

# BEYİN GÜCÜYLE HAREKET



**Beyin-bilgisayar arayüzleri, felçli ya da diğer ciddi hareket bozuklukları yaşayan kişiler için, bir umut kapısı. Hâlâ gelişme aşamasında olmalarına karşın, beyin sinyallerini deşifre eden cihazlar hızla geliyor ve engellilerin dünyayla iletişim kurmalarını sağlıyorlar. Bu cihazlar sayesinde insanlar, kafa derilerinden kaydedilen beyin faaliyetlerini, yani EEG faaliyetlerini kullanarak, bir bilgisayara direktif vermeyi öğrenebiliyorlar. Yapılan çalışmalar, var olan beyin-bilgisayar arayüzlerinin, bireylerin EEG kontrolünün ve bu kontrolün, ekranda görünen imlecin hareketlerinin kontrolüne yansıtılabilmesinin geliştirilmesine yönelik. Yeni nesil çalışmalarda beyne yerleştirilen elektrotlar söz konusu.**

Motor Nöron Hastalığı olarak da bilinen Amyotrofik Lateral Skleroz (ALS), insanın aklını vücuduna hapsederek, insanı hareketsiz bırakan bir hastalık. Bu hastalık, omurilik ve beyin sapındaki sinir hücrelerine zarar veriyor, bu da kaslarda kuvvet kaybı ve incelmeye neden oluyor. Kişi, konuşamaz, gözlerini dahi hareket ettiremezken, zihinsel fonksiyonlar ve bellek hiç bozulmadan kalabiliyor. Bilimadamları, son birkaç yıl içinde, bu gibi hastalıklar nedeniyle, adeta kilitli

hale gelen kişileri iletişim aygıtlarıyla donatarak, kilitleri açmaya başladılar.

Sayıları hızla artan araştırmacılar, bilim kurgu yazarlarının yıllardır kafalarında canlandırdıkları, "doğrudan beyinle iletişim kuran bilgisayar" projelerini gerçeğe dönüştürüyorlar. İlk beyin-bilgisayar arayüzleri, (Brain Computer Interfaces-BCI) 1980'lerde geliştirilmeye başlanmış. O zamandan beri de, beyin sinyallerini okumak için bunların üzerinde rötuşlar yapılarak modeller geliştiriliyor ve yeni yollar aranıyor.

Çoğu BCI, sinir hücrelerinin etkinlikleri sonucu üretilen elektrik tepileri olan beyin dalgalarını, kafa derisi aracılığıyla net olmasa da okuyabiliyor. Hastalar, zihinsel etkinliklerini kontrol ederek, kelime heceleme amacıyla harfleri seçebiliyorlar, imleci idare edebiliyorlar ve kaba robotları yönetebiliyorlar. Bu tür aygıtlar, tek tek nöronlardan iletilen detaylı sinyalleri yakalayabiliyorlar. Bu aygıtlardan biri, kısa süre önce, maymunların video oyunlarını oynatabilmelerini ve

hatta robot kolları hareket ettirebilmelerini sağladı.

Geçtiğimiz birkaç yıl içinde, BCI teknolojileri oldukça hızlı bir biçimde gelişerek, daha hızlı heceleme, daha iyi imleç kontrolü sağlarken, protezlerin, çevre kontrol aygıtlarının, akıllı tekerlekli sandalyelerin gelişmesine de yaradı. Fonlar da, sektörün gelişimine katkıda bulundu. Örneğin, ABD'de Sağlık Bakanlığı işlevlerini yürüten Ulusal Sağlık Enstitüsü, bir hasta için hangisinin en iyi olabileceğini görmek için, birkaç BCI sistemini deneyecek yazılımların daha da geliştirmesi için,

Wadsworth Grubu'nun başkanlık ettiği bir ortaklığa, 3.3 milyon dolar verdi. Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Dairesi'yse, (DARPA) Duke Üniversitesi araştırma grubuna, BCI tekniklerini geliştirmesi için, 26 milyon dolar vermiş. DARPA'nın sözcülerinden biri, askerlerin düğmelere beyinleriyle basabilmelerini, denizaltı ve uçakları daha hızlı kontrol edebilmelerini, savaş gereçlerini hareket ettiren robot kollarını daha ustalıkla kullanabilmelerini sağlayabilecek teknolojiyle ilgilendiklerini söylüyor.

Şimdiye kadar, çok az sayıda hasta BCI'lerden faydalanabilme imkanı buldu. Çeşitli BCI'ların gelişmesi sırasında test edilen deneklerin çoğu da sağlıklı bireylerdi. Ancak, teknoloji ve yazılımda yeni ilerlemeler, BCI'ları daha kolay elde edilebilir hale getiriyor. 15



Geçirdiği vurgun nedeniyle kolları tutmayan Jim Jatich, BCI teknolojisi sayesinde bir bardağı tutup kaldırabiliyor. Başındaki, üzerinde elektrodlar bulunan başlık tarafından algılanan beyin dalgaları, (fotoğraftaki ekranda görülebilir) bir bilgisayar tarafından kolundaki elektrodlara iletiliyor. El kemiklerine yerleştirilmiş mknatıslar, bilgisayara, Jim'in bileğinin ne ölçüde bükülmüş olduğuna ilişkin geribildirim sağlıyor.

yıldan beri geliştirilen ve temeli oluşturulan faydalı uygulamaların geliştirilerek, BCI'ların deney basamağından, evlerde düzenli kullanım aşamasına getirilmesi beklenen aşama. Çünkü, BCI teknolojilerinden yararlanmak için binlerce insan beklemede. İlk olarak yararlanacak kişiler, neredeyse bütünüyle felçli olanlar.

## Beyin Dalgalarıyla Sörf Yapmak

Beynimizde sürekli olarak küçük elektrik akımları yaratan milyarlarca nöron var. Elektro ensefalogram (EEG) denen detektörler, kafa derisine yapıştırılan elektrotlar yardımıyla bu ince, göze çarpmayan kıvılcımların toplamını ölçerler. Almanya Tübingen

Üniversitesi'nde psikolog Niels Birbaumer, insanların bazı beyin dalgalarını kontrol edebileceğini ilk farkedenden biri. Birbaumer, korteks diye de adlandırılan beyin kabuğundan yayılan voltaj değişikliklerine odaklandı ve 1990'ların başlarında arkadaşlarıyla birlikte bir imla kılavuzu yarattı. Bu kılavuzla hastalar, iki harf kümesi arasından seçim yapmak için, negatif ya da pozitif kısa dalgaların kullanımını kontrol etmeyi öğreniyorlar. Bir kere seçilince, bir küme ikiye ayrılıyor ve istenen harfi göstermek için eleme işlemine devam ediyor. 1999 Mart'ında, Birbaumer ve meslektaşları iki ay süreyle günde bir saatlik eğitim sonunda, solunum cihazı takılı iki ALS hastasının, dakikada iki karakterlik bir hızla mesaj yazmayı öğrendiklerini gösterdiler.



BCI öncülerinden Jonathan Wolpaw ve meslektaşları, Wadsworth'dan psikolog Dennis McFarland ve program koordinatörü Theresa Vaughan'la birlikte, hastaların bir imleci hareket ettirebilmelerini sağlayan bir sistem geliştirdiler. Kişiler bunu yapmayı genellikle, ellerini yukarı-aşağı hareket ettirdiklerini hayal ederek öğrenmeye başlıyorlar. 1994'de yapılan açıklamalara göre, sağlıklı denekler kabaca da olsa, imleci %70'e varan bir doğrulukla, bilgisayar ekranının köşelerindeki dört büyük hedeften birine yönlendirebiliyorlardı. O zamandan beri, Wadsworth ekibi, istenen EEG frekanslarında, bu sinyalleri imleç hareketlerine dönüştürmede ve bireysel kullanıcıları BCI'lara daha uygun hale getirmek için daha ileri teknikler geliştirdi. Bu ilerlemeler, kullanıcılara çok daha iyi imleç kontrolü kazandırdı. McFarland, Wolpaw ve meslektaşlarının yaptığı çalışmada, üniversite öğrencileri imleci, dört ikondan birine denk getirmek için aşağı yukarı dürterek tam istenen uzaklığa getirebildiler. Bu, "beyin dalgası faresi" hedefine doğru bir adımdı. Çünkü Wolpaw'ın da dediği gibi "Fareyi kontrol edebilmeyi bir kere başardığımızda, yazılım dünyasının tümünün kapıları açılıyor." Bu BCI, şimdilerde Philadelphia Drexel Üniversitesi Hastanesi'nde hafif ve orta dereceli ALS hastalarında denenmeye çalışılıyor.

Hem Wolpaw'ın, hem Birbaumer'in tekniklerinde, kişilere kendi beyin dalgalarını kontrol edebilmeyi öğretmek, haftalar hatta aylar alabiliyor. Ancak psikolog Emanuel Donchin'in geliştirdiği bir BCI kontrol tekniği, neredeyse hiç eğitim gerektirmiyor. Donchin ve öğrencisi Larry Farwell, alfabe harflerini içeren ve boşluk, geri gitme gibi klavye fonksiyonlarını içeren bir grid tasarladılar. Harfler ekranda sıra ve sütunlar halinde rasgele parlıyor. Kişi, griddeki bir harf üzerine odaklanıyor ve harfi içeren sıra ya da sütun ne zaman ay-



ayrı bölgesinden analiz eden bir BCI geliştirmiş. Farklı şeyleri düşünmenin, farklı EEG'ler üreteceği gerçeğine dayanıyor. Bir bilgisayar, bir sinir ağı algoritması kullanarak, üç çeşit düşüncüyü birbirinden ayırt etmeyi öğrenerek belli bir komut vermeye programlanıyor. 2002'de iki sağlıklı birey, Millián'ın BCI'yla bir akıllı tekerlekli sandalyenin öncülü, cep boyutunda bir tekerlekli robotu kullanmayı başardılar. Bireyler bu robotu, ileri gitme, sağa sola dönme, durma gibi fonksiyonlarla, model bir evde şaşırtıcı bir hızla kullandılar. Millián, çarpıcı olanın, deneklerin aynı işi beyin kontrolüyle yaparken, bir düğmeye basmaktan, yalnızca %35 daha fazla zaman harcamaları olduğunu söylüyor. Millián, BCI'ını komutları saniyede iki kez vermek üzere programlamış. Böylece kullanıcılar nereye gideceklerine karar verebiliyorlar.

## Bilgisayar İletişimi

dınlansa zihinsel olarak "işte bu" diye gösteriyor. Daha sonra bilgisayar, dalgayı yaratan sıra ve sütunun kesişimini bularak harfi tanımlıyor. Üniversite öğrencileri üzerinde yapılan son deneyler, sistemin, % 80 doğrulukla, dakikada yaklaşık sekiz karakter yazmak için kullanılabilmesini gösteriyor. Donchin ve ekibi şimdilerde BCI'larını ileri derecede engelli hastalar üzerinde deniyorlar.

Başka bir BCI, kullanıcılarına, taşınabilir bir robot üzerinde 1 saniyeden daha az bir sürede kontrol sağlıyor. José del R. Millián, baştan sona tüm EEG sinyallerini, kafa derisinin sekiz

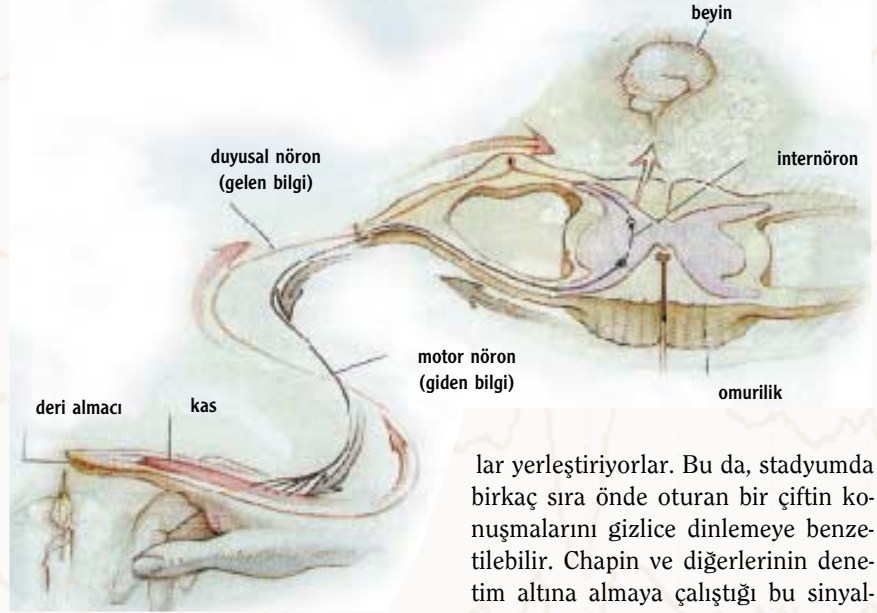
BCI teknolojilerinin büyük sakıncalarından biri birbirlerine uyumsuz olmalarıydı. Bu durum, sistemlere yeni özellikler eklemeyi ve öteki gelişmeleri yavaşlatıyordu. Örneğin, Wolpaw, yazılım mühendisi Gerwin Schalk ve öteki ekip arkadaşları, BCI'larını kullanan bir kişi hata yaptığında oluşan bir EEG sinyali keşfettiler. Bu keşif, sisteme hızlı bir "silme" özelliği tasarlamak için kullanılabilir. Ancak, böyle bir özellik eklemek, sistemi neredeyse yeniden programlamak anlamına geliyordu. Bu yüzden, Şubat 2002'de Wolpaw, Schalk ve McFarland, Birbaumer ve Tübingen'de yazılım mühendisi Thilo Hinterberger'le birlikte bir ekip oluşturdular. Amaçları, yeni eklerin kolaylıkla denenebileceği ve çeşitli beyin dalgalarının seçilebileceği uluslararası bir BCI platformu, yani BCI2000'i yaratmaktı. Bu girişim sayesinde alana yeni yüzlerin girmesi de kolaylaştı. Ayrıca, hemşireler ya da bakıcılar küçük bir eğitimle, Windows temelli sistemleri kullanabilecekler ve böylece BCI yazılımlarına eşlik eden ve sayıları zaten az olan uzmanlara da gerek-



Maymunlar, beyinlerine yerleştirilen elektrotlar sayesinde, fotoğraftaki gibi robot kolları kontrol etmeyi öğreniyorlar.

sinim azalacaktı. Birbaumer, dünya çapında, insanların ücretsiz olarak İnternet'ten indirebilecekleri, kolay kullanılabilen sistemlere gereksinim olduğunu söylüyor.

BCI2000'in, bir BCI'nın 4 ana fonksiyonunu barındıran, kolay uyum sağlayan 4 modülü var. Biri, ham beyin sinyallerini alıyor, kuvvetini artırıyor ve dijital olarak şifresini çözüyor. İkincisi, beyin sinyallerinin istenilen özelliklerini alıyor ve bu sinyali bir komuta dönüştürüyor. Üçüncüsü, İnternet ya da protez bir kol gibi aygıtları kontrol ediyor. Dördüncüsüye, kullanıcının BCI'ı başlatıp durdurmasını, hız gibi detayları belirlemesini sağlıyor. Bu yazılım, alanında şimdiden büyük etki yaratmış. Örneğin, Moore ve meslektaşları, kullanıcının kendi beyin dalgalarıyla TV, radyo, lamba gibi gereçleri açıp kapatabilmesini sağlayan, çevre kontrol sistemlerini geliştirmek için, BCI 2000'i kullanıyor. Ekip, kişilerin isim, yüklem, nesne gruplarından kelimeler seçebileceği, kelimeleri hatta cümleleri tahmin edebilecekleri, potansiyel olarak geleneksel heceleyci sistemlerin sağladığından daha hızlı bir iletişim sağlayan bir iletişim sistemi de oluşturdu. Bu prototip uygulamaları şimdiye kadar, büyük çoğunlukla yapay beyin dalgaları üzerinde denendi. Ancak Moore, sağlıklı gönüllüler üzerinde denemeler yapanlardan. Kısa zaman içinde de, omuriliği zedelenmiş ya da



ALS'nin ilk evrelerindeki hastalarda denemeler başlayacak.

## Beyinden Direk Hat

Çoğu araştırmacı, bulanık beyin dalga sinyallerine dayanan BCI'ların çok fazla değere sahip olmadığına inanıyor. Bu cihazlar, kafatasının içindeki milyonlarca nöronun vızıltısını dinliyorlar. Bu, bir stadyumun dışından, içerdeki kalabalığın gürültüsünü dinlemeye benzetiliyor. Sinirbilimci John Chapin, EEG'ye dayalı BCI'ların beyindeki gerçek bilgiyi çıkaramadığını söylüyor. Buna karşın, genç BCI araştırmacıları, beynin içine elektrot-

lar yerleştiriyorlar. Bu da, stadyumda birkaç sıra önde oturan bir çiftin konuşmalarını gizlice dinlemeye benzetilebilir. Chapin ve diğerlerinin deneyim altına almaya çalıştığı bu sinyaller, hareket ve düşünce için gerçek beyin kodlarını içeriyor.

Neural Signals Şirketinin başkanı nörolog Philip Kennedy ve meslektaşları Ron Bakay ve Princewill Ehirim, beyne yerleştirilen elektrotları olan bir BCI yaratan ilk ekip. Ekibin en başarılı olduğu hasta, vücudunun neredeyse tümü felçli olan Johnny Ray. Ray, kendi nöron sinyallerini, imleci hareket ettirmek için kullanmayı öğrenmiş. Böylece, "acıktım" gibi ifadeleri oluşturmak için, hecelemeyi ve ikonları ittirmeyi başarmış. Kennedy'nin ilk insan cyborg olarak nitelendirdiği Ray, 2002'de ölümüne kadar, 4 yıl boyunca BCI'ı başarıyla kullanmış.

Ray, Kennedy'nin icat ettiği yeni bir elektrot teknolojisi sayesinde iletişim kurabilmişti: beyindeki kimyasallar nöronları, elektrotlara doğru uzamaya ve kayıt bantlarına bağlanmaya teşvik ediyor. Bu da, elektrotu demiriyor ve güvenilir bir kayıt yapmayı sağlıyor. Bugünkü tasarımda, Kennedy ve meslektaşları, hastalarının beyinlerine iki adet elektrot yerleştiriyorlar. Hedefleri, aynı anda sekiz tane yerleştirebilmek.

2000 yılında, Nicoletis, Chapin ve meslektaşları kapsamlı bir düzeneği, iki maymunun beyinlerine yerleştirdiler. Maymunlara elleriyle bir kumanda kolunu kullanmayı, bir imlece manevra yaptırmayı ya da bir parça meyveyi kapmak için kollarıyla uzanmayı ve onu ağızlarına götürmeyi öğrettiler. Ekibin keşfettiği basit bir formül, 100 kadar nöronun elektriksel faali-



Yeni beyin-bilgisayar arayüzleri, ilk modellere göre, hastaların düşüncelerini kelimelere çevirmede çok daha yardımcıdır.

yetinden, maymunun el pozisyonunun milisaniye sonraki durumunu önceden tahmin edebiliyor. Araştırmacılar, bu doğal nöron şablonlarını, bir robot kol için komutlara çevirdiler ve robotun uyumlu bir biçimde maymunun kol hareketlerini taklit edişini izlediler. Ancak, bu tür sistemlerin kullanımı elbette kısıtlı. Çünkü, maymunlar, doğru beyin sinyalinin üretebilmek için, kollarını oynatmak zorundalar. Bu felçli insanların yapamayacağı bir şey. Ek olarak, maymunlar kendi beyin sinyallerinin bir makineyi kontrol ettiğini bilemeyeceklerinden, robotlar üzerindeki performanslarını geliştirmeyi de öğrenemiyorlar.

Son zamanlarda, sinirbilimci Andrew Schwartz'ın liderlik ettiği bir grupsa, maymunların ellerini bağladı ve onlara, beyin sinyallerinin doğrudan bir imleci kontrol ettiği bir oyun oynattı. 2-3 haftalık çalışmadan sonra maymunlardan biri neredeyse her seferinde doğru hedefi buluyordu. Araştırmacılar, nöronlardaki farkedilebilir değişiklikleri, hayvanların gelişen becerilerine bağladılar.

Benzer şekilde, 2002'de gerçekleştirilen bir çalışmada Nicolelis'in ekibi, 86 motor korteks nöronundan derledikleri bilgilerle, bir maymuna, kumanda kolunu bir hedefin içine imleci hızla yerleştirmek için, kullanmayı öğrettiler. Bilimadamları daha sonra, maymunun hâlâ elinde tuttuğu kumanda kolunun bağlantısını kestiler. Maymunun imleci yalnızca düşünerek yönetmeyi öğrendiği ve ellerini hareket ettirmeyi bıraktığı görüldü.

Yine yakınlarda, Duke araştırmacıları, kavrayıcı eli olan yeni bir robot geliştirdiler. Maymun, imleci ekrandaki hedefe doğru hareket ettirdiğinde, robot bir cisme ulaşıyor. Maymun derisine iliştirilen titreşim cihazlarıyla, aynı anda dokunsal duyu da ala-



cak. Bu sayede, kavrayıcı elin nesneyi kavradığını hissedebilecek. Araştırmacılar, maymunların bu sayede, nesnelere ezmeden ya da düşürmeden tutmayı öğrenebileceklerini umut ediyorlar. Nicolelis, bu deneyin protez aletlerin kontrolünün sağlanmasına büyük etkisi olacağını düşünüyor. Dokunsal geri bildirim kullanımının, özellikle ALS hastalarında yararlı olacağını düşünüyor. Çünkü, çoğu motor nöronları, tahrip olduktan sonra bile, az da olsa biraz duyarlılık taşıyabiliyor. Schwartz ve arkadaşlarının yürütülen benzer bir çalışmada, bilgisayar ekranındaki yiyeceği ve robotu görmesine izin verildiğinde, maymun, robotun yiyeceğe ulaşmasını ve onu almasını sağlayabiliyor.

Schwartz'ın ve Nicolelis'in çalışmalarında, maymunlara önce hareketleri elleriyle yapmaları öğretildi. Bu, felçli insanların yapamayacağı bir şey. Ancak Nicolelis, insanlar sözlü eğitimle eğitilebileceğinden, bu engelin üst-

sinden gelinebileceği konusunda iyimser. İnsanlara, bir hareketi yaptıklarını düşünmelerini ve yalnızca bu düşüncenin motor korteksde uygun nöron hareketliliğine yol açacağını anlatabileceklerini umuyorlar. Ancak, bu tür düzenekleri, hastalara yerleştirmeden önce, aşılması gereken pek çok engel var. En basit yerleştirilen elektrotların güvenilirliği kanıtlanmış değil. Schwartz'ın çalışmasında elektrotlardan bazıları 3 yıl kadar dayanmış. Şimdi, Schwartz ve Michigan Üniversitesi'nden bir grup, daha kolay yerleştirilebilecek ve doğal beyin dokusuyla daha emniyetli biçimde etkilere girecek elektrotlar geliştiriyorlar. Bir başka grupsa, nöron sinyallerini çok daha kolay alabilecek, 100 mikroelettrottan oluşan yeni bir silikon düzenek üzerinde çalışıyor.

Yine de, alandaki bazı araştırmacılar, bu tür düzenekleri insan beynine yerleştirmeye çalışmanın aşırı riskli olabileceğini düşünüyorlar.

Bir protez kolu çalıştırırken, kullanıcı ona yalnızca kaldırmasını, indirmesini, elini açmasını ya da kapamasını, bir nesneyi kavramasını ya da bırakmasını söyler; gerisini robotun yapması gerekir. Wolpaw da bu konuda "BCI'ya yalnızca niyeti iletmek için gereksinim var" diyor. Aslında, Gert Pfurtscheller ve ekibi protez eli bir hastanın, kafa derisine bağlanan bir BCI'la birlikte, zihinsel betimlemeyi kullanarak, elini açıp kapamayı öğrendiğini gösterdiler. Hasta, beş aylık bir eğitimden sonra, yeni eliyle bir elmayı tutmayı ve yemeyi başardı. Bazılarıysa, yalnızca beyne yerleştirilmiş BCI'ların, engellilere çok istedikleri çevreyle etkileşim ve doğal hareket imkanı vereceğini söylüyorlar. Bilimadamları farklı görüşleri savunadursunlar, zamanla kimin haklı olduğu, hastaların gösterdiği ilerlemelerden anlaşılacak.