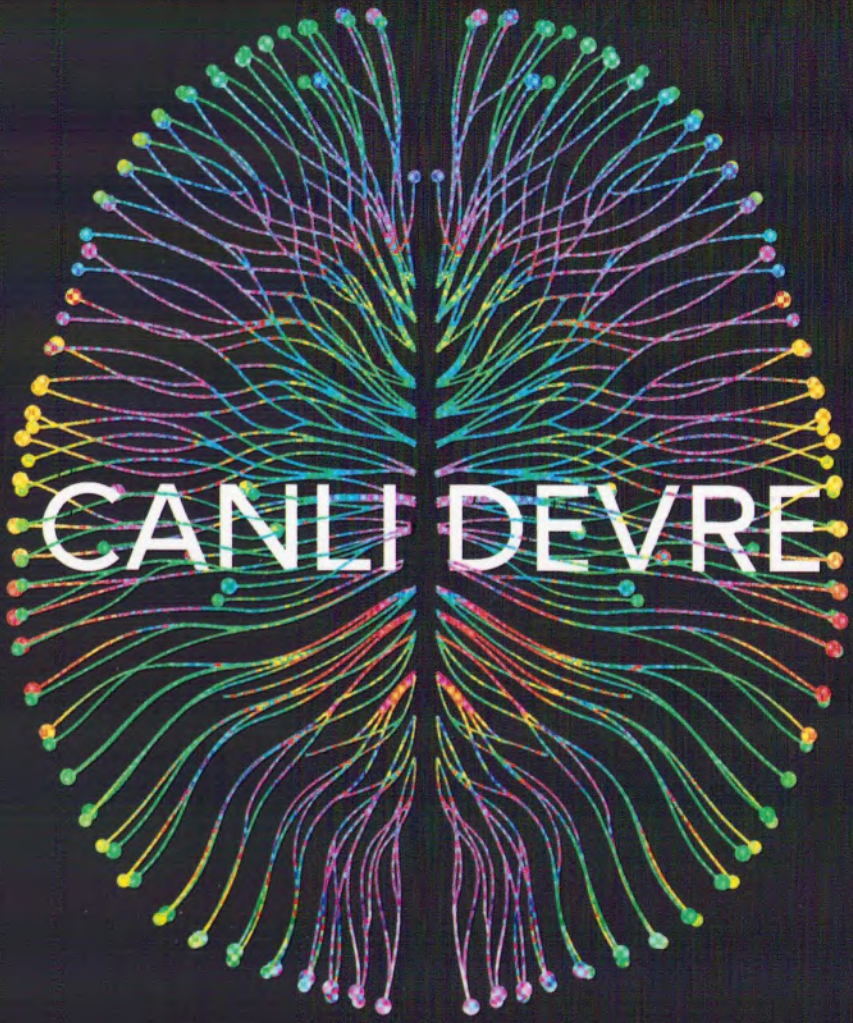
Incognito ve *Beyin*'in yazarından

DAVID EAGLEMAN



CANLI DEVRE

Durmaksızın Değişen Beynin İçyüzü

Çeviri: Zeynep Arık Tozar

domingo

Canlı Devre

DAVID EAGLEMAN'IN DİĞER KİTAPLARI

Ve... Sonraki Hayattan Kırk Öykü

Incognito: Beynin Gizli Hayatı

Beyin: Senin Hikâyen

Yaratıcı Tür (Anthony Brandt ile)

The Safety Net: Surviving Pandemics and Other Disasters

Wednesday is Indigo Blue (Richard Cytowic ile)

Brain and Behavior: A Cognitive Neuroscience Perspective (Jonathan Downar ile)

Canlı Devre

DURMAKSIZIN DEĞİŞEN
BEYNİN İÇYÜZÜ

David Eagleman

Çeviri: Zeynep Arık Tozar

domingo

domingo

CANLI DEVRE
DAVID EAGLEMAN

Özgün ismi: Livewired
© 2020 David Eagleman

Türkçe yayın hakları:
© 2021 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.
Sertifika No: 46105

Çeviri: Zeynep Arık Tozar
Editör: Algan Sezgintüredi
Danışman: Betül Yalçıner
Özgün kapak tasarımı: Rafaela Romaya
Kapak ve sayfa uyarlama: Betül Güzhan

ISBN: 978 605 198 190 1

Baskı: Temmuz 2021
Pasifik Ofset
Cihangir Mah. Güvercin Cad. No: 3/1 Baha İş Merkezi
A Blok Kat: 2 Haramidere Avcılar 34310 İstanbul
Tel: (212) 412 17 77 Sertifika No: 44451

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Şahkulu Mah. Büyük Hendek Cad. Brot Apt.
No: 4/10 Beyoğlu İstanbul
Tel: (212) 245 08 39
e-posta: domingo@domingo.com.tr

www.domingo.com.tr

İÇİNDEKİLER

1 Yaşayan Elektrik Doku 3

Yarım Beyinli Çocuk · Hayatın Öteki Gizemi ·
Araç Elinizde Yoksa Kendiniz Üretin · Sürekli Değişen Bir Sistem

2 Bir Tutam Dünya Ekleyin 18

İyi Çalışan Bir Beyin İçin · Deneyim Şart ·
Doğanın Oynadığı Büyük Kumar

3 İç, Dışın Aynasıdır 27

Silver Spring Maymunlarının Hikâyesi · Lord Horatio Nelson'ın
Sağ Kolunun Ölümden Sonraki Hayatı · Her Şey Zamanlamada ·
Kolonileşme Tam Zamanlı Bir İştir · Ne Kadar Çok O Kadar İyi ·
Göz Kamaştırıcı Bir Hız · Rüya Görmenin Gezegenin
Kendi Etrafında Dönüşüyle Ne İlgisi Var? · İçi Dışı Bir

4 Girdileri Sarmalamak 53

Dünyayı Ele Geçiren Patates Kafa Teknolojisi · Duyusal İkame ·
Tek Marifetli Cambaz · Seslerle Görmek · İyi Titreşimler ·
Çevresel Birimleri Pekiştirmek · Yeni Bir Duyu Merkezi Kazanmak ·
Yeni Bir Renk Hayal Etmek · Yeni Bir Duyuya Hazır mısınız?

5 Daha İyi Bir Vücut İçin 115

Gerçek Doc Ock Elini Kaldırabiiir mi, Lütfen? · Standart Kalıplara Yer Yok · Motor Babıldama · Motor Korteks, Şekerleme ve Ay · Özdenetim · Oyun Bizim Gerçeğimiz · Sonsuz Sayıda Vücut Planı, Tek Beyin

6 Anlamlılık Neden Anlamlıdır? 146

Perlman ve Ashkenazy'nin Motor Korteksleri · Manzaraya Biçim Vermek · Yeter ki İstensin · Değişim İzni · Dijital Yerlilerin Beyinleri

7 Aşk Kendi Derinliğinin Farkına Neden Ancak Ayrılık Saati Gelip Çattığında Varır? 167

Nehirdeki At · Bekleneni Görünmez Kılmak · Olacağını Zannettiğiniz Şey ile Gerçekte Olan Şey Arasındaki Fark · Işığa, Şekere ya da Verilere Doğru · Beklenmedik Olanı Beklemeye Ayarlanmak

8 Değişimin Kıyısında Dengede Durmak 183

Haritadan Silinince · Uyuşturucu Dünyasında Köşe Kapmaca · Nöronlar Sosyal Ağlarını Nasıl Genişletirler? · İyi Bir Ölümün Yararları · Kanser, Yoldan Çıkmış Plastisiteye mi İşaret Eder? · Beyindeki Ormanı Kurtarmak

9 Eski Köye Yeni Âdet 202

Birçok Kişi Olarak Doğmak · Hassas Dönem · Kapılar Farklı Hızlarla Kapanır · Onca Yıldan Sonra

10 Hatırlar mısın... 219

Gelecekteki Kendinizle Konuşmak · Anıların Düşmanı Zaman Değil, Başka Anılardır · Bazı Beyin Bölgeleri Diğerlerini Eğitir · Sinapsların Ötesi · Zamansal Ölçeklerin Etkileşimi · Belleğin Bin Bir Çeşidi · Geçmişin Değiştirme Gücü

11 Kurt ile Mars Kâşifi 245

12 Ötzi'nin Kayıp Aşkını Bulmak 255

Dönüşüm Gücü Bizde

Teşekkür 261

Notlar 263

Kaynakça 300

Görseller 311

Dizin 313

Canlı Devre

Her insan birçok kişi olarak doğar, tek bir kişi olarak ölür.

—MARTIN HEIDEGGER

1

YAŞAYAN ELEKTRİK DOKU

Varsayın ki Mars'a iki yüz kiloluk bir keşif aracı göndermek yerine, topluiğne başı büyüklüğünde tek bir kürecik fırlatıyoruz. Bu küre, çevresindeki kaynaklardan aldığı enerjiyi kullanıp bölünerek benzer kürelerin çeşitli birimler oluşturduğu bir orduya dönüşüyor. Küreler birbirlerine tutunup birleşerek birçok özellik geliştiriyorlar: tekerlekler, mercekler, sıcaklık algılayıcıları ve tam bir dâhili güdüm sistemi. Böyle bir sistemin işleyişini izlemek sizi afallatırdı.

Oysa bu çözülmeye yerinde tanıklık etmek için herhangi bir kreşe adım atmanız yeterli. Her biri hayata mikroskobik boyutlardaki tek bir döllenmiş yumurtayla başlamış olan bu ağlayıp bağıran bebekler topluluğu, şimdi kendilerini foton algılayıcıları, çokeklemli uzantılar, basınç sensörleri, kan pompaları ve çevrelerinden sağladıkları gücü metabolize edecek düzeneklerle tıka basa dolu, devasa insanlara dönüştürme sürecinde.

Ama insanların en iyi özelliğinden henüz söz etmedik bile. Daha da şaşırtıcı bir yönümüz vardır. İçerdiğimiz bu düzenekler önceden tümüyle programlanmak yerine, çevreyle etkileşerek kendilerini şekillendirirler. Büyüyüp geliştikçe, zorluklarla baş etmek, fırsatlardan yararlanmak ve çevremizdeki toplumsal yapıları anlamak için beynimizin devre sistemini sürekli yeniden yazarız.

Tabiat Ana'nın keşfettiği bir numarayı en gelişkin haliyle kullanmamız sayesinde gezegenin dört bir köşesini ele geçirdik: Beyni önceden tümüyle yapılandırmak yerine, ona temel yapıtaşlarını sağlayıp

dünyaya salıveririz. Bebek, sonunda ağlayıp bağırmayı keser, sağa sola bakınır, çevresindeki dünyayı özümser ve bu çevreye göre kendisine biçim verir. Yerel dilden kapsamlı kültüre, kültürden küresel politikaya kadar her şeyi içine çeker. Onu yetiştirenlerin inanç ve yargılarını ileriye taşır. Sahip olduğu her değerli anı, aldığı her ders, sindirdiği her bilgi kırıntısı, devrelerine öyle bir biçim kazandırır ki önceden planlanmamış ve çevresindeki dünyayı yansıtan bir düzenleniş çıkar ortaya.

Bu kitap, size beyinlerimizin kendi devrelerini sürekli olarak nasıl yeniden yapılandırdığını ve bunun hem yaşamımız hem de geleceğimiz için ne anlama geldiğini anlatacak. Yol boyunca, hikâyemizi aydınlatan birçok soruyla karşı karşıya kalacağız: Kitap sayfalarının rengi 1980'lerde (ve yalnızca 1980'lerde) neden bazen kızıla çalıyordu örneğin? Dünyanın en iyi okçusu neden kolsuz? Neden her gece rüya görüyoruz ve bunun gezegenin dönüşüyle ne ilgisi var? Madde yoksunluğunun kırık bir kalple ortak yönleri neler? Anıların düşmanı neden zaman değil de başka anılar? Kör bir insan diliyle görmeyi veya sağır bir insan derisiyle işitmeyi nasıl öğrenebilir? Günün birinde beyin hücreleri ormanına kazılı mikroskobik yapılanmadan yola çıkarak bir insanın yaşamını kaba hatlarıyla okuyabilecek miyiz?

YARIM BEYİNLİ ÇOCUK

Valerie S. işe gitmeye hazırlanırken, üç yaşındaki oğlu Matthew birden yere yığıldı![1] Bir türlü kendine gelmediği gibi, dudakları da morardı.

Valerie, panikle kocasını aradı. "Niye beni arıyorsun?" diye kükredi kocası. "Doktoru arasana!"

Acil servise yapılan ziyareti daha sonra uzun bir muayeneler zinciri izleyecekti. Çocuk hastalıkları uzmanı, Matthew'nun bir kardiyoloğa görünmesini önerdi. Kardiyolog ona, fişten çekip durduğu bir kalp monitörü bağladı. Onca muayene, belirli herhangi bir sorun çıkarmadı ortaya. Korkutucu olay, tek seferlikti.

En azından öyle sandılar. Bir ay sonra, yemek yediği sırada Matthew'nun yüzü tuhaf bir ifadeye büründü. Bakışları yoğunlaştı, sağ kolu

sertleşerek başının üzerine dik bir konumda sabitlendi ve yaklaşık bir dakika süreyle tepkisiz kaldı. Valerie onu yine hastaneye yetiştirdi; yine net bir tanı konamadı.

Aynı şey bir sonraki gün de oldu.

Beyin etkinliklerini ölçmek amacıyla Matthew'nun başına bir elektrot başlığı yerleştiren nörolog, bariz epilepsi işaretleri buldu. Matthew'ya nöbet önleyici ilaçlar başlatıldı.

İlaçlar işe yarasa da bu durum uzun sürmedi. Kısa süre sonra inatçı nöbetler arka arkaya, doğum kasılmaları arasında giderek kısalan süreler gibi başlangıçta birer saat, sonra kırk beşer dakika, ardından otuzar dakika arayla gelmeye başladı. Nöbet araları, sonunda iki dakikaya düştü. Valerie ve kocası Jim, bu tür bir nöbet dizisi her başladığında Matthew'yu hastaneye yetiştirir olmuşlardı. Hastanedeki yatışları ise birkaç günden birkaç haftaya kadar sürebiliyordu. Bu rutin bir süre devam ettikten sonra, "kasılma" aralarının yirmi dakikaya düştüğü noktayı beklemeye başladılar. Bu noktaya gelindiğinde hastaneyi arıyor, arabaya atlıyor ve yolda Matthew'ya McDonalds'dan bir şeyler alıp yedirmeyi de ihmal etmiyorlardı.

Bu arada Matthew da var gücüyle nöbetler arasında kalan yaşamın tadını çıkarmaya çalışıyordu.

Ailenin hastane ziyaretleri yılda onu bulmuştu. Bu rutin üç yıl boyunca devam etti. Valerie ve Jim, sağlıklı çocuklarını kaybetmenin acısını yaşamaya başlamışlardı. Çocukları öleceği için değil, artık normal bir hayat süremeyeceği için. Öfke ve inkâr evrelerinden geçtiler. Normalleri değişti. Nihayet hastanedeki üç haftalık bir yatış dönemi sırasında, hastane nörologları problemin yerel bir hastanede çözülemeyecek kadar büyük olduğunu kabul etmek zorunda kaldılar.

Matthew ve ailesi oturdukları New Mexico'nun Albuquerque kentinden hava ambulansıyla Baltimore'daki Johns Hopkins Hastanesi'ne nakledildi. Matthew'nun sorununun Rasmussen ensefaliti adı verilen ender bir kronik enflamatuvar hastalık olduğu orada, pediatrik yoğun bakım biriminde anlaşıldı. Bu hastalık beynin yalnızca küçük bir bölümünü değil, bütün bir yarımküreyi etkisi altına alıyordu. Valerie ve Jim eldeki seçenekleri gözden geçirdikten sonra büyük bir korkuya kapıldılar. Öğrendiklerine göre Matthew'nun hastalığı için bilinen tek bir tedavi vardı: "hemisferektomi" adı verilen ve beynin yarısının

olduğu gibi çıkarıldığı cerrahi işlem. "Doktorların bundan sonra söylediği hiçbir şeyi size aktaramam," diye anlatmıştı Valerie bana. "İnsan bir anda sistemleri kapatıveriyor. Herkes yabancı bir dilde konuşuyor gibi gelmişti bana."

Valerie ve Jim, şanslarını önce başka yaklaşımlarda denedilerse de bunlar sonuç vermedi. Valerie birkaç ay sonra hemisferektomi ameliyatı için gün almak üzere Johns Hopkins Hastanesi'ni aradığında ise doktor, "Emin misiniz?" diye sordu.

"Evet," dedi Valerie.

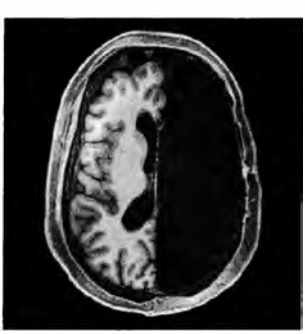
"Her gün aynaya baktığınızda, yapmanız gereken şeyde karar kıldığınızdan emin olabilecek misiniz?"

Ezici kaygı altında kalan Valerie ve Jim'i uykusuz geceler bekliyordu. Matthew ameliyattan sağ çıkabilecek miydi? Beynin yarısı olmadan yaşamak mümkün müydü ki? Mümkün bile olsa bir beyin yarımküresinin alınması Matthew'yu, riskini almaya değmeyecek kadar sarsıcı yaşam koşullarıyla baş başa bırakır mıydı?

Ama seçenekler tükenmişti. Günde birden fazla nöbetin gölgesinde normal bir hayat sürdürülemezdi. Matthew'nun yaşayacağı kesin dezavantajlara karşı sonucu belirsiz bir ameliyatı tartmak durumundaydılar.

Böylece soluğu Baltimore'daki hastanede aldılar ve Matthew çocuklara uygun boyuttaki bir maskenin altında anestezinin etkisine dalıverdi. Ameliyat bıçağıyla, tıraş edilmiş kafa derisi dikkatle kesildi ve kemik matkabıyla kafatasında yuvarlak bir delik açıldı.

Saatlerce sabırla çalışan cerrah, Matthew'nun aklı, duyguları, dili, mizah anlayışı, korkuları ve sevgisine kaynak olan o narin, pembe mal-



Matthew'nun beyninin yarısı, ameliyatla alınmıştı.

zemenin yarısını sonunda çıkardı. Biyolojik ortamından koparıldıktan sonra bir işe yaramayacak olan beyin dokusu, saklanmak üzere küçük kaplara alındı. Matthew'nun kafatasının boş kalan yarısı beyin-omurilik sıvısıyla yavaş yavaş dolmuş ve beyin görüntülerinde siyah bir boşluk olarak yerini almıştı.[2]

Ameliyattan sonra alındığı uyanma odasında hastane kahvelerini yudumlayan anne ve babası, bir yandan Matthew'nun gözlerini açmasını beklerken bir yandan da düşünüyorlardı: Oğulları şimdi nasıl biri olacaktı? Yarım beyinle nasıl bir kişilik çıkacaktı karşılarına?

Türümüzün gezegen üzerinde keşfettiği onca nesne arasında, beyinlerimizin karmaşıklığına rakip olabilecek hiçbir şey yoktur. İnsan beyni "nöron" (sinir hücresi) adı verilen seksen altı milyar hücreden oluşur. Bunlar, bilgiyi yer değiştiren voltaj tepecikleri biçiminde hızla ileri geri taşıyan hücrelerdir.[3] Nöronlar, orman benzeri girift bir ağ yapısı içinde birbirleriyle sıkı bağlantılar oluşturmuşlardır. Başınızın içindeki nöronlar arası bağlantıların sayısı ise yüzlerce trilyonu bulur (yaklaşık 0,2 katrilyon). Durumu daha iyi kavramak için şöyle düşünebilirsiniz: Bir milimetreküplük beyin korteksi dokusu içindeki bağlantıların sayısı, dünya üzerinde yaşayan bütün insanların sayısının yirmi katıdır.

Ancak beyni ilginç yapan, bileşenlerinin sayısı değil, o bileşenlerin birbiriyle girdikleri etkileşim şeklidir.

Ders kitapları, reklamlar ve popüler kültürde beyin, genellikle farklı bölgeleri belirli görevlere adanmış bir organ olarak betimlenir. Falanca alan görmeyle ilgilidir; filanca alan alet kullanmayı öğrenmek için gereklidir; şu bölge şeker yemeye direnirken, bu bölge ahlaki bir açmaz üzerine kafa patlatırken etkinleşir. Bütün beyin alanları düzgünce etiketlendirilip sınıflandırılabilir.

Ama bu ders kitabı modeli yetersizdir ve hikâyenin en ilginç kısmını görmezden gelir. Beyin, çevre koşullarının gereklerine ve vücudun yetilerine uyum sağlamak için devrelerini sürekli değişimden geçiren dinamik bir sistemdir. Kafatasının içindeki canlı, mikroskobik evrene yakından bakmanızı sağlayacak sihirli bir kameranız olsaydı, kurulması ya da vazgeçilmesi gereken bağlantıların arayışı içindeki nöronların, duyarga benzeri uzantılarıyla sağa sola uzanıp birbirlerine

dokunmalarına, çarpmalarına tanık olurdunuz. Tıpkı bir ülkenin dostluklar, evlilikler, mahalleler, siyasi partiler, düşmanlıklar ve sosyal ağlar kuran vatandaşları gibi. Beyni, birbiriyle sıkı ilişki içindeki trilyonlarca organizmanın oluşturduğu canlı bir toplum olarak da düşünebilirsiniz. Geleneksel ders kitabı anlayışından çok daha tuhaf bir yapılanma sergileyen beyin, şifreli bir bilgisayımsal (kompütasyonel) malzeme, verimliliğini azamiye çıkarmak için dönüşüme uğrayan, tepki veren ve kendi üzerinde ayarlamalar yapan üç boyutlu, canlı bir kumaştır. Beyindeki bağlantıların oluşturduğu incelikli örüntü –yani devreler sistemi– hayat doludur: Nöronlar arasındaki bağlantılar durmaksızın tomurcuklanır, ölür ve yeniden düzenlenir. Siz, geçen yılın bu anında olduğunuzdan farklı bir kişisinizdir artık; çünkü beyninizdeki devasa dokuma, kendini yeni bir şeye dönüştürmüştür.

Bir şey öğrendiğinizde (örneğin, sevdiğiniz restoranın konumunu, patronunuzla ilgili bir dedikoduyu, radyodaki o bağımlılık yapıcı yeni şarkıyı) beyniniz fiziksel değişime uğrar. Maddi bir başarı yakaladığınızda, toplumsal bir fiyasko ya da duygusal bir uyanış deneyimlediğinizde de aynı şey olur. Basket topunu her fırlatışınızda, bir meslektaşla anlaşmazlığa her düşüşünüzde, yeni bir şehre uçtuğunuzda, nostaljik bir fotoğrafa baktığınızda ya da sevdiğiniz birinin tatlı sesini duyduğunuzda, beyninizdeki devasa ve girift ormanlar, bir an öncesinde olduklarından biraz daha farklı bir şeye dönüşmüşlerdir artık. Bu değişimlerin toplamı anılarımızı, yaşamımızın ve duygularımızın çıktısını oluşturur. Beyindeki bu sayısız değişim dakikalar, aylar ve yıllar içinde birikerek, "siz" dediğimiz varlığı oluşturur.

En azından şimdiki "siz"i. Çünkü dün, az da olsa farklıydınız. Yarın ise bir yine bir başka kişi olacaksınız.

HAYATIN ÖTEKİ GİZEMİ

Francis Crick 1953'te bir gün, Eagle and Child Pub'a hızla dalmış ve irkilen müşterilere, James Watson'la birlikte az önce hayatın sırrını keşfettiklerini duyurmuştu. Bilimciler, DNA'nın ikili sarmal yapısını çözümlemişlerdi. Bu, bilimin büyük pub çıkartmalarından biriydi.

Ama Watson ve Crick'in, sırrın ancak *yarısını* keşfettikleri ortaya çıktı. Diğer yarısını ise DNA'nın baz çiftleri dizisinde bulamayacağınız gibi, ders kitaplarında da bulamazsınız. Ne şimdi ne de sonra.

Çünkü diğer yarı, bütün çevrenizi sarmış durumda. Dünyayla ilgili bütün deneyimleriniz, nesnelerin doku ve tadı, sarılma ve öpüşmeler, araba kazaları, konuştuğunuz dil, yaşadığınız aşklar bu yarının içinde.[4]

Bunu daha iyi kavramak için otuz bin yıl önce doğduğunuzu hayal edin. DNA'nız bugünkünün tıpatıp aynı ama ana rahminden çıkıp içine düştüğünüz dünya, başka bir zaman dilimini yaşıyor. Nasıl biri olurdunuz o zaman? Bir hayvan postuna sarınmış, ateş çevresinde dans edip hayretler içinde yıldızları seyretmek hoşunuza gider miydi? Kılıçdişli kaplanların yaklaşmakta olduğu uyarısını yapmak için bir ağacın tepesinden haykırır mıydınız? Yağmur bulutları üzerinizde dolaşırken dışarıda uyumak sizi tedirgin eder miydi?

Soruları nasıl cevaplamış olursanız olun cevabınız yanlış. Bu, hileli bir soruydu.

Çünkü o zaman siz, siz olmazdınız. Ne uzaktan ne yakından. Sizinle aynı DNA'yı taşıyan bu mağara adamı, aynı genom reçetesine sahip olduğunuz için olsa olsa görünüş bakımından sizi biraz *andırabilirdi.* Ama ne sizin gibi düşünür ne sizinkine eş stratejiler ve hayaller kurar ne sizin gibi sever ne de sizinkine benzer geçmiş ve gelecek simülasyonları yapardı.

Neden mi? Çünkü mağara adamının deneyimleri sizinkinden farklı. DNA, hayat hikâyenizin bir parçasıdır ama küçük bir parçasıdır. Hikâyenin kalanı, deneyimleriniz ve çevrenizle ilgili zengin ayrıntıları kapsar. Bunların hepsi beyin hücreleriniz ve aralarındaki bağlantıların oluşturduğu uçsuz bucaksız mikroskobik dokuyu biçimlendirecektir. *Siz* olarak düşündüğümüz şey, içine küçük bir uzay ve zaman numunesinin döküldüğü bir deneyimler kabıdır. Yerel kültür ve teknolojiyi duyularınız aracılığıyla özümsersiniz. Kim olduğunuz, içinizdeki DNA kadar çevrenize de bağlıdır.

Bu hikâyeyi, biri bugün, biri otuz bin yıl önce doğmuş iki Komodo ejderinin hikâyesiyle karşılaştırın. Bu ikisini davranışlarından ayırt etmek tahminen daha zor olacaktır.

Aradaki fark nedir?

Komodo ejderleri, her seferinde hemen hemen aynı çıktıyı üreten bir beyinle sahneye çıkarlar. Özgeçmişlerinde yer alan beceriler (*Ye! Çiftleş! Yüz!*) çoğunlukla sabit devrelerine kazınmıştır ve bu da onların ekosistem içinde kararlı bir köşeye yerleşmelerini sağlar. Ancak esnekliğe yer yoktur yaşamlarında. Güneydoğu Endonezya'daki doğal ortamlarından alınıp karlı Kanada'ya bir hava yolculuğu yapacak olsalar kısa sürede Komodo ejderi diye bir şey kalmaz.

İnsanlar ise tam aksine, dünyanın dört bir köşesindeki ekolojik sistemlerde yaşayabildikleri gibi, yakın gelecekte gezegeni terk etmeye bile hazırlanmaktalar. Nedir öyleyse püf noktası? Diğer canlılardan daha dirençli, daha sağlam ya da daha dayanıklı değiliz: Bu ölçütlerin herhangi birinde neredeyse bütün diğer hayvanlardan geride kalıyoruz. Asıl mesele, büyük ölçüde tamamlanmamış bir beyinle dünyaya gelmemiz. Bunun bir sonucu, bebeklik döneminde yalnızca bize özgü uzunluktaki bir çaresizlik dönemi yaşamamız. Ancak bu bedelin bir karşılığı var: Beyinlerimiz şekillenmek için çevrelerinden gelecek bütün girdilere açık. Yerel dillerimizi, kültürleri, modayı, siyaseti, dinleri ve ahlaki değerleri işte bu şekilde kana kana içimize çekebiliyoruz.

Tam pişmemiş bir beyinle dünyaya düşüvermenin insanlar için kazandıran bir strateji olduğu açık. Kara kütlesini kaplayarak, denizleri fethederek, Ay'a ulaşarak gezegendeki bütün türleri geride bıraktık. Yaşam süremiz üç katına çıktı. Senfoniler besteliyor, gökdelenler inşa ediyor ve kendi beyinlerimizin ayrıntılarını giderek artan bir hassasiyetle ölçebiliyoruz. Bu başarıların hiçbiri genetik olarak kodlanmış değil.

En azından doğrudan kodlanmış değil. Genetiğimiz, onun yerine basit bir ilkeyi öne çıkarıyor: *Esnemez ve sabit bir donanım yerine, çevresindeki dünyaya uyum sağlayan bir sistem inşa et.* DNA'mız bir canlı oluşturmak için var olan sabit bir şema değil; tersine, çevresindeki dünyayı yansıtmak ve bu dünya içindeki verimliliğini optimize etmek için devre şemalarını sürekli yeniden düzenleyen dinamik bir sistem kuruyor.

Dünyayı temsil eden küreye bakan bir okul çocuğunun, ülke sınırlarını genellikle nasıl temel ve değişmez olarak varsaydığını düşünün. Buna karşılık bir profesyonel tarihçi, ülke sınırlarının tesadüfün

işlevlerinden ibaret olduklarını ve hikâyemizin ufak farklarla da yazılmış olabileceğini anlar: Bir kral daha bebekken ölmüş, mısıra kıran girmemiş ya da batan bir savaş gemisi savaşın yönünü değiştirmiş olabilirdi. Küçük değişiklikler üst üste binerek bambaşka dünya haritalarını ortaya çıkarabilirdi.

Aynı şey beyin için de geçerlidir. Geleneksel ders kitabı çizimleri, nöronların, bir kavanozdaki şekerlemeler gibi mutlu mesut dip dibe durdukları izlenimini verse de bu görüntü sizi aldatmasın: Nöronlar, hayatta kalmak için birbirleriyle sürekli rekabet halindedirler. Tıpkı komşu ülkeler gibi alanlarını belirler ve aralıksız kollarlar. Alan ve sağkalım savaşı, sistemin bütün düzeylerinde gösterir kendini: Her nöron ve nöronlar arasındaki her bağlantı, kaynaklar için bir diğeriyle mücadele halindedir. Bu sınır savaşları beynin ömrü süresince devam ederken haritalar, kişinin deneyim ve hedeflerini beynin yapısına yansıtacak şekilde sürekli yeniden çizilir. Bir muhasebeci piyanist olmak üzere kariyerini bırakırsa parmaklarına ayrılmış olan nöral alanlar genişleyecek, mikroskopi uzmanı olmaya karar verirse görme korteksi, aradığı küçük ayrıntılara paralel olarak daha yüksek çözünürlük özelliği geliştirecek, kararı parfüm üreticiliği yönünde olursa da kokuya ayrılmış beyin alanları büyüyecektir.

Beynin kaderi belirlenmiş ve kesin sınırlar taşıyan bir küre olduğu yanılgısına düşen, sadece uzaktan bakan dikkatsiz gözlerdir.

Beyin, kaynaklarını önceliklere göre dağıtır ve bunu, kendisini oluşturan bütün parçalar arasında bir ölüm kalım rekabetini devreye sokarak yapar. Bu temel ilke, birazdan karşılaşacağımız bazı soruları da aydınlatacaktır: Cep telefonunuz masanın üstünde durduğu halde, neden bazen cebinizde titreştiğini hissedersiniz? Avusturya doğumlu oyuncu Arnold Schwarzenegger Amerikan İngilizcesini ağır bir aksanla konuşur da Ukrayna doğumlu oyuncu Mila Kunis neden konuşmaz? Otistik savant (dâhi) sendromlu bir çocuk neden bir zekâ küpünü kırk dokuz saniyede çözümler ama akranıyla normal bir sohbet gerçekleştiremez? İnsanlar teknolojiyi yeni duyular oluşturacak şekilde geliştirip bu yolla kızılötesi ışık, küresel hava tahmin modelleri ya da borsayı doğrudan algılayacak hale gelebilir mi?

ARAÇ ELİNİZDE YOKSA KENDİNİZ ÜRETİN

1945 sonlarında Tokyo kendini bir çıkmazda bulmuştu. Rus-Japon Savaşı ve iki dünya savaşını içine alan kırk yıllık süre boyunca entelektüel kaynaklarını askeri alana akıtmış, bu da ülkeyi yalnızca tek bir şeye uygun becerilerle donatmıştı: savaş. Ancak atom bombaları ve savaş yorgunluğu, ülkede Asya ve Pasifik işgalleri için iştah bırakmamıştı. Savaş bitmiş ve dünya değişmişti. Japon milleti de bu değişime ayak uydurmak zorundaydı.

Ancak değişim, zor bir soruyu da beraberinde getiriyordu: Yüzyılın başından beri daha gelişkin silahlar üretmek üzere eğitim almış onca askeri mühendis ne olacaktı? Bu mühendisler Japonya'nın yeni baş göstermekte olan barış ve sükûnet arzusuyla pek de bağdaşmıyorlardı.

Ya da öyle görünüyordu. Çünkü Tokyo birkaç yıl içinde mühendislerini farklı görevlere yönlendirerek toplumsal ve ekonomik coğrafyasını değiştirdi. Bu mühendislerden binlercesi Shinkansen olarak bilinen hızlı trenin inşasıyla görevlendirildi.[5] Daha önceleri aerodinamik donanma uçakları tasarlayan mühendisler artık aerodinamik vagonlar tasarlıyorlardı. Mitsubishi Zero avcı uçağı üzerinde çalışmış olanları ise artık hızlı trenin yüksek hızlarda güvenle çalışmasını garantiye alacak tekerlekler, dingiller ve ray sistemleri geliştiriyordu.

Tokyo, kaynaklarını dış ortama daha iyi uyum sağlayacak şekilde biçimlendirerek kılıçlarını saban demirine dönüştürmüş, makinelerini günün gereklerine uyarlamıştı.

Tokyo, beynin yaptığı şeyi yapmıştı.

Beyin, hedeflerini ve üstesinden gelmek zorunda olduğu güçlükleri yansıtacak şekilde sürekli olarak ayarlar kendini. Kaynaklarını, koşullarının gereklerine göre biçimlendirir. İhtiyaç duyduğu şeye sahip değilse kendisi yaratır.

Bu, beyin için neden iyi bir stratejidir? Kendi ürettiğimiz teknoloji, ne de olsa büyük başarı göstermiş durumda ve onda tümüyle farklı bir stratejiden yararlanıyoruz. İhtiyacımızı sorunsuzca karşılamak için sabit donanımı kuruyor, onu yazılım programlarıyla tamamlıyoruz. Bu iki katman arasındaki ayrımın ortadan kalkıp makinenin çalışan programlarla sürekli olarak yeniden tasarlanmasının nasıl bir avantajı olabilir?

Birinci avantaj, hızdır.[6] Dizüstü bilgisayarınızın klavyesini hızla kullanabilirsiniz; çünkü parmaklarınızın konumlarını, hedeflerini ve amaçlarını ayrıntılarıyla düşünmek zorunda değilsinizdir. Her şey, sihirli denebilecek biçimde kendi kendine ilerler; çünkü klavye kullanmak, artık devreler ağınızın bir parçası haline gelmiştir. Nöral devre sisteminin her seferinde yeniden yapılandırılması, bu tür işlerin otomatik hale gelmesini sağlayarak, karar ve eylemlere hız getirir. Milyonlarca yıl sürmüş olan evrim ne yazılı dili ne de klavye kullanımını öngörmüş olduğu halde, beyinlerimiz bu tür yeniliklerden yararlanma konusunda hiç de zorlanmaz.

Bunu, daha önce hiç çalmamış olduğunuz bir müzik aletinde doğru notalara basma eylemiyle kıyaslayabilirsiniz. Önceden eğitimini almadığınız bu tür işlerde, bilinçli düşünmeden destek alırsınız ki bu da nispeten yavaş işleyen bir süreçtir. Amatörlükle uzmanlık arasındaki bu hız farkı, amatör bir futbol oyuncusunun sürekli top kaptırmasının da nedenidir örneğin. Deneyimli oyuncu ise aksine rakibinin verdiği sinyalleri okur, ustalıklı ayak oyunları sergiler ve isabetli şutlar atabilir. Bilinçsizce yapılan eylemler, bilinçli düşünüp taşınmayla yapılanlardan hızlıdır.

Düzenekleri önemli işlere göre özelleştirmenin sağlayacağı ikinci avantaj, enerji verimliliğidir. Acemi futbolcu sahadaki onca hareketin birbiriyle ilişkisini anlamazken, bir profesyonel, gol atmak için oyuna birçok farklı biçimde yön verebilir. Peki, hangisinin beyni daha aktiftir sizce? Tahmininizi profesyonel oyuncudan yana yapabilirsiniz; çünkü oyunun yapısını kavramış durumdadır ve olasılıklar, kararlar, çapraşık hareketler arasında gidip gelir. Ama bu, yanlış bir tahmin olur. Usta oyuncunun beyni, hareketlerini şaşırtıcı derecede düşük bir beyin etkinliğiyle gerçekleştirmesine olanak sağlayan, futbola özgü bir nöral devre sistemi geliştirmiştir. Usta oyuncu, bir anlamda kendisini oyunla bütünleştirmiştir. Buna karşılık amatör oyuncunun beyni, etkinlikten yanıp tutuşmaktadır. Hangi hareketlerin önemli olduğuna karar vermeye, durumla ilgili çok sayıda yorum ortaya koyup hangisinin doğru olduğunu –doğru olan varsa tabii– belirlemeye çalışmaktadır.

Usta oyuncunun performansı, futbolun devrelerine kazınması sonucunda hem hızlı hem verimlidir. İç devrelerini, dış dünyasında önemli olana göre optimize etmiştir.

SÜREKLİ DEĞİŞEN BİR SİSTEM

Amerikalı psikolog William James, dış olayların etkisiyle değişebilen –ve yeni biçimini koruyabilen– bir sistem kavramından yola çıkarak "plastisite" (yoğrulabilirlik) terimini ortaya atmıştı. Plastik bir nesne, farklı biçimler verilebilen ve verilen biçimi *koruyabilen* nesnedir. Plastik olarak betimlediğimiz malzeme de aynı nedenle almıştır bu adı: Üretip biçim verdiğimiz plastik kâseler, oyuncaklar telefonlar bir anda eriyip eski formlarına dönmezler. Beyin için de geçerlidir aynı şey: Deneyimler beyni değiştirir ve bu değişimler korunur.

Bu durum için nörobilimde "beyin plastisitesi" (ya da "nöroplastisite") terimi kullanılır; ancak terimi bu kitapta tutumlu kullanmaya gayret edeceğim çünkü kimi zaman hedefi şaşırtma riskini de barındırıyor. Kasıtlı olsun ya da olmasın "plastisite" sözcüğü, ana fikrin, bir şeyi bir kez kalıba sokup biçim verdikten sonra sonsuza kadar öyle tutmak olduğu izlenimini verir; tıpkı belirli bir biçime sokulan plastik bir oyuncağın bir daha değiştirilmemesi gibi. Ama beynin yaptığı şey bu değildir. Hayatınız boyunca kendisine tekrar tekrar biçim vermeye devam eder.

Gelişmekte olan bir şehri düşünün ve nasıl büyüdüğüne, sistemlerini nasıl optimize ettiğine, çevresindeki dünyaya nasıl tepki verdiğine dikkat edin. Kamyon duraklarını nereye inşa ettiğini, göçmen politikasını nasıl oluşturduğunu, eğitim ve yasal sisteminde nasıl değişiklik yaptığını gözlemleyin. Bir şehir daimi bir akış halindedir. Şehir yaşamı, şehir planlamacısı tarafından tasarlanıp plastik bir süs eşyası gibi sabitlenmez. Aralıksız bir gelişim süreci yaşar.

Tıpkı şehirler gibi, beyinlerin de bir son durağı yoktur. Yaşamımızı bir şeylere doğru tomurcuklar vererek geçiririz; hedef yer değiştirirken bile. Yıllar önce yazmış olduğunuz bir günlük sayfasının önünüze çıkıverdiğini düşünün. Sayfada yazanlar, şu anda olduğunuzdan biraz farklı bir kişinin düşünme biçimini, fikirlerini ve bakış açısını temsil etmektedir ve kimi zaman bunların size yabancı geldiği yerlerle de karşılaşırsınız. Aynı isme ve aynı geçmişe rağmen anlatıcı, yazma ve yorumlama eylemleri arasında geçen yıllar içinde değişime uğramıştır.

"Plastik" sözcüğü, süregiden bu değişimi de kapsayacak şekilde esnetilebilir. Mevcut literatürden kopmamak adına, ben de bu terimi arada kullanacağım.[7] Ancak plastik, yani esnek biçimlendirme sürecinden etkilendiğimiz günlerin artık biraz geride kalmış olabileceğini de söyleyelim. Buradaki hedefimiz, bu canlı sistemin nasıl işlediğini anlamak olacak ve bu nedenle de ana noktayı daha iyi kapsayan bir terim ortaya atacağım: "canlı devreli" (*livewired*) sistem. Göreceğimiz gibi, beyni donanım ve yazılım katmanlarına bölünebilir bir yapı olarak düşünmek bir noktadan sonra imkânsızdır. Onun yerine, bu dinamik, uyarlanabilir, bilgi arayışı içindeki sistemi anlamada "canlı yazılım" (*liveware*) kavramına ihtiyacımız olacak.

Kendisini yapılandırma yeteneğine sahip bir organın gücünü kavramak adına, Matthew'nun hikâyesine geri dönelim. Beyninin yarısı olduğu gibi alındıktan sonra Matthew idrarını tutamaz, yürüyemez ve konuşamaz hale gelmişti. Ailesinin en büyük kâbusu, böylece gerçeğe dönüşmüş oluyordu.

Ancak günlük fizik tedavi egzersizleri ve dil terapisiyle anadilini yavaş da olsa yeniden öğrenmeye başladı. Bu konudaki başarısı, bir bebeğin izleyeceği aşamalarla kazanılıyordu: önce bir sözcük, sonra iki, sonra kısa cümleler.

Üç ay sonra, gelişimsel olarak uygun konuma, tam olması gereken noktaya geri dönmüştü.

Aradan geçen onca yıl sonra Matthew, şimdi sağ elini iyi kullanamıyor ve hafif aksayarak yürüyor.[8] Ama bunun dışında, böylesine sıra dışı bir macera yaşadığının işaretlerini çok az verdiği, normal bir yaşam sürüyor. Uzun dönemli belleği kusursuz çalışıyor. Üç sömestr boyunca üniversiteye de gitmiş; ancak sağ eliyle not tutmakta zorlanınca okulu bırakıp bir restoranda çalışmaya başlamış. Burada telefonlara bakıyor, müşteri hizmetlerini çekip çeviriyor, garsonluk yapıyor ve yapılması gereken hemen her şeye yetişebiliyor. Onunla tanışanlar, beyninin bir yarısının olmadığından kuşkulanmıyorlar bile. Valerie'nin ifadesiyle "olayı bilmeyenlerin, tahmin etmelerine zaten imkân yok."

Böylesine temel nitelikteki bir nöral tahrip, nasıl olup da fark edilmiyor?

Şöyle: Matthew'nun beyninin kalan kısmı, eksik işlevleri devralmak üzere, devre şemasını yeniden kurmuştu. Sinir sisteminin taslakları, kendilerini daha az alan işgal edecek –yaşamın bütün gereklerini, düzeneğin ancak yarısıyla yerine getirecek– şekilde yeniden ayarladılar. Akıllı telefonunuzdaki elektronik aksamın yarısını sökerseniz artık arama yapamayacağınızı bilirsiniz çünkü donanımlar kırılgandır. Canlı yazılımlar ise direnir.

1596'da Flaman kartograf Abraham Ortelius, dünya haritasını incelerken bir keşifte bulundu: Amerika ve Afrika kıtaları, bir yapbozun parçaları gibi birleşebilecekleri izlenimini veriyordu. Eşleşme açık gibiydi ama Ortelius bu iki kıtanın nasıl bir etkiyle birbirinden "koparılıp ayrıldığı" konusunda net bir fikre sahip değildi. 1912'de Alman jeofizikçi Alfred Wegener "kıtasal kayma" kavramını ortaya attı: Daha önceleri kıtaların sabit konumlu olduğu varsayılsa da belki de aslında dev nilüfer yaprakları gibi oraya buraya yüzmekteydiler. Bu kayma oldukça yavaştır (kıtalar tırnaklarınızın büyüdüğü hızla yer değiştirirler) ama dünyanın bir milyon yıllık bir filmi, kara kütlelerinin ısı ve basınç yasalarına göre devinen dinamik, akışkan bir sistemin parçaları olduğunu ortaya çıkarırdı.

Tıpkı yerküre gibi, beyin de dinamik ve akışkan bir sistemdir. Peki ama nedir onu yönlendiren yasalar? Beyin plastisitesiyle ilgili bilimsel makalelerin sayısı yüz binleri bulduğu halde, kendi kendini yapılandırma yeteneğindeki bu tuhaf, pembe malzemeye bugün bile merakla baktığımızda, yaptıklarını neden yaptığını açıklayan kapsamlı bir çerçeveye rastlayamayız. Bu kitap işte bu çerçeveyi ortaya koyarak kim olduğumuzu, bizi biz yapan geçmişimizi ve nereye gittiğimizi daha iyi anlamamıza yardımcı oluyor.

Canlı bağlantı ve devreler üzerinde düşünmeye bir kez başlayınca, şimdi kullandığımız sabit donanımlı makinelerin gelecekte yetersiz kalması kaçınılmaz görünüyor. Sonuçta geleneksel mühendislikte, önemli her şey dikkatle tasarlanır. Bir araba üreticisi aracının şasisine yeni bir biçim verecekse ona uyacak bir motor üretmek için aylar harcar. Ama bir de gövdeyi canınızın istediği gibi değiştirebildiğinizi ve motorun da buna uygun olarak kendisini yapılandırdığını düşünün.

Göreceğimiz gibi, canlı devre olgusunun ilkelerini bir kez anladıktan sonra, Tabiat Ana'nın dehasını yeni makinelerin tasarlanmasında kullanabiliriz. Bunlar, kendilerini girdilerine göre optimize edip deneyimle öğrenmek yoluyla kendi devre ağlarını dinamik olarak belirleyebilen makineler olacaktır.

Hayatın heyecanı kim olduğumuzla değil, kime dönüşme sürecinde olduğumuzla ilgilidir. Benzer şekilde beynin sihri de onu oluşturan parçalardan çok, parçaların dinamik, enerjik ve canlı bir doku oluşturmak üzere kendilerini durmaksızın yeniden dokumalarında yatar.

Bu kitaptan birkaç sayfa okumanız bile beyninizin değişikliğe uğramasına yetti aslında: Sayfadaki simgeler, nöral bağlantılardan oluşan o engin denizin her köşesinde milyonlarca küçük değişim düzenledi ve sizi bölüm başındaki kişiden, az da olsa daha farklı birine dönüştürdü.

2

BİR TUTAM DÜNYA EKLEYİN

İYİ ÇALIŞAN BİR BEYİN İÇİN

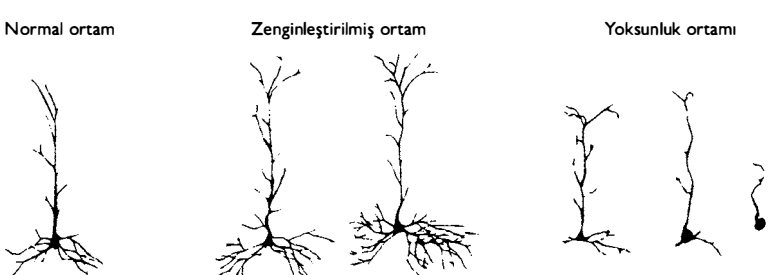
Beyin boş bir levha olarak değil, aksine, beklentilerle önceden donanmış olarak yaşama başlar. Bir civcivin dünyaya gelişini düşünün: Yumurtadan çıktıktan birkaç saniye sonra, küçük bacakları üzerinde biraz yalpaladıktan sonra sarsakça da olsa koşup sıçramaya başlar. Yaşadığı ortamda, sağa sola hareket etmeyi öğrenmeye ayıracak aylar ya da yılları yoktur.

İnsan bebekleri de aynı şekilde, dünyaya epeyce bir ön-programlamayla açarlar gözlerini. Bir lisanı özümsememizi sağlayacak bir ön-donanımla doğduğumuz gerçeğini düşünün örneğin. Ya da bebeklerin, dilini çıkaran bir yetişkini taklit edebildiğini ki bu, görme eylemini motor harekete dönüştürme konusunda sofistike bir beceri gerektiren bir özelliktir.[1] Gözlerinizden çıkan liflerin, beynin derinlerine konumlanmış hedeflerini bulmayı *öğrenmek* zorunda olmayışları da bir başka örnektir. Bu lifler sadece moleküler işaretlerden yararlanarak bulurlar yollarını. Üstelik her seferinde. Sabit donanımla gelen bütün bu özellikler için genlerimize şükranlarımızı sunabiliriz.

Ama sabit bir genetik donanım hikâyenin tümünü açıklamaz; özellikle de insanlarda. Sistemin düzenlenişi fazlaca karmaşıktır ve genler bunu sağlayamayacak kadar azdır. Aynı genin farklı çeşnilerini üreten parçalanma-birleşme sürecini hesaba katsak bile nöronların ve kurdukları bağlantıların sayısı, genetik kombinasyonların sayısını fazlasıyla geçecektir.

Böylece, beyin bağlantılarının oluşum sürecindeki ayrıntıların genetikten fazlasını içerdiğini anlıyoruz. Günümüzden iki yüzyıl önceki düşünürler de deneyimlerdeki ayrıntıların önem taşıdığından kuşkulanmaya başlamışlardı aslında. 1815'te fizyolog Johann Spurzheim beyin kütlesinin, tıpkı kaslar gibi egzersizle büyüyebileceğini öne sürmüştü. Çıkış noktası, kanın büyüme için gereken besini taşıdığı ve "uyarılmış bölgelere çok daha fazla miktarda kan gittiği" idi.[2] 1874'te ise Charles Darwin, doğadaki tavşanların beyinlerinin, evcil tavşanlardakilere göre daha büyük oluşunun bu temel fikirle açıklanıp açıklanamayacağını sorguladı. Darwin'e göre yabantavşanları akıl ve duyularını diğerlerinden daha fazla kullanmaya zorlanıyorlar, beyinleri de buna paralel olarak büyüyordu.[3]

1960'larda ise araştırmacılar beynin, deneyimlerin dolaysız sonucu olarak ölçülebilir biçimde değişip değişmeyeceği meselesine ciddi şekilde eğilmeye başladılar. Soruyu ele almanın en basit yolu, sıçanları farklı ortamlarda (örneğin, oyuncaklarla ve koşma çemberleriyle donatılmış zengin bir ortam ya da içinde tecrit halde yaşanacak boş bir kafesten ibaret bir yoksunluk ortamı) yetiştirmekti.[4] Sonuçlar çarpıcıydı: Yaşadığı ortam, sıçanın beyin yapısını değiştiriyor ve yapı da hayvanın öğrenme ve bellek kapasitesiyle ilişkilendirilebiliyordu. Zengin ortamlarda yetiştirilen sıçanlar çeşitli işleri daha büyük başarıyla yerine getirmiş, otopside ise uzun ve yoğun dendrit (hücre gövdesinden çıkan ve ağaç dallarını andıran uzantılar) yapısına sahip oldukları ortaya çıkmıştı.[5] Yoksunluk ortamında büyümüş sıçanlar ise öğrenme konusunda başarısız oldukları gibi, nöronları da anormal biçimde küçülmüştü. Bu çevre etkisinin aynısı kuşlar, maymunlar ve başka memelilerde de görülür.[6] Bağlam, beyin için önemlidir.



Bir nöron normalde dallanan bir ağaç gibi büyür ve bu da ona diğer nöronlara bağlanma olanağı sağlar. Dallar zenginleştirilmiş bir ortamda daha sık ve bolken, yoksunluk ortamında kuruyup gitmiş gibidir.

Aynı şey insanlar için de geçerli midir? 1990'ların başlarında Kaliforniya'daki bazı araştırmacılar lise mezunları ile üniversite mezunlarının beyinlerini karşılaştırmak için otopsilerden yararlandılar. Bulguları, hayvanlarla yapılan çalışmalardakiyle benzerlik gösteriyordu: Dilin anlaşılmasıyla ilgili bir alan, üniversite eğitimi almış kişilerde daha belirgin dendritler içermekteydi.[7]

Öyleyse alacağımız ilk ders, beynin ince yapısının, maruz kaldığı ortamı yansıttığıdır. Ve bu sadece dendritlerle ilgili de değildir. Yakında göreceğimiz üzere deneyimler, moleküler ölçekteki ayrıntılardan genel beyin anatomisine kadar beynin ölçülebilir olan neredeyse bütün ayrıntılarında değişimlere neden olur.

DENEYİM ŞART

Einstein neden *Einstein*'dı? Genetik önemliydi elbette ama tarih kitaplarındaki yerini alması, yaşadığı tüm deneyimler sayesindeydi: çelloyla tanışması, son sınıftaki fizik hocası, âşık olduğu bir kızın onu reddetmesi, çalıştığı patent ofisi, çözebildiği için büyük övgü topladığı matematik problemleri, okuduğu hikâyeler ve milyonlarca başka deneyim. Bunların hepsi, sinir sistemini, Albert Einstein olarak bildiğimiz biyolojik düzeneğe doğru yönlendirmişti. Her yıl, onun potansiyeline sahip ama maruz kaldıkları kültürel yapı, ekonomik koşullar ya da aile yapısından dolayı yeteri kadar pozitif geribildirim alamayan binlerce çocuk çıkar sahneye. Ve bizler onlara Einstein demeyiz.

Önem taşıyan tek şey DNA olsaydı çocukları yararlı deneyimlerle donatıp kötülerinden koruyacak anlamlı toplumsal programların oluşturulması için pek bir neden kalmayacaktı. Ama beyin, doğru yönde gelişmek için doğru ortama ihtiyaç duyar. Milenyumun başlarında İnsan Genomu Projesi'nin ilk taslağı tamamlandığında, karşımıza çıkan ilk büyük sürprizlerden biri, insanların yalnızca yirmi bin kadar gene sahip olduğuydu.[8] Biyologlar bu sayı karşısında şaşırıp kalmışlardı: Beynin ve vücudun karmaşıklığı düşünüldüğünde, gerekli gen sayısının yüz binleri bulacağı varsayılmıştı.

Öyleyse 86 milyon nöronuyla inanılmaz bir karmaşıklık sergileyen beyin, bu kadar küçük bir yönergeler kitapçığıyla nasıl ortaya çıkıyor? Yanıt, genomun uyguladığı akıllıca bir stratejide yatıyor: İnşaatı tamamlama ve ince işleri bırak, dünya deneyimleri yapsın. Sonuç olarak insanlar şaşılacak ölçüde eksik kalmış bir beyinle doğar; yapımı tamamlamak için dünyayla etkileşim şarttır.

Uyku-uyanıklık döngüsünü ele alın. "Sirkadiyen ritim" olarak bilinen bu içsel saat, kabaca yirmi dört saatlik bir döngüyle çalışır. Ancak birkaç gün için –yüzeydeki aydınlık ya da karanlık döngülere dair herhangi bir ipucu taşımayan– bir mağaraya inecek olsanız sirkadiyen ritminiz yirmi bir ila yirmi yedi saat arası bir kayma gösterecektir. Bu durum, beynin basit çözümünü açığa çıkarır: Kesinlik taşımayan bir saat yap ve sonra onu Güneş'in döngüsüne göre ayarla. Bu zarif numara sayesinde, mutlak kusursuzlukta bir saati genetik olarak kodlamaya gerek kalmaz. Saati kurma işini dünya yerine getirir.

Beynin esnekliği, yaşamınızdaki olayların, kendilerini doğrudan bu nöral dokumaya dahil etmesine olanak tanır. Tabiat Ana'nın kurguladığı harikulade bir numaradır bu; çünkü beynin sadece o küçük gen kümesinin tohumlarından yola çıkarak dil öğrenmemizi, bisiklete binmemizi, kuantum fiziğini kavramamızı mümkün kılması, bu sayedadir. DNA'mız bir şablon değil, gösteriyi başlatan ilk domino taşıdır.

Bu açıdan bakıldığında, neden yaygın bazı görme sorunlarının (derinliği doğru algılayamamak gibi) gözlerden görme korteksine ulaşan etkinlik örüntülerindeki dengesizlikten kaynaklandığını anlamak zor değildir. Sözgelimi, içe ya da dışa şaşılıkla doğan bebeklerde iki gözün etkinlikleri, normal hizalanmış gözlerde olduğu gibi birbiriyle iyi bir uyum içinde değildir. Sorun çözülmezse çocukta normal üç boyutlu görüş –yani iki gözün gördükleri arasındaki küçük farklardan yola çıkarak derinliği belirleme becerisi– gelişmeyecek ve gözlerden biri, sıklıkla körleşme noktasına kadar zayıflayacaktır. Bunun nedenlerini ve çözümlerini irdelemek üzere konuya daha sonra yeniden döneceğiz. Şu an için önemli olan nokta, normal görsel devrelerin gelişmesi için normal görsel girdilere ihtiyaç olduğudur. Bu işlev, *deneyime bağlıdır*.

Demek ki korteks bağlantılarının ayrıntılı düzenlenişinde genetik talimatlar ancak küçük bir rol oynuyor. Başka türlü olamazdı zaten: Yirmi bin gen ve 200 trilyon bağlantının varlığında, ayrıntılar nasıl

önceden belirlenebilirdi ki? Böyle bir model asla çalışamazdı. Nöron ağlarının düzgün gelişmek için asıl ihtiyaç duydukları şey, dünyayla etkileşimdir.[9]

DOĞANIN OYNADIĞI BÜYÜK KUMAR

29 Eylül 1812'de Almanya'nın Baden Grandükalığı'nı miras alacak olan bir bebek dünyaya geldi. Bebek, ne yazık ki 17 gün sonra öldü ve konu böylece kapandı.

Yoksa kapanmamış mıydı? 16 yıl sonra Kaspar Hauser adındaki bir genç, Almanya'nın Nürnberg şehrinde, yanında bir notla beliriverdi. Notta çocukken başka bir aileye verildiği yazıyordu ve görünüşe göre konuşabildiği birkaç cümleden biri de "Ben de babam gibi süvari olmak istiyorum" idi. Hauser çok büyük ilgi görmenin yanında, önemli ve nüfuz sahibi kişilerin huzuruna da çıktı. Birçok kişi zamanla Baden'ın veliaht prensi olduğundan kuşkulanmaya başladı. Buna göre, yokluğu durumunda grandükalığın başına geçeceklerin kurduğu hain bir komployla, doğumunu izleyen birkaç hafta içinde ölmekte olan bir bebekle yer değiştirmesi sağlanmıştı.

Hikâye, taht entrikaları alanı dışında da meşhur oldu ve Kaspar bir "yabani çocuk" timsali haline geldi. Kendi anlattığına göre, bütün gençliğini bir metre eninde, iki metre uzunluğunda ve bir buçuk metre yüksekliğindeki karanlık bir hücrede geçirmişti. Hücrede samandan bir yatak ve küçük bir tahta at vardı. Her sabah uyandığında başucunda biraz ekmek ve su buluyordu; bunun dışında hiçbir şey yoktu. Kimseyi girerken ya da çıkarken görmemişti. Kimi zaman içtiği suyun tadı biraz farklı oluyor, bunu içtikten sonra uykusu geliyordu. Uyandığında saçları ve tırnaklarının kesilmiş olduğunu fark ediyordu. Bir insanla ilk karşılaşması, serbest bırakılmasının hemen öncesiydi. Gelen kişi, yüzünü her zaman kapalı tutarak ona yazmayı öğreten bir adamdı.

Kaspar Hauser'ın hikâyesi uluslararası ilgi toplamaya başlamıştı. Sonraları çocukluğuyla ilgili dokunaklı birçok yazı kaleme aldı. Yabani çocuklarla ilgili belki de tarihteki en ünlü örnek olan bu hikâye, tiyatro oyunları, kitaplar ve müzik eserlerinde bugün bile yaşamaktadır.

Ancak Kaspar'ın iddiası neredeyse kesin olarak uydurmaydı. Onu geçersiz kılan kapsamlı tarihsel analizlerden öte, nörobiyolojik bir gerekçe de var bunun için: İnsanlarla etkileşimden yoksun büyüyen bir çocuk, ileride Kaspar'ın yaptığı gibi başarıyla yürüyüp, yazıp, konuşmalar yapıp serpilmez. Kaspar yaklaşık bir yüzyıl boyunca popüler basının konusu olmayı sürdürse de psikiyatrist Karl Leonhard konu hakkındaki son noktayı koydu:

> Eğer çocukluktan beri tarif ettiği koşullarda yaşamış olsaydı zekâ geriliği yaşayan bir insandan öteye gidemez, hatta uzun süre hayatta bile kalamazdı. Hikâyesi saçmalıklarla öyle dolup taşmakta ki buna bir zamanlar inanılmış olması, üstelik bugün bile inananların çıkması hayret vericidir.[10]

Sonuçta bir miktar genetik ön-belirlemeye rağmen doğanın büyümekte olan bir beyin için geliştirdiği yaklaşım, toplumsal etkileşim, sohbet, oyun, dünyaya açılma ve diğer normal insan etkinlikleri gibi deneyimler içeren büyük bir havuza dayanır. Dünyayla etkileşim stratejisi, beyindeki devasa düzeneğin görece küçük bir talimatlar kümesinden yola çıkarak şekillenmesine olanak sağlar. Tek bir mikroskobik yumurtadan bir beyin (ve vücut) oluşturmak için dâhiyane bir yaklaşımdır bu.

Ama bu strateji, bir kumardır da aynı zamanda; çünkü beyin biçimlendirme işini sabit bir donanımdan çok, kısmen dış deneyimlerin sorumluluğuna bırakmasıyla biraz risk taşır. Öyle ya, Kaspar'ın hikâyesindeki gibi bir ortama doğan gerçek bir bebek, anne baba ilgisinden tümüyle yoksun bir çocukluk geçirirse ne olur?

Ne yazık ki bu sorunun yanıtını trajik nedenlerle biliyoruz. 2005 Temmuz'unda yaşanan bir örnekte Florida'nın Plant City kentinde polis, soruşturma yürütmek amacıyla harap haldeki bir eve gitti. Onları buraya getiren, arada sırada pencerenin ardında bir kız gören, ama kızın ne evden çıktığına ne de pencerede onunla herhangi bir yetişkinin varlığına tanık olan bir komşunun ihbarıydı.

Kapıyı bir süre çalan polislerin karşısına sonunda bir kadın çıktı. Ona, kızını evde aramak için izinleri olduğunu söyleyerek içeri girdiler ve evin koridorları boyunca yürüyerek birkaç odayı aradılar. Sonunda



2005'te Florida'da bulunan yabani çocuk Danielle. Fotoğrafta güzel bir çocuk yüzü görülse de normal insan etkileşiminin doğasındaki davranış ve ifadeler Danielle'de yoktu çünkü çevresinden gelecek düzgün girdilere ihtiyaç duyduğu zaman aralığını kaçırmıştı.

küçük bir yatak odasına vardı yolları. Kız oradaydı. Polislerden birinin gördükleri karşısındaki tepkisi, kusmak oldu.

Yedi yaşına yaklaşmış ve yaşıtlarına göre küçük yapılı bir kız olan Danielle Crockett, bütün çocukluğunu karanlık bir dolabın içinde geçirmişti. Vücudu, üzerine sıvanmış dışkı parçaları ve hamamböcekleriyle beneklenmişti. Temel ihtiyaçları dışında ne fiziksel bir yakınlık görmüş ne de normal bir konuşma yapmıştı. Büyük olasılıkla dışarı çıkmasına da hiç izin verilmemişti. Konuşmaktan tümüyle acizdi. Polis memurları (ve daha sonra sosyal hizmet uzmanları ve psikologlar) ile karşı karşıya kaldığında, bakışları sanki onları delip geçiyor gibiydi; ifadesinde normal insan etkileşimine aşina olduğuna dair herhangi bir emare yoktu. Katı gıdaları çiğneyemiyor, tuvaleti kullanmayı bilmiyor, başını evet ya da hayır anlamında sallayamıyordu. Aradan geçen bir yılın sonunda alıştırma bardağını bile zor kullanır haldeydi. Yapılan birçok testin sonunda, doktorlar onda beyin felci, otizm ya da Down sendromu gibi herhangi bir genetik sorun bulunmadığını doğrulayabildiler. Aşırı düzeyde sosyal yoksunluk, beynin normal gelişimini rayından çıkarmıştı.

Doktor ve sosyal hizmet çalışanlarının bütün çabalarına rağmen Danielle'in durumu çok da iyiye gitmiş sayılmaz. Olası senaryoya göre, hayatını tahminen bir bakımevinde geçirecek; belki sonunda çocuk

bezi kullanmadan da yaşamayı becerecek.[11] Ne yazık ki Danielle'in hikâyesi, Kaspar Hauser'ınkinin gerçek yaşamdaki tezahürü. Gerçek sonuçlarıyla.

Bu sonuçların parlak olmamasının nedeni, insan beyninin dünyaya tamamlanmamış halde gelmesidir. Doğru yöndeki bir gelişim, doğru girdileri gerektirir. Beyin, programlarını açmak için çeşitli deneyimleri özümsemek ve bunu hızla kapanacak olan bir zaman aralığında yapmak zorundadır. Bir kez kaçırıldıktan sonra aynı aralığı yakalamak çok zor ya da imkânsızdır.

Anneler ve çocukları arasındaki bağlanma ilişkisini incelemek için maymunlardan yararlanan Wisconsin Üniversitesi bilimcisi Harry Harlow 1970'lerde, Danielle'in hikâyesine paralel sonuçlar veren bir dizi hayvan deneyi yaptı. Aktif bir bilimsel kariyeri olan Harlow, eşini 1971'de kanserden kaybettikten sonra depresyona girmişti. Çalışmaya devam ediyordu ancak dostları ve meslektaşları onun artık aynı kişi olmadığı kanısındaydılar. Harlow bir süre sonra ilgisini depresyonun araştırılmasına çevirdi.

İnsan için bir depresyon modeli oluşturmak amacıyla maymunlardan yararlanan Harlow, bir tecrit çalışması geliştirdi. Çalışmada bir maymun yavrusunu penceresi olmayan çelik duvarlı bir kafese kapatıyordu. Çift taraflı bir ayna sayesinde maymunu seyredebilse de maymun dışarıyı görememekteydi. Harlow bu uygulamayı bir maymunla otuz gün, sonra bir başka maymunla altı ay sürdürdü. Tam bir yıl boyunca kapatılan maymunlar da vardı.

Maymun yavruları, normal bağ kurmak için hiç şansları olmadığından (doğumdan kısa süre sonra konuyorlardı kafese), kafesten çıkarıldıklarında derin ve kökleşmiş rahatsızlık belirtileri göstermişlerdi. En uzun süreyle tecrit edilenlerin sonu Danielle'inkine oldukça benziyordu: Diğer maymunlarla normal herhangi bir etkileşime girmiyor, oyun, işbirliği ya da rekabete yanaşmıyorlardı. Neredeyse tümüyle hareketsizdiler. İkisi ise yemeyi bırakmıştı.

Harlow'un dikkatini çeken bir başka şeyse maymunların normal bir cinsel yaşam süremeyişleriydi. Yine de tecritte kalmış olan dişilerden bir kısmında döllenme gerçekleşmesini sağladı. Amacı, davranış bozukluğu yaşayan bu dişilerin kendi yavrularıyla nasıl etkileşim kuracağını gözlemekti. Sonuç tam bir felaketti. En iyi durumda

yavrularını tümüyle görmezden geliyor, en kötüsündeyse onlara zarar veriyorlardı.[12]

Harlow'un maymun deneyinden alınacak ders, Danielle'in başına gelenlerden alınacak dersle aynıdır: Tabiat Ana'nın beyin kaynaklarını serbest bırakma stratejisi, normal dünya deneyimlerine bel bağlar. Bu olmadığında beyin doğru gelişemeyerek patolojik bir duruma gelir. Dallanmak için besince zengin toprağa ihtiyaç duyan bir ağaç gibi, beyin de toplumsal ve duyusal etkileşimin zenginleştirdiği bir toprağa ihtiyaç duyar.

Bu tür bilgilerin de desteğiyle artık biliyoruz ki beyin, kendine biçim vermek için çevresinden yardım alır. Ama bu dünyayı tam olarak nasıl çeker içine – hele de yuvalandığı bu karanlık mağaranın derinlerinden? Bir insan kolunu yitirdiğinde veya sağır olduğunda ne olur? Kör bir insan, gerçekten de daha mı iyi işitir? Ve tüm bunların neden rüya gördüğümüzle ne ilgisi olabilir?

3

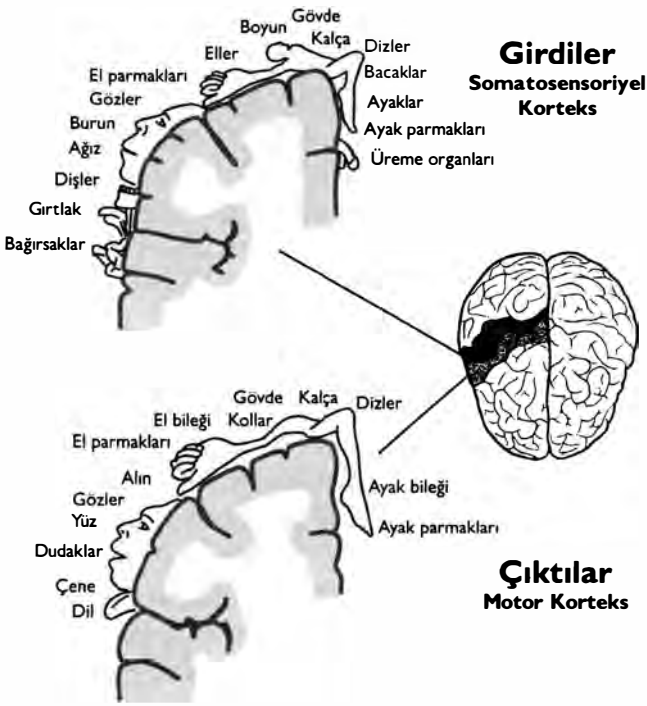
İÇ, DIŞIN AYNASIDIR

SILVER SPRING MAYMUNLARININ HİKÂYESİ

Beyin cerrahı Wilder Penfield 1951'de hassas bir elektrot ucunu, ameliyat etmekte olduğu bir adamın beynine batırdı[1] ve başa takılan bir kulaklığın hemen derininde kalacak olan beyin dokusu boyunca, şaşırtıcı bir durumun varlığını fark etti. Belirli bir noktaya küçük bir elektrik şoku verdiğinde, hasta eline dokunulduğu hissini yaşıyordu. Hemen yakındaki bir nokta uyarıldığında bu his gövdede, bir başka nokta uyarıldığında da dizde yaşanıyordu. Hastanın vücudundaki her nokta, beyinde temsil edilmekteydi.

Penfield, ardından daha derin bir gerçeğin farkına vardı. Vücutta birbirine komşu olan bölgeler, beyinde de komşu noktalara karşılık gelmekteydi. El önkola, önkol dirseğe, dirsek kola yakın temsil ediliyordu örneğin. Beyindeki bu şeritte, vücudun ayrıntılı bir haritası vardı. "Somatosensoriyel korteks"te ("bedensel duyu korteksi") bir noktadan diğerine yol alarak bütün insan bedenini bulmak mümkündü.[2]

Penfield'ın ortaya çıkardığı tek harita bu değildi. "Motor korteks" (somatosensoriyel korteksin hemen önündeki korteks şeridi) de çok benzer bir sonuç vermekteydi: Çok küçük elektrik şokları, birbirine komşu vücut alanlarındaki kaslarda küçük kasılmalara yol açıyor ve bu alanların yerleşimi de yine belirli bir düzen izliyordu.



Girdilerin beyne ulaştığı (somatosensoriyel korteks, üstte) ve çıktıların beyinden ayrıldığı (motor korteks, aşağıda) yerler, beyin üzerindeki vücut haritalarını oluşturur. Daha incelikli duyular ve daha hassas motor kontrolün söz konusu olduğu bölgeler, daha fazla alana ihtiyaç duyar.

Penfield bu vücut haritalarına "homonkulus" ("küçük adam") adını verdi.

Ancak haritaların varlığı hem tuhaf hem beklenmediktir. Nasıl *var olabiliyorlar* ki zaten? Beyin, ne de olsa kafatası içinde tam bir karanlığa hapsolmuştur. Bu bir buçuk kiloluk doku kitlesi vücudunuzun neye benzediğini bilmez bile çünkü beyin vücudunuzu doğrudan *görebileceği* bir araca sahip değildir. Sinir adını verdiğimiz veri kablolarından oluşan kalın demetlerden gevezelik ederek akıp duran elektrik atımlarından başka bir şeye erişimi de yoktur. Kemikten kafesinin içinde, hangi kol ya da bacağın nereye bağlandığını ya da hangi organın hangisiyle yan yana olduğu hakkında en ufak bir fikri olmaması beklenir. Öyleyse bu ışıksız haznenin içinde vücudun genel yerleşimi nasıl betimlenmiş olabilir?

Biraz düşününce, olasılıkla en dolaysız çözüme ulaşacaksınız: Vücut haritası, genetik olarak önceden programlanmış olmalı. Güzel tahmin!

Ama yanlış.

Sorunun yanıtı, aslında şeytani denebilecek ölçüde akıllıca.

Bu haritanın esrarıyla ilgili bir ipucu, ancak onlarca yıl sonra, beklenmedik bir olaylar zinciri sonucunda bulunabildi. Silver Spring, Maryland'deki Davranış Araştırmaları Enstitüsü'nde bir bilim insanı olan Edward Taub, beyin hasarı geçirenlerin hareket becerisini nasıl yeniden kazanabilecekleri konusunu araştırıyor ve edindiği on yedi maymunda, kesilmiş sinirlerin yeniden gelişip gelişmediğini anlamaya çalışıyordu. Maymunlardan her birinde, beyni kol ya da bacaklardan birine bağlayan bir sinir demetini dikkatle kesti. Talihsiz maymunlar, beklenebileceği gibi, etkilenen kol ya da bacaktan gelecek bütün duyuları kaybettiler ve Taub, işlevin yeniden kazanılmasını sağlayacak bir yol olup olmadığını bulmak için çalışmaya koyuldu.

1981'de laboratuvarda Alex Pacheco adında genç bir gönüllü çalışmaya başladı. Kendini meraklı bir öğrenci olarak tanıtan Pacheco, aslında yeni tomurcuklanmakta olan PETA (Hayvanlara Etik Muamele İçin Mücadele Edenler) kuruluşu adına gizlice gözlem yapmak üzere gelmişti. Geceleri çektiği fotoğraflardan bazıları, açık ki maymunların çektiği ıstırabı abartarak yansıtmak üzere özellikle kurgulanmıştı[3] ama beklenen etkiyi yarattılar. 1981 Eylül'ünde Montgomery ilçe polisi, laboratuvara baskın yaparak kapısına kilidi vurdu. Dr. Taub, altı vakada hayvanlara uygun tıbbi bakımı sağlamamaktan suçlu bulundu. Temyiz davası sonucunda kararların hepsi bozulsa da bu olaylar 1985 Hayvanları Koruma Yasası'nın çıkışına önayak oldu. Kongre, yasayla birlikte araştırma ortamlarında hayvanların bakımı için yeni kurallar belirledi.

Hayvan hakları konusunda bir dönüm noktasını temsil eden bu olayların taşıdığı önem, yalnızca Kongre'de olanları değil, bizim konumuz temelinde o on yedi maymuna olanları da kapsıyor. Suçlamadan hemen sonra maymunları kaçıran PETA, dava delillerinin çalınması suçlamasına hedef olmuştu. Araştırma enstitüsü öfkeyle maymunların

geri getirilmesinde ısrar edince, maymunların mülkiyeti konusundaki yasal mücadele iyice kızışarak ABD Yüksek Mahkemesi'ne kadar taşındı. Mahkeme, PETA'nın maymunların kendilerinde kalması talebini reddederek, hayvanların sorumluluğunu üçüncü bir tarafa, Ulusal Sağlık Enstitüleri'ne verdi. İnsanlar farklı mahkeme salonlarında birbirleriyle böylece çatışadursun, özürlü maymunlar da on yıl boyunca yiyip içip birbirleriyle oynayarak erken emekliliklerinin tadını çıkardılar.

Bu dönemin sonuna doğru maymunlardan biri, hastalık nedeniyle ölme noktasına gelince mahkeme, uyutulmasına onay verdi. Hikâyenin döndüğü nokta, işte burasıydı. Bir grup nörobilim araştırmacısı, hâkime bir öneri sundu. Maymun uyutulmadan hemen önce anestezi altına alınıp üzerinde bir beyin haritalama çalışması yapılmasına izin verilirse, siniri en başta boşu boşuna kesilmemiş olacaktı. Tartışmaların ardından, mahkeme izni verdi.

14 Ocak 1990'da araştırma ekibi, maymunun somatosensoriyel korteksine kayıt elektrotları yerleştirdi. Wilder Penfield'ın insan hastasına yaptığı gibi, araştırmacılar da maymunun el, kol, yüz gibi vücut bölgelerine dokunup nöron çıktılarının kayıtlarını aldılar. Vücudun beyindeki haritası bu şekilde ortaya çıktı.

Bulgular nörobilim camiasında epeyce yankılandı. Vücut haritası yıllar içinde değişmişti. Maymunun hasarlı sinire sahip eline hafifçe dokunulduğunda kortekste herhangi bir tepkinin ortaya çıkmaması şaşırtıcı değildi pek. Asıl şaşırtıcısı, bir zamanlar eli temsil etmiş olan küçük korteks bölgesinin, artık yüze dokunulduğunda uyarılmasıydı.[4] Vücut haritası yeniden düzenlenmişti. Homonkulus hâlâ bir maymuna ait görünüyordu belki ama sağ kolu olmayan bir maymundu bu.

Bu keşifle vücudun beyin üzerindeki haritasının bir ön genetik programlamaya tabi olabileceği düşüncesi de bertaraf edilmiş oluyordu. Çok daha ilginçti olup bitenler. Beynin haritası, vücuttan gelen etkin girdilere bağlı olarak esnek biçimde belirlenmekteydi. Vücut değiştikçe homonkulus da onu izliyordu.

Aynı beyin haritalama çalışmaları, yılın ilerleyen zamanlarında diğer Silver Spring maymunlarıyla da yapıldı. Somatosensoriyel korteks her birinde göze çarpıcı ölçüde yeni bir düzenlenme geçirmişti. Bir zamanlar siniri kesilmiş kol ya da bacağı temsil eden alanların,

korteksteki komşu bölgelerce ele geçirildiği anlaşılıyordu. Homonkuluslar, maymunların yeni vücut planlarıyla eşleşecek biçimde dönüşüme uğramıştı.[5]

Peki, beyin bu şekilde yeniden düzenlendiğinde nasıl bir *his* oluşur? Ne yazık ki maymunlar veremez bunun yanıtını. Ama insanlar verebilir.

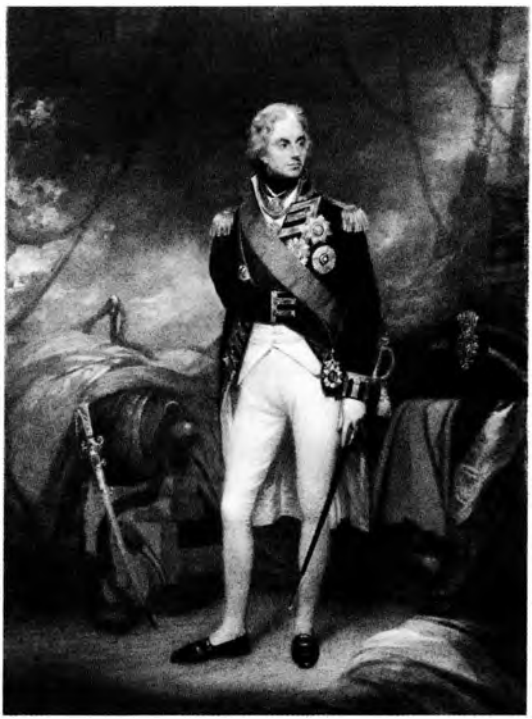
LORD HORATIO NELSON'IN SAĞ KOLUNUN ÖLÜMDEN SONRAKİ HAYATI

Kurulduğu yüksek sütunun tepesinden Londra'daki Trafalgar Meydanı'na bakan kahraman, İngiliz donanma komutanı Amiral Lord Horatio Nelson'dır (1758-1805).[6] Bu heykel, yüksekliğiyle onun Amerika kıtasından Nil Nehri'ne, Nil'den Kopenhag'a kadar mutlak zaferler kazanmasını sağlayan karizmatik liderlik vasıflarına, taktik gücüne ve yaratıcı stratejilerine işaret eder gibidir. Giriştiği son çatışma olan İngiltere'nin en büyük deniz zaferlerinden Trafalgar Muharebesi'nde, yaşadığı gibi kahramanca ölmüştür.

Amiral Nelson, deniz savaşlarındaki etkisi bir yana, nörobilime de katkıda bulunmuştu – ama bu sefer tümüyle rastlantısal olarak. Bu ilişki, Santa Cruz de Tenerife'e düzenlediği saldırı sırasında başlamıştı. 24 Temmuz 1797 gecesinde saatler on biri gösterirken İspanya tarafına ait bir tüfek namlusundan saniyede üç yüz metre hızla fırlayan bir mermi, uçuşunu Lord Nelson'ın sağ kolunda sonlandırdı. Nelson'ın kemiği parçalanmıştı. Üvey oğlu kanamayı durdurmak için fularını koluna sımsıkı bağladı ve denizciler de cerrahın heyecanla beklediği ana gemiye ulaşmak için var güçleriyle kürek çektiler. Cerrah hızlı bir muayeneden sonra Nelson'ın büyük olasılıkla yaşayacağı müjdesini verdi. Kötü haberse kangren riskinin kolun kesilmesini gerektirmesiydi. Ve dirseğin üzerinden kesilerek alınan sağ kol, doğrudan denize atıldı.

Nelson, izleyen haftalar boyunca sağ kolu olmadan yaşamayı; yemeyi, yıkanmayı, hatta ateş etmeyi öğrendi. Ampütasyon işleminden kalan kol parçasından şaka yollu "yüzgecim" diye söz eder olmuştu.

Ancak olaydan birkaç hafta sonra, tuhaf gelişmeler görülmeye başladı. Lord Nelson, kolunun hâlâ yerinde olduğunu hissetmeye –tam



Lord Horatio Nelson'ı konu alan tablo ve heykeller İngiliz müzelerinde boy gösterse de ziyaretçilerin çoğu Nelson'ın sağ kolunun yokluğunu fark etmez bile. Kolun 1797'deki ampütasyonu, bilinen ilk hayalet kol ya da bacak vakalarından birini ve Nelson'ın kendisinin olayla ilgili olarak yaptığı ilginç ama yanlış bir metafiziksel yorumu da beraberinde getirmiştir.

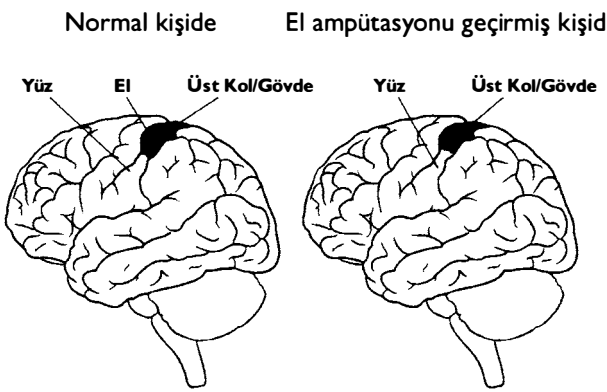
anlamıyla *hissetmeye*– başlamıştı. Koldan duyusal uyarılar alıyordu. Olmayan parmaklarının olmayan tırnaklarının, olmayan sağ el ayasına şiddetle battığından emindi.

Nelson'ın bu "hayalet kol" duyumu için yaptığı yorum iyimserdi: Ölümden sonra yaşamla ilgili su götürmez bir kanıta sahipti artık. Var olmayan bir kol bilinçli bir duyum –varlığını sonsuza kadar sürdürecek olan kendi hayaletini– ortaya çıkarabiliyorsa var olmayan bir vücut da aynı şeyi yapabilirdi.

Nelson bu tuhaf hisleri yaşayan tek kişi değildi. Birkaç yıl sonra Atlantik'in diğer yakasında Silas Weir adlı bir hekim, Philadelphia'daki bir hastanede ampütasyon ameliyatı geçirmiş birçok İç Savaş gazisini gözlemlemiş ve önemli bir bölümünün, kesilmiş kol ya da

bacaklarından hâlâ his aldığında ısrar etmesi karşısında büyük şaşkınlık yaşamıştı.[7] Yoksa Nelson'ın bedensel ölümsüzlük fikrinin kanıtı mıydı bu?

Sonradan anlaşılacağı üzere, böyle bir sonuca varmak için henüz erkendi. Nelson'ın beyni o sırada, tıpkı Silver Springs maymunlarında olduğu gibi, kendini yeniden haritalamaktaydı. Zaman içinde, tarihçilerin Britanya İmparatorluğu'nun değişen sınırlarını izlemesi gibi, bilim insanları da beynin yer değiştiren sınırlarını izlemeyi öğrendiler.[8] Modern görüntüleme tekniklerinden yararlanıldığı günümüzde ampüte edilmiş bir kolun kortekste temsil edildiği alanın yan alanlarca işgale uğradığını görebiliyoruz. Böyle bir durumda ise, el ve önkolu saran korteks bölgeleri, üst kol ve yüz alanlarınca kaplanıyor. ("Yüz de nereden çıktı?" derseniz, nedeni, vücudun temsil edildiği doğrusal haritada, yüzün o konuma karşılık gelmesinden ibaret.) Sonuçta bu temsili alanlar, bir zamanlar elin konumlandığı alana yerleşmek üzere yer değiştiriyorlar. Haritalar, tıpkı maymunlarda olduğu gibi, vücudun güncel durumunu yansıtacak biçimde dönüşüme uğruyor.



Beyin vücut planına ayak uydurur. Bir elin ampüte edilmesi durumunda, komşu korteks bölgeleri, elin bir zamanlar temsil edildiği alanı gasp etmek için yer değiştirirler.

Ancak burada saklı bir gizem daha var. Nelson neden hâlâ elini hissediyordu? Ve neden yüzüne dokunulduğunda, hayalet eline dokunulduğu hissini yaşıyordu? Komşu alanlar, elin temsil edildiği alana el koymamışlar mıydı? Şöyle yanıtlayabiliriz: Ele dokunulması hissi sadece somatosensoriyel korteksteki hücrelerde değil, bunların uyarı

akışı boyunca etkileşimde bulundukları hücrelerde, ardından o hücrelerin de etkileştiği başka hücrelerde temsil edilir. Sonuçta Nelson'ın haritası birincil somatosensoriyel kortekste hızla değişime uğramış olsa bile akışın ileriki noktalarında değişim giderek azalmıştı. Kolsuz doğan bir çocukta harita tümüyle farklı olacaktı ama Lord Nelson gibi bir yetişkinde sistem bildirisini yeniden yazarken aynı esnekliği gösteremeyecekti. Lord Nelson'ın beyninin derinlerinde, somatosensoriyel korteksten çıkan akışın daha aşağısında kalan nöronlar bağlantılarını çok da fazla değiştirmemiş, bu nedenle aldıkları herhangi bir uyarının ele dokunulmasından kaynaklandığına inanmışlardı. Nelson, bunun sonucu olarak kaybettiği uzvunun hayali varlığını algılamaktaydı.[9]

Maymunlar, amiraller ve içsavaş gazilerinin bize söyledikleri aynı: Girdiler aniden kesilince, duyu korteksi boş bırakılmayarak komşular tarafından işgal ediliyor.[10] Ampütasyon geçirmiş binlerce kişiyle yapılan beyin tarama çalışmaları sayesinde artık beynin sabitlenmiş bir donanıma benzemekten ne ölçüde uzak olduğunu görebiliyor, görev dağılımını dinamik biçimde gerçekleştirdiğine daha iyi tanıklık edebiliyoruz.

Ampütasyonun sonucu olarak beynin girdiği çarpıcı yeniden düzenlenme süreci, vücudun geçirdiği çok daha basit değişimlerle de tetiklenebilir. Mesela, bir tansiyon aleti manşonunu kolunuza sımsıkı sarsam beyniniz zayıflayarak gelen sinyallere uyum sağlamak için vücudunuzun o bölümüne daha az alan ayıracaktır.[11] Aynı şey, kolunuzdan gelen sinirlerin anestezik madde etkisiyle uzun süre baskılanmasıyla da gerçekleşir. Hatta elinizin iki parmağını birbirine bağlayıp tek bir birim halinde hareket etmelerini sağladığınızda bile kortekste temsil edildikleri iki alan zamanla tek bir alan oluşturacak şekilde birleşecektir.[12]

Öyleyse beyin, vücudun aldığı biçimi konumlandığı o karanlık odadan sürekli olarak nasıl izler?

HER ŞEY ZAMANLAMADA

Mahallenize kuşbakışı baktığınızı düşünün. Kimileri köpeğini her sabah altıda, kimileri dokuzdan sonra yürüyüşe çıkarırken, bu yürüyüşü öğle yemeğinden sonra yapmayı yeğleyenler de var, gece yürüyüşünü yeğleyenler de. Mahallenizin dinamiğini bir süre izlediğinizde, aynı zaman aralığında yürüyüşe çıkanların birbirleriyle dostluk kurma eğiliminde olduğunu da fark ediyorsunuz: Rastlantısal karşılaşmalar ve ayaküstü çene çalmalar derken, karşılıklı mangal davetlerine varıyor iş. Dostluk, zamanlamayı izliyor.

Aynı şey nöronlar için de geçerlidir. Zamanlarının küçük bir bölümünü ani elektrik atımları (spike, diken) göndererek geçirirler. Bu atımların zamanlaması kritik önem taşır. Tipik bir nörona yakından bakalım. Bu nöron, dokunmak üzere on bin komşusuna uzanacak ama komşuların hepsiyle aynı derecede güçlü bağlar kuramayacaktır. Bağların gücü zamanlamaya bağlıdır. Eğer bu nöron bir zirve değere ulaştıktan hemen sonra ona bağlı bir nöron da ulaşırsa, aralarındaki bağ güçlenecektir. Kuralı şöyle özetleyebiliriz: *Birlikte ateşlenen nöronlar, birbirlerine bağlanırlar.*[13]

Yeni bir beynin yeni kurulmakta olan mahallesinde, vücuttan gelen sinirler geniş bir dallanma alanı oluşturur, ama diğer nöronlarla yakın zamanlama içinde etkinlik gösterdikleri yerlerde kalıcı kökler salarlar. Bu eşzamanlılık, bağlarını da güçlendirir. Mangal partileri düzenlemezler belki ama daha fazla nörotransmiter (sinirsel iletici olarak da adlandırılan kimyasallar) salar ya da bu kimyasalları karşılayabilecek daha fazla reseptör (almaç) oluştururlar. Aralarındaki bağı güçlendiren de budur.

Bu basit numara, nasıl olur da bir vücut haritasına yol açar? Çevrenizdeki nesnelere çarptığınızda, dokunduğunuzda, sarıldığınızda, hafifçe vurduğunuzda veya tekme attığınızda olanları düşünün. Bir kahve kupasını elinize aldığınızda, parmaklarınızdaki belirli deri alanları aynı anda etkinleşme eğilimi gösterir. Bir ayakkabı giydiğinizde, aynı şey bu sefer ayak derinizdeki belirli alanlarda gerçekleşir. Buna karşılık yüzük parmağınız ve ayağınızın küçük parmağınızda hissettiğiniz dokunuşlarda daha az korelasyon olacaktır çünkü ikisinin de aynı anda etkin olduğu zamanlar çok azdır. Aynı şey, bütün vücudunuz için

geçerlidir: Komşu alanlar, komşu olmayan alanlara göre birbirleriyle daha fazla eşzamanlı etkinlik gösterecektir. Dünyayla bir süre etkileştikten sonra, ortak etkinlik gösteren deri alanları birbiriyle bağlantılı hale gelecek, ortak olmayanlar uzaklaşma eğilimine girecektir. Yıllar süren bu ortak etkinliklerin sonucu, komşu alanların oluşturduğu bir atlas, yani bir vücut haritasıdır. Bir başka ifadeyle, beynin bir vücut haritası barındırması, beyin hücrelerinin birbirleriyle nasıl bağlantı kuracağını belirleyen basit bir kural sayesindedir: Birbirleriyle yakın zamanlamayla etkinlik gösteren nöronlar, aralarında bağlantı kurma ve bu bağlantıları koruma eğiliminde olurlar. Vücut haritası karanlığın içinden işte böyle belirir.[14]

Peki ama girdiler değiştiğinde harita neden değişir?

KOLONİLEŞME TAM ZAMANLI BİR İŞTİR

Fransa on yedinci yüzyılın başlarında Kuzey Amerika'yı sömürgeleştirme sürecini başlatmıştı. Nasıl bir strateji izledi derseniz, Fransızlarla doldurduğu gemileri bölgeye göndererek. İşe de yaradı bu yaklaşım. Fransız yerleşimciler, yeni topraklarda kök salmaya başladılar. 1609'da kurdukları kürk ticareti karakolu sonunda, kaderinde Yeni Fransa'nın başkenti olmak yazılı Quebec kentine dönüşecekti. Fransızlar yirmi



beş yıl içinde Wisconsin'e yayılmayı başardılar. Atlantik, yeni Fransız yerleşimcilerce aşıldıkça, toprakları da büyümekteydi.

Ama Yeni Fransa'yı geçindirmek kolay değildi: Bölge, gemilerini o tarafa yönlendiren diğer güçlerle, özellikle Britanya ve İspanya'yla sürekli rekabet halindeydi. Sezgileri Fransa Kralı XIV. Louis'ye bu durum karşısında izleyebileceği önemli bir yol gösterdi: Yeni Fransa'nın köklerinin sağlamlaşmasını istiyorsa bölgeye gemi göndermeye devam etmek zorundaydı çünkü İngilizler *daha da fazlasını* göndermekteydi. XIV. Louis, kadın nüfusunun azlığından dolayı Quebec'in yeterince hızlı büyümediğinin farkındaydı. Bu nedenle Fransız nüfusunu hareketlendirmek üzere 850 genç kadını ("Kralın Kızları") bölgeye gönderdi. Bu girişimin yardımıyla Yeni Fransa'nın nüfusu 1674'te yedi bine, 1689'da da on beş bine yükseldi.

Sorun, İngilizlerin gönderdiği genç erkek ve kadın sayısının çok daha fazla olmasıydı. Yeni Fransa nüfusunun altmış bine ulaştığı 1750'de İngiliz kolonilerinin nüfusu bir milyonu bulmuştu. Bu iki güç arasında ileride gerçekleşecek savaşlarda farkı bu yaratacaktı: Amerikan Yerlileriyle kurdukları ittifaklara rağmen Fransızlar sayıca çok geri kalmışlardı. Fransız hükümeti kısa bir süre için yeni serbest bırakılan tutsakları yerel fahişelerle evlenmeye zorladı. Bu yeni evli çiftler birbirlerine zincirlerle bağlanarak, yerleşimler kurmak üzere gemilerle Louisiana'ya gönderiliyordu. Ama Fransa'nın bu çabaları bile yetersiz kalacaktı.

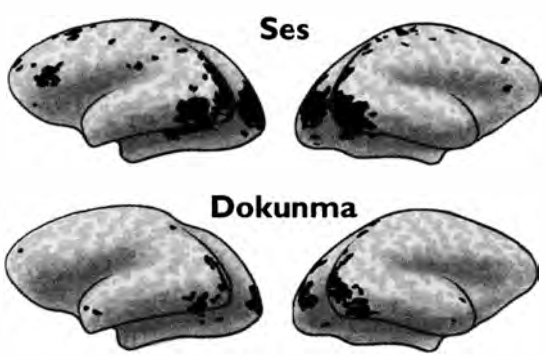
Altıncı savaşın sonuna gelindiğinde Fransızlar kaybettiklerini anladılar. Yeni Fransa lağvedildi. Kanada'nın varlıkları İngiltere'nin denetiminde dağıtıldı ve Louisiana Bölgesi genç Birleşik Devletler'e kaldı.[15]

Fransa'nın Yeni Dünya üzerindeki hâkimiyetinin güçlenip zayıflaması tümüyle gönderilen gemi sayısına bağlıydı. Fransa bu sert rekabet koşulları altında bölgeyi elde tutmaya yetecek sayıda insanı okyanusun ötesine gönderememişti. Sonuç olarak, Fransa'nın Yeni Dünya'daki varlığının izleri Louisiana, Vermont ve Illinois gibi yer adlarında görüldüğü üzere dilsel fosillerden ibaret kaldı.

Rekabetin olmadığı bir ortamda kolonileşmek kolaydır ama rekabet varsa toprağı elde tutmak sürekli çaba gerektirir. Aynı senaryo beyin için de geçerlidir. Bir vücut parçası bilgi göndermeyi bıraktığında, bölgesini kaybeder. Amiral Nelson'ın kolu Fransa, korteksi de Yeni Dünya'ydı. Kol sağlıklı bir kolonileşme süreciyle işe başlamış, bu arada

sinirler aracılığıyla beyne yararlı bilgi atımları göndererek Nelson'ın gençliği süresince, sahip olduğu alandaki hâkimiyetini korumuştu. Derken bir mermi gelmiş ve kol, saatler içinde karanlık sulara atılmıştı. Nelson'ın beyni, vücudunun bu bölgesinden yeni herhangi bir bilgi alamıyordu artık. Kol, zaman içinde beyinde sahip olduğu araziyi kaybetti. Sonunda ondan kalan tek şey, önceki varlığına işaret eden fosiller olacaktı. Hayalet ağrı hissi gibi.

Kolonileşmeyle ilgili bu gerçekler yalnızca kollar için değil, beyne bilgi gönderen bütün sistemler için geçerlidir. Gözler hasar gördüğünde, gözden oksipital kortekse (beynin arka bölümünde yer alan ve sıkça "görme" korteksi olarak nitelendirilen bölüm) uzanan sinirsel yollar boyunca gerçekleşen sinyal trafiği de kesilir; dolayısıyla korteksin bu bölümü artık "görme" korteksi olmaktan çıkar. Görsel verileri taşıyan gemiler artık buraya gelmemektedir. Değere binen alan, birbiriyle rekabet halindeki duyusal bilgi krallıkları tarafından işgal edilir.[16] Sonuç olarak kör bir insan, parmak uçlarını Braille alfabesiyle yazılmış bir şiirin üzerinde gezdirdiğinde bu dokunma işlemi oksipital korteksi etkinleştirmeye yeter.[17] Bu kişi, oksipital korteksine hasar veren bir inme geçirirse Braille harflerini çözümleme yetisini de kaybedecektir.[18] Çünkü bu korteks bölgesi, dokunma duyusu tarafından kolonileştirilmiş durumdadır.



Korteksin yeniden düzenlenmesi: Kullanılmayan korteks bölgesi, komşu bölgelerce ele geçirilir. Bu beyin taramasında görüldüğü üzere, ses ve dokunma, körlerde normalde kullanılmayan oksipital korteksi etkinleştirir. (Siyah alanlar kör kişilerde, görebilen kişilere kıyasla daha etkin olan bölgelere işaret eder.) Korteksin tepe ve vadilerinin daha iyi seçilebilmesi için görüntüdeki beyin dijital olarak "şişirilmiştir". Resim, Renier ve diğ.'den (2010) uyarlanmıştır.

Üstelik sadece dokunma değil, herhangi bir bilgi kaynağı tarafından da. Kör insanlara sesler dinletildiğinde, işitme korteksleri kadar, oksipital korteksleri de etkinleşir.[19]

Körlerde bir zamanlar görme korteksi olan alan sadece dokunma ve sesle değil, koku, tat, olayların hatırlanması, matematik problemlerinin çözülmesi sırasında da harekete geçer.[20] Yeni Dünya'nın haritasında olduğu gibi, toprak, en güçlü rakiplere kalacaktır sonunda.

Bu hikâye, son yıllarda daha da ilginç hale gelmiştir: Görme korteksinin yeni yerleşimcileri, Türkiye'de bir zamanlar Roma katedralleri olan bazı camilerde görüldüğü gibi, ilk mimariyi kısmen korurlar. Mesela, görme yetisi olan kişilerde yazılı dili görsel olarak işleyen alan, körlerin Braille alfabesiyle okumaları sırasında etkinleşen alanın ta kendisidir.[21] Benzer şekilde, görebilen kişilerde görsel hareketi işleyen ana alan, körlerde dokunsal hareket (sözgelimi, bir nesnenin parmak uçları ya da dil boyunca hareket etmesi) sırasında etkinleşir.[22] Görenlerde görsel nesne tanıma işlemi sırasında devreye giren ana nöral ağ, körlerde dokunmayla harekete geçer.[23] Bu tür gözlemler, beynin belirli duyular tarafından organize edilen bir sistemden çok, bir "görev makinesi" olduğu (yani hareketi ya da nesneleri tanıma gibi görevler üstlendiği) yolundaki varsayıma yol açmıştır.[24] Bir başka ifadeyle, beyin alanlarının derdi, belirli tipte görevleri yerine getirebilmektir; kendilerine bilgiyi ulaştıran duyusal kanal hangisi olursa olsun.

Bu noktada, sonraki bölümlerde yeniden döneceğimiz bir not düşelim: Yaş çok şeyi etkileyebilir. Kör doğan kişilerde oksipital korteks, tümüyle başka duyular tarafından ele geçirilmiştir. Erken yaşta (diyelim ki beş yaş) kör olanlarda ele geçirilen alan daha küçük, on yaşından sonra görüşünü kaybedenlerde daha da küçüktür. Beyin yaşlandıkça, yeniden düzenlenme açısından esnekliği azalır; beş yüzyıldır yerine oturmuş durumdaki Kuzey Amerika sınırlarının, artık neredeyse hiç değişmemesi gibi.

Görme kaybıyla gerçekleşen bu düzenlemeler, bütün duyuların kaybı için geçerlidir. Sözgelimi, sağırlarda işitme korteksi, görmenin yanı sıra başka işlerde de görev alır.[25] Lord Nelson'ın kolunu kaybetmesi, komşu korteks bölgelerinin işgaline nasıl yol açtıysa işitme, koku, tat ya da herhangi bir duyunun kaybı da aynı şeye yol açar. Beyin haritaları, gelen verileri en iyi temsil edecek şekilde sürekli değişime uğrar.[26]

Aramaya bir kez başlamayagörün, bu alan rekabetini bütün çevrenizde bulmaya başlarsınız. Bir büyükşehir havaalanını düşünün. Gelen uçaklar arasında belirli bir havayoluna (United) ait olanlar çok, bir başka havayoluna (Delta) ait olanlar da daha az sayıdaysa United gişelerinin çoğalıp Delta gişelerinin azalması şaşırtıcı olmaz. United giderek daha fazla biniş kapısına, daha fazla bagaj teslim noktasına ve daha fazla monitör alanına el koyacaktır. Bir başka havayolu şirketi (örneğin, Trans World Airlines) kapanacak olsa şirketin havaalanındaki varlığına dair bütün izler hızla silinip başka şirketlerce ele geçirilecektir. Beyin ve ona ulaşan duyusal girdilerde de aynı ilişki söz konusudur.

Artık rekabetin işgale nasıl yol açtığını biliyoruz. Ama bütün bunlar bir soruyu da getiriyor beraberinde: Daha fazla alan ele geçiren bir duyu, daha fazla beceriye de sahip oluyor mu?

NE KADAR ÇOK O KADAR İYİ

Robbinsville, North Carolina'da dünyaya gelen Ronnie adındaki çocuğun kör olduğu, doğumundan kısa süre sonra anlaşılmıştı. Körlüğünün kendisine Tanrı tarafından verilmiş bir ceza olduğunu iddia eden annesi Ronnie'yi tam bir yaş bir günlükken terk etti. Ronnie beş yaşına kadar yoksulluk içinde büyükanne ve büyükbabasının yanında büyüdü; ardından bir körler okuluna gönderildi.

Altı yaşındayken, annesi ziyaretine geldi. Yalnızca bir kez. Artık yeni bir çocuğu vardı; bir kız çocuğu. Ağzından dökülen sözler ise şunlardı: "Ron, kardeşinin gözlerine dokunmanı istiyorum. Bak, o kadar güzel ki bu gözler. O senin yaptığın gibi utandırmadı beni. O görebiliyor." Bu, annesiyle son görüşmesiydi.

Zorlu bir çocukluk geçirmekle birlikte, Ronnie'nin müziğe yeteneği olduğu açıktı. Bu yeteneği fark eden öğretmenleri sayesinde resmi bir klasik müzik eğitimi almaya başladı. Kemanı eline aldıktan bir yıl sonra, hocaları tarafından bir virtüöz olarak nitelendirilmekteydi. Eğitimini piyano, gitar ve birkaç başka yaylı ve ahşap üflemeli çalgı üzerinde uzmanlaşarak sürdürdü.

Ronnie bu noktadan, gününün en popüler müzisyenlerinden biri haline gelerek hem pop hem de country-western müzik piyasasını adeta kilitledi. Country türünde kırk hit parçasını liste başında tutmayı başardı ve altı Grammy Ödülü kazandı.

Ronnie Milsap, pek çok görme engelli müzisyenden sadece biri. Andrea Bocelli, Ray Charles, Stevie Wonder, Diane Schuur, José Feliciano ve Jeff Healey de bu grubun üyeleri arasında. Bu müzisyenlerin beyinleri, çevrelerindeki ses ve dokunma sinyallerinden destek alarak çalışmayı öğrenmiş ve dolayısıyla onlar da bu girdileri görme duyusuna sahip kişilerden daha iyi işleyebiliyorlar.

Körlerin müzikte yıldızlaşmalarının garantisi yoktur ama beyinlerinin yeniden düzenlenmesinin vardır. Bunun sonucu olarak kusursuz müzik kulağı körlerde çok daha fazla görülür ve bu kişiler müzikal bir sesin çok küçük kesirlerle inip çıkışını belirlemede de görebilen kişilerden on kata kadar daha başarılıdırlar.[27] Bunun nedeni, dinlemeye adanmış beyin alanlarının daha fazla olmasından ibaret. Yakınlarda yapılan bir deneyde görme yetisine sahip olan ve olmayan kişilerin bir kulakları kapatılmış ve odadaki seslerin geldiği yönü göstermeleri istenmişti. Sesin yerini belirlemek, her iki kulaktan gelen sinyallerin karşılaştırılmasını gerektirdiğinden, katılımcıların hepsinin acı birer mağlubiyet yaşayacağı tahmin edilmişti. Görebilen kişilerde sonuç bu oldu gerçekten de. Ama kör katılımcılar genel olarak seslerin konumlarını belirlemede başarılıydılar.[28] Neden mi? Çünkü dışkulaktaki kıkırdak (sadece tek kulakta bile olsa), biçimi sayesinde sesleri incelikli şekilde çeşitli yönlere yansıtarak konumları hakkında ipucu verir; ama yalnızca, kişinin bu sinyalleri yakalama konusunda yüksek duyarlığa sahip olması koşuluyla. Görme yetisine sahip kişilerde sese ayrılmış beyin alanları daha az olduğundan, incelikli ses bilgilerini ayıklama becerileri yeterince gelişmemiştir.

Ses konusundaki bu yüksek düzeyli yetenek, körler arasında yaygındır. Ben Underwood'u ele alalım. Ben iki yaşındayken sol gözü görme yetisini kaybetmiş, annesi onu doktora götürdükten kısa süre sonra iki gözünde birden retina kanseri olduğu ortaya çıkmıştı. Kemoterapi ve radyoterapi sonuç vermeyince ameliyatla iki gözü birden alındı. Ancak Ben yedi yaşına geldiğinde, yararlı ve beklenmedik bir teknik geliştirmişti bile: Dilini şaklatıyor ve geri dönen yankıları dinliyordu. Bu

yöntemle kapı aralıkları, insanlar, park etmiş arabalar, çöp bidonları gibi birçok şeyin konumunu belirleyebiliyordu. Kendi ses dalgalarının çevresindeki nesnelerden sekmesini sağlayarak, geri dönen sesleri dikkatle dinlediği bu yöntem "ekolokasyon"du.[29]

Ben'i konu alan bir belgesel, onun "dünyada ekolokasyon aracılığıyla görebilen tek kişi" olduğu iddiasıyla başlıyordu.[30] Bu cümle iki açıdan hatalıydı. Birincisi Ben, görebilen bir kişinin "görmek" olarak kabul ettiği şekilde görmüş olabilir de olmayabilir de. Bildiğimiz tek şey şu: Ben'in beyni ses dalgalarını, karşısındaki büyük nesnelerle ilgili bir anlayışa dönüştürebiliyordu. Buna daha sonra yeniden değineceğiz.

Daha önemli olan ikinci hata, Ben'in ekolokasyondan yararlanan tek kişi olmamasıydı. Körler arasında binlerce kişi bu tekniği kullanmıştır.[31] Hatta bu olgu en azından, "ekolokasyon" teriminin *Science* dergisinde "Echolocation by Blind Men, Bats, and Radar" (Kör İnsanlar, Yarasalar ve Radarlarda Ekolokasyon) başlıklı makalede ilk kez ortaya atıldığı 1940'lardan beri tartışılmaktadır.[32] Makalenin yazarı şöyle açıklar: "Kör olan birçok kişi zaman içinde, kendi oluşturduğu seslerden geri dönen işitsel işaretler aracılığıyla engellerden kaçınma yetisini önemli oranda geliştirebilir." Bu seslerin kaynağı kendi attıkları adımlar, yere vurulan bastonlar ya da parmak şaklatma gibi unsurlardır. Yazar, dikkat dağıtıcı sesler ya da kulak tıkaçlarının ekolokasyondaki başarıyı ciddi biçimde düşürdüğünden de söz eder makalesinde.

Daha önce de gördüğümüz gibi, oksipital lob sadece işitme değil, birçok başka işlev tarafından da ele geçirilebilir. Mesela ezberleme, bu fazladan kortikal araziden faydalanabilir. Sözcük listelerini ne ölçüde hatırlayabildikleri sınanan kör insanların ele alındığı bir çalışmada, oksipital loblarının *daha büyük* bir bölgesi ele geçirilmiş olan kişiler daha yüksek puanlar almışlardır. Bunun nedeni, bellek işlevlerine adanabilecek daha fazla alana sahip olmalarıdır.[33]

Hikâye çok dolaysızdır aslında: Alan ne kadar çoksa sonuç da o kadar iyidir. Bu, kimi zaman sezgilere aykırı sonuçlar da doğurur. Çoğu kişi renkli görüş için üç farklı tipte fotoreseptörle doğar ama kimilerinde bunlardan yalnızca iki ya da tek tip varken bazı kişilerde hiç yoktur. Bu kişilerde renk ayrımı yetisi ya azalmış ya da tümüyle kayıp durumdadır. Ancak renk körleri için o kadar da kötü değildir her şey. Bir kere, grinin tonları arasında ayrım yapma becerileri diğer kişilere göre

daha iyidir.[34] Çünkü aynı miktarda görme korteksine sahip oldukları halde, çözümlemeleri gereken renk çeşidi daha azdır. Elde olan korteks alanını daha basit bir iş için olduğu gibi kullanmak, gelişmiş performans sağlar. Mesela ordu, belli görevlerde renk körü askerleri dışta bırakmakla beraber, bu kişilerin kamuflaj halindeki düşmanı normal renk görüşüne sahip kişilerden daha iyi ayırt ettiğini fark etmiştir.

Önemli noktaları açıklamak için hep görme sisteminden yararlandık ama korteksteki alan dağıtımı her yerde gerçekleşir. İşitme duyusu kaybolduğunda "işitsel" beyin bölgeleri başka duyuları temsil etmeye başlar örneğin.[35] Buna bağlı olarak, sağır kişilerin çevresel görüş dikkatlerinin daha iyi olması ya da kullandığınız aksanı *görebilmeleri* çok da şaşırtıcı değildir. Bu kişiler, dudak okumada o kadar iyidirler ki ülkenin neresinden olduğunuzu bile anlayabilirler. Benzer şekilde, kol ya da bacağını ampütasyonla kaybeden bir kişide, ampütasyon noktasındaki duyu keskinleşir. Dokunma, artık daha az baskıyla da algılanabilir hale gelmiştir ve birbirine yakın konumlu iki dokunuş, tek yerine ayrı iki dokunuş olarak hissedilir. Beyin, kalan hasarsız bölgelere artık daha fazla alan ayırdığından, algının çözünürlüğü yükselir.

Beyin alanlarının yeniden düzenlenmeye tabi oluşu, eskinin "önceden belirlenmiş beyin alanları" paradigmasının yerine, daha esnek bir model koyar ortaya. Buna göre alanlar, farklı işlevleri yerine getirmek üzere yeniden görevlendirilebilir. *Görme* korteksi nöronlarını özel kılan bir şey yoktur örneğin. Bunlar, işler haldeki gözlere sahip insanların nesne kenarlarını ya da renkleri işlemelerini sağlamada rol almış nöronlardır yalnızca. Aynı nöronlar, körlerde başka türden bilgileri de pekâlâ işleyebilirler.

Eski paradigma, Kuzey Amerika'da Louisiana olarak etiketlenmiş arazi parçasının Fransızların yerleşmesi için önceden belirlendiğini ileri sürecektir. Yeni paradigma ise Louisiana Bölgesi satıldığında ve dünyanın her köşesinden insanlar gelip burada tezgâh açtığında şaşırmaz bile.

Beyin, üstlendiği bütün görevlerin dağılımını korteksin sınırlı hacmi içinde gerçekleştirmek zorunda olduğundan, arada optimal düzeyi yakalayamayan dağılımların yapılmasına bağlı sorunlar ortaya çıkabilir. Bilişsel ve sosyal yönden ciddi ölçüde yetersiz olan bir çocuğun,

sözgelimi bir telefon rehberini ezberlemede, görsel sahneleri olduğu gibi kopyalamada ya da zekâ küpünü inanılmaz hızla çözmede büyük ustalık sergileyebildiği otistik dâhilik, buna bir örnektir. Bilişsel yetersizlikler ile üstün yeteneklerin eşleşmesi, birçok kuramı da beraberinde getirmiştir. Bunlardan konumuzla ilgili olan bir tanesi, korteks alanının normal olmayan biçimde dağıtılmış olmasına dayanır.[36] Buna göre, sıra dışı beceriler, beynin tek bir işleve (ezberleme, görsel çözümleme ya da bulmaca çözme) aşırı büyük bir alan ayırdığı zamanlarda ortaya çıkar. Ancak bu süpergüçler, beynin alanlarını normal biçimde dağıttığı başka işlevler (örneğin, bir araya geldiklerinde sağlıklı toplumsal becerilere yolu açan birçok alt-işlev) pahasına kazanılmıştır.

GÖZ KAMAŞTIRICI BİR HIZ

Geçtiğimiz onyıllarda beyin plastisitesi ile ilgili yeni keşifler arasında belki de bizi en çok şaşırtanı, sürecin hızı oldu. Birkaç yıl önce McGill Üniversitesi araştırmacıları, görme yetilerini yeni kaybetmiş birkaç yetişkine beyin taraması uyguladılar. Katılımcılardan istenen, sesleri dinlemeleriydi sadece. Seslerin işitme korteksinde etkinliğe yol açması şaşırtıcı değildi elbette. Ama bu seslerle oksipital korteks de harekete geçmişti. Bu, katılımcıların görme yetilerini korudukları birkaç hafta öncesinde bile beklenmeyecek bir etkinlikti. Belki uzun süredir kör olan insanlarda olduğu kadar güçlü bir etkinlik değildi bu ama yine de tespit edilebilir seviyedeydi.[37]

Bu çalışma, görme yetisi kaybolduğunda beynin hızla değişikliklere gidebildiğini gösterdi. Ama ne kadar hızla?

Araştırmacı Alvaro Pascual-Leone, bu temel beyin değişimlerinin gerçekleşme hızını merak edenlerden biriydi. Körlere eğitim veren okullardan birinde, bu işe adanmış eğitmenlerin yedi tam gün boyunca gözleri bağlı halde yaşayıp öğrencilerinin yaşam deneyimleri hakkında birinci elden bilgi sahibi olmalarının beklenmesi dikkatini çekmişti. Eğitmenlerin çoğu seslerle ilgili becerilerinde (sesleri konumlandırma, mesafelerini belirleme ve niteliğini anlama gibi) bir artış yaşadığını söylüyordu.

> Eğitmenlerin bir kısmı, insanları konuşmalarından, hatta adımlarının temposundan hızla ve doğru biçimde belirleyebildiklerini anlatıyordu. Kimileri arabaları motor sesleriyle tanımayı öğrenmiş, bir kişi ise "motosikletleri seslerinden ayırt edebilmenin keyfi"nden söz etmişti.[38]

Pascual-Leone ve meslektaşları bunun üzerine, görebilen bir kişinin gözlerinin laboratuvar ortamında birkaç gün boyunca bağlı tutulması durumunda olacakları merak etmeye başladılar. Gerçekleştirdikleri deneyin sonucu oldukça şaşırtıcıydı: Beyin, görme yetisi olan kişilerde ortaya çıkan geçici körlükle bile yeniden düzenlenmeye (kör kişilerde görüldüğü türden) gidiyordu. Hem de hızla.

Çalışmalardan birinde, gözleri beş gün boyunca kapatılan görme yetili katılımcılar, bu sırada yoğun bir Braille eğitimine alınmışlardı.[39] Katılımcılar beş günün sonunda Braille karakterleri arasındaki ince farklılıkları algılama konusunda oldukça başarılı hale geldiler, hatta gözleri bağlanmaksızın aynı eğitimi alan görme yetili kontrol grubundan çok daha başarılı.

Ama asıl çarpıcı sonuç, tarama cihazıyla yapılan ölçümlerden anlaşıldığı üzere, beyinlerinin geçirdiği değişimlerdi. Gözleri bağlanmış katılımcılar beş gün içinde, nesnelere dokunurken oksipital korteksten yararlanır hale gelmişlerdi. Kontrol grubuysa bekleneceği gibi yalnızca somatosensoriyel korteksi devreye sokuyordu. Birinci grupta ses ve sözcükler de oksipital kortekste tepkiye yol açıyordu.

Bu yeni oksipital lob etkinliği laboratuvarda kasıtlı olarak manyetik atımlarla kesildiğinde, gözü bağlı katılımcıların Braille alfabesini okumadaki üstünlükleri ortadan kalkıyordu. Bu durum, söz konusu alanın, sürecin bir yan etkisi olarak rastlantıyla değil, gelişmiş davranışsal performansın önemli bir unsuru olarak devreye girdiğini göstermekteydi.

Gözler açıldıktan sonra oksipital korteksin dokunma ya da sese verdiği tepki bir gün içinde ortadan kalkmış, o noktada, katılımcıların beyinleri görebilen herhangi bir kişinin beyninden ayırt edilmeyecek hale geri dönmüştü.

Bir başka çalışmada ise daha güçlü beyin görüntüleme tekniklerinin yardımıyla beynin görmeyle ilgili alanları dikkatle haritalandı. Görüntüleme cihazına yerleştirilen gözleri bağlı katılımcılara, parmaklarla

incelikli bir ayırt etme işi yapmayı gerektiren bir dokunsal talimat verildi. Gözlerin yalnızca kırk ila altmış dakika arasında bağlandığı sürenin sonunda, araştırmacılar birincil görme korteksinde beliren etkinliği izleyebileceklerdi.[40]

Bütün bulguların yarattığı şok, doğrudan hızla ilgiliydi. Beynin yapı değiştirmesinin, kıtasal levhaların buzullardakine benzer kayma hareketi gibi yavaş değil, şaşırtıcı bir hızla gerçekleşebildiği anlaşılmıştı. Daha sonraki bölümlerde görsel yoksunluk sonucunda, oksipital lobda *zaten var olan* görsel-dışı girdilerin açığa çıktığını, bunun yanında, beynin değişimi hızla gerçekleştirmek için tıpkı bir fare kapanı gibi gergin bir bekleyişte olduğunu göreceğiz. Ama şimdilik önemli olan nokta, beyindeki değişimlerin, yüzyılın başında en iyimser nörobilimcilerin bile tahmin edemeyeceği bir çeviklikle gerçekleştiğidir.

Şimdi geriye çekilip büyük resme bir daha bakalım. Keskin dişler ve hızlı bacaklar hayatta kalmada ne kadar yararlıysa nöral esneklik de öyledir; çünkü beyne, birbirinden farklı ortamlarda performansını optimize etme olanağı tanır.

Ancak beyindeki bu rekabet, potansiyel bir sakınca da içerir. Duyusal etkinliklerde ne zaman bir denge bozulması yaşansa bir alanın diğerini ele geçirmesi olasılığı çıkar ortaya ve bu da oldukça hızlı gerçekleşebilir. Kaynakların yeniden dağıtımı, bir kol ya da bacak ampüte edildiğinde veya bir duyu kalıcı olarak kaybolduğunda optimal bir sonuç verebilir. Ama başka senaryolar söz konusuysa bu hızlı işgal eylemiyle aktif şekilde mücadele etmek zorunda da kalınabilir. İşte bu durum, eski öğrencim Don Vaughn ile gecenin karanlığında beyne neler olduğuyla ilgili yeni bir kuram ileri sürmemize yol açtı.

RÜYA GÖRMENİN GEZEGENİN KENDİ ETRAFINDA DÖNÜŞÜYLE NE İLGİSİ VAR?

Nörobilimde çözülememiş bilmecelerden biri, beynin neden rüya gördüğüdür. Nedir bu tuhaf gece sanrılarında olup biten? Bunların bir

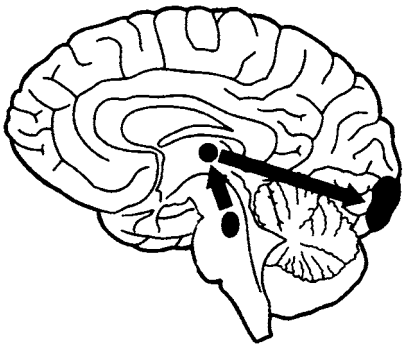
anlamı var mı, yoksa hepsi tutarlı bir hikâye arayışındaki gelişigüzel nöral etkinliklerden mi ibaret? Ve her gece oksipital korteksi bir etkinlik fırtınasıyla yakan rüyalar, görsel bakımdan neden bu kadar zengin?

Şunu bir düşünün: Beyin arazisi için ara vermeksizin süren bu kıran kırana rekabet ortamında görme sistemi, kendine özgü bir sorunla baş etmek zorundadır. Dünyanın kendi ekseni etrafındaki dönüşü, her döngüde sistemi ortalama on iki saatlik bir karanlığa boğar. (Sözünü ettiğimiz bu durum, elektrikle kutsanmış günümüz için değil, türümüzün evrimsel tarihinin yüzde 99,9999'u için geçerlidir.) Duyusal yoksunluğun, komşu bölgeleri alan ele geçirmeye ittiğini az önce gördük. Öyleyse görme sistemi bu adaletsiz dezavantajla nasıl başa çıkar?

Oksipital korteksi gece boyunca etkin tutarak.

Rüya görmenin, görme korteksini komşu alanlarca işgal edilmekten kurtardığını öne sürüyoruz. Gezegenin dönüşü sonuçta dokunma, işitme, tat ya da koku alma becerinizi hiçbir şekilde etkilemez; karanlıkta sıkıntı çeken, yalnızca görmedir. Bunun bir sonucu olarak görme korteksi kendini her gece diğer duyular tarafından ele geçirilme tehlikesiyle karşı karşıya bulur. Sınırlardaki değişimin akıl almaz hızda gerçekleştiğini de göz önüne aldığımızda (az önce sözünü ettiğimiz o kırk ila altmış dakikayı hatırlayın), korkunç bir tehlikeden söz ediyoruz demektir. Rüyalar, görme korteksinin kendini işgalden kurtarmak için başvurduğu bir yoldur.

Daha iyi anlamak için duruma biraz uzaktan bakalım. Uyuyan bir kişi, rahatlamış ve kendini dünyaya kapamış izlenimini verse de beyni aslında elektriksel olarak tümüyle aktiftir. Gecenin çoğu boyunca rüya görülmez ancak REM (hızlı göz hareketleri) uykusu sırasında özel bazı değişimler kendilerini gösterir. Kalp atışlarının ve solunumun hızı artar, küçük kaslarda seğirmeler oluşur, beyin dalgaları küçülüp hızlanır. Bu, rüyaların görüldüğü uyku aşamasıdır.[41] REM uykusu, beyin sapında yer alan ve "pons" olarak bilinen yapıdaki belirli bir nöron grubunca tetiklenir. Bu nöronlarda artan etkinliğin iki sonucundan birincisi, başat kas gruplarının felçli hale gelmesidir. İnce ayarlı nöral devreler, rüya sırasında vücudu kıpırtısız tutar. Bu ince ayar, rüya uykusunun biyolojik önemini de destekler niteliktedir: Ardında önemli bir işlev barındırmasa muhtemelen evrimleşmeyecek bir devre sistemidir bu. Kasların devre dışı kalması ise beynin,



Rüya uykusu sırasında beyin sapında başlayan etkinlik dalgaları oksipital kortekste sonlanır. Bu etkinlikleri, gezegenin dönüşü sırasında yaşadığı karanlığın gerekli kıldığını öne sürüyoruz: Görme sistemi, kendi alanını koruyabilmek için özel stratejilere ihtiyaç duyar.

vücudu hareket ettirmeksizin dünya deneyimlerini simüle etmesini mümkün kılar.

İkinci sonuç, asıl önemli olanıdır: Voltaj tepeciklerini taşıyan dalgalar, beyin sapından oksipital kortekse yol alırlar.[42] Tepecikler buraya ulaştıklarında etkinlik "görsel" olarak deneyimlenir. Ve *görürüz*. Rüyaların kavramsal ya da soyut değil, resimsel ve filmsel oluşları, bu etkinlikten kaynaklıdır.

Bu iki sonucun birleşimi rüya görme deneyimini biçimlendirir: Elektrik dalgalarının oksipital korteksi istilası görme sistemini etkin tutarken, kas felci de kişinin bu deneyimle uyumlu hareketler yapmasını engeller.

Varsayımımıza göre, görsel rüyaların ardındaki devrelerin varlığı rastlantısal değildir. Aksine, gezegen karanlığa gömüldüğünde işgali engellemek için görme sistemi etkinlik patlamaları üreterek alanı için mücadele etmeye zorlanır.[43] Oksipital korteksin kendini savunmak için kullandığı bu sistem, duyusal alanlar için süregiden bu rekabet karşısında evrilmiştir. Ne de olsa görme eyleminin içerdiği kritik işlevsel bilginin akışı, günün yarısı boyunca kesilmektedir. Öyleyse rüyalar, nöral plastisite ile gezegen dönüşünün elbirliğiyle ortaya çıkardıkları tuhaf bir ürün olabilir.

Akılda tutulması gereken önemli bir nokta, geceleri beliren bu etkinlik salvolarının anatomik bir kesinlikle ilerlemesidir: Beyin sapında

başlar ve yalnızca tek bir yere, oksipital kortekse yönlenirler. İlgili nöral devre geniş ve gelişigüzel bir dallanma gösterseydi beyindeki birçok bölgeyle bağlantı kurması da beklenirdi. Ama durum böyle değildir. Anatomik bir kesinlikle hedef belirleyen devre, tek bir alana kilitlenmiştir. Özellikle oksipital kortekse yayın yapan küçücük bir yapıdır bu: "lateral genikulat çekirdek." Bir nöroanatomistin gözüyle bakıldığında, devredeki bu yüksek özgüllük düzeyi, önemli bir işlevin işareti gibidir.

Bu açıdan ele alırsak, beyin sapından oksipital loba akan bu devreye, herkes gibi, kör doğan bir kişinin de sahip olması şaşırtıcı değildir. Öyleyse körlerde nasıl işler rüyalar? Beyinleri karanlığı umursamadığına göre, hiç rüya görmemeleri mi beklenmelidir? Yanıt çok şey anlatır bize. Doğuştan (ya da çok küçük yaşta) kör olanların rüyaları herhangi bir görsel unsur taşımasa da bu kişiler, *başka* duyularla ilgili deneyimler yaşayabilirler: yeniden düzenlenmiş bir salonda yollarını dokunarak bulmaya çalışmak ya da tuhaf hayvan bağırışları işitmek gibi.[44] Bu durum az önce öğrendiğimiz şeyle, yani kör bir kişinin oksipital korteksinin, başka duyularla ilintilendiği gerçeğiyle uyum içindedir. Sonuç olarak, doğuştan körlerde oksipital etkinlik var olmakla birlikte, bu etkinlik *görsel olmayan* bir şekilde deneyimlenir. Başka bir ifadeyle, normal koşullarda genetik yapımız gereği, karanlıkla gelen adaletsizlikle mücadelenin en iyi yolu, geceleri oksipital loba etkinlik dalgaları göndermektir ve bu, körlerin beyinleri için de geçerlidir – her ne kadar ana amaç geçerliliğini yitirmiş olsa da. Bu arada, görüşünü yedi yaşından *sonra* kaybedenlerde rüyalardaki görsel içeriğin, daha önce kaybedenlere göre daha fazla olması da dikkate değerdir. Bu durum, geç yaşta kör olanlarda oksipital lobun diğer duyularca tam olarak ele geçirilmediği, dolayısıyla deneyimlerindeki görsel unsurların da daha fazla olduğu gerçeğiyle tutarlıdır.[45]

Araya ilginç bir not düşecek olursak: İki başka beyin bölgesindeki (hipokampus ve prefrontal korteks) etkinliğin rüya uykusu sırasında azalması, rüyalarımızı hatırlamada yaşadığımız zorluğu açıklayabilir. Peki ama beyin bu iki bölgeyi neden kapatır? Bir olasılığa göre, rüya uykusunun temel işlevi görme korteksinin komşularını etkin biçimde geri püskürtmesini sağlamaksa etkinliği belleğe kaydetmeye gerek de yoktur.

Türler arasında yapılacak bir karşılaştırma, bu konuda bize çok şey söyleyecektir. İnsan, dağ gelinciği ve ornitorenk gibi bazı memeliler *tam gelişmemiş* doğarlar; yani doğduklarında ne yürüyebilir ne yiyecek bulabilir ne vücut ısılarını denetleyebilir ne de kendilerini savunabilirler. Bazı memeliler de (örneğin, kobay, koyun ve zürafa) doğduklarında *gelişmiş* durumdadır. Hepsi de dişleri, kürkleri ve açık haldeki gözleriyle doğan bu hayvanlar vücut ısılarını düzenleyebilir, doğduktan sonra bir saat içinde yürüyebilir ve katı yiyeceklerle beslenebilirler. Tam gelişmemiş halde doğan hayvanların REM uykusunda geçirdikleri sürenin –sekiz kata varabilen bir farkla– çok daha fazla, bu farkın da özellikle yaşamın birinci ayında belirgin olması, bu konuda önemli bir ipucu sağlar.[46] Bizim yorumumuza göre, plastisite bakımından yüksek düzeydeki bir beyin dünyaya geldiğinde, işleri dengede tutmak için sürekli bir mücadele vermek zorundadır. Büyük ölçüde tamamlanmış bir beynin ise gece kavgalarına karışmak için öyle pek de fazla gerekçesi yoktur.

Bunun dışında, yaşla birlikte REM uykusunda görülen düşüşe de dikkat çekelim. Bütün memeli türleri uykularının belirli bir oranını REM evresinde geçirirler ve bu oran yaşlandıkça düşer.[47] REM uykusu insan bebeklerinde toplam uyku süresinin yarısını, yetişkinlerde yalnızca yüzde 10-20'sini alır. Yaşlılarda bu oran daha da düşüktür. Türler arasında görülen bu eğilim, bebek beyninin çok daha "plastik" olduğu (9. Bölüm'de göreceğimiz gibi), dolayısıyla alan rekabetinin daha da önem taşıdığı gerçeğiyle tutarlıdır. Bir hayvan yaşlandıkça korteks işgal etkinlikleri de zorlaşır. Sonuçta, plastisitede yaşanan düşüş, REM uykusu süresindeki düşüşle paralellik gösterir.

Bu varsayım, başka gezegenlerde yaşam keşfedeceğimiz uzak gelecek için bir öngörüye de kapıyı aralar. Bazı gezegenler (özellikle de kırmızı cüce yıldızların çevresinde dolananlar) yıldızlarına bakan yüzleri hep aynı kalacak şekilde sabitlenirler; öyle ki gezegenin bir yüzü sürekli olarak gündüzü, diğeri de geceyi yaşar.[48] Bu gezegenlerdeki yaşam formlarının bizimkine uzaktan bile olsa benzeyen canlı devreli beyinlere sahip olduklarını varsayarsak, tahminen gündüz yüzeyinde yaşayanlar bizim gibi görebilecek ama rüya *görmeyeceklerdir*. Aynı öngörü kendi çevrelerinde çok hızlı dönen gezegenlere de uyarlanabilir. Gece süresinin, kortikal işgal süresinden kısa olması durumunda, rüya görmeye yine gerek kalmayacaktır. Sonuçta, bundan binlerce yıl

sonra, belki de düşler âlemindeki evrensel azınlık olup olmadığımızı nihayet anlayabileceğiz.

İÇİ DIŞI BİR

Amiral Nelson'ın, Londra'nın Trafalgar Meydanı'ndaki heykelini ziyaret edenlerin çoğu, yükseklere konumlanmış heybetli başın sol yarımküresi içindeki somatosensoriyel korteksin değişim geçirmiş olduğunu büyük olasılıkla düşünmezler bile. Ama düşünmeliler. Çünkü bu değişim, beynin en şaşırtıcı becerilerinden birini gün yüzüne çıkarır: sorumluluğu altındaki bedeni en uygun biçimde kodlamak.

Duyusal girdilerdeki değişikliklerin (ampütasyon, körlük, sağırlık durumlarında olduğu gibi) kortekste yeni ve çok büyük çaplı düzenlemelere yol açtığını gördük. Beyin haritaları genetik olarak önceden çizilmek yerine, girdiye göre biçimlendirilir ve sonuçta deneyime bağımlıdırlar. Önceden belirlenmiş küresel bir planın değil, yerel sınır rekabetinin sonucu olarak beliren ürünlerdir bunlar. Birlikte ateşlenen nöronlar birbirlerine daha sıkı bağlandığından, ortak etkinleşme süreci, beyinde oluşan birbirine komşu alanlarla temsil edilir. Vücudunuzun şekli nasıl olursa olsun, beynin yüzeyinde ister istemez haritalanacaktır.

Evrim açısından bakarsak, etkinliğe bağlı bu tür mekanizmalar doğal seçilimin, pençeden solungaca, kanattan sarılıcı kuyruğa kadar sayısız çeşitte vücut tipini hızla sınamasına olanak tanır. Doğa, yeni bir vücut planını her denemek istediğinde beynin genetiğini yeniden yazmak zorunda değildir. Yapacağı tek şey, beynin kendini ayarlamasına izin vermektir. Bu ise, bu kitap boyunca kendini gösterecek bir noktayı vurgular: Beyin bir dijital bilgisayardan çok farklıdır. Bu nedenle nöral âlemin derinlerine dalarken, geliştirdiğimiz geleneksel mühendislik kavramlarından uzaklaşıp gözlerimizi apaçık tutmak zorundayız.

Vücut planının farklı noktalarındaki bu biçimsel değişimler bütün duyusal sistemlerde olup bitenleri gözler önüne serer. Kör doğan insanlarda "görme" korteksinin işitme, dokunma ve başka duyulara uyarlandığını gördük. Bu korteks işgali olgusunun algısal sonucu,

artmış duyarlılıktır: Beyin bir işe ne kadar alan atarsa çözünürlüğü de o kadar yükselir.

Son olarak, normal görüşe sahip insanların gözleri bir saat gibi kısa bir süre için bile bağlandığında, parmakların çalıştırılması ya da ses veya sözcüklerin işitilmesi durumunda birincil görme korteksinin etkinleştiğini ve gözlerin yeniden açılmasıyla görme korteksinin yalnızca görsel girdilere tepki verecek biçimde hızla eski haline geldiğini öğrendik. İlerleyen bölümlerde keşfedeceğimiz üzere, beynin parmak ve kulaklarla birdenbire "görebilir" hale gelmesi, zaten var olan, ancak gözler veri gönderdiği sürece kullanılmayan başka duyusal bağlantılara bağımlıdır.

Görsel rüyaların nöral rekabet ve gezegen dönüşünün birer yan ürünü olduğu yolundaki varsayımımız bütün bu hususların toplamından yola çıkılarak oluşturuldu. Görme sisteminin diğer duyularca ele geçirilmesini engellemek isteyen bir organizma, karanlık bastırdığında sistemi etkin tutmanın bir yolunu bulmak zorundadır.

Öyleyse yeni bir soruya hazırız. Son derece esnek bir korteks resmi çizdik. Peki, bu esnekliğin sınırı nedir? Beyni her türlü veriyle besleyebilir miyiz? Beyin aldığı verilerle ne yapacağını kestirecek midir?

4

GİRDİLERİ SARMALAMAK

Her insan, eğer isterse kendi beyninin yontucusu haline gelebilir.

—SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (1852-1934),
Nobel Ödüllü nörobilimci

Michael Chorost'un işitme yetisi doğuştan zayıftı. Gençliğinin ilk dönemlerinde işitme cihazıyla idare edebilmişti; ama bir öğle sonrasında, kiraladığı arabayı teslim almak üzere beklerken cihazın pili bitiverdi. Ya da kendisi öyle sandı. Cihaza yeni pil taktıysa da dünyasındaki tüm sesler hâlâ kayıptı. En yakın acil servise gitti ve işitme duyusundan –sesli dünyaya tutunduğu incecik daldan– tümüyle mahrum kaldığını öğrendi.[1]

Artık işitme cihazları yaramayacaktı işine; sonuçta bu aygıtlar ortamdan yakaladıkları sesleri, sorunlu işitme sistemine yükselterek aktarmak suretiyle çalışır. Bu strateji bazı işitme kaybı türlerinde etkilidir ama ancak kulak zarından ötesinin işlevini koruması koşuluyla iş görür. İçkulak işlevini yitirmişse, ses ne kadar yükseltilirse yükseltilsin sorun çözülmez. Michael'ın durumu da buydu. Dünyanın işitsel manzarasına ilişkin algısı son bulmuş gibiydi.

Ancak kısa süre sonra son bir olasılığın varlığından haberdar oldu ve 2001'de bir kohlear* implant ameliyatı geçirdi. Bu küçücük aygıt, işlev görmekte olan işitme siniriyle doğrudan konuşmak için, onun

* Kohlea: Kulak salyangozu. (*ç.n.*)

hemen önündeki içkulağın işlevsiz donanımının etrafından dolanır (tıpkı bir veri kablosu gibi). İmplant, doğrudan içkulağa yerleştirilen bir minibilgisayardır gerçekte. Dış dünyadan sesleri alır ve çok küçük elektrotlar aracılığıyla bilgiyi işitme sinirine ulaştırır.

Ancak içkulağın hasarlı kısmının böylece devre dışı bırakılmış olması, işitme deneyiminin bir bedeli olmadığı anlamına gelmez. Michael işitme sistemini besleyen elektrik sinyallerinin ürettiği yabancı dili yorumlamayı öğrenmek zorundaydı:

> Ameliyattan bir ay sonra cihaz çalıştırıldığında, duyduğum ilk cümle "Zzzzzz szz szvizzz ur brfzzzzzz?" gibilerinden bir şeydi. Beynim, bu yabancı sinyalleri yorumlamayı peyderpey öğrendi. "Zzzzzz szz szvizzz ur brfzzzzzz?" çok geçmeden "What did you have for breakfast?"* biçimini aldı. Aylar süren alıştırmalardan sonra telefonu yeniden kullanabilir, hatta gürültülü bar ve kafelerde çene çalabilir hale bile gelmiştim.

Kulağa bir minibilgisayar yerleştirilmesi bilimkurgu gibi gelebilir ama kohlear implantlar 1982'den beri piyasada ve yarım milyondan fazla sayıda insan, kafalarında bu biyonik aygıtlarla dolaşıyor; konuşmaların, kapı zillerinin, kahkahaların ve pikolo seslerinin tadını çıkarabiliyor. Kohlear implantın yazılımı müdahale edilebilir ve güncellenebilir türden olduğu için Michael daha fazla ameliyata gerek kalmaksızın, yıllardır implant üzerinden giderek daha etkili hale gelen bilgiler alabiliyor. İmplantın aktive edilmesinden neredeyse bir yıl sonra, ona iki kat çözünürlük sunan bir programa geçiş yapabildi örneğin. Kendi ifadesiyle "Arkadaşlarımın işitmesi, yaşlandıkça kaçınılmaz olarak düşüşe geçerken, benimkisi iyiye gidecek."

Terry Byland Los Angeles yakınlarında oturuyor. Kendisine retinitis pigmentosa tanısı konmuş. Bu dejeneratif bozukluk retinayı, yani gözün arkasında yer alan fotoreseptör tabakasını etkiler. "37 yaşındaysanız kör olmak üzere olduğunuz ve yapılabilecek hiçbir şey olmadığını duymak, isteyebileceğiniz son şeydir," diyor.[2]

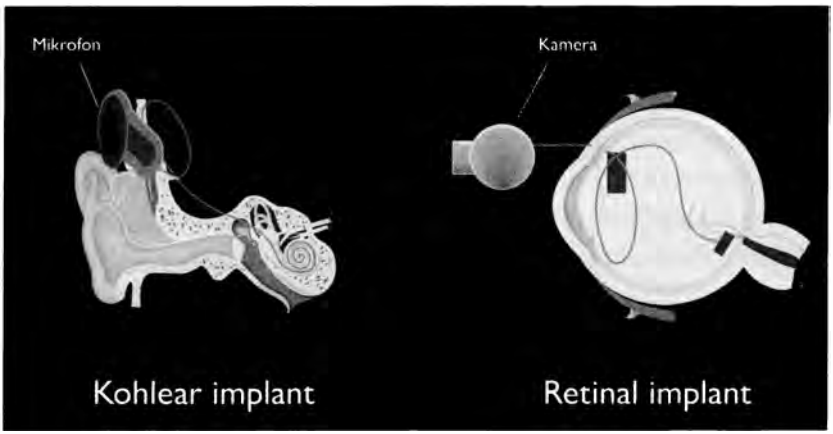
* *İng.* Kahvaltıda ne yedin? (*ç.n.*)

Ama Terry, sonradan öğrendi ki eğer cesaret edebilirse yapabileceği bir şey *vardı*. Böylece 2004'te deneysel bir işlemin –biyonik retina çipi implantının– ilk uygulandığı hastalardan biri oldu. Bir elektrotlar dizgesi içeren bu küçücük cihaz, gözün arkasındaki retinaya bağlanır ve gözlük üzerine takılmış olan bir kamera, aldığı sinyalleri kablosuz olarak çipe gönderir. Elektrotlar, kalan sağlam retina hücrelerine küçük elektrik atımları göndererek atıl kalmış görme siniri (optik sinir) boyunca sinyaller üretir. Sonuçta Terry'nin görme siniri işlevini yürütebilmekteydi: Fotoreseptörler ölmüş olduğu halde, sinirin kendisi beyne taşıyabileceği sinyallerin açlığını çekiyordu.

Southern California Üniversitesi'ndeki bir araştırma ekibi, bu minyatür çipi Terry'nin gözüne yerleştirdi ve sorunsuz gerçekleşen ameliyatın ardından asıl test başladı. Ekip, sessiz bir beklenti içinde elektrotları tek tek açarak çalışıp çalışmadıklarını kontrol etti. "Bir şeyler görmek, inanılmaz bir deneyimdi," diye anlatıyordu Terry. "Elektrotları tek tek denedikleri sırada ortaya çıkan şey, bir 10 sentin boyutlarına bile ulaşmayan küçük ışık noktacıklarıydı."

İzleyen günlerde Terry'nin görebildikleri, bu küçük ışık kümecikleriyle kaldı. Çok da heyecan verici bir başarı sayılmazdı bu belki ama görme korteksi zaman içinde sinyallerden daha iyi bilgi çekmenin yolunu buldu. Terry bir süre sonra on sekiz yaşındaki oğlunun varlığını algılamaya başlamıştı bile. "Oğlum yanımdaydı ve birlikte yürüyorduk (...) onu beş yaşından beri ilk kez görüyordum. O gün epeyce gözyaşı döküldüğünü söylemekten çekinmiyorum açıkçası."

Terry'nin gördüğü net bir görsel tablo değil, daha çok pikselli bir levha gibiydi ama karanlığın kapısı bir parça da olsa aralanmıştı. Beyni, aradan geçen zaman içinde sinyalleri okumayı daha iyi becermeye başladı. Şimdi yüzlerin ayrıntılarını kesin biçimde olmasa da kabaca belirleyebiliyor. Kullandığı retina çipinin çözünürlüğü düşük olduğu halde, rastgele konumlanmış nesnelere dokunabiliyor, yaya geçidinin beyaz şeritlerini ayırt ederek kent sokaklarında karşıdan karşıya geçebiliyor.[3] Gururla şöyle anlatıyor Terry: "Kendi evimde ya da bir başkasının evinde olduğum zamanlarda, istediğim odaya girip ışıkları açabiliyor ya da pencereden gelen ışığı görebiliyorum. Sokakta yürürken, kenarlarını seçebildiğim için aşağı sarkmış ağaç dallarından kaçınabiliyorum."



Bu dijital aygıtların yaptığı, doğal biyolojinin diline tam olarak uymayan bilgiyi alıcıya iletmektir. Beyin yine de bu verilerden yararlanmanın bir yolunu bulur.

Kulak ve göz için protez geliştirilmesi fikri bilim camiasında onlarca yıl boyunca ciddi biçimde ele alındı. Ama bu teknolojilerin işe yarayıp yaramayacağından kimse emin değildi. Çünkü içkulak ve retina, aldıkları duyusal bilgiyi son derece karmaşık ve incelikli biçimde işlerler. Öyleyse doğal biyolojik duyu organlarımızın dili yerine Silikon Vadisi'nin diliyle konuşan küçük bir elektronik çip, beynin geri kalanı tarafından anlaşılabilir miydi? Yoksa aygıtın minyatür ölçekteki elektrik atım örüntüleri, izleyen nöral ağlar için tümüyle anlamsız mı olacaktı? Bu aygıtlar olsa olsa, yabancı bir ülkeyi ziyareti sırasında kendi dilinin anlaşılması için sürekli bağırmaktan medet uman kaba saba bir gezgin olarak değerlendirilebilirdi.

Şaşırtıcıdır ki böylesine inceliksiz bir strateji, beyin söz konusu olduğunda işe yarıyor: Ülke insanlarının tümü, yabancının dilini anlamayı öğreniyor.

Peki ama nasıl?

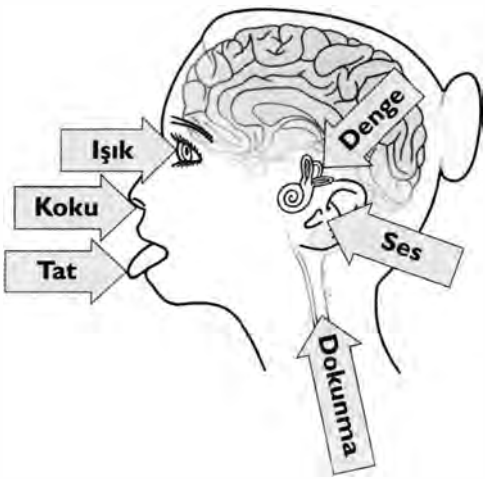
Bunu anlamak için bir kat daha derine inmemiz gerekiyor: Bir buçuk kiloluk beyin dokunuz, çevrenizdeki dünyanın herhangi bir bölümünü doğrudan işitmez ve görmez. Kafatasınız içinde karanlık ve sessiz bir mahzene hapsedilmiş durumdadır. Görebildiği tek şey, farklı veri kabloları boyunca akıp duran elektrokimyasal sinyallerdir. Ve kullanabileceği bütün malzeme de bundan ibarettir.

Beyin, nasıl yaptığını hâlâ anlamaya çalıştığımız yollarla, aldığı sinyallerden örüntüler çıkarma konusunda inanılmaz beceriklidir. Bu örüntülere anlam yükler; anlam ise öznel deneyimlerin ortaya çıkışında rol oynar. Beyin, karanlıktaki kıvılcımları sizin dünyanızı yansıtan tutarlı bir film şeridine dönüştüren bir organdır. Bilgisayarınızdaki muhteşem görüntülü ekran koruyucu temelde nasıl sıfırlar ve birlerden oluşuyorsa hayatınızdaki bütün vurgular, aromalar ve duygular da karanlıkta oradan oraya zıplayıp duran trilyonlarca sinyale kodlanmıştır.

DÜNYAYI ELE GEÇİREN PATATES KAFA TEKNOLOJİSİ

Farz edin ki doğuştan kör insanların yaşadığı bir adaya gittiniz. Bu insanların hepsi, Braille alfabesini kullanarak, küçücük girdi örüntülerini parmak uçlarıyla hissederek okuyor. Parmakları bu minik tümsekleri tararken kahkaha attıklarına ya da gözyaşlarına boğulduklarına tanık oluyorsunuz. Onca duygu parmak uçlarına nasıl sığabiliyor? Onlara *kendiniz* bir roman okurken, yüzünüzdeki o iki küreyi belirli çizgi ve kıvrımlara yönelttiğinizi ve her kürenin, fotonlarla gerçekleşen çarpışmaları kaydeden bir hücre alanına sahip olduğunu, bu şekilde simgelerin şekillerini kayıt altında tutabildiğinizi anlatıyorsunuz. Açıkladığınıza göre, şekillerin farklı sesleri temsil ettiği bir dizi kuralı ezberliyorsunuz; dolayısıyla her biri için kafanızdan farklı bir ses geçiyor ve konuşan birinin ağzından çıkacakları işittiğinizi hayal ediyorsunuz. Sonuçta ortaya çıkan nörokimyasal sinyal örüntüsü sizi ya kahkahalara ya da gözyaşına boğuyor. Tabii, iddianızı anlaşılması zor buldukları için adalıları suçlayamıyorsunuz.

Sonunda hem siz hem de onlar, basit bir gerçeğin varlığını kabul etmek durumdasınız: Parmak ucu veya göz küresi, yalnızca dış dünyadan gelen bilgileri beyindeki elektrik atımlarına dönüştüren çevresel (periferik) aygıtlardır. Bütün ağır işi, yani yorumlama işini üstlenen beyindir. Adalılarla nihayet uzlaşma halindesiniz: Sonuçta her şey beynin içinde koşuşturup duran trilyonlarca voltaj tepeceğine gelip dayanır – bilginin hangi yöntemle girdiği önemli değildir.



Duyu organları, beyne birçok farklı kaynaktan bilgi iletirler.

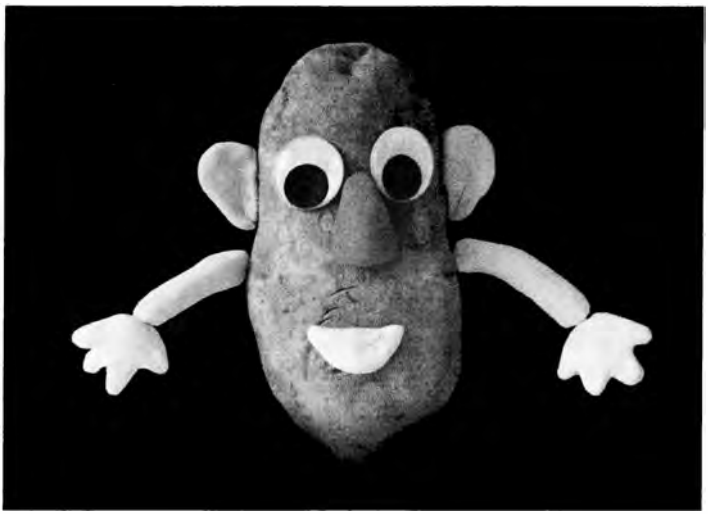
Beyin, kendisine gelen bilgi ne türden olursa olsun ona göre ayarlama yapmayı ve alabileceği her şeyi almayı öğrenecek, veriler dış dünyayla ilgili önemli bir şeyi yansıtacak yapıya sahip olduğu (ve ilerleyen bölümlerde göreceğimiz başka birtakım gereklilikler de karşılandığı) sürece, bunların şifrelerini çözmenin bir yolunu bulacaktır.

Bu durum, ilginç bir sonuç doğurur: Beyin verinin nereden geldiğini ne bilir ne de umursar. Nasıl bir bilgi gelirse gelsin, onu kullanmak için çözüm arayışına girer sadece.

Bu da beyne çok verimli bir makine niteliği kazandırır. Genel amaçlı bir bilgiişlem aygıtıdır beyin. Eldeki sinyalleri emer ve onlarla ne yapacağını –neredeyse tümüyle optimal biçimde– belirler. Bu noktada böyle bir stratejinin Tabiat Ana'yı farklı türden girdi kanallarını kurcalamak üzere serbest bırakacağını öne sürüyorum.

Buna Patates Kafa evrim modeli adını verdim. Bu ismi kullanmamın nedeni, bildiğimiz ve sevdiğimiz bütün alıcılarımızın (gözlerimiz, kulaklarımız ya da parmak uçlarımız gibi "sensörlerin") aslında çevresel tak-çalıştır aygıtlarından ibaret oluşunu vurguluyor olması. Gerekli parçaları yerine takıyorsunuz ve işte, her şey hazır. Aldığı verilerle ne yapacağına karar vermekse beynin işi.

Sonuç olarak, Tabiat Ana'nın yeni duyular üretmek için yeni çevresel aygıtlar geliştirmesi yeterlidir. Bir başka ifadeyle, beynin işleme



Patates Kafa varsayımı: Farklı türden duyu organlarını sisteme taktığınızda, beyin onlardan yararlanmanın yolunu bulacaktır.

ilkelerini bir kez çözdükten sonra dünyanın farklı enerji kaynaklarından bilgi toplayacak farklı türden girdi kanallarıyla oynayabilir. Elektromanyetik ışınımın yansımasıyla taşınan bilgi, gözlerdeki foton detektörleri tarafından yakalanır. Hava basınç dalgaları kulaklardaki ses detektörleri tarafından yakalanır. Isı ve doku bilgisi, deri adını verdiğimiz geniş duyusal malzeme tabakalarınca bir araya getirilir. Kimyasal işaretler ise burun veya dil tarafından koku ya da yalama yoluyla alınır. Ve tüm bunlar kafatasının karanlık mahzeninde koşuşturan elektriksel tepeciklere dönüştürülür.

Beynin herhangi bir duyusal girdiyi kabul etme konusundaki bu inanılmaz yeteneği, yeni duyuların araştırılma ve geliştirilme yükünü dış alıcılara yönlendirir. Bir burun, göz ya da ağız parçasını bir Patates Kafa üzerine nasıl gelişigüzel takabiliyorsanız, doğa da dış dünyadaki enerji kaynaklarını algılamak amacıyla beyne çok çeşitli araçlar bağlayabilir.

Bilgisayarınızda kullandığınız çevresel tak-çalıştır aygıtlarını düşünün. "Tak-çalıştır" özelliğinin önemi, bilgisayarınızın birkaç yıl sonra icat edilecek olan XJ-3000 SuperWebCam'in varlığından haberdar olmak zorunda kalmak yerine, bilinmeyen herhangi bir cihazla arayüz bağlantısı kurabilme ve yeni cihaz bağlandığında akacak verileri almaya açık olmasıdır. Bunun bir sonucu, yeni bir çevresel aygıt piyasaya

her sürüldüğünde yeni bir bilgisayar satın almak zorunda kalmamanızdır. Elinizde çevresel aygıtların standardize bir biçimde eklenebileceği girişleri bulunan tek ve merkezi bir cihaz vardır.[4]

Çevresel algılayıcılarımızı tek haldeki bağımsız aygıtlar olarak ele almak çılgınca gelebilir. Sonuçta bu aygıtların yapımında devreye giren binlerce gen yok mudur? Ve bu genler de vücudun diğer parça ve bölgeleriyle örtüşmez mi? Burun, göz, kulak ya da dili bağımsız birer aygıt olarak görebilir miyiz gerçekten? Bu soruların cevabını araştırırken epeyce derinlere daldım. Ne de olsa, Patates Kafa modeli doğruysa genetik düzenlenme içinde bu çevresel birimlerin varlığına ya da yokluğuna yolu açan basit anahtarlar da bulabilirdik belki.

Anlaşıldığı üzere bütün genler eşit değildir. Genler son derece hassas bir düzen içinde "açılırlar"; öyle ki bir tanesinin ifade edilmesi, izleyen genlerin de karmaşık bir ileri ve geri besleme algoritması kapsamında ifadesini tetikler. Bunun bir sonucu olarak, örneğin bir burnun yapımını düzenleyen genetik program, kritik düğüm noktaları içerir. Bu program açılıp kapatılabilir.

Bunu nereden mi biliyoruz? Genetik bir aksaklıkla ortaya çıkan mutasyonlara bakın. Sözgelimi, "arini" adı verilen bozuklukta çocuk burunsuz doğar. 2015'te Alabama'da doğan küçük Eli da bu bebeklerden biriydi; üstelik burun boşluğuna ve koku sistemine de sahip değildi.[5] Böyle bir mutasyon irkiltici ve anlaşılması zor gelebilir ama tak-çalıştır çerçevesinden bakıldığında arini de öngörülebilir bir durumdur aslında: Genlerde küçük bir değişiklik, çevresel aygıtın üretilmesini engelleyiverir.



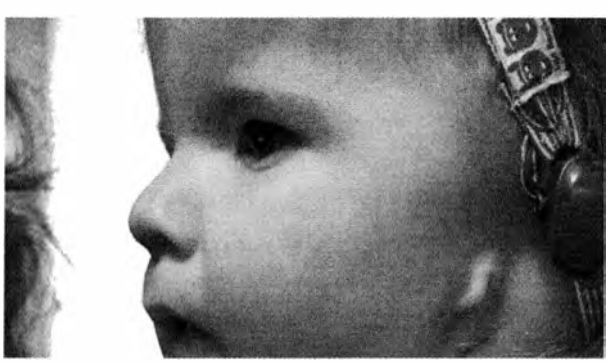
Küçük Eli burunsuz doğmuştu.



Küçük Jordy doğduğunda gözleri yoktu; gözkapaklarının altı deriden ibaretti.

Eğer duyu organlarımızı tak-çalıştır aygıtları olarak düşünürsek bir çocuğun, mesela gözsüz doğduğu tıbbi vakalarla karşılaşmayı da bekleyebiliriz. İşte "anoftalmi" adı verilen durum da tam olarak budur. 2014'te Chicago'da doğan küçük Jordy'yi ele alalım.[6] Jordy'nin gözkapaklarının altında düzgün yüzeyli ve parlak bir yumuşak doku tabakası var. Davranışları ve beyin görüntüleri beyninin kalan kısmının gayet iyi çalıştığını gösterse de, Jordy fotonları yakalayacak çevresel bir aygıta sahip değil. Büyükannesi, "Bizi dokunma yoluyla tanıyor," diye anlatıyor. Annesi Brania Jackson ise sağ omzuna Braille alfabesiyle "Jordy'yi seviyorum" dövmesi yaptırmış. Amacı, Jordy'nin büyürken buna sık sık dokunabilmesi.

Bazı bebekler de kulaksız doğar. Nadiren görülen "anoti" ile doğan çocuklarda kulağın dış kısmı tümüyle eksiktir.



Kulaksız doğmuş bir çocuk.

Bağlantılı olarak, tek bir proteinin üretimini etkileyen bir mutasyon, bu sefer de *iç*kulak yapılarının yokluğuna neden olur.[7] Beklenece-ği gibi, bu mutasyonları taşıyan çocuklar, havadaki basınç dalgalarını elektriksel atımlara dönüştürecek çevresel aygıtlara sahip olmadıklarından, tümüyle sağırdır.

Peki, diliniz olmadan doğduğunuz halde diğer yönlerden tümüyle sağlıklı olabilir misiniz? Elbette. Auristela adındaki Brezilyalı bebeğin yaşadığı da buydu. Yıllarını yemek, konuşmak ve nefes almak için mücadele ederek geçirdikten sonra, yetişkinliğinde Auristela'ya ameliyatla dil takıldı. Şimdilerde ise, dilsiz büyümenin nasıl bir şey olduğu üzerine belagatli röportajlar veriyor.[8]

Bizden sökülebilecek parçaların oluşturduğu sıra dışı liste, böylece sürüp gider. Bazı çocuklar deri ve iç organlarında ağrı reseptörleri olmadan doğar; dolayısıyla da yaşamın getirdiği ağrı ve acı verici olaylara tümüyle duyarsızdırlar.[9] (İlk bakışta ağrısız yaşam bir avantajmış gibi gelse de durum böyle değildir: Ağrı deneyimlemeyen çocuklar yara bere içinde kalır ve neden kaçınmaları gerektiğini bilmediklerinden, sıklıkla küçük yaşlarda ölürler.) Deri, ağrı dışında gerilme, kaşınma ve sıcaklık reseptörleri gibi birçok başka türden reseptör de içerir. Bir çocuk bunların tümünden değil, bir kısmından yoksun doğabilir. Hangileri olduğuna bakılmaksızın birtakım reseptörlerin yokluğu, dokunuşu hissedememe anlamına gelen "anafi" terimiyle anılır.

Bu bozukluklar grubuna baktığımızda, çevresel algılayıcılarımızın belli genetik programlar sayesinde ortaya çıktığı açıklık kazanıyor. Genlerde küçük bir işlev bozukluğu programı durdurabiliyor ve beyin o programın tanımladığı verileri alamıyor.

Çokamaçlı korteks fikri, evrim sırasında yeni duyusal becerilerin nasıl kazanıldığına bir öneri getiriyor: Mutasyonla değişime uğramış bir çevresel algılayıcıyla beynin belirli bir alanına yeni bir veri akışı yönleniyor ve nöral işleme düzeneği işe koyuluyor. Dolayısıyla yeni beceriler sadece yeni duyusal aygıtlara gereksinim duyuyor.

Hayvanlar âlemine baktığımızda her biri milyonlarca yıllık evrimin ürünü olan onca acayip çevresel aygıtla karşılaşmamızın nedeni budur. Bir yılan olsaydınız DNA diziliminiz kızılötesi bilgiyi yakalayacak

ısı çukurcukları oluşturacaktı. Bir siyah hayalet bıçak balığı olsaydınız genetik yazılımınız elektrik alanındaki düzensizliklere duyarlı elektrosensörler üretecekti. Bir tazı olsaydınız genetik kodunuz, koku reseptörleriyle tıka basa dolu kocaman bir burun için gerekli talimatları içerecekti. Bir mantis karidesi olsaydınız genetik yazılımınız size on altı farklı tipte fotoreseptör içeren gözler verecekti. Yıldız burunlu köstebekler, burunlarında parmağa benzer yirmi iki uzantı taşır ve bunlarla ortalığı kolaçan ederek, bulundukları tüneller sisteminin üç boyutlu modelini inşa ederler. Birçok kuş, inek ve böcekte de, konumlarını gezegenin manyetik alanına göre belirlemelerini sağlayan manyetoreseptörler bulunur.

Böylesi bir çeşitlilikteki çevresel birimi barındırmak için beynin her seferinde yeniden mi tasarlanması gerekir peki? Bana göre hayır. Evrimsel zaman ölçeği içinde rastlantısal mutasyonlar tuhaf yeni alıcılar ortaya çıkarır ve beyne de yalnızca bunlardan nasıl yararlanılacağını bulmak düşer. Beyin işleyişinin ilkeleri bir kez belirlendikten sonra, doğa artık yeni alıcıların tasarımıyla uğraşmakta özgürdür.

Bu bakış açısı, bir dersin öne çıkmasını sağlıyor: Doğuştan sahip olduğumuz aygıtlar (gözler, burunlar, kulaklar, diller, parmak uçları), sahip olup olabileceğimiz yegâne araçlar kümesi değildir. Bunlar sadece, uzun ve karmaşık bir evrim sürecinden bize miras kalanlardır.

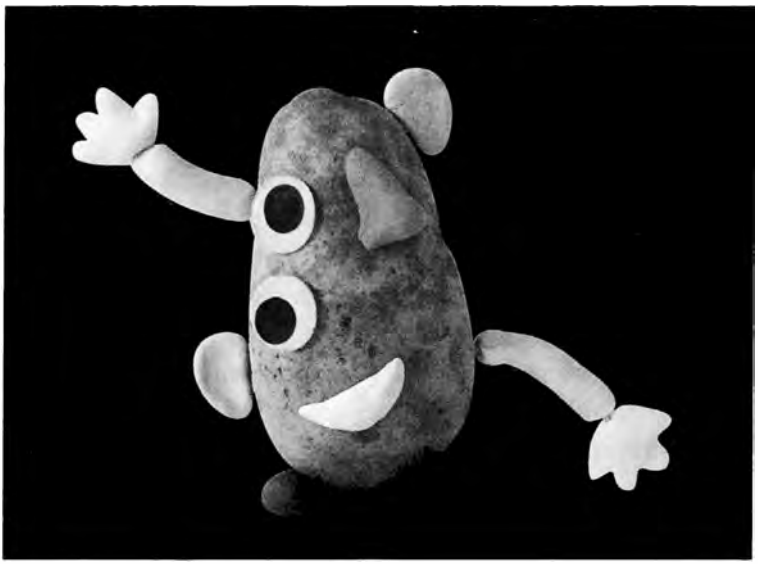
Ama yetinmek zorunda olduğumuz yegâne alıcı grubu bu olmayabilir.

Ne de olsa beynin gelen her türlü bilgiyi sarmalama yeteneği, bir duyusal kanalın bir başka duyuya ait bilgiyi taşımasını sağlayabileceğimiz gibi tuhaf bir öngörüyü akla getiriyor. Örneğin, bir video kameranın veri akışını derideki dokunma hissine dönüştürsek beyin sonunda görsel dünyayı teninde hissederek yorumlayabilir mi?

Duyusal ikame olgusunun tuhaftan da öte dünyasına hoş geldiniz.

DUYUSAL İKAME

Beyne yanlış kanallarla veri aktarılabileceği fikri, varsayımsal ve tuhaf görünebilir. Ama bunu gösteren ilk makale, ilk kez yarım yüzyılı aşkın bir süre önce *Nature* dergisinde yayımlandı.



Duyusal ikame: beyne alışılmadık yollardan bilgi aktarılması.

Hikâye 1958'de, Paul Bach-y-Rita adlı bir hekimin korkunç bir haber almasıyla başlamıştı: Bir üniversite hocası olan altmış beş yaşındaki babası ciddi bir inme geçirmiş ve tekerlekli sandalyeye mahkûm olmuştu. Ne doğru dürüst hareket edebiliyor ne de konuşabiliyordu. Paul ve Meksika Üniversitesi'nde tıp okuyan kardeşi George, babalarına yardım etmenin yollarını aramaya başladılar ve birlikte, bire bir çalışmayı gerektiren, kişiye özel bir rehabilitasyon programının öncülüğünü yaptılar.

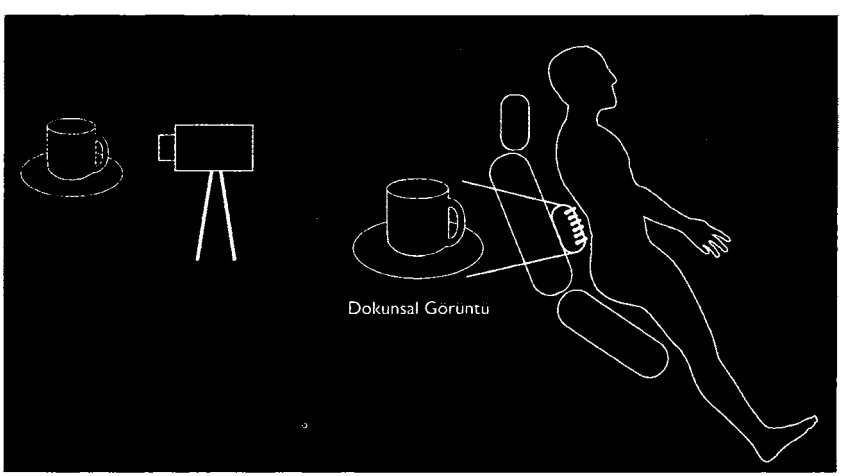
Paul şöyle anlatmıştı: "Üzülerek de olsa zorluyorduk onu. [George] yere bir şey fırlatıyor ve 'Al onu baba,' diyordu örneğin."[10] Yahut ona, komşuların ayıplayan bakışları altında balkonu süpürtmeye bile çalışıyorlardı. Ancak babaları bu çabaların karşılığını alacaktı. Paul'ün babasından alıntıladığı üzere, "bu işe yaramaz adam, artık bir şeyler yapar hale gelmişti."

İnme hastaları sıklıkla sadece kısmi iyileşme gösterir, çoğunlukla da hiç göstermezler. Bu nedenle kardeşler boşa umutlanmamaya çalışıyorlardı. Beyin dokusunun, bir inme sonucu öldüğünde, işlevini yeniden kazanmayacağının farkındaydılar.

Ancak babalarının iyileşmesi, beklenmedik ölçüde iyi bir seyir izledi; hatta o kadar iyi ki, yeniden üniversitede çalışmaya başladı ve ancak çok sonraları, Kolombiya'da 2700 metrede doğa yürüyüşü yaparken geçirdiği kalp krizi nedeniyle kaybetti hayatını.

Bu olay, babasının gösterdiği sıra dışı iyileşme karşısında derinden etkilenen Paul'ün hayatında önemli bir dönüm noktası oldu; çünkü beynin kendini yeniden eğitebildiğini, bazı beyin bölümleri sonsuza kadar yitirilse bile diğer bölümlerin kayıp işlevleri üstlenebileceğini fark etmişti. San Francisco'da bulunan Smith-Kettlewell Enstitüsü'ndeki profesörlüğünden ayrılarak Santa Clara Valley Tıp Merkezi'nde rehabilitasyon tıbbı üzerinde uzmanlık eğitimine başladı. Amacı, babası gibi hastalar üzerinde çalışmak ve beynin kendine uyguladığı bu yeniden eğitim sürecinin nasıl gerçekleştiğini anlamaktı.

1960'ların sonuna gelindiğinde Paul Bach-y-Rita, çoğu meslektaşının saçma bulduğu bir programı izlemekteydi. Bu çerçevede, laboratuvarında kör bir gönüllüyü, yeniden biçimlendirdiği bir dişçi koltuğuna oturtuyordu. Koltuğun arkasına, üzerine dört yüz Teflon ucun yerleştirildiği yirmiye yirmilik bir ızgara eklenmişti. Uçlar mekanik solenoitler (sarmal bobinler) aracılığıyla uzatılıp geri çekilebilmekteydi. Bir kamera, kör gönüllünün baş seviyesinin üzerinde kalacak şekilde bir tripod üzerine oturtulmuştu. Kamera kaynaklı video akışı, gönüllünün sırtını yasladığı uçlarda küçük basınç atımlarına neden oluyordu.



Bir kameradan gelen video akışı, sırtta dokunma duyusuna dönüştürülüyor.

Kameranın önünden çeşitli nesneler geçirilirken koltuktaki katılımcı dikkatini sırtından aldığı duyumlara veriyordu. Günler süren eğitimden sonra, nesneleri verdikleri dokunsal hisse göre belirlemede daha başarılı olmaya başladı. Bu, aslında bir kişinin, bir başkasının sırtına parmağıyla bir şekil çizip diğerinin de çizilen şekil ya da harfi bilmeye çalıştığı bir oyun gibiydi. Deneyimin kendisine tam olarak *görme* denemezdi belki ama bu da bir başlangıçtı.

Bach-y-Rita'nın bulguları, alanda büyük yankı uyandırdı: Görme engelli denekler yatay, dikey ve diyagonal çizgileri birbirlerinden ayırt etmeyi öğrenmeye başlamışlardı. Yöntemde daha fazla ilerlemiş olan kullanıcılar ise sadece sırtlarında hissettikleri dokunuşlardan yola çıkarak basit nesneleri, hatta yüzleri bile ayırt etmeyi öğrenebiliyorlardı. Bach-y-Rita, bulgularını *Nature* dergisinde "Vision Substitution by Tactile Image Projection" (Görme Duyusunun Dokunsal Görüntü Projeksiyonu Yoluyla İkame Edilmesi) gibi şaşırtıcı bir başlık altında yayımladı. Bu, yeni bir dönemin –duyusal ikame döneminin– başlangıcıydı.[11] Bach-y-Rita, bulgularını oldukça basit bir biçimde özetlemişti: "Beyin deriden gelen bilgiyi, gözlerden geliyormuş gibi kullanabilir."

Teknik, Bach-y-Rita ile meslektaşlarının tek ve basit bir değişiklik yapmasıyla büyük bir ilerleme kaydetti: Kamerayı koltuğun üzerine yerleştirmek yerine, kör kullanıcının istediği noktaya yöneltebileceği bir düzenek kuruldu. Kullanıcı, böylece "göz"ün nereye baktığını kendisi kontrol edebilecekti.[12] Peki, neden yapıldı bu değişiklik? Çünkü duyusal girdiler en iyi, kişinin dünyayla etkileşim halinde olduğu durumlarda öğrenilir. Kamerayı kullanıcıların kontrolüne vermek, kas çıktısıyla duyusal girdi arasındaki döngüyü kapamıştı.[13] Algı pasif bir olgu olarak değil, çevreyi etkin biçimde incelemenin bir yolu, belirli bir eylemin, beyne geri dönen bilgide belirli bir değişimle eşleştiği bir olgu olarak anlaşılabilir ancak. Bu döngünün nasıl (göz küresini hareket ettiren kasların etkinliğiyle mi, yoksa bir kameraya açı veren kol kaslarıyla mı) kurulduğu beyni ilgilendirmez. Eylem nasıl gerçekleşirse gerçekleşsin beyin, çıktının girdiyle nasıl ilişkilendiğini çözmeye bakar.

Yöntemden yararlanan kullanıcıların öznel deneyimleri, görsel nesnelerin sırt derisinde değil, "orada bir yerde" konumlanmış olduğu biçimindeydi.[14] Bir başka ifadeyle, görme gibi bir şeydi bu. Sonuçta, kafede arkadaşınızın yüzünü gördüğünüzde fotoreseptörleriniz



Elektroftalm cihazı, kameradaki görüntüyü baş üzerinde titreşimlere dönüştürüyordu (1969).

etkilendiği halde, sinyalin gözlerinizde olduğunu algılamazsınız. Algıladığınız şey, onun *orada* ve size uzaktan el sallıyor olduğudur. Aynısı modifiye edilmiş dişçi koltuğunun kullanıcıları için de geçerliydi.

Bach-y-Rita'nın cihazı, kamuoyuna açılan ilk cihaz olsa da duyusal ikame için yapılan ilk girişim değildi. 1890'ların sonunda dünyanın öbür ucunda Polonyalı oftalmolog Kazimierz Noiszewski'nin geliştirdiği Elektroftalm (Yunancada "elektrik" + "göz" sözcüklerinden) da körler içindi. Bu düzenekte görme engelli kişinin alnına bir ışık gözesi (fotosel) yerleştirilmekteydi. Gözeye ne kadar çok ışık düşerse kişi kulağında o kadar yüksek bir ses işitiyor ve sesin şiddetine göre de aydınlık ve karanlık alanları ayırt edebiliyordu.

Cihaz ne yazık ki büyük, ağır ve yalnızca bir piksel çözünürlükteydi; dolayısıyla ilgi görmedi. Ama 1960'a gelindiğinde Noiszewski'nin Polonyalı meslektaşları bayrağı alıp koşmaya başlamışlardı bile.[15] İşitmenin körler için taşıdığı önemin farkında olan bilimciler, şimdi de bilgiyi dokunma yoluyla iletmenin yolları üzerinde çalışıyorlardı. Titreşimli motorlardan oluşan bir sistem geliştirdiler. Bir kask üzerine yerleştirilen motorlar, görüntüleri beyne "çizmekteydi." Görme engelli katılımcılar, kapı çerçeveleri ve mobilya kenarlarının kontrastını artıracak şekilde boyanmış özel odalarda cihaz yardımıyla dolaşabiliyorlardı. Cihaz işe yarıyordu. Ne yazık ki daha önceki icatlar gibi bu da

ağırdı ve kullanım sırasında ısınıyordu. Dünya biraz daha beklemek zorundaydı. Ama ilkenin kanıtı ortaya konmuştu bir kere.

Bu tuhaf yaklaşımlar nasıl olup da işe yarıyordu? Bunun nedeni, beyne yönelmiş girdilerin (gözlerde fotonlar, kulaklarda hava basınç dalgaları, deride basınç gibi) tümünün tek bir birime, elektrik sinyallerine dönüştürülmesidir. Gelen atımlar dış dünyayla ilgili önemli şeyleri temsil eden bilgiler taşıdığı sürece, beyin bunları yorumlamayı öğrenecektir. Beynin içindeki geniş nöron ormanları, atımların geliş yolunu umursamaz bile. Bach-y-Rita 2003'te PBS kanalıyla yaptığı bir söyleşide bunu şöyle açıklamıştı:

> Size baktığımda, görüntünüz benim retinamdan öteye gitmez. (...) Buradan beyne, sonra da beynin kalanı içinde atımlar halinde ilerler. Sinirler boyunca taşınan bu atımlar ayak başparmağınızdakilerden farklı değildir. Mesele taşınan bilginin niteliği, atımların frekans ve örüntüsüdür. Eğer beyni bu tür bilgiyi çekip alacak şekilde eğitebilseniz görmek için göze ihtiyacınız kalmaz.

Bir başka ifadeyle deri, artık işlev gören gözlere sahip olmayan beyne veri iletmenin bir yoludur. Peki, nasıl işleyebilir böyle bir sistem?

TEK MARİFETLİ CAMBAZ

Beyin korteksine baktığımızda, vadiler ve tepelerini tararken her yerde aşağı yukarı aynı görüntüyü sunar bize. Ama bir görüntüleme cihazı ya da jölemsi kütlesine yerleştirilen küçücük elektrotlar, bize farklı bölgelerinde farklı türden bilgilerin dolandığını gösterir. Bu farklılıklardan yola çıkan nörobilimciler alanlara belirli etiketler yerleştirmişlerdir: Falanca alan görme, falanca alan işitme, falanca alan da sol ayak başparmağınızdaki dokunma duyusu içindir sözgelimi. Ama ya alanlar, bulundukları duruma yalnızca girdilerinden dolayı gelmişlerse? Ya görme korteksi yalnızca aldığı verilerden dolayı görme korteksiyse? Ya özelleşme, belirli modüllerin genetik olarak önceden belirlenmesi

yerine, gelen veri kablolarının ayrıntıları sonucu gerçekleşiyorsa? Bu çerçeveden bakıldığında, korteks çok amaçlı bir veri işleme motorudur. Onu verilerle beslediğinizde bunları hesaplamaya girişecek ve içinden istatistiksel düzenler çıkaracaktır.[16] Diğer bir deyişle beyin, kendisine takılacak herhangi bir girdi kanalını kabul etmeye hazırdır ve onun üzerinde de aynı temel algoritmaları uygular. Bu bakış açısından, korteksin hiçbir bölgesinin görsel, işitsel vb. olması önceden belirlenmemiştir. Öyleyse hava basınç dalgalarını ya da fotonları algılamak isteyen bir canlının yapması gereken tek şey, gelen sinyalleri içeren sinir lifi demetini kortekse takmaktır. Bu altı katmanlı düzenek, doğru bilgiyi çekip çıkarmak için çok genel bir algoritma işletecektir. Sonuçta alanı tanımlayan, verilerdir.

Neokorteksin* her yerde aşağı yukarı aynı görünmesinin nedeni, gerçekten de aynı *olmasıdır*. Korteksteki her alan çok-potansiyellidir; yani kendisine takılı olan girdinin niteliğine bağlı olarak, çeşitli işlevleri üstlenecek şekilde gelişebilir.

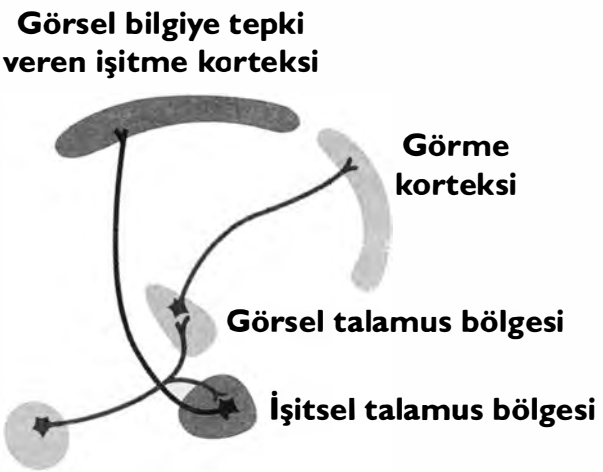
Öyleyse işitmeye adanmış bir beyin alanı varsa bunun tek nedeni, çevresel aygıtların (bu durumda kulakların), bilgiyi kortekse o noktadan giren kablolarla iletiyor olmasıdır. Bu bölge, öyle gerektiği için değil, kulaklardan iletilen sinyallerin, o alanın kaderini biçimlendirmesi nedeniyle işitme korteksi haline gelmiştir. Alternatif bir evrende bu alana görsel bilgiyi taşıyan sinir lifleri bağlandığını hayal edin; o zaman bu alan ders kitaplarında görme korteksi olarak adlandırılacaktı. Bir başka deyişle korteks, aldığı girdi hangi türden olursa olsun onun üzerinde standart işlemlerini uygulayacaktır. Bu durum, başlangıçta beynin önceden belirlenmiş duyusal alanlara sahip olduğu yönünde bir izlenim verse de bu izlenimin tek nedeni, girdilerdir.[17]

ABD'nin orta bölgelerinde balık pazarlarının bulunduğu yerleri bir düşünün. Bunlar peskataryenliğin** hüküm sürdüğü, suşi restoranlarının normalden fazla olduğu ve yeni deniz ürünü tariflerinin geliştirilip durduğu kasabalardır. Bunlara birincil "balıksal" alanlar diyelim.

Bu harita neden başka türlü değil de bu şekilde yapılandırılmış? Çünkü burası nehirlerin aktığı, dolayısıyla da balıkların bol bulundu-

* Neokorteks, serebral korteksin en büyük ve en yeni evrilmiş olan dış katmanıdır ve daha üst düzeyli beyinsel işlevlerle ilgilidir. (*ç.n.*)

** Et olarak sadece balık yemek. (*e.n.*)



Dağ gelinciğinin beyninde görsel bilgileri taşıyan lifler işitme korteksine yönlendirilmiş, işitme korteksi de görsel bilgiyi işlemeye başlamıştı.

ğu bir yer. Şimdi balıkları, nehirlerin oluşturduğu veri kanallarından akan veri bitleri olarak düşünün; restoranların dağılımı da bunlara bağlı olarak gerçekleşecek. Balık pazarlarının bu bölgeye taşınması gerektiğini söyleyen bir merci yok. Burada doğal bir sürecin sonucu olarak toplanmışlar.

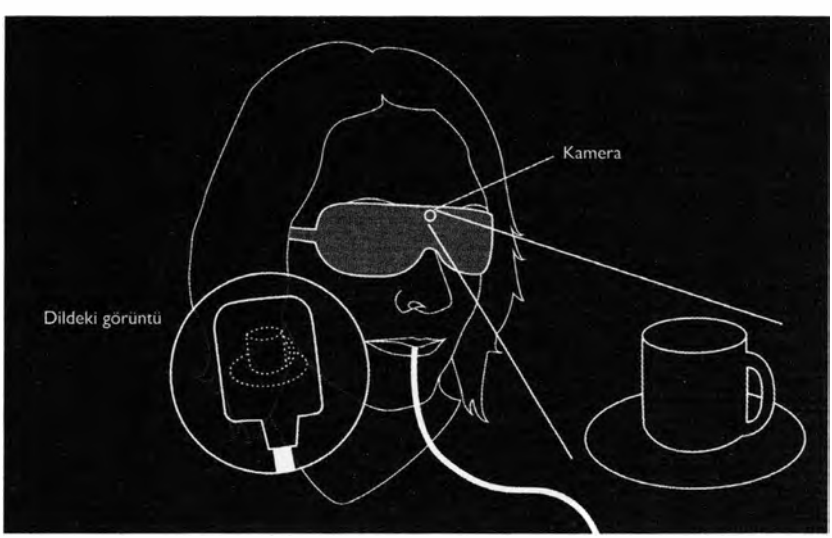
Bütün bunlar, örneğin işitme korteksindeki bir doku parçasının, özel herhangi bir nitelik taşımadığı varsayımına götürür bizi. Öyleyse bir embriyodaki işitme korteksinden bir parça kesip görme korteksine naklederseniz işlevini sorunsuz yürütür mü? İşte 1990'ların başlarında başlatılan bir dizi hayvan deneyinde gösterilen tam olarak buydu: Özetle, nakledilen doku parçası görme korteksinin geri kalanından farksız bir görünüm ve işleve sahipti.[18]

Deney, daha sonra bir adım daha ilerledi. 2000 yılında MIT'den (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) bilim insanları bir dağ gelinciğinin gözünden gelen girdileri işitme korteksine yönlendirdiler; öyle ki *işitme* korteksi *görsel* veriler almaya başladı. İşitme korteksi, devrelerini birincil görme korteksinin bağlantılarını andıracak şekilde ayarlamıştı.[19] Devreleri yeniden kurulan hayvanlar, işitme korteksine gelen girdileri normal görme gibi yorumluyorlardı. Bu bize girdi örüntüsünün, korteksin kaderini belirlediğini söylüyor. Beyin, hangi türden

olursa olsun akan verileri, en iyi şekilde temsil edecek (ve sonunda da yine onlara göre harekete geçecek) şekilde, bağlantılarını dinamik olarak ayarlıyor.[20]

Doku nakli ya da girdilerle farklı bağlantıların kurulması üzerine yapılan yüzlerce çalışma, beynin genel-amaçlı bir bilgiişlem makinesi olduğu yolundaki modeli destekler. Bu makine kendisine akan verilere standart işlemler yapmaktadır; veriler ister zıplayan bir tavşan görüntüsü, ister bir telefon zilinin sesi, ister fıstık ezmesinin tadı, ister salam kokusu, isterse de ipeğin yanaktaki dokunuşuyla ilgili olsun. Beyin, kaynağını umursamaksızın girdiyi analiz eder ve onu bir çerçeveye oturtur (*Şimdi bununla ne yapabilirim?*). Veriler işte bu nedenle sırtından, kulağından ya da alnından verilse bile kör bir insanın işine yarayabilir.

1990'larda dişçi koltuğundan daha az yer kaplayacak bir düzeneğin arayışına giren Bach-y-Rita ve ekibi, BrainPort adı verilen küçük bir cihaz geliştirdi.[21] Bu düzenekte görme engelli kişinin alnına bir kamera, diline de küçük bir elektrotlar ızgarası yerleştiriliyor. "Dil Görüntü Birimi", üç santimetrekarelik bir alana yayılmış bir dizi uyarıcıdan



Dille görmek.

(stimülatör) ibaret. Elektrotlar piksellerin konumuyla uyumlu küçük atımlar üreterek, ağızda çocukların sevdiği patlayan şekerlere benzer bir his oluşturuyor. Açık renkli pikseller, dilin karşılık gelen noktalarında güçlü, gri pikseller de orta düzeyde bir uyarıyla kodlanırken, tam karanlık herhangi bir uyarı oluşturmuyor. BrainPort'un sağladığı şey, görsel nesneleri yaklaşık 20/800'lük görüşe karşılık gelen bir kesinlikle ayırt etme yeteneği.[22] Kullanıcılar, dildeki uyarıları başta tanımlanamaz kenar ve şekiller olarak algıladıklarını söyleseler de sonunda uyarıyı daha derin düzeyde tanımayı öğreniyorlar. Bu ise onların mesafe, biçim, hareket yönü ve boyut gibi niteliklerin de farkına varmalarını sağlıyor.[23]

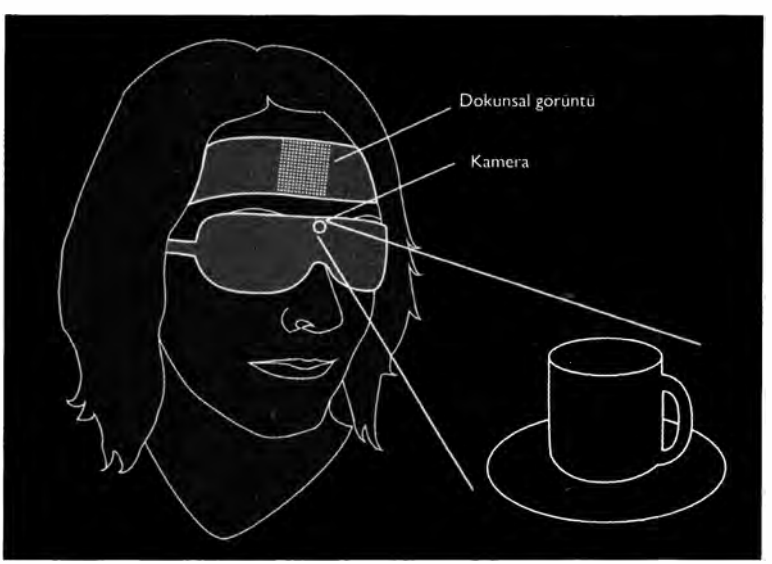
Normalde tat alma organı olarak düşündüğümüz dilin aslında dokunma reseptörleriyle de dolu olması (yediklerin dokusunu hissetmenizi sağlayan da budur), onu kusursuz bir beyin-makine arayüzü haline getirir.[24] Diğer görsel-dokunsal cihazlarda olduğu gibi, dil üzerindeki ızgara da bize görmenin gözlerde değil, beyinde gerçekleşen bir olay olduğunu hatırlatır. İster kör olsun ister görebilsin, bol alıştırma yapmış kişilerin beyin görüntüleri, elektriksel-dokunsal şokun dil boyunca yer değiştirmesiyle beyinde normal olarak görsel hareketle ilgili bir alanın etkinleştiğini gösterir.[25]

Sırttaki solenoit ızgarasıyla olduğu gibi, BrainPort'u kullanan körler de görsel sahnelerde "açıklık" ve "derinlik" deneyimlemeye, nesnelerin *orada bir yerde* olduğunu hissetmeye başlıyorlar. Bir başka deyişle, iş dilde olup bitenlerin bilişsel bir tercümesi olmaktan öteye geçerek dolaysız bir algısal deneyim haline dönüşüyor. Bu deneyim "Dilimde, eşimin yakınımdan geçtiği kodunu içeren bir motif hissetim," gibi bir şey değil, eşin oda içindeki yürüyüşünün doğrudan hissedilmesi. Eğer normal görüşe sahipseniz gözlerinizin tam olarak şu şekilde çalıştığını unutmayın: Retinalarınızdaki elektrokimyasal sinyalleri, sizi el hareketleriyle çağıran bir arkadaş, yoldan hızla geçen bir Ferrari, mavi gökyüzünde süzülen kırmızı bir uçurtma olarak algılarsınız. Bu etkinliklerin tamamı aslında duyusal algılayıcılarınızın yüzeyinde olduğu halde, algılarınız size her şeyin *orada* gerçekleştiğini söyler. Algılayıcının gözünüzde ya da dilinizde olması bir şeyi değiştirmez. Görme engelli katılımcı Roger Behm, BrainPort deneyimini şöyle açıklamıştı:

> Geçen yıl buraya ilk kez geldiğimde, mutfaktaki masanın üzerinde bir şeylerle uğraşmıştık. Duygulanmadım desem yalan olur çünkü herhangi bir şey görmeyeli otuz üç yıl geçmişti. Ama işte farklı büyüklükteki toplara uzanabiliyor, onları görebiliyordum. Yani görsel anlamıyla görüyordum. El yordamıyla ya da dokunarak hissetme yoluyla değil, doğrudan uzanıyor ve elimle tutuyor, sonra masadan alıyordum. Derken fincanı görüyor, elimi kaldırıyor ve topu doğrudan fincanın içine bırakıyordum.[26]

Artık sizin de tahmin edebileceğiniz gibi, dokunsal girdiler vücudun neredeyse her yerinden alınabilir. Japon araştırmacılar dokunsal ızgaranın bir başka türünü geliştirmiş bulunuyorlar. Alın Retina Sistemi adı verilen bu düzenekte, video akışları alında dokunma hissi veren küçük noktalara dönüştürülüyor.[27] "Neden alın?" diye soracak olursanız, neden olmasın? Zaten başka bir şey için kullanıldığı da pek söylenemez.

Bir başka versiyon ise karın bölgesine yerleştirilen ve bir dizi titreşim uyaranlı (vibrotaktil) küçük motordan (aktüatör) oluşmuş bir ızgaradan yararlanır. Titreşimin gücü, en yakın yüzeylerle aradaki mesafeyi temsil eder.[28]



Alın Retina Sistemi

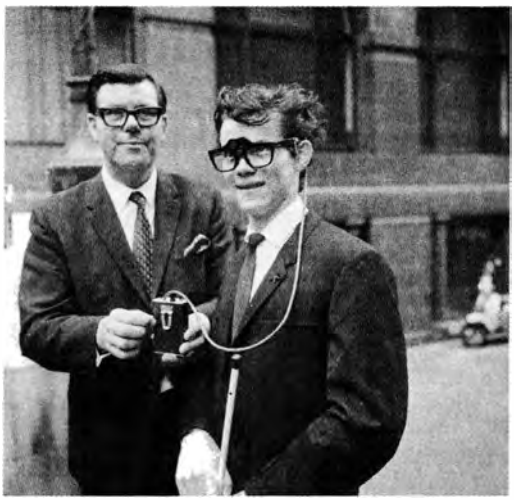
Bütün bu sistemlerin ortak yönü, normalde dokunmayla ilgili olduğunu düşündüğümüz kanallardan gelen görsel girdilerin, beyin tarafından çözümlenip yorumlanmasıdır. Ama öyle anlaşılıyor ki işe yarar stratejiler sadece dokunmayla ilgili olanları değil.

SESLERLE GÖRMEK

Bundan birkaç yıl önce Don Vaughn, ileriye uzatmış olduğu iPhone'uyla laboratuvarımda yürüyordu. Gözleri kapalı olsa da sağa sola çarpmıyordu. Çünkü kulaklığından akan sesler, görsel dünyayı işitsel bir manzaraya dönüştürmekle meşguldü. Don, salonu kulaklarıyla görmeyi öğrenmekteydi. İhtiyacı olan bilgiyi sağlamak için telefonu çevresinde bir üçüncü göz ya da minyatür bir baston gibi yavaşça sağa sola hareket ettiriyordu. O sırada kör bir insanın görsel bilgiyi kulaklarıyla alıp alamayacağını test ediyorduk. Körlüğe çözüm için önerilen bu yaklaşımı daha önce duymamış olabilirsiniz ama yeni bir fikir değil bu. Başlangıcı, yarım yüzyıldan öncesine dayanıyor.

1966'da Leslie Kay adındaki bir profesör, yarasalarda ekolokasyon konusuna takıntı derecesinde ilgi duymaya başlamıştı. Bazı insanların da ekolokasyonu öğrenebildiklerini ama bunun kolay olmadığını biliyordu. Kay, bunun üzerine görme engelli toplumun da bu olgudan yararlanmasına yardım etmek amacıyla irice bir gözlük tasarladı.[29]

Gözlük çevreye ultrasonik ses yayıyordu. Kısa dalga boyuna sahip olan bu ses, çarptığı ufak nesnelerden yansıdığında o nesneler hakkında bilgi verebiliyordu. Gözlükte bulunan elektronik düzenek, geri dönen yansımaları yakalayarak insanların işitebileceği seslere dönüştürüyordu. Kulaktaki sesin perdesi, size nesnenin uzaklığını bildiriyordu: Tizler uzak, peslerse yakındaki bir nesnenin varlığının habercisiydi. Sinyaldeki sesin yüksekliğinden yola çıkarak, nesnenin büyüklüğünü anlayabiliyordunuz: Ses yüksekse nesne büyük, düşükse küçüktü. Sesin berraklığı dokuyu temsilde kullanılıyordu: Karşınızdaki pürüzsüz yüzeyli bir nesne yalın ve berrak bir sese, kaba ya da pütürlü dokuya sahip olanları da parazitli bir sese yol açacaktı. Kullanıcılar bu şekilde nesnelerden kaçınmayı oldukça iyi öğrendiler, ancak çözünürlük



Profesör Kay'in sonik gözlükleri sağda görülüyor (Diğer gözlük sonik değil, yalnızca kalın).

düşük olduğu için Kay ve meslektaşları bu icadın görme yerine geçen bir araçtan çok, bir rehber köpek ya da bastona tamamlayıcı olarak kullanılabileceği sonucuna vardılar.

Cihaz yetişkinler için sadece kısmen yararlı olsa da genç beyinlerin özellikle plastik yapıda olduğu göz önüne alınınca, bir bebeğin beyninin bu sinyalleri öğrenmede ne kadar başarılı olacağı sorusu yerini korumaktaydı. Kaliforniya'da, 1974'te psikolog T. G. R. Bower bunu anlamak için Kay'in gözlüklerinin modifiye edilmiş bir versiyonunu kullandı. Deneyinin katılımcısı, doğuştan kör olan on altı haftalık bir bebekti.[30] Bower ilk gün bir nesneyi bebeğin burnuna yavaşça yaklaştırıp uzaklaştırarak işe başladı. Bildirdiğine göre, nesnenin dördüncü hareketinde bebeğin iki gözü birden kendi burnuna yönelmişti. Gözlerin, yüze bir nesnenin yaklaşması sonucunda normal olarak yaptıkları bir şeydi bu. Bower nesneyi uzaklaştırdığında gözler yine eski halini alıyordu. Döngü birkaç kez tekrarladıktan sonra bebek, nesnenin yaklaşmasıyla ellerini yukarı kaldırmaya başladı. Bower, bebeğin, hemen önünde sağa sola oynatıldığında nesneyi başıyla izlediğini ve kolunu nesneye doğru savurduğunu da anlatıyordu. Bulgularını yazarken, bebeğin birkaç davranışına daha yer vermişti:

> Bebeğin yüzü, başında cihazla [kendisiyle konuşan] annesine dönüktü. Başını yavaşça çevirerek annesini ses alanının dışında tutmaya çalıştı ve sonra onu alana yeniden dahil etmek için başını yine yavaşça eski konumuna getirdi. Bu davranış, bebekten gelen geniş gülümsemeler eşliğinde birkaç kez tekrarlandı. Ortamda bulunan her üç gözlemci de annesiyle bir tür "ce-ee" oyunu oynadığı ve bundan büyük zevk aldığı izlenimi edindiler.

Bower, izleyen aylarda da sonuçlarını rapor etmeye devam etti:

> Bebeğin ilk denemelerden sonraki gelişimi, görebilen bir bebeğinkiyle aşağı yukarı aynı oldu. Bu sonik rehberden yararlandığında, sevdiği bir oyuncağı dokunmadan tanıyabildiği izlenimini de vermişti. Yaklaşık 6 aylıkken iki eliyle uzanma hareketleri yapmaya başladı. 8 aya geldiğinde ise başka bir nesnenin ardına gizlenmiş bir nesneyi arayabilir hale gelmişti. (...) Doğuştan kör olan bebekler, bu davranış örüntülerinin hiçbirini normalde göstermez.

Bu cihazların kullanıldığını neden daha önce duymadığınızı merak ediyor olabilirsiniz. Söylemiş olduğumuz gibi, yararlanılan teknoloji hantal ve ağırdı –büyürken kullanılabilecek, makul ölçülerin dışında– ve cihazın çözünürlüğü epeyce düşüktü. Dahası, yetişkinlerle elde edilen başarı, ultrasonik gözlük kullanan çocuklarla kıyaslandığında daha düşüktü (bu meseleyi 9. Bölüm'de yeniden ele alacağız).[31] Sonuç olarak duyusal ikame kavramı kendine yer edindiği halde, uygulamanın başarılı olması çeşitli etkenlerin doğru biçimde bir araya gelmesini bekleyecekti.

1980'lerin başında Peter Meijer ismindeki Hollandalı bir fizikçi, kulakları görsel bilginin iletiminde bir araç olarak düşünme konusunda bayrağı devraldı. Meijer, ekolokasyondan yararlanmak yerine, bir video akışını sese dönüştürüp dönüştüremeyeceğini merak etmekteydi.

Meijer, Bach-y-Rita'nın video görüntülerini dokunmaya dönüştürme yöntemini izlemişti; ancak kulakların bilgi emme kapasitesinin

daha fazla olabileceğinden kuşkulanıyordu. Gerçi yöntemde kulakları merkez almanın olumsuz bir yönü de vardı: Video görüntülerini sese dönüştürme işleminde bilgiyi yorumlamak daha zor olacaktı. Bach-y-Rita'nın dişçi koltuğuyla bir daire, yüz ya da kişinin biçimi, deriye doğrudan yapılan basınçla hissedilebiliyordu. Ama yüzlerce piksellik video görüntüleri sese nasıl dönüştürülebilirdi ki?

1991'e gelindiğinde Meijer dizüstü bilgisayarında bir versiyon geliştirmiş durumdaydı. Geliştirdiği versiyon 1999'da artık taşınabilir ve kameralı gözlük olarak takılabilir hale gelmişti. Düzenekte kemere takılan bir bilgisayar da vardı. Meijer sisteme vOICe adını verdi ("OIC", "Oh, I See" ["Evet, görüyorum"] sözcüklerinin kısaltmasıydı).[32] Sistemin merkezindeki algoritma, sesi üç boyut üzerinden işliyordu: Nesnenin yüksekliği sesin *frekansıyla*, yatay konumu –stereo girdinin yaptığı pan hareketi sonucu– zamanla (gözlerinizle bir sahneyi taramanıza benzer şekilde, sesin de kulaklarda sağdan sola ya da soldan sağa ilerleyişini kafanızda canlandırın) ve parlaklığı da ses yüksekliğiyle temsil ediliyordu. Görsel bilgi, yaklaşık altmışa altmış piksellik gri tonlamalı bir görüntüyle yakalanabilmekteydi.[33]

Bu gözlükleri kullandığınızı hayal etmeye çalışın. Başlangıçta her şey bir ses karmaşasından ibaret. Ortamda dolaştıkça, sesler tuhaf ve anlamsız vızıltılar ve inlemeler halinde duyuluyor. Bir süre sonra, yolunuzu bulmak için sesleri nasıl kullanacağınız hakkında bir sezgi geliştiriyorsunuz. Artık bilişsel alıştırma aşamasındasınız çünkü sesleri, tepki vereceğiniz bir biçime çevirmek için bilinçli bir çaba sarf etmektesiniz.

Asıl önemli kısım, bundan biraz sonra geliyor. Birkaç hafta ya da ay sonra kör kullanıcılar iyi sonuçlar elde etmeye başlıyorlar.[34] Ama bu, yalnızca çeviriyi ezberlemiş olmalarından değil, bir anlamda *görüyor* olmalarından kaynaklanıyor. Tuhaf biçimde ve düşük çözünürlükle de olsa, görme deneyimini yaşıyorlar.[35] Normal bir görüşle geçirdiği yirmi yılın ardından görme yetisini kaybeden bir vOICe kullanıcısı, cihazla ilgili deneyimlerini şöyle anlatıyor:

> İki ya da üç hafta içinde işitsel manzaralara ilişkin bir tür duyum geliştirebiliyorsunuz. Kabaca üç ay içinde, normalde sadece bakarak belirleyebileceğiniz nesneleri, flaşlar halinde görmeye

başlıyorsunuz. (...) Bu düpedüz görme. Görmenin nasıl bir şey olduğunu biliyorum. Hatırlıyorum çünkü.[36]

İşin sırrı sıkı ve düzenli çalışma. Tıpkı kohlear implantlarda olduğu gibi, beynin sinyallerden anlam çıkarmaya başlayabilmesi için teknolojiyi aylar boyunca kullanmış olmak gerekebiliyor. Bu noktaya gelindiğinde, gerçekleşen değişiklikler beyin görüntüleme teknikleriyle belirlenebilecek seviyeye çıkıyor. Beynin belirli bir bölgesi (lateral [yan] oksipital korteks), normalde biçimle ilgili bilgilere tepki verir; biçim ister görme, ister dokunma yoluyla belirlenmiş olsun. Kullanıcılar gözlükleri birkaç gün taktıktan sonra, bu beyin bölgesi işitsel manzaranın etkisiyle hareketlenebiliyor[37] ve kullanıcının performansındaki iyileşmeler, beyindeki yeniden düzenlemelerle örtüşüyor.[38]

Sonuç olarak beyin, kafatasının içine hangi yolla –ister görme ister dokunmayla– gelirse gelsinler sinyallerden biçimsel bilgileri çekip çıkarmanın yolunu bulur. Algılayıcıların ayrıntıları da önemli değildir. Önemli olan tek şey, taşıdıkları bilgidir.

Yirmi birinci yüzyılın ilk yıllarında bazı laboratuvarlar cep telefonlarının avantajlarından yararlanmaya, kamera girdilerini işitsel çıktılara dönüştürecek uygulamalar geliştirmeye başladılar. Görme engelliler bu uygulamalarla önlerindeki görüntüyü telefon kamerasıyla izlerken, bir yandan da kulaklıklarla gelen sesleri dinleyebiliyorlar. Örneğin, vOICe uygulaması dünyanın dört bir köşesinde bedavaya indirilebiliyor.

Görselden-işitsele ikame alanındaki tek yaklaşım vOICe'tan ibaret değil. Son yıllarda bu teknolojilerin artışına tanık olduk. Sözgelimi, EyeMusic uygulaması, piksellerin dikey (yukarı–aşağı) konumlamasını yansıtmak için müziğin içerdiği ses frekanslarından yararlanıyor: Görüntüdeki pikseller ne kadar yukarıdaysa frekans da o kadar yüksek, yani ses o kadar tiz oluyor. Yatay (sol–sağ) piksel konumu ise zamanlamayla temsil ediliyor: Daha önce duyulan sesler soldaki, sonra duyulanları da sağdaki bir nesneyi işaret ediyor. Farklı müzik enstrümanları da renk bilgisinin iletimine aracı: beyaz (vokaller), mavi (trompet), kırmızı (org), yeşil (kaval), sarı (keman).[39] Buna seçenek olacak farklı versiyonlar geliştirmek için çalışmalar yapanlar da var. Bu versiyonlar görüntünün ortası için büyütme özelliğinin

kullanımından (tıpkı insan gözünde olduğu gibi) ekolokasyon simülasyonu ya da uzaklığa bağlı volüm modülasyonuna kadar birçok farklı fikirden yararlanabiliyor.[40]

Akıllı telefonların yaygınlığı, dünyayı hantal bilgisayarlardan arka cepte taşınan muazzam güce taşıdı. Görme engelli insanların yüzde 87'sinin gelişmekte olan ülkelerde yaşadığı düşünülünce bu, sadece verimlilik ve hıza değil, duyusal ikame cihazlarının küresel ölçekte yaygınlaşmasına da şans tanıyor.[41] Pahalı olmayan duyusal ikame uygulamalarının dünyanın her köşesine ulaşması mümkün; çünkü bunlarda sürekliliği olan bir üretim maliyeti, dağıtım süreci, stok yenileme süreci ya da sağlığa olumsuz herhangi bir etki yok. Bu yolla nöral amaçlara hizmet edecek hem ucuz hem de hızla uygulanır bir yaklaşım, küresel sağlık sorunlarıyla mücadeleye katkıda bulunabilir.

Kör bir insanın dili ya da cep telefonu kulaklığıyla "görebilir" hale gelmesi size şaşırtıcı geliyorsa bu kişilerin Braille alfabesini nasıl çözümlediklerini hatırlayın, yeter. Deneyim parmak uçlarında hissedilen küçük gizemli tümseklerle başlasa da, kısa sürede bundan fazlasına dönüşür: Beyin, ortamın (tümseklerin) ayrıntılarının ötesine geçerek, anlamın dolaysız deneyimine yönelir. Braille okuyucusunun yaşadığı, gözleriniz bu metin üzerinden kayarken sizin yaşadıklarınız gibidir: Önünüzdeki bu harflerin şekilleri gelişigüzel olsa da ortamın (harfler) ayrıntılarını bir yana bırakarak, anlamı doğrudan deneyimlersiniz.

Dil ızgarası ya da sonik kulakları ilk kez kullananlarda içeri akan veriler çeviriye ihtiyaç duyar: Görsel bir sahnenin (diyelim ki ağzında bir kemikle salona gelen bir köpek) ürettiği sinyaller, "orada" olup bitenler hakkında pek de bir şey söylememekte, sinirler mesajlarını sanki yabancı dilde iletmektedir. Ancak yeterince alıştırmayla beyin çeviri yapmayı öğrenebilir. Bir kez öğrendikten sonra da, görsel dünyayla ilgili dolaysız bir anlayış kazanılmış olur.

İYİ TİTREŞİMLER

Birkaç yıl önce araştırmacılar dünyanın yüzde 5'inin ciddi düzeyde işitme kaybı yaşadığından hareketle, devreye girmiş olabilecek genetik etkenleri ortaya çıkarmaya odaklandılar.[42] Ne yazık ki bilim dünyası şu ana kadar sağırlıkla ilgili 220'den fazla gen buldu. Bu sonuç, basit bir çözüme umut bağlayanlar için hayal kırıklığı yaratsa da şaşırtıcı değil. Sonuçta işitme sistemi birbirleriyle uyum içinde işleyen birçok incelikli çalgının oluşturduğu bir orkestra gibi işler. Ve her karmaşık sistemde olduğu gibi, işitme sisteminin işleyişini bozmanın da yüzlerce yolu vardır. Herhangi bir parçada aksaklık ortaya çıkar çıkmaz bütün sistem sıkıntıya girer; sonuç ise bütün bu sorunları çatısı altında bir araya getiren "işitme kaybı"dır.

Bu parçaların tamiri için her birini tek tek alan birçok araştırmacı var. Ama biz soruyu bir de canlı devre olgusu açısından soralım: Duyusal ikamenin ilkeleri, sorunu çözmede bize acaba nasıl yardımcı olabilir?

Bu soruyu merkez alarak, eski lisansüstü öğrencim Scott Novich'le birlikte, sağırlar için bir duyusal ikame sistemi inşa etmek üzere kolları sıvadık. Geliştireceğimiz cihaz tamamen, kimsenin kullandığınızı anlamayacağı ölçüde fark edilmez olmalıydı. Bu hedefi gözeterek, yüksek performanslı bilgisayarlar alanındaki bazı gelişmeleri, gömleğinizin içine giyebileceğiniz sesten-dokunmaya özellikli bir duyusal ikame cihazıyla bütünleştirdik. Neosensory Vest* adıyla bilinen bu cihaz, çevrenizdeki sesleri yakalayıp deriye temas eden küçük titreşimli motorlara haritalıyor. Sonuçta insanlar çevrelerini saran ses dünyasını *hissedebiliyorlar*.

Bunun işe yaradığına inanmak size zor geliyorsa, içkulağınızın yaptığı tek şeyin aslında bu olduğuna dikkatinizi çekerim: İçkulak, sesi farklı frekanslara (düşükten yükseğe) parçalar ve bu veriler yorumlanmak üzere beyne gönderilir. Bizim yaptığımız da özünde içkulağı deriye taşımaktan ibaret.

Deri, inanılmaz karmaşıklıktaki bir bilgisayımsal malzemedir ama modern yaşamda fazla kullanmayız onu. Bir Silikon Vadisi fabrika-

* *İng.* Vest: Yelek. (*ç.n.*)



Neosensory Vest. Sesler, bu cihaz aracılığıyla deri üzerinde hissedilen titreşim örüntülerine çevrilir.

sında üretilse satın almak için büyük paralar ödemek zorunda kalacağınız bu malzeme, herhangi bir işe neredeyse hiç koşulmaksızın giysilerinizin altında öylece durur. Ancak derinin, bütün ses bilgisini iletmeye yetecek bir bant genişliğine sahip olup olmadığını merak ediyor olabilirsiniz. Kohlea ne de olsa son derece özelleşmiş bir yapı, ses yakalama ve kodlama konusunda ise tam bir şaheserdir. Deri ise bambaşka ölçütlere odaklanmış ve uzamsal çözünürlüğü düşük bir yapıdır. İçkulağın üretebildiği onca bilgiyi deri gibi yalın bir organa aktarmak, birkaç yüz titreşim uyaranlı (vibrotaktil) motor gerektirir ki bu da bir insan bedeni için fazla büyük bir sayıdır. Ama konuşma bilgisini sıkıştırarak, otuzdan düşük sayıda motorla işimizi görebiliriz. Nasıl mı? Sıkıştırma, önemli bilginin çekip çıkarılarak mümkün olan en küçük hale getirilmesi anlamına gelir. Cep telefonunuzla yaptığınız konuşmaları düşünün: Siz konuşursunuz, karşınızdaki kişi de sesinizi işitir. Ama doğrudan aktarılan şey, sesinizi temsil eden sinyal değildir. Telefonunuz, onun yerine konuşmanızı saniyede sekiz bin kez dijital olarak örnekler (yani konuşmanızdan anlık kayıtlar alır). Ardından algoritmalar bu binlerce ölçümden önemli unsurları özetler. Baz istasyonuna gönderilen, bu sıkıştırılmış sinyaldir. İşte bu tür sıkıştırma

tekniklerinden yararlanan Vest de sesleri yakalıyor ve bunların sıkıştırılmış bir sürümünü çoklu motorlar sistemi aracılığıyla "çalıyor".[43]

İlk katılımcımız Jonathan adında, doğuştan tam anlamıyla sağır olan otuz yedi yaşındaki bir adamdı. Jonathan'ın Neosensory Vest ile günde iki saat olmak üzere dört gün boyunca alıştırma yapmasını sağladık. Beşinci günde Scott, dudaklarının okunmasını engellemek için ağzını gizleyerek "touch" ("dokunma") sözcüğünü söyledi. Jonathan gövdesindeki titreşimlerin oluşturduğu karmaşık örüntüyü hissetmeye çalışarak, sözcüğü sonunda tahtaya yazdı. Scott'ın söylediği ikinci sözcüğü ("where" ["nerede"]) de yazdı ardından. Jonathan, titreşimlerden oluşan karmaşık örüntüyü, konuşulan sözcükle ilgili bir anlayışa çevirme yetisini kazanmıştı. Örüntüler fazlaca karmaşık olduğundan, şifreleri bilinçli olarak çözmemiş, bu işi beyni onun yerine üstlenmişti. Yeni bir sözcük kümesine geçtiğimizde de yüksek performans sergilemesi, ezberlemediğini, işitmeyi öğrenmekte olduğunu gösteriyordu. Başka türlü ifade edecek olursak: Normal bir işitmeye sahipseniz, yeni bir sözcük söylediğimde ("schmegegge" gibi), onu gayet iyi işitirsiniz. Bunun nedeni onu ezberlemiş olmanız değil, dinlemeyi öğrenmiş olmanızdır.

Bu teknolojiyi çocukların kullanabileceği bir göğüs kemeri gibi çeşitli formlarda da geliştirdik. Kemeri yaşları ikiden sekize kadar değişen sağır çocuklarla denemekteyiz. Çoğu gün, aileleri bana videolu güncellemeler gönderiyor. Başlangıçta herhangi bir etkinin varlığından tam emin olamasak da sonradan, piyanonun bir tuşuna basıldığında çocukların durup dikkat kesildiğini fark ettik.

Çocuklar, bunun yanında daha fazla ses çıkarmaya da başladılar çünkü ilk kez döngüyü tamamlayabiliyorlardı: Ağızlarından çıkan ses, hemen ardından bir duyusal girdi olarak kaydedilmekteydi. Hatırlamasanız da bebekken siz de kulaklarınızı kullanmayı böyle öğrenmiştiniz. Mırıldanıyor, bağırıyor, ellerinizi çırpıyor, yatağınızın parmaklıklarına vuruyor ve başınızın yan tarafındaki bu tuhaf alıcılar yoluyla geribildirim alıyordunuz. Gelen sinyalleri çözümleme yönteminiz buydu: kendi eylemlerinizi, sonuçlarıyla ilişkilendirmek. Öyleyse şimdi göğüs kemerini taktığınızı farz edin. "Portakalı soydum, başucuma koydum," sözcüklerini yüksek sesle sıralarken, bir yandan da *işitmektesiniz* bunları. Beyniniz iki süreci bir araya getirmeyi öğrenerek bu tuhaf, titreşimli dili anlamaya başlıyor.[44] Biraz ileride göreceğimiz gibi, geleceği tahmin etmenin en iyi yolu, onu kendi ellerinizle yaratmaktır.



Titreşimli göğüs kemerini kullanan iki çocuk.

Göğüs kemerinin yanında, sadece dört motora sahip bir bileklik de ("Buzz") geliştirdik. Bu daha düşük çözünürlüklü bir cihaz ama çoğu kişi için daha pratik. Kullanıcılardan biri olan Philip, kimi zaman yanlışlıkla hava kompresörünü açık bıraktığı işyerinde, Buzz'ı taktıktan sonraki deneyimlerini şöyle anlatıyor:

> Bazen çalışır halde unutup odada dolanmaya başladığım oluyor. İş arkadaşlarım bir zamanlar beni uyarıyorlardı böyle durumlarda: "Hey, yine kompresörü açık unuttun." Ama şimdi Buzz'ı kullanarak, bir makinenin çalışmakta olduğunu *hissediyor* ve bakıyorum ki bu makine bir hava kompresörü. Artık onlar açık unuttuğunda, hatırlatan ben oluyorum. Şaşırıp kalıyorlar: "Dur bir dakika, nereden bildin?"

Philip, köpeklerinin havladığını, musluğun açık kaldığını, kapı zilinin çaldığını ya da karısının kendisine seslendiğini (ki daha önce hiç yapmadığı halde, şimdi alışkanlık haline getirmiş bunu) artık fark edebildiğini anlatıyor. Bilekliği altı ay kullandıktan sonra bir görüşme yaptığımız sırada, ona içsel deneyimleri hakkında dikkatle seçtiğim sorular yönelttim: Deneyimlediği şey, bileğinde hissettiği ve çevirisini yapmak zorunda olduğu bir vızıltı mı, yoksa dolaysız bir algı mıydı?

Bir başka ifadeyle, sokaktan sireni öten bir araç geçtiğinde, derisinde "siren" anlamına gelen bir titreşimi mi, yoksa doğrudan "orada" bir ambulans olduğunu mu hissediyordu? Philip için yanıtın ikincisi olduğu son derece barizdi: "Sesi *başımın içinde* algılıyorum." Bir akrobat gördüğünüzde ya da tarçın kokusunu aldığınızda nasıl dolaysız ve (gözünüze çarpan fotonların çetelesini tutmak ya da bilinçli olarak muköza zarlarınızdaki molekül kombinasyonlarının çevirisini yapmak yerine) anlık bir deneyim yaşıyorsanız, Philip de dünyayı o şekilde işitiyor.

Dokunmayı sese dönüştürme fikri yeni değil. 1923'te, Northwestern Üniversitesi'nde bir psikolog olan Robert Gault, hem sağır hem de kör olan on yaşındaki bir kızın –tıpkı Helen Keller'ın bir zamanlar yaptığı gibi– sesi parmak uçlarıyla algıladığı iddiasından haberdar olmuştu. Gault bu iddiadan kuşkulanarak birtakım deneylere girişti. Bir tanesinde kızın kulaklarına tıkaçlar takarak başını bir yün battaniyeyle sardı (kendi yüksek lisans öğrencisine de aynı şeyi uygulayarak sesin bu şekilde geçmediğini doğrulamıştı). Gault, parmağını bir "portofon"un (ses taşıyıcı bir aygıt) diyaframına dayayan kızla bir dolabın içinden konuştu. Kızın söylenenleri anlamak için tek yolu, parmağındaki titreşimlerden yararlanmaktı. Bulgularını şöyle anlatmıştı Gault:

> Her cümle ya da soru tamamlandığında battaniyesi açıldı ve o da söylenenleri asistana en fazla birkaç önemsiz farkla aktardı. (...) Bunun, sesini parmaklarında hissettiği titreşimler aracılığıyla yorumlayabildiğine dair ikna edici bir deneme olduğuna inanıyorum.

Gault, bir meslektaşının sözcükleri dört metre uzunluğundaki cam bir tüp aracılığıyla iletmeyi başardığından da söz ediyordu. Daha önce alıştırma yapmış ve kulakları tıkalı olan bir katılımcı, el ayasını tüpün ucuna yerleştirip, diğer uçta söylenen sözcükleri belirleyebilmişti. Bu tür gözlemlerin sonucunda "sesten-dokunmaya" cihazları üretme girişiminde bulunan araştırmacılar olduysa da, önceki yıllarda ilgili düzenekler pratik bir cihaza izin vermeyecek ölçüde büyük, işlem kapasiteleri de zayıftı.

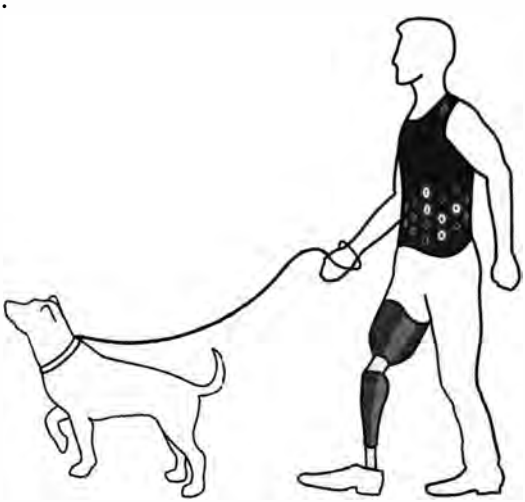
1930'lu yılların başlarında Massachusetts'teki bir okulda çalışan bir eğitimci, kör ve sağır iki öğrenci için bir teknik geliştirdi. Sağır olduklarından, konuşanların dudaklarını okumaları için bir yol bulunması gerekiyordu ama öğrencilerin aynı zamanda kör de olmaları bunu olanaksız kılıyordu. Söz konusu teknik bu nedenle elin, konuşan kişinin yüz ve boynuna yerleştirilmesine dayandırılmıştı. Başparmak hafifçe dudaklara temas ettirilirken diğer parmaklar da boyun ve yanağı örtecek şekilde açılıyordu. Böylece hem dudakların hareketi hem ses tellerinin titreşimleri, hatta burun deliklerinden çıkan hava bile hissedilebiliyordu. Bunun denendiği ilk öğrencilerin isimleri Tad ve Oma olduğundan, teknik Tadoma olarak anılagelmiş, yöntemin öğretildiği binlerce sağır ve kör çocuk, konuşulan dili neredeyse işitebilen insanlar kadar ustalıkla anlayacak düzeye ulaşmıştır.[45] Bizim amacımız açısından akılda tutulması gereken önemli nokta, bu teknikte de bütün bilginin dokunma duyusu aracılığıyla alınmasıdır.

1970'lerde sağır mucit Dimitri Kanevsky iki kanallı bir titreşim uyaranlı aygıt geliştirdi. Bileklerin üzerine iki titreşimli motorun yerleştirildiği bu aygıtta kanallardan biri düşük, diğeri yüksek frekanslı sesleri yakalamaktaydı. 1980'lere gelindiğinde bu tür icatların İsveç ve ABD'de çoğalması, canlı devre kavramından yola çıkan bir bakış açısının gücüne dikkat çekiyordu. Sorun, bu cihazların hepsinin fazla büyük ve motorlarının da sayıca çok az olmasıydı (genellikle yalnızca bir). Bu da etkili olmalarını engellemekteydi.[46] Bilgisayarların güç ve fiyatlandırmaları, sinyal işleme, ses sıkıştırma, enerji depolama gibi alanlarda yaşanan ilerlemeler ve bunun yanında karmaşık sinyal işleme süreçlerini gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilecek güçteki makul fiyatlı, giyilebilir bilgiişlemsel teknolojilerin ortaya çıkışı, bu alanlara sermaye yatırabilmemizi ancak şimdilerde mümkün kılıyor.

Bunun ötesinde, bu yaklaşımın bazı avantajları da var. Bu teknolojiyi kohlear implant ameliyatlarıyla karşılaştırabiliriz örneğin (bölümün başında Michael Chorost'a uygulanan türden). Bunların nakil bedeli yaklaşık 100.000 doları bulabiliyor.[47] Buna karşılık, modern teknolojinin birkaç yüz dolarlık bedel karşılığında işitme kaybıyla baş edebilmesi, bütün dünya için çözüm kapılarını aralıyor. Üstelik implantlar cerrahi müdahale gerektirirken, titreşimli bir bileklik sabahları tıpkı bir saat gibi takılabiliyor.[48]

Dokunma sisteminden yararlanmak için birçok neden var önümüzde. Mesela, protez bacak taktırmış kişilerin bunlarla yürümek için inanılmaz ölçüde çalışmaları gerektiği pek bilinmez. Protezler artık yüksek kaliteyle üretildiğine göre, bunlarla yürümek neden bu kadar zordur peki? Nedeni sadece protez bacağın *nerede* olduğunu bilmemenizdir. Sağlam bacağınız beyne muazzam miktarda veri akıtmakta, onu bacağın konumu, dizin ne kadar bükülmüş olduğu, bileğin ne kadar basınca maruz kaldığı, ayağın eğim ve açısı vb. konusunda bilgilendirmektedir. Ama iş protez bacağa gelince, sessizlikten başka bir şey yoktur ortada: Beyin bacağın konumuyla ilgili herhangi bir bilgiye sahip değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için protez bacağa basınç ve açı alıcıları yerleştirip buradan Neosensory Vest cihazına veri akışı sağladık. Sonuç olarak, bunu kullanan bir kişi, protez bacağın konumunu neredeyse normal bir bacakmış gibi hissedebiliyor ve yeniden yürümeyi hızla öğrenebiliyor.

Aynı teknik, sağlam ama duyusunu kaybetmiş (Parkinson hastalığı ve birçok başka bozuklukta olduğu gibi) bir bacağa sahip kişiler için de kullanılabilir. Bunun için, hareket ve basıncı ölçecek alıcıları bir çorabın içine yerleştiriyoruz ve verileri Buzz bilekliğine aktarıyoruz. Bu tekniği kullanan kişi, ayağının nerede olduğunu, ağırlığını o ayağa verip vermediğini, üzerine bastığı yüzeyin düz olup olmadığını anlayabiliyor.



Protez bacaktan gövde derisine veri akışı.

Dokunma duyusu, dengeyle ilgili sorunlarda da kullanılabilir. Paul Bach-y-Rita'nın dil görüntü birimini hatırladınız mı? İşte bu birim, görmekten fazlasını yapabilir. Bir rehabilitasyon danışmanı olan Cheryl Schiltz'i ele alalım. Cheryl, içkulağında yer alan "vestibüler sistem" aldığı antibiyotik tedavilerinin etkisiyle zarar görünce denge duyusunu kaybetmişti. Sürekli olarak dengesini yitirip düştüğü için artık normal bir yaşam sürdürememekteydi. Ancak yeni bir gelişmeden haberdar olmuştu. Bu, başa takılabilecek ve içine yerleştirilen alıcılar sayesinde başın eğimini gösterebilen bir kasktı.[49] Başın duruşuyla ilgili veriler, dil ızgarasına yönlendiriliyordu: Baş dikken elektriksel uyarı ızgaranın ortasında hissediliyor, öne eğildiğinde sinyal dil ucuna doğru hareket ediyor, arkaya eğildiğindeyse arkaya gidiyordu. Başın yanlara eğilmesi ise sinyalin sol ve sağa hareketleriyle temsil edilmekteydi. Böylece, başının hangi yöne baktığıyla ilgili olarak bütün hislerini kaybetmiş bir kişi, yanıtı dilinde *hissedebiliyordu*.

Cihazı denerken Cheryl'in duyduğu kuşku az buz değildi. Ancak etki anında göstermişti kendini: Kaskı taktığı sürece beyni bu tuhaf yolla aldığı bilgiyi anlayabiliyor, kendisi de baş ve vücudunu dengede tutabiliyordu. Birkaç seanstan sonra hem o hem de araştırma ekibi, ilave bir etkinin daha farkına vardılar: Kaskı on dakika süreyle taktığında, çıkardıktan *sonra* bile yaklaşık on dakikalık süreyle dengesini koruyabiliyordu. Cheryl o kadar mutlu olmuştu ki bu ilk denemelerin sonunda araştırmacıları tek tek kucaklamıştı.

Ama işler daha da iyiye gidecekti. Beyni dil ızgarasıyla yaptığı alıştırmaların sonucunda devrelerini yeniden düzenlediğinden, kask çıkarılınca kendini gösteren bu artık etkinin süresi, giderek uzamaya başladı. Beyin, sinyallerin (hasar görmemiş olanlarının) fısıltılarını alıp kaskın yardımıyla güçlendirmeyi öğrenmekteydi. Cheryl, kaskı birkaç ay kullandıktan sonra, kullanım süresini ciddi biçimde düşürmeyi başardı. Dil ızgarası bir nöral destek tekerleği olarak iş görmüş ve sinyal kalıntılarından gelen fısıltıları daha iyi yorumlamada ona yardımcı olmuştu. Bu ise cihaza ihtiyaç bırakmayacak becerileri kazanması anlamına geliyordu.

Duyusal ikame, duyu kaybının telafisinde kapıyı yeni olasılıklara aralıyor.[50] Ancak bu, yapılabilecek şeyler için yalnızca ilk adım. Bu adım bizi duyusal ikamenin ötesine, duyusal pekiştirme (*sensory enhancement*) dünyasına götürecek. Ya şimdiki duyuları alıp onları daha iyi, daha kapsamlı, daha hızlı hale getirebilseydiniz? Ya sadece bozulmuş duyuları tamir etmekle kalmayıp var olanları güçlendirebilseydiniz?

ÇEVRESEL BİRİMLERİ PEKİŞTİRMEK

Terapi amaçlı bir cihazın hedefi, bir bozukluk ya da eksikliği normale döndürmektir. Ama neden bununla kalsın ki? Ameliyat bir kez gerçekleştirildikten ya da cihaz bir kez takıldıktan sonra neden işleri birkaç düzey yukarı taşıyıp kişiyi tür ortalamasının üzerinde becerilerle donatmayalım? Bu yalnızca kuramsal bir fikir değil: Dört bir tarafımız, süpergüçlere sahip duyusal beyinlerin örnekleriyle dolu.

2004 yılında, görselden-işitsele çevirinin sunduğu vaatlerden esinlenen renk körü ressam Neil Harbisson, başına bir "eyeborg" takmaya karar verdi. Eyeborg, bir video akışını çözümleyerek renkleri seslere çeviren basit bir cihaz. Sesler, kulağının arkasındaki kemikler aracılığıyla iletiliyor.

Sonuçta Neil, renkleri işitiyor. Yüzünü herhangi bir renk levhasına çevirip onu tanımlayabiliyor.[51] "Bu, yeşil," diyor örneğin ya da "bu, kırmızı."

Daha da iyisi, eyeborg kamerasının, normal tayfın dışında kalan ışık dalga boylarından *ötesini* de algılayabilmesi. Dolayısıyla renkleri sese çevirirken, yılan ve arıların yaptığı gibi kızılötesi ve morötesini de kodlayabiliyor (ve çevresindeki bu renkleri algılayabiliyor).

Neil, pasaport fotoğrafını güncellemesi gerektiğinde eyeborg'u çıkarmamakta ısrar etmişti. Cihaz artık onun temel bir parçası, bir organı gibi olmuştu. Pasaport ofisi, kuralları gereği resmi bir fotoğrafta elektronik cihazlara izin veremeyecekleri gerekçesiyle talebini reddetti. Bunun üzerine ofise doktoru, arkadaşları ve meslektaşlarından



Renk	Ses Frekansı
morötesi	717,6 Hz'in üstü
mor	607,5 Hz
mavi	573,9 Hz
siyan	551,2 Hz
yeşil	478,4 Hz
sarı	462,0 Hz
turuncu	440,2 Hz
kırmızı	363,8 Hz
kızılötesi	363,8 Hz'in altı

Solda: Renk körü ressam Neil Harbisson eyeborg'u takarken. Sağda: Kullandığı "sonokromatik" skala ile kameranın algıladığı renkler, ses frekanslarına çevriliyor. Skaladaki en yüksek ve en düşük frekanslar, işitme sisteminin, görme sisteminin normal sınırlarını aşmasını sağlıyor.

destek mektupları yağmaya başladı. Bir ay sonra, eline aldığı pasaporttaki fotoğraf eyeborg'u da içermekteydi. Kazanılan bu başarı sonucunda cihaz, Neil'ın ifadesiyle resmen onaylanmış ilk "cyborg" oluyordu.[52]

Araştırmacılar bu fikri hayvanlarla bir adım öteye de taşımış durumdalar: Fareler renk körüdür... ama fotoreseptörlerini, onlara renkli görüş verecek şekilde genetik mühendisliğine tabi tutmadığınız sürece.[53] Fazladan bir genle fareler şimdi farklı renkleri algılayıp ayırt edebiliyorlar. Aynı şey, normalde iki tip renk reseptörüne sahip, dolayısıyla da kırmızı-yeşil renk körü olan sincapmaymunlarıyla da yapılabiliyor. İnsanlarda bulunan fazladan bir renk fotoreseptörü kazandırdığınızda bu maymunlar da renk deneyimini insandaki düzeyiyle yaşıyabiliyorlar.[54]

Daha doğrusu, *tipik* bir insandaki düzeyiyle. İnsan dişilerinin küçük bir oranının yalnızca üç değil, dört tip renk fotoreseptörü taşıdığı anlaşıldı. Bu ise beyinlerinin bütün bilgiyi yeni bir duyusal deneyim tipine dönüştürmede kullanabildiği anlamına geliyor. Bu insanlar daha fazla sayıda özgün yeni renk ve yanında da bunların karışımlarını deneyimleyebiliyorlar.[55] Çünkü düzeneğe yeni bir çevresel aygıt takıldığında, işlevini sürdüren bir beyinde yararlı bilgiler de seslerini duyurabiliyor.

Duyular kimi zaman tesadüfen de güçlenebilir. Katarakt ameliyatı geçirip göz merceklerini yapay bir örneğiyle değiştiren çok kişi vardır örneğin. Göz merceğinin morötesi ışığın girişini doğal olarak engellediği anlaşılmıştır; ancak yapay mercek yapmaz bunu. Bu nedenle hastalar kimi zaman, elektromanyetik spektrumun daha önce göremedikleri bazı dalga boyu aralıklarını algılarlar. Bu kişilerden biri olan Alek Komarnitsky, katarakta çözüm olarak kendisine yapay mercek takılmış bir mühendis. Alek, birçok nesnede başka insanların görmediği mavimor bir parıltı gördüğünü söylüyor.[56] Bunu ilk katarakt ameliyatından bir gün sonra, oğlunun Colorado Rockies şortlarına bakarken fark etmiş. Herkes için siyah görünen şortu soluk bir mavi-mor parıltıyla kaplı görmüş Alek. Gözünün önüne bir UV filtresi tuttuğunda ise görüşü eski haline dönmüş. Eğer siyah bir ışığa açıkken bakarsanız, hiçbir şey görmezsiniz ama Alek kuvvetli, mor bir pırıltı görüyor. Normal renk tayfının ötesini de görmesini sağlayan yeni süpergüçleri, günbatımlarına, gazlı mutfak ocaklarına ve çiçeklere baktığı sırada yeni deneyimler sunuyor ona.

Neosensory'nin merkez binasında mühendis Mike Perrotta, bileklerimizden birine bir kızılötesi alıcısı bağladı. Düzeneği taktığım ilk gece, karanlıkta binaların arasından yürürken bileklik birden vızıldamaya başladı. Ama burada neden bir kızılötesi sinyal olsundu ki? Kodlama ya da donanımda bir hata olabileceğini düşünsem de bileğimin beni götürdüğü yere, yani sinyalin geldiği yöne yürümeye devam ettim. Vızıltı giderek artıyordu. Sonunda, kendimi kızılötesi LED ışıklarıyla çevrelenmiş bir kızılötesi kameranın önünde buldum. Normalde böyle bir gece kamerası, bizi izlediği sırada göze görünmez ama tayfın o aralığına açılan giyilebilir bir pencere, onu anında açığa çıkarıvermişti.

Buna benzer bir görsel pekiştirme uygulaması, hayvanlar için de yapıldı. 2015'te Eric Thomson ve Miguel Nicolelis isimli bilim insanları, bir sıçanın beynine doğrudan bir kızılötesi ışık algılayıcısı bağladılar. Sıçan bundan yararlanmayı öğrendi. Kızılötesi ışığı görmesini ve kullanmasını gerektiren seçeneklerin sunulduğu testlerde başarı gösterebiliyordu. Somatosensoriyel korteksine tek bir algılayıcı bağlandığında, verilen işi öğrenmesi kırk gün alıyordu. Farklı bir sıçana uygulanan bir başka deneyde, ek olarak üç elektrot daha bağlanan sıçanın verilen

işte ustalaşması için dört gün yeterli olmuştu. Sonunda kızılötesi detektör doğrudan görme korteksine nakledildiğinde, süre bir güne indi.

Kızılötesi girdiler, sıçanın beyninin yararlanabileceği girdilerden bir tanesiydi yalnızca. Bilgiyi oraya yönlendirdikten sonra, nasıl yönlendirdiğinizin bir önemi yoktu. Önemli bir nokta da şuydu: Kızılötesi alıcı, somatosensoriyel korteksin normal işlevlerini ne ele geçirmiş ne de etkilemişti. Hayvan etrafı kolaçan etmek için bıyıkları ya da pençelerini hâlâ kullanabilmekteydi. Bu yeni duygu, tam aksine düzenekle pürüzsüz bir biçimde bütünleşmişti. Doktora-sonrası araştırmacısı olan ekip lideri Eric Thomson, bütün bunların anlamı konusundaki heyecanını şöyle dile getiriyordu:

> Hâlâ hayretler içindeyim. Evet, beyin yeni bilgi kaynaklarına her zaman açtır ama bu yepyeni ve tümüyle yabancı kaynağı bu kadar hızlı özümsemesi, nöroprotez alanı için büyük bir şans.

Evrimsel özelliklerin gelişmek için izledikleri uzun yolun sonunda iki gözümüzün başımızın önüne konumlanmış olması bize dünyayı 180 derecelik bir görme açısıyla izleme olanağı tanıyor. Ama atsineğinin bileşik gözleri, ona neredeyse 360 derecelik bir görüş sağlamış. Öyleyse modern teknolojiye, sinek görüşünün keyfini sürmemizi sağlayacak bir itki verebilir miyiz?

Fransa'daki bir ekibin, FlyVIZ adlı cihazla yaptığı da işte tam olarak bu. FlyVIZ, kullanıcılarına 360 derecelik görüş açısı sağlayan bir kask. Sistem, kaskın üzerine takılan ve bütün sahneyi tarayarak onu kullanıcının gözleri önündeki bir ekrana sıkıştıran bir kameradan ibaret.[57] FlyVIZ'in tasarımcıları, kullanıcıların kaskı ilk taktıklarında (bulantı verici) bir uyum süreci geçirdiklerinden söz ediyorlar. Ama bu, şaşılacak ölçüde kısa sürüyor: Kaskı on beş dakika kadar taktıktan sonra kullanıcı, çevresindeki herhangi bir noktaya tutulmuş bir nesneyi kavrayabiliyor, yaklaşmakta olan birinden kaçınabiliyor, hatta bazen arkasından atılmış bir topu bile tutabiliyor.

Peki, ya 360 derecelik görüşle kalmayıp size normalde görünmez olan nesneleri de hissedebilseniz? Sözgelimi karanlıkta çevrenizi sarmış birkaç kişinin konumunu?



360 derecelik görüş.

Bir grup paralı askerin düşman androidleri yakalamak için özel bir bölgeye indirildiğini hayal edin. HBO'nun *Westworld* dizisini hatırlattı, değil mi? Gerçekten de dizinin bilimsel danışmanlarından biri olarak, kendi teknolojimizi bu amaç için kullanmayı önermiştim. Birinci sezonun sonunda "ev sahipleri" (*host*) yani androidler bir isyan başlatır; ikinci sezonda da bir özel harekât ekibi isyanı bastırmaya çalışır. Geliştirdiğimiz Vest'leri takan bu adamlar, karanlık noktalarda, bariyerlerin arkasında, en beklenmedik yerlerde gizlenmiş olan ev sahiplerinin yerini *hissetme* özelliğini kazanmışlardır. Düşmanlar belki sola doğru iki yüz metre önlerinde, belki hemen arkalarında, belki de duvarın diğer tarafında pusuda beklemektedir. *Westworld*, otuz yıl sonrasında geçtiği halde, modern teknolojiyle bütün bunları gerçekleştirmek kolaydır. Bu teknoloji insan algısını, doğuştan sahip olduğumuz harikulade ama sınırlı kapasitedeki göz kürelerinin ötesine taşır.

Westworld'ün senaryosu üzerine düşünmem, körlüğe odaklı çok ilginç bir deney yapmak üzere Google'la yaptığımız işbirliğinin birkaç ay sonrasına karşılık geliyordu. Bazı Google ofislerine lidar (ışıklı radar), yani sürücüsüz araçların bir kısmının tepesinde gördüğümüz döner cihazlardan yerleştiriliyor. Lidar, ofis alanında hareket eden her nesnenin, bizim örneğimizde insanların konumunu izlemede de kullanılan bir araç.

Lidar akışına giriş sağlayarak Vest'e bağladıktan sonra, kör bir genç olan Alex'le çalışmaya koyulduk. Alex Vest'i üzerine takınca –tıpkı *Westworld*'deki askerler gibi– çevresinde dolanan insanların konum-

larını hissetmeye başladı. 360 derecelik bir görüş kazanmış, kör bir adam olmaktan çıkıp bir anda Jedi'ye dönüşmüştü. Üstelik öğrenme sürecinden geçmesi bile gerekmedi; anında kapmıştı her şeyi.

Alex'in deneyimleri, duyularımızın kapsamını artırmanın kolay olduğunu göstermekten öte, Patates Kafa modelini de doğruluyor: Farklı türde bir veri akışını sisteme taktığınızda beyin onu nasıl kullanacağını bulur. Alex'in Vest'i, FlyVIZ kamerası ve kızılötesi algılayıcı takılmış sıçan bize, biyoloji söz konusu olduğunda gelenek kavramının yersizliğini gösteriyor. Çünkü kendimizi, miras aldığımız genetiğin dayattığı geleneklerin ötesine taşıyabiliriz.

Bu tür kapsam genişlemeleri görmeyle sınırlı değildir. İşitmeyi ele alalım. İşitme cihazlarından Buzz bilekliğimize kadar uzanan aygıtlar silsilesi, şimdiden normal işitme skalasının ötesine uzanabiliyor. Öyleyse ultrasonik aralığı, sadece kedi ve yarasalara açık sesleri de duyacak şekilde genişletemez miyiz? Ya da fillerin birbirleriyle iletişim kurmada yararlandığı infrasonik aralığı?[58] İşitme teknolojileri geliştikçe, türümüz için bir şekilde tipik olagelmiş duyu girdilerini sınırlamanın anlamlı bir nedeni de olamaz.

Koku duyusunu düşünün. Erimimizin çok ötesinde kalan kokuları algılayabilen tazıyı hatırladınız herhalde. Bir moleküler algılayıcılar dizisi üretip farklı maddeleri de algılayabileceğinizi varsayın. Koca burunlu bir narkotik köpeğinden yararlanmak yerine, bu düzeydeki bir koku algısını kendiniz de pekâlâ yaşayabilirsiniz.

Bütün bu projeler dünyaya çeşitli pencereler açarak görünmez olanın bir kısmını görünür kılıyor. Ama duyuları normalde aldıklarından fazlasını alacak şekilde genişletmekten öte, ya tümüyle yeni duyular yaratabilseydik? Manyetik alanları ya da gerçek-zamanlı Twitter verilerini algılayabilseydiniz? Beynin inanılmaz esnekliği sayesinde, bu veri akışlarını doğrudan algıya yükseltme olasılığımız gerçekten de var. Şu ana kadar öğrendiğimiz ilkeler, düşüncelerimizin duyusal ikame ve duyusal pekiştirme olguları ötesine uzanarak, duyusal ekleme dünyasına ulaşmasını mümkün kılıyor.[59]

YENİ BİR DUYU MERKEZİ KAZANMAK

Todd Huffman bir "biyo-hacker". Saçlarını genellikle temel renklerden birine boyuyor ama onun dışında dış görünüşü bir oduncununkinden farksız. Bundan birkaç yıl önce, küçük bir neodim mıknatısı sipariş etmişti. Mıknatısı, bir ameliyat bıçağını ve ellerini sterilize ettikten sonra parmaklarına nakletti.

Todd şimdi manyetik alanları hissedebiliyor. Bir elektromanyetik alana maruz kaldığında mıknatıs küçük bir çekme hareketi yapıyor ve sinirleri bu hareketi algılıyor. İnsanlar için normalde ulaşılmaz olan bilgiler, artık parmaklarından başlayan duyusal yollar aracılığıyla beynine akıyor.

Todd'un algısal dünyası, elektrikli ocağın üstündeki bir tavaya ilk uzandığında genişlemişti. Ocak –bir bobinde akan elektriğe bağlı olarak– geniş bir manyetik alan yayar. Bu küçük bilgi parçasının daha önce farkına varmamış olan Todd, artık onu *hissedebiliyordu.*

Todd, kollarını uzattığında, bir güç kablosu dönüştürücüsünden (dizüstü bilgisayarınızdaki gibi) çıkan elektromanyetik baloncuğu algılayabiliyor. Bu, tıpkı bir görünmez baloncuğa dokunmak gibi; elini dolaştırarak şeklini belirlediği bir baloncuk. Elektromanyetik alanın gücü, mıknatısın parmağının içinde nasıl bir kuvvetle oynadığıyla anlaşılabiliyor. Mıknatısın titreşim biçimi manyetik alanların frekanslarına bağlı olarak değiştiğinden, farklı dönüştürücülere farklı nitelikler atfedebiliyor Todd ("doku" ya da "renk" gibi sözcüklerle).

Bir başka biyo-hacker olan Shannon Larratt, bir söyleşide kablolardan akan gücü hissedebildiğini, dolayısıyla donanımla ilgili sorunları, bir voltaj metreden yararlanmaksızın parmaklarıyla tespit edebildiğini anlatıyordu. İmplantları çıkarılacak olsa kendini kör gibi hissedeceğini de eklemişti.[60] Sonuç olarak, daha önce algılayamadığımız bir dünya bizim için algılanabilir olmaya başlıyor: Mikrodalga fırınlar, bilgisayar fanları, hoparlörler ve metro güç dönüştürücülerinin çevresinde yaşayan, "elle tutulur" şekillerden oluşan bir dünya bu.

Peki ya sadece nesnelerin çevresindeki manyetik alanları değil, gezegenin çevresindekileri de algılayabilseydiniz? Ne de olsa hayvanlar yapıyor bunu. Kaplumbağalar yumurtadan çıktıkları kumsallara,

kendi yumurtalarını bırakmak için dönüyorlar. Göçmen kuşlar her yıl Grönland'dan Antarktika'ya ve sonra yine başladıkları noktaya uçabiliyorlar. Krallar ve ordular arasında haber ileten güvercinler ise insan habercilerden daha iyi bir hassasiyetle buluyorlar yönlerini.

Hayvanların bu sihri nasıl gerçekleştirdiklerini merak eden Rus bilimci Alexander von Middendorff, 1885'te içsel bir pusula kullanıyor olabileceklerini tahmin ettiğinde haklıydı: "Gemilerde kullanılan manyetik iğnelerle olduğu gibi, yelkenlerini gökyüzüne açanlar da galvanik-manyetik akışlarla ilişkili olabilecek içsel bir manyetik duyum yaşarlar."[61] Başka bir ifadeyle, onlar da yönlerini bulmak için gezegenin manyetik alanından yararlanıyorlardı.

Osnabrück Üniversitesi bilimcileri, 2005'ten başlayarak giyilebilir bir cihazın insanlara da bu sinyale erişim sağlayıp sağlayamayacağı sorusuna odaklandılar ve feelSpace adı verilen kemeri geliştirdiler. Uzunluğu boyunca titreşimli motorlar taşıyan kemerde, kuzeye bakan motor titreşiyor. Vücudunuz döndükçe, manyetik kuzeyin bulunduğu doğrultuda sürekli bir vızıltı hissediyorsunuz.

Başlangıçta rahatsız edici bir mırıltı olarak hissedilen titreşim, zaman içinde uzamsal bilgiye, kuzeyin *orada* olduğu duygusuna dönüşüyor.[62] Kemer, birkaç hafta içinde insanların seyrüsefer (navigasyon) becerilerini de değiştiriyor: Yön duyguları (oryantasyon) gelişiyor, yeni stratejiler üretebiliyor, farklı yerler arasındaki ilişkiler konusunda daha yüksek bir farkındalık kazanıyorlar. Çevreleri onlar için daha düzenli bir yapıya kavuşuyor ve belirli noktaların bütün içindeki konumları daha iyi hatırlanabiliyor.

Katılımcılardan biri deneyimini şöyle anlatmıştı: "Şehirlerde yaşadığım oryantasyon hissi ilginçti. Eve döndükten sonra her yerin, odaların, binaların göreli konumlarını, oralarda bulunduğum sırada dikkat etmiş olmasam da hatırlayabiliyordum."[63] Kullanıcılar, uzaydaki hareketlerini bir dizi işareti izleyerek hatırlamak yerine, geçtikleri yerlere kuşbakışı bakabiliyorlardı. Bir başka kullanıcı da şunları söylüyordu: "Yaşadığım şey, dolaysız bir dokunsal uyarıdan farklıydı çünkü kemer uzamsal bir duyuya da aracılık ediyordu. (...) Evimin ya da ofisimin doğrultusuyla ilgili sezgisel bir farkındalık kazanmıştım." Başka türlü ifade edersek, yaşadıkları ne bir duyusal *ikame* (görsel ya da işitsel verilerin farklı kanallardan iletimi) ne de bir duyusal *pekiştirme* (görme

ya da işitmenin daha iyi hale gelmesi) deneyimiydi. Duyusal bir *eklemeydi* bu. Yeni bir insan deneyimiydi. Şöyle devam ediyordu kullanıcı:

> İlk iki hafta boyunca, dikkatimi vermem gerekiyordu; sonrasında her şey sezgisel nitelik kazandı. Kimi zaman kaldığım bir yerdeki mekân ve odaların düzenlenişini bile kafamda canlandırabiliyordum. İlginçtir, geceleri kemeri çıkardıktan sonra da titreşimi hissedebiliyorum: Diğer tarafa döndüğümde, titreşim de benimle dönüyor; harika bir his bu![64]

İlginç bir nokta, kullanıcıların kemeri çıkardıktan sonra da bu gelişmiş oryantasyon duygusunu bir süre koruduklarını sıklıkla söylemeleri. Etkisi, teknolojinin kendisinden uzun sürüyor. Tıpkı denge kaskıyla gördüğümüz gibi, sinyallerin iç fısıltıları, harici bir aygıt tarafından doğrulandıklarında güçlenebiliyor.[65]

Bu insanların yaşadıkları, daha derin ayrıntıyla sıçanlar üzerinde incelendi. 2015'te bilim insanları, gözlerini örttükleri sıçanların görme korteksine dijital pusulalar yerleştirdiler. Sıçanlar başlarındaki doğrultu sinyallerinden yararlanarak, bırakıldıkları labirentlerde yiyeceği ulaşmanın yolunu hızla buldular.[66]

Beyin, hangi türden bir veri alırsa alsın, ondan yararlanmanın yolunu bulur.

1938'de Douglas Corrigan adındaki bir havacı, sonradan *Spirit of $69.90* adıyla anılacak bir uçağı hayata döndürdükten sonra, onunla ABD'den Dublin'e uçtu. Hava araçlarının o erken dönemlerinde, çok az navigasyon aygıtından yararlanılmaktaydı: Genellikle bir pusula, bir de hava akışının uçağa göre yönünü gösterecek bir ip parçasından ibaretti her şey. *The Edwardsville Intelligencer* gazetesinin olayı aktarırken bir mekanik teknisyeninin, Corrigan'ı nitelemek için kullandığı "flies by the seat of his pants" ("pantolonunun kalça kısmını kullanarak uçuyor") sözlerini alıntılaması, birçoklarına göre İngilizcede bu deyimin kullanımının başlangıcı oldu. Bu deyim, uçağı hissederek, içgüdüyle uçmak anlamına geliyordu. Ne de olsa pilotun uçakla en fazla temas halinde olan vücut kısmı kalçasıydı; dolayısıyla bilginin pilotun beynine

iletildiği yol buydu. Pilot uçağın hareketlerini hissediyor ve ona göre hareket ediyordu. Uçak, dönüş sırasında aşağıda kalan kanada doğru kayarsa pilotun kalçaları da aşağı kayardı. Dönüş dairesinin dışına doğru savrulursa pilot hafif bir g kuvvetiyle yukarı itilirdi. Kayma/savrulma göstergesi I. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar icat edilmediğinden, ilk pilotlar birçok faktörü (eğim, rüzgâr hızı, dış sıcaklık ve uçağın genel işleyişi gibi) dokunma duyularına odaklanarak tahmin etme konusunda oldukça iyilerdi; özellikle bulutların ya da sisin içinden uçarken.

Verileri "hissetmek", bu bağlamda uzun bir tarihe sahiptir. Neosensory laboratuvarlarında bunu bir üst düzeye taşımak için çalışıyoruz. Ayrıntıya inersek yaptığımız şey, dron pilotlarının algılarını genişletmek. Vest cihazı, bir kuadkopterden (dört rotorlu döner kanat) beş farklı değişken temelinde ölçümler alır: yunuslama* (*pitch*), sapma (*yaw*), yatış (*roll*), oryantasyon ve uçuş başı** (*heading*). Bu bilgiler pilotun dronu uçurma becerisini geliştirir. Temelde pilot derisini *ta yukarıya*, uzaklara, dronun bulunduğu yere kadar genişletir.

Olur da bu konuda romantik bir rüzgâra kapılırsanız belirtelim: Havayolu pilotları, gerekli cihazların yokluğunda daha iyi bir performans *göstermiyorlardı.* Aygıtlarla dolu bir pilot kabini, pilota başka türlü ulaşamayacağı unsurların ölçümlerini sağlayarak, uçuşu daha güvenli hale getirir. Bir pilot yataya paralel mi uçtuğu, yoksa yana yatmış halde dönüş mü yaptığını kalçasıyla anlayamaz.[67] Zengin bir cihaz çeşitliliğine sahip olmak, olmamaktan iyidir; mesele, bunların sunduğu veri zenginliğini beyne ulaştırmaktır. Modern bir uçağa baktığınızda, pilot kabininin bir yığın cihazla tıka basa dolu olduğunu görürsünüz. Görme sistemi her göstergeyi tek tek tarayarak emeklemek zorundadır ve bu da yavaş işleyen bir süreçtir. İşte teknolojik bakımdan gelişmiş bir kabini sil baştan ele almak da bu nedenle ilginç yaklaşımlar ortaya çıkaracaktır: Pilot her şeyi gözleriyle okumak yerine, bütünü *hissedebilir* örneğin. Vücuda çok boyutlu bir veri akışı, pilota bir bütün olarak uçağın durumunu bildirecektir. Böyle bir sistemin gerçekten de işleyebilme olasılığı yüksektir çünkü beyin, vücuttan gelen çok boyutlu verileri okumada büyük beceriye sahiptir. Tek ayak üstünde dengede durabilmenizin nedeni de budur: Bacaklarınız, gövdeniz ve

* Uçakların yanlamasına ekseni çevresinde gerçekleştirdiği hareket. (*e.n.*)

** Burun doğrultusunun pusula derecesi. (*ç.n.*)

kollarınızdaki farklı kas gruplarının hepsi, kendi verilerini beyne aktarırken beyin de durumun bir özetini çıkarıp gerekli düzeltme talimatlarını göndermektedir.

Öyleyse kalçadan hissederek uçmakla gövde derisinden hissederek uçmak arasındaki farkı yaratan, beyne ulaşan veri miktarıdır. Yaşadığımız dünya bilgilerle âdeta şişmiş durumda olduğundan, büyük veri yığınlarına ulaşmaktansa onları daha dolaysız *deneyimlemeye* geçiş yapmak zorunda kalacağız gibi görünüyor.

Şimdi de aynı bakış açısıyla bir fabrikanın durumunu hissettiğinizi hayal etmeye çalışın. Düzinelerce makine ayna anda çalışıyor ve size de bunu bir bütün olarak hissedebileceğiniz bir birim takılmış. Siz böylece o fabrikaya dönüşüyorsunuz. Aynı anda düzinelerce makineye erişiminiz var. Bunların birbirine göre üretim hızını hissediyor, bir uyuşmazlığın ortaya çıkışını, bir şeye müdahale etmeniz ya da bir ayarlama yapmanız gerektiğini sezebiliyorsunuz. Bu arada sözünü ettiğim şey, bir makinenin arızalanması değil. Bu tür sorunlar, bir uyarı sistemi ya da alarm takılacak denli basittir. Asıl soru şu: Makinelerin birbiriyle ilişkili olarak nasıl çalıştığını anlamanızın yolu nedir? Büyük veriye (*big data*) uygulanabilecek böyle bir yaklaşım, daha derin kavrayış örüntüleri verir.

Duyusal genişleme olgusunun geniş bir yelpazede dağılan olası uygulamalarını düşünün. Cerrahların sırtlarına, onları ameliyat sırasında çeşitli ekranlara bakma sıkıntısından kurtaracak gerçek zamanlı hasta verileri iletebildiğimizi hayal edin. Ya da kendi vücudunuzda süregiden görünmez süreçleri (kan basıncı, kalp atım hızı ya da mikrobiyom durumu gibi) hissederek, bilinç dışı sinyalleri bilinç düzeyine çıkarabildiğimizi. Bir astronotun, Uluslararası Uzay İstasyonu'nun sağlığını hissedebildiğini de hayal edebiliriz. Bu astronot havada bir köşeden diğerine süzülüp sürekli ekranları izlemek yerine, dokunsal örüntülerin istasyonun çeşitli yerlerinden aktardığı veri özetlerini algılayabilecektir.

Ve şimdi de bir adım ileriye taşıyalım bunu. Bir süredir Neosensory laboratuvarlarında, *paylaşılan* algı kavramı üzerinde çalışıyoruz. Gözünüzün önüne birbirinin verilerini hissedebilen bir çift getirin: Her biri diğerinin solunum hızını, vücut ısısını, galvanik deri tepkisini vb. algılayabiliyor. Bu verileri eşlerden birinde ölçüp bilgileri internet

üzerinden diğer eşin taktığı Buzz cihazına aktarabiliriz. Burada karşılıklı anlamada yepyeni bir derinliğin kapısını açma potansiyeli söz konusu. Bir düşünün: Eşiniz ülkenin diğer ucundan arayıp, "Her şey yolunda mı? Biraz stresli gibisin," diyor. İlişkiler açısından belki bir nimet, belki de lanet olabilecek bu durum, her şeye rağmen toplu deneyim olanaklarına yeni bir kapı aralıyor.

Bütün bunların gerçekleşme şansı vardır; çünkü gelen veri akışları genellikle arka planda kaybolur ve duyularımızın farkına ancak beklentilerimiz ihlal edildiğinde varırız. Sağ ayağınızdaki ayakkabının verdiği hissi düşünün. Ona dikkatinizi verebilir, varlığını hissedebilirsiniz. Ancak normalde, ayak derinizden gelen veriler farkındalık eşiğinizin altında kalır. Bu bilgi akışı, sadece ayakkabınızın içine bir taş parçası kaçtığında dikkat çeker. Aynı şey uzay istasyonlarından ya da eşlerden akan veriler için de geçerlidir: Onlara odaklanmadıkça ya da dikkatinizi gerektirecek bir şeyler gerçekleşmedikçe bu hislerin farkına varmazsınız.

Titreşim örüntülerinden yararlanarak beyninizi doğrudan internet kaynaklı bilgi akışlarıyla beslediğinizi varsayın. Neosensory Vest'inizi takıp dolaşıyor ve yakınlardaki meteorolojik birimlerden gelen veri akışlarını hissederek, sizi çevreleyen 300 kilometre yarıçaplı alandaki hava koşullarından haberdar oluyorsunuz. Bir süre sonra, bölgedeki hava olayları örüntüsünü doğrudan algılayabildiğiniz ve bir insanın normalde deneyimleyebileceği ölçeğin çok ötesindeki bir noktada buluyorsunuz kendinizi. Artık eşinize dostunuza yağmur yağıp yağmayacağını meteorologlardan çok daha büyük bir doğrulukla söyleyebilirsiniz. İşte bu, yepyeni bir insan deneyimi olurdu; sahip olduğumuz standart, sınırlı, küçücük insan bedeniyle asla yaşayamayacağımız bir deneyim.

Ya da Vest'in size gerçek zamanlı borsa verileri aktardığını, böylece beyninizin dünya piyasalarındaki karmaşık ve çok yönlü hareketlerden bir anlam çıkarabildiğini hayal edin. Beyniniz, aslında istatistiksel örüntüleri bulup çıkarma konusunda muazzam bir işleyiş sergiler; hatta dikkatinizi verdiğinizin farkında olmadığınız zamanlarda bile. Öyleyse çevrenizde olup bitenlerle (haber başlıkları, sokakta beliren

yeni moda akımları, ekonominin gidişatı, vb.) ilgili genel bir farkındalığınız varsa Vest'i bütün gün takmak yoluyla piyasaların gelecek adımlarıyla ilgili olarak -modellerden daha başarılı- güçlü sezgiler geliştirebilirsiniz. Bu da yine yepyeni bir insan deneyimi demektir.

Bu iş için göz ya da kulaklarla yetinsek olmaz mı, diye soruyor olabilirsiniz. Öyle ya, sanal gerçeklik gözlüğünü takmış bir borsacı, düzinelerce hisse senedinden gelen gerçek zamanlı çizelgeleri izleyemez mi? Sorun, görme yetisinin kullanıldığı gündelik işlerin çok fazla olmasıdır. Borsacı yemekhaneyi bulabilmek, patronunun geldiğini görebilmek ya da e-postalarını okuyabilmek için gözlerine ihtiyaç duyar. Derisi ise aksine, yüksek bant genişliğine sahip ama kullanılmayan bir bilgi kanalıdır.

Borsacı, çok boyutlu verileri hissedebilmenin bir sonucu olarak, değişkenleri tek tek belirlemekten (*Apple'ın hisseleri yükseliyor*, *Exxon çöküşte*, *Walmart kararlı bir seyirde*) çok daha önce, bütünsel resmi (*Petrol piyasası batmak üzere*) algılayabilir. Bu nasıl mümkün olabilir peki? Bahçedeki köpeğinize baktığınızda gelen görsel sinyalleri düşünün. "Şurada bir foton olduğunu fark ettim; şurada da daha sönük bir başkasını. Tam şurada ise parlak bir hat var," demezsiniz örneğin. Büyük resmi algılarsınız sadece.

İnternet kaynaklı olası akışların sayısı inanılmayacak kadar çoktur. "Örümcek hisleri" birçoğumuzun aşina olduğu bir terimdir. Örümcek Adam Peter Parker'ın, bölgedeki sorunları hissetmesini sağlayan karıncalanmadır bu. Öyleyse bir "tweet duyusu" neden olmasın? Twitter'ın artık gezegenin bilincine dönüşmüş olduğu önermesiyle işe başlayalım. Uygulama, dünyayı çepeçevre sarmış bir sinir sistemi üzerinde yol alırken önemli fikirler (ve yanı sıra bazı önemsiz fikirler) gürültü katmanının üzerine çıkıp tepeye yerleşir. Size mesajlarını iletmek isteyen şirketlerden dolayı değil, Bangladeş'teki bir deprem ya da bir ünlünün ölümü veya uzaydaki yeni bir keşfin dünyada yeterli sayıda insanın hayal gücünü ele geçirmesinden dolayı. Tıpkı bir hayvanın sinir sistemindeki en önemli olaylar gibi (*karnım aç*, *biri yaklaşıyor*, *su bulmalıyım*), dünyadaki ilgi odakları da diğer olgular arasından yükselme eğilimindedir. Twitter'da yüzeye çıkan fikirler önemli olsun veya olmasınlar gezegen popülasyonunun aklındakileri anbean temsil etmektedir.

2015'teki TED konferansında Scott Novich ile "TED" etiketiyle gönderilen bütün tweet'lerin izini algoritmik olarak sürdük. Bu işlem sırasında yüzlerce tweet'i bir araya getirdikten sonra, onları bir duygu (*sentiment*) analiz programına yükledik. Bu bize olumlu ("muhteşem," "ilham verici" gibi) ve olumsuz ("sıkıcı," "aptalca" gibi) tweet'leri sınıflayacak büyük bir sözcük dağarından yararlanma olanağı tanımıştı. İstatistik özetleri Vest'e gerçek zamanlı olarak aktarıldı. Salondaki duygu durumunu ve zamanla gösterdiği değişimi *hissedebiliyordum*. Bu, bana tek bir insanın normalde ulaşabileceğinden daha büyük bir şeyin deneyimini yaşatmıştı: yüzlerce insanın topluca oluşturduğu bir duygu durumuna erişim sağlamak. Bir siyasetçinin on binlerce insana hitap ederken böyle bir aygıtı takmak istemesi şaşırtıcı olmaz çünkü bu şekilde açıklamalarından hangilerinin olumlu karşılandığı, hangilerinin geri teptiği konusunda anlık bir kavrayış geliştirebilecektir.

Büyük düşünmek istiyorsanız etiketleri boş verin ve gezegendeki bütün güncel tweet'lerin doğal dil işleme süreçlerini ele alın: Saniyede bir milyon tweet'i sıkıştırıp bu "özeti" Vest aracılığıyla aktarabiliyorsunuz sözgelimi. İşte gezegenin bilincine bağlandınız demektir. Ortalıkta dolaşırken birden Washington'daki siyasi bir skandalı ya da Brezilya'daki orman yangınlarını, belki de Ortadoğu'daki yeni bir çatışmayı algılayabilirdiniz . Bu sizi –duyusal anlamda– daha dünyevi kılacaktır.

Bu arada, kendini dünyanın bilincine bu şekilde bağlamak *isteyecek* çok fazla kişi çıkacağını ileri sürmüyorum. Ancak ilkesel kanıttan* öğrenebileceğimiz çok şey var. Duyusal ekleme olgusu söz konusu olduğunda, şu ana kadar karşılaştığımız bütün normal sınırların çok ötesinde düşünmemizi sağlayan bir özgürlük elde edebileceğimizin altını çiziyor.

Bana, bu veri akışlarını bir bilgisayara bağlamak dururken, neden bir insanı bağlamak üzerinde yoğunlaştığımı soranlar oluyor. Sonuçta iyi bir nöral ağ, örüntü tanıma konusunda insandan daha başarılı olmaz mı?

Her zaman değil. Bilgisayarların, örüntü tanımada büyük marifetler sergileyebilseler de *insanlar* için önemli olanı belirleme konusunda özel bir yetenekleri yoktur. Aslına bakılırsa sıklıkla insanlar bile

* Bir yöntem veya fikrin olabilirliğinin gösterilmesi ya da bir kavram yahut teorinin uygulanma potansiyelinin doğrulanması amacıyla ilke temelinde gösterilmesi. (*e.n.*)

kendileri için önemli olanı önceden bilmez. Bu nedenle örüntü belirleme rolünü insanın üstlenmesi, bir nöral ağın sağlayacağından daha geniş bir mercek ve daha büyük esneklik sağlayacaktır. Borsa işlerinde kullandığımız Vest'i yeniden örnek alalım: New York, Şangay ya da Moskova sokaklarında dolaşırken insanların giydikleri, ilgilerini çeken ürünler, duygularının olumluluk ya da olumsuzluk dereceleri hakkında belli belirsiz ölçümler alırsınız. Ne aradığınızı önceden bilmiyor olabilirsiniz ama gördüğünüz ve işittiğiniz her şey, içsel ekonomi modelinize aktarılacaktır.

Ek olarak bir de Vest'in belirli bir piyasadaki fiyat dalgalanmalarını size aktardığını hissettiğinizde, bu bileşim size zengin bir görüş sağlayacaktır. Yapay bir nöral devrenin yaptığı, kendisine iletilen sayılardaki örüntüleri aramaktan ibarettir; bu nedenle doğası gereği programcıların seçimleriyle sınırlandırılmış olacaktır.

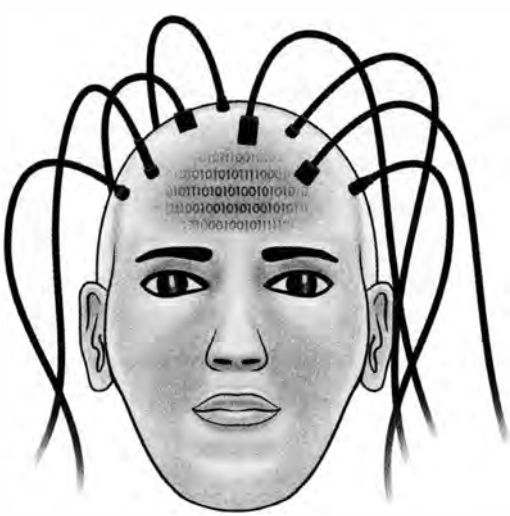
René Descartes zamanının önemli bölümünü, kendisini çevreleyen *gerçek* gerçekliği nasıl anlayabileceğini düşünerek geçirmişti. Neticede duyularımızın bizi sıklıkla yanılttığının, rüyalarımızın uyanıklıktaki deneyimlerimizle karışabildiğinin farkındaydı. Kötü ruhlu bir iblisin onu düzenli olarak kandırmadığından, çevresindeki dünyayla ilgili yalanlara boğmadığından nasıl emin olabilirdi? 1980'lerde felsefeci Hilary Putnam bu soruyu bir üst seviyeye şöyle yükseltti: "Fıçıdaki bir beyin miyim ben?"[68] Bilim insanları beyninizi vücudunuzdan ayırmış olsa ve bir kitabın ellerinizde bıraktığı hissi, derinizin sıcaklığını, ellerinizin görünüşünü algıladığınızı inanmanızı sağlayacak şekilde korteksinizi uyarsa nereden anlayabilirdiniz? Bu soru, 1990'larda "Matrix'te mi yaşıyorum?" biçimine dönüştü. Günümüzdeki eşdeğeri ise şöyle: "Bir bilgisayar simülasyonu muyum ben?"

Eskiden bu tür soruların yeri, felsefe sınıflarıydı ama artık nörobilim laboratuvarlarına da sızmış durumdalar. Normal deneyimlerimizin aslında duyusal girdilerden ibaret olduğunu hatırlayın. Öyleyse beyne doğrudan bağlanan sinyaller de tam olarak aynı sonuçları verebilir. Ne de olsa, alıcılarımızı etkileyen bütün sinyaller ortak bir elektrokimyasal birime dönüştürülür ve dolayısıyla alıcıları atlayarak elektrokimyasal sinyalleri doğrudan üretebiliriz. Aracıyı boş verebiliriz

sonuçta. Görsel verileri doğrudan işlemciye aktarabilirsek neden illa önce kulak ya da dile yükleyelim?

Bu teknolojiye zaten sahibiz. Uygulanan işlemlerde, genellikle az sayıda (birden birkaç düzineye kadar) elektrot yerleştiriliyor ve bu işlem, titreme, depresyon ve bağımlılık gibi sorunlarla baş etmek için subkortikal alanların derinlerinde yapılıyor. Korteksi anlamlı bir duyusal mesajla uyarmak ve zengin etkinlik örüntüleri ortaya çıkarmak için ise çok daha fazla elektroda (belki de yüz binlercesine) ihtiyacımız olacak.

Şu anda bunu gerçeğe dönüştürmek için çalışan birkaç araştırma grubu var. Stanford nörobilimcileri, bir maymuna 100.000 elektrot yerleştirebilecekleri bir yöntem bulma uğraşındalar örneğin. Bu şekilde, (doku hasarının da asgaride tutulabilmesi koşuluyla) ağların ayrıntılı özellikleri konusunda ilginç ve yepyeni şeyler öğrenilmesi umuluyor. Henüz emekleme aşamasında olan bazı yeni şirketler de, nöral verileri dolaysız tak-çalıştır birimleriyle hızlı bir şekilde okuyup yazarak, beynin dış dünyayla bağlantı hızını yükseltmeyi hedefliyor.



Yeni veri akışlarını doğrudan kortekse yönlendirerek yeni bir artırılmış gerçeklik tipine ulaşmak mümkün. Şekilde durumu örneklemek için tellerden yararlanılmış olsa da, tekniğin geleceği kablosuz bağlantıda yatıyor: Peşinizde sürüklediğiniz teller eşliğinde dolaşmak ve birilerinin yanlışlıkla gelin duvağına basar gibi tellerinize basmasını istemezsiniz elbette.

Sorun teoride değil, pratikte. Parmak deriniz batan bir kıymığı nasıl dışarı itiyorsa, içine elektrot yerleştirilen beyin dokusu da yavaşça yükselerek elektrodu aynı şekilde itmeye çalışır. Bu, sorunlardan küçük olanı. Daha büyük sorunsa beyin cerrahlarının, ameliyat sırasında hastayı kaybetme ya da enfeksiyon riskinden dolayı bu tür ameliyatlardan kaçınmaları. Dahası, tüketicilerin hastalık (Parkinson ya da ağır depresyon gibi) dışındaki gerekçelerle –örneğin, sırf arkadaşlarıyla daha hızlı mesajlaşmanın zevkini yaşamak için– açık beyin ameliyatını göze alıp almayacakları da belli değil. Bir başka seçenek, elektrotları beyin boyunca dallanan damarlar ağacına vermek olabilir; ama burada da damarlara hasar verme ya da onları tıkama olasılığı söz konusu.

Bununla birlikte, ufukta başka olasılıklar da var. Beyne gelen ve beyinden çıkan bilgi akışını hücresel düzeyde gerçekleştirmeye dayanan bu olasılıklar, elektrot implantasyonunu da gerektirmiyor üstelik. Önümüzdeki on ila yirmi yıl içinde, büyük ölçekli minyatürleştirme yaklaşımıyla sinyallerin beyne doğrudan aktarma sürecinin kökten bir değişime uğrayacağı bekleniyor. Olasılıklar arasında "nöral toz" gibi gereçler de var. Bunlar beyin yüzeyi boyunca saçılarak veri kaydeden, sinyalleri bir alıcıya gönderen ve beyinde küçük uyarı atımları oluşturan çok küçük boyutlu elektrikli aygıtlar.[69]

Bir de nanorobotik var. Atomlar düzeyindeki bir kesinlikle üç boyutlu baskı yapılabildiğini düşünün. Bu şekilde, özünde mikroskobik birer robot olan karmaşık moleküller tasarlanıp üretilebilir. Teoride, bu şekilde basılan yüz milyar robot küçük bir kapsüle sığdırılıp yutulduğunda, kan-beyin bariyerini aşıp tasarlanma amaçlarına bağlı olarak nöronlarla etkileşim kurabilir, nöronlar her etkinleştiğinde sinyal iletip nöronları etkinleşmeye zorlayacak sinyalleri alabilirler. Bu şekilde, beyindeki milyarlarca nöronu okumak ve üzerlerine yazmak mümkün olur. DNA'da kodlama yapmak yoluyla proteinlerden biyonanorobotlar üreterek genetik yaklaşımları geliştirmek de mümkündür. Beyne bilgi aktarmada yararlanılabilecek birçok yaklaşım vardır aslında. Önümüzdeki yıllarda tahminen her nöronun tek tek okunup denetlenebildiği bir aşamaya ulaşacağız. Bu noktada beyinlerimiz, yelekler ya da bilekliklere gereksinim bile duymaksızın, doğrudan birer duyusal pekiştirme aygıtı konumuna gelecek.

İster derideki titreşimlerle ister dilde hissedilen küçük darbelerle ister nöronların doğrudan etkinleştirilmesiyle olsun, verileri beyne iletmenin yollarından söz ettik. Ama temel bir soru hâlâ yanıtlanmayı bekliyor: Yeni bir girdi, nasıl bir *his* uyandıracak?

YENİ BİR RENK HAYAL ETMEK

Kafatasının karanlık mahzeninde oturan beyin için erişime açık olan tek şey, özelleşmiş hücreleri arasında koşuşturup duran elektrik sinyalleridir. Doğrudan ne bir şey görür ne bir şey işitir ne de bir şeye dokunabilir. Girdiler ister bir senfoniden yükselen hava basınç dalgalarını ister karla kaplı bir heykelden çıkan ışık desenlerini ister fırından yeni çıkmış bir elmalı turtadan süzülen molekülleri temsil ediyor olsun, hepsi kendini nöronlardaki voltaj tepecikleriyle gösterecektir.

Hızla ileri geri savrulan voltaj atımlarına sahne olan bir beyin dokusu parçasını izleseydik ve ben de size gördüğünüz şeyin görme korteksi mi, işitme korteksi mi, yoksa somatosensoriyel korteks mi olduğunu sorsaydım, bana cevap veremezdiniz. *Ben de* söyleyemezdim size. Çünkü hepsi aynı görünür.

Bu durum, nörobilimde henüz yanıt bulmamış bir soruyu da beraberinde getiriyor. Görme, neden kokudan bu kadar farklı şekilde *hissedilir*? Ya da tattan? Neden dalgalanan bir çam ağacının güzelliğini, beyaz peynirin tadıyla asla karıştırmazsınız? Ya da parmak uçlarınızdaki zımpara kâğıdının verdiği hissi taze espressonun kokusuyla?[70]

Nedenin, bu alanların genetik yapısında yattığı düşünülebilir belki: İşitmeyle ilgili bölgeler, dokunmayla ilgili bölgelerden farklıdır. Ama daha yakından bakıldığında, bu varsayımın işe yaramadığı anlaşılır. Bu bölümde gördüğümüz üzere, görme yetinizi kaybedecek olursanız normal koşullarda görme korteksi adını verdiğimiz beyin bölgesi, dokunma ve işitme tarafından ele geçirilecektir. Devrelerin yeniden düzenlemeye tabi olduğu bir beyin söz konusuysa, "görme" korteksinde görmeyle ilgili temel bir özellik bulunduğunu iddia etmek zordur.

Bu da alternatif bir varsayıma, bir duyuyla ilgili –kualia olarak da bilinen– öznel deneyimin, verilerin yapısıyla belirlendiği düşüncesine

götürüyor bizi.[71] Başka bir ifadeyle, iki boyutlu bir retina tabakasından gelen bilgi, kulak zarının tek boyutlu sinyalinden gelen verilerden ve aynı şekilde, parmak uçlarındaki çok boyutlu verilerden de farklı bir yapıya sahiptir. Sonuçta, bu veri akışlarının her biri birbirinden farklı duyulara yol açar. Bununla yakından ilişkili bir başka varsayıma göre ise kualia, motor çıktıların duyusal girdileri değiştirme biçimiyle belirlenir.[72] Görsel veriler, siz göz çevresindeki kaslara komut gönderdikçe değişir. Görsel girdilerin değişimi, öğrenilebilir şekilde gerçekleşir: Sola baktığınızda, görüş alanının çevresindeki lekemsi nesnelerin görüntüsü keskinleşir ve odaklanır. Gözlerinizi hareket ettirdikçe görsel dünya da değişir; ancak aynı şey ses için geçerli değildir. Sesi netleştirmek için doğrudan başınızı çevirmeniz gerekir. Öyleyse bu veri akışı da farklı koşullara tabidir. Dokunma, yine farklıdır. Parmak uçlarımızı nesnelere yaklaştırır, böylece onlarla temas sağlayarak incelemeye alırız. Koku ise burun çekmeyle şiddeti artan pasif bir süreçtir. Tat derseniz, o da ağzınıza bir şey götürdüğünüzde kendini gösterir.

Bu durum, beyni yeni bir veri akışıyla (bir hareketli robottan ya da galvanik deri tepkisinden gelen veriler veya uzun-dalga kızılötesi sıcaklık verileri gibi) doğrudan besleyebileceğimizi akla getiriyor. Yapı yeterince açık ve kendi eylemlerinizle işleyen bir geribildirim döngüsü de olduğu sürece, verilerin er veya geç yeni bir kualia'ya yol açması beklenir. Bu görme, işitme, dokunma, koku ve tat duyularından hiçbirine benzemeyecek, tümüyle yeni bir duyum olarak hissedilecektir.

Böyle yeni bir duyunun neye benzeyeceğini hayal etmek gerçekten çok zor. Aslına bakılırsa olanaksız da. Nedenini anlamak istiyorsanız yeni bir renk hayal etmeye çalışın. Sizi tutan yok. Gözünüzü kısın ve iyice düşünün. Başta basit bir iş gibi görünse de aslında umutsuz bir çaba bu. Zihninizde yeni bir renk tonunu canlandıramadığınız gibi, yeni bir duyuyu da canlandıramazsınız.

Yine de beyninize bir drondan gerçek zamanlı bir veri akışı ulaşacak olsa (yunuslama, sapma, yuvarlanma, uçuş başı ve oryantasyon), gelen veriler zamanla farklı *bir şey* olarak hissedilebilir mi? Fotonların ya da hava basınç dalgalarının algılandığı gibi? Ve bunun bir sonucu olarak dronun kendisi de vücudunuzun doğrudan bir uzantısı olarak hissedilir mi? Peki, daha soyut bir girdiden söz etsek? Bir fabrika

zeminindeki etkinlikten, Twitter girdilerinden ya da borsadan? Tahminlere göre, uygun veriler aktığı sürece beyin üretim, farklı etiketler ya da gezegendeki gerçek zamanlı ekonomik hareketlerle ilgili olarak, zamanla dolaysız bir algısal deneyim yaşar hale gelecektir. Kualia zaman içinde gelişecektir çünkü bu olgu, beynin büyük miktarlardaki verileri özetlemek için kullandığı doğal bir araçtır.

Peki, bu geçerli bir öngörü müdür, yoksa tam anlamıyla bir fantezi mi? Bunu bilimsel olarak sınama olanağına kavuşacağımız noktaya nihayet yaklaşıyoruz.

Yeni bir duyuyu öğrenme fikri size yabancı geliyorsa bunu zaten yapmış olduğunuzu hatırlayın, yeter. Bebeklerin kulaklarını kullanmayı nasıl öğrendiklerini düşünün: El çırpar, tuhaf sesler çıkarır ve bu eylemlerin geribildirimlerini kulaklarıyla yakalarlar. Havadaki sıkışmalar başlangıçta beyinde gerçekleşen elektriksel etkinliklerden ibaret olsa da zamanla ses olarak deneyimlenirler. Bu öğrenme yöntemi, sağır doğup yetişkinlikte kohlear implant taktıran kişilerde de gözlenir. İmplantın yaşattığı deneyim, başlangıçta sese benzemez bile. Kohlear implant takılan bir arkadaşım, başlangıçtaki etkilerini başının içinde hissettiği ağrısız elektrik şokları olarak tarif etmişti. Hissettiği şeylerin sesle uzaktan yakından ilgisi yoktu. Ancak bir ay kadar sonra bunlar "ses"e dönüşmüştü; kulağa metalik sesler ve parazitlerle dolu berbat bir radyo yayını gibi gelse de. Nihayetinde bunlarla oldukça iyi işitir oldu. İşte bu, kulaklarımızı kullanmayı öğrenirken hepimizin yaşadığı süreçtir; hatırlamayız, o kadar.

Bir başka örnek olarak, yeni doğmuş bir bebekle yapılan göz temasının verdiği mutluluğu düşünün. Kısacık bir andır bu ama dünyanın bu yeni sakininin gördüğü ilk şeylerden biri olmanın verdiği bir hazla sarar bizi. Ama ya aslında sizi hiç *görmediyse*? Görmenin geliştirilmesi gereken bir beceri olduğunu öne sürüyorum. Beyin gözlerden gelen katrilyonlarca voltaj atımını içine alır ve zaman içinde bunlardan örüntüler bulmayı öğrenir; sonra bunların da üzerine yeni örüntüleri, ve sonra daha da fazlasını... Ve nihayet bütün bu örüntülerin özeti, görme deneyimi adını verdiğimiz olguya dönüşür. Beyin, kol ve bacakları denetlemeyi öğrenmek zorunda olduğu gibi, görmeyi de *öğrenmek* zorundadır. Bebekler annelerinin karnından swing dansını öğrenmiş olarak çıkmadıkları gibi, öznel bir görme deneyimi

yaşayarak da çıkmazlar. Hepimiz, şimdiki duyu organlarımızı kullanmayı öğrenmek zorunda kalmıştık. Bu süreçte işleyen temel ilkelerin aynıları, yeni duyu organlarını öğrenmemizi pekâlâ sağlayabilir.

Yeni bir rengi hayal edemediğimiz gerçeği, aslında inanılmayacak kadar çok şey söylüyor. Bir kere, öznel duyusal deneyimlerimizin karşısına dikilmiş ve ötesine bir türlü geçemediğimiz çiti gösteriyor bize. Dolayısıyla yeni bir duyu yaratma becerisi gerçekten de kazanılabilirse bunun çarpıcı sonuçlarından biri, bu duyuyu bir başka kişiye *açıklayamayacak* olmamızdır. Sözgelimi, morun ne olduğunu bilmek için mor rengi deneyimlemiş olmanız gerekir. Ne kadar kapsamlı olursa olsun kuramsal hiçbir açıklama renk körü bir insanın mor kavramını anlamasını sağlayamaz. Aynı şekilde, doğuştan kör olan bir arkadaşınıza görüş kavramını açıklamaya kalkıştığınızda, ne kadar uğraşırsanız uğraşın arkadaşınız olsa olsa söylediklerinizi anladığı izlenimini verecektir size. Ama sonuçta boşuna bir uğraştır bu. Görme olgusunu anlamak, görme deneyimini gerektirir.

Benzer şekilde, tümüyle yeni bir duyuyu "taktığınızda" –ve yepyeni bir kualia geliştirdiğinizde– deneyiminizi başkalarına aktaramazsınız. Bir kere, bunun için kullanılabilecek ortak bir sözcük olmadığından, kimse neden söz ettiğinizi anlamayacaktır. Dil tümüyle kapsayıcı değildir; zaten paylaşmakta olduğumuz şeyleri etiketlemenin bir yoludur yalnızca. Ortak deneyimlerle ilgili bir anlaşma sistemidir. Kazandığınız bu yeni duyuyu açıklama girişiminde bulunabilirsiniz elbette; ama mesele, kimsenin bunu anlayacak temele sahip olmamasıdır.

Araştırmacıların feelSpace kemerini (manyetik kuzeyi gösteren aygıt) takan katılımcılarla ilgili olarak yazdıkları rapora göre, iki kullanıcı algı değişimi yaşadığından söz etmiştir; ancak:

> Erişebildikleri algısal niteliği ve bu farklı türden uzamsal algıyla ortaya çıkan nitel deneyimleri dile getirmek, onlar için zor olmuştur. Gözlemci, olanlarla ilgili kavramlardan yoksun olduklarını, dolayısıyla bir açıklama yapabilmek adına yalnızca metafor ve karşılaştırmalardan yararlanabildikleri izlenimini edinmiştir.[73]

Ama sorun, katılımcının yaşadıklarını dile getirme becerisinde mi yoksa deneycinin kavrama becerisinde miydi? Yazarların daha sonra belirttiğine göre "Katılımcıların algı değişimi üzerinde kendi aralarında konuşmaları, yaşadıklarını deneyimsiz kontrol grubuna aktarmalarından çok daha kolaydı."

Yeni duyuların geliştirilmesiyle yaşananlar da bunlar olacak. Bunları anlamak için veri akışını kendimize yönlendirerek deneyimi doğrudan öğrenmemiz gerekecek. Öyleyse bundan yıllar sonra, yeni duyunuzla sağda solda dolaşırken kendinizi yalnız ve anlaşılmayan kişi konumunda bulursanız yapacağınız en iyi şey, aynı girdileri alan bir topluluk kurmak olabilir. İşte o zaman bu içsel deneyim için yeni bir sözcük de uydurabilir, "zetsenflabiş" bile diyebilirsiniz örneğin. Sözcük, bulunduğunuz topluluk için bir şey ifade etse de dışarıda kalan herkes için anlamsız olacaktır.

Doğru veri sıkıştırmayla alabileceğimiz veri türlerinin sınırı nedir? Altıncı bir duyuyu titreşen bir bileklikle, yedincisini de doğrudan bağlayarak ekleyebilir miyiz? Sekizinciyi dil ızgarası, dokuzuncuyu da Vest'le eklemeye ne dersiniz? Bulunduğumuz noktada sınırın nerede çizilebileceğini söylemek mümkün değil. Bildiğimiz tek şey, beynin, alanlarını farklı girdiler arasında pay etme konusunda yetenekli olduğu. Bunu ne kadar düzgün biçimde gerçekleştirdiğini ise daha önceki satırlarda gördük. Hatırlayın, somatosensoriyel kortekslerine kızılötesi alıcılar yerleştirilmiş fareler, bu görsel frekans aralığında görme yetisini kazanırken, vücudun normal duyusal işlevlerini *kaybetmemişlerdi*. Öyleyse korteksin izlediği siyaset, "kazanan her şeyi alır" yaklaşımı olmak zorunda değil ve dolayısıyla beklenenden çok daha geniş bir duyular topluluğu inşa edebilir. Ancak öte yandan, beyin alanları sonlu olduğuna göre, eklenen her duyunun diğerlerinin çözünürlüğünü düşürmesi de mümkündür; öyle ki yeni duyusal güç için ödeyeceğiniz bedel, görmede biraz bulanıklık, işitmenin biraz kötüleşmesi, deri duyusunun biraz azalması olabilir. Kim bilir? Sınırlarımızla ilgili söylenebilecek şeyler, önümüzdeki yıllarda sınanana kadar, salt spekülasyon olarak kalmaya mahkûm.

Ekleyeceğimiz duyular kaç tane olursa olsun ilginç bir soru daha çıkıyor ortaya: Bu yeni duyular duygusal bir ağırlık da taşıyacak mı? Fırından yeni çıkmış limonlu turtanın kokusu ile kaldırımda gördüğünüz dışkının kokusu, sizde farklı tepkiler uyandırır. Bunlar bir ekranda gördüğünüz sıfırlar ve birler değil, tam anlamıyla duygusal tepkilerdir.

Bunu anlamak için *neden* turtanın güzel, dışkının kötü koktuğunu sorun kendinize. Sonuçta sinyaller birbirinden öyle çok da farklı değil: İki durumda da moleküller havada süzülerek sonunda burnunuzdaki reseptörlere bağlanıyorlar. Bir turta molekülü ya da dışkı molekülünün doğasında, onu güzel ya da kötü kokmaya itecek bir özellik de yok. Bunlar, havada uçuşan birtakım kimyasal yapılardan ibaret ve kahveden, petunyalardan, ıslak kobaylardan, tarçından, yeni sürülmüş boyadan, nehir kenarındaki yosunlardan veya közlenen kestaneden süzülen moleküllerden pek bir farkları da yok. Bu moleküllerin hepsi, burundaki çeşitli koku reseptörlerine bağlanıyor.

Ama biz limonlu turta kokusunu *severiz* çünkü moleküller zengin bir enerji kaynağının habercisidir. Dışkının bize verdiği olumsuz duygular ise patojenlerle dolu olmasından ve evrimin bunu hiçbir koşulda ağzımıza atmamızı istememesinden kaynaklanır. Bu durum, görme sistemindeki benzeri bir süreci andırır. Bir foton matrisiyle karşı karşıya kalan sistem, fotonlar kırlık bir alanı temsil ediyorsa mutluluk dalgasına, tahrip edilmiş bir bedeni temsil ediyorsa da ürpermeye yol açar. Yine, içkulaktaki bir uyarı örüntüsü, içinde yaşadığınız kültürün aşina olduğu tatlı bir melodiyi kodluyorsa mutluluk verecek, hissettiği ağrıyla çığlık atan bir bebeğe aitse itici gelecektir. Duygular sadece hedefleriniz ve maruz kaldığınız evrimsel baskılar kapsamında verilerin *anlamlarını* yansıtır. Evrimsel zaman ölçekleri içinde gelişmiş birçok duygusal durum vardır ama birçoğu da yaşam sürecindeki deneyimlerinizle ortaya çıkar: Radyoda çalan ve size lise döneminde yaşadığınız çok güzel bir geceyi hatırlattığı için sevdiğiniz o şarkıyı ya da terk edildiğiniz zamanı hatırlattığı için gördüğünüzde kötü olduğunuz, dolabınızdaki o giysiyi düşünün.

Eğer Patates Kafa modeli doğruysa ve beyin gerçekten de çok amaçlı bir bilgisayar gibi işliyorsa gelen veriler de er veya geç duygusal bir deneyimle ilişkilendirilecek demektir. Veri akışı hangi bilgiyi taşırsa taşısın ve beyne nasıl ulaşırsa ulaşsın, duyguları da taşıyabilir.

Öyleyse internetten yeni bir veri akışı aldığımız sırada –yeni verilerin hedef ve tutkularımızla nasıl ilişkilendiğine bağlı olarak– birden sevinçle kahkaha atabiliriz, acıyla ağlayabiliriz ya da tüylerimiz diken diken olabilir. Kendinize borsa verilerini yüklediğinizi farz edin. Teknoloji sektörünün dibe vurmakta olduğu haberini alıyorsunuz birden ve siz de o sektöre ciddi bir yatırım yapmışsınız. Kendinizi kötü hisseder misiniz? Sadece bilişsel düzeyde değil, duygusal olarak da? Çürümüş et kokusu aldığınız ya da karınca ısırığının acısını duyduğunuz zamanlarda olduğu gibi örneğin? Diğer taraftan, aldığınız bilgilerin daha parlak bir senaryo sunduğunu düşünün bir de: Yaptığınız yatırım yüzde 6 oranında değer kazanmış. İyi hisseder misiniz kendinizi? Sadece bilişsel düzeyde değil, duygusal olarak da? Örneğin, bir bebeğin kahkahasını işittiğiniz ya da ılık bir çikolatalı kurabiyenin tadını aldığınız zamanlarda olduğu gibi?

Yeni veri akışları karşısında bu tür duygusal tepkiler gösterebilmemiz size tuhaf geliyorsa yaşamamızın *bütün* anlamının, gerçekte hedeflerimiz çerçevesinde önem taşıyan veri akışlarıyla inşa edildiğini hatırlamakta yarar var.

Konuyu kapatmadan önce, sorulmaya değer son bir sorumuz daha olacak: Yeni bir duyuya sahip olmak bizi fazla büyük bir yükün altına sokar mı ya da zorlayıcı olur mu?

Sanmıyorum. Kör bir arkadaşınızın size görmenin fazla stresli bir iş olduğunda ısrar ettiğini bir düşünün: *Yeni bir veri akışına sahip olmak mı? Milyarlarca fotonun ufuktaki bir noktadan bulunduğun yere kadar oluşturduğu, sürekli bir sel ile karşı karşıyasın her an. Yarım kilometre ötende oldukları halde insanların ne yaptığını bilebiliyorsun. Bu yoğunluktaki bir bilginin sürekli olarak sana akması çok sinir bozucu olsa gerek.*

Eğer görebilen bir kişiyseniz görmenin özellikle stresli bir etkinlik olmadığını bilirsiniz. Genellikle "harika" ile "sıkıcı" arasında bir yerlere konumlanmıştır. Bu becerinizle kazandıklarınızı, gerçekliğinize çaba harcamaksızın katarsınız. Neden mi? Çünkü görüş de yalnızca bir başka veri akışından ibarettir; beynin işi ise verileri bütüne katmaktır.

YENİ BİR DUYUYA HAZIR MISINIZ?

Bu bölümde, yeni duyuların yaratılmasını ele aldık. Evrimsel bir zaman ölçeği üzerinde, rastlantısal genetik mutasyonlar belirli bir bilgi kaynağını elektrik sinyallerine çevirmeyi bir şekilde başarırsa, beyin onları "tak-çalıştır" aygıtları olarak ele alır ve hangi türden olursa olsun gelen bilgiyi çözümler. Korteksin bir parçasına bir çift göz takın, görme korteksine dönüşecektir. Kulak takarsanız işitme korteksine, deri takarsanız da somatosensoriyel kortekse dönüşür. Bu durum, doğanın büyük numaralarından birini gözler önüne serer: Dünyadaki yeni enerji kaynaklarına erişim sağlamak için beyni her seferinde sıfırdan inşa etmesine gerek yoktur. Yapması gereken tek şey, yeni çevresel aygıtlar tasarlamaktır: ışık alıcıları, ivmeölçerler, basınç alıcıları, ısı çukurcukları, elektroreseptörler, manyetit, parmağa benzeyen burunlar ve icat edebileceği başka ne varsa.

Ve doğanın bu yaratılarının hayal edebileceği her ne varsa.

Michael Chorost'un kohlear implantı ve Terry Byland'in retinal implantında olduğu gibi, orijinal çevresel aygıtın yerine yapayını yerleştirerek beynin esnekliğinden yararlanmak mümkündür. Yapay aygıtın beynin anadilini konuşması gerekmez; ona yakın bir lehçeyle de pekâlâ idare edebilir. Beyin, verileri nasıl kullanacağını çözümleyecektir.

Daha sonra bu fikri bir sonraki adıma taşıyarak, duyusal değiştirimin gücüne tanık olduk. Devrelerini yeniden kurma yeteneği, beyne inanılmaz bir esneklik kazandırır. Beyin, bu şekilde verileri soğurup onlarla etkileşim kuracak şekilde kendisini dinamik olarak yeniden yapılandırır. Böylece görsel bilgileri dil aracılığıyla iletmek için elektriksel ızgaralardan, işitsel bilgileri deri aracılığıyla iletmek için titreşimli motorlardan, video akışlarını kulaklar aracılığıyla iletmek için de cep telefonlarından yararlanabiliyoruz. Duyusal pekiştirme (zaten var olan bir duyunun sınırlarını genişletme) ve duyusal ekleme (tümüyle yeni olan veri akışlarına erişme) için verdiğimiz örneklerde görüldüğü üzere, bu cihazlar beyni yeni becerilerle donatmada da kullanılabilir. Bunlar bilgisayara bağlı ve kablolu düzeneklerden, şık ve giyilebilir cihazlara doğru hızla yol almıştır. Kullanımları kadar üzerlerinde

yapılan çalışmaları da artıracak olan (işin bilimiyle ilgili olarak yapılacak temel değişiklikleri bile gölgede bırakarak), bu ilerlemedir.

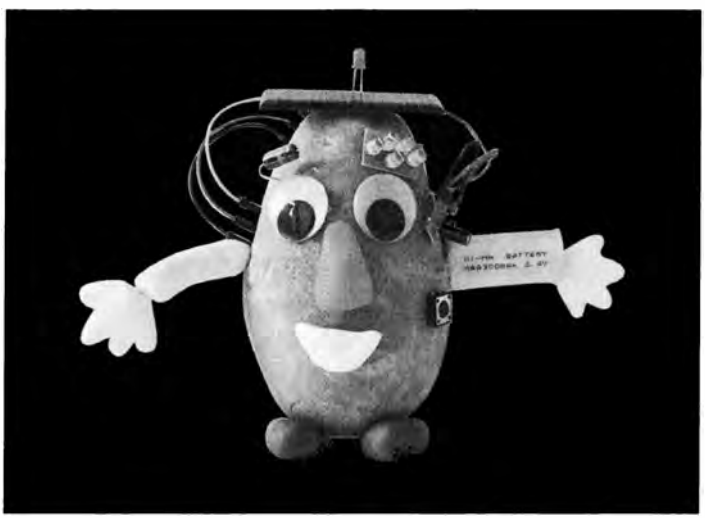
İlerideki bölümlerde daha kapsamlı biçimde ele alacağımız bir durumsa beynin, dünyayı temsil becerisini optimize etmek için devrelerini sürekli biçimde yeniden düzenlemesidir. Yeni ve yararlı olanaklar sunan verilerle yüklenen beyin, bu verileri sarmalar. Bu da ileride yeniden değineceğimiz iki koşulu getirir yanında: Yeni veriler en iyi, kullanıcının hedef ve eylemlerine bağlandığında öğrenilir.

Şimdiki bilgiler ışığında, gerçekleştirebileceğimiz olası duyusal genişleme seçeneklerini hayal etmenin sonu yok: elektromanyetik tayfın farklı aralıklarını görmekten tutun, ultrasonik işitme yeteneğine ya da vücut fizyolojinizin görünmez durumlarıyla bağlantı oluşturmaya kadar. Böyle bir teknolojinin iki katmanlı bir toplumsal yapıya (sahip olanlar ve olmayanlar) yol açıp açmayacağını merak ediyor olabilirsiniz. Söz konusu aygıtlar pahalı olmadığından, bu tür bir ekonomik tabakalaşma riskinin düşük olduğunu düşünüyorum. Dünyayı akıllı telefonlara kavuşturan (ve birçok ülkede kişisel bilgisayar devrimini atlayarak gerçekleşen) teknoloji devriminde olduğu gibi, duyusal teknoloji de bütün dünyada uygulanabilir, hatta telefonların maliyetinden daha da düşük maliyetlerle. Bu, sadece zenginlerin erişimine açık bir teknoloji değildir.

Benim tahminim, geleceğin, "sahip olanlar ve olmayanlar" sınıflamasından çok daha tuhaf bir tablo sunacağı: Sahip olmanın farklı tatlarıyla ilgili olacak bu. Akıllı telefonların gezegenin dört bir köşesinde sunduğu birörnek özelliklerin aksine, belki de farklı insanların farklı süpergüçlere sahip olacağı bir geleceğe doğru ilerliyoruz. Varsayın ki petrol piyasalarıyla ilgili bir duyu geliştirdiniz; komşunuzun özel yeteneği de uzay istasyonundaki arızaları algılamak; anneniz ise bahçe işlerini morötesi ışık algısından yararlanarak yürütüyor. Bir türün çok sayıda türe bölündüğü bir çeşit metaforik türleşmenin eşiğine gelmiş olabilir miyiz? Kim bilir? En iyi durumda, her biri özel bir güçle donanmış süperkahramanlardan oluşan kişilerin, kötü adamı alt etmek için yapboz parçaları gibi bir araya toplandığı Hollywood'vari bir senaryo düşleyebiliriz belki.

Geleceği öngörmek zor. Durum nasıl olursa olsun, kesin bir şey varsa o da ufka doğru yol alırken kendi tak-çalıştır aygıtlarımızı giderek

daha fazla seçecek olmamız. Tabiat Ana'nın bir sonraki duyusal armağanı için milyonlarca yıl beklemek zorunda olan doğal bir tür olmaktan çıkmış bulunuyoruz. Ama Tabiat Ana da bütün iyi ebeveynler gibi, yuvadan çıkıp kendi deneyimimizi biçimlendirebileceğimiz bir bilişsel kapasiteyle donatmış bizi.



Şu ana kadar ele aldığımız bütün örnekler, vücudun duyularından gelen *girdilerle* ilgiliydi. Ya beynin diğer görevi, yani vücut uzantılarına gönderdiği *çıktılar* hakkında ne diyeceğiz? Burada da esneklik söz konusu mudur? Vücudunuzu daha fazla sayıda kol, mekanik bacaklar, ya da düşüncelerinizle kumanda edebildiğiniz, dünyanın öteki ucundaki bir robotla donatabilir misiniz?

Sormanıza sevindim.

5

DAHA İYİ BİR VÜCUT İÇİN

GERÇEK DOC OCK ELİNİ KALDIRABİLİR Mİ, LÜTFEN?

Muhteşem Örümcek Adam No. 3'te (Temmuz 1963) Otto Gunther Octavius adlı bir bilim insanı, dört ilave robot kola kumanda etmek amacıyla beynine doğrudan bir cihaz takar. Kendi kolları kadar kolaylıkla hareket eden bu metal kollar, radyoaktif malzemelerle çalışırken onu tehlikeden korumaktadır. Dr. Octavius'un kollarından her biri bağımsız hareket edebilmektedir – tıpkı bir elinizle direksiyonu kavrarken diğeriyle radyo istasyonunu ayarlayıp bir yandan da ayağınızı gaz pedalından çekerken yaptığınız gibi.

Ne yazık ki bir patlama, beynine zarar vererek Dr. Octavius'u kötülük dolu bir hayata mahkûm eder. Bu yeni hayasızlık duygusunun yönlendirmesiyle fazla kollarından yararlanarak kasalar açar, binalara tırmanır ve çok sayıda kolla çarpışmanın yeni yöntemlerini geliştirir. Etkisi altında olduğu bu yeni kişilik, ona yeni bir lakap da kazandırmıştır: Doctor Octopus (Doktor Ahtapot) ya da Doc Ock.

Çizgi romanın ortaya çıktığı 1963'te, beynin robot kol ya da bacaklara doğrudan bağlanıp kolaylıkla kumanda edebildiğini düşlemek, tam anlamıyla bilimkurguya giriyordu. Ama bu fikir, fanteziden gerçekliğe doğru şaşırtıcı bir hızla yol aldı.

Önceki sayfalarda, Horatio Nelson'ın koluna mermi isabet ettiğinde olduğu gibi, bir kol ya da bacak kaybedildiğinde beynin kendini yeniden düzenlemesine tanık olduk. Ama bu, hikâyenin yalnızca *girdilerle* ilgili olan yarısı. *Çıktılarla* ilgili olan diğer yarısıysa vücudu yönlendiren korteks alanlarının (motor harita) aynı ölçüde uyum sağlayabilmesidir. Sinir sistemi, bir zamanlar var olan kolun yerinde artık denetleyecek bir şey kalmadığını fark ettikten sonra, kola ayrılmış olan alan küçülür.[1] Beyin, yeni vücut planına uyum sağlayacak şekilde kendini yeniden düzenler.

Travmatik bir kaza sonucunda elini kaybeden ve kendisinden burada Laura olarak söz edeceğimiz kadının durumunu ele alalım.[2] Laura'nın birincil motor korteksi, haftalar içinde değişime uğramaya başlamıştı. Birbirine komşu kol kaslarını (biseps ve triseps gibi) denetleyen beyin alanları, önceden elini çalıştıran korteks alanını yavaş yavaş ele geçirmekteydi. Başka bir ifadeyle, bir zamanlar elini çalıştıran nöronlar yeniden görevlendirilmiş ve üst kol kaslarıyla ilgili ekibe katılmaya başlamışlardı. Laura'nın motor haritası üzerinde ölçüm yapmak için kafatasının bir tarafından diğerine küçük manyetik atımlar gönderilip ("transkraniyal manyetik uyarım" tekniği), atımlar sonucunda hangi kasların seğirdiği belirlendi. Araştırmacılar bu tekniğin yardımıyla üst kol kaslarına adanmış alanın birkaç hafta içinde genişlediğini gözlemlediler.

İlerleyen bölümlerde beynin bu numarayı nasıl gerçekleştirdiğini göreceğiz ama şimdilik motor sistemin *neden* kendini bu şekilde ayarlamaya tabi tuttuğu üzerinde yoğunlaşalım. Yanıt şu: Motor alanlar, eldeki düzeneği çalıştıracak şekilde kendilerini optimize ederler. Bu ilke ise olası birçok vücut planına aralar kapıyı.

STANDART KALIPLARA YER YOK

Hayvanlar âlemine şöyle bir baktığımızda, karıncayiyenden yıldız burunlu köstebeğe, tembel hayvandan helikopter böceğine, ahtapottan ornitorenke kadar tuhaf fiziksel formlardan oluşan bir yelpazeyle karşılaşırız.

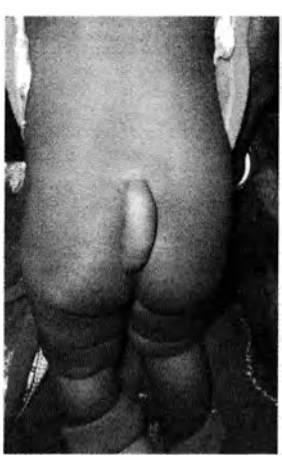
Ama esas gizem, bu âlemdeki bütün hayvanların (biz dâhil) şaşırtıcı ölçüde benzeyen genomlara sahip olmasıdır.

Öyleyse canlılar nasıl oluyor da böylesi zengin çeşitlilikteki bir donanımdan (sarılıcı kuyruk, pençe, gırtlak, duyarga, bıyık, hortum ve kanat gibi) yararlanabiliyorlar? Nasıl oluyor da dağ keçileri kayalardan yukarı zıplamada bu kadar becerikli hale gelebiliyorlar? Baykuşlar farelerin üzerine pike yapmada, kurbağalar sinekleri dilleriyle yakalamada nasıl bu kadar başarı gösterebiliyorlar?

Bunu anlamak için beyne çeşitli girdi aygıtlarının bağlanabildiği Patates Kafa modeline dönelim. Çıktılar için de tümüyle aynı ilkeler geçerlidir. Buna göre Tabiat Ana, sıra dışı motor aygıtlarla canı istediği kadar deney yapmakta serbesttir. İster parmak, kanatçık ya da yüzgeç; ister iki, üç ya da dört bacak; ister el, pençe ya da kanattan söz ediyor olalım, beynin temel çalışma ilkelerinin her seferinde yeniden tasarlanmasına gerek yoktur. Motor sistem, eldeki düzeneği nasıl çalıştıracağını öğrenecektir.

Bu noktada şöyle bir soru sorabilirsiniz: Madem genoma küçük müdahalelerle vücudu değişime uğratmak bu kadar kolay, neden insanlar bir dizi tuhaf vücut planıyla doğmuyor?

Aslına bakılırsa doğuyor. Sözgelimi, kuyrukla doğan çocuklar var[3] ki bu da genetik düzenlenmenin daha büyük yapılar oluşturmak üzere kolayca değişebildiğini gösteriyor.



Çocukların kimi zaman kuyrukla doğması, genetik yapıdaki küçük farklılıkların vücut mimarisinde büyük değişimlere yol açabileceğini gösterir.



Jie-Jie fazladan bir kolla doğmuştu.

Kuyruğun dışında, fazladan kol veya bacaklarla doğanlar da var. Örneğin, yakın geçmişte Şangay'da doğan Jie-Jie adında bir erkek çocuk, tümüyle gelişmiş üçüncü bir kola sahipti.[4] Normal uzunlukta iki sol kol, üst üste konumlanmıştı.

Böyle durumlar kimi zaman rahimdeki bir parazit ikizden kaynaklanır: İkizlerden biri hayatta kalmayı başaramaz ve sağlıklı ikizinin vücuduna emilir. Ama Jie-Jie vakasında olan, bu değildi. Genetik yapısı üçüncü bir kolun gelişimi talimatını vermişti sadece. Orta hatta daha yakın olan üçüncü kolu almak, Çin'deki cerrahlar ekibinin birkaç saatini aldı; çünkü iki sol kol da tam gelişkin durumdaydı. Fazladan gelişen kol ya da bacak sıklıkla daha küçük olduğundan, hangisinin alınacağına karar vermek kolaydır. Ama Jie-Jie'nin iki sol kolunda da kürek kemiği bulunması, ameliyatı daha zorlu hale getirmişti.

Kuyruklar ve fazladan kollar, genetik yapıdaki küçük oynamalarla vücut planlarının nasıl bariz biçimde değişebildiğini gösterir. Bu tür genetik yalpalanmaların daha küçük ölçekte dört bir yanımızda gerçekleştiği de açıktır: Kimi insanlar daha uzun kollu, kimileri daha küt parmaklı, kimilerinde ayak başparmağı ikinci parmaktan kısa, kimileri geniş kalçalı ya da geniş omuzlu olabilir.



"Kolsuz Okçu" Matt Stutzman.

Ve en yakın akrabalarımız şempanzeler, bizimle neredeyse aynı genetik yapıya sahip oldukları halde, vücut planlarında birçok farklılık barındırırlar. Bir kere biseps kaslarının alt ucu daha yüksektedir, kalçaları daha dışa dönüktür, ayak parmakları daha uzundur. Şempanze beyni, tahtına kurulduğu karanlık odada şempanze vücudunu ağaç dalları arasında salınmaya ve yumrukları üzerinde yürümeye yönlendirmede zorlanmadığı gibi, insan beyni de masa tenisi ya da salsa dansında devreye giren hareketleri yönlendirirken zorlanmaz. Beyin her iki durumda da içine konumlandığı düzeneği en iyi biçimde kullanmanın yolunu incelikle bulur.

Bu ilkenin barındırdığı gücü anlamak için doğuştan kolsuz Matt Stutzman'ı ele alabiliriz. Okçuluğa merak saran Stutzman, ok ve yayı ayaklarıyla idare etmeyi öğrenmiş.

Seri bir hareketle oku ayak parmaklarının yardımıyla yaya takıyor ve sağ ayağıyla yayı kaldırıyor. Düzeneğin, bir kayışla omuzuna sabitlenmiş olması, yayı göz hizasında konumlandırmasını sağlıyor. Yayı ayağıyla çekerek geriyor; hedefi kararlı biçimde nişanladıktan sonra oku bırakıyor. Matt okçuluk konusunda yetenekli olmanın ötesinde, alanda dünyanın en iyisi. Bu satırlar kaleme alındığı sırada, okçulukta

yapılmış en uzun menzilli tam isabet rekoru ona aitti. Kolsuz doğan bebeğin doktorları, böyle bir sonucu öngörmemiş olsalar gerek. Ama belki de beyninin, dış dünyada karşısına çıkacak sorunları çözerken, kaynaklarını uyarlamaya bu kadar hazır olduğunu bilmediklerinden.

Bu tür bir esnekliğe hayvanlar âleminin her köşesinde rastlamak mümkündür. Faith isimli köpeği ele alalım. Ön ayaklarından mahrum doğan Faith, bebeklikten başlayarak tıpkı bir insan gibi iki arka bacağı üzerinde dik yürümeyi öğrenmişti. Köpek beyninin, normalde standart köpek vücudunu yönetecek sabit devrelerle gelişmesi beklenir ama bu örnek, beynin kendini hangi düzenekle sınırlandırılmış bulursa bulsun, yolunu bulmaya ne kadar hazır olduğunu göstermiştir.



Beyin, vücudun elindeki olanaklara uyum sağlar. Ön ayaklarının bulunmaması, Faith isimli köpeği iki ayak üzerinde dik yürümeye (bipedalizm) itmişti. Motor sistemleri vücut planına uyum göstermiş ve onun normal (paparazzileri çekmesi haricinde) bir yaşam sürmesini sağlamıştı.

Kolsuz okçular ve iki ayak üstünde yürüyen köpekler, beyinlerin belirli bir vücut için önceden tanımlanmış olmadıkları, kendilerini hareket, etkileşim ve başarı için uyarlayabildikleri gerçeğine ışık tutuyor. Üstelik bu sadece kendinizi içinde bulduğunuz vücut için değil, önünüze çıkabilecek herhangi bir fırsat için de geçerli. Sir Blake adıyla bilinen ve kaykayda ustalaşmış Kaliforniyalı bulldog buna bir örnek.



Bulldog'larda tekerlek yerine bacak gelişmiş olduğu halde, Sir Blake yeni hareket yöntemlerine uyum sağlamada hiç de zorlanmışa benzemiyor.

Sir Blake kaykayına atladığı gibi, ön ayağıyla yeri itip hız kazanmaya başlıyor ve doğru an geldiğinde ön ayağını tahtaya yerleştirip kendini süzülmeye bırakıyor. Gezintisi sona erdiğinde ise kaykayı durma noktasına gelene kadar yavaşlatarak yere iniyor. Köpeklerin evrimsel tarihinde tekerlek diye bir şey olmadığından yola çıkarsak bu örneğin, beynin yeni olanakları yönlendirmede gösterdiği uyarlanma becerisini vurguladığını söyleyebiliriz.

Bir başka köpeği, Sugar'ı ele alalım. Sugar, sörfe merak sarmış ve şimdi de Uluslararası Sörf Köpekleri Şöhretler Kaldırımına kabul



Huntington Beach, Kaliforniya'da gerçekleştirilen 2017 Surf-A-Thon Köpek Sörfü Yarışması'nda birinci olan Sugar. Sıkça katıldığı sörf yarışlarında golden retriever'lardan Pomeraian'lara kadar değişen rakiplerle mücadele ediyor.

edilmiş durumda. Aslında Sugar bir yana, Uluslararası Sörf Köpekleri Şöhretler Kaldırımı diye bir şey *olması* yeterince şaşırtıcı zaten! Köpek beyni, köpeklerin sörf tahtası üzerinde nasıl manevra yaptıkları özelinde bilimsel çalışmalara pek konu olmadıysa da pekâlâ olabilir aslında. Köpek beyninin ihtiyaç duyduğu tek şey, fırsattır. Motor sistemleri, gerisini çözümleyecektir.

Sir Blake, Sugar ve daha az iddialı rakipleri, sokaklarda ve dalgaların üzerinde süzülme konusunda şaşırtıcı ölçüde, hatta kimi zaman bu sporları icat eden yaratıcı türden de başarılılar. Peki, nasıl geldiler bu noktaya?

MOTOR BABILDAMA

Konuşmak için ağzını ve nefesini biçimlendirmeyi öğrenen bir bebeğin kullandığı araç ne genetik ne de Wikipedia'da yaptığı aramalardır. Bebek, bu aşamada "babıldama"* olarak bilinen geveleme ve mırıldanma sürecinden yararlanır ve ağzından çıkan sesleri kulaklarıyla yakalar. Beyni bundan sonra bu seslerin, anne veya babasından duyduğu konuşma seslerine ne kadar yakın olduğunu belirlemek üzere karşılaştırmalar yapar. Bunun yanında, ağzından çıkan bazı mırıltılar için olumlu tepki alıp diğerleri için almaması da sürece katkıda bulunur. Sürekli gelen bu geribildirimler, konuşmasını geliştirmesini sağlar; ta ki İngilizce, Çince, Bengalce, Cavaca, Pemón dili, Çukçice ya da dünya yüzeyinde konuşulan yedi bin dilden herhangi birini akıcı şekilde konuşana kadar.

Beyin aynı şekilde, motor (devimsel) babıldama yoluyla da vücudu yönlendirmeyi öğrenir.

Aynı bebeği, bir de beşiğinde gözleyin. Ayak parmaklarını ısırır, alnına vurur, saçlarını çekiştirir, parmaklarını büker ve bu tür hareketlerle ürettiği motor çıktıların, aldığı duyusal geribildirimlerle nasıl eşleştiğini öğrenir. Vücudunun konuştuğu dili, yani motor çıktıların izleyecek girdilere nasıl işlendiğini öğrenmesinin yolu budur.

* Babıldama Evresi (2-6 Ay): Bebeklerin ünlü ve ünsüz harfleri bir araya getirip sıraya koyarak çeşitli sesler (ba-ba, de-de, ma-ma, vb.) çıkardıkları dönem. (*ç.n.*)

Yürümeyi, ağzımıza bir çilek atmayı, havuzda batmadan durmayı, parktaki demir çubuklarda sallanmayı, zıplama egzersizleri yapmayı er veya geç öğreniyorsak bu teknik sayesindedir.

Daha da iyisi, aynı öğrenme yöntemini vücudumuza çeşitli araçlar eklemek için de kullanırız. Bisiklete, genomunuzun öngörmüş olamayacağı bir araca binme eylemini düşünün. Beyinlerimiz başlangıçta ağaçlara tırmanıldığı, yiyeceklerin taşındığı, alet yapıldığı ve uzun mesafeler yürüdüğü koşullarda biçimlenmiştir. Ama bir bisikleti başarıyla sürmek, beynin karşısına aşılacak yeni zorluklar çıkarır: gövdeyi dengede tutma, kolları hareket ettirerek yön değiştirme, el kaslarını kasarak aniden durma gibi. Bütün karmaşıklıklarına rağmen bu genişletilmiş vücut planının, motor korteksin özgeçmişine kolayca eklenebileceğini, size yedi yaşına gelmiş herhangi bir çocuk gösterebilir.



Gidonu ters işleyen bisiklet.

Üstelik bu durum sadece geleneksel bisikletler için geçerli değildir. Bu sefer, bir arkadaşının kendisine verdiği tuhaf bisikleti sürmek durumunda kalan Destin Sandlin adlı mühendisi örnek verelim: Bisikletteki incelikli dişli sistemine bağlı olarak, Destin gidonu sola çevirdiğinde ön tekerlek sağa dönüyordu (ve tersi). Destin, fazla zorlanmadan bu durumun üstesinden geleceğinden emin gibiydi çünkü ne de olsa dolaysız bir kuralla karşı karşıyaydı: Gidonu, gitmek istediğin yönün tersine çevir. Ama bisikleti kullanmanın tahammül edilmeyecek zorlukta olduğunu çok geçmeden anlayacaktı çünkü bu iş, normal gidon kullanma işlemini *unutmayı* gerektiriyordu. Motor korteksi bu yeni işi kavramak üzere eğitmek, bilişsel bir kavrayış edinmek kadar

kolay değildi: Ne de olsa bisikletin nasıl çalıştığını *biliyordu.* Ama bu, elindeki bilgiyle doğru şeyi yapabileceği anlamına gelmiyordu.

Ancak Destin, bir süre sonra işi kapmaya başladı. Ne zaman bir harekete kalkışsa dış dünyadan bir geribildirim alıyor (*Sola düşüyorsun*; *posta kutusuna çarpmak üzeresin*; *kamyonetin önünden dönüş yapmaktasın*) ve bu geribildirimi sonraki hareketlerini ayarlamada kullanıyordu. Günlük çalışmalarını birkaç hafta sürdürdükten sonra bisikleti sürmede oldukça iyi hale geldi. Bu tuhaf bisiklette ustalaşmak için kullandığı yöntem, çocukken normal bir bisikletle kullandığı yöntemle aynıydı: motor babıldama yöntemi.

Direksiyonun arabanın alıştığınız tarafında değil, diğer tarafında olduğu bir ülkede araba kullandıysanız bu tür bir öğrenme güçlüğüne aşinasınız demektir. Eğer İngiltere'de araba kullanan Amerikalı bir sürücüyseniz (ya da tersi) duruma alışana kadar direksiyonu birçok kez yanlış tarafa kırar ama zamanla daha iyi performans sergilersiniz. Çünkü görme sisteminiz her hareketin sonucunu tartar ve işleri ona göre düzene koyar. Her şey beklendiği gibi giderse sinir sisteminiz, siz bir saman balyasına dalmadan revizyonlarını tamamlamış olacaktır.

Tek bir motor kortekse sahip olduğumuz düşünüldüğünde vücudumuzu farklı şekillerde çalıştırmayı öğrenebiliyor olmamız tuhaf görünüyor. Neyse ki beyin, hangi programları çalıştıracağına karar verirken bağlamdan yararlanma konusunda son derece akıllıca davranır. Bir kere, bir şemadan (farklı bilgi kategorilerini düzenleyen örüntülerden) yararlanır; bisikletin üstündeyken, uyluklarınızla daireler çizersiniz ama koşu yaparken kollarınızı sallar ve ayaklarınızı kaldırarak yol üstündeki nesnelerin üzerinden aşırtırsınız.

Yakın geçmişte kendi şemamı bilinçli olarak deneyimlediğim bir örnekten söz edeyim. Geçenlerde aracımın dikiz aynası kırıldı. Vakit kaybetmeden taktırmak istesem de, bu kitabı yazmakla uğraştığımdan birkaç hafta boyunca aynasız dolaşarak idare ettim. Sonunda taktırmamın nedeni ise beni çileden çıkaran bir şeydi: Araçtaki koltuğa ne zaman otursam gözlerim yukarı ve sağa doğru ani bir hareket yapıyor, ben de kendimi birden yol kenarındaki ağaçların tepelerine bakar

buluyordum. Açık ki gözlerim aynanın bulunduğu yere çevrilip durmaktaydı ve niyetleri, *arkamda* kalanları görmekti. Elbette mutfakta, ofisimde ya da spor salonunda olduğum zamanlarda arkamı görmek için gözlerimi yukarıya ve sağa devirmem; bu *yalnızca* aracımdaki sürücü koltuğunda otururken yaptığım bir şey. Asıl ilginci, bu şemanın her zaman tümüyle bilinç dışımla sınırlı kalması ve buna rağmen yakın çevremdeki olanakları değerlendirip motor fonksiyonlarımı ona göre değiştirmiş olmasıydı. Aynı şekilde, koşmaya çıktığım zamanlarda durmak için elimi sıkmam, bisiklete binerken yerdeki bir dal parçasından kaçınmak için ayağımı kaldırmam.

Destin'in beyni de aynı şekilde yeni bir şema öğrenmişti. Kandırmacalı bisikleti kullanmada nihayet ustalaştıktan sonra, bu sefer normal bir bisikleti kullanamaz olmuştu. Ancak bu durum uzun sürmedi ve biraz çalışmayla ikisini birden sorunsuz kullanabilir hale geldi. Şimdi iki tür bisiklete de binebiliyor; beyninin yaptığı ise, o anda geçerli koşullara göre kaslarını kullanabileceği sinirsel yolları izlemekten ibaret.

Motor babıldama konusuna yeniden dönelim. Bu, bebeklerin ve bisikletçilerin hareket öğrenme yöntemi olmanın dışında, robotik alanında da yeni ve güçlü bir yaklaşım haline gelmiştir. Starfish (Denizyıldızı) adı verilen robotu ele alalım. Bu robot, kendi vücudunun modelini anlık olarak tasarladığından, neler yapabildiğini yine kendisi öğrenir. Kendi yapısını öğrenebildiği için de, geleneksel programlamaya ihtiyaç duymaz.[5]

Bir bebeğin kollarını savurması gibi, Starfish de belirli bir hareketi deneyip sonuçlarını değerlendirir ve hareketin ana gövdeye ne kadar açı verdiğini belirlemek için jiroskoplardan yararlanır. Kollarını bir kez uzatmak, vücudun nasıl bir biçim alıp çevreyle nasıl bir etkileşimde bulunduğunu belirlemeye yetmese de gelen geribildirim, olasılıklar yelpazesini daraltacaktır. Artık neye benzediğini anlamak için daha dar bir aralığa bakabilir. Sıra, bir sonraki hamleye gelmiştir. Robot, gelişigüzel bir hareket yapmak yerine, elinde kalmış olasılıkları birbiriyle en iyi şekilde kıyaslayabileceği bir hareketi seçer bu sefer. Ardışık her hareketi, olasılıklar alanını doğru yerden bölecek şekilde belirlemek yoluyla kendi vücudunun giderek netleşen bir görüntüsünü elde eder.[6]



Dünyaya bir dizi kol, eklem ve küçük motorla gelen Starfish robotu, kendi vücudunu ve onu nasıl yönlendireceğini çözümlüyor.

Starfish, sahip olduğu motorları çalıştırmayı motor babıldama yoluyla öğrendiğinden, kollarından birini yerinden çıkarsanız bile kendini yeniden yapılandıracaktır. Sarah Connor'ın yakıp bacaklarını paramparça ettiği ama farklı bir vücut planıyla da olsa hedefine doğru ilerlemeye devam eden Terminatör gibidir bir anlamda.

Babıldayan, kendini keşfeden bir robot yapmak, robotu önceden belirlenmiş şekillerde hareket etmeye programlamaktan daha etkili ve esnek bir seçenektir. Hayvanlar âleminde, bir canlı yaratmak için doğanın elindeki genlerin sayısı yalnızca on binler düzeyindedir; bu nedenle canlının yapabileceği bütün hareketleri önceden programlaması olanaksızdır. Tek seçeneği, kendi kendini çözümleyebilen bir sistem inşa etmektir.

Kaykaycı ve sörfçü köpeklerin bu işlerde ustalaşmasını sağlayan numara budur. Bu hayvanlar vücutlarıyla babıldayarak çeşitli hareketleri, duruşları, konumları ve denge durumlarını deneyerek sonuçları değerlendirirler. Vücudumu sola doğru eğersem dalga boyunca mı ilerlerim, yoksa buz gibi suya mı düşerim? Bir yandan eğilirken bir yandan arka bacağımla itmek, kaykayın yola devam etmesini sağlayıp

sahibime sevinç çığlıkları mı attırır, yoksa acı bir şekilde yangın musluğuna mı toslarım? Geribildirimler, motor sistemin milyonlarca değişken üzerinde ince ayar yapmasını ve bir dahaki sefere daha iyi performans göstermesini sağlar. Organizma, bu şekilde vücudunun dünyayla etkileşiminin bir modelini oluşturur; kapasitesini ve hareketlerinin sonuçlarını kavramaya başlar, ortamın nelere olanak tanıdığını öğrenir. Bebekler, sporcu köpekler ve Starfish robotu, vücut planlarını uyarlamada bu kesintisiz geribildirim döngüsünden yararlanırlar. İç ve dış dünyalar arasında gidip gelen bir döngüdür bu.

Eylemde bulunma ve gelen geribildirimi değerlendirme döngüsü, sadece motor babıldamayı değil, sosyal babıldamayı anlamak için de anahtar konumundadır. Başkalarıyla iletişim kurmayı nasıl öğrendiğinizi (ve öğrenmekte olduğunuzu) düşünün. Dış dünyanızı sürekli olarak sosyal eylemlerle besler, gelen geribildirimi değerlendirir ve gerekli ayarlamaları gerçekleştirirsiniz. Gençlikte olasılıklara göz gezdirir ve çeşitli kimliklerle denemeler yaparsınız: Şu durumu espriyle karşılamak mı, kolları kavuşturup karşı çıkmak mı, yoksa ağlayıp anlayış beklemek mi daha iyidir? Belirli durumlarda belirli kimliklere daha çok çekilir, güncelleme gerektirene kadar bu kimliklere bağlı kalma eğilimini taşırız. Ve tıpkı dağ bisikletini, buz patenlerini ya da bir yelken kanadı farklı zamanlarda çalıştıran biri gibi, farklı sosyal durumlar için farklı şemalar geliştiririz. Motor geribildirime yaslandığımız kadar, sosyal geribildirime de yaslanırız. Güçlü liderlik böyle bir durumda işe yarar mı? Ağzımdan çıkacak hoş bir sözcük, bana ihtiyacım olan şeyi verir mi? Akşam yemeğinde herkesi güldüren müstehcen bir fıkra, iş toplantısında beni rezil eder mi?

Dış dünyayı bu şekilde sürekli sınamak, *düşünmeyi* öğrenmemizin bir yolu da olabilir. Düşünmek, beyninizin bakış açısından motor hareketlere şaşılacak ölçüde benzerlik gösterir. Kolunuzun kalkmasına neden olan nöral etkinlik fırtınası, kendini üzgün hisseden arkadaşınıza ne söyleyebileceğinizi, çorabınızın diğer tekinin nereye kaybolmuş olabileceğini, öğle yemeği için ne sipariş vereceğinizi düşünmenize neden olan fırtınaya çok benzer. Bir şey üzerinde düşünmek, bir kol ya da bacağı hareket ettirmek gibidir. Beyninizin attığınız bir tekmeyi ya da bir nesneyi kavramanızı yönlendirmesine benzer biçimde, düşünmek de kavramların düşünsel uzayda hareket etmesine yol açıyor

olabilir. Başka türlü ifade edersek düşünmek, kahve kupaları yerine kavramları, peçete yerine fikirleri dağıtma eylemidir. Ve bu da aynı türden bir babıldamayla başlar: düşüncenin üretilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi. Bazı düşünceler dış dünyayla iyi bir biçimde eşleşir (*Bu kabloyu çekersem, çim biçme makinesi çalışır*); bazıları ise hiçbir şeye hizmet etmez (*Şu krepi masanın üzerinden fırlatsam ne olur?*). Tıpkı hareket ve konuşma gibi, düşünce de dünyada en iyi şekilde iş görebileceği yolu öğrenmek zorundadır.

Sir Blake, Sugar ve köpek dostlarına geri dönelim. Seyrederken bize verdikleri keyfin ötesinde, temel bir ilkenin altını çizerler: Köpek genetiği dört bacak yerine iki bacak, pati yerine tekerlek ya da sörf tahtasına benzer bir iskelete yol açsaydı içeride gizlenen beyin, yeniden tasarlanmak zorunda kalmayacak, sadece kendini yeni bir ayarlamadan geçirecekti.

Bu stratejinin biyoçeşitliliği ortaya çıkarmadaki etkisini bir düşünün. Canlı devrelerle donanmış bir beyin, vücut planının geçirdiği her genetik değişikliğin sonucunda bir başka beyinle yenilenmek zorunda değildir çünkü kendisini duruma uyarlar. Evrimin, hayvanları herhangi bir ortama uyacak şekilde böylesi bir verimlilikle biçimlendirmesi de bu sayededir. Belirli bir ortam için uygun olan vücut parçası ne olursa olsun –toynak veya parmak; yüzgeç veya önkol; hortum, kuyruk veya pençe– yeni hayvanın gerektiği gibi "çalışması" için Tabiat Ana'nın fazladan bir şey yapmasına gerek yoktur. Evrim, zaten başka türlü işleyemezdi: Vücut planındaki değişimleri uygulamak kolay olmasaydı ve beyindeki değişimler bunları rahatça izleyemeseydi evrim yeterli hıza ulaşamazdı.

Yeni vücutlara bu kadar rahat kurulabilmemizin nedeni, bu muazzam esnekliktir. Biraz gerilere gidip *Aliens* filmindeki Ellen Ripley karakterini düşünün. Filmin can alıcı noktasında yaratıkla yaptığı ölümüne mücadelede Ripley aceleyle devasa bir robotik giysi içine atar kendini. Bu giysi sayesinde Ripley'nin hareketleri metalden güçlü kol ve bacaklarda yansıtılır. Başlangıçta kolunu hantalca savururken, birkaç denemeden sonra yaratığın çenesine tangırtılı yumruklar indirebilecek

hale gelir. Ripley sonunda bu yeni ve devasa vücudu kontrol etmeyi öğrenir. Bunu borçlu olduğu şey ise beyninin çıktılar (*Kolumu savuruyorum*) ile girdiler (*Nerede şimdi bu kocaman kol? Vücudum sola biraz fazla mı yattı acaba?*) arasındaki ilişkiyi ayarlama kapasitesidir. Her sabah kalkıp tuhaf ve yeni birer vücuda kumanda etmek üzere evden çıkan forklift sürücüleri, vinç operatörleri ve laparoskopi yöntemini kullanan cerrahlardan da görebileceğimiz gibi, bu yeni ilişkilendirmeleri yapmak ve öğrenmek zor değildir. Ellen Ripley'nin beyni iki metrelik standart insan bedenini kumanda etmekle yetinen tek amaçlı bir aygıt olsaydı, Ripley yaratığa çerez olup gitmişti.

Verdiğimiz örnek kurgusal olsa bile ardındaki ilke tekerlekli patenlere, tek tekerlekli bisikletlere, tekerlekli sandalyelere, sörf tahtalarına, Segway'lere, kaykaylara ve kendi vücudumuza bağlayıp tutturduğumuz yüzlerce başka aygıta uygulanan ilkenin aynısıdır. Aygıtın ağırlığı, eklemleri, hareketleri ve kumandalarıyla ilgili ayrıntılar, yani onlarla *yapabileceğiniz* her şey, beyin devrelerinin yolunu bulur.

Havacılığın ilk zamanlarında pilotlar, uçan makinelerini kendi vücutlarının uzantısı haline getirmek için ipler ve kaldıraçlardan yararlanırlardı.[7] Günümüz pilotlarının yaptığı da bundan farklı bir şey değildir: Pilotun beyni, uçağın kendi parçası olarak temsil edildiği bir model oluşturur. Aynı şey piyano virtüözleri, zincirli testere kullanan oduncular ve dron pilotları için de geçerlidir: Beyinleri, kullanılan aygıtları denetlenmesi gereken doğal vücut eklentileri olarak bütüne dâhil eder. Bu şekilde, kör bir insanın değneği sadece vücudundan uzağa değil, beyin devrelerinin içine kadar uzanır.

Bunun, insanlığın yakın geleceği için ne anlama geldiğini bir düşünün. Bir robota belirli bir uzaklıktan, sadece beyin etkinliklerinizle kumanda edebileceğinizi hayal edin sözgelimi. Böyle bir durumda Ellen Ripley'den farklı olarak, hareket etmenize bile gerek olmayacak, hareketi *düşünmeniz* yetecektir. Robot, kolunu kaldırmasını istediğiniz anda kaldıracak, çömelmesini, tek ayak üzerinde dönmesini ya da zıplamasını istediğinizde, zihinsel komutunuzu gecikmeden ve hatasız yerine getirecektir. Kulağa bilimkurgu gibi gelse de hazırlıklar başladı bile.

MOTOR KORTEKS, ŞEKERLEME VE AY

1995 Aralık ayının ilk günleri Jean-Dominique Bauby için gayet keyifli geçiyordu. *Elle* dergisinin Paris'teki baş editörü olarak görev yapıyor ve Fransız sosyetesinin zirvesinde boy gösteriyordu.

Ancak bir öğle sonrasında birden şiddetli bir inme geçirdi ve anında derin bir komaya girdi.

Yirmi gün sonra komadan uyandığında zihni açıktı; çevresini görebiliyor ve yakınlarında söylenen her şeyi işitebiliyordu. Ama hareket edemiyordu. Kollarını, el ve ayak parmaklarını, yüzünü kıpırdatamadığı gibi konuşamıyor, ses çıkaramıyordu. Yapabildiği tek şeyin sol gözünü kırpmak olduğunu fark etti. Bunu saymazsak vücudunun donuk zindanı içine hapsolmuş durumdaydı.

Sonunda, oldukça azimli ve sabırlı iki terapistin yardımıyla çok yavaş da olsa iletişim kurmaya başladı; konuşarak değil, işleyen gözkapağını kapatıp açarak. Terapist kullanım sıklıklarına göre sıraladığı harfleri yavaşça söylüyor, doğru harfe geldiğinde Bauby göz kırpıyordu. Terapist bu harfi yazarak harfleri tekrar sıralamaya başlıyordu. Sözcük başına iki dakika gibi çileden çıkarıcı bir hızla da olsa Bauby artık iletişim kurabilmekteydi. Akıllara durgunluk veren bir sabrın sonucunda "locked-in (kilitli kalma) sendromu" ile yaşama deneyimi üzerine bir kitap bile yazabildi. Vücudunun durumuyla tezat oluşturan zarif ve akıcı bir dille dış dünyayla iletişim kuramamanın verdiği ıstırabı aktardı. Asistanının masa üzerinde duran yarı açık cüzdanını görmenin verdiği acıdan söz ediyordu örneğin: bir otel odası anahtarı, bir metro bileti ve 100 franklık bir banknot. Bunlar ona sonsuza kadar kaybetmiş olduğu bir yaşamı hatırlatmıştı.

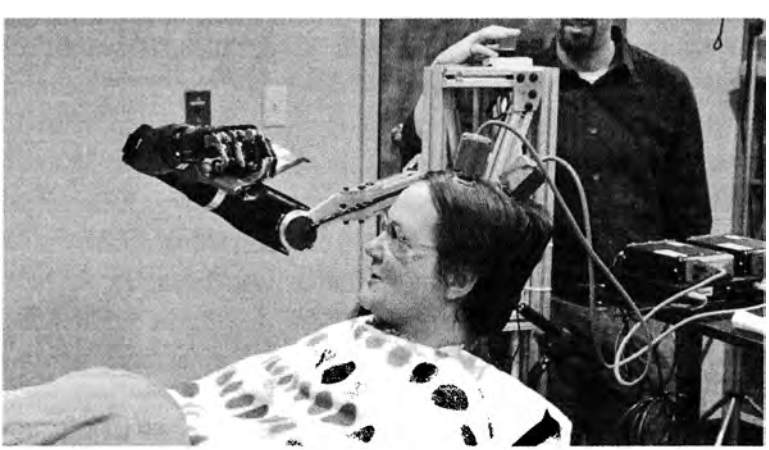
Kitabı 1997 Mart'ında yayımlandı. *Kelebek ve Dalgıç* ilk haftasında 150.000 adet satarak bütün Avrupa'da çoksatanlar listesinin başına yerleşti. Kitabın yayımlanmasından iki gün sonra Bauby hayatını kaybetti. Aradan geçen zaman içinde, kitabın sayfalarına gözyaşlarını akıtan milyonlarca okuyucu oldu. Etten yapılmış devasa bir robotu başarıyla yönlendiren ve bu arada arka planda sürmekte olan muazzam çaptaki işlemleri bize fark ettirmeyecek kadar ustalıkla yürüten işlevsel bir kumanda merkezine sahip olmanın değerini belki de ilk kez takdir ediyorlardı.

Bauby neden kıpırdayamıyordu? Normal koşullarda beyin bir kol ya da bacağı kaldırmaya karar verdiğinde, gönderdiği motor komut bir nöral etkinlik örüntüsüyle omurilikteki veri kablolarından aşağı, oradan da çevresel sinirlere gönderilir. Elektrik sinyalleri bu sinirlerde kimyasalların (nörotransmiterler) salınmasına, kimyasallar da kasın kasılmasına neden olur. Ama Bauby'de, vücuda doğru yol alması gereken sinyaller beyinden çıkamıyordu bile. Kasları mesajları alamıyordu.

Belki ileride hasar gören bir omuriliği onarmamız mümkün olacak ama şu anda değil. Bu da bize tek bir çözüm bırakıyor: Ya Bauby'nin göz kırpmalarını değil de beyindeki voltaj atımlarını ölçebilseydik? Ya nöral devrelerine kulak misafirliği yapıp kaslara söylemeye çalıştıkları şeyleri çözümleyebilseydik? Ve sonra da hasar bölgesini devreden çıkararak eylemlerin dış ortamda gerçekleşmesini sağlayabilseydik?

Bauby'nin ölümünden bir yıl sonra, Emory Üniversitesi araştırmacıları, Johnny Ray adındaki locked-in sendromlu bir hastaya bir beyin-bilgisayar arayüzü naklettiler. Ray, bir bilgisayar imlecini yalnızca eylemi hayalinde canlandırarak hareket ettirecek kadar yaşayabildi.[8] Motor korteksi, mesajını hasarlı omurilikten iletmeyi başaramıyordu belki ama implant, mesajı alıp bilgisayara aktarabiliyordu.

Felçli eski futbolcu Matt Nagle, 2006'da artık yapay bir eli kabaca da olsa açıp kapayabiliyor, aydınlatmayı denetleyebiliyor, e-postasını açabiliyor, *Pong* adlı video oyununu oynayabiliyor ve ekrana daireler çizebiliyordu.[9] Matt'e bu gücü veren, motor korteksine doğrudan yerleştirilen ve neredeyse yüz elektrot taşıyan dörde dört milimetrelik



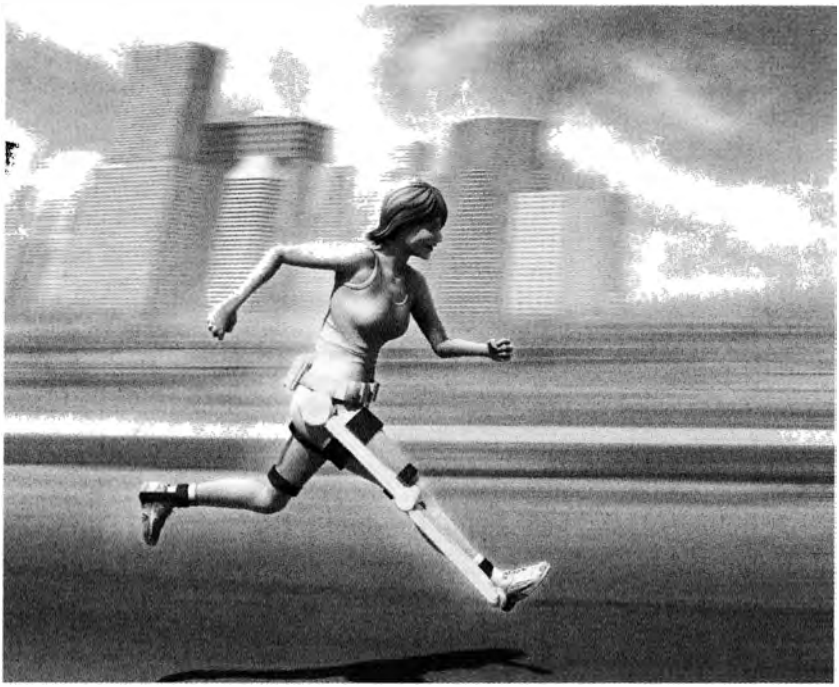
Hareketleri hayal etmek yoluyla bir robot kola kumanda edilmesi.

bir ızgaraydı. Matt'in kaslarını hareket ettirdiğini hayal etmesi motor korteksi harekete geçiriyor, bu ise araştırmacıların etkinliği algılayıp Matt'in niyetini kabaca da olsa belirlemelerini sağlıyordu.

Johnny ve Matt örneklerinde kullanılan teknoloji eğreti ve inceliksizdi belki ama böyle bir olasılığın varlığını doğruluyordu. 2011'e gelindiğinde nörobilimci Andrew Schwartz ve Pittsburgh Üniversitesi'ndeki meslektaşları, neredeyse gerçek bir kol kadar ayrıntılı ve esnek bir protez kolun yapımını tamamlamış durumdaydılar. "Spinoserebellar dejenerasyon" olarak bilinen bir durumdan dolayı felçli kalmış Jan Scheuermann isimli bir kadın, bu kolu kullanmasını sağlayacak beyin ameliyatı için gönüllü oldu.[10] Şimdilerde, motor korteksinden gelen sinyallerin kaydedilmesi sonucu, Jan koluyla bir hareket yaptığını hayal ettiğinde, kol gerçekten de hareket ediyor. Robot kolun odada kendisinden biraz uzağa konumlanmış olması ise pek bir şey değiştirmiyor: Beynini makineye bağlayan kablolar demeti sayesinde kolun yumuşak hareketlerle dönüp bir nesneyi kavramasını sağlayabiliyor; üstelik neredeyse yıllar önce kendi koluyla yapmış olduğu kadar iyi biçimde. Normalde, kolunuzu hareket ettirmeyi düşündüğünüzde sinyaller motor korteksinizden inerek omuriliğinize, oradan çevresel sinirlerinize ve nihayet kas liflerinize ulaşır. Jan'in durumunda ise kaydedilen beyin sinyalleri başka bir yol izliyor ve kaslara bağlı nöronlar yerine, motorlara bağlı kablolardan akıyor. Jan kolu kullanmada giderek daha başarılı hale geliyor. Bunun bir nedeni gelişmekte olan teknolojiyse bir nedeni de beynin, bu yeni uzvu en iyi şekilde kontrol etmeyi öğrenmek için devrelerini yeni düzenlemelerden geçirmesi. Tıpkı ters işleyen bir bisiklette, bir sörf tahtasında ya da Ellen Ripley'nin robot zırhında yaptığı gibi.

"Beynimi bacaklarıma bin kez tercih ederim," diyor Jan.[11] Beyniniz varsa kendinize yeni bir vücut kurabilirsiniz ama tersini yapamazsınız.

Felçli kişilere tam vücut hareketi sağlama amaçlı geliştirme çalıştırmaları şu sıralarda sürdürülmekte.[12] Yeniden Yürüme Projesi (The Walk Again Project), vücudu tepeden tırnağa kaplayan ve beynin komutlarına göre hareket eden bir giysiyle felçlilerin yeniden hareket edebilmesini hedefleyen uluslararası bir çalışma. Buna göre felçli bir kişi, Jan'in yaptığı gibi sadece hareketi düşünerek vücudunu idare edebilecek. Bu fikir, gönüllünün on farklı beyin bölgesine yüksek



Felçli insanlar için tasarlanmış ve düşünceyle denetlenen bir robotik giysi. Bu tür nöroprotezler, gelişimlerinin henüz ilk aşamalarında olsa da, gerçekleşme yolunda adım adım ilerliyorlar.

yoğunluklu mikroelektrotlar yerleştirmek üzerine yoğunlaşıyor. Böylece, beyin etkinlikleriyle incelikli robotik mekanizmaların kontrolünü ele alma işi, gönüllünün kendisine kalmış oluyor.[13]

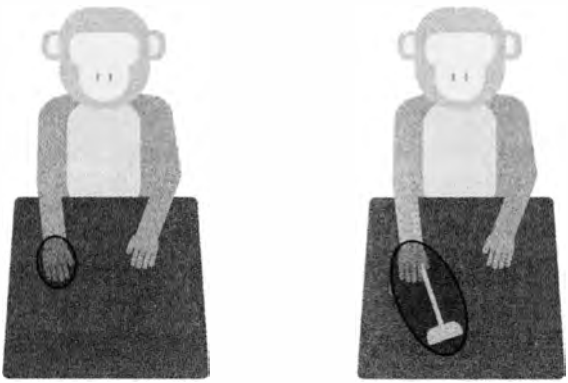
2016'da New York'taki Feinstein Enstitüsü araştırmacıları biraz farklı bir yaklaşımdan yola çıktılar. Yöntem yine motor sisteme kulak misafirliği yaparak, sistemin kasları harekete geçirme niyetinden haberdar olmayı içeriyor. Ama bilginin bir robot kol ya da giysiye iletilmesi yerine, önkoldaki bir elektriksel sistem aracılığıyla kişinin kendi kaslarının doğrudan harekete geçirilmesi söz konusu.[14] Böylece, katılımcı kolunu hareket ettirmeyi düşündüğünde sinyaller (ki bunlar, nöral etkinlik fırtınasını olabilecek en iyi şekilde yorumlamayı öğrenmek için makinenin öğrenme algoritmalarından geçmiş oluyorlar) omuriliğin hasarlı bölgesine uğramadan kas uyarıcısına atlıyorlar. Ve kol hareket ediyor. Bu yöntemle felçli katılımcılar nesneleri kavramak, elleriyle kurcalamak ve bırakmak gibi farklı el ve bilek hareketleri de

yapabiliyorlar. Parmaklarını tek tek hareket ettirmeleri ve bu sayede telefon tuşlamaları, klavye kullanma ya da parmakla işaret etme gibi eylemler gerçekleştirmeleri de mümkün.

Dışarıya yönlenen beyin sinyallerini bir robot kolu denetlemede kullanmanın bir eksiği var: beynin parmak uçlarından herhangi bir duyusal *geribildirim* almaması. Bir yumurtayı fazla mı sıkı, yoksa fazla mı gevşek kavradığınızı anlamanın tek yolu, bakmaktır ve bu işi doğru biçimde yapmadığınızı fark ettiğinizde de genellikle geç kalmış olursunuz. Kulaklarına tıkaç yerleştirilmiş bir bebeğin babıldaması gibi bir şeydir bu.

Çözüm, döngüyü kapatmak ve bunu yapmanın yolu da, somatosensoriyel korteksi etkinlik örüntüleriyle bombardımana tabi tutmaktır. Robot kol bir hedefe dokunduğunda somatosensoriyel kortekse –parmak ucundaki dokunma duyusuna eşdeğer– özel bir etkinlik örüntüsü aktarılır ve kişi, elinin belirli bir dokuya temas ettiği hissini yaşar. İkinci bir hedefe dokunduğunda ise farklı bir doku "hissedecektir". Bu şekilde, dış dünyaya dokunmak üzere uzandığında, onunla kurduğu etkileşimi eksiksiz yaşayabilir. Beyninin esnekliği, bu deneyimi sonunda robot kolu kendi kolu gibi algılayabileceği şekle dönüştürür. Beynin vücudu yönetmeyi öğrenebilmesinin en iyi yolu, kapalı bir geribildirim döngüsünün kurulmasıdır. Bunun için sadece çıktı değil, dünyayla kurulan etkileşimi doğrulayan bir girdi de gereklidir. Örneğin, bebek kolunu beşiğin parmaklıklarına çarptığında, bunu hem dokunsal olarak hisseder hem görür hem de işitir.

Beyin büyük ölçüde bu döngü aracılığıyla öğrendiğinden, motor ve duyusal haritaların genellikle birlikte değişmesi şaşırtıcı değildir. Sözgelimi, maymunlar yiyeceklerine uzanmak için tırmık kullanmaya zorlandıklarında hem motor hem de somatosensoriyel haritaları, aleti de içerecek şekilde yeniden düzenlenecek ve tırmık, sözlük anlamıyla vücudun bir parçası haline gelecektir.[15] Motor ve duyu sistemleri temelde bağımsız olmayıp kesintisiz bir geribildirim döngüsü içinde birbirlerine sıkı sıkıya bağlıdırlar.



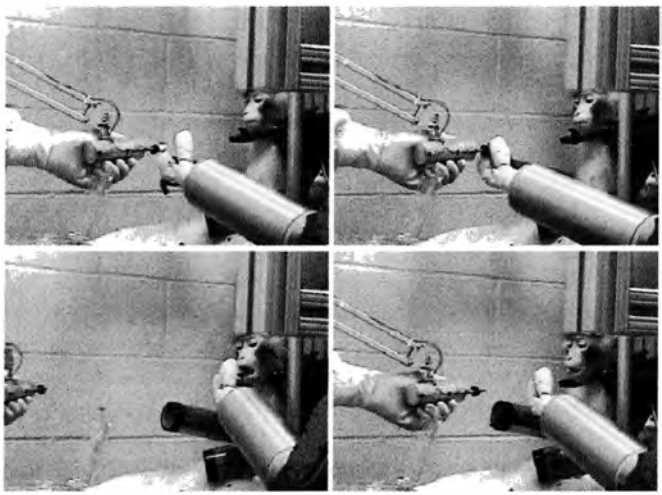
Alet kullanımından önce Alet kullanımından sonra

Maymun, uzağındaki nesneleri tırmıkla yaklaştırmaya kalktığında, vücudun beyindeki temsili, tırmığı da bir bütün olarak kapsayacak şekilde değişecektir. Elips içine alınan bölgeler, uyarıyla harekete geçen duyusal nöronların etkinlik alanını göstermektedir.

Beyin-makine arayüzlerinin hasar görmüş kol ve bacaklara yeniden işlev kazandırdıklarını ya da onların yerine geçebildiğini gördük. Peki, aynı teknolojiyi bir kol veya bacak eklemek için de kullanabilir miyiz?

2008 yılında, iki normal kola sahip bir maymun, metalden yapılmış üçüncü bir kolu düşünme yoluyla kullanabilmişti. Robot koluna, beynine nakledilen küçücük bir elektrotlar dizisi yardımıyla kumanda ederek, önündeki şekerlemeleri toplayıp ağzına atmıştı.[16] Maymun, aldığı ilk eğitimde bir bilgisayar imlecini ekrandaki bir hedefe doğru yönlendiriyor, hedefe ulaştığında ödüllendiriliyordu. Başlangıçta kendi kollarıyla yapıyordu bu işi. Ama sonra inanılmaz bir şey oldu: Kollarını hareket ettirmeyi sonunda bıraktığı halde imleç kendi kendine hareket etmeyi sürdürdü. Beyni, bu işleri birbirinden ayıracak şekilde yeniden kurmuştu devrelerini: Bazı nöronlar gerçek kola, bazıları da ekrandaki imlece tepki veriyordu. Sinyaller sonunda, asıl kollarda herhangi bir hareket ortaya çıkmaksızın, şekerlemeleri toplamak için robot kola kumanda edebilir hale geldiler. Bu kol artık vücudun yeni bir uzvuydu.

İnsan ve maymunların düşünce yoluyla robot kolları hareket ettirebilmeleri size şaşırtıcı mı geldi? Gelmemeli: Beyninizin etten kemikten yapılmış doğal kollarınızı denetlemeyi öğrendiği sürecin aynısı bu.



Maymun, robot kola kumanda ederek şekerlemeyi ağzına atmak için beyin etkinliklerinden yararlanıyor.

Daha önce de söylediğimiz gibi, bebekken kol ve bacaklarınızı sağa sola savurarak, ayak parmaklarınızı ısırarak, yatağınızın parmaklıklarını sıkıca kavrayarak, parmağınızı kendi gözünüze batırarak, vücudunuzu diğer tarafa döndürerek yürüttüğünüz (üstelik de *bir yıldan uzun*) bu süreçle, aslında sahip olduğunuz düzeneklerin kontrolü için ince ayar yapmaktaydınız. Beyniniz talimatlar göndermiş, eylemlerin sonucunu dış dünyadan gelen geribildirimlerle kıyaslamış, böylece kol ve bacaklarınızın sınırlarını sonunda öğrenmişti. Sizin deriyle kaplı kolunuzun, maymunun gümüş renkli hantal kolundan farkı yoktur. Bu kol, çalıştırmaya alışık olduğunuz standart ekipmandır yalnızca; çoğu zaman görkeminin farkında bile değilsinizdir.

Öyleyse iyi bir robot kol yapmak, araştırmacılar için zorlu bir iş olsa da sistemin çalıştırılması büyük ölçüde kullanıcının beynine düşer. Metalden kol ve bacaklarla doğmadığımıza göre, bu gelişkin metal kutunun hareketlerini sezgilerle sağlayamayız. Bizim beynimiz de tıpkı Jan'inki gibi kolu kontrol etmeyi öğrenmek zorundadır. İşin yarısı mühendislere düşüyorsa diğer yarısı da kullanıcı beyninin nöron ormanlarına düşer.

Maymunun, robot kolu kendi kollarından bağımsız biçimde kullanmayı öğrenişi, etten kemikten kollarıyla sıradan işler yaparken bile (sıvıları bir şişeden diğerine boşaltmak ya da çalıntı bir arabayı sürmek gibi) robot kollarına kumanda edebilen Doc Ock'u getirir akla.

Çünkü maymunlar da zaman içinde beyin arazilerinin bir bölümünü, doğal uzuvlarından ayrı olarak robot kollara adamaya başlamışlardı. Bu şekilde kaynaklarını pay ederek ister et ve kemikten ister metalden yapılmış olsun, farklı uzantılara dağıtabiliyorlardı.

Ne Jan ne de maymunların robot kolları gövdelerine doğrudan bağlanmıştı; bağlantı bir kablo demetiyle sağlanıyordu. Ama kablosuz bağlantı mümkün olsa kolun odada olması bile gerekmez. O zaman dünyanın öbür ucundaki bir robota kumanda etmek de mümkün olur mu? Doğrusu, oldu bile.

Birkaç yıl önce Duke Üniversitesi'nden nörobilimci Miguel Nicolelis ve ekibinin elektrotlarla donattığı bir maymun, dünyanın diğer ucundaki bir robotun yürüme örüntülerine, üstelik gerçek zamanlı olarak kumanda edebilmişti. Maymun bir yürüme bandı üzerinde yürürken motor korteksinden çıkan sinyaller kaydedilmiş, bunlar sıfırlar ve birlere çevrilmiş, internetle Japonya'daki bir laboratuvara gönderilmiş ve orada bir robota aktarılmıştı. Yüz elli santimetre boyunda ve doksan kilogram ağırlığındaki robot maymun, gerçek maymun yürürken onun metalden bir ikiziymiş gibi yürümüştü.

Bu noktaya nasıl gelinmişti peki? Bir kere, bu başarının öncesinde epeyce ayak işi vardı. Nicoleli'nin laboratuvarında önce bu resus maymununa yürüme bandında yürüme eğitimi verilmişti. Araştırmacılar, maymunun bacağındaki alıcılardan, kasların nasıl çalıştığıyla ilgili verileri kaydetmişlerdi. Nöral etkinliğin kas kasılmalarına nasıl çevrildiğini anlamak için ise yüzlerce beyin hücresinden alınan veriler de kaydedilmekteydi. Beyin etkinliğini adım atma hızı ve adım uzunluğuyla ilişkilendirmek için bant arada hızlandırılıyor, arada yavaşlatılıyordu.

Tek bir nöron onlara fazla bir şey söyleyemese de farklı beyin alanlarındaki nöronların birbirleriyle belirli bir zamanlama ilişkisi içinde olduğu açıklık kazanmıştı. Dolayısıyla araştırmacılar, yürüme eyleminin içerdiği yanıltıcı karmaşıklığın ardında yatan çoklu kas şifrelerini çözmeye başlayabilirlerdi.[17]

Bu da yapıldıktan sonra, sıra şimdi Kuzey Carolina'daki maymundan veri kayıtları alıp, şifresi çözülmüş motor komutları gerçek zamanlı olarak Kyoto'daki robota göndermeye gelmişti. İşleme ve iletim

kaynaklı birkaç küçük gecikme bir kenara bırakıldığında, maymun ve robotun eşzamanlı yürüdükleri söylenebilirdi.

İlkenin geçerliği bu şekilde kanıtlandıktan sonra, Duke araştırmacıları yürüme bandını durdurdu. Ancak maymun, ekrandaki avatarına bakarken bir yandan da yürüme eylemini *düşündüğünden*, Japonya'daki robot yürümeye devam etti. Jan'in hareketi zihninde canlandırması (ve robot kolun harekete geçmesi) gibi, maymunun motor korteksi de yürüme eylemini düşlemeyi sürdürüyordu.

Çok da uzak olmayan bir gelecekte fabrikalar, sualtı ya da Ay yüzeyinde görevlendirdiğimiz robotlara oturduğumuz yerden, zihnimizle kumanda etmemiz kaçınılmaz görünüyor.[18] Yoğun bir eğitim ve alıştırma sürecinin ardından, korteks haritalarımız robotun aktüatör ve algılayıcılarını da kapsamına almış ve bunlar bizim tele-organlarımız ve tele-duyularımız haline gelmiş olacak. Etten kemikten bedenlerimiz, bu belirli ve kendine özgü gezegenin oksijenden zengin yüzey koşullarında yaşamak için evrimleşmiş olabilir ama beyin plastisitesini uzun mesafelerle çalışan bir bedeni destekleyecek şekilde geliştirmek, uzay keşif çalışmaları için benimsediğimiz temel stratejiyi de ister istemez değiştirecek.

ÖZDENETİM

Vücudunuza yapılacak bir ilavenin (robot kol ya da şehrin diğer ucundaki bir metal avatar gibi) sizce bilinçli deneyiminize nasıl bir etkisi olur? Yanıt: Robot da sizin bir parçanız, bir başka uzantınız olarak algılanır. Bu, aradaki fiziksel mesafeden dolayı elbette sıra dışı bir uzantı olsa da yeni bir kol ya da bacak olarak değerlendirilecektir. Vücudumuza bağlı uzuvları yadırgamamamızın tek nedeni, Tabiat Ana'nın kas, tendon ve sinirler konusunda usta bir terzi olmasıdır. Ama uzaktaki bir uzvu Bluetooth aracılığıyla denetlemenin yolunu henüz bulmuş değildir.[19]

Fazladan bir kol, bacak ya da bir tele-uzantı fikri size tuhaf geliyorsa bunlarla gündelik deneyimler yaşadığımızı hatırlatmakta yarar var. Bir ayna karşısında kolunuzu hareket ettirin. Motor komutlarınızla

kusursuz bir eşgüdüm içinde hareket eden uzak bir nesneye tanık olacaksınız. Ayna görüntüleri başlangıçta bebeklerin kafasını karıştırsa da yansımanın kendilerine ait olduğunu zamanla anlarlar. Uzak bir koldan dolaysız herhangi bir duyum alamadıkları halde, o kol üzerindeki *denetimlerine* tanık olabilirler. Bu da o kolun kendiliklerine ilave edilmesi için yeterlidir.

Bu kendilik kavramı için, *Uzay Yolu*'ndaki Borg'larla paralellik kurulabilir. Borg'lar, yollarına çıkan her şeyi tekil kimliklerine katarak özümseyebilmektedir. Kuralı bozan tek *istisna* ise ne yapacağı asla öngörülemeyen Kaptan Picard gibi, kontrol edemedikleri şeylerdir.

Kendilik ve öngörülebilirlik arasındaki ilişki, "asomatognozi" gibi bozuklukları anlamamıza olanak tanır. "Kendi vücudunun farkında olmamak" şeklinde tanımlanabilecek olan bu bozuklukta, beynin sağ pariyetal lobunda gerçekleşen bir hasar (geçirilen bir inme ya da bir tümörün sonucu olarak) nedeniyle kişi kol ya da bacağını denetleyemez hale gelir. Bunun hayret verici sonucu ise hastanın kol ya da bacağın kendisine ait olduğunu inkâr etmesi, hatta kimi zaman başkasına ait olduğunda ısrar etmesidir.[20] Kol, ona göre ölmüş bir arkadaşa, bir akrabaya, hayali bir varlığa, şeytana ya da kendisiyle ilgilenen sağlık çalışanlarından birine ait olabilir. Durumu, kendi gerçek kolunun çalındığı ya da yok oluverdiğiyle açıklayacaktır. Bozukluğun kendini gösterdiği farklı biçimlerden birinde ilgili uzuv, bağımsız bir yaşam ve kendi hedeflerine sahip bir hayvan –belki bir yılan– da olabilir.

Bu bozuklukta dışavurum yolları da yine çeşitli ve tuhaf olabilir: Hasta "artık kendisinin olmayan" uzva karşı duyarsız kalabilir ya da olanları açıklamada tuhaf ve hayali hikâyelere sığınarak, "Biri bunu vücuduma dikti," gibilerinden kurgular üretebilir. Kimileri de kol ya da bacaklarına olumsuz duygular besleyip onları hoşlanmadıkları bir vücut parçası olarak tarif eder: "Bacağım, üzerimdeki bir ölü ağırlıktan farksız," gibi. Kendiliğin parçalandığı bu durumun daha kötücül bir formunda hasta bu "yabancı" uzuvdan öyle nefret eder ki ona sövüp sayarak vurmaya bile başlayabilir.[21]

Bozukluğu açıklayacak bir altın kural olmamakla birlikte, bu kitabın merceğinden baktığınızda, benim yorumumu tahmin etmekte zorlanmayacaksınız: Beynin artık kontrol edemediği uzuv, "Kendi"nin üyeliğinden çıkarılmıştır.

Hastalar kimi zaman kol ya da bacaklarını yeniden kendi uzuvları olarak görebildikleri bir berraklık aralığı yakalasalar da bu uzun sürmez. Benim varsayımıma göre bu durum, kolların *tesadüfen* kendi istedikleri şekilde hareket ettiği zamanların, yani "rastlantısal öngörülebirliğin" bir sonucu. Sözgelimi, kişi kolunu masanın üzerindeki çikolataya doğru uzatmak istediği hissini yaşar ve kol da tesadüfen o yöne doğru hareket ettiğinde kişi, o eylemden kendisine pay çıkarır. Bir kişinin ömür boyu sürmüş kol kontrolü deneyiminden hareket edersek geçici bir kontrol izleniminin bile, kolu bir anlığına da olsa Kendi ile yeniden uyum içine getirmesine şaşmamak gerekir.

Nörolog ve yazar Oliver Sacks da 1970'lerin başında farklı türden bir kendilik kaybı yaşamıştı.[22] Norveç'te doğa yürüyüşü yaparken yoluna çıkan bir boğa karşısında korkuya kapılarak, dağdaki bir patikadan aşağı telaşla koşmaya başlamış ve bu sırada küçük bir kayalıktan yuvarlanmıştı. Bu düşüş, uyluğundaki kuadriseps kasının yırtılmasıyla sonuçlanmıştı. Şemsiyesiyle bacağı için derme çatma da olsa bir destek yapmış ve "tümüyle yararsız" hale gelmiş bacağıyla dağdan aşağı, geyik avcıları tarafından bulunana kadar topallayarak inmişti. Sacks yatırıldığı hastanede bir süreyi zihni bulanık ve sayıklar halde geçirdi. Kuadriseps kası yırtık olduğundan bacağını kıpırdatamadığı gibi, onun kendisine ait olmadığından da yüzde yüz emindi. Bir ara bacağın tam karşısında uzandığını düşünmüş ama sonra yatağın kenarından sarkmış olduğunu fark ederek dehşete düşmüştü:

> Bacağımı tanımıyordum. Bana bütünüyle yabancıydı; benim değildi, aşina değildi. Tanımadan bakıyordum ona. (...) Bu tebeşirden silindire baktıkça bana giderek daha da fazla yabancılaşıyor, daha da anlaşılmaz geliyordu. Onun "benim" olduğunu, bir parçam olduğunu hissedemiyordum artık. Benimle hiçbir ilgisi yoktu sanki. Kesinlikle bana ait değildi, ama imkânsız şekilde bağlıydı bana ve daha da imkânsızı, benim bir "devamım"dı. (...) Orada kesin olarak herhangi bir duyu da yoktu. (...) Hem görünüşü hem de verdiği his bakımından tuhaf bir yabancı, vücuduma iliştirilmiş cansız bir kopyaydı benim için.

Sacks'in bacağıyla yaşadığı deneyimi nasıl yorumlayabiliriz? Tıpkı Kaptan Picard ve Borg'larla olduğu gibi, denetim altına alabildiğiniz şeyler "kendi"nin bir bileşeni olurken, denetleyemediklerinizin sizinle bir ilişkisi yoktur. Bacağının, verdiği komutlara uymasını sağlayamayan Sacks, onun *kendi* parçası olduğunu hissedemiyordu. Bacak, sadece milyarlarca hücrenin toplamından oluşmuş yabancı bir yapıydı onun için: kemik, deri ve deriden çıkan tuhaf kılların oluşturduğu bir yapı. Eğer onu yönetemesek ve ondan herhangi bir duyum almasaydık hepimiz vücutlarımızı böyle algılardık.

Bu arada, bu öngörülebilirlik hissinin, derinlemesine tanıdığınız bir insanın –diyelim ki bir aile üyesinin– size zamanla bir parçanız gibi gelmesiyle ilişkili olduğunu tahmin ediyorum. Elbette insanlar, tamı tamına öngörülemeyecek kadar karmaşıktırlar ve sözgelimi eşinizin davranışlarının size ne ölçüde şaşırtıcı geldiği de onun sizden ne kadar bağımsız kalabildiğinin bir göstergesidir.

OYUN BİZİM GERÇEĞİMİZ

Yeni vücutlar denemek için illa protezlere ya da beyin ameliyatlarına ihtiyacımız yok. Gelişmekte olan robot-avatar alanı, kullanıcının uzaktaki bir robota kumanda ederek, robotun gördüğünü görüp hissettiğini hissetmesini sağlıyor. Şu anda var olan en karmaşık yapay ellerden biri olan Shadow Hand'i ele alalım. Eldeki her parmak ucu, verilerini kullanıcının taktığı dokunsal eldivene geribildirimle aktaran alıcılarla donatılmış. Kullanıcı, ağ aracılığıyla veri göndererek, Londra'daki bir robot ele Silikon Vadisi'nden kumanda edebiliyor.[23] Bunun dışında, afet ya da felaket sonrasında hizmet görecek avatarlar üzerinde çalışanlar da var. Hedef, deprem, terör saldırıları ya da yangın bölgelerine, uzakta ve güvenli bir konumdaki kullanıcılar tarafından yönlendirilen robotlar göndermek. Tuhaf vücutlu avatarlar kullanan insanların varlığından henüz haberim yok ama bu pekâlâ mümkün: Beyin kayak, trambolin ya da pogo sopalarını kullanmayı nasıl öğreniyorsa tuhaf ve harikulade bir avatar vücutla arayüz bağlantısı kurmayı da öğrenebilir.

Avatar-robotik alanı az sayıda insana genişletilmiş ya da tuhaf vücutları deneme olanağı sunacak olsa da bunun inanılmaz ölçüde pahalı olacağı kesin. Neyse ki farklı vücut planlarını denemenin daha iyi bir yolu da var: sanal gerçeklik. Simüle edilmiş bir alanda, vücut planınız üzerinde büyük değişiklikler yapabilirsiniz. Üstelik anında ve uygun maliyete.

Sanal gerçeklik dünyanızda bir aynaya baktığınızı düşünün. Kolunuzu kaldırıyorsunuz ve aynadaki sanal avatarınızın da kolunu kaldırdığını görüyorsunuz. Boynunuzu eğiyorsunuz; avatarınız da eğiyor. Şimdi de farz edin ki avatarın yüzü sizinki değil, Etiyopyalı bir kadının, Norveçli bir adamın, Pakistanlı bir erkek çocuğun ya da Koreli bir büyükannenin yüzü. Beynin "kendilik" ya da "öz" saptamasını nasıl yaptığını gördüğümüz az önceki bölümde öne sürülen nedenlerle (*Ne yaptığını denetleyebiliyorsam o zaten ben'im*) artık farklı bir vücuda yerleştiğinize ikna olmanız, aynanın önünde birkaç dakika hoplayıp zıplamanıza bakar sadece. Bundan sonra o sanal dünyada farklı bir kişi olarak dolaşabilir, yaşamı değişime uğramış bir kimlikle deneyimleyebilirsiniz. Öz-kimlik olgusu, şaşırtıcı derecede esnektir. Araştırmacılar son yıllarda farklı bir insanın yüzüne bürünmenin, empatiyi nasıl pekiştirdiği üzerinde çalışıyorlar.[24]

Ama yeni bir yüz edinmek, işin yalnızca başı. Sıra dışı vücutları kapsayan sanal gerçeklik çalışmaları, 1980'lerin sonunda, bir şifreleme kazası sonucu başlamıştı. Bir bilim insanının, bir liman işçisinin avatarını kullandığı sırada programcılardan biri, ölçekleme katsayısına fazla sayıda sıfır ekleyince avatarın kolu yanlışlıkla devasa boyutlara (kabaca bir inşaat vinci büyüklüğüne) fırlamıştı. Bilimcinin her şeye rağmen bu megakolu hassas ve verimli biçimde çalıştırabilmesi ise herkesi şaşırtmıştı.[25]

Bu gelişme araştırmacıları, hangi tür vücutların avatar olarak kullanabileceği üzerine kafa yormaya itti. Sanal gerçekliğin öncüleri Jaron Lanier ve Ann Lasko, insanların sekiz bacaklı ıstakoz vücuduna bürünebildiği bir deneyim ortaya çıkardılar. Bu örnekte iki kolunuzla ıstakozun ilk iki bacağını yönlendiriyordunuz. Programcılar diğer bacaklara da kumanda etmeyi sağlayacak birtakım (karmaşık) algoritmalar denediler. Istakozun sekiz bacağını birden denetlemek zor işti ama başaranlar çıktı. Lanier, beynin vücudu temsil yetisindeki şaşırtıcı esnekliğe atfen "homonkular esneklik" terimini ortaya attı.

Birkaç yıl sonra Stanford araştırmacısı Jeremy Bailenson ve ekibi, homonkular esneklik olgusunu daha bilimsel şekilde sınamak için kolları sıvadılar. Amaçları, insanların sanal gerçeklik dünyasında üçüncü bir kolu da hassaslıkla kullanmayı öğrenip öğrenemeyeceklerini anlamaktı.[26] Uygulamada, sanal gerçeklik gözlüklerini takıp iki kumandayı da elinizle kavradığınızda, sanal uzayda hem kendi kollarınızı hem de üçüncü bir kol daha görüyordunuz. Bu kol, sanki göğsünüzün ortasından çıkmış gibiydi. Görev basitti: rengi değişen kutuya hemen dokunmak. Ancak kutu sayısı çok olduğundan, başarılı olmak için üç kolu da kullanmak gerekiyordu. İlk iki sanal kol, kullanıcının kendi kolları tarafından, üçüncüsü ise bileklerin döndürülmesiyle yönlendirilmekteydi. Kullanıcılar, üç dakika içinde oyunu kapmışlardı bile: Performans ölçümleri, yeni vücut planına uyum sağladıklarını gösteriyordu.

Keşfedilebilecek fiziksel özellikler ve vücut tiplerinin sınırı yoktur: kuyruksokumunuzdan sanal bir kuyruğun uzandığını ve buna kalça hareketleriyle hassas bir şekilde kumanda edebildiğinizi düşünün.[27] Ya da boyutlarınızın bir golf topunun, belki de bir binanın boyutlarına ulaştığını, altı parmağa sahip olduğunuzu, kanatlı bir karasineğe dönüştüğünüzü... ya da Doc Ock gibi, bir ahtapota.

Beynin esnekliğini sanal gerçeklik tasarım dünyasının giderek gelişen yaratıcılığıyla birleştirerek, sanal kimliklerimizin tesadüfen geliştirmiş olduğumuz bedenlerle sınırlı kalmayacağı bir çağa doğru ilerliyoruz. Artık evrimi kendimiz hızlandırabileceğiz: sonsuzca uzun bir zamandan, saatler ölçeğine. Tabiat Ana'nın aklına bile gelmeyecek bedenler keşfedecek, sanal avatarları nöral gerçekler haline getireceğiz.

Vücudu değiştirmenin beyni de değiştirebileceği gibi ilginç bir olasılık da var önümüzde. Bir çalışmanın sonuçları, yaşlı kişilerin avatarlarını kullanan üniversite öğrencilerinin, paralarını bir banka hesabına yatırma olasılıklarının daha fazla olduğunu, kadın avatarını seçenlerin daha korumacı davrandığını, avatarlarının spor yaptığına tanık olanların sonrasında kendilerinin de spor yaptığını gösteriyor.[28] (Kurgu dünyasında, Doc Ock'un kötülüğünün altında yatan şeyin bu tür bir bedensel değişim olduğu ileri sürülmüştü: Beyin devrelerinin fazladan dört uzantıyı destekleyecek şekilde yeniden düzenlenmesi, onun düşünme biçimini de değiştirmişti.[29]) Başka bir ifadeyle, kim olduğumuz, beyin ağlarının bir bütün olarak nasıl düzenlendiğine bağlıdır. Vücutta yapılan bir değişiklik, kişilikte bir değişimi de tetikleyebilir.

Gerçek hayattan bir örnek verecek olursak önkolunu bir iş kazasında kaybeden metal dökümcüsü Nigel Ackland'i ele alabiliriz. Kaza sonrasında hem fiziksel hem de duygusal bakımdan yerle bir olan Ackland'e, harikulade bir biyonik kol takılmıştı.[30] Şimdiyse beyni kalan sinir ve kaslara komut gönderiyor ve bu sinyallerin yorumlanmasıyla elin bir düzineden fazla hareketi pürüzsüzce gerçekleştirmesi mümkün oluyor. Ama asıl çarpıcı olanı şu: Nigel'a bileğini çevirmesini söylediğinizde, kolunu kaldırıp elini döndürüyor döndürmesine ama bu hareket, dönüş ekseni çevresinde sürüp duruyor. Yani eli, yavaş dönen bir topaç gibi Nigel'ın istediği süreyle dönmeyi sürdürebiliyor. Nigel'ın vücudu sizinkinden, benimkinden iyi durumda. Bununla kastettiğim, daha az kısıtlamaya tabi olması. Biyomühendisler bu eli yaparken, normalde hareketlerimizi sınırlayan ligament ve tendonlara bağlı kalmanın belirli bir yarar sağlamadığını fark etmişlerdi. Nigel, tahminen bizim düşünemediğimiz şeyler düşünebiliyor: "Elimi çevirmeye devam et" ya da "Ampulü tek bir hareketle tak" gibi.

SONSUZ SAYIDA VÜCUT PLANI, TEK BEYİN

Okçu Matt ve Faith adlı köpekte gördüğümüz üzere, beyin kendini nasıl bir vücut içinde bulursa o vücudu yönlendirmek üzere ayarlamalar yapıyor. Ve yine Jan'in robot kolu ve maymunun şekerleme "makinesi" gibi, eklenen yeni donanımları çalıştırmanın yolunu buluyor. Kafa içindeki ağlar bunu başarmak için motor komutlar gönderiyor (*Sola yaslan*), gelen geribildirimi değerlendiriyor (*Kaykay yana yatıp yalpalıyor*) ve parametrelerde ayarlamalar yaparak uzmanlığa doğru ilerliyor.

Beyin karşısına çıkabilecek bütün ortamlar ya da vücut planlarına uyum sağlayabilir mi peki? Muhtemelen birkaç yüz yıl sonra, Ay ya da Mars yüzeyinde doğan bebeklere tanık olacağız. Bu bebekler farklı yerçekimi sınırlandırmalarına tabi olacaklarından vücutları da olasılıkla farklı biçimde gelişecek ve hayatlarını sürdürmek için farklı vücut eklentilerinden yararlanacaklar. Uzak geleceğin nörobilimcileri ise onların vücutları ve beyin gelişimleri üzerinde çalışacak ve bebeklerin,

bu gelişimin sonucu olarak başka yönlerden de (bellek, biliş ve bilinçli deneyimler gibi) farklı olup olmayacağını sorgulayacaklar.

Canlı devre olgusunun ilkelerini öğrendiğimizde, bunun endüstri kolları için taşıyacağı anlamı bir düşünün. Sözgelimi, bir araba üreticisinin, motoru yalnızca bir kez tasarlamakla yetinip, motorun kendini bulunduğu araca en uygun biçimde ayarlayacağı varsayımıyla, onu istediği araç tipine (çim biçme makinesi, triportör, kamyon, uzay aracı) takmasıyla elde edilecek avantajları ele alabilirsiniz. Ve satış sonrasında alıcının araca yeni özellikler eklediğini (paletler ya da geri çekilebilir bacaklar gibi) ve bunlardan nasıl yararlanılacağını aracın kendisine bıraktığını hayal edin.

İnsanların, doğuştan sahip oldukları etten robotlar yerine daha iyi ve daha dayanıklı bir donanımın keyfini sürebileceği biyonik bir çağa adım atıyoruz. Bundan bir milyon yıl sonra, görsek tanıyamayacağımız torunlarımız tarafından incelemeye alındığımızda, belki de tarihimiz içinde bulunduğumuz şu nokta, ağır ilerleyen gelişim sürecimizden kendimizi çıkarıp vücudumuzun geleceğini yönlendirmeye başladığımız dönem olarak görülecek. Biyonik uygulamalarının giderek yaygınlaştığına tanık olacağız. Torunlarımızın torunları, bacakları işlev görmediğinde oturup kalmayacak, kolları kesildiğinde yardım kabul etmeyecekler. Onun yerine beyinlerinin, onları nasıl denetleyeceğini bir şekilde bulacağının bilinciyle vücutlarını yapay kol ve bacaklarla donatacaklar. Hem kol hem de bacakları felç olan (paraplejik) kişiler ise düşünceleriyle kumanda ettikleri dış iskelet giysilerinin içinde dans edebilecekler.[31]

Kaybolan işlevlerin tekrar yerine konmasından öte, motor becerilerini geleneksel biyolojik sınırların ötesine de taşıyabilecekler. Önümüzdeki yüzyıllarda sekiz kollu Doc Ock'un hikâyesi, Jules Verne'in, insanların Atlantik Okyanusu'nu bir günden kısa sürede geçeceği yolundaki bilim kurgusal düşü kadar eskimiş gelecek. Torunlarımız, kendilerini vücutlarının belirlediği sınırlar içine hapsetmek zorunda kalmayacak, denetleyebildikleri ne varsa onların yardımıyla evrenin bir köşesinden diğerine uzanabilecekler.

6

ANLAMLILIK NEDEN ANLAMLIDIR?

László Polgár'ın üç kızı vardı. Hem satrancı hem de kızlarını seven László, küçük bir deneye girişti: Eşiyle birlikte kızlarını birçok konuda kendileri eğitiyorlardı. Onlara sıkı bir satranç eğitimi de vermeye karar verdiler. Kızlar her gün taşları altmış dört karenin bir köşesinden diğerine sürüp durdular.

En büyükleri Susan on beşinci yaşını bitirdiğinde dünya çapında tanınan birinci sınıf bir satranç oyuncusu olmuştu. 1986'da Dünya Erkekler Satranç Şampiyonası'na katılmaya hak kazanan ilk kadın oldu. Beş yıl sonra, Erkekler kategorisinde Büyük Usta unvanını almıştı bile.

Susan'ın bu hayret verici başarıları sürerken, on dört yaşındaki ortanca kardeş Sofia da İtalya'daki bir turnuvada kazandığı inanılmaz zaferle tanındı. Sofia'nın, sonradan "Sack of Rome" (Roma'nın Talanı) adı verilen bu turnuvadaki oyunu, on dört yaşında bir oyuncunun gösterdiği en güçlü performanslardan biri olarak övgü topladı. Sofia daha sonra Uluslararası Usta ve Kadın Büyük Usta unvanına da sahip oldu.

Kız kardeşlerin en küçüğü olan Judit ise bilinen en iyi kadın satranççı olarak genel kabul görüyor. On beş yıl ve dört ayını doldurduğu gencecik bir yaşta Büyük Usta unvanını kazanan Judit, Dünya Satranç Federasyonu'nun en iyi 100 satranççı listesindeki tek kadın. İlk on içinde yer aldığı bir dönem de var.

Bu başarının ardında yatan neydi?

Kardeşlerin anne ve babalarının benimsediği yaklaşım, dehanın doğuştan gelmediği ve sonradan geliştiği biçimindeydi.[1] Kızlarını, bu

yaklaşım doğrultusunda her gün eğitimden geçiriyorlardı. Onları satrançla haşır neşir yapmakla kalmıyor, satranç üzerinden besliyorlardı. Kızlar satrançtaki performanslarına göre kucaklanıyor, sert bakışlara maruz kalıyor, takdir ediliyor ve ilgi görüyorlardı. Sonuçta, beyinlerinde satranca adanmış epeyce bir devre gelişmişti.

Beynin girdilere bağlı olarak kendini nasıl yeniden düzenlediğini gördük; ancak beyin kanallarına akan her bilgi, aynı derecede önem taşımaz. Beynin kendisini nasıl bir ayarlamadan geçirdiği, zamanınızı neyle geçirdiğinizle çok yakından ilişkilidir.[2] Eğer ornitoloji (kuşbilim) doğrultusunda bir kariyer değişikliğine gitmeye karar verirseniz nöral kaynaklarınızın çoğu kuşlar arasındaki ince farkları (kanat şekli, göğüs rengi, gaga büyüklüğü gibi) öğrenmenize adanacaktır. Oysa daha önceleri, kuşların beyindeki nöral temsili olasılıkla daha kaba bir sonuca yol açmaktaydı (*Bu bir kuş mu, uçak mı?*).

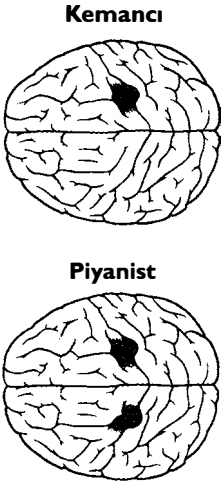
PERLMAN VE ASHKENAZY'NİN MOTOR KORTEKSLERİ

Kemancı Itzhak Perlman'la ilgili bir rivayete göre, bir konser sonrasında hayranlarından biri ona şöyle der: "Böyle çalabilmek için ömrümü verirdim."

Perlman yanıtlar: "Ben de verdim zaten."[3]

Perlman, her sabah yataktan 05.15'te kalkıyor. Duş ve kahvaltıdan sonra, dört buçuk saatlik sabah çalışmasına başlıyor. Öğle yemeği ve bir egzersiz seansından sonra, bir dört buçuk saat daha sürecek olan öğle sonrası çalışmasına geliyor sıra. Konser günlerini saymazsak bu rutini her gün izliyor Perlman. Konser günleri ise programda yalnızca sabah çalışması var.

Beyin devreleri, sonunda yaptığınız şeyleri yansıtır hale geldiğinden, üst seviyedeki bir müzisyenin korteksi de ölçülebilir biçimde farklı olan bir özelliğe bürünecektir. Öyle ki beyin görüntülerinde bile ayırt edebilirsiniz bunu. Görüntülemeyle ilgili eğitim almamış olsanız da. Eğer el hareketlerinde rol oynayan motor korteks bölgesine dikkatle bakarsanız şaşırtıcı bir bulguyla karşılaşırsınız: Müzisyenlerin kortekslerinde, müzisyen olmayanlarda görülmeyen ve Yunan



Keman sanatçıları ve piyanistler arasındaki bazı farklılıkları seçebilmek için motor kortekse bakmak yeterlidir.

alfabesindeki omega (Ω) harfini andıran bir kıvrım vardır.[4] Çalgıyla yapılan ve binlerce saati bulabilen çalışmalar, müzisyen beynine farklı bir biçim verir.

Bulgular bununla da kalmıyor. Sanatlarına adanmışlıkları, saatler süren çalışmalar ve yorucu seyahat temposu kemancı Perlman ve piyanist Vladimir Ashkenazy'yi ortak bir noktada birleştirse de beyinleri birbirinden o kadar farklı görünüyor ki hangi beynin kime ait olduğunu rahatlıkla çıkarabiliyorsunuz. Perlman gibi yaylı çalgı sanatçılarında omega işareti genel olarak yalnızca bir yarımküredeki çünkü ayrıntılı hareketleri yapan, sol elin parmaklarıdır. Sağ elin işi ise yalnızca yayı teller üzerinde hareket ettirmekten ibarettir. Buna karşılık Ashkenazy gibi bir piyanistte omega işaretini her iki yarımkürede de bulmak mümkündür çünkü her iki el de tuşlar üzerinde çok incelikli örüntüler sergilemektedir. Kortekse şöyle bir bakmakla tarama aygıtı içinde ne tip bir müzisyenin yatmakta olduğunu tahmin edebilirsiniz.

Beynin yeniden düzenlenme biçimi daha da fazlasını söyler bize: Hangi elin *daha çok* ya da *daha az* iş yaptığını yansıtmakla kalmaz, bazen *ne* yaptığını da açıklar. Farz edin ki bir üretim hattında çalışmaya başlıyorsunuz ve size iki işten biri düşüyor: Ya kavanozlara küçük bilyeler dolduracak ya da kavanoz kapaklarını kapatacaksınız. İki işte

de ağırlıklı olarak sağ elinizi kullanıyorsunuz ama birincisi parmak uçlarınızda ayrıntılı hareketler gerektirirken ikincisinde bilek ve önkolunuz devreye giriyor. Göreviniz kavanoz doldurmaksa parmaklarınızın korteksteki temsili, bilek ve önkola düşen alan pahasına genişleyecek, kapak kapatmakla görevlendirildiyseniz tersi olacaktır.[5]

Böylece, tekrar tekrar yaptığınız şeyler, beyin yapısına yansır. Dahası, bu değişiklikler motor korteksten çok daha fazlasını da içerir. Örneğin, Braille alfabesini öğrenmek için aylar harcarsanız işaretparmağınızın kortekste temsil edildiği alan büyüyecektir.[6] Yetişkinlikte jonglörlüğe başlarsanız görmeyle ilgili alanlarınız genişler.[7] Beyniniz sadece dış dünyayı değil, daha özelinde *sizin* dış dünyanızı yansıtır.

Herhangi bir alanda iyi bir düzeye ulaşmanın altında bu durum yatar. Serena ve Venus Williams gibi profesyonel tenisçiler, maçın harareti içinde doğru hamlelerin (step, omuz dönüşü, backhand, hücum, gerileme, nişan alma, smaç gibi) otomatik olarak yapılabilmesi için yıllarını çalışarak geçirir[8] ve hareketleri beynin bilinçdışı devrelerine kazımak için binlerce saat harcarlar. Maçı salt üst düzey bilişsel işlevlerle yürütmeye çalışmak, kazanma şanslarını epeyce düşürecektir. Zaferlerini, beyinlerinin aşırı çalıştırılmış ve eğitilmiş düzenekleri işleyebilmesine borçludurlar.

On bin saat kuralını duymuşsunuzdur belki. Kural ister sörfçülük ister mağaracılık ister saksafon çalma, herhangi bir beceride uzmanlaşabilmek için bu kadar saat boyunca alıştırma yapmanız gerektiğini söyler. Tam olarak kaç saat gerektiğini belirlemek imkânsız olsa da genel fikir doğrudur: Beynin yeraltı haritalarını gün yüzüne çıkarmak için muazzam sayılarla tekrar yapmanız gerekir. Destin Sandlin ve yönlendirme sistemi tersten işleyen hileli bisikleti hatırladınız mı? Sandlin bisikletin nasıl çalıştığını bilişsel düzeyde bilse de bu, onu kullanması için yeterli değildi; haftalar sürecek alıştırma ve uygulamaya ihtiyacı vardı. Benzer şekilde, yiyeceğe tırmıkla uzanmak zorunda bırakılan maymunları hatırlayın. Vücut planlarının, bu aleti de olduğu gibi kapsayacak şekilde yeniden düzenlendiğinden, tırmığın bu planın bir parçası haline geldiğinden söz etmiştim.[9] O sırada söz etmediğim şey, bu yeniden düzenlenmenin ancak ve ancak maymunun tırmığı *aktif biçimde* kullanması durumunda gerçekleştiğiydi. Maymun tırmığı yalnızca tutmakla kalırsa beyin yeni bir düzenlemeye gitmez.

Beynin, aleti basitçe tutmakla yetinmeyip onunla tekrar tekrar uygulama yapması gerekir. On bin saat kuralı buradan gelir.

Yoğun alıştırmanın nöral etkileri yalnızca keman çalmak, tenis raketi savurmak ya da tırmık kullanmak gibi motor çıktılar için değil, girdiler için de geçerlidir. Sözgelimi, final sınavları için üç ay boyunca çalışan tıp öğrencilerinin beyinlerindeki gri madde hacmi o kadar değişir ki bu değişim beyin taramalarında çıplak gözle bile seçilebilir.[10] Benzer değişimler, yetişkinlerin bir ayna aracılığıyla tersten okumayı öğrenmeleri sırasında da gerçekleşir.[11] Dahası, Londra'daki taksi şoförlerinde uzamsal navigasyon ile ilgili beyin alanları, nüfusun kalanından gözle görünür biçimde farklıdır. Bu kişilerde hipokampusun bir bölgesi her iki yarımkürede de genişlemiştir. Bu bölge, dış dünyanın içsel haritalarını oluşturmada rol oynar.[12] Zamanınızı neyle geçirdiğiniz, beyninizdeki değişimleri belirler. Yediğinizden fazlasısınızdır aslında; bir anlamda sindirdiğiniz bilginin kendisine dönüşürsünüz.

İşte, Polgár kardeşlerin dünya satranç şampiyonlarına dönüşmeleri de böyle olmuştu. Başarılarının sırrı, satranç becerisini kodlayan bir gen değildi. Bu sır durmaksızın alıştırma yapmalarında, beyinlerine atlar, kaleler, filler, piyonlar, şahlar ve vezirler için güç ve hareket örüntüleri kodlayacak yollar kazımalarında yatıyordu.

Sonuç olarak beyin, içinde bulunduğu dünyayı yansıtır hale gelir. Ama nasıl?

MANZARAYA BİÇİM VERMEK

Geçenlerde internette bir görüntü çarptı gözüme: üzerinde "Hey! Galiba az önce cebindeki telefon titreşti," yazısı bulunan bir insan beyni. Görüntünün altındaki yazı da şöyleydi: "Şaka, şaka! Telefonun cebinde değil bile, geri zekâlı!"

Hayali cep telefonu titreşimi, yirmi birinci yüzyıla özgü bir bela. Bu, genellikle bacağınızdaki anlık bir kasılma, titreme, sarsılma ya da dokunuştan kaynaklanıyor. Duyumun frekans ve süresi, telefonunuzun titreşimiyle az çok benzer olduğu sürece, beyniniz sizin adınıza, dikkate değer birinin size ulaşmaya çalıştığı üzerinde karar kılıyor. Bundan

otuz yıl önce bacağınızda küçük bir hareket hissetseydiniz bunu üzerinize konan bir sinek, giyeceklerinizdeki bir hareket ya da birinin yanınızdan geçerken size yanlışlıkla dokunması olarak yorumlayacaktınız.

Yorumlarınız bir nesilden diğerine neden değişiyor? Çünkü şimdiki telefonunuz, bir dizi titreşimli hareket için en uygun açıklama olarak hizmet görüyor.

Beyinde neler olup bittiğini anlamak için tepelik bir manzarayı gözünüzün önüne getirin. Bir yağmur damlasının göle karışması için doğrudan suya düşmesi gerekmez; yapması gereken tek şey, gölü çevreleyen tepe yamaçlarına çarpmaktır. İster kuzey ister güney yamaca, yamacın da ister doğu ister batı eğimine düşsün, göle doğru yuvarlanacaktır. Benzer şekilde, uyluğunuzda hissettiğiniz şey, vızıldayan bir telefon olmak zorunda değildir. Belki kot pantolonunuz biraz yukarı kaymıştır, belki uyluk kasınız seğirivermiştir, belki deriniz kaşınmış, belki de yanından geçtiğiniz kanepeye sürtünmüşsünüzdür. Bu his yakınlardan bir yerden geldiği sürece, sinyaller de buldukları yerden hedef noktaya süzülecektir: Bu, açıp bakmak için can attığınız bir mesajdır. Manzarayı belirleyen, dünyanızda önem verdiğiniz şeylerdir.

Konuşma dilinin seslerini nasıl yorumladığımızı düşünün. Anadilinizin seslerini anlamak size doğal gelirken, yabancı diller sıklıkla, aradaki farkı tam olarak çıkaramadığınız ve birbirine çileden çıkarıcı ölçüde yakın olan seslerden oluşmuştur. Ama neden? Anlaşıldığına göre, bu dilleri konuşan insanların beyinlerinde bazı farklılıklar vardır.

Ama bu farklılıklar, ne bu insanlar ne de sizin için doğuştan gelir.

İnsanların ağızlarıyla çıkarabildikleri bütün olası seslere bir bütün olarak bakarsanız bunların pürüzsüz denebilecek bir süreklilik oluşturduklarını görürsünüz. Buna rağmen, anneniz, bakıcınız ya da öğretmeniniz tarafından çıkarılan belirli seslerin hep aynı anlama geldiğini deneyimle öğrenirsiniz: Beyniniz –İngilizcede– uzun ve kısa "i" seslerinin *E* sınıfına girdiğini çözümler. Teksaslı arkadaşınızın uzatarak çıkardığı "ai" ya da Avustralyalı arkadaşınızın çıkardığı "oy" sesleri için de geçerlidir aynı şey. Tecrübe size konuşmacıların, telaffuzdan bağımsız olarak, aslında aynı sesi kastettiğini öğretir ve böylece nöral ağlarınız bütün bu seslerin aynı yorum altında toplanmak üzere tepelerden aşağı yuvarlandıkları bir manzara çizer.

Komşu vadilerde *A, I, O ya da* diğerlerine eşdeğer sesleri toplarsınız. Oluşturduğunuz manzara, böylece zaman içinde farklı bir dilde yetişmiş ve pürüzsüz ses sürekliliğini sizden farklı yorumlamaya ihtiyaç duyan bir insanınkinden farklı hale gelir.

Örnek olarak, Japonya'da doğan bir bebeği (adına Hayato diyelim) ve Amerika'da doğan bir bebeği (William olsun) ele alalım. Beyinleri açısından aralarında fark yok. Ama Osaka'da yaşayan Hayato, doğduğu günden beri hep Japonca duymuş; Palo Alto'da yaşayan William ise farklı seslerin anlam taşıdığı İngilizcenin tonlarına maruz kalmış. İki bebeğin birbirlerinden farklı olarak duydukları şeylere bir örnek, *R* ve *L* sesleri arasındaki ayrım. Bu iki ses, İngilizcede bilgi taşır nitelikte (ör. "right"a ["doğru"] karşılık "light" ["hafif"]; ya da "raw"a ["çiğ"] karşılık "law" ["yasa"] gibi); ancak Japoncada bu sesler arasında herhangi bir ayrım yok. Sonuç olarak William'ın içsel tablosunda, *R* ve *L* seslerini yorumlamasındaki farklardan kaynaklanan bir dağ silsilesi beliriyor. Hayato'nun beynindeki tabloda ise manzara, hem *R* hem de *L*'nin aynı yoruma doğru süzüldüğü bir vadiye dönüşüyor. Hayato, bunun bir sonucu olarak iki ses arasındaki farkı duyamıyor.[13]

Elbette, çocukların beyni doğuştan böyle değildi: William'ın annesi hamileyken Osaka'ya, Hayato'nun annesi de hamileyken Palo Alto'ya taşınmış olsaydı her iki çocuk da yeni lisanı anlama ve akıcı konuşma konusunda herhangi bir sıkıntı yaşamazdı. Genetik kökenli olguların aksine, nöral manzaraları yakın çevreleriyle kurdukları ilişkiler doğrultusunda biçimlendirilmişti.

Biçimlenme süreci oldukça erken dönemde, Hayato ya da William konuşmayı bile öğrenmeden başlamıştı. Bu durum, ani ses değişimleriyle bebeğin meme emme davranışlarının da değişmesi izlendiğinde açıklık kazanır. Sözgelimi, sürekli bir *R* sesi çıkarırken, sesi birden *L*'ye dönüştürün (*RRRRLLLL*). Bebekler, öyle anlaşılıyor ki seste bir değişim algıladıklarında daha hızlı emiyorlar. Dolayısıyla Hayato ve William yaklaşık altı aylıkken *R*'nin *L*'ye dönüşmesiyle daha hızlı meme emeceklerdir. Ama on ikinci aya geldiklerinde Hayato artık değişimi algılamamaktadır. *R* ve *L* onun için aynı sestir artık ve iki ses de aynı vadiden akmaktadır. Hayato'nun beyni ikisi arasındaki farkı algılama yetisini kaybetmişken, anne babasının ağzından çıkan on binlerce İngilizce sözcüğü pasif olarak dinlemiş olan William'ın beyni, seslerin

arasındaki farkın, taşınan bilgideki bir farka da işaret ettiğini öğrenmiştir. Bu arada Hayato'nun beyni, William'a birbirinden farksız gelen seslere ilişkin başka ayrımlar yakalamıştır. Sonuç olarak, işitme sistemi başlangıçta evrenselken –gezegenin hangi noktasında gözünüzü hayata açtığınıza bağlı olarak– zamanla dile özgü ayrımları azamiye çıkaracak şekilde bağlantılar oluşturur.

Yine aynı şekilde, vızıldayan telefonu algılayabilmeniz de doğuştan gelen bir becerinin sonucu değildir. Yaşamınızla yakından ilintili olması nöral tabloyu öyle biçimlendirir ki bütün komşu hisleri yakalayacak geniş bir çuvala sahip olursunuz. Hayato'nun *R* ve *L*'lerle yaptığı gibi, siz de çeşitli seğirmeler, titreşimler ve salınımları o anda olup bitenlerle ilgili tek bir yorumda birleştirirsiniz.

Şu ana kadar gördüklerimiz, tekrarlı alıştırmalar yapma ya da bir şeye sürekli maruz kalmanın, beyin devrelerini biçimlendirmede anahtar rolü oynadığını düşünmeye yönlendirebilir bizi. Ama gerçekte, bu süreçte iş başında olan daha derin bir ilke vardır.

YETER Kİ İSTENSİN

Bir ampulü değiştirmek için kaç psikiyatrist gerekir?
Yalnızca bir. Ama ampulün de değişmek istemesi koşuluyla.

Bir önceki bölümde tanıştığımız, iki bacaklı köpek Faith'e geri dönelim. Geldiğimiz o noktada Faith'in hikâyesini, beyni sıra dışı vücut planını sanki sihirle çözmüş gibi anlatmıştım. Ama artık gömülü kemiği bulmak için biraz daha derine inebiliriz. Faith'i özel yapan bir şey var mıydı? Herhangi bir köpek de bunu becerebilir miydi? Eğer becerebilirse neden bütün köpekler iki ayak üzerinde yürümez?

Faith'in yeniden çizilmiş haritaları, yaşamında kurduğu anlamlılık ilişkilerine dayanıyordu. Beynini biçimlendiren etken, hedefleriydi. Yiyeceğe ulaşmak zorundaydı bir kere. Ve bu da bir çözüm yolu gerektiriyordu. Dört bacaklı kardeşlerinin yararlandığı çözümün aynısı olmayacaktı bu. Dron taşımacılığı ya da Door Dash yemek sipariş şirketinden de medet umamazdı. Yeni bir çözüm üretmek zorundaydı

Faith. Beyni, çeşitli stratejiler denedi; ta ki işe yarayan bir tanesini bulana kadar: iki arka ayağı üzerinde dengede durmak ve adım adım yalpalayarak ilerlemek. Bu strateji, ihtiyaç duyduğu şeye ulaşmasını sağlamıştı. Bir süre sonra bu hareket yönteminde epeyce ustalaştı. Karşı karşıya olduğu soruna bir çözüm bulamamış olsaydı açlıktan ölecekti. Hayatta kalma dürtüsü, beynindeki esnek devreler sisteminin birçok varsayımı sınayarak problemi çözmesini ve böylece yiyeceğe, barınağa ve sevdiklerine kavuşmasını sağlamıştı.

Beynin hedefleri, nasıl ve ne zaman değiştiğinde önemli rol oynar. Polgár kardeşler, Itzhak Perlman ya da Vladimir Ashkenazy'nin bulundukları ustalık düzeyine erişmeleri, bu ustalığa erişme *arzusuna* bağlıydı. Bir an için Serena ve Venus Williams'ın Fred adında serseri bir erkek kardeşleri olduğunu, anne babalarının da Fred'in eline bir tenis raketi tutuşturup onu yıllar sürecek tenis antrenmanlarına zorladığını hayal edin. Ve onun tenisten nefret ettiğini. Fred, ne sınıf arkadaşlarından performansıyla ilgili olumlu geribildirim alıyor ne yarış kazanıyor ne de büyükleri tarafından övgüye boğuluyor. Onca çalışmanın sonucu mu? Sıfır. Fred'in beyni yeniden düzenlenme açısından pek bir şey başarmış değil. Vücudu ilgili hareketleri sırasıyla gerçekleştirdiği halde, bunlar içsel hedef ve güdüleriyle ters düşmekte.

Bunu laboratuvarda kolayca göstermek mümkün. Şöyle bir deney hayal edin: Biri ayağınıza Mors alfabesiyle hafifçe vururken, bir başka kişi tümüyle bağımsız olarak bir ses dizisi çalıyor. Eğer ayağınızdaki şifreyi çözünce para ödülü alacaksanız vücudun o bölgesindeki dokunma duyusunda rol alan beyin alanları (somatosensoriyel korteks içinde) daha yüksek çözünürlüklü hale gelecek. Ancak, işitmeyle ilgili bölgeler (işitme korteksi), uyarı aldıkları halde değişime *uğramayacak*. Şimdi de tersini hayal edin: Size parayı kazandıran, bu sefer, sesler arasındaki belli belirsiz farklarla ilgili sorulara vereceğiniz doğru cevaplar. Ayağınızdaki vuruşlara dikkat etmenizin ise hiçbir getirisi yok. Bu durumda değişime uğrayan somatosensoriyel korteksiniz değil, işitme korteksiniz olacak.[14] Dış dünyadan gelen uyarılar, her iki durumda da tıpatıp aynı olduğu halde değişim, sadece ödül alan işlevle birlikte gerçekleşecek.

İşte Fred Williams'ın kortta ilerleme kaydedememesinin nedeni de bu: eylemden kendisi için herhangi bir ödül türetememiş olması.

Sizinki gibi onun beyninde de mevcut nöral alan haritaları, olumlu geribildirim kazandırmış stratejileri yansıtıyor.

Bu tür bir anlayış, beyin hasarından sonra toparlanma aşamasında olanlar için yeni yollar açıyor. Geçirdiği inmeyle motor korteksinin bir bölümü hasar görmüş bir kişiyi gözünüzün önüne getirin. Kollarından biri, hasarın bir sonucu olarak büyük ölçüde felçli. Bu zayıflamış kolu kullanmak için defalarca çaba gösterdikten sonra çileden çıkarak, günlük hayatında yapmak zorunda olduğu her iş için sağlam kolunu kullanıyor. Bu, tipik olan senaryo ve zayıf kolu giderek daha da zayıflıyor.

Canlı devreler konusunda öğrendiklerimiz, bu sorun için "kısıtlayıcı-zorunlu hareket tedavisi" (*constraint therapy*) olarak bilinen ve sezgilere ters düşen bir çözüm sunuyor: *sağlam* kolu, kullanımını engelleyecek şekilde bağlamak. Bu basit yöntem, zorla zayıf kolun kullanımını sağlayıp arzu ve ödüllendirmeyle ilgili nöral mekanizmalardan zekice yararlanarak hasarlı korteks bölgesini yeniden eğitiyor. Sonuçta kişi, sandviçi ağzına götürmek, giriş kapısının anahtarını çevirmek, cep telefonunu kulağına götürmek ve kendine yeter halde onurlu bir yaşam sürmede rol oynayan bütün diğer eylemleri gerçekleştirmek için doğuştan bir motivasyona sahiptir. Kısıtlayıcı-zorunlu hareket tedavisi başlangıçta zorlayıcı ve moral bozucu olsa da bu yaklaşımın en iyi yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Çünkü beyni yeni stratejileri denemeye zorlarken, gelen ödül de bunlardan işe yarayanlarının sabitlenmesini sağlar.

Vücut haritaları değişen Silver Spring maymunlarını hatırladınız mı? Kısıtlama tedavisi fikrinin bu araştırmadan doğduğu anlaşılıyor. Araştırmacı Edward Taub, kol sinirleri zedelenmiş olan bu maymunların zayıf kolu kullanmaktan neden vazgeçtiklerini merak ediyordu. Bunun nedeni sadece sağlam kolun daha iyi iş görmesi olabilir miydi? Taub bunu anlamak için sağlam kolu, hiç kullanılamayacak şekilde askıya aldı. Maymun bir sorunla karşı karşıyaydı artık. Kollardan biri hasarlı bir sinir taşıyordu, diğeriyse bağlıydı. Yemek istiyorsa tek seçeneği vardı: zayıf kolu kullanmaya başlamak. O da bunu yaptı. Maymunun sorunu için bulunan çarenin, işleri daha da kötü hale getirmek olması çelişkili gibi görünse de çözümü sağlayan, tam olarak bu oldu.[15]

Köpek Faith'e geri dönelim. Bütün köpekler arka bacakları üzerinde yürüyebilir mi? Elbette. Ama çoğu köpeğin böyle bir şeye girişmek için bir nedeni ya da güdüsü, hele de ustalaşmak için herhangi bir gerekçesi yoktur. Faith işte bu nedenle meşhur olmuştu: bunu *yapabilen* tek köpek olduğu için değil, bunu *yapan* tek köpek olduğu için. Benzer şekilde, ekolokasyondan yararlanan körleri hatırlayın. Tümüyle normal bir görüşe sahip olan insanların da ekolokasyonu öğrenebileceği anlaşılıyor.[16] Görebilen insanların çoğu, nöral alanlarını yeniden belirlemek için saatler akıtacak motivasyondan yoksun sadece.

Ödül, beyin devrelerini yeniden düzenlemek için güçlü bir yoldur; ama neyse ki beyniniz her değişim için kurabiye ya da para talep etmez sizden. Değişim daha genel olarak, hedeflerinizle ilişkili şeylerle bağlantılıdır. Çok kuzeyde bir yerlerde yaşıyor ve buz balıkçılığının yanı sıra kar tiplerini de öğrenmek istiyorsanız, beyninizin kodladığı bilgiler bunlarla ilgili olacaktır. Aksine, Ekvator bölgesinde yaşıyorsanız ve hangi yılanlardan kaçınmak gerektiğini, hangi mantarların yenebilir olduğunu öğrenmek zorundaysanız, beyniniz kaynaklarını buna göre pay edecektir. Önem durumunu Kutup Yıldızı olarak kullanan beyin, önemli ayrıntıları esnek biçimde ayıklar. İçerdiği milyarlarca nöron, içinde bulunduğumuz dünyayı resmetmek için devasa bir tuval işlevi görür; biz de bununla kendimiz için önem taşıyan konularda uzmanlaşırız: basketbol, tiyatro, badminton, Yunan klasikleri, yamaç paraşütü, video oyunları, grup dansları, şarap yapımı... Belirli bir iş, daha büyük hedeflerimizle kabaca uyum içine girdiğinde beyin devrelerimiz bunu zaman içinde yansıtacaktır.

Bir benzetme olarak, hükümetlerin kendilerini nasıl sürekli olarak tasarladıklarını düşünün. Birleşik Devletler hükümeti, 11 Eylül 2001'de gerçekleşen saldırılardan sonra yapı değişikliğine gitti. Bu çerçevede İç Güvenlik Bakanlığı kurularak mevcut yirmi iki birimi bünyesine aldı. Benzer biçimde, yavaş yavaş kızışmaya başlayan Soğuk Savaş da 1947'de büyük bir dönüşüm başlatarak Merkezi Haber Alma Teşkilatı'nın (CIA) ortaya çıkmasına neden olmuştu.[17] Hükümetler, bunlardan daha küçük ölçekli binlerce başka yolla ulusun güncel hedefleri ve ülke dışında gerçekleşen olayları incelikli biçimde yansıtır.

Bütçeler, önceliklere paralel olarak artıp azalır. Dış tehditler belirmeye başlayınca askeri bütçeler artırılırken, barış zamanlarında kazanan, toplumsal girişimler olur. Tıpkı beyinler gibi, ülkeler de değişen koşullara tepki vermek için kaynaklarını farklı biçimlerde pay eder ve karşılarına çıkan zorluklarla baş edebilmek için yeni yapılandırmalara giderler.

DEĞİŞİM İZNİ

Beyin, önemli bir şey olduğunu ve devrelerini ona göre yeniden düzenlemesi gerektiğini nereden bilir?

Kullandığı stratejilerden biri, dünyadaki olayların birbiriyle ilintili olduğu durumlarda plastisite özelliğini açmak, birlikte gelişen olayları (ineği görüp "möö" sesini işitmek gibi) kodlamaktır. Böylece ilintili olaylar, beyin dokusunda birbirine bağlanır. Bu noktada, değişimin yavaş olması önem taşır çünkü kurulan ilintiler kimi zaman gerçek olmayabilir. Sözgelimi, ineği gördüğünüz sırada, alakasız bir köpeğin havlamasını da işitebilirsiniz. Beynin her rastlantısal ikiliği kalıcı biçimde depolaması sakıncalı olacağından, buna bulduğu çözüm, değişimi ağır ve adım adım gerçekleştirmektir. Bu şekilde, yalnızca sıkça çakışan şeyleri kodlayabilir. Gerçek eşleşmeleri diğerlerinden ayıran şey ise defalarca tekrarlanmalarıdır.

Ancak yavaş ve kararlı değişim ne kadar akıllıca olursa olsun her şey ortalamaları bulup çıkarmaktan ibaret değildir. Tek denemeli öğrenme olgusunu ele alalım. Sıcak bir fırına bir kez dokunursanız, bunu bir daha yapmamanız gerektiğini öğrenirsiniz. Acil durumlarda devreye giren mekanizmalar, yaşamı ya da bir vücut parçasını tehdit eden olayların kalıcı biçimde bellekte saklanması için vardır. Ama tek denemeli öğrenme bundan daha derinlere iner. Çocukluğunuza geri gidin ve örneğin teyzenizin size yeni bir sözcük öğrettiği anı düşünün (*Bu bir nar*). Bunu ne acil bir durumda öğrendiniz ne de teyzeniz bu ilintiyi yüz kez kurmak zorunda kaldı. Size sakin bir şekilde bir kez söyledi ve siz de hemen öğrendiniz? Neden? Çünkü sizin için dikkat çekici bir durumdu bu. Teyzenizi sevmek bir yana, yeni bir sözcük öğrenmek ve

bu meyveyi birinden isteyebilir olmakla toplumsal bir kazanç da sağlıyordunuz kendinize. Bu tek denemeli öğrenmenin temelinde yatan şey tehdit değil, anlamlılık ve ilintiydi.

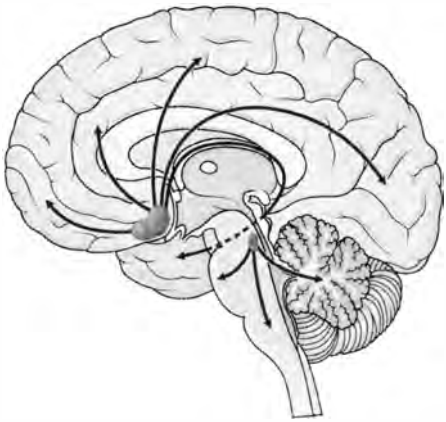
Bu ilinti, beynin içinde "nöromodülatör" adı verilen kimyasallar salan geniş yayılımlı sistemlerce ifade edilir.[18] Yüksek düzeyde özgüllük ilkesiyle salınan bu kimyasallar, değişimlerin her an her yerde değil, yalnızca belirli yer ve zamanlarda gerçekleşmesini sağlar.[19] Bu kimyasal habercilerden özellikle önemli bir tanesi, asetilkolindir. Asetilkolin salan nöronlar hem ödül hem de cezayla yönlendirilir. Bunlar bir hayvanın belirli bir işi öğrendiği ve birtakım değişikliklere gitmek zorunda olduğu sırada etkinken, iş tam anlamıyla yerleşik hale geldikten sonra etkinlikleri kaybolur.[20]

Belirli bir beyin bölgesinde asetilkolinin varlığı, o bölge için değişim zamanı geldiğinin habercisidir; ancak asetilkolin, *nasıl* bir değişim gerektiğini söylemez. Başka bir ifadeyle, "kolinerjik" (yani asetilkolin salan) nöronlar etkinken, hedef alanlardaki plastisiteyi artırırlar. Etkinlikleri durduğunda, plastisite ya azalır ya da kaybolur.[21]

Bir örnek verelim. Diyelim ki sizin için piyanoda belirli bir notaya, örneğin fa diyeze bastım. Bu nota işitme korteksinizde bir etkinliği tetiklese de fa diyeze ayrılan alanla ilgili bir değişiklik yaratmaz. Neden? Çünkü bu nota sizin için özel bir anlam taşımamaktadır. Şimdi bu notayı her çaldığımda size ılık bir çikolatalı kurabiye ikram ettiğimi farz edelim. Bu durumda nota bir anlam kazanmaya başlayacak, fa diyeze ayrılmış alan genişleyecektir. Çünkü ödülün varlığıyla bu sesin önemli olması gerektiği çıkarımını yapan beyniniz, o frekansa daha büyük bir arazi atayacaktır.

Elimde bisküvi kalmadığını varsayalım. Size ödülü vermek yerine, fa diyez notasını çaldığım anda, beyninizde asetilkolin salan nöronları da uyarıyorum. Bu sesin kortekste temsil edildiği alan, bisküvinin varlığında nasıl genişlediyse yine tümüyle aynı biçimde genişliyor.[22] Beyniniz bu frekansa daha fazla alan ayırmış durumda çünkü asetilkolinin varlığı ona, bunun önemli olması gerektiğini söylüyor.

Asetilkolin beyne geniş çapta yayın yapar ve bunun bir sonucu olarak anlamlı herhangi bir uyaranla değişimi tetikleyebilir; bu uyaran ister bir müzik notası, bir doku ya da sözel bir övgü olsun. Bu, *işte bu*



Asetilkolin geniş bir alana ulaşabilse de salınımı genel olarak belirli noktalarla sınırlıdır. Bu sayede yeniden düzenlenme bütün alanlarda değil, yalnızca bazılarında gerçekleşir.

önemli – bunu fark etmekte daha başarılı olmalısın demek için evrensel bir mekanizmadır.[23] Anlamlılığı, alanı genişleterek vurgular.

Nöral alanlardaki değişiklikler, performansınıza da yansır. Bu durum, ilk olarak sıçanlarla yapılan çalışmalarda gösterilmişti. Çalışmalardan birinde, iki sıçan grubu yüksekte duran küçük bir yarıktan şeker parçacıkları kapmak gibi zor bir işi başarmak üzere eğitilmişti. Gruplardan birinde asetilkolin salımı ilaçlarla engellenmişti. Diğer grupta, iki haftalık bir alıştırma süreci hız ve beceride artış sağlamış, ön ayak hareketleriyle ilgili beyin alanında da bu artışa karşılık gelen fark edilir bir büyümeye neden olmuştu. Asetilkolin salımı engellenen sıçanlarda ise bu korteks alanı genişlemediği gibi, şeker topağına ulaşma eyleminde de hassaslık bakımından herhangi bir ilerleme olmamıştı.[24] Dolayısıyla davranışsal ilerlemenin temelinde yatan şey sadece yinelemeli alıştırmalar değildir; bunun için nöromodülasyon sistemlerinin önem durumunu da kodlamaları gerekir. Asetilkolin yoksa o on bin saat boşa harcanmış zamandan başka bir şey değildir.

Serena ve Venus'tan farklı olarak tenisten nefret eden Fred Williams'a dönelim. Aynı süreyle antrenman yaptığı halde beyni neden değişikliğe uğramıyor? Çünkü nöromodülatör sistemler devrede

değil. Backhand'ini tekrar tekrar çalışırken, şeker topaklarını kapmaya çalışan asetilkolinsiz sıçanlardan farkı yok.

Kolinerjik nöronlar beynin büyük bir bölümüne uzanabildiklerine göre, diğer nöronlarla gevezelik edip durmaları neden ulaşabildikleri her yerde plastisite özelliğini açmaz ve neden geniş kapsamlı nöral değişikliklere sebep olmaz? Yanıt, asetilkolin salımı –ve etkisinin– başka nöromodülatörler tarafından denetlenmesinde yatar. Asetilkolin plastisite özelliğini açarken, başka nörotransmiterler de (dopamin gibi) değişimin *yönünü* belirlemede rol alır ve belirli bir etkenin cezalandırıcı mı yoksa ödüllendirici mi olduğu bilgisini kodlar. Araştırmacılar hâlâ gezegenin dört bir köşesinde nöromodülatör sistemleri yönlendiren karmaşık koreografiyi çözmeye çalışıyor ama en azından bu kimyasal habercilerin toplu olarak bazı alanlarda yeni yapılanmalara izin verdiğini, geri kalanlarını da kilitte tuttuklarını biliyoruz.

Londra'nın taksi şoförleri, Londra sokaklarını içeren haritayı olduğu gibi ezberlemek zorunda olmalarıyla meşhurdur. Bu iş için aylarca çalışıyorlar ve daha önce de söylediğim gibi, bunun bir sonucu olarak beyin yapılarında fiziksel değişiklikler ortaya çıkıyor. Bu akıl almaz zorluğun üstesinden gelebilmelerinin nedeniyse haritaların onlar için önem taşıyor olması: Evlerinin kredi borcunu, çocuklarının okul taksitlerini ya da ufuktaki evlilik veya boşanma giderlerini karşılamalarını sağlayacak, istedikleri bir iş bu.

Ancak ilginçtir, bu şoförlerle ilgili çalışmanın ilk yayımlandığı 2000 yılından beri, bu ölçüde bir ezber işine gerek kalmadı. Şimdilerde Londra'nın bütün sokaklarını ve daha genel olarak da gezegeni kaplayan sokaklar ağını ezberleme işini Google'a bırakmak daha kolay.

Anlaşıldığına göre, güncel yapay zekâ algoritmaları için ilinti ya da anlamlılığın bir önemi yok: Neyi ezberlemelerini istersek onu ezberliyorlar. Bu, yapay zekânın yararlı bir özelliği olsa da insan zekâsına pek de benzememesinin nedeni aynı zamanda. Yapay zekâ hangi problemlerin ilginç ya da belirli bir durumla ilintili olduğuyla ilgilenmez; ona yüklediğimiz her şeyi ezberler sadece. İster bir milyar fotoğrafta atı zebradan ayırt etsin ister gezegen üstündeki bütün havaalanlarından uçuş verilerini izlesin yapay zekânın, istatistiksel bağlam dışında neyin

önemli olup neyin olmadığına dair bir algısı yoktur. Modern yapay zekâ, Michelangelo'nun belirli bir heykeli karşısında büyülendiğine kendiliğinden asla karar veremeyecektir; tıpkı koyu çaydan nefret ettiğine ya da doğurganlık sinyalleri karşısında uyarıldığına veremediği gibi. Yapay zekâ, on bin saatlik yoğun çalışmayı on bin nanosaniyede yalayıp yutabilir ama bazı sıfır ve birleri, diğer sıfır ve birlere tercih etmez. Sonuç olarak etkileyici başarılar elde etse de insan gibi olma başarısının yanından bile geçemez.

DİJİTAL YERLİLERİN BEYİNLERİ

Çocuklarımızın eğitiminde beynin değiştirilebilirlik özelliği ve bunun anlamlılıkla olan ilişkisinden nasıl yararlanılabilir? Geleneksel bir sınıf, madde imleriyle dolu bir slayt üzerinden anlatıp duran, hatta belki de içeriği doğrudan okuyan bir öğretmenden ibarettir. Bu yöntem beyin değişimleri için yeterli değildir çünkü öğrenci katılımını içermez ve katılım olmadan plastisite kendini ya çok az gösterir ya da hiç göstermez.

Bu gözlemi yapan ilk kuşak bizimkisi değil. Eski Yunanlar da bunun farkına varmışlardı. Bu insanlar nörobilimin araçlarından yoksun olsalar da keskin gözlem gücüyle birkaç farklı öğrenme düzeyi tanımlamışlardı. Öğrenmenin en iyi biçimde gerçekleştiği en üst düzeye, öğrenci dikkatli, meraklı ve ilgili olduğu zaman ulaşılır. Bugünün merceğinden bakıldığında bunu şöyle ifade edebiliriz: Nöral değişimlerin gerçekleşmesi için belirli bir nörotransmiter formülünün devreye girmesi gerekir ve bu formül dikkat, merak ve ilgiyle ilintilidir.

Merak uyandırmanın püf noktası, bazı geleneksel öğrenme tiplerine işlenmiştir. Sözgelimi, Yahudi din âlimleri Talmud metni üzerinde çalışmak için çiftler halinde oturur ve birbirlerine ilginç sorular sorarlar. (*Yazar neden falanca sözcüğü diğerlerine tercih etmiş? Bu iki otoritenin açıklamaları neden birbirinden farklı?*) Her şey soru haline getirilir ve öğrenmekte olan bireyi ezberlemek yerine katılmaya zorlar. Bu çok eskilerden kalma bir çalışma biçimi olduğu halde, geçenlerde karşıma mikrobiyolojiyle ilgili "Talmud'vari sorular" soran bir web sitesi çıktı: "Sporlar, bakteri sağkalımını güvenceye almada bu kadar

etkili olduğuna göre, neden bütün türler bunlardan üretmez?" "Yaşamın yalnızca üç üst-âlem (Bakteriler, Arkeler, Ökaryotlar) içerdiğini kesin olarak söyleyebilir miyiz?" "Enzimler yoluyla üretilen peptitler, neden yan yana dizilip makul boyutlarda bir protein oluşturmazlar?" Sitede yer alan bunun gibi yüzlerce soru, okuyuculara yanıtları basitçe vermek yerine, onları aktif katılıma davet ediyordu. Genellersek: Bir çalışma grubuna dâhil olmak işte bu nedenle hep işe yarar çünkü kalkülüsten tarihe, bütün alanlarda katılımı güdülemek için beynin toplumsal mekanizmalarını harekete geçirir.

1980'lerde yazar Isaac Asimov, televizyon muhabiri Bill Moyers ile bir söyleşi gerçekleştirmişti. Asimov'un, geleneksel eğitim sisteminin sınırlarını berrak biçimde görebildiği açıktı:

> Günümüzde insanların öğrenme diye söz ettikleri olgu, size dayatılan bir şeydir. Sınıfta herkes aynı şeyi aynı günde ve aynı hızla öğrenmeye zorlanır. Ama herkes farklıdır. Ders gerçekte kimileri için fazla hızlı, kimileri için fazla yavaş, kimileri için de yanlış yönde ilerlemektedir.[25]

Asimov, bireyselleştirilmiş eğitim yaklaşımını benimsemişti. Ayrıntıları görememiş olsa da gözlerini geleceğe doğru kısmış ve internetin varlığını öngörmüştü:

> Kendi eğilimleri yönünde ilerleme, ilgi duydukları şeyleri kendi evlerinde, kendilerine uygun hızla ve kendi istedikleri zamanda araştırma şansını herkese verin, herkes öğrenmekten zevk alacaktır.

Bill ve Melinda Gates gibi hayırseverlerin adaptif (uyarlanabilir) öğrenmeyi yaygınlaştırma hedefleri, ilginin tetiklenmesine odaklanan bu çerçeveden yola çıkılarak oluşturulmuştur. Burada temel fikir, her bir öğrencinin bilgi durumunu hızla belirleyen ve ona bundan sonra ne öğrenmesi gerektiği konusunda talimat veren yazılımlar geliştirmektir. "Her öğrenciye bir öğretmen" durumuna benzer şekilde, bu yaklaşım da her öğrenciyi doğru yolda tutmaya yardımcı olarak, bulunduğu belirli noktada ilgisini çekecek materyali ona sunar.

Asimov, Gates ve birçok başka kişi gibi ben de eğitim konusunda internet kullanımına iyimser bakanlardanım. Önceden belirlenmiş herhangi bir amaç olmaksızın Wikipedia'nın gizli geçitlerinden derinlere dalmak, öğrenmenin en elverişli yöntemlerinden biri olabilir. İnternet, öğrencilerin kafalarında beliren sorular için anında yanıt bulmalarını sağlarken, çözümü merak çerçeveleri içinde sunmaktadır. Bu, *ne olur ne olmaz* bilgisi ("belki bir gün gerekir" düşüncesiyle bir yığın gerçeğin öğrenildiği durum) ile tam *zamanında* bilgisi (bilginin, yanıtı aramaya başlar başlamaz alındığı durum) arasındaki belirgin farktır. Genel olarak, doğru nöromodülatör karışımına ulaşabilmemiz yalnızca ikincisiyle mümkün olur. Çinlilerin şöyle bir deyişi vardır: "Bir bilgeyle geçirilecek bir saat, bin kitaptan fazlasına değer." Bu kavrayış, internetin sunduklarının eskilerdeki karşılığıdır aslında: Öğrenmekte olan kişi, öğrenme sürecini bilfiil yönlendirdiğinde (bilge kişiye, yanıtını bulmaya çalıştığı soruyu olduğu gibi sorarak), anlamlılık ve ödül molekülleri de ortamda belirecek, beynin yeniden yapılanmasına izin verecektir. İlgisiz bir öğrencinin üzerine olguları yığmanın, taştan bir duvarda delik açmak için çakıl fırlatmak ya da Fred Williams'a tenisi özümsetmeye çalışmaktan farkı yoktur.

Buradan hareketle eğitimin oyunlaştırılması da kapıyı büyük olanaklara aralar. Adaptif (uyarlanabilir) yazılımlar, öğrencileri zorlandıkları noktada çalışmaya devam etmeye iter; ki, bu noktada doğru yanıtı bulmak çileden çıkarıcı olsa da, mümkündür. Öğrenci yanıta ulaşamazsa sorular aynı düzeyde kalacak, doğru yanıtı bulursa zorlaşacaktır. Öğretmenin rolü hâlâ vardır: temel kavramları öğretmek ve öğrenme sürecinde kılavuzluk etmek. Esas olarak, beynin devrelerini nasıl uyarlayıp bağlantılarını nasıl yeniden yazdığından yola çıkarsak nörobilimin verileriyle uyumlu bir sınıfın, öğrencilerin kendi tutkularının çizdiği yolda ilerleyerek, insanlığın uçsuz bucaksız bilgi yumağına daldıkları bir sınıf olacağını söyleyebiliriz.

Eğitimin geleceği olumlu görünüyor ama yine de yanıtlanması gereken bir soru var: Beyin, devrelerini deneyimler ışığında kurduğuna göre, ekrana bakarak büyümenin nöral sonuçları ne olabilir? Dijital

çağa doğup bu çağda yetişen insanların, dijital yerlilerin beyinleri, önceki kuşakların beyinlerinden farklı mıdır?

Nörobilimde bu konu üzerinde daha fazla çalışma yapılmamış olması, birçok kişi için şaşırtıcı bir durum. Oysa toplumumuzun dijital ve analog olarak yetiştirilen beyinler arasındaki farkları anlamak istemesi beklenmez miydi?

Elbette isterdik bunu. Ancak az sayıda çalışma yapılmış olmasının nedeni, böyle bir konuya anlamlı bir bilimsellikle yaklaşmanın son derece zor olmasıdır. Bir dijital yerlinin beynini karşılaştırabilecek iyi bir kontrol grubu yoktur elimizde. İnternetle büyümemiş bir başka on sekiz yaş grubunu kolay kolay bulamazsınız. Pennsylvania'da Amiş mezhebinden birkaç genç bulmaya çalışabilirsiniz belki ama bu grupla diğeri arasında dinsel, kültürel ve eğitimsel inançlar bakımından görülen farklar gibi, düzinelerce başka fark da bulunacaktır. Aynı yaşta olup internete erişimi bulunmayan gençleri başka nerede bulabilirsiniz peki? Belki Çin'in kırsal kesimlerinde, belki Orta Amerika'daki bir köyde, belki de Kuzey Afrika'da birkaç yoksul çocuğa rastlayabilirsiniz. Ama bunlarla çözümlemeye çalıştığınız dijital yerliler arasında, maddi durum, eğitim, beslenme gibi konularda başka temel farklar da ortaya çıkacaktır. Bu Y kuşağını, onlardan bir önceki kuşakla da karşılaştırabilirsiniz belki; internet dünyasında büyümemiş olan –ama onun yerine sokak beyzbolu oynayan, *The Brady Bunch* dizisini seyrederken bir yandan da ağızlarını Twinkies kekleriyle dolduran– anne babaları gibi. Ama bu da sorun çıkarır: İki kuşak arasında siyaset, beslenme, kirlilik ve kültürel yeniliklerin getirdiği o kadar çok fark vardır ki beyindeki değişimleri neye atfetmeniz gerektiğinden hiçbir zaman emin olamazsınız.

Dolayısıyla internetle büyümenin etkisiyle ilgili olarak sınırları iyi çizilmiş bir deney kotarmak, zorlu bir problem çıkarıyor karşımıza. Yine de size iyimserliğimin kaynağını açıklayabilirim. İnsanoğlunun biriktirdiği bilgi toplamını –sürekli ve anlık erişimle– cepte taşınan bir dikdörtgenin içine sığdırdığımız bir başka dönem daha olmadı. Bazı okuyucular kütüphane ziyaretlerini hatırlayacaklardır: *Britannica Ansiklopedisi*'nin bir cildini (diyelim ki *H* harfi için olanını) raftan çekip çıkarır ve aradığımız ayrıntıların üzerinden sayfaları çevirip dururduk. Metin, genellikle geçmiş on ila yirmi yıl içinde yazılmış

olduğundan, bunun işimizi göreceğini umardık. Çünkü görmezse kütüphanede başka kaynakların da var olması için dua ederek, kart kataloglarını eşeleyip durmak zorunda kalırdık. Derken anne babalarımız, yemek saati geldiğinden bizi toplayıp eve götürürlerdi.

Bütün bunlar, şaşılası ölçüde kısa bir süre içinde değişti. Bu değişimin bir sonucu olarak, sofra tartışmaları ve iddialarındaki değişime de tanık olduk hepimiz: Kazanan, artık en konuşkan ya da ikna edici kişi değil, telefonunu en büyük hızla çıkarıp sorulan soruyu anında "google'layan" kişi. Şimdilerde, yanıtını buluverdiğimiz bir sorudan diğerine geçtiğimiz tartışmalar artık daha hızlı ilerliyor. Hatta kendi kendimize kaldığımız zamanlarda bile bir Wikipedia sayfasına girdiğimizde, sonu olmayan bir öğrenme zincirinde buluyoruz kendimizi. Bir bağlantıdan diğerine, sonra diğerine atlıyor ve altı atlayış sonrasında bir bakıyoruz ki bilmediğimizin farkında bile olmadığımız şeyler öğrenmekteyiz.

Bu durumun yarattığı büyük avantaj, basit bir gerçekten kaynaklanıyor aslında: beynimizde çakan bütün yeni fikirlerin, daha önce öğrenilmiş girdilerin bir karışımından doğuyor olması ve günümüzde, her zaman olageldiğinden çok daha fazla girdi almamız.[26] Bugünün çocukları, sunduğu zenginlikler açısından eşi görülmemiş bir zamanda yaşıyor artık: Sahip olduğumuz bilgi küresinin çapı patlarcasına büyüyor ve büyürken yeni kapıları aralıyor. Genç beyinler, şimdi birbirinden tümüyle farklı alanların gerçeklerini karşılaştırarak, önceki dönemlerde hayal bile edilemeyecek yeni fikirler üretme fırsatını buluyorlar. Bu durum, insan bilimselliğinin üssel artışını kısmen de olsa açıklıyor: Şu ana kadar görülmemiş bir hızla iletişim kurabildiğimiz gibi, görülmemiş sayıda kaynak karışımına da sahibiz. İnternetin getireceği toplumsal ve siyasi sonuçların neler olacağı açık değil belki; ama nörobilimin perspektifinden bakıldığında, kapılar çok daha zengin bir eğitim düzeyine aralanacak gibi görünüyor.

Daha önceki bölümlerde, vücut planında alıcılar ya da kol ve bacaklar merkezindeki değişimlerden kaynaklı beyin değişikliklerine göz atmıştık. Bu bölümde sık tekrarlarla gerçekleştirilen motor eylemlerin ya da ödüllendirici duyusal girdilerin yol açtığı değişimleri ele aldık.

Sözünü ettiğimiz bütün senaryoları birbirine bağlayan şey, *anlamlılık ve ilintililiktir*. Beyniniz, üzerinde zaman harcadığınız şeylere göre uyarlar kendini; yeter ki o şeyler ödül ve hedeflerle uyum içinde olsun. Görememeye başlayan bir insanda, diğer duyuların genişlemesi anlam kazanır ve bu da görme korteksinin ele geçirilmesine izin veren değişikliklerin altında yatan şeydir. Braille alfabesini öğrenmek için herhangi bir motivasyonu olmayan kör bir kişi parmaklarını tümsekler üzerinde tekrar tekrar gezdirse bile doğru nöromodülatörler ortamda bulunmayacağından, devre bağlantıları yenilenmeyecektir. Ama vücudunuza yeni bir tele-kol ya da bacak eklemenin sizin için önemi varsa vücudunuz onu kullanmayı öğrenir. Tıpkı benzersiz bir vücut planını kullanmakta ustalaşan Faith adlı köpekte olduğu gibi.

Bütün bu örnekleri çatısında toplayan "anlamlılık temelinde ayarlama" ilkesi, vücutları sürekli olarak incinen hayvanların, hedeflerine doğru durmaksızın ilerlemek adına gerekli beyin ayarlarını yapıp yollarına devam etmelerini de açıklar. Birazdan, aksı kırıldığında, ana kartı yandığında ya da bir vida yerinden oynadığında işlevini kaybetmeyen yeni robot tipleri üretmek için bu ilkeleri nasıl geliştirebileceğimizden söz edeceğiz.

Ama o noktaya gelmeden önce, madde yoksunluğuyla kırık kalplerin ortak yönlerini ve "sürpriz" kavramının beynin kimyası için neden önemli olduğunu anlamamız gerekiyor.

7

AŞK KENDİ DERİNLİĞİNİN FARKINA NEDEN ANCAK AYRILIK SAATİ GELİP ÇATTIĞINDA VARIR?

1980'lerde on binlerce kişi, tuhaf bir şeyin farkına varmaya başladı. Önü siyah beyaz IBM logosuyla süslenmiş disket zarfındaki harfler kızıla çalar gibiydi. Aynı şey kitap sayfalarına baktıklarında da oluyor, sayfalar kızıl bir gölgeye bürünmüş gibi duruyordu. Bu yalnızca 1980'lerde olan bir şeydi. İnsanlar bu kızıl tonu bundan önce algılamadıkları gibi, sonra da algılamadılar. Bu aralıkta beyinlerinde değişen şey neydi? Bunu anlamak için önce iki bin dört yüz yıl geriye gitmemiz gerekiyor.

NEHİRDEKİ AT

Kayıtlı ilk görsel yanılsama (illüzyon) her daim gözlemci Aristoteles tarafından not edilmişti. Aristoteles, akmakta olan bir nehirde kalakalmış bir at görmüş ve kurtarma çabalarını dikkatle izlemişti. Sonunda başını çevirdiğinde, nehir dışındaki her şey –kayalar, ağaçlar, kara– nehirle ters doğrultuda akar gibiydi.

Aristoteles'in kafa karışıklığı ve heyecanını deneyimlemenin en kolay yolu, gözü bir şelaleye dikip bakmaktır. Bakışlarınız bir süre

şelalede kilitlendikten sonra gözünüzü yandaki kayalara kaydırdığınızda, kayalar yukarı hareket ediyormuş gibi gelecektir.

Bu yanılsama, hareket art etkisi olarak bilinir. Neden olur böyle bir şey? Görme korteksinizdeki belirli nöronların etkinliği aşağı yönlü hareketi, bir başka nöron grubunun etkinliğiyse yukarı yönlü hareketi temsil eder. Bu iki grup sürekli mücadele halindedir. Mücadele çoğu zaman başa baş gittiğinden, birbirlerini eşit düzeyde baskılarlar. Bunun bir sonucu olarak dünya ne yukarı ne de aşağı hareket eder görünür.

Bu bilgi ışığında, hareket art etkisi için getirilen yaygın bir açıklama *yorgunluk* kavramına dayanır: Aşağı yönlü harekete gözünüzü dikip baktığınızda, bu yönü kodlayan nöronlarınız çokça enerji harcayarak sonunda geçici olarak güç kaybına uğrarlar. Dolayısıyla mücadele, yukarı yönü kodlayan nöronlar lehine döner. Bu dengesiz etkinliğin bir sonucu olarak, net bir yukarı yönlü hareket algılarsınız.

Yorgunluk varsayımı, basitliğiyle çekici gelir insana. Ama doğru değildir. Bir kere, yanılsamayla ilgili önemli bazı noktaları açıklayamaz. Şelalenin aşağı yönlü hareketini bir süre seyrettiğinizi ve ardından gözlerinizi -diyelim ki üç saat boyunca- sıkıca kapattığınızı farz edin. Gözlerinizi yeniden açtığınızda kayaların yukarı hareket ettiğini yine de görürsünüz. Bu bize, meselenin nöronlardaki geçici bir enerji tükenmesi olmadığını söyler. Daha derinlerde işlemekte olan bir şeyler vardır.

Yanılsamanın nedeni pasif bir yorgunluk değil, aktif bir "rekalibrasyon" (yeniden ayarlama) sürecidir. Nöral sistem sürekli bir aşağı yönlü harekete maruz kalmış ve artık bunu yeni normal olarak görmektedir. Bu hareket, başlangıçta beyin için çarpıcı bir bilgidir. İzlemeye bir süre daha devam ettiğinizde ise bu artık yeni bilgi olmaktan çıkar. Beyin açısından yeni gerçeklik, aşağıdan çok, yukarı doğru akan bir dünyadır şimdi. Bu nedenle görme sisteminiz beklentilerini dünyayı yansıtacak, yani yukarı değil, daha çok aşağı yönlü hareketi bekleyecek şekilde dikkatle yeniden dengeye oturtmaya çalışır. Gözünüzü şelaleden ayırıp kayalık tarafa yönelttiğinizde, yeni ayar noktası bariz hale gelir çünkü şimdi kayalar ve ağaçlar göğe doğru akmaktadır. Ayar noktası (ki hareketsiz durmaya karşılık gelir) değişmiştir.[1]

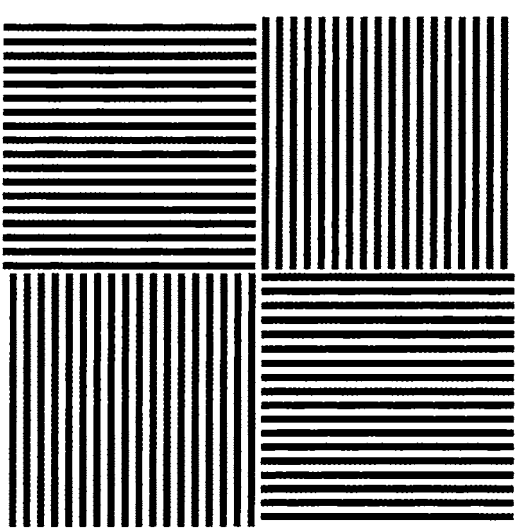
Neden mi? Çünkü sistem, *değişimi* algılamada daha başarılı olabilmek için her zaman bir referans noktası belirlemeye çalışır. Görme alanınızın şelalenin görüntüsüyle dolduğu bu örnekte, beyniniz aşağı

yönlü hareketi tablodan çıkarmak için çabalamaktadır. Aşağıya akma hareketi, artık bilgi verici nitelikte değildir. Böylece devreler ağı, kendini yeni bilgiye azami derecede duyarlı olacak şekilde ayarlayabilir.

Bu aktif rekalibrasyon deneyimini sürekli yaşarsınız. Küçük bir kayıktan çıktığınızda, kara bir süre sallantılı gelir size; sanki hâlâ sudasınızdır. Hissettiğiniz şey, bir negatif art etki, yani su hareketinin "negatif görüntüsü"dür.

Eğer koşucuysanız bu tip bir yanılsamayı siz de fark etmişsinizdir. Vücudunuz, bacaklarınıza motor komutlar (*Koş!*) göndermeye alışıktır; bunun bir sonucu olarak görsel girdiler yanınızdan akıp geçer. Ama spor salonunda bir yürüme bandı üzerinde koştuğunuzda, beyniniz bu akan görsel girdiyi alamaz; onun yerine bütün süre boyunca duvara bakarsınız. Banttan indiğinizde, yürüme bandı yanılsamasını yaşarsınız bu sefer: Soyunma odasına doğru attığınız her adımla, sahne sanki daha büyük bir hızla yanınızdan geçmektedir. Gerçekte ileriye yürüdüğünüz hızdan daha hızlı yürümektesinizdir sanki.[2] Aristoteles'in atı, şelale ya da kayık gezintisini izleyen yalpalamalarda olduğu gibi, beyniniz dünyayla ilgili beklentilerini (bu örnekte, bacaklarınızı hareket ettirme eyleminin, gözünüzün önünden geçen görüntü akışını nasıl etkilemesi gerektiğini) yeni bir ayara tabi tutmaktadır.

Bir başka örnek olarak, aşağıdaki siyah ve beyaz çizgilere bakın. Pek dikkate değer bir şey yok, öyle değil mi?



Şimdi de bu kitabın arka kapak içinde yer alan (ya da eagleman.com/livewired sayfasındaki) kırmızı ve yeşil kareleri bulun. Bu çizim, yeşil yatay ve kırmızı dikey çizgilerden oluşuyor. Renkli çizgilere bir süre bakın: birkaç saniye süreyle kırmızı çizgilere, sonra yeşil çizgilere, sonra yine kırmızı çizgilere ve yine yeşil çizgilere. Bunu yaklaşık üç dakika boyunca yapın.

Siyah-beyaz çizgilere yeniden dönün şimdi. Yatay çizgiler arasında kalan boşlukların kızılımsı, dikey çizgiler arasında kalan boşlukların da yeşilimsi göründüğünü fark edeceksiniz.[3]

Peki, neden? Çünkü renkli şekle baktığınızda, beyniniz yeşilin yatayla kırmızının da dikeyle ilişkilendiğini fark ederek, kendini dünyanın bu tuhaf özelliğini sıfırlamak üzere ayarladı. Siyah beyaz çizgilere yeniden döndüğünüzde deneyimlediğiniz şey, bir art etkiydi: Yatay çizgiler içsel olarak karşıt renge, yani kırmızıya doğru, dikey çizgiler de yeşile doğru yön değiştirmişti. (Yine, bunun "yorgunluk" ile hiçbir ilgisi yoktur. 1975'te iki araştırmacı, kırmızı ve yeşil çizgilere on beş dakika süreyle baktığınızda, art etkinin üç buçuk ay sürebileceğini göstermişlerdi.[4])

1980'lerde birçok kişinin kitaplardaki metinleri kızılımsı tonda görmelerinin nedeniyse dünyayı içsel olarak yeniden kalibre etme eylemiydi. O sıralarda insanlar kelime işleme işi için bilgisayar ekranlarından yararlanmaya başlamışlardı. Bu eski aygıtlar, modern ekranlardan farklı olarak görüntüyü yalnızca tek renkte verebiliyordu ve metin bu nedenle siyah bir fon üzerine yeşil çizgiler halinde belirmekteydi. İnsanlar bu yatay yeşil çizgilere bir oturuşta saatler boyunca bakabildiklerinden, ellerine bir kitap aldıklarında metin satırları tamamlayıcı renk olan kırmızıyla gölgelenmiş oluyordu. Beyinleri, yeşil yatay çizgilerin dünyasına göre ayarlama yapmakta, gerçeklikleri de bu doğrultuda değişmekteydi. Bilgisayar kullanıcıları aynı yanılsamayı disket



zarfını süsleyen IBM logosuna baktıklarında da yaşıyorlardı. Logonun rengi yine kırmızıya çalmaktaydı. IBM tasarımcıları şaşkınlık içindeydi. Siyah-beyaz logoyu basarken kesinlikle kırmızı kullanmamışlardı; oysa müşteriler kullandıklarında ısrar etmekteydi.

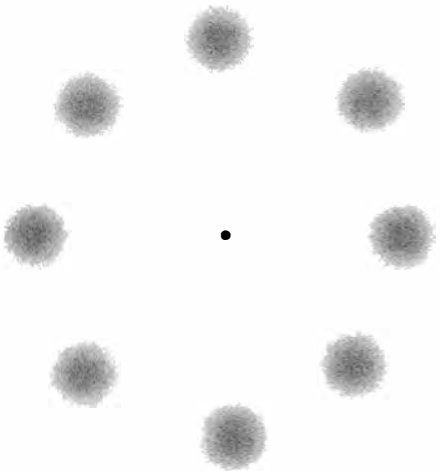
Dünyada ne kadar hareket olduğu, yerin ne kadar sabit olduğu, bacaklarımızı hareket ettirdiğimizde görüntülerin yanımızdan kayarak geçip geçmediği, çizgilerin renk barındırıp barındırmadığı – bunların hiçbiri genetik yapımızca belirlenmez; hepsi deneyimlerimizin ayarından geçer.

BEKLENENİ GÖRÜNMEZ KILMAK

Tümüyle tek bir renkten (örneğin, sarı) oluşan, özelliksiz bir yüzeye bakacak olursanız renk hızla nötrleşecektir. Bir deneyin: Sarı bir pinpon topunu eşit iki parçaya bölün ve her yarımküreyi bir gözünüzün üzerine yerleştirin. Dünyayı düz bir sarı battaniye olarak algılayacaksınız. Ama birkaç saniye içinde ortalıkta hiç renk kalmadığını göreceksiniz. Sanki kör olmuşsunuz gibi. Bunun nedeni, görme sisteminizin dünyayı sararmış varsayması ve başka değişikliklere duyarlı olabilmeniz için kendini duruma uyarlamasıdır.

Karşınızdaki sahnenin bu şekilde sönüp gitmesi için illa özelliksiz ya da düz olması gerekmez. 1804'te İsviçreli hekim Ignaz Troxler çok çarpıcı bir şeyin farkına vardı: Lekelerden oluşan bir çemberin ortasındaki bir noktaya bir süre baktığınızda, çevredeki kalabalık sonunda kaybolup gidiyordu. Siz de gözünüzü ortadaki siyah noktadan yaklaşık on saniye boyunca ayırmayın. Dışta kalan lekelere bakmadan, fonda nasıl kaybolduklarını gözleyeceksiniz. Bir süre sonra boş ve gri bir kareye bakıyor olacaksınız.

Troxler etkisi olarak bilinen bu yanılsama, görüş alanınızın çevresel bölgelerindeki değişmez bir uyarının kısa sürede buharlaşacağını gösterir. Bunun nedeni nedir peki? Nedeni, görme sisteminizin her an hareket ve değişim peşinde olmasıdır. Sabit bir şey hızla görünmez hale gelir. Bilgi iyiyse kendini güncellemesi de beklenir; değişmeyen şeyler sistemce görmezden gelinir.



Troxler etkisi. Gözlerinizi ortadaki noktaya sabitleyin. Bir süre sonra bütün yuvarlak lekeler sönüp yok olacaktır.

Öyleyse, sözgelimi mutfağınızın ya da işyerinizin Troxler'imsi hale gelmesini, hareketsiz bütün özellikleri kaybolmasını engelleyen nedir? Bir kere, dünya çoğunlukla lekeler değil, keskin kenarlardan oluşmuştur ve görme sisteminizin bunlara tutunması daha kolaydır. Ama daha derin bir nedeni var. Genellikle farkında olmasanız da gözleriniz sürekli sağa sola zıplayıp titreşmektedir. Bir arkadaşınızın gözlerini gözlemlerseniz uyanık olduğu her saniye göz kürelerinin yaklaşık üç hızlı sıçrama gerçekleştirdiğini fark edersiniz. Daha da yakından bakarsanız büyük sıçramalar arasında, gözlerin yine sürekli olarak küçük seğirmelerle titreştiğini görürsünüz.[5] Onda bir sorun mu var yoksa? Hayır, yok. Bu hızlı hareketler (hem büyük hem de küçük) retinadaki görüntünün taze kalmasını sağlar. Arkadaşınızın gözleri tümüyle bilinçdışı mekanizmalarla aslında görüntünün sürekli değişimini güvence altına almaya çalışmaktadır. Neden uğraşırlar bu kadar? Çünkü retina üzerindeki belirli bir konumda tam anlamıyla sabitlenmiş herhangi bir görüntü, görünmez olacaktır.

Bunu kendi gözlerinizle görmek isterseniz yolu şu: Eğer lens takıyorsanız, keçeli kalemle lensin tam ortasına küçük bir şekil çizin. Lensi gözünüze yeniden taktığınızda, orada bir şey göreceksiniz ama bu görüntü uzun sürmeyecek ve hızla sönüp görünmez olacaktır.[6] Bu



Retina bir kan damarları ağıyla kaplanmıştır. Bu ağ dış dünya ile fotoreseptörlerimiz arasında kaldığından, normalde damarları görsel alanın üstüne binmiş olarak görmemiz gerekirdi. Ancak damar örüntüsü sabit olduğu, dolayısıyla yeni bilgi taşımadığı için görme sistemimiz onları tümüyle görmezden gelmeyi öğrenir.

olay, beynin değişimi önemsediği temel gerçeğinin altını çizer. Tıpkı Troxler etkisinde olduğu gibi, değişmeyen özellikler, dünyaya ilişkin fazla bilgi vermezler. Önemli bütün bilgiler, bir akış halinde süregiden şeylerden gelir.

Eğer lens kullanmıyorsanız merak etmeyin; benzeri bir deneyi farkında olmadan zaten yapıyorsunuz. Gözünüzün arkasında, retinanın üzerini kaplayan kan damarları vardır. Bu ağsı damar tabakasının, aslında baktığınız her şeyin üstüne binmiş olması beklenirdi çünkü fotoreseptörlerin hemen önünde yer alırlar. Ancak sizin için tümüyle görünmezdirler. Lens üzerine yapılan çizim gibi, damarların konumu da retinaya göre sabittir. Gözleriniz ne kadar hareket ederse etsin bu damarların görüntüsünü hiçbir zaman "tazeleyemezler". Damarlar sizinle dış dünya arasına yerleşmiş olsalar da algısal olarak, sanki sihirle yok oluvermiş gibidirler.

Göz doktoru gözünüze ışık tuttuğunda bu damarların bir anda gözünüzde çaktığını fark etmiş olabilirsiniz.[7] Böyle bir durumda, ışık demeti damarların sıra dışı bir açıyla gölge yapmalarına neden olabilir; bu da aniden görme sisteminizin dikkatini çeker. Retinada az önce beklenmedik bir şey olmuştur ve görüşünüzü engelleyen devasa damarlar ağına ancak bu nedenle tanık olursunuz. (Bunu daha önce yaşamadıysanız kitabınızı bir kenara bırakın, karanlık bir odaya girin ve belli bir açıyla gözünüze bir ışık tutun. Kan damarlarının önünüzde beliriverdiğine tanık olacaksınız. Görme sisteminiz çok hızla uyum

sağlayacağından, püf noktası, görüntüyü korumak için ışığı farklı açılar yapacak şekilde sürekli hareket ettirmektir.)

Değişmeyeni görmezden gelme stratejisi, sistemi hareket eden, yer değiştiren ya da dönüşen her şeyi algılamak üzere hazırda tutar. Sürüngenlerdeki görme sisteminin işleyişi bunun en uç örneklerinden birini oluşturur: Kıpırdamadan durursanız sizi görmezler çünkü yalnızca değişimi kayda geçirirler. Konumla uğraşmazlar bile. Sürüngenlerin on milyarlarca yıl boyunca hayatta kalıp geliştiklerine bakılırsa böyle bir sistem gayet yeterlidir.

Öyleyse şelale yanılsamasına yeniden dönelim. Görme sisteminiz, neden şelalenin sabit olarak algılanacağı ölçüde değişim geçirmez? Bir kere, rekalibrasyonun sınırları olabilir:[8] Sistem, şelalenin heybetli hareketini yoksamaya yetecek rekalibrasyonu yapamıyordur. Ama bir olasılık daha var: Şelaleye yeterince uzun süreyle bakmamışsınızdır ve bu süreye ulaşabilirseniz rekalibrasyon işlemi er veya geç tamamlanacaktır. Bu süre ne olabilir? İki ay? İki yıl? Teoride, yeterince uzun süreyle bakarsanız görme sisteminizdeki kısa dönemli değişimler sonunda daha uzun süreli değişimlere, onlar da sistemin en derin düzeylerindeki değişimlere yol açacaktır (bu ardışık değişimler dizisine 10. Bölüm'de yeniden değineceğiz). Her daim mevcut arka plan hareketi sizin için görünmez olacaktır.

Bu da bizi çılgın –ama mantıken sağlam– bir spekülasyona götürüyor: Dünyanın açıkça görülebilir olması gereken bazı bölümleri, bizim için görünmez midir yoksa? Bütün yaşamınız boyunca var olmayı sürdürmüş kozmik bir yağmur hayal edin. Bu sizin için tümüyle görünmez olurdu. Başka türlüsünü görmemiş olan çalışkan görme sisteminiz, bu aşağı yönlü hareketi kendi sıfır noktası olarak alırdı. Kozmik yağmur aniden duracak olsa birden bütün dünya yukarı kayıyormuş gibi gelirdi size. Gerçek yağmur durmuş olduğu halde, birden bir şey –yukarı yağan yağmur– gördüğünüzü zannederdiniz. İşte bu durum, herhangi bir duyusal kanalla da gerçekleşebilir. Bu sefer, uyku düğmesi olmayan bir kozmik çalar saatin bip-bip-bip'lerini düşünün. Bip'ler tam anlamıyla düzenli aralıklarla çıktığında, bunları duymazdınız bile çünkü beyniniz uyum sağlamış olurdu. Bu saat birden dursa bir anda yüksek bir bip-bip-bip sesi işitir ama deneyimlediğiniz şeyin bir art etki olduğunu, bu "dış" sesin gerçekte yalnızca kafanızın içinde

yankılandığını asla bilemezdiniz.[9] Başarılı bir uyum süreci, düzenli olanı görünmez kılar.

OLACAĞINI ZANNETTİĞİNİZ ŞEY İLE GERÇEKTE OLAN ŞEY ARASINDAKİ FARK

Şimdiye kadar bu yanılsamaları uyum sürecinin birer sonucu olarak ele aldık. Ama bunlara başka türlü de yaklaşmak mümkün: birer *öngörü* olarak. Şelalenin aşağı yönlü hareketini ya da kayığın yalpalamalarını ya da lensiniz üzerindeki çizimi silip çıkarmanız, sürekli varlıklarını öngörmeye eşdeğerdir. Beyin, devrelerini ayarladığında, aslında izleyecek olan anda dünyanın nasıl olabileceği hakkında bir tahmin yürütmektedir. Kendini sürekli tekrarlayıp duran haberlerden söz etmeyi bırakır. Retinanızdaki kan damarlarını düşünün. Bunların algısal olarak görünmez olmalarının nedeni, görme sisteminin onları öngörüyle devreden çıkarmasıdır: Hep orada olacaklarını bilir; onun için de onları görmezden gelir. Beyniniz o verileri temsil etmek için ancak bu beklentilerin ihlali durumunda (ışığın tuhaf bir açıdan içeri girmesi gibi) enerji harcar.

Beyniniz, nöronlardaki voltaj atımlarıyla ortaya çıkan enerji masraflarını ödemek istemediğinden, amaç, ağı güç israfından mümkün olduğunca kaçınacak şekilde yeniden yapılandırmaktır. Öngörülebilir –ya da üzerinde ancak biraz tahmin yürütülebilir– bir örüntü ulaştığında, sistem enerjiden tasarruf etmek için kendisini o girdi çevresinde, sonrasında onun karşısında şaşırmayacak şekilde yapılandırır. Daha sakin bir sinir sistemi, beklentilerin daha az ihlal edildiği anlamına gelir: Dış dünyada her şey aşağı yukarı öngörüldüğü gibi gerçekleşmektedir. Başka bir ifadeyle, enerji bilinci olan bir beyin, olası görünen her şeyi uzaklaştırıp enerjisini yalnızca beklenmeyeni temsil etmek için kullanma yoluna gider. Sükût altındır onun için. Birçok nörobilimci, nöronlardaki etkinliği dünyadaki olguların temsili olarak ele alsa da gerçeğin, bunun tam tersi olması da mümkündür. Belki de voltaj zirveleri, öngörülmeyen ve enerji açısından pahalı olan olguları temsil etmektedir sadece. Tümüyle beklenir olan bir şeyin temsili,

nöronlar ormanının üzerine yağan bir sessizlikten başka bir şey olmayacaktır.

Sistem, ayarlamalarını yalnızca şaşırdığında yapar. Beyniniz bütün tuğlaların aynı ağırlıkta olduğuna inanır. Kurşundan yapılmış bir tuğlayı kaldırmaya kalkışırsanız beklentinizin ihlali, olayların girdiği bu yeni doğrultuyla baş etmek için bir değişimler zinciri başlatır. Aksine, her şey öngörüler doğrultusunda uzaklaştırıldığında, bir şey değiştirmeye gerek de kalmaz. İşte bu nedenle Troxler şekline ilk baktığınızda lekeleri fark eder, lensi gözünüze ilk taktığınızda da üstündeki çizimi algılarsınız. Ama kısa süre sonra beyniniz kendini ayarlayacaktır. Artık şaşıracak bir şey yoktur ortalıkta.

Beynin öngörü yoluyla sahneden uzaklaştırdığı şeylere bir başka örnek verelim. İnsanlar Neosensory'nin bilekliğini (bileklik, sesi deride hissedilen titreşim örüntülerine dönüştürür) ilk taktıklarında genellikle hayretler içinde "Olamaz! Benim sesimi bile algılıyor!" gibilerinden şeyler söylerler. Sanki kendi konuşmalarını algılayamıyor olmaları gerekirmiş gibi, bu onları her seferinde şaşırtır. Ama elbette kulaklarınız her zaman sizin sesinizi de alır. Ve karşılıklı konuşmalar sırasında işittiğiniz en yüksek ses de genellikle bu olur çünkü kendi ağzınız, kulağınıza en yakın olanıdır. Ancak kendi çıkardığınız sesleri kusursuz biçimde öngörebildiğinizden, onları nadiren "işitirsiniz". Bilekliği takanlar –sesleri çıkaranlar kendileri olduğundan– normalde hiç dikkat etmedikleri diğer öngörülebilir seslerin yüksekliği karşısında da şaşırırlar. Sifonu çektiklerinde, kapıyı arkalarından kapadıklarında, adım attıklarında çıkan seslerdir bunlar. Bunun nedeni işitme sisteminizin bu sesleri kayıt altına almaması değil, sizin onları öngörü yoluyla bilfiil dışlamanızdır. Bilekliği takarken bu durum bariz hale gelir: Bu küçük olayların bu kadar ses çıkardığına inanamazsınız çünkü beyniniz henüz kolunuzdan yukarı çıkan sinyalleri öngörmeyi öğrenmemiştir.

Beyin, aktif rekalibrasyon yapar çünkü bu onun daha az enerji harcamasını sağlar. Ama bu noktada daha da derin bir ilke devreye girer: Kafatasınızın karanlığı içinde, beyniniz dış dünyanın içsel bir modelini kurmak için uğraş vermektedir.

Evinizin içinde dolaştığınız sırada, çevrenize fazla dikkat etmezsiniz çünkü çevrenizle ilgili sağlam bir modeli zaten inşa etmişsinizdir. Öte yandan yabancı bir şehirde, sözgelimi belirli bir restoranı bulmak için araba kullanırken, çevrenizdeki her şeye –sokak levhalarına, mağaza isimlerine, bina numaralarına– bakmak zorundasınızdır çünkü ne beklemeniz gerektiğiyle ilgili iyi bir modeliniz henüz yoktur.

Peki, iyi bir içsel modeli nasıl kurarsınız? Beklentilerinizle uyuşmayan o veri noktalarına yakından bakmanızı sağlarken, zaten hesabı görülmüş her şeyi görmezden gelen nöral teknoloji hangisidir?

Biz buna dikkat diyoruz. Beklenmedik bir gümbürtüye, derinizde öngöremediğiniz bir dokunuşa, çevrenizdeki şaşırtıcı devinime dikkatinizi verirsiniz. Dikkat vermek, probleme yüksek çözünürlüklü alıcılarınızla yaklaşıp onu modelinize nasıl katabileceğinizi bulmanızı sağlar: *Ha, bu ses çim biçme makinesinden geliyormuş, işte kedicik, bu yalnızca bir karasinek*. Ve modeliniz böylece güncellenmiş oldu. Buna karşılık, sol ayağınızdaki ayakkabının verdiği hisse dikkat etmezsiniz çünkü onun bir içsel modeline zaten sahipsinizdir ve bu model de girdileri sürekli olarak öngörmektedir. En azından ayakkabının içine bir taş parçası kaçana kadar. İşte buna verirsiniz dikkatinizi: Model aniden bir güncelleme gerektirmiştir.

Öngörüler ile sonuçlar arasındaki farklar, öğrenmenin tuhaf bir özelliğinin anlaşılmasında anahtar rol oynar: Eğer öngörülerinizde kusursuzluğu yakaladıysanız beyninizin daha fazla değişmesine gerek yoktur. Örneğin, telefonunuzdan gelen bip sesiyle bir metin mesajı aldığınızı öngörmeyi öğrenirsiniz. Büyük ölçüde, metin mesajı ile sosyal yaşamınız arasındaki ilintiden dolayı, beyniniz ikisi arasındaki ilişkiyi hemen kapmıştır. Derken telefon yazılımının güncellenmesi sonucunda, metin mesajı aldığınızı haber veren sinyal bip *artı* titreşime dönüşür. Anlaşıldığına göre, beyniniz bu titreşimi eğitim kapsamına almaz ve bu etki de *engelleme* (*blocking*) olarak bilinir. Beyniniz, bip sesinin mesajı öngördüğünü zaten bilmekte olduğundan, yeni bir şey öğrenmesine gerek yoktur. Telefonunuz bip sesi gelmeksizin yalnızca titreşirse beyin bu işaretin anlamını bilmiyor olacaktır çünkü bu konuda bir şey öğrenmemiştir.[10] Beyindeki değişimlerin, sadece beklenen ile gerçekte olan arasındaki farktan kaynaklandığını anladığımızda, engelleme olgusu anlam kazanır.

Dünya için kurduğumuz içsel model öngörülerde bulunmamızı ve yaptığımız hataları hemen anlamamızı sağlar ki bu da bize hangi noktada ilgimizi vermemiz ve nasıl bir güncelleme yapmamız gerektiğini söyler. Bu tür sistemler, makinelerin geleceği üzerine kafa yoran mühendislerin de ilgisini çekmeye başlamış durumda. Bu şekilde işleyen, traktörden uçağa birçok makinenin üzerinde çalışmaya başlamış bazı şirketler de var. Dış dünya için kurulan bir iç model, makinenin gerçekleşmesi beklenen olaylarla ilgili en iyi biçimde tahmin yürütmesini sağlar. Yazılımın dikkat kesilip makinenin iç modelini güncellemesi gereği, yalnızca beklenmedik girdiler devreye girdiğinde doğar.

Bu bilgileri göz önünde bulundurduğumuzda, madde kullanımının sinir sistemini nasıl değiştirdiğini anlamak kolaydır. Maddenin tüketilmesi, beyinde o maddeyle ilgili reseptörlerin sayısını değiştirir. Hatta o derecede değiştirir ki kişi öldükten sonra beynine bakıp içerdiği moleküler değişimleri belirleyerek, bağımlısı olduğu maddeleri ortaya çıkarmak mümkündür. İnsanların bir ilaç ya da maddeye karşı duyarsızlaşması (ya da ona direnç göstermesi) da bu nedenledir: Beyin, ilacın varlığını öngörmeyi öğrenir ve bir sonraki dozda denge durumunu koruyabilmek için reseptörlerin ifade sürecini buna uyarlar. Sözlük anlamıyla ve fiziksel olarak beyin, o maddenin ortamda olmasını bekler hale gelmiştir çünkü biyolojik ayrıntılar da kendilerini buna uygun bir kalibrasyona tabi tutmuştur. Sistem, belirli bir miktarın varlığını öngörebildiğinden, en baştaki etkiye yeniden ulaşmak için artık daha fazlasına ihtiyaç vardır.

Bu rekalibrasyon süreci, madde yoksunluğuyla ortaya çıkan nahoş belirtilerin temelidir. Beyin maddeye ne kadar uyum sağlamışsa madde yokluğunun vurduğu darbe de o kadar büyüktür. Yoksunluk belirtileri alınan maddeye göre değişse de (terlemeden titremeye, titremeden depresyona kadar) beklenen bir şeyin çarpıcı yokluğu hepsi için ortaktır.

Nöral öngörülerle ilgili bu anlayış, yürek yaralarıyla ilgili bir anlayış da sunar bize. Sevdiğiniz insanlar, birer parçanız haline gelir; yalnızca mecazen değil, fiziksel olarak da. Dünya için kurduğunuz içsel modele insanları da katarsınız. Beyniniz, varlıklarının beklentisi merkezinde yeniden biçim verir kendine. Bir sevgiliden ayrıldıktan, bir dostun ya

da ebeveynin ölümünden sonra, kişinin ani yokluğu genel denge durumunda temel bir bozulmaya karşılık gelir. Halil Cibran'ın *Ermiş* adlı eserinde ifade ettiği gibi: "Aşk, ezelden beri ancak ayrılık saati gelip çattığında kendi derinliğinin farkına varır."

Beyin bu haldeyken, o ana kadar tanımış olduğunuz herkesi içeren bir negatif görüntü gibidir. Sevgilileriniz, dostlarınız, ebeveynleriniz görüntüde beklenen yerlerini doldururlar. Kayıktan indikten sonra dalgaların hissedildiği ya da bağımlısı olunan bir maddeye açlık duyulduğu durumlarda olduğu gibi, beyniniz hayatınızdaki insanların da yerinde durmasını ister. Biri uzaklara taşındığında, sizi reddettiğinde ya da öldüğünde, beyniniz sarsılan beklentileri için mücadele vermeye başlar. Yavaş da olsa zaman içinde o kişinin olmadığı bir dünyaya yeniden ayarlamalıdır kendini.

IŞIĞA, ŞEKERE YA DA VERİLERE DOĞRU

Bitkilerdeki fototropizm (ışığa yönelim) olgusunu ele alalım: Bu, yeni konumlar alarak ışıktan azami ölçüde yararlanmalarını betimleyen bir terimdir. Bir bitkinin büyümesini hızlı çekimle izlerseniz ışık kaynağına doğrudan ve düz bir çizgi boyunca yönelmediğini görürsünüz. Onun yerine kimi zaman güzergâhından biraz taşarak, kimi zaman da gerisinde kalarak ilerler. Önceden planlanmış bir hareketten çok, sürekli düzeltmeye tabi olan tutuk bir dans gibidir bu hareket.

Benzeri bir stratejiye bakteri hareketlerinde de rastlanır. Bir yiyecek kaynağının (örneğin, mutfak tezgâhından düşmüş bir şeker parçası) merkezini aradıklarında, son derece basit ama kullanışlı üç kuraldan yararlanırlar:

1. Gelişigüzel bir doğrultu seç ve düz bir çizgi üzerinde ilerle.
2. İşler iyiye gidiyor gibiyse devam et.
3. İşler kötüye gidiyor gibiyse takla at ve yine gelişigüzel biçimde başka bir doğrultu seç.

Bir başka ifadeyle, izlenecek strateji, koşullar iyileştiğinde doğrultuyu korumak, işe yaramadığında iptal etmektir. Bir bakteri, bu basit

ilke yardımıyla yiyecek kaynağının en yoğun olduğu noktaya hızlı ve verimli biçimde ulaşabilir.[11]

Beyinde de benzeri bir ilkenin işlemekte olduğu fikrindeyim. Beyin, güneş ışığı ya da yiyecek yerine bilgiyi azamiye çıkaracak şekilde çalışıyor olabilir. "İnfotropizm" adını verdiğim bu stratejiyi merkez alan varsayımım, nöral devreler ağının, çevreden çekebileceği bilgiyi azamiye çıkarmak için sürekli değişim geçirdiğini ileri sürüyor.

Daha önceki bölümlerde gördüğümüz şeyleri düşünün. İster fotonları ister elektrik alanlarını ister koku moleküllerini yakalıyor olsunlar, beynin duyu organlarından nasıl yararlandığına tanık olduk. Beynin bir bedeni, solungaç, bacak veya robot kol taşıdığına bakmaksızın nasıl yönlendirebilir hale geldiğini de gördük. Durum ne olursa olsun beyin, devrelerini dünyadan akan verileri azamiye çıkaracak şekilde ince ayardan geçirir. Bu ayarlama süreci, yapılan şeyin işe yaradığını ağ boyunca ileten ödüllerden yardım alır. Bu şekilde sistem, asgari düzeydeki bir önceden programlamayla, dünyayla etkileşimini nasıl optimize edeceğini çözümler.

Nöral manzaraların Osaka'da Hayato ve Palo Alto'da William isimli bebeklerin sistemlerine nasıl işlediğini ve farklı sesleri ayırt etmelerini nasıl sağladığını görmüştük. Bunu, ödül temelli bir değişim olarak açıklamıştım ama şimdi aynı şeye daha üstteki bir düzeyden, infotropizm perspektifinden de bakabiliriz: Bebeklerin beyinleri, çevrelerinde bulunan ve onlar için önemli olan verileri azamiye çıkarmak üzere ayarlamadan geçmişti.

Daha uzun bir zaman ölçeğinde, bir insan kör olduğunda görme korteksinin diğer duyular tarafından ele geçirildiğini gördük. Bir sonraki bölümde ise nöronların bu işi nasıl kotardıklarını inceleyeceğiz. Ama şimdilik, bu devralma eylemini de infotropizm olarak yorumlayabileceğimizi bir kenara not edin. Çünkü beyin, gelen veriler hangi türden olursa olsun onları yorumlamak için kaynaklarını olabilecek en yüksek düzeye çıkaracaktır.

Yatay ve dikey çizgilerin yer aldığı yanılsamayı da hatırlayın. Görme sisteminiz, burada da dünyadan aldığı bilgiyi azamiye çıkarmaya çalıştığından, renk ve konumlanma boyutlarını birbirinden ayırmaya çalışır; bu iki ölçütü karıştırmak istemez. Bu etki, genellikle eğlenceli bir görsel yanılsamadan ibaret görülse de arka planda çalışan sistemler

daha derin bir amaca hizmet eder: Çizgilerin üzerinde herhangi bir nedenle (örneğin, tuhaf bir tepe ışığı ya da görüşünüzdeki bir sorun) belirecek hafif bir renklenme, bunun üstesinden gelip ilişkiyi sıfırlamak için beyninizin kendisini yeniden düzenlemesiyle sonuçlanacaktır. Beyin, böyle yaparak renk ve konum bilgilerini ayrı ayrı çekme kapasitenizi en yüksek düzeye çıkarmış olur. Beyninizin dışarıdan bilgi toplamasının en iyi yolu, ayrı kalması (istatistiksel olarak) gereken iki boyutu birbirinden ayırmaktır.

İnfotropizme nöronlar düzeyinde bir örnek: Gözünüzün arkasındaki retina, dünyayı gece ve gündüz farklı şekilde okur. Öğle vaktinin parlaklığında yakalayacak bol miktarda foton vardır; dolayısıyla her fotoreseptör, manzaranın kendisine ait küçücük bir noktasını işler ve bu da yüksek çözünürlükle sonuçlanır. Geceleri söz konusu olan, farklı bir hikâyedir. Yakalanacak foton sayısı azaldığından, önemli olan, artık *bir şeylerin varlığını* algılamaktır; uzamsal çözünürlük yüksek olmasa bile. Yani fotoreseptörler geceleri içsel moleküler etkinlik zincirinin ayrıntılarını değiştirip güçlerini birleştirerek işlerini çok farklı şekilde yürütürler. Bu koşullar altında, "oralarda" bir şeylerin var olduğunu fark etmek daha uzun zaman alsa da, bir arada hareket ettiklerinde çok daha düşük ışık düzeylerini algılayabilirler.[12] Bu incelikli ve karmaşık strateji, ışık düzeyi artıp azaldıkça retinanın farklı şekilde çalışmasına olanak sağlar. Ortalık aydınlıkken sistem yüksek uzamsal çözünürlüğe ulaşabilir; karanlıkta ise fotoreseptörlerin foton yakalama şanslarını artırmak üzere bir araya gelmesi, çözünürlüğü daha düşük ama loş ışıkta daha duyarlı bir görüşle sonuçlanır. Sistem, bilgiyi azamiye çıkaracak bir noktaya doğru değişmek için muazzam bir işgücü koyar ortaya. Fotonlar ister çok olsun ister az, retina kendisini verileri yakalamak üzere optimize eder. Gündüzleri olabildiğince çok ayrıntı yakalayarak uzaktaki bir tavşanı bile görmeyi mümkün kılarken, loş ışıkta daha yüksek duyarlılık düzeyine geçer ve az ayrıntıyla da olsa ortalıkta bulabildiği ne varsa onu algılamak üzere kendini ayarlar. Karanlıkta pusuya yatmış jaguarın gölgemsi varlığı bu şekilde yakalanmış olur. Tabiat Ana, sadece bir göz yapmanın yollarını bulmakla kalmamış, bu gözün devrelerini çalışma anında ayarlayarak, farklı koşullarda farklı biçimlerde işlemesini sağlayabilmiştir. Ve bütün bunların amacı, eldeki olanakları en iyi biçimde kullanmaktır. İnfotropizm de budur zaten.

BEKLENMEDİK OLANI BEKLEMEYE AYARLANMAK

Bitkinin güneş ışığını, bakterinin şekeri aradığı gibi, beyin de bilgi arar. Dünyadan çekip alacağı verileri azamiye çıkarmak için devrelerini sürekli değiştirmeye çalışan beyin, bu süreçte dış dünyanın, kendi öngörülerine karşılık gelen bir iç modelini kurar. Dünya beklentilerine uygun davrandığında enerji tasarrufuna gider. Kitabın daha önceki sayfalarında söz ettiğimiz futbolcuları hatırlayın. Amatörlerin beyin etkinliği oldukça fazlayken, profesyonellerinki azdı. Bunun nedeni, profesyonellerin dünya hakkındaki öngörü ve beklentilerini doğrudan devrelerine kazımış olmaları, amatörlerinse makul bir tahminde bulunabilmek için çırpınıp durmalarıydı.

Beyin, temelde bir öngörü makinesidir ve kendini sürekli yeniden yapılandırmasına güç veren de budur. Dünyanın genel durumunun bir modelini kurarak isabetli beklentiler oluşturmak, dolayısıyla beklenmedik olana karşı azami ölçüde tetikte kalmak üzere kendine biçim verir.

Öyleyse bir sonraki soruya hazırız demektir: Şu ana kadar kitapta görmüş olduğumuz her şeyi göz önüne alırsak bunca şey nasıl oluyor da beyindeki hücreler düzeyinde yürütülüyor?

8

DEĞİŞİMİN KIYISINDA DENGEDE DURMAK

Dünyayı tesadüfen Ekim 1962'de ziyaret eden bir uzaylı olduğunuzu varsayın. Ziyaretiniz tam Küba füze krizinin yol açtığı gergin bekleyiş dönemine denk geliyor.

Olan biten öyle çok da fazla bir şey olmadığını düşünecek olursanız elbette mazur görülürsünüz. Sonuçta, sizin gözünüzden ne Birleşik Devletler ne de Küba ve Sovyetler herhangi bir şey yapıyor. Yeşil elinizle ağzınızı kapatmış esnerken motivasyonsuz, uyuşuk ya da fosilleşmiş bir siyasi sisteme tanık olduğunuzu düşünürsünüz muhtemelen.

Hiçbir şey olmamasının tek nedeninin, bütün karşı güçlerin dengede ve birbirleriyle tam bir zıtlık içinde bulunması olduğunu fark etmeyebilirsiniz. Oysa bütün yaylar gerilmiş, füzeler karşılıklı doğrultulmuş ve ordular hazır durumda.

Görmesi her zaman kolay olmamakla birlikte, beyindeki durum da budur. Haritaların dengede görünmesi, karşı güçler açısından kusursuz bir denge içinde olmalarından da kaynaklanıyor olabilir pekâlâ. Beyin, kararlı bir dinginlik içine gömüldüğü yanılsamasına yol açar ama rekabet ilkeleri onu değişim için tetikte olmaya zorlar. Bu dinginlik yanıltmasın sizi: Nöral ağlar durulmuş ve oturmuş izlenimini veriyorsa bunun tek nedeni, her bir alanın, sıkışıp kaldığı bu soğuk savaş içinde, iç dünyanın gelecekteki sınırları için yay gibi gerili ve çarpışmaya hazır halde beklemesidir.



HARİTADAN SİLİNİNCE

Haiti ve Dominik Cumhuriyeti, Karayipler'deki Hispanyola Adası'nı paylaşan iki ülkedir. Bir tsunaminin ortaya çıkıp Dominik Cumhuriyeti'ni vurduğunu ve ülkeyi yaşanmaz hale getirdiğini düşünün. Bir olasılık, Dominikliler haritadan silinecek ve Haiti'de hayat normal akışında seyredecektir. Ama ikinci bir olasılık daha var: Ya Haitililer ülkelerini birkaç yüz mil batıya kaydırıp alanlarını küçülterek, kalanı cömertçe Dominiklilerle paylaşsa ve onlara da yer açarsa? Bu durumda iki ülke, komşuluk bağları sayesinde kalan daha küçük araziye sıkışıp uyum içinde yaşayacaklardır.

Beyne geri dönersek: Hastalık, ameliyat ya da beyin hasarı, eldeki alanı küçültürse ne olur? Komşu ülkelerle olduğu gibi, burada da iki olasılık vardır. Beyin, doku kaybının oluştuğu alanı haritadan silebilir ya da başlangıçtaki haritayı daha küçük bir alana sıkıştırabilir.

Bunlardan hangisini yeğlediğini anlamak için burada Alice adını vereceğimiz küçük bir kızın başına gelenlere bakalım. Alice üç buçuk yaşındayken küçük nöbetler geçirmeye başlamış, ailesi beyin taraması yapılması için onu hastaneye götürmüştü. Tarama, hastane doktorlarını şaşkınlık içinde bırakacak bir keşifle sonuçlandı: Alice beyninin *yalnızca* sol yarımküresiyle doğmuştu. Çok ender görülen bir bozukluğun sonucu olarak, sağ yarımküresi yoktu.[1]

Ama asıl sürpriz, Alice'in normal bir çocukluk geçirmiş olmasıydı. Göz-el koordinasyonu gibi beceriler, şaşırtıcıdır ki bu tuhaf gelişimsel sapmadan etkilenmemişti. Nöbet geçirmesine geçiriyordu ama bunlar da ilaçlarla kontrol altına alınabilen türdendi. Kısa süre sonra Alice'in

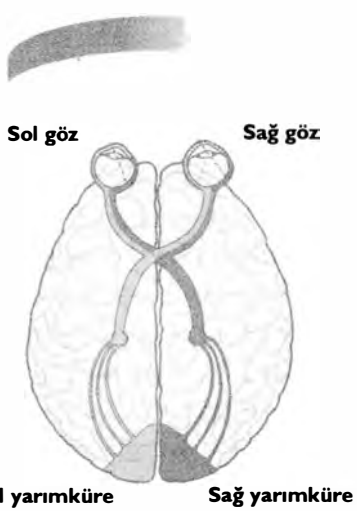
eksik yarımküresinin dışa yansıyan tek işareti, sol elinin parmaklarıyla ince motor hareketleri yapmada zorlanmasıydı.

Alice'in durumu, kapıyı temel bir soruya aralıyor: Yalnızca tek bir yarımküre geliştiğinde, normalde iki yarımküre arasında dağılmış bulunan beyin devrelerine ne olur?

Yanıtı anlamak için önce bilginin sol gözden beyne normal olarak nasıl taşındığını ele alalım. Retinanın sol yarısından çıkan lifler, bilgiyi sol görme korteksinin arkasına iletirler. Buraya kadar sorun yok çünkü Alice'in beyninin sol yarısı sağlamdı. Ama retinanın *sağ* tarafından gelen bilgiler, normalde orta hattı geçerek *sağ* yarımkürenin arkasına ulaşırlar. Alice'te beynin o yarısı olmadığına göre, lifler nereye gidiyor olabilirdi?

Daha önceki onyıllarda asla öngörülemeyecek bu harikulade canlı bağlantılanma örneğinde, her iki taraftaki görme alanları da sol yarımküreye bağlanıyor, yani görme alanının tümü, elde kalan tek alanda temsil ediliyordu. Diğer bir deyişle, Haiti kalan bölgeyi komşusuyla paylaşmıştı.

Alice'in görüşünün ve göz-el koordinasyonunun normal olması, bize olağanüstü bir şey daha söylüyor: Görme sisteminde sürecin ilk aşamaları, bağlantılarını tipik bir düzenlenmeyle kurmamış oldukları



Normalde dış dünyanın sol tarafı beynin sağ yarısında temsil edilir. Alice'in sağ yarımküresi yoktu. Öyleyse lifler nereye gidiyordu?



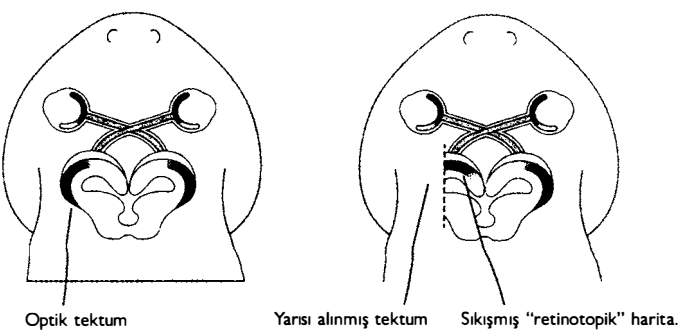
Beynin arkasındaki görme korteksi. Solda, normal bir beyin. Gri bölge, sağ görme alanının (görsel dünyanın sağ tarafı), siyah bölge de sol görme alanının temsil edildiği yerleri gösteriyor. Sağda, Alice'in beyni. Alice'in görme sistemindeki nöral devreler, hem sol hem de sağ görme alanlarının kalan tek yarımkürede temsil edileceği şekilde yeniden düzenlenmiş.

halde, çevredeki beyin alanları bu sıra dışı haritadan nasıl yararlanacakları konusunda herhangi bir sıkıntı yaşamamıştı. Yani, sistemin geri kalanının işlev görmesi için görme korteksinin genetik açıdan kitabına uygun davranması gerekmemişti. Bu kitap boyunca gördüklerimizle tutarlı biçimde, Alice'in genetiği, plandaki temel sapmalarla başarısızlığa uğrayacak kırılgan bir sistem kurmamış, aksine, işi her durumda kotaracak canlı devreli bir sistem sunmuştu.

Alice bir yarımküresi eksik doğmuştu ama önceki sayfalarda hikâyesini anlattığımız Matthew'nun bir yarımküresi, sonradan ameliyatla alınmıştı. Matthew hafifçe topallasa da bunun dışında herkes gibi bağımsız bir yaşam sürebiliyor. Çünkü Alice'te var olan o tek yarımküre gibi, Matthew'nun yarımküresi de gerekli işlevleri yürütmenin yolunu bulmuştu: Arazi kökten değişmiş olduğu halde, beyin dokusu işleri normal biçimde yürütebilmek adına ağlarını yeniden kurmuştu. Hem Alice hem de Matthew'nun beyin haritaları, ilk alanın yarısı kadar bir bölgede kendilerine yeni bir düzen kurarken, ilişkilerini, görevlerini ve işlevlerini de koruyabilmişlerdi.

Böylesine kökten bir yeniden yapılandırma süreci nasıl gerçekleşir? Bu konudaki ilk ipuçları, daha basit bir görme sistemine sahip kurbağalardan elde edilmişti. Kurbağanın gözünden çıkan sinirler, "optik tektum" (memelilerdeki birincil görme korteksine benzer) adı verilen

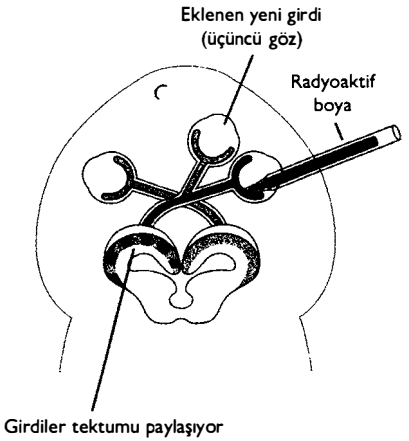
bir alana ulaşırlar. Sağ gözden gelen sinirler sol, sol gözden gelen sinirler de sağ tektumda sonlanır. Buradaki sinir sonlanmaları düzenlidir: Gözün üst kısmına ait sinirler tektumun üst kısmına, sol tarafına ait sinirler tektumun soluna yerleşirler. Gözden gelen her lif, sanki önceden kendisine ayrılmış bir adreste hedefe tutunmuş gibidir. Öyleyse gelişim sırasında, sinirler henüz oraya ulaşmadan tektumun bir yarısını kesip alsanız ne olur dersiniz? Alice'in beyninde olan bitene benzer şekilde, görme alanının tam haritası daha küçük olan hedef alanda gelişir.[2] Harita yine olması gerektiği gibi görünür; sadece sıkıştırılmış haldedir artık: tıpkı adanın doğu bölümü yok olduktan sonra Haiti'nin cömertçe çizilmiş yeni haritasında olduğu gibi.



Daha küçük bir alana sığmak için gerçekleşen sıkışma. Solda, retinadan optik tektuma gelen lifleri gösteren normal harita. Sağda, tektumun yarısının alınması sonucunda, haritanın sıkışarak yer sağlaması.

Şimdi sırada deneyin sonraki aşaması var: Bir iribaşın bir yanına *fazladan* bir göz nakledersek ne olur? Bu durumda, beklenmedik bir görme siniri, tektumdaki hedef alanı paylaşmak zorundadır. Göz, çözüm olarak alanı ardışık şeritlere böler. Her şerit, gözün tam haritasını içermektedir.[3] Gelen lifler yine elde kalan alandan yararlanacaktır. Bu sefer, Hispanyola Adası'na ite kaka girmek isteyen yeni bir ülke daha vardır. Haiti ise kendini ardışık şeritler halinde sıkıştırmak pahasına da olsa bölgeyi bu yeni krallıkla paylaşmak yönünde oy kullanmıştır.[4]

Bu tür deneyler, haritaların gerektiğinde sıkışıp alan paylaşabildiklerini gösterir. Peki, bu harita, daha fazla alanın açılması durumunda kendini *genişletebilir* mi? Araştırmacılar bunu anlamak için retinanın bir yarısını aldılar. Normal boyutlardaki tektuma, artık görme

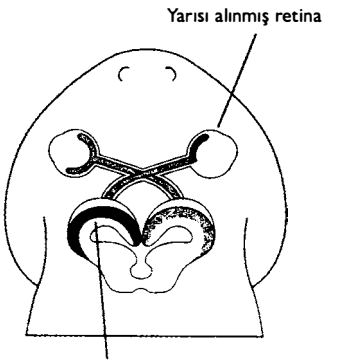


Üçüncü bir göz daha nakledildiğinde, tektum bu ek girdiye şeritler aracılığıyla yer açar.

liflerinin sadece yarısı ulaşıyordu. Böyle bir durumda ne olur? Artık görüş alanının yalnızca yarısını kodlamakta olan harita, tektumun tamamından yararlanmak üzere genişler.[5]

Alice, Matthew ve kurbağalardan anlıyoruz ki nöral haritalar genetik bir şehir planlama komisyonu tarafından önceden planlanmaz; onun yerine, eldeki arsaların kullanılıp doldurulması yoluna gidilir.

Bu dinamik devre düzenlemesi, inmeye bağlı beyin hasarı için elimizdeki en büyük umuttur. Beynin asıl işi, ödem indikten sonra başlar. Aylar ya da yıllar içinde korteks temel nitelikteki bir yeniden düzenlemeye gidebilir ve kaybedilmiş işlevler kimi zaman yeniden kazanılabilir. Bunun sıkça görülen bir örneği, dil ve konuşma becerilerinin kaybından sonra ortaya çıkar. İnsanların çoğunda dilsel işlevler sol yarımküre tarafından denetlendiğinden, bu kişiler sol tarafta geçirilen bir inmenin sonucunda genellikle konuşamaz ya da sözcükleri anlayamaz olurlar. Ancak bu işlevler sıklıkla zaman içinde yeniden kendilerini göstermeye başlar. Bunun nedeni sol yarımküredeki ölü dokunun iyileşmesi değil, dilsel işlevlerin artık sağ yarımkürenin sorumluluğuna geçmiş olmasıdır. Yayımlanan bir makale, sol yarımkürede inme geçiren ve ardından dil işlevlerinde kayıp yaşayan iki hastadan söz ediyordu. İnmenin ardından her iki hastada da bu işlevler sonunda kısmen düzelebilmişti. Ancak sonradan sağ taraflı inme de geçiren



Retinadan tektuma gelen liflerin yarıya düşmesi sonucunda, harita genişler.

talihsiz hastalarda, düzelmiş olan becerilerin yeniden kötüye gitmesi, dil işlevlerinin sağ yarımkürece devralınmış olduğunu gösteriyordu.[6]

Sonuç olarak beyin haritaları genişler, sıkışır ve işlevleri için yeni yerler belirlerler. Ama bunu yapmanın yolunu nereden biliyor olabilirler? Bunu yanıtlamak için yine nöronlar ormanının derinlerine dalıp olan bitene yakından bakmamız gerekiyor.

UYUŞTURUCU DÜNYASINDA KÖŞE KAPMACA

New Mexico'nun Albuquerque kentinde büyüdüm ben. Şehir hekimler, avukatlar, öğretmenler, mühendisler ve *Breaking Bad* dizisini seyretmiş herkesin bileceği gibi, uyuşturucu tacirlerinden payına düşeni almış durumda. Yaşım ilerledikçe, uyuşturucu satıcılarından her birinin kendi bölgelerini nasıl belirlediklerini merak etmeye başladım. Ne de olsa yalnızca yoksul mahallelere dağılmamış (her ne kadar polisler daha çok buralarda yoğunlaşmışsa da), şehrin bütün bölgelerine serpilmişlerdi. Her biri, sadece küçük bir alandaki satıştan sorumluydu.

Öyleyse kimin hangi alandan sorumlu olacağını nasıl belirliyorlardı? İki olasılık vardı.

Birincisine göre, Albuquerque şehir plancıları, bütün uyuşturucu satıcılarını bir araya getiren bir kurul toplamış ve belediye binasındaki

toplantı salonunda katlanır koltuklarında oturmuş satıcıları, şehir içindeki çeşitli noktalara eşit ve adilane bir şekilde dağıtmış olabilirlerdi. Buna yukarıdan-aşağıya yaklaşımı diyelim.

İkinci seçenek ise aşağıdan-yukarıya modeli. Ya satıcılar birbirleriyle rekabet halindeyse ve büyük paralar konuşuyorsa? Rekabet koşullarında her biri, güvenle kontrol edebildiği yalnızca belirli bir alan olduğunu fark edecektir. Her biri kendi işine bakan ama komşularıyla rekabetten dolayı bir yandan da kendi bölgesiyle sınırlı kalan satıcılar, kendilerini ister istemez şehir içinde dağılmış bulacaklardır.

Aşağıdan-yukarıya yaklaşımının sonuçları neler olur? Diyelim ki Albuquerque'nin bir kısmı kasırga sonucunda yerle bir oldu. Bundan sonrası? Şehir duygusal açıdan toparlandıktan sonra, uyuşturucu satıcıları alanlarını sıkıştırmanın bir yolunu bulacak ve biraz daha yoğun bir dağılım oluşturacaklardır. Kimsenin onlara talimat vermesine gerek yoktur: Yararlanılacak alan azalmıştır ve herkes bunu bölüşmek zorundadır.

Buna karşılık Albuquerque'nin alanı birden iki katına çıksa satıcıların daha geniş bir alana yayılıp boşlukları doldurmalarına, daha fazla alan ve daha az rekabetin tadını çıkarmalarına tanık olurduk. Kimsenin onlara ne yapacaklarını söylemesine gerek bile olmazdı.

Şehrin yüksek düzeyli örüntüleri, bireylerin rekabetinden doğmuştur. Her satıcı, iş için rekabet etmektedir. Her birinin bakmak zorunda olduğu yakınları, ödemek zorunda olduğu kirası, belki de almak istediği bir araba vardır. Buna bağlı olarak her biri, kendi bölgesi için sürekli bir mücadele vermektedir. Şehrin uyuşturucu satıcısı haritası, sonuçta şehir planlamacılarının dâhiyane tasarımlarının değil, bireysel davranışların kasıtsız bir sonucudur.

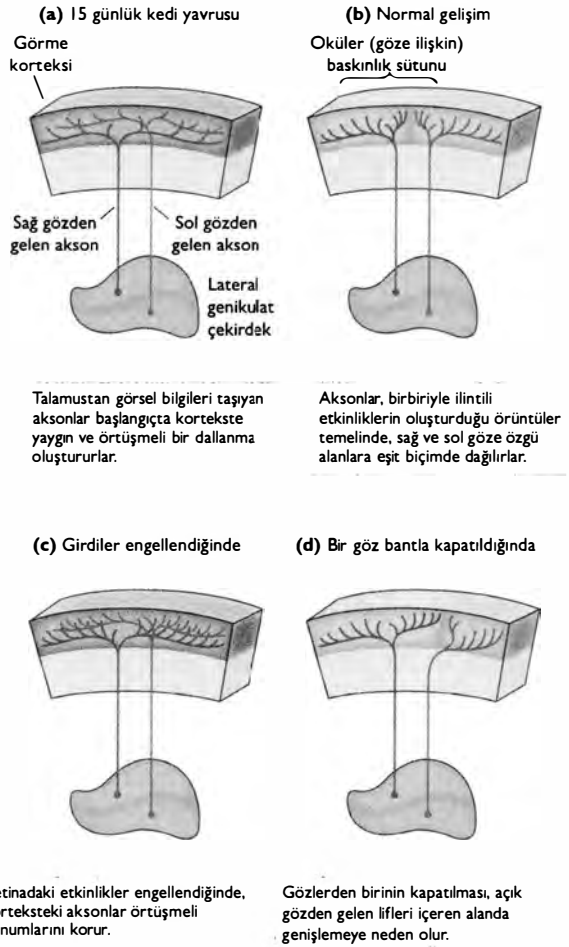
Beyne geri dönelim. İstediğiniz nörobilim ders kitabını elinize alın, mutlaka nöronal iletim (nörotransmisyon) hakkında bir şeyler bulacaksınız. Süreç, bir nörondan az miktarda kimyasal bir haberci (iletici) salınmasıyla gerçekleşir. Bu kimyasal, bir başka hücredeki reseptörlere bağlanarak küçük bir elektriksel ya da kimyasal harekete neden olur. Nöronlar, birbirlerine bu şekilde mesaj gönderirler.

Şimdi bu hücresel etkileşime farklı bir ışıkta bakın. Çevremizi sarmış mikroskobik krallığın her noktasında, tek hücreli canlılar kimyasallar salar; ancak bu kimyasallar dostane birer mesaj değil, savunma

mekanizmasının uyarı niteliğindeki sinyalleridir. Şimdi de beyindeki milyarlarca hücreyi milyarlarca tek hücreli canlı olarak düşünün. Nöronların birbirleriyle mutlu bir işbirliği içinde olduğunu düşünme eğilimindeyizdir ama onları süreğen bir mücadelenin tarafları olarak da görebiliriz. O zaman yaptıkları şey, birbirlerine bilgi iletmek değil, tükürmek olacak. Bu mercekten bakınca, aktif beyin dokusunda milyarlarca bireysel ajanın, kaynaklar ve sağkalım için birbiriyle mücadele ettiğine tanık oluyoruz. Albuquerque'nin uyuşturucu satıcıları gibi, hepsi kendi çıkarlarını gözetiyor.

Bu ışık altında, belirli deneysel bulgular da doğrudan anlaşılır hale gelir. Örneğin, 1960'ların başında David Hubel ve Torsten Wiesel isimli nörobiyologlar, memeli görme korteksindeki ardışık şeritlerin ya sol ya da sağ gözden gelen sinyalleri taşıdığını gösterdiler. Normal koşullarda, alanın denetimi gözler arasında eşit şekilde pay edilmiştir. Ama gözlerden biri yaşamın ilk dönemlerinde bantla kapatılırsa diğer gözden gelen daha güçlü girdiler giderek daha fazla alan ele geçirmeye başlar. Başka bir ifadeyle, görme korteksinin haritaları, deneyimle ciddi biçimde değişebilir: İyi gören gözden gelen girdiler korunup güçlendirilirken, kapalı gözden gelenleri zayıflar ve sonunda kaybolur.[7] Bu bulgular iki şeyi gösteriyordu. Birincisi, haritalar tümüyle doğuştan değildi. İkincisi, beyinde sahip olunan alanların korunması, etkinliğe bağlıydı: Mülk sahibi olarak kalmak, sürekli bir çaba gerektirmekteydi. Girdiler azaldıkça, nöronlar da hareketin bol olduğu yerleri bulana kadar bağlantılarını değiştiriyorlardı.

Hubel ve Wiesel'e 1981'de Nobel Ödülü kazandıran bu kavrayış, gözlerinde hizalanma bozuklukları olan çocuklar için yapılabilecekleri de söylüyor bize. İçe ya da dışa şaşı olarak doğan bir çocuk, daha az kullanılan gözdeki görüşünü er veya geç kaybedecektir. Ancak sorun gözün kendisinde değil, görme korteksindedir. Bir göz, baskın olduğu için, hizalanma bozukluğu olan diğer göz karşısında rekabet üstünlüğü elde ederek, beynin arkasında daha fazla alan ele geçirir. Çözüm, zayıf olan gözü normal hizalanma gösterecek şekilde ameliyat etmek ve ardından çocuğun sağlam gözünü göz bandıyla kapamaktır. Bu, zayıf göze kaybettiği kortikal alanı yeniden elde etme şansı verecektir.[8] Denge bir kez sağlanıp bant çıkarıldığında, her iki gözün de artık düzgün ve eşit derecede çalıştığı görülür.



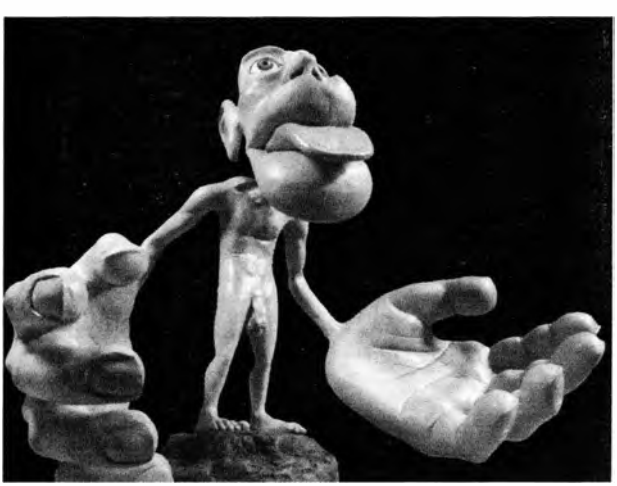
(a) Bir hayvan yavrusunda sağ ve sol gözlerden gelen uyarılar, birincil görme korteksinin girdileri alan tabakasına düzenli biçimde dağılırlar. (b) Hayvan geliştikçe gözlerin korteksle olan bağlantıları, birbirine komşu iki alana eşit biçimde dağılmış durumdadır. (c) Her iki göz de ışıktan yoksun bırakıldığında sol ve sağ gözden bilgi taşıyan lifler birbirinden ayrılmaz. (d) Yalnızca bir göz ışıktan yoksun bırakıldığında, bu gözün kortekse gönderdiği girdiler kademeli olarak azalır; bu arada normal görüşlü gözden gelen lifler daha fazla alan kazanır.

Bu kullanışlı numara, nöronlar düzeyindeki rekabeti anlamanın doğal bir sonucudur. Beynin vücut için kurmuş olduğu haritayı, homonkulusu hatırlayın. 3. Bölüm'de karşımıza çıkan soru, kafatasının karanlığına hapsedilmiş durumdaki beynin vücudun neye benzediğini

nasıl bilebildiğiydi. Vücut planının geçirdiği değişikliklerle gün yüzüne çıkan gerçekse beynin bu haritayı basit kurallardan yola çıkarak belirliyor oluşuydu. Başka bir ifadeyle, harita dünyayla etkileşimin sonucunda doğal bir süreçle biçim kazanıyor, bu arada vücudun birbirine komşu bölgeleri de beyindeki komşu alanları aralarında pay ediyorlardı.[9] Tıpkı uyuşturucu satıcıları ve şaşı doğan çocuklarda olduğu gibi, bu süreç de rekabet temellidir. Bir kol ya da bacak kaybedildiğinde (Amiral Nelson'ın kolunu kaybettiği gibi), komşu korteks alanları da işte bu nedenle vakit kaybetmeden ilgili bölgeyi ele geçirirler. Alanı elde tutmak için nöronların teker teker sürekli bir girdiyle besleniyor olması gerekir: Çaba güç kaybettiğinde, etkin girdileri bulabilecekleri alana yönelirler.

Bu arada, homonkulusun tuhaf bir insan görüntüsünde olmasının nedeni de budur. El parmakları, dudaklar ve üreme organları orantısızca büyükken, gövde ve bacaklar küçüktür. En fazla bilgi gönderen bölgeler, en büyük alanla temsil edilmeye hak kazanmışlardır.

Öyleyse doğru yaklaşım, sistemi, alt düzeylerde rekabetin ve bunun sonucu olarak üst düzeylerde özellik değişimlerinin (genişleme, küçülme, paylaşma gibi) kendini gösterdiği bir bütün olarak ele almaktır. Yerel savaşlar ömür boyu esip gürlerken, beynin haritaları da bir yandan yeniden şekillenmektedir. Bunun nedeniyse her nöronun, kentteki bir uyuşturucu satıcısıyla aynı zorlukları yaşamasıdır: sahiplenilmemiş bir köşe bulmak ve bütün zamanını onu elinde tutmak için



harcamak. Beyinde arazi kapmak için süregiden mücadele, bir ölüm kalım mücadelesidir: Her nöron, hayatta kalmasını sağlayacak kaynaklar için savaşarak geçirir yaşamını. Peki ama ne içindir bu rekabet? Uyuşturucu satıcısı için "nakit kraldır". Ya nöron için?

1941'de Rita Levi-Montalchini adında genç bir kadın, doğup büyüdüğü Torino'dan kaçarak kırsaldaki küçük bir kulübeye yerleşti. Burada hem Almanlardan hem de İtalyanlardan saklanıyordu. Yahudi olduğu ve ülkesi Nazilerle ittifak kurduğu için hayatı tehlikedeydi. Bu saklanma döneminde, kulübesinde küçük bir laboratuvar da kurmuş, bir yandan civciv embriyolarında kanat ve ayakların nasıl geliştiğini anlamak için gece gündüz çalışıyordu. Burada yaptığı çalışmalar, sinir büyüme faktörünün keşfiyle sonuçlanacak, ona 1986'da Nobel Ödülü'nü getirecekti.

Levi-Montalchini'nin bulduğu şey, "nötrofin" adı verilen yaşamsal kimyasalların ilk üyesiydi.[10] Nöronların hedefleri tarafından salgılanan bu proteinler, nöronlar ve kurdukları sinapsların uğruna rekabete girdiği maddeler olup onları bağlantı kurmaya ve sağlamlaştırmaya iter. Bu koruyucu kimyasalları elde etmede başarı gösteren nöronlar serpilirken, başarısız olanlar dallarını başka yerlere uzatmaya çalışır ve hiçbir yerde başarı gösteremezlerse sonunda ölürler.

Bu kimyasalların getireceği ödülleri aramanın ötesinde, nöronlar toksik (zehirli) etkenlerden de kaçınmak zorundadırlar. Örneğin, sinaptotoksin adı verilen kimyasallar var olan sinapsları ortadan kaldırdığından,[11] nöron aksonları onların olumsuz etkilerine yakalanmamak için etkinliklerini var güçleriyle sürdürürler. Çünkü belirli bir eşiğin altına düştükleri anda yok olacaklardır.[12]

Ve böylece, çekici ve itici moleküllerin dokuduğu çok katmanlı dil, nöronlara gerekli geribildirimi sağlar ve nöronlar yerlerinde kalıp kalmayacaklarına, dallanıp dallanmayacaklarına, küçülmeleri mi, yoksa sinsice başka yerlere mi sokulmaları ya da ortak yarar adına kendilerini geri mi çekmeleri gerektiğine buna göre karar verirler.

Tek haldeki nöronlar düzeyinde kendini gösteren etkilere paralel olarak, daha büyük ölçekli bir olgu da sistemin bir bütün olarak esnek mi yoksa kilitlenmiş durumda mı olduğunu belirler. İki tip nöron vardır: komşularını uyarıcı nitelikte mesajlar ileten (uyarıcı) ve komşularını köstekleyen (baskılayıcı) nöronlar. Ağ boyunca iç içe yer alan bu iki hücre tipi, sistemin esnekliğini birlikte belirler. Baskılama etkisi fazla düşükse rekabet öylesine yüksektir ki bir kazanan ortaya çıkamaz bile. İyi ayarlanmış, esnek bir sistem, uyarı ve baskılama düzeyinin tam bir denge içinde olmasını gerektirir; nöronlar bu şekilde uygun bir rekabet ortamı içinde (ne fazlasının ne de azının söz konusu olduğu bir Goldilocks bölgesinde*) mücadele edebilirler. Rekabet azaldıkça sistem yerine sabitlenmeye başlar; rekabet fazla hararetliyse de kazananların zirveye yükselme şansı olmaz.

Bir benzetme kurmak için Kuzey Kore ve Venezuela gibi ülkeleri ele alabiliriz. Kuzey Kore'de rejim öylesine katı ve baskılayıcıdır ki insanlar hükümetin önceden onaylamadığı hiçbir şey yapamazlar. Venezuela'da ise hükümetin otoritesi fazla zayıf kaldığından uyuşturucu kartelleri, mafya ve suçlular gemi azıya almış durumdadır. Her iki ortamda da ilerleyemez ülkeler; birincisi aşırı baskıdan, diğeri de baskının çok az oluşundan dolayı. Üretken ülkeler bütün dünyada, fazla uysallık ile fazla katılık arasındaki hassas bölgede dengesini koruyabilen ülkelerdir. İki partili sistemler bu noktada çok işe yarar ve konumuz gereği muhafazakârlar ve liberalleri, nörotransmisyon sürecinin rekabet halindeki iki unsuru –baskılama ve uyarma– olarak ele alabiliriz. Genellikle bir parti, diğerine üstünlük sağlar ama çok az farkla. Başkan sıklıkla partilerden birinden çıkarken, Kongre diğerinin yaklaşımını benimsemiştir. İki partili sistemlerin süregiden çekişmeleri genellikle baş ağrıtsa da sistem işe yarayacak değişimleri gerçekleştirmek için son derece elverişlidir. Buna karşılık tek bir partinin tam egemenliği, çoğunlukla sistemin ele geçirilmesiyle sonuçlanır ki bunun ülkeye getireceği acı ve sıkıntı, tarihsel olarak doğrulanmıştır.[13] Hem hükümetler hem beyinler için işe yarayan sihir, güçlerin dengede tutulmasıdır. Bir sistemin tutarlı, dengeli ve değişime hazır olmasının yolu budur.

* Goldilocks bölgesi, *Goldilocks ve Üç Ayı* masalından esinlenilerek ortaya atılan ve astronomik koşulların aşırı olmadığı "yaşanabilir bölge" için kullanılan bir terimdir. (*ç. n.*)

NÖRONLAR SOSYAL AĞLARINI NASIL GENİŞLETİRLER?

Beyindeki değişimlerin çabucak, bir saat gibi kısa bir süre içinde gerçekleşebildiğini gördük. Peki, böylesine büyük değişimler nasıl bu kadar hızlı olabiliyor?

Görme korteksleri dokunmaya bir saat içinde tepki veren, gözleri bağlanmış katılımcıları hatırlayın (3. Bölüm). Bu zaman aralığı, yeni sinapsların dokunma ve işitme bölgelerinden birincil görme korteksine uzanmaları için fazla kısadır; bu da bağlantıların zaten orada olduğu düşüncesine götürür bizi.[14] Ne de olsa birçok nöral bağlantı önceden vardır ama bunlar öylesine baskılanmıştır ki varlıkları herhangi bir şeye hizmet etmez. Baskının kalkması, onların da seslerini duyurmalarına izin verir.[15]

Bir benzetme yaparsak: Arkadaş çevrenizde büyük bir parçalanma yaşandığını farz edin. Herkesin en az sizin kadar çılgınca davrandığı bir partide baş gösteren trajik bir yanlış anlama, en yakın arkadaşlarınızı kaybetmenize neden oluyor. Size ulaşan sosyal girdiler artık eskisinden az ve siz de daha uzak tanıdıklardan (daha önce dikkatinizi hiç tam vermediğiniz kişilerden) gelen sinyallere kulak vermeye başlıyorsunuz. Sesleri, en yakın dostlarınızla kurmuş olduğunuz güçlü ilişkilerin arasında boğulmuş olan bu insanları artık duyduğunuza göre, sosyal yaşamınızı bu zayıf bağları besleyip güçlendirerek yeniden doldurmaya başlayabilirsiniz.

Bu benzetmeden tahmin etmiş olabileceğiniz gibi, örtüyü kaldırmanın mekanizması, güçlü bağlantıların daha önce getirmiş olduğu baskılamanın ortadan kaldırılmasıdır. Nöronlar düzeyinden bakarsak, önceki bağlantılar "yanal baskılama"ya neden olmuş, yani en yakın komşularının etkinliğini bastırmışlardır.[16] İlk girdilerin sessizleşmesi (kolunuzun uyuşturulması ya da gözlerinizin bağlanması gibi çok kısa dönemli bir değişiklikle bile) hızlı değişimlerle sonuçlanır. Bu kimi zaman korteksteki değişimlerden kaynaklanır, kimi zamansa talamustan kortekse ilerleyen yolda zaten mevcut olan komşular arası bağlantıların, baskınlıklarını kaybetmesiyle gerçekleşir.[17] Bir başka deyişle, önceden sessiz kalmış unsurlar, işlevsel bir işleyiş kazanır.

Bağlantıların gün yüzüne çıkarılması mümkün oluyorsa bunun tek nedeni, beynin gereğinden fazla miktarda çapraz bağlantı içermesidir. Başlangıçta kendini güçlü biçimde gösteren bu fazlalık zaman içinde zayıflar. Mesela, birine güçlü bir "bip" sesi dinletirken, başına yerleştirdiğiniz elektrotlar aracılığıyla (elektroensefalografi) beyninin tepkilerini ölçebilirsiniz. Bu ses, normal bir yetişkinin işitme korteksinde açıkça ölçülebilen ama görme korteksinde daha zayıf olan ya da hiç bulunmayan bir elektrik tepkisine neden olur. Bu durumu, altı aylık bir bebekte göreceklerinizle karşılaştırırsanız işitsel ve görsel alanlarda ortaya çıkan tepkilerin bebekte birbirine çok yakın olduğunu görürsünüz. Neden? Çünkü bebeğin beynindeki bağlantı fazlalığı, bu alanların birbirinden o kadar da farklı olmadığı anlamına gelir.[18] Altı ayla üç yaş arasında, görme alanlarının bip sesine verdiği ölçülebilir tepkinin boyutlarında kademeli bir azalma göze çarpar. Beyin, işe oldukça yoğun bir bağlantı ağıyla başlar ve çakışmaları zaman içinde budar. Ancak erken dönemdeki bu çapraz bağlantılar tümüyle yok olmaz. Yetişkin beyninde bile birincil işitme lifleri doğrudan görme korteksine ulaşır (ve tersi).[19] Bu çapraz bağlanma, gerektiğinde bağlantıların hızla yeniden göreve çağrılmasına izin veren şeydir.

Değişimin tek yolu, sessiz bağlantılardaki örtünün kaldırılması değildir. Beyin, daha yavaş bir zaman ölçeğinde farklı bir numaraya daha başvurur: aksonların yeni alanlara doğru büyümesi ve burada yeni bağlantıların filizlenmesi.[20] Arkadaşlarınızla ilişkinizi kullanarak yaptığımız benzetmeyi sürdürürsek: Önceleri pek de o kadar ilgi göstermediğiniz tanıdıklarınızla giderek yoğunlaşan bir mesaj alışverişine başladığınızı varsayın. Bu uzak dostlar, sosyal takviminizde beklenmedik şekilde açılmış yerlere bağlı olarak, zaman içinde sizi evlerine, yemeğe davet etmeye başlıyor ve daha önce yer açamadığınız yeni dostluklara açık duruma geliyorsunuz. Kökleri size daha uzak sosyal çevrelerde olan yeni bağlantıların peşine düşüyor ve onlarla ilişki kuruyorsunuz. İşte beyindeki durum da aynıdır: Yeterince zaman verilmesi koşuluyla, iletişim kopukluğu yaşayan alanlar, yeni bağlantılar oluşturmaya başlar.[21]

Şu anda bulunduğumuz noktayı özetleyecek olursak: Yeniden düzenlenme için geçerli olan genel bir ilke, beynin sessiz bağlantılarının

önemli bir bölümünü gözden uzak tutmasıdır. Bunlar normalde baskılanmış olup dişe dokunur herhangi bir katkıda bulunmazlar. Ancak ileride gerekmeleri durumunda devreye girebilirler. Bu bağlantıları güncelleyen beyin, girdilerdeki değişikliklere hızla cevap verebilir. Bununla birlikte, sessiz bağlantıların sayıları sınırlıdır; dolayısıyla daha uzun dönemli ve yaygın değişimler için farklı bir yaklaşımdan yararlanılır: Kısa dönemli değişimler hayvana yarar sağlamışsa uzun dönemli değişimler de (yeni sinapsların filizlenmesi ve yeni aksonların büyümesi) bunları er veya geç izleyecektir. Bu yaklaşımların ötesinde, sistemin kendini biçimlendirmesine yardımcı olan bir şey daha vardır: ölüm.

İYİ BİR ÖLÜMÜN YARARLARI

Michelangelo'yu bir heykel üzerinde çalışırken düşündüğümüzde, mermerden şaheserini aşama aşama geliştirdiğini, her parmağa, burna, alna, dökülen giysilere tek tek biçim verdiğini hayal etmek kolaydır. Ama unutmayın, işe dev bir mermer kütlesiyle başlamıştır sanatçı. Eserleri bir şey eklemesiyle değil, taşı yerinden parça parça çıkarmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu şaheserlerinin temelinde yatan, o koca kütlenin içinde zaten var olan olasılıkları keşfetmesi olmuştur.

Bu, beynin daha uzun bir zaman ölçeğinde yararlandığı ilkenin aynısıdır. Nöronlar ne de olsa yaşamlarını sürekli ait oldukları yeri aramakla geçirirler. Duyargalarını çıkarmış durumdadırlar hep. İyi bir cevap aldıklarında yola devam ederler ama yüz bulamadıklarında şanslarını yakınlardaki diğer nöronlarla denerler. Herhangi bir olumlu geribildirim almadıkları bir noktaya geldiklerindeyse belirli bir yere ait olmadıkları mesajını sonunda kabul etmek zorunda kalırlar.

Hücre ölümünün iki yolu vardır. Yeterince besin alamadıklarında (örneğin, bir damarın tıkanması dokuyu kana aç hale getirdiğinde), yangıya neden olan (enflamatuvar) kimyasallar dışarı sızarak bölgede hasara yol açar ve hücreleri inceliksiz denebilecek bir ölüme götürür. Bu süreç "nekroz" olarak bilinir. "Apoptozis" olarak anılan ikinci yol ise hücrelerin planlı intiharıdır. Dükkânı bile isteye kapatır, işlerini

yoluna sokar ve kendi kendilerini tüketirler. Hücrenin apoptozis sonucu ölümü kötü bir şey olmamak bir yana, aynı zamanda sinir sistemini biçimlendirme sürecini yönlendiren motordur. Embriyonik gelişim sırasında perdeli bir elden tam biçimlenmiş parmaklara giden yol, hücreleri eklemekten değil, yontup çıkarmaktan geçer. Aynı ilke beyin için de geçerlidir. Gelişim sırasında üretilen nöronlar, ihtiyacın yüzde 50 kadar fazlasıdır. Bu nedenle kitlesel ölüm, sürecin standart bir uygulamasıdır.

KANSER, YOLDAN ÇIKMIŞ PLASTİSİTEYE Mİ İŞARET EDER?

Kanserle ilgili çalışmaların, plastisiteyle ilgili çalışmalarımızla er veya geç çakışması, bana pekâlâ mümkün görünüyor.

Kanser süreci kabaca şöyle özetlenebilir: Bir hücre, defalarca bölünmesine neden olan bir mutasyon geçirir. Bu kontrolden çıkmış çoğalmanın sonucunda bir tümör haline gelir ve sistemin geri kalanını tehlikeye atar.

Ancak kanser gerçekte bundan daha karmaşıktır. Bir tümörde, sağkalım için savaşan milyarlarca hücre vardır ve tümör hücreleri birbirlerinden çok farklı olabilirler. Tıpkı beyinde olduğu gibi, hayatta kalabilmek için aralıksız bir rekabet içinde olmaları gerekir. Ortamdaki besinler sınırlı olduğundan, yaşam bu mücadeleye bağlıdır. Tipik kanserlerde hücrenin geçirdiği mutasyon, ona bu ölüm-kalım savaşında az da olsa bir avantaj, dolayısıyla da komşuları karşısında hafif bir rekabet üstünlüğü sağlar.[22] Ancak bu yeni mutant hücre kendini bir kez kopyalamayagörsün, artık kendi hücreleri de birbirleriyle savaşmaya başlayacaktır. Dolayısıyla yeni avantajlar sağlayacak yeni mutasyonlar da ortaya çıkabilir ve yeni kuşak eskisine göre yine biraz güçlenir. Bu hücreler çarpışmaya, evrimleşmeye ve daha iyi savaşçılar haline gelmeye devam eder ve tümör sonunda konakçıyı öldürür.

Şimdi beyin ve vücuda geri dönelim. Bizler canlı devrelerle donatılmış yaratıklarız. Ve beynimizdeki nöronlar (daha genel olarak, vücudumuzdaki bütün hücreler) sağkalım için sürekli mücadele içindedirler. Aşırı hararetlenen rekabet, kimi zaman patolojik bir duruma

dönüşür. Bazı mutasyonlar, hücreye bu ortamda biraz avantaj sağlayabilir. Ama bütün sistemi ölümcül bir girdabın içine atmak pahasına.

Çokhücreli organizmaların, evrimsel konumlarını bıçak sırtı kaos ortamında bulduklarını ve bu ortamda, işe yarar bir sonuç verecek rekabet ile sistemi ölüme götürecek kadar acımasız rekabet arasında bir denge bulmaya çalıştıklarını öne sürüyorum. Bana göre, kanserin hayvanlar arasında muazzam yaygınlıkla ortaya çıkmasını anlamanın bir yolu da bu. Sözgelimi, birçok memelinin yaşamları süresince kansere yakalanma ihtimali yüzde 30 kadar. Sistemin bu koşulların içine yuvarlanıvermesi, şaşırtıcı derecede kolay gibi görünüyor.

Rekabet için böylesine gergin biçimde ayarlanmış bir sistemde küçücük bir avantaj bile, mutasyon için süregiden mücadeleyi iyice körükleyebilecek olması nedeniyle felaketle sonuçlanabilir. Bütün bileşenleri birbiriyle iyi geçinen bir sistem ise tahminen çoklu mutasyonların getirdiği kanserlere yol açmayacaktır çünkü buna ihtiyacı olmayacaktır.

BEYİNDEKİ ORMANI KURTARMAK

Bu bölümde, alan için süregiden rekabetin tabi olduğu basit kurallardan ve beynin genişletilip sıkıştırılabilen haritaları kodlama olanağını nasıl bulduğundan söz ettik. Bir beyin yarımküresi eksik doğan Alice'le tanıştık ve bir yarımküresi alınan Matthew adlı çocuğa yeniden döndük. Her ikisinin beyin ağları da yeniden düzenlenmişti; öyle ki her iki görme alanı da kalan tek yarımküreye bilgi göndermekteydi. Bunun olabilmesi, sinapslar ve nöronlar düzeyindeki rekabet sayesindeydi. Bu rekabet hem mevcut bağlantıların hızla "açılmasına" hem de zaman içinde yeni aksonların büyüyerek yeni sinapsların filizlenmesine olanak tanımaktaydı. Bu süreç boyunca Alice ve Matthew'nun yürümek, kovalamaca oynamak ya da bisiklete binmek için duydukları istek, beyinlerinin yeniden düzenlenmesine yolu açan anlamlılık ve ilintililik sinyallerini sağlamaktaydı.

Bir yağmur ormanını oluşturan unsurların karmaşıklığı, beni beyin ormanının unsurlarındaki karmaşıklığı düşünmeye itiyor. Sahip

olduğumuz seksen altı milyar nöronu, birbiriyle iyi ilişkiler içindeki ağaçlar ve çalılıklar olarak ele alma eğilimindeyizdir hep. Ama ya nöronlarımız hayatta kalmak için sürekli rekabet etmek zorunda olan orman üyeleri gibiyse? Ağaç ve çalılar uzamak, genişlemek ya da başka konularda rekabet üstünlüğü sağlamak için sayısız strateji denerler çünkü gün ışığını yakalamaya çalışır ve ışık bulamadıklarında ölürler. Görmüş olduğumuz nörotrofik etkenler, nöronların gün ışığıdır. Günün birinde, birbirlerine uyguladıkları rekabet tuzakları temelinde, stratejilerini anlamayı da umuyoruz.

Daha önce de vurguladığımız gibi, bu bölümde ele aldığımız her şey, güncel teknolojilerimizi oluşturma biçimimizden temelde farklıdır. Mühendisler verimlilik, asgari gereklilikler ve çevre dostu teknolojilerle ilgili sezgileri konusunda böbürlenirler. Düzgünlük ve düzene böylesi bir adanmışlık, daha az bağlantı gerektirir belki ama kaos sınırlarında dengede durma, beklenmedik için hazırlıklı olma, sistemi hızla değiştirebilme konusunda yetersiz kalmayı da kaçınılmaz kılar.

Bunları bir kenarda tutarak, sıra şimdi arka planda gizlenmiş bir soruyu ele almaya geldi: Genç beyinler, neden yetişkin beyinlerinden çok daha plastiktir?

9

ESKİ KÖYE YENİ ÂDET

BİRÇOK KİŞİ OLARAK DOĞMAK

1970'lerde MIT'de (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) çalışan psikolog Hans-Lukas Teuber, II. Dünya Savaşı'nda, yani neredeyse otuz yıl önce uzun süreli kafa yaralanmaları geçiren askerlere ne olduğunu merak etmiş ve savaş sırasında beyinleri hasar gören 520 askerin izini sürmüştü. Sonuçta askerlerden kiminin düzgün bir iyileşme gösterdiği, kiminin durumunun pek parlak olmadığı çıktı ortaya. Notlarını titizlikle gözden geçiren Teuber, önemli değişkeni sonunda buldu: Yaralanan asker ne kadar gençse durumu da şimdi o kadar parlaktı; ne kadar yaşlıysa hasar o kadar kalıcıydı.[1]

Genç beyinler, bir bakıma dünyanın beş bin yıl önceki hali gibidir: Farklı olaylar, sınırları birçok farklı yöne itme kapasitesine sahiptir. Ama günümüzde, binlerce yıllık tarihin sonunda dünyanın haritaları da daha bir yerleşmiş gibidir artık. İnsanların kılıçlarını sallayıp tüfeklerini ateşledikleri yüzyılların ardından bölgesel sınırlar artık değişime direnç göstermektedir. Gezgin eşkıya sürüleri ve atlı fatihlerin yerini artık Birleşmiş Milletler ve uluslararası savaş kuralları almıştır. Ülke ekonomileri artık yağmalanabilir hazinelere değil, enformasyon ve uzmanlığa giderek daha bağımlı hale gelmektedir. Bunun da ötesinde, nükleer silahlanma, çatışma olasılığını daha ürkütücü boyutlara taşır. Dolayısıyla ticari tartışmalar ve göçmenlikle ilgili çekişmelerin varlığında bile ülkeler arasındaki sınırların değişme olasılığı düşüktür.

Ülkeler, artık yerlerine oturmuşlardır. Gezegenimizin kara kitleleri, kurulacak sınırların yerleri açısından muazzam bir olasılıklar aralığıyla işe başlasa da bu potansiyel zaman içinde daralmıştır.

Beynin olgunlaşması da gezegeninkine benzer. Sınır savaşlarıyla geçen yılların sonunda, nöral haritalar artık kademeli olarak sabitlenmeye başlamıştır. Bu nedenle beyin hasarı, daha yaşlı kesim için son derece tehlikeliyken, gençlerde bu tehlike daha düşüktür. Yaşlı bir beyin, yerleşik alanlara kolay kolay yeni görevler atayamaz; oysa savaşlarına henüz başlamış bir beyin, haritalarını yeniden kurgulama şansına hâlâ sahiptir.

Hayato ve William adlı bebeklere yeniden dönelim. İlk doğduklarında bile insan dillerinin bütün seslerini "anlayabilirler". Çok daha fazlasını da yapabilirler: Kültürlerinin inceliklerini algılayabilir, dinsel inançları kavrayabilir ve sosyal etkileşimin kurallarını öğrenebilirler. Muazzam miktarda bilgiyi toplamayı öğrenirler ve bulundukları döneme bağlı olarak bunu, bir parşömen rulosunu açarak, bir kitabın sayfalarını çevirerek ya da küçük bir dikdörtgenin ekranını kaydırarak yaparlar.

Ancak yetişkinliğe adım attıklarında, hikâye biraz değişmiştir artık. Bir siyasi partinin üyesi olan Hayato'nun değişme olasılığı pek yoktur. William ise iyi denebilecek düzeyde piyano çalabilmekte, ancak keman ya da diğer çalgılara pek ilgi göstermemektedir. Hayato yemek yapmaktan hoşlanır ve bütün yemekleri, alışmış olduğu on dört içeriğin kombinasyonlarını içerir. William internette geçirdiği zamanı, mevcut milyarlarca web sitesi içinden ayıkladığı ve neredeyse yok olma noktasına kadar küçülmekte olan bir siteler aralığına ayırmıştır. Hayato golfte oldukça başarılıdır ama diğer sporlara hiç merakı yoktur. William sekiz milyon nüfuslu bir şehirde yaşamakla birlikte, yalnızca üç yakın arkadaşı vardır. Okulda öğrendikleri dışında kalan bilim, Hayato'nun ilgisini çekmemektedir. William, her zaman giydiği gömlek tipini bulana kadar dükkân raflarını talan eder; sonunda şaşmaz renklerinden oluşan iki tanesini seçer. Hayato'nun saç kesimi, sekiz yaşından beri aynıdır.

William ve Hayato'nun yaşamlarının yöneldiği bu doğrultular, genel bir durumu vurgular: İnsan bebekleri yerleşik birkaç beceri ve bolca plastisiteyle dünyaya gelirken, yetişkinler belirli işlerde plastisite

pahasına uzmanlaşmışlardır. Uyarlanabilirlik ve verimlilik arasında bir ödün ilişkisi vardır: Beyniniz belirli işlerde uzmanlaşırken, diğerlerinin üstesinden gelme gücünü giderek kaybeder.

6. Bölüm'de değindiğimiz kemancı Itzhak Perlman'ın hikâyesine dönersek: Hayranlarından biri ona kendisi gibi keman çalabilmek için ömrünü verebileceğini söylediğinde Perlman, "Ben de verdim zaten," yanıtını vermişti. Perlman, bu yanıtla yaşamın bir gerçeğine parmak basıyordu: Bir şeyde başarı göstermek, kapıyı başka şeylerin üzerine kapamak anlamına gelir. Yalnızca tek bir hayata sahip olduğunuzdan, kendinizi adadığınız şey, sizi belirli yollarda yürümeye itecek, diğerleri sizin için sonsuza kadar yürünmemiş yollar olarak kalacaktır. İşte tam da bu nedenle, bu kitaba filozof Martin Heidegger'e ait, en sevdiğim alıntılardan biriyle başladım: "Her insan birçok kişi olarak doğar, tek bir kişi olarak ölür."

Nöral ağların merceğinden baktığınızda, örüntü ve alışkanlıkların oturması ne anlama gelir? Birbirinden birkaç kilometre uzakta olan iki kasaba hayal edin. Birinden diğerine gidip gelen insanlar olası bütün yolları kullanıyorlar: Kimi tepeliklerden yürüyerek manzaranın tadını çıkarıyor, kimi kayalıkların gölgelerini tercih ediyor, kimi nehir kenarından kaygan taşlar arasından ilerliyor, kimi daha riskli ama aynı zamanda daha hızlı orman yolunu seçiyor. Zaman ve deneyim, bu yollardan birini daha popüler hale getiriyor ve sonunda en fazla insanın yürüdüğü yol belirginleşerek standart konumuna geliyor. Birkaç yıl sonra yerel yönetim buraya asfalt yollar döşüyor ve bunlar yıllar içinde genişleyerek otoyollara dönüşüyorlar. Böylece geniş olasılıklar aralığı, sonunda bir standarda indirgenmiş oluyor.

Beyin de benzer şekilde, nöral ağlar arasında birçok olası yolla işe başlar; zamanla bu yollardan en çok kullanılanlarından ayrılmak zorlaşır. Kullanılmamış yollar giderek incelir ve başarı yakalayamamış nöronlar kepenkleri kapatarak intihar ederler. Onlarca yıl süren deneyimlerle beyin sonunda çevresini fiziksel olarak temsil eder duruma gelir ve kararlarınız geriye kalan, sağlamlaştırılmış yolları izler. Bunun avantajı, problemlere yıldırım hızıyla çözümler üretebilmenizken dezavantajı, bu problemlerin üzerine dizginsiz, yapılandırılmamış bir yaratıcılıkla yürümenin artık daha zor olmasıdır.

Kullanılabilecek yollar için azalan olasılıklar bir yana, daha yaşlı beyinlerin daha az esnek olmalarının ikinci bir nedeni vardır: Değişim gerçekleşse bile yalnızca küçük noktalarda gösterir kendini. Bebek beyni ise aksine, bu değişimi geniş alanlar boyunca yaşar. Asetilkolin ve benzeri yayın sistemlerinden yararlanan bebekler, bildirileri beynin bütünü içinde dağıtarak yol ve bağlantıların değişmesine olanak tanırlar. Beyinlerinin değişebilirlik özelliği her bölge için geçerli olup tıpkı bir Polaroid fotoğraf gibi yavaş yavaş odaklanır. Yetişkin beyninde değişen ise her seferinde küçük parçalardır. Beyin, öğrendiklerine tutunabilmek için bağlantılarının çoğunu sabitleyerek korurken, esneklik özelliğini yalnızca küçük alanlarla sınırlı tutar. Bu alanları esnek hale getiren şey ise sadece doğru nörotransmiterlerin varlığında açılabilen şifreli bir kilittir.[2] Yetişkin beyni, neredeyse tamamlanmış bir tabloda yalnızca birkaç noktanın renk tonunu değiştiren bir noktacılık (puantilizm) akımı ressamı gibidir.

Küçük bir not: Bebeğin bu muazzam işlenebilirlikteki beyninin içinde olmanın nasıl bir *his verdiğini* merak ediyor olabilirsiniz. Hepimiz bebekken oradaydık ama hatırlayamıyoruz. Öyleyse esnek ve baskılanmamış haldeyken, koca bir aralığı kapsayan yeni olguları öğrenmek nasıl bir şey olabilir? Bu anlayışa yaklaşmanın muhtemel bir yolu, farkındalık ve esnekliğinizin bütün pistonlarınızı harekete geçirdiği başka durumları düşünmektir. Sizin için yeni olan bir ülkeye gitmiş dikkatli bir gezginseniz ülkenin sunduğu görüntüleri içinize çeker ve böylece daha fazla yenilik deneyimler, daha fazla öğrenir ve dikkatinizin dağılım alanını geniş tutarsınız. Sonuçta evinizdeyken çok az şeye dikkat edersiniz; her şey fazlasıyla öngörülebilirdir. Yolculuğa çıktığınızda, bütün bilinciniz harekete geçer. Bu açıdan bakılırsa bir şeyle fazlaca meşgul olup ona dikkatimizi verdiğimizde, bir anlamda yeniden bebekliğimize döneriz.[3]

Bebeklerle yetişkinler arasındaki farkları görmek kolaydır ama birinden diğerine gerçekleşen nöral dönüşümler düz bir çizgide ilerlemez. Süreç, daha çok kapanıveren bir kapıya benzer. Bir kez kapandı mı, büyük ölçekli değişimlerin sonu gelmiş demektir.

HASSAS DÖNEM

Kitabın başında tanıştığımız ve beyninin yarısı ameliyatla alınan Matthew adlı çocuğa bir kez daha dönelim. "Hemisferektomi" olarak bilinen bu tür radikal işlemler, genellikle ancak hasta sekiz yaşından küçükse tavsiye edilir. Matthew bıçak altına yattığında altı yaşındaydı; ameliyat açısından sınır yaşa yaklaşmıştı. Yaşı daha büyük (örneğin, ergenlik çağındaki) bir çocuk, yapacağı işler için beyninin geçireceği uyarlanma sürecine bel bağlamak yerine, işleri beynine uygun hale getirerek yaşamayı öğrenmek zorundadır.[4]

Kapanan kapı, beynin geçirdiği daha incelikli değişimlerde de görülebilir. Florida'daki bir evde bulunan ve ciddi düzeyde ihmal edilmiş Danielle adlı kızı hatırlayın. Bütün çocukluğunu hapsedildiği odada geçiren Danielle bu arada ne ilgi görmüş ne de kendisiyle konuşan olmuştu. Sonunda konuşamaz, uzağı göremez ve insanlarla normal bir etkileşim kuramaz hale gelmişti. Danielle'in tümüyle düzelme şansının düşük olması ise tek bir temel nedene dayanıyordu: fazlaca geç bulunmuş olması. Polis onu bulana kadar Danielle'in kurmuş olduğu dünya haritası büyük ölçüde yerine oturmuştu bile.

Matthew ve Danielle'in hikâyeleri aynı şeyi anlatıyor: Beynin en esnek olduğu dönem ilk zamanları, "hassas dönem" olarak bilinen zaman aralığıdır.[5] Bu dönem geride bırakıldıkça, nöral coğrafyayı değiştirmek giderek güçleşir.

Danielle örneğinde gördüğümüz gibi, bir çocuğun beyni, bu hassas dönem sırasında bolca konuşma işitmeye ihtiyaç duyar. Bu tür bir girdi olmaksızın nöronlar asla kendilerini dilin temel kavramlarını yakalayacak şekilde düzenleyemezler. Durumun herhangi bir işitsel girdi alamayan, sağır doğmuş bir bebekte nasıl olacağını merak ediyor olabilirsiniz. İşte yanıt: Ailesi kendisiyle işaret diliyle konuştuğu sürece bebeğin beyni, devrelerini iletişime uygun şekilde kuracaktır. Bebek bunun yanında –konuşma diline maruz, işitebilen bir bebeğin ses telleriyle yaptığı gibi– babıldamak için ellerinden yararlanarak, işaret dilini andırır hareketler de yapar.[6] Bulunduğu ortamda girdiler olduğu sürece, bebek bunları yakalayacaktır; yeter ki girdiler hassas dönemde gelsin. Çünkü o kapı bir kez kapandıktan sonra, iletişimin temellerini öğrenmek için fazla geç kalınmış demektir.

Sonuç olarak, iletişim kurma becerisini kazanmak, ayrıca dilin aksan gibi daha incelikli yönlerini yakalamak, belirli bir zaman aralığında mümkündür.[7] Oyuncu Mila Kunis, Amerikan İngilizcesini konuşmasında belirgin bir aksan algılanmaksızın konuşur ve bu nedenle birçok kişi onun Ukrayna'da doğup büyüdüğünü, yedi yaşına kadar da tek kelime İngilizce konuşmadığını bilmez. Buna karşılık, yirmili yaşlarının başından beri Hollywood ve Amerikan sinemacılığıyla temas halinde olan Arnold Schwarzenegger'ın Avusturya aksanından kurtulması pek mümkün görünmüyor çünkü İngilizce konuşmaya, beyni açısından fazla geç başlamış. Genelde, yeni bir ülkeye ilk yedi yılınız içinde giderseniz hassas dönemin pencereleri hâlâ açık olacağından, bu yeni dilde ülkenin vatandaşları kadar akıcı konuşabilirsiniz. Ülkede yaşamaya sekiz ila on yaşları arasında başlarsanız uyum süreciniz biraz daha zor olsa da buna oldukça yaklaşırsınız. Ama oraya taşındığınızda onlu yaşlarınızı Arnold gibi geride bırakmışsanız, akıcı konuşma düzeyiniz de olasılıkla düşük kalır ve geçmişinizi ele veren aksandan kurtulamazsınız. Konuşma açısından farklı bir kültürle bütünleşme beceriniz, sadece on yıl kadar açık duran bir kapıdan geçmenize bakar.

Daha önceki sayfalarda, göz hizalanması bozuk olarak doğan çocuklara yardımcı olabilmek adına, rekabet ilkelerinden nasıl yararlanabileceğimize değinmiştik. Bunun bir yolu, sağlam gözü bir süreliğine kapatıp zayıf göze kaybettiği alanı yeniden kazanmak için mücadele şansı tanımaktı. Ama sağlam gözün kapatılması işinin, hassas dönemde, yani kabaca ilk altı yıl içinde gerçekleşmesi önemlidir; yoksa geç kalınmış demektir. Göz, bundan sonra kurtarılamaz.[8] Altı yaştan sonra beyindeki toprak yollar otoyola dönüşmüş ve artık değiştirilemez hale gelmiştir.

Aynı şeyler körlük için de geçerlidir. Daha önce gördüğümüz gibi, görme korteksinin ele geçirilen miktarı, doğuştan kör olanlarda en fazla, erken çocuklukta kör olanlarda daha az, hayatın ileriki aşamalarında kör olanlarda da en azdır. Girdilerde daha erken dönemlerde gerçekleşen değişiklerle baş etmek, daha geç görülen değişikliklere göre daha kolaydır. Bu ilke, performans açısından bakıldığında da gösterir kendini. Görme korteksinde ele geçirilen alan büyüdükçe, sözcük listelerini hatırlamada başarı artar çünkü başlangıçta görme korteksi olarak hizmet veren alan, artık bellekle ilgili işlevler görecek şekilde güncellenmiştir.[9] Bekleneceği gibi, ezberleme avantajı en

fazla doğuştan kör olanlarda ortaya çıkar. Erken dönemde kör olanlar ikinci sıradayken, görme yetisini ileriki yaşlarda kaybedenlerde ezberleme becerisi ya çok az ilerler ya da hiç ilerlemez.[10] Zamanlama önemlidir.

Bu tür bilgiler, ameliyat olasılıklarını değerlendiren cerrahlar için kritik önemdedir. Görüşe engel olan etkenin ortadan kaldırılması için yapılan bir ameliyat, hastanın yaşına bağlı olarak birçok farklı sonuca yol açabilir: Genç bir kişi hızla yeniden görme deneyimini kazanabilir ama bu sonuca daha yaşlı kişilerde daha az rastlanır. Hatta görme yetisini uzun süreli olarak kaybetmiş olanlarda, görsel verilerin oksipital kortekse akışını yeniden sağlamak, önceden dengede olan dokunma ve işitme sistemlerinde aksamalara neden olabilir.[11]

Şimdi de dağ gelinciğiyle yapılan deneye geri dönelim. Deneyde hayvanın görme sinirleri, işitme sistemine bağlanacak şekilde yeniden düzenlenmiş, görsel bilgiler normalin dışındaki bir bölgeye ulaştığı halde korteks verileri nasıl çözümleyeceğini bulmuştu. Ancak işitme korteksindeki dönüşümün tamamlanmadığını da göz ardı etmemek gerekir: Devrelerin görme korteksine kıyasla biraz daha düzensiz olması, işitme korteksinin kısmen farklı girdiler için doğuştan optimize olabileceğini düşündürür.[12] Eğer öyleyse korteksin değişme kapasitesi, en azından bir ölçüde, genetik nitelikli bir önceden belirlenmeyle dengelenmiş olabilir. Ama bu aynı ölçüde, işitme korteksinin deneysel müdahale yapılana kadar çevresindeki seslerin istatistiksel dökümünü bir ölçüde de olsa ortaya çıkarma fırsatını zaten bulmuş olduğu anlamına da gelebilir. Görsel lifler, gelişimin ilk anlarında (örneğin rahim içindeyken) (ki şimdiki koşullarda yapılması olanaksız bir deneydir bu) işitme korteksine bağlanmış olsaydı dönüşümün tamamlanması da mümkün olabilirdi.

Gelişimsel zamanlamanın etkisi, bütün duyular için geçerlidir. Bir parmak kaybedildiğinde ya da yeni bir müzik enstrümanı çalmayı öğrenirken vücut haritasının nasıl yeniden ayarlandığını hatırlayın. Genel olarak bu tür değişiklikler genç beyinlerde, yaşlı beyinlere göre daha fazla gerçekleşir. Aksansız konuşabilen Mila Kunis'te olduğu gibi, Itzhak Perlman'ın da kemana küçük yaşta başladığını görürüz. Keman çalışmaya ilk kez onlu yaşlarınızda başlarsanız bir Perlman olmanıza imkân yoktur. Aynı çalışma süresini yakalamak için daha fazla

çabalasanız bile beyniniz yarışta çoktan geride kalmıştır: Siz gençlik yıllarınızın ilk pizzicato'sunu* gerçekleştirene kadar, o çoktan katılaşmıştır bile.

Hem görüş hem dil hem de kemanda ustalık kazanmak, dünyadan gelecek normal girdilere bağlıdır. Danielle gibi bir çocuk bu girdileri alamazsa daha sonra da alamayacaktır. Dil öğrenme, görebilme, sosyal etkileşim kurabilme, normal yürüyebilme becerileri ve normal bir sinirsel gelişim, çocukluğun erken yıllarıyla sınırlıdır. Belli bir noktadan sonra bu beceriler kaybolur. Beynin en işe yarar bağlantıları kurabilmesi için doğru girdileri doğru zaman aralığında alması gerekir.

Yavaş yavaş azalan esnekliğin bir sonucu olarak, çocuklukta yaşadıklarımızın üzerimizdeki etkisi büyüktür. Buna ilginç bir örnek olarak, bir insanın boy uzunluğu ile aldığı maaş arasındaki ilişkiye bakabiliriz. Amerika'da uzunluğa eklenen her bir inç (2,5 santimetre), net maaşta yüzde 1,8'lik bir artışa karşılık gelir. Peki, neden? Çoğunluğa göre bu durum işe almada uygulanan ayrımcılığın bir sonucudur: Herkes, verdiği hükmedici izlenimden dolayı uzun kişiyi işe almak ister. Ama bunun daha derin bir nedeni olduğu anlaşılıyor. Bir erkeğin gelecekteki maaşının en iyi göstergesi, *on altı yaşındayken* sahip olduğu boy uzunluğudur ve bundan sonra ne kadar uzadığı, sonucu değiştirmez.[13] Bu sonucu nasıl çıkarıyoruz? Durum, insanların beslenme tiplerindeki farkların bir etkisinden kaynaklanıyor olabilir mi? Hayır. Araştırmacıların yedi ve on bir yaştaki boy uzunluğu ile beslenme alışkanlıklarını ilişkilendirdikleri bir çalışmada, etkinin o kadar güçlü olmadığı anlaşılmıştı. Buna karşılık, onlu yaşlar sosyal statünün biçimlendirildiği yıllardır ve bunun bir sonucu olarak yetişkinlikte nasıl biri olduğunuz, o zamanlarda nasıl biri olduğunuza kuvvetle bağlıdır. Bunun da ötesinde, binlerce çocuğun yetişkinliğe kadar izlendiği çalışmalar, onlu yaşlardaki boy uzunluğunun en çok sosyal yönü ağırlıklı işlerde (satış ya da personel yönetimi gibi) etkili olduğunu gösteriyor. İşçiliğin devreye girdiği meslekler ya da sanatsal mesleklerde bu etki daha azdır. Gelişme döneminde insanların size nasıl davrandığı, özsaygı, kendine güven ve liderlik açısından duruşunuzu belirlemede büyük rol oynar.

* Pizzicato: Yaylı çalgılarda, tellerden yay ile değil, parmak vuruşlarıyla ses çıkartıldığı çalma tekniği. (*ç.n.*)

Örnek vermek gerekirse: Medya yıldızı Oprah Winfrey'nin sahip olduğu varlıkların 2,7 milyar doları bulduğu düşünüldüğünde, evsiz ve beş parasız kalma yönünde kökleşmiş korkuları olduğu iddiaları şaşırtıcıdır. Ama bunun nedeni, onu bu noktaya getiren yoldur. Oprah medyanın imparatoriçesi haline gelmeden çok önceleri, onlu yaşlarında tek başına yaşayan bir annenin çocuğu olarak doğmuş, çocukluğunu Mississippi'de yoksulluk içinde geçirmiştir.

Aristoteles'in iki bin dört yüz yıl önce belirttiği gibi, "Çocuklukta kazandığımız alışkanlıklar ufak bir fark değil, farkın tamamını yaratır."

Hassas dönem kavramını açıklamak için aniden kapanan kapı benzetmesinden yararlanmıştım. Şimdi bu benzetmeyi bir sonraki aşamaya taşıyabiliriz. Bir değil, birçok kapıdır söz konusu olan.

KAPILAR FARKLI HIZLARLA KAPANIR

Beyin ilk günlerinde etkiye o kadar açıktır ki kimi zaman başı belaya bile girebilir. Sözgelimi, yumurtadan çıkan kaz yavrusu, gördüğü ilk hareketli nesneye ebeveyni gözüyle bakar. Bu birçok durumda işe yarar bir stratejidir çünkü gözünün ilk çarptığı şey çoğunlukla annesidir zaten. Ama yanlış koşullarda pekâlâ yanılabilir de. 1930'lu yıllarda zoolog Konrad Lorenz, kazların kendisini "mühürlemeleri" (*imprinting*)* için hiç de fazla çaba harcamak zorunda kalmamıştı; kaz yavruları yumurtadan çıktıktan sonra, o kısacık plastisite aralığında ortalıkta belirivermesi, yavruların onu bir ebeveyn gibi görüp peşinden koşturmaları için yetip de artmıştı bile.

Kazların ebeveynlerini mühürlemeleri için fazla zamanları yoktur; hızla kapanan bir kapıdır onlarınki. Ancak yaşamlarının daha sonraki dönemlerinde nehrin nerede olduğu, yiyecek bulmak için en elverişli yerlerin hangileri olduğu ve yetişkinlikte karşı karşıya geldikleri diğer kazların kimlikleri gibi başka şeyler öğrenebilirler.

* Mühürleme (*imprinting*), hayvanlarda doğumdan ya da yumurtadan çıktıktan hemen sonra ortaya çıkan ve belirli bir birey (hayvan veya insan) ya da nesnenin ebeveyn olarak görüldüğü, uzun dönemli bir davranış örüntüsüdür. (*ç.n.*)



Konrad Lorenz ve onu "mühürleyen" kazları.

Hassas dönemler, beynin farklı işlevlerine göre değişir. Hayata ne kadar esnek başladıkları ve uyarlanabilirliklerini koruma süreleri açısından, bütün beyin bölgeleri aynı ölçüde plastik değildir.

Önce hangi alanların sabitlendiğini belirleyen bir örüntü var mıdır peki? Araştırmacılar, yetişkin görme korteksinde retina hasarını izleyen değişimleri ararken olanlara göz atalım. Görme korteksindeki komşu alanlar, kullanılmayan alanı ele geçirecekler miydi? Geçireceklerse hangi hızla geçireceklerdi? Araştırmacılar, görme korteksinde ölçülebilir herhangi bir değişim bulunmadığını gördüklerinde şaşırmışlardı. Korteksin etkin olmayan bölgesi bu şekilde kalmış, çevre alanlarca devralınmamıştı.[14] Plastisiteyle ilgili çalışmaların geçmişi göz önüne alındığında biraz beklenmedik bir sonuçtu bu. Ne de olsa yetişkinlerin somatosensoriyel ve motor alanlarında, ilerleyen yaşlarda bile yelken kanat ya da kar kaykayı öğrenmeye izin veren epeyce bir esneklik vardı.[15]

Öyleyse görme eylemini ve vücudu ele alan çalışmalar arasında nasıl bir fark vardır? Birincil görme korteksindeki örüntüler, birkaç yıl gibi kısa bir zaman aralığında yerine otururken, somatosensoriyel ve motor korteksler neden öğrenmeyi sürdürebilir? Gözlerinde

hizalanma bozuklukları olan sekiz yaşında bir çocuğun bir gözü geri dönüşsüz biçimde kör olurken, elli sekiz yaşında felçli bir yetişkin neden robot kullanmayı öğrenebilir?

Beynin farklı alanları, farklı plastisite programları temelinde çalışırlar. Bazı nöral ağlar inatçıyken, bazıları son derece uysaldır ve bazı hassas dönemler kısa, bazıları uzundur.

Bu çeşitliliğin arkasında işleyen genel bir ilke var mıdır peki? Bir olasılık, farklı hassas dönemlerin, farklı alanların temelindeki farklı öğrenme stratejilerinden kaynaklanmasıdır.[16] Buna göre, bazı alanlar yaşam süresince öğrenmeye ayarlıdır çünkü var oluşlarının temelinde yatan şey, dünyanın değişebilir ayrıntılarını kodlamaktır. Yeni sözcükler ya da yeni yollar öğrenmeyi, insan yüzlerinin görsel olarak tanıma eylemlerini düşünün. Bunlarda esnekliği korumak işinize gelir. Aksine, daha kararlı ve kalıcı ilişkilendirmelerin söz konusu olduğu olgular (görsel yapıtaşları, yiyeceklerin çiğnenmesi ya da genel gramer kuralları gibi), kapının daha hızlı kapanmasını gerektirir.

Peki ama beyin, neleri hangi sırayla sabitleyeceğini önceden nasıl bilebilir? Bu da genetik olarak mı belirlenmiştir? Bazı açılardan öyle olabilir; ama ben bu noktada yeni bir varsayım öneriyorum: Bir beyin alanındaki plastisitenin derecesi, dış dünyadan gelen verilerin ne kadar değiştiğini (ya da değişebileceğini) yansıtır. Bu veriler hep aynıysa sistem onlar etrafında kemikleşir; sürekli değişim altındaysa sistem esnekliğini korur. Sonuç olarak kemikleşen ilk veriler, değişmez olanlarıdır.

Kulaklardan gelen bilgiyi, vücuttan gelen bilgiyle kıyaslayalım. Dünyanın temel seslerini kodlayan alanlar (birincil işitme korteksi gibi) değişime direnç gösterir ve hızla sabitlenirler. Olası seslerden oluşan işitsel tablolarını yerine oturtan William ve Hayato adlı bebeklerde gerçekleşen şey buydu. Buna karşılık vücudun yönlendirilmesiyle ilgili motor ve somatosensoriyel alanlar daha esnek kalır çünkü vücut planları yaşam süresince değişebilir: şişmanlarsınız, zayıflarsınız; ayağınıza bot ya da terlik geçirir, belki de koltuk değneği kullanırsınız; bisiklete ya da scooter'a biner, trambolin üzerinde zıplarsınız. William ve Hayato da işte bu nedenle yetişkinlikte bir tatil için buluşup rüzgâr sörfü öğrenebilirler. Sesin istatistiklerinde pek değişen bir şey yokken, vücudunuza dış dünyadan gelen geribildirimler sürekli değişim

altındadır. Bunun sonucunda birincil işitme korteksi kendini sabitlerken, genel vücut planı daha esnek kalır.

Şimdi tek bir duyuya, örneğin görme duyusuna yakından bakalım. Nöronlar düşük düzeyli görme alanlarında (birincil görme korteksi gibi) kenarlar, renkler ve açılar gibi, dünyanın temel özelliklerini kodlarlar. Buna karşılık korteksin daha yüksek düzeyli bölgeleri, sokağınızın yerleşimi, yılın spor arabasının gösterişli kalıbı ya da telefonunuzdaki uygulamaların düzenlenmesi gibi daha özel unsurlarla ilgilidir. İlk olarak düşük düzeyli alanlardaki bilgi yerleşir ve izleyen katmanlar bu temelin üzerine ağlar halinde yığılır. Böylece çizgilerin konumlandırılmasında kullanılacak olası açılar yerlerine sabitlenir ama yeni bir film yıldızının yüzünü hâlâ öğrenebilirsiniz. Bu esneklik hiyerarşisi içinde, en alt katta temsil edilen şeyler en önce öğrenilir. Bunlar, görsel dünyanın değişme olasılığı düşük olan temel istatistiklerini yansıtmaktadır. Daha üst düzeyli olguların öğrenilebilmesi için (ki bunlar daha hızlı değişecektir) bu alt düzey gösterimlerinin kararlı halde kalması gerekir.

Bir benzetme yaparsak: Bir kütüphane kuracak olsanız önce temel unsurları (rafların konumları, Dewey onlu sınıflama sistemine göre yapılacak düzenleme ve kitap ödünç alma işlemlerinde uygulanacak iş akışı vs.) sağlama almak istersiniz. Bunlar bir kez yerine oturduktan sonra, kitaplar için esnek bir envanteri sürekli kılmak, verilen hizmetleri heyecan verici kataloglarla sunmak, miadını doldurmuş ciltleri azaltmak ve yeni çıkan kitapları düzenli olarak araştırmak, çok daha dolaysız bir iştir.

Öyleyse beynin yaşlandıkça plastisite özelliğini koruyup koruyamadığının tek bir yanıtı yoktur. Her şey, hangi beyin bölgesinden söz ettiğimize bağlıdır. Plastisite yaşla düşüşe geçer ama bu düşüş beynin her tarafında farklı biçimlerde gerçekleşir. İşleve bağlı olarak belirgin de olabilir, belli belirsiz de.

Plastisitenin değişimi yansıttığı yönündeki bu varsayımın genetikte de bir benzeri vardır. Görünüşe bakılırsa genomlar, bilimin hâlâ anlamaya çalıştığı yollarla nükleotid dizilerinin bazı bölümlerini, diğerlerinden daha büyük oranda kilit altına alır ve böylece onları mutasyonlara karşı korumuş olurlar. Buna karşılık, kromozomların diğer bölgeleri daha değişkendir. Kabaca ifade edersek, bir genetik dizinin

değişkenliği, dünyadaki özelliklerin değişkenliğini yansıtır.[17] Sözgelimi, deri pigment genleri değişkendir çünkü insanlar kendilerini farklı enlemlerde bulduklarında yeterince D vitamini alabilmek için pigment değişimine gitmek zorunda kalırlar. Buna karşılık, şekerleri parçalayan proteinleri kodlayan genler kararlıdır çünkü şeker kritik ve değişmez bir enerji kaynağıdır. Buna benzer şekilde, gelecek araştırmalarda insan yaşamındaki zihinsel, sosyal ve davranışsal işlevlerin "değişkenliği" de ölçülür hale gelip beynin en esnek devrelerinin, çevredeki en değişken unsurları yansıttığı varsayımı sınanabilir.

ONCA YILDAN SONRA

Yetişkinler çocuklara imrenir. Çocuklar farklı dilleri inanılmaz hızla öğrenme, bir problemi sihirli denebilecek tuhaflıktaki yaklaşımlarla ele alma ve yaşanan her deneyimin (uçak penceresinden dışarıya bakmaktan, bir tavşanı okşamaya kadar) yeniliği karşısında heyecan duyma gibi yeteneklerle donatılmışlardır. Yaşlı beyinlerin kapalı kapıları daha fazladır ve Teuber'in II. Dünya Savaşı gazilerinden görece yaşlı olanları işte bu nedenle daha kötü sonuçlarla kalmış, Schwarzenegger bariz Avusturya aksanından yine bu nedenle kurtulamamıştır. Benzer şekilde, bir kent de ne kadar eskiyse, altyapısı değişime o ölçüde direnç kazanır. Sözgelimi Roma, kıvrımlı cadde ve sokaklarını Manhattan'daki düzgün, ızgaralı dokuya benzeyecek şekilde değiştiremez; çünkü yılankavi yollarını yerlerine sabitlemiş olan unsur, upuzun bir tarihtir. Tıpkı gelişmekte olan insanlarda olduğu gibi, kentlerde de ilk kullanılan yollar, giderek derinleşecektir.

Fizikçi Alan Lightman, otuz beş yaşında olduğu 1984'te *The New York Times*'a kısa bir yazı yazmıştı. "Elapsed Expectations" (Geçip Giden Beklentiler) başlığını taşıyan yazıda, artık kemikleştiğini hissettiği zihninden yakınmaktaydı:

> Sporcular gibi, bilim insanlarının da en verimli ve üretken oldukları zaman, gençlik yıllarıdır. Isaac Newton yerçekimi yasasını bulduğunda 20'li yaşlarının başlarında, Albert Einstein

> özel görelilik kuramını biçimlendirdiğinde 26 yaşındaydı. James Clerk Maxwell ise elektromanyetik kuramı ortaya koyup kırsaldaki evine çekildiğinde 35 yaşındaydı. 35 yılı devirdiğim birkaç ay öncesinde, fizikteki kariyerimi gözden geçirdiğim tatsız ama karşı konulmaz düşüncelere daldım. Bu yaşa ya da en fazla bir iki yıl sonrasına kadar, en yaratıcı başarılarınızı ortaya koymuş ve görünür kılmışsınızdır. Ya bu malzemeye sahipsinizdir ve onu kullanmışsınızdır ya da geçmiş olsun.

Aynı duygular, bir televizyon söyleşisi sırasında fizikçi James Gates tarafından da dile getirilmişti:

> Yaşlı fizikçilerin, yeni fikirleri ancak öldüklerinde kabul ettikleri yönünde bir rivayet vardır. Yeni fikirleri tam olgunlaşmış bir ürün verme noktasına getiren, hep bir sonraki kuşaktır. Benim gibi yaşlı bir fizikçi haline geldiğinizde, bir sürü şey biliyorsunuzdur artık ve bu da gemideki fazla yükler gibi aşağı çeker sizi. Bildiğiniz onca şeyin yüküdür bu. Ve bazen bir fikir, küçük bir peri ya da cin gibi önünüzden geçip gidiverir. "Yazık, bunun ne olduğunu bilmiyorum ama çok önemli bir şey olabilir," dersiniz. Bazen öyledir de gerçekten.

Bu yakınmalar, yaşlanmakta olanlar için çok tipiktir. Ama neyse ki beyin plastisitesi yıllar içinde azalsa da var olmayı sürdürür. Canlı bağlantılılık, yalnızca gençlerin tadını çıkardığı bir ayrıcalık değildir. Nöronlar düzeyindeki yeniden yapılanma, bütün yaşamımız boyunca devam eden bir süreçtir: Fikirler üretir, yeni bilgileri toplar, insan ve olayları hatırlarız. Evet, esnekliği azalmıştır belki ama Roma evrim geçirmeye devam etmektedir. Kent, yirmi yıl önceki kent değildir. Heykellerinin arasına baz istasyonları ve internet kafeler serpilmiştir artık. İşlevsiz unsurlarını değiştirmek zor olsa da kent daha ince noktalarda yeni koşullara göre ilerleme kaydeder. Tıpkı mimarisi büyük ölçüde yerine oturmuş bir kütüphanenin içeriğinde gerçekleştirilen değişimler gibi.

Bu duruma kitap boyunca değindiğimiz birçok çalışmada tanık olduk. Jonglörlük, yeni bir müzik çalgısını öğrenmek, Londra haritaları

vb. konuların hepsinde yetişkinlikteki plastisite rol oynamaktaydı. Çarpıcı bir diğer örnek, yakın geçmişte Rahibeler Çalışması olarak bilinen ve manastırlarda yaşayan yüzlerce Katolik rahibeyi ele alan onlarca yıllık bir çalışmadan filizlendi.[18] Bütün rahibeler, çalıma kapsamında bilişsel işlevlerinin düzenli olarak test edilmesini, tıbbi kayıtlarının paylaşılmasını ve ölümlerinden sonra beyinlerini bağışlamayı kabul etmişti. Şaşırtıcı sonuç, bilişsel olarak herhangi bir düşüş yaşamayan –ve son derece kıvrak bir zekâya sahip olan– bazılarında, otopsi sonuçlarının Alzheimer hastalığıyla delik deşik olmuş bir beyne işaret etmesiydi. Başka bir ifadeyle, nöral ağları fiziksel olarak bozulmakta olduğu halde, performansları sağlam kalmıştı. Bu nasıl açıklanabilirdi? İşin sırrı, manastırdaki rahibelerin, zekâlarını son günlerine kadar kullanmak zorunda oluşlarıydı. Sorumlulukları, rutin işleri, sosyal hayatları vardı; tartışmalara giriyor, oyun geceleri ve grup tartışmaları düzenliyorlardı. Seksen yaşını devirmiş insanlarda genellikle olduğu gibi, kendilerini televizyon karşısındaki kanepeye atacakları bir emeklilik yaşamamışlardı. Kullandıkları nöral yollardan bazıları fiziksel olarak dağılmakta olduğu halde, zihinsel yaşamlarının etkin kalışı, beyinlerini sürekli olarak yeni köprüler kurmaya itmişti. Hatta, rahibelerin üçte bir gibi çarpıcı bir oranı, beklenen bilişsel belirtiler ortaya çıkmaksızın, hastalığın patolojik belirtilerini moleküler düzeyde de göstermişti. Sonuç olarak, aktif bir zihinsel yaşamın çok yaşlılarda dahi yeni bağlantıları teşvik ettiğini söyleyebiliyoruz.[19]

Demek ki öğrenme her yaşta gerçekleşebiliyor. Peki, beyin olgunlaştıkça bu süreç neden yavaşlıyor? Nedenlerden biri, çok sayıda kapının kapanmış olması. Ama duruma bakmanın bir yolu daha var. Beyindeki değişikliklerin, içsel model ile dış dünyada olup bitenler arasındaki *farklarla* yönlendirildiğini unutmayın. Dolayısıyla beyin, yalnızca beklenmedik bir durum karşısında değişim geçirir. Yaş alıp dünyanın kurallarını (ev yaşamınızdaki beklentilerden, sosyal çevrenizde karşılaştığınız davranışlara ve tercih ettiğiniz yiyeceklere kadar) çözümlemeye başladıkça, yeni uyarılar karşısında giderek daha az zorlanan beyniniz, bu nedenle yerine yerleşmeye başlar. Mesela, çocukluğunuzda sahip olduğunuz içsel model, inandığınız her şeye bütün insanların da inandığınızı söyler. Ama dünya deneyimleri size

öngörünüz ile yaşadıklarınız arasındaki farkı öğrettikçe, ağlarınız genişlemekte olan uçurumla baş etmeyi öğrenir.

Ya da yeni bir işe başladığınızda olanları düşünebilirsiniz. Başlangıçta her şey yenidir; iş arkadaşlarınızdan sorumluluklarınıza ya da kullandığınız yaklaşımlara kadar. Yeni işinizi içsel modelinize kattığınız ilk birkaç gün ve hafta içinde, beyninizin plastisitesinden epeyce yararlanırsınız. Bir süre sonra işte ustalaşırsınız. Beceri, esnekliğin yerini alır.

Ülkelerin yerlerine yerleşme biçiminde de karşılaşırız bu örüntüyle. Herhangi bir ülkedeki anayasal değişiklikleri ele alalım: Değişikliklerin büyük bölümü başlangıçta, ülkenin, kendisini yönetmede yararlanacağı stratejileri öğrenmekte olduğu sırada gerçekleşir. Anayasanın artık yerine oturmuş olduğu daha sonraları, değişiklikler de seyrelir. Sözgelimi, ABD Anayasası'nda değişikliklerden on ikisi, ilk on üç yılda gerçekleşmişti. İzleyen yirmi yıllık dönemlerin tamamında değişikliklerin azami sayısı dörtte kaldı ve çoğu dönemde herhangi bir değişiklik yapılmadı. 1992'de onaylanan Yirmi Yedinci Yasa Değişikliği, gerçekleşen son değişikliktir ve Anayasa o zamandan bu yana olduğu gibi kalmıştır. Ülkeler dünyaya uyum süreçlerini bu şekilde, yavaş yavaş hafifletirler: Başlangıçtaki yoğun değişim dönemi, yerini ülkenin işlevsellik için ihtiyaç duyduğu yerleşik ve işler bir modele bırakır.

Aynı şekilde, beynin "katılaşması" da dünyayı anlamadaki başarısını yansıtır. Nöral ağların yerlerine daha derinlemesine yerleşmelerinin nedeni kaybolan işlevler değil, dünyayı çözümlemede göstermiş oldukları başarıdır. Öyleyse bir çocuğun plastisitesine bir daha sahip olmak ister misiniz gerçekten? Önüne çıkan her şeyi soğuran süngerimsi bir beyin insana cazip gelse de yaşam oyunu büyük ölçüde kuralları çözümlemekle ilgilidir. Değişebilirlik konusunda kaybettiklerimizi, uzmanlıkla yerine koyarız. Büyük çabalarla elde ettiğimiz ilişkiler ağı tümüyle doğru, hatta kendi içinde tutarlı bile olmayabilir ama bu ağlar yaşam deneyimine, uzmanlığa ve dünyaya yaklaşım biçimimize karşılık gelir. Bir çocuk, bir şirketi yönetecek, derin fikirlerin tadını çıkaracak ya da bir ulusa liderlik edecek kapasiteye sahip değildir. Plastisite azalmasaydı, dünyanın âdetleri ve düzenini de içinizde sabitleyemezdiniz. Ne örüntüleri doğru dürüst tanıyabilir ne de sosyal

yaşamda yolunuzu bulabilirdiniz. Kitap okuyamaz, anlamlı bir sohbet yürütemez, bisiklete binemez ve kendinize yiyecek temin edemezdiniz. Esnekliği tümüyle korumak, bir bebeğin çaresizliğiyle yaşamak olurdu sizin için.

Ya yaşam boyu biriktirdiğiniz anılar? Beyin plastisitenizi yenileyecek bir kapsül yutabildiğinizi farz edin: Bu size nöral devreler ağını yeniden programlama olanağını sağlıyor; öyle ki yeni dilleri artık hızla öğrenebiliyor, konuşmada yeni aksanlar kazanıyor ve fizikle ilgili yeni bakış açılarına sahip oluyorsunuz. Ama bunun bedelini, daha önce yaşamış olduklarınızı unutarak ödüyorsunuz. Çocukluk anılarınız siliniyor ve üzerlerine yeni şeyler yazılıyor. İlk sevgiliniz, Disneyland'e ilk gidişiniz, anne babanızla kurduğunuz etkileşim: hiçbirinin, uyanınca sönüveren bir rüyadan farkı kalmıyor. Buna değer mi sizce?

Savaşların geleceğiyle ilgili bir dehşet senaryosu yazsak bunu yeniden plastisite kazandıracak bir biyolojik silahın merkezinde kurgulayabiliriz: Kimse fiziksel olarak zarar görmüyor ama askerler hızla bebekliklerine doğru sürükleniyorlar. Konuşmayı ve yürümeyi unutuyorlar. Hafızaları siliniyor. Komutanları onları evlerine gönderdiğinde ise ne ailelerini ne dostlarını ne eşlerini ne de çocuklarını hatırlıyorlar. Teknik açıdan bir sorunları yok: Yeniden öğrenebilirler çünkü vücutlarında hiçbir şey zarar görmemiş. Tek mesele, zihinsel yaşamlarının (kolayca göremediğimiz yönlerinin) fabrika ayarlarına sıfırlanmış olması.

Bu senaryonun böylesine dehşet verici olmasının nedeni, *kim olduğunuzun* temelde anılarınız ile belleğinizin toplamı olmasıdır. Şimdi bu konuyu ele alalım.

10

HATIRLAR MISIN...

O son gün, sancıların ardı arkası gelmiyordu. Duyduğu acıyla defalarca yataktan kalkma noktasına gelmiş, onu zapt etmek için güç kullanmak zorunda kalmışlardı. Büyükbaba dayanamayarak odadan çıktı ve gözyaşları hiç dinmemecesine ağladı.

Jeannie geldi onu avutmaya. Yumuşak sesiyle, "Ağlama, Dede, ağlama," dedi. "Oradaki o değil, inan bana. Son gününde, doğduğu köyün yol kenarında duran küçük bir kızken, müziği ilk duyduğu o ana geri döneceğini söyledi bana. Şimdi orada bir düğün var ve flütlerin mutluluk dolu capcanlı sesleri havada titreşirken, onlar dans ediyorlar. Bırak, orada kalsın, Dede. Her şey yolunda. Bana söz verdi. Gel içeri, gel ve zavallı bedeninin ölmesine yardım et."

—TILLIE OLSEN, "TELL ME A RIDDLE"

Tillie Olsen'ın ölmekte olan bir büyükanneyle ilgili çizdiği portre, çocukluk anıları zengin ve erişilebilir kaldığı halde, yakın geçmişe ait anıları yok olan bir kadını anlatır. Demanslı birini tanıdıysanız bu örüntüyü fark etmişsinizdir.

Nörolojide fark edilmiş en eski örüntülerden biridir bu. Bu gözlem, eski anıların yenilerinden daha kararlı olduğunu gözlemlediğinde şaşıran Fransız psikolog Théodule Ribot tarafından 1882'de

literatüre geçirilmişti.[1] Bugün Ribot yasası olarak bilinir ve hayatlarının sonuna yaklaşmakta olan bazı insanların neden tekrar çocukluk dillerine döndüklerini açıklar. Albert Einstein 1955'te New Jersey'nin Princeton kentindeki bir hastanede ölmek üzereyken son sözlerini söylemişti. Büyük fizikçinin ne dediğini herkes merak ediyor ama hiçbir zaman bilemeyeceğiz. Nedeni, o esnada yanında bir hemşire olmaması değil, sözleri Almanca, yani anadilinde söylemiş olmasıydı. Gece hemşiresi yalnızca İngilizce bildiğinden, Einstein'ın son sözleri kaybolup gitti.

Ribot'nun, bu bellek örüntüsünün tuhaflığı karşısında duyduğu heyecana şaşmamak gerek çünkü diğer depolama sistemleri böyle çalışmaz. Kurumsal bellek, eski yönetim dönemlerini unutur; eğitim kurumları daha çok yakın geçmişteki eğilimlere odaklanır; kent yönetimleri de geçmiş yüzyılların başarısını düşünmek yerine, elde ettikleri son başarılar hakkında böbürlenip dururlar.

Öyleyse beyin neden ters yoldan yapar bu işi? Neden eski anılar giderek sağlamlaşır? Arka planda çalışan ilkeleri anlamak, bize kritik ipuçları sağlayacaktır. Böylece canlı devre kavramının en önemli yönlerinden birine geçiyoruz: bellek fenomeni.

GELECEKTEKİ KENDİNİZLE KONUŞMAK

Ayrılık saati gelip çatmadan,
Haydi çabuk, ilacınla yetiş bana Bellek!

—MATTHEW ARNOLD

Memento filminde, Leonard Shelby kısa dönemli belleği uzun dönemli belleğe dönüştürme yeteneğini kaybetmiştir (bu durum "anterograd amnezi" ya da "ileriye dönük bellek kaybı" olarak bilinir). Beş dakikalık bir zaman aralığında ne olup bittiğini hatırlasa da öncesindeki her şey sönüp gitmektedir. Bu nedenle görevini unutmamak için önemli bilgileri doğrudan derisine dövme olarak işletir. Bu, onun için zamansal bir çizgi üzerinde kendisiyle konuşmanın bir yoludur.



Hepimiz Leonard Shelby'ye benzeriz ama bizler o kritik *neredeydim ben* bilgisini derimize değil, nöral devrelerimize kazırız. Gelecekteki kendimiz, neler yaşadığımızı ve buna göre ne yapılacağını ancak böyle bilebilir.

Aristoteles, bundan neredeyse iki bin dört yüz yıl önce *De memoria et reminiscentia* (Bellek ve Hatırlama Üzerine) başlıklı metninde bu süreci ilk kez açıklama girişiminde bulunmuş ve balmumuna damga basılması benzetmesinden yararlanmıştı. Ama Aristoteles, ne yazık ki savını destekleyecek verilerden yoksundu. Dolayısıyla dış dünyada gerçekleşen bir olayın zihindeki bir anıya dönüştüğü sihirli nöral süreç, gizemini iki bin yıldan uzun süreyle korudu.

Bu bilmece, nörobilim tarafından yeni yeni çözülüyor. Yeni bir gerçeği –diyelim ki komşunuzun ismini– öğrendiğinizde, beyninizin fiziksel yapısında değişiklikler gerçekleştiğini biliyoruz. Nörobilimciler, bu değişikliklerin neler olduğunu, engin nöron denizlerinin bir ucundan diğerine nasıl düzenlendiklerini ve onlarca yıl sonra nasıl "okunduğunu" anlamak için onlarca yıl boyunca laboratuvar tezgâhlarında dirsek çürüttüler. Ama bu çaba meyvesini vermeye, bulmacanın birçok parçası henüz eksik olsa da bir tablo oluşmaya başladı.

Basit bellek formları, deniz salyangozu gibi görece basit organizmalardan yararlanılarak, hücreler ve ağlar düzeyinde yoğun çalışmalara

konu olmuş durumda. Neden deniz salyangozu derseniz, nöronlarının az sayıda ve büyük olması, onu böyle bir çalışma için insana kıyasla çok daha elverişli hale getiriyor. Tipik bir deney şöyle gerçekleşiyor: Bilim insanları, deniz salyangozuna küçük bir çubukla hafifçe dokunuyorlar. Hayvan geri çekiliyor. Ama bunu her doksan saniyede bir tekrarladıklarında, salyangoz sonunda davranışından vazgeçiyor çünkü bu uyarıdan herhangi bir zarar gelmediğini artık "hatırlıyor". Sonraki aşamada bilim insanları çubuğun yanında, kuyruğa bir elektrik şoku da veriyorlar. Hayvanın bundan sonra sadece çubukla dokunulduğunda gösterdiği geri çekilme refleksi güçleniyor çünkü çubuğun tehlikeli bir şeyle eşleşmiş olduğunu da "hatırlıyor".[2]

Bu tür deneyler, moleküler düzeyde gerçekleşen değişiklikler hakkında bize çok şey öğretti; ancak evrim partisine çok daha geç katılmış olan hayvanlardaki (memeliler gibi) bellek kapasitesinin, omurgasız hayvanlara kıyasla çok daha geniş ve uzun erimli olduğunu da görüyoruz. Bizler, yaşamöykümüzün ayrıntılarını, gördüğümüz düşleri ve hayal ettiğimiz şeyleri, geniş coğrafi bölgelerdeki uzamsal ayrıntıları hatırlayabiliyor, çeşitli ticari, toplumsal ve iklimsel koşullarda yönümüzü bulmamızı sağlayacak karmaşık beceriler kazanabiliyoruz. Ve neyse ki ilgisiz küçük ayrıntıları (iki hafta önce önünden geçtiğimiz havaalanı otoparkının konumu ya da bir konuşmadaki sözcükler dizisinin tamamı gibi) unutma becerisine de sahibiz.

Memeli belleğinin fiziksel temelleriyle ilgili ilk sistematik araştırma 1920'lerde, Harvard'da nörobiyolog olan Karl Lashley tarafından gerçekleştirilmişti. Lashley, bir sıçana yeni bir şey öğretebilirse (labirentteki bir rota gibi) belleğe kaydedilen bu yeni unsurun, beynin tam o noktasının çıkarılması durumunda silinebileceğini düşünmekteydi. Yapması gereken tek şey, o sihirli noktayı bulmak, çıkarmak ve sıçanın o rotayı hatırlayamadığını göstermekti.

Bunun için yirmi sıçanı labirentten geçmek üzere eğitti. Sonra neşteriyle her hayvanda farklı bir korteks alanında kesikler oluşturdu. İyileşmeleri için onlara belli bir zaman tanıdı ve ardından sıçanları tek tek teste tabi tutarak, verdiği hangi hasarın rota bilgisini sildiğini anlamaya çalıştı.

Deney başarısız oldu: Bütün sıçanlar labirenti hatırlama konusunda üstün bir performans göstermiş, bir tanesi bile yolu unutmamıştı.

Ancak deneyin başarısızlığı, kalıcı bir başarıyı da getiren şey oldu. Lashley, sıçanın labirentle ilgili hatırladıklarının, tek bir noktaya atfedilemeyeceğini fark etti. Bellek belirli bir alanla sınırlı olmayıp geniş bir dağılım göstermekteydi. Deney, beyinde sadece belleğe adanmış bir yapı olmadığını ortaya koymuştu. Gerçekten de bellek, bir evrak dolabı gibi değil, dağıtımlı bulut uygulaması gibidir. Bu açıdan, gezegenin dört bir tarafına –genellikle de fazlasıyla– yayılmış sunuculara dağıtılmış e-posta kutunuza benzer.

Peki ama –bir isme, bir kayak tatiline ya da bir müzik parçasına dair– bir anı, milyarlarca hücreden oluşan, yaygın dağılımlı bir hücre grubuna nasıl yazılır? Deneyimler dünyasının olgularını fiziksel dünyanın olgularına çeviren programlama dili nedir?

Yüksek çözünürlüklü mikroskopların henüz ortaya çıkmadığı on dokuzuncu yüzyılda, vücudu çepeçevre saran sayısız lif yollarıyla sinir sisteminin, tıpkı kan damarları gibi kesintisiz bir ağ oluşturduğu varsayılıyordu. İspanyol nörobilimci Ramón y Cajal'ın, beynin milyarlarca ayrık hücrenin bir koalisyonu olduğunu fark ettiği bir yüzyıl öncesine kadar, bu görüşe karşı çıkan olmadı. Oysa sinir sistemi bir otoyoldan çok, birbiriyle ilişki halindeki yerel yol projelerinden oluşan bir yama işi gibiydi. Cajal çizdiği bu çerçeveyi "nöron doktrini" olarak adlandırdı ve bu katkısıyla, verilen ilk Nobel ödüllerinden birinin sahibi oldu. Nöron doktrini, önemli yeni bir soruyu da peşinden sürüklemişti: Beyin hücreleri birbirinden ayrıysa birbirleriyle nasıl iletişim kuruyorlardı? Yanıt hızlı geldi: Bu bağlantıyı, bugün "sinaps" adını verdiğimiz özelleşmiş noktalarda gerçekleştiriyorlardı. Ramón y Cajal, öğrenme ve hatırlamanın, sinaptik bağlantıların gücündeki değişimlerle mümkün olabileceğini ileri sürdü.

İzleyen uzun bir sürenin ardından 1949'da nörobilimci Donald Hebb, üzerinde bir süredir kafa yorduğu fikri bir adım ileri taşımayı başardı ve A hücresinin B hücresini sürekli yönlendirirmesi durumunda aralarındaki bağlantının da güçleneceğini, yani "potansiyalize" olacağını öne sürdü.[3] Diğer bir ifadeyle, birlikte etkinleşen nöronlar, birbirleriyle bağlantı oluşturacaklardı.

Hebb'in bu varsayımı önerdiği sıralarda, fikri desteklemek için öne sürülebilecek herhangi bir deneysel kanıt yoktu. Daha sonra 1973'te iki araştırmacı, Hebb'in varsayımını doğrular görünen bir şey keşfettiler.

Hipokampus adı verilen alandaki girdisel lifleri uyardıklarında, alıcı (postsinaptik) hücredeki elektriksel tepki artıyor, üstelik bu daha büyük sinyal on saate kadar sürüyordu. Bu durumu "uzun dönemli potansiyel artışı" olarak tanımladılar. Bağlantıların güçlerinin, yakın geçmişlerinin bir sonucu olarak değiştirilebileceği ilk kez bu çalışmayla gösterilmiş oluyordu.[4]

Bundan sonraki adımı tahmin etmek kolaydı: Her çıkışın iniş için bir kapasitesi olmalıydı. Bir bağlantı güçlenebiliyorsa zayıflama becerisine de sahip olması gerekirdi. Yoksa ağ doygunluğa ulaşır ve yeni herhangi bir şey depolayamaz hale gelirdi. 1990'lara gelindiğinde, çeşitli örüntülerin (örneğin, A hücresi ateşlendiği halde B hücresinin tepki vermemesi) iki hücre arasındaki bağlantıda uzun dönemli bir güç azalmasına yol açabileceği de artık gösterilmişti.

Bilim insanları, böylece belleğin fiziksel temellerini buldukları sonucuna vardılar.[5] Ne de olsa bağlantıların gücünü belli belirsiz şekillerde değiştirmek, bir ağın çıktı davranışlarını ciddi biçimde etkileyebilir. Sistemdeki etkinlik akışı, daha önce olanlar temelinde gerçekleşir. Bir ağ, değişkenleri tam olarak doğru biçimde ayarlayarak, aynı anda gerçekleşen şeyler arasında da bağlantı kurar. Fikrin özü, yaşamınızın bütün anılarının temelinde böylesine basit bir mekanizmanın yatıyor olabilmesidir.

En iyi arkadaşınızı ve evini düşünün. Arkadaşınızı görmek belirli bir nöron topluluğunu, evini görmekse başka bir nöron topluluğunu harekete geçirir. Evine gittiğinizde bu iki nöron grubu aynı anda etkin olduğundan, iki kavram birbiriyle ilişkilendirilir. Sürece "çağrışımsal öğrenme" adı bu yüzden verilir. Kavramlardan herhangi biri tetiklendiğinde, diğerini de harekete geçirir. Daha da iyisi, bunlardan her biri, birbirinizle yaptığınız sohbetler, birlikte yediğiniz yemekler, birlikte attığınız kahkahalar gibi birçok başka çağrışımı da etkinleştirebilir.

1980'lerin başlarında fizikçi John Hopfield bu bilgiler ışığında, çok basitleştirilmiş yapay bir nöral ağın küçük bir "anılar" grubunu depolayıp depolayamayacağını anlamaya çalıştı.[6] Bir ağı belirli örüntülere (alfabedeki harfler gibi) maruz bıraktığında ve aynı anda ateşlenen nöronlar arasındaki sinapsları güçlendirdiğinde, ağın bu örüntüleri hatırladığını gördü. Her harf (örneğin, *E*), belirli bir nöron grubunu etkinleştiriyor, gruptaki nöronlar da birbirleriyle olan bağlantılarını

güçlendiriyorlardı. Buna karşılık *S* harfi, farklı bir örüntüyle temsil edilmekteydi. Öyleyse Hopfield, ağa bu örüntülerden birinin "bozulmuş" bir versiyonunu (örneğin, üst kısmı kısmen atılmış bir *E* harfi) sunabilir, ağda akan etkinlik zinciri de tam bir E harfi için geçerli örüntüye doğru yol alabilirdi. Sonuç olarak ağ önceki bütün deneyimlerinden yola çıkarak, örüntüyü, *E* harfinin neye benzemesi gerektiğiyle ilgili beklentisiyle eşleştirecek şekilde tamamlamıştı. Dahası, bu ağlar bozulmaya karşı şaşılacak bir direnç göstermekteydi: Birimlerinden birkaçını yok etseniz bile ağ içinde dağılmış bulunan anılar geri getirilebiliyordu. Hopfield, böylece belleğin işleyişini basit bir yapay ağda göstermiş oluyordu. Açılan bu kapıyla "Hopfield ağları" üzerine yapılan çalışmalar yağmaya başladı.[7]

Aradan geçen yıllarda, özellikle de son zamanlarda yapay nöral ağlar alanı büyük hız kazandı. Alanın yükselişinde rol oynayan etkense yeni teorik gelişmelerden çok, kazanılmış olan muazzam bilgisayımsal güç. Bu güç, devasa yapay ağların milyonlar ya da milyarlarca birimle simüle edilmesine olanak tanıyor.[8] Ağlar ise dünyadaki en iyi satranç ve Go oyuncularını alt etmek gibi muazzam başarılar gerçekleştirmiş durumda.

Ancak yarattıkları bu heyecana karşın, yapay ağların beynin çalıştığı gibi çalışması için henüz uzun bir yol var önümüzde. Bunlar akıllara durgunluk veren etkileyicilikte olsalar da verilen görevlerde yapılan yer değiştirmeler karşısında (sözgelimi, kedileri köpeklerden ayırt etme görevi yerine kuşları balıklardan ayırt etme görevi) son derece başarısızlar. Yapay ağlar beyinden esinlenmiş oldukları halde ancak kendi basitleştirilmiş yollarında ilerlemeye devam edebiliyorlar. Beynin sihrini (yapay nöral ağların yapamadığı şeyleri yapması) anlamak için belleğin gerçek, biyolojik yüzüyle üstesinden gelmek zorunda olduğu şeyler ve yararlandığı numaralara dikkatle bakmamız gerekiyor.

ANILARIN DÜŞMANI ZAMAN DEĞİL, BAŞKA ANILARDIR

Beynin karşı karşıya olduğu ilk sorun, uzun ömürlü oluşudur. Hayvanlar değişken ve zorlayıcı ortamlarda yaşadıklarından, yeni bilgileri

bir süreklilik içinde yıllar boyunca almak zorundadırlar. Ancak ömür boyu öğrenme, iki durum arasında kurulan dengeyi korumaya, yani eski verileri korurken bir yandan yenilerini edinmeye bağlıdır. Yapay nöral ağlarda "eğitim aşaması"nda –ve genellikle milyonlarca örnek eşliğinde– gerçekleştirilen öğrenme, ardından "hatırlama" aşamasıyla sınanır. Ancak hayvanların böyle bir lüksü yoktur. Yaşadıkları süre boyunca anın gereklerine uygun olarak bir yandan öğrenip bir yandan hatırlamak zorundadırlar.

Sinaps değişiklikleriyle ilgili geleneksel ilkeleri temel alan bellek modelleri, ne yazık ki derhal bir sorunla karşılaşırlar: Hebb'in varsayımına paralel bir öğrenme tipi, hatırlananları kodlamada son derece işe yarar olsa da sorun bu işe yararlılığın *sürdürülmesidir* çünkü önceden öğrenilen şeylerin üzerine hızla yeni şeyler yazılır.[9] Belleği tıka basa dolu yapay ağlar, sonunda bir bellek çamuruna dönüşür. Daha önce kazanılmış anılar, sistemdeki yeni etkinliklerle bulanıklaşır ve bu o kadar hızlı olur ki izlediğiniz bir tiyatro oyununda birinci sahnenin sonuna geldiğinizde, oyunun başlangıcını hatırlamazsınız bile. Bu sorun kararlılık/plastisite ikilemi olarak bilinir: Beyin, bir yandan üzerine yeni bilgiler alırken bir yandan da öğrendiklerini nasıl saklar? Anıların bir şekilde korunması gerekir ama zamanın getirdiği tahripten değil, diğer anıların işgalinden.

Yapay nöral ağlar bellek çamuru sorunundan mustarip olsalar da gerçek beyinler değildir. Yeni bir kitap okuduğunuzda belleğiniz eşinizin adını silmez, yeni bir sözcük öğrendiğinizde genel sözcük dağarınız daha kötüye gitmez.

Beynin bir şekilde eski anılara kilit vurup ikilemi böylece aşabiliyor olması, bize tablonun, bir ağdaki sinapsları sadece güçlendirip zayıflatmaktan ibaret olmadığını söyler. Devreye giren başka şeyler de vardır.

Kararlılık/plastisite ikilemine getirilecek ilk çözüm, bütün sistemin aynı anda değişmediğinden emin olmaktır. Esneklik, ilinti temelinde yalnızca küçük noktalarda açılıp kapanıyor olmalıdır. Daha önce gördüğümüz gibi, nöromodülatörler sinapslardaki plastisiteyi dikkatle denetleyebilirler. Ve böylece, ağdan her etkinlik geçtiğinde değil, yalnızca uygun yer ve zamanlarda öğrenme mümkün olur.[10] Bu özgüllük, ağın bellek çamuruna düşüşünü yavaşlatır çünkü sinaptik

gücü yalnızca önemli bir şey olduğunda, sözgelimi, yeni bir meslektaşın adını duyduğunuzda, ailenizle ilgili bir haber aldığınızda ya da en sevdiğiniz dizinin yeni sezonunun yayınlandığını öğrendiğinizde değiştirir. Sıradan bir sokak işaretini, yanınızdan geçen birinin gömleğinin rengini ya da kaldırım çatlaklarının aldığı şekilleri algıladığında ise değişmek zorunda değildir. Yalnızca ilintili bir durumun varlığında değişme özelliği, bize beynin dış dünyadaki bütün hikâyelerin üzerine yazılabileceği boş bir levha olmadığını hatırlatır. Aksine beyin, yaşamına belirli durumlarda gerçekleşen belirli öğrenme tipleri için önceden donatılmış olarak başlar. Deneyimler, organizmanın yaşamıyla ilintili ve özellikle de korku ya da keyif gibi yüksek düzeydeki bir duygusal durumla bağlantılı olduklarında anılara dönüşür. Her deneyimin kaydedilmiyor oluşu, ağın aşırı yüklenmesi olasılığını aşağı çeker.

Ancak bu yine de kararlılık/plastisite problemine *çözüm* getirmez çünkü depolama sorunu çıkarabilecek dikkat çekici anılar, yine de çok fazladır.

Bu durumda beyin, ikinci bir çözümü devreye sokar. Anıları hep aynı yerde tutmak yerine, öğrendiklerini, daha kalıcı biçimde depolanmak üzere bir başka alana aktarır.

BAZI BEYİN BÖLGELERİ DİĞERLERİNİ EĞİTİR

Bir mağaza deposunu gözünüzün önüne getirin. Sürekli olarak yeni mal gelmesi durumunda, alan ağzına kadar dolar. Ama koliler geldikçe bir yandan da onları ilgili yerlere gönderirseniz alanı koruyabilirsiniz. Benzer şekilde, anılar da ilk oluştukları yerde genellikle kalmaz ve başka yerlere yönlendirilirler.

Bellek hakkında bildiklerimizin bir kısmı, anıların oluşturulmasında merkezi rol oynayan hipokampus ve çevre alanlara ait verilerden elde edilmiştir. 1953'te, yirmi yedi yaşındaki epilepsi (sara) hastası Henry Molaison, nöbetlerden kurtulmak için ameliyat olmuş ve hipokampus beyninin her iki tarafından alınmıştı. Ameliyat sonrasında Molaison'un ciddi bir bellek kaybı (amnezi) yaşadığı anlaşıldı: Yeni

anılar oluşturma ve yeni şeyler öğrenme yetisini kaybetmişti. Şaşırtıcı şekilde, sınırlı bir aralıkta da olsa yeni beceriler kazanabiliyordu yine de (aynadan okumak gibi) ama böyle bir beceri kazanmış olduğunu hatırlamıyordu bile. Brenda Milner ve meslektaşlarının yaptığı çalışmalarla ameliyattan önceki olaylara ilişkin belleğinin normale yakın olduğu anlaşıldı. Molaison'un yaşadıkları, dikkatleri hipokampusa çekmişti. Özellikle merak edilen ise şuydu: Bu yapı olguları *öğrenmede* kritik önem taşıdığı halde, öğrenilmiş olguları *hatırlamada* neden aynı derecede önemli değildi?[11]

Yanıt mı? Hipokampusun öğrenmedeki rolü geçicidir. Kalıcı depolama için kullanılan bir yapı değildir bu: Molaison ameliyattan öncesine ait olayları ayrıntılarıyla hatırlayabiliyordu.[12] Hipokampus, yeni anıların oluşumu için gerekli olsa da anıları kalıcı olarak barındırmaz ve öğrenilenleri, anıyı daha kalıcı biçimde saklayacak korteks bölgelerine gönderir.

Öyleyse anılar ara istasyon hipokampustan, kortekstaki daha kalıcı yuvalarına nasıl hareket ederler? Bir tahmine göre, bir etkinlik örüntüsünün korteksten bir kez geçmesi, kararlı bir depolama için yeterli değildir; anının kortekse sabitlenmesi için hipokampus gibi bir alanın yolu birkaç kez *yeniden etkinleştirmesi* gerekir. Bu çerçeve, belleğin pekişmesi için hipokampusun neden gerekli olduğuna dair bir fikir sunar: Hipokampus, örüntü melodisini kortekse tekrar tekrar çalan yapıdır.[13] Anılar bir kez kortekse ulaştıktan sonra, zaman içinde kararlılık kazanacaklardır. Molaison'un durumunda ise ne bir prova ne de uzun dönemli depolama söz konusudur. Sistem önceden nasıl idiyse yine öyle kalmaya devam etmiştir.

Anıların bu hareketini beynin birçok bölgesinde görürüz. Yeni bir ilişkilendirme öğrendiğinizi varsayalım: Kırmızı bir kare kolunuzu kaldırmanız, mavi daire de ellerinizi çırpmanız gerektiğini söylüyor. Bunun üzerine çalıştıkça hız kazanıyorsunuz. Bu beceriyi öğrendiğiniz sırada, ödüllendirilen ilişkilendirmelerle ilgili beyin bölgelerindeki (örneğin, "kaudat çekirdek") değişimler hızla kendini gösterecektir. Ancak aynı işi yapmaya devam ederseniz etkinlik sonunda başka alanlarda (örneğin, prefrontal korteks) da izlenebilir. Buradaki nöronların daha yavaş değişiyor olması, birinci bölgenin öğrendiklerini ikinciye öğretmekte olduğunu düşündürür.[14]

Bir başka örnek verecek olursak: Paten kullanmayı ilk öğrendiğinizde, bacaklarınıza yoğun bir dikkat verir ve bu arada ciddi bir bilişsel çaba harcarsınız. Ama çalışmayla geçen birçok günün ardından, artık eylemin üzerinde düşünmek zorunda değilsinizdir. Bunun nedeni, beynin motor öğrenmeyle ilgili kısımlarının (bazal ganglionlar), öğrenilmiş olanı beyincik gibi başka bölgelere iletmesidir.

Kolileri bekletmeden dağıtma fikri, kararlılık/plastisite ikilemi konusunda bize yardımcı olsa da sınırlı alan problemi henüz çözülmemiştir. Kolileri dünyanın dört bir yanına göndereceksiniz sorun yok. Ama gönderdiğiniz yer sadece başka bir depoysa çözümünüz de geçici demektir: İkinci depo da kısa sürede kapasitesini dolduracaktır.

Ve bu da bizi daha derin olan üçüncü çözüm yolunun başlangıç noktasına götürüyor.

SİNAPSLARIN ÖTESİ

Sinaptik değişimlerle ilgili bulgular binlerce araştırmacıya, olgunun ayrıntılı resmini belirlemek ya ve bunu mümkün kılan moleküler düzeneği gün yüzüne çıkarmak için esin vermiştir. Ancak sinapslardaki güçlenme ve zayıflama, bellekte rol oynayan tek, hatta en önemli mekanizma bile değildir.[15] Sinaps değişimleri üzerinde onlarca yıldır süren çalışmaların sonucunda sinaps plastisitesinin öğrenme ve bellek için gerekli olduğunu bilsek de bunun yeterli olduğu konusunda herhangi bir delilimiz yoktur. Sinapslardaki güç değişimi belki de yalnızca, birbirine dolaşık haldeki hücrelerin, kendilerini epilepsi (aşırı uyarılma) ya da faaliyet yitiminden (aşırı baskılanma) korumak için uyarılma-baskılanma dengesini dikkatle sağlamalarının bir yoludur. Eğer böyleyse sinaptik değişimler bellekte depolama sürecinin temel mekanizması değil, *sonucu* demektir. En büyük dikkati tek haldeki sinapslarda ortaya çıkan değişiklikler çekmiş olsa da, etkinliğe bağlı değişimleri depolamanın birçok başka olası yolu da vardır. Sinaptik değişimlere böylesine yoğun bir dikkat vermekle belleğin Rosetta Taşı'nın bir parçasını gözden kaçırıyor olabiliriz. Sonuçta sinir sisteminin neresine baksak ayarlanabilir parametreler buluyoruz. Küçük

değişimleri istiflemek için doğanın başvurabileceği binlerce numara var ve hepsi de bir ağın davranışını değiştirebilir.

İnsanları ilk kez keşfetmekte olan bir uzaylı olduğunuzu hayal edin. Beyin adı verilen akışkan sistemi oluşturan hareketli parçalar karşısında büyülenirdiniz. İnsanları gün içinde birbiriyle etkileşim halinde izlediğinizde, yüksek çözünürlüklü gözleriniz nöronlarda gerçekleşen biçimsel değişikliklerin (sözgelimi, deneyime bağlı olarak uzayan ya da kısalan dendritlerin) farkına varırdı. Bakışlarınız sistemin biraz daha derinlerine ulaşınca, iletişim kurmuş hücreler arasında gidip gelen kimyasal habercilerin miktarındaki değişimler gözünüze çarpar, bu kimyasal haberciyi almak için toplaşan reseptörlerin sayısındaki oynamaları bile algılardınız. Gözünüze çarpan bir başka şeyse işlevlerini değiştirmek üzere reseptörlerden sarkan kimyasal süslemelerdeki değişimler olurdu. Nöronların içindeki molekül ve iyonların oluşturduğu karmaşık zincirleri, bunların çeşitli hesaplamalar yaparak kendilerini her yeni girdiyle yeniden ayarlamalarını hayranlıkla izlerdiniz. Nöronun çekirdeğine ulaştığınızda, genom düzeyinde kendilerini sarmal yapıdaki DNA iplikçiklerine tutturan ve kimi genlerin ifade edilmesine, kimilerinin de baskılanmasına neden olan süslü püslü kimyasal yapılara tanık olurdunuz.

Plastisitenin bu mekanizmaların her birinde var olduğu böyle bir sistem karşısında, olasılıkla şaşkına dönerdiniz. Çünkü bütün mekanizmalar esnektir ve parametreler her ölçekte değişikliğe uğrar: yeni doğmuş nöronların büyüme ve devreye sokulmalarından gen ifadesindeki değişikliklere kadar. Biyolojik sistemlerde özgürlüğün bu kadar çok dereceye sahip olması sonucunda, anı depolama stratejilerinde muazzam sayıda olasılık söz konusu olur.

Değişen tek şeyin sinapslar olmadığını düşünmek için çokça nedenimiz vardır aslında. Bir kere, öğrenme yalnızca mevcut sinapsların etkililiklerini ayarlıyor olsaydı beyinde büyük yapısal değişiklikler beklemezdik. Oysa jonglörlük öğrenen gönüllülerde, sınavlarına çalışan tıp öğrencilerinde ya da Londra'nın sokaklarını ezberleyen taksi şoförlerinde beyin görüntüleri ölçülebilir değişikliklere işaret eder.[16] Kortekste gerçekleşen değişiklikler, sinaps değişimlerinden fazlasını kapsar ve görünüşe bakılırsa yeni hücresel malzemelerin eklenmesini de içerir.[17]

İkinci olarak, anılar yalnızca sinaptik etkenlerin oluşturduğu doku içinde saklanıyor olsaydı, yeni nöronların büyüyüp yerleştikleri "nörogenez" sürecine de gerek kalmaz,[18] hatta kendilerini ağa sokan yeni nöronlar, incelikli sinaps örüntüsünü birbirine katardı. Ama oradalar işte: hipokampusta doğup yetişkin korteksine doğru yolunu bulmaya çalışan bir yeni nöronlar nehri. Bunlar tesadüfen orada bulunan nöronlar değildir ve anı oluşumuyla bağlantılıdırlar. Sözgelimi, bir sıçanı, hipokampusu gerektiren bir öğrenme işinde eğitirseniz yeni yetişkin nöronlarının sayısı taban çizgisinden iki kat yukarıya fırlar. Oysa öğrenme hipokampusu gerektirmiyorsa yeni hücrelerin sayısı değişmez.[19]

Üçüncüsü, DNA çevresindeki şeker ve proteinlerde gerçekleşen değişiklikler, gen ifadesi örüntülerinde de değişikliğe neden olur.[20] Epigenetik adı verilen bu görece yeni alanın ortaya koyduğu üzere, yaşam deneyimleri hangi genlerin susturulup hangilerinin vurgulanacağı konusundaki işleyişi değiştirebilir. Örneğin, iyi bakılan fare yavrularında (annelerinin sıkça yalayıp bakımını yaptığı yavrular), DNA iplikçiklerine asılı duran moleküllerin örüntülerinde ömür boyu sürecek değişimler ortaya çıktığı ve görünüşe göre bunların, yavrular yaşadığı sürece kaygıyı azaltıp bakım davranışlarını güçlendirdiği anlaşılmıştır.[21] Dünya deneyimleriniz bu şekilde derinlere inerek gen ifadesi düzeyine ulaşır ve burada uzun bir zaman ölçeğinde gömülü kalabilirler.

Nörobilimciler ve yapay zekâ mühendisleri bir ağdaki değişimlerden söz ettiklerinde, kastettikleri genellikle hücreler arasındaki bağlantı gücündeki değişimlerdir. Ama uzaylı gözünden baktığınızda, sinapsların neden yetersiz kalmaya mahkûm olduğunu görürsünüz: Plastisite, beynin her köşesinde ve her düzeyde kendini gösterir. Ağlarda etkinliğin nasıl aktığı, büyükten küçüğe, ağdaki bütün ayarlara bağlıdır. Nereye baksak plastisitenin varlığına tanık oluruz. O zaman alan neden neredeyse tümüyle sinapslara odaklanmıştır? Çünkü en kolay ölçebildiğimiz şey budur. Yaşayan bir beynin hızlı dinamikleri de hesaba katılırsa, etkinliğin geri kalanı, günümüz teknolojisi için fazlaca küçük ölçeklidir. Haliyle sokak lambasının ışığında anahtarını arayan bir sarhoş gibi, daha çok görebildiklerimiz üzerine yoğunlaşırız.

Beyin, tuşlayabileceği birçok düğmeye sahiptir. Bu ise hikâyenin bir sonraki bölümüne götürüyor bizi: Olası bu kadar çok değişkenin varlığında, beyin bir yerde değişiklik yaparken nasıl olur da başka yerdeki bir işlevi yüzüne gözüne bulaştırmaz? Bunca parça ve bileşenin birbiriyle etkileşimini nasıl anlayabiliriz? Özgürlüklerin birçok farklı düzeyde dağıtılmış olduğu bu düzen içinde, bileşenlerin kontrolden çıkmak yerine, birbirlerini sistem içinde denetleyip dengede tutmasını sağlayan ilkeler nelerdir?

Benim düşünceme göre en önemli bakış açısını sağlayan, biyolojik bileşenlerin kendileri değil, içinde çalıştıkları *zaman ölçeğidir*. Dolayısıyla bu hikâye, mekanizmaların ayrıntıları yerine, tempoları temelinde anlatılmalıdır.

ZAMANSAL ÖLÇEKLERİN ETKİLEŞİMİ

Bundan birkaç yıl önce yazar Stewart Brand, bir uygarlığı anlamak için birbirleriyle eşzamanlı ancak farklı hızlarla çalışan birçok katmanı ele almak gerektiğini ileri sürmüştü.[22] Moda hızla değişir örneğin, ama bir alandaki ticari arayışlar görece yavaş seyreder. Altyapının (cadde ve binalar gibi) değişimi ise daha kademelidir. Bir toplumun bağlı olduğu kural ve yasalar (yani yönetimi), durumu değişim rüzgârlarına karşı kararlı tutmaya çalıştıklarından, çok yavaş bir uyarlamadan geçerler. Kültür ise derin bir hikâye ve gelenek temelinde, kendi zaman çizelgesine uygun olarak telaşa kapılmaksızın ilerler. En alt katmanda, yüzyıllar ya da binyıllar ölçeğinde ağır ağır yürüyen doğa vardır.

Her zaman fark edilmese de bütün katmanlar birbiriyle etkileşim halindedir. Daha hızlı olanları, biriktirdikleri yeniliklerle yavaş katmanlara yol gösterir; yavaş katmanlarsa hızlı katmanlara denetim ve yapı sağlar. Bir kültürün sahip olduğu güç ve direncin kaynağı, sistemin katmanlarından herhangi biri değil, bunların birbirleriyle kurdukları etkileşimdir.

Hıza göre katmanlara ayırma ilkesi, beyni ele alırken de işe yarar. Beynin hız katmanları modadan yönetime, yönetimden doğaya değil, hızlı biyokimyasal zincirlerden gen ifadesindeki değişimlere doğru

Moda

Ticaret

Altyapı

Yönetim

Kültür

Doğa

Hızlarına göre katmanlar.

uzanır. Sinapsların dışında, birçok başka parametre de dönüşüme uğrar (erbabı için: kanal tipleri, kanal dağılımları, fosforilasyon durumu, nörit biçimleri, iyon taşıma hızı, azot oksit üretim hızı, biyokimyasal tepkime zincirleri, enzimlerin yerleşim düzenleri ve gen ifadesi). Bu tür akışlar aralarında doğru bağlantıları kurarlarsa gelip geçici bir olay iz bırakabilir çünkü hızlı süreçler, daha yavaş olanlarını, onlar ise daha da hantal süreçleri harekete geçirecek ve bu akış kademeli ve derin bir değişim sürecini başlatacaktır. Bu şekilde, "plastik" değişimler ya hep ya hiç ilkesiyle basitçe depolanmak yerine, bir zaman yelpazesine dağıtılmış olur. Plastisitenin bütün formları birbiriyle etkileşim içindedir. Böylece sistem gücünü, katmanların birlikte ve uyum içinde çalışmasından alır.[23]

Çoklu hız yaklaşımıyla çalışan bu sistemin sonuçlarını birçok şekilde görebiliriz. Diyelim ki işitme engelli birinden hoşlanmaya başladınız ve işaret dilini öğrenmeye çalışıyorsunuz. İşaretleri başarıyla her kullanışınızda, anlamlı bir gülümsemeyle ödüllendiriliyorsunuz. İşaret dilini gayet iyi, neredeyse akıcı kullanabilmeye başlıyorsunuz ve derken işitme engelli aşkınız ülkeyi terk ediyor. Artık yapayalnız kalmış parmaklarınızla yaptığınız işaretler size ödül kazandırmıyor. Çabalarınızın karşılığını alamadığınızdan, sonunda işaret dilini unutuyorsu-

nuz. Hikâye burada bitmiş görünüyor. Ama üç sene sonra mahallenize yeni bir işitme engelli taşınıyor. Belki hüzünlü bir nostaljinin etkisiyle bu kişiyi de aynı derecede çekici buluyorsunuz ve işaret diliyle tekrar deniyorsunuz şansınızı. Heyhat, işaret dilini tümüyle unutmuşsunuz; parmaklarınız ne yapmaları gerektiğini hatırlamıyor. Sızlanıp duruyorsunuz çünkü geçen sefer iyi bir noktaya gelmek iki ayınızı almış ve yeni gözdenizin o kadar sabretmeyeceğinden eminsiniz. Ama bu sefer çok daha çabuk öğrendiğinizi keşfediyorsunuz. Hatta, üç gün içinde akıcı bir flört noktasına bile gelmişsiniz! Her şeyi unutup gittiğinizden emin olduğunuz halde, şimdi bir profesyonelden farkınız yok.

Birinci ve ikinci denemeler arasındaki zamandan tasarruf, hiç alıştırma yapmadığınız yokluk döneminde bile beyninizdeki bir şeylerin, edinmiş olduğunuz bilgiye tutunduğunu gösterir.[24] Tasarrufun nedeni, sistemin daha derin bölgelerinde gerçekleşen değişikliklerin yavaşlığıdır. İlk sevdalandığınızda hızlı bölgeler işi kapmış, siz çalışmayı artırdıkça değişiklikleri daha derin katmanlara iletmiştir. Sevgiliniz uçağa binip gittiğinde hızlı katmanlar davranışlarını duruma çabucak uyarladıkları halde, uzun ve yavaş öğrenme sürecine akıttıkları emeği heba etmekte isteksiz olan derin kısımlar, onları izlemede tereddüt etmiştir. Dolayısıyla işitme engelli ikinci yıldız sahneye çıktığında, derin katman işaret dili için ister istemez hazırdır ve tasarruf, bunun sonucudur. Kaybettiğinizi sandığınız beceri, aslında kaybolmamış, sadece devrelerin derinlerine kazınmıştır.

Beyindeki bu gizli tasarruflar uzay dâhil birçok koşulda kendini gösterir. Bir astronot, yörüngede geçirdiği uzun bir yolculuktan döndüğünde, kapsülden çıktığı gibi Starbucks'ın yolunu tutamaz. Önce dünyanın yerçekimi koşullarında nasıl yürüyeceğini, neredeyse sıfırdan hatırlaması gerekir. Ama bu yeniden öğrenme süreci hızlıdır; yeniden bebekliğine dönmesine gerek yoktur. Hatta uçuştan hemen sonra gösterdiği performans, beynindeki birikimin derinliğini de gün yüzüne çıkarır ve yeniden yürümeyi ne kadar hızla öğreneceği konusunda doğru bir öngörü sağlar.[25]

Beyindeki bu hız katmanları hakkında fikir sahibi olmak, daha önce öğrendiğimiz şema kavramına da ışık tutacaktır. Destin ve tuhaf bisikletini hatırladınız mı? Destin, ters yönlü gidon sistemini kullanmak için aylar süren bir öğrenme sürecinin ardından, normal bir

bisiklete artık binemez olduğunu fark etmişti. Ama yaşadığı kafa karışıklığı kısa sürmüş ve çok geçmeden ikisini de rahatlıkla kullanır hale gelmişti. Artık her biri için bir şema geliştirmiş durumdaydı. Şimdi bu şema kavramını daha derin bir düzeyde ele alabiliriz. Mesele, kısa dönemde öğrenilenlerin birbiri üzerine yazılması değil (*Bu ters yönelimli bisikleti kullanmayı öğrendiğime göre, normal bisiklet için kullandığım program silindi demektir*), iki programın artık daha derin katmanlarda yaşıyor olmasıdır. Öğrenme sürecinin sonunda Destin iki programı da uzun dönemli devrelerine kazımıştır artık ve içinde bulunduğu durum, yani bağlam (*Şimdi hangi bisikletin üstündeyim?*), ağ boyunca izlemesi gerektiği yolu ona gösterecektir.

Büyük yarar sağlayacak programlar, sonunda ta DNA düzeyine kadar kazınırlar. İçgüdüleri, yani öğrenmek zorunda olmadığımız, doğuştan gelen davranışları düşünün.[26] Bunlar, plastisite aracılığıyla ama daha uzun bir zaman ölçeğinde kazanılır: Darwinci anlamda, türlerin plastisitesidir bu. Binlerce yıl içinde işleyen doğal seçilim, sağkalım ve üremeye katkıda bulunan içgüdülere sahip bireylerin çoğalmasını sağlayacaktır.

Bundan bir yüzyıl önce, belleği anlamanın karşısındaki zorluklardan biri, gerekli teknolojinin yokluğuydu. Şimdiki zorluk ise teknolojinin –özellikle de bilgisayarların– varlığı. Dijital devrim, yaşamımızın her yönünü öylesine derinden değiştirdi ki üzerimize yapışmış metaforlardan arınmak bazen, yanlış kurulmuş olsalar bile zor olabiliyor. Bu durumun en bariz örneği "bellek" sözcüğüdür. İnsan beyni anıları bilgisayarlar gibi depolamaz: Beyin bir filmin anısını, filmi piksel piksel kodlamadan saklar ve sakladığı yerden çıkarır. Sevdiğimiz öyküleri sözcük sözcük kodlamadan hatırlar ve aktarırız. Sözgelimi, biri size bir fıkra anlattığında, her sözcük ve aktarıldığı ses tonu için bir sinirsel kayıt oluşturmaz; fıkranın *özünü* anlarsınız. Birden fazla dil biliyorsanız bu dillerinden birinde işittiğiniz bir fıkrayı, bir başkasına farklı bir dilde aktarabilirsiniz. Fıkra tek tek sözcüklere değil, içsel olarak harekete geçen kavramlara temellenmiştir.

Bizler, pikselleri ya da metinleri kodlamak yerine, yeni uyaranları, öğrenmiş olduğumuz başka şeylerle (fiziksel ve sosyal kavramlar dâhil)

karşılaştırmalı olarak kodlarız. Öğrendiklerimiz, zaten bildiklerimiz temelinde temsil edilir. Moğolistan'ın geçmişindeki önemli tarihler listesine bakan iki kişiden biri, ülkeyle ilgili zengin bir modele zaten sahipse yeni olguları bilgiler ağına daha kolay katacaktır. Moğolistan hakkında pek bir şey bilmeyen ve ülkeyi hiç ziyaret etmemiş olan diğeri, bilgileri tutturabileceği doğru dürüst bir çatıya sahip değildir.

Hız katmanları modelinde, yavaş katmanların hızlı olanlar için bir çatı oluşturduğunu hatırlayın. Bunun bir sonucu olarak, erken dönemlerde yaşanan deneyimler temel niteliği kazanır. Bunlar, izleyen her şeyin üzerine oturduğu bir mimariyi temsil ederler; yeni gelenler, eskinin filtresinden bakılarak anlam kazanır.

Bu durum –iyi de olsa kötü de– bazı gelecek düşlerini imkânsız kılıyor. *Matrix* filminde Neo ve Trinity'nin karşısına, bir binanın tepesinde duran bir B-212 helikopteri çıkar. Neo sorar: "Bu helikopteri kullanabilir misin?" Trinity "Henüz değil," diye yanıtlar onu ve ardından bir iş arkadaşını arayarak kendisinden "B-212 helikopteri için bir pilot programı" ister. Arkadaşı önündeki bilgisayarların tuşlarına telaşla basar ve program birkaç saniye içinde Trinity'nin beynine yüklenir. Neo ve Trinity helikoptere binerler ve Trinity aracı binaların arasından ustalıkla yönlendirir.

Hepimiz bu tür bir gelecek isterdik ama böyle bir şey olmayacak. Neden? Çünkü bellek, kendisinden önce gelen her şeyin bir fonksiyonudur. Bir B-212 helikopterini kullanma bilgisi, bir kişide, bunun bir motosiklet kullanmaya benzerliğiyle kodlanmış olabilir örneğin. Bir başka kişi ata binerek büyümüş, bu nedenle de pilotluk bilgisini bir atı yönlendirmeyle ilgili motor bellek üzerine kuruyor olabilir. Üçüncü kişi ise bilgiyi belki de çocuklukta oynadığı bir video oyunu kapsamında saklayacaktır. Herkes işi başka şekilde yakalayacak, dolayısıyla da herhangi bir beyne yüklenebilir bir standart talimatlar setini oluşturmak mümkün olmayacaktır. Başka türlü ifade edersek: Bir bilgisayardan farklı olarak, beyinde makineyi uçurmak için gerekli bir "talimatlar" dosyası yoktur. Bu talimatlar, daha önce yaşamış her şeye bağlanmış durumdadır. Önceki deneyimler, bir içsel bellek kenti kurarlar ve her yeni yerleşimci, sadece ona özgü olan uygun bir mekân bulmak zorundadır.[27]

Hız katmanlarını anlamanın anahtarı, aralarındaki etkileşimdir. Nörobilim alanı ilerledikçe, birçok klinik olgunun bu tür etkileşimler temelinde anlaşılacağını düşünüyorum.

Örnek olarak, yeniden Amiral Lord Horatio Nelson'a dönelim: Bir merminin isabet ettiği kolu kesilmek zorunda kalmış ama Nelson ömrünün kalanını kolunun hâlâ yerinde durduğunu hissederek geçirmişti. Daha öncesinde kolundaki dokunma duyusuna tepki veren korteks artık yüzünde hissettiği dokunmayla etkinleştiği halde, daha aşağıda kalan beyin bölgelerinin beklentisi, beynin o alanının yine kolu temsil etmesi yönündeydi. Başka bir ifadeyle, söz konusu alandaki etkinlik görece yavaş ve derin katmanlar tarafından, koldan gelen bir duyu olarak yorumlanmaya devam ediyordu. Bu durum ise ampütasyon ameliyatı geçirmiş çoğu kişide olduğu gibi, bir tür "hayalet duyu" ile kendini gösteren bir algısal kargaşaya yol açmıştı: Nelson, kolunun yerinde durduğundan emindi çünkü derin katmanlar ona öyle söylüyordu. Hız katmanları sistemi en iyi sonucu, normal hızlarla değişen şeyler için verir ama vücut tasarımında ortaya çıkan bir kargaşa, sistemi tuhaf bir duruma sokabilir; özellikle de değişiklik, bir mermi hızıyla gerçekleşmişse.

Bir başka örnek olarak, kişinin tam anlamıyla kusursuz bir otobiyografik belleğe sahip olduğu sıra dışı bir durumu, "hipertimezi"yi ele alabiliriz. Böyle bir kişi, neredeyse hiçbir şey unutmaz. Geçmişinden herhangi bir tarih sorduğunuzda size o günkü hava koşullarını, neler yaptığını, ne giydiğini, kimleri gördüğünü söyleyecektir. Nörobilim alanı bu olgunun temeline (nöronal ve moleküler düzeye) inebilecek teknolojiye sahip olduğunda, bunun katmanlar arasındaki etkileşimin (katmanların birbiriyle sıra dışı bir hızla bağlantı kurması gibi) bir sonucu olduğu, neredeyse kesin olarak ortaya çıkacaktır. Toplumsal katmanlarla bir benzetme kuracak olursak, sanki moda tutkunları fazla güç kazanmış ve son çılgınlıklarını doğrudan yönetim katmanına dayatıyormuş gibi bir şeydir bu. (Bu arada, her şeyi hatırlamak harika bir şeymiş gibi gelse de hipertimezisi olan kişiler, önemsiz olanı unutma becerisini de yitirmenin sıkıntısını yaşarlar. Honoré de Balzac'ın bir zamanlar söylediği gibi: "Anılar yaşamı güzelleştirir ama yaşamı çekilir kılan, yalnızca unutmaktır.")

Son olarak, duyulardan birinin uyarılmasıyla ikinci bir duyu yolunda harekete geçen otomatik ve istemsiz deneyimlerle açıklanan "sinestezi"yi (çoklu duyum) ele alalım. Sözgelimi, alfabedeki herhangi bir harf, içsel bir renk deneyimine neden olur: *J* harfinin mor, *W* harfinin yeşil renkle ilgili bir içsel duyumu tetiklemesi gibi.

İleri sürülen en yaygın varsayıma göre, sinestezi normalde birbirinden ayrılmış olan beyin alanları arasında gerçekleşen konuşmalardaki derece artışını yansıtır. Ama ben, geçmişte farklı bir varsayım önermiş ve sinestezinin "yapışkan plastisite" durumunu yansıttığını ileri sürmüştüm.[28] Küçük bir çocuğun mor bir *J* harfi gördüğünü düşünelim: belki ilkokul duvarındaki bir tabelada, belki bir yorgana işlenmiş olarak karşısına çıkan ya da boya kalemiyle kendi yaptığı bir *J*. Görmüş olduğumuz gibi, ilgili nöronlar aynı anda etkinse sinapsların gücünde değişiklikler ortaya çıkar. Örneğimizde bu nöronlar *J* harfini ve mor rengi kodlayan nöronlar olsun. İki grup birlikte etkinleşiyor, dolayısıyla da birbirleriyle bağlantı oluşturuyorlar. Birçok kişi için *J* harfi ile herhangi bir renk arasındaki bağlantı, farklı bir renk eşliğinde görülen her *J* ile değişmeye devam eder. Böylece harf sarı renkle belirdiğinde, *J* ve sarı arasındaki bağlantı güçlenirken *J* ve mor arasındaki de zayıflar. Farklı renkte J'lere yeterince maruz kalındığında, çeşitli harf-renk ikilileri birbirine eşitlenir ve artık harflerle renkler arasında belirli bir ilişkilendirme söz konusu olmaz. Benim tahminim, sinestezi deneyimleyen kişilerde tipik olmayan bir plastisitenin var olduğu yolunda. Bununla kastettiğim, çağrışım ya da ilişkilendirme bir kez kurulduktan sonra, onu değiştirme becerisinin azalması, yani bir harf ile bir renk arasında ilk yapılan eşleştirmenin "yapışıp" kalması.

Bu görüş nasıl sınanabilir peki? Ne de olsa bakıldığında, sinestetik bir kişinin kurduğu harf-renk ilişkileri, benzer durumdaki bir başka kişi için oldukça farklıdır. Öyleyse bu kişilerin, çocuklukta görmüş oldukları bir şeyi "mühürlediklerini" nasıl bilebilirsiniz?

Varsayımımı sınamak için sinesteziyi doğrulama ve ölçme amaçlı bir online değerlendirme olan Sinestezi Değerlendirme Testi'ni geliştirdim.[29] Binlerce katılımcıdan veri toplayıp doğrulamasını yaptım. Sinestezisi olan 6.588 kişiden aldığım renkli harf verilerini de Stanford'dan iki meslektaşımla birlikte dikkatle analiz ettik. Bulgularımız bizim için de büyük bir sürpriz oldu. Harf-renk eşleştirmeleri

çoğu katılımcıda genellikle gelişigüzel bir örüntü izlerken, aşağı yukarı aynı örüntüyü gösteren yüzlerce kişi de vardı: *A* kırmızı, *B* turuncu, *C* sarı, *D* yeşil, *E* mavi, *F* mordu ve döngü, kırmızı bir *G* ile yinelenmekteydi.[30] Daha da tuhaf olanı, özellikle bu örüntüyü sergileyen sinestetiklerin 1960'ların sonları ile 1980'lerin sonları arasında doğmuş olmalarıydı. Bu zaman aralığında sinestetik kişilerin yüzde 15'ten fazlası aynı harf-renk ilişkisini kurmuştu. 1967'den önce doğanların hiçbirinde bu örüntü gözlenmediği gibi, 1990'dan sonra doğan neredeyse hiç kimsede de gözlenmemişti.

Sonradan anlaşıldı ki bunlar, Fisher-Price mıknatıs setinin renkleriydi. Yalnızca 1971 ile 1990 arasında üretilmiş olan bu mıknatıslar, Amerika'nın dört bir köşesinde buzdolaplarının üstünü süslemişti. Sinesteziye neden olan, bu mıknatıslar değildi; sinesteziye yatkın kişilerde mıknatıslar harf-renk eşleşmelerinin kaynağı olmuştu yalnızca.[31]

Sinestezi de hipertimezi gibi, hız katmanlarında bir tür yapışkanlığı yansıtır: Hızlı katmanlar, gündemlerini derinlere normalden daha



A	kırmızı	**N**	turuncu
B	turuncu	**O**	sarı
C	sarı	**P**	yeşil
D	yeşil	**Q**	mavi
E	mavi	**R**	mor
F	mor	**S**	kırmızı
G	kırmızı	**T**	turuncu
H	turuncu	**U**	sarı
I	sarı	**V**	yeşil
J	yeşil	**W**	mavi
K	mavi	**X**	mor
L	mor	**Y**	kırmızı
M	kırmızı	**Z**	turuncu

1960'ların sonları ile 1980'lerin sonları arasında doğan sinestetik kişilerin önemli bir bölümü, alfabenin harflerini Fisher-Price buzdolabı mıknatısı setinin renklerine göre eşleştirirler. Katılımcılarımızdan birinde, çocukluğunda bu mıknatıslı Fisher-Price oyuncağına sahip olduğunu kanıtlayan bir fotoğraf bile vardı.

büyük hızla iterler. Hipertimezi ve sinestezi hastalık sayılmamakla birlikte, istatistiksel olarak sıra dışıdırlar. Bu da nüfusun çoğunluğunda nöral hız katmanları arasındaki etkileşimin, evrimsel olarak optimize edildiğini düşündürür.

BELLEĞİN BİN BİR ÇEŞİDİ

Bu bölümde bellekten söz ederken, bunu tek bir şeymiş gibi ele aldık. Ama belleğin birçok yüzü vardır.

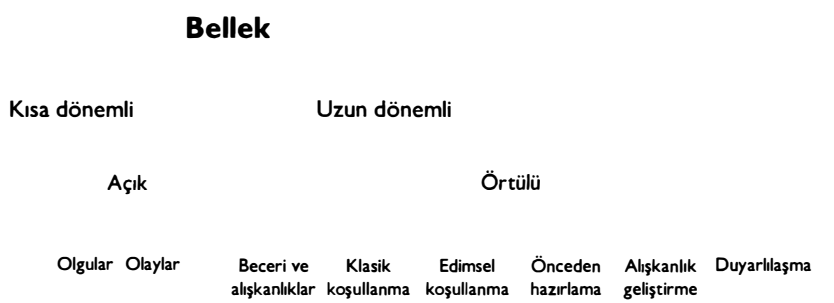
1985'te Washington eyaletinde bir gazeteci olarak çalışan Jody Roberts'ın başına gelenlere bakalım. Jody, günün birinde birden ortadan kaybolmuş, yoğun çabaları sonuç vermeyen yakınları ise yıllar sonra ölmüş olduğunu artık kabul etmek zorunda kalmışlardı.

Ama ölmemişti. Ortadan kaybolduktan beş gün sonra bin mil ötede Colorado'nun Aurora kentindeki bir alışveriş merkezinde ortaya çıkmış, şaşkın halde dolaşırken görülmüştü. Üzerinde kimlik yoktu; elindeki tek şey, asla bulunamayacak olan bir arabanın anahtarıydı. Geçmişiyle ilgili hiçbir şey hatırlamıyordu. Polis onu hastaneye götürdü. Jody kim olduğunu da hatırlamadığından Jane Dee adını alarak daha sonraları bir fast-food restoranında çalışmaya başladı; ardından Denver Üniversitesi'ne kaydoldu. Sonunda Alaska'ya taşınarak bir balıkçıyla evlendi; web tasarımcısı olarak işe başladı ve iki çift ikiz annesi oldu.

On iki yıl sonra eski tanıdıklarından biri, bir gazete haberinde gördüğü fotoğraftan tanıdı onu. Jody, minnet ve gözyaşları içindeki ailesiyle yeniden bir araya geldi. Ama onları hatırlamıyordu. Nazik fakat mesafeliydi. Babası muhabire şöyle söylemişti: "Temelde aynı kişi. Ve bir anlamda bize geri döndü."[32]

Jody'nin hikâyesi ile benzerlerinde akılda tutulacak önemli nokta onun İngilizce konuşmayı, araba kullanmayı, flört etmeyi, iş bulmayı, garsonluk yapmayı, aşk mektupları yazmayı ve çocuklara bakmayı hâlâ hatırlıyor oluşuydu. Hatırlayamadığı tek şey, kendi otobiyografisiydi. Jody'ninki gibi vakalar (sayıları çoktur), belleğin birçok türü olduğunu fark etmemize neden olur. İlk bakışta sandığımızın aksine, bellek tek bir şey değildir ve birçok alt tipten oluşur. En geniş sınıflamayla "kısa

dönemli bellek" (bir telefon numarasını, onu tuşlayacak süreyle hatırlayabilmeniz) ve "uzun dönemli bellek" (iki yıl önceki tatilinizde neler yaptığınızı hatırlamanız) vardır bir kere. Uzun dönemli bellek, kendi içinde "bildirimsel bellek" (isimler ve olayların hatırlanması gibi) ve "bildirimsel olmayan bellek" (bisiklete binmek gibi yapabildiğiniz ama nasıl yaptığınızı dile getiremediğiniz şeyleri kapsar) şeklinde ayrılır. Bildirimsel olmayan bellek kategorisi de bazı alt tipler içerir. On parmak klavye kullanmayı hatırlamanızın ya da bir gofret ambalajının açıldığını duyduğunuzda tükürük salgılamanızın ardındaki neden, bu alt tiplerle açıklanır.



Farklı bellek tipleri.

Jody'nin durumunu kavramanın ilk adımı, farklı beyin yapılarının farklı öğrenme ve bellek tiplerini desteklediğini anlamaktır. Hipokampus ve çevreleyen yapılarda oluşacak bir hasar, yeni bildirimsel anıların oluşmasını etkilerken (*Bu sabah kahvaltıda ne yemiştim?*) bildirimsel olmayan belleği (örneğin, konuşmayı, şarkı söylemeyi, yürümeyi hatırlamak gibi) etkilemez. Belleğini yitiren Henry Molaison'un günlük yaşamını gayet iyi biçimde sürdürebilmesi, dişini fırçalarken, araba kullanırken ya da sohbet ederken herhangi bir sorun yaşamaması bundandır. Motor becerilerin öğrenilmesi sırasında başka beyin alanları, özellikle de denge ve koordinasyonla ilgili olanları devreye girer. Kimi alanlar, motor eylemleri, izleyen ödüllerle ilişkilendirmede önem taşırken, kimileri de korku koşullanmasıyla ilgili bellek değişimlerinde kritik rol oynar. Ödüllendirmede rol oynayan çeşitli yapılar ise başarılı yiyecek bulma stratejilerinin öğrenilmesini destekler. Beyin yapıları ile bunların öğrenme ve bellekle olan ilişkilerini içeren liste uzun ve

uzamaya devam ediyor. Jody ve Henry ise belirli bir alt sistemin bütünlüğünün, diğerlerinin işlev görmesi için mutlaka gerekli olmayabileceğini öğretiyor bize. Yaşamöykünüzü hatırlama becerisini kaybetseniz de bunun yeni motor becerileri öğrenme ve hatırlamanıza etkisi yok.

Şöyle bir örnek ele alalım: Çocukluğunuzdan beri sayısız kuş görmüş olduğunuz için beyniniz, kuş tüyü benzeri tüyleri olan hayvanların uçabildiği genellemesini yapmıştır. Ama hayvanat bahçesinde devekuşları da görmüşsünüz ve bu istisnayı aklınızda tutabilmişsinizdir. Ayrıca, söz konusu hayvanat bahçesindeki devekuşunun adının Dora olduğunu ama bunun görebileceğiniz diğer devekuşları için geçerli olmadığını da öğrenebilirsiniz.

Bundan birkaç yıl önce yapay nöral ağlar inşa etmeye çalışan insanlar, genellemeler ile özel örnekler arasındaki ayrım konusunda bir sorunla karşılaşmaya başladılar. Genellemeleri (*Tüylü nesneler uçar*) öğrenebilen veya belirli bir örnekler grubunu (*Dora adındaki kuş uçamıyor ama Paul adındaki kuş uçabiliyor*) içeren ağları ayrı ayrı kurabiliyor ama ikisini aynı anda yapamıyorlardı. Ağ ya binlerce örneğe maruz kaldıktan sonra yavaş yavaş değişkenlerini değiştiriyor ya da tek tek örnekler tarafından her şeyi hızla değiştirmeye yönlendiriliyordu.

Tek bir beynin, her iki zaman ölçeğinde taşınan bilgileri aynı anda öğrenmesini nasıl sağlarsınız? Sonuçta dünyayla ilgili farklı türden bilgileri hatırlayabilmek için öğrenmenin farklı zaman ölçeklerinde gerçekleşmesi gerekir. Bazen genelleştirmek ister (*Limon sarıdır*), bazen de belirli bir durumu (*Buzdolabımın sebze bölmesindeki limon çürümüş*) hatırlamaya ihtiyaç duyarsınız.

Hedefler arasındaki bu bariz uyumsuzluk, önemli bir ipucu verir.[33] İki işi de iyi yapmak için beynin öğrenme hızları farklı olan farklı sistemlere sahip olması gerekir: ortamdaki genellemeleri bulup ortaya çıkaracak bir sistem (yavaş öğrenme) ve anısal (episodik) bellek için bir sistem (hızlı öğrenme). Bir öneriye göre bu iki sistemden birini hipokampus, diğerini de korteks oluşturur: Hipokampus değişikliklerini hızla gerçekleştirir (böylece örneklerden hızla öğrenir), oysa korteks, genellemelerini çıkarırken işleri ağırdan alır. Birincisi hızla değişip ayrıntıları saklar; çok sayıda örneğe gerek duyan ikincisinin değişimi

ise yavaştır. Beyin, bu numara sayesinde tek tek olaylardan (*Bu kiralık arabanın çalışması için şuradaki düğmeye basmak yeterli*) yola çıkarak hızlı bir öğrenme gerçekleştirirken bir yandan da sayısız deneyimi ele aldığı yavaş bir istatistiksel çıkarım sürecini (*Çiçeklerin çoğu baharda açar*) devreye sokabilir.[34]

GEÇMİŞİN DEĞİŞTİRME GÜCÜ

Beyinde gerçekleşen etkinlikler yapıyı da değiştirir. Kafatasınızın içindeki geniş nöronlar ormanı açısından, ortada muazzam bir düzenlenme problemi vardır: Sinir sistemi, içine gömülü olduğu dünyayı optimal biçimde yansıtmak üzere, kendisini fiziksel olarak değiştirmek zorundadır. Yeni bilginin kapsanabilmesi için tek tek gerçekleştirilen her değişikliğin ağa doğru biçimde katkı yapması gerekir; dahası, bu değişiklikler ileride zamanı geldiğinde, davranışta bir değişime neden olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Bellek üzerinde düşünürken yapılan bir basitleştirme hatası, bu olgunun tek bir değişim mekanizmasına temellendiğini varsaymaktır. Sinapsların güçlendirilme ve zayıflatılmasına dayanan geleneksel hikâye bizi epeyce ileriye taşımış, bu ilkelerden yararlanan yapay nöral ağlar da oldukça etkileyici başarılar göstermiş olsa bile bellek, büyük bir bağlantı şemasındaki sinapsların açılıp kapanmasından ibaret değildir. Görmüş olduğumuz gibi, basit sinaps modelleri, yeni veriler içeriye aktıkça eskilerini temsil etme kapasitelerini hızla kaybederler. Anıların aşınma biçimi (eski anıların daha kararlı kalması durumu), değişimin izlediği farklı zaman ölçeklerinin sırrını gözler önüne serer.

Sinaps modeli nörobilimciler ve yapay zekâ mühendislerinin işine gelebilir ama bu model, neredeyse kesin olarak doğanın yaklaşımını yansıtmaz. Belleğin temelindeki değişiklikler, muazzam sayılardaki nöron, sinaps, molekül ve genlere dağılmıştır. Bir benzetme yapacak olursak çölün rüzgârı nasıl hatırladığını ele alabiliriz: Çöl, kum tepeciklerinin eğimiyle, kayalarının aldığı biçimlerle, böceklerinin kanatlarına, bitkilerinin yapraklarına biçim veren evrimsel baskılarla hatırlar rüzgârı.

Bellek alanında ilerlemek, açıklamaya çalıştığımız olguya azami bir gerçekçilikle yaklaşmayı gerektiriyor. Günümüzde yapay nöral ağlar harikulade işler başarıyorsa da (fotoğrafları insanüstü beceriyle ayırt etmek gibi) insan belleğinin temel özelliklerini yakalayamıyorlar. Benim düşünceme göre, belleğimizin zenginliği biyolojik zaman ölçekleri dizisinden kaynaklanıyor. Yeni bilgiler, eskilerinin üzerine inşa ediliyor ve önceki deneyimlerin getirdiği kısıtlar çerçevesinde kendilerine yer buluyorlar. Tek bir şey daha öğrenirlerse bir başka şeyin bellekle-rinden düşüp gideceğinden kaygılanan birçok tıp öğrencisi tanıdım. Neyse ki bu sabit hacim modeli doğru değil. Aksine, öğrendiğimiz her yeni şeyle, ilgili bir sonraki gerçeği daha iyi özümsüyoruz.

II

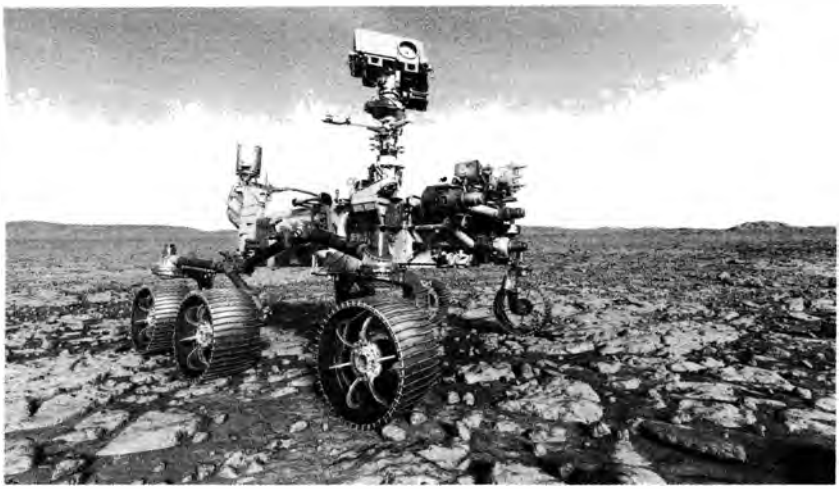
KURT İLE MARS KÂŞİFİ

Geçenlerde Kaliforniya'daki bir okul hakkında okuduğum bir yazı, okulun görsel sanatlar, müzik ve beden eğitimi programlarını kapattığından söz ediyordu. Bütçenin neden bu kadar kısıldığına gelince: Birkaç yıl önce bütün paranın öğrenciler için inşa edilecek gelişkin bir bilgisayar merkezine akıtılmasına karar verilmişti. Satın alınan bilgisayarlar, sunucular, ekranlar ve çevresel aygıtların tutarı 330 milyon doları bulmuştu. Bu eğitimsel hazinenin açılışı ise gururla ve gösterişli bir tören eşliğinde yapılmıştı.

Birkaç yıl sonra ellerindeki donanım güncelliğini yitirmişti bile. Çipler artık daha hızlıydı; bellek sabit sürücüden buluta taşınmıştı ve yeni yazılımlar eski donanımla uyumsuzdu. İlk alımın üzerinden on yıl geçmeden bütün malzemeler çöpe gitmişti. Okulun gözbebeği –yaratıcı sanatlar ve bedensel sağlık pahasına alınan onca teçhizat– kısacık ömrünü tüketmiş, atık sahasında parıldayan pahalı bir anıya dönüşmüştü.

Okuduklarım beni düşünmeye itti: Önünde sonunda bir kenara atılacak bu sabit donanımlı makineleri neden hâlâ üretip duruyorduk? Devrelerini yerine oturttuğumuz anda, onu bir son kullanma tarihine mahkûm etmiyor muyduk?

Çevremizi saran biyolojiyi dikkatle anlamaya çalışırsak, "canlı yazılım" ilkelerinden de yararlanabiliriz. Düşünün ki bacağı kapana sıkışan bir kurt, bacağını kemirir ve yoluna topallayarak da olsa devam eder. Bunu bir de Mars keşif aracı *Spirit*'te olanlarla karşılaştırın. Araç



Şimdi 400 milyon dolarlık bir dış gezegen hurdası haline gelmiş olan göz kamaştırıcı keşif aracı Spirit.

kızıl gezegenin yüzeyine 4 Ocak 2004'te indikten sonra, yüzeyde yıllarca başarıyla gezindi. Ancak 2009'un sonlarında, ağırlığı iki yüz kiloya yaklaşan araç toprağa saplanıp kaldı. Kıpırdayamamasının bir nedeni, sağ tekerleğinin artık çalışmamasıydı. Mars topraklarında öylece kalakalan *Spirit*'in güneş panelleri, güneşe yönlenemez olmuştu. Araç sonunda gücünü kaybetti ve kış süresince onarılmaz hasarlar aldı. 22 Mart 2010'da Dünya'ya son şarkısını ışınlayarak kapandı.

Spirit, yine de programlanmış ömür uzunluğunu kahramanca aşmayı başarmıştı. Ama onun yerine, gezegende ancak birkaç yıl yaşadıktan sonra kemik yığınına dönüşecek bir insan kolonisi göndermiş olsaydık acımız çok daha büyük olurdu.

Bu sözlerim, NASA'nın olağanüstü mühendislik başarısına bir eleştiri olarak alınmamalı. Sorun, hâlâ sabit donanımlı robotlar üretiyor olmamız. Günümüz robotlarından biri bir tekerlek, dingil ya da ana kartının bir parçasını kaybedecek olursa oyun bitti demektir. Ama hayvanlar âleminin dört bir yanındaki canlılar, hasar aldıkları halde yollarına devam edebilirler. Topallar, vücutlarını sürükler, zıplar ve bir zaafı diğerine tercih etmek suretiyle hedeflerine doğru yol almak için ellerinden gelen her şeyi yaparlar.

Kapana kısılmış kurt, kendi bacağını kemirerek kurtulur. Beyni, bu sıra dışı vücut planına uyum sağlar çünkü kendisini yeniden emniyete

alması, ödül sistemleri için *anlam* taşır. Kurdun yiyeceğe, barınağa ve sürünün desteğine ihtiyacı vardır. Dolayısıyla beyin onu o noktaya taşıyacak bir çözümü ne yapıp edip bulacaktır.

Keşif aracı ile kurt arasındaki bu fark, "bilgi" ile "amacı olan bilgi" arasındaki farka karşılık gelir. Kapana yakalanmış kurt, *Spirit*'ten farklı olarak azimle yönelir hedefe. Hedef ise tehlikeden kaçıp güvenle sığınabileceği bir yer bulmaktır. Eylem ve niyetleri, avlanma ve açlık tehlikesiyle desteklenir. Kurt, hedeflerini dikkate alarak ilerler. Bunun bir sonucu olarak beyni dış ortam ve bacaklarının sunduğu olanaklarla ilgili bilgiyi toplar ve olanakları yararlı eylemlere dönüştürür.

Kurt topallayarak yoluna devam edebilir çünkü hayvanlar orta dereceden bir hasarla sistemi kapatıvermezler. Makinelerimiz de kapatmamalıdır.

Tabiat Ana, kurt beyninin devrelerini sabitlemenin anlamsız olduğunu bilir. Vücut planları değişir. Çevre değişir. Beceri ve olanaklar ile eylemler arasındaki karmaşık ilişki değişir. Önceden tanımlanmış bir devreler ağı yerine, her şeyi gerektiği anda optimize edebilen, kendini ayarlayarak hedeflerine etkili biçimde ulaşabilen infotropik bir sistem inşa etmek daha iyi bir plandır. Bazı hedefler uzun dönemli (sağkalım gibi), bazıları da kısa dönemlidir (kaçan geyiği yakalamak için kuşatma stratejisi belirlemek gibi). Hangisi olursa olsun beyin, kendini bu hedeflere yönelebileceği şekilde ayarlar.

Öyleyse hasar gören robotlar, çalışmaya devam edebilmek için neye gereksinim duyardı? Değişikliğe uğramış bir vücut planını yönlendirme becerisi yanında, yeme, sosyalleşme ve hayatta kalma arzusuna. Bunlar elde olduğunda, tekerleklerini kaybettiklerinde ya parçaları hasar gördüğünde, devrelerinin geri kalanı başlanan işi bitirmek için kendilerini ayarlayabilirdi. Mars keşif aracının saplanan tekerleğini kesip atabildiğini ve hareketi kalan tekerlerine aktarabildiğini bir düşünün. Bu tür ilkeler, kendi devrelerini ayarlamak üzere girdiler ile hedefleri bir araya getirebilen, yeniden yapılanma özellikli makinelerin inşasında kullanılabilir pekâlâ. Bunlar tekerleklerini kaybettiklerinde, dingilleri parçalandığında ya da devreleri koptuğunda, kalan devreler başlanan işi bitirmek için gerektiği gibi düzenlenebilir.

Bir kurdun devrelerini sabitlemek nasıl anlamsızsa Polgár kardeşlerin, Itzhak Perlman'ın ya da Serena Williams'ınkileri sabitlemek de

anlamsızdır. Dünya, öngörülemeyecek kadar karmaşıktır ve bu nedenle genleri bu çapraşıklığı karşılayacak şekilde programlamak da olanaksızdır. Ne de olsa her şey bir akış içinde ilerlemektedir: bedenler, besin kaynakları, girdiler, olanaklar ve çıktılar arasındaki ilişkiler... Yeğlenecek yaklaşım, önceden tanımlanmış devrelere bel bağlamak yerine, kendini etkin biçimde geliştirebilen, hedeflerine ulaşmak için kendini ayarlayabilen bir sistem kurmak olmalıdır.

Nörobilim onlarca yıldır mühendisliğin katkılarıyla (osiloskoplardan tutun elektrotlar ve manyetik rezonans görüntüleme cihazlarına kadar) hız almıştır. Bu etkinin yönünü tersine çevirmenin ve artık mühendisliğin biyolojiden yararlanmasını sağlamanın zamanı nihayet gelmiş olabilir.

En zengin şirketlerin en alengirli temiz odalarında uygulanan günümüz mühendisliğiyle bile yanına yaklaşamadığımız birçok şey görürüz çevremizde: köpeklerden yunuslara, insanlardan sinekkuşlarına, pandalardan pangolinlere kadar. Bu canlılar prize takılmaya ihtiyaç duymaz, enerji kaynaklarını kendileri bulurlar. Tırmanır, koşar, zıplar, yüzer, emekler, hatta biraz çabayla kaykay, sörf, kar kayağı gibi araçlar bile kullanabilirler. Bütün bunların mümkün olmasının nedeni, Tabiat Ana'nın yeni alıcılar ve kaslar yapmak için genlerle durmaksızın oynamasıdır. Beyin bunlardan yararlanmanın yolunu bulur. Aldıkları hasarlara (bacağın kırılmasından, beyin yarımküresinin alınmasına kadar) karşı da dayanıklı olan bu canlılar, hasarlarına rağmen yollarına devam edebilirler. Oysa geliştirdiğimiz cihazlar, biyolojinin tanımlayıcı özellikleri olan esneklik ve dayanıklılıktan yoksundur.

Öyleyse şimdiye kadar neden hiç canlı devreli aygıtlar üretmedik? Kendimize karşı bu kadar acımasız olmayalım: Tabiat Ana'nın trilyonlarca deneyi bir arada test etmek için milyarlarca yılı vardı. Bizlerse ne böylesine büyük zaman aralıklarını ne de gelişimini tamamlayıp yeryüzünde dolaşan, sularda fır dönen ya da gökyüzünde süzülen sayısız canlı beynini hayal edebiliriz.

Böyle bir düzeye ulaşmamız epeyce zaman alacak. Ama iyi haber, çevremizdeki şifreleri yavaş yavaş çözmeye başlamış olmamız.

Peki, canlı devre ilkelerini, ürettiğimiz aygıtların bünyesine katmaya nasıl başlayabiliriz? Birinci yol, Tabiat Ana'nın zaten geliştirmiş olduğu şeyleri taklit etmektir. Örnek olarak, mağaralarda yaşayan kör bir balık olan Meksika tetrasının vücudunu kaplayan alıcıları ele alalım: Balık, su basıncı ve akışını algılayarak çevresini saran zifiri karanlık sulardaki yapıları deşifre edebilir. Bu balıktan esinlenen Singapurlu mühendisler, alıcıların yapay örneklerini denizaltılar için üretmişlerdir.[1] Sonuçta, sualtı araçlarındaki ışıklar çok fazla enerji tükettikleri gibi, ekosistemlere zarar da verirler. Meksika tetrasından esinlenerek yapılan küçük ve düşük güçteki alıcılar dizisiyle umut edilen, sudaki dalgalanmalar aracılığıyla karanlıkta "görmek"tir.

Alıcılarla yapılan biyomimikri (doğayı taklit) çalışmaları harika bir başlangıçtır ama yalnızca bir başlangıçtır. Asıl zorluk, yeni tak-çalıştır aygıtlarını bünyesine katabilecek bir sinir sistemi tasarlamaktır. Bunun yararı ne olur peki? NASA'nın Uluslararası Uzay İstasyonu'yla (International Space Station – ISS) ilgili sürekli karşı karşıya kaldığı bir problemi örnek verelim. Uluslararası işbirliği, projenin özü olduğu kadar bir mühendislik sorununun da temel unsuru. Ruslar bir modül inşa ederken, Amerikalılar bir başkasını ekliyor; Çinlilerse yine bir başkasını. Böylece ISS, farklı ülkelerin modülleri üzerindeki alıcıların eşgüdümünü sağlamak gibi sürekli bir sorunla karşı karşıya. Amerikalıların ısı alıcıları, Rusların titreşim alıcılarıyla her zaman senkronize çalışmıyor; Çinlilerin gaz alıcılarıysa verilerini istasyonun geri kalanına iletmede sorun yaşayabiliyor. ISS, problemi çözmek, sonra da bir daha çözmek üzere sürekli olarak mühendisleri görevlendiriyor.

Bu soruna çözüm getirmenin doğru yolu, Tabiat Ana'yı taklit etmektir. Sonuçta doğa gözden kulağa, burundan basınç sensörlerine, ısı çukurcuklarından elektroreseptör ve manyetoreseptörlere kadar binlerce yeni alıcı ortaya çıkarmıştır. Evrimsel koridorlarda yol alarak, bu alıcılardan bilgiyi çekebilecek, üstelik bunu alıcılar hakkında önceden bilgilendirilmeden yapabilecek bir sinir sistemi tasarlamaya adamıştır çabalarını (4. Bölüm). Alıcılar, tasarım bakımından birbirinden tümüyle farklı olabilir ama hiç zorlanmaksızın birlikte sorunsuz çalışırlar. Neden? Çünkü beyin dünyada gezinir, gelen veri akışları arasında ilinti bulmaya çalışır ve girdisel bilgiyi değerlendirmenin yollarını arar.

Bu yaklaşımdan nasıl yararlanabiliriz? Beynin yararlandığı en güçlü tekniklerden biri, bir motor eylem gerçekleştirdikten sonra gelen geribildirimi değerlendirmektir. Benim fikrim, ISS'in sadece alıcılarıyla değil, motor özellikleriyle, yani gövdesini nasıl kullandığıyla da değerlendirilebileceği şeklinde. Ne de olsa ISS'in ilkesi, modüler tasarıma dayanıyor ki bu da vücut planının sürekli değişeceği anlamına geliyor. 5. Bölüm'de gördüğümüz gibi, beyin, kendisini içinde bulduğu bedeni yönlendirmeyi öğrenir. Önceden programlamaya ihtiyaç yoktur; ihtiyaç duyulan tek şey, motor babıldama, yani çeşitli eylemleri deneyip sonuçlarını izlemektir. Beyin, içinde bulunduğu bedeni böyle çözümler. ISS de aynı teknikle gelişigüzel biçimde kıpırdanıp hareket ederse yeni eklentilerini ve onlarla kazanacağı tüm yetileri çözümleyebilir. Kendini yeniden yapılandırmanın geleceği, tümüyle bitmemiş ama kendi devrelerinin örüntüsünü tamamlamak için dünyayla etkileşimden yararlanan makineler tasarlayacağımız bir gelecek olacaktır.

Sisteme giren ve çıkan sinyallerin eşgüdümü bir kez sağlandığında, artık her türlü sihir mümkün demektir. Örnek olarak, birçok ürünün merkezine oturmuş durumdaki popüler bir mikroçip türünü (alanda programlanabilir geçit dizgesi – field-programmable gate array / FPGA) ele alalım. Bu müthiş bir çip olsa da beraberinde getirdiği temel bir zorluk vardır: içinde oradan oraya fırlayıp duran sinyallerin zamanlamasını koordine etmek. Sıfırlar ve birler bu çiplerde ışık hızına yakın hızlarla fır dönüp dururlar. Çipin bir parçasındaki bir bit, tesadüfen belirli bir noktaya başka bir parçadaki bitten önce varırsa sonuç felakettir çünkü çipin bütün mantıksal işlevi zarar görür. Mikroçiplerde zamanlama olgusu, koca bir alt alanı oluşturur ve konuyla ilgili tuğla gibi kitaplar vardır.[2]

Biyolog merceğiyle bakıldığında, bunun basit bir çözümü olduğu görülür. Beyin, bir çipin karşı karşıya olduğu zorluğun aynısıyla karşı karşıyadır: İçeri giren sürekli bir sinyal akışının yanında (duyu alıcıları ve iç organlardan), bir de dışarı çıkan sinyallerin oluşturduğu akış (kol ve bacakların hareketlerinden kaynaklananları gibi) söz konusudur. Zamanlama burada da çok önemlidir. Ayağınız yere basmadan hemen önce bir dal çıtırtısı duyarsanız yırtıcılar için ortalığı kolaçan etmeniz iyi olacaktır. Ama çıtırtının ayağınız toprağa değdikten hemen sonra gelmesi, bunun kendi eylemlerinizden kaynaklanan normal bir

duyusal sonuç olduğu ve paniğe gerek olmadığı anlamına gelir. Beynin karşı karşıya olduğu zorluk, her duyu için beklenen zamanlamayı önceden programlama olanağının olmamasıdır çünkü bu zamanlama değişebilir. Aydınlıktan karanlığa girdiğinizde, gözlerinizin beyninizle konuşma hızı, neredeyse saniyenin onda biri oranında düşer. Ortam soğuk değil de sıcaksa sinyaller kol ve bacaklarınız boyunca daha hızlı ilerler. Bebeklikten çıkıp yetişkinliğe doğru geliştikçe kol ve bacaklarınızın uzunluğu değişir ve dolayısıyla sinyalleri alıp göndermek için geçen süre uzar.

Öyleyse beyin bu zamanlama sorunlarının üstesinden nasıl gelir? Zaman doğrulaması üzerine yazılmış kalın bir kitabı okuyarak değil elbette. Onun yerine, dış dünyaya doğru çeşitli sondalar uzatır: nesneleri tekmeleyerek, devirerek ya da onlara dokunarak. Çalışması şöyle bir varsayım temelinde gerçekleşir: Eylemi siz *ürettiyseniz* (dünyayla etkileşime girerek) zamansal olarak saçılmış ve duyusal kanallar aracılığıyla geriye dönen bilgi, eşzamanlı olarak algılanır. Yani, bilinciniz sonuçları aynı zamanda görecek, işitecek ve hissedecek şekilde ayarlama yapar.[3] Ne de olsa geleceği öngörmenin en iyi yolu, onu yaratmaktır. Beyniniz dünyayla her etkileşime girdiğinde, farklı duyulara açık ve net bir mesaj yollar: Saatlerinizi senkronize edin.

Sonuçta mikroçip zamanlama problemini nörobilimden esinlenerek çözmenin yolu, çipin kendisine düzenli olarak sondalar göndermesini sağlamaktır (bir insanın top zıplatırken, çatal kaşığı birbirine vururken ya da gözlük taktıktan sonra ileri geri bakarken yaptığı gibi). Çip, sondayı kendisi "yarattığından", olacaklarla ilgili berrak beklentiler taşıyabilecektir. Sonrasında kendini buna uygun biçimde ayarlayabilecek ve bize nihayet devasa kitaplardan kurtulma olanağını sağlayacaktır.

Canlı devre olgusunun ilkelerini makinelerimizle bütünleştirdikçe, aklımıza gelebilecek her türlü aygıt kapsama alanı içine girecektir. Sürücüsüz arabaları düşünün. Gelecekte tahminen daha az kaza ve kıyımın yaşandığı yollarımız olacak – sadece araçların çevredeki araçlarla bilgi paylaşıp iletişim kurmasından değil, sistemin öğrenmeyi de içermesinden dolayı: Araçlar, zamanla daha iyi birer sürücü haline gelecekler.

Elbette başlangıçta kasıtlı olarak hata yapmak üzere programlanmış olmayacaklar. Sorun, dünyanın karmaşıklığı ve her durumun önceden programlanamaması olduğundan, tıpkı hata yaparak öğrenen ve aldıkları dersleri paylaşan gençler gibi, araçlar da zamanla akıllanacaklar.

Canlı devreli sistem özelliklerini, elektriği şu anda olduğundan çok daha verimli bir şekilde dağıtmak için de kullanabiliriz. Şeylerin İnterneti'ni (gündelik cihazların ağa bağlanmasıyla oluşan ağ; Internet of Things – IoT) inşa etmeye devam ettikçe, aydınlatma birimleri, havalandırma cihazları, bilgisayarlar gibi aygıtların oluşturduğu devasa kümelenmelerde kaynak alışverişini sağlayabiliriz. İnternet, bu koşullarda elektriği, ihtiyacın ortaya çıktığı yer ve zamana göre dağıtan dev bir sinir sistemi olarak işlev görecektir.[4] Bu tür bir akıllı elektrik şebekesi, başka işlevlerinin yanında elektrik üretiminin kişiye özel hale gelmesine de kapıyı aralar. Tabiat Ana'nın bir canlıya yeni çevresel aygıtlar ekleyip bunları kullanmayı öğrenme işini canlının beynine havale ettiği gibi, bizim de ortama rüzgâr türbinleri ve güneş çiftlikleri eklediğimizi düşünün. Akıllı bir şebeke, verimliliği artırmanın ötesinde, saldırılara kendini tedavi ederek karşı koyabilecektir. Dünyanın birçok ülkesi, akıllı şebeke uygulamasına geçmek için çalıştığını iddia etse de işin doğrusu, "akıllı" sözcüğünün temsil ettiği birçok farklı düzey vardır. Üçüncü sınıfa giden çocuğunuz da akıllıdır, Albert Einstein da akıllıdır. Tabiat Ana'nın milyarlarca yıllık bir süreçte tasarladığı canlı devre olgusunu anlayıp uygulamaya başladıkça, bizler de yavaş yavaş akıllı şebekeden dâhi şebekeye doğru ilerleyeceğiz.

Canlı devrelerin keşif araçları, arabalar, çipler ve şebekelere getireceği avantajların ötesinde, biyolojinin mimari gibi alanları yeniden tanımlayacağı günleri görmeyi de umuyorum. Şu anda var olan en muhteşem yapılarımız, doğanın yaratıları (nöronun etkileyici yapısından beyinciğin benzersiz tasarımına ya da kolların kıvrak dansına kadar) yanında soluk kalıyor. Peki, mimarlar da biyolojiden esinlense?

Banyolarındaki trafiğin yoğunluğunu algılayarak daha fazla musluk tapası, klozet ve kanalizasyon borusunun hızla üretimini sağlayacak çekici ve itici maddeler salabilen bir bina düşünün. Ya da gözünüzün önüne kendi mimarisinin farkında olan ve sinir sistemini yapılan değişikliklere uygun biçimde ayarlayabilen bir ev getirin: Yeni bir oda eklendiğinde havalandırma boruları ve elektrik kabloları odaya doğal

bir şekilde uzanıyor. Evin beyni yeni bir ayarlamadan geçerek, evin görünüşüyle ilgili yeni bir duyum geliştiriyor. Benzer şekilde, evin bir bölümü kaza sonucu hasar gördüğünde, kaynaklar da dinamik biçimde yeniden yapılandırılıyor: Hasar gören mutfak, daha büyük olan eski haliyle gördüğü işlevleri daha küçük bir alanda sürdürmek için tezgâh alanını ve elektronik eşyaları yeniden düzene sokuyor. İleride hayalet buzdolabı ağrısıyla baş etmek zorunda kalsak da en azından duvarları dökülen demode evlerle uğraşmak zorunda kalmayacağız. Ve düşünün ki birbirlerinden aldıkları işaretlerle kendilerini bir yapı oluşturacak şekilde düzenleyebilen (tıpkı tek haldeki nöronların gruplaşarak daha büyük çekirdekler oluşturmaları gibi) tuğlalar yapmayı başardık. Ya da açı değiştirip dönebilen ve böylece aldıkları güneş ışığını, gölge oranını, su erişimlerini ve maruz kaldıkları rüzgâr miktarını dinamik olarak optimize eden binalar. Belki de yangın tehlikesi belirdiği ya da kıyı çizgisi uzun bir zaman aralığında değiştiğinde ayaklanıp daha iyi bir noktaya yerleşebilecek türden yer değiştirebilir binalar yapabileceğiz. Canlı devre olgusunu daha iyi kavramaya başladıkça mühendisliğin gösterebileceği gelişmelerin ucu bucağı yok.

Son olarak şunu da belirtelim: Kendini yapılandırabilen aygıtların geleceği, onarımları konusundaki anlayışı da değiştirecektir. İnşaat işçileri ya da araba tamircilerini şaşırtacak durumlar ender çıkar ortaya: Binanın ya da motorun bir bölümünün hasar görmesi, aşağı yukarı öngörülebilir sonuçlar doğurur. Genç nörologlarsa aksine, kendilerini sıklıkla tereddüt ve kendine güvensizlik içinde bulur. Beyindeki sorunları makul bir doğrulukla tanıyıp teşhis edebilmekle birlikte, hastaların kitaplardaki kalıplara uymadıkları vakalarda çaresizlik yaşarlar. Kitap kalıpları neden yetersiz kalır peki? Çünkü her hastanın beyni geçmişi, hedefleri ve uygulamalarına dayanan benzersiz bir yol izlemiştir. Uzak geleceğin inşaat işçileri ve araba tamircileri de daha çok nörologlar gibi çalışmak zorunda kalacak, sorunu çözmede tek bir kablo ya da cıvataya bel bağlamak yerine, genel ilkeleri el yordamıyla bulacaklardır.

Beyin işlevlerinin ilkelerini aydınlattıkça, bunlar yapay zekâdan mimariye, mikroçiplerden Mars keşif araçlarına birçok alana katkıda

bulunacak. Çöplükleri kırılgan cihazlarla doldurmak yerine, yalnızca biyolojik dünyamızı değil, üretim dünyamızı da dolduracak olan kendini yapılandırabilir cihazlar üreteceğiz.

Uzak gelecekteki torunlarımızın Endüstri Devrimi tarihine baktıktan sonra şu soruyu soracaklarını tahmin ediyorum: Sadece doğanın milyar yıllık biyoloji devriminin dört bir yanımızı sarmış ilkelerini taklit etmek varken, bu sıçramayı yapmak için neden bu kadar beklendi?

Öyleyse, teknolojimizin elli yıl sonra neye benzeyeceğini soran bir gence şöyle diyebilirsiniz: "Yanıt, tam olarak gözlerinin arkasında."

12

ÖTZİ'NİN KAYIP AŞKINI BULMAK

1991'in Eylül'ünde Tirol Alpleri'nde yürüyüş yapan bir Alman çift, bir cesede rastladı. Cesedin alt yüzde 90'lık bölümü buzun altında kaskatı donmuş, yüzeye sadece baş ve omuzlar çıkmıştı. Buzdaki bu adam, donma etkisiyle bütün halde kalmıştı. Yıllar içinde bu dağlarda yolunu şaşırmış bazı dağcıların cesetleri bulunmuş olsa da bu sefer durum farklıydı.

Bu adam, burada beş bin yıl önce donmuştu.

Tirollü Buz Adam olarak tanınan bu donmuş bedene, daha sonraları Ötzi adı verildi. Bölgeye yapılan birkaç ziyarette, sıkışıp kaldığı yerden buz kıracaklarıyla çıkarılmaya çalışıldı, ardından kötü hava koşullarının etkisiyle yeniden dondu ve sonunda kayak sopalarıyla buzdan sökülebildi. Birkaç hafta boyunca farklı mahkemelerde süren mülkiyet tartışmalarının sonunda bilim insanları nihayet devreye girip adamın Geç Neolitik Dönem'e –tamı tamına Bakır Çağı'na– tarihlendiğini belirleyebildiler.[1]

Bulgunun hemen ardından soru işaretleri de gelmeye başladı. Kimdi bu adam? Nasıl biriydi? Hangi bölgelerde dolaşmıştı? Taşarcasına akan bilimsel yazıları okudukça, o mütevazı kalıntılardan bunca şeyin ortaya çıkarılabilmesi beni hayretler içinde bıraktı. Mide içeriği, yediği son iki öğünü gün yüzüne çıkarmıştı: her ikisi de siyez buğdayı, kepek, bitki kökleri ve meyvelerle birlikte yenmiş dağkeçisi eti ve geyik eti. Son yediklerindeki polenin henüz taze olması, ölümün baharda gerçekleştiğini gösteriyordu. Saçları, son birkaç ayındaki beslenmesini

genel hatlarıyla ortaya koyuyor, tellerin arasındaki bakır parçacıklarıysa dökümcülük yaptığını gösteriyordu. Diş minesi, çocukluğunun geçtiği bölgeyi ele verirken, kararmış akciğerleri yaktığı kamp ateşlerinin hikâyesini anlatıyordu. Bacak kemiklerinin oranlarından, dağlık bölgelerde büyük mesafelerle yürüdüğü anlaşılıyordu. Dizlerindeki aşınmadan dolayı ilkel bir akupunktur tedavisi görmüştü. Bu bilginin kaynağı ise kemiklerinin genel durumu ve derisinde tedavi noktalarına karşılık gelen çarpı işaretleriydi. El parmaklarının tırnaklarında, hastalıklarının geçmişi yatmaktaydı: Tırnaklardaki üç enine çizgi, ölmeden önceki son altı ay içinde, sistemik bir hastalıktan en az üç kez rahatsızlandığını vurguluyordu.

Bir vücut, bize muazzam miktarda veri sunabilir çünkü onu biçimlendiren, deneyimleridir.

Görmüş olduğumuz gibi, beyinde çok daha özel bir biçimlendirme gösterir kendini.

Belki günün birinde, nöral kaynakların tam olarak nasıl biçimlendirildiğinden yola çıkarak, bir insanın yaşamını (neler yaptığını ve onun için önem taşıyan şeyleri) kaba hatlarıyla okuyabileceğiz. Uygulanabilirliği kesinlik kazanırsa bu da yeni bir bilim alanına karşılık gelecek. Beynin kendini nasıl biçimlendirdiğine bakarak, bir insanın nelere maruz kaldığını, belki de nelere önem verdiğini anlayabilecek miyiz? İnce motor beceriler gerektiren işlerde hangi elini kullandığını? Çevresindeki anlamlı sinyallerin neler olduğunu? Kullandığı dilin yapısını? Ve sadece mideye, saçlara, dizlere ve tırnaklara bakarak anlayamadığımız diğer şeyleri?

Sonuçta bu yaklaşım, düşürülmüş düşman uçaklarında uyguladığımız tersine mühendislikle aynı mantıktan yararlanır. Böyle durumlarda işlevin yapıyla ilişkili olduğu varsayımını hareket noktası olarak alırız: Pilot kabinindeki kablolar belirli bir yapılanma içindeyse mutlaka ardında yatan bir neden vardır. Aynı olanaklar beynin geriye dönük deşifre sürecinde de öne çıkar.

Her şey yolunda giderse bundan elli yıl kadar sonra, İtalya'nın Bolzano şehrinde camdan bölmesinin içinde duran Tirollü Buz Adam'ı yeniden ziyaret edecek ve onu, buzdan mezarını temsil eden berrak hücresinden çekip çıkaracağız. Doğrudan beyninin dokusuna kazınmış hikâyesinin ayrıntılarını okuyarak yaşamını dışarıdan değil, onun

kendi gözünden göreceğiz: onun için önemli olanı, zamanını neyle geçirdiğini, kime âşık olduğunu... Bu, şimdilik bilimkurgudan öteye geçmese bile onlarca yıl sonra doğrudan bilim niteliğini kazanabilir.

Evrimin, uzun zaman ölçekleri içinde canlıları çevrelerine uyum gösterecekleri şekilde biçimlendirdiğini biliyoruz. Retinalarımız üzerindeki fotoreseptörlerin, güneşin yaydığı ışık tayfıyla mükemmel biçimde eşleştiği gerçeğini ya da genomlarımızın eski zaman enfeksiyonlarının arkeolojik kaydını taşıdığını düşünün. Ama bir yaşam süresinin kısacık zaman aralığı içinde, beyin devrelerinin düzenlenişi, bize çok daha fazlasını söyleyebilir. Beynin yapısı, bir kişinin yaşadığı ortamda neyle ilgilendiğini, neye zaman ayırdığını ve bilgiye erişim noktalarını aydınlatır. Böylece, Tirollü Buz Adam'ı döneminin bir temsilcisi olarak tanımaktan öte, beyin hücrelerinin içine kazınmış olan mikroskobik güncesini de okuyabiliriz. Kardeşlerinin, çocuklarının, büyüklerinin, dostlarının ve rakiplerinin yüzlerini görüp, geçirdiği yağmurlu gecelerin ve yaktığı ateşlerin kokusunu içimize çekebilir, konuştuğu dili, tanıdığı sesleri işitebilir, mutluluklarını, korkularını, acılarını ve umutlarını deneyimleyebiliriz.

Ötzi, dünyasını video kamerayla kaydedebileceği bir zamanda yaşayacak kadar şanslı değildi. Ama ihtiyacı yoktu buna. Kamera kendisiydi.

DÖNÜŞÜM GÜCÜ BİZDE

İnsanlar bazen bana şöyle şeyler söylüyor: "Doktorlar, yeğenimin bir daha asla yürüyemeyeceğini söylemişti. Ama bakın, nasıl koşuyor şimdi!" Öncelikle, her şey yoluna girdiği için hasta ve ailesi adına çok mutlu oluyorum. İkincisi, doktorun gerçekten "asla" sözcüğünü kullanıp kullanmadığına dair kuşku duyuyorum. En azından başına "en *olası* senaryoya göre" gibilerinden bir şeyler getirmiştir diye düşünüyorum. Ya da doktorun belki de sadece beklentiyi düşük tutmakla herhangi bir olumlu gelişmenin takdir göreceğinden yola çıktığı ve böylece hakkında açılabilecek bir davayı önlemeye çalıştığı geçiyor aklımdan. Neden hangisi olursa olsun iyi bir hekim, böyle bir durumda

kesin ifadelere nadiren başvurur çünkü beynin kendini yapılandırma becerisi, özellikle de gençlerde olasılık kapılarını açık bırakır.

Benim gözümde, canlı devre oluşturma özelliği belki de biyolojideki en olağanüstü olgu. Bu kitapta, olgunun temel özelliklerini yedi ilkede toplamaya çalıştım:

1. ***Dünyanın yansıtılması.*** Beyin, kendisini girdilerle eşleşecek şekilde ayarlar.
2. ***Girdilerin sarmalanması.*** Beyin, hangi türden olursa olsun gelen bilgiden yararlanmanın yolunu bulur.
3. ***Herhangi bir düzeneğin yönlendirilebilmesi.*** Beyin, kendisini içinde bulduğu vücut planı ne olursa olsun onu yönlendirmeyi öğrenir.
4. ***Önemli olanın saklanması.*** Beyin, kaynaklarını anlamlılık ve ilintililik temelinde dağıtır.
5. ***Kararlı bilginin yerine sabitlenmesi.*** Beynin bazı bölgeleri, girdiye bağlı olarak diğerlerinden daha esnektir.
6. ***Rekabet ya da ölüm.*** Plastisite, sistem parçalarının sağkalım için verdikleri mücadeleden doğar.
7. ***Verilere yönelme.*** Beyin, dış dünyayla ilgili içsel bir model kurar ve tahminler yanlış çıktığında kendini yeniden ayarlar.

Canlı devre olgusu, doğanın insanın ağzını açık bırakan bir numarası olmaktan fazlasıdır; belleği, esnek zekâyı ve uygarlıkları mümkün kılan temel bir numaradır. Belirli bir işi yapmak için gerekli araçlardan yoksun olduğunuzu fark ettiğinizde, beyni ince bir ayardan geçirip araçları sizin yaratmanızla ilgilidir. Canlı bağlantılılık, doğal seçilimle evrimin inanılmaz ağırlıktaki bazı yüklerinin hafifletildiği mekanizmadır: Beyin, bu mekanizma sayesinde olası her sonucu öngörmek zorunda kalmak yerine, öngörülemeyenle baş edebilmek için milyarlarca değişkeni anlık olarak ayardan geçirebilir.

Plastisite, sinapslardan tam beyin bölgelerine kadar her düzeyde gösterir kendini. Beyinde süregiden toprak savaşları, aslında en güçlünün hayatta kaldığı bir yarıştır: Her sinaps, her nöron ve her hücre popülasyonu, kaynaklar için birbiriyle mücadele halindedir. Sınır

savaşları sürdükçe de haritalar öyle değişir ki canlı için en önemli olan hedefler, her zaman beyin yapısına yansır.

Canlı devre kavramı, ister istemez düşünme biçimimizin de standart bir parçası haline gelecek, çevremizdeki dünyayı anlamaya çalıştıkça, beynin rolünü de artan bir açıklıkla göreceğiz.

1990'ların ortasında Amerika'da işlenen suçlarda gerçekleşen ani inişi düşünün. Bir tahmine göre bu düşüş tek bir yasal unsura, araçların kurşunlu benzinden kurşunsuz benzine geçişini zorunlu kılan Temiz Hava Yasası'na bağlıydı. Buna göre havada daha az kurşun olması, yirmi üç yıl içinde suçların önemli oranda düşmesine neden olmuştu. Havadaki yüksek kurşun oranlarının, bebeklerin beyin gelişim sürecinde sorunlara yol açarak, daha dürtüsel davranışlara ve uzun dönemli düşünmede yetersizliğe neden olabildiğini artık biliyoruz. Peki, kurşun düzeyleri ile suç arasındaki ilişki bir tesadüf mü? Muhtemelen değil. Kurşunsuz benzine farklı zamanlarda geçiş yapan farklı ülkelerin hepsinde suç oranının yaklaşık yirmi üç yıl sonra –yani büyürken daha az kurşuna maruz kalan çocukların yetişkinliğe adım attığı sıralarda– düştüğünü gözlenmiştir.[2] Varsayımın gerçekten doğru olması, Temiz Hava Yasası'nın, suçla mücadelede Amerika tarihindeki diğer bütün politikalardan daha etkili olduğu anlamına gelir. Üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekse de bu varsayım, canlı devre oluşturma sürecinin moleküller, hormonlar ve zehirli maddelerce etkilenebileceğini vurguluyor. Beyin plastisitesinin önemi konusunda kuşkuya kapıldığınız olduysa, emin olun ki kolları bireyden topluma kadar uzanıyor.

Canlı devrelerimiz sayesinde, her birimiz gerçekte birer zaman ve uzay gemisiyiz. Dünyanın belirli bir noktasına iner ve o noktanın ayrıntılarını emeriz. Temelde dünyada geçirdiğimiz zamanı kaydeden birer kayıt cihazına dönüşürüz.

Kendinizden daha yaşlı biriyle tanışıp fikirleri ve dünya görüşü karşısında afalladığınızda, onu, kendi zaman penceresini ve kendi deneyimlerini kaydeden bir cihaz olarak düşünüp empati kurmaya çalışabilirsiniz. Unutmayın ki günün birinde sizin beyniniz de sizden

sonraki kuşağı çileden çıkaran, zamanın kemikleştirdiği o fotoğrafa dönüşecektir.

İşte size kendi gemimden bir cevher: Hatırlıyorum da, 1985'te "We Are the World" adında bir şarkı çıkmıştı. Afrika'daki yoksul çocuklar için para toplamak amacıyla yazılan şarkı, düzinelerce tanınmış müzisyenin katılımıyla kaydedilmişti. Şarkının teması, herkesin mutluluk ve refahı için her birimize sorumluluk düştüğü şeklindeydi.

Şarkıya şimdi dönüp baktığımda, bir nörobilimci olarak ister istemez başka bir anlam daha çıkıyor benim için. Yaşamımız süresince, genellikle hep bir *ben* ve bir de *dünya* olduğunu düşünerek yol alırız. Ama bu kitapta gördüğümüz gibi, kim olduğumuz, etkileşim kurmuş olduğumuz her şeyin bir sonucudur: çevremizin, deneyimlerimizin, dostlarımızın, düşmanlarımızın, kültürümüzün, inanç sistemimizin, yaşadığımız dönemin... hepsinin birden. "Kendi kendinin efendisi olmak" veya "bağımsız düşünür" gibi ifadelere prim versek de aslında kendimizi içine gömülü olduğumuz zengin ortamdan ayırmamıza olanak yoktur. Dış dünyanız olmadan, *siz* de yoksunuzdur. İnançlarınız, benimsediğiniz dogmalar ve tutkularınız, bu dış taraf ından biçimlendirilir: dıştan içe; tıpkı mermerden beliren bir heykel gibi. Canlı devrelerimiz sayesinde, her birimiz dünyanın ta kendisiyizdir aslında.

TEŞEKKÜR

Nörobilimdeki kariyerim, doğanın sonsuzca yaratıcı alet kutusu karşısında duyduğum hayranlığı besleyen ve yanıtların peşinden koşmanın heyecanını bana öğreten kişilerle güç kazanmıştır. Bu kişiler, beynimi en hassas dönemleri boyunca biçimlendirmiş olan annem ve babam, Cirel ve Arthur; lisansüstü ve doktora sonrası çalışmalarım sırasındaki katkılarıyla yoğuran Read Montague, Terry Sejnowski ve Francis Crick ve sayısız, dost, öğrenci ve meslektaştır. Stanford'ı benim için entelektüel ziyafetlerle şenlenen bir saray haline getiren meslektaşlarıma teşekkür borçluyum. Hem verdikleri esin hem de nitelikli tartışmalar için kendilerinden medet umduğum o kadar çok dostum var ki onları burada saymakla bitiremem; listenin Don Vaughn, Jonathan Downar, Brett Mensh ve yıllar içinde laboratuvarımda çalışmış bütün öğrencilerimi de içerdiğini söylemekle yetinebilirim ancak. Duyusal değiştirim alanındaki çalışmalarımıza, henüz kimse cesaret edemezken sağladıkları mali destekten dolayı Tristan Renz ve Scott Freeman'a teşekkür ederim. Neosensory teknolojisini gerçeğe dönüştürmek üzere benimle çalışan eski lisansüstü öğrencim ve şimdiki iş ortağım Scott Novich'e de ayrıca teşekkür borçluyum. Ekip olarak giderek büyüyen Neosensory çalışanları ise kendilerine duyduğum minnetin kalıcılığından emin olabilirler.

Dan Frank ve Jamie Bing'e ise yayıncı olarak verdikleri inanılmaz hizmet ve sarsılmaz destekleri için teşekkür ederim. Wylie Ajansı'na –özellikle de Andrew, Sarah, James ve Kristina'ya– güçlü ve daimi yardımları için ayrıca minnettarım.

Mike Perrotta, Shahid Mallick, Sean Judge ve Stanford'da verdiğim Beyin Plastisitesi dersini alan harikulade öğrencilerim de dâhil olmak üzere, kitabı dikkatle okuyan herkese teşekkür borçluyum.

Bu kitabı, dünya tatlısı küçücük kafalarında beyin plastisitesi ilkelerinin anbean işlediği çocuklarım Aristotle ve Aviva'ya adıyorum. En derin sevgimin ve minnetimin sahibi ise büyük desteğim ve dayanağım olan eşim Sarah'dır. Kendisine duyduğum aşk ve hayranlığın, normalde yerini lirik şiirlerin arasında bulması beklense de aramızdaki canlı bağlantıların yokluğunda anlamsız kalırlardı çünkü paylaştığımız sevgi, ikimizin de beynine kazınmış durumda.

Son olarak, öğrencilerim ve dünyanın dört bir köşesindeki okurlarımın bana çok büyük bir esin kaynağı olduğunu belirtmek isterim. Ne müthiş bir işle uğraştığım, insanlar için her zaman bariz değildir. Bu nedenle daha önce üzerinde düşünmemiş oldukları bir fikri onlar için gün yüzüne çıkarmak gibi imrenilesi bir şey yaptığımda, o harikulade gerçeklikten yansıyan ışık, yüzlerimizi karşılıklı aydınlatır.

NOTLAR

Bu kitapta ileri sürülen fikirlerin mümkün olduğunca geniş bir kitleye ulaşabilmesi için kavramları alanın terminolojisi yerine dosdoğru bir dille yazdım. Bu yaklaşımın artı ve eksileri ekledim. Aşağıdaki notları, eksileri asgariye indirebilmek için yazdım. Meraklı okuyucunun bunlardan yararlanarak kavramları orijinal literatürle, daha derin ayrıntılarla ve bilimsel terimlerle ilişkilendirebileceğini umuyorum.

1 Yaşayan Elektrik Doku

1. Matthew'nun ailesiyle yapılan söyleşiden.
2. Garip ama gerçek: İşlemi gerçekleştiren cerrah, sonraları Cumhuriyetçi Parti'den ABD başkan adaylığı için yarışan ama adaylığı Donald Trump'a kaptıran Dr. Ben Carson'dı.
3. Bunun da üstüne, bir de nöronları destekleyen ve sayıları aynı olan bir hücre grubu daha vardır: gliya hücreleri. Bu hücreler de işlevlerin uzun dönemli olabilmesi için önemlidir; ancak bilgiyi hızla sağa sola taşıyan grup, nöronlardır. Önceleri gliya hücrelerinin sayıca nöronlardan on kat fazla olduğu düşünülse de izotropik ayırma gibi yeni yöntemlerle artık sayılarının aşağı yukarı eşit olduğunu biliyoruz. *Bkz.* Von Bartheld CS, Bahney J, Herculano-Houzel S (2016), The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A review of 150 years of cell counting, *J Comp Neurol* 524(18):3865–95. Sayılara genel bir bakış için *ayrıca bkz.* Gordon, *The Synaptic Organization of the Brain* (New York: Oxford University Press, 2004).
4. İki yaşındaki bir çocuğun bir gün içinde yaşayabileceği ve tamamı ileride çizeceği yola öngörülemez bir biçim verecek olan deneyimlerden çok küçük bir örnek grup: Çocuk, uzun kuyruğuyla sinekleri öldüren bir çocuğu konu alan bir hikâye dinler. Annesinin arkadaşı Josette, elinde buharı tüten ev yapımı köftelerle dolu gümüş renkli bir tencereyle ziyarete gelir. Daha büyük üç çocuk çığlıklar atarak bisikletle evin önünden geçerler. Ilık bir kamyon kaportası üzerinde uyuyan beyaz bir kedi görür. Annesi babasına, "Tıpkı geçen

sefer New Mexico'da olduğu gibi," der ve ikisi birden güler. Babası mutfak lavabosunun önünde durarak, bir plastik kabın içinden brüksellahanası yer ve ağzı dolu halde konuşur; çocuk yanağını serin ahşap döşemeye yaslar. Kunduz kılığına girmiş iri bir adamın gelen geçene yer fıstığı verişini izler, vesaire. Bu deneyimlerden her biri, biçimlenmesinde ona küçücük de olsa katkı sağlayacaktır ve deneyimler biraz farklı olursa büyüdüğünde biraz daha farklı bir insan olacaktır. Bu durum, çocuğunu doğru biçimde yönlendirme sorumluluğunu taşıyan anne babaları belli ölçüde ilgilendirebilir elbette. Ancak olası deneyimler okyanusunun enginliği, yön bulmayı olanaksız hale getirir. Ne seçilen bir kitabın ne verilen bir kararın ne de karşılaşılan bir durumun bir diğerine kıyasla etkisini bilebilirsiniz. Yaşamın doğrultusu –tek bir gün içinde bile– etkileri öngörmeye imkân tanımayacak ölçüde karmaşıklık içerir. Bu durum, anne veya babanın sorumluluk ve kaygılarının azalması için bir gerekçe olmasa da bilinemezliğin, sonuçta bir parça özgürleştirici etkisi de yok değildir.

5. Nishiyama T (2005), Swords into plowshares: Civilian application of wartime military technology in modern Japan, 1945–1964 (doktora tezi, Ohio State Üniversitesi).
6. Bu bölümdeki temel argüman Eagleman DM (2011), *Incognito: The Secret Lives of the Brain* (New York: Pantheon), [*Incognito: Beynin Gizli Hayatı*, Domingo Yayınları] içinde ele alınmıştır.
7. "Plastisite" teriminin berrak tanımsal sınırlarla nasıl çerçevelenebileceğine dair tartışmalar sürmektedir. Bir değişimin "plastik" olarak nitelendirilebilmesi için ne kadar sürmesi gerekir? Plastisite kavramını olgunlaşma (*maturation*), yatkınlık (*predisposition*), esneklik (*flexibility*) ve elastiklik (*elasticity*) kavramlarından ayırmak mümkün müdür? Bu anlambilimsel (semantik) tartışmalar bu kitabın amacıyla ancak uzaktan ilgilidir ama yine de ilgilenebilecekler için tartışmaların bir kısmını buraya ekliyorum.

   Tartışmaların bir kısmı, "plastisite" terimini ne zaman kullanmak gerektiği üzerinedir. Gelişimsel plastisite, fenotipik plastisite ve sinaptik plastisite aynı şeyin farklı ifade biçimleri midir yoksa "plastisite" farklı bağlamlarda biraz gelişigüzel kullanılan tek bir terim midir? Bildiğim kadarıyla Jacques Paillard, 1976 tarihli makalesiyle, bu soruyu açık biçimde irdeleyen ilk kişi olmuştur. "Réflexions sur l'usage du concept de plasticité en neurobiologie" başlıklı yazı 2008'de Bruno Will ve meslektaşları tarafından, ekledikleri değerlendirmelerle birlikte çevrilmiştir. Paillard'ın görüşlerine paralel olarak, 2008 tarihli makale de "plastisite" için verilecek doğru örneğin hem yapısal hem de işlevsel değişimleri içermesi (yani birinden birini değil), ayrıca esneklik (önceden programlanmış adaptasyon gibi), olgunlaşma (bir canlının normal gelişimi gibi) ve elastiklik (ilk durumlarına er veya geç dönen kısa dönemli değişiklikler) kavramlarından ayırt edilebilir olması gerektiğini ileri sürer. Kitabın ileriki sayfalarında göreceğimiz gibi, bu temaları birbirinden ayırt etmek her zaman mümkün değildir. Bir örnek olarak, beynin birçok farklı zaman ölçeğinde nasıl değişikliğe uğradığı ve bu tür değişimlerin sistemin farklı bölümlerine nasıl geçiş yaptığı (sözgelimi, moleküler ölçekten daha büyük olan hücresel ölçeğe) konusuna bütün bir bölüm ayıracağız. Bu açıdan bakarsak elimizdeki teknoloji sonunda ilk duruma dönüş yapıldığı bir değişiklik ölçecek olursa (ama sadece ve sadece ortaya çıkan dalga etkisini aynı anda ölçemediğimiz için) bütün

sistemin plastik değil, elastik olduğu sonucuna mı varacağız? Anlambilimsel tanımlamaları güncel teknolojilere tutturmaya çalışmak, bana akıllıca gelmiyor doğrusu.

"Plastisite" ile ilgili tartışmalar, "bir bardak sudaki fırtına" noktasına gelmeye yatkındır. Oysa bu kitabın içinde amacımız, kafatası içindeki bir buçuk kiloluk fütüristik teknolojinin, kendini değişime uğratma sürecini anlamaktır. Kitabın sonunda, bu konuda zengin bir kavrayışa ulaşmış olursanız amacıma ulaştım demektir.

8. Matthew'nun topalladığı taraf, çıkarılan yarımkürenin karşı tarafına karşılık geliyor. Bunun nedeni, her yarımkürenin, vücudun karşı tarafına hükmetmesi. İşlemden sonra tümüyle topallamamasının nedeni ise kalan yarımkürenin, diğerinin yürüttüğü motor işlevleri tümüyle olmasa da kısmen üstlenebilmesi.

2 Bir Tutam Dünya Ekleyin

1. Gopnik A, Schulz L (2004), Mechanisms of theory formation in young children, *Trends Cogn Sci* 8:371–77.
2. Spurzheim J (1815), *The Physiognomical System of Drs. Gall and Spurzheim*, 2. baskı (Londra: Baldwin, Cradock and Joy).
3. Darwin C (1874), *The Descent of Man* (Chicago: Rand, McNally), [*İnsanın Türeyişi*].
4. Bennett EL ve diğ. (1964), Chemical and anatomical plasticity of brain, *Science* 164:610–19.
5. Diamond M (1988), *Enriching Heredity* (New York: Free Press).
6. Rosenzweig MR, Bennett EL (1996), Psychobiology of plasticity: Effects of training and experience on brain and behavior, *Behav Brain Res* 78:57–65; Diamond M (2001), Response of the brain to enrichment, *An Acad Bras Ciênc* 73:211–20.
7. Jacobs B, Schall M, Scheibel AB (1993), A quantitative dendritic analysis of Wernicke's area in Humans. II. Gender, hemispheric, and environmental factors, *J Comp Neurol* 327:97–111. Bu noktada, nedensellik okunun hangi tarafa doğrultulduğunu sormakta haklısınız: Üniversiteye girdikten sonra dendritlerin büyümesi yerine, daha iyi durumda dendritlere sahip olanlar, üniversiteye kabul edilmede daha büyük başarı gösteriyor olamazlar mıydı? İyi soru. Bu olasılığı bertaraf edecek deneyler henüz yok elimizde. Ancak ileriki bölümlerde göreceğimiz gibi, insanlar yeni şeyler öğrendikçe (jonglörlük, müzik, yön bulma gibi) beyin değişimlerini anında ölçme olanağına artık sahibiz.
8. İnsan Genomu Projesi başlangıçta gen sayısını 24 bin olarak tahmin etmişti; ancak sayı o zamandan bu yana ileri geri giderek, sonunda 19 bine kadar düştü. *Bkz.* Ezkurdia I ve diğ. (2014), Multiple evidence strands suggest that there may be as few as 19,000 human protein-coding genes, *Hum Mol Genet* 23(22): 5866–78.
9. İzleyen bölümlerde buna çok daha fazla değineceğiz. Deneyime bağımlı ve deneyimden bağımsız olmak, birbirinin tersi iki duruma işaret eder görünse de arada her zaman keskin bir sınır yoktur (*Bkz.* Cline H [2003], Sperry ve Hebb: Oil and vinegar? *Trends Neurosci* 26[12]:655–61). Bazen sabit donanımlı mekanizmalar dünya deneyimlerini simüle eder, bazen de dünya deneyimleri,

yeni sabit bağlantılarla sonuçlanacak gen ifadesine yolu açar. "Etkinliğe bağlı etkinlik" için verilebilecek açık bir örnek olarak düşünülebilecek şu durumu ele alın: Birincil görme korteksinde, sol ve sağ gözden gelen bilginin taşındığı sıralı doku bantları vardır (buna da daha ileriki bölümlerde değineceğiz). Sol ya da sağ göze özgü görsel bilgiyi taşıyan aksonlar kortekste önce geniş bir alana doğru dallanır, sonra da gözün bulunduğu tarafa bağlı olarak, ilgili bantlara doğru ayrılırlar. Peki, nasıl ayrılacaklarını nereden bilirler? Püf noktası, bu ayrılma etkinliğinin, ilintili başka etkinlik örüntüleriyle ortaya çıkmış olmasıdır: Sol göze ait nöronlar, sağ gözün nöronlarından çok, birbiriyle ilinti kurmaya daha yatkındır.

1960'ların ortalarında, Harvard nörobiyologlarından David Huber ve Torsten Wiesel, düzgün biçimde sıralanmış şeritleri içeren haritanın, deneyimle ciddi ölçüde değişebileceğini gösterdiler: Bir hayvanda gözlerden birini kapamak, açık gözden gelen lifleri barındıran alanın genişlemesine neden oluyordu. Öyleyse, bu haritaları oluşturan sinaptik rekabet, nöral etkinliği gerektirmekteydi (Hubel DH, Wiesel TN [1965], Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint, *J Neurophysiol* 28:1041–59).

Ancak bu noktada esrarengiz bir soru ortaya çıkıyordu; çünkü Hubel ve Wiesel daha önce sol ve sağ göze ait sıralı alanların, etkinliğe bağlı olarak ortaya çıkmadığını gözlemişlerdi: Tümüyle karanlık bir ortamda büyüyen hayvanlarda bile vardı bu örüntüler (Horton JC, Hocking DR [1996]. An adult-like pattern of ocular dominance columns in striate cortex of newborn monkeys prior to visual experience, *J Neurosci.* 16[5]:1791–807). Bu bulgular nasıl tutarlı sayılabilirdi ki?

Çelişkinin çözümü yıllar alacaktı. Gelişmekte olan hayvan rahim içinde yüzerken, retinasının kendiliğinden etkinlik dalgaları oluşturduğunu ve bu dalgaların görmenin yaklaşık bir simülasyonunu oluşturduklarını artık biliyoruz. Sadece kaba hatlarıyla var olan faaliyet kabarmaları (bunlar gerçek ve ayrıntılı görsel deneyimin keskin hatlarını taşımazlar), iki gözden gelen komşu liflerin etkinliğini birbiriyle ilişkilendirmek için yine de yeterlidir. Bu ise sıradaki beyin alanlarında (talamusun lateral genikulat çekirdeği ve korteks gibi) göze özgü ayrıma neden olur. Bir başka ifadeyle beyin, her iki göze özgü olan liflerin birbirinden ayrılması sürecine yardımcı olmak için gelişimin erken dönemlerinde kendi etkinliğini ortaya koyar; daha sonra dış dünyadan gelen görsel uyarılar bu işi devralırlar (Meister M ve diğ. [1991], Synchronous bursts of action potentials in ganglion cells of the developing mammalian retina, *Science* 252(5008): 939–43). Sonuç olarak, dünya deneyimleri ile önceden belirlenmiş nöron etkinlikleri arasında bulanık bir alan vardır. Dış deneyimler ve genetik talimatlar arasındaki etkileşim karmaşık olabilir. Ancak genelgeçer ilkeyi özetlersek, deneyimden bağımsız moleküler mekanizmalar, kesin hatlarıyla olmasa da beyinde ilk devrelerin kurulmasına yolu açarlar. Daha sonra, dünyayla etkileşim sonucu ortaya çıkan faaliyet, bu bağlantılarda ince ayarlamalar yapar. Beyni, artık yalnızca genlerin ya da yalnızca dış deneyimlerin bir sonucu olarak düşünemeyiz çünkü genler kimi zaman bu deneyimleri temsil edebilirler. Dolayısıyla deneyime bağımlı ve deneyimden bağımsız mekanizmalar birbirine sıkı sıkıya örülmüş durumdadır.

10. Leonhard K (1970), Kaspar Hauser und die moderne Kenntnis des Hospitalismus, *Confin Psychiat* 13:213–29.

11. DeGregory L (2008), The girl in the window, *St. Petersburg Times*. Son yıllarda Danielle'in bazı gelişmeler gösterdiğini belirtmek gerekiyor. Tuvaleti nasıl kullanacağını öğrendi; kendisine söylenenlerin bir kısmını anlayabiliyor ve sınırlı da olsa bazı sözlü cevaplar verebiliyor. Kısa süre önce devam etmeye başladığı anaokulunda harfleri yazmayı da öğreniyor. Bunlar çok iyi ve sevindirici işaretler; ancak ne yazık ki hayatının o trajik ilk birkaç yılında kaybetmiş olduğu temelin pek fazlasını kazanamayacak gibi görünüyor.

    Konuyla ilgili söylenmesi gereken bir şey daha var. Stres ve yoksunluk koşullarında büyüyen Danielle gibi çocuklarda vücut gelişiminde de sorunlar ortaya çıkabiliyor. "Psikososyal cücelik" adı verilen bu duruma, 1990 yılında bir tıp yazarı tarafından başka bir terim önerildi: "Kaspar Hauser sendromu". (Money J [1992]. *The Kaspar Hauser syndrome of "psychosocial dwarfism" Deficient statural, intellectual, and social growth induced by child abuse.* Prometheus Books. 1992). Hauser'ın geçmişi konusunda neredeyse kesin olarak numara yaptığı düşünülürse bunun pek de uygun bir seçim olduğu söylenemez.
12. Neyse ki günümüz hayvan hakları protokolleri, artık böyle araştırmaların yapılmasını yasaklıyor. O zamanlarda bile, ABD'de filizlenmekte olan hayvan hakları hareketini alevlendiren bu deneyler Harlow'un birçok meslektaşını da dehşete düşürmüştü. Harlow'u eleştirenlerden biri olan Wayne Booth, bir yazısında bu deneylerin sadece "hepimizin zaten bildiği bir şeyi, sosyal canlıların sosyal bağlarını yok etmekle canlının kendisinin de yok olacağını kanıtlamakla kaldığını" söylüyordu.

3 İç, Dışın Aynasıdır

1. *Bkz.* Penfield W (1952), Memory mechanisms, *AMA Arch Neurol Psychiatry* 67(2): 178–98; Penfield W (1961), Activation of the record of human experience, *Ann R Coll Surg Engl* 29(2): 77–84.
2. Korteks, beynin -genellikle yaklaşık 3 milimetre kalınlıktaki- dış katmanıdır. "Gri madde" olarak da anılmasının nedeni, hücrelerinin, hemen altındaki beyaz maddeden daha koyu renkli görünmesidir. Görece büyük hayvanlarda korteks kıvrımlar ve girintiler içerir. Pennfield'ın üzerinde ölçümler yaptığı ilk şerit, bedenden, yani "soma"dan gelen duyumlara atfen "somatosensoriyel korteks" olarak adlandırılır.
3. Etlin D (1981), Taub denies allegations of cruelty, *Baltimore Sun*, 1 Kasım 1981
4. Pons TP ve diğ. (1991), Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques, *Science* 252: 1857–60; Merzenich M (1998), Long-term change of mind, *Science* 282(5391): 1062–63; Jones EG, Pons TP (1998), Thalamic and brainstem contributions to large-scale plasticity of primate somatosensory cortex, *Science* 282(5391): 1121–5; Merzenich M ve diğ. (1984), Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys, *J Comp Neurol* 224: 591–605.
5. Korteksin dışındaki başka beyin bölgelerinde de (talamus ve beyin sapı gibi), büyük düzenlenme değişiklikleri göze çarpıyordu. Bunlara daha sonra yeniden değineceğiz.
6. Knight R (2005), *The Pursuit of Victory: The Life and Achievement of Horatio Nelson* (New York: Basic Books).

7. Mitchell SW (1872), *Injuries of Nerves and Their Consequences* (Philadelphia: Lippincott).
8. Manyetoensefalografi (MEG) ile başlayan bu tür tekniklerde, kısa süre sonra işlevsel manyetik rezonans görüntülemeye (functional magnetic resonance imaging – fMRI) geçildi. Beyin görüntüleme tekniklerini gözden geçirmek için *bkz*. Eagleman DM, Downar J (2015), *Brain and Behavior* (New York: Oxford University Press).
9. Hayalet ağrı olgusu bize şunu öğretir: Beyin, haritalarını yeniden çizse de değişiklikler kusursuz değildir. Önceden kolu kodlayan nöronlar şimdi yüz bölgesini kodluyor olsa bile daha aşağı düzeylerdeki diğer nöronlar, hâlâ koldan gelen bilgileri aldıklarını düşünmektedir. Buna bağlı olarak ortaya çıkan kargaşa, ampütasyon geçirenlerin genellikle hayalet kol ya da bacakta ağrı hissetmelerine neden olur. Daha büyük kortikal değişimler, sıkça deneyimlenen ağrının da büyük olmasıyla sonuçlanır. *Bkz*. Flor ve diğ. (1995), Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation, *Nature* 375(6531): 482–84; Karl A ve diğ. (2001), Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain, *J Neurosci* 21:3609–18. İlerleyen bölümlerde farklı beyin alanlarının nasıl farklı hızlarla değiştiğini ele aldıktan sonra, hayalet ağrıyı da daha iyi anlayacağız.
10. Singh AK ve diğ. (2018), Why does the cortex reorganize after sensory loss? *Trends Cogn Sci* 22 (7): 569–82; Ramachandran VS ve diğ. (1992), Perceptual correlates of massive cortical reorganization, *Science* 258:1159–60; Barinaga M (1992), The brain remaps its own contours, Science 258:216–18; Borsook D ve diğ. (1998), Acute plasticity in the human somatosensory cortex following amputation, *Neuroreport* 9:1013–17.
11. Weiss T ve diğ. (2004), Rapid functional plasticity in the primary somatomotor cortex and perceptual changes after nerve block, *Eur J Neurosci* 20:3413–23.
12. Clark SA ve diğ. (1988), Receptive-fields in the body-surface map in adult cortex defined by temporally correlated inputs, *Nature* 332:444–45.
13. Hebb kuralı olarak bilinen bu kural, ilk kez 1949'da ortaya atılmıştır. Hebb DO (1949), *The Organization of Behavior* (New York: Wiley & Sons). Ancak genellikle bundan biraz daha karmaşıktır: A nöronu B nöronundan hemen önce ateşlenirse aralarındaki bağ güçlenir ama A, B'den hemen sonra ateşlenirse bağ zayıflar. Bu durum "atım zamanlamasına bağlı plastisite" olarak bilinir.
14. Haritanın biçimini belirlemede rol alan genetik yatkınlıklar da vardır. Sözgelimi, başın haritanın bir ucunda, ayakların da diğer ucunda yer alması, vücuttan gelen liflerin nasıl bağlandığıyla da ilgilidir. Ancak kitabın vurgusu, deneyimin bağlantıları değiştirmesi sürecinde izlenen şaşırtıcı yollardır.
15. Tarihsel bilgileri tam olarak vermek gerekirse: Louisiana Bölgesi önce İspanyolların eline geçti. 1802'de İspanya bölgeyi yeniden Fransızlara teslim etti. Ancak, o noktada Yeni Dünya hayalinden vazgeçmiş olan Napolyon 1803'te Louisiana'yı Birleşik Devletler'e sattı.
16. Elbert T, Rockstroh B (2004), Reorganization of human cerebral cortex: The range of changes following use and injury, *Neuroscientist* 10:129–41; Pascual-Leone A ve diğ. (2005), The plastic human brain cortex, Annu Rev Neurosci 28:377–401; D'Angiulli A ve Waraich P (2002), Enhanced tactile encoding and

memory recognition in congenital blindness, *Int J Rehabil Res* 25(2): 143–45; Collignon O ve diğ. (2006), Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects, *Brain Res* 1075(1): 175–82; Collignon O ve diğ. (2009), Cross-modal plasticity for the spatial processing of sounds in visually deprived subjects, *Exp Brain Res* 192(3): 343–58; Bubic A, Striem-Amit E, Amedi A (2010), Large-scale brain plasticity following blindness and the use of sensory substitution devices, in *Multisensory Object Perception in the Primate Brain*, ed. MJ Naumer ve J Kaiser (New York: Springer), 351–80.

17. Amedi A ve diğ. (2010), Cortical activity during tactile exploration of objects in blind and sighted humans, *Restor Neurol Neurosci* 28(2): 143–56; Sathian K, Stilla R (2010), Cross-modal plasticity of tactile perception in blindness, *Restor Neurol Neurosci* 28(2): 271–81. Bu değişimlerin, kendilerini başka şekillerde gösterebildiğini de not edelim: Örneğin, Braille alfabesini okuyabilen kör bir okuyucuda, oksipital kortekse gönderilen manyetik bir uyarı da parmaklarda dokunma duyusuna yol açabilir. (Aynı uyarının, görebilen kontrol grubu katılımcılarına böyle bir etkide bulunmadığı ortaya çıkmıştır.) *Bkz.* Ptito M ve diğ. (2008), TMS of the occipital cortex induces tactile sensations in the fingers of blind Braille readers, *Exp Brain Res* 184(2): 193–200.
18. Hamilton R ve diğ. (2000), Alexia for Braille following bilateral occipital stroke in an early blind woman, *Neuroreport* 11(2): 237–40.
19. Voss P ve diğ. (2006), A positron emission tomography study during auditory localization by late-onset blind individuals, *Neuroreport* 17(4): 383–88; Voss P ve diğ. (2008), Differential occipital responses in early- and late-blind individuals during a sound-source discrimination task, *Neuroimage* 40(2): 746–58. Aynı makalede konu edilen ve katılımcıların, sesin nereden geldiğini tahmin etmeye çalıştıkları ikinci bir deneyde de aynı sonuç (görme korteksinin etkinleşmesi) ortaya çıkmıştı.
20. Renier L, De Volder AG, Rauschecker JP (2014), Cortical plasticity and preserved function in early blindness, Neurosci Biobehav Rev 41:53–63; Raz N, Amedi A, Zohary E (2005), V1 activation in congenitally blind humans is associated with episodic retrieval, *Cereb Cortex* 15:1459–68; Merabet LB, Pascual-Leone A (2010), Neural reorganization following sensory loss: The opportunity of change, *Nat Rev Neurosci* 11(1): 44–52.

    Bu arada bu bağlantının ters yönde de geçerli olduğunu belirtelim: Körlerde oksipital lob etkinliği geçici olarak durdurulursa (örneğin, bir manyetik atımla uyarma yoluyla) Braille alfabesiyle okuma, hatta sözel işleme becerisi de zarar görür. *Bkz.* Amedi A ve diğ. (2004), Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects, *Nat Neurosci* 7:1266.
21. Bu alan "görsel sözcük yapısı alanı" (visual word form area – VWFA) olarak bilinir. Reich L ve diğ. (2011), A ventral visual stream reading center independent of visual experience, *Curr Biol* 21:363–68; Striem-Amit E ve diğ. (2012), Reading with sounds: Sensory substitution selectively activates the visual word form area in the blind, *Neuron* 76:640–52.
22. Bu alan "orta temporal alan" (middle temporal – MT) ya da V5 olarak bilinir. Ptito M ve diğ. (2009), Recruitment of the middle temporal area by tactile motion in congenital blindness, *Neuroreport* 20:543–47. Matteau I ve diğ. (2010),

Beyond visual, aural, and haptic movement perception: hMT+ is activated by electrotactile motion stimulation of the tongue in sighted and in congenitally blind individuals, *Brain Res Bull* 82:264–70.

23. Bu alan "lateral (yan) oksipital korteks" (lateral occipital cortex – LOC) olarak bilinir. Amedi ve diğ. (2010).
24. Başka şekilde ifade edersek: Beyin bir "metamodal" işlemcidir. Metamodal sözcüğü, işlemlerin, bilgiyi içeri taşıyan belirli modlardan (ya da duyulardan) bağımsız olarak gerçekleştiğini ima eder. *Bkz.* Pascual-Leone A, Hamilton R (2001), The metamodal organization of the brain, *Prog Brain Res* 134:427–45; Reich L, Maidenbaum S, Amedi A (2011), The brain as a flexible task machine: Implications for visual rehabilitation using noninvasive vs. invasive approaches, *Curr Opin Neurol* 25:86–95. *Ayrıca bkz.* Maidenbaum S ve diğ. (2014), Sensory substitution: Closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation, *Neurosci Biobehav Rev* 41:3–15; Reich L ve diğ. (2011), A ventral visual stream reading center independent of visual experience, *Curr Biol* 21(5): 363–8; Striem-Amit E ve diğ. (2012), The large-scale organization of "visual" streams emerges without visual experience, *Cereb Cortex* 22(7): 1698–709; Meredith MA ve diğ. (2011), Crossmodal reorganization in the early deaf switches sensory, but not behavioral roles of auditory cortex, *Proc Natl Acad Sci USA* 108(21): 8856–61; Bola Ł ve diğ. (2017), Task-specific reorganization of the auditory cortex in deaf humans, *Proc Natl Acad Sci* USA 114(4): E600–E609. Değerlendirmeler için, *bkz.* Bavelier ve Hirshorn (2010) ve Dormal, Collignon (2011).
25. Finney EM, Fine I, Dobkins KR (2001), Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf, *Nat Neurosci* 4(12): 1171–73; Meredith MA ve diğ. (2011).
26. Elbert, Rockstroh (2004); Pascual-Leone ve diğ. (2005).
27. *Bkz.* Hamilton RH, Pascual-Leone A, Schlaug G (2004), Absolute pitch in blind musicians, *Neuroreport* 15:803–6; Gougoux F ve diğ. (2004), Neuropsychology: Pitch discrimination in the early blind, *Nature* 430(6997): 309.
28. Voss ve diğ. (2008).
29. Ben, 2016'da iki gözünün alınmasına neden olan kanserin tekrarlaması sonucu on altı yaşında hayatını kaybetti.
30. *Extraordinary People*: "The Boy Who Sees Without Eyes" ("Gözleri Olmadan da Görebilen Çocuk") Sezon 1, Bölüm 43, 29 Ocak 2007'de yayınlandı.
31. Teng S, Puri A, Whitney D (2012), Ultrafine spatial acuity of blind expert human echolocators, *Exp Brain Res* 216(4): 483–88; Schenkman BN, Nilsson ME (2010), Human echolocation: Blind and sighted persons' ability to detect sounds recorded in the presence of a reflecting object, *Perception* 39(4): 483; Arnott SR ve diğ. (2013), Shape-specific activation of occipital cortex in an early blind echolocation expert, *Neuropsychologia* 51(5): 938–49; Thaler L ve diğ. (2014), Neural correlates of motion processing through echolocation, source hearing, and vision in blind echolocation experts and sighted echolocation novices, *J Neurophysiol* 111(1): 112–27. Ayrıca, ekolokasyondan yararlanan kör kişiler ses yankılarını dinlediklerinde, işitme korteksi değil, görme korteksi etkinleşir: Thaler L ve diğ. (2011), Neural correlates of natural human echolocation in early and late blind echolocation experts, *PLoS One* 6(5): e20162. Ekolokasyon becerisi teknolojiyle geliştirilebilir: Bazı yeni projeler,

takılabilir gözlüklere yerleştirilmiş ultrasonik bir alıcıdan yararlanmaktadır. Bu gözlükler, en yakın nesneye olan uzaklığı ölçerek, bunu net bir işitsel sinyale dönüştürür. Sinyal, farklı uzaklıkları temsil eden farklı sesler halinde gönderilir.

32. Griffin DR (1944), Echolocation by blind men, bats, and radar, Science 100(2609): 589–90.
33. Amedi A ve diğ. (2003), Early "visual" cortex activation correlates with superior verbal-memory performance in the blind, *Nat Neurosci* 6:758–66.
34. Başka bir deyişle, grinin tonlarını ayırt etme işi, genellikle hem gri hem de diğer renklere adanmış bir alanın ele geçirilmesiyle gerçekleşir.
35. Kok MA ve diğ. (2014), Cross-modal reorganization of cortical afferents to dorsal auditory cortex following early- and late-onset deafness, *J Comp Neurol* 522(3): 654–75; Finney EM ve diğ. (2001), Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf, *Nat Neurosci* 4(12): 1171.
36. Otizmde, beyin bölgeleri farklı hızlarla gelişir ve bu da anlaşıldığı üzere bölgelerin sıra dışı bağlanma özellikleri kazanmasına neden olur. Sonuç, otizmli kişilerin beynindeki uzun mesafeli bağlantıların incelikli farklılıklar içermesi ve buna bağlı olarak gelişen dilsel bozukluklar ve sosyal davranış bozukluklarıdır. Redcay E, Courchesne E (2005), When is the brain enlarged in autism? A meta-analysis of all brain size reports, *Biol Psychiatry* 58:1–9. Başka türlü ifade edersek, canlı bağlantılı bir sistem, kendini tek bir hücreden ortaya çıkarabilir ama bu işi nasıl yaptığı (kesin zamanlama ve sıralama) sonucu etkiler. Bu noktada şunu belirtmeliyiz: Otizmle ilgili kuramların kapsamı geniş olup bunlar ayna nöron sistemi, aşılama, yetersiz bağlanma yeteneği, merkezi bütünleşme bozuklukları ve birçok başka durumu ele alır. Dolayısıyla otizmin korteksin yeniden düzenlemesiyle ilintisi, hikâyenin ancak bir parçası olabilir. Yine de şu örnekler dikkate değerdir: Boddaert N ve diğ. (2005), Autism: Functional brain mapping of exceptional calendar capacity, *Br J Psychiatry* 187:83–86; LeBlanc J Fagiolini M (2011), Autism: A "critical period" disorder? *Neural plasticity*. 2011:921680.
37. Voss ve diğ. (2008).
38. Pascual-Leone A, Hamilton R (2001), The metamodal organization of the brain, *Vision: From Neurons to Cognition* içinde, ed. C Casanova ve M Ptito (New York: Elsevier Science), 427–45.
39. Merabet LB ve diğ. (2008), Rapid and reversible recruitment of early visual cortex for touch, *PLoS One* 3(8): e3046. Ayrıca, bu sonuçların benzerleri, daha önceden Pascual-Leone ve Hamilton (2001) tarafından yayınlanmıştır.
40. Merabet LB ve diğ. (2007), Combined activation and deactivation of visual cortex during tactile sensory processing, *J Neurophysiol* 97:1633–41.
41. REM-dışı uykuda da bazı rüyalar görülür (Kleitman N [1963], *Sleep and Wakefulness*. [Chicago: U Chicago Press]) ancak bunlar, daha yaygın olan REM rüyalarından oldukça farklıdır. Genellikle planların yapıldığı ya da ayrıntılı düşüncelerin yer aldığı bu tür rüyalar, REM fazındaki rüyaların görsel canlılığından, ayrıca yanılsama ve aldanma unsurlarından yoksundur. Görme sisteminin güçlü biçimde uyarıldığı durumlara temellenen önerimiz ise bu nedenle REM uykusuna öncelik vermektedir.
42. Bu etkinlik PGO dalgalarıyla (ponto-genikulo-oksipital dalgalar) tanımlanır. Bu nitelemenin nedeni, etkinliğin pons adı verilen beyin bölgesinde başlayıp

buradan yan (lateral) genikulat çekirdeğe yol alması ve nihayet oksipital (görsel) kortekse ulaşmasıdır. Bu arada, PGO dalgaları, REM uykusu ve rüya görme eylemlerinin birbirine eşdeğer olup olmadıkları konusunda (az da olsa) tartışmalar mevcuttur. Bu nedenle bütünlüğü sağlamak adına, prefrontal korteksleri çıkarılmış çocuklar ve şizofreni hastalarının çok az rüya gördükleri bir REM uykusuna girebileceklerini de belirtmeliyim. *Bkz.* Solms M (2000), Dreaming and REM sleep are controlled by different brain mechanisms, *Behav Brain Sci* 23(6): 843–50 (burada makaleye ek olarak, uzmanların konuyla ilgili olarak yaptıkları ilginç bir tartışma da yer almaktadır); *ayrıca bkz.* Jus ve diğ. (1973), Studies on dream recall in chronic schizophrenic patients after prefrontal lobotomy, *Biol Psychiatry* 6(3): 275–93 Beyin sapı etkinliğinin gelişigüzel mi olduğu, günün anılarını mı yansıttığı, yoksa nöral programların uygulanma alıştırmalarında mı rol oynadığı bilinmemektedir. Ancak burada önemli olan, dalgaların görme bölgelerine bir kez yayılmasıyla etkinliğin görsel bir deneyim olarak algılanmasıdır. *Bkz.* Nir Y, Tononi G (2010), Dreaming and the brain: From phenomenology to neurophysiology, *Trends Cogn Sci* 14(2): 88–100.

43. Eagleman DM, Vaughn DA (2020, değerlendirme aşamasında). Her biyolojik kuram için olduğu gibi, bu da evrimsel zaman aralıkları içinde ele alınmalıdır. Bu devreleri oluşturmada rol oynayan programlar genetiğin derinlerinde yer alır; dolayısıyla tek bir bireyin ömrü boyunca yaşadığı deneyimlere bağımlı değildir. Devreler yüz milyonlarca yıl içinde evrildiğinden, karanlığı elektrik aydınlatmayla yenme yönündeki modern becerimizden etkilenmezler.

Varsayımımız birçok soruyu da beraberinde getiriyor. Örneğin, rüyaları neden sürekli olarak değil de patlamalar halinde görüyoruz? Dahası, rüya kapsamı gizemini de ele almıyor. Kapsam konusuyla ilgili genel bir değerlendirme için *bkz.* Flanagan O (2000), *Dreaming Souls: Sleep, Dreams, and the Evolution of the Conscious Mind* (New York: Oxford University Press). Varsayımımız üzerinde gelecekte başka çalışmalar da yapılacak ve rüyaların kaybına ya da rüya görme sürecindeki aksaklıklara neden olan hastalıklarla gelen görsel değişimler incelenecektir. Rüya görme olgusuna artık yeni bir mercekten bakma olanağına sahip olduğumuzdan hareket edersek bu konuyla ilgili aydınlatılması gereken daha birçok şey var. Bunun da ötesinde, REM uykusu monoamin oksidaz baskılayıcıları ya da belirli beyin lezyonlarıyla baskılanabilse de REM uykusu sorunlu olan kişilerde başka herhangi bir sorunun (bilişsel ya da fizyolojik) varlığını keşfetmek zordur. (Siegel JM [2001], The REM sleep-memory consolidation hypothesis, *Science* 294:1058–63). Ancak varsayımımız görsel sorunların varlığını öngörmektedir ve bu da monoamin oksidaz baskılayıcıları ya da trisiklik antidepresan alan kişilerde gözlenen şeyin ta kendisidir. Bazı hekimler bulanık görüşün göz kurumasından kaynaklandığını ileri sürse de biz bunun sorunun kökeni olduğunu düşünmüyoruz.

Teknik olarak ilginç bir başka nokta da şudur: Geçmişte, REM uykusu süresinin bir önceki uyanıklık dönemiyle ilişkisi olabileceğini ileri süren varsayımlar ortaya atılmıştır. Ancak durum böyle olsaydı REM döneminin gecenin başında daha uzun, sonraları da daha kısa olması beklenirdi. Gerçekte olan bunun tam tersidir. Gecenin ilk REM uykusu sadece beş ila on dakika,

sonuncusu da yirmi beş dakikadan uzun sürebilir. (*Bkz.* Siegel JM [2005], Clues to the functions of mammalian sleep, *Nature* 437[7063]:1264–71). Bu durum, görsel girdilerden ne kadar mahrum kalırsa o kadar fazla mücadele etmek zorunda kalan bir sistemle tutarlıdır.

Son bir nokta daha: Genç bir hayvanın gözlerinden sadece birine gelen ışığı azaltırsanız iyi gören gözle ilgili alanın, diğerini kısmen ele geçirdiğini ölçümlerle ortaya çıkarabilirsiniz. Daha sonra hayvanı, REM uykusuna yatkın olduğu kritik dönemde bu uykudan mahrum ederseniz dengesizlik hızlanacaktır. Bir başka ifadeyle –her iki görsel kanaldan da eşit derecede yararlanan– REM uykusu, bu işgallerin (bu durumda bir gözle ilgili bölgenin, diğeriyle ilgili bölgeyi işgali) yavaşlamasına yardımcı olur. REM uykusunun yokluğunda işgal daha hızlı gerçekleşir.

44. Craig Hurovitz ve meslektaşları 1999'da yayımlanan "Kör Erkek ve Kadınların Rüyaları" ("The Dreams of Blind Men and Women") başlıklı makalelerinde on beş kör yetişkinin görmüş olduğu 372 rüyayı kaydetmiş ve bunların ayrıntılarını analiz etmişlerdi.
45. Yedi yaşından sonra kör olanların rüyaları, daha erken yaşta olanlara göre daha fazla görsel unsur taşır: Amadeo M, Gomez E (1966), Eye movements, attention and dreaming in the congenitally blind, *Can Psychiat Assoc J.*: 501–7; Berger RJ ve diğ. (1962), The eec, eye-movements and dreams of the blind, *Quart J Exp Psychol* 14(3): 183–6; Kerr NH ve diğ. (1982), The structure of laboratory dream reports in blind and sighted subjects, *J Nerv Mental Dis* 170(5): 286–94; Hurovitz C ve diğ. (1999), The dreams of blind men and women: A replication and extension of previous findings, *Dreaming* 9:183–93; Kirtley DD (1975), *The Psychology of Blindness.* (Chicago: Nelson-Hall). Daha geç yaşlarda kör olanların oksipital lobları, genellikle diğer duyularca tam olarak ele geçirilmez: ör. *bkz*, Voss ve diğ. (2006, 2008).
46. Zepelin H, Siegel JM, Tobler I (2005), *Principles and Practice of Sleep Medicine* içinde; 4. cilt, ed. MH Kryger, T Roth, ve WC Dement (Philadelphia: Elsevier Saunders), 91–100. Jouvet-Mounier D, Astic L, Lacote D (1970), Ontogenesis of the states of sleep in rat, cat, and guinea pig during the first postnatal month, *Dev Psychobiol* 2:216–39.
47. Siegel JM (2005).
48. Angerhausen D ve diğ. (2012), An astrobiological experiment to explore the habitability of tidally locked m-dwarf planets, *Proc Int Astron Union* 8(S293): 192–96. Bu durum, biraz da ayın dünyaya bakan yüzünün hep aynı olması gibidir. Ancak belirtilmelidir ki aynı yüzü görmemizin nedeni, ayın kendi çevresindeki dönüş süresinin, yörüngede dolanma süresiyle tam olarak aynı olmasıdır. Ama güneşe bakan yüzü değiştiğinden, ay yine de gece ve gündüzü yaşar.

4 Girdileri Sarmalamak

1. *Bkz.* Chorost M (2005), *Rebuilt: How Becoming Part Computer Made Me More Human* (Boston: Houghton Mifflin); Chorost M (2011), *World Wide Mind: The Coming Integration of Humanity, Machines, and the Internet* (New York: Free Press). *Ayrıca bkz.* Chorost M (2005), My bionic quest for Bolero, *Wired.*

2. Fleming N (2007), How one man "saw" his son after 13 years, *Telegraph*.
3. Ahuja AK ve diğ. (2011), Blind subjects implanted with the Argus II retinal prosthesis are able to improve performance in a spatial-motor task, *Br J Ophthalmol* 95(4): 539–43.
4. Yaptığım benzetmenin çok hafifçe de olsa aksadığı bir nokta var çünkü bilgisayar dünyasındaki tak-çalıştır özelliği, önceden kararlaştırılmış bazı kurallara tabidir: Çevresel aygıt, kendisiyle ilgili bazı bilgilerle gelir ve bunları bilgisayara aktarır. Böylece merkezi işlemci ne yapması gerektiğini bilir. Ama beyin, aksine farklı bir protokolden yararlanır. Bildiğimiz kadarıyla, kendileri hakkında herhangi bir bilgiye sahip olmayan göz gibi çevresel aygıtlar, sadece işlerine bakarlar. Ama beyin, onlardan yararlı bilgileri çekip almayı –yani onları kullanmayı– öğrenecek kapasiteye sahiptir.
5. Fotoğraf: Sharon Steinmann, AL.com. Alabama baby born without a nose, mom says he's perfect, *ABC News*, www.abcnews.go.com.
6. Lourgos AL (2015), Family of Peoria baby born without eyes prepares for treatment in Chicago, *Chicago Tribune*, www.chicagotribune.com.
7. Bu durum LAMM sendromu olarak bilinir. LAMM kısaltmasının açılımı, "labirent aplazisi, mikroşiya ve mikrodonti"dir (labyrinthine aplasia, microtia, and microdontia). Sendrom, kulak ve diş gelişimini etkiler ve kendini küçük dışkulaklar ile küçük, aralıklı dişlerle de belli eder çünkü mutasyona uğramış olan FGF3 geni, normalde içkulak ve dışkulak yapılarının yanı sıra, dişlerin oluşumuyla sonuçlanan bir dizi hücresel tepkimeyi tetikler. Mutasyona uğradığında ise harekete geçme sinyalini doğru biçimde veremez ve bu da sendroma özgü kulak ve diş yapısıyla sonuçlanır.
8. Wetzel F (2013), Woman born without tongue has op so she can speak, eat, and breathe more easily, *Sun*, Ocak 18, 2013.
9. Bu durum genellikle "konjenital analjezi" (ağrıya doğuştan duyarsızlık) olarak bilinir. *Bkz.* Eagleman DM, Downar J (2015), *Brain and Behavior* (New York: Oxford University Press).
10. Abrams M, Winters D (2003), Can you see with your tongue? *Discover*.
11. Macpherson F, ed. (2018), *Sensory Substitution and Augmentation* (Oxford: Oxford University Press); Lenay C ve diğ. (2003), Sensory substitution: Limits and perspectives, *Touching for Knowing: Cognitive Psychology of Haptic Manual Perception* içinde, ed. Y Hatwell, A Streri, ve E Gentaz (Philadelphia: John Benjamins), 275–92; Poirier C, De Volder AG, Scheiber C (2007), What neuroimaging tells us about sensory substitution, *Neurosci Biobehav Rev* 31:1064–70; Bubic A, Striem-Amit E, Amedi A (2010), Large-scale brain plasticity following blindness and the use of sensory substitution devices, *Multisensory Object Perception in the Primate Brain* içinde, ed. MJ Naumer ve J Kaiser (New York: Springer), 351–80; Novich SD, Eagleman DM (2015), Using space and time to encode vibrotactile information: Toward an estimate of the skin's achievable throughput, *Exp Brain Res* 233(10): 2777–88; Chebat DR ve diğ. (2018), Sensory substitution and the neural correlates of navigation in blindness, *Mobility of Visually Impaired People* (Cham: Springer) içinde, 167–200.
12. Bach-y-Rita P (1972), *Brain Mechanisms in Sensory Substitution* (New York: Academic Press); Brain mechanisms in sensory substitution. Bach-y-Rita P (2004), Tactile sensory substitution studies, *Ann NY Acad Sci* 1013:83–91.

13. Hurley S, Noë A (2003), Neural plasticity and consciousness, *Biology and Philosophy* 18(1): 131–68; Noë A (2004), *Action in Perception* (Cambridge, Mass: MIT Press).
14. Bach-y-Rita P ve diğ. (2003), Seeing with the brain, *Int J Human-Computer Interaction*, 15(2): 285–95; Nagel SK ve diğ. (2005), Beyond sensory substitution—learning the sixth sense, *J Neural Eng* 2(4): R13–R26.
15. Starkiewicz W, Kuliszewski T (1963), The 80-channel elektroftalm, *Proceedings of the International Congress on Technology and Blindness* içinde (New York: American Foundation for the Blind).
16. Korteksin temelde her yerde aynı olduğu –ama girdilere göre farklı biçimler aldığı– yolundaki bu fikir ilk olarak nörofizyolog Vernon Mountcastle tarafından irdelenmiş, sonradan bilim insanı ve mucit Jeff Hawkins tarafından daha sağlam temellere oturtulmuştu. *Bkz.* Hawkins J, Blakeslee S (2005), *On Intelligence* (New York: Times Books).
17. Pascual-Leone A, Hamilton R (2001), The metamodal organization of the brain, *Vision: From Neurons to Cognition* içinde, ed. C Casanova ve M Ptito (New York: Elsevier Science), 427–45.
18. Sur M (2001), Cortical development: Transplantation and rewiring studies, *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* içinde, ed. N Smelser ve P Baltes (New York: Elsevier).
19. Sharma J, Angelucci A, Sur M (2000), Induction of visual orientation modules in auditory cortex, *Nature* 404:841–47. Yeni işitme korteksindeki hücreler, artık çizgilerin aldığı farklı konumlanmalara tepki veriyordu.
20. Burada, izleyen bölümlerde üzerinde daha fazla duracağımız bir noktaya dikkat çekmemiz gerekiyor: Beyin tümüyle boş bir levha olarak gelmez dünyaya. Dağ gelinciğinin görsel uyarılara tepki veren işitme korteksi de bu nedenle normal görme korteksinden daha kaba saba bir iş çıkarmıştı. Bölgesel genetik, belirli alanları belirli duyusal girdi tiplerine biraz daha yatkın hale getirir. Sabit yapı planları (genetik) ile etkinlik kaynaklı esneklik (canlı devrelilik) arasında bir süreklilik vardır. Çünkü kararlı girdiler evrimsel zaman ölçeğinde, yaşam süresince öğrenilenlerden yavaş yavaş genetik önceden programlanmışlık durumuna geçerler. Buradaki hedefimiz ise yaşam süresince kendini gösteren muazzam esnekliğe odaklanmaktır.
21. Bach-y-Rita P ve diğ. (2005), Late human brain plasticity: Vestibular substitution with a tongue BrainPort human-machine interface, *Intellectica* 1(40): 115–22; Nau AC ve diğ. (2015), Acquisition of visual perception in blind adults using the BrainPort artificial vision device, *Am J Occup Ther* 69(1): 1–8; Stronks HC ve diğ. (2016), Visual task performance in the blind with the BrainPort V100 Vision Aid, *Expert Rev Med Devices* 13(10): 919–31.
22. Sampaio E, Maris S, Bach-y-Rita P (2001), Brain plasticity: "Visual" acuity of blind persons via the tongue, *Brain Res* 908(2): 204–7.
23. Levy B (2008), The blind climber who "sees" with his tongue, *Discover*, 22 Haziran 2008.
24. Bach-y-Rita P ve diğ. (1969), Vision substitution by tactile image projection, *Nature* 221:963–64; Bach-y-Rita P (2004), Tactile sensory substitution studies, *Ann NY Acad Sci* 1013:83–91.
25. Burası MT+ olarak bilinen alandır. Matteau I ve diğ. (2010), Beyond visual, aural, and haptic movement perception: hMT+ is activated by electrotactile

motion stimulation of the tongue in sighted and in congenitally blind individuals, *Brain Res Bull* 82(5–6): 264–70. *Ayrıca bkz.* Amedi A ve diğ. (2010), Cortical activity during tactile exploration of objects in blind and sighted humans, *Restor Neurol Neurosci* 28(2): 143–56; ve Merabet L ve diğ. (2009), Functional recruitment of visual cortex for sound encoded object identification in the blind, *Neuroreport* 20(2): 132. Bir önceki bölümde gördüğümüz korteks alan işgallerinden bekleyeceğimiz üzere, körlerde, oksipital korteksteki birçok başka alan da etkinleşir.

26 WIRED Science videosu: "Mixed Feelings."

27. Alın Retina Sistemi, Japonya'daki EyePlusPlus şirketi ile Tokyo Üniversitesi'nin Tachi Laboratuvarı tarafından üretilmiştir. Sistem, retinayı taklit için ayrıt pekiştirme ve zamansal bant geçiren filtrelerden yararlanır.
28. Bu da bel bölgesinden yararlanmanın iyi bir yolu sayılır. Lobo L ve diğ. (2018), Sensory substitution: Using a vibrotactile device to orient and walk to targets, *J Exp Psychol Appl* 24(1): 108. *Ayrıca bkz.* Lobo L ve diğ. (2017), Sensory substitution and walking toward targets: An experiment with blind participants. Bu araştırma, kör katılımcıların izleyeceği yolların önceden belirlenmediğini, onun yerine, içeri akan yeni bilgilere paralel olarak dinamik biçimde ortaya çıktığını gösterir.
29. *Bkz.* Kay L (2000), Auditory perception of objects by blind persons, using a bio-acoustic high resolution air sonar, *J Acoust Soc Am* 107(6): 3266–76. İlk kez 1970'lerin ortalarında ortaya çıkan sonik gözlükler, o zamandan bu yana birçok aşamadan geçerek geliştirilmiştir (*Bkz.* Kay'in Binaural İşitme Cihazı ve yüzey dokusunu tınılarla temsil eden daha sonraki KASPA sistemi). Ultrasonik tekniklerin çözünürlüğü, özellikle dikey doğrultuda yüksek değildir. Bu nedenle sonik gözlükler daha çok dar bir yatay aralıktaki nesneleri algılamada işe yarar.
30. Bower TGR (1978), Perceptual development: Object and space, *Handbook of Perception* içinde, cilt 8, *Perceptual Coding*, ed. EC Carterette ve MP Friedman (New York: Academic Press). *Ayrıca bkz.* Aitken S, Bower TGR (1982), Intersensory substitution in the blind, *J Exp Child Psychol* 33:309–23.
31. Plastisitenin yaşla azalmasına bağlı olarak, duyusal değiştirimin de kişiselleştirilmesi gerekir – hem içinde bulunulan yaş hem de körlüğün başladığı yaş için olmak üzere. Bubic, Striem-Amit, Amedi (2010).
32. Meijer PB (1992), An experimental system for auditory image representations, *IEEE Trans Biomed Eng* 39(2): 112–21.
33. Teknik ayrıntılara ulaşmak ve vOICe algoritmasının işitsel uygulamalarını dinlemek için: www.seeingwithsound.com
34. Arno P ve diğ. (1999), Auditory coding of visual patterns for the blind, *Perception* 28(8): 1013–29; Arno P ve diğ. (2001), Occipital activation by pattern recognition in the early blind using auditory substitution for vision, *Neuroimage* 13(4): 632–45; Auvray M, Hanneton S, O'Regan JK (2007), Learning to perceive with a visuo-auditory substitution system: Localisation and object recognition with "the vOICe," *Perception* 36:416–30; Proulx MJ ve diğ. (2008), Seeing "where" through the ears: Effects of learning-by-doing and long-term sensory deprivation on localization based on image-to-sound substitution, *PLoS One* 3(3): e1840.
35. Cronly-Dillon J, Persaud K, Gregory RP (1999), The perception of visual images encoded in musical form: A study in cross-modality information transfer, *Proc*

Biol Sci 266(1436): 2427–33; Cronly-Dillon J, Persaud KC, Blore R (2000), Blind subjects construct conscious mental images of visual scenes encoded in musical form, *Proc Biol* Sci 267(1458): 2231–38.

36. ACB Braille Forum'da yer alan bir makalede Pat Fletcher'dan yapılan bir alıntı: Maidenbaum S ve diğ. (2014), Sensory substitution: Closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation, *Neurosci Biobehav Rev* 41:3–15.
37. Amedi ve diğ. (2007) "lateral [yan] oksipital dokunsal-görsel alan" (lateral-occipital tactile-visual area – LOtv) olarak bilinen bir alanı etkinleştirmişlerdi. Bu alan, ister görme ister dokunma ister görselden-işitsele doğrultulanmış bir işitsel manzaranın öğrenilmesi yoluyla etkinleştirilsin anladığımız kadarıyla biçimle ilgili bilgiyi kodlar. Amedi A ve diğ. (2007), Shape conveyed by visual-to-auditory sensory substitution activates the lateral occipital complex, *Nat Neurosci* 10:687–89. Gözlüğü kullanan bir kişinin deneyimleriyle ilgili bir özet için *bkz.* Piore A (2017), *The Body Builders: Inside the Science of the Engineered Human* (New York: Ecco).
38. Collignon O ve diğ. (2007), Functional cerebral reorganization for auditory spatial processing and auditory substitution of vision in early blind subjects, *Cereb Cortex* 17(2): 457–65.
39. Abboud S ve diğ. (2014), EyeMusic: Introducing a "visual" colorful experience for the blind using auditory sensory substitution, *Restor Neurol Neurosci* 32(2): 247–57. EyeMusic, SmartSight olarak bilinen daha eski bir teknolojiye dayanır: Cronly-Dillon ve diğ. (1999, 2000).
40. Massiceti D, Hicks SL, van Rheede JJ (2018), Stereosonic vision: Exploring visual- to-auditory sensory substitution mappings in an immersive virtual reality navigation paradigm, *PLoS One* 13(7): e0199389. Tapu R, Mocanu B, Zaharia T (2018), Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey, *Pattern Recognit Lett*; Kubanek M, Bobulski J (2018), Device for acoustic support of orientation in the surroundings for blind people, *Sensors* 18(12): 4309. *Ayrıca bkz.* Hoffmann R ve diğ. (2018), Evaluation of an audio-haptic sensory substitution device for enhancing spatial awareness for the visually impaired, *Optom Vis Sci* 95(9): 757.
41. Gelişmekte olan ülkelerde körlüğün önde gelen nedenlerinden olan trahom hastalığı sonucunda neredeyse iki milyon kişi görüşünü kaybetmiştir. Sıradaki ikinci etken olan onkoserkiyaz ise otuz Afrika ülkesi için endemiktir. Birçok araştırmacı, diğer tedavilerle birlikte (örneğin, kornea cerrahisi), gözle görmeyi yeniden öğrenmede bir köprü olarak kullanılabilecek duyusal değiştirim yazılımlarından yararlanmayı düşünmektedir.
42. Koffler T ve diğ. (2015), Genetics of hearing loss, *Otolaryngol Clin North Am* 48(6): 1041–61.
43. Novich SD, Eagleman DM (2015), Using space and time to encode vibrotactile information: Toward an estimate of the skin's achievable throughput, *Exp Brain Res* 233(10): 2777–88. Perrotta M, Asgeirsdottir T, Eagleman DM (2020). Deciphering sounds through patterns of vibration on the skin (değerlendirmede). *Ayrıca bkz.* Neosensory.com. Titreşimin yanında, başka bir olgudan yararlanmayı da seçebilir miydik? Sonuçta deri, bilgiyi taşımada kullanılabilecek birkaç tip reseptör içerir: titreşim, sıcaklık, kaşıntı, ağrı ve gerilme reseptörleri gibi. Titreşimi seçmemizin nedeni, hızlı olmasıdır.

Sıcaklıkta bölge belirleme zor olduğu gibi, algılanması da yavaş bir seyir izler. Gerilme reseptörlerinde umut vaat eden uzamsal ve zamansal özellikler olduğu halde, derinin gerilmesinin getireceği uzun dönemli rahatsızlıktan kaçınmayı yeğlersiniz. Ağrı için pek fazla bir şey söylememe gerek yok sanırım.

44. Bu noktada küçük bir ekleme yapalım: Sağır bir kişinin konuşmasındaki "aksanı" düşünün. Bu bir tür konuşma bozukluğu mudur? Hayır. Tümüyle sağır olan bir kişi, ses çıkarmayı konuşan insanların ağız hareketlerini izleyip taklit ederek öğrenir. Dudak hareketlerini taklit, görece etkili bir yöntem olduğu halde sorun, sağır gözlemcinin konuşan kişinin dil hareketlerini görememesidir. Diliniz ağız tabanına yerleşmiş haldeyken normal bir cümle söylemeyi deneyin. Konuşmanız, sağır bir kişininkini andıracaktır. Bu sorunun çözümü için ilginç bir fırsat, insanların cihazlarımızdan yararlanarak bu gizlenmiş-dil sınırlamasını aşmalarıyla gelir. Bir başkasının ağzından dökülen sözcükleri kendi çıkardığınız seslerle karşılaştırmak, size farkı hissettirebilir; bu ise sözcükler aynı şekilde işitilene kadar eldeki olasılıkları tek tek taramanıza olanak sağlar.
45. *Bkz.* Alcorn S (1932), The Tadoma method, *Volta Rev* 34:195–98; Reed CM ve diğ. (1985), Research on the Tadoma method of speech communication, *J Acoust Soc Am* 77:247–57.
46. Bilgisayımsal sınırlamaların söz konusu olduğu daha önceki yıllarda, sesten-dokunmaya değiştirim alanındaki girişimler, bant geçiren filtreli ses sistemlerine ve çıktının deriye titreşimli solenoitler aracılığıyla aktarılmasına dayanmaktaydı. Solenoitlerin bu bant geçiren kanallardaki bant genişliğinin yarısından düşük bir sabit frekansta çalışması, seste bozulmalara neden olmaktaydı. Bunun da ötesinde, bu cihazların çokkanallı versiyonları, batarya boyutları ve kapasitenin kısıtlı olması nedeniyle olası titreşim arayüzleri bakımından da sınırlı kalmıştı. Bilgisayımsal işlemler artık daha hızlı ve ucuzdur. İstenen matematiksel dönüşümler gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir; üstelik neredeyse herhangi bir harcama yapılmadan ve özel tasarlanmış entegre devrelere gereksinim duyulmadan. Günümüzün lityum-iyon bataryaları, daha önceki dokunsal aygıtlarda kullanılabilen titreşim arayüzlerinden çok daha fazlasını desteklemektedir. Sesten-dokunmaya işitme cihazları alanındaki daha eski girişimler için *bkz.* Summers ve Gratton (1995); Traunmuller (1980); Weisenberger ve diğ. (1991); Reed ve Delhorne (2003); Galvin ve diğ. (2001). *Ayrıca bkz.* Cholewiak RW, Sherrick CE (1986), Tracking skill of a deaf person with long-term tactile aid experience: A case study, *J Rehabil Res Dev* 23(2): 20–26.
47. Turchetti ve diğ. (2011), Systematic review of the scientific literature on the economic evaluation of cochlear implants in paediatric patients, *Acta Otorhinolaryngol* 31(5): 311.
48. Zaten kohlear implant kullanmakta olan kişiler, bir vibrotaktil (titreşim uyaranlı) aygıt da taktıklarında çevredeki sesleri (köpek havlaması, kapı zili ya da araba kornası gibi) belirleme yetenekleri ortalamada yüzde 20 artar (Neosensory bünyesinde yapılan çalışmaların verilerine göre).
49. Danilov YP ve diğ. (2007), Efficacy of electrotactile vestibular substitution in patients with peripheral and central vestibular loss, *J Vestib Res* 17(2–3): 119–30.
50. Duyusal ikameyle ilgili son bir not daha ekleyelim: Belirli bir kişi için hangi yaklaşımın daha iyi olduğu (retina çipi mi, yoksa duyusal ikame mi) körlüğün

nedenine bağlıdır. Fotoreseptör dejenerasyonuyla ilgili hastalıkları olanlarda (retinitis pigmentosa ya da yaşa bağlı makula dejenerasyonu) retina çipi ideal seçimdir, çünkü bu tür sorunlarda görme sisteminin merkezden aşağıda kalan kısımları sağlam olup nakledilmiş elektrotlardan sinyalleri alabilirler. Başka körlük tiplerinde retina çipleri kullanılamaz: Sorun gözün diğer kısımlarındaysa (retina yırtılmasında olduğu gibi) ya da görme sisteminde daha sonraları gelişen bir durumdan (tümör ya da inmeye bağlı doku hasarı gibi) kaynaklanıyorsa retina çipi işe yaramayacaktır. Böyle durumlarda duyusal ikame ya da –hasar noktasının ötesinde olmak üzere– beyne doğrudan bağlanacak bir tak-çalıştır sistemi, doğru seçim olacaktır. Ayrıca, bazı araştırmacıların duyusal değiştirim cihazlarıyla tak-çalıştır aygıtlarını (retina ya da beyin üzerinde) bir arada kullanma yolları üzerinde çalıştığını da belirtelim. Bu fikirdeki hareket noktası, duyusal değiştirimin, protez aracılığıyla gelecek bilgileri yorumlamada görme korteksine yardım edebilecek, bir başka ifadeyle bilginin şifresini çözümlemede kılavuzluk yapabilecek olmasıdır.

51. Deneyimin açıklamasını ilk elden dinlemek isterseniz, Neil Harbisson'ın TED (Teknoloji, Eğlence ve Tasarım) konuşmasını izleyebilirsiniz. Eyeborg üzerinde yapılan son yeniliklerle aygıtın kapsamı, ses volümünden yola çıkarak renk doygunluğunu da kodlayacak şekilde genişletildi. Bunun yanında, aygıt teoride implante edilebilecek bir çip formuna da kavuşturuldu. Başka gruplarca getirilen yenilikler için, örneğin Colorphone'a da bakabilirsiniz: Osinski D, Hjelme DR (2018), A sensory substitution device inspired by the human visual system, in 2018 *11th International Conference on Human System Interaction.* (HSI) (s. 186–192). IEEE.
52. Hem eyeborg hem de başka projelerin kazandığı başarı üzerine Harbisson ve arkadaşı, farklı teknolojileri insan vücuduyla bütünleştirmeye adanmış, kâr amacı gütmeyen bir kuruluş olan Cyborg Vakfı'nı kurdular.
53. Ayrıntı verirsek: Araştırmacılar araya bir insan fotopigmenti eklemişlerdi. Jacobs GH ve diğ. (2007), Emergence of novel color vision in mice engineered to express a human cone photopigment, *Science* 315(5819): 1723–25.
54. Mancuso K ve diğ. (2009), Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates, Nature 461:784–88. Araştırmacılar maymunlara kırmızı renge duyarlı opsin genini içeren bir virüs enjekte etmişlerdi. Yirmi haftalık bir alıştırma sürecinin sonunda, maymunlar kendileri için daha önce ayırt edilemez olan renkleri ayırt etmede renkli görüşten yararlanır hale geldiler. Dalton adıyla bilinen maymun bu adı, 1794'te kendi renk körlüğünü tanımlayan ilk kişi olan İngiliz kimyacı John Dalton'dan almıştı.
55. Jameson KA (2009), Tetrachromatic color vision, *The Oxford Companion to Consciousness* içinde, ed. P Wilken, T Bayne, cd A Cleeremans (Oxford: Oxford University Press).
56. Crystalens accommodating lens (Bausch + Lomb). Cornell PJ (2011), Blue-violet subjective color changes after Crystalens implantation, *Cataract and Refractive Surgery Today.* UV aralığına yapılan kısa bir yolculuğun nasıl bir deneyim olduğu hakkında daha fazla bilgi almak için Alek Komarnitsky'nin "www.komar.org/faq/colorado-cataract-surgery-crystalens/ultra-violet-color-glow" adresindeki blog yazısına bakabilirsiniz. Bu arada, ticari "siyah ışık"ların çoğunun, gerçekte tayfın mor aralığına uzandığını belirtelim. Dolayısıyla yapay

lens nakli geçirmediyseniz morumsu bir ışık algılamanızın nedeni tahminen budur.

57. Ardouin J ve diğ. (2012), FlyVIZ: A novel display device to provide humans with 360° vision by coupling catadioptric camera with HMD, *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* içinde (s. 41–44); Guillermo AB ve diğ. (2016), Enjoy 360° vision with the FlyVIZ, *ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies* içinde (New York: ACM), 6.
58. Wolbring G (2013), Hearing beyond the normal enabled by therapeutic devices: The role of the recipient and the hearing profession, *Neuroethics* 6:607.
59. Eagleman DM, Can we create new senses for humans? TED konuşması, Mart 2015, ted.com. *Ayrıca bkz.* Hawkins, Blakeslee (2004).
60. Huffman ile kişisel söyleşi; Larratt ile söyleşi, Dvorsky G (2012), What does the future have in store for radical body modification? *io9*. Bu arada, kaplamaların çıkmasına bağlı olarak Larratt'ın mıknatısları aldırmak zorunda kaldığını da belirtelim.
61. Nordmann GC, Hochstoeger T, Keays DA (2017), Magnetoreception—a sense without a receptor, *PLoS Biol* 15(10): e2003234.
62. Kaspar K ve diğ. (2014), The experience of new sensorimotor contingencies by sensory augmentation, *Conscious Cogn* 28:47–63; Kärcher SM ve diğ. (2012), Sensory augmentation for the blind, *Front Hum Neurosci* 6:37.
63. Nagel SK ve diğ. (2005), Beyond sensory substitution—learning the sixth sense, *J Neural Eng* 2(4): R13.
64. *a.g.e.*
65. *Bkz. a.g.e.* Bu durumun, daha önce sözünü ettiğimiz görme engellilerin durumuyla ilişkisi ilginçtir. Bu kişiler, konum belirlemede kulaklarının dış kısmını, görebilen kişilere göre daha başarılı biçimde kullanabiliyordu. Başka bir ifadeyle, görebilen kişiler de aynı fırsata sahiptir; ancak farkındalık yüzeyinin altındaki sinyal çok zayıftır. Ona ihtiyaç duyulmaya başlandığında ise çokça alıştırma yaparak sinyali algılanır kılmak ve ondan etkili bir şekilde yararlanmak mümkündür.

    Ayrıca, kemeri fazla uzun süreyle kullanmaya gerek kalmayacağını belirtelim. Bilim insanları 2018'in sonunda, kuzeyi gösteren ince bir elektronik deri parçası –özünde, ele yapıştırılacak küçücük bir etiket– geliştirdiler. Cañón Bermúdez GS ve diğ. (2018), Electronic-skin compasses for geomagnetic field-driven artificial magnetoreception and interactive electronics, *Nat Electron* 1:589–95.
66. Norimoto H, Ikegaya Y (2015), Visual cortical prosthesis with a geomagnetic compass restores spatial navigation in blind rats, *Curr Biol* 25(8): 1091–95.
67. Görünür bir ufuk olmadan uçmak tehlikeliydi. Bu sorun, ancak jiroskopların sunduğu yapay ufuk olgusuyla çözülebildi. II. Dünya Savaşı'nda kullanılan bombardıman uçakları, yardımcı pilotun koltuğu tam hizalanmadığı için rotadan çıkabiliyorlardı. Buna bağlı olarak, bu "kıç etkisi" ile başa çıkmak için eğitim programları yürütülmekteydi.
68. Yeri gelmişken, Descartes, bunun bir yanılsama olup olmadığını gerçekte hiçbir zaman bilemeyeceği sonucuna varmış ama bu kavrayışa karşın, felsefedeki en önemli adımlardan birini atabilmişti: Buna göre, soruyu soran biri vardı; öyleyse o biri, kötücül bir şeytan tarafından yönlendiriliyor bile olsa vardı.

Cogito ergo sum: Düşünüyorum, öyleyse varım. Şeytanın bir kurbanı ya da kavanozdaki bir beyin olup olmadığınızı hiçbir zaman bilemeyebilirsiniz ama en azından bunu dert edecek bir siz, vardır. "Fıçıdaki beyin" argümanı için, *bkz.* Putnam H (1981), *Reason, Truth, and History* (New York: Cambridge University Press).

69. Neely RM ve diğ. (2018), Recent advances in neural dust: Towards a neural interface platform, *Curr Opin Neurobiol* 50:64–71.
70. Bu yöndeki bir sorgulamada ele alınan olgu, sinesteziyle karıştırılmamalıdır. Sinestezide belirli bir uyarı, bir başka duyuyla ilgili bir duyumu tetikleyebilir; sesin, renk deneyimine yol açmasında olduğu gibi. Yine sinestezide, kişi ilk uyarının taşıdığı niteliğin tümüyle farkındadır ama bunun yanında, bir başka özellikle ilgili içsel bir duyum da geliştirir. Ana metinde sorguladığım şey ise bir duyunun bir başka duyuyla karıştırılmasıdır. Sinesteziyle ilgili daha fazla bilgi için *bkz.* Cytowic RE, Eagleman DM (2009), *Wednesday Is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia* (Cambridge, Mass.: MIT Press).
71. Eagleman DM (2018), We will leverage technology to create new senses, *Wired.*
72. O'Regan JK, Noë A (2001), A sensorimotor account of vision and visual consciousness, Behav Brain Sci 24(5): 939–73. Bach-y-Rita'nın dişçi koltuğuna oturttuğu kör katılımcılarla yaptığı deneyleri hatırlarsanız asıl ilerleme, katılımcılar eylemleriyle gelen geribildirimler arasında ilişki kurabildikleri zaman kaydedilmişti: Kamerayı döndürdükçe, dünya da öngörülebilir biçimde değişmekteydi. Sonuçta ister biyolojik ister yapay olsun duyular, belirli bir eylemi girdilerdeki belirli değişimlerle eşleştirmek yoluyla çevreyi aktif biçimde inceleme olanağı sağlarlar. Bach-y-Rita (1972, 2004); Hurley, Noë (2003); Noë (2004).
73. Nagel ve diğ. (2005).

5 Daha İyi Bir Vücut İçin

1. Fuhr P ve diğ. (1992), Physiological analysis of motor reorganization following lower limb amputation, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 85(1): 53–60; Pascual-Leone A ve diğ. (1996), Reorganization of human cortical motor output maps following traumatic forearm amputation, *Neuroreport* 7:2068–70; Hallett M (1999), Plasticity in the human motor system, *Neuroscientist* 5:324–32; Karl A ve diğ. (2001), Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain, *J Neurosci* 21:3609–18.
2. Vargas CD ve diğ. (2009), Re-emergence of hand-muscle representations in human motor cortex after hand allograft, *Proc Natl Acad Sci USA* 106(17): 7197–202.
3. HOX (homeobox) genleri, daha büyük vücut yapılarının gelişimini kontrol eder. Örnek verirsek: HOX geniyle ilgili ilk keşiflerden biri, meyve sineklerinde gerçekleşen bir mutasyonla ilgiliydi. Mutasyon, antenlerin olması gereken yerde bir çift bacağın gelişmesine neden olmuş, ters mutasyon da antenleri bacakların olması gereken yere yerleştirmişti. Bunun nedeni, bazı genlerin, bir başka gen dizisindeki zincirleme etkinliği başlatan anahtar olarak işlev görmesidir. Birçok mutasyonun, tam gelişkin bir vücut parçasının şaşırtıcı biçimde belirmesi (kuyruklu doğan çocuklarda olduğu gibi) ya da kaybolmasıyla sonuçlanması

da buna bağlıdır. Mukhopadhyay B ve diğ. (2012), Spectrum of human tails: A report of six cases, *J Indian Assoc Pediatr Surg* 17(1): 23–25.

4. Sommerville Q (2006), Three-armed boy "recovering well," *BBC News*, 6 Temmuz, 2006.
5. Bongard J, Zykov V, Lipson H (2006), Resilient machines through continuous self-modeling, *Science* 314:1118–21; Pfeifer R, Lungarella M, Iida F (2007), Self-organization, embodiment, and biologically inspired robotics, *Science* 318(5853): 1088–93.
6. Yeri gelmişken, kendi modelini barındıran bir robot için tıpkı kendisi gibi olan başka robotlar üretmenin kapıları aralanmış demektir. Robot bu kapsamda, kendisi ve üretmekte olduğu şey arasındaki mesafeyi ölçmek için deneme yanılmadan yararlanacaktır.
7. Nicolelis M (2011), *Beyond Boundaries: The New Neuroscience of Connecting Brains with Machines—and How It Will Change Our Lives* (New York: St. Martin's Griffin), [*Sınırların Ötesi*, çev. Kerem Çiftçioğlu, Alfa Yayınları, 2012].
8. Kennedy PR, Bakay RA (1998), Restoration of neural output from a paralyzed patient by a direct brain connection, *Neuroreport* 9:1707–11.
9. Hochberg LR ve diğ. (2006), Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia, *Nature* 442:164–71.
10. Jan'de ortaya çıkmış olan spinoserebellar dejenerasyon, beyin ile kaslar arasındaki bağlantıların harap olduğu ender bir bozukluktur. Jan'in durumuyla ilgili bilimsel bulgular için *bkz.* Collinger JL ve diğ. (2013), High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia, *Lancet* 381(9866): 557–64. Uygulanan tedavi ve vaat ettiği gelişmeler için *bkz.* Eagleman DM (2016), *The Brain* (Edinburgh: Canongate Books) ve Khatchadourian R (2018), Degrees of freedom, *New Yorker*.
11. Upton S (2014), What is it like to control a robotic arm with a brain implant? *Scientific American*.
12. Bu alandaki en başarılı teknikler, ameliyat sırasında kortekse doğrudan elektrot yerleştirilmesini gerektirir ama dokulara daha az zarar verici teknikler de (örneğin, başın dış yüzeyine yerleştirilmiş elektrotlar) geliştirilme aşamasındadır.
13. Yöntem, implantasyon işleminin her bir yarımküredeki beş alana yapılmasını öngörmekte: premotor korteksin dorsal ve ventral (üst ve alt) bölgeleri, birincil motor korteks, birincil somatosensoriyel korteks ve posterior (arka) pariyetal korteks. Güncellemeler için *bkz.* www.WalkAgainProject.org.
14. Bouton CE ve diğ. (2016), Restoring cortical control of functional movement in a human with quadriplegia, *Nature* 533(7602): 247. Katılımcıda omuriliğin boyun bölgesi hasarlıydı. Araştırmacılar, nöral etkinlik fırtınalarını en iyi şekilde yorumlayabilmek ve karmaşık elektriksel kas uyarım sistemine özet sinyaller gönderebilmek için makine öğrenme algoritmalarından yararlandılar.
15. Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y (1996), Attention-induced neuronal activity in the monkey somatosensory cortex revealed by pupillometrics, *Neurosci Res* 25(2): 173–81; Maravita A, Iriki A (2004), Tools for the body (schema), *Trends Cogn Sci* 8:79–86.
16. Velliste M ve diğ. (2008), Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding, *Nature* 453:1098–101. Şunu da ekleyelim: Robot kolları genellikle metalden yapılmış olarak düşünürüz ama bu durum çok da uzun sürmeyecek. Gerilebilir

kauçuk ve esnek plastiklerden üretilen "yumuşak robotlar" da var. Günümüz araştırmalarında yapay parmak, ahtapot kolları, solucanlar vb.'nin yapımında kumaş gibi malzemeler kullanılmakta, biçimsel değişimler de hava basıncının ayarlanması ya da elektriksel ve kimyasal sinyallerle gerçekleşmektedir.

17. Fitzsimmons N ve diğ. (2009), Extracting kinematic parameters for monkey bipedal walking from cortical neuronal ensemble activity, *Front Integr Neurosci* 3:3; Nicolelis M (2011), Limbs that move by thought control, *New Scientist* 210(2813): 26–27. *Ayrıca bkz.* Nicolelis'in 2012 TEDMED konuşması: "A monkey that controls a robot with its thoughts. No, really."
18. *Bkz.* Nicolelis'in *Sınırların Ötesi* başlıklı kitabı.
19. En azından, *doğrudan* bulmuş değildir. Tabiat Ana'nın Bluetooth problemini kendisi adına çözmek üzere, ilksel çorbadan evrim yoluyla insanı ortaya çıkardığını iddia edebiliriz pekâlâ.
20. Bir vücut parçasını yabancı ya tuhaf olarak hissetmek, genellikle "asomatognozi" olarak bilinen durumla, bir kol ya da bacağın kendine ait olduğunu inkâr etmek ise "somatoparafreni" adı verilen bir bozukluk alt grubuyla tanımlanır. *Bkz.* Feinberg T ve diğ. (2010), The neuroanatomy of asomatognosia and somatoparaphrenia, *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 81:276–81. *Ayrıca bkz.* Dieguez S, Annoni J-M (2013), Asomatognosia, *The Behavioral and Cognitive Neurology of Stroke* içinde, ed. O Goderfroy ve J Bogousslavsky (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press), 170. *Ayrıca bkz.* Feinberg TE (2001), *Altered Egos: How the Brain Creates the Self* (New York: Oxford University Press), ve Arzy S ve diğ. (2006), Neural mechanisms of embodiment: Asomatognosia due to premotor cortex damage, *Arch Neurol* 63:1022–25. Bu arada, asomatognozinin bütün türlerinin aynı bozukluğun farklı alt tipleri mi, yoksa tek bir etiket altında toplanmış, birbirinden temelde farklı gruplar mı oldukları konusu henüz kesinlik kazanmamıştır.
21. Çok nadir görülen bu son bozukluk, "misopleji" olarak bilinir; *bkz.* Pearce J (2007), Misoplegia, *Eur Neurol* 57:62–64.
22. Sacks OW (1984), *A Leg to Stand On* (New York: Harper & Row); Sacks OW (1982), The leg, *London Review of Books*, 17 Haziran 1982. *Ayrıca bkz.* Stone J, Perthen J, Carson AJ (2012), "A Leg to Stand On" by Oliver Sacks: A unique autobiographical account of functional paralysis, *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 83(9): 864–67.
23. Simon M (2019), How I became a robot in London—from 5,000 miles away, *Wired*.
24. Herrera F ve diğ. (2018), Building long-term empathy: A large-scale comparison of traditional and virtual reality perspective-taking, *PloS One* 13(10): e0204494; van Loon A ve diğ. (2018), Virtual reality perspective-taking increases cognitive empathy for specific others, *PloS One* 13(8): e0202442. *Ayrıca bkz.* Bailenson J (2018), *Experience on Demand* (New York: W. W. Norton).
25. Won AS, Bailenson JN, Lanier J (2015), Homuncular flexibility: The human ability to inhabit nonhuman avatars, *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences* içinde, ed. R Scott ve M Buchmann (John Wiley & Sons), 1–6.
26. Won, Bailenson, Lanier (2015). *Ayrıca bkz.* Laha B ve diğ. (2016), Evaluating control schemes for the third arm of an avatar, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 25(2): 129–47.

27. Steptoe W, Steed A, Slater M (2013), Human tails: Ownership and control of extended humanoid avatars, *IEEE Trans Vis Comput Graph* 19:583–90.
28. Hershfield HE ve diğ. (2011), Increasing saving behavior through age-progressed renderings of the future self, *JMR* 48(SPL): S23–37; Yee And ve diğ. (2011), The expression of personality in virtual worlds, *Soc Psycho Pers Sci* 2(1): 5–12; Fox J ve diğ. (2009), Virtual experiences, physical behaviors: The effect of presence on imitation of an eating avatar, *Presence* 18(4): 294–303.
29. DeCandido K (1997), "Arms and the man," *Untold Tales of Spider-Man* içinde, ed. S Lee ve K Busiek (New York: Boulevard Books).
30. Wetzel F (2012), Dad who lost arm gets new lease of life with most hi-tech bionic hand ever, *Sun*.
31. Eagleman DM (2011), "20 predictions for the next 25 years" içinde, *Observer*, 2 Ocak 2011.

6 Anlamlılık Neden Anlamlıdır?

1. Genetik avantajlar da devreye girmiş olabilir ama bundan emin olmak çok zordur. Ancak doğrudan satranç becerisini kodlayan bir gen olmadığına göre, böyle bir başarı için yıllar boyunca çalışmak gerektiği kesindir.
2. Schweighofer N, Arbib MA (1998), A model of cerebellar metaplasticity, *Learn Mem* 4(5): 421–28.
3. Biraz tuhaf bir ek bilgi olsa da belirtmeliyim ki bunu ilk kez Perlman hakkında anlatılan bir hikâye olarak duymuştum. Ama sonradan internette Perlman dışında Fritz Kreisler, Isaac Stern ve birkaç başka müzisyene de atfedildiğine tanık oldum. Her kim söylemiş olursa olsun bu anlamlı sözlerin birçok talibinin olduğu kesin.
4. Elbert T ve diğ. (1995), Increased finger representation of the fingers of the left hand in string players, *Science* 270:305–6; Bangert M, Schlaug G (2006), Specialization of the specialized in features of external human brain morphology, *Eur J Neurosci* 24:1832–34. Bu kıvrım müzisyen olmayanlarda daha düzken, müzisyenlerde tuhaf ve büzülmüş izlenimini veren bir kavis çizmiştir. Dikkate değer bir nokta da incelikli bütün işleri kemancının sol eli yaptığı halde, omega işaretinin sağ yarımkürede olmasıdır. Bunun nedeni, sol elin beynin sağ tarafında temsil edilmesidir.
5. Bu ilk kez, iki işten biri için eğitilen maymunlarda gösterilmişti. İşlerden biri bir kuyudan küçük bir nesneyi çıkarmak, diğeri büyük bir anahtarı çevirmekti. Birincisi parmaklarda beceri ve ince hareketler gerektirirken, ikincisi bilek ve önkol kullanımına dayanıyordu. Maymunlar birinci iş üzerinde çalışırken, parmakların kortekste temsil edildiği bölge kademeli olarak daha fazla alan ele geçirmekte, bilek ve önkolun temsil edildiği alan ise küçülmekteydi. Buna karşılık anahtar çevirme işi üzerinde eğitilen maymunlarda bilek ve önkola ayrılmış alan genişlemişti. Nudo RJ ve diğ. (1996), Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys, *J Neurosci* 16(2): 785–807.
6. Karni A ve diğ. (1995), Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning, *Nature* 377:155–58.
7. Draganski B ve diğ. (2004), Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training, *Nature* 427(6972): 311–12; Driemeyer J ve diğ. (2008), Changes in

gray matter induced by learning—revisited, *PLoS One* 3(7): e2669; Boyke J ve diğ. (2008), Training-induced brain structure changes in the elderly, *J Neurosci* 28(28): 7031– 35; Scholz J ve diğ. (2009), Training induces changes in white-matter architecture, *Nat Neurosci* 12(11): 1370–71. İleri sürülen varsayıma göre, çalışmanın ilk haftası içinde gri maddede görülen yoğunluk artışları, olasılıkla sinapslar ya da hücre gövdelerindeki büyümeye bağlıdır. Daha uzun dönemde (aylar içinde) gözlenen hacim artışı ise özellikle hipokampusta olmak üzere, yeni nöronların oluşumunu yansıtıyor olabilir.

8. Eagleman DM (2011), *Incognito: The Secret Lives of the Brain* (New York: Pantheon), [*Incognito: Beynin Gizli Hayatı*, Domingo Yayınları].
9. Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y (1996), Attention-induced neuronal activity in the monkey somatosensory cortex revealed by pupillometrics, *Neurosci Res* 25(2): 173–81; Maravita A, Iriki A (2004), Tools for the body (schema), *Trends Cogn Sci* 8:79–86.
10. Draganski B ve diğ. (2006), Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning, *J Neurosci* 26(23): 6314–17.
11. Ilg R ve diğ. (2008), Gray matter increase induced by practice correlates with task-specific activation: A combined functional and morphometric magnetic resonance imaging study, *J Neurosci* 28(16): 4210–15.
12. Maguire EA ve diğ (2000), Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers, *Proc Natl Acad Sci* USA 97(8): 4398–403. *Ayrıca bkz.* Maguire EA, Frackowiak RS, Frith CD (1997), Recalling routes around London: Activation of the right hippocampus in taxi drivers, *J Neurosci* 17(18): 7103–10.
13. Kuhl PK (2004), Early language acquisition: Cracking the speech code, *Nat Rev Neurosci* 5:831–43.
14. Başlangıçta maymunlar üzerinde yürütülen bu çalışmalardan bir tanesinde maymuna eşzamanlı olarak işitsel ve dokunsal uyarılar verilmişti. Yapacağı iş dokunmaya odaklanmasını gerektirdiğinde somatosensoriyel korteksinde plastik değişimler görülürken, bu değişimler işitme korteksinde ortaya çıkmamıştı. Aksine, işitsel uyarana dikkat etmek üzere yönlendirildiğinde de tersi gerçekleşmişti. *Bkz.* Recanzone GH ve diğ. (1993), Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys, *J Neurosci* 13(1): 87–103; Jenkins WM ve diğ. (1990), Functional reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviorally controlled tactile stimulation, *J Neurophysiol* 63(1): 82–104; Bavelier D, Neville HJ (2002), Cross-modal plasticity: Where and how? *Nat Rev Neurosci* 3(6): 443.
15. Taub E, Uswatte G, Pidikiti R (1999), Constraint-induced movement therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation, *J Rehabil Res Dev* 36(3): 1–21; Page SJ, Boe S, Levine P (2013), What are the "ingredients" of modified constraint induced therapy? An evidence-based review, recipe, and recommendations, *Restor Neurol Neurosci* 31:299–309.
16. Teng S, Whitney D (2011), The acuity of echolocation: Spatial resolution in the sighted compared to expert performance, *J Vis Impair Blind* 105(1): 20.
17. Dahası, ülkeler son derece esnek vücut planlarına da sahiptir. Yeni bölgeler ele geçirildikçe, bunlar ülkenin uzantıları ve bilincinin bir parçası olur. Diplomatlar görev yerlerine gönderilir ve askeri üsler kurulur. Bölge, ülkenin bir tele-uzantısı haline gelir ve vücudun denetleyebildiği bütün uzantılarda

olduğu gibi, karakollar da ülkenin kimliğine katılır. Hükümetlerin yeni girdileri sarmalamaya nasıl hazır oldukları da dikkate değerdir: Teknoloji değiştikçe devlet daireleri ve yasalar da kendilerini onun biçimine uyduracak şekilde değiştirirler.

18. Nörobilimciler "nörotransmiter" terimini, nöronun özelleşmiş bir bağlantı noktasında saldığı ve burada bir başka hücreyle yüksek özgüllük ilkesiyle iletişim kuran kimyasal haberciler için kullanırlar. Nöromodülatör ise aksine, daha büyük bir nöron popülasyonunu (ya da başka hücre tiplerini) etkileyen ve etki kapsamı da genellikle daha geniş olan kimyasal habercidir. Belirli bir kimyasal, koşullara bağlı olarak bir nörotransmiter ya da bir nöromodülatör olarak etki gösterebilir. Sözgelimi asetilkolin, çevresel sinir sisteminde (kaslarla iletişim kurduğu sırada) nörotransmiter, merkezi sinir sisteminde ise nöromodülatör olarak işlev görür.
19. Bakin JS, Weinberger NM (1996), Induction of a physiological memory in the cerebral cortex by stimulation of the nucleus basalis, *Proc Natl Acad Sci USA* 93:11219–24.
20. Asetilkolin salan nöronlar "kolinerjik" olarak nitelendirilir ve bunlar neredeyse tümüyle "bazal önbeyin"de (kortekse uyarı gönderen bir subkortikal yapılar topluluğu) yer alırlar. Bu maddenin merkezi sinir sistemi üzerinde, nöronların uyarılabilirlik düzeyini değiştirme, nörotransmiterlerin "presinaptik" (sinaps öncesi) nörondan salınımını ayarlama, küçük nöron popülasyonlarının etkinliklerini koordine etme gibi birçok etkisi vardır. *Bkz.* Picciotto MR, Higley MJ, Mineur YS (2012), Acetylcholine as a neuromodulator: Cholinergic signaling shapes nervous system function and behavior, *Neuron* 76(1): 116–29; Gu Q (2003), Contribution of acetylcholine to visual cortex plasticity, *Neurobiol Learn Mem* 80:291–301; Richardson RT, DeLong MR (1991), Electrophysiological studies of the functions of the nucleus basalis in primates, *Adv Exp Med Biol* 295:233–52; Orsetti M, Casamenti F, Pepeu G (1996), Enhanced acetylcholine release in the hippocampus and cortex during acquisition of an operant behavior, *Brain Res* 724:89–96. Birçok nöromodülatörün uyarılma ve baskılanma dengesini anlık olarak değiştirmesinden yola çıkan bir varsayıma göre, baskılanmanın ortadan kalkması, nöromodülasyonun uzun dönemli sinaptik değişimleri mümkün kılmada yararlandığı mekanizmalardan biridir.
21. Hasselmo ME (1995), Neuromodulation and cortical function: Modeling the physiological basis of behavior, *Behav Brain Res* 67:1–27.
22. Bu süreç ilk kez yetişkin sıçanlarda yıllar önce gösterilmişti. Sıçanlar belirli ses tonlarına maruz kaldıklarında, sesler tek başına korteksteki temsil alanlarında önemli bir değişiklik oluşturmamıştı. Ama belirli bir ses, kolinerjik bazal çekirdeğin uyarılması eşliğinde verildiğinde, o sesin kortekste temsil edildiği alan genişlemişti. Kilgard MP, Merzenich MM (1998), Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity, *Science* 279:1714–18. Konuyla ilgili olarak hem sıçan hem de insanları kapsayan bilimsel verilerin bir değerlendirmesi için *bkz.* Weinberger NM (2015), New perspectives on the auditory cortex: Learning and memory, *Handb Clin Neurol* 129:117–47.
23. Bear MF, Singer W (1986), Modulation of visual cortical plasticity by acetylcholine and noradrenaline, *Nature* 320:172–76; Sachdev RNS ve diğ.

(1998), Role of the basal forebrain cholinergic projection in somatosensory cortical plasticity, *J Neurophysiol* 79:3216–28.

24. Conner JM ve diğ. (2003), Lesions of the basal forebrain cholinergic system impair task acquisition and abolish cortical plasticity associated with motor skill learning, *Neuron* 38:819–29.
25. Söyleşinin tamamını içeren videoyu (Asimov bu söyleşide internet çağını, yıllar öncesinden öngörmüştü), YouTube'da bulabilirsiniz.
26. Brandt A, Eagleman DM (2017), *The Runaway Species* (New York: Catapult), [*Yaratıcı Tür*, çev. Zeynep Arık Tozar, Domingo Yayınları, 2019].

7 Aşk Kendi Derinliğinin Farkına Neden Ancak Ayrılık Saati Gelip Çattığında Varır?

1. Eagleman DM (2001), Visual illusions and neurobiology, *Nat Rev Neurosci* 2(12): 920–26.
2. Pelah A, Barlow HB (1996), Visual illusion from running, *Nature* 381(6580): 283; Zadra JR, Proffitt DR (2016), Optic flow is calibrated to walking effort, *Psychon Bull Rev* 23(5): 1491–96.
3. McCollough etkisi olarak bilinen bu yanılsama adını, onu 1965'te keşfeden Celeste McCollough'dan almıştır. McCollough C (1965), Color adaptation of edge-detectors in the human visual system, *Science* 149:1115–16. Renk körü olanlar bu yanılsamayı deneyimleyemezler. Bu umulmadık art etki sadece çizgi konumlandırmaları ve renkle değil, hareket ve renk, uzamsal frekans ve renk ve yanı sıra, başka bazı eşleşmelerle de ortaya çıkar.
4. Jones PD, Holding DH (1975), Extremely long-term persistence of the McCollough effect, *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1(4): 323–27.
5. Gözlerdeki büyük hareketler "sakkadik", daha küçük olan seğirme ve titreşimler de "mikro sakkadik" hareketler olarak bilinir.
6. Bu olgu, gözün kendisinden kaynaklanan etkilere atfen "entoptik görüş" olarak adlandırılır. Buna karşılık görsel illüzyonların kaynağı, beynin yorumlamalarıdır. Gözün iç ortamından kaynaklanan yanılsamalarla ilgili bazı örnekler için *bkz.* Tyler CW (1978), Some new entoptic phenomena, *Vision Res* 18(12): 1633–39.
7. Bunu ilk kaydeden kişi, 1823'te Jan Purkinje olmuştur. Kendi gözünüzün içindeki kan damarlarının görüntüsü, bu nedenle Purkinje Ağacı olarak bilinir. *Bkz.* Purkyně J (1823), Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht; *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne* içinde (Prag: In Commission der J. G. Calve'schen Buchhandlung).
8. Stetson C ve diğ. (2006), Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation, *Neuron* 51(5): 651–59.
9. Bana göre, bilimin arka cebinde saklamaya değer, ilginç bir fikir: Bize beliriyormuş gibi görünen, ama aslında kaybolmakta olan bir şeyi temsil eden başka neler olabilir?
10. Kamin LJ (1969), Predictability, surprise, attention, and conditioning, *Punishment and Aversive Behavior* içinde, ed. BA Campbell ve RM Church (New York: Appleton-Century-Crofts), 279–96; Bouton ME (2007), *Learning and Behavior: A Contemporary Synthesis* (Sunderland, Mass.: Sinauer).

11. Uyaranın gücüne paralel olarak gerçekleştirilen bu kademeli yönlenme davranışı "klinokinezi" olarak bilinir.
12. Çubuk ve konilerin karanlıkta yakaladığı ışık akısı, 104 lümen dolayındadır ama sürekli ortam ışığında bu değer çok daha yüksek olabilir. Devreye giren çeşitli karmaşık mekanizmaların sonucunda, fotoreseptörler doygunluktan (saturasyon) kaçınarak, artan foton akışına karşılık vermek için zincirleme moleküler süreçlerin amplifikasyon faktörlerini (ve toparlanma hızlarını) ayarlamaya tabi tutarlar. Örneklersek: Biyokimyasal olarak aktif haldeki moleküllerin ömür uzunluğunu değiştirirler, yakın çevredeki bağlayıcı proteinlerin erişilebilirliğini değiştirirler, etkinleştirilmiş komplekslerin ömrünü uzatmak için başka moleküllerden yararlanırlar ve kendilerine bağlanacak ligandlar temelinde, ilgili kanalların afinitelerini değiştirirler. Fotoreseptörler daha büyük ölçekte güçlerini birleştirme yoluna da gidebilirler. Bu süreci mümkün kılan, fotoreseptörlerin birbiriyle etkileşim biçimini değiştirmek üzere bağlantıları ("geçit bağlantıları" ["gap junctions"]) ayarlamaya tabi tutan yatay hücrelerdir. *Bkz.* Arshavsky VY, Burns ME (2012), Photoreceptor signaling: Supporting vision across a wide range of light intensities, *J Biol Chem* 287(3): 1620–26; Chen J ve diğ. (2010), Channel modulation and the mechanism of light adaptation in mouse rods, *J Neurosci* 30(48): 16232–40; Diamond JS (2017), Inhibitory interneurons in the retina: Types, circuitry, and function, *Annu Rev Vis Sci* 3:1–24; O'Brien J, Bloomfield SA (2018), Plasticity of retinal gap junctions: Roles in synaptic physiology and disease, *Annu Rev Vis Sci* 4:79–100; Demb JB, Singer JH (2015), Functional circuitry of the retina, *Annu Rev Vis Sci* 1:263–89.

8 Değişimin Kıyısında Dengede Durmak

1. Muckli L, Naumer MJ, Singer W (2009), Bilateral visual field maps in a patient with only one hemisphere, *Proc Natl Acad Sci* 106(31): 13034–39. Alice'in sağ gözü de normalden çok küçük ve büyük oranda da kördü. Onunla ilgili daha fazla bilgi için makalenin eklerine bakabilirsiniz.
2. Udin SH (1977), Rearrangements of the retinotectal projection in Rana pipiens after unilateral caudal half-tectum ablation, *J Comp Neurol* 173:561–82.
3. Constantine-Paton M, Law MI (1978), Eye-specific termination bands in tecta of three-eyed frogs, *Science* 202:639–41; Law MI, Constantine-Paton M (1981), Anatomy and physiology of experimentally produced striped tecta, *J Neurosci* 1:741–59.
4. Bölgeler, birbiriyle eşit bir dağılımla kaynaşmak yerine neden ardışık şeritler halinde düzenlenirler? Bilgisayar modelleri, bunun iki gözden gelen aksonlar arasında Hebb'in kuralı uyarınca gelişen rekabetin doğal bir sonucu olduğunu gösterir. Oküler baskınlık sütunlarında görülen şeritlerin oluşumuna odaklanan merkezi model, 1980'lerde öne sürülmüştür (Miller KD, Keller JB, Stryker MP [1989], Ocular dominance column development: Analysis and simulation, *Science* 245[4918]: 605–15). Model, o zamandan bu yana fizyolojik açıdan doğrulanabilir birçok özellikle zenginleştirilmiştir.
5. Attardi DG, Sperry RW (1963), Preferential selection of central pathways by regenerating optic fibers, *Exp Neurol* 7(1): 46–64.

6. Basso A ve diğ. (1989), The role of the right hemisphere in recovery from aphasia: Two case studies, *Cortex* 25:555–66. Araştırmacılar, geçtiğimiz yıllarda nöro-görüntüleme teknikleriyle bu geçişe gerçekleştiği sırada tanık olabilmektedirler. *Bkz.* Heiss WD, Thiel A (2006), A proposed regional hierarchy in recovery of post-stroke aphasia, *Brain Lang* 98:118–23; Pani E ve diğ. (2016), Right hemisphere structures predict post-stroke speech fluency, *Neurology* 86:1574–81; Xing S ve diğ. (2016), Right hemisphere grey matter structure and language outcome in chronic left-hemisphere stroke, *Brain* 139:227–41. Klinik olarak gözlenebilen "sağa geçiş" oranı, hâlâ araştırılmakta olan nedenlerden dolayı, hastadan hastaya değişmektedir.
7. Wiesel TN, Hubel DH (1963), Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye, *J Neurophysiol* 26:1003–17; Gu Q (2003), Contribution of acetylcholine to visual cortex plasticity, *Neurobiol Learn Mem* 80:291–301; Hubel DH, Wiesel TN (1965), Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint, *J Neurophysiol* 28:1041–59. Bu tür deneyler başlangıçta kedi yavruları ve maymunlarla gerçekleştirilmiş olsa da izleyen teknolojiler, aynı kuralların (bekleneceği gibi) insan görme korteksini anlamada da geçerli olduğunu göstermiştir.
8. Bu yaklaşım biraz da inme hastalarında sağlam kolun askıya alındığı zorlayıcı hareket tedavisi stratejisini andırır.
9. Böylece ortaya çıkan "ilişkisel harita"da, örneğin el dirseğin yakınında, dirsek omzun yakınında temsil edilir. Bu düzenleniş eldeki alanın az ya da çok oluşundan bağımsızdır.
10. Levi-Montalcini'nin yaptığı ilk keşiften bu yana, başka üyelerin oluşturduğu yeni bir nörotrofik faktörler ailesi de keşfedilmiştir. Bunların hepsindeki ortak özellik, nöronların sağkalım ve gelişimini tetiklemeleridir. Nörotrofinler daha genel olarak, büyüme faktörleri adı verilen salgı proteinleri sınıfına dahildirler. *Bkz.* Spedding M, Gressens P (2008), Neurotrophins and cytokines in neuronal plasticity, *Novartis Found Symp* 289:222–33.
11. Zoubine MN ve diğ. (1996), A molecular mechanism for synapse elimination: Novel inhibition of locally generated thrombin delays synapse loss in neonatal mouse muscle, *Dev Biol* 179:447–57.
12. Sanes JR, Lichtman JW (1999), Development of the vertebrate neuromuscular junction, *Annu Rev Neurosci* 22:389–442.
13. 1933 Almanya'sında olanları düşünün. Parlamentonun seçilmiş temsilcilerinin neredeyse hepsi ya aşırı sol (Komünistler) ya da aşırı sağ partilerin (Naziler) üyeleriydi. Aşırı uçlar tarafından sağlanmış olsa da sonuçta denge, dengeydi. Ancak 1934 Ağustos'unda, Cumhurbaşkanı Paul von Hindenburg'un ölümünün ardından Adolf Hitler kendini *Führer und Reichskanzler* (Führer ve İmparatorluk Şansölyesi) ilan ederek ülkeyi kararnamelerle yönetmeye başladı. İlk yasalar, bekleneceği gibi komünist rakiplerini toplama kamplarına atmaya yaradı. Ardından kendini gösteren muazzam dengesizlik, milyonlar için felaket oldu.
14. Yamahachi H ve diğ. (2009), Rapid axonal sprouting and pruning accompany functional reorganization in primary visual cortex, *Neuron* 64(5): 719–29; Buonomano DV, Merzenich MM (1998), Cortical plasticity: From synapses to maps, *Annu Rev Neurosci* 21:149–86; Pascual-Leone A, Hamilton R (2001), The

metamodal organization of the brain, *Vision: From Neurons to Cognition* içinde, ed. C Casanova ve M Ptito (New York: Elsevier Science), 427–45; Pascual-Leone A ve diğ. (2005), The plastic human brain cortex, *Annu Rev Neurosci* 28:377–401; Merzenich MM ve diğ. (1984), Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys, *J Comp Neurol* 224:591–605; Pons TP ve diğ. (1991), Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques, *Science* 252:1857– 60; Sanes JN, Donoghue JP (2000), Plasticity and primary motor cortex, *Annu Rev Neurosci* 23(1): 393–415.

15. Jacobs KM, Donoghue JP (1991), Reshaping the cortical motor map by unmasking latent intracortical connections, *Science* 251(4996): 944–7; Tremere L ve diğ. (2001), Expansion of receptive fields in raccoon somatosensory cortex in vivo by GABA-A receptor antagonism: Implications for cortical reorganization, *Exp Brain Res* 136(4): 447–55.
16. Bu mekanizma, alanlar arasındaki sınırları keskinleştirir. Örneğin, *bkz.* Tremere ve diğ. (2001).
17. Weiss T ve diğ. (2004), Rapid functional plasticity in the primary somatomotor cortex and perceptual changes after nerve block, *Eur J Neurosci* 20:3413–23.
18. Bavelier D, Neville HJ (2002), Cross-modal plasticity: Where and how? *Nat Rev Neurosci* 3:443–52.
19. Eckert MA ve diğ. (2008), A cross-modal system linking primary auditory and visual cortices: Evidence from intrinsic fMRI connectivity analysis, *Hum Brain Mapp* 29(7):848–57; Petro LS, Paton AT, Muckli L (2017), Contextual modulation of primary visual cortex by auditory signals, *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 372(1714): 20160104.
20. Pascual-Leone ve diğ. (2005).
21. Darian-Smith C, Gilbert CD (1994), Axonal sprouting accompanies functional reorganization in adult cat striate cortex, *Nature* 368:737–40; Florence SL, Taub HB, Kaas JH (1998), Large-scale sprouting of cortical connections after peripheral injury in adult macaque monkeys, *Science* 282:1117–21. Kortekste gerçekleşen değişiklikler bilimciler arasında büyük dikkat çekmiştir; ancak talamustaki uzun dönemli değişiklikler de korteks yapısındaki yavaş ve görece büyük değişimlere katkı sağlıyor olabilir. *Bkz.* Jones EG (2000), Cortical and subcortical contributions to activity-dependent plasticity in primate somatosensory cortex, *Annu Rev Neurosci* 23:1–37; Buonomano, Merzenich (1998).
22. Merlo LM ve diğ. (2006), Cancer as an evolutionary and ecological process, *Nat Rev Cancer* 6(12): 924–35; Sprouffske K ve diğ. (2012), Cancer in light of experimental evolution, *Curr Biol* 22(17): R762–R771; Aktipis CA ve diğ. (2015), Cancer across the tree of life: Cooperation and cheating in multicellularity, *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 370(1673).

9 Eski Köye Yeni Âdet

1. Teuber HL (1975), *Recovery of function after brain injury in man, in Outcome of Severe Damage to the Central Nervous System*, ed. R Porter ve DW Fitzsimmons (Amsterdam: Elsevier), 159–90.
2. Genç beyinlerde kolinerjik transmiterler yüksek düzeylerde bulunduğu halde, baskılayıcı transmiterler ancak sonraları bollaşır. Bu da onlara genel

bir plastisite özelliği kazandırır. Buna karşılık yetişkin beyni, yanlış yerde gerçekleşen değişimleri etkin biçimde baskılar. Yani, yetişkin beynindeki kolinerjik etkiler, baskılayıcı transmiterler tarafından değiştirilir. Bunun sonucunda plastisite çoğu alanda azalır ya da kalmaz ve beyin yalnızca gerektiğinde değişir. *Bkz.* Gopnik A, Schulz L (2004), Mechanisms of theory formation in young children, *Trends Cogn Sci* 8:371–77; Schulz LE, Gopnik A (2004), Causal learning across domains, *Dev Psychol* 40:162–76. Genç beyinler "küresel" değişime olanak tanıdığından, bilimci Alison Gopnik, bebekleri insan türünün "araştırma ve geliştirme" birimi olarak betimlemiştir.

3. Gopnik A (2009), *The Philosophical Baby: What Children's Minds Tell Us About Truth, Love, and the Meaning of Life* (New York: Farrar, Straus & Giroux).
4. Bu açıklama, Coch D, Fischer KW, Dawson G (2007), Dynamic development of the hemispheric biases in three cases: Cognitive/hemispheric cycles, music, and hemispherectomy, *Human Behavior, Learning, and the Developing Brain* içinde (New York: Guilford), 94–97 kaynağından alınarak uyarlanmıştır. Şaşırtıcıdır, bu ameliyat yetişkinlerde de başarıya ulaşmıştır. Ancak yine de nadiren uygulanır ve hastayı genellikle başlangıçta olduğundan daha kötü durumda bırakır. *Bkz.* Schramm J ve diğ. (2012), Seizure outcome, functional outcome, and quality of life after hemispherectomy in adults, *Acta Neurochir* 154(9): 1603–12.
5. Hassas dönem, kimi zaman kritik dönem olarak da adlandırılır.
6. Petitto LA, Marentette PF (1991), Babbling in the manual mode: Evidence for the ontogeny of language, *Science* 251:1493–96.
7. Lenneberg E (1967), *Biological Foundations of Language* (New York: Wiley); Johnson JS, Newport EL (1989), Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language, *Cogn Psychol* 21:60–99. İkinci dili öğrenmede her şeyin plastisiteye bağlanıp bağlanmaması gerektiği konusunda bazı tartışmalar vardır. Ne de olsa yetişkinler, daha ileri bilişsel olgunlukları, öğrenme deneyimleri ve başka psikolojik ve sosyal etkenlere bağlı olarak, kimi zaman yeni bir dili bebeklerden daha hızlı öğrenebilirler (*Bkz.* Newport [1990] ve Snow, Hoefnagel-Hoehle [1978]). Ancak, yabancı bir dili öğrenme becerisinden bağımsız olarak, o dili aksansız konuşmak, dili daha ileri yaşlarda öğrenenler için daha zordur. Asher J, Garcia R (1969), The optimal age to learn a foreign language, *Mod Lang J* 53(5): 334–341.
8. *Bkz.* Berman N, Murphy EH (1981), The critical period for alteration in cortical binocularity resulting from divergent and convergent strabismus, *Dev Brain Res* 2(2): 181–202. Gözlerdeki hizalanma bozuklukları, günlük dilde şaşılık (içe veya dışa), terminolojide de "strabismus" olarak bilinir.
9. Amedi A ve diğ. (2003), Early "visual" cortex activation correlates with superior verbal-memory performance in the blind, *Nat Neurosci* 6:758–66.
10. Voss P ve diğ. (2006), A positron emission tomography study during auditory localization by late-onset blind individuals, *Neuroreport* 17(4): 383–88; Voss P ve diğ. (2008), Differential occipital responses in early- and late-blind individuals during a sound-source discrimination task, *Neuroimage* 40(2): 746–58.
11. Merabet LB ve diğ. (2005), What blindness can tell us about seeing again: Merging neuroplasticity and neuroprostheses, *Nat Rev Neurosci* 6(1): 71.

12. Başka türlü ifade edersek çalışmaların bulgularına göre işitme korteksi görme korteksine benzemeye başladıysa da yeni bağlantılar, işitme korteksine özgü bazı özellikleri hâlâ barındırmaktaydı. Sözgelimi, yeni görme alanları sol-sağ ekseninde, yukarı-aşağı eksenine göre daha fazla kesinlik taşımaktaydı. Muhtemelen bunun nedeni, işitme korteksinin normalde frekansları sırayla sol-sağ ekseni boyunca haritalamasıydı.
13. Persico N, Postlewaite A, Silverman D (2004), The effect of adolescent experience on labor market outcomes: The case of height, *J Polit Econ* 112(5): 1019–53. *Ayrıca bkz.* Judge TA, Cable DM (2004), The effect of physical height on workplace success and income: Preliminary test of a theoretical model, *J Appl Psychol* 89(3): 428–41.
14. Smirnakis ve diğ. (2005), Lack of long-term cortical reorganization after macaque retinal lesions, *Nature* 435(7040): 300. Bu çalışmalar yetişkin (dört yaşını geçmiş) makak maymunlarıyla yapılmıştır ve aynı sonuçlar, olasılıkla insanlar için de geçerlidir.
15. Verilebilecek yüzlerce örnekten biri olarak, yiyeceğinizi tırmıkla kapmayı öğrenmeye başlarsanız yetişkin bile olsanız duyusal ve motor korteksiniz tırmığı vücut planınıza dahil etmek için kendilerini hızla yeniden ayarlayacaklardır. *Bkz.* Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y (1996), Attention-induced neuronal activity in the monkey somatosensory cortex revealed by pupillometrics, *Neurosci Res* 25(2): 173–81; Maravita A, Iriki A (2004), Tools for the body (schema), *Trends Cogn Sci* 8:79–86.
16. Chalupa LM, Dreher B (1991), High precision systems require high precision "blueprints": A new view regarding the formation of connections in the mammalian visual system, *J Cogn Neurosci* 3(3): 209–19; Neville H, Bavelier D (2002), Human brain plasticity: Evidence from sensory deprivation and altered language experience, *Prog Brain Res* 138:177–88.
17. Haldane JBS (1932), *The Causes of Evolution* (New York: Longmans, Green). Via S, Lande R (1985), Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity, *Evolution* 39:505–22; Via S, Lande R (1987), Evolution of genetic variability in a spatially heterogeneous environment: Effects of genotype-environment interaction, *Genet Res* 49:147–56.
18. Snowdon DA (2003), Healthy aging and dementia: Findings from the Nun Study, *Ann Intern Med* 139(5, pt. 2): 450–54.
19. Yaşlandıkça dikkat edilmesi gereken en kritik nokta, olguların zihninizde kemikleşmesini engellemenin bir yolunu bulmaktır. Bir benzetme yaparsak: Bir bilim insanının başına gelebilecek en kötü şey, bir problem ya da alana hep aynı şekilde bakmaktır. Bu durum, birçok alanda uzmanlık kazanmış Benjamin Franklin gibi insanların bu açıdan sergiledikleri şaşırtıcı üstünlüğü de açıklayabilir: Bu insanlar sürekli olarak yeni alanlara yönlendiklerinden, kendilerini tek bir düşünme biçimine takılıp kalmaktan kurtarabilirler.

10 Hatırlar mısın...

1. Ribot T (1882), *Diseases of the Memory: An Essay in the Positive Psychology* (New York: D. Appleton).
2. Hawkins RD, Clark GA, Kandel ER (2006), Operant conditioning of gill withdrawal in aplysia, *J Neurosci* 26:2443–48.

3. Hebb DO (1949), *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory* (New York: Wiley). Hebb'in ifadesiyle, "A hücresinin aksonu B hücresini uyaracak kadar ona yakınsa ve B hücresinin ateşlenmesinde yinelemeli ya da sürekli olarak rol oynuyorsa hücrelerden birinde ya da her ikisinde birden büyüme süreci veya metabolik bir değişim kendini gösterir; öyle ki B'nin ateşlenmesini sağlayan hücrelerden biri olarak A'nın verimliliği artar." Nörobilimciler sıklıkla A ile B arasındaki sinapstan söz etseler de A'nın Z aracılığıyla C'ye ve yaklaşık on bin başka nörona da bağlandığı unutulmamalıdır. Burada önemli olan, bu sinapslardan her birinin, gücünü bireysel olarak değiştirebilmesi ve bazı etkileşimleri güçlendirirken, bazılarını da zayıflatmasıdır.
4. Bliss TV, Lømo T (1973), Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path, *J Physiol* (London) 232(2): 331–56. Submikroskopik düzeyde, zarda bulunan ve belirli bir kimyasal sinyale duyarlı olan minyatür kanallar (NMDA reseptörleri), rastlantı algılayıcıları (*coincidence detector*) olarak rol oynar ve birbirine bağlanmış iki nöron aynı zaman aralığında etkinleştiğinde tepki verirler. Birçok postsinaptik (sinaps sonrası) zarda hem NMDA glutamat reseptörleri hem NMDA-dışı glutamat reseptörleri yer alır. Normal düşük frekanslı uyarılarda yalnızca NMDA-dışı glutamat kanalları açılır çünkü ortamda doğal olarak beliren magnezyum iyonları NMDA kanallarını baskılamıştır. Ancak yüksek frekanslı presinaptik (sinaps öncesi) girdiler postsinaptik zarın depolarizasyonuyla sonuçlanarak, magnezyum iyonlarını uzaklaştırır ve NMDA reseptörü bir sonraki glutamat salımına duyarlı hale gelir. NMDA-R böylece rastlantısal presinaptik ve postsinaptik etkinlikleri yakalamak yoluyla bir rastlantı algılayıcısı olarak işlev görebilir. Bu bilgiler ışığında NMDA sinapsları da görünüşe bakılırsa tipik birer "Hebb sinapsı"dır ve ilintilerin saklanmasında anahtar rol oynadıkları düşünülür. Bunun da ötesinde NMDA-R'lerin kalsiyum için yüksek geçirgenlik özelliği taşımaları, genomla "konuşabilecek" ikinci-haberci sistemini tetiklemelerine olanak sağlar; bu ise postsinaptik hücrede uzun dönemli yapısal değişikliklerle sonuçlanır. Birçok nöron tipinde NMDA-R, uzun dönemli potansiyel artışının (long-term potentiation – LTP) tetiklenmesinde önemli rol oynar. Bir hayvana davranışsal bir iş öğretilebilir ama NMDA gibi etki gösteren kimyasalların ortama verilmesiyle işin ayrıntılarını hatırlama becerisi kaybolur. Ama NMDA-R, yalnızca harekete geçirme aşaması için gerekli olup değişimlerin korunmasının temelinde başka mekanizmalar yatar; en yaygın olarak, hücre çekirdeğinde yeni proteinlerin sentezlenmesi gerekir örneğin. Bir hayvana iki uyarıyı (örneğin, şok eşliğindeki bir ışığı) ilintilendirmek öğretilebilir ama protein sentezi engellenmişse hayvan kısa dönemli bir anı oluşturabilse de uzun dönemli anı oluşturamaz. LTP çoğu durumda, ancak postsinaptik hücredeki etkinliğin (depolarizasyonun) presinaptik hücredeki etkinlikle ilintilenmesi sonucu harekete geçer. Presinaptik ya da postsinaptik etkinlikler tek başlarına etkisiz kalırlar. Bunun yanı sıra, LTP o anda uyarılmakta olan sinaps için özgüldür; yani bir hücrenin girdiği her bir sinaps ilişkisi ilkece, kendi kişisel geçmişine bağlı olarak güçlenebilir ya da zayıflayabilir.
5. Sinapsların bellekteki rolleri için *bkz.* Nabavi S ve diğ. (2014), Engineering a memory with LTD and LTP, *Nature* 511:348–52; Bailey CH, Kandel RR

(1993), Structural changes accompanying memory storage, *Annu Rev Physiol* 55:397–426.

6. Hopfield J (1982), Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proc Natl Acad Sci* USA 9:2554. Her birim komşularıyla birçok bağlantı (sinaps) kurduğu için tek bir birim farklı zamanlarda farklı birçok etkinlikte rol alabilir.
7. Hebb kuralı ilişkilendirmeler kurmada işe yarasa da kuramsal eksikliklerinden biri, etkinlik sıralamasına duyarsız kalmasıdır. Hayvanların duyusal girdilerin sıralamasına karşı kesin bir duyarlılık taşıdıkları uzun zamandan beri deneylerle gösterilmiştir. Sözgelimi, Pavlov'un köpeği, etin kendisine zil sesinden önce sunulması durumunda ilişkiyi öğrenemeyecektir. Benzer biçimde hayvanlar, yedikleri lezzetli bir yiyeceğin ardından bir kez bulantı deneyimledikten sonra, o yiyeceğe karşı büyük bir isteksizlik duyacaklardır ama sırayı değiştirmek (önce bulantı, sonra yiyecek) böyle bir durum yaratmaz. Bunun bir paraleli de biyofiziksel düzeyde görülebilir: Sinaps gücündeki değişiklikler, presinaptik ve postsinaptik etkinliklerin sırasına bağlıdır. A'dan gelen bir girdi B hücresi ateşlenmeden önce ona ulaşırsa sinaps güçlenir; A'dan gelen girdi B ateşlendikten sonra ulaşırsa da sinaps zayıflar. Bu öğrenme kuralı genellikle "atım zamanlamasına bağlı plastisite" ya da "zamansal olarak asimetrik Hebb kuralı" olarak bilinir ve atım zamanlamasının önemli olduğuna dikkat çeker. Zamansal asimetri kuralına göre, güçlenen bağlantılar, öngörüsel nitelik taşıyanlarıdır: A sürekli olarak B'den önce ateşlenirse bu başarılı bir öngörüye işaret eder ve bağlantı güçlenir. *Bkz.* Rao RP, Sejnowski TJ (2003), Self-organizing neural systems based on predictive learning, *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 361(1807): 1149–75.
8. Derin öğrenmenin temelindeki ana kavramlar otuz yıldan eskidir. *Bkz.* Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ (1988), Learning representations by back-propagating errors, *Cognitive Modeling* 5(3): 1. Konuyla ilgili olarak aynı dönemde ortaya çıkan önemli gelişmeler için, ayrıca Yann LeCun, Yoshua Bengio ve Jürgen Schmidhuber'in çalışmalarına bakabilirsiniz.
9. Carpenter GA, Grossberg S (1987), Discovering order in chaos: Stable self-organization of neural recognition codes, *Ann NY Acad Sci* 504:33–51.
10. Bakin JS, Weinberger NM (1996), Induction of a physiological memory in the cerebral cortex by stimulation of the nucleus basalis, *Proc Natl Acad Sci* USA 93:11219–24; Kilgard MP, Merzenich MM (1998), Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity, *Science* 279:1714–18.
11. Molaison'da ortaya çıkan sorunlar tümüyle beklenmedikti çünkü medial (iç) temporal lobun yalnızca bir tarafta çıkarılması, bir süredir güvenli bir işlem olarak kabul edilmekteydi. Molaison'un yaşamı ve klinik durumuyla ilgili bir özet için *bkz.* Corkin S (2013), *Permanent Present Tense: The Unforgettable Life of the Amnesic Patient, HM* (New York: Basic Books).
12. Zola-Morgan SM, Squire LR (1990), The primate hippocampal formation: Evidence for a time-limited role in memory storage, *Science* 250(4978): 288–90.
13. Eichenbaum H (2004), Hippocampus: Cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory, *Neuron* 44(1): 109–20. *Ayrıca bkz.* Frankland PW ve diğ. (2004), The involvement of the anterior cingulate cortex in remote contextual fear memory, *Science* 304(5672): 881–83.

14. Pasupathy A, Miller EK (2005), Different time courses of learning-related activity in the prefrontal cortex and striatum, *Nature* 433(7028): 873–76. *Ayrıca bkz.* Ravel S, Richmond BJ (2005), Where did the time go? *Nat Neurosci* 8(6): 705–7.
15. Lisman J ve diğ. (2018), Memory formation depends on both synapse-specific modifications of synaptic strength and cell-specific increases in excitability, *Nat Neurosci* 12:1; Martin SJ, Grimwood PD, Morris RG (2000), Synaptic plasticity and memory: An evaluation of the hypothesis, *Annu Rev Neurosci* 23:649–711; Shors TJ, Matzel LD (1997), Long-term potentiation: What's learning got to do with it?, *Behav Brain Sci* 20(4): 597–655. LTP (uzun dönemli potansiyel artışı ve LTD (uzun dönemli baskılanma) özelinde, nöron içeriğinin sinapsın değişimlerini nasıl belirlediği konusunda henüz bilinmeyen çok şey vardır. Çünkü bütün sinapslar aynı davranışı göstermez. Önceleri uyarı protokolü ayrıntılarının sonucu belirleyeceği umuluyordu. Ama deneysel çalışmalar başlayınca, "doğru" uyarı verildiği halde baskılanmayan hücreler olduğunu gören bazı araştırmacılar, hücrenin "hasta" olduğu varsayımıyla verileri çöpe atmıştı. Oysa verilere yakından bakınca, değişimle ilgili sinaptik kuralların, hücre içindeki başka faktörlerde odaklandığı görülür. Belirlenmeyi bekleyen, bu faktörlerdir. *Bkz.* Perrett SP ve diğ. (2001), LTD induction in adult visual cortex: Role of stimulus timing and inhibition, *J Neurosci* 21(7): 2308–19.
16. Draganski B ve diğ. (2004), Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training, *Nature* 427(6972): 311–12.
17. Yeni dallanan akson ya da dendritler veya yeni gliya hücreleri ya da nöronların doğumu gibi.
18. Boldrini M ve diğ. (2018), Human hippocampal neurogenesis persists throughout aging, *Cell Stem Cell* 22(4): 589–99; Gould ve diğ. (1999), Neurogenesis in the neocortex of adult primates, *Science* 286(5439): 548–52; Eriksson ve diğ. (1998), Neurogenesis in the adult human hippocampus, *Nat Med* 4(11): 1313. 1960'tan beri yerleşik olan dogma, memelilerin belirli sayıda nöronla doğduğunu, bu sayının yaşla azalsa da asla artamayacağını ileri sürmekteydi. Ancak kullandığımız tekniklerde giderek artan çözünürlük sayesinde, farelerden insanlara kadar hipokampusun, her gün binlerce yeni nöron ürettiğini artık biliyoruz. Nörogenezin bu bulgusu şaşırtıcı geliyorsa bunun tek nedeni, tarihsel bir hatadır çünkü ne de olsa yeni hücre oluşumu vücudun diğer bütün kısımlarında görülmektedir. Bunun da ötesinde, kuş beyninde de yeni nöron oluştuğu (hatta yeni bir şarkı öğrendikleri her seferinde) uzun zamandır bilinmektedir: Nottebohm F (2002), Neuronal replacement in adult brain, *Brain Res Bull* 57(6): 737–49. Tarihsel açıdan ilginç bir nokta da, nörogenezin memeli beyninde de gerçekleşiyor olabileceğinden uzun süre kuşkulanıldığı halde, fikrin bir kenara atılmış olmasıdır; *bkz.* Altman J (1962), Are new neurons formed in the brains of adult mammals? *Science* 135(3509): 1127–28.
19. Gould E ve diğ. (1999), Learning enhances adult neurogenesis in the adult hippocampal formation, *Nat Neurosci* 2:260–65. Öyleyse mevcut anılar, bu yabancıların varlığıyla niye bozulmaz? Yeni hücreler, depolanmış eski anılara zarar vermeden korteks dokusuna sızabiliyorsa konnektom paradigmasının gözden geçirilmesi gerekiyor demektir. Bir görüşe göre sinapslar, belki de

yapılarındaki moleküllerin dinamiğinden dolayı öğrenilmiş, uzun dönemli bilgilerin saklanması için güvenilir noktalar olmayabilir. (Nottebohm [2002]; Bailey, Kandel [1993]). Nihai biyofiziksel değişim, onun yerine tümüyle yeni bir nöron gerektirir. Bu spekülatif çerçeve içinde, bir anının saklanması, bir gen kümesinin etkinleşmesini içerir ve bu da beraberinde hücre farklılaşmasını getirecektir. Hücre bölünmesinin tersinmez oluşu, anıların uzun dönemde, yani uzun bir zaman ölçeği içinde saklanması için tam da ihtiyaç duyulan şeydir. Bu fikri spekülatif olarak sınıflamamın nedeni, nörogenez hakkında henüz anlamadığımız çok şey olmasıdır. Elenenler hangi nöronlardır (gelişigüzel seçilenler mi, yoksa sürecin uyumsuzları mı)? Bunlar devrelerin tam olarak neresinde yer alırlar? Hangi işlevleri üstlenirler? Deneyler yoluyla yanıtlanacak daha genel bir soru da vardır: Öğrenme, bazı nöronları uzun dönemli anıların saklanacağı bir havuz olarak işlev görmeye iter mi? Ve böyle yaparak yeni bilgi alma yeteneklerini geridönüşsüz biçimde baskılar mı? Bütün bu deneylerin, aşağı yukarı doğal bir yaşam süren hayvanlarla yapılması önemlidir. Primatlarla yapılan ilk çalışmalarda nörogeneze tanık olunmamasını (Rakic P [1985], Limits of neurogenesis in primates, *Science* 227[4690]), laboratuvar maymunlarının uyarıdan yoksun kafeslerde yaşamasına bağlayanlar olmuştur. Hem uyarıcı ortamlar hem de egzersizin nörogenez için kritik önem taşıdığını artık biliyoruz. Bu ise sisteme daha fazla anı aktıkça, çok uzun dönemli depolara daha fazla ihtiyaç duyulacağı yolundaki bir kuramda olmasını beklediğimiz bir özelliktir.

20. Levenson JM, Sweatt JD (2005), Epigenetic mechanisms in memory formation, *Nat Rev Neurosci* 6(2): 108–18. Bir başka örnekte, genomun epigenetik etiketlenme sürecinin, bağlamsal korku koşullanmasına ilişkin anıların güçlenmesi sırasında gerçekleştiğini görürüz. Bağlamsal korku koşullanmasında tatsız bir uyaran ve yeni bir mekân eşleştirilir. Bu eşleşme, DNA'nın, çevrelerine sarılıp sonra da çözüldüğü proteinlerin yapılarında değişikliğe neden olur. Bu değişmiş gen ifadesinin başaramayacağı şey yok gibidir. Sinaptik işlevleri, nöronların uyarılabilirliklerini ve reseptör ifade örüntülerini güçlendirmek de bu başarıları arasındadır. Bağlamsal korku koşullanmasıyla karşılaştırıldığında, gizli baskılama adı verilen bir başka uzun dönemli bellek tipi de farklı bir histon proteininin değişimine neden olur. Bu ise henüz keşfedilmemiş bir histon kodu olduğunu ve bu kod içinde belirli bellek ve anı tiplerinin belirli histon değişimi örüntüleriyle ilişkilendiğini ima eder.
21. Weaver ICG ve diğ. (2004), Epigenetic programming by maternal behavior, *Nat Neurosci* 7(8): 847. Epigenetik alanı, DNA ve çevresindeki proteinlerde ortaya çıkan değişimleri inceler. Bunlar, gen ifadesi örüntülerinde de ömür boyu sürecek başka değişimlere neden olur. Değişim, genom ile çevre arasındaki etkileşimin sonucudur. Gen ifadesindeki bu kalıtımsal değişikliklerin DNA diziliminin kendisinde yer almaması, genotipik açıdan aynı olan hücrelerin fenotipik açıdan farklı özellikler kazanmasına neden olur.
22. Brand S (1999), *The Clock of the Long Now: Time and Responsibility* (New York: Basic Books). Hız katmanları fikrinin bir geçmişi vardır. Brand, sağlıklı uygarlık şemasını ilk kez Brian Eno ile 1996'da Eno'nun Londra'daki stüdyosunda oluşturdu. Onun da öncesinde, 1970'li yıllarda mimar Frank Duffy ticari binaların bünyesindeki dört katmana işaret etmişti: çalışma alanı ya da

set (yerleri sıklıkla değiştirilen mobilyalar gibi), manzara (her beş ila yedi yılda bir yer değiştiren iç duvarlar gibi), hizmetler (yaklaşık on beş yıllık bir ölçekte değişen kiracı şirketler gibi) ve kabuk (yani yıllar boyunca yerinde durabilen binanın kendisi).

23. Bunun için bir karşı argüman ileri sürülüp bütün bu değişkenlerin varoluş nedeninin, asıl önemli olan değişimi (sinaps gücündeki değişim gibi) kollamak adına, iç dengeyi muhafaza etmek olduğu iddia edilebilir. Açık söylemek gerekirse, bunun pek olası olduğunu düşünmüyorum. Çünkü bu, toplumun bir katmanına (diyelim ki ticaret) işaret edip uygarlığın geçirdiği bütün diğer değişimlerin, yeni alışveriş yerlerinden asla mahrum kalmamamız için düzeni güvende tutmak adına gerçekleştiğini iddia etmek gibi olur.
24. Bunun üzerinde çalışan nörobilimcilerin genelde kullandıkları yöntemlerin, âşık olmak kadar heyecan verici olduğu söylenemez. Onlar sıçan gibi laboratuvar hayvanlarından yararlanırlar. Sıçana, karşılığında ödül alacağı bir şey öğretir ve kusursuz bir performansa doğru ilerlediği hızı izlerler. Daha sonra geribildirimi ortadan kaldırarak, bu sefer de davranışın kaybolması için geçen süreyi kaydederler. Hayvanı geribildirim yoluyla eğitime yeniden tabi tuttuklarındaysa şaşırtıcı bir zaman kazancına tanık olurlar: Hayvan ikinci denemede çok daha hızlı öğrenmiştir. *Bkz.* Della-Maggiore V, McIntosh AR (2005), Time course of changes in brain activity and functional connectivity associated with long-term adaptation to a rotational transformation, *J Neurophysiol* 93:2254–62; Shadmehr R, Brashers-Krug T (1997), Functional stages in the formation of human long-term motor memory, J *Neurosci* 17:409–19; Landi SM, Baguear F, Della-Maggiore V (2011), One week of motor adaptation induces structural changes in primary motor cortex that predict long-term memory one year later, J *Neurosci* 31:11808–13; Yamamoto K, Hoffman DS, Strick PL (2006), Rapid and longlasting plasticity of input-output mapping, *J Neurophysiol* 96:2797–801.
25. Mulavara AP ve diğ. (2010), Locomotor function after long-duration space flight: Effects and motor learning during recovery, *Exp Brain Res* 202:649–59.
26. Eagleman DM (2011), *Incognito: Beynin Gizli Hayatı. Ayrıca bkz.* Barkow J, Cosmides L, Tooby J (1992), *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture* (New York: Oxford University Press).
27. Yeniyi eski üzerine inşa etme yaklaşımının, görgü tanıklarının ifadelerindeki hatalara temel oluşturduğunu düşünüyorum. Bir suçun her tanığı, kendi deneyimlerinin tarihini ve dünyayla ilgili kendi anlayışını ortaya koyar. Kullandığı süzgeçler ve önyargıları, yeni deneyimlerinin üzerine yağdığı tortul kayaçlardır. Yeni girdilerin farklı kafaların içinde farklı yamaçlardan süzülmesine şaşmamak gerekir. Daha genel bir ifadeyle, şimdinin geçmişe bağımlılığı, insanlar arasındaki birçok ayrılığa –bireyselden kültürele– zemin oluşturur.
28. Cytowic RE, Eagleman DM (2009), *Wednesday Is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia* (Cambridge, Mass.: MIT Press).
29. Eagleman DM ve diğ. (2007), A standardized test battery for the study of synesthesia, *J Neurosci Methods* 159(1): 139–45. Sinestezi Değerlendirme Testi'ne synesthete.org sayfasından ulaşabilirsiniz.
30. Witthoft N, Winawer J, Eagleman DM (2015), Prevalence of learned grapheme-color pairings in a large online sample of synesthetes, *PLoS One* 10(3): e0118996.

31. Yazı birimi-renk sinestezisinin, deneyimle koşullandırılmış, yani bellekle yönlendirilen bir zihinsel imgelem sistemine işaret ettiğini ileri sürüyoruz. Belirtelim ki bu görüş, sinestezi tepkisinin gelişiminin, genetik yatkınlığa bağlı olduğu yolundaki bulgularla çelişmez. Sinestezi deneyimleyen kişilerin geri kalanında renk ilişkilerinin kökenine gelince, hatırlayın ki dış etkinin tek kaynağı mıknatıslar değildi. Bu etkiler kitaplardaki renkli harflerden duvarları süsleyen harflere ya da sınıflardaki posterlere kadar değişmekteydi.
32. Plummer W (1997), Total erasure, *People*.
33. Sherry DF, Schacter DL (1987), The evolution of multiple memory systems, *Psychol Rev* 94(4): 439; McClelland JL ve diğ. (1995), Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: Insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory, *Psychol Rev* 102(3): 419.
34. Hızlı öğrenme tipinde, öğrenme sürecinin de hızla ilerlemesi gerekir. Ancak bu da sistemde daha fazla müdahaleye yol açıp çoklu anıların depolanmasında felaketle sonuçlanabilir. Diğer yandan, bağlantı gücünü değiştirme hızı düşükse bağlantılar birçok deneyimin ortalamasını kapsayacak duruma gelir ve böylece çevreye temel oluşturan istatistiklerin bir kopyasını üretmiş olur. Daha önceleri, hipokampusun anıları kendi içinden "geçirip" kortekse öyle ilettiği düşünülürdü ama daha yeni bazı veriler, bu iki sürecin paralel işlediğini, yani ikisinin de aynı zamanda ve birbirine paralel olarak öğrendiğini göstermektedir. İlk ortaya atıldığı (McCloskey ve Cohen [1989]; McClelland ve diğ. [1995]; White [1989]) zamanlardan bu yana, birbirini tamamlayıcı nitelikteki bu öğrenme sistemleri birkaç düzenlemeden geçmiş ve bunların hepsi de sistemlerin beyindeki konumunu belirlemeye odaklanmıştır. İlk model hipokampus ve korteksi ön plana çıkarır (McClelland ve diğ. [1995]), Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex, *Psychol Rev* 102:419–57; O'Reilly ve diğ. [2014], Complementary learning systems, *Cogn Sci* 38:1229–48). Daha yeni modeller ise farklı öğrenme hızlarının kendilerini tümüyle hipokampusta gösterdiğini ileri sürer. Buna göre CA3'teki trisinaptik nöral yol, sınırları açıkça belirlenmiş zaman dilimlerinde (yani yüksek hızla) öğrenmek için elverişliyken, CA1'deki monosinaptik yol, daha düşük öğrenme hızına bağlı olarak istatistiksel öğrenmede başarılıdır. *Bkz.* Schapiro ve diğ. (2017), Complementary learning systems within the hippocampus: A neural network modeling approach to reconciling episodic memory with statistical learning, *Phil Trans R Soc B* 372(1711).

11 Kurt ile Mars Kâşifi

1. Coren MJ (2013), A blind fish inspires new eyes and ears for subs, *FastCoExist*.
2. *Bkz.* Leverington M, Shemdin KN (2017), *Principles of Timing in FPGAs*.
3. Eagleman DM (2008), Human time perception and its illusions, *Curr Opin Neurobiol* 18(2): 131–36; Stetson C ve diğ. (2006), Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation, *Neuron* 51(5): 651–59; Parsons B, Novich SD, Eagleman DM (2013), Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events, *Front Psychol* 4:46; Cai M, Stetson C, Eagleman DM (2012), A neural model for temporal order

judgments and their active recalibration: A common mechanism for space and time? *Front Psychol* 3:470.

Benzeri bir ilke, geceleri lenslerini çıkarıp gözlüklerini takanlarda da kendini gösterir. İlk anlarda denge duyuları yoldan çıkar çünkü gözlüklerin görsel sahneyi bir miktar eğip bükmesiyle göz hareketleri de görme alanında daha büyük bir değişime yol açar: Çıktı, beklenmedik denebilecek bir girdiye dönüşmüştür. Gözlüklerinizi taktıktan sonra kısa bir süreliğine başınızı sağa sola çevirmeniz, bu sorunu hızla çözecektir. Çünkü bu şekilde nöral ağlarınızın, motor çıktıları duyusal girdiler için hızla yeni bir kalibrasyondan geçirmesini sağlamış olursunuz.

4. Akıllı şebeke ve elektrik şebekesi örnekleriyle ilgili daha ayrıntılı bilgi için, Eagleman DM (2010), *The Safety Net: Avoiding Pandemics and Other Disasters* (Edinburgh: Canongate Books) .

12 Ötzi'nin Kayıp Aşkını Bulmak

1. Fowler B (2000), *Iceman: Uncovering the Life and Times of a Prehistoric Man Found in an Alpine Glacier*, (Chicago: U Chicago Press). Gerçekleştirilen radyolojik incelemelerle ilgili açıklamalar için *bkz.* Gostner P ve diğ. (2011), New radiological insights into the life and death of the Tyrolean Iceman, *Archaeol Sci* 38(12): 3425–31. *Ayrıca bkz.* Wierer U ve diğ. (2018), The Iceman's lithic toolkit: Raw material, technology, typology, and use, *PLoS One*; Maixner F ve diğ. (2016), The 5300-year-old Helicobacter pylori genome of the Iceman, *Science* 351(6269): 162–65.
2. Stretesky PB, Lynch MJ (2004), The relationship between lead and crime, *J Health Soc Behav* 45(2): 214–29; Nevin R (2007), Understanding international crime trends: The legacy of preschool lead exposure, *Environ Res* 104(3): 315–36; Reyes JW (2007), Environmental policy as social policy? The impact of childhood lead exposure on crime, *Contrib Econ Anal Pol* 7(1).

KAYNAKÇA

Ahuja AK ve diğ. (2011). Blind subjects implanted with the Argus II retinal prosthesis are able to improve performance in a spatial-motor task. *Br J Ophthalmol* 95(4): 539–43.

Amedi A, Camprodon J, Merabet L, Meijer P, Pascual-Leone A (2006). Towards closing the gap between visual neuroprostheses and sighted restoration: Insights from studying vision, cross-modal plasticity, and sensory substitution. *J Vision* 6(13): 12.

Amedi A, Floel A, Knecht S, Zohary E, Cohen LG (2004). Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects. *Nat Neurosci* 7:1266–70.

Amedi A, Raz N, Azulay H, Malach R, Zohary E (2010). Cortical activity during tactile exploration of objects in blind and sighted humans. *Restor Neurol Neurosci* 28(2): 143–56.

Amedi A, Raz N, Pianka P, Malach R, Zohary E (2003). Early "visual" cortex activation correlates with superior verbal-memory performance in the blind. *Nat Neurosci* 6:758–66.

Amedi A ve diğ. (2007). Shape conveyed by visual-to-auditory sensory substitution activates the lateral occipital complex. *Nat Neurosci* 10:687–89.

Ardouin J ve diğ. (2012). FlyVIZ: A novel display device to provide humans with 360° vision by coupling catadioptric camera with HMD. *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* kapsamında.

Arno P, Capelle C, Wanet-Defalque MC, Catalan-Ahumada M, Veraart C (1999). Auditory coding of visual patterns for the blind. *Perception* 28(8): 1013–29.

Arno P ve diğ. (2001). Occipital activation by pattern recognition in the early blind using auditory substitution for vision. *Neuroimage* 13(4): 632–45.

Auvray M, Hanneton S, O'Regan JK (2007). Learning to perceive with a visuo-auditory substitution system: Localisation and object recognition with "The vOICe." *Perception* 36:416–30.

Auvray M, Myin E (2009). Perception with compensatory devices: From sensory substitution to sensorimotor extension. *Cogn Sci* 33(6): 1036–58.

Bach-y-Rita P (2004). Tactile sensory substitution studies. *Ann NY Acad Sci* 1013:83–91.

Bach-y-Rita P, Collins CC, Saunders F, White B, Scadden L (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature* 221:963–64.

Bach-y-Rita P, Danilov Y, Tyler ME, Grimm RJ (2005). Late human brain plasticity: Vestibular substitution with a tongue BrainPort human-machine interface. *Intellectica* 1(40): 115–22.

Bailey CH, Kandel RR (1993). Structural changes accompanying memory storage. *Ann Rev Physiol* 55:397–426.

Bakin JS, Weinberger NM (1996). Induction of a physiological memory in the cerebral cortex by stimulation of the nucleus basalis. *Proc Natl Acad Sci USA* 93:11219–24.

Bangert M, Schlaug G (2006). Specialization of the specialized in features of external human brain morphology. *Eur J Neurosci* 24:1832–34.

Barinaga M (1992). The brain remaps its own contours. *Science* 258:216–18.

Bear MF, Singer W (1986). Modulation of visual cortical plasticity by acetylcholine and noradrenaline. *Nature* 320:172–76.

Bennett EL, Diamond MC, Krech D, Rosenzweig MR (1964). Chemical and anatomical plasticity of brain. *Science* 164:610–19.

Bliss TV, Lømo T (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J Physiol (London)* 232:331–56.

Boldrini M ve diğ. (2018). Human hippocampal neurogenesis persists throughout aging. *Cell Stem Cell* 22(4): 589–99.

Borgstein J, Grootendorst C (2002). Half a brain. *Lancet* 359(9305): 473.

Borsook D ve diğ. (1998). Acute plasticity in the human somatosensory cortex following amputation. *Neuroreport* 9:1013–17.

Bouton CE ve diğ. (2016). Restoring cortical control of functional movement in a human with quadriplegia. *Nature* 533(7602): 247.

Bower TGR (1978). Perceptual development: Object and space. *Handbook of Perception,* cilt. 8, *Perceptual Coding* kapsamında, ed. EC Carterette and MP Friedman. Academic Press.

Brandt AK ve Eagleman DM, *Yaratıcı Tür*, çev. Zeynep Arık Tozar, Domingo Yayınları, 2019.

Bubic A, Striem-Amit E, Amedi A (2010). Large-scale brain plasticity following blindness and the use of sensory substitution devices. *Multisensory Object Perception in the Primate Brain* kapsamında, ed. MJ Naumer ve J Kaiser, 351–80. Springer.

Buonomano DV, Merzenich MM (1998). Cortical plasticity: From synapses to maps. *Annu Rev Neurosci* 21:149–86.

Burrone J, O'Byrne M, Murthy VN (2002). Multiple forms of synaptic plasticity triggered by selective suppression of activity in individual neurons. *Nature* 420(6914): 414–18.

Burton H (2003). Visual cortex activity in early and late blind people. *J Neurosci* 23(10): 4005–11.

Burton H, Snyder AZ, Conturo TE, Akbudak E, Ollinger JM, Raichle ME (2002). Adaptive changes in early and late blind: A fMRI study of Braille reading. *J Neurophysiol* 87:589–607.

Cai M, Stetson C, Eagleman DM (2012). A neural model for temporal order judgments and their active recalibration: A common mechanism for space and time? *Front Psychol* 3:470.

Cañón Bermúdez GS, Fuchs H, Bischoff L, Fassbender J, Makarov D (2018). Electronic-skin compasses for geomagnetic field-driven artificial magnetoreception and interactive electronics. *Nat Electron* 1(11): 589–95.

Carpenter GA, Grossberg S (1987). Discovering order in chaos: Stable self-organization of neural recognition codes. *Ann NY Acad Sci* 504:33–51.

Chebat DR, Harrar V, Kupers R, Maidenbaum S, Amedi A, Ptito M (2018). Sensory substitution and the neural correlates of navigation in blindness. *Mobility of Visually Impaired People* kapsamında, 167–200. Springer.

Chorost M (2011). *World Wide Mind: The Coming Integration of Humanity, Machines, and the Internet*. Free Press.

Clark SA, Allard T, Jenkins WM, Merzenich MM (1988). Receptive-fields in the body-surface map in adult cortex defined by temporally correlated inputs. *Nature* 332:444–45.

Cline H (2003). Sperry and Hebb: Oil and vinegar? *Trends Neurosci* 26(12): 655–61.

Cohen LG ve diğ. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature* 389:180–83.

Collignon O, Lassonde M, Lepore F, Bastien D, Veraart C (2007). Functional cerebral reorganization for auditory spatial processing and auditory substitution of vision in early blind subjects. *Cereb Cortex* 17(2): 457–65.

Collignon O, Renier L, Bruyer R, Tranduy D, Veraart C (2006). Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects. *Brain Res* 1075(1): 175–82.

Collignon O, Voss P, Lassonde M, Lepore F (2009). Cross-modal plasticity for the spatial processing of sounds in visually deprived subjects. *Exp Brain Res* 192(3): 343–58.

Conner JM, Culberson A, Packowski C, Chiba AA, Tuszynski MH (2003). Lesions of the basal forebrain cholinergic system impair task acquisition and abolish cortical plasticity associated with motor skill learning. *Neuron* 38:819–29.

Constantine-Paton M, Law MI (1978). Eye-specific termination bands in tecta of three-eyed frogs. *Science* 202:639–41.

Cronholm B (1951). Phantom limbs in amputees: A study of changes in the integration of centripetal impulses with special reference to referred sensations. *Acta Psychiatr Neurol Scand Suppl* 72:1–310.

Cronly-Dillon J, Persaud KC, Blore R (2000). Blind subjects construct conscious mental images of visual scenes encoded in musical form. *Proc Biol Sci* 267(1458): 2231–38.

Cronly-Dillon J, Persaud KC, Gregory RP (1999). The perception of visual images encoded in musical form: A study in cross-modality information transfer. *Proc Biol Sci* 266(1436): 2427–33.

Crowley JC, Katz LC (1999). Development of ocular dominance columns in the absence of retinal input. *Nat Neurosci* 2:1125–30.

Cytowic RE, Eagleman DM (2009). *Wednesday Is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia*. MIT Press.

Damasio AR, Tranel D (1993). Nouns and verbs are retrieved with differently distributed neural systems. *Proc Natl Acad Sci USA* 90(11): 4957–60.

D'Angiulli A, Waraich P (2002). Enhanced tactile encoding and memory recognition in congenital blindness. *Int J Rehabil Res* 25(2): 143–45.

Darian-Smith C, Gilbert CD (1994). Axonal sprouting accompanies functional reorganization in adult cat striate cortex. *Nature* 368:737–40.

Day JJ, Sweatt JD (2010). DNA methylation and memory formation. *Nat Neurosci* 13(11): 1319.
Diamond M (2001). Response of the brain to enrichment. *An Acad Bras Ciênc* 73:211–20.
Donati AR ve diğ. (2016). Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients. *Sci Rep* 6:30383.
Dowling J (2008). Current and future prospects for optoelectronic retinal prostheses. *Nature-Eye* 23:1999–2005.
Draganski B, Gaser C, Busch V, Schuierer G, Bogdahn U, May A (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature* 427(6972): 311–12.
Driemeyer J, Boyke J, Gaser C, Büchel C, May A (2008). Changes in gray matter induced by learning—revisited. *PLoS One* 3(7): e2669.
Dudai Y (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Ann Rev Psychol* 55:51–86.
Eagleman DM (2001). Visual illusions and neurobiology. *Nat Rev Neurosci* 2(12): 920–26.
Eagleman DM (2005). Distortions of time during rapid eye movements. *Nat Neurosci* 8(7): 850–51.
Eagleman DM (2008). Human time perception and its illusions. *Curr Opin Neurobiol* 18(2): 131–36.
Eagleman DM (2009). Silicon immortality: Downloading consciousness into computers. *This Will Change Everything: Ideas That Will Shape the Future* kapsamında, ed. J Brockman. Harper Perennial.
Eagleman DM (2010). The strange mapping between the timing of neural signals and perception. *Issues of Space and Time in Perception and Action* kapsamında, ed. R Nijhawan. Cambridge University Press.
Eagleman DM (2011). The brain on trial. *Atlantic Monthly*. Temmuz/Ağustos.
Eagleman DM, *Incognito: Beynin Gizli Hayatı*, çev. Zeynep Arık Tozar, Domingo Yayınları, 2013.
Eagleman DM (2012). Synaesthesia in its protean guises. *Br J Psychol* 103(1): 16–19.
Eagleman DM (2015). Can we create new senses for humans? TED konferansı.
Eagleman DM, *Beyin: Senin Hikâyen*, çev. Zeynep Arık Tozar, Domingo Yayınları, 2016.
Eagleman DM, Downar J (2015). *Brain and Behavior: A Cognitive Neuroscience Perspective*. Oxford University Press.
Eagleman DM (2018). We will leverage technology to create new senses. *Wired*.
Eagleman DM, Goodale MA (2009). Why color synesthesia involves more than color. *Trends Cogn Sci* 13(7): 288–92.
Eagleman DM, Jacobson JE, Sejnowski TJ (2004). Perceived luminance depends on temporal context. *Nature* 428(6985): 854.
Eagleman DM, Kagan AD, Nelson SS, Sagaram D, Sarma AK (2007). A standardized test battery for the study of synesthesia. *J Neurosci Methods* 159(1): 139–45.
Eagleman DM, Montague PR (2002). Models of learning and memory. *Encyclopedia of Cognitive Science* kapsamında. Macmillan.
Eagleman DM, Pariyadath V (2009). Is subjective duration a signature of coding efficiency? *Philos Trans R Soc* 364(1525): 1841–51.

Eagleman DM, Sejnowski TJ (2000). Motion integration and postdiction in visual awareness. *Science* 287(5460): 2036–38.
Eagleman DM, Vaughn DA (2020). A new theory of dream sleep. Değerlendirme aşamasında. Edelman GM (1987). *Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection*. Basic Books.
Elbert T, Pentev C, Wienbruch C, Rockstroh B, Taub E (1995). Increased finger representation of the fingers of the left hand in string players. *Science* 270:305–6.
Elbert T, Rockstroh B (2004). Reorganization of human cerebral cortex: The range of changes following use and injury. *Neuroscientist* 10:129–41.
Eriksson PS ve diğ. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nat Med* 4(11): 1313–17.
Feuillet L, Dufour H, Pelletier J (2007). Brain of a white-collar worker. *Lancet* 370:262.
Finney EM, Fine I, Dobkins KR (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nat Neurosci* 4(12): 1171–73.
Flor H, Elbert T, Knecht S, Wienbruch C, Pantev C, Birbaumer N, Larbig W, Taub E (1995). Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature* 375(6531): 482–84.
Florence SL, Taub HB, Kaas JH (1998). Large-scale sprouting of cortical connections after peripheral injury in adult macaque monkeys. *Science* 282:1117–21.
Fuhr P, Cohen LG, Dang N, Findley TW, Haghighi S, Oro J, Hallett M (1992). Physiological analysis of motor reorganization following lower limb amputation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 85(1): 53–60.
Fusi S, Drew PJ, Abbott LF (2005). Cascade models of synaptically stored memories. *Neuron* 45(4): 599–611.
Gougoux F, Lepore F, Lassonde M, Voss P, Zatorre RJ, Belin P (2004). Neuropsychology: Pitch discrimination in the early blind. *Nature* 430(6997): 309.
Gougoux F, Zatorre RJ, Lassonde M, Voss P, Lepore F (2005). A functional neuroimaging study of sound localization: Visual cortex activity predicts performance in early-blind individuals. *PLoS Biol* 3(2): e27.
Gould E, Beylin AV, Tanapat P, Reeves A, Shors TJ (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nat Neurosci* 2:260–65.
Gould E, Reeves A, Graziano MSA, Gross C (1999). Neurogenesis in the neocortex of adult primates. *Science* 286:548–52.
Gu Q (2003). Contribution of acetylcholine to visual cortex plasticity. *Neurobiol Learn Mem* 80:291–301.
Hallett M (1999). Plasticity in the human motor system. *Neuroscientist* 5:324–32.
Halligan PW, Marshall JC, Wade DT (1994). Sensory disorganization and perceptual plasticity after limb amputation: A follow-up study. *Neuroreport* 5:1341–45.
Hamilton RH, Keenan JP, Catala MD, Pascual-Leone A (2000). Alexia for Braille following bilateral occipital stroke in an early blind woman. *Neuroreport* 11:237–40.
Hamilton RH, Pascual-Leone A, Schlaug G (2004). Absolute pitch in blind musicians. *Neuroreport* 15:803–6.
Hasselmo ME (1995). Neuromodulation and cortical function: Modeling the physiological basis of behavior. *Behav Brain Res* 67:1–27.
Hawkins J, Blakeslee S (2004). *On Intelligence*. Times Books.
Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, Mukand JA, Saleh M, Caplan AH, Branner A, Chen D, Penn RD, Donoghue JP (2006). Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature* 442:164–71.

Hoffman KL, McNaughton BL (2002). Coordinated reactivation of distributed memory traces in primate neocortex. *Science* 297:2070.

Hoffmann R ve diğ. (2018). Evaluation of an audio-haptic sensory substitution device for enhancing spatial awareness for the visually impaired. *Optom Vis Sci* 95(9): 757.

Hubel DH, Wiesel TN (1965). Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint. *J Neurophysiol* 28:1041–59.

Hurovitz C, Dunn S, Domhoff GW, Fiss H (1999). The dreams of blind men and women: A replication and extension of previous findings. *Dreaming* 9:183–93.

Jacobs GH, Williams GA, Cahill H, Nathans J (2007). Emergence of novel color vision in mice engineered to express a human cone photopigment. *Science* 315(5819): 1723–25.

Jameson KA (2009). Tetrachromatic color vision. *The Oxford Companion to Consciousness* kapsamında, ed. P Wilken, T Bayne, ve A Cleeremans. Oxford University Press.

Johnson JS, Newport EL (1989). Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cogn Psychol* 21:60–99.

Jones EG (2000). Cortical and subcortical contributions to activity-dependent plasticity in primate somatosensory cortex. *Annu Rev Neurosci* 23:1–37.

Jones EG, Pons TP (1998). Thalamic and brainstem contributions to large-scale plasticity of primate somatosensory cortex. *Science* 282(5391): 1121–25.

Karl A, Birbaumer N, Lutzenberger W, Cohen LG, Flor H (2001). Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain. *J Neurosci* 21:3609–18.

Karni A, Meyer G, Jezzard P, Adams M, Turner R, Ungerleider L (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature* 377:155–58.

Kay L (2000). Auditory perception of objects by blind persons, using a bioacoustic high resolution air sonar. *J Acoust Soc Am* 107(6): 3266–76.

Kennedy PR, Bakay RA (1998). Restoration of neural output from a paralyzed patient by a direct brain connection. *Neuroreport* 9:1707–11.

Kilgard MP, Merzenich MM (1998). Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science* 279:1714–18.

Knudsen EI (2002). Instructed learning in the auditory localization pathway of the barn owl. *Nature* 417:322–28.

Kubanek M, Bobulski J (2018). Device for acoustic support of orientation in the surroundings for blind people. *Sensors* 18(12): 4309.

Kuhl PK (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nat Rev Neurosci* 5:831–43.

Kupers R, Ptito M (2014). Compensatory plasticity and cross-modal reorganization following early visual deprivation. *Neurosci Biobehav Rev* 41:36–52.

Law MI, Constantine-Paton M (1981). Anatomy and physiology of experimentally produced striped tecta. *J Neurosci* 1:741–59.

Lenay C, Gapenne O, Hanneton S, Marque C, Genouëlle C (2003). Sensory substitution: Limits and perspectives. *Touching for Knowing, Cognitive Psychology of Haptic Manual Perception* kapsamında, ed. Y Hatwell, A Streri, ve E Gentaz, 275–92. John Benjamins.

Levy B (2008). The blind climber who "sees" with his tongue. *Discover,* 22 Haziran, 2008.

Lisman J, Cooper K, Sehgal M, Silva AJ (2018). Memory formation depends on both synapse- specific modifications of synaptic strength and cell-specific increases in excitability. *Nat Neurosci* 12:1.

Lobo L ve diğ. (2018). Sensory substitution: Using a vibrotactile device to orient and walk to targets. *J Exp Psychol Appl* 24(1): 108.

Macpherson F, ed. (2018). *Sensory Substitution and Augmentation.* Oxford University Press.

Mancuso K, Hauswirth WW, Li Q, Connor TB, Kuchenbecker JA, Mauck MC, Neitz J, Neitz M (2009). Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates. *Nature* 461:784–88.

Maravita A, Iriki A (2004). Tools for the body (schema). *Trends Cogn Sci* 8:79–86.

Martin SJ, Grimwood PD, Morris RG (2000). Synaptic plasticity and memory: An evaluation of the hypothesis. *Annu Rev Neurosci* 23:649–711.

Massiceti D, Hicks SL, van Rheede JJ (2018). Stereosonic vision: Exploring visual-to-auditory sensory substitution mappings in an immersive virtual reality navigation paradigm. *PLoS One* 13(7).

Matteau I, Kupers R, Ricciardi E, Pietrini P, Ptito M (2010). Beyond visual, aural, and haptic movement perception: hMT+ is activated by electrotactile motion stimulation of the tongue in sighted and in congenitally blind individuals. *Brain Res Bull* 82(5–6): 264–70.

Meijer PB (1992). An experimental system for auditory image representations. *IEEE Trans Biomed Eng* 39(2): 112–21.

Merabet LB ve diğ. (2007). Combined activation and deactivation of visual cortex during tactile sensory processing. *J Neurophysiol* 97:1633–41.

Merabet LB ve diğ. (2008). Rapid and reversible recruitment of early visual cortex for touch. *PLoS One* 3(8): e3046.

Merabet LB, Pascual-Leone A (2010). Neural reorganization following sensory loss: The opportunity of change. *Nat Rev Neurosci* 11(1): 44–52.

Merabet LB, Rizzo J, Amedi A, Somers D, Pascual-Leone A (2005). What blindness can tell us about seeing again: Merging neuroplasticity and neuroprostheses. *Nat Rev Neurosci* 6(1): 71–77.

Merzenich MM (1998). Long-term change of mind. *Science* 282(5391): 1062–63.

Merzenich MM ve diğ. (1984). Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. *J Comp Neurol* 224:591–605.

Miller TC, Crosby TW (1979). Musical hallucinations in a deaf elderly patient. *Ann Neurol* 5:301–2.

Mitchell SW (1872). *Injuries of Nerves and Their Consequences.* Lippincott.

Montague PR, Eagleman DM, McClure SM, Berns GS (2002). Reinforcement learning. *Encyclopedia of Cognitive Science* kapsamında. Macmillan.

Moosa AN ve diğ. (2013). Long-term functional outcomes and their predictors after hemispherectomy in 115 children. *Epilepsia* 54(10): 1771–79.

Muckli L, Naumer MJ, Singer W (2009). Bilateral visual field maps in a patient with only one hemisphere. *Proc Natl Acad Sci USA* 106(31): 13034–39.

Muhlau M ve diğ. (2006). Structural brain changes in tinnitus. *Cereb Cortex* 16:1283–88.

Nagel SK, Carl C, Kringe T, Märtin R, König P (2005). Beyond sensory substitution—learning the sixth sense. *J Neural Eng* 2(4): R13–26.

Nau AC, Pintar C, Arnoldussen A, Fisher C (2015). Acquisition of visual perception in blind adults using the BrainPort artificial vision device. *Am J Occup Ther* 69(1): 1–8.

Neely RM, Piech DK, Santacruz SR, Maharbiz MM, Carmena JM (2018). Recent advances in neural dust: Towards a neural interface platform. *Curr Opin Neurobiol* 50:64–71.

Neville H, Bavelier D (2002). Human brain plasticity: Evidence from sensory deprivation and altered language experience. *Prog Brain Res* 138:177–88.

Noë A (2009). *Out of Our Heads.* Hill and Wang.

Norimoto H, Ikegaya Y (2015). Visual cortical prosthesis with a geomagnetic compass restores spatial navigation in blind rats. *Curr Biol* 25(8): 1091–95.

Nottebohm F (2002). Neuronal replacement in adult brain. *Brain Res Bull* 57(6): 737–49.

Novich SD, Eagleman DM (2015). Using space and time to encode vibrotactile information: Toward an estimate of the skin's achievable throughput. *Exp Brain Res* 233(10): 2777–88.

Nudo RJ, Milliken GW, Jenkins WM, Merzenich MM (1996). Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci* 16(2): 785–807.

O'Brien J, Bloomfield SA (2018). Plasticity of retinal gap junctions: Roles in synaptic physiology and disease. *Annu Rev Vis Sci* 4:79–100.

O'Regan JK, Noë A (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behav Brain Sci* 24(5): 939–73; discussion 973–1031.

Orsetti M, Casamenti F, Pepeu G (1996). Enhanced acetylcholine release in the hippocampus and cortex during acquisition of an operant behavior. *Brain Res* 724: 89–96.

Ortiz-Terán L ve diğ. (2016). Brain plasticity in blind subjects centralizes beyond the modal cortices. *Front Syst Neurosci* 10:61.

Ortiz-Terán L ve diğ. (2017). Brain circuit–gene expression relationships and neuroplasticity of multisensory cortices in blind children. *Proc Natl Acad Sci* 114(26): 6830–35.

Osinski D, Hjelme DR (2018). A sensory substitution device inspired by the human visual system. *11th International Conference on Human System Interaction.*

Parsons B, Novich SD, Eagleman DM (2013). Motor-sensory recalibration modulates perceived simultaneity of cross-modal events. *Front Psychol* 4:46.

Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet L (2005). The plastic human brain cortex. *Annu Rev Neurosci* 28:377–401.

Pascual-Leone A, Hamilton R (2001). The metamodal organization of the brain. *Vision: From Neurons to Cognition* kapsamında, ed. C Casanova and M Ptito, 427–45. Elsevier Science.

Pascual-Leone A, Peris M, Tormos JM, Pascual AP, Catala MD (1996). Reorganization of human cortical motor output maps following traumatic forearm amputation. *Neuroreport* 7:2068–70.

Pasupathy A, Miller EK (2005). Different time courses of learning-related activity in the prefrontal cortex and striatum. *Nature* 433(7028): 873–76.

Penfield W (1961). Activation of the record of human experience. *Ann R Coll Surg Engl-* 29(2): 77–84.

Perrett SP, Dudek SM, Eagleman DM, Montague PR, Friedlander MJ (2001). LTD induction in adult visual cortex: Role of stimulus timing and inhibition. *J Neurosci* 21(7): 2308–19.

Petitto LA, Marentette PF (1991). Babbling in the manual mode: Evidence for the ontogeny of language. *Science* 251:1493–96.

Poirier C, De Volder AG, Scheiber C (2007). What neuroimaging tells us about sensory substitution. *Neurosci Biobehav Rev* 31:1064–70.

Pons TP, Garraghty PE, Ommaya AK, Kaas JH, Taub E, Mishkin M (1991). Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques. *Science* 252:1857–60.

Proulx MJ, Stoerig P, Ludowig E, Knoll I (2008). Seeing "where" through the ears: Effects of learning-by-doing and long-term sensory deprivation on localization based on image-to-sound substitution. *PLoS One* 3(3): e1840.

Ptito M, Fumal A, De Noordhout AM, Schoenen J, Gjedde A, Kupers R (2008). TMS of the occipital cortex induces tactile sensations in the fingers of blind Braille readers. *Exp Brain Res* 184(2): 193–200.

Rajangam S, Tseng PH, Yin A, Lehew G, Schwarz D, Lebedev MA, Nicolelis MA (2016). Wireless cortical brain-machine interface for whole-body navigation in primates. *Sci Rep* 6:22170.

Ramachandran VS (1993). Behavioral and MEG correlates of neural plasticity in the adult human brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 90:10413–20.

Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D, Stewart M (1992). Perceptual correlates of massive cortical reorganization. *Science* 258:1159–60.

Rao RP, Sejnowski TJ (2003). Self-organizing neural systems based on predictive learning. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci* 361(1807): 1149–75.

Raz N, Amedi A, Zohary E (2005). V1 activation in congenitally blind humans is associated with episodic retrieval. *Cereb Cortex* 15:1459–68.

Renier L, Anurova I, De Volder AG, Carlson S, VanMeter J, Rauschecker JP (2010). Preserved functional specialization for spatial processing in the middle occipital gyrus of the early blind. *Neuron* 68(1): 138–48.

Renier L, De Volder AG, Rauschecker JP (2014). Cortical plasticity and preserved function in early blindness. *Neurosci Biobehav Rev* 41:53–63.

Ribot T (1882). *Diseases of the Memory: An Essay in the Positive Psychology.* D. Appleton.

Roberson ED, Sweatt JD (1999). A biochemical blueprint for long-term memory. *Learn Mem* 6(4): 381–88.

Rosenzweig MR, Bennett EL (1996). Psychobiology of plasticity: Effects of training and experience on brain and behavior. *Behav Brain Res* 78:57–65.

Royer S, Pare D (2003). Conservation of total synaptic weight through balanced synaptic depression and potentiation. *Nature* 422(6931): 518–22.

Sachdev RNS, Lu SM, Wiley RG, Ebner FF (1998). Role of the basal forebrain cholinergic projection in somatosensory cortical plasticity. *J Neurophysiol* 79:3216–28.

Sadato N, Pascual-Leone A, Grafman J, Deiber MP, Ibanez V, Hallett M (1998). Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain* 121:1213–29.

Sampaio E, Maris S, Bach-y-Rita P (2001). Brain plasticity: "Visual" acuity of blind persons via the tongue. *Brain Res* 908(2): 204–7.

Sathian K, Stilla R (2010). Cross-modal plasticity of tactile perception in blindness. *Restor Neurol Neurosci* 28(2): 271–81.
Schulz LE, Gopnik A (2004). Causal learning across domains. *Dev Psychol* 40:162–76.
Schweighofer N, Arbib MA (1998). A model of cerebellar metaplasticity. *Learn Mem* 4(5): 421–28.
Sharma J, Angelucci A, Sur M (2000). Induction of visual orientation modules in auditory cortex. *Nature* 404:841–47.
Simon M (2019). How I became a robot in London—from 5,000 miles away. *Wired*.
Singh AK, Phillips F, Merabet LB, Sinha P (2018). Why does the cortex reorganize after sensory loss? *Trends Cogn Sci* 22(7): 569–82.
Smirnakis SM, Brewer AA, Schmid MC, Tolias AS, Schüz A, Augath M, Inhoffen W, Wandell BA, Logothetis NK (2005). Lack of long-term cortical reorganization after macaque retinal lesions. *Nature* 435(7040): 300–307.
Southwell DG, Froemke RC, Alvarez-Buylla A, Stryker MP, Gandhi SP (2010). Cortical plasticity induced by inhibitory neuron transplantation. *Science* 327(5969): 1145–48.
Spedding M, Gressens P (2008). Neurotrophins and cytokines in neuronal plasticity. *Novartis Found Symp* 289:222–33; discussion 233–40.
Steele CJ, Zatorre RJ (2018). Practice makes plasticity. *Nat Neurosci* 21(12): 1645.
Stetson C, Cui X, Montague PR, Eagleman DM (2006). Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation. *Neuron* 51(5): 651–59.
Tapu R, Mocanu B, Zaharia T (2018). Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey. *Pattern Recognit Lett*.
Thaler L, Goodale MA (2016). Echolocation in humans: An overview. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci* 7(6): 382–93.
Thiel CM, Friston KJ, Dolan RJ (2002). Cholinergic modulation of experience-dependent plasticity in human auditory cortex. *Neuron* 35:567–74.
Tulving E, Hayman CAG, Macdonald CA (1991). Long-lasting perceptual priming and semantic learning in amnesia: A case experiment. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 17:595–617.
Udin SH (1977). Rearrangements of the retinotectal projection in *Rana pipiens* after unilateral caudal half-tectum ablation. *J Comp Neurol* 173:561–82.
Velliste M, Perel S, Spalding MC, Whitford AS, Schwartz AB (2008). Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature* 453:1098–101.
von Melchner L, Pallas SL, Sur M (2000). Visual behaviour mediated by retinal projections directed to the auditory pathway. *Nature* 404:871–76.
Voss P, Gougoux F, Lassonde M, Zatorre RJ, Lepore F (2006). A positron emission tomography study during auditory localization by late-onset blind individuals. *Neu- roreport* 17(4): 383–88.
Voss P, Gougoux F, Zatorre RJ, Lassonde M, Lepore F (2008). Differential occipital responses in early- and late-blind individuals during a sound-source discrimination task. *Neuroimage* 40(2): 746–58.
Weaver IC ve diğ. (2004). Epigenetic programming by maternal behavior. *Nat Neurosci* 7(8): 847–54.
Weiss T, Miltner WH, Liepert J, Meissner W, Taub E (2004). Rapid functional plasticity in the primary somatomotor cortex and perceptual changes after nerve block. *Eur J Neurosci* 20:3413–23.
Whitlock JR, Heynen AJ, Shuler MG, Bear MF (2006). Learning induces long-term potentiation in the hippocampus. *Science* 313(5790): 1093–97.

Wiesel TN, Hubel D H (1963). Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *J Neurophysiol* 26:1003–17.

Witthoft N, Winawer J, Eagleman DM (2015). Prevalence of learned grapheme-color pairings in a large online sample of synesthetes. *PLoS One* 10(3).

Won AS, Bailenson JN, Lanier J (2015). Homuncular flexibility: The human ability to inhabit nonhuman avatars. *Emerging Trends in the Social and Behavioral Sciences* kapsamında, ed. R Scott ve M Buchmann, 1–6. John Wiley & Sons.

Yamahachi H, Marik SA, McManus JN, Denk W, Gilbert CD (2009). Rapid axonal sprouting and pruning accompany functional reorganization in primary visual cortex. *Neuron* 64(5): 719–29.

Yang TT, Gallen CC, Ramachandran VS, Cobb S, Schwartz BJ, Bloom FE (1994). Non-invasive detection of cerebral plasticity in adult human somatosensory cortex. *Neuroreport* 5:701–4.

Zola-Morgan SM, Squire LR (1990). The primate hippocampal formation: Evidence for a time-limited role in memory storage. *Science* 250(4978): 288–90.

GÖRSELLER

Sayfa

6 Kliemann, D., ve diğ. (2019). Intrinsic functional connectivity of the brain in adults with a single cerebral hemisphere. *Cell Reports.* 2019 19 Kasım; 29(8): 2398–407. © 2019, Elsevier'in izniyle yeniden basılmıştır.
24 Melissa Lyttle/*Tampa Bay Times*
28 Yazarın izniyle
33 Yazarın izniyle
36 Yazarın izniyle
38 Yazarın izniyle
48 Yazarın izniyle
56 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
58 Yazarın izniyle
59 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
60 Sharon Steinmann/AL.com/*The Birmingham News*
61 Anthony Souffle/*Chicago Tribune*/Getty Images *(üst)*
61 Courtesy of KTTC News *(alt)*
64 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
65 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
70 Yazarın izniyle
71 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
73 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
75 Ted West/Hulton Archive/Getty Images
81 Syed Rahman
83 Syed Rahman ve Emily Stevens
86 Yazarın izniyle
89 Lars Norgaard
92 Jérôme Ardouin
103 Yazarın izniyle
114 Javier Fadul, Kara Gray, ve Culture Pilot
117 Mukhopadhyay B, Shukla RM, Mukhopadhyay M, Mandal KC, Haldar P, Benare A (2012). Spectrum of human tails: A report of six cases. *Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons,* 17(1), 23–25. https://doi.org/10.4103/0971-9261.91082.
118 Associated Press

119 USA Archery
120 Atort Photography
121 Fabian Lewkowicz *(üst);* Lionel Hahn/Sipa USA *(alt)*
123 Destin Sandlin
126 Viktor Zykov/Creative Machines Lab, Columbia University
131 Andrew B. Schwartz
133 Gregoire Cirade/Science Photo Library
135 Yazarın izniyle
136 Andrew B. Schwartz
148 Yazarın izniyle
159 D. Eagleman and J. Downar, *Brain and Behavior,* Oxford University Press
169 Yazarın izniyle
170 IBM
173 Paul Parker/Science Photo Library
184 Yazarın izniyle
185 Yazarın izniyle
186 Yazarın izniyle
188-189 Yazarın izniyle
192 D. Eagleman ve J. Downar, *Brain and Behavior,* Oxford University Press
193 Wikipedia, Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 Uluslararası Lisans
211 Nina Leen/Getty Images
221 Guy Pearce - Memento © Summit Entertainment
233 Yazarın izniyle
239 Witthoft N, Winawer J, Eagleman DM (2015) Prevalence of Learned Grapheme-Color Pairings in a Large Online Sample of Synesthetes. *PLoS ONE* 10(3): e0118996. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118996
241 Yazarın izniyle

DİZİN

"n" harfi, ilgili sayfadaki not numarasını belirtmektedir.

1985 Hayvanları Koruma Yasası, 29

Ackland, Nigel, 143
adaptif (uyarlanabilir) öğrenme, 162-165
ağrı reseptörleri, 62, 274n9
ağrıya duyarsızlık, 62, 274n9
akıllı telefon teknolojisi, 78-79
aktif rekalibrasyon, 167-182, 298-299n3
  ağların yeniden kurulması, 183-200
  dikkat, 176-177
  hareket art etkisi, 167-171, 287n3
  infotropizm stratejisi, 179-182, 288n11
  madde direnci, 178
  öngörü, 175-178
  Troxler etkisi, 171-174, 287n9
alanda programlanabilir geçit dizgesi (FPGA) microçipler, 251-252
Alın Retina Sistemi, 73-74, 276n27
alıştırma. *bkz.* eğitim ve alıştırma
amnezi (bellek kaybı), 220-221, 227-228, 240-242, 294n11
ampüte edilmiş kol ve bacak, 31-34, 43, 237, 268n9
anafi, 62
anoftalmi, 61
anoti, 61
anterograd amnezi (ileriye dönük bellek kaybı), 220-221
apoptozis, 198
arini, 60
Aristoteles, 167, 210, 221
arzu, 153-166
asetilkolin, 158-160, 204, 286-287n20
Ashkenazy, Vladimir, 148, 154
Asimov, Isaac, 162-163
asomatognozi, 139-141, 283nn20-21
atım zamanlamasına bağlı plastisite, 293-294n7
ayna görüntüleri, 139

babıldama, 122
Bach-y-Rita, Paul, 63-68, 70, 76-77, 87, 281n72
Balzac, Honoré de, 238
baskılayıcı nöronlar, 194-195
Bauby, Jean-Dominique, 129-130
Behm, Roger, 73
bellek, 219-265
  amnezi (bellek kaybı), 220-221, 227-228, 240-242, 294n11
  bildirimsel bellek, 241-242
  bildirimsel olmayan bellek, 241-242
  depolama ve saklama, 223, 228-232, 243, 295-296nn18-21
  ezberleme denemeleri, 42
  hipertimezi, 237-238, 240
  hipokampus, 223-225, 227-228, 243, 294n11
  işlemlerde zaman ölçekleri (hız katmanları), 232-240, 242-244, 296-297nn22-24, 297n27
  kısa dönemli bellek, 220-221, 241
  olaysal (episodik) bellek, 242-243
  oluşum mekanizmaları, 221-225, 227-228, 243-244, 293nn3-4, 294nn6-7, 295n15
  öğrenme hızı, 242-243, 298n34
  plastisite, 218, 225-240, 258, 295n15
  Ribot yasası (eski anıların kalıcılığı), 219-220
  rüyalar, 50, 272n45
  sabit hacim modeli, 244

sinestezi, 238-240, 298n31
uzun dönemli bellek, 220-221, 241-242
yapay ağlar, 225-226, 236, 242-244, 294n8
beslenme, 19
beyin gelişimi, 107
bağlantı fazlalığı, 196-197
deneyim, 18-26, 191-193, 265-266nn7-9, 289nn8-9
dijital yerliler, 164-165
duyusal ikame, 75-76
eksik yarımküre, 184-189, 288n4
esneklik, 21
genetik faktörler, 18-22, 69, 208-209, 235, 275n16
motor babıldama, 122-129, 282n6
nöron ağlarının oluşumu, 35-36, 83, 204, 268n14
plastisite, 13-16, 202-218, 258, 290n2
rüya uykusu, 50-51
sosyal yoksunluk, 22-25, 267nn11-12
beyin görüntüleme teknikleri, 33, 267n8
beyin sapı, 47-49
beyin-makine arayüzleri. *bkz.* protezler
beyinde yeniden düzenlenme. *bkz.* kortekste yeniden düzenlenme
bildirimsel bellek, 241-242
bildirimsel olmayan bellek, 241-242
bileşik göz, 91-92
birçok alanda uzmanlık, 292n19
biyo-nanorobotik, 104-105
biyoçeşitlilik, 127-128
biyomimikri, 250-252
biyonik. *bkz.* robotik
biyonk retina çipleri, 54-56, 112-113
Bocelli, Andrea, 41
Booth, Wayne, 267n12
Bower, T. G. R., 75-76
boy uzunluğu, 209-210
Braille, 38-39, 45, 166, 269n17, 269n20
görsel sözcük yapısı alanı (VWFA), 39, 269n21
motor kortekste yeniden düzenlenme, 149
BrainPort, 70-73
Brand, Stewart, 232
Buzz bileklik, 176
duyusal ikame, 84, 87
duyusal pekiştirme, 90-91, 93
paylaşılan algı, 98
büyüme faktörleri, 289n10
Byland, Terry, 54-55, 112

canlı devre, 7-16, 245-260
deneyimin etkisi, 9-13, 15, 246-248, 263-264n4
dinamik doğa, 7-8, 11, 13-16, 245-248
özelleşme, hız ve verim, 12-13, 44-46
teknolojik uygulamalar, 249-254
yedi ilke, 258
canlı devre olgusu ile ilgili yedi ilke, 258
Carson, Ben, 263n2
Charles, Ray, 41
Chorost, Michael, 53-54, 86, 112
Corrigan, Douglas, 96
Crick, Francis, 8
Crockett, Danielle, 23-25, 206, 266-267n11

çağrışımsal öğrenme, 224-225, 228, 293-294n7

Darwin, Charles, 19, 235
De memoria et reminiscentia (Aristoteles), 221
deneyimler, 9-13, 15, 263-264n4
beyin gelişimi, 18-26, 107, 265-266nn7-9
sosyal yoksunluk, 22-25, 267nn11-12
denge, 87-88
deniz salyangozu, 221-222
depresyon, 25
deri
ağrı reseptörleri, 62, 274n9
dokunma reseptörleri, 59, 62-63, 66-68, 80-81, 277-278n43
Descartes, René, 102, 281n68
dijital yerliler, 164-165
dikkat, 176-177
dil becerileri. *bkz.* konuşma ve dil becerileri
DNA, 8-10
doğal seçilim, 235
dokunma, 59
anafi, 62
deri reseptörleri, 59, 62-63, 66-68, 80-81, 278n43, 278n46
dil reseptörleri, 71, 275-276n25
duyusal ekleme, 96-102
kortekste yeniden alan dağıtımı, 38-39, 52, 269-270nn22-23
robotik protezler, 133-135
Ayrıca bkz. somatosensoriyal korteks
dopamin, 160
Duffy, Frank, 296n22
duygusal tepkiler, 110-112
duyu organları, 57-63, 274n4
evrimsel çeşitlilik, 62-63
mutasyonlar, 60-62
duyusal biyomimikri, 249-252
duyusal ekleme, 94-114
biyo-hacker'lar, 94
duygusal tepkiler, 110-112
elektromanyetik sinyaller, 94-96, 108, 280n60, 280n65

havacılıkta, 96-98, 280n67
internet veri akışları, 100-102
korteksin doğrudan uyarılması, 102-105
paylaşılan algı, 98
stres, 112
yeni öznel duyular (kualia), 105-110, 281n70, 281n72
duyusal geribildirim, 133-135
duyusal ikame, 53-88, 112-113
akıllı telefon teknolojisi, 78-79
denge, 87-88
eğitim ve alıştırma, 77-78
iç algı (propriyosepsiyon), 86-87
kortekste çok potansiyellilik, 68-74, 275n16, 275n20
körlük ve görme bozuklukları, 54-56, 65-68, 70-79, 208-209, 275-276n25, 276nn27-29, 277n37, 277n39, 278n48, 278-279n50, 292n12
sağırlık ve işitme bozuklukları, 54, 78, 79-88, 277-278nn43-44, 278n46
yaşa bağlı faktörler, 76, 276n31
duyusal pekiştirme, 88-94
360 derecelik görüş, 91-92
lidar, 92-93
morötesi ve kızılötesi ışık, 90-91, 279-280n56
renk körlüğü, 88-89, 279nn51-54

eğitim ve alıştırma, 146-150, 284n1
duyusal ikame, 77-78
motor kortekste yeniden düzenlenme, 147-149, 203-204, 284nn4-5, 285-286n7
somatosensoriyel korteksin yeniden düzenlenmesi, 150
Ayrıca bkz. ilintililik/anlamlılık
eğitim. *bkz.* öğrenme
Einstein, Albert, 20, 220
ekolokasyon, 41-42, 74-76, 155, 270n31, 276n29
elektroftalm, 66-67
elektromanyetik alanlar, 94-96, 108, 280n60, 280-281n65
elektrot implantları, 102-105, 282n12
engelleme, 177
Eno, Brian, 296n22
entoptik görüş, 172, 287nn6-7
epigenetik, 231-232, 296nn20-21
epilepsi, 4-5
Ermiş (Cibran), 178
eyeborg, 88-89, 279nn51-52
EyeMusic, 78, 277n39

Faith (köpek), 120, 153-155, 166
fazladan kol ve bacaklar, 117-118
feelSpace kemerleri, 95-96, 108, 280-281n65
felçli kol ve bacaklar, 155
Feliciano, José, 41
fenotipik plastisite, 264n7
FlyVIZ kaskı, 91-92
fotoreseptörler, 42
fototropizm, 179
Franklin, Benjamin, 292n19

Gates, Bill ve Melinda, 163
Gates, James, 214-215
Gault, Robert, 84-85
gelişim. *bkz.* beyin gelişimi
gelişimsel plastisite, 264n7
gelişmemiş doğan memeliler, 50-51
genetik
beyin gelişimi, 18-22
fiziksel değişkenlik, 116-122, 213, 281-282n3
gen ifadesi örüntüleri, 231-232, 296nn20-21
gen sayısı, 20, 265n8
homunkulus, 268n14
İnsan Genomu Projesi, 20, 265n8
korteksin önceden programlanması, 69, 208-209, 235, 275n16
sağırlık, 61-62, 79-80
sıralı gen ifadesi, 60
gliya hücreleri, 263n3
"Görme Duyusunun Dokunsal Görüntü Projeksiyonu Yoluyla İkame Edilmesi" (Bach-y-Rita), 66
görme/görme korteksi
aktif rekalibrasyon, 167-189, 287nn8-9, 298-299n3
anoftalmi, 61
duyusal ikame, 54-56, 65-68, 70-79, 208, 275-276n25, 276nn27-29, 277n37, 277n39, 277-278nn43-44, 278n46, 278-279n50, 292n12
duyusal pekiştirme, 88-93
eksik yarımküre, 184-189, 288n4
entoptik görüş, 172, 289nn6-7
etkinliğe bağlı gelişim, 191-193, 265-266n9
görsel sözcük yapısı alanı (VWFA), 39, 269n21
korteksin yeniden düzenlenmesi, 38-45, 52, 269n17, 269-270nn20-24
lateral genikulat çekirdek, 49, 271-272n42
lateral oksipital korteks (LOC), 270n23
orta temporal alan (MT), 39, 269-270n22
plastisite, 211-213, 292n15
renk körlüğü, 42, 88-89, 271n34, 279nn51-54
retina implantları, 54-56, 112

rüya görme, 46-52, 271-273nn41-45
yeni öznel duyular (kualia), 105-110, 281n70, 281n72
Ayrıca bkz. körlük ve görme bozuklukları
görsel yanılsamalar. *bkz.* aktif rekalibrasyon
gözler
fotoreseptörler, 181-182, 288n12
retina damarları, 172-173, 175, 287n7
sürekli hareket, 172, 287n5
Ayrıca bkz. körlük ve görme bozuklukları; görme/görme korteksi
gri madde, 267n2

Halil Cibran, 178
Harbisson, Neil, 88-89, 279n51
hareket art etkisi, 167-171
Harlow, Harry, 25, 267n12
Hauser, Kaspar, 22-23, 266-267n11
hava olayları örüntüsü, 100
havacılık
duyusal ekleme, 96-98, 280n67
uçak tasarımı, 128
hayalet kol ve bacak, 31-34, 43, 116, 268n9
hayvan deneyleri
Silver Springs maymunları, 29-30, 155, 267n5
toplumsal yoksunluk, 25-26, 267n12
Healey, Jeff, 41
Hebb kuralı, 223-225, 268n13, 293nn3-4, 294n7
Hebb, Donald, 223-225, 293nn3-4
Heidegger, Martin, 204
hemisferektomi, 5-7, 186-187, 206, 290-291n4
hız katmanları, 233-240, 296-297nn22-24, 297n27
hız, 12-13, 44-46, 158, 195-197
hızlı öğrenme, 242-243, 298n34
hipertimezi, 237-238, 240
hipokampus
anı oluşumu, 223-225, 227-228, 294n11
anıların depolanması, 227-228, 295n18
nörogenez, 231-232, 295-296nn18-19
rüya uykusu, 50
tamamlayıcı öğrenme sistemleri, 243, 298n34
homonkular esneklik, 142-145
homonkular esneklik, 142-145
homunkulus, 27-31, 192-193, 268n14, 288n9
Hopfield ağları, 225, 293-294-7n6
Hopfield, John, 224-225
HOX (homeobox) genleri, 282n3
Hubel, David, 191, 265-266n9
Huffman, Todd, 94

IBM logosu, 168-171

iç algı (konum farkındalığı), 86-87
iç algı (propriyosepsiyon), 86-87
iletişim becerileri. *bkz.* konuşma ve dil becerileri
ilintililik/anlamlılık, 146-166
eğitim ve alıştırma, 146-150, 284n1
eğitimde, 161-166
istek ve motivasyon, 153-157
motor kortekste yeniden düzenlenme, 147-149, 203-204, 284nn4-5, 285-286n7
nöromodülatörler, 157-161, 226-227, 286n18, 286n20, 286n22
somatosensoriyel kortekste yeniden düzenlenme, 150
ve dil, 151-153
ilintiye göre ayarlama. *bkz.* ilintililik/anlamlılık
ilişkisel harita, 288n9
infotropizm, 179-182, 288n11
İnsan Genomu Projesi, 20, 265n8
işitme korteksi, 39, 59
aktif rekalibrasyon, 176
duyusal ikame, 53-54, 56, 79-88, 278n48
duyusal pekiştirme, 93
kohlear implantlar, 54, 56, 78, 86, 107, 112, 278n48
kortekste yeniden alan dağıtımı, 42-43, 52, 270-271n31
plastisite, 212
Ayrıca bkz. sağırlık ve işitme bozuklukları
işitme. *bkz.* işitme korteksi, sağırlık ve işitme bozuklukları

Jackson, Brania, 59
James, William, 13

Kanevsky, Dimitri, 85-86
kanser hücreleri, 198-199
Kay, Leslie, 74-75
kayma/savrulma göstergesi (havacılık), 96-97
Kelebek ve Dalgıç (Bauby), 130
Keller, Helen, 84
kısa dönemli bellek, 220-221, 241
kısıtlayıcı-zorunlu hareket tedavisi, 155, 288n8
kıtasal kayma, 15-16
kızılötesi ışık, 89, 90-91
klinokinezi, 288n11
kohlear implantlar, 54, 78, 86, 107, 112-113, 279n48
koku, 59
arini, 60

duyusal ikame, 93
kolinerjik nöronlar, 158-160, 286-287n20, 287n22, 290n2
Komarnitsky, Alex, 90
konjenital analjezi, 62, 274n9
konuşma ve dil becerileri
babıldama, 122
ikinci bir dil öğrenme, 207, 291n7
inme ve dil, 189
korteksin yeniden düzenlenmesi, 151-153
plastisite, 203, 206, 209, 291n7
sağırlık ve işitme bozuklukları, 278n44
korteks, 267n2
çok potansiyellilik, 68-74, 275n16, 275n20
genetik olarak önceden programlama, 69, 208-209, 235, 275n16
Ayrıca bkz. beyin gelişimi; kortekste yeniden düzenlenme; motor korteks; somatosensoriyel korteks
kortekste yeniden düzenlenme, 7-8, 11, 13-16, 27-52
aktif rekalibrasyon, 168-200, 298-299n3
anlamlılık temelinde ayarlama, 146-166, 285n14
dikkat, 176-177
eğitim ve alıştırma, 146-150, 284n1, 284nn4-5, 285-286n7
hayalet kol ve bacaklar, 31-34, 43, 116, 268n9
hız ve esneklik, 44-51, 158, 195-197
homunkulus, 27-28, 30
kısıtlayıcı-zorunlu hareket tedavisi, 155
konuşma ve dil gelişimi, 151-153, 203, 206
kortekste alan dağıtımı, 40-43, 52
körlük, 38-45, 208-209, 269n17, 269-270nn20-24, 292n12
nöral esneklik, 46
nöromodülatörler, 158-161, 204-206, 226-227, 286n18, 286n20, 286n22
nöronların birlikte etkinleşmesi, 34-40, 51-52, 268n13
plastisite, 157-161, 214-218, 258
rüya görme, 46-52, 271-273nn41-45
Silver Springs maymunları, 29-30, 155, 267n5
Ayrıca bkz. duyusal pekiştirme; duyusal ikame
köpeklerde bipedalizm, 119-120
körlük ve görme bozuklukları, 38-45, 277-278n41
duyusal ikame, 55-56, 65-68, 70-79, 155, 275-276n25, 276nn27-29, 277n37, 277n39, 278n48, 278-279n50
duyusal pekiştirme, 92-93
elektromanyetik alanlar, 280n65
ilintililik/anlamlılık, 166
işitsel beceriler, 40-42, 44-45, 270-271n31
kortekste yeniden düzenlenme, 38-39, 207-209, 269n17, 269-270nn20-24, 292n12
müzik becerileri, 40-41
rüyalar, 49-50, 273nn44-45
Ayrıca bkz. renk körlüğü; görme/görme korteksi
kualia, 106-110, 281n70, 281n72
kulaklar. *bkz.* işitme korteksi; sağırlık ve işitme bozuklukları
Kunis, Mila, 207
kurşuna maruz kalma, 258-259
kurşunsuz benzin, 258-259
kuyruk, 117-118

LAMM (labirent aplazisi, mikroşiya ve mikrodonti) sendromu, 62, 274n7
Lanier, Jaron, 142
Larratt, Shannon, 94, 280n60
Lashley, Karl, 222-223
Lasko, Ann, 142
lateral (yan) oksipital dokunsal-görsel alan (LOtv), 277n37
lateral genikulat çekirdek, 49, 271-272n42
lateral oksipital korteks (LOC), 269n23
Leonhard, Karl, 23
Levi-Montalcini, Rita, 194
lidar, 92-93
Lightman, Alan, 214
locked-in sendromu, 129-130
Lorenz, Konrad, 210-211

madde direnci, 178
manyetik alanlar, 94-96, 108, 280n60, 280-281n65
Mars keşif aracı *Spirit*, 245-248
Matrix, 236-237
Matthew S., 4-7, 15, 206
hemisferektomi, 5-7, 186-187, 263n2
yeni devre şeması, 15, 265n8
McCullough etkisi, 287-288n3
Meijer, Peter, 76-77
Meksika tetrası, 249
Memento, 220
metamodal işlemci, 270n24
Middendorff, Alexander von, 95
mikro sakkadik hareketler, 288n5
Milner, Brenda, 227-228
Milsap, Ronnie, 40-41
misopleji, 283n21
Mitchell, Silas Weir, 32

Molaison, Henry, 227, 242, 294n11
morötesi ışık, 89, 90, 280n56
motor korteks, 258
  asomatognozi, 139-141, 283nn20-21
  eğitim/yoğun alıştırma, 147-150, 203-204, 284nn4-5, 285-286n7
  eksik kol veya bacak, 115-116
  fiziksel değişkenlere uyarlanabilme, 116-122
  homonkular esneklik, 142-145
  homunkulus, 27-31, 192-193, 289n9
  kısıtlayıcı-zorunlu hareket tedavisi, 155
  locked-in sendromu, 129-130
  motor babıldama, 122-129, 282n6
  omurilik hasarı, 130
  plastisite, 211-214, 258, 292n15
  robotik (beyin-makine arayüzleri), 130-138, 282nn12-13
  tele-kol veya bacak, 138-141
  yeniden düzenlenme, 147-150, 203-204, 284nn4-5, 284-285n7
Mountcastle, Vernon, 275n16
Moyers, Bill, 162
MT+, 276n25
mühürleme, 210-211
müzik becerileri
  körlük, 40-41
  motor kortekste yeniden düzenlenme, 147-150, 203-204, 284nn4-5

Nagle, Matt, 130-131
nanorobotik, 104-105
ne olur ne olmaz bilgisi, 163
nekroz, 198
Nelson, Horatio, 31-34, 51, 116, 237
Neosensory Vest, 80-84, 87, 97-102, 277-278nn43-44
  havacılıkta kullanımı, 97-98, 280n67
  internet ve Twitter veri akışları, 100-102
Nicolelis, Miguel, 91, 137
Noiszewski, Kazimierz, 66-67
Novich, Scott, 80-83, 101
nöral ağlar, 7, 19-22, 183-200, 263n3
  anıların oluşumu, 221-225, 227-228, 295n15
  birlikte etkinleşme, 34-36, 51-52, 193, 268n13, 289n9
  dinamik devre düzenlemesi, 183-189
  fazlalık, 196-197
  gelişen beyin, 35-36, 83, 107, 204, 268n14
  genişleme, 195-197, 289n15, 290n21
  nörogenez, 231-232, 295-296nn18-19
  nöron ölümü, 198, 204
  rekabet, 46-52, 183, 189-195, 199-200, 207-208, 258, 292n12
  rüya görme, 47-52, 271-273nn41-45
  sinapsların güçlendirilmesi, 223-225, 229, 243-244, 291nn3-4, 291nn6-7
  uyarıcı ve baskılayıcı nöronlar, 194-195
  voltaj atımları/tepecikleri, 35
  yapay ve biyolojik nöral ağlar, 102, 225-226, 242-244, 294n8
  zenginleştirilmiş ortamlar, 19-20, 265n7
  Ayrıca bkz. beyin gelişmesi
nörogenez, 231-232, 295-296nn18-19
nöromodülatörler, 158-161
  anı oluşumu, 226-227
  plastisite, 158-160, 204-206, 286n18, 286n20, 286n22
nöron doktrini, 223-224
nöroplastisite. *bkz.* plastisite
nöroprotezler, 130-138, 282nn12-14
nöroprotezler. *bkz.* protezler
nörotransmiterler, 190-191, 204-206, 286n18
nörotrofinler, 194, 289n10

oksipital korteks. *bkz.* görme/görme korteksi
olaysal (episodik) bellek, 242-243
Olsen, Tillie, 219
onkoserkiyaz, 277-278n41
orta temporal alan (MT), 39, 269n22
Ortelius, Abraham, 15
otizm, 43, 271n36
oyunlaştırılmış eğitim, 162-165

öğrenme
  çağrışımsal öğrenme, 224-225, 228, 294n7
  dijital yerliler, 164-165
  hızlı öğrenme, 242-243, 298n34
  ilintililik/anlamlılık, 161-166
  öngörü, 177
  tamamlayıcı öğrenme sistemleri, 242-243, 298n34
  tek denemeli öğrenme, 158
  uyarlanabilir öğrenme, 162-165
  yeni bir dil öğrenme, 207, 291n7
  Ayrıca bkz. bellek
öngörü, 175-178
örüntü tanıma, 102

Pacheco, Alex, 29
Paillard, Jacques, 264n7
parazit ikizler, 118
Pascual-Leone, Alvaro, 44-45
Patates Kafa beyin modeli, 57-63, 117
Pavlov'un köpeği, 293-294n7
paylaşılan algı, 98
Penfield, Wilder, 27-28, 30

Perlman, Itzhak, 147-148, 154, 204, 209, 284n3
Perrotta, Mike, 90-91
PETA (Hayvanlara Etik Muamele İçin Mücadele Edenler), 29-30
PGO (ponto-genikulo-oksipital) dalgalar, 271-272n42
plastisite, 13-16, 202-218, 258
  bebek beyni, 50-51
  bellek, 218, 225-240, 258, 295n15
  Darwinci anlayış, 235
  duyusal ikame, 76, 208, 276n31, 292n12
  hassas dönem, 206-214, 290n2, 292n12
  hız, 44-46, 158
  ilintililik/anlamlılık, 157-161, 203-204
  kafa yaralanmaları, 202-203
  katılaşma hızı (plastisite değişimi yansıtır varsayımı), 211-214
  mühürleme, 210-211
  nöromodülatörler, 158-161, 204-206, 226-227, 286n18, 286n20, 286n22
  terimin kullanımı, 14, 264n7
  yapışkan plastisite, 238-240
  yaşlı beyinlerde, 204, 214-218, 290n2, 292n19
  Ayrıca bkz. kortekste yeniden düzenlenme
Polgár kardeşler, 108, 146-147, 154, 284n1
pons, 47-49, 271-272n42
prefrontal korteks, 50
protezler
  esnek malzemeler, 282-283n16
psikososyal cücelik, 266-267n11
Purkinje, Jan, 288n7
Putnam, Hilary, 102

Rahibeler Çalışması, 216
Ramón y Cajal, Santiago, 223
Rasmussen ensefaliti, 5
Ray, Johnny, 130-131
"Réflexions sur l'usage du concept de plasticité en neurobiologie" (Paillard), 264n7
REM (hızlı göz hareketleri) uykusu, 47-51, 271-273nn41-43
REM-dışı uyku, 271n41
renk körlüğü, 42, 271n34
  duyusal ikame, 88-90, 279nn51-54
  McCullough etkisi, 287n3
retina çipleri, 279n50
retina implantları, 54-56, 112-113
retinitis pigmentosa, 54-55
Ribot, Théodule, 219-220
Roberts, Jody, 240-241
robot-avatar, 141-143
robotik
  beyin-makine arayüzleri, 130-138, 282nn12-13
  duyusal geribildirim, 133-135, 141
  homunkular esneklik, 142-145
  nanorobotik, 104-105
  robot-avatar, 141-143
  Starfish robotu, 125-126, 282n6
  tele-kol ve bacak, 138-139
  yumuşak robotlar, 282-283n16
rüya görme, 46-52, 271-273nn41-45

sabit donanım/bağlantı, 245-248, 254
Sacks, Oliver, 34-35
sağırlık ve işitme bozuklukları
  duyusal ikame, 53-56, 78, 79-88, 277-278nn43-44, 278n46
  duyusal pekiştirme, 93
  genetik mutasyonlar, 61-62, 274n7
  genetik nedenler, 79-80
  kohlear implantlar, 54, 56, 78, 86, 107, 112, 278n48
  konuşma üretimi, 278n44
  kortekste yeniden alan dağıtımı, 42-43, 52, 270-271n31
  Ayrıca bkz. işitme korteksi
sakkadik hareket, 288n5
sanal gerçeklik, 100
  empati geliştirme, 142
  robot-avatar, 141-143
Sandlin, Destin, 123-124, 149
Scheuermann, Jan, 131-132, 282n10
Schiltz, Cheryl, 87-88
Schuur, Diane, 41
Schwartz, Andrew, 131
Schwarzenegger, Arnold, 207
Shadow Hand, 141
Shinkansen (Japon hızlı treni), 11-12
Silver Spring maymunları, 29-30, 155, 267n5
sinapsların güçlendirilmesi, 223-225, 229, 243-244, 293nn3-4, 294nn6-7, 295n15
sinaptik plastisite, 264n7, 294-295n15
sinir büyüme faktörü, 194
Sir Blake (kaykaycı köpek), 120-122, 127
sirkadyen ritm, 21
somatoparafreni, 283n20
somatosensoriyel korteks, 258, 267n2
  çevresel duyu organları, 57-63, 274n4
  duyusal ekleme, 94-114, 281n70
  duyusal ikame, 53-88
  duyusal pekiştirme, 88-94
  eğitim ve alıştırma, 150
  homunkulus, 27-28, 192-193, 268n14, 289n9
  örüntüleri belirleme ve yorumlama, 56-63

plastisite, 211-214, 258, 292n15
robotik aygıtlar, 133-135, 141
yeniden düzenlenme, 29-52, 150
Ayrıca bkz. kortekste yeniden düzenlenme
sonik gözlük, 74-76, 276n29
sosyal babıldama, 126-127
sosyal yoksunluk, 22-26, 267nn11-12
hayvan deneyleri, 25-26, 267n12
yabani çocuklar, 22-25, 267n11
spinoserebellar dejenerasyon, 131, 282n10
Spirit keşif aracı (Mars), 245-248
Spurzheim, Johann, 19
Starfish robotu, 125-126, 282n6
Stutzman, Matt, 119
suç oranları, 258-259
Sugar (sörfçü köpek), 121-122, 127
synaptotoksinler, 194
synesthezi, 238-240, 281n70, 297-298n31

şema, 124, 235
şempanzeler, 118-119

Tadoma yöntemi, 85
tam zamanında bilgisi, 163
tamamlayıcı öğrenme sistemleri, 242-243, 298n34
tat, 71
Taub, Edward, 29, 155
tek denemeli öğrenme, 158
tele-kol veya bacak, 138-139
tele-kol veya bacak, 138-139
Temiz Hava Yasası, 258-259
Teuber, Hans-Lukas, 202, 2
Thomson, Eric, 91
Tirollü Buzadam Ötzi, 255-257
titreşimli göğüs kemeri, 83
trahom, 277-278n41
transkraniyal manyetik uyarım, 115-116
Troxler etkisi, 171-174, 288n9
Twitter veri akışları, 101-102

ultrasonik ses, 93
Uluslararası Uzay İstasyonu, 250-251
Underwood, Ben, 41-42, 270n29
uyarıcı nöronlar, 194-195
uyku-uyanıklık döngüsü, 21
uzamsal beceriler, 95, 108, 150
uzmanlık, 13
uzun dönemli bellek, 220-221, 241-242
uzun dönemli potansiyel artışı, 223-225, 293n4, 294-295n15

Vaughn, Don, 46, 74
verimlilik, 13
vOICe, 77-78, 277n37

Watson, James, 8
Wegener, Alfred, 15
Westworld, 92-93
Wiesel, Torsten, 191, 265-266n9
Williams, Serena ve Venus, 149, 154
Winfrey, Oprah, 210
Wonder, Stevie, 41

yabani çocuklar, 22-25, 266-267n11
yapay mercekler, 90-91
yapay zekâ
yapay zekâ algoritmaları, 161
alanda programlanabilir geçit dizgesi mikroçipler, 251-252
canlı bağlantılar, 249-254
nöral ağlar, 102, 225-226, 242-244, 294n8
yapışkan plastisite, 238-240
yeniden düzenlenme. *bkz.* kortekste yeniden düzenlenme
Yeniden Yürüme Projesi, 132, 282nn12-14
yorgunluk varsayımı, 168
yürek yarası, 178

Madde yoksunluğu ile kırık bir kalbin ortak yönü ne? Anıların düşmanı neden zaman değil de başka anılar? Kolsuz bir insan nasıl dünyanın en iyi okçusu olabiliyor? Geceleri neden rüya görürüz ve bunun gezegenimizin dönüşüyle ne ilgisi var? Kör bir insan diliyle görmeyi, sağır bir insan derisiyle işitmeyi nasıl öğrenebilir?

Bu soruların yanıtı gözlerimizin hemen arkasında duruyor. Yaşadığımız gezegende keşfedegeldiğimiz en ileri teknoloji, kafatasının karanlık haznesinde taşıyıp durduğumuz şu bir buçuk kiloluk organda saklı. Nasıl ki hayatın heyecanı kim olduğumuzla değil, kime dönüşme sürecinde olduğumuzla ilgili, beynin sihri de onu oluşturan parçalardan çok, parçaların dinamik ve canlı bir doku oluşturmak üzere kendilerini ***durmaksızın yeniden dokumalarında*** yatıyor. Beynimiz, tıpkı dünyamız gibi, değişken ve akışkan bir sistem.

Kuşağının en iyi bilim anlatıcılarından David Eagleman ***Canlı Devre***'de, en yeni bilimsel araştırmalar ve ilginç vakalar eşliğinde, şu satırları okumakla bile ebediyen değişecek beynimizin içyüzüyle tanıştırıyor bizleri.

• • •

"Göz alıcı... Isaac Asimov'dan bu yana, fikirlerini böylesine çokboyutlu ele alan bir bilim insanıyla karşılaşmamıştık. Oliver Sacks ve William Gibson, Carl Sagan'ın verandasında bir araya gelip yazsalar böyle olurdu dedirten bir kitap."

–WALL STREET JOURNAL

THG 0268233 SYB

domingo
www.domingo.com.tr

978-605-198-190-1

42 TL

KDV'den muaftır.