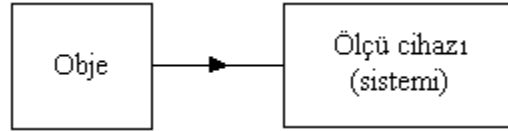


# ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİNE GİRİŞ

(NOT: Bu ders notlarının ilk -7- sayfasından sınavda sorumlusunuz!)

## BÖLÜM 1: Biyolojik İşaretlerin Oluşumu ve Özellikleri

**Tıp Elektronik (Medikal Elektronik)**, canlı sistemlerle ilgili çeşitli parametrelerin algılanması ve değerlendirilmesi amacıyla kullanılan tüm elektronik teknoloji ve yöntemleri kapsayan bilim dalıdır. Böyle bir amaçla kullanılan bir ölçüm düzeni, ölçü cihazı (sistemi) ve üzerinde ölçüm yapılan obje olarak iki kısımdan oluşur, Şekil (1.1).



Şekil (1.1) Ölçüm düzeni

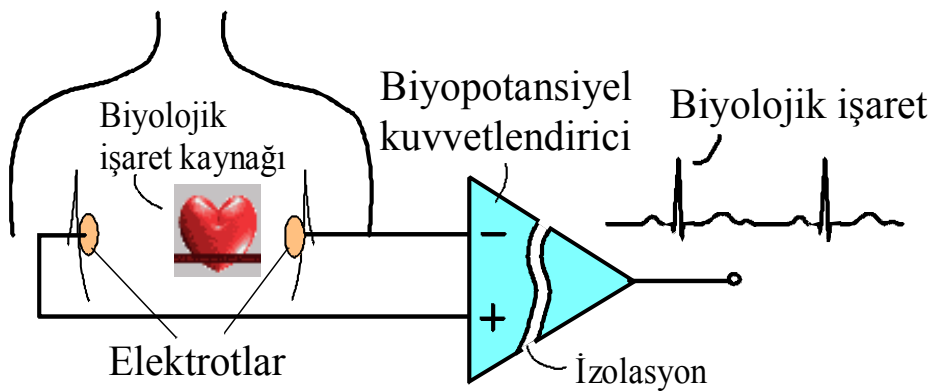
**Biyolojik İşaret:** Canlı vücudundan elektrotlar veya dönüştürücüler aracılığıyla algılanan, elektrik kökenli olan veya elektrik kökenli olmayan işaretlerdir.

### 1.1.1 Elektrik Kökenli Biyolojik İşaretler

Aşağıda elektrik kökenli biyolojik işaretlerin özellikleri maddelenmiştir:

- i) Elektrotlar aracılığıyla canlı vücudundan algılanırlar, yalıtım önemlidir,
- ii) Genlikleri küçüktür; \*100  $\mu$ V ~ \*1 mV,
- iii) Spektrumu alçak frekanslar bölgesindedir; \*0,1 Hz ~ 2000 Hz,
- iv) Fark işareti şeklinde bulunurlar,

Bu tip işaretler gürültü içermektedir. Temel gürültü kaynakları olarak ortak mod şeklindeki 50 Hz'lik şebeke gürültüsü, fark işaret şeklinde bulunan diğer biyolojik işaret kaynakları ve elektronik eleman gürültüleri verilebilir.

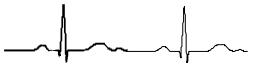



Şekil 1.2 Biyolojik işaretlerin algılanması


Aşağıda bazı elektrik kökenli biyolojik işaretler verilmektedir.

**EKG :** Elektro kardiyo gram :kardiyo → kalpten  
**EMG :** Elektro miyo gram :miyo → kastan

<b>EEG</b> :	<u>Elektro ensefalo gram</u>	:ensefa	→ beyinden
<b>ENG</b> :	<u>Elektro nöro gram</u>	:nöro	→ sinirden
<b>EGG</b> :	<u>Elektro gastro gram</u>	:gaster	→ mide-barsaktan
<b>ERG</b> :	<u>Elektro retino gram</u>	:retino	→ retinadan
<b>UP (“EP”)</b> :	Uyarılmış Potansiyeller	:	→ beyinden
<b>GP (“LP”)</b> :	Geç Potansiyeller	:	→ kalpten

**EKG** :  **100 ~ 500  $\mu$ V genlik, 0,1 ~ 150 Hz bant**

**EMG** :  **100  $\mu$ V ~ 1 mV genlik, 10 ~ 500 Hz bant**


**EEG** :  **2 ~ 100  $\mu$ V genlik, 0,5 ~ 50 Hz bant**

Şekil 1.3 Bazı elektrik kökenli biyolojik işaretler

### 1.1.2. Elektrik Kökenli Olmayan Biyolojik İşaretler

Aşağıda bazı elektrik kökenli olmayan biyolojik işaretler verilmiştir:

<b>Kan basıncı</b>	:	Basınç dönüştürücüsü kullanılır. -Kalp ve dolaşım sistemi incelenir
<b>Kan akış hızı</b>	:	Elektromagnetik-ultrasonik, Dolaşım sisteminin
<b>Solunum hacmi</b>	:	Pletismograf- Akciğerlerin
<b>Kalp sesleri</b>	:	Kalp mikrofonu- Kalp kapakçığının
<b>Sıcaklık</b>	:	Sıcaklık dönüştürücüsü - Vücudun veya organların
<b>Deri direnci</b>	:	Değişken direnç dönüştürücüsü - Derinin (“GSR”, galvanic skin response)
<b>pH</b>	:	pHmetre - Kanın
<b>PO<sub>2</sub></b>	:	Kimyasal dönüştürücüler - Kanın ve havanın

**Kan basıncı** :  **10 mmHg ~ 200 mmHg DC ~ 20 Hz**

**Kalp sesleri** :  **5 ~ 200 Hz**

**Vücut sıcaklığı** :  **0 ~ 80 °C**

**Ortalama kan akış hızı** :  **± 500 ml/s DC ~ 20 Hz**

Şekil 1.4 Bazı elektrik kökenli olmayan biyolojik işaretler

## 1.2 Biyolojik İşaretlerin Oluşumu:

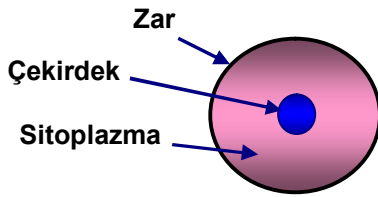
Biyolojik işaretler, insan vücudundaki sinir sistemi, beyin, kalp ve kas gibi çeşitli organların faaliyetleri sırasında oluşurlar. Biyolojik işaretlerin temelini, hücrelerdeki elektrokimyasal olayların sonucunda oluşan aksiyon potansiyeli oluşturur. Bu işaretlerden, elektrotlar yardımıyla algılanıp işaret işleme işlemlerinden geçirildikten sonra çeşitli hastalıklara tanı konmasında (teşhisinde) yararlanılmaktadır. Biyolojik işaretler, vücut içindeki karmaşık biyolojik yapıdan dışarıya kolay anlaşılabilir bilgi taşımazlar. Bunun için, elektrotlar yardımıyla algılanan bu işaretlerin işlenip yorumlanmaları gerekir.

### 1.2.1 Hücre Fizyolojisi

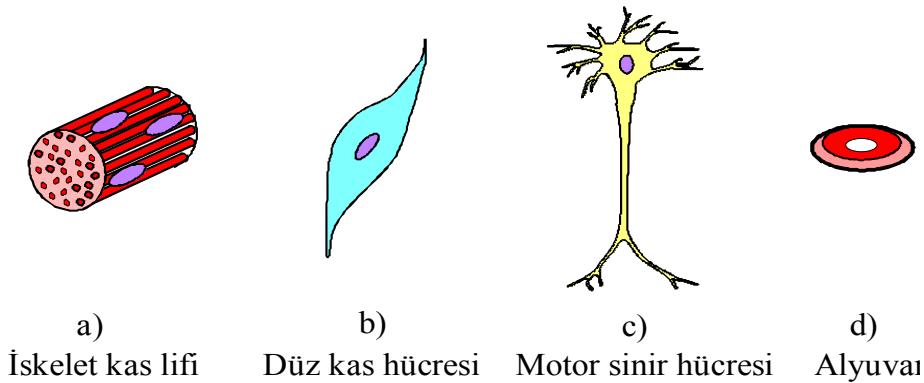
Hücre, canlıların bağımsız olarak yaşamını sürdürebilen en küçük parçasıdır.

Hücre, çekirdek, sitoplazma denilen hücre gövdesi ve sitoplazmayı çevreleyen bir hücre membranından (zarından) oluşur, Şekil (1.5). Hücrelerde elektriksel işaretler, hücrenin uyarılabilme özelliği nedeniyle oluşur. Hücre membranları, eşik seviyesi olarak isimlendirilen bir değerin üzerindeki bir işaret ile uyarılacak olurlarsa bu uyarma bütün hücreye yayılır. Uyarma şekli elektriksel, kimyasal, optik, termal veya mekanik olabilir.

Şekil (1.6)'da bir insanda bulunan bazı hücrelerden örnekler görülmektedir.



Şekil 1.5 Hücrenin genel yapısı



Şekil 1.6 Bazı hücre türleri

Vücudumuzdaki hücrelerin tümüne yakınının zarında membran potansiyeli oluşur. Sinir ve kas hücreleri gibi hücreler ise uyarılabilme özelliğine sahiptir. Bu hücreler membranları boyunca darbe şeklinde değişen elektrokimyasal değişimleri iletebilmektedir.

Vücut öz sıvısındaki en önemli iyonlar; Sodyum ( $\text{Na}^+$ ), Potasyum ( $\text{K}^+$ ) ve Klor ( $\text{Cl}^-$ ) iyonlarıdır. Hücrenin elektriksel aktivitesi açısından bakıldığında hücrenin dışında

ve içinde yer alan sıvı bileşimleri arasında temel fark; hücre dışında  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonları sayısının hücre içine nazaran fazla,  $\text{K}^+$  iyonları sayısının ise az olmasıdır.

Uyarılabilen hücrelerin membranları Potasyum ve Klor iyonlarının hücre içine geçmesine izin vermesine rağmen Sodyum iyonlarının geçişine engel olur. Hücre membranından çeşitli maddelerin geçmesini sağlayan iki temel mekanizma **difüzyon** ve **aktif transport** olaylarıdır.

**a. Difüzyon** (pasif geçiş-transport): Maddelerin yüksek konsantrasyondan alçak konsantrasyona doğru membranı geçme olayıdır. Bu olayda etkili olan sadece bahis konusu maddenin kinetik enerjisidir.

**b. Aktif taşıma** (aktif transport): Maddelerin alçak konsantrasyondan yüksek konsantrasyona doğru membranı geçmesi olayıdır. Bu olayın olabilmesi için gerekli enerji kaynağı *metabolik enerjidir*. Maddeler, bir takım kimyasal reaksiyonlar yolu ile enerji tüketimi sayesinde belirli taşıyıcı maddeler tarafından taşınarak membranı geçerler. Bazı maddelerin hücre içinde daha yüksek konsantrasyonda tutulması gereklidir. Buna örnek olarak  $\text{K}^+$  iyonlarını verebiliriz. Bazı maddelerin (örneğin  $\text{Na}^+$ ) ise hücre dışındaki konsantrasyonlarının daha fazla olması gereklidir.

### 1.2.2 Aksiyon Potansiyelinin Oluşum Mekanizması:

Elektrik kökenli biyolojik işaretlerin temelini hücrelerde ortaya çıkan **aksiyon potansiyeli** oluşturur. Bu potansiyel, gerçekte, hücre zarının iç ve dış taraflarındaki potansiyel farkıdır. Aksiyon potansiyelinin oluşumunda etkili olan etmenler aşağıda maddelenmiştir:

- Hücre zarının iyonlara olan seçici geçirgenliği,
- Hücre zarının hücre içindeki negatif yüklü ağır molekülleri geçirmeyişi,
- Hücrenin, elektriksel, kimyasal, ısıl, magnetik vb. etkilerle uyarılabilir olması,
- Uyarılan hücrenin zarının iyonlara olan geçirgenliğinin değişik olması,
- Hücre zarında pasif transporta ek olarak aktif transportun da bulunuyor olması.

Şekil (1.7)'de, aksiyon potansiyelinin değişimi gösterilmiştir. Hücre uyarılmadığında sükunette olup sükunet potansiyeli  $-90\text{mV}$  kadardır. Hücrenin elektrik aktivitesinde  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  iyonları etkilidir. İyonların hücre zarını pasif olarak geçişinde ortamlar arası iyon konsantrasyon farkları önemli olur. Bu şekildeki iyon geçişi, pasif transport olarak ifade edilir.

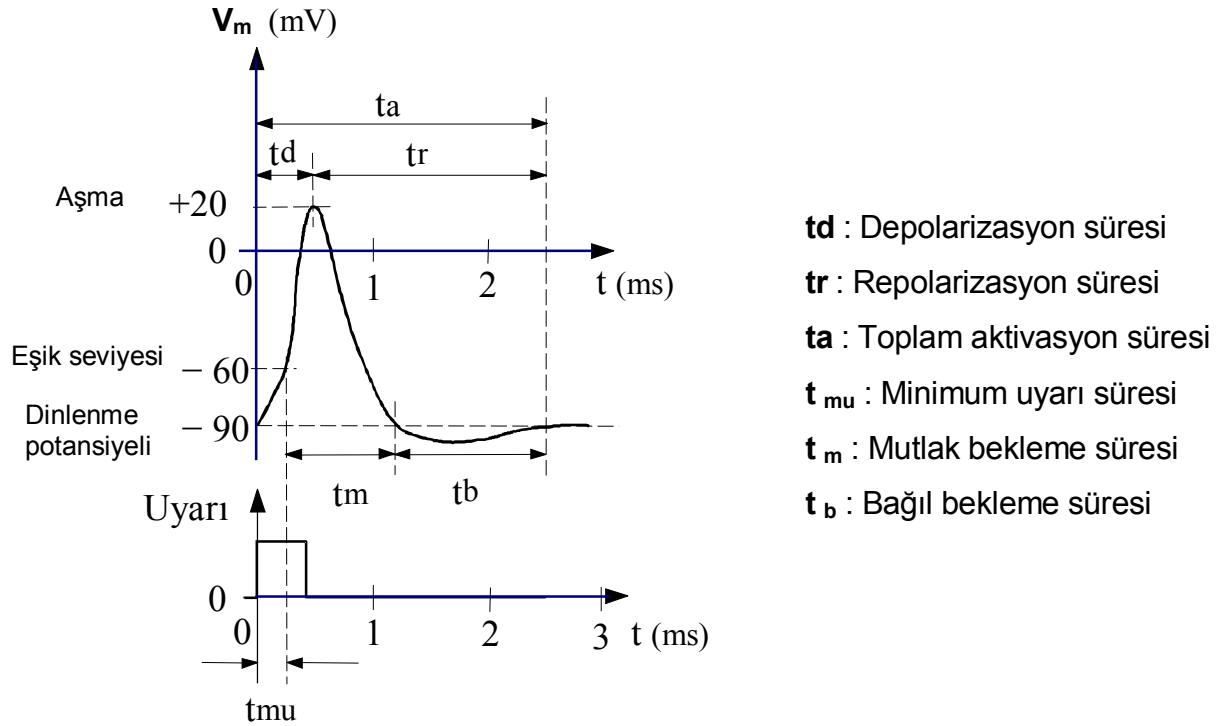
Sükunette, hücre dışında, içine göre,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  iyon konsantrasyonu daha fazladır;  $\text{K}^+$  iyonu ise hücre içinde daha konsantredir.

Hücre uyarıldığında zarının  $\text{Na}^+$  iyonlarına olan geçirgenliği artar; hücre içine  $\text{Na}^+$  iyonları hücumu olur ve hücre içi potansiyeli **+20mV** değerine kadar yükselir; **depolarizasyon**.

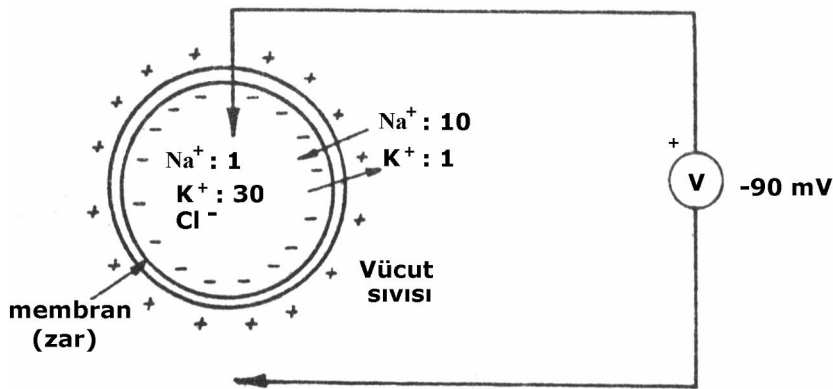
Gerilim değerinden etkilenen hücre zarının geçirgenliği tekrar sükunetteki durumuna döner. Bu durumda, **aktif transport** etkili olur.

Enerji harcayarak çalışan Na-K aktif pompaları  $\text{Na}^+$  iyonlarını hücre dışına ( $\text{K}^+$  iyonlarını da hücre içine) pompalamak suretiyle sükunetteki konsantrasyon dengelerini kurmaya ve bu dengeleri korumaya çalışır; **repolarizasyon**.

Repolarizasyonda, zar potansiyeli eski seviyesine gelir. Bu değişime, **aksiyon potansiyeli** adı verilir.



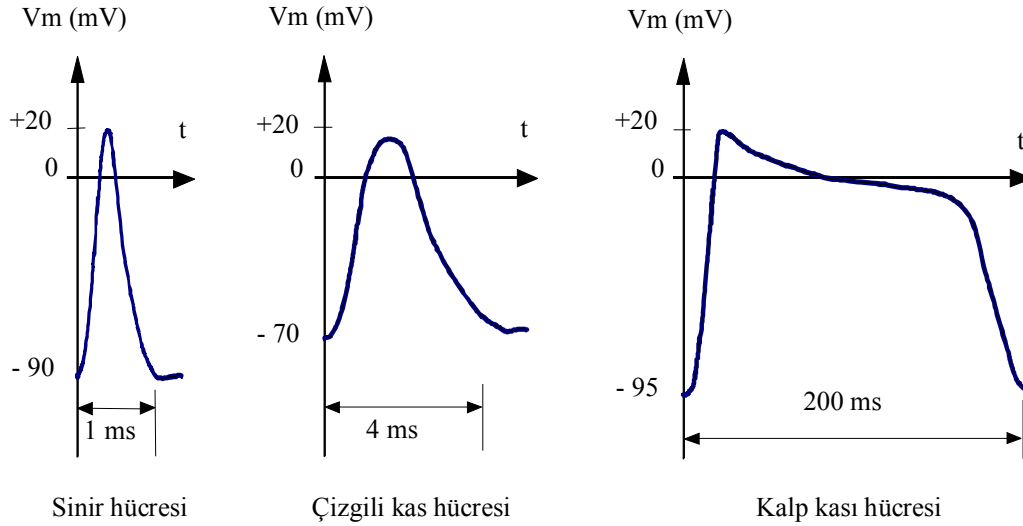
Şekil (1.7) **Aksiyon potansiyeli**



Hücre uyarıldığında, zar potansiyeli (hücre dışı referans olmak üzere) pozitif doğru artar. Belli bir eşik gerilimini (-60mV) geçer geçmez, uyarı kesilse bile zar potansiyeli +20mV repolarizasyon değerine kadar yükselmeye devam eder. Eşik değerini geçemeyen zar potansiyelleri uyarı kesildiğinde denge değerine dönerler. Demek ki, hücre, zar potansiyelini eşik değerinin üzerine çıkaran uyarılar için uyarılmış olmakta; yoksa uyarılmamış kalmaktadır. Buna 'ya hep ya hiç yasası'

denir. Hücre uyarıldıktan sonra, tekrar uyarılabilmesi için bir süre gerekir. Buna, **bekleme süresi** denir.

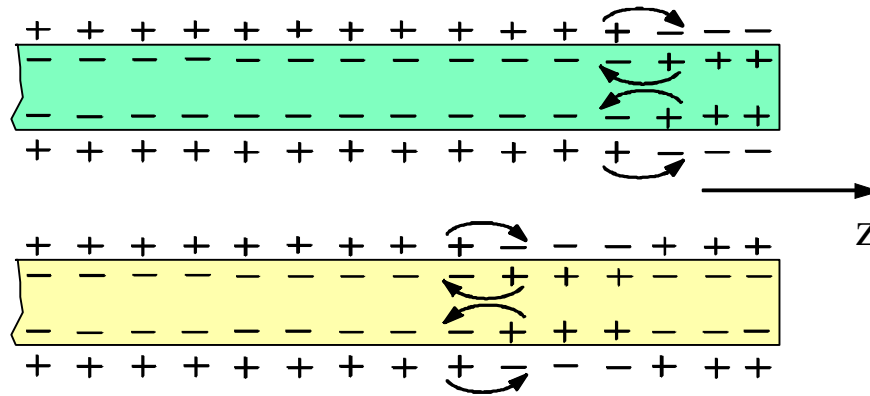
Aksiyon potansiyellerinin değişimi çeşitli hücrelerde farklılıklar gösterir. Sinir ve çizgili kas hücrelerindeki aksiyon potansiyelleri, süre ve genlik bakımından fazla farklı değildir. Kalp kasında ise şekil biraz değişik olup  $0\text{mV}$ 'da kaldığı süre  $200\text{ms}$  kadardır, Şekil (1.8).



Şekil 1.8 Çeşitli hücrelere ait aksiyon potansiyelleri

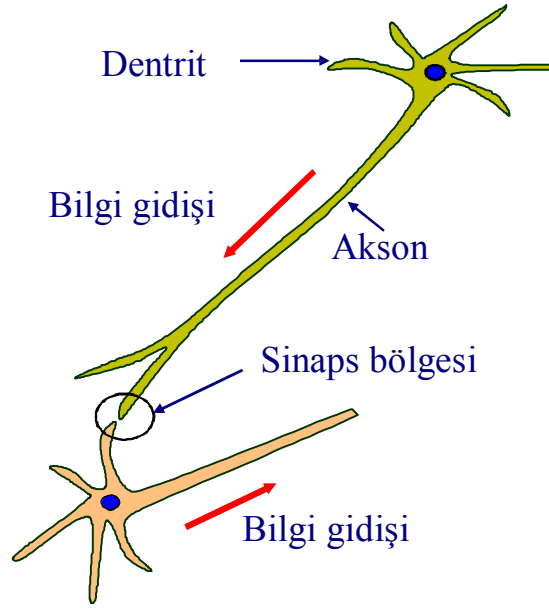
### 1.2.3. Aksiyon Potansiyelinin Yayılması

Bir hücre uyarılıp aksiyon potansiyeli ürettiğinde iyon akımı akmaya başlar. Bu olay komşu hücreleri de uyarabilir. Uzun aksonlu sinir hücrelerinde aksiyon potansiyeli aksonun uzunluğuna göre çok kısa bir kısmında meydana gelir ve her iki yöne yayılır. Tabii durumda bir sinir hücresi yalnız giriş ucuna yakın bir yerden uyarılır. Aksiyon potansiyeli hücre boyunca yayılırken bekleme sürelerinden dolayı önce uyarılmış bölge yeniden uyarılmaz. Böylece yayılma tek yönlü olmuş olur, Şekil (1.9).



Şekil 1.9 Aksiyon potansiyelinin yayılması

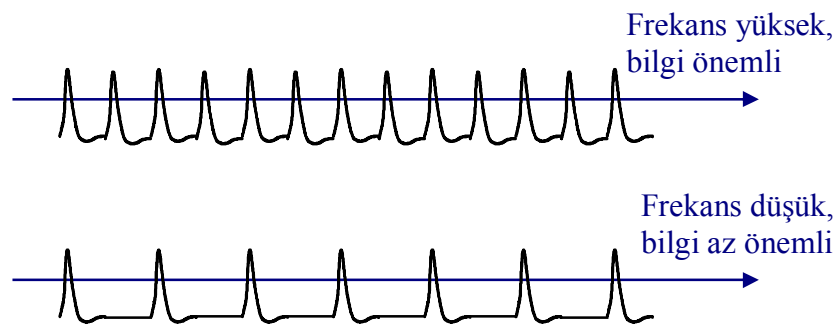
Aksiyon dalgası şeklinde sinir aksonu boyunca yayılan bilginin diğer bir sinir hücresine (nörona) geçişi sinaps bölgelerinde olmaktadır (Şekil (1.10)).



Şekil 1.10 Sinaps olgusu

Sinapslarda bilgi geçişi, nöro-transmitterler (kimyasal aktarıcılar) aracılığıyla olmaktadır. Sinapslarda bilgi geçişi, sinapsın yapısı gereği, tek yönlü olmaktadır. Bu da, bilginin sinir hücrelerinde tek yönlü yayılma sebeplerinden biridir.

Aksiyon potansiyeli, sinir hücresi boyunca darbe katarı şeklinde yayılır. Ya hep ya hiç prensibi gereği bu katardaki aksiyon potansiyellerinin genlikleri aynı kaldığından, bilgi, aksiyon potansiyeli darbelerinin sıklığıyla (frekansıyla) taşınmaktadır, Şekil (1.11).



Şekil 1.11 Aksiyon potansiyeli darbe katarı

### 1.3 Biyolojik İşaretlerin Algılanması:

Biyoelektrik potansiyelleri ölçebilmek için iyonik potansiyel ve akımları elektrik potansiyel veya akımlarına dönüştüren dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Elektrik kökenli biyolojik işaretleri algılamakta kullanılan böyle bir dönüştürücü iki elektrottan meydana gelir ve elektrotların uygulandıkları noktalar arasındaki iyonik potansiyel farkını ölçer. Her bir hücrenin ürettiği bireysel aksiyon potansiyellerini ölçmek imkansız değilse de bazı özel uygulamalar dışında çok zordur. Çünkü, hücre içine hassas olarak elektrot yerleştirilmesi gerekmektedir.

Biyopotansiyelleri en genel ölçme yöntemi, vücut yüzeyinden yapılan ölçümlerdir. Bu durumda alttaki birçok hücrenin aksiyon potansiyellerinin yüzeye gelen toplamı alınmaktadır. Bazı ölçümlerde ise bir kasa, sinire veya beyinin belirli bölgelerine batırılan iğne elektrotlar yardımıyla ölçüm yapılır.

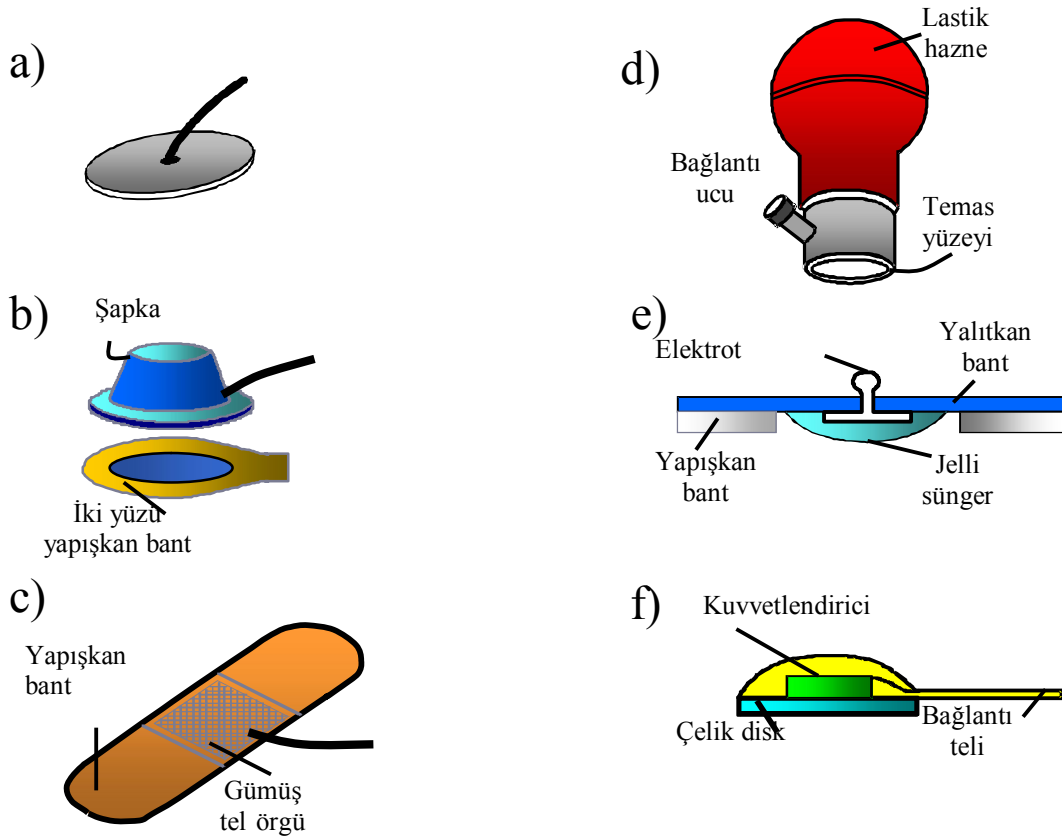
Biyopotansiyellerin vücut yüzeyine nasıl ulaştıkları kesin olarak bilinmemektedir. Ortaya birçok teoriler atılmıştır. Kalbin elektriksel potansiyellerinin izahı için ortaya atılan ve nisbeten gerçekçi görünen teoriye göre yüzeyden ölçülen potansiyel alttaki bireysel aksiyon potansiyellerinin kendilerinin değil fakat birinci türevlerinin toplamıdır. Ölçme metodu ne olursa olsun biyoelektrik potansiyellerin oldukça iyi bilinen dalga şekilleri mevcuttur.

Yüzey elektrotları, biyolojik işaretlerin deri üzerinden algılanmasında kullanılırlar.

- a) **Metal plaka elektrot:** Disk veya dikdörtgen biçimindedir. Ni-Ag (Ag-AgCl) alaşımı kullanılır. Deri ile arasına pasta (jel) sürülür. Özel lastik veya kayışla tutturulur. EKG, EMG ve EEG için kullanılır. Yüzeyi büyük, empedansı küçüktür.
- b) **Gezici tipten elektrot:** Elektrot şapka muhafazanın içinde. Şapkanın içinde elektrolit jel var. Şapka, yapışkan bantla tutturulur. Şapka hareket etse de elektrot elektrolite göre hareket etmez. Gürültü az olur. Ag-AgCl kullanılır.
- c) **Bükülebilir elektrot:** Bir yüzü yapışkan bant şeklindedir. Bant, plaster şeklinde bükülebilir. Küçük çocuklarda EKG için kullanılır. Ag-AgCl filmleri 2µ kalınlığında. X ışınına geçirgendir.
- d) **Emici düzenli elektrot:** Temas silindirik boruyla olur. Diğer uçta vakum pompası var. EKG için göğüs elektrodudur. Yüzey küçük, empedans büyük.



- e) **Tümüyle atılır elektrot:** EKG için göğüs elektrodudur. Ag-AgCl elektrot. Elektrot tabanına yapışık jel emdirilmiş süngeri vardır. Bir kere kullanılır ve atılır.
- f) **Kuru elektrot:** Pasta gerektirmez. Üst deri, elektrot ile dermis arasında yalıtkan durumundadır ve bu yüzden bir kapasite oluşur ki dermis ile elektrod bu kapasitenin plakaları, dış deri ise dielektrik malzeme durumundadır. Cd kapasitesi küçük;  $R_d$  büyük. Kapasitif kuplaj olur, YGF gibi. Kuvvetlendiricinin giriş empedansı büyük. Kuvv. elektrot yakınına kurulur (izleyici) ve gürültü azaltılır. Si teknolojisi kullanılır. Tabanda  $SiO_2$  yalıtkanı kullanılır.



Şekil 1.12 Yüzeysel elektrotları

### 1.3.2. Elektrik Kökenli Olmayan Biyolojik İşaretlerin Algılanması

Tıpta, dönüştürücüler, aşağıdaki fizyolojik büyüklükler ve amaçlar için kullanılmaktadır:

- i) Sıcaklık,
- ii) Yerdeğiştirme,

- iii) Kuvvet (basınç),
- iv) Hız,
- v) İvme (titreme)
- vi) Hacim ölçümlerinde,
- vii) Ses analizinde,
- viii) Doku ve organların görüntülenmesinde
- ix) Yapay organlarda.

### 1.3.3. Dönüştürücü Özellikleri:

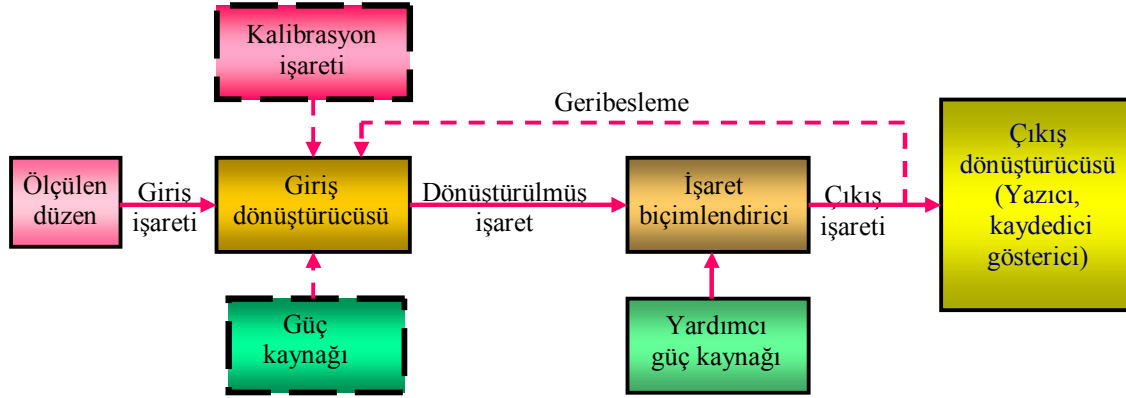
Dönüştürücüler, bir fiziksel büyüklüğü başka bir büyüklüğe (enerjiye) dönüştüren elemanlardır. Genelde, ölçme düzenlerinde; işleme, görüntüleme ve saklama kolaylığı açısından dönüştürülen enerji, elektrik enerjisi olmaktadır.

Bir amaç için birden fazla teknik kullanıldığı için, dönüştürücüleri, kullandıkları yere göre değil de kullandıkları tekniklere göre anlatmak olağan olmuştur. Örneğin, kan akış hızı ölçümü için elektromagnetik, değişken indüktanslı ve değişken dirençli dönüştürme teknikleri kullanılabilir. Kullanılan tekniklerin birbirlerine olan üstünlükleri vardır ve bu üstünlükler, şu şekilde sıralanabilir:

- a) Frekans cevabı,
- b) Giriş empedansı,
- c) Lineerliği,
- d) Doğruluğu,
- e) Duyarlığı,
- f) Rezolüsyonu (en küçük değişimi farkedebilme yeteneği),
- g) Operasyon (deşme, yarma) gerektirip gerektirmemesi,
- h) Değişken ortam şartlarında (sıcaklık, nem, basınç) uzun süre kararlılığını koruması,
- i) Fiyatı,
- j) Yapım ve işleme kolaylığı,
- k) Gürültüsü,
- l) Boyutu,
- m) Ağırlığı,
- n) Ölçüm düzenine etkisi,
- o) Ölçme sınırları ve dinamiği,
- p) Ataleti (cevap verme süresi),
- r) Güç harcaması (disipasyon sabiti) ve
- s) Ömrü.

### 1.3.4. Ölçme düzenleri:

Biyolojik işaretleri ölçen genel bir sistemin blokları şekil 1.17'de gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Ölçme düzeni

- a) Ölçme düzenleri ölçülen büyüklükle orantılı gözlenebilir bir çıkış vermek üzere tasarlanırlar. Ölçme düzenlerinin girişlerinde, ölçülen büyüklüğü algılayan ve enerji dönüştürme işlemini yapan bir giriş dönüştürücüsü bulunur.
- b) Dönüştürücüler, elektrik kökenli olmayan biyolojik işaretlerin ölçülmesinde kullanılırlar.
- c) Elektrot da dönüştürücü (kimyasal dönüştürücü) sınıfına girmesine rağmen, elektrik kökenli biyolojik işaretlerin algılanmasında kullanıldıklarından, dönüştürülerden ayrı bir başlık altında incelenmektedir.
- d) Kalibrasyon işareti ile tüm sistem (dönüştürücü dahil) kalibre edilebilir.
- e) Geribesleme, sistem lineerliğini, kararlılığını ve giriş empedans karakteristiğini iyileştirir.
- f) İşaret biçimlendirici, örneğin, kuvvetlendirici ve filtre düzenlerini içerir.
- g) Ölçme düzeninin en son katını, giriş işaretini gözlenebilir şekline veren yazıcı, gösterici ve/veya saklayıcı (çıkış dönüştürücüsü) bloğu oluşturur.
- h) Dönüştürücüler, dönüştürme işlemlerini gerçekleştirirken alternatif gerilim (AC) veya doğru gerilim (DC) güç kaynağı ile beslenmek durumunda olabilirler ki, bu dönüştürücülere **pasif dönüştürücüler** adı verilir. Değişken direnç ve değişken indüktans dönüştürücüleri, besleme kaynağı gerektirdiklerinden birer pasif dönüştürücüdürler.
- i) Güç kaynağı kullanmayı gerektirmeyen dönüştürücüler ise **aktif dönüştürücü** sınıfına sokulur. Fotodiyot ve termokupl, birer aktif dönüştürücüdür, Tablo (1.1).

Tablo (1.1) Aktif ve pasif dönüştürücüler

**Pasif dönüştürücüler**

Değişken dirençli  
 Değişken indüktanslı  
 Değişken kapasiteli  
 Mekanorezistif  
 Magnetorezistif  
 Piezorezistif  
 Termorezistif  
 Fotoiletken  
 Hall olay

**Aktif dönüştürücüler**

Piezoelektrik  
 Termoelektrik  
 Piroelektrik  
 Magnetrostriktif  
 Fotodiyot  
 Elektrokinetik

**1.3.5 Dönüştürücü çeşitleri:****Değişken dirençli (rezistif) dönüştürücüler:**

- Pasif tiptendir.
- Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, hareket ve kuvveti, direnç değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.
- Soluk hızı ölçerler, karbon mikrofonlar (kalp sesleri için), nem ölçerler, hacim (göğüs hacmi değişikliği) ölçerler ve bolometreler bu tipten dönüştürücü kullanırlar.
- Potansiyometreler, gerinim ölçerler ve piezorezistif dönüştürücüler bu sınıfa girer.

**Sıcaklık dönüştürücüleri:**

- Pasif (termorezistif) veya aktif (termoelektrik) tipleri vardır.

**Değişken indüktanslı (indüktif) dönüştürücüler:**

- Pasif tiptendir. Tek bobinli ve çok bobinli olanları vardır.
- Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ivmeyi indüktans değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

**Değişken kapasiteli (kapasitif) dönüştürücüler:**

- Pasif tiptendir.
- Fizyolojik büyüklük olarak yerdeğiştirme, basınç, kuvvet ve ses titreşimlerini kapasite değişimi yoluyla elektrik enerjisine dönüştürürler.

**Piezoelektrik dönüştürücüler:**

- Mekanik uyarı karşısında direkt olarak elektrik çıkışı veren aktif tipten dönüştürücüdür.
- Kullanılma yerlerine örnek olarak aşağıdakiler verilebilir;  
 Kalp sesi ölçümleri için mikrofonlar,  
 Titreşim ölçerler için ivme algılayıcıları,  
 Kan akış hızı ölçümleri için ultrasonik hız ölçerler,  
 Ultrasonik (kalp ve iç organlar için) görüntüleme cihazları,  
 Ultrasonik operatörlük (cerrahi) cihazları,  
 Ultrasonik diyatermi (doku ısıtıcı) cihazları,  
 Piezoelektrik kalbe destek cihazlar,

Sterilizatör (temizleyici) cihazları,  
Fizik tedavi cihazları,  
Deri üzerinden böbrek taşı parçalayıcıları,

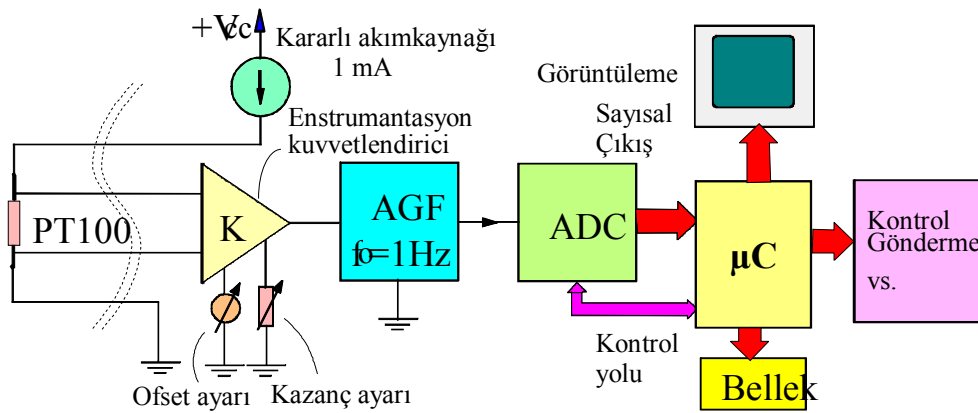
#### Elektromagnetik dönüştürücüler:

- Elektromagnetik dönüştürücüler, gerek hareketi gerilime ve gerekse gerilimi harekete dönüştürebilen ve en azından ortamda magnetik alan oluşturmak amacıyla elektriksel olarak beslenmeleri gereken pasif dönüştürücülerdir.
- Bu çeşit dönüştürücülerden ölçme amacıyla kullanılanlarının dayandığı prensip; "magnetik alanı kesen hareketli bir iletkende bir gerilim endüklenir" (*Faraday Yasası*) şeklindedir. Bu dönüştürücüler; kan akış hızı ve soluk hızı ölçmelerinde kullanılırlar. Ayrıca göğüs mikrofonları olarak ve balistokardiyograf cihazları için de uygulama alanları vardır.

Şekil (1.18)'da, bir ölçme düzenine örnek olarak termorezistif (RTD) dönüştürücülü bir sıcaklık ölçme düzeni gösterilmiştir. Platin dirençli rezistif sıcaklık dönüştürücüsünden sabit bir akım akıtılmakta ve direncin sıcaklıkla doğrusal değişmesi özelliğinden yararlanılarak, sıcaklık değiştikçe doğrusal bir gerilim değişimi platin direncin (PT100) uçlarından elde edilmektedir.

Giriş katında, ortak mod gürültülerinden (50Hz'lik şebeke gürültüsü vb.) kurtulmak için, Ortak İşaret Bastırma Oranı ("CMRR", common-mode rejection ratio) yüksek olan bir enstrumantasyon kuvvetlendirici kullanılabilir.

**Ofset ayarı**, veya başka bir deyişle **sıfır ayarı**, ölçme aralığının başında, örneğin 0 °C'de, ofset ayar potansiyometresi ile çıkış sıfırlanarak veya olması gereken minimum bir değere getirilerek yapılır. Daha sonra, kuvvetlendiricinin kazancıyla oynanarak kuvvetlendirici çıkışının istenen sıcaklıkta istenen değeri alması sağlanır. Bu iki ayar yardımıyla köprü **kalibrasyon** işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 1.18 Termorezistif dönüştürücülü bir sıcaklık ölçme düzeni