



## Beyin Bilgisayar Arayüzü ve Geleceği

Önder AYDEMİR<sup>1</sup> 

(Alınış / Received: 30.11.2022, Kabul / Accepted: 28.12.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2022)

### Anahtar Kelimeler

Beyin Bilgisayar Arayüzü

EEG

Sinir Bilimi

**Öz:** İnsan beyninin işleyişi henüz tam olarak keşfedilmemiş esrarengiz yapısı ile araştırmacıların odağında olan bir organdır. Günümüzde tıptan başka mühendislikten eğitime, spordan finansa kadar birçok disiplinde yapılan araştırmalarda dikkate alınmaktadır. Özellikle kamuoyunda “düşünce gücü” olarak adlandırılan literatürdeki ismi ile beyin bilgisayar arayüzleri geleceğin teknolojileri arasında gösterilmektedir. Bu teknoloji insanların sadece düşünceleri ile bilgisayar gibi elektronik cihazları kontrol edebilmelerini olanaklı hale getiren sistemlerdir. Öyle ki, insanlar düşünceleri ile yazı yazabilmekte, bir nöroprotezi hareket ettirebilmektedir. Bu çalışmada bu teknolojinin veri kaydetme yaklaşımları, dünya literatüründe üretilen araştırma sayılarının analizi ile gelecekteki çalışma sahaları hakkında sonuçlar sunulmuştur.

## Brain Computer Interface and Its Future

### Keywords

Brain computer interface

EEG

Neuroscience

**Abstract:** The functioning of the human brain is an organ that is in the focus of researchers with its mysterious structure that has not yet been fully explored. Today, it is taken into consideration in researches conducted in many disciplines, from medicine to engineering, education, sports to finance. Brain-computer interfaces are shown among the technologies of the future, especially in the literature, which is called "thought power" in the public. This technology is systems that make it possible for people to control electronic devices such as computers with just their thoughts. So much so that people can write with their thoughts and move a neuroprosthesis. In this study, the data recording approaches of this technology, the analysis of the research numbers produced in the world literature and the results about the future work areas are presented.

### 1. Giriş

Teknoloji insanların faydasına olan gelişmelere verilen isimdir. Sanayi devrimi ile kitlelere fayda sağlayan üretim teknolojileri ve ulaşım makineleri üretilirken son 30 yıldır çoğunlukla kişisel ihtiyaçlara fayda sağlayan akıllı uygulamalar da geliştirilmektedir [1-3]. Bu uygulamalar daha çok yapay zeka algoritmalarını kullanarak geçmişteki verileri kullanarak ya gelecekteki olasılıksal durumları tahmin etmekte ya da verilerden anlam çıkararak kullanım kolaylığı sağlamaktadırlar. Son 20 yıldır popülerliğini günden güne arttıran ve kamuoyunda düşünce gücü olarak isimlendirilen beyin bilgisayar arayüzleri (BBA) ise en basit hali ile kişilerin sadece düşünceleri ile bilgisayar gibi elektronik cihazları kullanmalarını olanaklı hale getiren sistemlerdir [4], [5]. Bu

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

çalışmada BBA'ların çalışma prensipleri ve çeşitleri ile bu teknolojinin geleceği hakkında açıklamalar gerçekleştirilecektir.

## 2. İnsan-Bilgisayar Arayüzü

İnsanlar teknolojik cihazları daha çok kas sistemleri ile kullanırlar. Bir telefonu, bilgisayarı veya televizyonu el kasları ile kontrol ederler. Bunlardan başka ses komutu ile çalışan telefonlar, tablet uygulamaları veya akıllı ev uygulamaları, video tabanlı çalışan kullanıcının el, ayak veya yüz hareketlerini algılayarak çalışan sistemler de geliştirilmiştir. Yine insan vücudundan istemli kas hareketi ile kaydedilen elektromiyogram (EMG) [6], elektroensefalogram (EEG) [7] ve elektrookülogram (EOG) [8] tabanlı elektronik cihazlarda üretilmeye devam etmektedir. Bahsi geçen ve insandan alınan girdi verileri ile çalışan elektronik cihazlara “insan-bilgisayar arayüzü (IBA)” veya bir başka yaygın kullanımı ile “insan-makine arayüzü” denilmektedir. Girdi işareti EEG gibi beynin ürettiği nöral aktivite ise bu uygulamaların özel adı “beyin-bilgisayar arayüzü (BBA)” veya “beyin-makine arayüzü” olarak adlandırılmaktadır [9]. IBA sistemlerinin performansı kullanılan girdi işaretinin işaret gürültü oranına doğrudan bağlıdır. Tüm bunlar içerisinde en küçük işaret gürültü oranına sahip olanı mikrovoltlar mertebesinde genliğe sahip olan EEG'dir. EMG ve EOG işaretleri ise milivoltlar düzeyinde sinyallerdir. Araştırmacılar EEG ölçüm tekniği ile kullanıcıların mimik hareketleri veya göz hareketleri sırasında ortaya çıkan kas sinyallerini kaydederek bir IBA uygulaması geliştirerek bu uygulamaları BBA uygulaması olarak tanımlamaktadırlar ki bu doğru bir tanımlama olmamaktadır. Her ne kadar sinyal EEG gibi saç derisinden kaydediliyor olsa da aslında girdi işareti beynin ürettiği nöral aktivite değil, nöral aktiviteye gürültü olarak eklenen EMG/EOG sinyalidir. Dolayısıyla bu tarz uygulamalar BBA olarak değil IBA olarak tanımlamak daha uygun olacaktır.

## 3. Beyin Bilgisayar Arayüzü

BBA'lar insanların sadece düşünceleri ile bilgisayar gibi elektronik cihazları kontrol edebilmelerine imkan sağlayan sistemlerdir. 1990'lı yılların ilk çeyreğinde [9] adından söz ettirmeye başlayan bu teknoloji ilk yıllarında ALS hastalığından muzdarip kişiler için yani beyni sağlıklı olan felçlilerin hayatlarını kolaylaştırmak için ortaya çıkmıştır. Böyle kişilerin sadece düşünceleri ile çevreleri ile iletişim kurmalarını sağlayabilecek yazışma uygulamaları, robotik bir kolu kullanarak beslenme uygulaması veya bir tekerlekli sandalyeyi kontrol ederek mobilizasyon uygulamaları önerilmiştir. Laboratuvar ortamında elde edilen başarılı sonuçlar bu sistemlerin sadece engelli bireylerin değil, aynı zamanda sağlıklı insanların da kullanabileceği uygulamalar geliştirilebileceği fikrini kuvvetlendirdi [10-12].

BBA'lar beynin nöral aktivitesini kaydeder, yapay zeka algoritmaları ile çözümler ve kullanıcının uygulama komutları arasından hangisini düşündüğünü tespit ederek ilgili elektronik cihazı sadece düşünceleri ile kontrol etmelerini olanaklı hale getiren sistemlerdir. Bu sistemlerin verinin kaydedilmesi, ön işleme, öznelik çıkarma ve sınıflandırma olmak üzere 4 alt işlem adımları vardır [13]. BBA'larda verilerin kaydedilmesi adımı beynin nöral aktivitesi çoğunlukla 3 farklı paradigma ile kaydedilmektedir. Bu paradigmlar avantaj ve dezavantajları ile aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

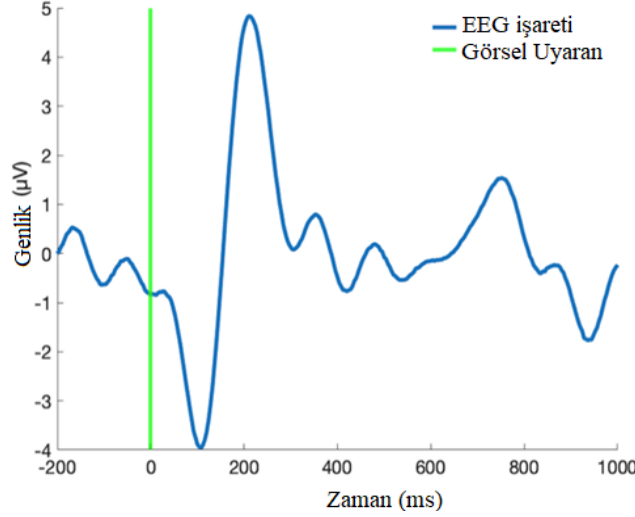
### 3.1. Motor Hayaline Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzleri

Motor hayali; herhangi bir fiziksel motor aktivite yapmadan kol veya ayak hareketi gibi bir motor hareketin hayal edilmesidir. Yapılan araştırmalar insanların aynı motor hareketini hayal ettiklerinde beynin aynı nöral bağlantıları kullandığını tespit etmişlerdir. Buradan hareketle, her ne kadar aynı motor hayaline dayalı nöral aktiviteler birbirine yüzde yüz oranında benzemese de özünde benzer örüntüleri barındırdığı ve bu örüntülerin sayısal işaret işleme ve yapay zeka algoritmaları ile tespit edilebileceği gösterilmiştir. Bu sistemler motor hayaline dayalı beyin bilgisayar arayüzleri (MHD-BBA) olarak tanımlanmıştır [14]. Tekerlekli sandalye, robotik kol, ayak protezi ve harekete dayalı bilgisayar oyun uygulamaları en yaygın MHD-BBA'lardandır [15-17]. Tamamen düşünceye (hayale) dayalı olduğundan monitör gibi ek bir paradigma aparatına ihtiyaç duymaması en önemli avantajı iken, nöral aktivite örüntülerinin kişiden kişiye farklılık gösterebilmesi genel geçer bir modelin üretilmemesine neden olması da en önemli dezavantajı olarak görülmektedir.

### 3.2. P300 Sinyallerine Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzleri

İnsan beyni duyu organlarından gelen girdileri işler ve vücut için komut veya sonuç çıktıklarına dönüştürür. Duyu organları beklenmedik bir anda bir algılama yaptığında insan beyni bu algılamaya yaklaşık 300 milisaniye sonra ilk tepkisini EEG işaretlerinde oluşan pozitif bir genlik artışı ile cevap vermektedir. Literatürde bu durum uyarılmış potansiyeller (*ing. evoked potential*) ya da P300 sinyali olarak isimlendirilir. Daha özel hali ile bu isim uyarı alan duyu ile isimlendirilir. Örneğin; eğer uyarın görme yolu ile geldiyse görsel uyarılmış potansiyeller, duyma ile geldiyse işitsel uyarılmış potansiyeller olarak tanımlanır. EEG işaretlerinde ortaya çıkan örnek bir görsel uyarılmış potansiyel Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekilde yeşil düşey çizgi görsel uyarının geldiği anı mavi

ise EEG işareti göstermektedir. Görüldüğü gibi görsel uyarandan yaklaşık 300 ms sonra EEG işaretinde pozitif yönde bir artış ortaya çıkmaktadır. Beynin hemen her sağlıklı birey için gösterdiği bu davranış prensibi BBA'lar için de bir girdi olarak kullanılmaktadır. Özellikle bilgisayar monitörü aracılığı ile P300 tabanlı hecelemeyle dayalı BBA'lar yüksek performansı ve genel geçer avantajlarından dolayı sık tercih edilmektedir. Diğer bir önemli avantajı ise görsel uyarılmış potansiyeller için sadece oksipital bölgedeki nöral aktivitenin uygulama için yeterli olacağı bilinmesidir.



**Şekil 1.** EEG işaretlerinde ortaya çıkan örnek bir görsel uyarılmış potansiyel

P300 heceleyci, kullanıcının P300 uyarılmış potansiyelini kullanarak herhangi bir kas aktivitesi olmadan bilgisayar ekranında harfleri veya diğer hedefleri seçerek çevreleriyle iletişim kurmalarına izin veren en umut verici ve önemli BBA uygulamalarından biridir [18]. Genellikle, harflerin ve diğer karakterlerin bir klavyeyi simüle eden bir matriste görüntülediği klasik 2 boyutlu satır-sütun paradigmasını kullanır. Söz konusu uygulamaya ait bir görsel Şekil 2'de verilmiştir.

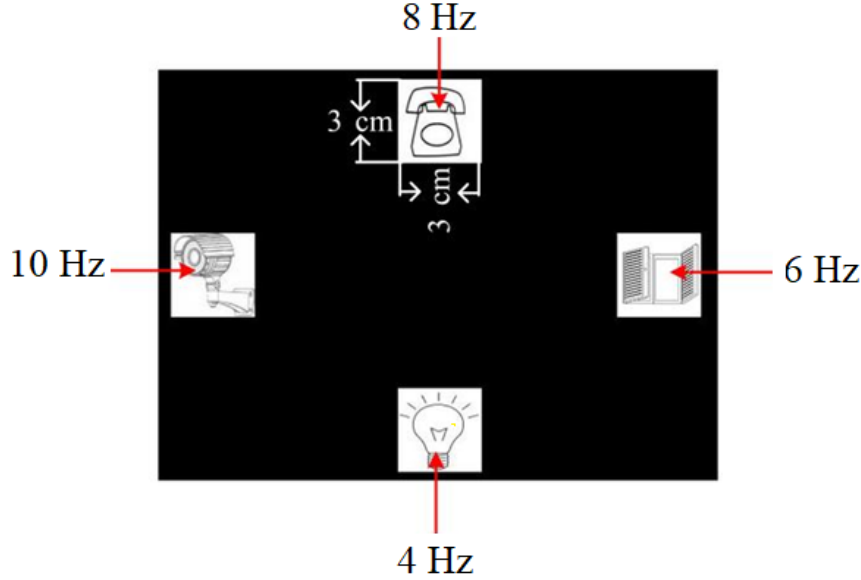


**Şekil 2.** Klasik satır-sütun paradigması

Satırlar ve sütunlar rastgele sırayla dönüşümlü olarak yanıp sönerken, kullanıcı istenen harf veya karaktere (hedef olarak da adlandırılır) odaklanır. İlginç bir şekilde, kullanıcı istenen harf veya karakterin yanıp sönmeye başladığında, yanıp sönmeye (uyaran) başladıktan yaklaşık 300 milisaniye (ms) sonra beynin pozitif elektriksel yanıtı (P300 bileşeni olarak da adlandırılır) ortaya çıkar [19], [20]. P300 heceleyci, P300 bileşenlerini inceleyerek hedefi ve hedef olmayan öğeleri belirler. P300 tabanlı BBA'ların en önemli dezavantajı ise ani uyararı sağlayan paradigmanın zamanla ezberlenmesinden dolayı beynin tespit edilebilecek düzeyde bir P300 sinyali üretilmemesi ve BBA'nın performansının zamanla düşmesidir. Her şeye rağmen araştırmacılar bu dezavantajları minimize etmek için yeni yöntemler önermektedirler.

### 3.3. Durağan Durum Görsel Uyarılmış Potansiyellere Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzleri

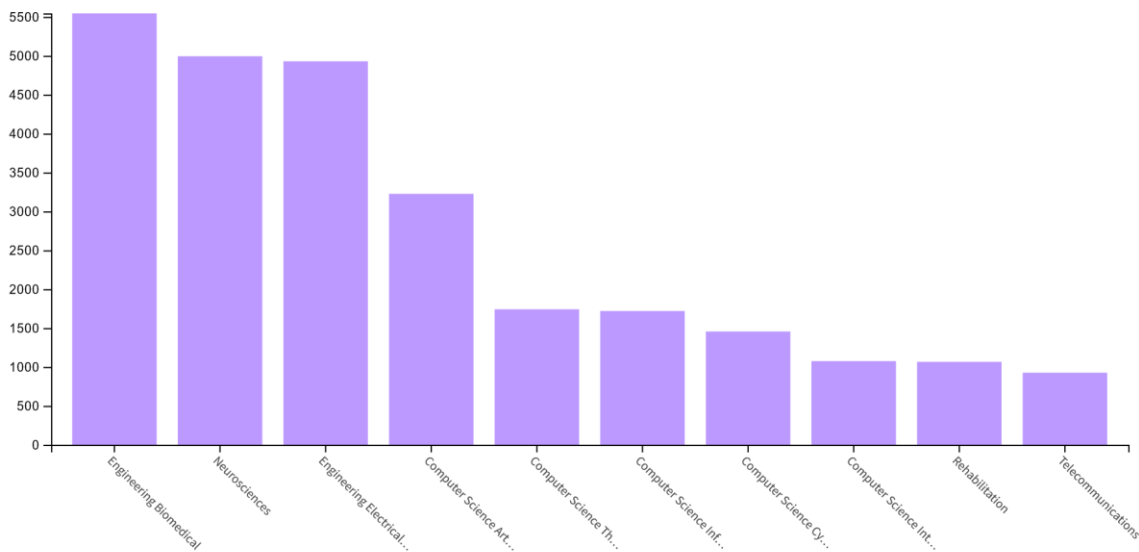
İnsan beyninin keşfedilen bir başka davranış biçimi ise belirli bir frekansta (pratikte daha çok 1-10 Hz arasında uyaran serisi kullanılır) yanıp sönen bir uyaran serisinde oksipital bölgeden kaydedilen EEG sinyallerinde aynı frekansa sahip baskın bir frekansın bileşenin ortaya çıkmasıdır. Beynin bu tepki özelliğinden faydalanarak oluşturulan sistemlere Durağan Durum Görsel Uyarılmış Potansiyellere Dayalı Beyin Bilgisayar Arayüzleri (DDGUPD- BBA) denilir [21]. BBA uygulamasının daha iyi anlaşılması için Şekil 3 örnek olarak verilebilir. Bu şekilde gösterildiği gibi kullanıcı farklı frekanslarda yanıp sönen hücrelerden hangisine dikkat ederse o frekans oksipital bölgedeki nöral aktivitede oluşur ve sayısal işaret işleme yöntemleri ile ki burada Fourier Dönüşümü önerilen en iyi yöntemdir, bu tespit edilir. Ardından bu hücreye ait komut elektronik cihaza ya da yazılıma yerine getirilmesi için gönderilir. P300 tabanlı BBA'lardaki avantaj ve dezavantajlarının yanında sınırlı sayıya komut hücresi üretilebilmesi önemli bir başka dezavantajı olarak kabul edilir.



Şekil 3. DDGUPD- BBA için örnek bir paradigma ekranı

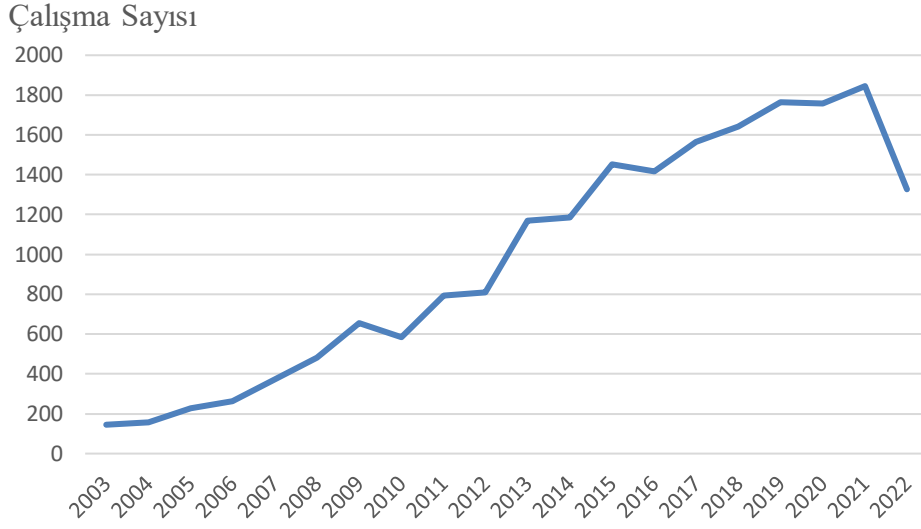
### 4. Beyin Bilgisayar Arayüzlerinin Geleceği

Web of Science (WoS) üzerinden *brain computer interface* ve *brain machine interface* anahtar kelimeleri ile birlikte konu (*ing. topic*) bazında arama yapıldığında toplam 19.901 çalışma sonucu gösterilmiştir. Bu sonuçların en yüksek ilk 10 disipline göre dağılımı Şekil 4'te verilmiştir [22]. Buna göre BBA alanına en yüksek ilgilinin biyomedikal mühendisliğinden olduğu anlaşılmaktadır.

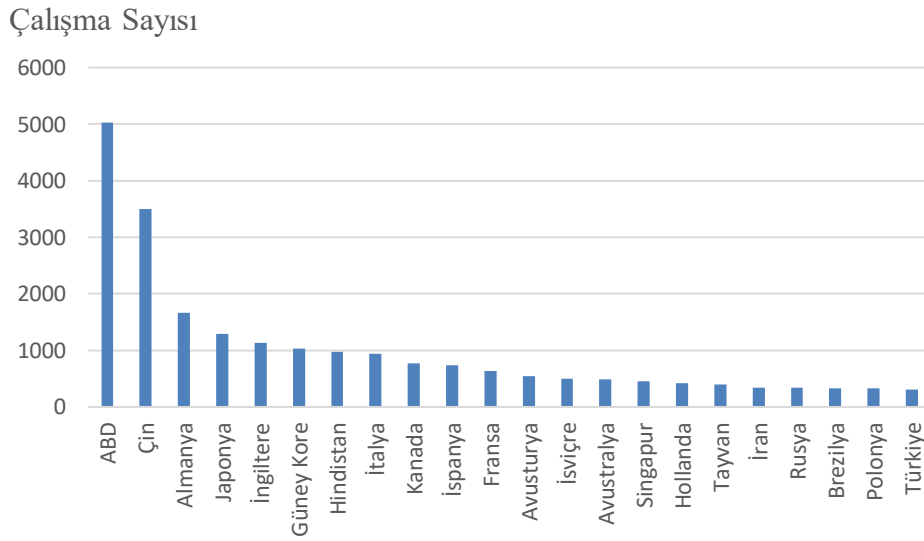


Şekil 4. WoS tarama sonucu

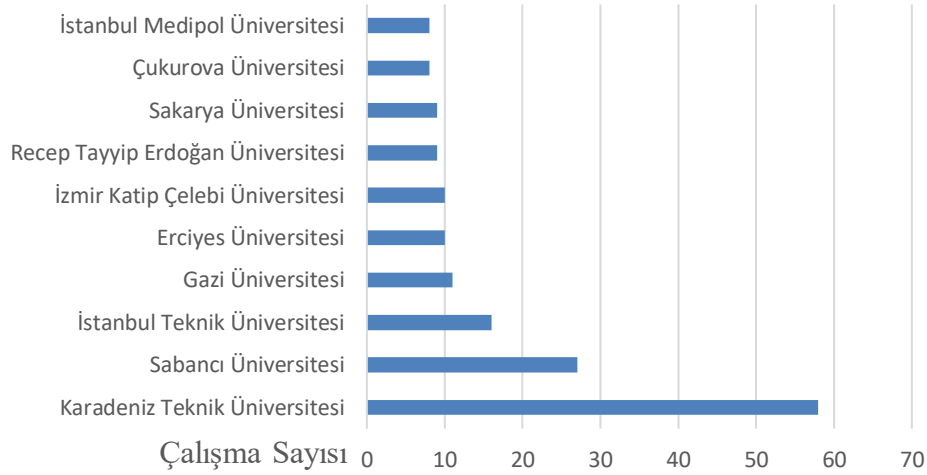
Bu sonuçların son 20 yıldaki sayıları ise Şekil 5'te verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu alana olan ilgi giderek artış göstermektedir. Öte yandan 2022 yılına ait son sonuçların tam olarak oluşmadığını ifade etmek gerekir.



Şekil 5. Dünyada BBA'nın son 20 yıldaki yayın sayıları



Şekil 6. Ülkelerin BBA alanındaki ürettikleri toplam yayın sayıları



**Şekil 7.** Türkiye’de BBA alanında yayın üreten il 10 üniversite ve yayın sayıları

WoS sonuçlarına göre dünyada bu alana olan ilginin giderek arttığı ve özellikle teknolojiye dünyada önde gelen ABD ve Çin’in bu teknolojik çalışmalarda başı çektiği görülmektedir. Özellikle sadece felçli bireylerin değil aynı zamanda sağlıklı bireylerin de bu teknolojiyi kullanabilecekleri yazılımsal ve donanımsal uygulamalar geliştiriliyor olması bu teknolojinin ticari kapasitesinin dünya çapında olacağını göstermektedir. Benzer değerlendirmeyi öngören 2016 yılında kurulan ABD merkezli *Neuralink Corporation* şirketi Neuralink adını verdiği çalışması ile bu teknolojiyi ticarileştirmek için yoğun mesai ve para harcamaktadır. Neuralink ile saç derisi üzerinden kaydedilen nöral aktivitenin pratik olmayan yönlerinin ortadan kaldırılmak istenmektedir. Şirket, EEG tekniği yerine implante edilebilir BBA’lar geliştirmek amaçındadır. Bir nevi elektrokortikogram (ECoG) tekniğine benzer şekilde kafatasından milimetre hassasiyetinde açılacak delikle beyin üzerine yerleştirilecek nöral aktivite kayıt yöntemi geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu yöntemin dakikalar içerisinde ve kişiye acı vermeyen biçimde olması istenmektedir. Aynı zamanda istenmesi durumunda implantın daha sonra yine zararsız ve acı vermeyen yöntemle yerinden çıkarılabilmesi de hedeflenmektedir. İmplantlı BBA’lar ile kablosuz olarak çevresel cihazlara bağlanacak ve birçok cihaz sadece düşüncelerle pratik bir şekilde kontrol edilebilecektir. Kullanıcılar cihazlara bağlanmak istendiğinde implant sistemini açık konuma getirecek ve kullanmak istemediğinde dilerse kapalı konuma getirebileceklerdir. Hatta kullanıcılar dilerlerse beyinleri ile internete de bağlanabileceklerdir. Şirket bu temel hedefleri ile bu ürünleri 2025 yılına kadar dünya pazarına çıkartmak istemektedir. Bu ürünlerin ticarileşmesi ile birlikte özellikle bu alanda siber güvenlik kavramı çok daha ön plana çıkacağı düşünülmektedir. Kablosuz yollarla nöral aktivitenin başka cihazlara aktarılması sırasında bu verileri casus yazılım ve donanımların da kopyalaması, hatta verileri manipüle etmesi gelecekte geniş yankı uyandıracaktır. Dahası, gelişen sinir bilimi çalışmaları ile birlikte insan düşüncelerini etkilemek için harici bir kaynakla beyine girişimde dahi bulunma sahası kötü amaçlı yazılımlarla yapılması olasıdır. Bu yaklaşım askeri amaçlı da kullanılabilir. Gelecekte BBA alanında ortaya çıkacak gelişmeler dikkate alındığında hem sinir bilimi hem de nöral siber güvenlik konuları yakın geleceğin trend çalışma sahalarından olacaktır.

### Çıkar Çatışması

Yazar(lar), bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

### Kaynakça

- [1] Guo, X., Shen, Z., Zhang, Y., & Wu, T. (2019). Review on the application of artificial intelligence in smart homes. *Smart Cities*, 2(3), 402-420.
- [2] Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492.
- [3] Pandian, A. P. (2019). Artificial intelligence application in smart warehousing environment for automated logistics. *Journal of Artificial Intelligence*, 1(02), 63-72.

- [4] Aydemir, Ö. (2008). Beyin bilgisayar arayüzü uygulamalarına yönelik EEG işaretleri için öznitelik çıkarma Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Siuly, S., & Li, Y. (2012). Improving the separability of motor imagery EEG signals using a cross correlation-based least square support vector machine for brain-computer interface. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 20(4), 526-538.
- [6] Kaur, A. (2021). Wheelchair control for disabled patients using EMG/EOG based human machine interface: a review. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 45(1), 61-74.
- [7] Li, H., Ding, M., Zhang, R., & Xiu, C. (2022). Motor imagery EEG classification algorithm based on CNN-LSTM feature fusion network. *Biomedical Signal Processing and Control*, 72, 103342.
- [8] Pérez-Reynoso, F. D., Rodríguez-Guerrero, L., Salgado-Ramírez, J. C., & Ortega-Palacios, R. (2021). Human-Machine Interface: Multiclass Classification by Machine Learning on 1D EOG Signals for the Control of an Omnidirectional Robot. *Sensors*, 21(17), 5882.
- [9] Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., Neat, G. W., & Forneris, C. A. (1991). An EEG-based brain-computer interface for cursor control. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 78(3), 252-259.
- [10] Marshall, D., Coyle, D., Wilson, S., & Callaghan, M. (2013). Games, gameplay, and BCI: the state of the art. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 5(2), 82-99.
- [11] Zabcikova, M., Koudelkova, Z., Jasek, R., & Lorenzo Navarro, J. J. (2022). Recent advances and current trends in brain-computer interface research and their applications. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 82(2), 107-123.
- [12] Kosmyna, N., Tarpin-Bernard, F., Bonnefond, N., & Rivet, B. (2016). Feasibility of BCI control in a realistic smart home environment. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 416.
- [13] Aydemir, Ö., & Kayıkçıoğlu, T. (2009). EEG tabanlı beyin bilgisayar arayüzleri. *Akademik Bilişim*, 9, 11-13.
- [14] Ahn, M., & Jun, S. C. (2015). Performance variation in motor imagery brain-computer interface: a brief review. *Journal of neuroscience methods*, 243, 103-110.
- [15] Zhang, J., & Wang, M. (2021). A survey on robots controlled by motor imagery brain-computer interfaces. *Cognitive Robotics*, 1, 12-24.
- [16] Quiles, E., Suay, F., Candela, G., Chio, N., Jiménez, M., & Álvarez-Kurogi, L. (2020). Low-cost robotic guide based on a motor imagery brain-computer interface for arm assisted rehabilitation. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), 699.
- [17] Leeuwis, N., Paas, A., & Alimardani, M. (2021). Vividness of visual imagery and personality impact motor-imagery brain computer interfaces. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 634748.
- [18] Loizidou, P., Rios, E., Marttini, A., Keluo-Udeke, O., Soetedjo, J., Belay, J., ... & Speier, W. (2022). Extending brain-computer interface access with a multilingual language model in the P300 speller. *Brain-Computer Interfaces*, 9(1), 36-48.
- [19] Korkmaz, O. E., Aydemir, O., Oral, E. A., & Ozbek, I. Y. (2022). An efficient 3D column-only P300 speller paradigm utilizing few numbers of electrodes and flashings for practical BCI implementation. *PloS one*, 17(4), e0265904.
- [20] Won, K., Kwon, M., Ahn, M., & Jun, S. C. (2022). EEG Dataset for RSVP and P300 Speller Brain-Computer Interfaces. *Scientific Data*, 9(1), 1-11.
- [21] Ahn, S., Kim, K., & Jun, S. C. (2016). Steady-state somatosensory evoked potential for brain-computer interface—present and future. *Frontiers in human neuroscience*, 716.
- [22] <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>