

Beynimiz Zekâmızı Sınırlıyor mu?

# Zekânın Sınırlarında

7,5 kg'lık beyni olan bir filin birkaç miligramlık beyni olan bir arıdan daha zeki olduğu söylenebilir mi? Birçok özellik bakımından benzer olmalarına karşın insan beynini diğer memelilerinkinden farklı kılan nedir? Beynimiz gelişimini sürdürecektir mi? Yoksa fiziksel sınırlara toslamış durumda mı? Teknolojik gelişimimiz ve sosyal iletişimimiz daha zeki bireylerin ortaya çıkmasına engel mi oluyor?

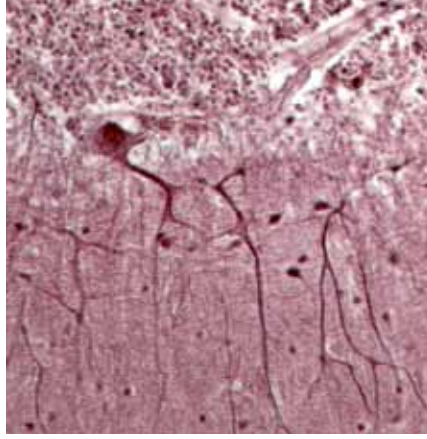


**B**eynimiz anlaşılması zor bir makine. Belki ona makine demek yanlış, çünkü mekanik aksamardan oluşmuyor. Beyin, yüz milyar kadar sinir hücresinin oluşturduğu karmaşık bir yapı. Her hücre 1000 ila 10.000 başka sinir hücresiyle iletişim halinde. Kendisi hareketli değil, ama elektriksel ve kimyasal yöntemlerle vücudun tüm işlevlerini yönetiyor. Beyin, bildiğimiz en iyi görüntü ve ses işleme makinesi. Bundan da öte, bilinç ve zekâ denen kavramlar beynin ürünü. Onun sayesinde düşünebilir, akıl yürütebilir ve karar verebiliriz. Eğer beyni bilgisayar donanımına benzetecek olursak, zekânın bilgisayar yazılımı olduğunu söyleyebiliriz. Elbette donanım ne kadar iyiye yazılım da o kadar verimli çalışacaktır.

İşlemci ve bellek ne kadar büyükse, yani sinir hücrelerinin sayısı ve aralarındaki bağlar ne kadar artarsa zekânın da aynı oranda artacağı düşünülebilir. Yani bundan binlerce yıl sonra daha büyük bir beyne sahip olursak daha zeki olacağımız düşünülebilir. Ancak araştırmalar gösteriyor ki, zekâ eninde sonunda fiziksel engellere tosluyor. Araştırmacılar donanımın yani beyin fiziksel yapısının zekânın daha fazla gelişmesine olanak vermeyeceğini düşünüyor.

Zekâ, insanların (ya da hayvanların) doğal ve sosyal çevrelerinde karşılaştıkları sorunları çözme başarısı olarak tanımlansa da ölçülmesi zor bir kavram. İnsanların problem çözmedeki başarısını ölçerek bireyler arasındaki zekâ farkı (en azından problem çözme başarıları) ölçülebilir. Ancak bir insanın zekâsı ile farklı beyin yapısına ve büyüklüğüne sahip bir canlının zekâsını karşılaştırmak kolay değil. Örneğin, bir arı yalnızca birkaç miligramlık (gramın binde biri) beyniyle bizim yapamadığımız birçok karmaşık işi yapabilir. Uçabilir, karmaşık coğrafyalarda yolunu bulabilir, koloninin diğer bireyleriyle sosyal iletişimini yönetebilir ve yaşamını sürdürülebilmek için tüm gereksinimlerini karşılayabilir. Yani küçücük beyninden olabilecek en etkin şekilde yararlandığı söylenebilir.

Eğer her şey beyin büyüklüğüyle ilişkili olsaydı, bir filin karada yaşayan canlıların en zekisi olması beklenirdi. Bu, filin beyninin içinin boş olduğu anlamına mı geliyor? Elbette değil. Geçtiğimiz yılın ortalarında *Scientific American* dergisinde yayımlanan bir yazıda bu konu ele alınıyor. Buna göre elektrokimyasal sinyaller bir filin beyninin bir ucundan diğerine bir arının beyninde olduğundan 100 kat uzun sürede ulaşıyor. Yine bir filin beyniyle ayakları arasındaki uzaklık nedeniyle sinyallerin gidip gelmesi bir arıda olduğundan çok daha uzun sürüyor. Arı beynini çok verimli kullanabilirken, filin devasa beyni birtakım fiziksel engeller nedeniyle ona bir arının beyninden çok daha fazlasını sağlayamıyor.



Yaklaşık 200 kez büyütülerek çekilen bu görüntüde beyin denge ve kas koordinasyonunu kontrol eden bölgesindeki sinir hücreleri görünüyor.

Arı ve fil aşırı uçtaki örnekler. İnsan beyni özellikle arınınkiyle kıyaslanamayacak kadar farklı. Ancak, benzer sınırlar insan beyni için de geçerli olmalı. İnsan tüm canlılar arasında farklı bir yerde duruyor. Kuşkuya yer bırakmayacak biçimde, tüm canlıların en zekisi olduğu düşünülüyor. Ama bu noktada bazı işaretleri beliriyor. Daha büyük bir beyni olsaydı ya da beyninde daha fazla sinir hücresi olsaydı daha zeki olabilir miydi? Bir gün daha da zeki hale gelebilir mi? Zekâ gereksinimi dışında, beyin büyüklüğünü belirleyen etkenler var mı?

Bir arının tıpkı bir fil gibi yaşamını sürdürecektir becerilere sahip olduğunu düşündüğümüzde beyin büyüklüğünün zekâda belirleyici olmadığı düşünülebilir. Örne-

ğin, bir ineğin bir fareden daha zeki olduğu söylenebilir mi? Bazı araştırmalar beyin büyüklüğüyle zekâ düzeyi arasında doğru orantı olduğunu söylese de, bir ineğin beyni bir fareninkinden 100 kat büyük olsa da bir ineğin bir fareden daha zeki olduğunu söylemek zor. Bir inek daha büyük beyine gereksinim duyuyor, çünkü bir ineğin beyni bir fareninkine göre çok daha büyük bir gövdeyi idare etmek zorunda. Çok daha fazla kas lifi, daha büyük bir göz daha fazla işlem gücü gerektiriyor.

Vücut büyüklüğüyle beyin büyüklüğü arasındaki ilişkiyi merak eden Eugene Dubois adlı paleontolog, 1892'de 3600 kadar hayvanın beyin ve vücut ağırlıklarını ölçmüş. Bunun sonucunda ikisi arasında matematiksel bir ilişki olduğu ortaya çıkmış. Buna göre vücut bir kat büyüdüğünde beyin yaklaşık 0,7 oranında büyüyor.

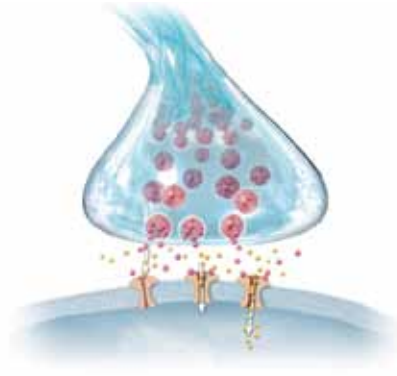
İşte bu aşamada zekâ ile beyin ve vücut büyüklüklerinin ilişkisini tanımlayan bir kavram tanımlanabiliyor. "Ensefalizasyon katsayısı" adı verilen bu kavram 0,7 oranından sapmayı veriyor. (Ensefalizasyon beyin, canlının baş kısmına yerleşmiş olması anlamına geliyor.) Bu katsayı, bir hayvanın zekâsını tanımlamada beyin/vücut oranına göre daha gerçekçi bir sonuç veriyor. Bu oran insanda en büyük değere ulaşıyor. İnsanın ensefalizasyon katsayısı 7,5. Buna göre beynimiz öngörülen 7,5 kat büyük. İnsandan sonra 5,3 katsayısı ile şişe burunlu yunuslar geliyor. Bazı primatların ensefalizasyon katsayıları da büyük. Ne var ki, ensefalizasyon katsayısı zekânın kesin bir göstergesi değil. Örneğin, bazı başlıklı maymunların ensefalizasyon katsayıları şempanzeler ve gorillerinkinden yüksek çıksa da bunların aslında çok da zeki olmadıkları biliniyor.

Düşünce, dil, yaratıcılık, problem çözme, akıl yürütme, planlama gibi gelişmiş bilişsel yetileri yöneten beyin kabuğunun (serebral korteks) büyüklük olarak beyne oranı zekânın bir göstergesi olabilir. Beyin kabuğu adından da anlaşılabilir üzere beyin dış kısmını sarar. Büyük memelilerin beyinlerinin dış kısımları kıvrımlıdır. Bu kıvrımlar beyin kabuğunun alanının, düz yani kıvrımsız bir beyninkinden daha yüksek olmasını sağlar.



Kıvrımlar kadar beyin kabuğunun kalınlığı da önemli. Çünkü daha kalın bir beyin kabuğu, daha yüksek sayıda sinir hücresi demek. Beyin kabuğunun kalınlığı deniz memelilerinde ve fillerde 1,2 mm civarındayken primatlarda 2-3 mm arasında değişir. İnsandaysa beyin kabuğunun kalınlığı 2 ila 4 mm kadardır. Beyin kabuğunun bir kalınlığı olması, alanı artıkaçça hacminin de arttığı anlamına gelir.

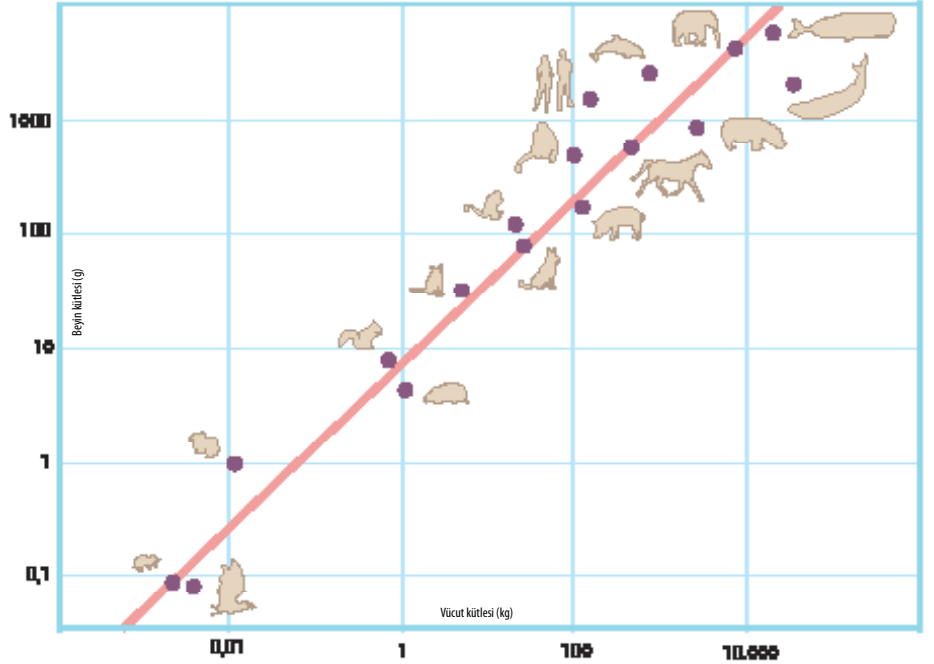
Beyindeki sinir hücresi sayısını belirleyen bir başka etkense sinir hücresi yoğunluğu. Diğer hayvanlarla kıyaslandığında, beyin kabuğundaki en yüksek sinir hücresi yoğunluğu insanda bulunuyor. Beyin kabuğunun kalınlığını da hesaba katınca insanın beyin kabuğundaki sinir hücresi sayısının tüm hayvanlarınkinden fazla olduğu ortaya çıkıyor. Ne var ki, sinir hücresi sayısı bakımından büyük deniz memelileri ve fillerle aramızda büyük bir fark yok. Yani zekânın sinir hücresi sayısıyla doğrudan ilişkili olduğunu söylemek zor. Sinir hücresi bakımından bize yakın olsalar da, bu hayvanlarla aramızdaki en büyük fark beyin hacmi. İnsandaki sinir hücreleri daha küçük bir hacme sıkışmış durumda.



Sinir hücreleri akson adı verilen uzantılara sahiptir. Aksonların uçları diğer hücrelerle bağlantıyı sağlayacak şekilde dallanır. İletişim sinapsı adı verilen, bu konuda uzmanlaşmış bağlantı noktalarıyla kimyasal ya da elektriksel olarak sağlanır.

## Bağlantıda

Beyin en çok iletişim için enerji harcar. Bir insanın beyin kabuğunda kullanılan enerjinin % 80'inden iletişim faaliyetleri sorumludur. Beyin büyüklüğü arttıkça sinir hücreleri arasındaki bağlantıların sağlanması da çeşitli nedenlerle zorlaşır.



Bu grafik, bazı memelilerin beyin kütlelerinin vücut kütleleriyle ilişkisini gösteriyor. Vücut bir birim büyüyünce beyin  $\frac{3}{4}$  oranında büyüyor. Doğal olarak büyük gövdeli hayvanların beyinleri de büyük. Ancak bu onların daha zeki oldukları anlamına gelmiyor. Beyin/vücut oranı büyük olan hayvanlar genellikle daha zeki.  $\frac{3}{4}$  oranından (grafikteki pembe çizgi) sapma miktarıyla bir hayvanın zekâsını tanımlamada beyin/vücut oranına göre daha gerçekçi bir sonuç veriyor. Ensefalizasyon katsayısı olarak adlandırılan bu değer insanda en büyük. İnsandan sonra şifş burunlu yunuslar geliyor.

Sinir hücreleri, akson adı verilen uzantılara sahiptir. Aksonların uçları diğer hücrelerle bağlantıyı sağlayacak şekilde dallanır. Tıpkı telefon telleri gibi beyin çeşitli bölümlerini ya da demetler şeklinde bir araya gelerek beyinle vücudun çeşitli yerlerini birbirine bağlar. İletişim sinapsı adı verilen, bu konuda uzmanlaşmış bağlantı noktalarıyla kimyasal ya da elektriksel olarak sağlanır.

Bilim insanları yüz yılı aşkın bir süredir iletişimi sağlayan aksonların ve sinapsların özelliklerini anlamak için uğraşılıyor. Çeşitli hayvanların ve insanın beyni üzerinde yapılan çok sayıda araştırma, beyin büyüklüğüyle işlevselliği arasındaki ilişkiyi anlamamıza olanak sağlıyor. Öncelikle, beyin büyüdükçe sinir hücrelerinin büyüklükleri de artıyor. Bunun bir sonucu olarak beyin büyüdükçe beyin kabuğundaki sinir hücresi yoğunluğu azalıyor. Hücreler arasındaki mesafeler artıyor ve bu hücreleri birbirine bağlayan aksonların boyları uzuyor. Uzun aksonların iletildiği sinyallerde gecikme yaşanmaması için aksonlar daha kalın oluyor. Çünkü kalın aksonlar sinyalleri daha hızlı taşıyor.

Araştırmacılar farklı hayvan türlerinde beyin büyüdükçe beynin belli bölümlerinin belli görevler üstlendiğini buldu. Örneğin beynimizin belli bir bölümü konuşma üzerine uzmanlaşmışken bir başka bölümü yüz tanıma üzerine uzmanlaşmıştır. Büyük beyinli hayvanların beyinlerinin sağ ve sol yarılarında da bu özelleşme görülür. Beynin uzmanlaşmış bölgelere sahip oluşu, yakın zaman kadar yalnızca zekânın bir işareti olarak görülüyordu. Bu hâlâ geçerli, ama güncel araştırmalar uzmanlaşmanın asıl nedeninin uzak bölgeler arasındaki iletişim sorunu olduğunu ortaya koyuyor. Bir farenin beynindeki beyin hücreleri arasında sağlıklı bağlantılar kurulması için özelleşmeye gerek yok. Ancak bir inek beyninin aynı performansı gösterebilmesi için benzer işlevler yapan sinir hücrelerinin belli bölgelerde toplanması gerekiyor. Bu bölgelerdeki sinir hücreleri arasında sıkı bağlar bulunurken, uzak bölgeleri birbirine bağlayan bağların sayısı çok daha az. Yine beynin iki yarısı birbirleriyle olabildiğince az bağlantıya ihtiyaç duyacak şekilde yapılmış durumda. Tüm bunlar iletişimin daha verimli gerçekleşebilmesi için.

Akson kalınlığı ile iletişim hızı arasındaki ilişkiyi ölçmek için yapılan deneyler beyin büyüklüğü arttıkça akson kalınlığının da arttığını gösteriyor. Ne var ki bu artış beyin büyüdükçe düşen iletişim performansını karşılamaya bile yetmiyor. Aksonların kalınlığının beyin büyüklüğü artışından daha yavaş artması yer ve enerji tasarrufu sağlıyor. Çünkü bir aksonun kalınlığının iki katına çıkması, iki kat enerji harcayacağı anlamına geliyor. Buna karşın sinyal hızı sadece % 40 kadar artıyor.

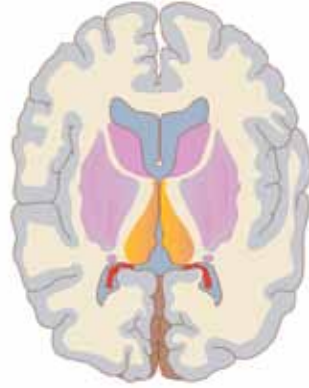
Beyindeki sinir hücrelerinin çekirdekleri beyin kabuğunda yoğunlaşmış durumda. Hücrelerin aksonlarıysa çoğunlukla kabuğun altında bulunuyor. Hücreler gri (gri madde), aksonlarsa onları kaplayan yalıtkan madde olan myelin nedeniyle beyaz (beyaz madde) renkte.

Beyin büyüdükçe gri madde ve beyaz madde aynı oranda büyümüyor. Büyük beyinlerdeki beyaz maddenin oranı daha büyük. Bu da şu anlama geliyor: Beyin büyüdükçe hacmin çoğu işlem yapmak için değil, “kablo” oluşturmak için kullanılıyor. Beyin büyüdükçe verimin düştüğünün bir göstergesi daha.

Hayvanlar âleminin en zeki bireyleri olan primatların beynini inceleyen araştırmacılar beyin büyüklüğüyle sinir hücresi büyüklüğü arasında doğrudan bir ilişki olmadığını gördüler. Primatlarda beyin büyüklüğü türden türe değişse de, sinir hücreleri genellikle aynı büyüklükte ve aynı yoğunlukta bulunuyor. Ancak bazı hücreler iletişimin sağlıklı yürütülebilmesi için daha büyük olabiliyor. Farklı iki primat türünü düşünürsek, eğer birinin beyni diğerinin iki katı büyüklükteyse, içerdiği sinir hücresi miktarı da kabaca iki katı kadar oluyor. Ama örneğin kemirgenlerde beyin büyüklüğü iki katına çıktığında içerdiği sinir hücresi sayısı % 60 artıyor. Bir insanın beyni ortalama 1,4 kg geliyor ve yaklaşık 100 milyar sinir hücresinden oluşuyor. Beyin iki katına çıktığında sinir hücresi artışının % 60 olduğunu göz önünde bulundurursak, bir kemirgenin 100 milyar sinir hücresine sahip olabilmesi için beyninin 45 kg olması gerekirdi. Elbette bu kadar büyük bir beynin enerji gereksinimi-

ni karşılayacak mekanizmalar hiçbir hayvanda yok. Vanderbilt Üniversitesi'nden sinirbilimci Jon H. Kaas'a göre büyük kemirgenlerin küçüklerinden daha zeki olmasının nedeni de bu.

Küçük ve yoğun olarak paketlenmiş sinir hücrelerinin zekâ düzeyinde önemli bir etken olduğu anlaşılıyor. Sinirbilimciler, nöron sayısı ve bu nöronlar arasındaki iletişim hızının zekânın gelişimi için en önemli iki etken olduğunu ve bunların ölçümünün zekânın ölçümünde ensefalizasyon katsayısından daha etkili olduğunu belirtiyor.



Beyindeki sinir hücrelerinin çekirdekleri beyin kabuğunda yoğunlaşmıştır. Beynin bu bölgesi gri renkte görünür. Beyaz bölge çoğunlukla sinyalleri taşıyan aksonlardan oluşur.

İri beyinli hayvanlar arasında fille rin ve balinaların zekâsının ortalamanın üzerinde olduğu söylenebilir. Ancak büyük beyinlerine karşın zekâ konusunda primatlarla kıyaslanamazlar. Çünkü beyinlerini oluşturan nöronlar büyüktür. Dolayısıyla sinir hücresi sayısı azdır ve aralarındaki mesafeler büyüktür. Yani beyinlerinin çok da verimli çalıştığı söylenemez.

Peki, bu iki özellik yani sinir hücresi büyüklüğü ve aralarındaki mesafeler insandan insana değişim gösteriyor mu? Bu konuda yapılmış araştırmalar var. 2009 yılında işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) ile insanların beyin etkinliklerini inceleyen Hollandalı bir ekip beynin farklı bölgelerinin birbiriyle nasıl iletişim kurduğunu ortaya çıkarmaya çalıştı. Araştırma, beynindeki iletişim yolları hızlı olan insanların daha

zeki olduğunu gösterdi. Aynı yıl Cambridge Üniversitesi'nde yapılan bir başka araştırma da benzer sonuçlar ortaya koydu. Bu araştırmanın yöntemi biraz farklıydı. 29 sağlıklı insanın işleyen belleğini bir seferde kaç farklı sayı ezberleyebildiklerine bakarak karşılaştırdılar. Deneklerin beyinlerinin farklı bölgele rinin birbirleriyle iletişim hızı kafataslarına yerleştirilen elektrotlar yardımıyla ölçüldü. Araştırma gösterdi ki en güçlü bellek, iletişimin en kısa yoldan sağlandığı beyinlere sahip bireylerde bulunuyor.

Özetle, beyin büyüklüğü arttıkça bölgeler arasındaki bağlantılar sınırlandırılarak enerji ve yer kazanılıyor. Görece büyük olan insan beyninde bu bağlantılardan da görece az bulunuyor. Bu iki çalışma, zeki insanların beyinlerinin farklı bölgelerini bağlayan “kabloların” daha sağlam olduğunu gösteriyor. Kaynaklardan tasarruf etmek için bu bağlantıların bir kısmından fedakârlık etmek, zekâdan ödün vermek anlamına geliyor.

## Zekânın Tasarımı

Eğer zekâ düzeyini sinir hücreleri ve farklı beyin bölgeleri arasındaki iletişim yeteneği belirliyorsak bunun için ideal tasarım nasıl olmalı? Daha küçük nöronların birbirlerine yakın konumları sayesinde daha hızlı iletişim kuracakları, aynı zamanda da bunun için daha az kaynağa gereksinim duyacakları düşünülebilir. Ayrıca iletişimin daha hızlı olması için aksonların buna göre gelişmesi (kaynakların verimli kullanımını da düşünürsek daha ince ama daha hızlı sinyal iletebilir olmaları) beklenebilir. Ancak sinir hücrelerinin büyüklüklerini ve aksonların sinyal taşıma becerilerini sınırlandıran bazı etkenler var.

Bu etkenlerden en önemlisi sinir hücrelerinin “iyon kanalları” olarak adlandırılan ve elektrik sinyallerini üretmede kullandıkları proteinlerle ilgili. İyon kanalları molekül yapılarındaki kıvrımların açılıp kapanmasıyla çalışan küçük birer musluk gibidir. Açık olduklarında sodyum, potasyum ya da kalsiyum

iyonlarının hücre zarlarından geçmesi-ne izin vererek sinir hücrelerinin birbirleriyle haberleşmesini sağlayan elektrik sinyallerini üretirler. Ne var ki, kanallar en küçük bir etkiyle açılıp kapanabilir. Yani çok da güvenilir değildir. Kanallar küçük voltaj değişimleriyle açılıp kapanabilir. Ancak bir elektrik düğmesinde olduğu gibi sağlıklı bir şekilde çalışmazlar. Sürekli açılıp kapanabilirler ya da açılmaları gereken zamanda açılmayabilirler. Uyarılmaları açılmaya eğilimlerini artırır. Bu kanalların bu kadar karasız oluşunun bir nedeni var: Elbette yine enerji tasarrufu. Bir kanalın duyarlı bir şekilde açılıp kapanması için daha yüksek enerji gerekirdi. Örneğin bir elektrik düğmesinin yayını en küçük bir dokunmayla açılıp kapanabilecek kadar gevşek yaparsanız, eğer ortam kalabalık-sa düğme durmadan açılıp kapanabilir. Yayını sert yaparsanız düğmeye basmak için daha çok enerji gerekir.



Beyin kabuğundaki sinir hücrelerinin taramalı elektron mikroskopuyla çekilmiş görüntüsü. Fotoğraftaki renkler gerçek renkleri yansıtmıyor. Hücrelerin çekirdeklerinin bulunduğu ana gövdeleri sarı renkte, aksonlar ve dendrit adı verilen ince dallar yeşil görünüyor.

Peki, bu kadar güvenilir olmayan bir sistemle iletişim nasıl sağlanabilir? Bir sinir hücresinde iyon kanallarının açılıp kapanmasını küçük elektrik sinyalleri sağlar. Ne kadar çok iyon kanalı aynı anda çalışırsa sonuç o kadar güvenilir-dir. Tıpkı bir anket çalışmasında olduğu

gibi... Bir soruyu ne kadar çok sayıda de-neğe sorarsanız sonuçta gerçeğe o kadar yakın bir yanıt elde edersiniz. Yani ne kadar çok iyon kanalı "oy verirse" hücrenin sinyal üretip üretmeyeceğine o kadar doğru bir şekilde karar verilmiş olur.

Durum böyle olunca sinir hücreleri küçüldükçe birtakım sorunlar ortaya çıkar. Çünkü sinyalleri taşıyacak iyon kanallarının sayısı hücrenin büyüklüğüne bağlıdır. Hücre küçüldükçe hata yapma olasılığı artar. Cambridge Üniversitesi'nden Simon B. Laughlin ve arkadaşları iyon kanallarının işlevini sürdürebilmesi ön şartıyla aksonların ne kadar ince olabileceğini bulmaya çalışmış. 2007 yılında yayımlanan bu çalışmada aksonların çapları 150-200 nanometreden küçük olduğunda sinyallerde aşırı derecede parazit olduğu ortaya çıkmış. Bu büyüklüğün altında, aksonlar o kadar düşük sayıda iyon kanalı içeriyor ki, hücreden talimat gelme de tek bir kanaldan atışlenen iyon, aksonun yanlış sinyal ilemesine yol açabiliyor. Beynimizdeki en küçük nöronlar beyin kabuğundaki gri maddede bulunuyor ve Laughlin'e göre bunların aksonları hali hazırda fiziksel sınıra yakın bir değerde çalışıyor.

Aslında sinyal iletimi, enerji ve parazit konuları yalnızca beynimizin sorununu değil. Bilgisayarlardan çeşitli iletişim araçlarına kadar birçok aygıt için benzer sorunlar var. Elektronik aygıtlardaki transistörler tıpkı iyon kanallarının yaptığı gibi elektrik sinyallerini kontrol eden bekçilerdir. Bir bilgisayar bunlardan milyarlarcasını içerir. Bu nedenle ne kadar küçük olurlarsa ve ne kadar verimli çalışırlarsa bilgisayarlar da o kadar küçülür ve bir o kadar az enerji harcar. Bu nedenle bilgisayar mühendislerinin en büyük çabası hep transistörleri küçültmek ve onları olabildiğince küçük bir hacme sıkıştırmak olmuştur. Daha çok transistör daha hızlı bilgisayarlar anlamına geliyordu. Mühendisler önmüzdeki 10 ila 20 yıl içinde transistörlerin artık daha fazla küçültülemeyeceğini belirtiyor. Çünkü yaklaşık 10 nanometreye kadar küçültüldüklerinde açma ka-

pama işlerini yeterli duyarlılıkla yapamıyor olacaklar. Bu aşamada büyük olasılıkla bilgisayar yongalarının tasarımında farklı teknolojiler kullanılacak. Belki de kuantum bilgisayarlar sayesinde artık silisyum transistörlere de gerek kalmayacak. Ne var ki beynimizin yeniden tasarlanması mümkün görünmüyor.

Bilim insanları insan beyninin ideal yapıya oldukça yakın olduğunu düşünüyor. Ancak yine de sınıra dayandığımızı söylemek zor, çünkü kesin bir sınır tanımlanamıyor. Daha gelişmiş bir beynin kuşkusuz bazı fazladan maliyetleri olurdu. Beynimiz biyolojik olarak daha fazla gelişme de, insan aklı giderek geliyor. Bunun biyolojik evrimden çok daha hızlı olduğu bir gerçek.

Arılar ya da başka sosyal hayvanlar topluluk olarak yaşarken, bireylerinin toplam becerisinden çok daha fazlasını sergileyebiliyorlar. İnsanlar da sosyal canlılar olarak ortak bir havuzdaki bilgi birikiminden yararlanmayı öğrenmiş. Yani bireylerin zekâlarını geliştirmeleri için zorlayıcı mekanizmalar büyük ölçüde ortadan kalkmış durumda.

Günümüzde bu bilgi havuzuna çok kolay ulaşabiliyoruz. İhtiyacımız olan her bilgiyi beynimizde depolamak zorunda kalmıyoruz. Bilgisayarlar ve internet sayesinde, zekâmızın artık beynimizin dışında gelişebildiği düşünülüyor. Bir başka deyişle, bu teknolojiler sayesinde zekânın paylaşılabildiği ve bireylerin daha gelişmiş beyinlere sahip olmasına ve daha zeki olmalarına gerek kalmadığı da ifade ediliyor.

#### Kaynaklar

- Attwell, D., Laughlin, S.B., "An Energy Budget for Signaling in the Grey Matter of the Brain", *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* Cilt 21, 1133-1145, 2001.  
 Faisal, A. A., White, J. A., Laughlin, S. B., "Ion-channel Noise Places Limits on the Miniaturization of the Brain's Wiring", *Current Biology*, Cilt 15, s. 1143-1149, 2005.  
 Fox, D., "The Limits of Intelligence", *Scientific American*, Temmuz 2011.  
 Herculano-Houzel, S., Collins, C. E., Wong, P., Kaas, J. E., "Cellular Scaling Rules for Primate Brains", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Cilt 104, Sayı 9, s. 3562-3567, 27 Şubat 2007.  
 Heuvel, M. P., Stam, C. J., Kahn, R. S., Hilleke, E., "Efficiency of Functional Brain Networks and Intellectual Performance", *Journal of Neuroscience*, Cilt 29, Sayı 23, s. 7619-7624, 10 Haziran 2009.  
 McDaniel, M., "Big-brained People are Smarter: A Meta-analysis of the Relationship Between in vivo Brain Volume and Intelligence", *Intelligence*, Sayı 33, s. 337-346, 2005.  
 Roth, G., Dicke, U., "Evolution of Brain and Intelligence", *Trends in Cognitive Science*, 5 Mayıs 2005.