

# MEKÂN YARATMAK-Beyin Neyin Nerede Olduğunu Nasıl Biliyor? Jennifer M. GROH

## Mekân Hakkında Düşünmek

Beyin gücünüzün onda dokuzu nesnelere yerini belirlemeye harcanır.

Kahve fincanınızın masanın üzerinde, önünüzde durduğunu ve güneşin pencereden içeri girdiğini görebilirsiniz. Kulak kabarttığınızda bir köpeğin havladığını ve bir arabanın evinizin önünden geçip gittiğini duyabilirsiniz. Arabanın hangi yöne doğru gittiğini ve köpeğin hangi komşunuza ait olduğunu anlayabilirsiniz.

Mekân algınız bu şeylerin nerede olduğu bilgisinin yanı sıra, ne oldukları bilgisini de içerir.

Konum ve sınır bilginiz fiziksel nesnelere baş etmenizi ve dünya içinde hareket etmenizi sağlar. Elinizi uzatıp kahve kupasını veya kediyi kaldırabilirsiniz ve bunu yaparken elleriniz o nesneyi kavramak için belli bir şekle bürünür. Sehpanın etrafından bacaklarınızı çarpmadan (genellikle) yürüebilirsiniz.

Bu kitap, beynin algı ve davranışla ilgili bu sıradan becerileri gerçekleştirmenize yardımcı olan o muhteşem işlem gücünü konu alıyor. Gözlerinizin nasıl radyo gibi çalıştığını, kulaklarınızın nasıl zamanı bildiğini ve kafanızın içinde nasıl gerçekten taşlar (yukarının neresi olduğunu anlamamızı sağlayan minik taşlar) olduğunu anlatıyor.

Bu kitapta aynı zamanda şu sorular da ele alınıyor: Nerede olduğumuzu nasıl biliriz? Bir yerden bir yere nasıl gider ve geri dönüşte neden genelde kısa yolu seçeriz? Neden yolcu olarak gittiğimiz yerleri araba kullanırken gittiğimiz yerler kadar rahat bulamayız? Bir şey yapmak üzere harekete geçip de ne yapacağımızı unuttuğumuzda, başlangıç noktasına gitmek o şeyi hatırlamamıza neden yardımcı olur?

Fiziksel eylemlerimize duyuşal girdiler kılavuzluk eder, mekân içinde hareket etmemizi sağlar ve neyin nerede olduğunu anlamamıza yardımcı olur. Örneğin gördüğümüz nesnelere konumlarıyla ilgili aldığımız, gözlerimizin nereye baktığıyla ilgili bilgiyi gerektirir ve bu bilginin gözlerimiz her hareket ettiğinde ve retina üzerindeki ışık örüntüsü her değiştiğinde güncellenmesi gerekir. Bu cümleyi okurken, gözleriniz sözcüklerden sözcüklere atlarken görsel konum algınız altı kez, belki de daha fazla güncellenmiştir. Sözcükleri atlarken dünya zıplıyormuş gibi gelmez size, çünkü beyniniz hareket edenin gözleriniz olduğunu bilir. Bu güncelleme işlemi beyninizin sizin hareketlerinizi denetlemesini gerektirir. Sizi başkası hareket ettirdiğinde (bir arabada yolculuk ederken örneğin) beyniniz güncelleme işlemini iyi yapamaz, bulunduğunuz yerle ilgili algınızın sürekliliğini sağlamakta ve eve nasıl döneceğinizi kestirmekte zorluk çekersiniz.

“Nerede” bilgisi farklı zaman ve mekân hesaplarının yanı sıra hem dışarıda ne olduğu hem de o ortamda nerede olduğunuz algısını içerir.

Belli bir anda görebildiğiniz, duyabildiğiniz ve hissedebildiğiniz şeyler, bulunduğunuz yere gitmek için yaptığınız hareketler, o hareketlerle ilgili anınız ve o bölge hakkındaki coğrafi bilginiz, hepsi dünya içindeki konumunuzla ilgili algınıza katkıda bulunur. Beyninizin farklı duyu ve motor sistemlerinin hepsi birlikte çalışarak bu duyuyu yaratır.

Bir sistemle aynı şeyi yapabilen başka bir sistem inşa edebildiğimizde, onun nasıl çalıştığını tam olarak anladığımızı biliriz. Bugün bilimin ulaşmayı arzuladığı son nokta tam da bu. Örneğin, mühendisler insan gözünden çok daha yüksek çözünürlükte kameralar ve devasa verileri muazzam bir hızda depolayıp işleyebilen süper bilgisayarlar yaptılar. Ne var ki bilgisayarlar artık düzenli olarak hava tahminleri yapabilseler ve insanları satrançta yenseler bile, anneniz güneş gözlüğünü taktığında onun aynı kişi olduğunu anlayamazlar, ki kafanızın içindeki biyolojik bilgisayar için çok kolay bir iştir bu. Beynin eldeki ham veride aralarında çok az benzerlik bulunmasına rağmen iki şeyin aynı şey olduğunu çıkarsama yeteneği (açık ton, koyu ton ve rengin mekânsal örüntüsü gibi) muhteşemdir, beynin bunu nasıl başardığını ise bilmiyoruz. “Bu nasıl inşa edilir” yaklaşımı bilgimizdeki bu boşlukların tanımlanmasında bize yardımcı olabilir.

### **Işığın Yolları**

BUGÜN ARTIK ışığın madde değil bir enerji biçimi olduğunu biliyoruz. Işık elektromanyetik radyasyondur, bütün çevremizde bulunan bir çeşit enerjidir. Örneğin, elektromanyetik radyasyon radyolarla, röntgen cihazlarıyla, mikrodalga fırınlarla ve başka birçok cihazla da iletilir. Öte yandan, ne kontrol noktasında pusuda bekleyen polis memurunun hız radarından çıkan ışınları görebiliriz, ne de radyo verici antenlerinin veya mikrodalga fırınların yaydığı dalgaları algılayabiliriz. Neden? Bütün bu durumlarda aynı enerji biçiminin yer aldığı düşünüldüğünde son derece kafa karıştırıcı bir durumdur bu.

Cevap, ışığı algılayan biyolojik mekanizmalarda yatıyor. Gözün arka kısmında, retinada *fotoreseptör* adı verilen ışığa duyarlı nöronlar dizilidir. Fotoreseptörler ışığı sezme özelliklerini *fotopigment* adıyla bilinen özel moleküllerden alırlar. Fotopigmentler, belli dalga boylarındaki ışığı yansıtma ve diğerlerini emmeleri bakımından boyaya benzerler. Boya pigmentlerinde, yansıtılan dalda boyları boyaya rengini verir. Fotoreseptör pigmentlerinde ışığı emme, elektromanyetik spektrumun dar bir aralığı içinde gerçekleşir, yani 400 ila 700 nanometre civarı dalga boylarına sahip elektromanyetik radyasyonla sınırlıdır. Radyo, cep telefonu, mikrodalga fırın veya trafik radarı sinyalleri bu aralığın dışında dalga boylarına sahiptir. Bu sinyalleri fotopigment molekülleri, dolayısıyla da bizler göremeyiz.

Görme duyunuz, fiziksel bir uyarının elektriksel bir tepkiye dönüşmesinin bu kadar aşamaya ihtiyaç duymadığı işitme, dokunma ve denge duyunuzda daha yavaş çalışır. Kulak, deri veya kaslarınızın içindeki nöronların sese, dokunuşa veya harekete yanıt vermesi birkaç milisaniye içinde gerçekleşir. Oysa ışığın fotopigment molekülü tarafından emildiği andan elektriksel potansiyelin yüklenmeye başladığı ana kadar onlarca

milisaniye geçer. Işıktaki hızlı dalgalanmaları fark edememizin nedeni görme duyusunun bu yavaşlığıdır.

Bilgisayarınızın ekranı saniyede yaklaşık 60 ila 70 döngü halinde, başka bir deyişle 1 ila 17 milisaniyede bir titreşir; fotoreseptörlerin yanıt vereceği hızdan biraz daha hızlı yani. Ekranınızın veya video kartınızın daha hızlı çalışması için daha fazla para harcamanıza gerek yok, çünkü gözleriniz bu hıza zaten yetişemez.

Göz, işte ışığı bu şekilde algılar. Ne *var* ki, ışığı algılamakla üç boyutlu dünyayı görmek için ışıktan yararlanmak aynı şeyler değildir.

Hangi ışığın göze gireceğini, gözün ön kısmında yer alan küçük, şeffaf bir delik olan gözbebeği belirler. Işık bu delikten girerek gözün arka kısmında yer alan retinaya ulaşır. Bazı basit canlılarda bu kadarı yeterlidir; bu dar geçit sahnedeki belli bir konumdan gelmeyen ışığın içeri girmesini ve retinanın arkasındaki belli bir noktaya ulaşmasını önler. Ama bu yönetende bir sorun vardır. Aralık çok küçükse, içeri girmesine izin verilen ışığın gücü düşük, imge de son derece keskin olmasına rağmen soluktur. Delik daha büyük olduğunda ise içeriye daha fazla ışığın girmesine izin verilir ve imge parlak ama bulanıktır.

Beyin tercüman rolünü oynamakta mahirdir. Görmenin pek çok veçhesi tercümeden yararlanır ama belki de hiçbirini görmenin veçhesi kadar önemli değildir. Retinadaki imge üç boyutlu dünyanın iki boyutlu bir yansımasıdır. Beynimiz bu iki boyutlu imgelerden üç boyutlu dünyayı çıkarsamak zorundadır. Beyin bu çıkarımı yaparken birçok ipucunu bir araya getirir.

İki göze sahip olmak üç boyutlu algılamanın önemli unsurlarından biridir. Gözlerimize aralarında birkaç santimlik mesafe olacak şekilde dengelenmiştir, dolayısıyla her biri sahneyi diğerinden biraz farklı bir açıdan görür. Çoğu nesnenin imgesinin iki gözün retinalarında birbirinden biraz farklı yerlere ulaşacağı anlamına gelir bu.

Beyin, aynı nesnenin iki retinadaki imgelerinin konumlarını karşılaştırarak nesnenin üç boyutlu mekandaki konumu hakkında çıkarımlarda bulunur.

İki imgenin tam olarak nereye ulaşacağı, nesnenin uzaklığına ve gözlerin baktıkları yöne bağlıdır. İki gözümüz tam olarak aynı yöne bakmak zorunda değildir. Gözleriniz arasındaki açı ayarlanabilir. Üç metre kadar uzağımızdaki bir nesneye doğrudan baktığınızda, birbirinden yaklaşık 6 cm uzakta olan gözleriniz birbirine bir derece kadar yaklaşarak nesneyi her iki retinanın merkezine konumlandırabilir. O nesnenin imgesi her iki gözün retinasının merkezindeki aynı bölgeye ulaşır.

## **Kendi Şeklimizi Hissetmek**

Dart oynarken ilk atışlarınız karavana olacak, oklarınız hedefin on derece soluna düşecektir. Atışlarınıza devam ettikçe, on-on beş atıştan sonra oklarınız aşağı yukarı hedefine ulaşmaya (en azından normal atışlarınız kadar düzgün olmaya) başlayacaktır.

Atışlarınız düzeldiğinde, el değiştirip tekrar atış yapmaya çalışırsanız, iki elinizi de aynı rahatlıkla kullanıyor olsanız bile atışlarınız tekrar yaklaşık

on derece sola kayacaktır. O elinizi de alıştırmamız gerekecektir.

Beyniniz, genelleme ihtiyacı kendini hissettirene kadar genelleme yapma konusunda ihtiyatlı davranıyor gibidir.

Bu örnekler, görsel konum algısı ile vücut konumu algısının ortak hareket ettiğini göstermektedir. Bu ortaklık bebeklikte, gözlerin dünyası ile vücudun dünyası arasındaki ilişkiyi öğrenmeye başladığımız dönemlerde başlar. Vücudumuz ile gördüğümüz veya dokunduğumuz şeyler arasındaki ilişkiyi öğrenmiş olarak dünyaya gelmeyiz. Bebekler bu ilişkiyi her uzuvları için ayrı ayrı öğrenirler. Bu sürece birçok zedelenme ve kahvaltıda saçılıp dökülen tahıl gevrekleri eşlik eder; ayrıca şaşırtıcı derecede uzun bir zamana yayılan bol miktarda alıştırmaya gereklidir: Katı yiyecekleri ağızda çevirirken dili nasıl hareket ettireceğini öğrenmek aylar; yürümeyi öğrenmek yaklaşık bir yıl, koşmayı, zıplamayı, bir topu atıp tutmayı veya bir bardak buzlu çay koymayı öğrenmekse yıllar alır.

Vücudunuzun mekân algısının son aşaması, nesnelere teninizle hissetmektir. Bu algıda, titreşimden güçlü baskıya ve hafifçe okşamaya kadar çeşitli dokunma uyarılarına karşı uzmanlaşmış farklı sensör türleri rol oynar. Hissetmeniz için nesnelere teninize doğrudan dokunmasına bile gerek yoktur. Bir tükenmezkalem alıp gövdesini tüylerinizi yalayacak şekilde ön kolunuzda gezdirin, onu çok rahat bir şekilde hissedeceksiniz. Vücudumuzdaki tüyler dokunma duyumuzun bir parçasını oluşturur. Bu anlamda, kediler, kemirgenler ve bıyıklarıyla nesnelere keşfeden diğer hayvan türleri gibiyizdir biraz. Biz de aynı şeyi kıl folikülü reseptörlerimizle yaparız, ama bizim tüy ve kıllarımız daha yumuşaktır ve bıyıkları olan hayvanlar gibi çevremizi araştırmak için onları hareket ettirme kabiliyetine de sahip değildir.

Şimdi de çoraplarınızı düşünün örneğin... Şu anda ayaklarınızda çorap var mı? Olup olmadığını nereden biliyorsunuz? Çünkü onları hissetmediğinize adım gibi eminim. Giysileriniz dokunma duyunuzdan kaybolma eğilimindedir ama sivrisinek ısırması gibi her yeni uyaranda, dokunma duyunuz buna hemen ve kuvvetle tepki verir.

### **Beyin Haritaları ve Benekler**

Beyninizdeki sensörler, ışığı retina yüzeyi boyunca aldığı milyonlarca konumu değerlendirerek ölçer veya kollarınızdaki, bacaklarındaki, parmaklarındaki ve ayaklarındaki baskıyı, bu uzuvlarındaki sayısız bölgeyi tarayarak algılar. Ama bunlar mekân algısı oluşturmada atılan ilk adımlardır sadece. Her iyi analistin yapacağı gibi beyin, işlenmemiş bilgilerden oluşan bu nöral hesap tablosunu dikkatle değerlendirerek görsel ve dokunsal dünyanın durumu ve vücudun bu dünya içindeki konumuyla ilgili sonuçlar çıkarır. Bu da öyle sanıldığı gibi dolaysız gerçekleşmez.

Nesnelerin sınırlarını algılamaya yeteneğinizi ele alalım mesela. Bir kahve kupasını elinize aldığınızda, kulpu, ağzı ve gövdesi tek parça halindedir. Beyninizin bir nesnenin nerede bitip başka bir nesnenin nerede başladığını belirleyen dikkatli analizi sonucunda, kupayı kaldırdığınızda kupanın diğer bölümlerinin de onunla birlikte gelmesine şaşırmasınız.

Bilgisayarlardaki transistörler gibi nöronlar da yapı itibarıyla

birbirlerine benzer. Ama her ne kadar ortak temel özellikler taşıyor olsalar da, diğer nöronlarla kurdukları bağlantıların örüntüsü açısından her nöron kendine özgüdür ve diğerlerinden farklıdır.

Bir nöronun aldığı sinyaller ve bu bilgileri nereye göndereceği, o nörona ve ilişkili olduğu nöron grubuna bağlıdır.

Nöronlar teller ile küçük işlemcilerin bir bileşimidir. Alıcı tarafındaki tellere *dendrit* adı verilir, nöronlar başka nöronlardan gelen sinyalleri burada toplarlar. Her nöronun birçok *dendriti* olabilir, bu sayede başka nöronlarla da bağlantı kurabilirler. Gönderici tarafında bulunan tellere *akson* adı verilir. Hücre gövdesinden yalnızca bir akson ayrılrsa da, o akson dallanarak birçok alıcı nöronla bağlantı kurabilir.

Dendritlerle akson(lar) arasında *hücre gövdesi* yer alır. Hücre gövdesi, girdi sinyalleri için takas odası işlevi görür. Burada dendritlerden gelen bütün elektrik sinyalleri toplanır ve aksondan nasıl bir çıktı sinyali gönderileceğine “karar” verilir. Yani farklı dendritlerden gelen bütün elektrik sinyalleri toplanır ve bu sinyaller sonunda akson ve onun dallarından gönderilecek olan tek bir mesaja dönüştürülür.

Nöronlar arasında mesaj taşıyan bu moleküllere *nörotransmitter* adı verilir. Norotransmitterler aksondan uzaklaşıp karşı taraftaki molekülün dendritine sıçrarken, dendrit onları karşılamaya hazırdır. Dendritin zarı içinde bulunan ve *reseptör* adıyla bilinen küçük protein molekülleri, nörotransmitter moleküllerini bir beysbol oyuncusunun topu yakalayışı gibi yakalar. Bu moleküller bağlandıktan sonra alıcı nöronun iyon kanalları tetiklenir, açılıp kapanmaya başlayarak nöronun elektriksel zar potansiyelini değiştirirler.

Çocukların oynadığı kulaktan kulağa oyununda, kulağa fısıldanan sözcüğün yol boyunca değişmesi gibi, burada da nöronun ateşleme örüntüleri beynin görme yolu boyunca ilerlerken değişikliğe uğrar. Her nöron ve sinapsta, bu nöral aktivite örüntülerinin taşıdığı mesaj değişebilir. Ama kulaktan kulağa oyunundan farklı olarak buradaki değişiklikler son derece yararlı bir şeye hizmet eder: Görme sistemlerimizin nesnelere konturlarını seçmesine yardımcı olurlar. Bunu yapmaya ise retinada başlarlar.

Vücudumuzun en yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip bölgeleri, dokunsal keşif veya konum algılamada en önemli rolü oynayan bölgeleridir. Ellerimiz uzanıp nesnelere dokunur ve onların şekil ve dokusuyla ilgili bilgi toplar. Yemek yerken ağızımız, yiyeceğin yumuşaklığı veya sertliği konusunda çok hassastır; dilimiz her noktayı çiğnemek üzere dişlerimize yönlendirir. Bebekler ve birçok hayvan türü, yiyecek olmayan nesnelere tanımak için ağızlarını kullanır. Konuşurken dilimiz daha farklı bir rol üstlenir, sesbirimlerin seslerini şekillendirir.

Beynin her faaliyetinin farkındalık üretmediği kesin. Örneğin, şu anda kalbinizin ne kadar hızlı attığı konusunda hiçbir fikriniz yoktur muhtemelen, beyniniz düşünce ve hislerinizi nasıl kontrol ediyorsa kalp atış hızınızı da aynı şekilde kontrol eder.

Öyleyse, zihindeki farklılık deneyimi veya bilinç nasıl ortaya çıkar?

Zihin-beyin bağlantısı henüz tam olarak bilinmiyor da, bu beyin haritalarını bazılarının zihinsel yaşamımıza önemli katkılarda bulunduğu dair kanıtların sayısı giderek artıyor.

Ampütasyon veya kaza sonucu kolunu veya bacağı kaybeden insanlar kayıp uzuvlarını hâlâ "hissedebilirler". Vücudun yitirilmiş bölümü kaşınabilir, acıyabilir veya ağrıyabilir mesela. Uzuv gitmiştir, dolayısıyla bu tür duyular gerçek değildir: Bu duyular zehirli sarmaşıktan, uzvunuza çarpan bir toptan veya çok fazla kayak yapmaktan kaynaklanıyor olamaz. Ama bu duyular uzvunu kaybeden kişiler için gerçektir. Bunlar beyin haritalarından birindeki, kayıp vücut bölümünden girdi alan bir bölgedeki nöronların kazara-onları harekete geçirecek gerçek bir uyaran olmadan-faaliyete geçmesinden kaynaklanır muhtemelen. Bu nöronlar *kendiliğinden* faaliyet (nöronlar her zamanki girdilerini almadıkları halde ortaya çıkan elektrik atımları) adını verdiğimiz şeyi gösteriyor olabilir. Sonraki nöronlar da -yani bu nöronlardan girdi alanlar-gerçek girdi sinyalinin başlattığı faaliyeti, kendiliğinden oluşan faaliyetten ayırt edebilecek durumda değildir. Bütün sinyaller gerçek sinyal olarak yorumlanır. Dolayısıyla, artık yerinde olmayan uzuvdan girdi alamayan nöronlar yine de ateşleme yaparlar, faaliyetleri o uzvun hâlâ yerinde olduğu ve ona bir şeylerin dokunduğu, onu acıttığı veya ağrıttığı hissi yaratır. Bu olay *hayalet uzuv sendromu* adıyla bilinir.

Ayrıca haritalardaki boşluklar da buralardan uyaran alınamamasına neden olur. Bu durum beyin hasarından kaynaklanabilir; örneğin bir inme sonucu beynin belli bir bölgesine kan tedarik edilemez ve oradaki nöronlar oksijensiz kalarak ölür. İnme sonucu hasara uğramış olan damar küçükse o bölgedeki hasar küçük, damar büyükse hasar da büyük olur.

Beyinde 85 milyar kadar nöron bulunmasına rağmen bu nöronlar, kendi yakın çevrelerinde neler olduğu bilgisini değil, vücudun başka yerlerinde neler olduğu bilgisini aktarırlar; beynin kendisinde ağrı senyörleri yoktur. Bu nedenle, kafatasının kesilip açılması sırasında duyulacak acıyı önlemek için yalnızca lokal anestezi uygulanır ama hasta uyutulmaz. Beyne bir elektrot batırılır, hasta bunu hissetmez. Elektrotta küçük miktarlarda elektrik akımı verildiğinde, elektrotun ucunun yakınındaki nöronlar aktif hale geçer. Akım arttıkça elektrotun aktive ettiği nöronların alanı da artar. Beyin alanına bağlı olarak, birkaç mikroamper kadar düşük elektrik akımları (kol saati pilinin sahip olduğu akımın yaklaşık binde biri) hastaların uyarılan dokunun işlevine uygun şeyler hissetmelerini sağlamaya yetecek sayıda nöronu aktive edebilir.

## **Sherlock Kulaklar**

Evinizde öten bir cırcırböceği aramışlığınız varsa, bir şeyleri yalnızca sesle bulmanın ne kadar zor olduğunu biliyorsunuz demektir. Benimse en nefret ettiğim şey, evimdeki pille çalışan duman detektörü. Pil zayıfladığında detektör insanı deli eden, kesik kesik tiz bir ses çıkarıyor. Her odada bir detektör olduğu için, hangisinin ses çıkardığını anlamak şaşırtıcı derecede zor. Sesi kolayca tanıyabiliyorum ve sesin tavandaki beyaz plastik

kutucuktan geldiğini biliyorum. Ama gözlerimi kapatıp sesin geldiği yönü belirlemeye çalıştığımda çok hata yapıyorum. Çoğunlukla doğru odayı bulduğumda bile emin olamıyorum.

Bunun zor olmasını nedeni sesle, kulağın sesi ölçme biçimiyle ve beynin çevredeki kanıtlardan yararlanarak sesin yeri konusunda vardığı sonuçlarla ilgili.

Beyin bu zaman farklarını nasıl algılar? Bu sorun, görsel hareketi algılamada yaşanan soruna benzer: Beyin bir kulakta belli bir zamanda algılanan şey ile diğer kulakta başka bir zamanda algılanan şeyi kıyaslamak zorundadır. Bu çözümden görme sürecine benzer bir zihinsel zaman kaydırma işlemi de söz konusu olabilir.

Beynin sesi algılamasının şu şekilde gerçekleştiği düşünülüyor: Her iki kulak sesin neden olduğu nöral sinyalleri o taraftaki işitme siniri aracılığıyla beyne gönderir. Beynin işitme yolundaki bazı nöronlar binöraldır, yani her iki kulaktan gelen sinyalleri alır. Binöral nöronların iki kulağa ulaşan ses dalgalarının kulağa ulaşma sürelerine karşı hassas oldukları düşünülmektedir. Bazı nöronlar sesin ilk sol kulağa ulaşmasına karşı daha iyi tepki verirler, bazıları da ilk sağ kulağa ulaşmasına. Bu tür bir hassasiyet, her bir kulakta oluşan sinyaller farklı zaman alan yollardan ilerlediğinde oluşabilir. Bir kulağın ses önce ona ulaştığı için elde ettiği üstünlük uygun bir engelle ortadan kaldırılabilir, böylece sinyaller binöral nörona ulaştığında süreleri örtüşür.

İki kulağın ses yüksekliğindeki farklılıklar da sesin yerini belirlemede kullanılabilir. Sese yakın olan kulak ses dalgasını engelsiz bir yoldan alır, ses daha yüksektir. Ses dalgasının başın diğer tarafına ulaşmak için bükülmesi veya kırılması gerekir, bu da sesin yumuşamasına neden olur. Bir kulağında işitme kaybı olan insanlar çoğunlukla, başlarının oluşturduğu engeli ortadan kaldırmak için daha iyi duyan kulaklarını sesin geldiği yöne çevirirler.

Başın oluşturduğu engel nedeniyle bir sesin yüksekliğinin ne kadar azaldığı, sesin nereden geldiğine bağlı olarak değişir. Ses tam ön taraftan geliyorsa iki kulakta sesin yüksekliğinde herhangi fark yoktur, ama sağdan gelen bir ses sağ kulakta sol kulağa göre 15-25 desibel daha yüksek olabilir. Ses yüksekliğinin derecesi sesin frekansına bağlıdır. Yüksek frekanslı seslerin dalga boyları daha kısadır ve engellerde daha az bükülme veya kırılma eğilimi gösterirler, dolayısıyla başın oluşturduğu engel daha etkilidir. Düşük frekanslı ve uzun dalga boylu sesler ise engellerin etrafından daha rahat geçer, dolayısıyla bu seslerin kulaklar arasındaki ses yüksekliği farkı daha azdır.

Yine de ortada hâlâ önemli bir sorun var. Bir sesin tam önümüzden, yukarıdan, aşağıdan veya arkamızdan gelip gelmediğini nasıl anlarız? Zamanlama ve ses yüksekliği farklılıkları, üç boyutlu dünyamız konusunda yalnızca tek boyutlu (iki kulağımızı birbirine bağlayan eksenden gelen) bir bilgi sunar bize. Dikey veya ön ve arka boyutlarla ilgili bilgi olmadan sesin lokasyonu belirsizdir.

Herkesin kulakları farklıdır ve kulağın sesi filtreleme biçimi farklılıklar gösterir. Sizinle yan yana oturup aynı konseri dinlese de tam olarak aynı

şeyleri duymayız. Kulak zarına ulaşan ses dalgasının özelliği hem sesin kaynağına hem de kişinin kulak kepçesinin biçimine bağlıdır.

Yankılar duvarların, tavanların, hatta mobilyaların büyüklüğü, uzaklığı ve sertliğiyle ilgili ipuçları da sunabilir. Çoğu kişinin kulağı, akustik uzmanlarının canlı mekân olarak adlandırdığı yankı seviyesi yüksek mekanlar ile çok az yankı üreten ölü mekanlar arasındaki farkı anlayabilir.

Gözleri gören insanlar bu ipuçlarını duyduklarının bilincinde olmayabilirler ama körler bu ipuçlarından çok fazla yararlanırlar. Hatta yankısını duymak için ses üretirler; buna *ekolokasyon* adı verilir. Bir değneği yere vurduğunuzda kısa ve sert bir ses çıkar; bitişik yüzeylerden yansıyarak gelen yankıları algılamak için ideal bir sestir bu. Gözleri gören insanlar da ekolokasyondan biraz yararlanırlar. Gece tuvalete kalktığınızda eşiniz uyanmasın diye ışıkları açmadan banyoya doğru yürürken, adımlarınızın çıkardığı seslerin yankıları duvara toslamanızı önler.

İnsanlar ekolokasyonu *becerebilirler*, yarasalar ise bu işin uzmanlarıdır. Bu uçan gece yırtıcıları da baykuşlar gibi yiyeceklerini bulmak için sese bağımlıdır, ama onlar kendi çıkardıkları seslerin yansımaları sayesinde sessiz nesnelere de bulabilirler.

Yarasalar sık aralıklarla kısa ve tiz sesler çıkarırlar, bu seslerin engellere ve avlarının vücutlarına carparak çıkardığı yankıları dinlerler. (Bu seslerin frekansları insan kulağının duyamayacağı kadar yüksektir, yarasaların sıkça hedefinde olan güveler ise bu aralıktaki seslere karşı hassasiyet geliştirmişlerdir, bu sesi duyar duymaz ortamdan kaçarlar.) Yarasalar bu sesi kendileri başlattıkları için sesin ne zaman başladığını bilirler, dolayısıyla yankının sestem sonra kulaklarına gecikmeli olarak gelen sesi, onlara nesnenin *uzaklığı* hakkında bilgi verir. Yankıları algılamada o kadar hünerlidirler ki, piyano telleriyle örtülü bir odada tellere hiç çarpmadan uçabilirler ve havaya fırlatılmış bir un kurdunu havada kapabilirler.

## **Güneş Gözlükleriniz Samanyolunda**

Beyninizin algıladığı görsel, işitsel veya bedensel mekân bilgilerinin her bir zerresinin bir nirengi noktasıyla tanımlanması şarttır. Konumları tanımlamada kullanılan bu *referans çerçeveleri* veya koordinat sistemleri mekân konusundaki konuşmalarımızda açıkça kendini belli eder.

Referans çerçevelerinin eksenleri çoğunlukla hareketlidir; bu nedenle beynin bu hareketler konusunda bilgi edinmesi gerekir. Tarihteki en bildik örnek belki de “*dünya mı güneşin etrafında dönüyor yoksa güneş mi dünyanın etrafında dönüyor*” sorusudur. Güneş dünyanın etrafında dönüyor gibi görünür kesinlikle: Sabah doğuda yükseldiğini, akşam da batıda battığını görürüz. Bu nedenle, gökbilimcilerin dünyanın aslında bir günde kendi eksenini etrafında, bir yılda da güneşin etrafında bir tur döndüğüne dair ipuçlarını bir araya getirmeleri yüzyıllar sürmüştür.

Görmedeki hareketli referans çerçevesiyle başlayalım.

Retina beyne görsel uyarıların nerede olduğunu (gözlerin doğrultusu üzerinden) söyler. Gözler bir başka yöne kaydığında, nesnenin imgesi retina



yüzeyinde yol alır. Görsel mekân algımız, gözlerin konumu ve hareketiyle ilgi bilgi gerektiren bir sentezdir.

Göz hareketleri sürekli meydana gelir. Gözlerimiz kabaca saniyede üç kez (nefes alıp verişimizden daha hızlı) kısa hareketler yapar ama bunun farkına bile varmayız. Her göz hareketi saniyenin onda birinden daha kısa sürer ve bu süre içinde beyin görsel bilgiyi bastırarak bulanık görmemizi engeller. Görmedeki bu boşluk bile bilincimizden kurtulur: Karartı görmeyiz; ani bir karanlık hissi yaşamayız.

Bu göz hareketleri, fotoreseptörlerin yoğun ve sıkışık biçimde yer aldığı fovea sayesinde yararlıdır. Retinanın tamamı aynı şekilde tıka basa dolu olsaydı, gözlerinizi hareket ettirmenin pek bir katkısı olmazdı; nesnelere zaten her yerde yüksek çözünürlüklü halde görebilirdiniz. Oysa beyin küçük bir "megapiksel" bölgeyi kullanır ve retinayı sürekli yeniden yönlendirmek zorundadır.

Bunu hiç fark etmemiş olmanız kuvvetle muhtemel. Fark etmeyişinizin nedeni, beynin ardışık göz hareketlerinden yararlanarak yüksek çözünürlüklü görüş noktalarını birbirine iliştiirmesi ve onları kaynaştırmasıdır; öyle ki sahnenin tamamını net bir şekilde gördüğünüzü *düşünürsünüz*, ama aslında her defasında küçük parçalar görürsünüz.

Gördüğümüz ve duyduğumuz şeyleri birleştirmek bize çok yarar sağlar, özellikle de iletişim konusunda. İnsanların yüz ifadelerini, el kol ve dudak hareketlerini görmek, konuşmalarını daha kolay anlamamızı sağlar. Biriyle yüz yüze konuşurken onu telefondakine kıyasla daha iyi anlamamızın bir nedeni budur.

Diğer nedeni de telefonların işitsel bilgilerin tamamını taşıyor olmasıdır: Ses elektronik olarak tekrar üretildiğinde içinde frekansların hepsi bulunmaz. Gelişmiş stereo sistemleri sesi geniş bir ses frekansı aralığında iletmek konusunda gayet başarılıdır ama telefonlar bu konuda genelde çok data kısıtlıdır.

Ses kaynaklarını görmek, biriyle kalabalık ve gürültülü bir ortamda konuşurken de bize yardımcı olur. Görme duyumuzu, takip etmek istediğimiz konuşmaya odaklanmak ve diğer seslerden uzaklaşmak için kullanırız. Görsel ve işitsel sinyaller kendi özgün, farklı referans çerçeveleri içinde kalsalardı (bunu *referans çerçevesi uyumsuzluğu* olarak adlandırabiliriz) bunların hiçbiri mümkün olmazdı.

## **Bir Yerlere Gelmek**

Hiç zorluk çekmeden mutfakta dolaşabilir, evin dışına çıkıp sokakta yürüyerek en yakın kafeye gidebilir, tekrar eve dönebilirsiniz. Bütün bunlar kolay bir şeymiş gibi görünür, oysa bunları yapmak nerede olduğunuzu ve nereye gitmek istediğinizi takip etmek sofistike algoritmalar kullanmayı içerir.

Navigasyonun evrimsel kökleri derindir. Hareket edebilen her organizmanın gideceği yönü bulmaya ihtiyacı vardır. Basit organizmalar bile yiyeceklere ve potansiyel eşlere doğru hareket ederken, yırtıcılardan, toksinlerden ve başka tehlikelerden uzaklaşır. Şu anda kuyruklarını veya kamçılarını kullanarak bağırsaklarınızda yüzen, lezzetli şeylere doğru

hareket edip hoşlanmadığı şeylerden uzaklaşan basit *E. coli* bakterisini ele alalım mesela. *E. coli* çok iyi hareket edemez. Tek yapabildiği hangi yönde ilerliyorsa o yöne doğru bir çizgide yüzmek veya rasgele yeni bir yöne atılmaktır. Hangi yönde yüzeceğini seçemese de, belli bir güzergâhta yüzeceği mesafeyi belirleyebilir. Yola devam ederken gıdaların azalıp çoğaldığını hissedebilir. Şeker dükkânının *E. coli* dünyasındaki muadiline doğru yol aldığını hissederse yoluna devam eder. Gıda miktarında az bir artış olduğunda veya hiç artış olmadığında, durup döner ve yeni bir istikameti dener. *Eğilimli rasgele hareket* olarak bilinen bu örüntü, bu basit bakteriyi bağırsaklarınızın yiyecek dolu bölgelerine yönlendirmede çok etkilidir. Beyni bile olmayan basit bir canlının mekân içinde yol bulmasını sağlayan ilkel bir sistemdir bu.

Beyni olan biz insanlar ve yakın hayvan akrabalarımızın bu basit, tek hücreli organizmalardan daha amaçlı hareket eder ve gideceğimiz yönü daha karmaşık bir şekilde buluruz elbette. Her an nerede olduğumuzu genelde bilir ve bir yerden bir yere gitme için bilinçli olarak harekete geçeriz.

Normalde nerede olduğumuzu bilmek, belli bir noktada ne algıladığımızdan ibaret değildir, o yere nasıl gittiğimizle de alakalıdır. Beni bu bilgiden mahrum etmek için neler gerekeceğini bir düşünelim. Yolculuk sırasında etrafımı göremeyeyim diye gözlerim bağlı olmalı, ama bu da yeterli olmayabilir. Birinin beni birkaç defa döndürüp sersemletmesi gerekir, ayrıca kendi başıma yürümeme izin vermemeleri, beni taşımaları da gerekir. Bu benim yön duyumu ve mesafe algımı (nerede olduğumuzu bilmemizi sağlayan iki önemli unsur) bozacaktır.

Hareket ettiğimiz yönle ilgili algımız büyük oranda vestibüler sistemden (denge duyumuzdan) gelir. Her ne kadar Aristoteles'in beş temel duyu listesinde yer almasa da denge duyusu hayatımızın vazgeçilmez bir parçasıdır. Denge duyusu dik durmamızı ve hareket ettiğimizi (ayrıca *nereye* doğru hareket ettiğimizi) bilmemizi sağlar. Bir sandalyede, tekerlekli bir sandalyede gözleriniz kapalı halde oturuyor olsanız bile, biri sandalyeyi itip sizi dolaştırdığında vestibüler sisteminiz hareket, yön ve hız bildirebilir. Hatta asansördeyseniz, asansörün hareket ettiğini, genelde de yukarı mı yoksa aşağı mı gittiğini bildirebilir.

Denge, işitmenin kullandığı mekanizmaların bazılarını kullanır ve dengenin işitmeden önce evrimleştiği düşünülür. Dengenin duyu organı iç kulakta, koklea yakınlarındadır ve işitsel bilgileri taşıyan sinir aynı zamanda dengeyle ilgili bilgileri de taşır.

Denge duyunuz düzgün çalıştığında onu fark etmezsiniz. Ama hatalar yaptığında, mekandaki yön duyunuz sıkıntı çeker. Örneğin kendi etrafınızda çok fazla dönmek başımızın dönmesine neden olur. Bunun nedeni, yarım daire kanalları içindeki sıvının uzun süren baş hareketinizin hızına erişmesi ve kanalla birlikte hareket etmesidir. Durduğunuzda, sıvı hareketine devam eder, bu harekete bağlı bir sinyal üretir ve beyniniz bu sinyali sizin aksi yönde döndüğünüz şeklinde yorumlar. *Gerçekten* aksi yönde dönmek sıvının hareketini daha çabuk durduracaktır ama durmakta ısrar ederseniz sorunu ters yönde yeniden yaratırsınız!

Çok fazla alkol almak da başınızı döndürebilir. Alkol, denge organlarındaki çeşitli maddelere nüfuz edip onların yoğunluklarında ve

belli bir sürede bükülen tüy hücresi sayısında değişiklik yaparak denge duygunuzu etkiler. Sonuçta, gerçek hareket ile vestibüler tüy hücrelerinin taşıdığı bilgi arasındaki uyumsuzluk kendinizi dengesiz hissetmenize neden olur.

Çok fazla içki içtikten sonra yatarsanız, kupula (tüy hücrelerinin tüyleri kupula adlı jelatinsi bir yapıya gömülüdür) biraz yukarı doğru yüzer ve baş dönmesi duygusu yaratır. Zamanla alkol endolenfe nüfuz eder. Endolenf ile kupulanın yoğunluğu kısa bir süre normal oranlarına geri döner ve baş dönmesi durur. Ama eve gitmek için arabaya binmeyin sakın; fırtınadan önceki sessizliktir bu. Kupula alkolden temizlenmeye başlayınca endolenften daha yoğun bir duruma gelir, sıvının dibine çöker ve tekrar baş dönmesi yaratır; bu sefer ters yönde!

İnsanın kendi hareketlerinin izini sürerek tuttuğu kayıttan yönünü bulmak için yararlanabileceğine dair zekice bir kanıt, Tunus çölünde yaşayan karıncalardan geldi. Bu karıncalar yiyecek bulmak için çok uzaklara gider, yiyeceklerini yüklenip tekrar yuvalarına geri dönerler. Karıncalar yuvalarını bulmada çok başarılıdırlar ve yuvalarının yerini adımlarını sayarak buluyor gibidirler. Bunun doğruluğu karıncaların ayaklarına müdahale edilerek gerçekleştirilen yaratıcı bir deneyle kanıtlanmıştır. Bu deneyde bilim insanları, karıncaları yiyecek bulduktan sonra tam yuvalarına dönmek üzereyken yakaladılar. Karıncaların bazılarının bacaklarına domuz kılı yapıştırarak bacaklarını büyüttüler; bazılarının bacaklarını ise kırpıp küçülttüler. Deneyi gerçekleştirenler sonra karıncaları bıraktılar ve yuvalarını bulup bulamayacaklarını gözlemeye başladılar.

Ayaklı karıncalar yuvalarını ıskalayıp daha ileriye giderken, kırpık bacaklılar yuvalarından önce durdular; karıncaların bir şekilde adımlarını "saydıkları" ve adım ölçülerinin değiştiğinden haberdar olmadıkları varsayıldığında tam da gerçekleşmesi beklenen bir durumdu bu.

Beynimiz bütün bu farklı bilgi kaynaklarını birleştirirken, belirli ayrıntıların ötesine geçen bir mekân algısına temel hazırlar. Kafeye ister yürüyerek ister arabayla gideyim ister kuzeyden ister güneyden gideyim, kafenin kalıcı bir konumda olduğuna dair bir duygum vardır. Bu genel konum algısı, çeşitli yerler arasında yeni yollar, daha önce kullanmadığımız kestirmeler planlamamızı sağlar.

Yuvalarından uzakta yiyecek arayan organizmalar (veya çeşitli yerlerde yiyecek depolayan hayvanlar) aynı yere ulaşmak için tekrar tekrar yollarını bulmak zorundadırlar ve çoğu bu konum tahmini yeteneğine sahiptir. Çöl karıncaları bile bu yeteneğe sahip görünüyor, zira yiyecek arama yolculuklarında zikzaklar çiziyor ama yuvalarına kısa ve düz bir yoldan dönüyorlar.

İşte bu yönüyle, mekân algımız çoğunlukla hatırlanan bilgiye, önceki tespitlerden, gittiğimiz yolda attığımız adımların sayısından ve yolun istikametinden elde ettiğimiz bilgilerin hatırlanmasına dayanır.

## **Düşünmek Üzerine Düşünmek**

Zihin-beyin ilişkisini araştırmanın karşısındaki en büyük engel, denklemin yalnızca bir tarafını (zihni değil BEYİNİ) doğrudan ölçebiliyor

olmamızdır. Beyni ölçebilme yeteneğimiz şüphesiz etkileyicidir. Bunun sayısız örnekleri mevcuttur, ayrıca sinirbilim alanında yayın yapan bilimsel dergilerin sayfaları benzer birçok araştırmayla doludur.

Algı ile düşünceyi ayıran çizgi her zaman net olmayabilir. Rüya görürken, gerçek fiziksel olayların tetiklemediği ama o sırada son derece gerçekmiş gibi görünen çeşitli duygusal algı deneyimleri yaşarız. Şizofreni gibi zihinsel bozukluklarda hastalar halüsinasyonlar, düşünce süreçlerine zorla giren doğru olmayan algılar yaşarlar. Bu halüsinasyonlar ikna edici biçimde bir düşünceymiş gibi ortaya çıkabilir ve dışsal bir uyaran zannedilebilir. Aslında, gerçek ile hayali olanı birbirinden ayırt etme yetersizliği hastalığın tanımlayıcı bir özelliğidir.

Algılama ile düşünme arasındaki sınırın bu belirsizliği, algıladığımız şeyin düşündüğünüz şeyi veya düşündüğünüz şeyin algıladığınız şeyi biçimlendirmede önemli olduğu anlamını taşır.

Öfkeyi düşünmesi istenen denekler kırmızı renge karşı daha hassas hale gelirler (bu duyguyla özdeşleştirilen yaygın bir metafordur bu). Bazı araştırmalar da yalnızlık duygusunun (sosyal soğukluğun) düşünme fiziksel sıcaklığıyla giderilebildiğini göstermiştir.

Düşüncelerin algısal ve motor uyaranlarla harekete geçirilmesi, bunun yaratıcılıkla bir ilişkisinin olabileceğini gösteriyor. Zor bir sorun üzerinde çalışırken, nöral altyapıma yönelik duygusal ve motor talepleri sınırlamak için öncelikle çalışma mekânı olarak kütüphanenin sessiz ortamını tercih ederim. Ama takılıp kaldığımda, ayağa kalkıp etrafta dolaşmanın, duyularımı ve motor sistemlerimi kullanmanın ve deneyip doğru olmadığını anladığım düşünce örüntüsünden sıyrılmaya çalışmanın işe yaradığını biliyorum. Aslında bu, egzersizin bilişsel faaliyetlere önemli katkılarından biri olabilir: Zira egzersiz hem hareket hem de çoğunlukla mekân içindeki harekete eşlik eden zengin bir duygusal deneyim içerir.

## KAYNAKÇA

MEKÂN YARATMAK-Beyin Neyin Nerede Olduğunu Nasıl Biliyor?  
*(Making Space-How the Brain Knows Where Things Are?)*

\*Jennifer M. GROH

Çeviri:Gürol KOCA

Metis Yayınları- İlk Basım: Eylül 2016 (223 Sayfa)

\* **Jennifer M. GROH:** 1966 doğumlu, Princeton Üniversitesi biyoloji bölümünden mezun oldu. Doktora çalışmasını Stanford Üniversitesi'nde tamamladı. Halen Duke Üniversitesi Bilişsel Sinirbilim Merkezi'nde, Profesör olarak çalışmaktadır.