

## İMPULS OLUŞUMU ve İLETİMİ 2

**-Polarizasyon (kutuplaşma):** Uyarılmamış bir sinir hücresinde hücre dışı pozitif(+), hücre içi negatif(-) yüküdür. Sinir hücresinin bu durumuna polarizasyon (kutuplaşma) denir.

**-Polarizasyonun nedeni:**

Bunun sebebi hücre içi ile hücre dışı arasındaki iyonların derişim farklılığıdır.

-Hücre içinde  $K^+$  derişimi fazla,  $Na^+$  derişimi azdır.

-Hücre dışında ise tam tersine  $K^+$  derişimi az,  $Na^+$  derişimi fazladır. [www.biyolojiportali.com](http://www.biyolojiportali.com)

**-Hücre içinin negatif olmasının nedeni ise derişimi hücre dışına göre fazla olan anyonlardan ( $A^-$ ) kaynaklanır.**

- Bunlar proteinler, amino asitler, sülfat ( $SO_4^{3-}$ ), fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) ve diğer negatif yüklü iyonlardır.

-Hücre içinde klor ( $Cl^-$ ) da bulunur. Ancak klor derişimi hücre dışında daha fazladır. Buna rağmen hücrenin dış kısmı pozitif, iç kısmı negatif yüküdür. Bu da gösteriyor ki hücre içinin negatif olmasında  $Cl^-$  un bir etkisi yoktur.

-Polarize durumundaki bir nöronda hücre içi ile hücre dışı arasında  $-70mV$  luk bir potansiyel farkı ölçülür.

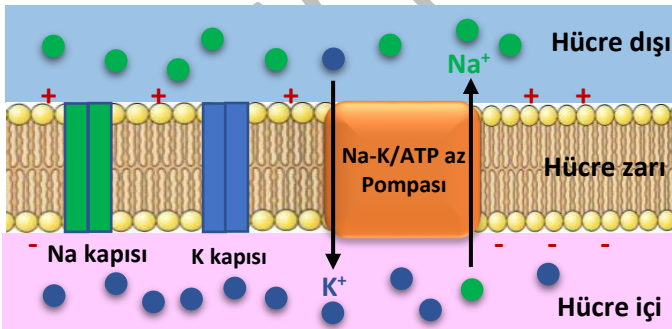
HÜCRE DİŞİ		
[ $K^+$ ]	[ $Na^+$ ]	[ $Cl^-$ ]
5 mM	150 mM	120 mM
+	+	+

HÜCRE İÇİ				
[ $K^+$ ]	[ $Na^+$ ]	[ $Cl^-$ ]	[ $A^-$ ]	
150 mM	15 mM	10 mM	100 mM	
+	+	+	+	+

**Şekil: Nöronda zar potansiyeli oluşturan iyonların dağılımı**

-Polarize durumundaki bir nöronda  $Na$  ve  $K$  kanalları kapalıdır.

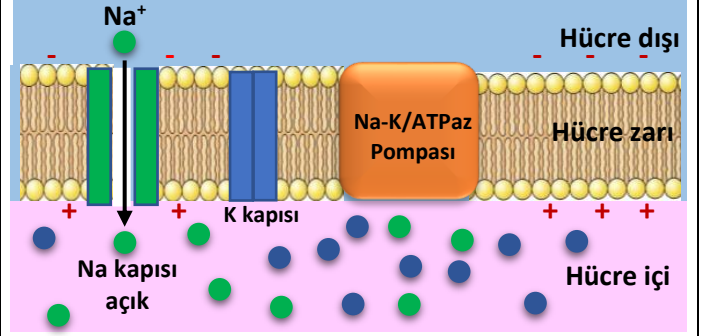
-Polarizasyonu sağlayan hücre zarında bulunan  **$Na^+-K^+$  ATPaz pompasıdır.** Aktif taşıma yapan bu elemanlar hücre içindeki  $Na^+$  ları dışarı atarken hücre dışındaki  $K^+$  ları hücre içine alırlar.  $Na-K$  ATPaz ile dışarı pompalanan  $Na^+$  iyonları, içeri pompalanan  $K^+$  iyonlarından fazladır. Ayrıca hücre içinde bol miktarda bulunan negatif yüklü protein anyonları büyük moleküller olduklarından zardan geçemezler ve hücre içindeki  $K^+$  iyonlarını kendilerine doğru çekerek hücre dışına çıkmasına engel olurlar. Bunun sonucunda sinir hücresinin dış kısmı pozitif, iç kısmı negatif yüke sahip olur.



**Şekil: Polarizasyon durumundaki hücre zarı**

**-Depolarizasyon (Kutuplaşmanın bozulması):** Eşik değeri ve ya üzerinde bir uyarı alındığında sinir hücresinin zarında bulunan  $Na^+$  kapıları açılır ( $K^+$  kapıları kapalı kalır) ve hücre dışında daha fazla bulunan  $Na^+$  lar içeri doğru difüzyon kuralları gereğince akmaya başlar. Bu durumda hücre içinde hem  $Na^+$  hem  $K^+$  iyonları fazla duruma geldiğinden hücre içi dışarısına göre daha pozitif duruma geçer. Bu duruma **depolarizasyon** denir.

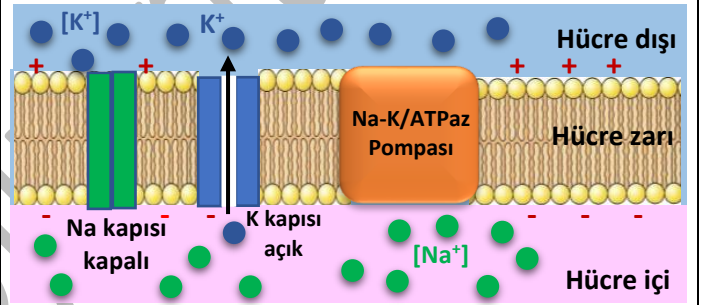
-Depolarize durumundaki bir sinir hücresi plazmasının hücre dışına göre elektriksel güç değeri  $+40 mV$  (milivolt) dur.



**Şekil: Depolarizasyon durumundaki hücre zarı**

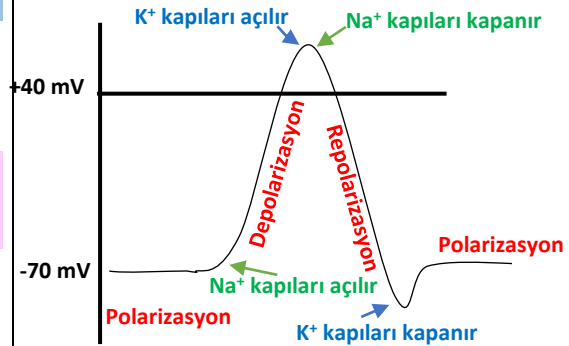
**-Repolarizasyon:** Depolarizasyondan sonra hücre zarında bulunan  $Na^+$  kapıları kapanır ve hücre içine  $Na^+$  girişi durdurulur. Ardından hücre zarındaki  $K^+$  kapıları açılır ve bu sefer hücre içindeki  $K^+$  lar hücre dışına doğru akmaya başlar. Sonuç olarak repolarize durumda bir nöronda  $Na^+$  kapıları kapanmış ve  $K^+$  kapıları açılmıştır. Bu durumda hücre içinden hücre dışına çıkan  $K^+$  lar nedeniyle yine hücre içi negatif (-), hücre dışı pozitif (+) yüklü duruma gelmiştir.

**-Ancak durum polarizasyondan farklıdır. Repolarize durumda bir sinir hücresinin içinde  $Na^+$  iyonları fazla, dışında ise  $K^+$  iyonları fazladır. Polarizasyondan farkı Na içerde K dışarda fazla olmasıdır.**



**Şekil: Repolarizasyon durumundaki hücre zarı**

Polarize durumdan sırasıyla depolarize ve repolarize duruma geçmiş olan bir sinir hücresi, tekrar uyarı alıp impuls iletebilmek için ilk hâli olan polarizasyon durumuna dönmek zorundadır. İşte burada yukarıda anlatılan  $Na^+-K^+$ /ATPaz pompası hücreye giren  $Na^+$  iyonlarını dışarı, hücre dışına çıkan  $K^+$  iyonlarını tekrar içeri pompalayarak bu iyonların derişimini impuls öncesindeki duruma getirir. Böylece sinir hücresi tekrar polarizasyon hâline gelir. Bu olay aktif taşıma ile gerçekleşir. [www.biyolojiportali.com](http://www.biyolojiportali.com)



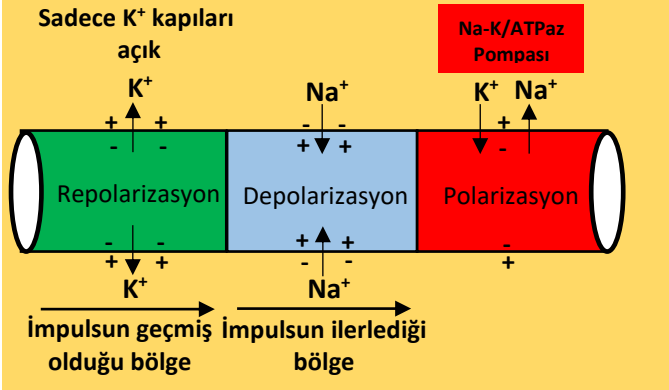
**Grafik: Impuls İletimi Sırasında Hücre Zarındaki Elektriksel Yük Değişimi (Aksiyon Potansiyeli)**

**Hiperpolarizasyon:** Repolarizasyon sırasında açılan potasyum kanalları yavaş kapandığı için, hücre dışına fazla  $K$  çıkışı olur. Hücre  $-70 mV$  değerine dönmek isterken,  $-85 mV$  değere kadar düşebilir. Bu duruma hiperpolarizasyon denir. Yani hücrenin aşırı polarize hale gelmesidir.

## Pekiştirmek için özetleyelim;

1. Polarize halinde bulunan bir nöronun dışında  $[Na^+] > [K^+]$ , içinde ise  $[Na^+] < [K^+]$  şeklindedir.
2. Bu derişim farklılığı, nöronun dışının pozitif (+), içinin negatif (-) olmasının sebebidir. [www.biyolojiportali.com](http://www.biyolojiportali.com)
3. Hücre içinin negatif olmasının nedeni ise derişimi hücre dışına göre fazla olan anyonlar ( $A^-$ ) dir.
4. Hücre içinin negatif olmasında  $Cl^-$  un bir etkisi yoktur.
5. Polarize durumdaki bir nöronda Na ve K kanalları kapalıdır. (Bu kanallarla pasif geçiş yapılır. Bu sırada ATP harcanmaz.)
6. Polarizasyonu sağlayan hücre zarında bulunan  $Na^+-K^+$ /ATPaz pompasıdır. Aktif taşıma ile enerji harcanarak  $Na^+$  iyonları dışarı atılır,  $K^+$  iyonları içeri alınır.
7. Depolarizasyon sırasında (uyartı geldiğinde)  $Na^+$  kapıları açılır ( $K^+$  kapıları kapalı kalır), Dışarıdan içeriye  $Na^+$  iyonları enerji harcanmadan alınır. İçeri pozitif, dışarı ise negatif olur.
8. Repolarizasyon sırasında  $Na^+$  kapıları kapanır,  $K^+$  kapıları açılır. Çıkan  $K^+$  iyonları nedeni ile tekrar içeri negatif (-), dışarı pozitif (+) hal alır.

## Bütün bunları bir şema üzerinde gösterelim:



9. Yukarıda bahsettiğimiz impuls iletimi miyelinsiz nöronlar içindir. Miyelinli nöronlarda miyelinli bölgeler yük taşımadığından iki ranvier boğumu arasında yük etkileşimi olur. Bu etkileşim sonucu aksiyon potansiyeli boğumdan boğuma sıçrayarak ilerlemiş olur. Buna **atlamalı iletim** denir. Böylece daha hızlı iletim sağlanmış ve daha az ATP harcanmış olur. Bu nedenle miyelinli nöronlarda impuls iletimi 10 kat daha hızlıdır. Miyelinli nöronlarda impuls 120m/s hızla iletilirken miyelinsiz sinirlerde impuls iletimi 12m/s'dir.
10. Bir sinir hücresinde impuls iletim hızı değişmez. Yani oluşan İmpulsun iletimi sırasında hızında artma veya azalma meydana gelmez.

## -Bir sinir hücresinde;

- a. Uyarının şiddeti
- b. Uyarının frekansı (sıklığı)
- c. Uyarının süresi, **impuls hızını değil impuls sayısını ve uyarılan hücre sayısını etkiler.**

-Bir sinir demetinde uyarı şiddetinin artması hem impuls sayısını hem de uyarılan nöron sayısının artmasına neden olur. (Bunun sonucu merdiven etkisi ortaya çıkar.)

## 11. İmpuls hızının etkileyen faktörler;

- a. Miyelinli nöronların iyon kanallarının açılıp kapanması sadece miyelin kılıfın bulunmadığı aralıklarda (ranvier boğumlarda) gerçekleşeceğinden, aksiyon potansiyeli en yüksek hıza ulaşır. (**Ranvier boğum sayısına göre impuls hızı değişmez**)
- b. Akson çapı arttıkça hız da artar. Çünkü iç direnç azalır.
- c. Soğuk olduğu zaman, impuls hızı düşer.

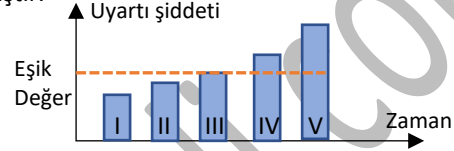
**NOT:** Sinaps sayısı, nörondaki impuls iletim hızını **değiştirmez**. Sinaps sayısının fazlalığı impulsun hedefe ulaşma süresini etkiler.

12. Sinir hücreleri eşik değer ve üzerindeki uyarılara her zaman aynı şiddette tepki verir. Yani elimizle 45 °C sıcaklıktaki bir demire de dokunsak 100 °C sıcaklıktaki bir demire de dokunsak sinir hücresinin tepkisi aynı olacaktır. Tepki farkı, sinir sistemine iletilen impuls sayısından kaynaklanır. 100 °C'lik demire dokunulduğunda oluşan impuls sayısı 45 °C'lik demire dokunulduğunda oluşan impuls sayısından daha fazladır.

12. Sinir hücrelerinde uyarıların iletilme şekli aynı olmasına rağmen uyarılar ışık, koku, basınç veya sıcaklık şeklinde algılanır. Bunun sebebi uyarıların beyindeki değerlendirilme merkezlerinin farklı olmasıdır. Örneğin kulaktan gelen impulslar, beynin işitme merkezine iletildiğinde ses olarak algılanır.

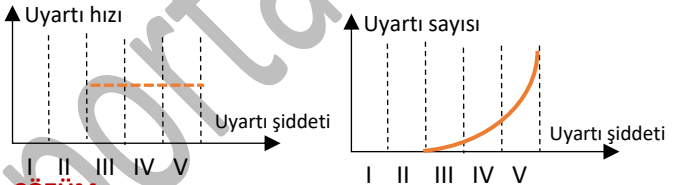
## ÖRNEK UYGULAMA-1

Bir sinir teline farklı zamanlarda verilen uyarı şiddeti grafikte verilmiştir.



Buna göre bu uyarının;

- a) iletim hızını
- b) Uyarı (impuls) sayısını gösteren grafiklerini çizin.



## ÇÖZÜM:

- a) I ve II de uyarı şiddeti eşik değerinin altında olduğu için impuls oluşmayacak, hız da olmayacaktır. Ancak III den itibaren impuls oluşacaktır. Bir sinir hücresinde oluşan impulsun iletimi sırasında hızında artma veya azalma meydana gelmez. Oluşan İmpulsun da hızı sabit olacaktır.
- b) I ve II eşik değerinin altında olacağı için impuls oluşmayacaktır. III, eşik değere sahip olduğu için impuls oluşacak, IV de uyarı şiddeti daha fazla olduğu için oluşan impuls sayısı artacak, V de uyarı şiddeti IV den fazla olduğu için impuls sayısı daha da artacaktır. [www.biyolojiportali.com](http://www.biyolojiportali.com)

## ÖRNEK UYGULAMA-2

Aşağıdaki tabloda çeşitli hayvan gruplarına ait K, L, M, N ve P olarak adlandırılan nöronların bazı özellikleri verilmiştir.

Nöron	Miyelin kılıf	Akson çapı (µm)
K	Yok	1
L	Yok	500
M	Var	5
N	Var	10
P	Var	20

Tablodaki bilgilere göre K, L, M, N ve P nöronlarının hangisinde impuls iletimi en hızlı olması beklenir? (LYS-2010) **ÇÖZÜM:**

- Miyelinli nöronlarda iletim en hızlıdır. Buna göre **M, N, P**
- Akson çapı arttıkça hız da artar. Buna göre de akson çapı en büyük olan L ancak miyelinsiz olduğu için değerlendirme dışı bırakılır. Miyelinli nöronlar arasında akson çapı en büyük olan P'dir. Cevap da P olmalıdır.

## Dikkat edelim !

- Sinir hücrelerinin ATP üretimi için kullandıkları enerji verici tek molekül glikozdur. -İmpuls iletimi sırasında ATP harcanır. O<sub>2</sub>'li solunum hızlanır. O<sub>2</sub> ve glikoz azalır. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve ısı artar. Üretilen ATP artar. Harcanan ATP de artacağı için ATP miktarı azalır. ADP+P<sub>i</sub> miktarı artar.