BİYOFİZİK

PRATİK KLAVUZU

Doç.Dr. Nizamettin DALKILIÇ

Ar.Gör. Seçkin TUNCER

Prof.Dr. İlhami DEMİREL

Prof.Dr. Ferit PEHLİVAN
(Ankara Üniversitesi Tıp Fak.)

Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

BİYOFİZİK PRATİĞİNE GİRİŞ

Konusu biyolojik, metodolojisi fiziksel olan pratik eğitimi günümüz koşullarında pahalı donanımları ve eğitilmiş kişileri gerektirir. Gelişmesini sürdürmekte olan Fakültemizde, klinik dışındaki bölümlere imkan sağlanmaya başlanmasıyla birlikte anabilim dalımıza bir mekan ve bir miktar maddi destek verilmiştir. Bunların sonucunda görselliğin eğitimdeki önemi de göz önüne alınarak tıp fakültesi öğrencisinin kısıtlı imkanlarla da olsa pratik eğitimi almasının gerekliğine inandık. Bu doğrultuda laboratuvarımızın boyutlarının elverdiği ölçüde öğrencilerimizi küçük gruplara ayırarak biyofizik programına 2000-2001 öğretim yılında başladık. Bu pratik programının daha verimli olması için öğrencilerimizi yönlendirecek ve bilgilendirecek bir pratik kılavuzu hazırlamaya karar verdik.

Her deneyin bir rapora bağlanmasının bir disiplin getireceği, pratik eğitiminden asıl beklenen yararı getireceği açıktır. Ancak rapor düzenlenmesinin pratik eğitim saati dışına taşmasının da, yoğun bir program işleyen öğrencilerimize fazlalık bir yük getireceğini düşünerek, bu notlar hem bir kılavuz hem de rapor defteri olarak düzenlenmiştir.

Pratiğe Giriş

Ölçülerde Belirsizlik ve Hata

Biyofizik, metodolojik yanı ile, biyolojik olayların daha çok ölçülebilen yanları ile ilgilenir. Bir ölçü aracı ile ölçme işlemi yapılırken, ölçülen niceliğin gerçek değerini bulmak olanaksızdır. Ölçme işlemi ile bulunan ölçü sayısı gerçek değere yakın bir değerdir ve bir miktar hata taşır. Hataların kaynakları çok değişik olabilir. Ölçü aracından veya ölçme yönteminden gelecek hatalar **kusurluluk hataları** (veya **sistematik hatalar**) olarak adlandırılır.

Sistematik hataları giderilmiş bir ölçü aracı ile ölçü yaparken, gerek ölçü aracının, gerek duyu organlarımızın ayırma yeteneklerinin sınırlı olmalarından dolayı yine gerçek değeri elde edemez, bir miktar hata yaparız. Bu türden hatalara **rasgele hatalar** denir. Rasgele hatalar biyolojik çeşitlilikten de kaynaklanabilir.

Ölçü ve hesap sonuçlarını bir yaklaşık değer ve belirsizliği ile bildirmek gerekir.

Yaklaşık Değer ve Belirsizliğin Saptanması

Değişik koşullarda yaklaşık değer ve mutlak belirsizliği saptamak üzere birçok kural konulmıuştur. Bu kurallardan yaygın olarak kullanılanlar aşağıda belirtilmiştir.

a) Değeri sabit kalan bir büyüklüğün a_1, a_2,……..a_n gibi birçok ölçümü yapılabiliyorsa, ölçü sayıları kümesinin,

$$a_{or} = \frac{a_1 + a_2 + ... + a_n}{n} \qquad [1]$$

bağıntısı ile tanımlanan a_{or} **ortalama değeri**, bu niceliğin **yaklaşık değeri** olarak alınır. **Mutlak belirsizliğin** ölçüsü olarak da,

$$s = \sqrt{\frac{(a_1 - a_{or})^2 + (a_2 - a_{or})^2 + ... + (a_n - a_{or})^2}{n-1}} \qquad [2]$$

bağıntısı ile tanımlanan **standart sapma** niceliği alınır.

Bir ölçme duyarlılığı (presisyon) ise,

$S=s/a_{or}$

oranı ile verilir ve bu orana bağıl belirsizlik de denir.

b) Ölçülen büyüklüğün birçok kez ölçüsünü almak olanaksız ise, mutlak belirsizlik miktarı ölçü aracının ölçek duyarlığına bakarak tahmin edilir. Buna benzer durumlarda, **ölçü aracının en küçük bölmesinin 0,2 katı** mutlak belirsizlik olarak alınabilir.

c) Ortalama olarak bulunan bir a niceliğinin güven sınırlarını belirtmek amacı ile,

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} \qquad [3]$$

bağıntısı ile tanımlanan **standart hata** kavramı da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Standart sapma ile *bir ölçünün taşıdığı* belirsizlik, standart hata ile *ortalama*nın güven aralığı belirlenmektedir.

Grafik Çizim

Çoğu zaman bir niceliğin diğer niceliğe göre aldığı değerleri ölçüp değişim biçimini bulmak isteriz. Bunun için ölçüm sonuçlarını tablolaştırdıktan sonra grafik kağıdına işaretler ve değişim grafiğini tahmin ederiz. Örneğin ultrasesin kas dokusunda ilerlerken şiddetinin derinlikle değişimi ölçülmüş ve Şekil 1 deki gibi tablolaştırılmış olsun.

Tablo verileri grafik kağıdına aktarılırken ve grafik çizerken aşağıdaki kurallara uymak gerekir.

a) Milimetrik veya gerekiyorsa logaritmik grafik kağıdı kullanmak uygun olur.

b) Bağımsız değişken yatay eksende (örneğimizde derinlik), bağımlı değişken ise düşey eksende (örneğimizde şiddet) gösterilir.

c) Herbir eksen için uygun bir ölçek seçilir. Ölçek seçilirken, ölçü noktalarının ve çizilecek eğrinin olanaklı olduğu kadar geniş bir alana yayılması uygun olur.

d) Ölçek seçilirken eksende her bir bölme 1, 2 veya 5 sayılarının ondalık çarpanları olarak seçilmesi (0,10; 0,2; 50; 200 vb.), verilerin işaretlenmesini kolaylaştırır.

e) Eksenler üzerine yalnızca ölçeği belirten tam bölmelere karşılık nicelik değerleri yazılır, ölçme sonuçları yazılmaz.

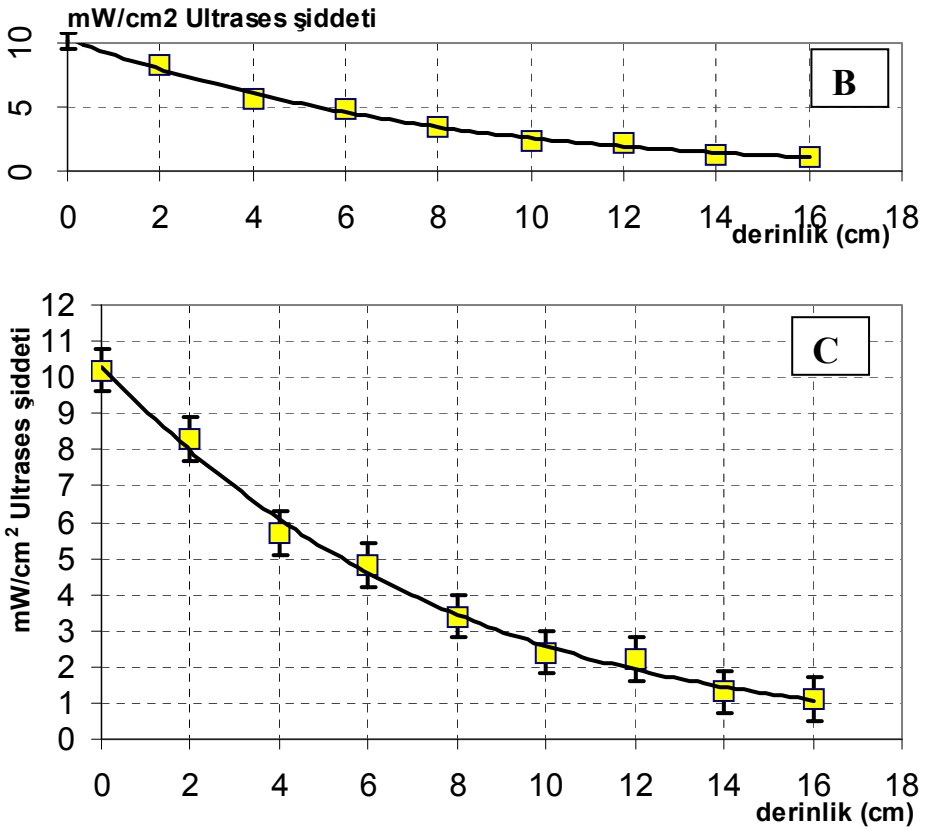
f) Eksenler üzerine niceliğin adı (veya simgesi) ile birimi yazılır.

g) Ölçü noktaları grafik kağıdı üzerine belirgin, özel simgelerle (○, •, ♦,◊,□ vb) bir şekilde işaretlenir. Aynı grafik kağıdı üzerinde birden fazla veriler takımı işaretlenirken her bir veri takımı için ayrı simgeler kullanılır.

h) Değişim ilişkisini belirten eğri çizilirken, ölçümlerde belirsizliğin fazla olduğu biliniyor ise, noktalar doğru parçaları ile birleştirilmez, bütün ölçü noktaları arasından, ölçü noktalarına yakın ve ölçü noktaları her iki yanda eşit dağılacak şekilde bir eğri çizilir.

Derinlik (cm)	Ultrases Şiddeti mW/cm^2
0	10.2
2	8.3
4	5.7
6	4.8
8	3.4
10	2.4
12	2.2
14	1.3
16	1.1

A



Şekil 1: Bir deneyde yapılan ölçümlerin tablo ve grafikle anlatılması. **A**: Ultrasesin kas dokusu içinde şiddetinin derinlikle değişimine ilişkin alınmış ölçümler tablosu. **B:** Tablo verilerinin uygun seçilmemiş bir grafikteki görünümü. **C:** Aynı verilerin uygun ölçekli bir grafik kağıdında gösterimi.

Tek Terimli İlişki Biçimlerinde Denel Verilerden Yola Çıkarak İlişkinin (Davranış Denkleminin) Belirlenmesi

Basit ve tek terimli ilişki biçimlerinde, veriler tablosuna bakarak iki nicelik arasındaki ilişki biçiminin belirlenmesi olanaksızdır. Doğrusal (linear) ilişki, sıanması en kolay olan ilişki biçimidir.

a) Doğrusal ilişkinin Sınanması

Grafik Yöntem

Bir yöntemde bağımlı değişken (y) niceliğinin bağımsız değişken (x) niceliğine göre değişim grafiği, grafik çizimi için yukarıda belirtilen kurallara uygun olarak çizilir. Tahmin eğrisi bir doğru şeklinde çıkarsa ilişkinin doğrusal (linear) olduğu söylenir. Doğrusal ilişkinin,

$$y = mx + n \qquad [4]$$

şeklinde ifade edilen denklemindeki (m) parametresi doğrunun eğimidir. Geometrik eğimden farklı olarak buradaki eğim boyutludur ve boyutu x ve y niceliklerinin boyutuna bağlıdır. Eğimi tespit etmek için çizilen doğru üzerinde, birbirinden yeterince uzakta seçilen iki noktaya karşılık nicelik değerleri (x_1,y_1) ve (x_2,y_2) eksenlere bu noktalardan dikme inilerek m parametresi,

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \qquad [5]$$

bağıntısından hesaplanır.

Eğim hesabında kullanılacak noktalar, hata taşıdıklarından ölçü noktaları olmamalı, tahmin doğrusu üzerinde alınmalıdır. Çizilen tahmin doğrusunun düşey ekseni kestiği noktada y niceliğinin aldığı değer ise y=mx+n ifadesindeki n parametresinin değerini verir.

b) Tek terimli, dogrusal olmayan ilişkilerin sınanması

Tek terimli, doğrusal olmayan ilişkiler, doğrusal ilişkilere dönüştürülerek sınanabilmek-tedir. Örneğin, K, α, β birer sabit olmak üzere, bağımsız değişken x niceliği ile bağımlı değişken y niceliği arasındaki fonksiyonel ilişki,

$$y=K.x^{\beta} \qquad [6]$$

gibi bir kuvvet fonksiyonu, ya da,

$$y=K.e^{\alpha x} \qquad [7]$$

gibi bir üssel (*eksponansiyel*) fonksiyon olsun. Deneyle bulunan x ve y değerleri tablosundan, ya da bu tablo verilerine dayalı olarak çizilen eğriden yararlanarak ilişkinin biçimi saptanamaz. Yukarıdaki bağıntılarda, her iki yanın örneğin (e) tabanına göre logaritmaları alındığında (e doğal logaritmanın taban sayısıdır ve değeri e=2,718 dir ve bu tabana göre logaritma Log_e veya ln simgesi ile gösterilir),

$$\ln y=\ln K+\beta \ln x \qquad [8]$$

$$\ln y=\ln K+\alpha x \qquad [9]$$

bağıntıları elde edilir. Bu bağıntılardan ilkine göre, (ln y) niceliği (ln x) niceliğine göre doğrusal olarak değişmekte, ikinciye göre ise, (ln y) niceliği (x) niceliğine göre doğrusal olarak değişmektedir. Bu duruma göre şimdi soru tersine çevrilebilir.

1- Tablolaştırılmış veriler takımında, önce iki nicelik arasında doğrusal bir ilişkinin var olup olmadığına bakılır. Doğrusal ilişki yok ise, tabloya değişken niceliklerin logaritmaları eklenir.

2- lny=fonksiyon (ln x) değişim grafiği çizilir. Grafik bir doğru çıkarsa, bu doğrunun [8] bağıntısına benzer denklemi oluşturulur. Antilogaritma alınarak asıl değişim fonksiyonu olarak [6] bağıntısına benzer bir kuvvet fonksiyonu bulunur. Doğru çıkmazsa başka değişim fonksiyonları sınanır.

3- ln y = fonksiyon (x) değişim grafiği çizilir. Değişimin doğru çıkması halinde, [9] bağıntısına benzer doğru denklemi yazılır. Her iki yanın antilogaritmaları alınarak asıl değişim fonksiyonunun [7] bağıntısına benzer üstel değişim fonksiyonu olduğu anlaşılmış olur.

Bu sınamaların ölçütleri ile uyum sağlanamadığı takdirde denel verilerin, ancak bilgisayar teknikleri ile belirlenebilecek, daha karmaşık bir fonksiyona uyduğu anlaşılır.

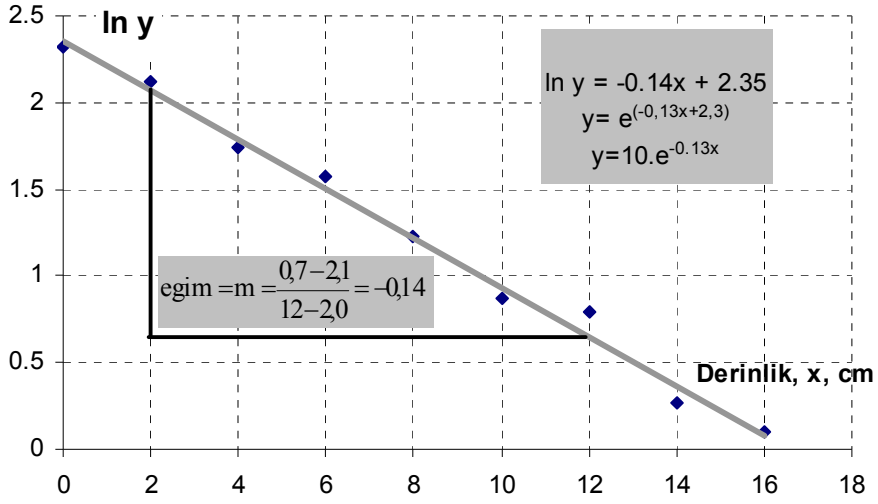
Üssel (eksponansiyel) ilişkilerin yarı logaritmik ölçekte çizimi bir doğru verir

Üstel, [6] bağıntısına uyduğu tahmin edilen bir ilişkinin sınanmasında ,

a) Doğrusal veya aritmetik ölçekli bir grafik kağıdında yatay eksende (x) niceliği düşey eksende (log y) niceliği işaretlenirse bir doğru elde edilir. Logaritma tabanı 10 veya e=2,718 seçilebilir.
b) Yarı logaritmik ölçekli bir grafik kağıdında yatay aritmetik ölçekli eksende x niceliği, düşey logaritmik eksende y niceliği işaretlenirse bir doğru elde edilir.

Örneğin, Şekil 1 de görülen tabloya bir de (lny) sütunu eklenerek ve ölçülen y lerin logaritması yazılarak Şekil-2 deki tablo oluşturulmuş, yandaki grafikte de doğrusal bir ilişkinin varlığı anlaşılmıştır. Bu doğrunun denklemi ve asıl ilişkinin nasıl bulunacağı şekil üzerinde belirtilmiştir.

x (cm)	y Şiddeti mW/cm^2	ln y
0	10.2	2.32
2	8.3	2.12
4	5.7	1.74
6	4.8	1.57
8	3.4	1.22
10	2.4	0.87
12	2.2	0.79
14	1.3	0.26
16	1.1	0.09

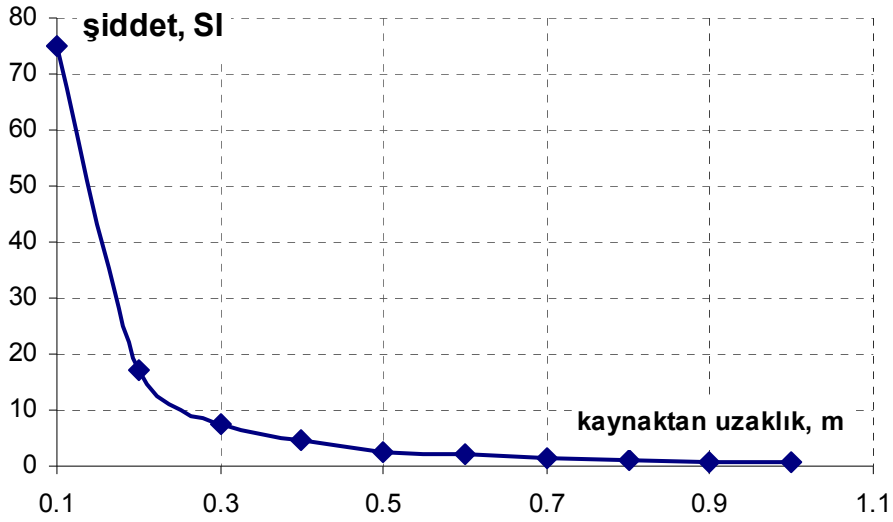


Şekil 2: Üssel (*eksponansiyel*) bir ilişkinin doğruya dönüştürülerek sınanması

Bir kuvvet fonksiyonu ile ifade edilebilen ilişkilerde, yani tabanın değişken olması ve [7] bağıntısına uyması halinde bi loğaritmik grafik çizimi bir doğru verir.

Değişim bir kuvvet fonksiyonuna uyuyor ise, doğrusal ölçekli bir grafik kağıdında yatay eksende ($\log_{10}$ x) niceliği, düşey eksende ($\log_{10}$ y) niceliği işaretlendiğinde, ya da veriler tam logaritmik ölçekli bir grafik kağıdında işaretlendiğinde bir doğru elde edilir.

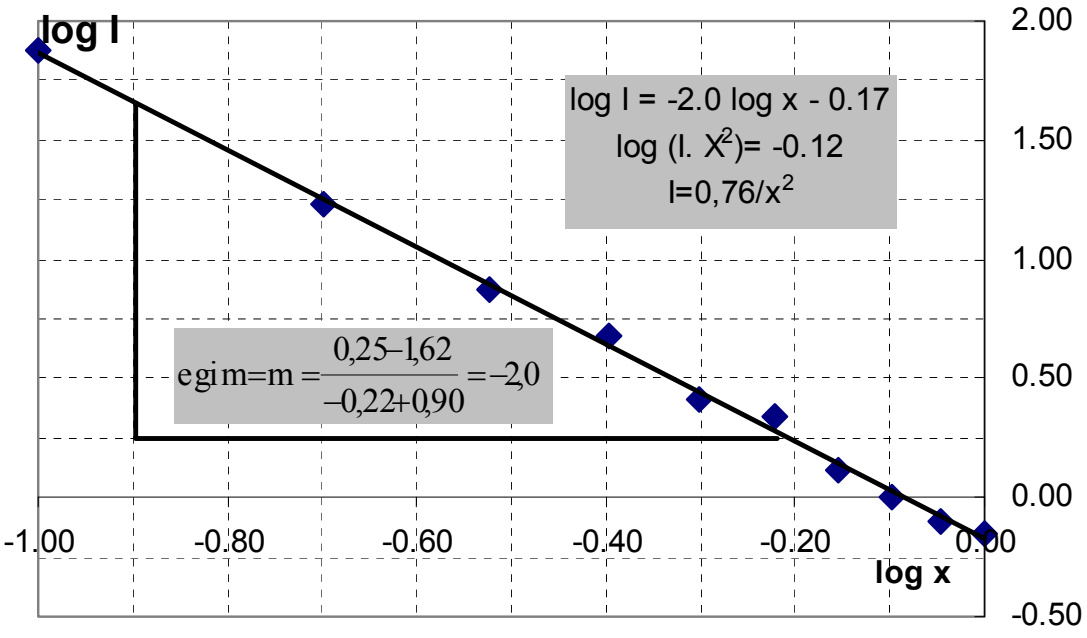
x m	I SI
0.1	75
0.2	17
0.3	7.5
0.4	4.8
0.5	2.6
0.6	2.2
0.7	1.3
0.8	1
0.9	0.8
1	0.7



Şekil-3: Noktasal bir kaynaktan yayılan ışıma şiddetinin kaynaktan uzaklıkla değişimine ait ölçüm sonuçları ve denel verilere göre değişimin doğrusal ölçekli bir grafik kağıdındaki görünümü.

Noktasal bir dalga kaynağı, veya radyoaktif izotop gibi bir radyasyon kaynağının saldığı enerjinin şiddeti, ortamda soğurulma olmasa bile, kaynaktan uzaklaştıkça azalır. Böyle bir kaynaktan farklı uzaklıklarda ölçülen şiddetler Şekil 3 deki tabloda keyfi bir birimle verilmiş, veriler bir grafik kağıdına aktarılmıştır. Grafikten değişim fonksiyonunu tahmin etmek kolay değildir. Bir kuvvet fonksiyonuna uyma olasılığı varsa, değişkenlerin Şekil 5 deki tabloda görüldüğü gibi, logaritmaları alınarak tablo genişletilir. Logaritmaları yeni değişkenler gibi (log I ve log x) düşünülerek, log I nın log x 'e göre değişim grafiği çizilir. Grafik bir doğru çıkarsa asıl değişimin tek terimli bir kuvvet fonksiyonuna uyduğu anlaşılır. Doğrunun denklemi bulunarak, Şekil 4 üzerindeki gibi, asıl fonksiyon bulunabilir.

x	I	log x	log I
0.1	75	-1	1.87
0.2	17	-0.70	1.23
0.3	7.5	-0.52	0.87
0.4	4.8	-0.40	0.68
0.5	2.6	-0.30	0.41
0.6	2.2	-0.22	0.34
0.7	1.3	-0.15	0.11
0.8	1	-0.10	0
0.9	0.8	-0.05	-0.09
1	0.7	0	-0.15



Şekil 4: Noktasal bir kaynaktan yayılan ışıma şiddetinin kaynaktan uzaklıkla değişimine ait ölçüm sonuçları ve bağımlı ve bağımsız değişkenlerin logaritmalarının birbirine göre değişimi. Grafik bir doğru verdiğine göre, asıl değişim tek terimli bir kuvvet fonksiyonudur.

Deney 1

Denel verilerin anlamlandırılması

Aşağıdaki tabloda bir deneyin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçları öyle bir şekilde analiz etmemiz istenmektedir ki benzer deneylerin sonuçlarını önceden tahmin etmek mümkün olsun.

Deneylerde, bir kabın içine doldurulmuş suyun, kabın tabanındaki deliklerden akış zamanı incelenmektedir. Tahmin edilebileceği gibi bu akış zamanı,deliğin büyüklüğüne ve kutunun içindeki suyun miktarına bağlıdır.

Akış zamanı ve delik büyüklüğü arasındaki ilişkiyi bulmak için aynı büyüklükte dört adet silindirik kap alınıp içlerine aynı miktarda su doldurulduktan sonra kapların diplerindeki çapları farklı deliklerden suların akış zamanları birer birer ölçülmüştür. Ayrıca akış zamanının su miktarına bağlılığını ölçmek için bu sefer aynı kaplar değişik yüksekliklere kadar doldurularak ölçümler yapılmıştır.

Her ölçüm birçok defa tekrarlanmış ve her bir kabın boşalması için geçen sürelerin ortalamaları tabloya konulmuştur. Elle çalışan bir kronometre ile 0.1 saniyeden daha hassas ölçü yapılamadığı kabul edilebileceğinden, tabloda zamanı gösteren her sayının son rakamının bir büyük veya küçük olabilmesi anlamına gelir. Bu nedenle, bağıl (ya da kesirsel) hata, küçük zamanlar için büyük zamanlara göre daha büyüktür.

Değerlendirme

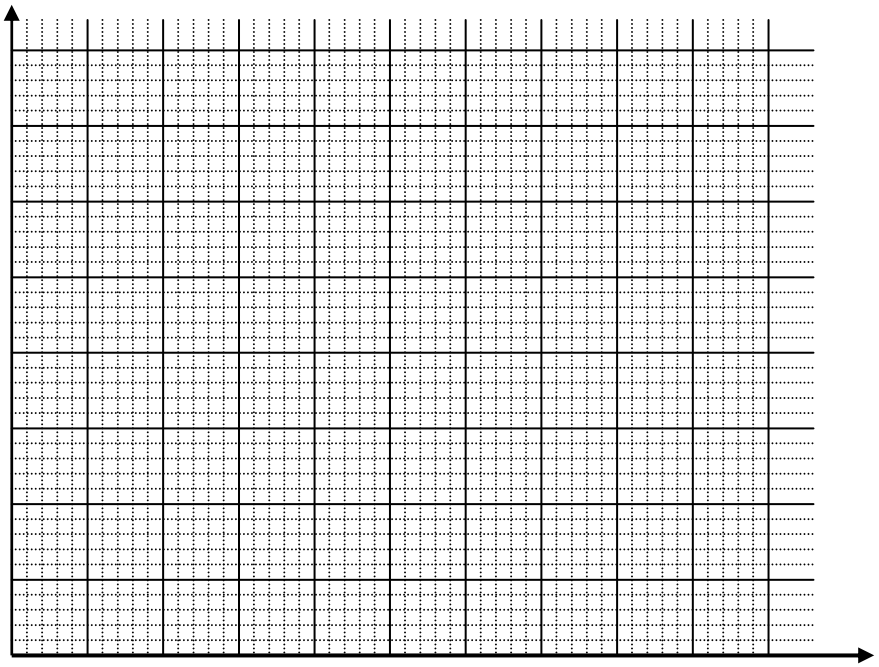
Kullanacağınız bütün veriler tabloda vardır, fakat oluşturacağınız belli grafikler, dada ileri tahminler yapabilmenizi sağlayacak ve matematik bağıntıları keşfetmenize önemli ölçüde yardımcı olacaktır.

Tablo-1: Çeşitli yükseklik (h) ve çaplar (d) için boşalma süreleri (t).

		h (cm)			
		30	10	4	1
d (cm)	$1/d^2$	akış süresi (t, s)	akış süresi (t, s)	akış süresi (t, s)	akış süresi (t, s)
1,5	0,44	73,0	43,0	26,7	13,5
2,0	0,25	41,2	23,7	15,0	7,3
3,0	0,11	18,4	10,5	6,8	3,7
5,0	0,04	6,8	3,9	2,2	1,8

1) Önce sabit bir yükseklik için (örneğin 30 cm), delik çapı-zaman grafiğini Şekil 1.1 deki grafik alana çiziniz.

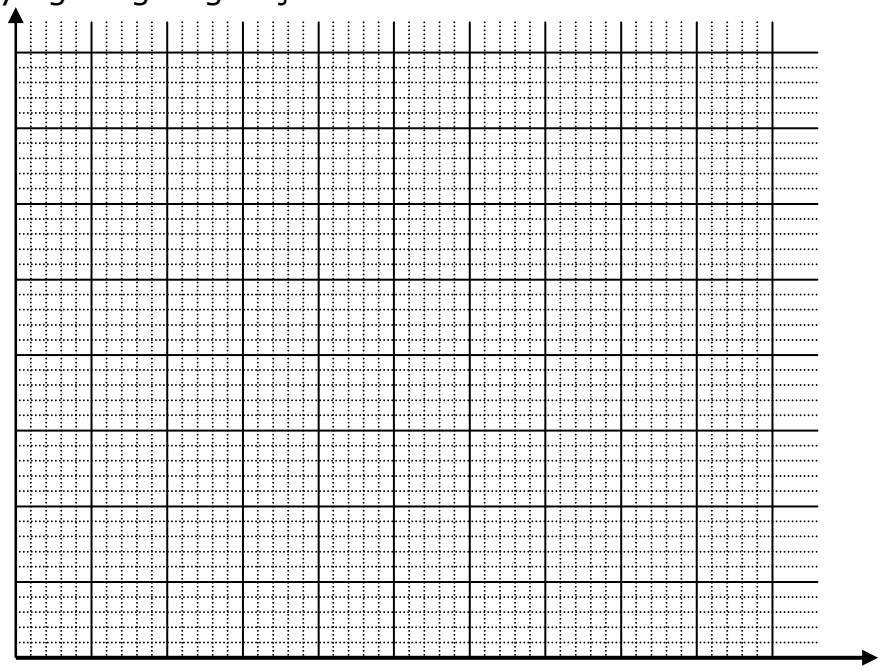
2) Noktaları düzgün bir eğri ile birleştiriniz. Delik çapları 4,0 ve 8.0 cm olsaydı aynı kabın boşalması için geçecek süreyi çizdiğiniz eğriden nasıl bir yolla bulabilirsiniz ?



Şekil 1.1: Sabit bir yükseklik (h=….. cm) için delik çapı akış süresi grafiği.

Her ne kadar eğrinizi kullanarak eğrinizi kullanarak ölçüler arasındaki ve ölçüler dışındaki değerleri hesaplayabilmek mümkünse de, t ile d arasında henüz bir cebirsel bağıntı bulmuş değilsiniz. Grafiğinizden t'nin d 'ye göre hızlı bir şekilde azaldığını görebilirsiniz. Bu durum, bir çeşit ters orantılılık olduğunu gösterir. Ayrıca akış zamanı ve delik yüzeyi arasında bir ilişki olduğunu düşünebilirsiniz. Çünki delik yüzeyi genişledikçe aynı sürede daha fazla su akacaktır. Bu durum t 'nin d^2 'ye göre grafiğini denemeyi akla getirir.

3) Bunu yapmak için uygun bir birim seçerek Şekil 1.2 grafik alanına t 'nin $1/d^2$ 'ye göre grafiğini çiziniz.



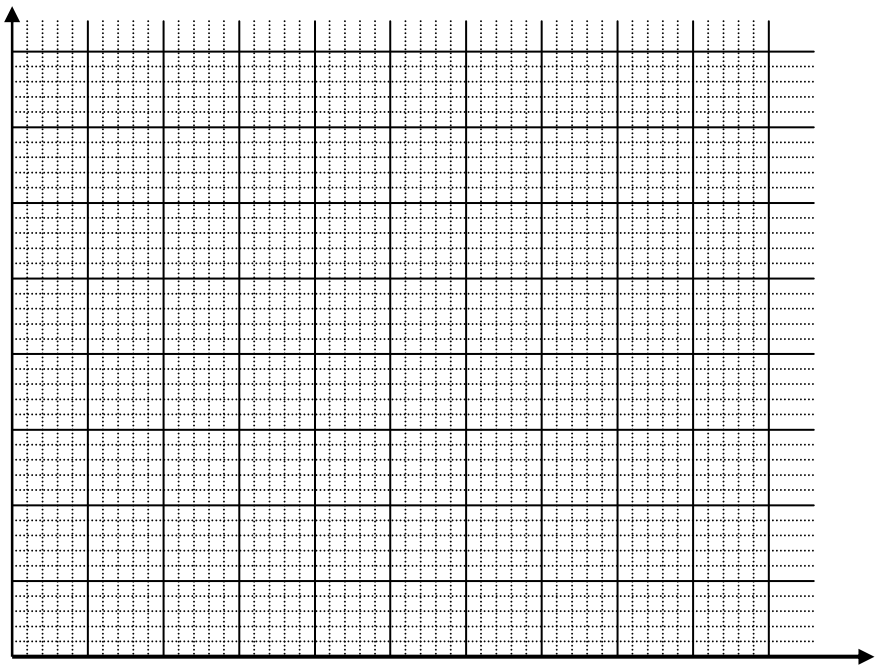
Şekil 1.2: Sabit bir yükseklik (h=….. cm) için akış süresi-$1/d^2$ grafiği.

Grafiğe bakarak söz konusu yükseklik için t ile d arasındaki cebirsel ilişkiyi aşağıdaki boşlukta bularak yazınız (Not: bir doğrunun denklemi y=mx+n).

t-ile d arasındaki cebirsel ilişki.

4) t ile d arasında böyle bir ilişkinin, farklı yükseklikler için de geçerli olup olmadığını sınamak için aynı grafik alan üzerinde diğer yükseklikler için de t'nin $1/d^2$ ye göre grafiklerini çiziniz. Ne sonuca vardınız, aşağıdaki boşluğa yazınız ?

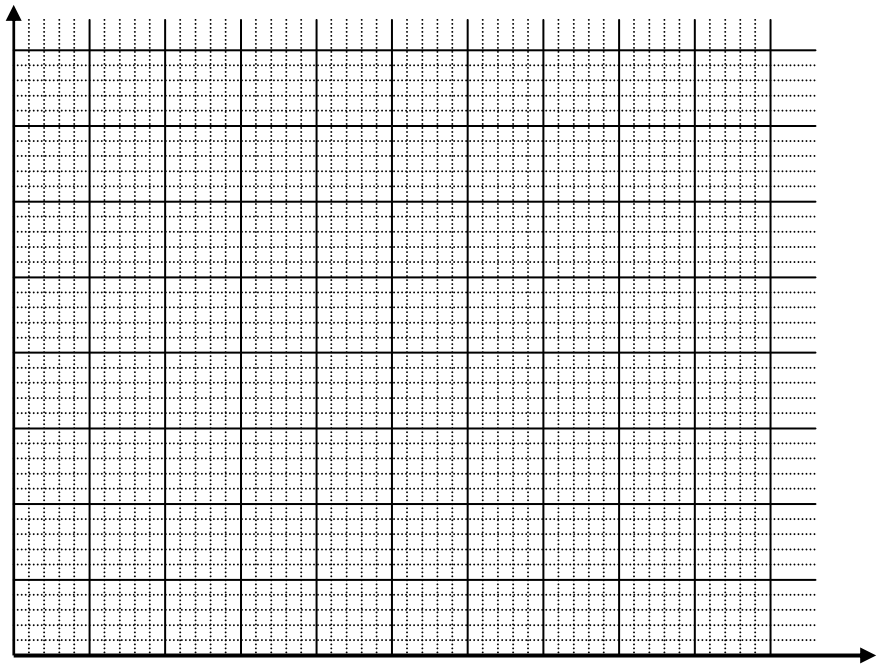
5) Sabit delik çapı için, t 'nin h 'ye bağlılığına sınayalım. Tablo 1 den d=1,5 cm için Şekil 1.3 deki grafik alanda h'nin yatay eksende alınması ile noktaları yerleştirin ve bir eğri ile bu noktaları birleştirin. Aynı işlemi aynı grafik alanda d=3,0 cm için de yapın.



Şekil 1.3: Sabit delik çapı için akış süresi (t)-yükseklik (h) grafiği.

6) Logaritma kavramını kullanarak bu ilişkinin $t \alpha h^m$ şeklinde olup olmadığını kontrol edebilirsiniz. Bunu yapmak için Tablo 2 de verilen logaritma değerlerini kullanarak ln(t)'nin ln(h) ye göre grafiğini Şekil 1.4 deki gafik alana çiziniz ve eğimi (m) bulunuz.

h(m)	t(s)	ln (h)	ln (t)
30	73,0	3,40	4,29
10	43,0	2,30	3,76
4	26,7	1,38	3,28
1	13,5	0	2,60

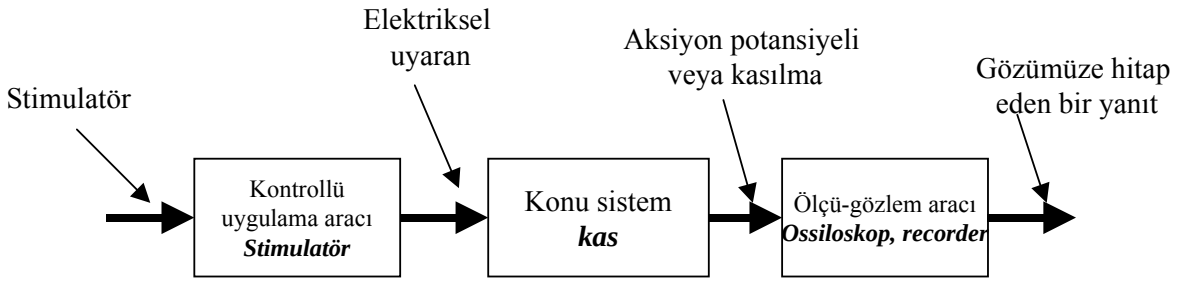


Şekil 1.4: Ln(t)-ln(h) grafiği.

7) Şekil 1.4 de çizdiğiniz grafiği kullanarak akış zamanı (t) için h ye bağlı genel bir ifadeyi bularak aşağıdaki kutu alana yazınız ($\ln t = \ln t_o + m.\ln h$ olduğunu hatırlayınız). Akış zamanının hem h, hem de d ye bağlı genel ifadesini bulunuz. Bulduğunuz bağıntıdan h=20 cm ve h=4.0 cm için t nin değerini hesaplayınız ve bu değeri grafikle bulduğunuz değerle karşılaştırınız.

DENEY II
BİYOELEKTRİK ÖLÇÜ VE GÖZLEM ARAÇLARI

Ölçü ve gözlem araçları kullanarak, duyusal yollarla hiç sezemiyeceğimiz kadar küçük olan, veya duyusal yollarla hiç bir biçimde algılayamadığımız türlerden nicelikleri ölçebilmekte ve zaman değişim biçimlerini çizdirebilmekteyiz. Bir deney planlaması içinde, genel olarak, Şek. 1 deşematize edildiği gibi üç sistem bulunur. **Kontrollü etkime aracı** diyebileceğimiz bir sistem aracılığı ile, inceleme konusu yaptığımız sisteme etkiler uygularız. **Ölçü aracı** olarak adlandırılan bir sistemle de konu sistemin yanıtını ölçeriz. Konu sistemin **yanıtı** (çıktı, output) ölçü gözlem aracına **etki** (girdi, input) olarak uygulanmaktadır.

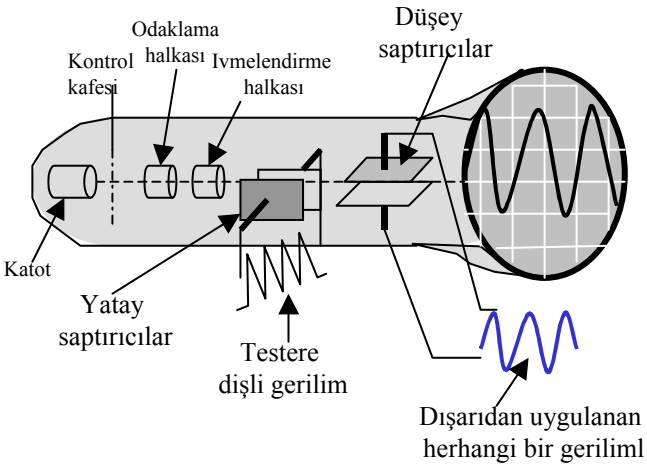


Şekil 1: Genel bir deney şeması(kasa elektriksel uyaran uygulanması örnek olarak verilmiştir).

Ölçü araçları, özellikleri ve davranış denklemleri bilinen, yanıtına bakarak etki hakkında bilgi çıkarabildiğimiz sistemlerdir. Yanıt, bir kalemin, bir gösterge iğnesinin, bir ışıklı lekenin doğrusal veya açısal yerdeğiştirmesi gibi gözümüze hitap edecek bir değişimdir.

Ossiloskoplar

Ossiloskoplar, oldukça yüksek frekanslara kadar yanıt verebilen elektriksel ölçü ve gözlem araçlarıdır. Bir ossiloskobun en önemli parçası olan katot ışınları tüpünün (CRT) şeması Şekil 2 de görülmektedir.



Şekil 2: Katot ışınları tüpünün (CRT) temel elemanları

Havası boşaltılmış olan bu tüpün arkasında *termoiyonik* olaya dayalı olarak elektron salan *katot* elemanı vardır. Genellikle oksit kaplı nikelden yapılan katot, içindeki fitilden akım geçirilerek ısıtılır ve elektron salar. Yüksek, pozitif potansiyeldeki ivmelendirme halkalarına doğru hızlandırılan elektronlar, elektron merceği ödevi gören halka elektrotlar arasından geçerken ince bir demet haline getirilir. Katodun önünde bulunan kontrol kafesine uygulanan bir gerilimin değiştirilmesiyle kafesi birim zamanda geçen elektron sayısı kontrol edilebilir.

İnce demet haline getirilen elektronlar, *luminesans* bir ekran üzerine düşürülünce ışıklı bir iz oluşur.Elektron demeti *yatay saptırıcı* levhalar arasından geçerken, bu levhalar arasına uygulanan V_x potansiyel farkı ile orantılı bir sapmaya uğrar.*Düşey saptırıcılara* uygulanmış V_y gerilimi etkisinde de ışıklı iz, bu gerilimle orantılı olarak düşey doğrultuda bir yer değiştirme yapar.

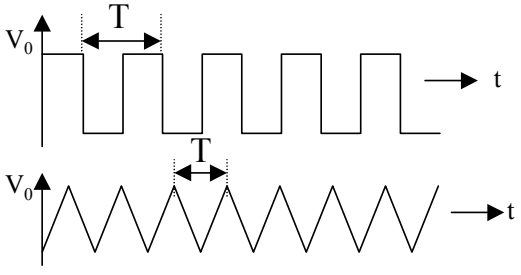
Gerilimler yatay ve düşey saptırıcılara uygulanmadan önce ossiloskopun içinde bulunan amplifikatörlerde yükseltilir. Çoklu bir düğme ile *amplifikasyon kazancı*, dolayısı ile aracın *duyarlılığı* değiştirilir. Her bir basamak için ölçek duyarlılığı genellikle aracın üstünde "*volt/bölme*" cinsinden belirtilir.

Bir gerilimin zaman değişim grafiğini çizdirmek için, yatay saptırıcılara *testere dişli* oalrak adlandırılan ve genellikle ossiloskobun kendisinin ürettiği bir gerilim uygulanır. Testere dişli gerilimin periyodu da bir çoklu düğme ile basamaklı olarak değiştirilir ve her basamak için zaman ölçeği "zaman/bölme" cinsinden belirtilir. Işıklı iz yatay zaman eksenini tararken, düşeye uygulanan $V_y(t)$ geriliminin zamanla değişim grafiği çizilir. Testere dişli gerilimin bir periyodu bitince, ışıklı iz sol başa dönerek taramayı yineler.

Ossiloskoplar aracılığı ile tüm periyodik sinyallerin frekanslarını, aynı frekanslı iki sinyalin fazını karşılaştırmak, iletim hızı tayininde olduğu gibi, sinyaller arasındaki çok küçük zaman aralıklarını ölçmek mümkün olmaktadır.

DC Kaynakları: Pil veya akü gibi voltajı veya akım değeri zamanla değişmeyen gerilimler üreten sistemlerdir.

Fonksiyon Jeneratörü: *Sinüzoidal, kare, üçgen biçimli* vb. farklı zaman desenlerine sahip gerilimler üretebilen sistemlerdir. Ürettikleri bu gerilimlerin genlik ve frekanslarını istenilen değerlere ayarlamaya da olanak tanırlar. Şekil 3 de bir fonksiyon jeneratörünün vereceği kare ve üçgen biçimli gerilimler görülmektedir.

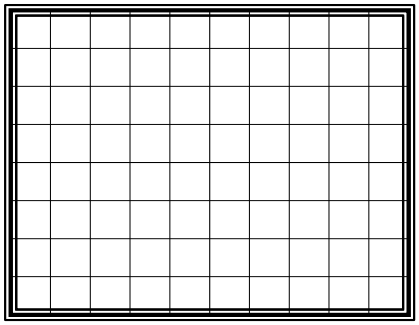


Şekil 3: Bir fonksiyon jeneratörünün vereceği kare ve üçgen biçimli gerilimler. T: Periyot

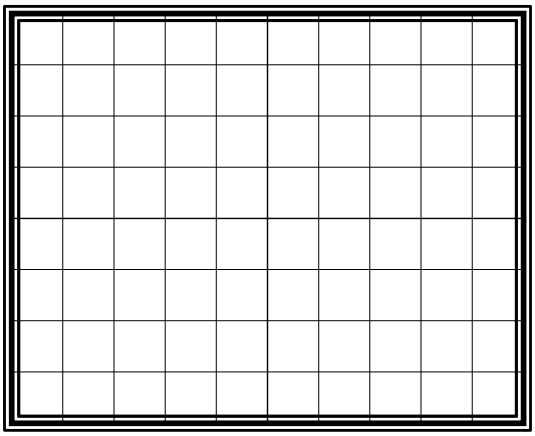
DENEY

Bu deneyde biyoelektrik ölçü-gözlem aracı olan ossiloskop ve diğer uygulama araçlarını kullanma becerisinin kazandırılması, genel özelliklerin kavratılması ve gözlenen gerilim parametrelerini (genlik, frekans vb. gibi) belirleme becerisinin kazandırılması amaçlanmıştır.

1) Masanızda bulunan ossiloskop ayarlarını aşaıdaki gibi ayarlayınız.
2) Ossiloskopu açınız ve ekranda parlak noktalı ışığın belirmesini bekleyiniz.
3) Ossiloskop üzerindeki TIME/DIV düğmesini 0.5 s bölmesine (en sola) getiriniz.
4) Ossiloskop üzerindeki VOLT/DIV düğmesini (1. Kanalı) 5 Volt a ayarlayınız, position düğmesiyle ışıklı noktayı orta noktaya getiriniz ve AC,GND,DC yazan düğmeyi DC konumuna getiriniz.



5) Ossiloskop girişine ,*ossiloskop düşey saptırıcılarına*, (INPUT A) giriş kablosu bağlayarak bir doğru akım kaynağı olan bir pil uygulayınız ve ekran görüntüsünu yanda verilen ekrana çiziniz. Pili ters bağlayarak oluşan görüntüyü yeniden yandaki aynı ekrana çiziniz.

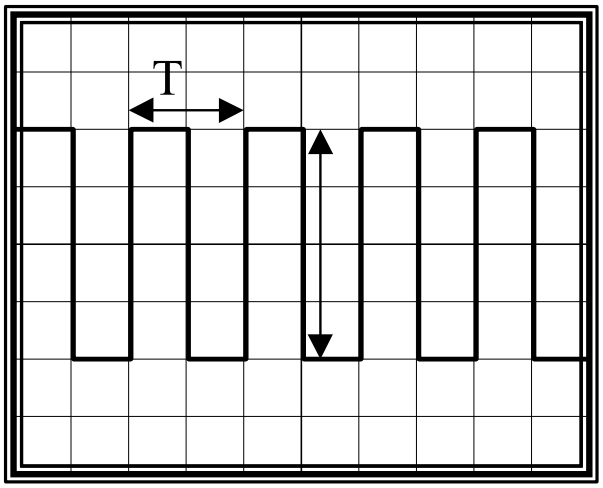


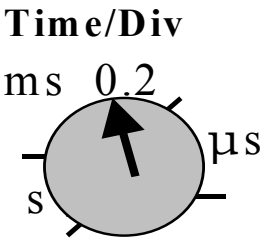
6) Ossiloskop girişine bu defa masanızda bulunan sinyal jeneratörünün çıkışını (OUTPUT 50 Ω) bağlayınız. Sinyal jeneratörünündeki FUNCTION dügmelerinden sinüs biçimli olanı seçerek frekans düğmelerini 1 Hz olacak (x1 ve yuvarlak olanı da 1 e getiriniz) şekilde ayarlayınız. Ossiloskop Time/Div Düğmesini 0.1 s konumuna , Volt/Div düğmesini de 2 V konumuna getiriniz. Ekranda oluşan görüntüyü yandaki ekrana çiziniz.

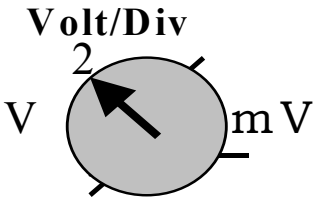
7) Sinyal Jeneratöründen bu sefer sırayla üçgen ve kare biçimli gerilimler vererek oluşan görüntüyü aynı ekran üzerinde çiziniz.

8) Sinyal jeneratöründen ossiloskopa sırayla 10, 50, 100, 500 1000 ve 10000 Hz lik sinizoidal sinyaller uygulayarak gözlemleyiniz. Frekans artışıyla sıklaşan gerilimlerin ekrandaki görüntüsünü daha açık görmek için TIME/DIV düğmesini en uygun konuma getiriniz. İzlenimlerinizi aşağıya yazınız.

Çoğu zaman herhangi bir kaynaktan gelen (Kalbin elektriksel ativitesi EKG, beynin elektriksel aktivitesi EEG ve sinir aksiyon potansiyeli gibi) bir gerilimin karakteristik parametrelerini ölçmek isteriz. Bu durumda ossiloskobun TIME/DIV ve VOLT/DIV düğmelerinden yararlanırız. Aşağıda bir ekran üzerinde beliren bir gerilimin frekans, genlik vb. gibi parametreleri belirlemek için aşağıdaki yol izlenir.







1. Ekrandaki gibi bir kara biçimli gerilim verilmiş olsun. Frekansı belirlemek için önce periyot belirlenir. Yukarıdaki sinyalde periyot, T=2 x 0.2 ms= 0.4 ms olur.

2. Frekans, $f=1/T=1/0.4\ ms=1/4.10^{-4}\ s = 2500$ Hz olur.

Genlik, düşey eksende 4 birim olduğu ve herbir birim 2 Volt olduğu için

G= 4X2 = 8 Volt olur.

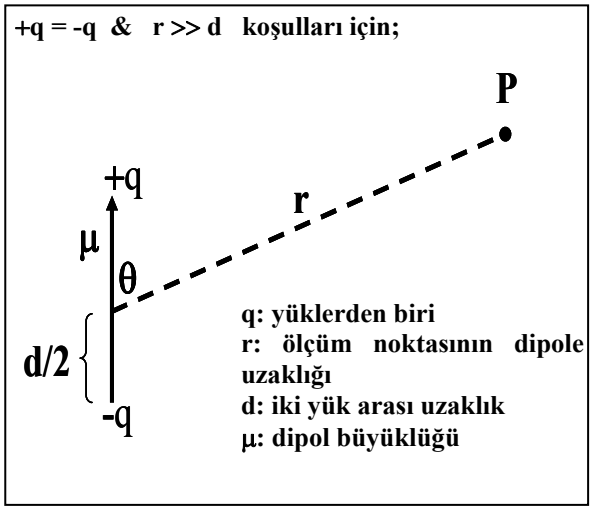
Siz de ekranda fonksiyon jeneratörü ile değişik biçim ve genlikte gerilimler oluşturarak frekans, genlik ve süre gibi parametreleri hesaplayınız. Hesaplamalarınızı aşağıdaki boşluğa yapınız.

Ekranda oluşturduğunuz belli bir frekans ve genliğe sahip herhangi bir gerilimi, ossiloskop Time/Div ve Volt/Div düğmelerinin konumlarını değiştirerek gerilimin yeni frekans ve genliklerini belirleyiniz. Düğmelerin

konumlarını değiştirmekle bu parametreler değiştimi, değişmedi ise nedenini hesaplamalar ile birlikte aşağıdaki boşluğa yazınız.

DENEY III
ELEKTROKARDİOGRAFİNİN TEMEL İLKELERİ: EINTHOVEN ÜÇGENİ

Birbirinden d kadar uzakta konumlanmış eşit ve zıt işaretli (- ve +) iki yükün oluşturduğu bir sisteme **dipol** denir. Dipol moment eksi yükten artı yüke yönelik bir vektörle (μ) temsil edilir ve **μ**=q **d** olarak tanımlanır, burada q yüklerden birinin miktarıdır. Bir dipolün merkezinden r kadar uzaklıkta bulunan herhangi bir p noktasındaki oluşturacağı potansiyelin büyüklüğü (V_p), r>>d için ve k ortam dielektrik sabitini de kapsayan bir sabit parametre olmek üzere, $V_p = k\mu\cos\theta / r^2$ olduğu gösterilmiştir (Şekil 1). Dipolün şiddeti ve yönü değişken ise, herhangi bir noktada oluşturacağı potansiyel de değişecektir, böylece vucut gibi hacim iletken içerisinde bulunan bir dipolün oluşturacağı potansiyel de bu değişime bağlı olarak değişecektir.

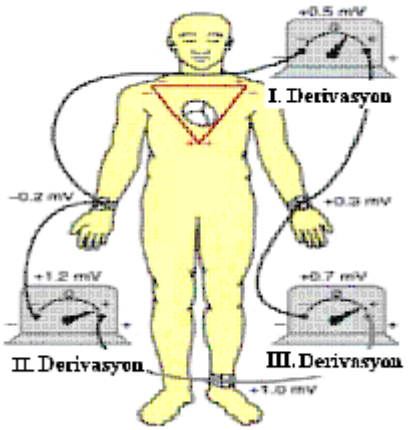


Şekil 1: Bir elektriksel dipolün r kadar uzaklıkta oluşturacağı potansiyel (V_p).
$V_p = k (\mu \cos \theta / r2)$
$k = 1/ 4\pi\varepsilon_o\varepsilon$
(ε ortamın dielektrik sabiti)

Bir uyartının (aksiyon potansiyeli gibi) hücre zarında yayılması sırasında, hücrenin aktif bölgesi ile inaktif bölgesinde bir tarafı negatif, diğer taraflı pozitif yük taşıyan yüzey oluştuğu bilinmektedir. Böyle bir yüzey, birim alan başına bir dipol moment vektörü ile tanımlanabilir. Birim alan başına dipol moment vektörü **μ** ise, bir S yüzey parçasının yüzeyden uzak bir noktada oluşturacağı potansiyelin $V_p = k$ **μ** Ω olarak belireceği gösterilmiştir. Burada Ω söz konusu p noktasından, yük taşıyan S yüzey parçasını gören katı açıdır. Herhangi bir anda, kalp gibi bir organdaki tüm uyarılmış ve aksiyon potansiyeli iletimi durumundaki hücrelerden oluşan ve net yük taşıyan yüzeylerin oluşturacağı bir dipol moment vektörü tanımlanabilir. Elektrografiler gibi vucuttan kaydedilen potansiyeller de dokuların aktiviteleri esnasında oluşturduğu dipol momentlerden kaynaklanır. Hücrelerin aktivitelerine bağlı olarak değişken bu potansiyellerin veya potansiyel farklarının zamanla değişim grafikleri (EKG, EEG, EMG, ERG vb.) dokunun o anki aktivitesi hakkında bilgi içerir, ve dolayısıyla klinik tanıda kullanılırlar.

EINTHOVEN ÜÇGENİ

Kalb aktivitesini temsil eden dipol moment vektörü şiddet ve yön olarak her an değişmektedir. Vucudu bir eşkenar üçgen olarak düşündüğümüzde, bu üçgenin merkezinde bulunan kalbin aktivitesinin oluşturduğu dipole **kalp vektörü** veya **dipolü** denir (Şekil 2). Vucudu temsil eden bu eşkenar üçgene Einthoven Üçgeni denilmektedir. Kalp vektörü uzaysaldır, düzlem üzerindeki izdüşümü EKG'de değerlendirilir. Üç boyutlu incelenmesi vektör kardiyografi ile mümkündür. Şekil 2'de görüldüğü gibi kalp dipolünün oluşturduğu potansiyel, sol kol, sağ kol, sol bacak gibi çeşitli p noktalarından gözlenebilir ve potansiyeller sırasıyla DI, DII, DIII derivasyonlar olarak adlandırılır. Her bir derivasyonda referans nokta değişmektedir (DI için sağ kol sol kol).



Şekil 2: Üç derivasyon (standart bipolar) EKG kaydı.

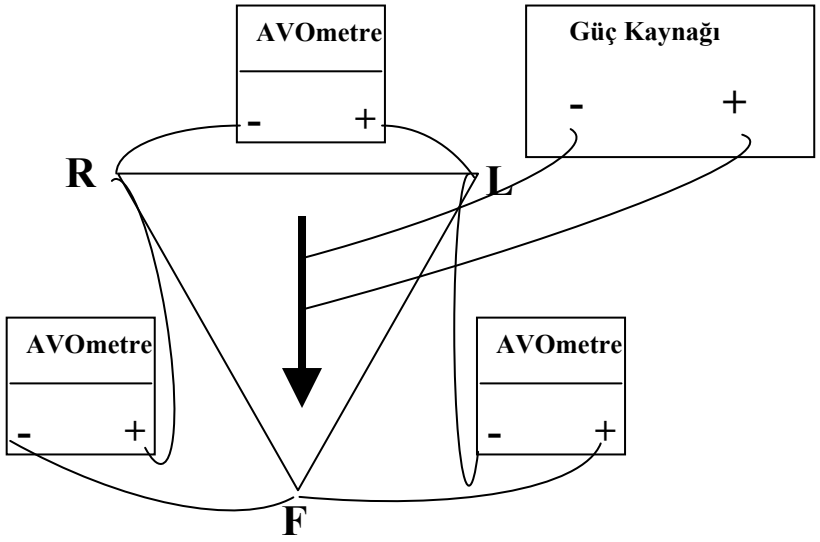
Deneyin Yapılması:

Deney için, bir hacim iletkeni olan insan vücudunda kalp dipolünün yönünü ve genliğini inceleyeceğimiz Einthoven üçgeninin bir benzeri olarak, eş kenar üçgen biçimindeki içi su dolu kap kullanılacaktır.

Kabın tam ortasına yerleştirilebilen ve olduğu yerde dönebilen ok şeklindeki parçanın altında suya dokunan iki elektrot bulunmaktadır ve elektrotlar arasına uygulanacak gerilim (güç kaynağı 50 V), kalp dipolünü ve yönünü temsil edecektir (okun ucuna yakın elektrot güç kaynağının +, diğeri ise – kutbuna bağlanmalıdır). Şekildeki AVOmetre bağlantılarının da kurulması ile her bir AVOmetre, Einthoven modelindeki her bir derivasyonun potansiyel farkını ölçecektir.

1- Deney düzeneğinin doğru bir şekilde kurulu olduğundan emin olduktan sonra güç kaynağından 50 V gerilim uygulayınız ve dipolü olduğu yerde döndürünüz. Her bir avometredeki değişen potansiyellerin, elektriksel dipol bağıntısındaki hangi parametre veya parametrelere bağlı olarak değiştiğini tartışınız.

……
……
……
……
……



Şekil 3: Einthoven üçgen modelinde dipolün üçgen köşeleri arasında oluşturduğu potansiyellerin ölçülmesi.

2- Herhangi bir derivasyon için, dipolün hangi konumlarında, o derivasyonda maksimum, minimum ve 0 (sıfır) volt gözlediğinizi saptayıp nedenlerini tartışınız.

……
……
……
……
……

3- Dipol rasgele bir yönde dururken, her üç kenar uçlarındaki potansiyel farklarını avometreden okuyup not ediniz. [(V_L - V_R), (V_R - V_F) ve (V_F - V_L)]

……
……
……
……
……
……

4- Aynı deneyi, dipolü bir başka rasgele yönünde tekrarlayınız. Her iki deneme için de (V_L - V_R), (V_R - V_F) ve (V_F - V_L) ölçülen potansiyel farklarının toplamlarını bulup, yorumlayınız.

……
……
……
……
……
……

DENEY IV

SİNİR UYARILMASI, BİYOPOTANSİYELLERİN GÖZLENMESİ VE YORUMLANMASI

Ön Bilgi

Bütün canlı hücrelerinde, hücre zarının iki tarafı arasında zardan iyonların hep aktif taşınımlarından hem de hücre zarının farklı iyonlara gösterdiği farklı geçirgenlikler gibi pasif mekanizmalardan kaynaklanan bir elektriksel potansiyel farkı mevcuttur. Hücre içi ile dışı arasındaki bu potansiyel farkı normal dinlenim durumunda -70 ile -90 mV civarındadır. Her iyonun zarın içi ile dışı arasındaki konsantrasyon farkı ve zarın o iyona olan geçirgenliği zar potansiyelini etkilemektedir.

Sinir ve kas hücreleri uygun bir uyaranla uyarıldıklarında hücre zarının bazı iyonlara geçirgenliğinin geçici olarak değişmesi sonucu zar potansiyelinde de geçici bir değişme olur. Sinir boyunca yayılan ve informasyon iletiminin temeli olan bu potansiyel değişikliklerine aksiyon potansiyeli (AP), çok sayıda hücrenin katkısı ile ortaya çıkan aksiyon potansiyeline ise bileşik aksiyon potansiyeli (BAP) denir.

Uyaran şiddeti eşik üstünde artırıldıkça katkıda bulunan lif sayıları artar, BAP genliği büyür, tüm liflerin uyarıldığı bir sabit değere yaklaşılır.

Bireysel liflerin iletim hızları farklı olduğundan, uyarma yerinden uzaklaştıkça BAP genliği, süresi ve biçimi değişebilir.

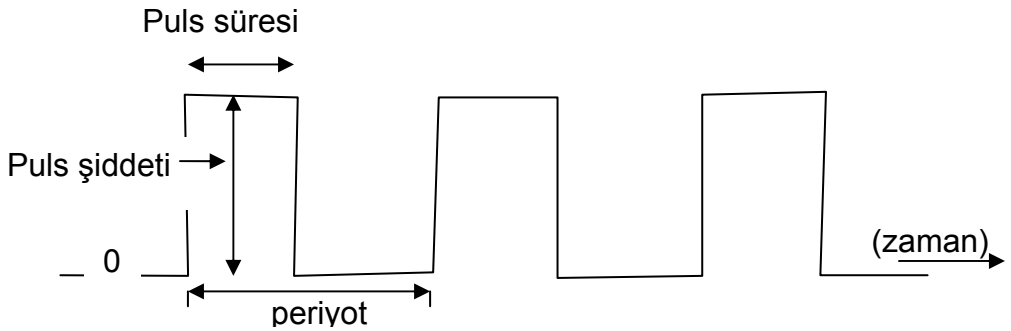
Sinir iletim hızı çalışmaları periferal sinir-kas sisteminin fonksiyonel durumlarının objektif olarak yorumlandığı teknik işlemlerdir. Teknik işlemler in standart hale getirilmesi ile çalışmaların güvenilirliği artar. Bu metinle standart hale gelmiş çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

Sinir Uyarılması

Elektrofizyoloji ve nörolojide uyarılabilir dokuları uyarmak için kullanılan sistemler genel olarak **stimülatör** olarak adlandırılır ve bu sistemler ayarlanabilen *genlik*, *frekans* ve *puls sürelerine* sahip pulslu gerilim veya akım üretebilirler.



Şekil-4.1: Elektriksel pulslar (uyaranlar) üretebielen ve laboratuarımızda mevcut olan örnek bir stimülatör.

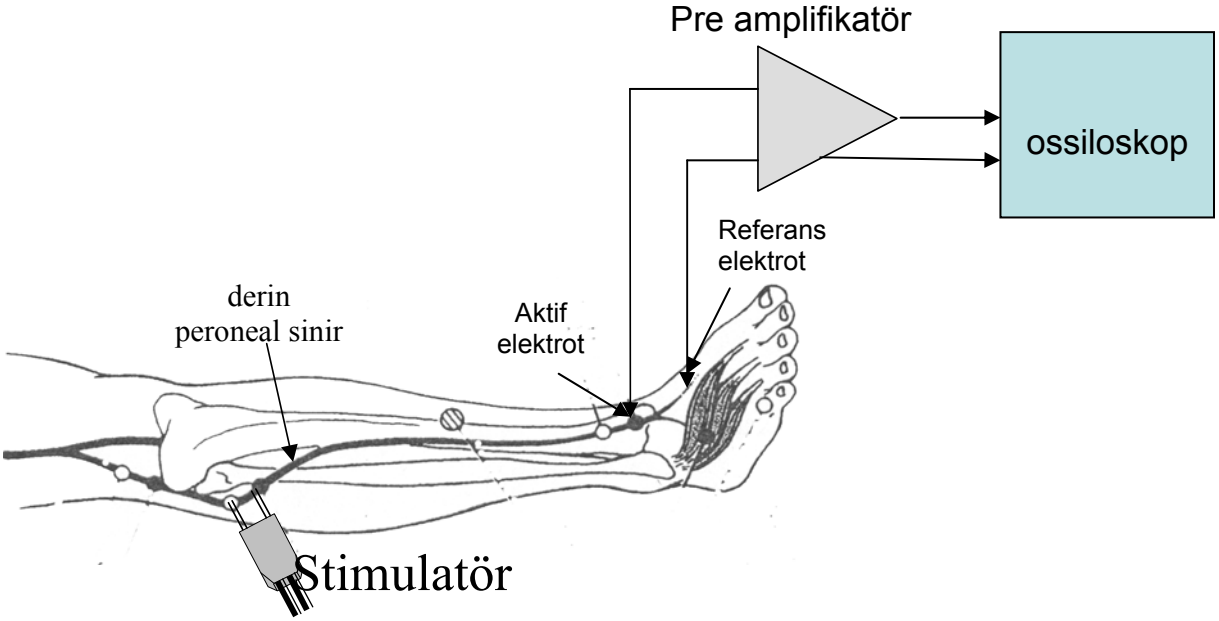


Şekil 4.2: Tpik bir stimülatörden elde edielen periyodik uyarana bir örnek.

Aksiyon Potansiyeli Gözlemi

Sinir elektriksel olarak uyarıldığında, sinirin oluşturduğu tepki uygun kayıt elektrotları ile gözlemlenebilmekte, ölçülebilmekte ve kaydedilebilmektedir.

Derin peroneal sinirin uyarılması ve oluşacak aksiyon potansiyelinin gözlenmesini içeren düzeneğin blok şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.3: Peroneal sinirin uyarılması ve gözlenmesini de içeren sistemin blok diagramı.

Herhangi bir yerinden uyarılan sinir demetinde oluşan aksiyon potansiyeli sinir boyunca yayılırken sinirin diğer bir ucundan gözlem elektrotları ile (aktif ve referans) ile gözlenebilir. Preamplifikatör aracılığı ile gözlem ve kayıt sistemine bağlı olan aktif kayıt elektrodu gözlem yapılacak noktaya, referans elektrot ise amaca göre seçilen herhangi bir referans noktaya yerleştirilir. Aynı kayıt standardını sağlamak için başlangıçta seçilen referans yeri her bir kayıt için korunmalıdır.

Böylece ölçü ve gözlem aracı aktif elektrot ile referans elektrodu arasındaki potansiyel farkını okur.

Gözlem Elektrotlar: Aktif (kayıt) ve referans olmak üzere iki adettir. Elektriksel gürültü giderilmesi amacıyla sistem topraklanabir. Amaca göre gözlem elektrotlarının çapı ve biçimi değişebilir. Elektrotların yapıldığı metaller de farklılık gösterebilir. Uygulamalarda genellikle Ag/AgCl (gümüş-gümüşklorür) elektrotlar kullanılmaktadır. Metal yüzey özellikleri çalışılacak sinir veya kasın özelliklerine bağlı olarak disk veya iğne biçiminde elektrot olabilir.



Şekil 4.4: Farklı biyolojik sistemlere ait sinyaller. En üstte, parmak ucundaki kan hacminin zamansal değişimi, onun altında EKG sinyali, aksiyon potansiyeli eğrileri ve rasgele sinyaller görülmektedir. (Şekil Telefactor Grass web sayfasından alınmıştır).

Basit Bir Sinir Aksiyon Potansiyelinin Analizlenmesi

Biyolojik sistemlerden kaydedilen elektriksel (Aksiyon potansiyeli, EKG, EEG, EMG vb. gibi) veya herhangi bir fiziksel (kan basıncı basıncı, kas gerilmesi veya vucut sıcaklığı gibi) sinyal, kağıt üzerinden veya bilgisayar ortamında yeniden değerlendirilerek, kaynak sistem hakkında daha detaylı bilgi edinilebilmektedir.

Şekil 4.5 de herhangi bir sinirden kaydedilmiş bir aksiyon potansiyeli eğrisinin bir ossiloskop ekranındaki görüntüsü görülmektedir. AP ye ait bazı parametreler şekil üzerinde gösterilmiştir. Puls artefaktı; uyarıcı elektroda uygulanan puls'nın kayıt elektrotlarına havadan veya sinir yüzeyinden kayıt elektrotlarına yansımasıdır, uyaranın hagi anda tatbik edildiğini gösterir. Latans (L); AP nin uyarı elektrotları ile kayıt elektrotları arasındaki mesafeyi katedene kadar geçen süredir ve genellikle puls artefaktı ile AP nin başlangıcı arasıdaki süre olarak alınır.

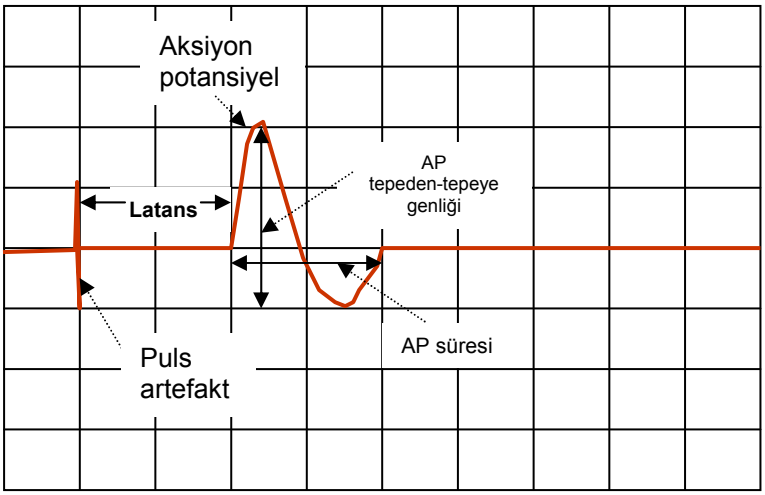
Bu sinirin iletim hızını bulmak için uygulanması gerekli prosedür şu şekildedir.

a) Uyarı elektrotları ile kayıt elektrotları arasındaki mesafe (mm) ölçülür.
b) Ekrandan veya kağıt üzerinden latans (L) ölçülür.

c) Bilinen hız formülü

$$\text{İletim hizi (m/s)} = \frac{\text{Uzaklik (mm)}}{\text{Latans (ms)}}$$

ile hesaplanır.



Şekil 4.5: Herhangi bir periferal sinirden kaydedilmiş aksiyon potansiyeli ve bu aksiyon potansiyeline ait bazı parametreler.

Bu aksiyon potansiyelinin genliği ve süresi ölçülmek istendiğinde;

AP Genliği: Düşey eksende AP nin en üst ve en alt tepeleri arasındaki bölmeler sayılır ve bölme sayısı ile bir bölmenin karşılık geldiği voltaj değeri ile çarpılır.

AP Süresi : AP nin yatay eksende başlangıcı ile bitişi arasındaki bölmeler sayılı ve yatay eksendeki bir bölmenin karşılık geldiği süre değeri ile çarpılır.

Tarif edilen bu işlemler biyolojik sistemlerden kaydedilen her türlü sinyaller için geçerlidir.

DENEY V

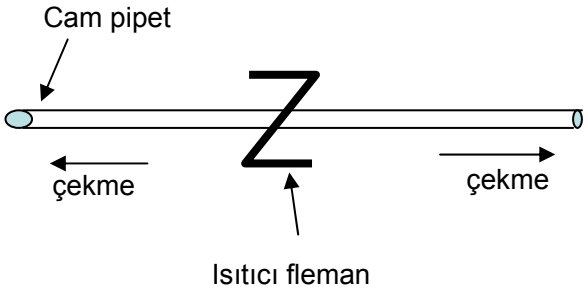
MİKROELEKTROT YÖNTEMİ VE UYGULAMALARI

ÖN BİLGİ

Membran potansiyeli (V_m) hücre içinin dışına göre potansiyel farkı olarak tanımlanır. Membran potansiyelinin ölçülmesi, kayıt elektrotlardan aktif olanının hücre içine irtibatlandırılmasını gerektirir. Dolayısıyla aktif elektrodun uç çapının hücre boyutları ve hücre membran kalınlığı düşünüldüğünde mikrometreler (μm) boyutunda olmasını gerektirir. Bu kadar küçük boyutlar için metal elektrotlar uygun olmamaktadır. Bu amaç için 1950'li yıllardan itibaren cam pipetlerden yararlanılmaktadır.

Mikroelektrot Yapımı:

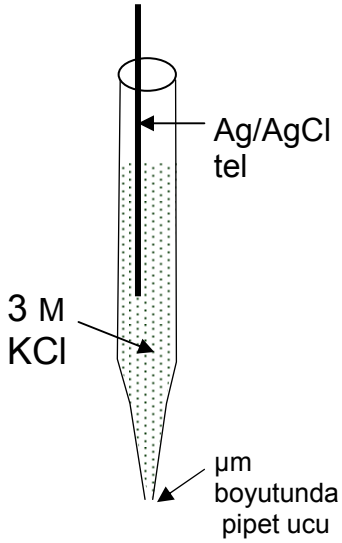
Mikroelektrot yapmak için düşük erime sıcaklığına sahip cam pipet ortasından bir noktadan ısıtılarak hızlı bir şekilde çekilir. Isıtılma miktarı ve çekilme hızı yapılacak elektrodun uç özelliklerine bağlıdır. Bu yolla pipet ucu 0,1 μm ye kadar inceltilebilir. Şekil 5.1 de mikropipet yapmak için oluşturulmuş düzeneğin şematik gösterim verilmiştir. Şekil 5.2 de ise ısıtıcı bir flemana ve hızlı çekme düzeneğine sahip bir mikroelektrot çekici (puller) görülmektedir. Isıtıcı fleman sıcaklığı ve manyetik kuvvetle çalışan çekici kolun çekme hızı değiştirilerek pipet ucunun da istenilen özellikte oluşması sağlanmaktadır.



Şekil 5.1: Mikroelektrot yapımı için hazırlanmış bir düzenek.



Şekil 5.2: Laboratuarımızda mevcut bir Mikroelektrot çekicisi (microelectrode puller) (*Narishige web sayfasından alınmıştır*).

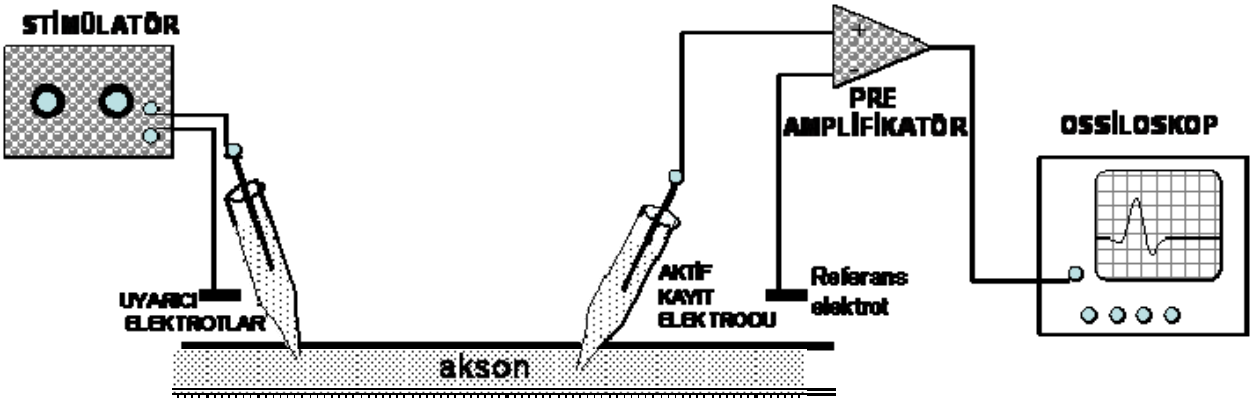


Şekil 5-3: Mikroelektrot çekici ile çekilerek uç çapı µm boyutlarına kadar inceltilmiş ve içerisi 3 M KCl çözeltisi ile doldurulmuş bir mikroelektrot. Kayıt sistemine iletimi sağlamak için pipet içerisine AgCl kaplanmış ince bir Ag tel daldırılmıştır.

Mikroelektrodun iletir hale gelmesi için çekilen pipetin içerisinin iletken bir solüsyon ile doldurulması gerekir. Bu amaçla pipet içerisi genellikle 3 M KCl çözeltisi ile doldurulur. Bu aşamadan sonra mikropipet artık bir mikroelektrot haline dönüşmüştür.



Şekil 5.4: Mikroelektrot tutucusuna bir mikroelektrot bağlanmış bir hidrolik mikromaniplatör. Kontrol kollarının döndürülmesi ile mikroelektrot her üç yönde (x,y,z) hem makro hem de mikrometerer boyutunda hareket ettirilebimekte ve böylece mikroelektrot ucu hedef hücre üzerinde manüplasyon yapmaya olanaklı hale gelmektedir (*Ftogoraf Narishige web sayfasından alınmıştır*).



Şekil-5.5: Mikro elektrotla bir aksonun uyarılması ve aksiyon potansiyeli gözlenmesi için kurulmuş bir deney düzeneğinin ilke şeması. Soldaki mikroelektrotla akım enjekte edilerek zar lokal olarak uyarılmakta, sağdaki mikroelektrotla ise hücre içinin dışına göre potansiyel değişimleri gözlenmektedir.

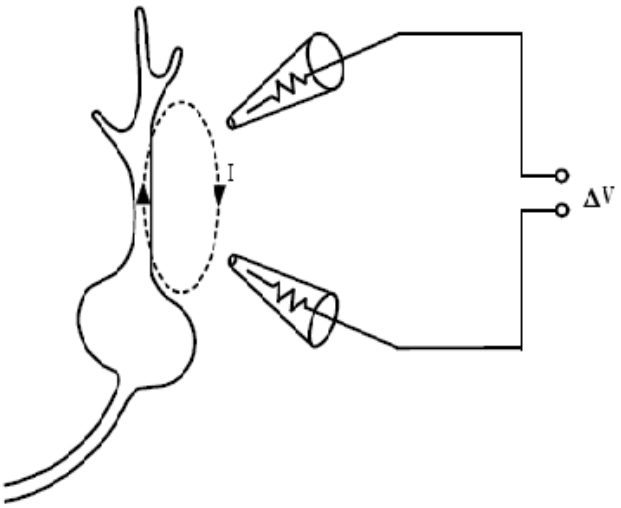
Mikroelektrot Uygulamaları:

Mikroelektrot ilk olarak membran potansiyelinin gözlenmesi amacıyla kullanılmaya başlanmakla beraber günümüzde sinir mikroelektrot sinir ve kas hücrelerinin dinlenim membran potansiyeli, aksiyon potansiyeli gibi ve sinaptik potansiyeller ve çeşitli elektrofizyolojik parametrelerin ve ilaç etkilerinin incelenebilmesi, beyin ve kalpte dinlenim membran potansiyelinin gözlenmesi gibi bir çok amaç için kullanılmaktadır.

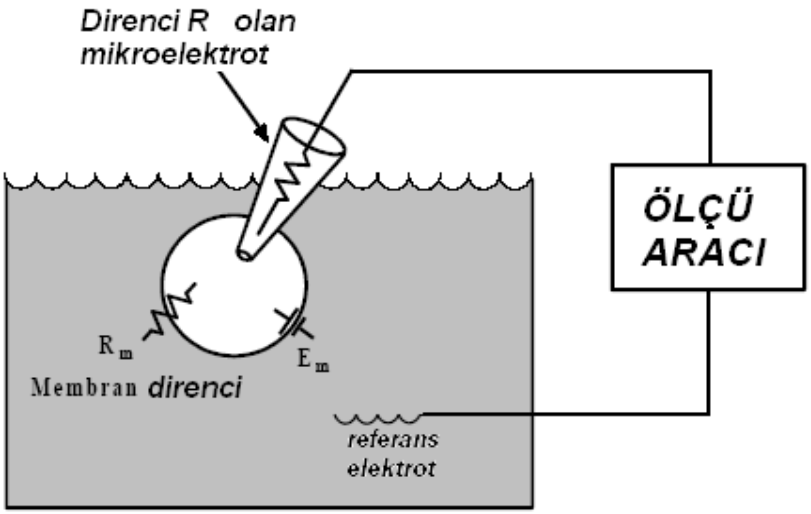
Şekil 5.5 de bir düzenek ile bir sinir aksonunun mikroelektrot ile hem uyarılması hem de uyarılan aksonun membran potansiyelinde oluşabilecek değişimlerin (aksiyon potansiyeli gibi) gözlenebilmektedir. Sistemdeki preamplifikatör hem mV veya µV düzeylerindeki membran potansiyelin gözlenebilmesi için yükseltilmesini sağlamakta hem de gözlenecek potansiyelin gerçek değerinin gözlem sistemi (ossiloskop) tarafından algılanmasını (empedans uyumunu) sağlamaktadır.

Mikroelektrot hücre içinin dışına göre potansiyel farkının gözlenmesine olanak vermekle beraber Şekil 5.6 da görüldüğü gibi tek bir hücrenin aktivasyonu esnasında etrafında oluşan akım devresinin oluşturduğu potansiyeller de gözlenebilmektedir. Böylece bir veya birkaç hücre topluluğunun oluşturduğu lokal aktiviteler de gözlenebilmektedir.

Şekil 5.7 deki gibi bir düzenek ile tek bir hücrenin dinlenim membran potansiyeli, o hücrenin herhangi bir ilaç veya kimyasal ajan ile itkileşimi, bu etkileşim sonucunda hücredeki iyon kanallarının davranışlarını gözlemek (Patch kenetleme yöntemi) mümkündür.



Şekil 5.6: Bir nöron hücresinin aktivasyonu esnasında etrafında oluşan akım devrelerinin oluşturduğu potansiyel düşmesi mikroelektrotların ekstraselüler kayıt olarak gözlenmesini de mümkün kılmaktadır.



Şekil 5.7: Tek bir hücrenin membran potansiyelini n gözlemesi esnasındaki düzeneğin şematik gösterimi



Şekil 5.8: Bir mikroskop altında sinir hücrelerinin oluşturduğu aktivitelerin gözlenmesi ve kaydedilmesi esnasında çekilmiş bir fotograf. Resmin sağ üst köşesinden bu hücrelere uzanan sivri cisim, ucu bir kaç mikrometre kalınlıkta olan bir mikroelektrottur. Çok daha ince pipetlerle, hücrelerin içine kadar girip, hücre içinden kayıtlar almak da sıkça uygulanan yöntemlerdendir. Bu sayede, hücrelerin belli uyaranlara karşı nasıl cevaplar verdikleri ortaya çıkarılabilrmektedir.