

# Beyindeki Trafik Işıkları

Hayatta çok şey olup bitiyor, seçeneklerimiz sonsuz. Ama bir sınır var:  
Bunların arasından bir defada sadece birini seçebiliriz.  
Mesela aynı anda iki farklı noktada bulunamayız, düşünce taşına ya da acele seçim yapmamız gerekir.  
İşte bu noktada, yanıtlanmayı bekleyen bir soru var.  
Beyin, onca farklı seçenek arasından neye göre seçim yapıyor?

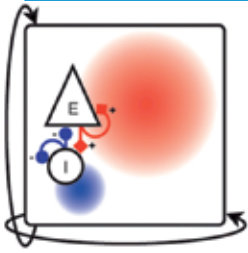
**B**ernstein Sinirbilim ve Biyofizik Merkezi'nde (Biyoloji Fakültesi, Freiburg Üniversitesi) yapılan araştırmanın amacı basit: Karar veren insanın beyinde, moleküler düzeyde neler olduğunu anlamak. İlk bulgulara bakılırsa, nöronlar arası haberleşmede yaşanan aşırı hızlı değişim makro ölçekte verilen kararları etkiliyor. Başka bir deyişle, düşünce taşına veya önemsemeden, hızla verdiğimiz kararlar nöronlar arasında gelişen, şimdilik ayrıntılarını bilemediğimiz, gizemli bir trafiğin sonucu olabilir. Mevcut yaklaşıma göre, farklı nöron ağlarının gönderdiği sinyaller arasındaki rekabet karar verme mekanizmasının temelini oluşturuyor. Yani "sinyaller arasındaki rekabetin sonunda kazanan sinyalin dediği oluyor" diye özetleyebileceğimiz bir yaklaşım. Ancak hücre seviyesinde bakıldığında bu yaklaşımın yanıtlayamadığı bir çok soru var.

Tek hücreli organizmalar, örneğin bakteriler için geçerli olmayan "nöral etkileşim" yaklaşımı, hem çok hücreli hem de hareket edebilen canlılar, örneğin insanlar için kullanışlı olabilir. Çünkü daha genel bir çerçevede, karar verme sürecinin seçicilik birçok küme arasından evrilerek şekillendiğini söyleyebiliriz. İyi de, bu seçim hangi mekanizmayla yapılıyor? Kararımızı belirleyen ne? İnsan beyni yapısal ve işlevsel bir karmaşa, bunu hepimiz biliyoruz. Bernstein Sinirbilim ve Biyofizik Merkezi'nden Kremkow ve ekibi de işte bu nedenle araştırmalarını daha basit ve kontrollü bir ortamda, bilgisayarda yapmayı seçiyor. Araştırma ekibi, karar sürecinin hücresel düzeyde nasıl geliştiğini açıklamak için bilgisayar teknolojilerinden, sayısal modellerden ve simülasyonlardan yararlanıyor.

## Beyindeki önemli yapılar

Aslında makro düzeyde bakacak olursak, karar verme ve beyin anatomisi konusunda başarılı araştırmalar var. Knutson ve arkadaşlarının (2009) *Neuron*'da yayımlanan çalışması buna iyi bir örnek. Knutson ve ekibi herhangi bir şeyi satın alıp almamaya karar verirken beyinde hangi bölgelelerin etkinleştiği sorusu üzerine çalıştı. Elde edilen bulgular hayli ilginç. Diyelim ki marketin rafında bir paket çikolata gördük, canımız çekti ve almak istedik. Yaptıklarımızdan zevk almamızı sağlayan, haz merkezi adı da verilen Beyin Ödül Sistemi doğrudan harekete geçer; (Beyin Ödül Sistemi, nükleüs akkübens ve amygdala gibi beyinin birçok bölgesini içeren ve sinir sistemi gelişmiş organizmaların "zevk" almasından sorumlu bir sistemdir) bunu nükleüs akkübens (NAcc) adı verilen yapının fMRI altında ışıldamasından anlıyoruz. Bu hareketlenme çikolatayı alıp tüketmek için motivasyon sağlar. Tam elimizi çikolata kutusuna doğru uzatacakken rafın üzerindeki fiyat etiketi dikkatimizi çeker: 23 TL! Bir çikolata için 23 TL verilir mi, diye sorarız kendimize. Eğer cevabımız hayırsa, beynimizdeki insula adı verilen yapıda engelleyici sonuca yol açacak bir hareketlenme izlenir. Nasıl nükleüs akkübensin (NAcc) hareketlenmesi yeşil ışık anlamına geliyorsa, insulanın etkinleşmesi de kırmızı ışık anlamına gelmektedir. Yan rafa yönelip 2 TL'lik bir çikolata kutusuna uzandığımızda insulanın herhangi bir engellemesi ile karşılaşmadan çikolatayı alırız. Satın alma kararını verirken son olarak prefrontal kortekste meydana gelen etkinleşme de önemlidir. Bu etkinleşme bilinç-





**Nöron ağı modelinin özeti**

E ile gösterilenler uyarıcı nöronları, I ile gösterilenlerse kısıtlayıcı nöronları temsil ediyor. Bu nöral ağı eksi ve artı kutupları olan bir devre gibi yorumlayabiliriz. Uyarıcı nöronlar uyarıcı ilettikleri yer üzerinde etkinleştirici etki yaparken kısıtlayıcı nöronlar tersi yönde etki ederek durdurucu veya etkinliği azaltıcı görev üstlenecektir.



**Nöron sayısı zaman grafiği**

Beynin alternatifler arasından nasıl seçim yaptığını, çözümü nasıl ulaştığını açıklamayı deneyen onlarca mekanizma önerildi, ama sistemin nasıl çalıştığı henüz bilinmiyor. Sarı ile gösterilen uyarıcı nöronlar geçişin açık ve kapalı olduğu durumlarda etkinleşirken, yeşil ile gösterilen geçiş nöronlarının etkinleşmesi gri ile gösterilen alıcı nöronların da etkinleşmesini sağlıyor. (Alt Solda)

**Nöron sayısı zaman grafiği**

Üstteki şekilde görülen grafik kapalı bir geçiş yerini temsil ediyor. Şekilde görülen geçiş yerindeki yeşil ile gösterilen geçiş nöronlarında düşük düzeyde etkinlik var, dolayısıyla gri ile gösterilen alıcı nöronlar hemen hiç etkinleşmemiş durumda. (Alt ortada)

Şekillerde görüldüğü gibi geçiş görevi yapan nöronlar farklı sinyallerin iletilip iletilmemesini kontrol ediyor olabilir. Geçiş nöronlarının uyarılması nöral ağı kapılarının açılmasını dolayısıyla kararın verilmesini sağlıyor olabilir.

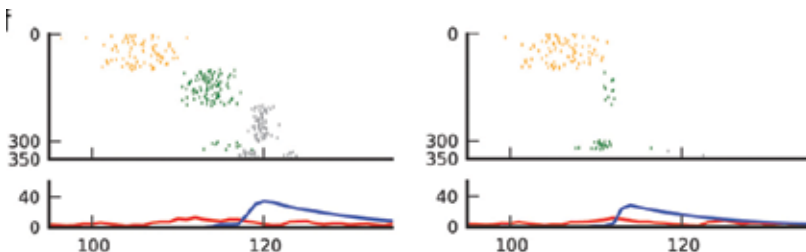
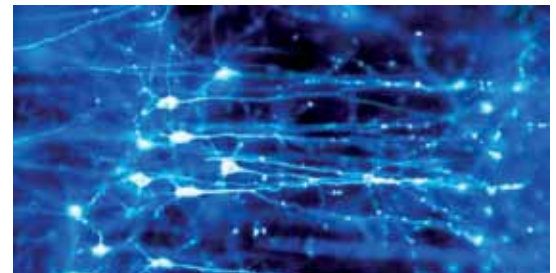
li olarak karar vermemizin sonucudur. Literatürde makro düzeyde karar verme konusunda çok sayıda araştırma olduğunu söyledik, ama karar verme süreci mikro seviyede yani hücresel seviyede nasıl gerçekleşiyor olabilir? Yani yukarıda anlattığımız gibi beyin yapılarında hareketlenmeye yol açmak için, nöron seviyesinde nasıl bir etkileşim gerekir?

**Beyin seviyesinden nöron seviyesine**

İnsan beyni 80-90 milyar kadar nörondan ve bir o kadar da glial yapıdan oluşur. Sinir sistemimizin temel işlevsel yapıları olan, 100 milyara yakın nöron beynimizi sarmış durumdadır. Bir nöronun temel görevi gelen sinirsel iletiyi bir sonraki nörona iletmezdir. Önce dendrit üzerinden alınan sinyal akson boyunca elektriksel olarak iletilir, sonra akson ucundan diğer nöronun dendritine kimyasal yolla iletilir. Burada önemli olan nokta beynimizin her türlü uyarıyı, ister ses olsun (köpek havlaması) ister görüntü (köpeğin kendisi), böyle sinyallere çevirmesi ve haberleşmeyi sinyaller üzerinden yapmasıdır. Gerekli uyarının meydana gelmesi için uyarının eşik seviyesinin üzerine çıkması gerekir. Uyarın bu seviyenin üzerine çıktığı anda nöron ateşlemesi başlar: Pat... pat... pat... pat... Spayk adı verilen nöron uyarıları peş peşe gelir. Eğer uyarının sıklığı artarsa bu



bilgi doğrudan nöron ateşlemesine yansır ve aralıklar daralır: Pat, pat, pat, pat, pat. 90 milyar civarında nöronun önemli bir kısmında meydana gelen bu spaykları düşünecek olursak, durumun ne kadar zor ve sistemin ne kadar karmaşık olduğu anlaşılır. İşin kötü yanı görsel, işitsel, dilsel bütün zihinsel faaliyetlerimizi bu sistem üzerinden yürütmek durumundayız. İşte Kremkow ve ekibi, karar verme sürecinin temelini bu patlamalar arasındaki ilişkiler üzerinden açıklamayı hedefledi.





## Sen dur, sen geç

Araştırmacıların kullandıkları model, gerçek nöronların en önemli işlevine, komşu nöronlarla uyarıcı veya kısıtlayıcı olarak etkileşmesine odaklanıyor. Birbirine bağlı binlerce nörondan oluşan bu sanal sinir ağında geçişten ve iletimden sorumlu nöronlar kilit öneme sahip görünüyor. Çünkü nöronlar arasındaki sinyaller, bu modele göre, “geçiş” yerlerine uyarıcı nöronların etkisiyle anında ya da tam terine kısıtlayıcı nöronların etkisiyle gecikerek ulaşıyor. Bu gecikme, kararlarımızı etkiliyor olmasın?

Ekip bu modelde 5625 kısıtlayıcı ve 22.500 uyarıcı olmak üzere, toplam 28.125 nöron kullanmış. Phyton ve NEST üzerinde gerçekleştirilen simülasyonda nöronların etkileşimi için zaman aralığı milisaniye seviyesinde belirlenmiş. Bu simülasyonda ağ içindeki etkileşimin temel parametresi uyarıcı ve kısıtlayıcı nöronların yol açtığı geçici gecikmeler. Bu geçici gecikmeleri sistematik bir şekilde inceleyebilmek için araştırmacılar geniş çaplı bir tekrarlanan korteks ağ modeli kullanmış. Uyarıcı nöronlar, sinyalleri kendilerinden sonraki nöronlar aracılığıyla geçiş bölgesine kadar iletebiliyor. Kısıtlayıcı nöronlar ise stratejik sinyallerle geçiş nöronlarına sinyal gönderebiliyor. Uyarıcı nöronlar oldukça esnek bir şekilde geçiş nöronlarına sürekli sinyal gönderir durumda.

Gözlemler, çok kısa süreli gecikmelerde nöronlar arasındaki akışın aynen sürdüğünü gösteriyor.

Daha uzun süreli gecikmelerde başka yolların (yani kararların) seçimi söz konusu oluyor, yani doğal olarak akış değişiyor. Araştırmacılar bu gözlemin, gecikme etkisiyle beliren (veya kaybolan) geçişlere ilişkin nörofizyolojik bulgularla örtüştüğü görüşünde. Hipotezi destekleyecek daha fazla bulgu gerektiği açık, ama Kremkow ve ekibi doğru iz üzerinde olabilir. Yang ve arkadaşlarının hücre seviyesindeki deneysel bulguları, hayvanların milisaniye ölçeğinde karar verdiği görüşünü destekliyor.

## Trafikte kararsız kalmamalı

Sonuç olarak karar denen şey, süregelen zihinsel süreçlerin çok kısa bir süre için de olsa sekteye uğraması, bu süreçler arasında boşluklar oluşması, saniyeden kısa süren durum değerlendirmeyle gidilecek yolun seçilmesi belki de. Bu durum, trafikte sarı ışıkta yavaşlamamıza, kırmızı ışıkta durmamıza, yeşil ışıkta tekrar harekete geçmemize benziyor. Beynimizdeki kırmızı ışıklar kararlarımızı etkiliyor, hatta kararsızlığımızın altyapısını hazırlıyor olabilir. Araştırmacılar için buna karar vermek, görüldüğünden çok daha zor.

### Kaynaklar

Kremkow, J., Aertsen, A., Kumar, A., “Gating of Signal Propagation in Spiking Neural Networks by Balanced and Correlated Excitation and Inhibition” *Journal of Neuroscience*, Cilt 30, Sayı 47, 2010. (15760 DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3874-10.2010)

Knutson, B., Rick, S., Wimmer, E., Prelec, D., Loewenstein, G., “Neural Predictors of Purchases”, *Neuron*, Sayı 53, s. 147-156, 2007.



Tuna Çakar, 2004'te Sabancı Üniversitesi Biyolojik Bilimleri ve Biyomühendislik Programı'ndan lisans derecesini, 2009'da Boğaziçi Üniversitesi Bilişsel Bilimler Programı'ndan yüksek lisans derecesini aldı. ODTÜ Bilişsel Bilimler Programı'nda doktora çalışmalarına devam ediyor. Karar verme süreçleri ilgi alanları arasında. cakar.tuna@gmail.com

