



## BEYİN-BİLGİSAYAR BAĞLANTISININ GELİŞİM SÜRECİ, NEURALİNK MEVCUT DURUM İNCELEMESİ VE GELECEKTEKİ ÖNGÖRÜLER

**Muhammet Ali KURUTAY<sup>1, a, \*</sup>, Mehmet Ali DEMİR<sup>1, b</sup>, Ali Kaan DAL<sup>1, c</sup>**

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri Bölümü

<sup>a</sup>m.ali-kurutay@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-1011-279X

<sup>b</sup>demir.mehmetali@yahoo.com, ORCID: 0009-0000-7726-4643

<sup>c</sup>alikaan\_dal@hotmail.com, ORCID: 0009-0007-0900-0719

### ÖZET

Beyin-bilgisayar bağlantısı bölümündeki gelişmeler her zaman bizleri şaşırtmaya devam ederken, yapay zekâ ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler ile geçmiş yıllardan beri ulaşılmaya çalışılan bir büyük amaca bugün artık daha çok yakınız. Beynin kendisini akıllı cihaza çevirmesine olanak tanınmasıyla birlikte birçok gelişmeler gözlemlenmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda başta Parkinson hastalığından felçli insanlara kadar pek çok hastalığın tedavisi belki de mümkün hale gelecektir. İlerleyen süreçlerde insan ve akıllı cihazlar arasındaki iletişimin fiziki sınırları da ortadan kalkabilecektir. Beyin-bilgisayar bağlantısı teknolojisinin son ürünü olan Neuralink, potansiyel faydaları yanında, zararlı yazılımların oluşturacağı riskleri de beraberinde getirmektedir. Bilgi ve düşünce mahremiyeti konusunda birçok zafiyet ile karşılaşacağımız gerçeği kaçınılmazdır. Üst düzey güvenlik ile geliştirilen Neuralink, yeni haberleşme teknolojileri ile desteklenecek ve uygulama alanları yaşamın birçok noktasına değinecektir. Bu çalışmanın temel amacı ise beyin-bilgisayar bağlantısının geçmişten günümüze geldiği tüm gelişmeleri ve beyin-bilgisayar bağlantısının son ürünlerinden olan Neuralink hakkında yapılacak olan çalışmalara esas bir kaynak olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin-Bilgisayar Bağlantısı, domuz deneyi, maymun deneyi, neuralink, neuralink uygulaması.

### ABSTRACT

As the advances in brain-computer connectivity continue to amaze us, we are closer now to a goal that's been pursued in the past years by advances in artificial intelligence and communication technologies. Several developments have been observed, along with the

**\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

**Atrf (Citation):** Kurutay, M.A., Demir, B.A., Dal, A.K., "Beyin-Bilgisayar Bağlantısının Gelişim Süreci, Neuralink Mevcut Durum İncelemesi ve Gelecekteki Öngörüler", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 5(1): 64-82, 2023.

**Geliş (Received): 17/01/2023**

**Kabul (Accepted): 11/07/2023**

**Yayın (Published): 16/07/2023**

ability of the brain to convert itself into a smart device. With these developments, treatment for many diseases will perhaps become possible, particularly for people with Parkinson's disease to the Paralyzed. The physical boundaries of communication between human and intelligent devices will be eradicated in the processes that continue. Neuralink, the latest in brain-computer connectivity technology, offers potential benefits along with the risks of malware. The fact that we are facing a lot of vulnerabilities in information and thought privacy is inevitable. Neuralink, developed with high-level security, will be supported by new communications technologies, and its applications will touch many aspects of life. The main goal of this study is to provide a basic foundation for all of the advances in brain-computer connectivity that have come, from the past, and for studies on the Neuralink, the latest product of brain-computer connectivity

**Keywords:** Brain-Computer Connectivity, pig experiment, monkey experiment, neuralink, neuralink application

## 1. GİRİŞ

Uzay sonsuz gizeme sahip büyük bir bilinmezliktir. Bilim insanları nesiller boyunca bu gizemi çözmek için uzaya birçok teknolojik cihazlar yollamışlardır. Öte taraftan, teknolojinin gelişmesiyle birlikte, keşiflerimiz yalnızca uzay ile sınırlı kalmayacak şekilde genişlemektedir. Uzay gibi beynimizde büyük bir bilinmezliktir. Kafatasımızın derinliklerinde, hala yüzlerce sırrı ile keşfedilmeyi bekleyen beynimizin gerçeklikleri gün yüzüne çıkmaktadır. Gelişen teknoloji sayesinde beyin, bilimsel çalışmaların göz bebeği olmaya devam etmektedir. Son yıllarda beyin-bilgisayar bağlantısı üzerine yaşanan gelişmeler ise insanlık için yeni bir teknolojik basamak oluşturmuştur.

Beyin-Bilgisayar Bağlantısı, beynin sahip olduğu elektriksel aktiviteleri harici cihazlar aracılığıyla, beyin ve bilgisayar arasındaki iletişimi doğrudan sağlamaktadır. Beyin-Bilgisayar bağlantısı insanların bilişsel faaliyetlerini araştırmaya, grafiklendirmeye, desteklemeye ve onarmaya yöneliktir. Geline bu araştırma ve geliştirme sürecine kadar tarihte birçok gelişme yaşanmıştır.

Hans Berger'in insan beyninin elektriksel aktivitesini keşfi ve elektroensefalografinin (EEG) gelişmesiyle başlayan bir beyin-bilgisayar bağlantısı tarihi vardır. Beyin tarafından üretilen elektrik alanlarının yüksek zamansal ve uzaysal çözünürlüğe sahip tek görüntüleme

yöntemi EEG'dir. Beyin aktivitesiyle ilgili değerli bilgilerin çıkartılabilmesine olanak sağlayan beyinden gelen elektrik sinyallerini kaydeder. EEG sinyalleri, nöronlar tarafından üretilmiş olan elektriksel beyin aktivitesinin izlenmesini sağlar. EEG, sinir sistemi hastalıklarının sinyal analizi, epilepsi tespiti, Alzheimer hastalığının teşhisi, uyku bozukluğu analizi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan ana araçlardan biridir. [1]. 1924 yılında Berger, EEG aracılığı ile insanoğlunun beyin aktivitesini kaydeden ilk kişidir. Berger, EEG izlerini detaylı analiz ederek alfa dalgası (8-13 Hz) veya Berger dalgası gibi salınım aktivitesini tanımlamıştır. Sonrasında yapılan deneyler de hastaların kafa derisinin altındaki bölgeye gümüş teller yerleştirmiştir. Daha sonrasında ise bunlar hastanın kafasına lastik bandajlarla tutturulmuş gümüş folyolarla değiştirilmiştir. EEG'ler, insanların beyinde gerçekleşen aktivitelerinin araştırılması için tamamen yeni olanaklara izin vermiştir [2].2019 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada trafik tıkanıklığının 8,8 milyar saat gecikmeye ve 3,3 milyar galon yakıtın dolaylı olarak 166 milyar dolar maliyetin israf olduğunu ortaya koymuştur [30].

Beyin-Bilgisayar bağlantısı hakkında yapılan ilk araştırmalar 1970 yılında Los Angeles California Üniversitesi'nde Jacques Vidal tarafından Ulusal Bilim Vakfı'nın hibesi altında başlamıştır. Vidal'ın 1973 tarihli makalesi [3], Beyin-Bilgisayar bağlantısı ifadesini ilk defa bilimsel literatürde kullanan makale olma özelliğini taşımaktadır [3, 4].

Beyin-bilgisayar bağlantısında önemli bir rol oynayan Nöral plastisite veya diğer adıyla beyin plastisitesi olarak da bilinen nöro plastisite, beyindeki nöral ağların büyüme ve yeniden şekillenme yoluyla değişme yeteneğidir. Beynin daha önce nasıl çalıştığından farklı bir şekilde işlev görmesi için yeniden kabloladığı zamandır.

Nöro plastisite nedeniyle, implant edilen protezlerden gelen sinyaller, adaptasyon sürecinden sonra beyin tarafından doğal sensör gibi işlenebilir. Uzun yıllar devam eden hayvan deneylerinden sonra, insanlara implant edilen ilk nöro protez cihazlar 20.yüzyılın sonlarında ortaya çıkmıştır [5].

Nöro protezler (nöral protezler olarak da adlandırılır), sinirbilim ve biyomedikal mühendisliği ile ilgili, sinir protezlerinin geliştirilmesiyle ilgili bir disiplindir. Bazen beyni, eksik biyolojik işlevselliği değiştirmeyi amaçlayan bir cihazdan ziyade bir bilgisayara bağlayan beyin-bilgisayar ara yüzü ile karşılaştırılırlar. Nöral protezler, bir yaralanma veya hastalık sonucu hasar görmüş olabilecek bir motor, duyuşal veya bilişsel modalitenin yerini

alabilen bir dizi cihazdır. Hasarlı duyuların değiştirilmesi veya güçlendirilmesi yoluyla, bu cihazların engele sahip insanların yaşam kalitesini iyileştirmesi amaçlanmaktadır.

Yüzyılın ilk çeyreğinden itibaren bu konu ile alakalı birçok deney yapılmıştır. 2004 yılında felç durumundaki bir hastanın beynine BrainGate adı verilen 96 elektroda sahip bir çip yerleştirilmiştir. Hastaların klavye ve fare kullanmadan sadece beyniyle mesajlaşabildiği, konuşabildiği ve sentetik uzuvlar aracılığıyla nesnelere hareket ettirmeyi, bu beyin implantı sistemi sayesinde başarmışlardır [6].

2008 yılında bir maymunun beyindeki çip ile makine kontrolü gerçekleştirilmiştir. Robot kol ile kendini beslemiştir. Bu deneyde maymunun uzuvlarında hiçbir problem olmadığı halde elleri sabitlenerek sadece beyin kontrolü ile robot kolu hareket ettirmeyi başarmıştır [7].

2016 yılında Neuralink şirketi Elon Musk ve sekiz nörolog tarafından kurulmuştur. Teknik olarak beyin-bilgisayar bağlantısı üzerinde geliştirmeler yapılmaktadır. Bu şirket geliştirdiği teknoloji sayesinde insanların tıbbi problemlerini sonuçlandırmayı ve insanları yapay zekâ ile senkronize etmeyi hedeflemektedir [8].

2020 yılında beyin yakınına yerleştirilen minik bir Neuralink cihazı yardımıyla beyin kontrolüne sahip domuz ve maymun deneylerine başlanmıştır. Neuralink, nöral sinyallerin kodunu çözmek ve bunları bilgisayar komutlarına dönüştürmek için kullanılmaktadır.

Nisan 2021 yılında Neuralink, Link implantını kullanarak "Pong" oyununu oynadığı gözlemlenen bir maymun gösterildi. Benzer bir teknoloji 21.yy'ın başından itibaren var olsa bile bir araştırma ve geliştirme grubu bir maymunun bilgisayar imlecini sinir sinyalleriyle hareket ettirdiğini ilk kez gösterdiğinde, bilim adamları bu durumu mühendislik ilerlemesi olarak kabul etmişlerdir [9]. Domuzun duygu değişimlerine verdiği tepkiler anlık olarak grafikte gösterilmektedir ve maymun artık bir bilgisayar imlecini düşünerek kontrol edebilmektedir. Gelecek Beyin-bilgisayar bağlantı teknolojisindeki gelişmelerin insanlığa fayda sağlayacağına inanılmaktadır. Gelişmiş hafıza, gelişmiş algı gibi yeni fiziksel ve bilişsel yetenekler ve düşüncelerle çevreyi kontrol edebilmeyi sağlamak amaçlanmıştır.

2022 yılında Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), Neuralink'in insan deneyleri için bir izin başvurusu aldı ve bu izin başvurusu 2 Mart 2023 tarihinde reddedilmiştir. FDA, Neuralink şirketinin sahip olduğu beyin implant çiplerini insanlar

üzerinde gerçekleştirilmek üzere istenen test etme başvurusunu güvenliğe dayalı endişelerini gerekçe göstererek reddetti. FDA, beyin implant çipinin beyne zarar vermeden ne şekilde takılıp çıkarılabileceği konusundaki endişelerini gündeme taşımıştır. Neuralink'in yangın tehlikesine sahip olan lityum pilleri kullanmasını sorguladı. Sağlam kaynaklara sahip rapor, şirketin 2022'de insan testi için teklif verdiğini, ancak belirtilen çok sayıda endişeyle reddedildiğini açıklıyor. İmplantı oluşturan "nöral dantel" beynin yumuşak dokusundan geçebilir; cihaz aşırı ısınabilir, implante edilen pil arızalanabilir, herhangi bir başarısızlık, reddedilme veya enfeksiyon durumunda çıkarılması beyne zarar verebilir. Bu rapor doğrultusunda Neuralink şirketi insanlı deneyler için onay aşaması uzun bir yol ile karşı karşıya kalmaktadır [10].

## 2. NEURALINK

SpaceX ve Tesla CEO'su Elon Musk, Neuralink adlı bir beyin-bilgisayar bağlantısı girişimini desteklemektedir. Neuralink şirketi, nihai amacı insanların yazılımla kaynaşmasına ve gelişmelere uyum sağlamasına yardımcı olmak hedefiyle insanların beynine yerleştirilebilecek cihazlar geliştirmeye odaklanmıştır. Bu geliştirmeler bilgi işlem cihazları ile daha doğrudan arabirim oluşturmaya olanak tanımaktadır [11, 12].

Beyin ile ara yüz oluşturma alanında sinir mühendisliğinin sınırlarını zorlayan yenilik olarak tanımlanan Neuralink, nereye giderseniz gidin bir bilgisayarı veya mobil cihazı kontrol etmenizi sağlamak için beyninize implant edilmektedir. Dışarıdan bakıldığı zaman görünmez bir beyin-bilgisayar cihazı tasarlamak ve beynin hareketini kontrol eden bölgelere mikron ölçekli iplikler yerleştirilmek istenmiştir. Her iplik çok sayıda elektrot içerir ve bunları link adı verilen bir cihaza bağlamaktadır.

Teknolojinin ilk amacı, felçli insanların, bilgisayarların ve mobil cihazların kontrolü ile bağımsızlıklarını tekrardan kazanmalarına yardımcı olmaktır. Bu nedenle geliştirilen cihaz bir gün insanlara metin veya konuşma sentezi yolu ile daha kolay iletişim sağlama, web 'de sahip oldukları meraklarını takip etme veya yaratıcılıklarını fotoğrafçılık, sanat veya yazı uygulamalar aracılığıyla ifade etme yeteneği verecek şekilde tasarlanmaktadır.

Link teknolojisi, yeni bir tür beyin-bilgisayar bağlantısı için önemli bir başlangıç noktasıdır. Teknoloji geliştikçe, daha fazla beyin alanına ve yeni tür nöral bilgilere erişerek beyinle iletişim kanallarını artırabilmek hedeflenmektedir.

Bu teknolojinin çok çeşitli nörolojik bozuklukları tedavi etme, duyuşsal ve motor işlevi eski haline getirme ve sonunda birbirimizle etkileşim kurma ve çevremizdeki dünyayı deneyimleme biçimimizi genişletme potansiyeline sahip olacağına inanılmaktadır. Beyindeki binlerce nörona bağlanacak şekilde tasarlanan link, bir gün beyindeki bu nöronların aktivitelerini kaydedebilir, bu sinyalleri gerçek zamanlı olarak işleyebilir ve amaçlanan hareketleri doğrudan harici bir cihazın kontrolüne çevirebilir olmayı hedeflemektedir.

Teknolojinin ilk uygulaması, kuadripleji (her iki kol ya da bacağı felçli olması) hastalarına bilgisayarları ve mobil cihazları doğrudan düşünceleriyle kontrol etme yeteneği vererek yardımcı olmayı hedeflemektedir. Uygulama, beynin hareket alanlarındaki nöral aktiviteyi kaydederek başlamaktadır. Kullanıcılar kollarını veya ellerini hareket ettirmeyi düşündüklerinde, bluetooth üzerinden kullanıcının bilgisayarına gönderilecek olan bu niyetlerin kodunu çözmektedir. Kullanıcılar başlangıçta sanal bir fareyi kontrol etmeyi öğrenir, sonrasında ise daha fazla pratik yaptıkça ve uyarlanabilir kod çözme algoritmaları gelişmeye devam ettikçe daha ileri seviyelerde öğrenimler kazanılmaktadır [13].

## 2.1. Link Yapısı



Şekil 1. Link ve Link Şarj Aleti [16].

Link, nöral sinyalleri işleyen ve ileten mühürlü, implant cihaz olarak tanımlanmaktadır. Sahip olduğu sinir iplikleri nöral sinyalleri tespit etmek için birçok elektrot içermektedir.

Şirket tarafından geliştirilen ve Şekil 1’ de görüldüğü gibi kompakt endüktif şarj cihazı, pili dışarıdan şarj etmek için implanta kablosuz olarak bağlanmaktadır. Link üzerindeki nano ipler, insan eli ile giremeyecek kadar ince ve esnektir. Bunun yerine, bu iplikleri tam olarak beyin cerrahının olmasını istediği yere güvenilir ve verimli bir şekilde yerleştirmek için tasarlanmış olan ve Şekil 2’ de gösterilen robotik sistem inşa edilmiştir.



Şekil 2. Link implant Robotu [16].

## 2.2. Link İmplant Robotu

Neuralink implantlarını gerçeğe dönüştürmek için robot iki açıdan kesinlikle gereklidir: Birincisi, iplikler bir insan saçından daha küçüktür ve bir insan cerrah tarafından kavranamaz, manipüle edilemez ve doğru bir şekilde yerleştirilemez. Bunu yapmak, kavramak için mikron hassasiyeti, yerleştirme sırasında hareket eden beynin yerini tespit etmek ve izlemek için onlarca mikron hassasiyet ve yüzlerce ipliği hızla içeri sokmak için yüksek hız gerektirir. İkincisi, yüz binlerce ve milyonlarca hastaya ölçeklendirme, yalnızca iplik yerleştirmenin değil, aynı zamanda ameliyatın geri kalanının planlanması ve yürütülmesinin de otomatikleştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir [14].





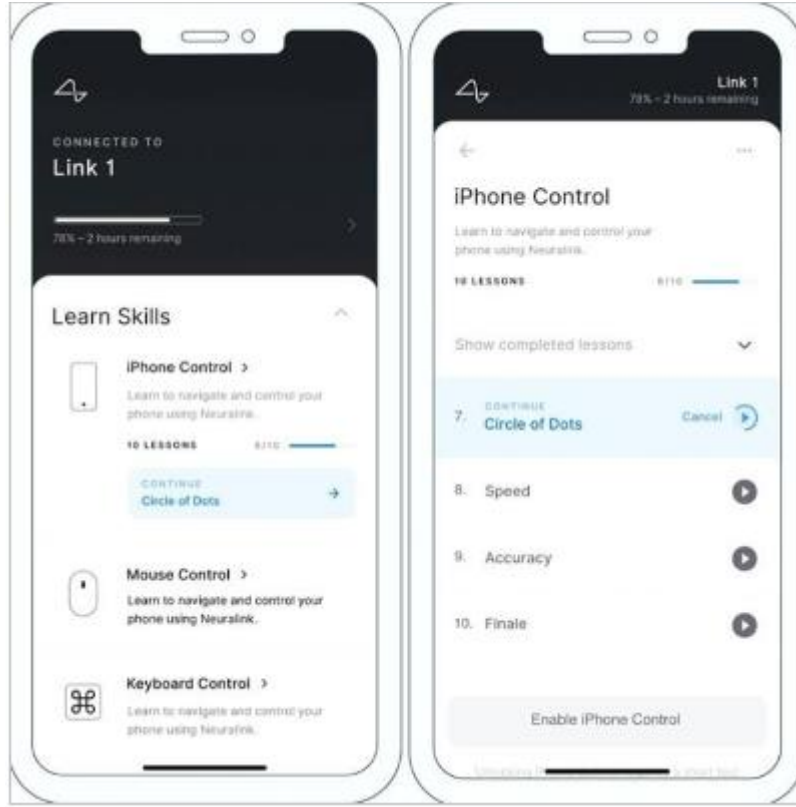
Şekil 3. Link İmplant Robotu Ameliyat Görüntüsü [21].

Robotun ilk ve en acil ihtiyacı, bu telleri manipüle edip beyne yerleştirebilmektir. Bu implant, aktif elektroniklerin ve elektrotların küçük bir paketi gibi görünür. Elektrotlar, çok sayıda küçük elektrotu olan esnek, ince tellerdir. Bu elektrotlar, bir nörona yakın olduğunda, o nöronun yaptıklarını kaydedebilirler. Cihazı ve onu yerleştirme yöntemini, beyin dokusunun cihazımıza tepkisini minimize etmek için tasarlanmaktadır ve sonuç olarak cihazlar son derece hassastır. Elektrotları içeren teller, insanlar tarafından elle bile ele alınması çok zor olan, yaklaşık 50 mikron genişliğinde, 5 mikron kalınlığında ve 20 mm uzunluğunda olan tellerdir. Robot, bu küçük, esnek telleri işlemek için kullanılır. Bilgisayar görüşü ve yüksek güvenilirlikte yazılım, yani hareketleri takip edebilme kabiliyeti, son derece önemlidir [15].

### 2. 3. Neuralink Uygulaması

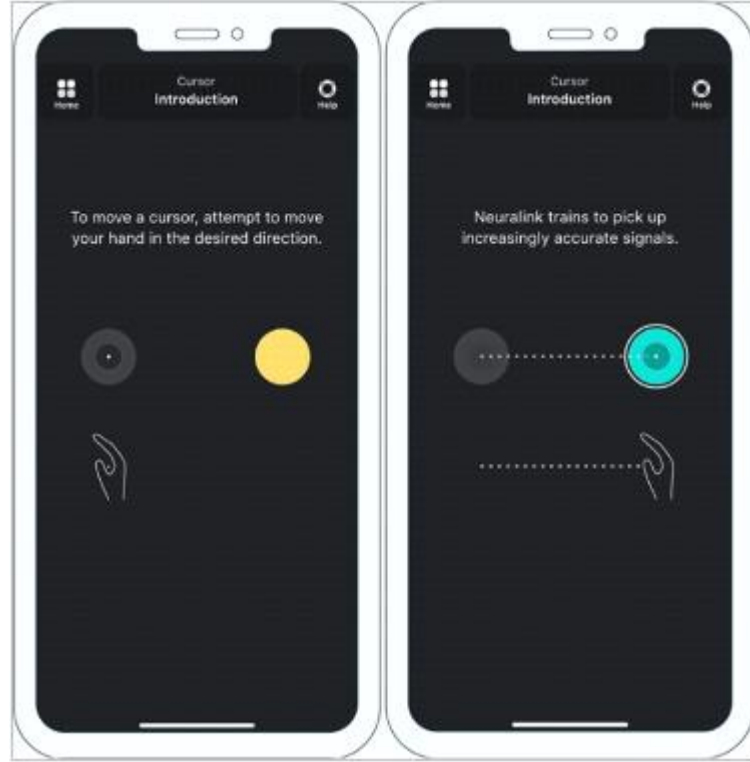
Neuralink uygulaması, telefonunuzu, klavyenizi ve farenizi doğrudan beyninizin aktivitesiyle, sadece düşünerek kontrol etmenize izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Uygulama, cihazınızı kontrol etmeyi öğretecek egzersizlerle size rehberlik etmektedir. Bir bluetooth bağlantısıyla, beyinde oluşturulan düşüncelerin herhangi bir fare ve klavye olmadan kontrolü gerçekleştirilebilmektedir.





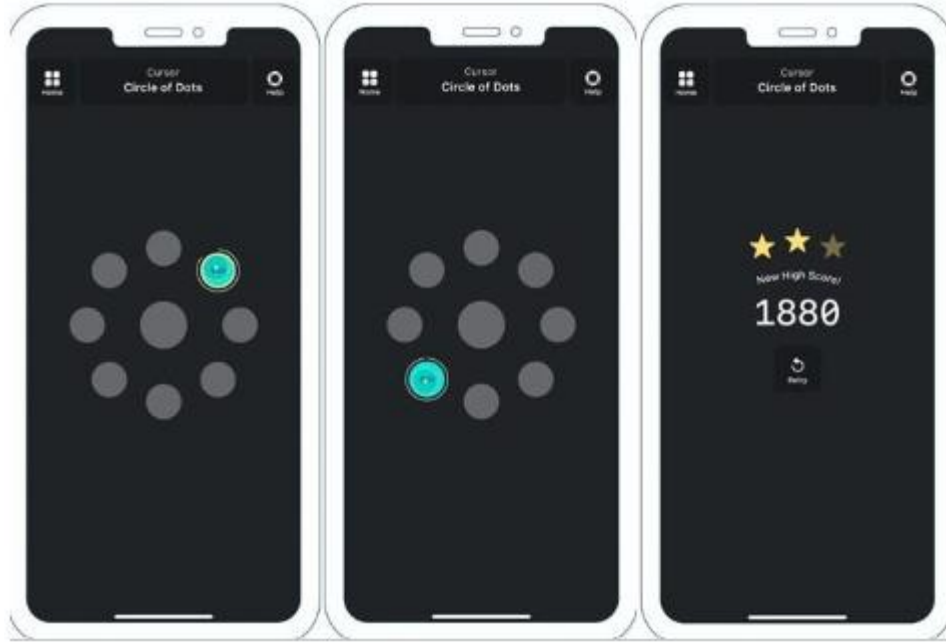
Şekil 4. Telefon uygulama ilk ara yüzü [16].

İlk olarak uygulama ara yüzünde bizleri karşılayan beynimize implant edilmiş link cihazının Neuralink uygulamasına başarılı bir şekilde bağlanmış olmasıdır. Link cihazının eşleşme sonrası pil kapasitesinin anlık olarak bizlere gösterildiği gözlenmektedir. Bunlara ek olarak uygulama bizlere kendi içinde sahip olduğu Şekil 4’de görüldüğü gibi beceri öğrenme ara yüzünde görünen üç farklı eğitim paketini sunmaktadır. Öğrenme paketlerinden biri olan iPhone Control (Telefon Kontrol) seçeneği seçildiği zaman bizleri on adet ders karşılamaktadır. Bu dersler kolaydan zora olacak şekilde sıralanmıştır.



Şekil 5. Mobil uygulamaya başlangıç eğitimi [16].

Bu derslerden ilki olan Introduction, uygulamanın solunda bulunan yuvarlak içerisindeki beyaz noktayı beynimiz ile uygulamanın sağında bulunan bir diğer yuvarlağa başarılı bir şekilde götürmeyi hedeflemektedir. Bunu başarmak için elimizi istenen yönde hareket ettirmeye çalışmamız istenmektedir. Bu eğitimi başardığımız takdirde neuralink giderek daha doğru sinyaller almaya başlamaktadır.



Şekil 6. Mobil uygulama ileri seviye eğitim [16].

Eğitim derslerinden biri olan Circle of Dots'un ilk seviye derslere göre daha zor olduğu gözlenmektedir. Beyini giderek daha iyi eğitmeyi amaçlayan dersler bu doğrultuda zorluklar ile bizlere link cihazını çok daha verimli kullanmayı hedeflemektedir.

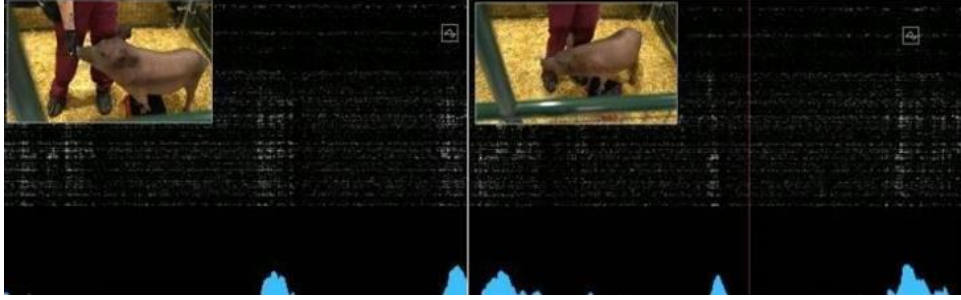
Son olarak, yukarıda görmüş olduğumuz Şekil 6'daki uygulama da bulunan skor tablosu bizlere aslında bu sürecin kolay bir süreç olmadığını göstermektedir. Tüm eğitim paketleri bitmiş olsa bile beynimiz ile makina arasındaki iletişimi daha üst seviyelere taşımak için birçok kez tekrar yapmamız gerekmektedir. Bu sayede iletişim sağlamak kolaylaşırken uygulama da yüksek skorlar da elde etmek mümkün olacaktır [16].

### 3. NEURALINK DENEYLERİ

Neuralink yaptığı hayvan deneylerini yılın belirli günlerinde canlı yayın olarak tüm insanlığa açık platformlardan yayınlamaktadır. Neuralink deneylerinin amacı insanlar tarafından kullanılacak olan link cihazının ilk olarak hayvanlar üzerinde denemeler yaparak insan için en stabil hale getirilmesidir.

### 3. 1. Domuz Deneyi

Kayıtlara sağlıklı ve mutlu bir domuz olarak geçen, Neuralink deneylerinden biri olan domuz deneyi, bizlere beynine implant edilmiş hayvanın yemek yerken nasıl bir beyin grafiği çizdiğini ve yemek yemediği zaman grafiklerin nasıl değiştiğini gözlemleme fırsatı vermektedir.



Şekil 7. Domuz deneyi [17].

Şekil 7’de gözlemlenen ilk durum beyinden gelen sinyallerin başarılı bir şekilde ekranlara yansıtılmasıdır. Siyah ve beyaz grafiklerin doğrultusunda oluşan mavi grafiklendirme, bizlere hayvan yemek yerken verdiği beyin sinyalini temsilen göstermektedir. Ekranda sürekli yatay hareket içerisinde olan dikey çizgi kendini sürekli tekrar ederek olası hayvan reaksiyonunda bizlere canlı olarak grafiklendirme yapmaktadır. Hayvan herhangi bir yemek yemediği için mavi grafiklendirme mevcut akışın dikey çizgi ile görünen noktasında herhangi bir grafiklendirme yapmamaktadır. Yayında gözükken bir diğer durum ise hayvanın sadece yemek yerken verdiği beyin sinyallerinin takip edilmediği bunlara ek olarak verdiği her tepkide aslında beyindeki sinyallerin ekranda gösterildiği görüntülenmiştir.

Sonuç olarak, bu aşamada Neuralink ekibi hayvana başarılı bir şekilde implant edilen link cihazının istenildiği gibi beyindeki aktiviteleri bilgisayara aktarmayı başarmıştır. Elde edilen hareketli akış grafiğini ve hayvanı bizlere eşzamanlı olarak göstererek sistemin mevcut aşamada başarılı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir [17].

### 3.2. Maymun Deneyi

Neuralink deneyleri kapsamında bir diğer deney olan maymun deneyi ise bizlere sistemin stabil çalıştığına dair net kanıtlar sunmaktadır. Domuz deneyinde sadece beyindeki

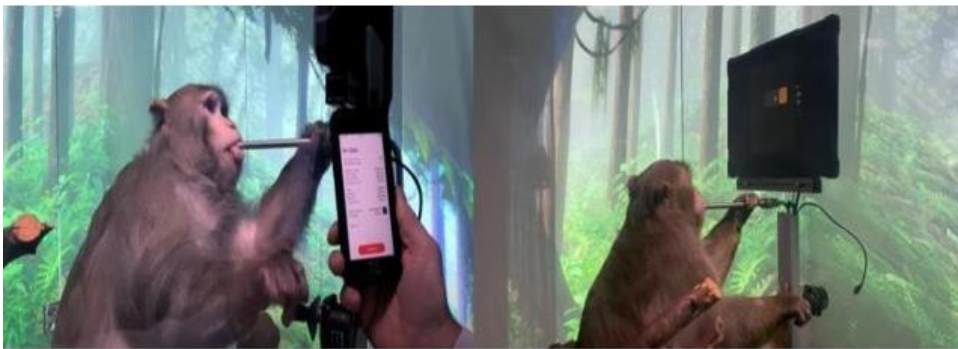
aktiviteleri grafiklendirmeyi başarmış olan Neuralink ekibi, maymun deneyinde ise sistemi tümüyle test etmiştir. Bu deneyi halka açık platformlarda yayınlamışlardır



Şekil 8. Maymun deneyi Neuralink bağlantı öncesi [18].

Deneyde ilk olarak bir maymunun kendisi için hazırlanmış bir bilgisayar ve kontrol konsolu olduğu gözlemlenmektedir. Eğitilmiş olan maymun kontrol konsolundan bilgisayardaki imleci hareket ettirerek ekrandaki sarı renkteki kare alana getirmeye çalışmaktadır. Bunu başarması halinde ise sol eliyle tuttuğu demir boru içerisinden içecek verilmektedir.

Maymun ilk aşamayı başarılı bir şekilde tamamlamaya devam ederken, deney sırasında orada bulunan bilim insanlarından birisi Şekil 4'de görüldüğü gibi Neuralink uygulamasını açıp maymunun beynindeki Link cihazına telefonda bağlantı sağlamaktadır.



Şekil 9. Maymun deneyi neuralink bağlantı sonrası [18].

Neuralink uygulaması kullanılarak başarılı bir şekilde maymunun beynindeki link cihazına bağlanan bilim insanları canlı olarak beyindeki sinyalleri takip etmektedir. Süreç

biraz daha ilerledikten sonra kontrol konsolunun kablosu çıkartılarak bağlantısı kesilmiştir. Daha sonrasında gözlemlenen durumda maymunun ekrandaki imleci eliyle tuttuğu kontrol konsolu ile yönlendirdiğini düşünürken aslında link bağlantısı sayesinde beyni ile kontrol etmeye başlamıştır.



**Şekil. 10** Maymun deneyi bağlantı tam senkron [18].

Bu aşamada ise kontrol konsolu tamamen kaldırılarak maymunun beyin ve link senkronizasyonu sayesinde düşünce gücü ile pong oyununu başarılı bir şekilde oynadığı görülmektedir. Sonuç olarak, maymuna implant edilen link cihazının başarılı bir şekilde çalıştığı ve maymunun herhangi bir kontrol konsoluna ihtiyacı olmadan düşünce gücü ile ekrandaki imleç ve pong oyununu başarılı bir şekilde kontrol edebildiği gözlemlenmektedir [18].

### 3.3. İnsan Deneyi

Neuralink insan deneylerine başlamak istiyor çünkü teknoloji test için son aşamaya geldi. Bu insan deneylerinin amacı, beyin implantlarının insanlarda güvenli ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektir [19].

Bu insan deneylerinde, beyin implantları beyin yüzeyine yerleştirilir ve beyin sinyalleri okunur ve beyne sinyal gönderilir. İlk deneylerde, implantların beyinde herhangi bir hasar veya yan etki oluşturmadığı gösterildi. Şimdi, Neuralink bu implantların daha fazla insan üzerinde test edilmesini ve daha fazla beyin aktivitesinin okunmasını planlamaktadır.

Beyin implantları, sayesinde, insanlar düşüncelerini doğrudan bilgisayara aktarabilir, beyin hasarlarını veya hastalıklarını tedavi edebilir ve hatta insan beynini geliştirerek insanların bilişsel kapasitelerini artırabilir. Ancak, insan deneylerinde güvenlik ve etik konuları da dikkate alınmalıdır. Bu konuların da iyi yönetilmesi gerekmektedir. Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi'nde bulunan 8. madde 'deki Mahremiyet Hakkı, Neuralink implant cihazı gibi veriden beslenen teknolojilerle birlikte düşünüldüğünde, hukuki alanındaki tartışma, veri koruma kuralları ile ayrımcılık çerçevesinde yoğunlaşmaktadır.

Oysa sahip olunan gizlilik, aynı zamanda, ifade ve düşünce özgürlüğü gibi diğer temel insan haklarının da teminatını sağlayan ve veri koruma kurallarının kapsamına sığmayan temel bir haktır [20]. İnsan deneyleri FDA tarafından Mart 2023 tarihi itibari ile ret yemiş olsa da bu sürecin devam edeceği, uzun bir süreç olacağı ve gerekli izinleri alarak en yakın zamanda insan deneylerine başlanacaktır.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnsanlık adına dünyada büyük kırılma noktaları yaşanmıştır. Neuralink ise dünyanın yaşayacağı bir diğer büyük kırılma noktasıdır. İlk nesil Neuralink cihazları beyin yaralanmalarını ve bozukluklarını tedavi etmeye odaklanacaktır. Felçli bir hastanın sahip olduğu uzuvlarını tekrar kullanabilmesinin önü açılacaktır. Görme engeline sahip bir Neuralink kullanıcısının yaya olarak yoldan karşıdan karşıya geçmeye çalışırken Neuralink cihazının kullanıcıya mevcut trafik lambasının rengini, trafik lambasının sahip olduğu sensörler sayesinde görme engeline sahip kişiye trafik lambasındaki durumu anlık olarak aktaracaktır. Bu sayede görme engeline sahip bir kişinin dış mekân da sahip olduğu can güvenliği artacaktır. Daha sonraki süreçte ise bunun çok daha fazlasını gerçekleştirecektir. Beyin-Bilgisayar bağlantısının geldiği son nokta olan Neuralink uygulamasını insanlar kullanmaya başladığı zaman el ve ayakların üstlendiği birçok görevi zihin yoluyla gerçekleştirecektir. İnsanoğlu Neuralink uygulamasının bağlanabildiği her cihazı rahatlıkla kontrol edebilecektir. Erken erişim ile birlikte öncelikle telefon, klavye ve fare gibi cihazları eğitim antrenmanları sonrasında rahatlıkla kontrol edilebilecektir. Buna ek olarak ilerleyen süreçlerde akıllı ev sistemlerini kullanmak için harici bir cihaza ihtiyaç olmayacak çünkü düşünce gücü ile televizyonumuzu, fırınımızı veya buzdolabımızı rahatlıkla Link cihazı kontrol edebilecektir. Neuralink kullanıcılarının günlük hayatta yaşadığı her anı harici



hafızaya alacak olan Neuralink cihazı yıllar sonra ihtiyaç halinde merak ettiğiniz anda geçmiş günlerde tam olarak neler yaşadığınızı ve neler hissettiğinizi anlık olarak aktaracaktır. Yakın gelecekte akıllı otomobillerin zihin gücü ile yönetimi sağlanacaktır. Seyahat ettiğiniz birçok araçta direksiyon mevcut olmayacak çünkü onun üstlendiği görevi sizin sahip olduğunuz zihin gücünüz ile gerçekleştirebilmeniz sağlanacaktır. En sevdiğiniz konsol oyunlarında sahip olduğunuz reflekslerinizin çok ötesine geçip oyunu zihniniz ile yöneteceksiniz. Dünyada dil sorunu tamamen ortadan kaldıracak olan Neuralink, farklı bir dil konuşmak için gerekli programı indirmenizin yeterli olacağını fakat duygusal nedenler ile hala dil ile konuşma yapacağımızı dile getirmişlerdir.

Beyninizdeki iştah merkezi Neuralink sayesinde kontrol altına alınacaktır. Obezite sorunu tarihin tozlu raflarında kendine yer edinecektir. Bu teknoloji, öğrenme sürecindeki öğrencilerin daha iyi öğrenmelerine yardımcı olabilir. Neuralink ara yüzü, bilgisayarlarda depolanan bilgilere doğrudan erişim sağlar ve öğrencilerin öğrenme sürecinde daha hızlı ve etkili bir şekilde bilgi edinmelerine yardımcı olabilir. Neuralink, insanların beyinlerinin işlem kapasitesini arttırarak daha yaratıcı, üretken ve yenilikçi olmalarını sağlayabilir. Bu, insanların düşünce süreçlerinin daha hızlı ve daha karmaşık olmasına izin vererek daha ileri seviyede düşüncelerine yardımcı olabilir. Neuralink, insanların birbirleriyle daha güçlü bir şekilde bağlantı kurmalarına olanak tanıyabilir. Beyinler arasındaki bağlantıları güçlendirerek, insanlar daha empatik ve anlayışlı olabilirler. Neuralink teknolojisi, insanların dünya hakkında daha fazla bilgi edinmelerine ve algılarını genişletmelerine yardımcı olabilir. Örneğin, insanların daha geniş bir renk yelpazesini görmelerine veya daha yüksek bir frekansta duymalarına izin verebilir. Neuralink, insanların daha hızlı öğrenmelerine ve bilgi işlemelerine olanak tanıyabilir. Bu, insanların işlerini daha hızlı ve daha etkili bir şekilde yapmalarına izin vererek, toplumun genel verimliliğini artırabilir. Neuralink, insanların beynine doğrudan müdahale ederek, potansiyel olarak insan evriminde yeni bir aşamaya yol açabilir. Bu, insanların beyninin işleyişini geliştirerek daha gelişmiş bir tür insan oluşmasına yol açabilir.

Dünya için yeni bir basamak olan bu teknoloji beraberinde birçok riski de yanında getirmektedir. Zihin ile senkronize çalışacak bu uygulama her zaman zihin ne derse onu gerçekleştirmez. Bağlanacağımız link cihazı sayesinde akıllı cihazların yerini alacağımız gerçeği yakınlaşmıştır. Her akıllı cihaz günümüz dünyasında birçok kötü yazılım ile kontrol altına alınmaktadır. Gelecek yıllarda beyine yerleştirilen Link cihazı zararlı yazılımlar

tarafından kontrol etmek istenirse insanlık için yeni bir kontrollü kölelik sistemi kaçınılmaz olacaktır. Günlük hayatımızı normal yaşadığımızı düşünürken aslında korsan yazılımlar yüzünden gayet keyifli bir şekilde korsan yazılım sahiplerine binlerce dolar aktardığımızı ve bunu yardım kampanyası olarak beyninize yerleştirdikleri gerçeği doğrudan ihtimaller içerisinde kendisine yer bulmuştur. Elbette bu gelişmelerde tek risk paranızdan olma ihtimali değildir. Düşünce mahremiyeti insanlık için tamamen ortadan kalkacaktır. Neuralink sistemlerine sızan her bilgisayar korsanı, dünya üzerinde insanların belirli konular hakkında neler düşündüğüne kolayca ulaşım sağlayacaktır. Bu durum üzerine insanlar düşünce mahremiyetinden tamamen uzaklaşmış olacaklar, gizli bilgi diye bir şey kalmayacaktır.

Neuralink, insanların beynine doğrudan müdahale eden bir teknoloji olduğundan, sosyal etkileri konusunda endişeler vardır. Özellikle, zengin ve fakir arasında daha büyük bir eşitsizliğe neden olabilir. Neuralink, insanların düşünce süreçlerine doğrudan müdahale etme potansiyeline sahiptir. Bu, insanların düşüncelerini manipüle etmek için kötüye kullanılabilir. Neuralink teknolojisi, insan beynine doğrudan müdahale ettiğinden, cihazın implant edildiği insanlar için sağlık riski taşıyabilir. Cihazın vücut tarafından reddedilme riski, enfeksiyon riski ve diğer komplikasyonlar olabilir. Neuralink, insanların beynine doğrudan müdahale ettiğinden, gelişimsel riskler taşıyabilir. Bu, özellikle çocuklarda kullanıldığında, beyin gelişimini etkileyebilir ve potansiyel olarak kalıcı hasara neden olabilir. Neuralink teknolojisi, insanların gerçek dünya yerine sanal dünyalara bağımlı hale gelmelerine neden olabilir. Bu, gerçek hayatla bağlarını koparabileceği gibi toplumda izolasyona ve yalnızlığa yol açabilir. Neuralink teknolojisi, insanların beyinlerinde doğrudan iletişim kurmalarına izin vererek, insanlar arasındaki doğal iletişim kanallarını zayıflatabilir veya bozabilir. Bu, insanlar arasındaki etkileşimin azalmasına ve sosyal becerilerin kaybedilmesine neden olabilir. Neuralink teknolojisi, zengin ve güçlü insanlar için erişilebilir bir teknoloji olabilir. Bu durumda, implantlara sahip olanlar diğerlerine göre avantajlı hale gelebilirler ve daha fazla ayrıcalık sahibi olabilirler.

Sonuç olarak, Neuralink büyük bir teknoloji gelişmesi olarak tarihteki yerini alacaktır. Neuralink uygulaması birçok hastalığa çözüm olacak ve hatta ilerleyen süreçlerde insanlığın birçok alanda sahip olduğu becerilerini belirli düzeyde artırmasına yardımcı olacaktır. İnsanlar uzuvları ile kısıtlanmış olduğu gerçeğini tamamen ortadan kaldırılarak doğrudan beyin ile iletişim halinde olarak refleks ve isteklerimizi yazılımlar sayesinde gerçekleştirecektir. İnsanlık için büyük bir kolaylık sağlayacak olan Neuralink, yanlış

kullanım veya sızma işlemleri sonrasında insanlığın başına dert açması ihtimali ciddi bir sorun olarak gözler önüne serilmiştir. Doğru kullanım sonucunda yeni bir insanlık düzenin geleceği gözlenmektedir. Bilgi koruma kuralları çerçevesine sığmayan, gelişen beyin-bilgisayar bağlantısı ile yeni tartışmalara yol açan temel bir hak olduğunun kabulünün giderek çok daha önemli olduğu düşünülmektedir. Beyin-bilgisayar bağlantısı ile ana hatları aktarılmaya çalışılan Neuralink bağlamında olumlu veya olumsuz sonuçlara ilişkin ortaya çıkacak zafiyetler ile ilgili yeni çalışmalar yapılması son derece önemlidir.

## KAYNAKÇA

- [1] Omar, S. Q. O. & Tepe, C. (2022). EEG Sinyallerini İşlemek İçin Makine Öğreniminin Kullanıldığı Konular Üzerine Bir İnceleme. Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5 (1), 124-137. DOI: 10.55117/bufbd.1099025
- [2] Tudor, M.; Tudor, L.; Tudor, KI (2005). "Hans Berger (1873-1941)-elektroensefalografinin tarihi". Acta Medica Hırvatistan. 59 (4): 307–13. PMID 16334737.
- [3] Vidal JJ (1973). "Toward direct brain-computer communication". Annual Review of Biophysics and Bioengineering. 2 (1): 157–180. Doi: 10.1146/annurev.bb.02.060173.001105. PMID 4583653.
- [4] Vidal J (1977). "Real-Time Detection of Brain Events in EEG" (PDF). Proceedings of theIEEE. 65 (5): 633–641. doi:10.1109/PROC.1977.10542. S2CID 7928242.
- [5] Levine SP, Huggins JE, BeMent SL, Kushwaha RK, Schuh LA, Rohde MM, et al. (June 2000). "A direct brain interface based on event-related potentials". IEEE Transaction on sRehabilitation Engineering. 8 (2): 180–185. doi:10.1109/86.847809. PMID10896180
- [6] <https://www.braingate.org/> (Erişim Tarihi:07.11.2022)
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=jOkpn0BN2HE> (ErişimTarihi:05.11.2022)
- [8] Wall Street Journal. (2017, 27 Mart). Elon Musk Launches Neuralink to Connect Brains With Computers. (Erişim tarihi: 24 Nisan 2023)
- [9] <https://populartimelines.com/timeline/Neuralink>. (Erişim Tarihi: 24 Nisan 2023)
- [10] <https://www.reuters.com/technology/neuralink-other-brain-chip-makers-face-long-road-fda-approval-2023-03-02/> (Erişim Tarihi: 25.03.2023)

- [11] <https://www.wsj.com/articles/elon-musk-launches-neuralink-to-connect-brains-with-computers-1490642652> (Erişim Tarihi: 1.12.2022)
- [12] <https://www.theverge.com/2017/3/27/15077864/elon-musk-neuralink-brain-computer-interface-ai-cyborgs> (Erişim Tarihi: 1.12.2022)
- [13] <https://neuralink.com/applications/> (Erişim Tarihi: 1.12.2022)
- [14] <https://neuralink.com/robotics/> (Erişim Tarihi: 27.03.2023)
- [15] <https://www.youtube.com/watch?v=-gQn-evdsAo> (Erişim Tarihi: 27.03.2023)
- [16] <https://neuralink.com/approach/> (Erişim Tarihi: 15.12.2022)
- [17] [https://www.youtube.com/watch?v=iSutodqCZ74&ab\\_channel=Neuralink](https://www.youtube.com/watch?v=iSutodqCZ74&ab_channel=Neuralink)  
(Erişim Tarihi: 16.12.2022)
- [18] [https://www.youtube.com/watch?v=rsCul1sp4hQ&ab\\_channel=Neuralink](https://www.youtube.com/watch?v=rsCul1sp4hQ&ab_channel=Neuralink)  
(Erişim Tarihi: 20.12.2022)
- [19] Entrepreneur. (2021, 4 Şubat). 3 Steps for Successfully Launching a New Product or Service. Erişim tarihi: 24 Nisan2023, <https://web.archive.org/web/20210204200401/>
- [20] Yılmaz, S. S. & Ozan Özparlak, B. (2021). Beyin-Makine Arayüzü Teknolojisi ve Mahremiyete Dair Yeni Hukuki Sorular. Maltepe Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, (2), 269-308. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mhfd/issue/64869/994250>
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=-gQn-evdsAo> (Erişim Tarihi: 3.04.2023)