

**T.C.**  
**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ÖLÇME LABORATUARI DERSİ**

**DENEY FÖYLERİ**

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**

**DENEY 1**

**Sertlik ölçme Deneyi**

**1. DENEYİN AMACI**

Malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi.

**2. DENEYİN ÖNEMİ**

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

**3. TEMEL KAVRAMLAR**

sertlik; mikro sertlik; makro sertlik; Brinell sertliği; Vickers sertliği; Knoop sertliği; Rockwell sertliği; Mohs sertlik değeri; Shore sertliği; sertlik dönüşümleri; sertlik-mukavemet ilişkisi

**4. TEORİK BİLGİ**

Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeğe, kesmeye ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Laboratuarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir.

Bir malzemenin sertliği hakkında bilgi sahibi olunursa,

- Malzemenin kökeni hakkında bilgi edinilir.
- Malzemenin sertliğinin bilinmesi ile mekanik özellikleri hakkında yorumda bulunabiliriz.
- Malzemenin işleme kabiliyeti hakkında oldukça açık bilgiler verebilir. Genellikle sertlik ile işlenebilme özelliği arasında ters bağıntı vardır. Diğer bir deyişle, sert malzemeleri işlemek zordur.

*Cisimlerin sertliği ölçme yöntemleri üç gruba ayrılabilir:*

- Malzeme yüzeyini sert bir cisim ile çizerek yapılan sertlik deneyleri.
- Malzemeye sert bir cisim kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.
- Sert bir bilyayı malzeme üzerine düşürmek ve sıçratmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

**4.1. Çizerek Yapılan Sertlik Deneyleri**

Sertlik ile kırılabilirlik doğru orantılıdır. Dolayısıyla, sert maddeler herhangi bir basınç kuvveti etkisi ile kırılabilir. Sertlik, bir mineralin çizilme ve sürtünmeye karşı gösterdiği dirençtir. Minerallerin sertlikleri daha çok çizme sertliği cinsinden belirtilir. Çizme sertliği bir mineralin keskin bir köşesinin başka bir mineralin düzgün yüzünü çizme kapasitesidir ve Mohs sertlik skalasına göre belirlenir. Bu skala sertliklerin artış sırasına göre dizilmiş olan on mineralden oluşur (Tablo 1). Malzemelerin bağ enerjileri ne kadar yüksekse sertlikleri de o kadar yüksektir.

Doğadaki en sert malzeme %100 kovalent bağa sahip olan elmas olup Mohs sertliği 10'dur. Diğer yandan zayıf Vanderwaals bağlarına sahip Talk mineralinin sertliği 1'dir.

**Tablo 1.** Mohs sertlik skalası

Sertlik	Madde	Formül	Kırılan Bağ	Bağ tipi
1	Talk	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	O-O	Van der Waals
2	Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	OH-O	Hidrojen
3	Kalsit	$CaCO_3$	Ca-O	lyonik
4	Florit	$CaF_2$	Ca-F	lyonik
5	Apetit	$Ca_5(PO_4)_3F$	Ca-O Ca-F	lyonik
6	Ortoklaz	$KAlSi_3O_8$	Al-O Al-Si K-O	%50 lyonik
7	Kuartz	$SiO_2$	Si-O	%50 lyonik
8	Topaz	$Al_2SiO_4F_2$	Al-O Al-F	%50 lyonik
9	Korundum	$Al_2O_3$	Al-O	%50 Kovalent %50 lyonik
10	Elmas	C	C-C	Kovalent

#### 4.2. Batırılarak Yapılan Sertlik Deneyleri

Geçmişten günümüze, malzemelerin sertliğini ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

##### *Statik sertlik ölçme yöntemleri*

- Brinell
- Rockwell
- Vickers
- Knoop

##### *Statik sertlik ölçme yöntemleri*

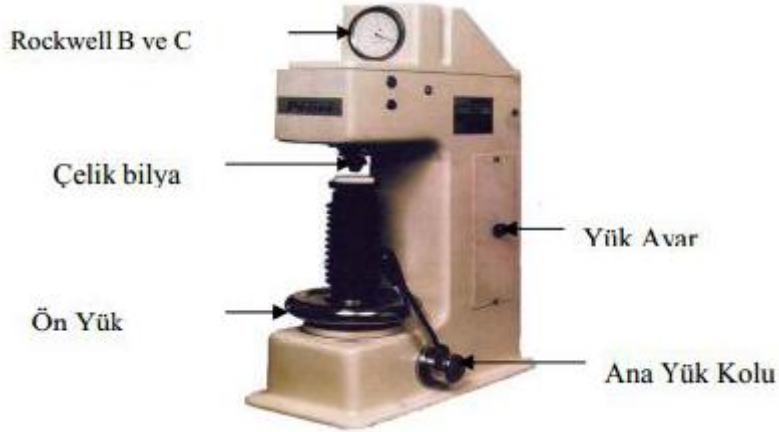
- Shore
- Poldi Çekici

#### 4.2.1. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi

Testlerin uygulama kolaylığı, diğer metodlara nazaran daha seri sonuçlar alınabilme özelliği, bu metodla test yapan sertlik ölçme cihazlarının optik ölçüm gerektiren (Brinell, Vickers) metodlarına nazaran daha ucuz olması yüzünden pratikte en çok kullanılan sertlik ölçme metodu olan Rockwell metodunu, ilk olarak 1922'de Rockwell uygulamaya sokmuştur. Rockwell sertliği, **batma derinliğine** karşı gelen birimsiz bir sayıdır. Batıcı uç, konik uçlu veya bilye şeklindedir (Şekil 1). Yumuşak malzemeler **1/18, 1/8, 1/4 ve 1/2 inch çaplarında küresel, sert çelik toplar** ile ölçülürken çok sert malzemeler 120° elmas koni uç ile ölçülür. Rockwell cihazının şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.

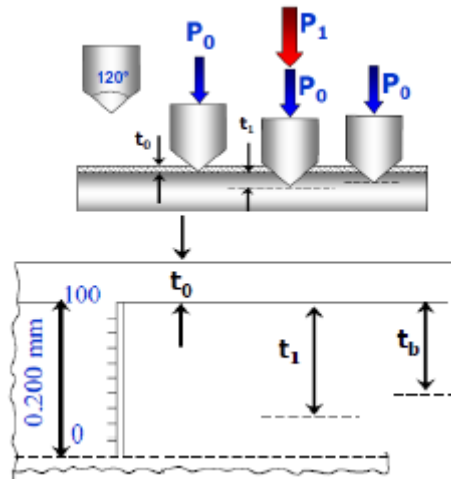


Şekil 1. Konik ve bilye uçlu batıcı uç



Şekil 2. Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı

Rockwell sertlik ölçümünde batıcı uç, malzeme üzerine 10 kg (100 N) ön bir yükleme ile batırılır. Sonra batıcı uca ana yük uygulanarak elde edilen derinlik ölçülür. Ana yük Rockwell B (RB) için 100 kg, Rockwell C (RC) için 150 kg'dır. Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir. Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yükle ( $P_0$ =ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır. Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük ( $P_1$ ) uygulanır. Son olarak ana yük ( $P_1$ ) kaldırılır (Şekil 3). Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell sertlik değeri okunur. Ucun malzeme içine her 0.002 mm batışı bir sertlik değerinin düşmesi olarak alınır.



Şekil 3. Rockwell sertlik deneyinin şematik gösterimi

Rockwell sertlik değeri boyutsuzdur. Ucun malzeme içine her 0,002 mm batışı bir sertlik değerinin 1 sayı düşmesi olarak alınır (Şekil 5). Ön yük uygulandıktan sonra ucun konumu ile ana

yük kaldırıldıktan sonra ucun konumu arasındaki batma derinliği  $t_b$  olmak üzere Rockwell Sertlik Değeri-C (RSD-C) aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$HRC = RSD - C = 100 - \frac{t_b}{0.002}$$

$$HRB = RSD - B = 130 - \frac{t_b}{0.002}$$

(HR=Hardness C=Konik , B=Bilya)

Sertlik ölçümünde kullanılan batıcı ucun tipi ile uygulanan yükün değeri bir sembolle gösterilir. Bu nedenle, farklı skalalara göre yani değişik deney koşullarında ölçülen farklı düzeydeki sertlik değerleri RSD-A, RSD-B, RSD-C, RSD-D gibi simgelerle birlikte verilir (Tablo 2). Çok sert malzemelerin Rockwell sertliği koni biçimindeki elmas uç kullanarak 150 kg'lık yük altında ölçülür ve sonuçlar RSD-C simgesi ile belirtilir. Yumuşak malzemelerin sertliğinin ölçümünde ise batıcı uç olarak çelik bilye kullanılır ve 100 kg'lık yük altında elde edilen ölçüm sonuçları RSD-B simgesi ile gösterilir. Bir malzemenin Rockwell cinsinden ölçülen sertlik değeri 100 rakamını aşarsa batıcı uç olarak bilye kullanılması tavsiye edilmez. Çünkü çok sert malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde batıcı uç olarak bilye kullanılması, hem bilyenin deforme olmasına hem de ölçüm hassasiyetinin azalmasına neden olur. Diğer taraftan herhangi bir skalaya göre Rockwell sertliği 20 sayısından daha düşük olan malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde koni biçimindeki elmas uç kullanılması tavsiye edilmez.

**Tablo 2.** Rockwell sertlik skalası

Sembolü	Batıcı Uç	Büyük Yük Kgf.	Tipik Kullanma Yerleri
B	1.6 mm (1/16 inç) bilya	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları, temper döküm vs.
C	Elmas konik uç	150	Çelik, sert dökme demirler, perlitik temper döküm, titan, derin olarak yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve Rockwell B değeri 100'den daha fazla olan diğer malzeme
A	Elmas konik uç	60	Sert metaller, ince çelik ve yüzeyi ince tabaka halinde sertleştirilmiş çelik
D	Elmas konik uç	100	İnce çelik ve orta kalınlıkta yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve temper döküm
E	3.2 mm (1/8 inç) bilya	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yumuşak ince sac metaller
F	1.6 mm (1/16 inç) bilya	60	Tavlanmış bakır alaşımları, yumuşak ince sac metaller
G	1.6 mm (1/16 inç) bilya	150	Fosforlu bronz berilliyumlu bakır temper dökümler

Rockwell sertlik değerinin bulunmasında kullanılan formüller;

$$\left. \begin{array}{l} RSD - A = \\ RSD - C = \\ RSD - D = \end{array} \right\} 100 - 500t \quad \text{ve} \quad \left. \begin{array}{l} RSD - B = \\ RSD - F = \\ RSD - G = \\ RSD - E = \end{array} \right\} 130 - 500t \quad \text{şeklindedir.}$$

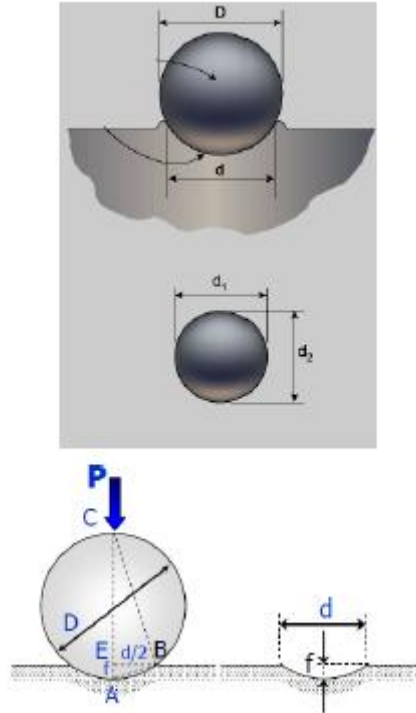
Burada t batıcı uçun batma derinliği (mm) dir.

Rockwell sertliği gösterimi;

➤ Örneğin, 80 RSD B, B skalasında sertliğin 80 olduğunu gösterir.

#### 4.2.2. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Çeşitli çaptaki bilyaların (1; 2,5; 5; 10mm), belirli bir yükü ve zamanda malzemeye baskı metodudur (Şekil 4). İsveçli Dr. J. A. Brinell tarafından 1900 yılında bulunan bu metod günümüzde yaygın olarak kullanılan statik sertlik ölçme metodlarının ilkidir. D çapında sert, küre şeklinde bir bilya düşey doğrultuda sertlik değeri ölçülecek parçanın yüzeyine dik olarak belirli bir P kuvveti ile bastırılır. Yük belirli bir süre uygulanır. Bilyanın kaldırılmasından sonra malzemede oluşan plastik şekil değişimi sonucunda yüzeyde küresel bir iz kalır. Bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir.



Şekil 4. Şematik Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

Brinell sertlik değeri aşığıdaki formülasyon ile hesaplanır.

$$BSD = \frac{P}{S} = \frac{P}{\pi Df} \quad BSD = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Bu formülde, P kg, D ve d mm cinsinden yerine konulmalıdır.

Bu bağıntıda yer alan P uygulanan yükü (kg), D bilye çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir. Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm'den daha küçük olan (örneğin 1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılır. Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir.  $d/D = 0,20 - 0,70$  oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Deney yükünün saptanmasında  $P=CD^2$  bağıntısı kullanılır. Burada

P deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30)
- Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10)
- Yumuşak malzeme (C=5)

Malzeme kalınlığına göre de kullanılması gereken bilye çapları farklılık gösterir. Tablo 3'de malzeme kalınlığına göre kullanılması gereken bilye çapları verilmiştir. Tablo 4'de de malzeme cinsine göre bilye çapı ve uygulanan yük değerleri verilmiştir.

**Tablo 3.** Malzeme kalınlığına göre kullanılması gereken bilye çapları

Malzeme kalınlığı (mm)	Bilye Çapı (mm)
6 ve yukarısı	2.5-5-10
3-6	2.5-5
1.5-3	1.5
0.6-1.5	1

**Tablo 4.** Malzeme cinsine göre bilye çapı ve uygulanan yük değerleri

Malzeme Grubu	Yükleme derecesi	Ölçme aralığı HB	Uygulanan Kuvvet (P), kg			
			1 mm bilye çapı	2,5 mm bilye çapı	5 mm bilye çapı	10 mm bilye çapı
Çelik, dökme demir malzemesi ve titanyum alaşımları	30.D <sup>2</sup>	67-450	30	187,5	750	3000
Hafif metal alaşımları, bakır, pirinç, bronz	10.D <sup>2</sup>	22-315	10	62,5	250	1000
Saf alüminyum, magnezyum, çinko, dökme pirinç	5.D <sup>2</sup>	11-158	5	31,25	125	500
Yatak alaşımları	2.5.D <sup>2</sup>	6-78	2,5	15,625	62,5	250
Kurşun, kalay, yumuşak metal	1.25.D <sup>2</sup>	3-39	1,25	7,81	31,25	125

*Brinell sertlik ölçme deneyinde kullanılan bilyeler*

- Brinell sertliği 450'den küçük olan malzemeler için sertliği en az 850 BSD olan çelik bilye.
- Sertliği  $450 < BSD < 630$  ise metal karbür bilyedir.
- $BSD > 630$  ise sertliklerin Brinell yöntemiyle ölçülmesi tavsiye edilmez.

- Standart bilye çapı 10 mm,
- Standart yükler 500 kgf ile 3000 kgf arasında (500 kgf artışla) dır.
- 10 mm standart ölçü bilyesinin dışındaki bilye çapları 5 ve 2.5 mm'dir.

***Brinell sertlik ölçümünde dikkat edilecek noktalar:***

- Kontrolü yapılan parçanın yüzeyi tertemiz ve kalınlığı da en az 4 ile 8 kat çukur derinliğinde olmalıdır.
- Kontrol kuvveti darbesiz olarak 2 ile 8 saniye arasında değerini bulmalıdır.
- Kuvvet değerini bulduktan sonra 10 saniye etkili tutulmalıdır.
- Yumuşak ve kolay akan malzemelerde (örneğin; kurşun) en az 30 saniye ve bazen daha fazla tutulmalıdır.
- Bütün bu şartların yanı sıra çukur çapının bilye çapına göre **0,24 D < d < 0,6 D** arasında olması da ana şarttır.

Pratikte her ölçüde değerler bu formülle hesaplanmaz. Sertlik daha önceden standart çaplı bilyeler ve kuvvetler için hazırlanmış **tablolardan** okunur (Tablo 5).

Brinell sertliği gösteriminde hesaplanan BSD yanında “bilye çapı, yük, yükleme süresi” (mm/kgf/s) sırasıyla bilgi olarak eklenir. Örnek : **99 BSD 5/500/30**.

Metalik malzemelerde sertlik arttıkça çekme dayanımı da artar. Çeliklerin Brinell sertlik değeri ile çekme dayanımları arasındaki ilişki;

$$\sigma_c \text{ (kg/mm}^2\text{)} = 0,35 \times \text{BSD (kg/mm}^2\text{)}$$

bağıntısı ile bulunabilir. Bu bağıntı yardımıyla çeliklerin çekme dayanımını yaklaşık olarak belirlemek mümkündür.

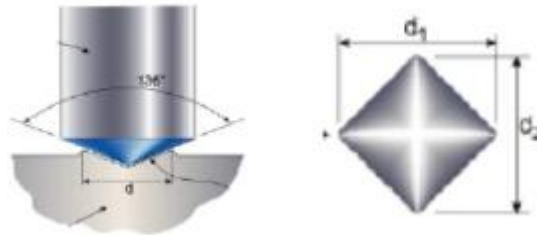


Tablo 5. Brinell sertlik deneyinde iz çapından sertlik değerlerine geçiş

İz çapı mm	Yük, kg						İz çapı mm	Yük, kg						İz çapı mm	Yük, kg					
	500	1000	1500	2000	2500	3000		800	1000	1500	2000	2500	3000		400	1000	1500	2000	2500	3000
2.00	158	316	473	632	789	945	3.50	50.3	101	151	201	252	302	5.00	23.8	47.6	71.5	95.2	119	143
2.05	150	300	450	600	750	900	3.55	48.2	97.8	147	198	244	293	5.05	23.3	46.6	70.0	93.2	117	140
2.10	143	286	428	572	714	856	3.60	47.5	95.0	143	190	238	285	5.10	22.8	45.6	68.5	91.2	114	137
2.15	136	272	409	544	681	817	3.65	46.1	92.2	139	184	231	277	5.15	22.3	44.6	67.0	89.2	112	134
2.20	130	260	390	520	650	780	3.70	44.9	89.8	135	180	225	269	5.20	21.8	43.6	65.5	87.2	109	131
2.25	124	248	373	496	621	745	3.75	43.8	87.2	131	174	219	262	5.25	21.4	42.8	64.0	85.6	107	128
2.30	119	238	356	476	593	712	3.80	42.4	84.8	128	170	212	255	5.30	20.9	41.8	63.0	83.6	105	126
2.35	114	228	341	456	568	682	3.85	41.3	82.8	124	165	207	248	5.35	20.5	41.0	61.5	82.0	103	123
2.40	109	218	327	436	545	653	3.90	40.2	80.4	121	161	201	241	5.40	20.1	40.2	60.0	80.0	101	121
2.45	104	208	314	416	522	627	3.95	39.1	78.2	118	156	196	235	5.45	19.7	39.4	59.0	78.8	98.5	118
2.50	100	200	301	400	500	601	4.00	38.1	76.2	115	152	191	229	5.50	19.3	38.6	58.0	77.2	96.5	116
2.55	98.3	192	289	385	482	578	4.05	37.1	74.2	112	148	186	223	5.55	18.9	37.8	57.0	75.6	95.0	114
2.60	92.8	185	278	370	462	555	4.10	36.2	72.4	109	145	181	217	5.60	18.6	37.2	55.5	74.4	93.5	111
2.65	89.0	178	267	358	445	534	4.15	35.3	70.6	106	141	177	212	5.65	18.2	36.4	54.5	72.8	90.8	109
2.70	85.7	171	257	343	429	514	4.20	34.4	68.8	104	138	172	207	5.70	17.8	35.6	53.5	71.2	89.2	107
2.75	82.8	165	248	330	413	495	4.25	33.6	67.2	101	134	167	201	5.75	17.3	34.8	52.5	70.0	87.3	105
2.80	79.8	159	239	318	398	477	4.30	32.8	65.6	98.5	131	164	197	5.80	17.2	34.4	51.5	68.8	85.8	103
2.85	76.8	154	231	309	384	461	4.35	32.0	64.0	96.0	128	160	192	5.85	16.8	33.8	50.5	67.2	84.2	101
2.90	74.1	148	222	298	371	444	4.40	31.2	62.4	93.5	125	156	187	5.90	16.5	33.0	49.6	66.0	82.5	99.2
2.95	71.5	143	215	286	358	429	4.45	30.5	61.0	91.5	122	153	182	5.95	16.2	32.4	48.7	64.8	81.2	97.3
3.00	69.1	138	208	276	346	415	4.50	29.8	59.6	89.5	119	149	179	6.00	15.9	31.8	47.8	63.6	79.5	95.5
3.05	66.8	134	201	267	334	401	4.55	29.1	58.2	87.0	116	145	174	6.05	15.6	31.2	46.9	62.4	78.0	93.7
3.10	64.6	129	194	258	324	388	4.60	28.4	56.8	85.0	114	142	170	6.10	15.3	30.6	46.0	61.2	76.7	92.0
3.15	62.5	125	188	250	313	375	4.65	27.8	55.6	83.5	111	139	167	6.15	15.1	30.2	45.2	60.4	75.3	90.3
3.20	60.5	121	182	242	303	363	4.70	27.1	54.2	81.5	108	136	163	6.20	14.8	29.8	44.4	59.2	73.8	88.7
3.25	58.6	117	176	234	293	352	4.75	26.5	53.0	79.8	106	133	159	6.25	14.5	29.0	43.6	58.0	72.4	87.1
3.30	56.8	114	171	227	284	341	4.80	25.9	51.8	78.0	104	131	156	6.30	14.2	28.4	42.8	56.8	71.2	85.5
3.35	55.1	110	166	220	276	331	4.85	25.4	50.8	76.9	102	127	152	6.35	14.0	28.0	42.0	56.0	70.0	84.0
3.40	53.4	107	161	214	267	321	4.90	24.8	49.6	74.5	99.2	124	149	6.40	13.7	27.4	41.3	54.8	68.8	82.5
3.45	51.8	104	156	207	259	311	4.95	24.3	48.6	73.0	97.2	122	146	6.45	13.5	27.0	40.5	54.0	67.5	81.0

#### 4.2.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

İngiliz araştırmacı Vickers tarafından geliştirilen bir sertlik ölçme metodudur. Sistem, 1360 elmas piramit ucun, malzeme cinsi ve kalınlığına bağlı olarak seçilen belirli yükler sayesinde, malzeme üzerinde yaptığı izin optik olarak ölçülmesine dayanır (Şekil 5). Piramidin bıraktığı izin köşegeni (d), her iki köşegen uzunluğunun milimetrenin 1/1000'i duyarlılıkta mikroskopla ölçülmesi ve ortalamasının alınması ile tespit edilir.



Şekil 5. Şematik Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi

Vickers metodu kullanılan düşük yükler sayesinde Brinell ve Rockwell metodlarınca tatminkar sonuç alınamayan, ince sert tabakalı sertleştirilmiş parçalarda (nitrasyon, sementasyon) ve ince saçların sertliklerinin ölçümünde çokça kullanılır.

Vickers sertliği (VSD) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır :

$$VSD = \frac{P}{S} \quad VSD = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2}$$

Burada P; uygulanan deney yükünü, d; iz köşegenlerinin ortalamasını ve  $\alpha$  ise piramidin tepe açısını temsil etmektedir. Piramidin tepe açısı=136° olarak alınırsa denklem şu şekilde yazılabilir;

$$VSD = \frac{1.854 \times P}{d^2}$$

Vickers deneyi mikrosertlik ve makrosertlik ölçümünde de kullanılır. Deney yükü 0.025-120 kgf arasında olabilir. Uygulama süresi 10-15 saniyedir. Bu yöntemle en yumuşak malzemeden en sert malzemeye kadar geniş bir aralıkta sertlik ölçümü yapılabilir. 600'e kadar Brinell sertliği yaklaşık olarak Vickers sertliğine eşittir. Vickers sertliğinin avantajı, oldukça doğru okumalar yapması ve tüm metal ve işlem görmüş yüzeyler için sadece bir tip batıcı ucun kullanılmasıdır. Vickers sertliği metal ve seramik malzemelerin sertliğinin ölçümünde güvenilir bir sertlik ölçüm metodudur. Vickers sertliği ölçme yöntemi daha uzun zaman almakla beraber en duyarlı sertlik ölçüm yöntemidir. Malzeme sertliğini temsil edecek ortalama bir d değeri için çok sayıda (en az 5) izin ölçülmesi gerekir.

Vickers sertliği şu şekilde gösterilir:

### 610 HV 10 / 15

Burada

610 : Malzemenin sertlik değerini gösterir

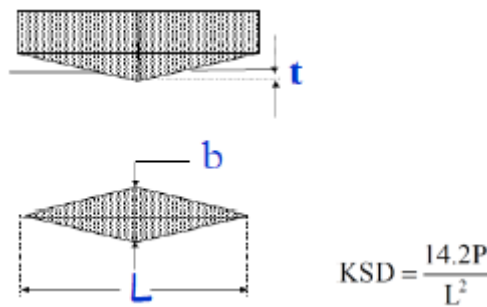
HV : (Hardness=Härte=Sertlik) Vickers yöntemiyle sertlik

10 : Kontrol kuvveti 10 kp (kilopond)

15 : Kuvvet 15 saniye tutulduğunu göstermektedir.

### 4.2.4. Knoop Sertlik Ölçme Yöntemi

Bir malzemenin göreceli mikrosertliği Knoop batma deneyi ile belirlenebilmektedir. Bu deneyde tepe açısı 130° ve 173° olan piramit şekilli elmas bir uç malzeme üzerine bastırılır. Bir boyutu diğerinin yaklaşık olarak 7 katı olan bir iz oluşur (Şekil 6). Malzemenin sertliği izin derinliği ölçülerek bulunur. Vickers sertlik ölçme deneyine göre daha düşük kuvvetler uygulanır. Knoop deneyi, cam ve seramik gibi gevrek malzemelerin sertliğinin test edilmesini sağlar. Malzeme üzerine uygulanan yük genellikle 1 kgf'den daha azdır. Batıcı uç yaklaşık olarak 0,01 ile 0,1 mm arasında dört yanlı bir iz bırakır. Knoop sertlik değeri, deneyden elde edilen izin uzun köşegen uzunluğunun ölçülerek uygulanan yükün iz alanına bölünmesiyle elde edilir.



Şekil 6. Knoop Sertlik Ölçme Deneyi.

#### 4.3. Shore Sertlik Ölçme Yöntemi

Sabit stant üzerinde belli kuvvet ile plastik numuneye batırılan **iğnenin derinliği** ölçülerek plastiğin göreceli sertlik derecesinin tayini yapılır. Ucun gerisinde bulunan yay plastiğin sertliğine göre gerilir ve yayın gerilmesine bağlı olarak plastiğin sertliği belirlenir (Şekil 7).



Şekil 7. Shore Sertlik Ölçme Deneyi.

#### 4.4. Sertlikle Mukavemet Arasındaki İlişki

Hem sertlik hem de çekme dayanımı metallerin plastik deformasyona karşı direncini gösterir. Sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır. Pahalı çekme deneyi ile malzemenin kopma mukavemetini bulma yerine, gayet ucuz sertlik deneyi ile bu değeri bulma amacıyla Brinell sertlik ile kopma mukavemeti arasında bağlantı faktörü bulur. Max Çekme mukavemet değeri  $R_m \approx 1400$  N/mm<sup>2</sup> kadar çelikler için şu formül kullanılır:

$$R_m = 3.5HB$$

Max Çekme mukavemet değeri  $R_m \approx 1400$  ile 2100 N/mm<sup>2</sup> arası çelikler için şu formül kullanılır:

$$R_m = 4HB$$

Burada  $R_m = \text{N/mm}^2 = \text{Malzemenin maksimum çekme mukavemet değerini}$ ,  $HB = \text{Malzemenin Brinell sertlik değerini göstermektedir}$ .

Ayrıca Vickers sertliği ve malzemenin akma gerilmesi arasında şu şekilde bir ilişki vardır;

$$\sigma_{ak} = \frac{HV}{3}$$

#### 4.5. Sertlik Ölçmede Yüzey Kalitesinin Önemi

Sertlik deneyinde ilk işlem olarak sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyini ölçüm yapmaya elverişli hale getirmek gerekmektedir. Sertliği ölçülecek malzeme yüzeyinin oksitlerinden, girinti ve çıkıntılardan arındırılmış olması gerekmektedir. En önemlisi yüzeyin pürüzsüz ve parlak olması istenir.

## 5. DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE TEÇHİZATLAR

### HR-430MS

İkili model (Rockwell / Superficial Rockwell) sertlik ölçüm cihazı ekonomik model olmasına rağmen, tuşla teste başlama, motorize güç yönlendirme ve birçok test standartını destekleyebilme özelliklerine sahiptir. Ayrıca cihaz otomatik fren ve elle otomatik başlatma özelliği ile donatılmıştır. Yükleme sırası motorize sürücü tarafından kontrol edilir. (Şekil 8).

### Teknik Özellikler:

Standart JIS B 7726, ISO 6508-2 (ASTM E18) Fonksiyonlar HR-320MS, HR-430MR, HR-430MS : GO/NG, Offset revizyonu, Sertlik dönüşümü

### Standart Aksesuarlar

R ve R/S için elmas uç, Çelik bilya uç 1/16", düz blok, büyük V-blok, Sertlik test mastarı, AC adaptör, koruyucu örtü, Aksesuar kutusu.



HR-430MR

Şekil 8. Sertlik Ölçme Cihazı

MODEL	HR-110MR	HR-210MR	HR-320MS	HR-430MR	HR-430MS
Kod No.	963-210-20	963-220D	963-231D	963-240D	963-241D
<b>Sertlik Birimleri</b>	Rockwell	Rockwell	Rockwell / Super Rockwell	Rockwell	Rockwell / Super Rockwell
<b>Sertlik Gösterimi</b>	Analog	Analog	Dijital	Dijital	Dijital
<b>Min. Okuma Hassasiyeti</b>	0.5HR artımlı	0.5HR artımlı	0.1HR	0.1HR	0.1HR
<b>Ön Yük Uygulama (El Çarkı ile)</b>	Otomatik saat üzerinden	Otomatik saat üzerinden	Yük kılavuz göstergesiyle	Otomatik frenlemeli	Otomatik frenlemeli
<b>Ön Yük Değiştirme</b>	-	-	Yük değiştirme butonu	-	Yük değiştirme butonu
<b>Tam Yük Değiştirme</b>	Ağırlık değiştirme	Ağırlık değiştirme	Ağırlık değiştirme	Yük değiştirme butonu	Yük değiştirme butonu
<b>Tam Yük Uygulama</b>	Manuel Kol ile	Motorlu Başlatma butonlu	Motorlu Başlatma butonlu	Motorlu Otomatik başlatma	Motorlu Otomatik başlatma
<b>Tam Yük Uygulama süresi</b>	Manuel	Sabit 3-5,5sn Manuel çalışma mevcuttur	Sabit 3-5,5sn Manuel çalışma mevcuttur	1-99sn. arası ayarlanabilir Manuel ayarlama mevcuttur	1-99sn. arası ayarlanabilir Manuel ayarlama mevcuttur
<b>Maks. İşparçası Yüksekliği</b>	180 mm (100mm mil kapaklı)				
<b>Maks. İşparçası Derinliği</b>	165 mm (cihaz gövdesinden uç şaftına kadar)				
<b>Güç Kaynağı</b>	Güç Kaynağı gerekmez	Güç Kaynağı gerekmez	Güç Kaynağı gerekmez	Güç Kaynağı gerekmez	Güç Kaynağı gerekmez
<b>Ebatlar (E x D x Y) mm</b>	296 x 512 x 780	235 x 512 x 780	235 x 516 x 780	235 x 516 x 780	235 x 516 x 780
<b>Bilgi Çıkışı</b>	-	-	Digimatik (SPC), RS232C	Digimatik (SPC), RS232C	Digimatik (SPC), RS232C
<b>Ağırlık</b>	49 kg.	47 kg.	47 kg.	50 kg.	50 kg.
<b>Brinell Set</b>	HR-110MR	HR-210MR	HR-320MS	HR-430MR	HR-430MS
<b>100x Mikroskoplu</b>	56AAK546 B	56AAK546 B	56AAK547 B	56AAK548 B	56AAK549 B

## KAYNAKLAR

1. N. Çalış Açıkbaz, Malzeme Bilimi Ders Notları, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 2013.
2. W.F. Smith, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık, 2005.
3. D.R. Askeland, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım.
4. David D. Rethwisch, William D. Callister, Mehmet Demirkol, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın Dağıtım, 2013.

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 2**

**LED Verimliliğinin Ölçülmesi**

**Amaç:** Bu deneyde, Farklı renkte ışık yayan LED'lerin Akım-Voltaj ve Güç-Zaman Karakteristikleri elde edilir.

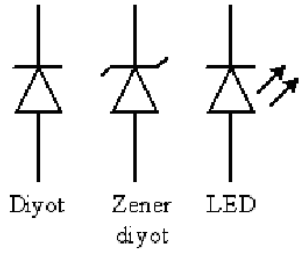
**Deneyde kullanılacak malzemeler:**

No:	Malzeme Adı
1	Kablo
2	Deney bordu
3	Direnç kutusu
4	LED kutusu
5	AVO metre
6	DC güç kaynağı

**Teori**

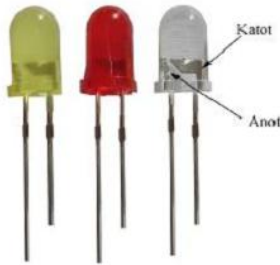
**1. LED'ler hakkında genel bilgi**

Bir yarıiletkenin bir bölgesi n tipi diğer bölgesi ise p tipi olacak şekilde katkılanması ile elde edilen yapıya diyot adı verilir. P tipi bölgeden çıkarılan uç anot, n tipi bölgeden çıkarılan uç ise katot olarak adlandırılır. Genellikle Silisyum (Si, örneğin 1N4001, 1N4148 ) ve Germanyum (Ge, örneğin 1N34) yarıiletkenlerinden yapılırlar. Diyot genel olarak ileri (geçirme) yönünde kutuplandığında çok küçük, ters (tıkama) yönünde kutuplandığında ise çok büyük direnç gösteren bir elemandır. Çoğunlukla AC işaretlerin doğrultulmasında, işaretlerin kırılmasında, devre elemanlarının ters gerilimlerden korunmasında kullanılırlar. Diyotlar genel olarak doğrultma ve anahtar diyodu olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Anahtar diyotları (örneğin 1N4148) doğrultma diyotlarına (örneğin 1N4001) göre daha hızlıdır. **Şekil 1**'de çeşitli diyotların sembolleri gösterilmiştir.

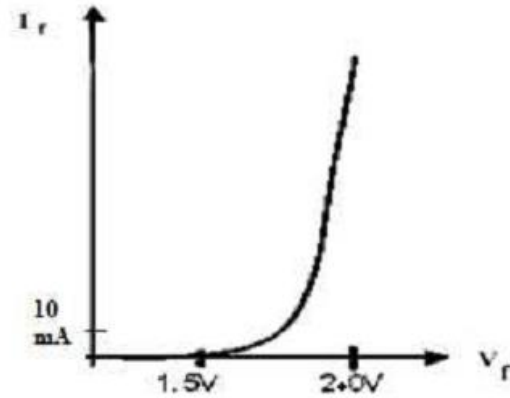


Şekil 1. Diyotların devre sembolleri

Diyot üzerindeki gerilimin değeri belli bir değerin (eşik gerilimi) üzerine çıktığında gerilimdeki çok küçük artışla akımda çok büyük artışlar olur. Ters yönde bir gerilim uygulandığında ise diyottan bir akım akmaz (sızıntı akımı ihmal edilirse). Bazı diyotlar iletim yönünde kutuplandıklarında ışık yayarlar. Bu tip diyotlara ışık yayan diyot (Light Emitting Diode, LED) adı verilir. **Şekil 2a**'da mevcut Led renkleri, **Şekil 2b**'de ise led'in akım – gerilim karakteristiği gösterilmiştir.



a)



b)

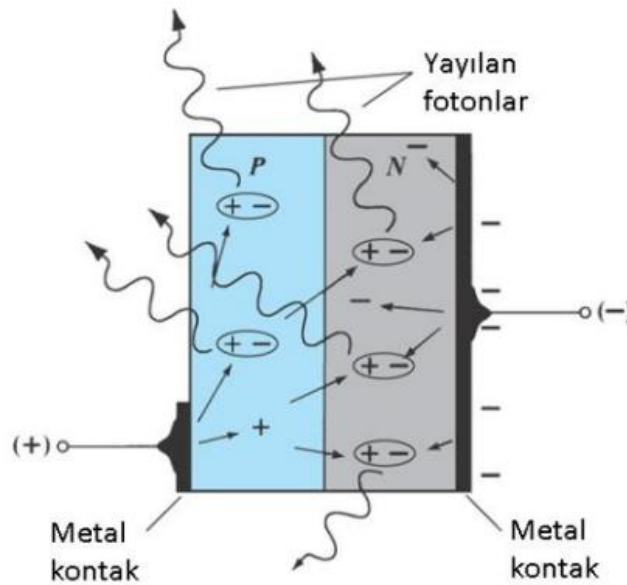
**Şekil 2a** Mevcut Led renkleri, **Şekil 2b** LED'in Akım – Gerilim karakteristiği

LED'ler genellikle gösterge amaçlı ve optik ışın verici olarak kullanılırlar. Karakteristikleri normal diyoda benzer.

LED ler (Işık Yayan Diyot) yeteri kadar doğru gerilim uygulandığında elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren özel katkılı PN diyotlarıdır. Gerilim tatbik edilerek, elektronları harekete geçirilen LED, ışık yaymaya başlar. Işığın rengi tabakaların kimyasal bileşimlerine bağlıdır. İlk LED, 1968 yılında General Elektrik firması tarafından icat edilmiştir. LED, ileri

yönde gerilim uygulandığında ilettime geçer ve üzerinden akım akmasına izin verir, yani pn ekleme hol (boşluk) ve elektronlar birleşir ve buna rekombinasyon denmektedir. Eğer yarıiletken doğrudan geçiş band aralığına sahipse (GaAs gibi) hol ve elektronlar momentumlarında bir değişiklik olmadan birleşir ve bir foton (ışığın kuantumlu hali) yayarlar. Eğer yarıiletken doğrudan geçişli band aralığına sahip değilse (Si gibi) hol ve electron birleşiminde momentum değişimi olur ve foton meydana gelmez. Bu nedenle LED'ler GaAs gibi bileşik yarıiletkenlerden oluşur. LED için diyot akımı yarıiletkende meydana gelen rekombinasyon oranına bağlıdır. Bununla birlikte LED'den yayılan foton yoğunluğu da diyot akımıyla doğru orantılıdır.

Doğru polarma altında üzerinde 1.5 V ile 3.2 V arasında bir gerilim düşümüne sebep olur. LED'lerin üzerlerinden akmalarına izin verilen akım miktarı 10-30 mA civarındadır. Bu değer; kullanılan LED'in boyutuna ve rengine göre farklılık gösterebilir. Farklı maddelerden elde edilen yarı iletken elemanların çeşitli akım- gerilim karakteristikleri mevcuttur. LED'ler ortalama olarak 10 mA ve 1.5 V değerlerinden itibaren ilettime geçerek ışık yaymaya başlarlar. Şekil 3 LED 'de foton oluşma olayını göstermektedir.



**Şekil 3.** LED'de foton oluşumu olayı



## 2. ÜSTÜNLÜKLERİ

**2.1 Yönlü Işık Yayabilme** Geleneksel ışık kaynakları tüm yönlerde ışık yayarak çoğu uygulamada ışık kaynağında üretilen ışığın bir kısmının zayi olmasına neden olmaktadır. Bazı özel optikler ve yansıtıcılar kullanılarak bunun önüne geçilmeye çalışılır; fakat bu durumda ışık kayıpları oluşur. LED'ler ise yassı bir yüzeye monte edilerek, küresel olarak değil de yarı-küresel olarak da ışık yayarlar. Böylece zayi olan ışık miktarı azaltılır.

**2.2 Kırılmaya Dayanım** LED ler filaman ve cam kaplamalara sahip olmadığından titreşimlere büyük ölçüde dayanıklıdır. Akkor telli lambalar ve deşarj lambaları taşıtlardan kaynaklanan ve sanayi uygulamalarındaki titreşimlerden etkilenebilir, bu yüzden bu tür uygulamalarda titreşime dayanıklı lambalar gerekmektedir. LED'lerin öz titreşim direnci endüstriyel teçhizat, asansör, yürüyen merdiven aydınlatması uygulamaları için kullanışlıdır.

Geleneksel ışık kaynaklarının tümü cam veya kuvars kaplama kaidelidir. Üründeki hasarlar lambanın taşınması, depolanması, ambalajlanması ve montajı esnasında oluşmaktadır. LED aletleri genelde cam kullanmazlar. LED aletleri doğrudan etkilere hassas olabilen lehimli bağlama tellerle devre kartına monte edilirler.

LED kaideli ışık kaynakları, bu özelliklerinden dolayı lamba kırılma ihtimalinin yüksek olduğu, spor faaliyetleri gibi uygulama alanlarında kullanılabilir.

**2.3 Boyut Avantajı** LED'ler küçük boyutlu olmaları ve yönlü ışık yaymaları, yenilikçi, düşük profilli, kompakt aydınlatma tasarımı imkanı sağlamaktadır. Bununla beraber, düşük profil elde etmek için dikkatli bir tasarıma ihtiyaç vardır. Yüksek çıkışlı geleneksel armatürler ile eşit aydınlık düzeyi elde etmek için çoklu LED gruplamasına ihtiyaç vardır. Yüzlerce lümen üretebilen LED'li ışık kaynakları aynı miktarda ışık üreten HID lambalara göre daha düşük profildedir.

**2.4 Düşük Sıcaklıklarda Çalışabilme** LED lerin performansı, düşük sıcaklıklarda artmaktadır. Bu durum LED'lerin marketlerde soğuk tutulması gereken malzemelerin aydınlatmasında (buzdolabı, derin dondurucu vb.) kullanılmasına olanak sağlamaktadır. DOE araştırmasına göre LED'li bir buzdolabının -5°C'deki ışık çıkışı, 25°C'dekine göre %5 daha verimlidir.

**2.5 Kontrol Edilebilme** Akkor telli lambalar ucuz kontrolle dim edilebilirken, sadece dimerleme balastlı bir kompakt flüoresan lamba bir dim etme devresi üzerinde çalıştırılabilir.

Kompakt flüoresanların akkor tellilerde olduğu gibi sürekli bir dimerlenebilme aralığı (ışık çıkışı %1'den %100'e) yoktur. Kompakt flüoresanlar genelde tam ışık çıkışının %30'una kadar düşürülerek dim edilirler. LED lerin kontrol edilen ışık düzeyi ve renk görünümü bakımından potansiyel yararları mevcuttur. LED sürücü ve kontrol teknolojisinin gelişiminin sürmesiyle aydınlatmada çok büyük bir yenilik alanı oluşacağı umulmaktadır. Dim etme, renk kontrolü ve kullanım süresi ile fotoelektrik kontrollerinin birleşmesi, enerji verimliliğini ve kullanıcı memnuniyetini artırmasına imkan verecektir.

**2.6 Isıtma Süresine İhtiyaç Olmaması** LED'ler hemen hemen anında tam parlaklıklarını verirler ve tekrar ateşleme sürelerine de ihtiyaçları yoktur. LED'lerin standart enkandesan lambalara göre 170 ila 200 milisaniye daha hızlı cevap verebilmesi, özellikle araç fren lambalarında kullanım için daha uygun olmasına olanak sağlamaktadır. Genel aydınlatma uygulamalarında ön ısıtma süresinin olmaması, güvenlik ve konfor açısından önem teşkil etmektedir.

**2.7 Hızlı Açıp-Kapama Yapabilme** LED ömrü ve bakımı hızlı açıp- kapama (anahtarlama)dan etkilenmemektedir. LED'lerin hızlı anahtarlama yeteneğine sahip olması yanıp sönen görüntülerde kullanımının yanı sıra, meşgul sensörü ve günüşiği sensörü kullanımı için de uygun olmasını sağlamaktadır.











**2.8 Kızılötesi ve Morötesi Işık Yaymama** Enkandesan lambalar, gücünün büyük çoğunluğunu kızılötesi veya ışın biçiminde ısıya dönüştürürken; %10'unu görünür ışığa dönüştürmektedir. Flüoresan lambalar güçlerinin daha büyük çoğunluğunu (%20 civarında) görünür ışığa çevirirler. HID lambalar ise önemli miktarda morötesi ışık yayarlar. LED'ler ise kızılötesi ve morötesi ışıkları hemen hemen hiç yaymazlar.

LED ler ve kaideli ışık kaynakları yapı olarak diğer ışık kaynaklarından farklı olduklarından diğer ışık kaynakları için kullanılan ölçüm standartlarından farklı standartlar geliştirilmektedir. Bir LED'in karakteristiğini belirlemek için bir LED test cihazı geliştirilerek farklı renkler için akım- gerilim karakteristiği çıkartılabilir. Bu bölümde LED'li ışık kaynakları için gerçekleştirilebilen ölçümler ve ölçümlerde kullanılan aygıtlar hakkında bilgi verilmektedir.

### **3. Renkler ve malzemeler**

LED'ler çeşitli inorganik yarıiletken malzemelerden yapılırlar. Aşağıdaki tabloda

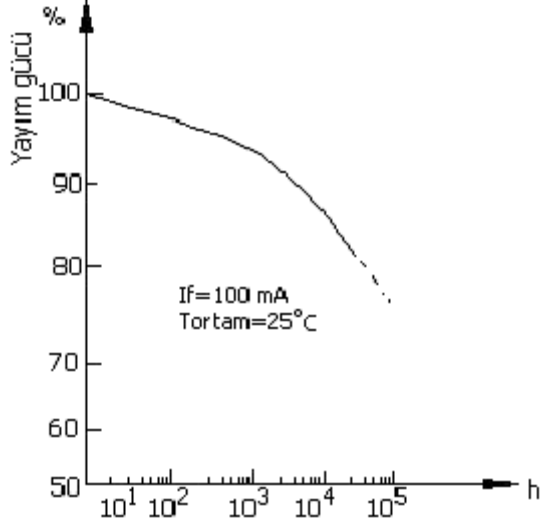
piyasada bulunabilen renkler için dalga uzunluğu aralığı, gerilim düşümü değeri ve malzeme bilgileri verilmektedir.

Renk	Dalgaboyu (nm)	Gerilim (V)	Yarıiletken Malzeme	
	<b>Kızılötesi</b>	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Gallium arsenide (GaAs) Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)
	<b>Kırmızı</b>	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
	<b>Oranj</b>	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
	<b>Sarı</b>	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)
	<b>Yeşil</b>	$500 < \lambda < 570$	$1.9^{[47]} < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP)
	<b>Mavi</b>	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate Silicon (Si) as substrate — (under development)
	<b>Menekşe</b>	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	Indium gallium nitride (InGaN)
	<b>Mor</b>	Çoklu tipler	$2.48 < \Delta V < 3.7$	İKLİ mavi/kırmızı LEDler, mavi ile kırmızı fosfor, yada beyaz ile mor plastik
	<b>Mor ötesi</b>	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Diamond (235 nm) <sup>[48]</sup> Boron nitride (215 nm) <sup>[49][50]</sup> Aluminium nitride (AlN) (210 nm) <sup>[51]</sup> Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN) — (down to 210 nm) <sup>[52]</sup>
	<b>Beyaz</b>	Broad spectrum	$\Delta V = 3.5$	Mavi/UV diyot ile sarı fosfor

#### 4. Güç - Zaman Karakteristiği

Işık yayan diyotların gücü zamanla orantılı olarak düşer. Bu güç normal gücünün yarısına

düştüğünde diyot artık ömrünü tamamlamıştır. Bir LED'in ortalama ömrü 100.000 saattir. Şekil-3'te LED'in yayım gücünün, normal şartlarda ( $I_F=100\text{ mA}$ ,  $T_{ortam}=25^\circ\text{C}$  iken) zamana göre değişim eğrisi verilmiştir. Bu tip değerlendirmede, gücün düşme miktarı direk güç değeri olarak değil de, normal güce oranı olarak alınmaktadır.



Şekil 4.1 LED'in güç-zaman karakteristiği

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

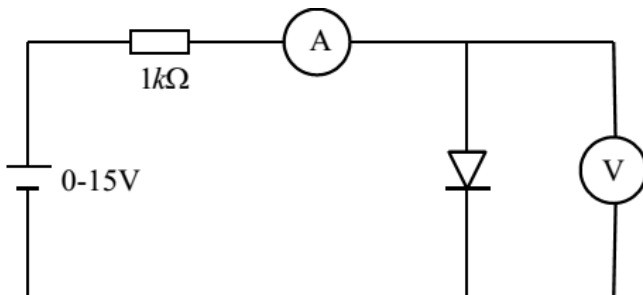
### LED Akım-Voltaj Karakteristiği:

1. Aşağıdaki elemanları kullanarak Şekil1'de gösterilen devreyi kurunuzve güç kaynağını açınız.

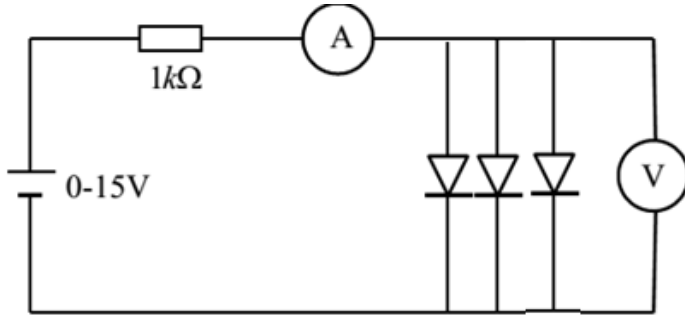
**R=1KΩ ve Sarı LED**

Şekil 5.1'deki devreyi kurunuz. Giriş gerilimini değiştirerek diyot üzerindeki gerilimin değişik değerleri için diyottan akan akımı ölçünüz. Aynı ölçümleri LED için de yapınız (Eğer kullandığınız ölçü aleti akım ölçemiyorsa 1kΩ'luk direncin üzerindeki gerilimi ölçerek akımı hesaplayınız).

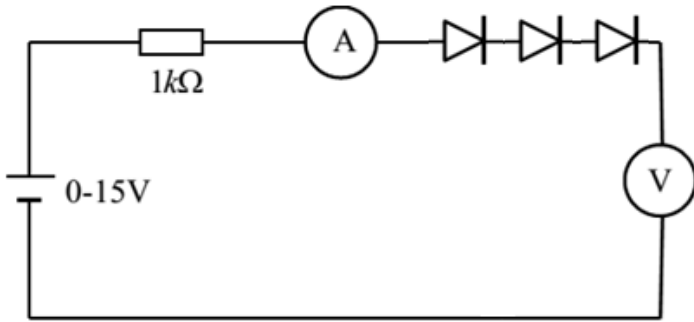
### 1. Tek LED durumunda



## 2. Paralel Bağlı durumda



## 3. Seri bağlı durumda



Şekil 5.1 Deney düzeneği

2. Led'leri seri ve paralel bağlayarak Akım-Voltaj karakteristiğini elde ediniz.

Tek LED durumunda

Paralel bağlı durumda

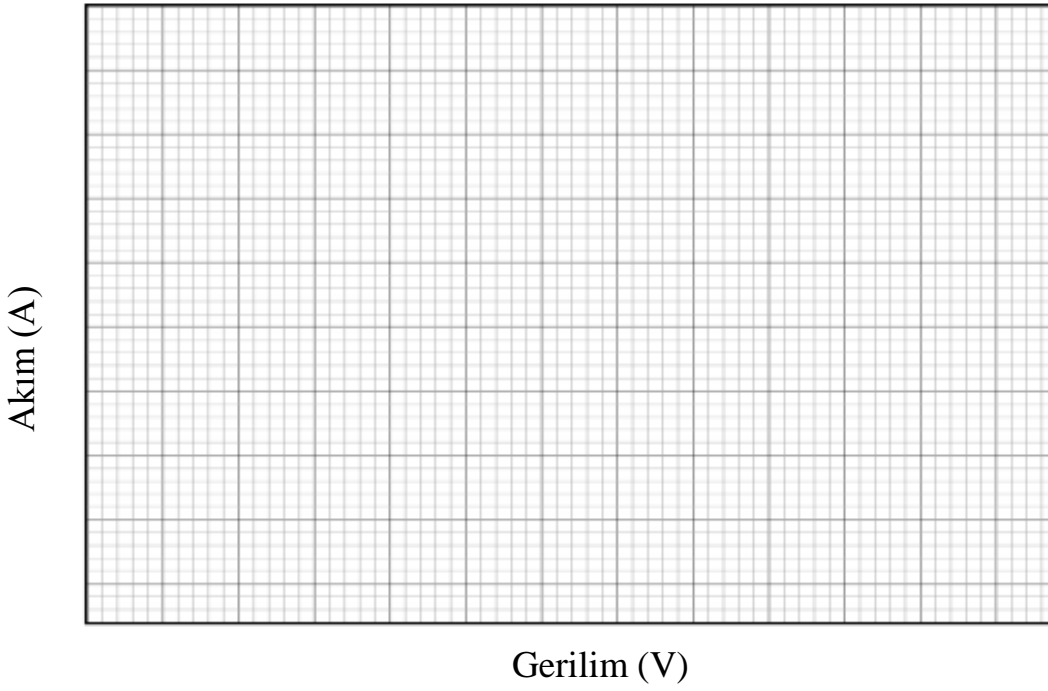
Seri bağlı durumda

LED gerilimi (V)	LED akımı (A)	LED gerilimi (V)	LED akımı (A)	LED gerilimi (V)	LED akımı (A)
0		0		0	
0.25		0.25		0.25	
0.3		0.3		0.3	
0.35		0.35		0.35	
0.4		0.4		0.4	
0.45		0.45		0.45	
0.5		0.5		0.5	
0.55		0.55		0.55	
0.6		0.6		0.6	
0.65		0.65		0.65	

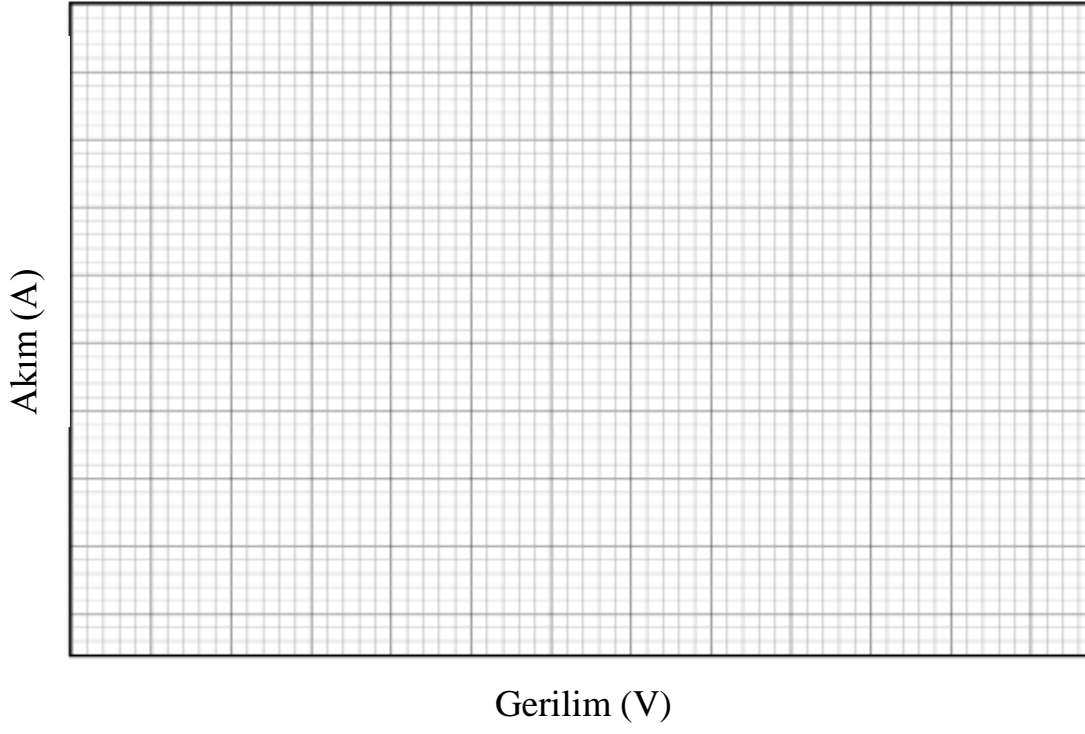
0.7		0.7		0.7	
0.75		0.75		0.75	
0.8		0.8		0.8	
0.85		0.85		0.85	
0.9		0.9		0.9	
0.95		0.95		0.95	
1.0		1.0		1.0	
1.25		1.25		1.25	
1.5		1.5		1.5	
1.75		1.75		1.75	
2.0		2.0		2.0	

## DENEYİN SONUCU

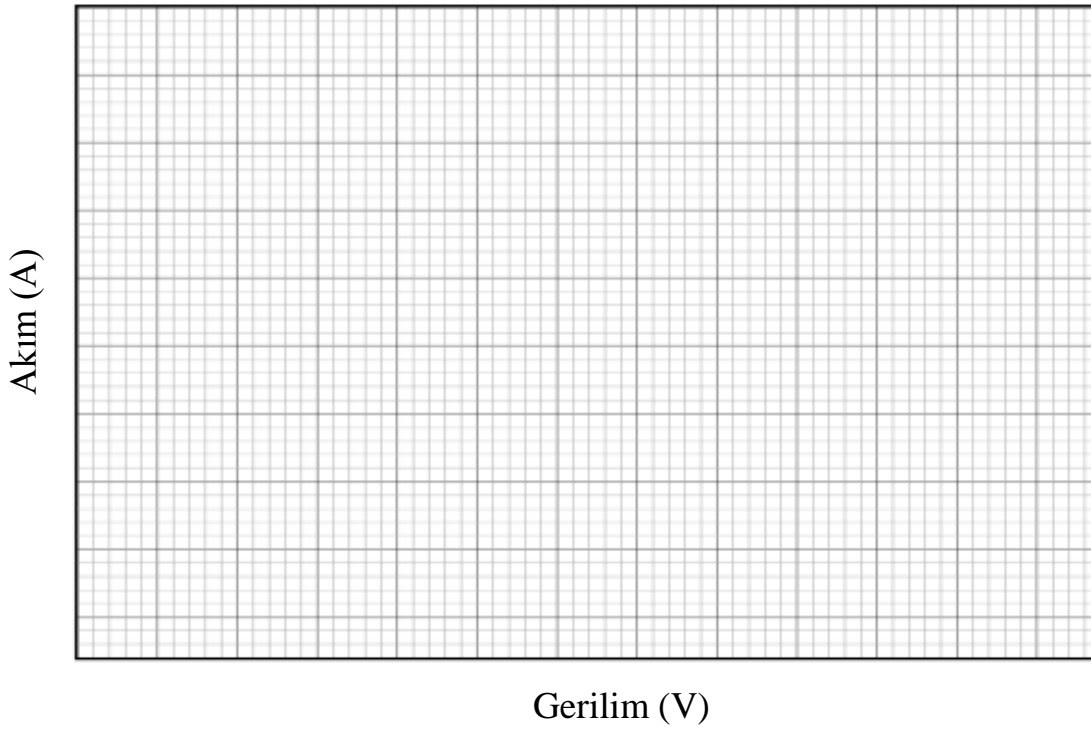
### 1. Kısım : Tek Led durumunda



**2. Kısım : Led ler seri bağlı iken**



**3. Kısım : Led ler paralel bağlı iken**



Zaman dk	LED Gücü W ( $P=V \times I$ )
0	
4	
8	
12	
15	
22	
25	
27	
30	

Güç (W)



Zaman (dk)

**SORULAR VE YORUMLARINIZ**



**Deney No : 3**

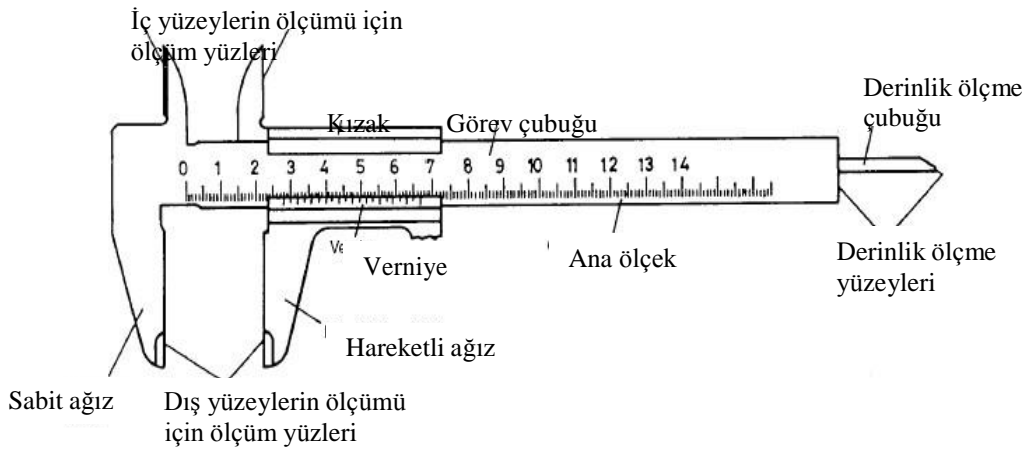
**Deney Adı : ÖLÇME VE HATA HESABI**

**Deneyin Amacı :** Bazı uzunluk ölçü aletlerini tanımak ve ölçme hataları hakkında ön bilgiler elde etmektir.

**Teorik Bilgi :**

### VERNİYELİ KUMPAS

Uzunluk ölçümü en eski ölçüm zorunluluklarından biridir. Bu yüzden uzunluk ölçümünün en basit metotları çok iyi bilinmektedir. Örneğin çok küçük uzunluklar için verniyenin ince kısmı kullanılır. Verniyenin bu kısmı milimetrelilik bir cetvele sahiptir ve cetvele tam dik yön de bir ölçüm ağzına sahiptir. Yine cetvele monte edilmiş bir ikinci ölçme ağzı vardır. Eğer her iki ölçüm ağzı temas halinde ise verniyenin sıfır işareti ile cetvelin sıfır işareti çakışık halde bulunur.

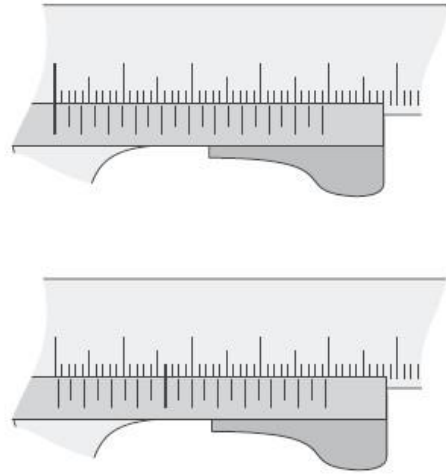


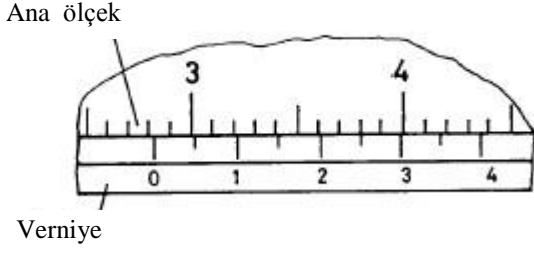
**Şekil 1.1:** Verniyeli kumpas

Verniyenin iki ölçüm ağzı ile farklı ölçümler kolaylıkla yapılır. Uzun ölçüm ağzı dış boyutları ölçmek için kullanılırken, küçük ölçüm ağzı iç boyutları ölçüm için kullanılır. Ek parçası yardımıyla derinlik ölçümleri de kolaylıkla yapılabilir.(Şekil 1.1)

**Şekil 1.2**

Verniye skalası sıfır konumunda iken uzun ölçüm işaretleri 3.9mm lik mesafeleri gösterir. İlk uzun verniye çizgisi ile cetvelin 4mm lik çizgisi arasındaki mesafe 0.1mm dir. İkinci uzun verniye çizgisinin 8mm çizgisiyle arasındaki mesafe 0.2mm dir. Eğer sıfır konumundan örnek olarak 0.4mm kadar hareket ettirilirse, 4.uzun verniye çizgisi cetvelin bir çizgisi ile çakışmalıdır. Bu şekilde ölçümdeki kesinlik 0.1mm dir. Eğer uzun verniye çizgilerine ek olarak kısa verniye çizgileri kullanılırsa ölçümdeki kesinlik 2 katına çıkar.(Şekil 1.2)





**Şekil 1.3:** Ana ölçekte okunan değer 28mm, verniyenin verdiği değerle beraber 28,25mm okunur.

Denemeler boyunca çeşitli boyutlar ölçülerek  $\bar{x}$  sonuçları alınırsa Ortalama değer

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad 1.1$$

( $n$ : ölçüm sayısı)

Numune için standart sapma ise

$$S_x = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad 1.2$$

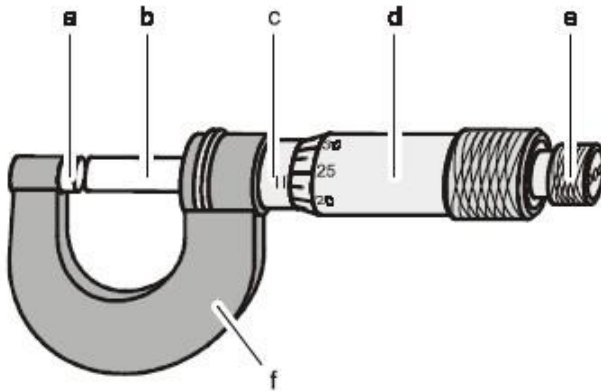
Standart sapma her bir ölçüm sonucunun ortalama değerden ne kadar saptığının göstergesidir.

## MİKROMETRE

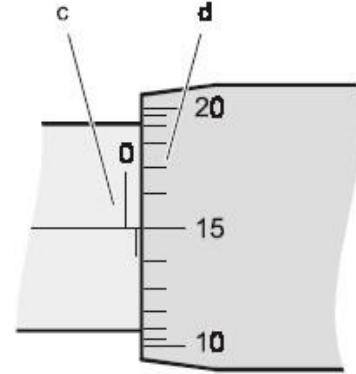
Küçük kalınlıklar mikrometre ile ölçülür. Mikrometre solda ağır sabit bir kafa ile sağda hareketli bir kafadan oluşur.(Şekil 1.4) Sırasıyla, baş tarafa tutturulmuş silindir etrafındaki ince yüzük çevrilerek ölçüm ağızı açılır ve kapanır.

Silindir üzerindeki skala 0.5mm lik ölçüm adımlarına karşılık gelir. Ölçüm ağızı tamamen kapalı ise skala sıfırı gösterir. Yüzük tam bir tur yaptığında, sağ ölçüm ağızı yarım milim hareket eder. Ölçümdeki kesinlik, yüzüğün etrafına ek bir skala yerleştirilerek artırılmıştır. Bu ek skalada 50 işaret vardır ve bu işaretler, 10 mikrometrelilik ölçüm ağızı arasındaki mesafelerin değişimine karşılık gelir. Bu nedenle ölçümdeki kesinlik 2 mikrometredir. (Şekil 1.5).

Ölçümü alınacak numune ölçüm ağızı arasına yerleştirilir. Numunenin hasar görmemesi için yüzüğe bağlı bir vida dondurulur. Deneyde farklı kalınlıklar bir kaç kez ölçülür.



**Şekil 1.4 :** Mikrometre  
**a:** Hareketsiz ölçüm ağızı  
**b:** Hareketli ölçüm ağızı  
**c:** Kaba skalalı silindir  
**d:** İnce skalalı yüzük  
**e:** Sürtünme kelepçeli vida  
**f:** Boyunduruk



**Şekil 1.5 :** Kaba skaladaki a mesafesinin temsili c, İnce skaladaki a mesafesinin temsili d;  
 $d=0.5\text{mm}+0.150\text{mm}=0.650\text{mm}$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad 1.3$$

(**n**: ölçüm sayısı)

Numune için standart sapma ise

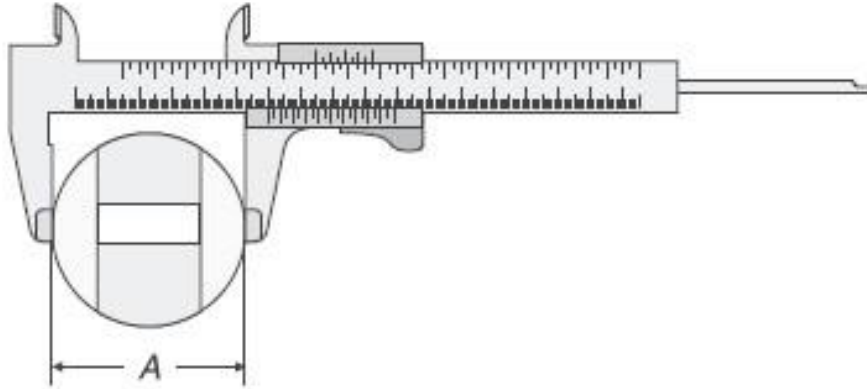
$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (d_i - \bar{d})^2} \quad 1.4$$

ile verilir. Standart sapma her bir ölçümün ortalama değerden ne kadar saptığının göstergesidir. Bu değer mikrometrenin vidasının okuma kesinliği ile mukayese edilir. Sürtünme kelepçesinin ne işe yaradığı ise yumuşak bir kablunun enini bu kelepçe ile ve kelepçesiz olarak ölçtüğümüzde anlaşılır.

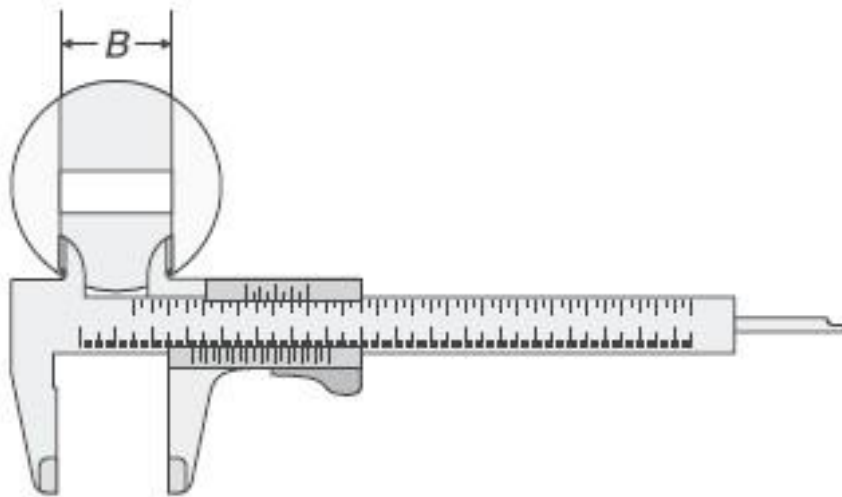
### **Deneyin Yapılışı :**

#### ***DIŞ BOYUTLARIN BELİRLENMESİ***

Ölçümü alınacak numuneyi verniyenin uzun kısmına sıkıştırırız. Dış boyut A yi milimetrik skala yardımıyla belirleyiniz. Verniyeyi eski konumuna getirerek ölçümü tekrarlayınız.



**Şekil 1.6.** Uzun ölçüm ağzının kullanılarak dış boyutların ölçülmesi



**Şekil 1.7.** Küçük ölçüm ağzı ile iç boyutların belirlenmesi

Numuneyi küçük ağız kısmına sıkıştırırız. Milimetrik skala ile iç boyutu belirleyin ve verniyeden de okuma yapın. Yukarıdaki adımları tekrar ederek ölçümü tekrarlayın.

**Tablo 1.1.** A boyutunun ölçüm sonuçları

i	Ana Ölçek	Verniye	A <sub>i</sub> (mm)
1			
2			
3			
4			
5			

Ortalama Değer:  
Standart Sapma:  
Okuma Hassasiyeti:

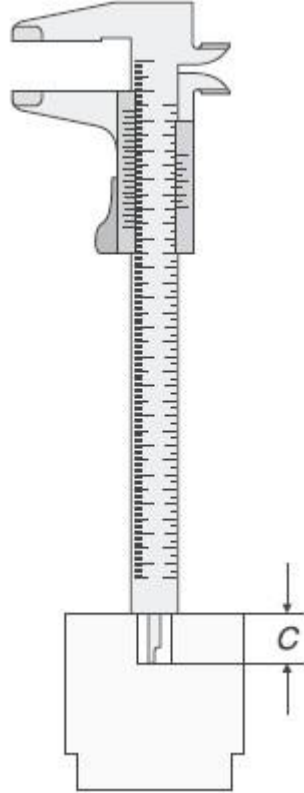
**Tablo 1.2.** B boyutun ölçüm sonuçları

i	Ana Ölçek	Verniye	B <sub>i</sub> (mm)
1			
2			
3			
4			
5			

Ortalama Değer:  
Standart Sapma:  
Okuma Hassasiyeti:

### ***DERİNLİĞİN BELİRLENMESİ***

Ayarı gevşetin ince uç derinliği ölçülecek numunenin tabanına değene kadar uzatılmalıdır. C derinliğini milimetrik skala yardımıyla ve verniye yardımıyla belirleyiniz. Ve ölçümleri tekrarlayınız.



**Şekil 1.8.** Uç kısım yardımıyla derinliğin belirlenmesi

**Tablo 1.3.** C boyutun ölçüm sonuçları

i	Ana Ölçek	Verniye	$C_i$ (mm)
1			
2			
3			
4			
5			

Ortalama Değer:  
Standart Sapma:  
Okuma Hassasiyeti:

**Tablo 1.4.** Alüminyum tel için ölçüm sonuçları

i	Kaba skala	İnce skala	$d_i$ ( $\mu\text{m}$ )
1			
2			
3			
4			
5			

Ortalama Değer:  
Standart Sapma:  
Okuma Hassasiyeti:

**Tablo 1.5.** Bakır tel için ölçüm sonuçları

i	Kaba skala	İnce skala	$d_i$ ( $\mu\text{m}$ )
1			
2			
3			
4			
5			

Ortalama Değer:  
Standart Sapma:  
Okuma Hassasiyeti

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 4**

**AVOMETRE VE LCR METRE KULLANIM DENEYİ**

**Deneyin Amacı:** Avometre kullanarak akım, gerilim ve direnç değerlerini ölçmeyi, diyot ve transistör gibi yarıiletken devre elemanlarını test etmeyi öğrenmek.

**TEORİK**

Ampermetre, voltmetre ve ohmmetre'den oluşan ölçü aletine Avometre denir (Şekil 1). Analog ya da dijital yapıları olarak üretilen ve en yaygın kullanım alanına sahip olan bu aygıt ile DC gerilim, AC gerilim, DC akım, AC akım ve direnç ölçülebilir. İdealde Avometre'nin iç direnci sıfır kabul edilir.



**Şekil 1.** Avometre

Avometre'nin gelişmiş olan modeline ise **Multimetre** denir. Multimetreler akım, gerilim ve direnç ölçümlerine ilave olarak diyot, transistör kazancı, frekans, kapasitesi, sıcaklık gibi ölçümler yapabilme kabiliyetine sahiptir (Şekil 2). Sayısal ve analog olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2. Multimetre

### LCR Metre

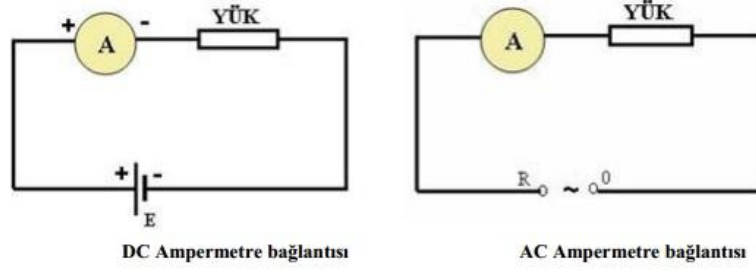
LCR metre direnç, bobin ve kondansatör gibi devre elemanlarının ölçülerinde kullanılan bir ölçü aletleridir (Şekil 3). Ölçülecek devre elemanı aletin ilgili giriş terminallerine takılır. LCR metre ile doğru ölçüm yapabilmek için uygun kademe seçimi yapılmalıdır.



Şekil 3. LCR metre

## Akım Ölçümü

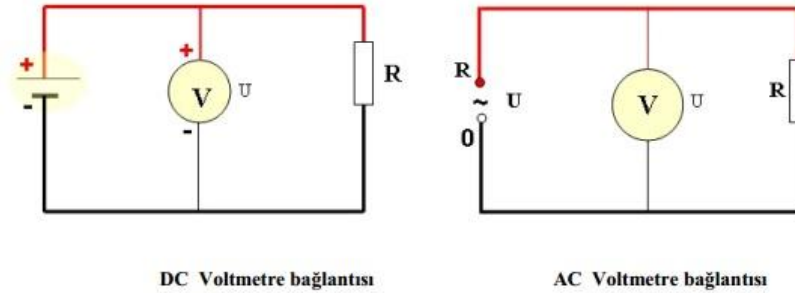
Akım ölçmek için Avometre'deki akım kademeleri seçilmelidir. Avometre, akım ölçümü yapılmak istenilen devreye seri bağlanır. Avometre'nin devreye ters bağlanması durumunda ibre ters yönde hareket edecektir.



Şekil 4. Akım ölçümü

## Gerilim Ölçümü

Gerilim ölçmek için Avometre'deki gerilim kademeleri seçilmelidir. Avometre gerilim ölçümü yapılmak istenilen devreye paralel olarak bağlanır. Avometre'nin devreye ters bağlanması durumunda gösterge ibresi ters yönde hareket edecektir.



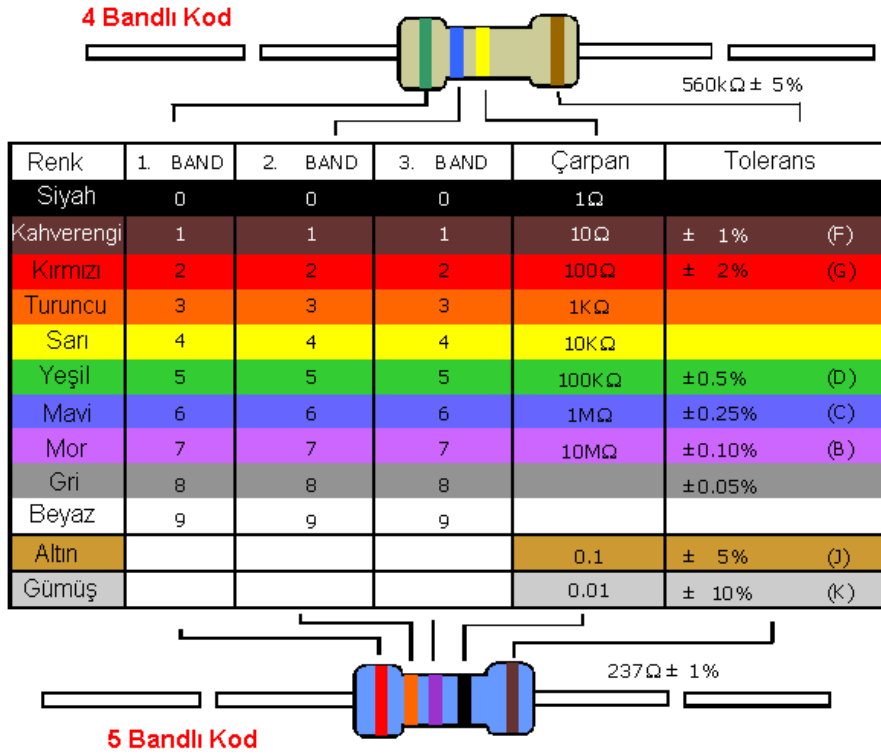
Şekil 5. Gerilim ölçümü

## Dirençlerde değer okuma

Çeşitli direnç tipleri mevcuttur. En çok kullanılan direnç tipi karbon dirençtir. Bu tip dirençlerin gövdesinde 4 adet renk bandı mevcuttur. Bu renkler, direncin ohm cinsinden



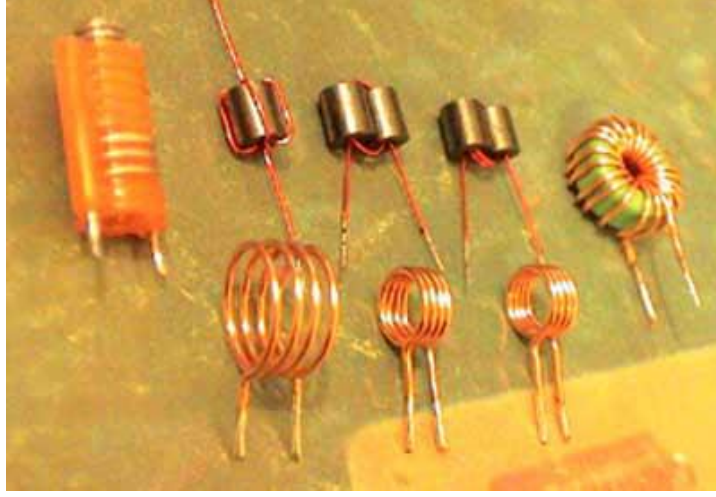
değerini ve toleransını gösterirler. Okumaya en soldaki renkten başlanır. Direnç renk kodları Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 6: Direnç renk kodları.

## Bobin

Bobinler üzerleri emaye kaplı iletken tellerin yan yana veya üst üste sarılmasıyla elde edilen devre elemanlarıdır. Bobinler elektrik akımının değişimlerine karşı endüktans adı verilen bir tepki gösterirler. Endüktans “L” harfi ile sembolize edilir ve birimi Henry’dir (H). Bir bobinin indüktif reaktansını ( $X_L$ ) bulabilmek için endüktans değeri bilinmelidir.

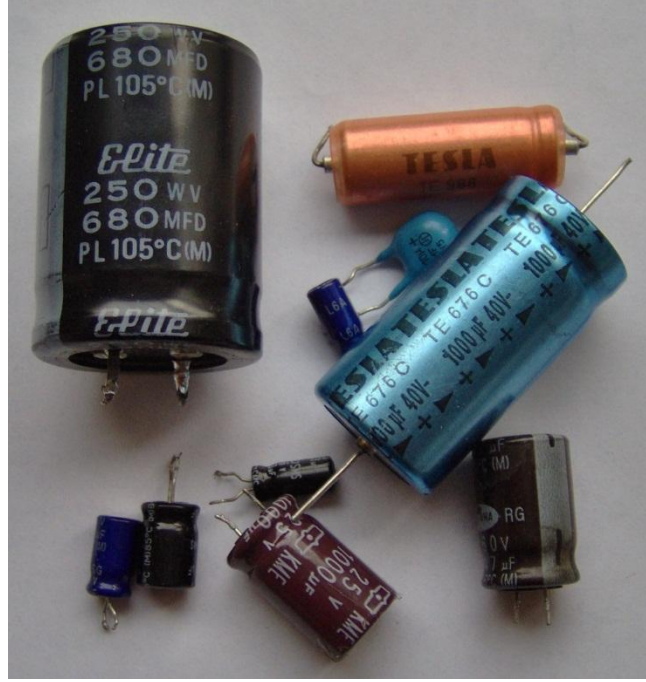


**Şekil 7. Bobin**

Bobinler DC akım ile beslendiklerinde omik direnç gösterirler. AC akım ile beslendiğinde ise akıma karşı gösterdiği direnç artar. Bunun sebebi bobin etrafında oluşan manyetik alanın zamanla değişmesi ve akıma karşı ilave bir karşı koyma etkisi oluşturmasıdır. AC sinyalin frekansı arttıkça meydana gelen manyetik alanın değişim hızı da artacağından karşı koyma etkisi, yani direnci daha da artar. Bobinlerin sarıldığı kısma karkas, iletkenin karkas üzerinde bir tur yapmasına da sarım adı verilir.

### **Kondansatör**

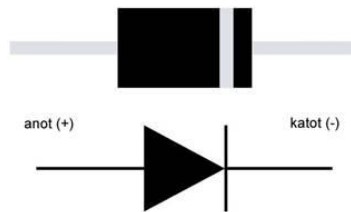
İki iletken levha arasına bir yalıtkan malzeme konularak meydana getirilen devre elamanlarına kondansatör adı verilir. Kondansatörler elektrik enerjisini depo ederler. Depo edilecek enerji miktarını kondansatörün kapasitesi belirler. Bir kondansatörün kapasitesi “C” ile ifade edilir ve birimi Farad’dır (F).



Şekil 8. Kondansatör

## Diyot

Diyot tek yönlü akım geçiren iki terminalli bir yarıiletkenlerdir (Şekil 9.). Bu terminaller anot (A) ve katot (K) olarak adlandırılır. Anot diyotun (+) ucu, katot ise diyotun (-) ucudur. Güç kaynağının artı ucu anoda, eksi ucu katoda bağlandığında diyot doğru polarize olur ve akım geçirmeye başlar. Güç kaynağının uçları ters bağlanırsa (anoda eksi, katoda artı), diyot ters polarize olur ve herhangi bir akım geçişi olmaz. Günümüzde en sık kullanılan diyotlar germanyum ve silisyum tipi malzemelerden yapılmıştır. Germanyum tipi diyotlar genelde detektör yapımında kullanılır. İletime geçme gerilimleri 0.2-0.3 volt arasındadır. Silisyum tipi diyotlar ise anahtarlama, doğrultma ve yüksek frekans devrelerinde kullanılır. İletime geçme gerilimleri 0.6-0.7 volt arasındadır.

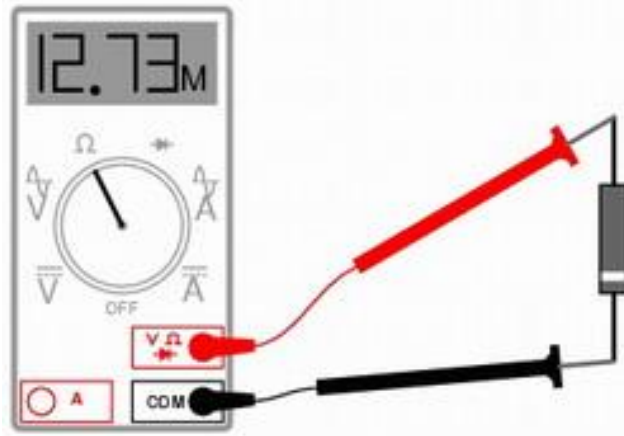


Şekil 9. Diyot

## DENEYSEL ÇALIŞMA

### Direnç renk kodlarının okunması ve ölçülmesi

1. Elinizdeki dirençlerin değerlerini, üzerlerindeki renk kodlarından faydalanarak tayin ediniz ve Tablo 1'e bulduğunuz değerleri yazınız.
2. Dirençleri değerlerini dijital multimetre'nin ohm kademesini kullanarak Şekil 10.'da gösterildiği gibi ölçünüz ve Tablo 1'e kaydediniz.
3. Ölçülen ve okunan direnç değerlerini karşılaştırınız.

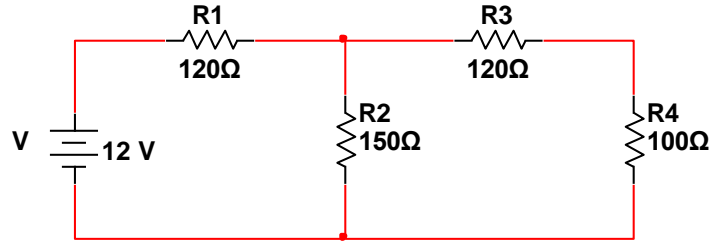


Şekil 10. Direnç ölçme.

Tablo 1: Renk bant kodlu dirençlerin okunması.

Bandı Sayısı	1. Bant	2. Bant	3. Bant	4. Bant	5. Bant	Direnç [Ω]	Tolerans [%]	Ölçülen [Ω]

## Gerilim ve akım ölçme



Şekil 11. Akım-gerilim ölçüm devresi

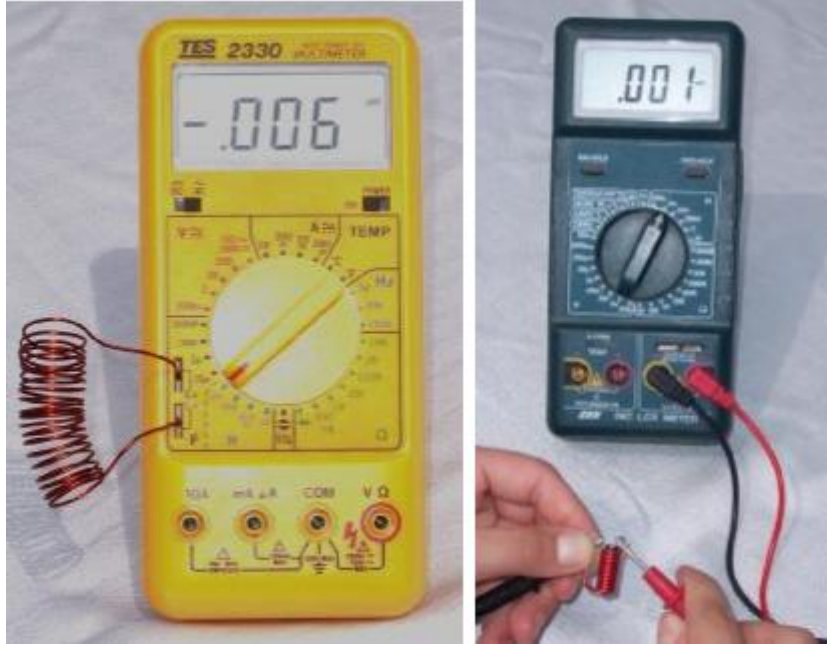
Yukarıda verilen devrede her bir direncin üzerine düşen gerilimi ve üzerinden geçen akımı ölçünüz ve sonuçları Tablo 2.'ye kaydediniz.

Tablo 2. Akım ve gerilim ölçümü sonuçları.

	ÖLÇÜM SONUÇLARI	
	Akım	Gerilim
$R_1$		
$R_2$		
$R_3$		
$R_4$		

## Avometre ile endüktans değerinin ölçülmesi

LCR metre olmadığı durumlarda endüktans ölçme özelliğine sahip avometre ile LCR metre de olduğu gibi ölçüm yapılabilir. Endüktans ölçerken direnç ölçümündeki teknikler uygulanır. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken husus, endüktansı ölçülecek bobinin, problara değil uygun bağlantı noktalarına bağlanmasıdır (Şekil 12.).



Şekil 12. Avometre ve LCR metre ile endüktans ölçme.

### LCR metre ile Endüktans Değerinin Ölçülmesi

LCR metreler ile endüktans ölçülürken ölçülecek endüktans değerine uygun kademe seçilir. Her zaman ölçümlere büyük kademedan başlanır. Ölçülen büyüklüğün değerine göre seçilen kademe büyütülerek ya da küçültülerek ölçüm tamamlanır.

Farklı endüktans değerlerindeki bobinlerin LCR metre veya avometre ile ölçümlerini yapınız ve Tablo 3'e kaydediniz. Ölçtüğünüz endüktans değerleri ile kondansatör üzerinde yazan değerleri karşılaştırınız. Farklılık varsa ölçümünüzü tekrarlayınız.

Tablo 3. Ölçülen endüktans değerleri.

No	Endüktans değeri (H)	Ölçü Aleti ile Ölçülen Değer (H)
1		
2		
3		
...		
...		

## LCR metre ile kapasite değerinin ölçülmesi

Kondansatör kapasitesi değişik ölçü aletleri ile ölçülebilir. Bunlardan en pratik olan yöntem LCR metre ya da kapasite ölçümü yapabilen avometre kullanmaktır. LCR metrelerde kapasite ölçümü, endüktans ölçümünden farklı değildir. Bu ölçü aletleri kullanarak ölçüm yaparken direnç ve endüktans ölçümünde olduğu gibi uygun kademe seçimi yapılır. Ölçülecek kondansatörün uçları LCR metrede problara ya da uygun ölçüm noktasına bağlanır. Avometre kullanılarak yapılan ölçümlerde ise uygun ölçüm noktasına bağlandıktan sonra sonuç okunur.

LCR metreler ile kapasite ölçülürken ölçülecek kapasite değerine uygun kademe seçilir. Her zaman ölçümlere büyük kademeden başlanır. Ölçülen büyüklüğün değerine göre seçilen kademe büyütülerek ya da küçültülerek ölçüm tamamlanır.



Şekil 13. Avometre ve LCR metre ile kapasite ölçme.

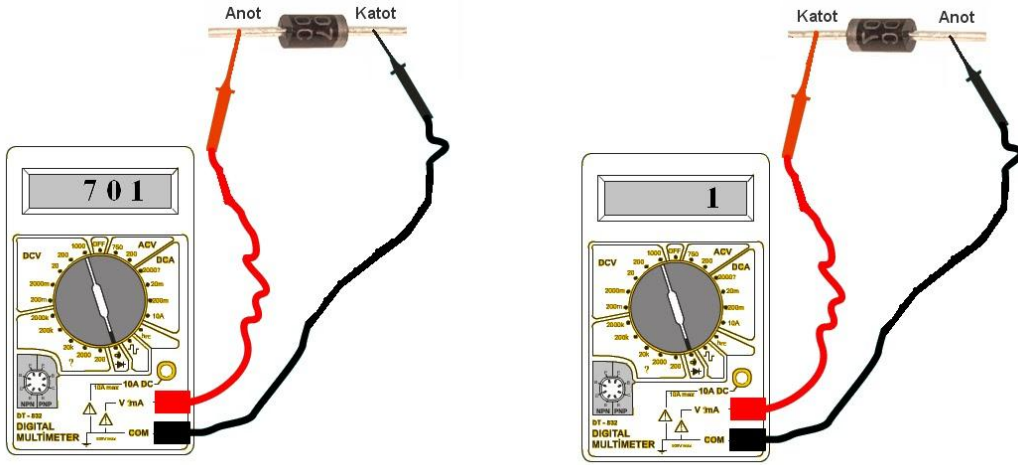
Farklı kapasite değerlerindeki kondansatörlerin LCR metre veya avometre ile ölçümlerini yapınız ve Tablo 4'e kaydediniz. Ölçtüğünüz kapasite değerleri ile kondansatör üzerinde yazan değerleri karşılaştırınız. Farklılık varsa ölçümünüzü tekrarlayınız.

**Tablo 4.** Ölçülen kapasite değerleri.

No	Kondansatörün Kapasitesi (F)	Ölçü Aleti ile Ölçülen Değer (F)
1		
2		
3		
...		
...		

### Ölçü aletiyle diyotun sağlamlık kontrolü

Avometre, ilgili yarıiletkenin ölçüleceği kademeye alınır. Eğer analog avometre kullanıyorsak ohm ( $\Omega$ ) kademesine alınır. Ölçü aletinin probaları uygun şekilde (+ probu anot terminaline, - probu ise katot terminaline) diyot uçlarına değdirilir. Ölçü aletinin değer gösterip göstermediğine bakılır. Uçlar yer değiştirilir ve işlem tekrarlanır. İşlemlerin, sadece birinde ölçü aleti değer gösteriyorsa diyot sağlamdır. Değer gösterdiği durumda diyot doğru polarize edilmiştir. Analog ölçü aletinde diyot uçları problara göre tam ters olarak isimlendirilir. Ölçü aletinde okunan değer diyotun eşik gerilimidir.



**Şekil 14.** Avometre ile diyot sağlamlık kontrolü.



**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 5**

**Osiloskobun Kullanılması Deneyi**

**Amaç:**

Osiloskobu tanımak, kullanımını kavramak ve osiloskop kullanarak bir elektriksel işaretin genlik, frekans ve periyot gibi büyüklüklerini ölçmek.

**Deneyde kullanılacak malzemeler:**

No:	Malzeme Adı:
1	Osiloskop
2	Sinyal jeneratörü
3	Deney bordu
4	Güç kaynağı

**TEORİ:**

Osiloskop; faz farkı, akım, gerilim, frekans gibi elektriksel değerleri ölçerek gösteren ölçüm cihazıdır. İşaretin dalga şeklinin görüntülenmesini, frekans ve genliğinin belirlenip ölçülmesini sağlar. Elektrik enerjisini dalga biçiminde gösterir. Akım ve gerilim değerlerinin değişimleriyle genlik değeri zamana bağlı grafik olarak izlenir. Bir osiloskop ile aşağıda belirtilen değerler ölçülebilir;

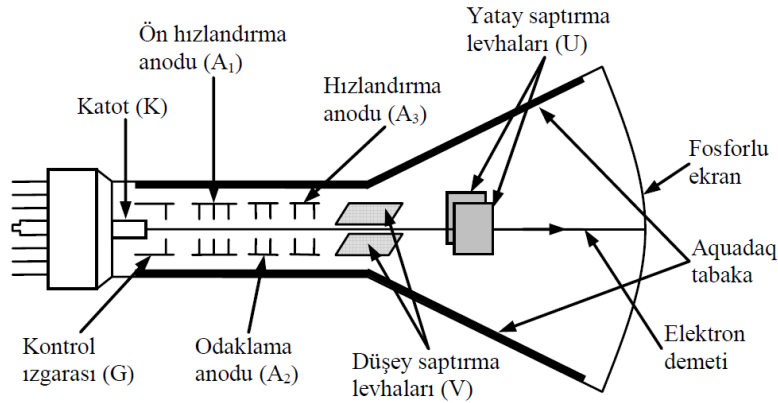
- İşaretin zaman ve gerilim değeri.
- Devreden geçen akım.
- İşaretin salınım frekansı.
- Faz farkı.
- İşaretin ne kadarının DC ve AC olduğunu ölçmek.
- İşaretin dalga şeklini ve bozulma olup olmadığını tespit etmek.
- Diyot, transistör gibi yarı iletken elemanların karakteristikleri.
- Kondansatörün şarj ve deşarj eğrileri.

Osiloskop, televizyon tüplerinin benzeri olan katot ışınlu tüpten oluşur. Havası boşaltılmış cam bir tüp olan katot ışınlu tüp temel olarak 3 kısımdan oluşur.

- a. Elektron tabancası ve odaklama-hızlandırma elemanları
- b. Düşey (Y) ve yatay (X) saptırma levhaları
- c. Elektron ışını çarpınca parlayan fosforlu ekran

Elektron tabancası elektronların meydana gelmesini ve kontrolünü sağlamaktadır. Elektron tabancasının katodu, bir flaman yardımıyla ısıtılır. Isının etkisiyle katotun yapısında yer alan serbest elektronlar koparak uygulanan yüksek potansiyelli gerilim yardımıyla anota doğru hızla hareket ederler. Katottan, anota doğru hareket eden elektronlar, hızlandırma ve odaklama ızgaralarından geçerler. Bahsi geçen ızgaralar, katottan koparak ilerleyen elektronların ekranın tam ortasına ilerlemesini sağlar. Ancak, ızgaralara, 20-50 V arası gerilimler uygulanırsa elektronlar, ekranın tam orta noktasından saparak istenilen bir noktaya getirilebilir.

Ekranın iç yüzeyindeki floresan madde nedeniyle, iç yüzeye çarpan elektron demeti ekranın dışında yeşil bir ışık noktası (spot) olarak görünür.

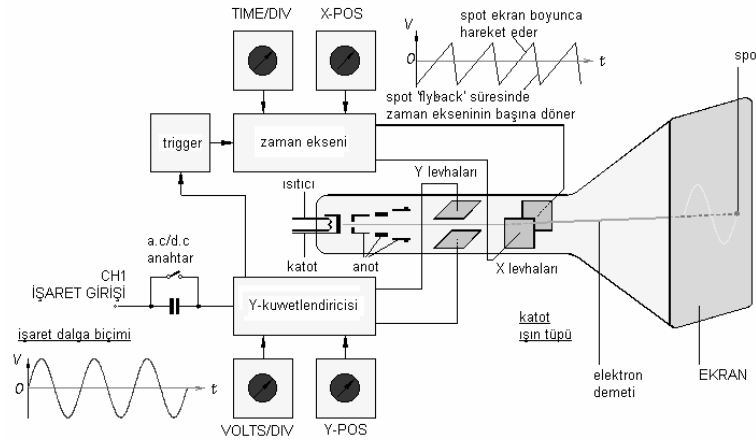


Şekil 1. Katot ışınlu tüp.

Osiloskopta incelenen işaret çok küçükse, işaretin genlik, frekans, periyot gibi büyüklüklerinin daha rahat gözlenmesi için işaret yatay ve düşey yönde büyütülebilir. Bunun için işaret önce kuvvetlendirilir; daha sonra levhalara uygulanır. Osiloskoptaki görüntünün düşey yönde büyütülmesi VOLTS/DIV düğmesiyle, yatay yönde büyütülmesi ise TIME/DIV düğmesiyle gerçekleşir.

Yatay süpürme (tarama) devresi kısmı zamanla testere dişi bir işaret (gerilim) üreten bir osilatör olup, bu gerilim osiloskobun yatay saptırma levhalarına uygulandığında, düşey

levhalarda bir gerilim yokken ışıklı noktada ekranda orta kısımda düz bir yatay çizgi (zaman ekseni) olarak görülür. Düşey levhalarda zamanla değişen bir işaret olup yatay levhalara işaret uygulanmamışken ekranda düşey bir çizgi görülmektedir. Yatay levhalara testere dişi gerilim, düşey levhalara da zamanla periyodik olarak değişen bir gerilim: sinüsoidal, üçgen, kare dalga, vb uygulandığında ekranda düşey levhalara uygulanan gerilim görülmektedir. Düşeye ve yataya uygulanan işaretler birlikte senkron olurlarsa, ekrandaki işaret duruyormuş gibi görünür. Aksi halde ekrandaki işaret sürekli olarak sağa ya da sola doğru kayar.



**Şekil 2.** Osiloskop genel yapısı.

### **DENEY:**

Osiloskobun her ölçmeden önce kesinlikle kalibrasyon ayarlarının yapılmış olması gerekmektedir. Aksi takdirde ölçme doğru olmayabilir.

Kalibrasyon yapılırken bir referans noktası gerekmektedir. Bunu osiloskop kendi içinde sağlamıştır. Şekil 3'te osiloskobun sağ alt kısmındaki girişe (referans noktası) probu bağladığımızda ekranda  $1\text{KHz}$  frekansında ve 1 volt genliğinde bir kare dalga görülür.



**Şekil 3.** Osiloskobun ön paneli.

## Ölçüm İşlemleri

- Ekranda en iyi görünümü elde etmek için yeğinlik (Intensity) ayarları yapılır.
- Dalga şekillerini mümkün olan en büyük şekilde gözlemlemeliyiz.
- Ölçümlere başlamadan önce prob kalibrasyonu yapılmalıdır.

### Osiloskobun Çalıştırılması

1. Osiloskobun açma-kapama (ON-OFF) anahtarı kapalı konumdayken ışık şiddeti (INTENSITY) düğmesi en küçük konumda olmalı.
2. Düşey ve yatay konumu kontrol düğmeleri yaklaşık olarak ortalarda olmalı.
3. Kullanılacak kanallara probları bağlayınız.
4. Yukarıda belirtilen hususlara dikkat ettikten sonra osiloskobun fişini şehir şebekesine bağlayınız.
5. Açma-kapama (ON-OFF) anahtarını ON konumuna alınız.
6. Konum kontrollerini X-Y POSITION kullanarak çizgiyi ortalayınız.
7. TIME/DIV düğmesini 10 ms (yada daha az) konuma alınız.
8. Bütün bu işlemlerden sonra osiloskop, ölçmeler için kullanılmaya hazırdır.

#### A. Zamanla Değişmeyen (DC) Gerilimlerde Genlik Ölçülmesi

1. Sayısal Voltmetreyi DC kaynağın çıkışına paralel bağlayarak, kaynak çıkışının 1 Volt olmasını sağlayınız.
2. Osiloskopun 1. kanalında ekrandaki görüntüyü (yatay düz çizgi) ekranın sıfır çizgisi ile çakıştırınız.
3. Osiloskopun 1. kanalının girişini DC güç kaynağının çıkışına bağlayınız.
4. 1. kanalın Volt/Div anahtarını 0.2Volt/Div kademesine getiriniz ve kanal girişini DC konumuna alınız.
5. Ekranda görülen görüntünün düşey yönde sapma miktarını (Div) ölçünüz. Bu değeri Volt/Div kademesinin gösterdiği değerle çarparak DC gerilim değerini hesaplayınız.
6. Aşağıda verilen Çizelge-1'yi kullanarak, aynı işlemi 2.5V, 5.5V ve 8.0V için tekrarlayınız.
7. Aynı volt değerlerini güç kaynağının kutuplarını değiştirerek tekrarlayınız.

**Çizelge 1:** Osiloskopta ölçülen değerler.

Sayısal Voltmetre	Volt/Div Kademesi	Bölme Sapması	Gerilim değeri
1.0 V			
2.5 V			
5.5 V			
8.0 V			

#### B. Zamanla Değişen (AC) Gerilimlerde Genlik Ölçülmesi

1. Fonksiyon üreticini sinüs biçimine ve frekansını (yaklaşık) 1kHz'e ayarlayınız. Osiloskoptaki çizgiyi sıfır çizgisi ile çakıştırın.
2. Kanal girişini AC konuma alınız.
3. Fonksiyon üreticinin çıkışını osiloskopun 1. kanal girişine bağlayınız.
4. Osiloskopun 1. kanal düşey saptırmasını 0.5 Volt/Div konumuna getiriniz.
5. Ekranda görülen sinüs biçimli işaretin tepeden tepeye ( $V_{t-t}$ ) değerini 6 birim (Div) olacak şekilde, fonksiyon üreticinin çıkış genliğini ayarlayınız. Bu durumda ölçülen gerilimin

değeri,  $V_{tt}=0.5\text{Volt/Div}*6 \text{ Div} = 3 \text{ Volt}$  olacaktır. Bu değeri kullanarak aynı gerilimin Tepe Değerini ( $V_t$ ) ve Etkin Değerini ( $V_{et}$ ) hesaplayarak Çizelge-2'ye yerleştiriniz.

6. Fonksiyon üreticinin çıkışına sayısal voltmetreyi bağlayarak, gerilimin etkin değerini ölçünüz ve osiloskop kullanarak ölçülen değer ile karşılaştırınız.
7. Farklı değerli sinüsler ve kare dalgalar için yukarıdaki işlemleri tekrarlayarak Çizelge 2 ve 3'ü doldurunuz.

**Çizelge 2:** Osiloskopta ölçülen değerler.

	Volt/Div	Bölme	$V_{t-t}(\text{V})$	$V_t(\text{V})$	$V_{et}(\text{V})$	Sayısal Voltmetre (V)
<b>Sinüs</b>						

**Çizelge 3:** Osiloskopta ölçülen değerler.

	Volt/Div	Bölme	$V_{t-t}(\text{V})$	$V_t(\text{V})$	$V_{et}(\text{V})$	Sayısal Voltmetre (V)
<b>Kare</b>						

### C. Zamanla Değişen (AC) Gerilimlerde Periyot ve Frekans Ölçülmesi

1. Fonksiyon üreticisini sinüs biçimli,  $V_{t-t} = 3 \text{ V}$  ve  $f = 100 \text{ Hz}$  olacak biçimde ayarlayınız.
2. Kanal girişini AC konuma alınız.
3. Fonksiyon üreticisinin çıkışını osiloskopun 1. kanal girişine bağlayınız.
4. Time/Div kademeli anahtarını uygun bir konuma getirerek, ekranda bir periyodun tam olarak görünmesini sağlayınız. Bu durumda bir periyodun yatay ekseninde kaç kare (Div) uzunluğunda olduğunu belirleyerek işaretin periyodunu hesaplayınız.
5.  $f = 1/T$  bağlantısından yararlanarak frekansı hesaplayınız ve bu değerleri Çizelge-4'te yerine yazınız.
6. Farklı frekanslar için (1.0 kHz, 3.5 kHz, 8.8 kHz, 20 kHz) aynı işlemleri tekrarlayarak Çizelge-4'ü doldurunuz.

**Çizelge 4:** Osiloskopta ölçülen değerler.

Frekans (Hz)	Time/Div	Bölme (Div)	Periyot (s)	Frekans (Hz)

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 6**

**Devreler ve Sistemlerde Temel Yasalar**

**Deneyin Amacı:**

Kirchhoff yasalarının geçerliliğinin deneysel olarak gözlenmesi.

**Teori:**

Basit seri-paralel düzeneklere indirgenebilen birçok direnç devresinde eşdeğer direnç hesaplanabilir. Ayrıca Ohm yasası kullanılarak devre elemanları üzerindeki akım ve gerilim değerleri bulunabilir. Ancak her zaman devreleri basit hale indirmek mümkün olmayabilir. Bu durumlarda çok daha kompleks devrelerde akım ve gerilimin devre elemanları üzerindeki dağılımlarını basit bir şekilde hesaplayabilmek için Kirchhoff yasaları kullanılır. Kirchhoff yasaları akım ve gerilim yasaları olmak üzere ikiye ayrılır.

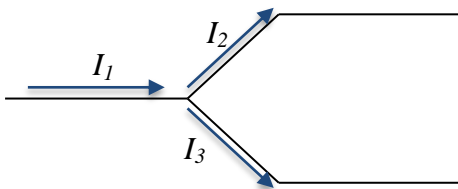
**Kirchhoff Akım Yasası:**

Kirchhoff akım yasası; bir elektrik devresinde bir düğüm noktasına giren akımlar ile bu düğüm noktasından çıkan akımların matematiksel toplamı sıfırdır.

$$\sum I = 0 \quad (6.1)$$

Kirchhoff akım yasası temel olarak *elektrik yükünün korunumunun* bir ifadesidir. Genel olarak bir elektrik devresinde herhangi bir noktada (düğümde) elektrik yükü birikmesi olmayacağından, birim zamanda düğüme giren yük çıkan yüke eşit olmalıdır. Birim zamandaki yük miktarı akıma eşittir.

Akım kuralı uygulanırken, düğüm noktasına gelen akımlar artı (+) ve düğüm noktasını terk eden akımlar eksi (-) işaretle ifade edilir ve şekil 1 de gösterildiği gibi uygulanır.



$$\sum I = I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Şekil 1: Kirchhoff akım yasasının uygulanması.

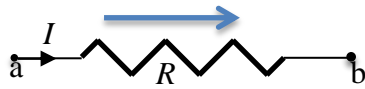
### Kirchhoff Gerilim Yasası:

Kirchhoff gerilim yasası *enerjinin korunumu ilkesini* esas almaktadır. Bir elektrik devresinde kapalı bir ilmek (çevre) boyunca hareket eden bir yük hayal edelim. Bu yük başlangıç noktasına geri döndüğünde sistemin toplam enerjisi harekete başlamadan önceki enerjisine eşittir. Bir diğer ifade ile yükün bazı devre elemanları üzerinden geçerken oluşturduğu toplam enerjideki artış diğer devre elemanları üzerinden geçerken oluşturduğu toplam enerjideki düşüğe eşittir. Kirchhoff gerilim yasasına göre, herhangi bir kapalı devrede, devre elemanları üzerindeki potansiyel değişimlerinin matematiksel toplamı sıfırdır.

$$\sum V = 0 \quad (6.2)$$

Elektrik devreleri farklı devre elemanlarından (dirençler ve elektromotor kuvvet (emk) kaynakları) oluşabileceğinden, Kirchhoff gerilim yasasının doğru bir şekilde uygulanabilmesi için devre elemanları üzerindeki potansiyel değişimler aşağıda verilen kurallara göre belirlenmelidir.

Dirençler üzerindeki potansiyel değişimi, aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi; akım ile aynı yönde ilerlerken eksi (-), akıma zıt yönde ilerlerken artı (+) işaretle alınır.

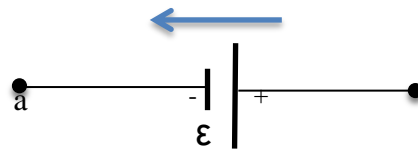
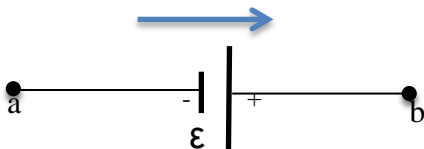


$$\Delta V = V_a - V_b = -IR$$



$$\Delta V = V_a - V_b = +IR$$

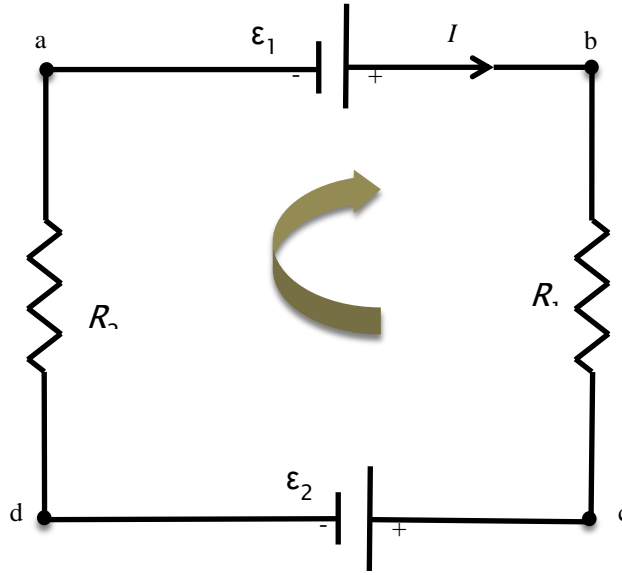
Batarya üzerindeki potansiyel değişimide, aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi bataryanın negatif ucundan pozitif ucuna doğru ilerlerken artı (+) zıt yönde yani pozitif ucundan negatif ucuna doğru ilerlerken negatif (-) alınır.



$$\Delta V = V_a - V_b = +\varepsilon$$

$$\Delta V = V_a - V_b = -\varepsilon$$

Basit bir elektrik devresinde (Şekil 2) Kirchhoff gerilim yasası uygulanarak devreden geçen akımı hesaplamaya çalışalım. Devrede düğüm noktası olmadığı için devre elemanları üzerinden geçen akım aynıdır. Akım yönü ve seçilen yön şekil üzerinde rastgele belirlenmiştir.



$$\Sigma V = 0 ;$$

$$\varepsilon_1 - IR_1 - \varepsilon_2 - IR_2 = 0$$

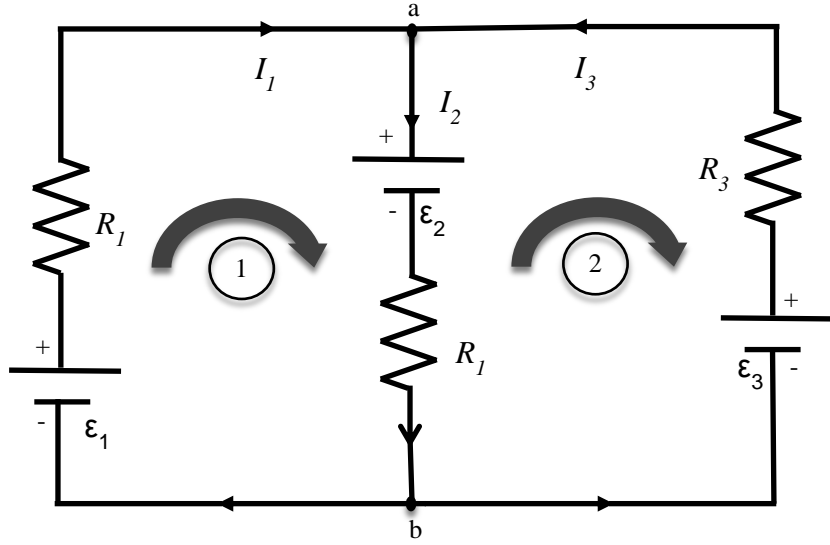
$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2}$$

Şekil 2: İki direnç ve iki bataryadan oluşan devre üzerinde Kirchhoff gerilim yasasının uygulanması.

Kirchhoff yasalarının uygulanabilmesi için akım yönünün belirlenmesi gerekmektedir. Eğer işlemler sonucunda akım değeri eksi (-) çıkarsa, seçilen akım yönünün tam tersi olması gerektiği göstermektedir. Akım yönünün doğru seçilebilmesi için bataryaların bağlantı noktaları dikkate alınabilir. Ayrıca, belirli bir devre problemini çözmek için Kirchhoff akım ve gerilim yasalarını kullanarak elde edecek bağımsız denklemlerin sayısı en az bilinmeyen değerlerin sayısı kadar değildir.

Kirchhoff akım ve gerilim yasasının uygulamasını daha iyi anlayabilmek için birden fazla düğüm ve çevrim içeren şekil 3 de yer alan elektrik devresini ve türetilen denklemleri dikkatlice inceleyiniz. Düğüm noktaları, akım yönü ve seçilen yön dikkate alınarak Kirchhoff yasalarına göre yazılabilecek denklemler aşağıdaki gibidir.

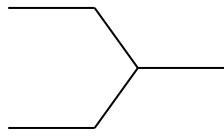




**Şekil 3:** Üç direnç ve üç güç kaynağından oluşan iki düğüm noktalı elektrik devresinde Kirchhoff yasalarının uygulanması.

Öncelikle Kirchhoff akım yasasına göre, şekil 3 üzerinde de gösterilen a ve b düğüm noktalarında sırasıyla;

$$\begin{array}{ll}
 \text{(a)} & I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\
 \text{(b)} & -I_1 + I_2 - I_3 = 0
 \end{array}$$


 $I_1 = I_2 + I_3$

ifadeleri elde edilir.

Kirchhoff gerilim yasasına göre b düğüm noktasından başlamak üzere 1 ve 2 numaralı ilmekler için sırasıyla;

$$\text{(1. ilmek)} \quad \varepsilon_1 - I_1 R_1 - \varepsilon_2 - I_2 R_2 = 0$$

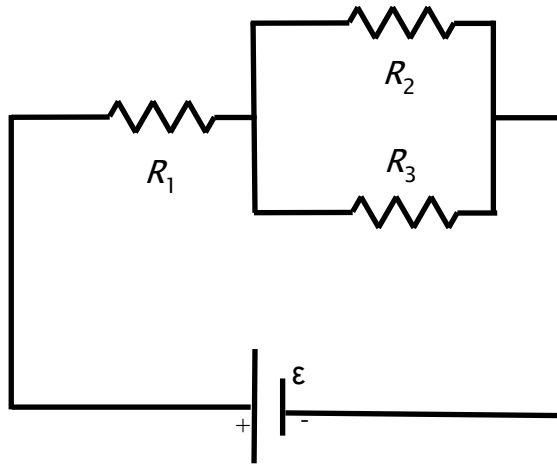
$$\text{(2. ilmek)} \quad +I_2 R_2 + \varepsilon_2 + I_3 R_3 - \varepsilon_3 = 0$$

ifadeleri elde edilir.

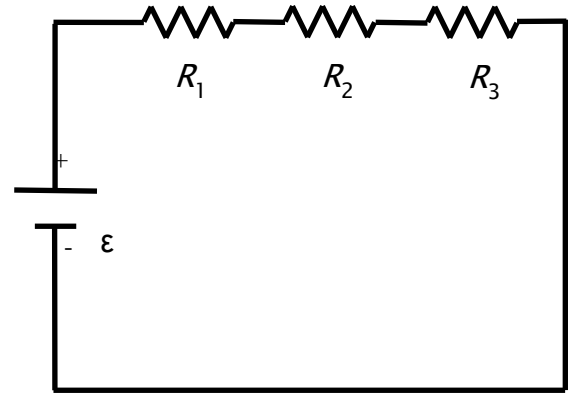
## Deneyde Kullanılan Malzemeler:

1. DC güç kaynağı
2. Avo metre
3. Deney boardu
4. Değişik değerlerde dirençler
5. Bağlantı kabloları

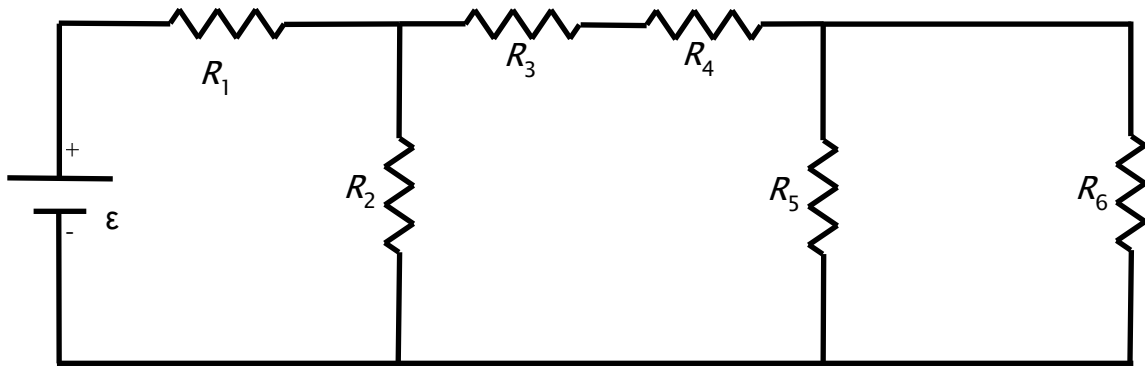
## Deneyin Şemaları:



$$(\epsilon = 5 \text{ V } R_1 = 2 \text{ k}\Omega \text{ } R_2 = 3 \text{ k}\Omega \text{ } R_3 = 6 \text{ k}\Omega)$$



$$(\epsilon = 5 \text{ V } R_1 = 1 \text{ k}\Omega \text{ } R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega \text{ } R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega)$$



$$(R_1 = 1 \text{ k}\Omega \text{ } R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega \text{ } R_3 = 2,2 \text{ k}\Omega \text{ } R_4 = 4,7 \text{ k}\Omega \text{ } R_5 = 4,7 \text{ k}\Omega \text{ } R_6 = 10 \text{ k}\Omega)$$

## **Deneyin Yapılışı:**

### **1. Kısım**

- 1) Devre I' de verilen devre üzerindeki eşdeğer direnç ( $R_{eş}$ ) ve her bir direnç üzerinden geçen akım ve gerilimleri hesaplayınız.
- 2) Devre I' de verilen devreyi deney seti üzerine kurunuz.
- 3) Ayarlanabilir DC güç kaynağını 5V olarak ayarlayınız.
- 4) Avo metreyi akım moduna alarak her bir direnç üzerinde ki akımı değerini ve toplam akımı ölçünüz. Akım ölçme modun da Avo metrenin devreye seri bağlanması gerektiğini unutmayınız.
- 5) Ardından, Avo metreyi voltmeter moduna alarak her bir direnç ucundaki gerilimi ölçünüz. Gerilim ölçme modunda da voltmeterin direnç uçlarına paralel bağlanması gerektiğini unutmayınız.
- 6) Hesaplanan ve ölçülen akım ve gerilim değerleri sonucunda oluşan yüzdelik hatayı hesaplayınız.
- 7) Kirchhoff akım yasasının sağlanıp sağlanmadığını belirleyiniz. (Düğüm noktasını belirleyiniz ve denklemi yazınız. Ölçülen ve hesaplanan değerleri ilgili denkleme yerleştiriniz). Sonuçlarını yorumlayınız.

### **2. Kısım**

- 1) 1. kısımda belirtilen aşamaları Devre II için de uygulayınız.
- 2) Kirchhoff gerilim yasasını sağlanıp sağlanmadığını belirleyiniz. (Seçilen yönü belirleyiniz ve denklemi yazınız. Ölçülen ve hesaplanan değerleri ilgili denkleme yerleştiriniz). Sonuçları yorumlayınız.

### **3. Kısım**

- 1) Devre III de verilen devreyi deney seti üzerine kurunuz.
- 2) Ayarlanabilir DC güç kaynağını 5V ve 10 V olarak ayarlayınız.
- 3) Herhangi bir direnç üzerinde Ohm kanununun geçerliliğini gözleyiniz.
- 4) Tüm dirençler üzerinde ki gerilim ve akım değerlerini ölçünüz.
- 5) Düğüm noktalarından gelen ve giden akımları ölçünüz.
- 6) Ayrıca bu ölçümler esnasında paralel kollarda ki gerilimlerin ve seri kol üzerindeki akımların bir birlerine eşit olduğunu gözleyiniz.
- 7) Yapmış olduğunuz ölçümlere göre Kirchhoff akım ve gerilim yasalarının sağlanıp sağlanmadığını belirleyiniz.( Kirchhoff yasalarına göre türettiğiniz

denklemleri yazınız ve ayrıca şekil üzerinde belirlediniz akım yönlerini, düğüm noktalarını ve her bir ilmek için belirlediğiniz yönü gösteriniz).

- 8) Devre elemanları üzerinde oluşan gerilim ve akım değerlerini ( $\varepsilon = 5$  ve  $10$  V) için hesaplayınız ve ölçülen değerlerle karşılaştırınız.

**Not: Hesaplanan ve ölçülen değerleri aşağıdaki tablolara yazınız**

### Deney Sonuç Tabloları:

Devre I	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						
Devre II	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						

**Tablo 1:** Devre I ve Devre II için hesaplanan ve ölçülen değerler.

Devre III	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						
	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)	$V_4$ (volt)	$V_5$ (volt)	$V_6$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						

**Tablo 2:**  $\varepsilon = 5$  V için Devre III için hesaplanan ve ölçülen değerler

Devre III	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						
	$V_1$ (volt)	$V_2$ (volt)	$V_3$ (volt)	$V_4$ (volt)	$V_5$ (volt)	$V_6$ (volt)
Ölçülen						
Hesaplanan						
Hata						

**Tablo 3:**  $\varepsilon = 10$  V için Devre III için hesaplanan ve ölçülen değerler.

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 7**

**THEVENİN ve NORTON TEOREMLERİ**

Deneyi Yapanlar		Adı Soyadı	No	İmza

Adı Soyadı	Ön Çalışma Notu (%20)	Deney Öncesi Sınav Notu (%20)	Deney ve Rapor Notu (%60)	Toplam

**Deneyin Yapıldığı Tarih:**

**Raporun Teslim Tarihi:**

**ÖNEMLİ NOT :**

**Deneye kabul için,** mutlaka “Ön Çalışma”nın yapılması, Tablo 1 ve 2 deki “Hesaplama Sonucu” kısmının doldurulup **Ön Çalışma Raporu** olarak hazırlanması ve deneye gelirken getirilmesi gerekmektedir. Bu Ön Çalışma, laboratuvarda yapacağınız deneysel ölçümleri kontrol etmeniz açısından önem taşımaktadır. Ön Çalışma Raporu, deney öncesi sınavından evvel toplanacak sınav sonu iade edilecektir. Ön Çalışma Raporu okunaklı, çözümlerinizin de muntazam ve tüm hesaplama basamaklarını gösteriyor olmaları önem arz etmektedir. **Laboratuvar çalışmalarına devam edebilmek için deney öncesi sınavdan geçerli not (%50) almanız gerekmektedir.**

**THEVENİN ve NORTON TEOREMLERİ**

**Deneyin Amacı**

**Thevenin ve Norton** teoremlerinin deneysel olarak incelenmesidir.

**Kullanılacak Araç ve Gereçler**

- 1- Digital Multimetre
- 2- DC güç Kaynağı

- 3- Değişik değerlerde dirençler ve bağlantı kabloları
- 4- Deney Tahtası (Bordu, Protoboard)

## Önbilgi

### 1. Thevenin Teoremi

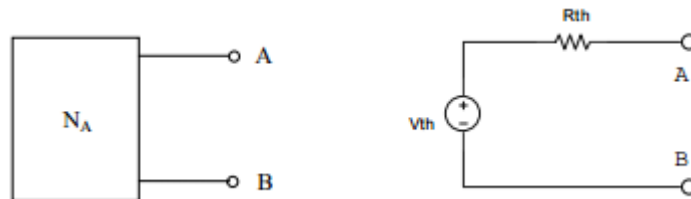
Thevenin Teoremi, karmaşık bir devrede herhangi iki nokta arasında akan akım veya gerilim hesaplanmak istenildiğinde ilgili devrenin daha basit çözümlenmesini sağlar. Bu yöntemde, herhangi bir dirençten geçen akımı bulmak için bu eleman devreden çıkarılır ve devrenin kalan kısmı bir gerilim kaynağı ( $V_{TH}$ ) ve buna seri bağlı bir direnç ( $R_{TH}$ ) olacak şekilde sadeleştirilir. Bu şekilde Thevenin eşdeğer devresi elde edilir. **Thevenin gerilimi ( $V_{TH}$ )**, direncin çıkarıldığı uçlar arasındaki gerilimdir. **Thevenin direnci ( $R_{TH}$ ) ise**, açık uçlardan bakıldığında görülen dirençtir. Bu direnç hesaplanırken gerilim kaynakları kısa devre düşünülür. Böylece, Thevenin eşdeğer devresi elde edilir ve daha önce orijinal devreden çıkarılan koldaki eleman veya elemanlar bu devreye bağlanarak gerekli çözüm yapılır.

Şekil 1'de verilen  $N_A$  devresinde sadece lineer elemanlar bulunduğu biliniyor ve bu devrenin A-B uçlarından görülen eşdeğeri bulunmak isteniyorsa aşağıdaki işlemleri yapmak gerekir.

**İşlem 1 :** A-B uçları arası açık devre yapılarak uçlar arasındaki gerilim hesaplanır veya ölçülür. Bu gerilim, Thevenin gerilimine ( $V_{TH}$ ) eşittir.

**İşlem 2 :** Devrede bağımsız kaynak ve dirençler var ise devredeki bütün bağımsız akım kaynakları açık devre, bağımsız gerilim kaynakları da kısa devre edildikten sonra A-B uçlarından içeriye doğru bakıldığında görülen direnç Thevenin direnci ( $R_{TH}$ )'dir.

Thevenin eşdeğer devresi,  $R_{TH}$  ve  $V_{TH}$  ölçülerek veya hesaplanarak elde edilir.



Şekil 1 Thevenin Eşdeğer Devresi

## 2. Norton Teoremi

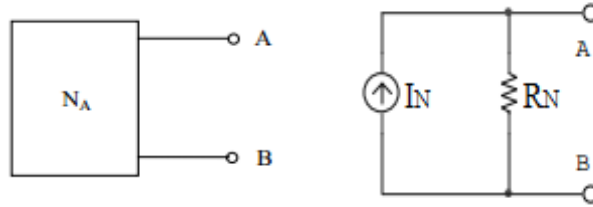
Bu yöntemde herhangi bir dirençten geçen akımı bulmak için bu eleman devreden çıkarılır ve devrenin kalan kısmı eşdeğer bir akım kaynağı ( $I_N$ ) ve buna paralel bağlı eşdeğer bir direnç ( $R_N$ ) şeklinde sadeleştirilir. Akım kaynağının değeri, direncin çıkarıldığı uçlar kısa devre düşünüldüğünde geçen değerdir. Akım kaynağına paralel direnç ise, açık uçlardan bakıldığında görülen dirençtir. Bu direnç hesaplanırken gerilim kaynakları kısa devre düşünülür.

Bir devrenin içinde sadece doğrusal elemanlar varsa bu devrenin A-B uçları arasından görülen Norton eşdeğer devresini oluşturmak için aşağıdaki işlemleri yapmak gerekir.

**İşlem 1:** A-B uçları arası kısa devre yapılarak uçlar arasından akan akım ölçülür veya hesaplanır. Bu akım ( $I_N$ ) Norton akımıdır.

**İşlem 2:** Norton eşdeğer direnci ( $R_N$ ) Thevenin direnci ( $R_{TH}$ ) ile aynı şekilde bulunur.

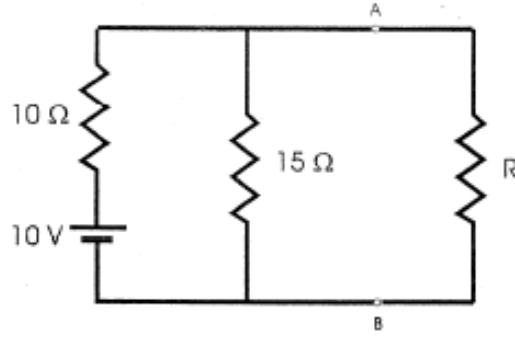
Bu değerler hesaplanarak Norton eşdeğer devresi Şekil 2'deki gibi oluşturulur;



Şekil 2 Norton Eşdeğer Devresi

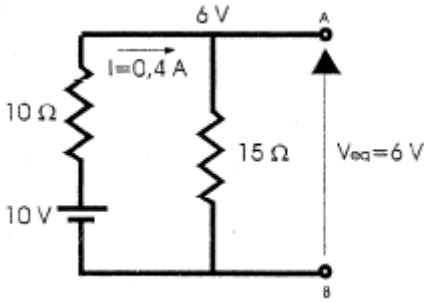
### Thevenin ve Norton Eşdeğer Devrelerinin Teorik Olarak Bir Örnekle Hesaplanması

Şekil 3'de görülen örnek devrenin, Thevenin ve Norton eşdeğer devrelerini oluşturalım. Burada R yük direncidir.



Şekil 3 Gerçek Devre

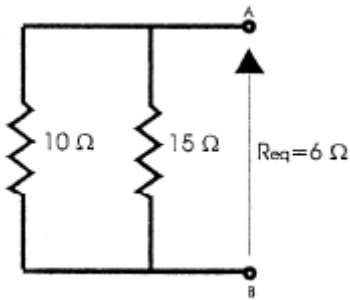
(a) Bu göz (mesh) içinde dolaşan akım 0,4 amperdir. Bundan dolayı A ve B noktaları arasında görülecek voltaj  $V_{TH} = V_{eq} = V_{eş} = 6$  Volttur.



$$I = \frac{10}{10+15} = 0,4 \text{ A} \Rightarrow V_{eş} = 0,4 \times 15 = 6 \text{ V}$$

Şekil 3.a Thevenin voltajı

(b) Thevenin eşdeğer direnci Şekil 3 (b) de görüldüğü gibi kaynaklar kısa devre yapılarak hesaplanır. Buradaki iki direnç paralel olduklarından eşdeğer direnç  $R_{TH} = R_{eq} = R_{eş} = 6 \Omega$  olacaktır.

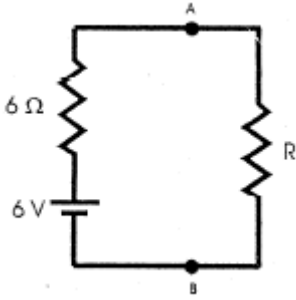


$$R_{eş} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6 \Omega$$

Şekil 3.b Eşdeğer direnç

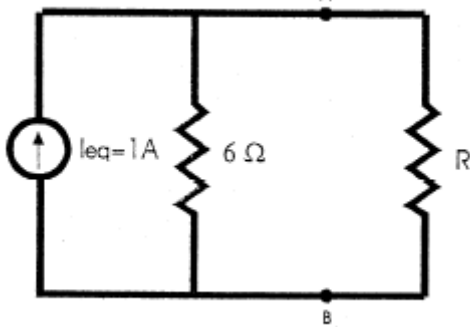


(c) Şekil 3.c'deki şemadaki devre, görüldüğü gibi Thevenin devresi olup bir gerilim kaynağı ve bir eşdeğer dirençli devreden oluşmaktadır.



Şekil 3.c Thevenin devresi

(d) Şekil 3.d'de Norton eşdeğer devresi, Thevenin eşdeğer devresinden aşağıda gösterildiği gibi kolayca hesaplanabilir. Kısa devre akımı  $I_{eş} = I_{eş}$  dir. Burada R yük direncidir.



$$I_{eş} = \frac{V_{eş}}{R_{eş}} = \frac{6V}{6\Omega} = 1A$$

Şekil 3.d Norton devresi

(e) Yük direnci  $R_{yük} = R = 6\Omega$  kabul edelim. Yük direncine ait akım ( $I=I_{yük}$ ) ve gerilim ( $V=V_{yük}$ ) değerini bulalım.

$$I_{yük} = \frac{V_{eş}}{R_{eş} + R_{yük}} = \frac{6V}{6\Omega + 6\Omega} = \frac{6V}{12\Omega} = \frac{1}{2} = 0,5A$$

$$V_{yük} = R_{yük} I_{yük} = \frac{R_{yük}}{R_{eş} + R_{yük}} V_{eş} = \frac{6\Omega}{6\Omega + 6\Omega} 6V = \frac{36}{12} V = 3V$$

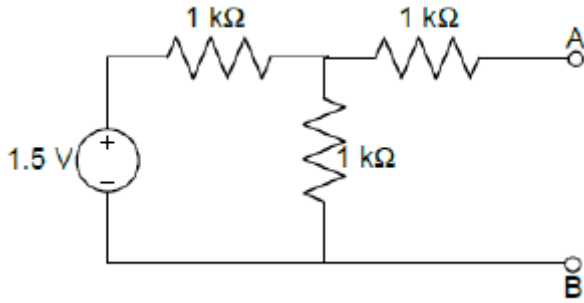
(f) Yük direnci ( $R_{yük}$ ) üzerinde harcanan maksimum gücün değerini bulalım.

Maksimum güç  $R_{yük} = R_{eş}$  şartı altında gerçekleşmektedir.

Maksimum güç,  $P_{mak} = \frac{V_{eş}^2}{4R_{eş}}$  olarak elde edilir.

$$P_{mak} = \frac{(6 V)^2}{4 \times 6 \Omega} = 1,5 W$$

### Ön Çalışma :



Şekil 4.

- 1) Şekil 4'de verilen devre için, Thevenin gerilimi ( $V_{th}$ ) ve Thevenin direncini ( $R_{th}$ ) hesaplayarak, Thevenin eşdeğer devresini çiziniz. Hesaplanan değerleri Tablo 1. de yerine yazınız.
- 2) Thevenin eşdeğer devresine  $R_{yük} = 1 k\Omega$ 'luk yük direnci bağlayarak, yük akımını ( $I_{yük}$ ) bulunuz. Hesaplanan  $I_{yük}$  değerini Tablo 1. de yerine yazınız.
- 3) Şekil 4.'de verilen devrenin çıkış uçlarını kısa devre ediniz. Norton akımını ( $I_N$ ) ve Norton direncini ( $R_N$ ) hesaplayarak, Norton eşdeğer devresini çiziniz. Hesapla bulduğunuz  $I_N$ ,  $R_N$  değerlerini Tablo 1. de yerine yazınız.
- 4) Norton eşdeğer devresine  $R_{yük} = 1 k\Omega$ 'luk yük direnci bağlayarak, yük akımını ( $I_{yük}$ ) hesaplayınız. Hesaplanan  $I_{yük}$  değerini Tablo 1. de uygun yere yazınız.

- 5) Şekil 4'deki devrenin Thevenin eşdeğerinden yararlanarak,  $R_{th}$  direncinin 0.1, 1 ve 10 katı değerindeki yük dirençleri ( $R_{yük}$ ) için  $R_{yük}$  ile  $R_{th}$  dirençlerinde harcanan gücü hesaplayınız ve Tablo 2'nin hesap sütunlarını doldurunuz. Hesaplanan  $P_{R_{yük}}$  ve  $P_{R_{th}}$  değerlerini Tablo 2. de uygun yere yazınız. Bulduğunuz değerlere bakarak devreden  $R_{yük}$ 'e maksimum güç aktarmak için  $R_{yük}$  ile  $R_{th}$  arasında nasıl bir ilişki olması gerektiğini belirtiniz.

**NOT 1: GERİLİM** ölçülürken ölçü aletinin **VOLTMETRE kademesinde** olmasına ve **VOLTMETRENİN** devreye **PARALEL** bağlanacağına dikkat ediniz.

**NOT 2: AKIM** ölçülürken ölçü aletinin **AMPERMETRE** kademesinde olmasına ve **AMPERMETRENİN** devreye **SERİ** bağlanacağına dikkat ediniz.

## DENEYİN YAPILIŞI

1. Şekil 4'de verilen devreyi deney tahtası üzerine kurunuz.
2. Devreyi kontrol ettikten sonra gerilimi uygulayınız.
3. A-B arasındaki Thevenin geriliminin ( $V_{th}$ ) değerini Voltmetre ile ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

İlgili Devre Şekli :

$$\text{Açık Devre Gerilimi : } V_{oc} = V_{th} = \dots\dots\dots V$$

4. A-B arasına Ampermetre bağlayarak Norton akımının ( $I_N$ ) değerini ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

İlgili Devre Şekli :

Kısa Devre Akımı :  $I_{sc} = I_N = \dots\dots\dots A$

5. Thevenin (Norton) direncini  $R_{th} (R_N) = V_{th} / I_N$  den hesaplayınız.

Eşdeğer direnç :  $R_{eş} = R_{th} = R_N = \dots\dots\dots \Omega$

6. Gerilim kaynağını devreden çıkartın yerine kısa devre yerleştiriniz. A-B uçları arasındaki eşdeğer direnci ohmmetre kullanarak ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

İlgili Devre Şekli :

Eşdeğer direnç :  $R_{eş} = R_{th} = R_N = \dots\dots\dots \Omega$

7. Deneysel sonuçlara göre Thevenin ve Norton eşdeğer devresini çizin.

8. Thevenin ve Norton eşdeğer devrenin A – B noktaları arasına bağlayacağınız ampermetre ile akan akımı ölçüp kaydediniz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

$$I_{th} = \dots\dots\dots A$$

$$I_N = \dots\dots\dots A$$

9. Gerçek devre ile Thevenin ve Norton eşdeğerlerinin akımları arasındaki yüzde hatalarını

hesaplayınız.  $(\%Hata = \left| \frac{\text{Ölçülen} - \text{Beklenen}}{\text{Beklenen}} \right| \times 100)$

10. Şekil 4'deki devreyi deney tahtasına kurunuz. A-B arasındaki çıkışa  $R_{yük} = 1 \text{ k}\Omega$ 'luk yük direnci bağlayarak, yük akımı ( $I_{yük}$ ) ampermetre ile ve yük gerilimini ( $V_{yük}$ ) de voltmetre ile ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

$$\text{Yük Akımı } (I_{yük}) = \dots\dots\dots A$$

$$\text{Yük Gerilimi } (V_{yük}) = \dots\dots\dots V$$

İlgili Devre Şekli (Teorik Hesap) :

$$\text{Yük Akımı } (I_{yük}) = \dots\dots\dots A$$

$$\text{Yük Gerilimi } (V_{yük}) = \dots\dots\dots V$$

11. Thevenin eşdeğer devresini kurunuz.  $R_{yük} = 1 \text{ k}\Omega$ 'luk yük direnci bağlayarak, yük akımı ( $I_{yük}$ ) ve yük gerilimini ( $V_{yük}$ ) ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

$$\text{Yük Akımı } (I_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ A}$$

$$\text{Yük Gerilimi } (V_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ V}$$

İlgili Devre Şekli (Teorik Hesap):

$$\text{Yük Akımı } (I_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ A}$$

$$\text{Yük Gerilimi } (V_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ V}$$

$$\text{Maksimum Güç } (P_{max}) = \dots\dots\dots \text{ W}$$

12. Norton eşdeğer devresini kurunuz.  $R_{yük} = 1 \text{ k}\Omega$ 'luk yük direnci bağlayarak, yük akımı ( $I_{yük}$ ) ve yük gerilimini ( $V_{yük}$ ) ölçünüz. Tablo 1. de uygun yere yazınız.

$$\text{Yük Akımı } (I_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ A}$$

$$\text{Yük Gerilimi } (V_{yük}) = \dots\dots\dots \text{ V}$$

İlgili Devre Şekli (Teorik Hesap):

$$\text{Yük Akımı (I}_{y\ddot{u}k}) = \dots\dots\dots A$$

$$\text{Yük Gerilimi (V}_{y\ddot{u}k}) = \dots\dots\dots V$$

13. Şekil 4'deki devrenin deney tahtası üzerine Thevenin eşdeğerini kurarak Tablo-2'deki "Deney Sonucu" sütunlarını doldurunuz. Bulduğunuz değerlere bakarak devreden  $R_{y\ddot{u}k}$ 'e maksimum güç aktarmak için  $R_{y\ddot{u}k}$  ile  $R_{th}$  arasında nasıl bir ilişki olması gerektiğini belirtiniz.

### DENEY SONUÇ RAPORUNDA İSTENENLER

1. Deneyin amacı, Thevenin ve Norton teoremleri hakkında bilgi veriniz.
2. Ön Çalışma Raporundaki bilgiler olmalı (gerçek devre ve eşdeğer devre şekilleri ve çözümler adım adım anlaşılır şekilde yazılmalı).
3. Deneyin Yapılışından elde edilen sonuçlar olmalı. (devre şekilleri ve ölçümler adım adım anlaşılır şekilde yazılmalı).
4. Tablo 1 ve 2 doldurulmalı rapora eklenmeli.
5. 2., 3. ve 4. deki sonuçlar karşılaştırılıp yorumlanmalı.
6. Thevenin ve Norton teoremlerden elde ettiğiniz sonuçları yorumlayınız.
7. Bir devrede yüke maksimum güç aktarmak için yük direncinin değerini neye göre belirleriz, yorumlanmalı. Deney sırasında  $R_{y\ddot{u}k}$  üzerinde en yüksek gücü hangi  $R_{y\ddot{u}k}$  yük direnci üzerinde ölçtünüz ?  $R_{y\ddot{u}k}$  üzerinde en yüksek gücü ölçtüğünüz  $R_{y\ddot{u}k}$  direnç değerini,  $R_{th}$  direnci ile kıyaslayınız.
8.  $R_{y\ddot{u}k}$  üzerindeki gerilimin maksimum olması için  $R_{y\ddot{u}k}$  direncinin değeri ne olmalıdır?
9.  $R_{y\ddot{u}k}$  üzerindeki akımın maksimum olması için  $R_{y\ddot{u}k}$  direncinin değeri ne olmalıdır?
10.  $R_{y\ddot{u}k}$  üzerindeki gücün maksimum olması için  $R_{y\ddot{u}k}$  direncinin değeri ne olmalıdır?

**Tablo 1.**

Thevenin ve Norton	HESAPLAMA SONUCU				DENEY SONUCU		
	$V_{th}$	$R_{th}$	$I_N$	$R_N$	$V_{oc} (V_{th})$	$I_{sc} (I_N)$	$R_{th} (R_N)$





**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ**  
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ÖLÇME LABORATUARI**  
**DENEY 8**

**RC ve RL Devrelerinin Geçici Cevabı**

**Amaç:**

Zaman sabiti kavramını anlamak ve seri RC ve RL devresinin geçici rejim davranışını incelemek.

**Deneyde kullanılacak malzemeler:**

No:	Malzeme Adı	No:	Malzeme Adı
1	Kablo	6	DC güç kaynağı
2	Deney bordu	7	Osiloskop
3	Direnç kutusu	8	Sinyal jeneratörü
4	Kondansatör kutusu	9	AVO metre
5	Endüktans kutusu	10	

**Teori:**

Bu deneyde, RC ve RL devrelerinin darbe geçici cevabını analiz etmek için, devrenin girişine darbe şeklinde bir sinyal uygulanarak, devrenin zaman sabitine ilişkin darbe genişliğinin RC ve RL devresini nasıl etkilediği belirlenir.

**Zaman Sabiti ( $\tau$ ):** RC ve RL devrelerinde, gerilimlerdeki ve akımlardaki belirli değişimler için gereken zamanın bir ölçüsüdür. Genel olarak anahtarlama gerçekleştirildikten sonra geçen süre, zaman sabitlerinin 5 katı ( $5\tau$ ) ise, akımlar ve gerilimler sürekli rejim değerlerine ulaşmıştır. Bu duruma sürekli durum cevabı denir.

**Darbe:** bir seviyeden diğerine değişen ve tekrar eden akım veya gerilimdir. Darbe treninin her bir turunun (devrinin) uzunluğu ( $T$ ) periyodu olarak isimlendirilir. İdeal bir kare dalganın **Darbe Genişliği ( $t_p$ )** zaman periyodunun yarısına eşittir. Darbe genişliği ve frekans arasındaki ilişki;

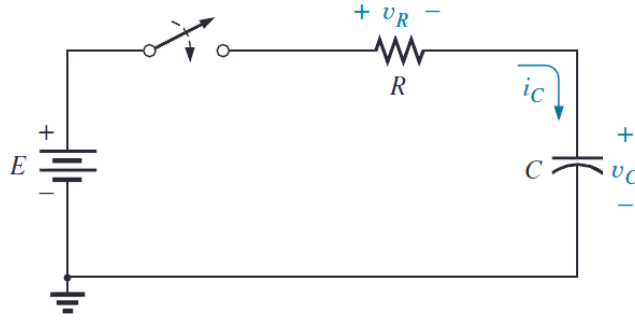
$$f = \frac{1}{2} t_p \quad (1)$$

**RC Devresi:**

Bir RC devresinin zaman sabiti, eşdeğer kapasitörün uçlarından görülen Thevenin direncinin ve eşdeğer kapasitansın çarpımıdır.

$$\tau=RC$$

(2)



Şekil 1. Seri RC devresi.

Kirchoff'un kanunlarından, Şekil 1'deki kapasitör üzerindeki dolma gerilimi, kondansatör akımı ve direnç üzerindeki gerilimler aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

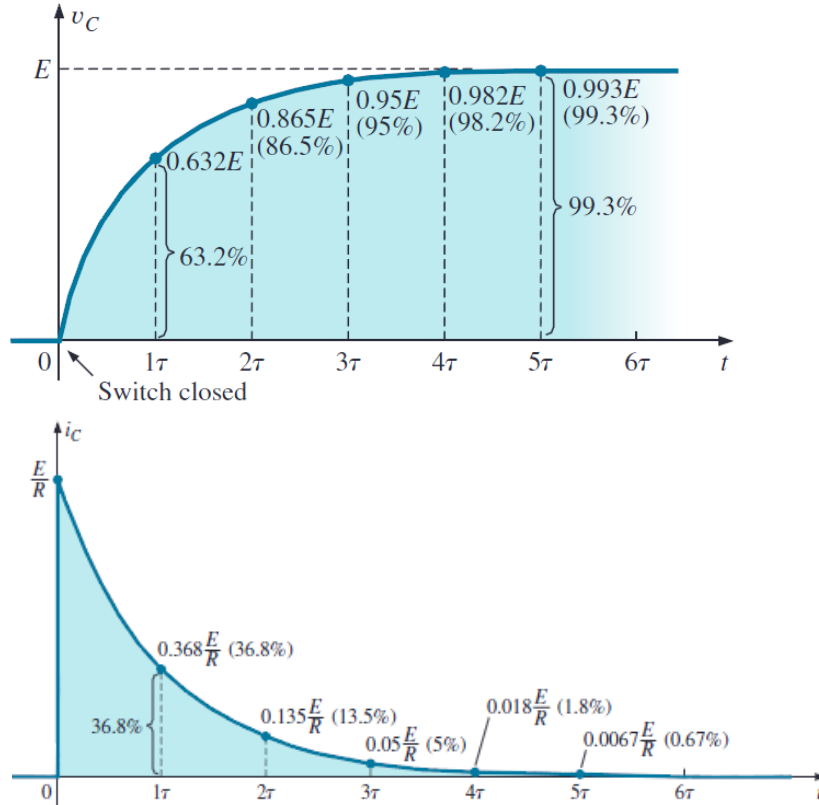
$$V_C(t) = E(1 - e^{-t/RC}) \quad t \geq 0 \quad (3)$$

$$I_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad (4)$$

$$V_R = E \cdot e^{-t/\tau} \quad (5)$$

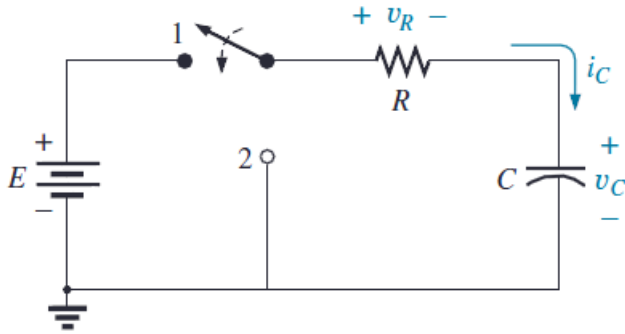
Burada E gerilimi  $t \geq 0$  için devreye uygulanan kaynak gerilimidir.  $\tau = RC$  zaman sabitidir.

Kondansatör akım ve gerilim değişimleri Şekil 2'deki gibidir.

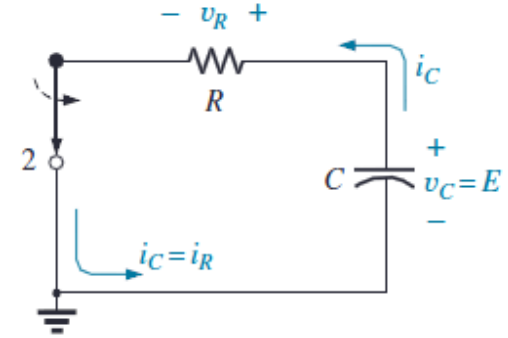


Şekil 2. Seri RC devresinde kapasitörün şarj olması. Gerilim ve akımın değişimi.

Kondansatörün şarj olmasını gösteren devre Şekil 3'deki gibidir. Deşarj durumunda ise Şekil 4'deki devrede görüldüğü gibi anahtar 2 konumundadır ve kondansatör direnç üzerinden deşarj olmaktadır.



Şekil 3. Kondansatörün şarj olması.



Şekil 4. Kondansatörün deşarj olması

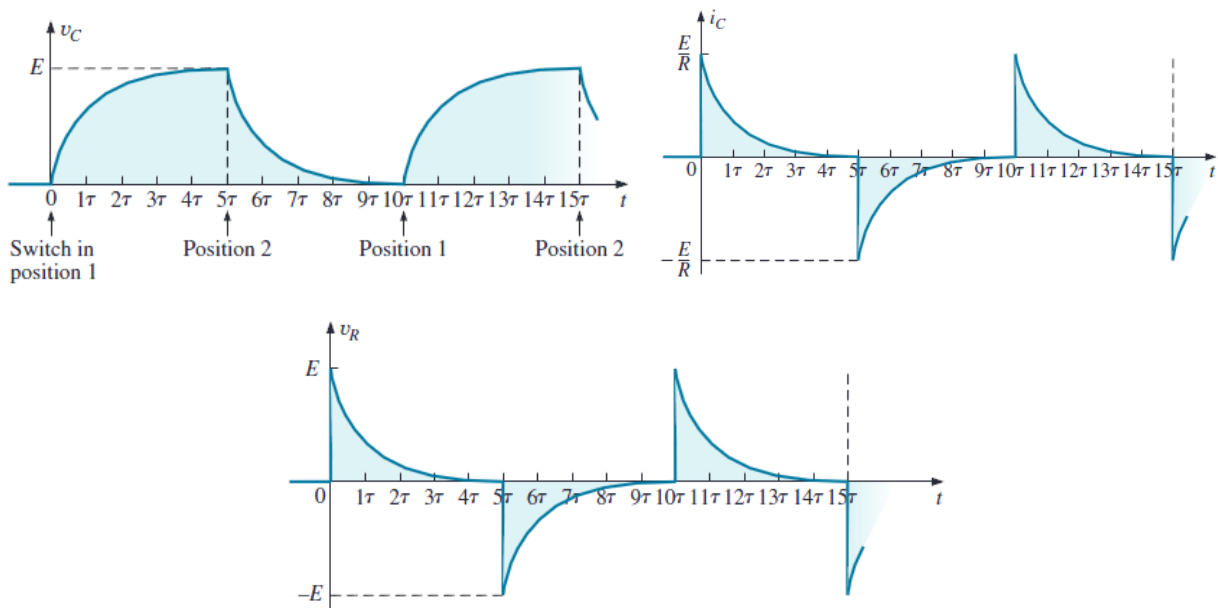
Deşarj durumuna ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir:

$$V_C = E.e^{-t/\tau} \quad (6)$$

$$I_C = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad (7)$$

$$V_R = E.e^{-t/\tau} \quad (8)$$

Şekil 5 de kondansatör gerilimi, akımı ve direnç üzerindeki gerilimin değişim grafikleri bir arada görülmektedir.  $t=0$  anında Şekil 3'deki devrede anahtar 1 konumundadır ve kondansatör şarj olmaktadır.  $5\tau$  süresi sonunda kondansatör tam olarak giriş geriliminin tepe değerine şarj olmuştur. Bu esnada anahtar 2 konumuna alınmaktadır.  $5\tau$  ile  $10\tau$  süreleri arasında ise kondansatör deşarj olmaktadır.

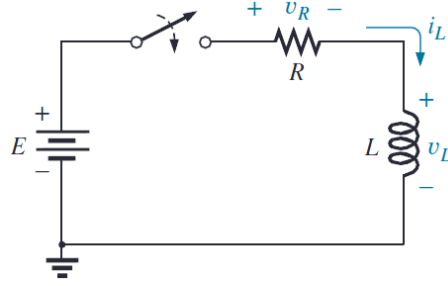


Şekil 5. Deşarj durumunda  $V_C$ ,  $I_C$  ve  $V_R$  nin değişimi.

### RL Devresi:

Temel RL devresi Şekil 6’da görülmektedir. Bir RL devresinin zaman sabiti, Endüktans değerinin direnç değerinin bölümüne eşittir.

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (9)$$



Şekil 6. RL devresi.

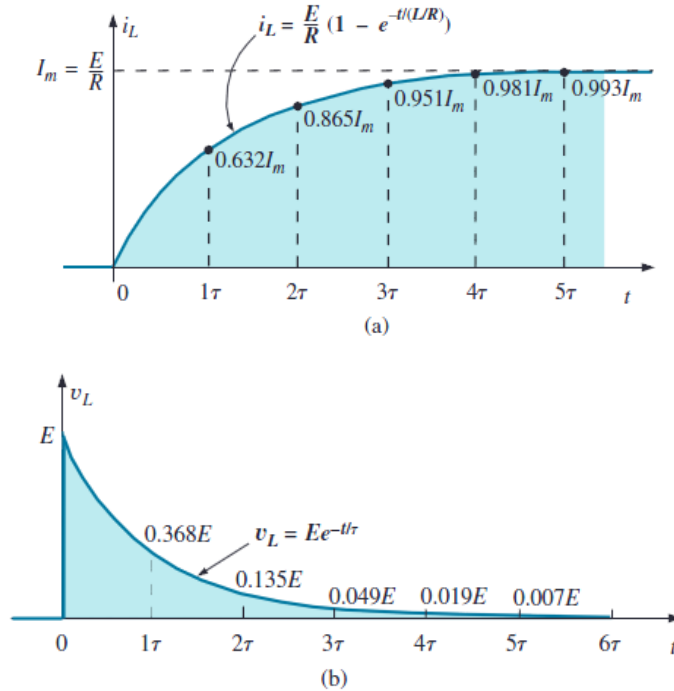
Şekil 6’daki endüktansın üzerindeki gerilim, akım ve direnç üzerindeki gerilim aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

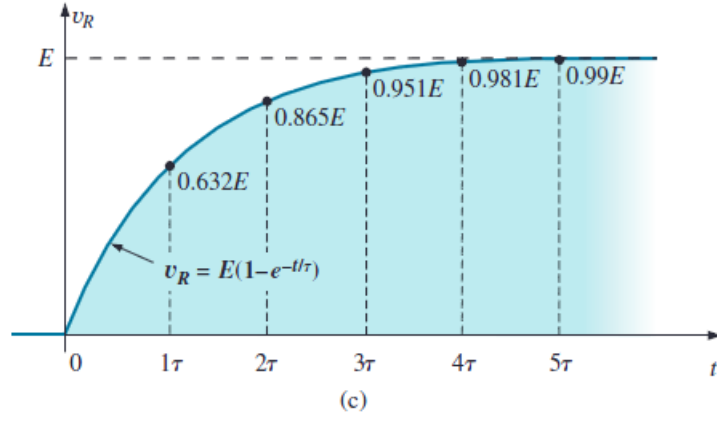
$$I_L(t) = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (10)$$

$$V_L = E \cdot e^{-t/\tau} \quad (11)$$

$$V_R = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad (12)$$

Endüktansın akım ve gerilimi ile direnç geriliminin değişimleri Şekil 7’deki gibidir.





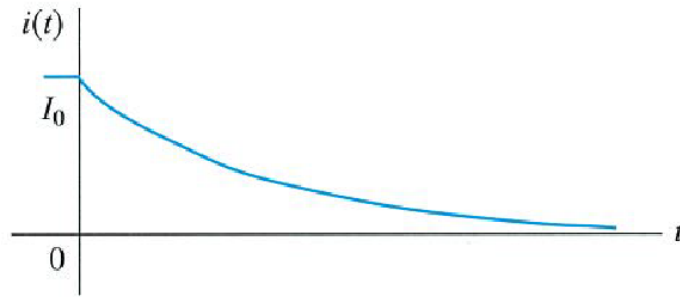
Şekil 7. Seri RL devresinin dolması.  $I_L$ ,  $V_L$  ve  $V_R$  nin değişimi

Deşarj durumuna ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir:

$$I_L = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (13)$$

$$V_R = I_0 \cdot R \cdot e^{-t/\tau} \quad (14)$$

Deşarj durumunda Endüktans akımı Şekil 8'deki gibi değişir.



Şekil 8. Deşarj durumunda Endüktans akımının değişimi.

### RC Devresi Deney Adımları:

1. Aşağıdaki elemanları kullanarak Şekil 1’de gösterilen devreyi kurunuz ve güç kaynağını açınız.

$$R = 2 \text{ K}\Omega \quad C = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

2. Sinyal jeneratöründen devreye giriş gerilimi olarak 4Vp-p kare dalga uygulayınız. Genliğini sinyal jeneratöründen ayarlayınız.

3. Osiloskobun ayarlarını;

Kanal 1: 1V/aralık

Kanal 2: 2V/aralık

Time base: 2ms/aralık

olarak yapınız. 1. kanalı kaynağa 2. kanalı kapasitör gerilimine bağlayınız. Sinyal jeneratöründeki herhangi bir değişiklik osiloskoba aynen yansır. Bunu gözlemleyiniz ve Grafik 1’e  $5\tau$  anında kapasitenin gerilimdeki değişimi açıkça görebileceğiniz bir frekansı belirleyerek gözlemlediğiniz sinyalleri çiziniz.

4. Aşağıdaki üç durum için devrenin cevabını gözlemleyiniz ve sonuçları kaydediniz.

a.  $t_p \gg 5\tau$  : Kare dalganın her bir turu boyunca kapasitörün tam olarak dolabilmesi ve boşalabilmesi için sinyal jeneratörünün çıkış frekansını ayarlayınız.  $t_p = 15\tau$  alınız ve Bağlantı (2)’yi kullanarak sinyal jeneratörünün çıkış frekansını ayarlayınız. Sizin bulduğunuz değer yaklaşık olarak 17 Hz olması gerekir. Grafik 2’ye osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz. Osiloskop üzerinden dalga şeklinin zaman sabitini belirleyiniz. Zaman sabitini kolaylıkla bulabiliyorsanız, olası sebeplerini açıklayınız.

b.  $t_p = 5\tau$  :  $t_p = 5\tau$  olacak şekilde sinyal jeneratörünün çıkışını ayarlayınız. Sizin bulduğunuz değer 50 Hz olması gerekir. Darbe genişliği tam olarak  $5\tau$  olduğu için, kapasitörün her bir darbe turunda tam olarak dolabilmesi ve boşalabilmesi gerekir. Grafik 3’e osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz. Osiloskop ekranından  $\tau$ ’yu belirleyiniz.

c.  $t_p \ll 5\tau$  : Bu durumda, kapasitör boşalmak için anahtarlanmadan önce, dolmak için yeterince zaman sahip olamaz. Benzer şekilde boşalmak içinde yeterince zaman sahip olamaz. Bu durumda  $t_p = 0.5\tau$  alalım ve frekansı uygun bir şekilde ayarlayınız. Grafik 4’e osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz.



**Grafi 1. RC**



**Grafi 2. RC**



**Grafi 3. RC**



**Grafi 4. RC**



### RL Devresi Deney Adımları:

1. Aşağıdaki elemanları kullanarak Şekil 1’de gösterilen devreyi kurunuz ve güç kaynağını açınız.

$$R = 2 \text{ K}\Omega \quad L = 1 \text{ }\mu\text{H}$$

2. Sinyal jeneratöründen devreye giriş gerilimi olarak  $4V_{p-p}$  kare dalga uygulayınız. Genliğini sinyal jeneratöründen ayarlayınız.

3. Osiloskobun ayarlarını

Kanal 1: 1V/aralık

Kanal 2: 2V/aralık

Time base: 2ms/aralık

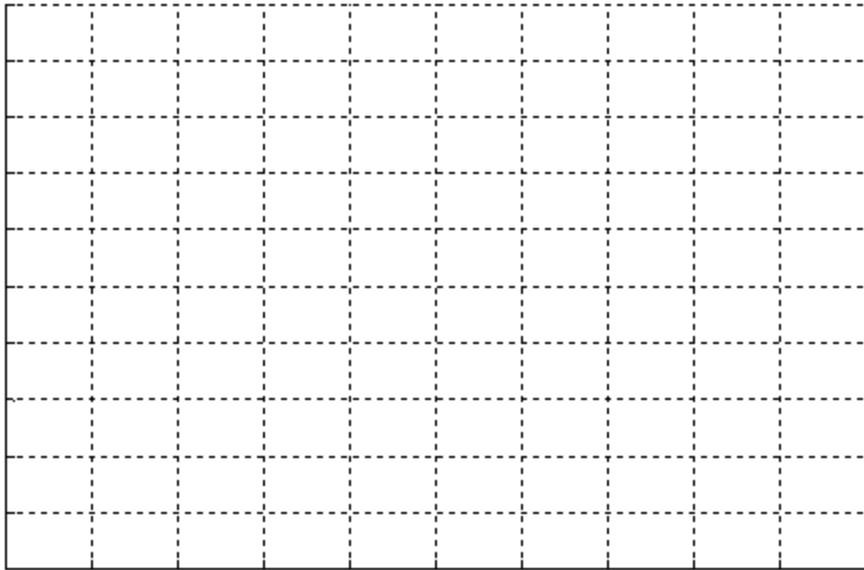
olarak yapınız. 1. kanalı kaynağa 2. kanalı endüktör gerilimine bağlayınız. Sinyal jeneratöründeki herhangi bir değişiklik osiloskoba aynen yansır. Bunu gözlemleyiniz ve Grafik 1’e  $5\tau$  anında endüktör gerilimindeki değişimi açıkça görebileceğiniz bir frekansı, belirleyerek gözlemlediğiniz sinyalleri çiziniz.

4. Aşağıdaki üç durum için devrenin cevabını gözlemleyiniz ve sonuçları kaydediniz.

a.  $t_p \gg 5\tau$  : Kare dalganın her bir turu boyunca endüktansın tam olarak dolabilmesi ve boşalabilmesi için sinyal jeneratörünün çıkış frekansını ayarlayınız.  $t_p = 15\tau$  alınız ve Bağlantı (2)’yi kullanarak sinyal jeneratörünün çıkış frekansını ayarlayınız. Grafik 2’ye osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz. Osiloskop üzerinden dalga şeklinin zaman sabitini belirleyiniz. Zaman sabitini kolaylıkla bulabiliyorsanız, olası sebeplerini açıklayınız.

b.  $t_p = 5\tau$  :  $t_p = 5\tau$  olacak şekilde sinyal jeneratörünün çıkışını ayarlayınız. Darbe genişliği tam olarak  $5\tau$  olduğu için, endüktansın her bir darbe turunda tam olarak dolabilmesi ve boşalabilmesi gerekir. Grafik 3’e osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz. Osiloskop ekranından  $\tau$ ’yu belirleyiniz.

c.  $t_p \ll 5\tau$  : Bu durumda, endüktör boşalmak için anahtarlanmadan önce, dolmak için yeterince zaman sahip olamaz. Benzer şekilde boşalmak içinde yeterince zaman sahip olamaz. Bu durumda  $t_p = 0.5\tau$  alalım ve frekansı uygun bir şekilde ayarlayınız. Grafik 4’e osiloskoptan gözlemlenen dalga şeklini çiziniz.



**Grafik 1. RL**



**Grafik 2. RL**



**Grafik 3. RL**



**Grafik 4. RL**

**Laboratuvar Raporu İçin Sorular:**

- 1) RC devresinde deneysel olarak elde ettiğiniz sonuçları matematiksel sonuçlar ile karşılaştırınız.
- 2) RC devresinde değişen eleman değerlerinin etkisini tartışınız.
- 3) Kurduğunuz RC devrelerini MATLAB/Simulink ve Multisim programlarında da kurarak sonuçlarınızı teyit ediniz.
- 4) RL devresinde deneysel olarak elde ettiğiniz sonuçları matematiksel sonuçlar ile karşılaştırınız.
- 5) RL devresinde değişen eleman değerlerinin etkisini tartışınız.
- 6) Kurduğunuz RL devrelerini MATLAB/Simulink ve Multisim programlarında da kurarak sonuçlarınızı teyit ediniz.