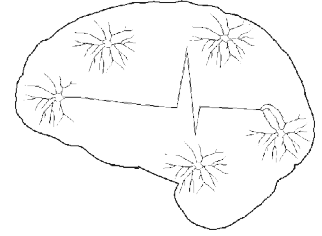


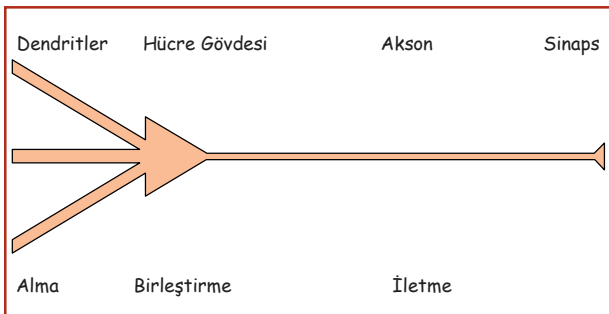
# Nöronlar ve Aksiyon Potansiyeli



Nöronlar (sinir hücreleri) ister duyu veya motor isterse küçük veya büyük olsunlar, hepsi benzer elektriksel ve kimyasal aktivitelere sahiptir. Nöronlar bir kurumda çalışan bireylerin karar alma süreçlerinde birlikte ve birbirleriyle yarışarak çalışmalarına benzer şekilde, sinir sisteminin tüm durumlarını düzenlemek için hem birlikte çalışırlar hem de birbirleri ile yarışırırlar. Aksonların gönderdiği kimyasal sinyaller dendritlerce alınıp elektriksel sinyallere dönüştürülür ve sinyalin gideceği yere iletilip iletilmeyeceğine karar vermek üzere tüm diğer sinapslardan gelen elektriksel sinyallere eklenir veya onlardan çıkarılır. Daha sonra elektriksel potansiyeller, akson boyunca komşu nöronun dendritleri üzerinde bulunan sinapslara doğru iletilirler ve bu süreç aynen tekrarlanır.

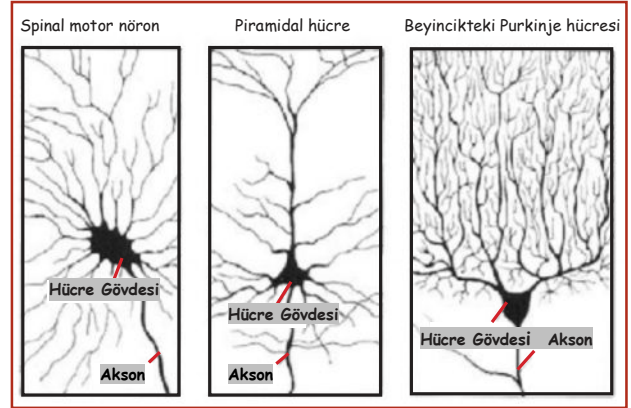
## Dinamik nöron

Son bölümde anlattığımız gibi bir nöron **dendritlerden**, bir **hücre gövdesinden**, bir **akson** ve **sinaptik sonlanmalardan** oluşur. Bu yapılanma onun fonksiyonlarının sinyallerin alınması, birleştirilmesi ve iletilmesi şeklinde alt bölümlere ayrıldığını gösterir. Kabaca söylemek gerekirse dendritler sinyalleri alır, hücre gövdesi birleştirir ve aksonlar iletir. Aksonların bilgiyi sadece bir yönde iletmeleri nedeniyle bu durum **polarizasyon** olarak adlandırılır.



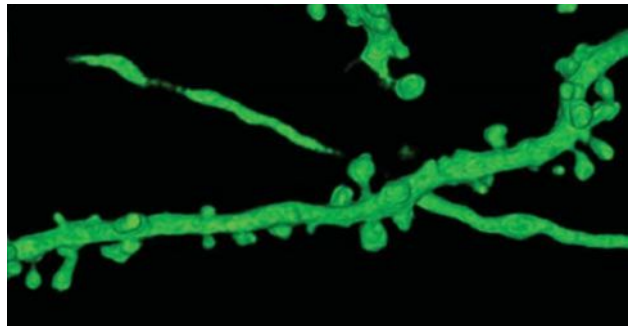
Bir nöronla ilgili temel kavramlar.

Herhangi bir yapı gibi bu yapı da bir bütünlük taşımak zorundadır. Nöronların yağsı maddeler içeren en dıştaki **hücre zarları**, aksonlar ve dendritler içine uzanan tübüler ve ipliksi protein çubuklarından oluşan **hücre iskeletinin** etrafını sarar. Bu yapı, birazcık tübüler iskeletin üzerine örtülerek gerilmiş bir çadıra benzer. Bir nöronun farklı kısımları, kendisinin ve komşularının aktivitesini yansıtacak şekilde bir yeniden düzenlenim süreci ile sürekli hareket halindedir. Dendritler yeni bağlantılar oluşturarak ve daha önce olanları ortadan kaldırarak şekillerini değiştirirler, aksonlar ise nöronların birbirleri ile mücadelelerinde diğerlerine karşı biraz daha yüksek sesle veya biraz daha yumuşak konuşmak (iletişim kurmak) için yeni sonlanmalar oluştururlar.



3 farklı tip nöron.

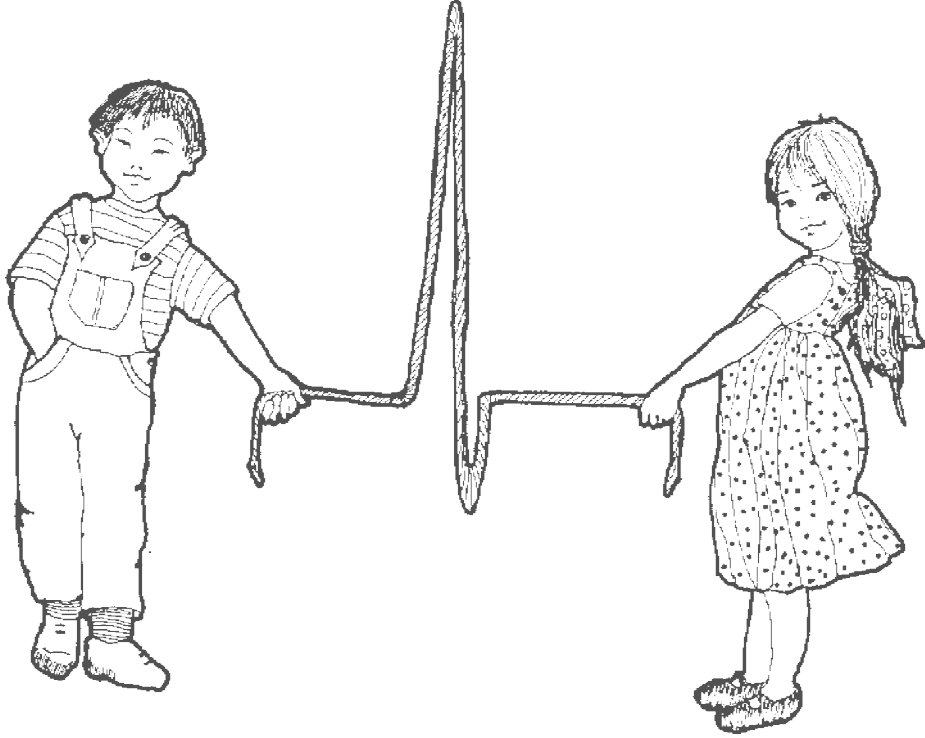
Nöronların içinde pek çok iç **bölmeler** vardır. Bunlar, çoğunlukla hücre gövdesinde üretilen ve hücre iskeleti boyunca taşınan proteinlerden oluşur. Dendritlerden çıkan küçük yumrular **dendritik dikenler** olarak adlandırılır. Bunları, dendritlere ulaşan aksonların bağlantılarının çoğunu yaptıkları yerlerdir. Dikenlere taşınan proteinler, nöronlarla ilgili bağlantıların oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanması için önemlidir. Bu proteinler, sürekli devir halindedirler ve işlerini bitirenler yenileri ile değiştirilirler. Bütün bu aktiviteler için enerjiye ihtiyaç vardır ve hücre içinde bütün faaliyetlerin yapılmasını sağlayan enerji fabrikaları (mitokondriler) bulunur. Akson son uçları **büyüme faktörleri** (growth faktörler) olarak adlandırılan moleküllere de yanıtta bulunurlar. Bu faktörler, hücre içine alınır ve nöronal genlerin ekspresyonunu etkiledikleri ve böylece yeni proteinlerin üretileceği hücre gövdesine taşınırlar. Bu faktörler, sinirin daha uzun dendritler oluşturmasını sağlayabilir veya onun biçimi veya fonksiyonunda diğer dinamik değişiklikler oluşturabilirler. Bilgi (bilgi), besin maddeleri ve haberciler sürekli hücre gövdesine ve oradan dışarıya taşınır.



Dendritik dikenler, bir nöronun dendritlerinden çıkan küçük yumrulardır. Bunlar sinapsların bulunduğu noktalarıdır.

## Sinyal alma ve iletilmesine karar verme

Hücrenin sinyalleri alan tarafında bulunan dendritler, diğer hücrelerden gelen aksonlar ile çok yakın temas halindedir ve bunların her biri yaklaşık olarak metrenin 20 milyarda birine eşit aralıklarla birbirlerinden ayrılmışlardır. Bir dendrit bir, birkaç veya binlerce başka nöronla değme halinde olabilir. Bu bağlantı yerleri, klasik Yunanca'da "kenetlenmek- el ele tutuşmak" anlamına gelen kelimeden türetilerek **sinaps** olarak adlandırılmıştır.



Serebral korteksteki hücrelerin üzerinde bulunan sinapsların pek çoğu belli belirsiz olan sinyalleri araştıran küçük mikrofönler gibi dendritler üzerinden çıkan dendritik dikenler üzerine konumlanmıştır. Bu değme noktalarında sinir hücreleri arasındaki iletişim **sinaptik iletim** olarak adlandırılır ve gelecek bölümde anlatacağımız bir kimyasal süreci kapsar. Dendrit, akson tarafından gönderilen ve kendisi ile akson arasındaki boşluk boyunca hareket eden kimyasal habercilerden birisini aldığı anda dendritik dikenlerde minyatür elektrik akımları kurur. Bu akımlar genellikle hücre içine yönelen ve **uyarma (eksitasyon)** olarak adlandırılan veya hücreden dışarıya doğru akabilen ve **engelleme (inhibisyon)** olarak adlandırılan etkileri oluşturan akımlardır. Bütün bu pozitif ve negatif akım dalgaları dendritlerde toplanırlar ve hücre gövdesine doğru yayılırlar. Bu akımlar çok büyük aktivite oluşturacak şekilde birbirine eklenmezlerse sonunda yok olurlar ve bundan başka bir şey olmaz. Bununla birlikte, bu akımlar eşiği aşacak büyüklüğe ulaşırlarsa bu durumun gerçekleştiği nöron, diğer nöronlara bir mesaj gönderecektir.

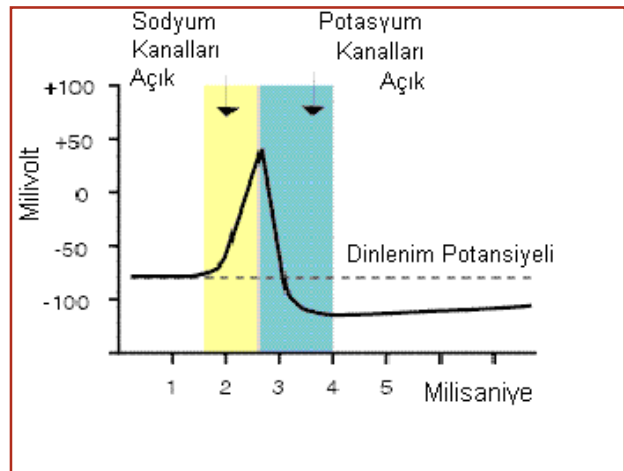
Böylece, bir nöron gelen sinyalleri sürekli toplayan ve çıkaran bir minyatür hesaplayıcı gibi davranır. Onun toplayıp çıkardıkları diğer nöronlardan aldığı mesajlardır. Bazı sinapslar, uyarma (eksitasyon) diğerleri ise engelleme (inhibisyon) oluştururlar. Bu sinyallerin duyum, düşünme ve hareketin temellerini nasıl oluşturabildiği, büyük ölçüde sinirlerin içinde buldukları ağa bağlıdır.

## Aksiyon potansiyeli

Bir nöronda oluşan sinyalin diğerine iletilmesi için öncelikle akson boyunca ilerlemesi gerekir. Nöronlar bunu nasıl yaparlar?

Yukarıdaki sorunun cevabı fiziksel ve kimyasal gradyentlerde saklı olan enerjilerin kullanımına ve bu kuvvetleri etkili bir biçimde eşleştirmeye bağlıdır. Nöronların aksonları, **aksiyon potansiyeli**

olarak adlandırılan elektriksel pulsları iletir. Bu pulslar, bir ip boyunca ilerleyen bir dalgada olduğu gibi sinir lifleri boyunca ilerler. Bunun gerçekleşme nedeni, akson zarında bulunan ve elektrikle yüklü iyonların geçmesine izin vermek üzere açılıp kapanabilen **iyon-kanallarıdır**. Bazı kanallar sodyum ( $\text{Na}^+$ ) iyonlarının geçmesine izin verirken diğerleri potasyum ( $\text{K}^+$ ) iyonlarının geçmesine izin verir. Kanallar hücre zarının elektriksel depolarizasyonuna yanıt olarak açıldığında  $\text{Na}^+$  veya  $\text{K}^+$  iyonları, hücrenin içi ve dışındaki kimyasal ve elektriksel gradyentleri terslendirecek şekilde bir akı oluştururlar.



Aksiyon potansiyeli

Aksiyon potansiyeli hücre gövdesinde başladığında ilk önce açılan kanallar  $\text{Na}^+$  kanallarıdır. Sodyum iyonları aniden hücre içine girmeye başlar ve milisaniyeler içinde yeni bir denge kurulur. Hücre zarının iki tarafı arasındaki potansiyel farkı bir anda 100 mV'a kadar değişir. Zar potansiyeli, hücre içinde negatif (yaklaşık -70 mV) olduğu değerden pozitif (yaklaşık +30 mV) olan bir değere değişir. Bu değişim  $\text{K}^+$  kanallarını açar, neredeyse  $\text{Na}^+$  iyonlarının hücre içine akışındaki yakını hızla potasyum iyonlarının hücre içinden dışına akımını tetikleyerek içerdeki zar potansiyelinin tekrar başlangıçtaki negatif değerine dönmesine neden olur. Aksiyon potansiyeli, evinizdeki lambayı açıp kapamanızdan daha kısa sürede olup biter. Dikkate değecek kadar az iyon bunu oluşturmak üzere hücre zarından geçer ve sitoplazma içindeki  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonlarının konsantrasyonları, aksiyon potansiyeli sırasında önemli ölçüde değişmez. Bununla birlikte, uzun dönemli etkinliklerde bu iyonlar, görevi daha çok sodyum iyonlarını dışarı atmak olan **iyon pompaları** ile dengede tutulur. Bu durum, küçük bir sızıntıdan dolayı teknesine su dolan bir yelkenlinin batmadan su üstünde kalabilmesi için içeri giren suyun bir kovayla boşaltılmasına benzetilebilir.

Aksiyon potansiyeli karmaşık olmakla birlikte elektriksel bir olaydır. Sinir lifleri, yalıtılmış tellerden çok daha az verimli olsa bile, elektriksel iletkenlere benzer bir davranış gösterir ve böylece bir noktada ortaya çıkan bir aksiyon potansiyeli, aktif ve ona bitişik dinlenme durumundaki hücre zarları arasında başka bir voltaj gradyenti yaratır. Böylece, aksiyon potansiyeli sinir lifinin bir ucundan diğer ucuna doğru yayılan bir depolarizasyon dalgası şeklinde aktif olarak iletilmiş olur.

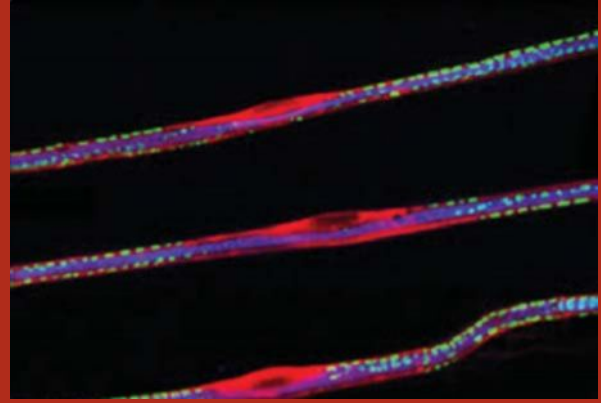
Aksiyon potansiyeli iletimini anlamanıza yardımcı olabilecek benzer bir durum, bir ucu yakıldıktan sonra parlayan bir havai fişek boyunca açığa çıkan enerjinin yayılmasında görülür. İlk tutuşma, çok hızlı lokal kıvılcımların aktivitesini tetikler (bu aksiyon potansiyelinin olduğu yerdeki aksonda içeri ve dışarı iyon akışına eşdeğerdir), fakat havai fişekin parıldama dalgasının bir baştan bir başa ilerlemesi çok daha yavaşça olur. Sinir liflerinin bu müthiş özelliği, yorgun zarın impuls oluşturma yeteneğini yeniden kazandığı çok kısa bir sessizlik döneminden (**refraktör dönem**) sonra, akson zarını yeni aksiyon potansiyelleri oluşturmak için hazırlar.

Bu bilgilerin pek çoğu, bazı deniz canlılarında bulunan çok büyük nöronlar ve bunların aksonları kullanılarak yürütülen harika deneysel çalışmaların sonucunda 50 yıldan beri bilinmektedir. Bu nöronlara ait büyük boyutlu aksonlar, bilim adamlarının elektriksel voltaj değişimlerini ölçmeleri için onların içine küçük elektrotlar yerleştirmelerine olanak sağlamıştır. Günümüzde, çok küçük bir zar parçasına ait voltajın veya akımın belli bir değere kenetlenmesi (**patch-clamping**) olarak adlandırılan modern elektriksel kayıtlama tekniği, sinirbilimcilere bütün nöron tiplerindeki bireysel iyon kanallarından geçen iyon hareketlerini inceleme olanağı sunmakta ve böylece beynimizde olana benzer şekilde oluşan bu akımların çok hassas ölçümlerini olanaklı kılmaktadır.

### Aksonların yalıtımı

Bir çok aksonda, aksiyon potansiyeli yayılması oldukça hızlı olmakla birlikte çok hızlı değildir. Diğerlerinde ise aksiyon potansiyeli sinir boyunca sıçrayarak ilerler. Bu ikinci durum, **miyelin kılıfı** olarak adlandırılan ve

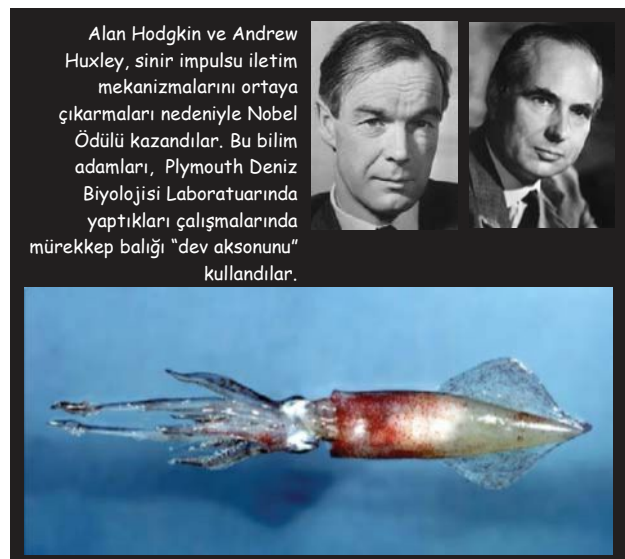
### Araştırmada Geline Son Nokta



Yukarıdaki sinir lifleri (aksonlar mor renkle gösterilmiştir), onları çevrelerinden elektriksel olarak yalıtın Schwann hücreleri (kırmızı) ile sarmalanmıştır. Renkler, yeni bulunan bir protein kompleksini gösteren floresan ışık yayan kimyasallardır. Bu protein kompleksinin bozulması kas zayıflığına götüren kalıtsal bir hastalığa neden olur.

glial hücre zarlarının yayılmasıyla oluşan bir yağ tabakasının, yalıtıcı örtü şeklinde aksonların etrafını sarmalarıyla ortaya çıkar. Yeni araştırmalar, bizlere miyelin kılıfını oluşturan proteinler hakkında bilgi sağlamaktadır. Bu kılıf, iyonik akımların aksonda yanlış yerden sızmasını engeller, fakat glial hücreler aralarında küçük boşluklar bırakırlar. Aksondaki  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyon kanalları bu boşluklarda yoğunlaşırlar. Kümelenen bu iyon kanalları sinir boyunca sıçrayarak ilerleyen aksiyon potansiyellerini güçlendiren ve devamlılığını sağlayan amplifikatörler gibi işlev görürler. Bu çok hızlı gerçekleşebilir. Gerçekten, miyelinli sinirlerde aksiyon potansiyeli 100 m/s hızla ilerleyebilir.

Ne kadar sıklıkla oluşursa oluşsun aksiyon potansiyelinin büyüklüğü değişmez ve kendine özgü **ya hep ya hiç** karakteristik özelliğine sahiptir. Böylece, bir hücrede bir uyarının şiddeti ve süresinin kodlanabilmesi yalnızca aksiyon potansiyellerinin frekansındaki değişimle başarılabilir. Çok verimli aksonlar, saniyede 1000 aksiyon potansiyeli oluşturabilecek kadar yüksek frekanslı impulsları iletebilirler.



Alan Hodgkin ve Andrew Huxley, sinir impulsu iletim mekanizmalarını ortaya çıkarmaları nedeniyle Nobel Ödülü kazandılar. Bu bilim adamları, Plymouth Deniz Biyolojisi Laboratuvarında yaptıkları çalışmalarında mürekkep balığı "dev aksonu" kullandılar.