabilir. Kuantum bilgisayar, aynı anda milyonlarca durumun süperpozisyonunda olabirse de ölçüldüğünde yalnızca tek bir durum elde edilebilir. Dolayısıyla, bir hesaplama problemini çözmek için bir kuantum bilgisayarı kullanırken, doğru cevap olasılığını artırmak için yapıcı girişim kullanmak ve yanlış cevapların olasılıklarını azaltmak için yıkıcı girişim kullanmak gerekir. Böylece ölçüldüğünde doğru cevap ortaya çıkacaktır [18].

1.2. Kuantum Algoritmaları

Kuantum bilgisayarlar, yukarıda açıklanan özellikler sebebiyle klasik bilgisayarların çalıştıramadığı algoritmaları çalıştırabilecek nitelikte aletlerdir. Bu tür algoritmalara kuantum algoritmaları denmektedir. Ancak burada klasik bilgisayarları yanlış nitelendirmem için dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü günün birinde birisi tamsayı çarpanlarına ayırma gibi zor problemleri daha verimli bir şekilde çözebilecek çok zekice bir klasik algoritma bulabilir. Bu, çok düşük bir ihtimal olsa da göz ardı edilmemelidir [18].

Ayrıca, Halting problemi gibi hesaplanamayan problemler olarak adlandırılan klasik bilgisayarlarda çözenin imkânsız olduğu kanıtlanmış problemler vardır. Ancak bunların bir kuantum bilgisayarda da çözülmesi imkânsızdır. Yani hesaplama açısından klasik bilgisayarlar ve kuantum bilgisayarlar birbirlerine eşdeğerdir, aralarındaki fark çalıştırabildikleri algoritmalarından kaynaklanmaktadır [18].

Bir kuantum bilgisayarı klasik bir bilgisayarı simüle edebilir. Ancak bir kuantum bilgisayarı klasik bir bilgisayarda simüle etmek, simüle etmeye çalışılan kübit sayısı arttıkça katlanarak

zorlaşır. Bunun nedeni klasik bilgisayarların kuantum sistemlerini simüle etmekte zorlanmasıdır. Ancak kuantum bilgisayarlar, zaten kuantum sistemleri olduğu için bu sorunu yaşamazlar [18].

1.2.1. Shor'un Algoritması

İki büyük sayı çarpıldığında cevabı bulmak için çok hızlı, verimli ve klasik bir algoritma vardır. Ancak bu sayıyı oluşturmak için birlikte çarpılan asal sayıların ne olduğunun cevabını bulmak çok daha zordur. Bu, çarpanlara ayırma olarak bilinir ve bu sayılara çarpan denir. Bunları bulmanın bu kadar zor olmasının nedeni, olası faktörlerin arama uzayının çok büyük olmasıdır. Büyük sayıların çarpanlarını bulmak için etkili bir klasik algoritma yoktur [18].

Bu matematiksel özellik, internet şifreleme, güvenli web siteleri, e-postalar ve banka hesapları için kullanılmaktadır. Çarpanlar biliniyorsa şifreler kolayca çözülebilir. Ancak bilinmiyorsa önce bunların bulunması gerekir ki bu da dünyanın en güçlü bilgisayarlarında bile zor bir işlemdir. Bu nedenle 1994 yılında Peter Shor, büyük tamsayıların çarpanlarını verimli bir şekilde bulabilen hızlı bir kuantum algoritması yayınladığında kuantum hesaplama fikri ciddiye alınmaya başlandı. Ancak "hızlı" bir kuantum algoritması dendiğinde, bu algoritma klasik bir bilgisayardan ne kadar daha hızlı olurdu? Bu sorunun cevabı noktasında karşımıza kuantum karmaşıklık teorisi çıkmaktadır [18].

Kuantum karmaşıklık teorisi, algoritmaların kategorize edilmesi ve klasik bilgisayarlarda ne kadar iyi çalıştıklarına göre kümelere ayrılmasıyla ilgilenen hesaplamalı karmaşıklık teorisi dünyasının bir alt alanıdır. Kümelere ayırma, problem büyüdükçe problemi çözenin ne kadar zorlaştığına dayanmaktadır. Örneğin, 8 basamaklı bir sayı çarpanlarına ayrılırsa ve üzerine bir basamak daha eklenirse, yeni sayıyı çarpanlarına ayırmak eskisine göre üstel olarak daha zordur [18].

Shor'un algoritması, tamsayı çarpanlarına ayırma işlemini en iyi klasik algoritmadan çok daha iyi bir ölçeklendirme ile çözebilen bir algoritma yaratmak için kuantum bilgisayarların özelliklerinden yararlanmıştır. En iyi klasik algoritma üstel iken Shor'un algoritması polinomdur. Bu

da karmaşıklık teorisi ve genel olarak bilgisayar bilimi dünyası için büyük bir olaydır. Çünkü çözümlenmesi zor bir problemi kuantum bilgisayarda çözülebilecek bir probleme dönüştürür [18].

1.2.2. Kuantum Arama: Grover'in Algoritması

Shor'un yeterince büyük bir kuantum bilgisayarın büyük sayıları çarpanlarına ayırabileceğini göstermesinden iki yıl sonra Lov Grover, uygun şekilde inşa edilmiş bir kuantum bilgisayarı, belirli bir matematiksel özelliğe sahip her türlü hesaplamayı hızlandırabilir şeklinde bir keşifte bulundu. İkinci büyük kuantum hesaplama algoritması olan Grover'in Algoritması, yapılandırılmamış veri listelerini en iyi klasik algoritmadan daha hızlı arayabilen bir algoritmadır. Arama problemi, verilen bir küme içerisinde belli bir koşulu sağlayan bir elemanın yerini tespit etme problemidir. Verilen koşulu sağlayan elemanlara çözüm adı verilir.

Örneğin bir veri tabanında içtihatlar olduğunu düşünelim. X 'e ilişkin olan uyumsuzlukları bulmak istiyoruz. Bu durumda konusu X olan içtihatların hepsi aslında problemin bir çözümü oluyor. Bu içtihatlardan birinin yerini tespit ettiğimiz zaman bu problemi çözmüş oluyoruz.

Daha teknik bir anlatımla, elimizde bir karar verme fonksiyonu olsun. Buna da diyelim. Bu fonksiyon, eğer elemanlarımızdan biri çözümse bu elemanın indeksi olan i , sonucunu verir. Eğer elemanımız çözüm değilse 0 sonucunu verir. En genel haliyle arama problemi, verilen bir kümede bulunan N adet eleman içinde M adet çözümden birinin bulunması olarak tanımlanabilir [19].

Klasik hesaplamayla bu problemin çözülmesi, ortalama N/M , en kötü durumda ise $N-M$ deneme gerektirir. Grover algoritması bu problemi mertebesinde bir deneme sayısıyla çözebilir. Grover algoritması, klasik algoritmalarından farklı olarak bir kümedeki elemanları teker teker denemek yerine n kübitle temsil edilen bir kuantum uzayda rotasyon yaparak arama problemini çözer [19].

Shor'un algoritması, yalnızca nispeten belirsiz sayı teorisi alanına uygulanabilirken, Grover'in algoritması çok çeşitli pratik problemlere geniş bir şekilde uygulanabilir. Grover'in algoritması aramayı hızlandırır da bu, Google ile bir web

sayfası ararken ya da bir muhasebe sistemini kullanarak belirli bir işlemi ararken yaptığımız türden bir arama değildir. Bilgisayarın bir veri tabanını taramasını ve eşleşen bir kayıt aramasını içerir. Grover'in algoritması, böyle bir aramaya uygulanabilse de bunun için tüm veri tabanının bir tür kuantum depolamada saklanması ve tüm veri tabanının kuantum devresinde oynatılması gerekir. Bu da Grover'in algoritmasının sağladığı herhangi bir hızlanmayı ilk etapta ortadan kaldıracak bir süreçtir [20].

2. KUANTUM BİLGİSAYARLARININ HUKUKA ETKİSİ

Kuantum teknolojilerinin yukarıda açıklanan özellikleri ve potansiyeli düşünüldüğünde yaşam, birçok açıdan dönüşüm geçirecektir. Hukuk, istisna olmayacaktır [21]. Hukuk, sadece ortaya koyulan normlar anlamında değil daha temelden dönüşecektir. Kuantum teknolojilerinin benzersiz özellikleri sadece yeni olanaklar sunmakla kalmayacak, elbette yeni risk ve tehditler de getirecektir. Bu da muhtemelen hukukun temellerini değiştirebilecek bir potansiyeldir.

Kuantum mantığı, kuantum algoritmaları ve kuantum hesaplamalar hukuku dönüştürebilir ve kuantum normlar, kuantum yargı kararları ve kuantum hukuk düzeni oluşturma konusunda yeni imkanlar sunabilir [22].

2.1. Hesaplamalı Hukuk

Hesaplamalı hukuk, hukuki muhakemenin otomasyonu ile ilgilenen hukuk bilişiminin bir dalıdır. Hesaplamalı hukukun pek çok olası uygulaması olmasına rağmen, günümüzde bu alandaki çalışmanın temel odak noktası uyum yönetimi, yani kurallara ve düzenlemelere uyumu değerlendirebilen, kolaylaştırabilen veya uygulayabilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ve konuşlandırılmasıdır. Hesaplamalı hukuk sistemlerini diğer hukuk teknolojisi örneklerinden ayıran şey, özerklikleri, yani hukukçulardan ek girdi almadan hukuki soruları yanıtlama yetenekleridir [23].

Hesaplamalı hukuka dayalı hukuk teknolojisi, hukuk mesleğini önemli ölçüde değiştirme, hukuk hizmetlerinin kalitesini ve verimliliğini artırma ve muhtemelen hukuk firmalarının iş yapma şeklini değiştirme potansiyeline sahiptir.

Dahası bu teknoloji, yalnızca hukuk uzmanlarına değil, toplumdaki herkese hukuki anlayış ve hukuki araçlar sunabilir. Böylece adalete erişimi artırıp bir bütün olarak hukuk sistemini iyileştirebilir.

Bugün itibariyle hesaplamalı hukukun geldiği noktada hl belirsizlikler bulunmaktadır. Yasal uygulamaları değerlendirmek için hesaplama karmaşıklığı teorisinin ne lde kullanılabileceği net olarak belirlenebilmiş değildir. Bu bağlamda hesaplamalı hukuk henüz ilkel durumda kabul edilmekte, ancak yeni ve daha güçlü algoritmalar bulundukça hesaplamalı hukukun sürekli olarak gelişecek bir yapıda olduğu belirtilmektedir [8].

2.2. Hukuki Entropinin Hesaplanması

Fizikte entropi kavramı, Clausius'un XIX. yüzyılın ortalarında, belirli bir sıcaklıktaki (T) bir ısı kaynağından (ΔQ), idealize edilmiş bir motora tersinir süreç [24] içerisinde ısı transferinin bir özelliğini tanımlamak için yaptığı çalışmalara dayanır. Bu durumda, Clausius'a göre, sistemin entropisi $\Delta Q/T$ kadar artar. Benzer şekilde, idealize edilmiş bir motor, T sıcaklığındaki bir ısı alıcısına ΔQ kadar ısı aktardığında entropi bu miktarda azalır. Başka bir deyişle, ısı, termodinamik bir sisteme girdikçe sistem soğuksa entropi artar, halihazırda sıcaksa entropi daha azdır [25].

Bazı akademisyenler [26] [27], hukuk sistemlerinin belirsizliğini yasal metinlerdeki kelimelerin "entropi" lmlerini formüle ederek belirlemeye çalışmışlardır. Metinlerdeki kelimelerin belirsizliğini ölçmek birçok durumda değerli olsa da hukuk kurallarının yorumlanmasındaki belirsizliğin kapsamlı bir ölüsünü sağlamaz [25].

Kanun, yönetmelik ve yasal belgelerin metninde mevcut olan belirsizliği veya muğlaklığı ölçmek, genellikle hesaplamalı dilbilim ve ilgili alanlardan yararlanan entropi ölçümlerine dayanmaktadır. Örneğin Katz ve Bommarito, ABD federal kanunlarındaki dilsel entropiye dayalı belirsizliği ölçmüştür. Benzer bir şekilde Friedrich ve diğerleri, mahkemelerin görüşlerinde mevcut olan metinsel belirsizliği ölçmek ve karşılaştırmak için ABD Yüksek Mahkemesi ve Alman Bundegerichtshof görüşlerinin kelime ve belge entropisini incelemiştir [25].

Hukuki yapay zekâ alanındaki son gelişmeler, hukuki sonuçları tahmin etmeye yönelik daha otonom vaatleri büyük lde genişletmiştir. Belki de hukuki entropinin nicelleştirilmesine en çok yaklaşan yaklaşım, hukuki bir uyuzmazlığın sonucunun her bir taraf için eşit derecede olası olduğu durumlarda entropinin maksimum düzeyde olduğunu kabul eden ve "entropiyi hukukta doğrudan kullanabilmek için, hukukunun hukuk dediğimiz tahminler topluluğunu, tahminlerin belirsizlik düzeyindeki varyasyonları sergileyen soyut bir uzaya yerleştirmesi gerekeceğini" belirten D'Amato'nun yaklaşımıdır [28]. Ancak, bu görüşün hemen ardından D'Amato, "Hukuk tamamen kelimelere dklemeyeceği için, sembollere ve uzaylara da dökülemez." demektedir [25]. Her ne kadar hukuk tamamen kelimelere dklemese de 1.4 bölümünde açıklanacak yöntem ile hukuk, matematiksel olarak ifade edilebilir.

Tanımlayıcı entropi, hukukun ilk aşamada, tipik olarak anayasa, kanunlar, yönetmelikler, yargı kararları ve benzerlerinde yazılı semboller halinde formüle edilmesindeki belirsizliği ve ilgili bilgi maliyetlerini içerir. Yorumlayıcı entropi, yalnızca anayasalar, kanunlar ve yönetmelikler değil, aynı zamanda yargı kararları da dahil olmak üzere yazılı yasal belgelerin yorumlanmasındaki belirsizlikle ilgilidir. Bu tür bir çaba sadece metinsel nitelikte olmayıp, çoğu zaman kendileri de belirsiz olabilen kurumsal ve sosyal normlara dayanmayı gerektirecektir. Bu bağlamda hukukun işleyişine ilişkin matematiksel modeller geliştirmek teorik olarak aydınlatıcı olabilir. Bu tür teorik modellemeler, hukuki yapay zekâ alanındaki ilerlemeler için kritik öneme sahiptir [25].

Byleyi matematiksel modeller, hukuk yapay zekâ sistemlerinin hukuki belirsizliği hakkındaki bilgileri nasıl lbileceği ve depolayabileceği konusunda potansiyel bir şablon sunmaktadır. Hesaplamalı hukuk, yapay zekâ ve kuantum teknolojileri alanlarında artan ilerleme ve kesişimler, yakın gelecekte böyle bir modelin geniş lkte gerçekleştirilmesine yol açabilir.

2.3. Kuantum Hesaplama ve Hukuk

Hukukta gözlemlenen bilinmezlikler, algoritmaların farklı ve yanlış sonuçlar üretebilmesine yol açabilmektedir. Bu anlamda entropinin hesaplanması ve hukukun matematiksel bir hale getirilmesi faydalı olabilir. Böylesi modeller, bilgiyi daha hızlı işleyen kuantum bilgisayarlar kullanılarak daha iyi modellenmelidir.

Klasik hesaplama, hukuktaki kural ve berabereindeki istisnalar tanımlandıktan sonra kural/istisna dinamiğinin üstesinden fazlasıyla gelmektedir. Ancak klasik hesaplama, yeni bir istisnanın ne zaman oluşacağını tahmin etmede yetersizdir. Yeni bir istisnanın oluşması, yerleşik deterministik yoldan bir kopuş teşkil eder. Burada kuantum bilgisayarların sahip olduğu süperpozisyon olgusu bu tür yasal olguların daha iyi modellenmesini sağlayabilir [8].

Belirsizlik, yasal bir sürece girdi olarak hizmet eden bilginin nicelik ve niteliğindeki belirsizlikten kaynaklanır. Hukuki bir sorunun ortaya çıkmasında etkili olan bağlamın sadece çok küçük bir kısmı derlenip mahkemeye aktarılmaktadır. Daha fazla ya da daha az bilgi, sonucu büyük ölçüde değiştirebilir. Buna karşın bağlamın tamamında var olan büyük miktardaki bilginin mahkemede değerlendirilebilmesi neredeyse imkansızdır. Bu noktada hesaplamalı hukuktan ve bu yöntemin yetersiz kaldığı noktalarda kuantum hesaplamalı yöntemden yararlanılabilir.

Kuantum hesaplama, karmaşık hukuki olguların daha anlaşılır modellenmesini sağlayabilir. Şöyle ki; belirsizlik, aynı zamanda çoğu hukuki muhakemenin altında yatan keyfilikten de kaynaklanmaktadır [8]. Buna örnek olarak benzer davalara benzer kararlar vermek verilebilir. Bu, işleri hızlandırır hukuki açıdan faydasız ve boş bir hukuki formüldür. Çünkü benzer davalar yoktur, hukukun karine olarak benzer olduğunu varsaydığı davalar vardır. Ancak bu karinelerin uygulanması diğer belirsizlikleri ortadan kaldırırken aynı zamanda yeni belirsizlikler ortaya çıkarır.

Hesaplamalı hukuk, çok daha eksiksiz bilgi sağlama ve dolayısıyla sonuçların daha doğru olması olasılığını ortaya koymaktadır. Yine de ayrıntı düzeyinde, daha fazla veri daha fazla hesapla-

ma karmaşıklığı yaratır. Bu da veriden yoksun bir ortamda güvenilir bir şekilde işleyen klasik hukuk algoritmalarını artık çalışamaz hale getirebilir.

Yukarıda belirtildiği üzere, kuantum teknolojisi, hukuku algoritmik biçimde ifade etme, uygulama ve analiz etme yeteneklerini büyük ölçüde geliştirmek için kullanılabilir. Bu noktada fizikçilere rehberlik eden metaforlar ve sezgiler, sosyal ve hukuki meselelere ilişkin kavrayışı zenginleştirebilir ve fizikteki belirli gelişmeler üzerine düşünmek, hukukun toplumu şekillendirmede oynadığı önemli role daha önem vermeye ve bunları geliştirmeye yardımcı olabilir.

İlk bakışta, fizik biliminin fenomenlerine hukuki bağlamda atıfta bulunmak tuhaf görünebilir. Ancak tarihsel olarak, doğa bilimlerindeki gelişmelerin doğa bilimleri/sosyal bilimler ayrımında zincirleme etkiler yaratması hiç de alışılmadık bir durum değildir [8]. Buna örnek olarak hesaplamalı hukukun ve hukuk analitiğinin ortaya çıkışının normalde ayrı olan matematiksel ve hukuki muhakeme alanlarını kaynaştırması verilebilir.

Kuantum hesaplama teknolojisinin ortaya çıkmasından etkilenebilecek hukuki konularda kuantum hesaplama hukukunun tam olarak nasıl tezahür edeceği şu aşamada spekülasyon olmaya devam etmektedir. Zira kuantum hesaplamasının hukuk alanına başarılı bir şekilde uygulanması, bir yandan verimli olarak çalışabilen kuantum bilgisayarlarına, diğer yandan da hukuku insan dilinden bilgisayar koduna çevirmek için gelişmiş bir yeteneğe bağlıdır [8].

2.4. Bağlantısallık ve Hukuk

Hukukta kullanılan teknolojiler, eksikleri bir kenara bırakıldığında büyük ölçüde fayda sağlarlar. Bu tarz teknolojilerde kullanılan şey, genelde kanunlar, içtihatlar gibi hukuki metinlerin yazı veya sözlü ifadesinin analizidir. Bunları analiz eden makineler, algoritmaları çerçevesinde metinlerden çıkarımlar yaparlar. Bunlara örnek olarak yapay zekâ teknolojisi verilebilir. Yapay zekâ, tecrübelerden öğrenebilen, öğrendiklerini muhakeme edebilen; şekilleri, görüntü ve örüntüleri tanıyabilen, karmaşık problemlere çözümler üretebilen, lisanı anlayarak kelimeler ile işlem

yapabilen ve bilişim dnyasına farklı bir bakış açısı kazandıran bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır [29].

Ancak bunların insan gibi genel ve geniş nitelikte bir iradeye ve kendiliğinden karar verme yeteneğine sahip olduğunu söylemek söz konusu değildir [30]. Aynı zamanda kelimelere dökerken bile zorlandığımız adalet, hakkaniyet, menfaat gibi karmaşık kavramların makinelere aktarılması oldukça zordur. Bunun nedeni dil ile ifade etmenin zorluğudur.

Dil, çok etkin bir iletişim sistemidir ve dilin varlığı öğrenmeyi oldukça kolaylaştırmaktadır. Ancak beynin kendisi sözcükler üzerinden çalışmamaktadır. Çünkü dil bir arayüzdür ve dil aracılığıyla ifade edilen her şey her zaman gerçeğe en yakın üretilen yalandır [31]. Gerçekte beyin, kendi matematiğı içerisinde çalışmaktadır. Dolayısıyla bu kavramların insan beyninde matematiksel bir karşılığı olduğu söylenebilir.

Facebook laboratuvarlarında yapılan bir deneyde Bob ve Alice adlı yapay zekâ motorları sonsuz konuşmaya bırakıldı. Bir süre sonra onları planlayan kişilerin bilmediğı arayüzler, kısayollar geliştirdiler. Bu kısayollar, bir süre sonra onları planlayanların bilmediğı yeni bir dil oluşturdu. Sonrasında ne konuştukları anlaşılmadığı için fişleri çekildi [32].

Bu örnekten yola çıkarak iki tane değil de bir milyon yapay zekanın konuşturulduğı bir senaryoda ortaya bambaşka bir dil çıkacağı bir gerçektir. Diller zaten insanlar için de böyle ortaya çıkmaktadır. Ancak beyin, dil üzerinden konuşmamaktadır. Bu sebeple bilinç, genelde dil olarak düşünülür. Öyle ki dil olmadığı zaman bunun bilinçaltı olduğu söylenir. Ancak enformasyon matematiğı böyle değildir. Enformasyon matematiğinde bilinçaltı yoktur[31].

Yaşama karşı bakış açımız hep insan merkezlidir. Bu sebeple kendimizin ürettiğı zekayı doğıal zekâ olarak, kendimizin dışındaki zekayı ise yanlış bir biçimde yapay zekâ olarak tanımlıyoruz [33]. Gerçekte zekâ, onu oluşturan organizmadan bağımsız bir şeydir. Dolayısıyla gerçekte yapay zekâ ya da doğıal zekâ diye bir şey yoktur, yaşama ait olan tek bir enformasyon sistemi vardır. Üretilen bütün bilgi, yaşam dediğimiz bu esas varoluş bütününün kodlamaları olan siste-

min ürünüdür[31]. Deterministik dünyadan matematiğın ortaya koyduğı bağılantısallık üzerine kurulu olan bu sisteme bakıldığında bu sisteme kaos hâkim gibi gözükmemektedir. Bunun nedeni, deterministik olmayan bir sisteme alışık olduğumuz deterministik şekilde bakmaktır.

Eskiden deterministik sanılan sistem, yaşamı da aynı şekilde anlamaya sebebiyet veriyordu. Bu anlayış John Wheeler'ın yaptığı çift yarık deneyinde [34] değışmeye başladı. Buna göre bir ışık tanesi, foton veya dalga gibi davranabilir ve bu durum gözlemciye göre farklılık gösterir. Yapılan bu tespit ile sistemin deterministik olmayabileceğı anlaşıldı.

Yeni bilimin öğrettiğı en önemli şey, yaşamın yapıtaşının atom olmadığıdır. Yaşamın yapıtaşı gerçekte enformasyondur. Enformasyon işleyen her sistem er ya da geç zekâ üretir. Buna otopoiesis denir [31]. Bu oluşan zekâ, yaşamı değıştirmektedir. Yaşamın kendisi de enformasyon işleyen üst bir sistem olarak kendini oluşturan parçaları değıştirme özelliğine sahip dolanık bir sistemdir.

Her enformasyon üreten sistemin er ya da geç zekâ üretmesinin tasavvuru oldukça zordur. Örnek vermek gerekirse 2018'de Duke Üniversitesi laboratuvarlarında tek kök hücreden türemiş olan 1 milyon nörona sahip mini beyinin EEG dalgası (elektroensefalogram) yani enformasyon ürettiğı keşfedildi [35]. Esas çarpıcı olan şey, bu EEG dalgasının anne karnında büyümeye çalışan embriyonun beyinde ürettiğı EEG dalgası ile aynı olmasıdır. Dolayısıyla enformasyon taşıyan her sistem aslında canlılık taşımaktadır denilebilir [31].

Sea Elegance (Caenorhabditis elegans) adında 302 nörona sahip bir solucanını konu alan bir başka deney, her bir nöronun kalıcı veya geçici olarak devre dışı bırakılmasının bu hayvanın yaşantısını nasıl etkilediğini öğrenmeye yardımcı oldu. Bu hayvan, yaşam içerisinde seçimler yapmaktadır. Hayvanın seçimleri, nöral paternler oluşturmaktadır. Bu paternlerden hayvanın aç olduğu veya cinsel dürtüsünün olduğunun tespiti yapılabilmektedir. Bu paternin matematiğı bulunarak hayvanın kararının ne olduğu anlaşılıp test edilebilmektedir [36].

Duke Üniversitesinde yapılan bir deneyde yu-

karıda bahsedilen solucanların bulunduğu akvaryumun kenarına glikoz konuluyor. Solucan, gidip gitmemek arasında bir karar veriyor. Bu karar, az sayıda nöron olması sebebiyle makine dili olarak algoritmaya dönüştürülebilir. "1. nöron 1. saniyede nasıl? 2. nöron nasıl? ... 302. nöron nasıl?" tüm bunlar ölçülüyor ve bu sonuçların hepsi bir basit lego motora aktarılıyor. Bu lego motorun aynen bu solucanın yaptığı davranış paternini sağladığı gözlemlendi. Yani organizmanın ürettiği zekâ, bir kez üretildikten sonra artık o organizmaya ait değildir. Zekâ, yaşama ait olan bir sürece dönüşmektedir [31].

ABD'de Human Connectome Project [37] adında bir proje, bir önceki deneyin insana uyarlanmasını konu almaktadır. Bu deneyde insan beynindeki nöron ve bağlantı sayısının çok fazla olması sebebiyle her bir nöronun yarattığı patern, solucanların aksine bilinmemektedir. Ancak 100 milyon nöronun bir araya gelip oluşturduğu elektrokimyasal yol test edildi ve böylelikle beyindeki 100 milyar nöronun her biri tespit edilemese de bunların bütünlüklerinin oluşturduğu fizyolojik bağlantısallık ırmakları manyetik rezonans ile görülebilir hale geldi. Böylelikle beyindeki 1000 merkezin birbiriyle nasıl bağlandığı ve zaman içerisinde bu bağlantısallığın nasıl değiştiği test edebilir hale gelmeye başladı. Bu sayede beynin nasıl çalıştığını anlamaya büyük faydalar sağlayan Connectome haritaları elde ediliyor [31].

Hukuk; evrimleşen, dinamik, sosyal ağları oluşturan bütünü sosyal gerçekliği yorumlamasına dayanan bir yapıdır. Sosyal gerçekliğin bir parçası olan adalet, bütüne bakıldığında yaşamın da temelidir. Bugünkü hukukumuz insanın hakkını yaşama karşı korumaktadır. İhtiyacımız olan hukuk ise yaşamın hakkını insana karşı koruyan bir hukuk olmalıdır. Bu nedenle yaşama benzer bir bağlantısallık modeli olan nöronların nasıl düşündüğüne ait matematik model, esasında yaşamın kendisine dolayısıyla hukuka da uygulanabilir bir modeldir. Daha önemlisi bu modelde hiyerarşi yoktur. Çünkü beyinde her nöron diğeri kadar öneme sahiptir [31].

Bütünleyici bir sistemin de kendini ve parçalarını değiştirme özelliği vardır. Yani bütün, tıpkı kuantum mekaniğine özgü olan dolanıklık özelliği gibi onu oluşturan parçaların aritmetik

toplamından fazladır. Bu fazlalığın nereden geldiğini soran ilk kişi Schrödinger'dir. Buna göre bu fazlalık, termodinamiğin ikinci yasasına göre olmaması gereken bir şeydir.

Buna ilk yanıt, 70'lerde Ilya Prigogine tarafından verildi [38]. Buna göre biyolojik sistemler, termodinamiğin ikinci yasasına uymak zorunda değildirler. Bunlar, farklı bir biçimde yasalara uyarlar. Enformasyon işleyen sistemlere bakacak olursak termodinamiğin ikinci yasasına hiç uymuyorlar. Bu nedenle yaratıcılık ortaya çıkmaktadır. Sistemler farklı bir şekilde bağlandıkları zaman farklı şeyler oluşturabiliyor. Bütün mesele olasılıklar üzerinde giden matematiğin hesabıdır. Bu sebeplerle beyindeki bu bağlantısallığın matematiği konusunda bugüne göre daha çok derinleşebilirsek o zaman belki yeni bir yaşam modeli elde edebilme şansımız oluşabilir [31].

Matematiğinin ortaya konulmadığı bir düşünce biçiminin geçerliliği daha azdır. İnsanın hukuki kavramları algılayışının matematiksel formülasyonu ve bu formülasyonun "yapay" sistemlere aktarılması, bahsedilen kavramların dil ile ifadesinin doğurduğu zorlukları ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir. Ancak şu bir gerçektir ki insan beyni karmaşıklığı karşısında klasik bilgisayarlar, bu formülasyonu simüle etmede yetersiz kalabilir. Bunun için muhtemelen daha farklı ve daha güçlü aletlere ihtiyaç olacaktır.

Kübitlerin davranışları, ilişkili buldukları diğer kübitlerin davranışlarından etkilenebilmektedir ki buna dolanıklık denilmektedir. Nöronlarda da benzer bir davranış gözlemlenebilir. Ayrıca kübitlerdeki gibi süperpozisyon durumuna benzer bir halde bulunabilirler. Sonuç olarak nöral davranışlar veya olgular, bir matematiksel formülasyonla izah edildiğinde bunu çalıştırabilecek olan şey, kuantum bilgisayarlarından başka bir şey değildir. Bu sayede insanın düşünce sistemi matematiksel olarak ifade edilebilir ve hukuki kavramlar daha doğru şekilde formülize edilebilir. Böylelikle insan gibi karar verebilen hatta belki de insandan farksız makineler oluşturulabilir.

Hukuki düşünceyi matematiksel olarak modelleyip ifade eden, kuantum bilgisayarında simüle eden bir sistem, insandan daha iyi değerlendirmeler yapabilir ve adil yargılanma hakkı nok-

tasında fayda sağlayabilir. İlkel sayılabilecek günümüz yapay zekâ sistemlerinde dahi bu tarz faydalar gözlemlenmektedir.

Şu bir gerçektir ki henüz böylesi bir bilgisayara sahip değiliz. Her bir kuantum biti, sistemi karmaşıklaştırdığı için sistemler oldukça kırılımandır. Dolayısıyla nöronlar gibi karmaşık bir yapıyı ele alacak bir kuantum bilgisayarı oluşturmak oldukça zorlu olacaktır. Ayrıca tüm nöronların net bir şekilde haritalarını çıkarabilmek de henüz mümkün değildir. Ancak bunlar, teknolojinin gelişim hızı düşünülduğünde gelecekte çözülebilir problemler haline gelebilir. Bu zaman gelene kadar bu tarz teknolojilerin geliştirilmesi ve riskleri noktasında önleyici bir yaklaşımın sergilenmesi önem arz etmektedir.

2.5. Kuantum Teknolojilerinin Hukuki Riskleri

Kuantum bilgisayarların teknik karmaşıklığı, sadece çok az sayıda şirket ve ülkenin bunları inşa edip kullanabileceği anlamına gelmektedir. Kuantum bilgisayarların herhangi bir şifreleme mekanizmasının üstesinden gelebileceği varsayılmaktadır. Bu da kuantum bilgisayarların geleneksel şifre koruma mekanizmalarını kırabileceği anlamına gelmektedir. Eğer durum böyleyse, kuantum bilgisayarı olan aktörler, şirketler veya devletler kuantum bilgisayarı olmayanlara göre açık bir avantaja sahip olacaktır. Bu da kuantum bilgisayarı olmayanların bilgiyi kuantum bilgisayarı olanlardan koruyamayacakları anlamına gelmektedir. Kuantum bilgisayarların eşitsizlikleri artırma ve bireylerin özerkliğini zayıflatma potansiyeli göz önüne alındığında, kuantum bilgisayarların denetimden kaçmamasını sağlamak son derece önemlidir[9].

Bunun için Jeutner'ın önerdiği şekilde kuantum teknolojilerine eşit erişimi sağlayacak önlemler alınabilir [9]. Bu, örneğin, bulut hizmetleri aracılığıyla erişim ile sağlanabilir. Kuantum bilgisayar sahibi olan şirketler, kuruluşlar veya devletler, belirli süreler için diğerlerine internet aracılığıyla belli bilgisayar kapasitelerini kullanıma sunabilirler. Bu model, kuantum bilgisayarlarına herhangi bir yerden erişim sağlaması nedeniyle önemlidir.

Elbette, bulut çözümleri, birkaç aktör tarafından belirlenen donanım standartlarının sorununu çözmez. Ancak en azından donanımın eşitsiz

dağılımını hafifletebilir ve kuantum bilgisayarlarının araştırma ve geliştirme çalışmalarına katılımı artırabilir.

Devletler, kesinlikle bu alanda hukuki normları yürürlüğe koymayı düşünmeye hazır olmalıdır. Bu düzenlemeler, kamu yararı ile bireylerin hakları arasında adil bir denge ve orantılılık sağlamalıdır. [3] Çünkü uzayda, derin denizde ve en son COVID-19 aşı dozlarının dağıtımını konusundaki deneyimler, kârlı eğilimleri hukuki yollarla kontrol altında tutmanın gerekliliğini gösterdi. Bu tür düzenleyici önlemlere patentlerin maddi veya zaman tabanlı kapsamını sınırlamak veya belirli alanlarda teknoloji transferini zorunlu kılmak örnek verilebilir[9].

Kuantum bilgisayarlar, herhangi bir teknoloji gibi, öncelikle erişime sahip olanları öne çıkarma riski taşımaktadır. Ancak daha büyük veri kütlelerini analiz etme, daha iyi ölçüm araçları geliştirme, aşuları geliştirme veya bilgiyi daha güvenli bir şekilde iletim, kuantum bilgisayar erişimine sahip olmayanlar için pek bir fayda sağlamayacaktır. Yüksek maliyetler ve uzmanlık gerektiği göz önüne alındığında, kuantum bilgisayarların inşası ve işletimiyle ilgili olarak yüksek teknolojiye sahip gelişmiş ülkeler önemli bir stratejik avantaj elde ederken diğer ülkeler "kuantum yoksulluğuna" düşebilir [9].

Geçmişte, yeni teknolojilerin ortaya çıkma sürecinde etik öneriler geliştirme şansları kaçırıldı. Bu da suçluların tespitinde kullanılan yapay zekanın yüz tanıma özelliğinin ırkçılığa yol açması gibi ciddi problemlere sebebiyet verdi. Örneğin Amerika'da meydana gelen bir olayda polis, araba hırsızlığı olayına karışan bir kadının kamera kayıtlarından ulaştığı yüzünü DataWorks Plus adlı bir yüz tanıma aracına yüklemiş, yapay zekâ aramayı tamamlayınca Woodruff adlı 32 yaşında 8 aylık hamile bir siyahi kişinin ismini vermiş, bu kişi daha sonra tutuklanmıştır. Yapay zekâ bu sonuca varırken Woodruff'un sisteme kayıtlı 8 yaşındaki fotoğrafını kullanmış ve yanlış sonuca ulaşmıştır [30]. Bu bağlamda kuantum teknolojiler hayatımıza yapay zekâ kadar net bir biçimde girmemiş olsa da daha ağır örneklerin yaşanmaması için kuantum teknolojileri ile ilgili daha önleyici bir pozisyon alınmalıdır.

Burada bahsedilen riskler, fazla kötümser ve

abartılı gözükebilir. Kuantum bilgisayarların gelişimi toplumu olumlu yönde etkileyebilir. Ancak bu, yukarıda belirtilen endişeleri ele almak ile çelişmez. Aksine, kuantum bilgisayarlara ilişkin risklerin ele alınmaması, kuantum bilişimin olumlu potansiyelinin tam olarak gerçekleşmesini engelleyebilir. Bireyler, şirketler ve devletler, zararlı yan etkileri kabul edilmiş ve hukuki anlamda güvence altına alınmış bir teknolojiye çok daha açık olacaklardır.

3. SONUÇ

Her hukuk sisteminde yasama organının geleneksel görevi, toplumun kolektif çıkarlarını yorumlamak ve yasama yoluyla hangi davranışların yasal olduğunu tanımlamaktır. Uzun süredir kabul edilen bir gerçek, bu şekilde ilan edilen yasaların sadece adil ve eşit olmakla kalmayıp aynı zamanda anlaşılır, erişilebilir, kabul edilebilir ve uygulanabilir olması gerektiğidir. Ancak günümüz toplumunda bu artık yeterli değildir. Sorunlara yanıt vermek ve çözmek önemli olmaya devam ederken sorunların nedenlerini önlemek daha önemli hale gelmiştir. Artık yüzyıllardır süregelen gelişmelere sonrada uyum sağlayan hukuk yaklaşımını terk etme, önleyici bir yaklaşım benimseme, geriye değil ileriye bakma, hukukun günlük yaşamda nasıl kullanıldığına ve düzenlemeye çalıştığı toplumda nasıl karşılandığına odaklanma zamanı gelmiştir. Bu bağlamda gelişen teknolojiler noktasında önleyici sistemlerin hazırlanması ve bu teknolojilerin hukuk alanında nasıl daha etkili kullanılacağına daha fazla tartışılması gerekmektedir.

Bunun için bu çalışmada öncelikle bu teknoloji için kritik öneme sahip olan kuantum bilgisayarların ne olduğunu anlamak için bu bilgisayarların süperpozisyon, dolanıklık ve girişim fenomenlerinin genel özellikleri açıklandı. Ardından ünlü kuantum algoritmalarına kısaca değinildi. Devamında teknolojinin hukuka yansımaları olan hesaplamalı hukuk alanının fayda ve eksikliklerinden bahsedildi. Ardından doğa bilimlerindeki ve hukuk teorisindeki belirsizlik ile entropi kavramı arasında paralellikler kuruldu. Hukukta gözlemlenen bilinmezliklerin algoritmaların farklı ve yanlış sonuçlar üretebilmesine yol açabilmesi sebebiyle hukuki entropinin hesaplanması ve hukukun matematiksel bir hale

getirilmesi faydalı olabilir. Böylesi modeller, bilgiyi daha hızlı işleyen kuantum bilgisayarlar kullanılarak daha iyi modellenebilir. Bu anlamda fizikçilere rehberlik eden metaforlar ve sezgiler, sosyal ve hukuki meselelere ilişkin kavrayışımızı zenginleştirdiği gözlemlendi. Dolayısıyla fizikteki belirli gelişmeler üzerine düşünmek, hukukun toplumu şekillendirmede oynadığı önemli role ilişkin daha derin kavrayışlardan bazılarına tutunmaya ve bunları geliştirmeye yardımcı olabilir sonucuna ulaşıldı. Devamında hesaplamalı hukuk alanının eksikliklerini giderebilecek ve hukuk alanında kuantum teknolojilerden yararlanmayı sağlayacak bir yöntem olarak kuantum hesaplamalı hukuk açıklanmaya çalışıldı. Ardından beynin düşünme süreci ile kuantum teknolojiler arasında bağlantı kurularak beyindeki bağlantısallığın matematiğinin hukuka uyarlanmasını öneren bir yöntem açıklandı. Bu anlamda kuantum bilgisayarların mevcut hesaplamalı hukuk algoritmalarını geliştirilebilmesinin yanında mevcut hesaplamalı hukuk algoritmalarının dil merkezli olmasının eksikliğinin de kuantum bilgisayarlar ile giderilebileceği tespiti yapıldı. Bu dil merkezli yapının tam olarak gerçeği yansıtmadığı, bu nedenle eksikliklerini azaltmak için beynin matematiğinin ortaya çıkarılmasının hukuktaki bilinmezliği azaltacağından ve bu matematiğin ortaya çıkarılması adına yapılan çalışmalardan bahsedildi. Kuantum bilgisayarlar ile benzer özellikler gösteren beynin matematiğini ortaya çıkarılırken yine kuantum bilgisayarların faydalı olabileceğinden bahsedildi. Böylelikle insan gibi düşünebilen bir kuantum makinenin en az insan kadar tutarlı fakat daha hızlı kararlar verebilmesinin, kanunlar üretebilmesinin mümkün olabileceğinden bahsedildi. Son olarak kuantum teknolojilerinin potansiyel riskleri ve bu riskler konusunda önleyici önlemler almanın önemli olduğu sonucuna ulaşıldı.

KAYNAKÇA

- [1]Tatar, Dilara Buket *Doğa Bilimlerinin Hukuk Felsefesine Etkisi: Modern ve Postmodern Paradigma Ekseninde Bir Değerlendirme*, Yayınlanmış Doktora Tezi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara 2019.
- [2]Durdu, M., Üstün, Ü. S. *Taxation of Crypto Assets: The Example of U.S. Federal Income Tax*, Annales de la Faculté de Droit d'Istanbul, 2024.
- [3] Üstün, Ümit Süleyman *Elektronik Haciz Uygulamasının Değerlendirilmesi*, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C.18, S.2, 2010, s. 9-37.
- [4]Kozak, İbrahim Erol *Hukuk Felsefesi ve Sosyolojisi*, Palet Yayınları, Konya, 2018.
- [5]Davide, Castelvechi *IBM Releases First-Ever 1,000-Qubit Quantum Chip*, <<https://www.scientificamerican.com/article/ibm-releases-first-ever-1-000-qubit-quantum-chip/>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [6]McCulloch, W. S., Pitts, W. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, Bulletin of Mathematical Biophysics, C.5, 1943, s.115-133. <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02478259>> (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2024).
- [7]Çamkerten, A. S., Kulular İbrahim, M. A. *Hesaplamalı Hukuk*, Necmettin Erbakan Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C. 6, S. 1, 2023, s. 160-182. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2758540>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [8]Atik, J., Jeutner, V. *Quantum Computing and Computational Law*, Law, Innovation and Technology, 2021, s. 302-324. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17579961.2021.1977216>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [9]Jeutner, Valentin *The Quantum Imperative: Addressing the Legal Dimension of Quantum Computers*, Morals & Machines, 2021, s. 52-59. <<https://ssrn.com/abstract=3820003>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [10]Steane, Andrew *Quantum computing*, Reports on Progress in Physics, C. 61, S. 2, 1998, s. 117-173. <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/61/2/002>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [11]Ding, Y., Chong, F. T. *Quantum Computer Systems: Research for Noisy Intermediate-Scale Quantum Computers*, Morgan & Claypool, 2022, s. 29.
- [12]Rietsche, R., Dremel, C., Bosch S., Steinacker L., Meckel M., Leiminister J. *Quantum Computing*, Electron Markets, C. 32, 2022, s. 2525–2536. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-022-00570-y>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [13]Einstein, A., Podolsky, B., Rosen N. *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, American Physical Society, C. 47, S. 10, 1935, s.777-780. <<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.47.777>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [14]Schrödinger, Erwin *Discussion of Probability Relations between Separated Systems*, Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, C. 31, S. 4, 1935, s. 555-563. <http://journals.cambridge.org/abstract_S0305004100013554> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [15]Mooney, G. J., Hill, C. D., Hollenberg L. C. L. *Entanglement in a 20-Qubit Superconducting Quantum Computer*, Scientific Reports, C. 9, S. 1, 2019. <<https://rdcu.be/dC7nr>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [16]Harrow, A., Hayden, P., Leung D. *Superdense Coding of Quantum States*, Physical Review Letters, C. 92, S. 18, 2004. <https://www.researchgate.net/publication/8536262_Superdense_Coding_of_Quantum_States> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [17]Scarani, V., Bechmann-Pasquinucci, H., Cerf, N. J., Dušek, M., Lütkenhaus, N., Peev, M. *The Security of Practical Quantum Key Distribution*, American Physical Society, C. 81 S.3, 2009. <<https://arxiv.org/pdf/0802.4155.pdf>> (Eriřim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [18]Domain of Science, *The Map of Quantum Computing - Quantum Computing Explained* <<https://youtu.be/-UlXHPIEVqA>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [19]Çalıkıylmaz, U., Turgut, S. *Quantum Search in Sets with Prior Knowledge*, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2021.
- [20]Hoofnagle, C. J., Garfinkel, S. L. *Law and Policy for the Quantum Age*, Cambridge University Press, Cambridge 2021.
- [21]Gromova, E. A., Petrenko, S. A., *Quantum Law: The Beginning*, Journal of Digital Technologies and Law, C. 1, S. 1, 2023, s. 62-88. <<https://www.lawjournal.digital/jour/article/view/147>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [22]Atik, Jeffery *Quantum Computing and the Legal Imagination*, SciTech Lawyer, 2022, s. 12-16. <<https://ssrn.com/abstract=4087044>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [23]Genesereth, Michael *What is Computational Law?* <<https://law.stanford.edu/2021/03/10/what-is-computational-law/>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024)

- [24]"Tersinir; kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak geri dönüştürülebilir demektir. Örneğin maddenin hal değiştirmesi olayları tersinirdir. Maddenin hal değiştirmesi olaylarından erimeye örnek verecek olursak; bir buz eritip su haline getirdiğinizde suyu tekrar soğutup buz haline getirebilirsiniz, bu tersinir bir işlemdir." <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Tersinir>>.
- [25]Sichelman, Ted *Quantifying Legal Entropy*, *Frontiers in Physics*, C.9, S.21, 2021, s. 106-120. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2021.665054/full>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024)
- [26]Katz, D. M., Bommarito, M. J. *Measuring the complexity of the law: the United States Code*, *Artificial Intelligence and Law*, C. 22, 2014, s. 337-374. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10506-014-9160-8>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024).
- [27]Friedrich, R., Luzzatto, M., Ash, E. *Entropy in Legal Language*, *CEUR*, s. 25-30. <<https://ceur-ws.org/Vol-2645/paper4.pdf>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024).
- [28]D'Amato, Anthony *Legal Uncertainty*, *California Law Review*, C. 71, S. 1, 1983, s. 1-55. <<https://www.jstor.org/stable/3480139>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024)
- [29]Akkurt, Sinan Sami *Yapay Zekânın Otonom Davranışlarından Kaynaklanan Hukukî Sorumluluk*, *Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi*, C. 7, S.13, 2019, s. 41. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/742574>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [30]Akbulut, Berrin *Yapay Zeka ve Ceza Hukuku Sorumluluğu*, *Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, C. 27, S. 4, s. 267-318. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3316184>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [31]Kılıç, Türker *Yeni Bilim: Bağlantısallık - Yeni Kültür: Yaşamdaşlık*, 1. Baskı, Palet Yayınları 2021.
- [32]Nieva, Richard *Facebook Shuts Down Chatbots That Created Secret Language*, <<https://www.cbsnews.com/news/facebook-shuts-down-chatbots-bob-alice-secret-language-artificial-intelligence/>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024) & KILIÇ, s. 44.
- [33]Stern, M., Murugan, A. *Learning Without Neurons in Physical Systems*, *Annual Review Of Condensed Matter Physics*, C. 14, 2023, s. 417-441. <<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-conmatphys-040821-113439>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [34]Wheeler, John Archibald *The 'Past' and the 'Delayed-Choice' Double-Slit Experiment*, *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, 1978 s. 9-48. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-473250-6.50006-6>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [35]Trujillo, Gao, Buchanan, Preissl, Wang, . . . , *Muotri Complex Oscillatory Waves Emerging from Cortical Organoids Model Early Human Brain Network Development*, *Cell Stem Cell*, C. 25, S. 4, 2019. <<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S1934-5909%2819%2930337-6>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [36]Ripoll-Sánchez, Watteyne, Sun, Beets, Vértes, . . . , Schafer *The Neuropeptidergic Connectome Of C. Elegans*, *Neuron*, C. 111, S. 22, 2023, S. 3570-3589. <<https://Www.Cell.Com/Action/ShowPdf?Pii=S0896-6273%2823%2900756-0>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [37]<<http://www.humanconnectomeproject.org/>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [38]Prigogine, Ilya *Time, Structure, and Fluctuations*, *Science*, C. 201, S. 4358, 1987, s. 777-785. <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.201.4358.777>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).