

GENEL FİZİK LABORATUVARI II DENEY FÖYÜ

Balıkesir Üniversitesi

Fizik Bölümü - 2019

1. OHM KANUNU

1.1 Amaç

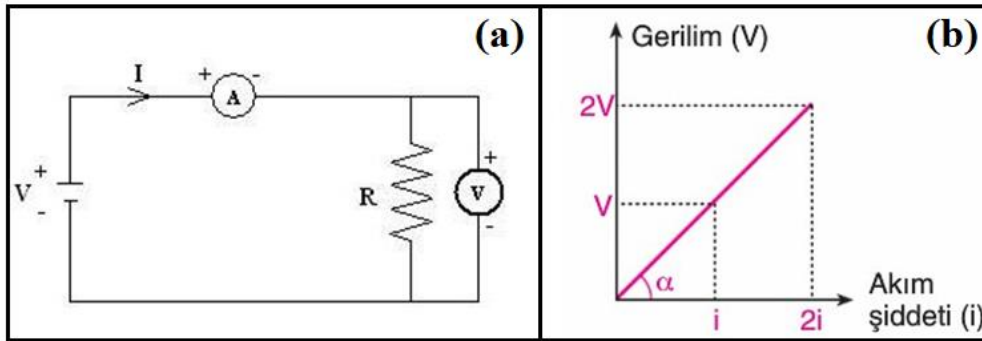
- Ohm Kanununun doğrulanması,
- Dirençlerin seri ve paralel bağlanması,
- Kirchhoff Kanunlarının doğrulanması,

1.2 Ohm Kanunu

Bir iletken telin uçları arasındaki potansiyel farkının bu iletken üzerinden geçen akıma oranı sabittir. Bu oran iletken telin direncini verir ve Ohm kanunu olarak tanımlanır;

$$V=I.R \quad (1.1)$$

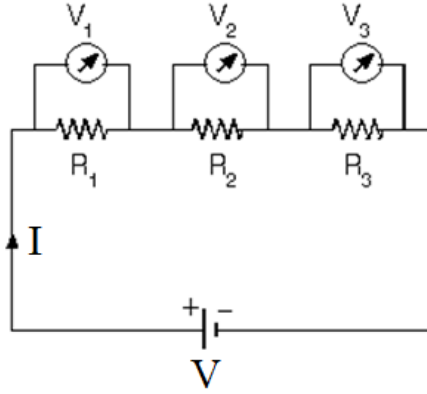
Burada V gerilimi, I akım şiddetini ve R direnci gösterir. Denklemden görüldüğü gibi, bir direncin iki ucu arasındaki potansiyel farkı (gerilim) bu direnç üzerinden geçen akım ile doğru orantılı olup, orantı sabiti direncin değerini vermektedir. Şekil 1.(a)'da verilen devrede ampermetrenin (A) gösterdiği değer, R direnci üzerinden geçen akımı ve voltmetredeki gerilim (V) değeri ise direncin uçlarındaki gerilimi verir. Kaynak gerilimi, aynı zamanda direnç uçlarında da görüleceğinden, direncin üzerinden geçen akım $I = V / R$ olacaktır. Ohm kanununun doğrulanması için direnci olan bir iletken üzerinden geçen akımın, direncin uçları arasındaki gerilimine göre grafiğinin (V - I) çizilmesi gerekir. Bu grafik Şekil 1.(b)'de görüldüğü gibi doğrusal ise bu devre elemanı Ohm yasasına uyacak ve doğrunun eğimi bize direncin (R) değerini verecektir.



Şekil 1. (a) Ohm Kanunu devresi ve (b) Direncin üzerindeki gerilimin akım şiddeti ile değişimi.

1.3 Dirençlerin Seri Bağlanması

Eğer dirençler devreye sırasıyla uç uca bağlanırsa (uç uca eklenirse) buna seri bağlama denir. Elektrik devresinden akımın akması için direnç uçlarına bir gerilim kaynağının bağlanması gerekir. Seri bağlı tüm dirençler üzerinden aynı akım geçer. Fakat devrede her bir direnç üzerindeki gerilim, direncin değerine bağlı olarak değişir. Direnç arttıkça doğru orantılı olarak direncin üzerinde meydana gelen gerilim de artar.



Şekil 2. Devrede dirençlerin seri olarak yerleştirilmesi.

Bir elektrik devresinde, birden fazla direnci seri olarak bağlayabiliriz. Seri bağlı bu dirençleri tek bir direnç haline getirme işlemine toplam (R_{top}) veya eşdeğer direnç ($R_{eş}$) bulma denir. Şekil 2'deki gibi 3 farklı direnç seri olarak bağlanırsa eşdeğer direnç şu şekilde hesaplanır.

$$R_{eş} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1.2)$$

Tüm dirençler üzerinden aynı I akımını geçeceğinden;

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \quad (1.3)$$

eşitliği yazılır. Dirençlerin üzerinde meydana gelen gerilimlerin toplamı ise ana gerilimi verir.

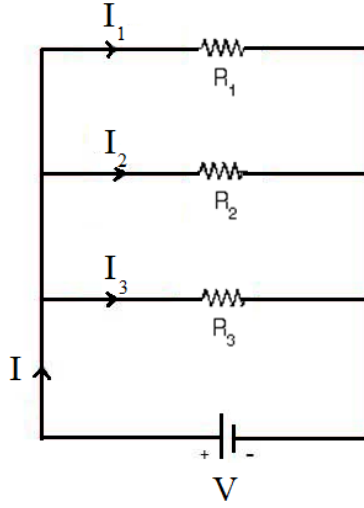
$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (1.4)$$

Dirençler üzerinde meydana gelen gerilimler ayrı ayrı şu şekilde hesaplanabilir:

$$V_1 = I.R_1, V_2 = I.R_2, V_3 = I.R_3 \quad (1.5)$$

1.4 Dirençlerin Paralel Bağlanması

Herhangi bir devrede birden fazla direncin uçlarına aynı gerilimin uygulanmasıyla her birinden ayrı akım geçebilecek şekilde bağlanmasına paralel bağlama denir. Paralel bağlı tüm dirençler üzerinde meydana gelen gerilim aynıdır. Ancak farklı direnç değerlerine sahip devre elemanlarının üzerinden farklı akımlar geçer. Akım değerleri, direncin değerine bağlı olarak değişir. Direnç arttıkça ters orantılı olarak direncin üzerinden geçen akım değeri azalır.



Şekil 3. Devrede dirençlerin paralel olarak yerleştirilmesi.

Bir elektrik devresinde, birden fazla direnci paralel olarak bağlayabiliriz. Şekil 3'deki gibi 3 farklı direnç paralel olarak bağlanırsa eşdeğer direnç şu şekilde hesaplanır.

$$(1 / R_{eş}) = (1 / R_1) + (1 / R_2) + (1 / R_3) \quad (1.6)$$

Tüm dirençler üzerinde meydana gelen gerilim aynı olacağından;

$$V = V_1 = V_2 = V_3 \quad (1.7)$$

eşitliği yazılır. Dirençlerin üzerinden geçen akımların toplamı ise ana akım değerini verir.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1.8)$$

Dirençlerin üzerinden geçen akımlar ayrı ayrı şu şekilde hesaplanabilir:

$$I_1 = V/R_1, I_2 = V/R_2, I_3 = V/R_3 \quad (1.9)$$

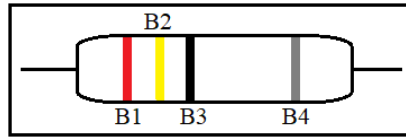
1.5 Dirençlerin Renk Kodları

Sabit dirençlerin değeri, üzerinde bulunan renk bantları yardımı ile bulunur. Renk bantları ve renklerin sayı karşılıkları Tablo 1’de verilmiştir.

RENK	BANT 1	BANT 2	BANT 3	TOLERANS
Siyah	0	0	10^0	
Kahverengi	1	1	10^1	
Kırmızı	2	2	10^2	
Turuncu	3	3	10^3	
Sarı	4	4	10^4	
Yeşil	5	5	10^5	
Mavi	6	6	10^6	
Mor	7	7	10^7	
Gri	8	8	10^8	
Beyaz	9	9	10^9	
Altın				5%
Gümüş				10%
Hiçbiri				20%

Tablo 1. Direnç renk kodları

Şekil 4’te görüldüğü gibi dirençlerin üzerinde dört tane renk bandı bulunur. Bu bantların soldan üç tanesi direncin değerini Ω (ohm) cinsinden verirken en sağdaki renk bandı ise direncin toleransını gösterir. Toleransın olması, direnç değerinin, ısı gibi çevre koşullarına göre artabileceği veya azalabileceğini işaret eder. Eğer 4.bant altın rengi ise tolerans %5, gümüş rengi ise %10 dur. Ancak 4.bant yoksa toleransın % 20 olduğu anlaşılmalıdır.



Şekil 4. Dirençteki renk bantları

Renklerine göre direnç okunurken kullanılan formül

$$R = B1B2 \times B3 \quad (1.10)$$

şeklindedir. Tolerans değeri ise

$$\Delta R(\pm) = R \times B4 \quad (1.11)$$

bağıntısıyla verilir.

Örneğin Şekil 4’de verilen direncin değerini hesaplayalım. Bu direnç üzerindeki renklere karşılık gelen sayılar okunarak direncin değeri ve toleransı aşağıda verildiği şekilde hesaplanır;

B1: Kırmızı – 2

B2: Sarı – 4

B3: Siyah – 0

B4: Gümüş (%10)

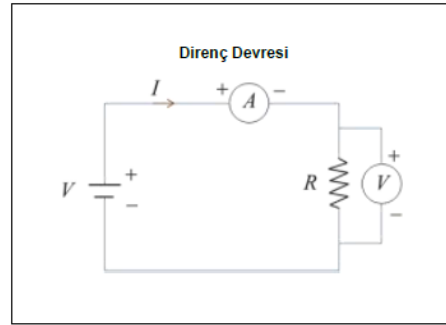
$$R = B1B2 \times B3 = 24 \times 10^0 = 24 \, \Omega$$

$$\Delta R(\pm) = R \times B4 = 24 \times \%10 = 2,4 \, \Omega$$

$R = 24 \, \Omega \pm 2,4 \, \Omega$ olarak bulunur.

1.6 Deney Metodu (Ohm Kanununun Doğrulanması)

1. Devreye bağlı güç kaynağı kapatılır ve devre panosu kullanılarak Şekil 5’de verilen devre kurulur.



Şekil 5. Ohm kanununun doğrulanması için hazırlanan direnç devresi.

2. DC güç kaynağı çalıştırılır.

2.1. Gerilim ayarlama tuşunu kullanarak, çıkış gerilimi (kaynak gerilimi) olarak $V=1V$ ayarlanır ve I akımının geçtiği yöne göre (+) ya da (-) değer okunur.

2.2. Ölçülen değer (-) ise multimetre (ampermetre) uçları ters bağlanmıştır.

2.3. DC voltaj ayar düğmesi kullanarak, çıkış gerilimi değiştirilir ve farklı çıkış gerilimleri için gerilim ve akım ölçümleri tekrarlanır.

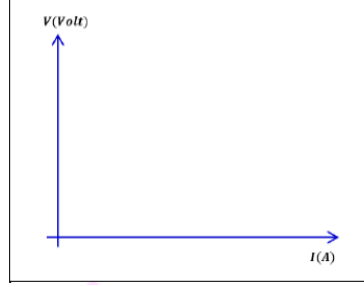
2.4 Devreden (direnç üzerinden) geçen akım, uygulanan gerilim ile doğru orantılı olarak değişecektir.

3. Ohm kanununun doğrulanması için direnç üzerinden geçen akımın (I), direncin uçları arasındaki V potansiyel farka (gerilim) göre grafiğinin çizilmesi gerekir.

3.1. Deney verileri kullanılarak, gerilim-akım (V - I) grafiği çizilir (Şekil 6)

3.2. Bu grafikte, veri noktalarına en uygun doğru çizilir ve bu doğrunun eğimi bulunur.

3.3. Eğimden direnç değeri deneysel olarak belirlenir (en uygun doğrunun eğimi, “ R ” direnç değerine karşılık gelir).



Şekil 6. R direncinin uçları arasındaki elektriksel potansiyel farkın (V) bu direnç üzerinden geçen akıma (I) göre değişimi.

4. Ayrıca direnç renk kodlarını kullanarak beklenen direnç değeri bulunur.

4.1. Devrede kullanılan direncin deneysel ve beklenen (teorik) değerleri karşılaştırılır ve hata hesabı yapılır.

4.2. Teorik değer ile deneysel değer arasında bir fark varsa, farkın hangi etkenlerden kaynaklandığı açıklanır ve farkın $\pm\%10$ sınırları içinde olup olmadığını belirtilir.

1.7 Deneyin Yapılışı (Ohm Kanununun Doğrulanması)

1. Şekil 7’deki devre kurulur. Devreye direnç kutusundan seçilen direnç bağlanır.

2. Çıkış gerilimi (DC OUTPUT) $V=1V$ olarak ayarlanır.

3. Direnç üzerinden geçen akım (I) multimetre (ampermetre) ile ölçülür ve Tablo 2’ye not edilir.

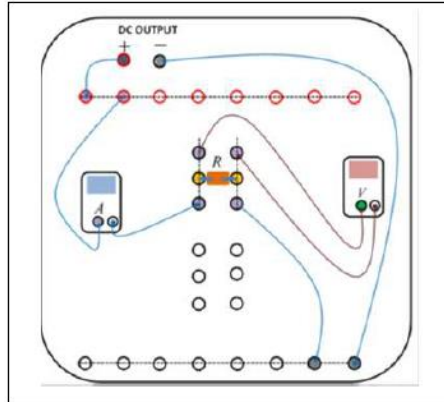
4. Aynı işlemler farklı gerilim değerleri için tekrarlanır ve ölçülen gerilim (V) ve direnç üzerinden geçen akım (I) verileri not edilir.

5. Ohm kanununun doğrulanması için direnç üzerinden geçen akımın, direncin uçları arasındaki gerilime göre grafiğinin çizilmesi gerekir. Bu grafik doğrusal ise doğrunun eğimi direncin değerini vereceğinden bu devre elemanı Ohm kanununa uyacaktır.

6. Gerilim-akım (V-I) grafiği çizilir ve eğimi belirlenir.

7. Eğimden, R direncinin deneysel değeri bulunur.

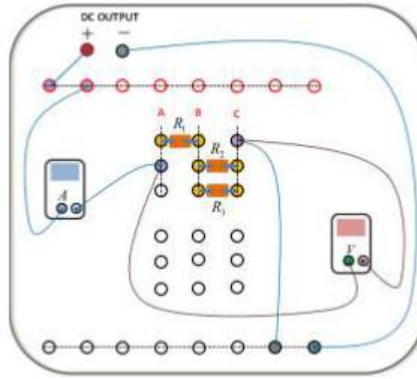
8. Ayrıca devrede kullanılan R direncinin renk kodları tarafından beklenen (teorik) değeri belirlenir ve deneysel değeriyle karşılaştırılarak hata hesabı yapılır.



Şekil 7. Direnç ölçümleri için devre panelinde hazırlanan deney düzeneği

1.8 Deney Metodu ve Deneyin Yapılışı (Dirençlerin Seri ve Paralel Bağlanması)

1. Şekil 5’de verilen devre kurulduktan sonra çıkış gerilimi (DC OUTPUT) $V=10V$ olarak ayarlanır.
2. Her bir direnç için gerilim ve akım ölçümü yapılır.
3. Ölçüm verileri $R=V/I$ eşitliğinde kullanılarak direnç değerleri bulunur ve Tablo 3’e kaydedilir.
4. Aynı dirençlerin değerleri renk kodları kullanılarak teorik değerleri hesaplanır.
5. Deneysel ve teorik direnç değerleri karşılaştırılır.
6. Daha sonra sırasıyla seri ve paralel bağlamanın gösterileceği devre kurulur. Bu devrede R_2 ve R_3 dirençleri paralel bağlanır ve daha sonra R_1 direnci bunlara seri bağlanır (Şekil 8).
7. Devredeki deneysel ve teorik eşdeğer direnç değerleri Tablo 4’e kaydedilir.
8. Dirençlerin üzerinden geçen akımlar ve üzerlerinde meydana gelen gerilimler ise hesaplanarak Tablo 5’e kaydedilir.



Şekil 8. Dirençlerin deney düzeneğinde paralel ve seri olarak bağlanması.

1.9 Deney Raporu (Ohm Kanununun Doğrulanması)

Adı ve Soyadı:	_____
Bölüm:	_____
Öğrenci No:	_____
Tarih:	_____

Direnç	Okuma No	Ölçülen		DENEYSEL	TEORİK
		Gerilim	Akım	Eğim	Renk Kodları
		V(volt)	I(A)	R (ohm)	R (ohm)
R	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

Tablo 2. Deneysel gerilim ve akım değerleri.

1.10 Deney Raporu (Dirençlerin Seri ve Paralel Bağlanması)

Direnç	Ölçülen		DENEYSEL	TEORİK
	Gerilim	Akım	$R=V/I$	Renk Kodları
	V(volt)	I(A)	R (ohm)	R (ohm)
R1	10			
R2	10			
R3	10			

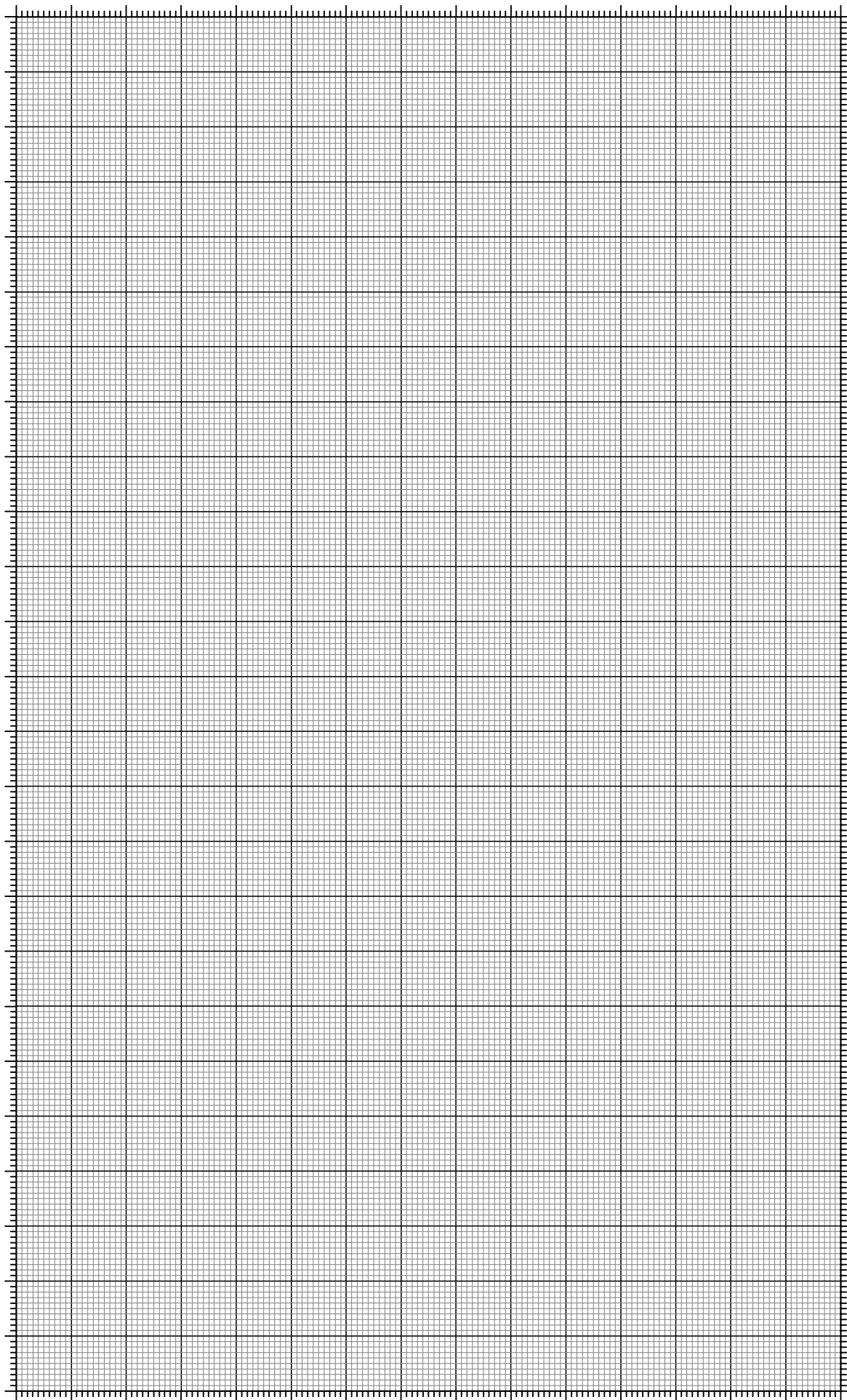
Tablo 3. Seri ve paralel bağlamada kullanılacak dirençlerin deneysel ve teorik değerleri

Ölçülen		DENEYSEL	TEORİK	FARK
Gerilim	Akım	$R=V/I$	Renk Kodları	$\Delta R_{eş} \text{ (ohm)}$
V(volt)	I(A)	$R_{eş} \text{ (ohm)}$	$R'_{eş} \text{ (ohm)}$	
10				

Tablo 4. Seri ve paralel bağlamada elde edilen deneysel ve teorik eşdeğer direnç değerleri.

DİRENÇ	GERİLİM	AKIM
R1		
R2		
R3		

Tablo 5. Her bir direnç üzerindeki gerilim ve akım değerleri



2. KAPASİTÖRLER

2.1 Amaç

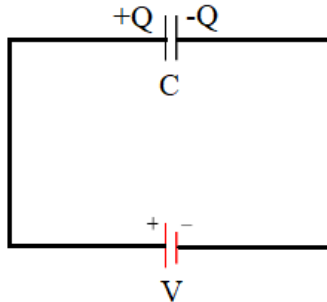
- Seri RC devrelerinde boş bir kapasitörün dolma (şarj) ve boşalma (deşarj) olaylarının incelenmesi,
- Kapasitör şarj vedeşarj olurken devreden geçen akımların zamanın bir fonksiyonu olarak akım-zaman (I-t) grafiğinin oluşturulması,
- Zaman sabiti (time constant) kavramının öğrenilmesi ve değerin deneysel olarak belirlenmesi,

2.2 Kapasitörün Dolması (Şarj) ve Boşalması (Deşarj)

Kapasitörler, üzerinde elektrik yükü biriktirerek elektrik enerjisini depolayan devre elemanlarıdır. Kapasitörler iki iletken levha (plaka) arasına konulmuş bir yalıtkan (dielektrik) malzemeden oluşur. Kapasitör şarj edildiğinde iletken levhalardan biri pozitif diğeri ise negatif olarak yüklenir ve dolayısıyla bu iletken levhalar eşit fakat zıt yüklere sahip olurlar. Plakalarda toplanan zıt yükler nedeniyle kapasitörün iki ucu arasında bir potansiyel farkı oluşur. Bu olaya kapasitörün şarjı denir. Kapasitörün şarj olayında, bu pozitif Q yükünün, kapasitörün iki ucu arasında meydana gelen V potansiyel farkına oranı bize kapasitörün kapasitansını (C) verir. Kapasitörün uçlarına uygulanan gerilim (potansiyel fark), depo ettiği elektrik yükü ve kondansatörün kapasitesi arasında;

$$Q=C.V \quad (2.1)$$

bağıntısı vardır. Burada Q kapasitörün depo ettiği elektrik yükünü, C kapasitörün kapasitansını ve V ise kapasitörün plakaları arasındaki gerilimi gösterir.



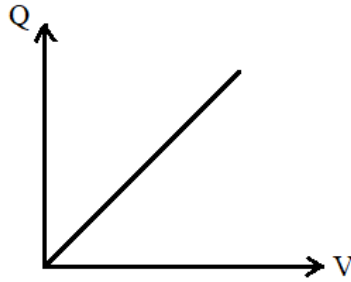
Şekil 1. Paralel plakalı bir kapasitörün V gerilimi altındaki Q yükü

Şekil 1’de gösterildiği gibi V gerilimi altında paralel plakalı kapasitörün plakalarından biri +Q, diğeri ise -Q yükü ile yüklenecektir. Kapasitör uçlarına uygulanan gerilim arttıkça, bu

kondansatörün depo ettiği elektrik yükü (Q) de artacaktır. Yükün potansiyel farka oranı kondansatörün kapasitansına (C) eşittir;

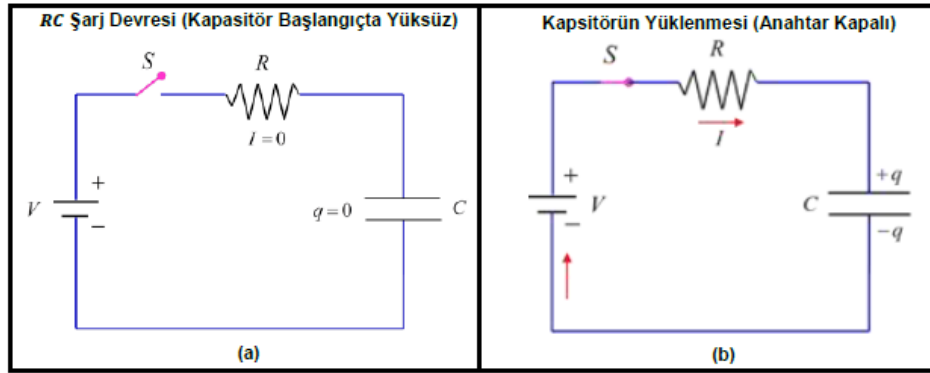
$$C=Q/V \quad (2.2)$$

Bir kapasitörün kapasitansı (C), plakalardan (iletkenlerden) herhangi biri üzerindeki yükün büyüklüğünün (Q), bu iletkenler arasındaki potansiyel farkının (V) büyüklüğüne oranı olarak verilir ve her zaman pozitifdir. Plakalara uygulanan V gerilimini değiştirdiğimizde Q yük miktarı da değişeceğinden, Q/V oranı da değişmeyecektir. Yani C kapasitans değeri Şekil 2’de görüldüğü gibi sabit kalacaktır.



Şekil 2. Uygulanan farklı gerilimlere göre yükün değişim grafiği

Kapasitans birimi Farad’tır. 1 Farad, birim volta düşen yük miktarıdır (1C/V).



Şekil 3. (a) Başlangıçta boş olan bir kapasitörün şarj devresini gösteren devresi ve (b) kapasitörün yüklenmesi.

Şekil 3.(a)’da verilen şarj devresinde (RC devresinde) kapasitör başlangıçta yüksüz (boş) ve anahtar açık konumdadır. RC devresi; DC güç kaynağı, bir direnç, bir kondansatör ile bir anahtardan oluşur. Anahtarın açık olduğu durumda devreden akım geçmeyeceğinden kondansatör üzerinde herhangi bir voltaj olmayacaktır. Eğer, Şekil 3.(b)’de görüldüğü gibi “S” düğmesi (anahtarı) kapalı konuma getirilirse, kapasitör ilk anda (t=0 anında) kısa devre gibi davranır ve

devreden geçen akım (I) maksimum olur. Anahtarın kapanmasını takip eden belli bir zaman sonra, kapasitör uçları arasında potansiyel fark oluşur. Devrede R direncinin değerine göre devreden geçen şarj akımı, kapasitörü şarj etmeye başlar. Kapasitörün üst ucu (+) alt ucu da (-) olarak yüklenir. Şarj olayı kapasitör uçlarındaki gerilim, kaynak gerilimine eşit olana dek devam eder. Kapasitör kaynak gerilimine şarj olunca devreden hiç akım geçmez. Kapasitörün şarjı için gereken bu zaman, kondansatörün kapasitif değerine bağlıdır.

Kapasitörlerin yapısıyla ilgili olarak bazı kapasitörler (+) ve (-) uçlara sahiptir. Yani kutupludur. Bu nedenle bu kapasitörler yalnızca DC ile çalışan devrelerde kullanılır. Kutupsuz kapasitörler ise DC ve AC ile çalışabilirler. Kapasitörlerin (kondansatörlerin) kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken durumlardan birisi kapasitörün maksimum çalışma gerilimi (voltajı), diğeri ise kapasitesidir. Bazı kapasitörlerin maksimum çalışma voltajı DC cinsinden, bazılarının ise AC cinsinden verilir. Buna göre kullanım yerine göre uygulamalarda kaç voltluk kapasitör kullanılacak ise o değerli kapasitör kapasitesi ve voltaj değeri seçilmelidir.

2.3 Kapasitörün Dolması (Şarj)

Seri bir RC devresine gerilim uygulandığı devreden akım geçmeye başlayacaktır. Bu akımın geçmesi, kapasitör uçlarındaki gerilim değeri uygulanan kaynak gerilim değerine eşit oluncaya kadar devam edecektir. Devrede anahtar kapatıldığı anda maksimum akım güç kaynağından çekilecek ve daha sonra kapasitörün gerilimi arttıkça akım azalacaktır. Kapasitör uçlarındaki gerilim ise sıfırdan başlayarak kapasitör uçlarına bağlanan kaynak geriliminin değerine kadar yükselecektir. Böylece, bu kaynak gerilimi değerinde kapasitör şarj olacaktır.

Şekil 3.(a)'da verilen bir seri RC devresinde, anahtar kapatıldığı anda kapasitör üzerinden geçen akımın $t=0$ anından başlayarak $t=\infty$ anına kadarki değişimini analiz edebiliriz. İlk olarak, “S” düğmesi açık durumdadır ve devrede hiç akım geçmez. Eğer, $t=0$ anında “S” düğmesini kapatırsak devrede akım (I) dolaşmaya başlar ve zamanla Q yükü kapasitöre dolar (Şekil 3(b)).

Verilen devrede “S” düğmesini kapattıktan sonra herhangi bir t zamanında, aşağıdaki bağıntı yazılır;

$$V_c(t) + V_R(t) = V \quad (2.3)$$

Burada

$$V_c(t) = Q(t) / C \quad (2.4)$$

$$V_R(t) = I(t) \cdot R \quad (2.5)$$

şeklinde verilir. Direnç, kapasitöre seri bağlı olduğundan kapasitör üzerinden geçen akım aynı zamanda direnç üzerinden geçeceğinden $t=0$ anında direnç uçlarındaki gerilim V_R maksimum olacaktır. Burada dikkat edilirse akım azaldıkça ve sıfır değerine geldiğinde direnç uçlarında herhangi bir gerilim olmayacaktır.

Direnç uçlarındaki gerilim

$$V = Q(t) / C + I(t) \cdot R \quad (2.6)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemin çözümünden

$$I(t) = (V/R) - [Q(t) / RC] \quad (2.7)$$

bulunur. Devreden geçen akım (kapasitörden geçen akım) aynı zamanda aşağıdaki bağıntı tarafından verilir;

$$I(t) = dQ(t) / dt \quad (2.8)$$

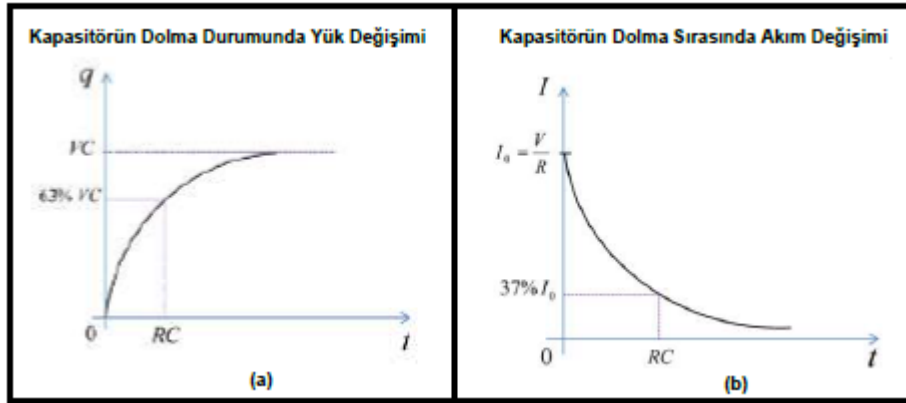
Bu denklem (2.7)'de yerine yazılırsa;

$$Q(t) = V.C (1 - e^{-t/RC}) \quad (2.9)$$

bağıntısı yazılır. Kapasitör (kondansatör) üzerindeki maksimum (final) yük değeri $Q_f = V.C$ olması nedeniyle;

$$Q(t) = Q_f (1 - e^{-t/RC}) \quad (2.10)$$

bulunur.



Şekil 4. (a) Bir seri RC devresinde kapasitörün dolma sırasında zamana bağlı yük değişimi ve (b) R direncine seri bağlı kapasitörün şarj olurken üzerinden geçen akımın zamana göre değişimi.

Düğme kapatıldığı zaman akım azalırken kapasitördeki yük miktarı artar.

Kapasitörde toplanan Q yükünün zamana bağlı değişimi Şekil 4.(a)'da gösterilmiştir. Bu eğriye kapasitörün yükleme (şarj) eğrisi denir. Diğer taraftan, kapasitörün yüklenmesi sırasında devreden geçen I akımının zamana göre değişimi ise Şekil 4.(b)'de verildiği gibidir.

Devreden geçen akımı, zamana bağlı bir fonksiyon olarak aşağıdaki şekilde bulabiliriz;

$$I(t) = dQ(t) / dt = I_0 \cdot e^{-t/RC} \quad (\text{Kapasitörün yüklenmesi}) \quad (2.11)$$

veya

$$I(t) = (V/R) \cdot e^{-t/RC} \quad (\text{Devre akımı}) \quad (2.12)$$

Akım değişimini veren denklem (2.11)'de, I_0 ; $t=0$ anında (anahtarın kapatıldığı anda) direnç üzerinden geçen akımın ilk değeri (initial current) olarak verilir;

$$I_0 = V / R \quad (2.13)$$

Bu nedenle devreden geçen akım, devrede R direnci uçların arasındaki potansiyel farkın maksimum olduğu ilk anda yani anahtarın kapatıldığı anında, en büyük değerini alacak ve kapasitörün dolmasıyla (artan kapasitör gerilimiyle) üstel olarak azalarak sıfıra doğru azalacaktır.

RC devresindeki akım, ilk ($t=0$) değerinin “ $1/e$ ” değerine (yaklaşık 0,368) azalacaktır. Diğer bir ifadeyle, akımın ilk değerinin %37'si olan değere düşecektir. Böylece, boş bir kondansatörü şarj ederken akımın zamana bağlı grafiğini çizerek devrenin zaman sabitini (τ) deneysel olarak bulabiliriz (Şekil 4.(b)). Bu esnada ise kapasitörde yük miktarı “ $1 - 1/e = 0,632$ ” değerine ulaşacaktır (Şekil 4.(a)).

Bir seri RC devresinde her kapasitör aynı zamanda şarj olmaz. Şarj zamanı, üzerinden geçen akım ve kapasitörün kapasitesine bağlı olarak değişir. Devrede, $t=0$ anında kapasitörün üzerinden geçen akım maksimum olurken, daha sonra kapasitör şarj oldukça bu akım sıfıra doğru inecektir. Kapasitörün şarj ve deşarj süresi direnç değerine (R) ve kapasitörün kapasitesine (C) bağlıdır. Bu geçen süreye RC zaman sabiti denir. Bağlantı olarak;

$$\tau = RC \quad (\text{Teorik Değer}) \quad (2.14)$$

şeklinde gösterilir. $\tau = RC$ değerine eşit bir zaman sonra devreden geçen akım;

$$I = 0,37 \cdot (V / R) = 0,37 \cdot I_0 \quad (2.15)$$

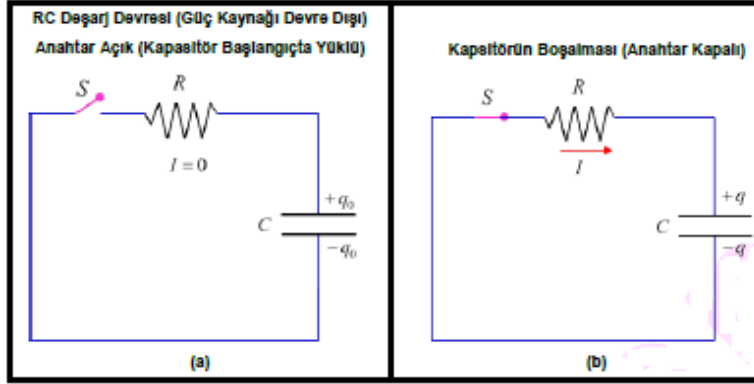
bulunacaktır. Zaman sabiti τ , RC devresindeki akımın ilk değerinin 0,37 değerine düşmesi için gereken zamandır (Şekil 4.(b)). Kapasitörün dolması (şarj) durumunda $t=RC$ zamanında kapasitör üzerindeki yük miktarı Q ise;

$$Q = 0,63V \cdot C \quad (2.16)$$

olarak bulunur.

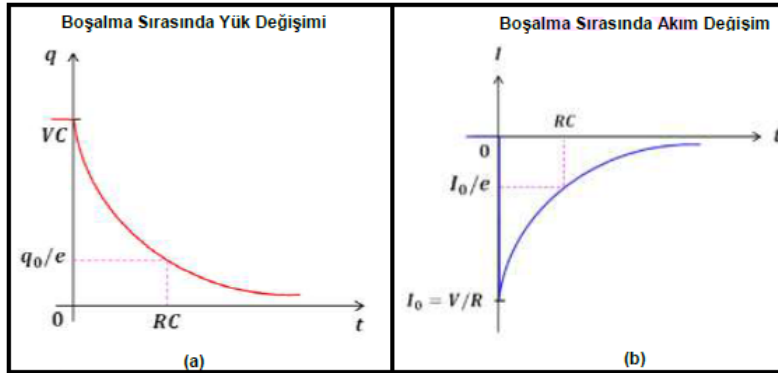
2.4 Kapasitörün Boşalması (Deşarj Olması)

Şekil 5.(a)'da gösterilen RC devresi, başlangıçta şarj olmuş bir kapasitörün deşarj olma devresini vermektedir. Anahtar konumu açık ve gerilim kaynağı devreden çıkarılmış bir RC devresinde başlangıçta yüklü bir kapasitör kullanılır. Şekil 5.(b)'de görüldüğü gibi RC devresinde kaynak gerilimi değerinde şarj olan bir kapasitörün yükü, gerilim kaynağı çıkarıldıktan sonra “S” anahtarı kapatılırsa, direnç üzerinden harcanır (boşalarak sıfıra ulaşır). “S” anahtarı kapatıldığı anda devrenin akım kaynağı şarj olmuş kapasitör olacak ve akımı devreden geçmeye başlayacaktır.



Şekil 5. (a) Başlangıçta yüklü olan kapasitörün deşarj olma devresi ve (b) kapasitörün deşarjı. Devrede “S” anahtarı kapatıldığında I akımı akmaya başlar.

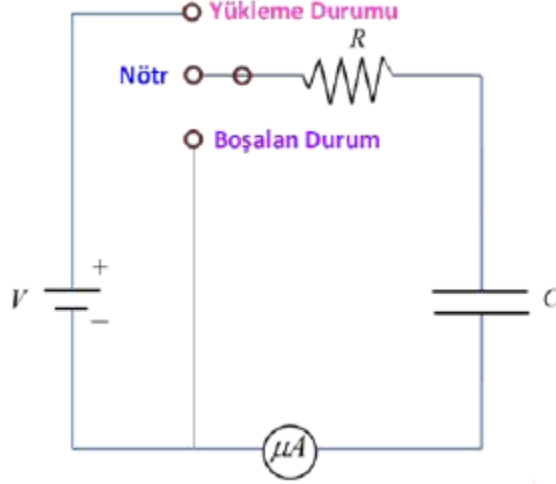
Başlangıçtaki Q yükünün zamana bağlı değişimi Şekil 6.(a)'da verildiği gibidir. Bu eğri kapasitörün boşalma (deşarj) eğrisi olarak ifade edilir. Akımın zamana bağlı değişimi ise Şekil 6.(b)'deki gibidir. Bu grafik, kapasitörün deşarj durumundaki I akımının, yüklenme durumundaki akıma göre ters yönde olduğunu göstermektedir. Devrede, $t=0$ anında akım maksimum değerden sıfıra doğru azalır. Devreden geçen bu akım, deşarj akımı olarak ifade edilir. Deşarj akımı, kapasitörün her iki plakası da nötr olana kadar devam eder. Bu olayın sonunda kapasitör uçları arasındaki gerilim sıfıra iner ve dolayısıyla kapasitör boşalmış olur. Yani, deşarj olayında kapasitör uçlarındaki gerilim maksimumdan sıfıra doğru azalır.



Şekil 6. (a) Direnci R olan bir devrede kapasitörün deşarj olması durumunda zamana göre yük ve (b) zamana göre akım değişimleri.

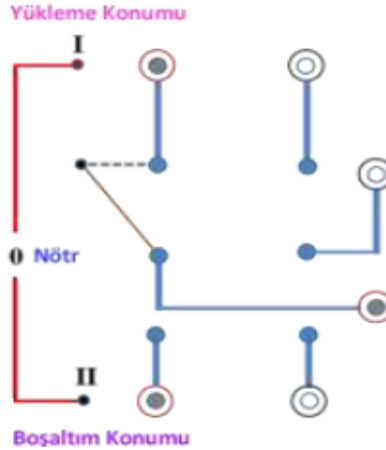
2.5 Deney Metodu ve Deneyin Yapılışı

2.5.1 Boş Bir Kapasitörün Şarj Olması



Şekil 7. Kapasitörün şarj ve deşarj devresini gösteren RC devresi. Bir kapasitörün uçlarına bir gerilim uygulanmadığı durumda bu kapasitör nötr durumdadır.

1. Şekil 7’de verilen elektrik devresi, kapasitörün (kondansatör) dolması ve boşalması sırasındaki akım değişiminin analizi için kullanılacaktır. Devrede direnç $R=33 \text{ k}\Omega$ ve kapasitans $C=1000 \text{ }\mu\text{F}$ olarak alınmıştır. Kapasitöre (C) seri bir direnç (R) bağlanır ve bu elemanlara bir gerilim uygulanırsa, gerilimin uygulandığı anda devreden bir süre akım geçecektir. Bu akım geçişi, kapasitör uçlarındaki gerilim değeri kaynak gerilim değerine (V) eşit oluncaya kadar devam edecektir.

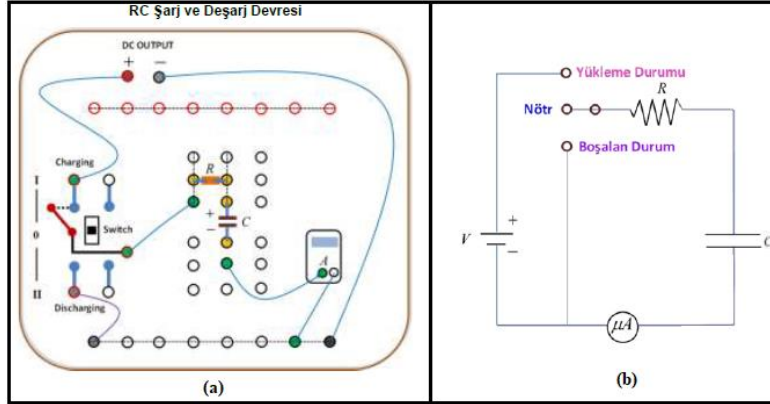


Şekil 8. Elektrik deney seti üstündeki anahtar konumları.

2. Devrede kullanılan kapasitör (+) ve (-) uçlara sahiptir. Yani kapasitör kutup noktalarına (pozitif ve negatif uçlara) sahiptir. Bu nedenle bu kapasitör sadece DC ile çalışan

devrelerde kullanılır.

- Deneyin bu bölümünde iki yönlü anahtar kullanarak şarj ve deşarj olayı oluşturulacaktır (Şekil 8).
- Anahtar nötr durumda tutularak güç kaynağı açılır.
- Devre panelinde kapasitörün iki bağlantı uçları bir tel parçasıyla birleştirilerek, bu iki nokta arasında kısa devre oluşturulur. Bu işlem, devreden kapasitörü eleyecektir.
- Çıkış gerilimi 5 Volt olarak ayarlanır. Bu çıkış gerilimi (V) ölçülür ve not edilir.
- Kapasitörün iki ucu kısa devre durumunda; anahtar, Şekil 9'daki yükleme (charging) durumuna getirilir ve devreden geçen maksimum $I=I_0$ akımı ölçülür. Tablo 1'e kaydedilir.



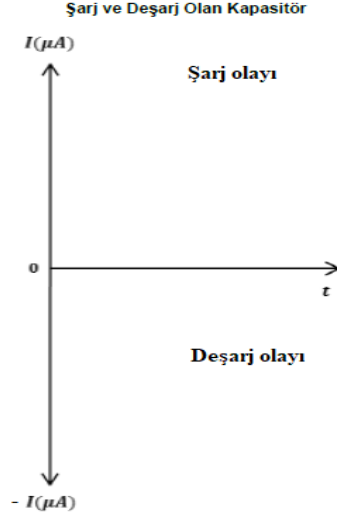
Şekil 9. (a) Şarj ve deşarj olacak kapasitör için RC devresinin devre panosu üstündeki kurulumu ve (b) RC devresi.

- Şimdi anahtar nötr (0) konumuna getirilir ve kapasitör uçlarına (kutuplarına) bağlı tel kaldırılır.
- Kronometre sıfırlanır. Anahtar şarj etme konumuna (yükleme konumuna) getirilerek aynı anda kronometre başlatılır.
- $t=0$ anında devredeki I_0 akımı (maksimum akım) ölçülür ve not edilir. Bu, kısa devre durumunda ölçülen akımdır.
- Akımın azalmaya başlamasıyla, her 5 ya da 10 saniyede bir eş zaman aralıklarında akım ölçülür ve not edilir. Devrede akım değeri 1 ya da 2 mikroamper olana kadar akım ölçümü devam edilir. Ölçülen değerler Tablo 2'ye kaydedilir.
- Şarj olayı, kapasitör uçlarındaki gerilim uygulanan kaynak gerilimi değerine eşit olana kadar devam eder (kapasitörü gerilim kaynağından çıkardığınız anda kondansatör uçları, uyguladığınız gerilim değerini gösterir).

2.5.2 Kapasitörün Deşarj Olması

- Kapasitörün doldurma işlemi bitince devre anahtarı nötr (0) konumuna getirilir ve kronometreyi durdurup sıfırlanır.
- Fazla beklemeden, anahtar deşarj (discharging) konumuna getirilir ve aynı anda kronometre başlatılır.
- $t=0$ anında akım ölçülür ve not edilir.
- Akımın (deşarj akımı) düşmeye başlamasıyla yukarıda anlatılan işlemler tekrar edilir ve veriler Tablo 3'e kaydedilir.

5. Kapasitörün deşarjı, kapasitör uçları arasındaki gerilim sıfıra düşene kadar devam eder. Diğer bir ifadeyle, kapasitör uçları arasındaki gerilim (V_c) sıfıra iner ve böylece kapasitör boşalmış olur.



Şekil 10. Şarj ve deşarj akımları için grafiğinin aynı grafik üzerinde zaman eksenleri ortak seçilerek çizimi.

6. Şimdi boş bir kondansatörü şarj ve deşarj ederken akımın zamana bağlı grafiği çizilir.
7. Kapasitörün dolma (şarj) ve boşalma (deşarj) sırasında devredeki akımlar için Tablo 2 ve Tablo 3'deki verileri kullanarak; I-t grafiği çizilir.
8. Şarj ve deşarj akımının zamanla nasıl değiştiği aynı grafik üzerinde ortak t-zaman eksenini seçilerek çizilir (Şekil 10).
9. Deşarj olayında deşarj akımının işareti, şarj akım yönüne göre ters olması nedeniyle negatif alınabilir.
10. Şarj ve deşarj akımına ait bu iki eğri (grafik) üzerinde, akımın ilk değerinin %37'si olan değere düştüğü t zamanı, bu devrenin zaman sabitini (τ) verecektir.
11. Doldurma ve boşaltma grafikleri üzerinde bu t zamanı belirlenir ve bu zamana karşılık gelen akım değeri, doldurma grafiği üzerinde gösterilir.
12. Bulunan değer, zaman sabitinin deneysel değeri olarak not edilir.
13. Kondansatör şarj ve deşarj zamanı, direnç ve kondansatörün kapasitesine bağlıdır. Bu geçen süreye RC zaman sabiti denir. Bağntı olarak;
 $\tau = RC$ eşitliğini kullanarak zaman sabitinin teorik değeri hesaplanır.
14. Grafikten bulduğunuz değerle, teorik zaman sabitini karşılaştırılır ve hata hesabı yapılır.
15. Hesaplamalarda, RC zaman sabitinin biriminin saniye olduğuna dikkat edilir.
16. Tablo 4, τ değerleriyle doldurulur.
17. Kapasitörün tamamen yüklenme zamanı için ölçülen t değeri kullanılarak, kapasitör üstünde biriken yük Q hesaplanır ve Tablo 5'e not edilir.
18. Bu hesaplama için; Tablo 2'deki deneysel ölçülen verilerinden son t-zamanı kullanılır.
19. $Q=C.V$ eşitliğinden bulunan değerlerle (beklenen) bu hesaplanan (deneysel) değer karşılaştırılır ve hata hesabı yapılır.

2.6 Deney Raporu

Adı ve Soyadı:	_____
Bölüm:	_____
Öğrenci No:	_____
Tarih:	_____

Yüklenen ve Boşalan (Deşarj Olan) Kapasitör

- Devrede kapasitörün iki bağlantı uçlarını bir tel parçasıyla birleştirilerek bu iki nokta arasında kısa devre oluşturulduğunda;
 - Devreden geçen maksimum akım ($I=I_0$) ölçülür ve aşağıda verilen Tablo 1'e not edilir.
 - Güç kaynağı uçlarındaki $V=5V$ gerilimi ölçülür.

Ölçülen	Ölçülen	Hesaplanan
Kaynak Gerilimi	Maksimum Akım	Maksimum Akım
V	I	$I=V/R$
5V		

Tablo 1. Kısa devredeki akım

- Şarj boyunca ve ölçümleri Tablo 2'ye not edilir.

t (saniye)	Ölçülen akım	t (saniye)	Ölçülen akım

Tablo 2. Yükleme (şarj) boyunca oluşturulan veri değerleri.

3. Kapasitör deşarj olurken alınan veriler Tablo 3’deki boşluklara yazılır.

t (saniye)	Ölçülen akım	t (saniye)	Ölçülen akım

Tablo 3. Kapasitör deşarj olurken ölçülen veriler.

4. Deneysel ve teorik olarak bulunan zaman sabitleri Tablo 4’e yazılır.

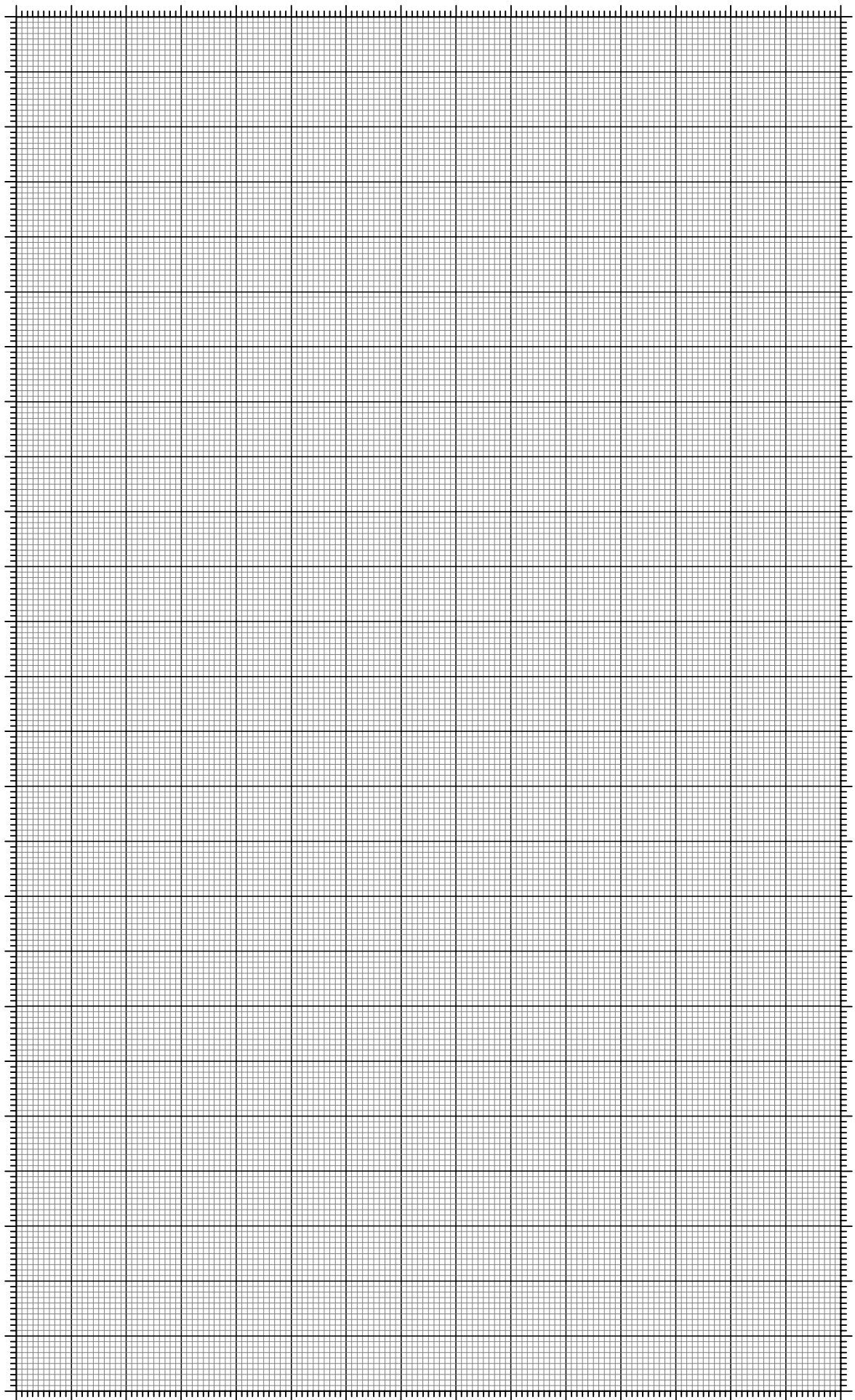
Karşılaştırma	Zaman sabiti, τ (sn)
Şarj Eğrisi	
Deşarj Eğrisi	
Teorik Değer	

Tablo 4. I-t grafiklerinden bulunan devrenin zaman sabiti değerleri

5. Şarj olayı kapasitör uçlarındaki gerilim, kaynak gerilimine eşitlenene kadar devam eder. Şarj (yükleme) bittiği zaman, kapasitör üstündeki Q yükü deneysel olarak bulunur ve not edilir. Tablo 5’deki veriler kullanılarak bu değer $Q=V.C$ ile karşılaştırınız.

Deneysel	Teorik	Fark
Yük, q	$q = VC$	$\Delta q(\pm\%)$
.....		

Tablo 5. Şarj sonrası kapasitör üzerindeki elektrik yükü.



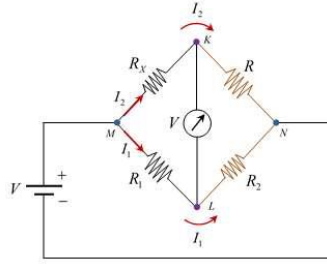
3. WHEATSTONE KÖPRÜSÜ

3.1 Amaç

- Wheatstone köprüsü devresinin çalışma yöntemini öğrenmek,
- Wheatstone köprüsü kullanarak bilinmeyen direnç değerlerini belirlemek,

3.2 Wheatstone Köprüsü

Wheatstone köprüsü, bilinmeyen bir direncin değerini ölçmek için kullanılan bir devre düzeniğidir. Ölçümler için Şekil-(1)'de verilen devre kullanılır. Devrede kullanılan R , R_1 ve R_2 dirençleri, değerleri daha önceden bilinen ve ayarlanmış dirençler olup, R_x ise değeri bulunmak istenilen bilinmeyen dirençtir.



Şekil 1. Wheatstone köprüsü devre şeması.

Düzenekte K ve L noktaları arasındaki potansiyel farkı ölçmek için bir multimetre kullanılır. Ayarlanabilen direnç oranı R_1 / R_2 , voltaj farkı V_{KL} sıfır olacak şekilde değiştirilir. Multimetreden okunan voltaj değeri sıfır olduğu anda ($V_{KL}=0$), Wheatstone köprüsü denge konumuna gelir.

Wheatstone köprüsü denge koşulunu sağladığında ($V_{KL}=0$), M-K noktaları arası potansiyel fark M-L noktaları arası potansiyel farka, N-K noktaları arası potansiyel fark ise N-L noktaları arası potansiyel farka eşit olur:

$$V_{MK} = V_{ML} \quad (3.1)$$

$$V_{NK} = V_{NL} \quad (3.2)$$

Devrede R_1 ve R_2 dirençlerinden geçen akım I_1 , R_x ve R dirençlerinden geçen akım ise I_2 olarak alınır:

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_x \quad (3.3)$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R \quad (3.4)$$

bağıntıları yazılır. Denklemlerden R_x direncinin değeri;

$$R_x = (R_1 / R_2) \cdot R \quad (3.5)$$

şeklinde verilir. Bu eşitliğe göre Wheatstone köprüsü denge koşulunu sağladığında ($V_{KL}=0$), bilinmeyen bir R_x direncinin değeri, devrede değeri önceden bilinen R , R_1 ve R_2 dirençleri ile karşılaştırılarak hesaplanabilir.

Tel sürgülü Wheatstone köprüsünde, ayarlanabilen R_1 ve R_2 dirençleri, düzgün bir iletken telde aynı direncin iki kısmından oluşur ve toplamı sabittir. Denge koşulunda, bu iki değişken direncin sadece oranı önemlidir. İletken tel üzerinde bulunan hareketli sürgü kaydırılarak R_1 ve R_2 dirençlerinin değeri (yani R_1/R_2 oranı), devredeki multimetreden sıfır voltaj okunacak şekilde ayarlanır. Böylece, önceden bilinen ve ayarlanmış üç direnç ile köprünün dengesi kurularak bilinmeyen direnç denklem (3.5)'de verilen bağıntıdan kolaylıkla bulunur.

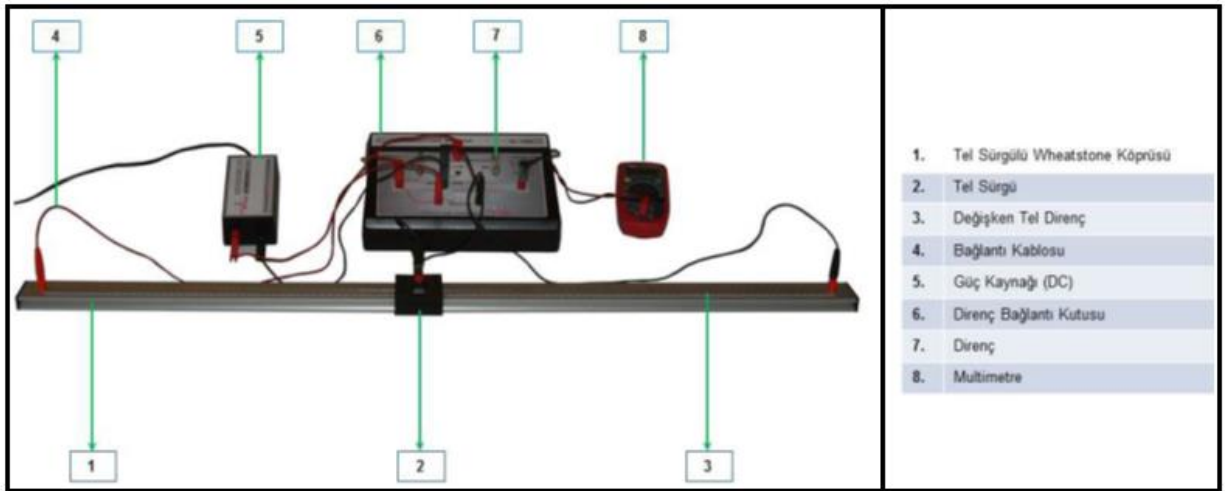
Şekil 2'de verilen deney düzeneğinde, değişken R_1 ve R_2 dirençleri, uzunluğu 1m (100cm) olan sürgülü bir direnç teli yardımıyla oluşturulur. İletken tele temas eden sürgü hareket ettirildikçe iletken telin uzunluğu değişir ve bunun sonucu olarak değişken R_1 ve R_2 dirençlerinden birisi artarken diğeri azalır. Böylece, bu telin çeşitli L-uzunlukları için direnç oranlarının (R_1/R_2) değiştirilmesiyle Wheatstone köprüsünün dengeye gelmesi sağlanır. Bir iletkenin direnci öz direncine, boyuna ve kesit alanına bağlı olarak değişir. Bununla beraber, düzenekte R_1 ve R_2 dirençleri aynı iletken tel kullanılarak oluşturuldukları için bu iletken telin öz dirençleri ve kesit alanları aynı olacaktır. Bundan dolayı R_1/R_2 oranı, telin uzunluğunun oranına L_1/L_2 eşit olacaktır. Bu uzunluk oranı ise sürgülü tel üzerindeki cetvel yardımıyla belirlenecektir.

$$R_1/R_2 = L_1/L_2 \quad (3.6)$$

Sonuç olarak bu eşitlik, denklem (3.5)'de yerine yazılırsa

$$R_x = (L_1 / L_2) \cdot R \quad (3.7)$$

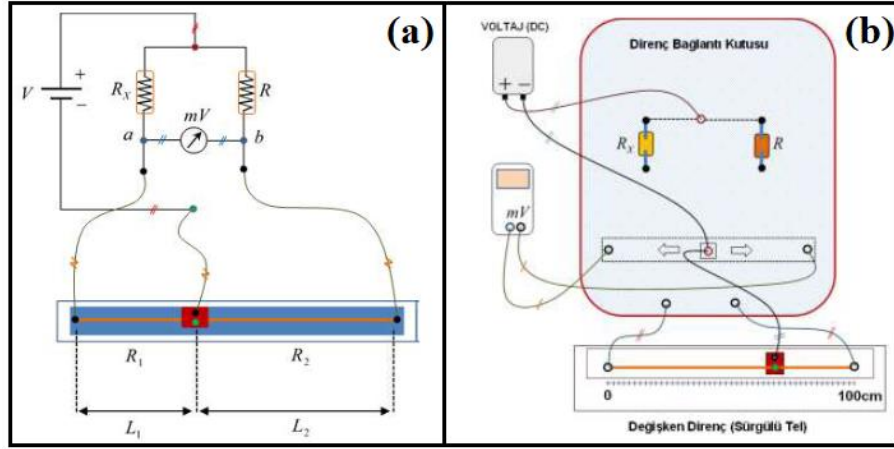
bağıntısı bulunur.



Şekil 2. Tel sürgülü Wheatstone köprüsü için kurulacak deney düzeneğinin gösterimi.

3.3 Deney Düzenegi

Wheatstone köprüsü deneyinde, değeri bilinen bir R direnci ve değeri ayarlanabilir R_1 ve R_2 dirençleri ile değeri bilinmeyen bir R_x direnci kullanılarak Şekil 3. (a)'daki köprü devresi oluşturulur. Direnç bağlantı kutusunda kullanılan bilinen bir R direnci için devreye sabit bir gerilim uygulandığında telin üzerindeki sürgü hareket ettirilerek köprüde dengenin sağlandığı nokta (konum) bulunur. Bu noktada multimetre sıfır volt ($V_{ab}=0$) gösterir. Denge durumunda sürgülü telde ölçülen uzunluklar L_1 ve L_2 ise, tel dirençlerinin oranı R_1/R_2 bu telde ölçülen uzunluk oranına L_1/L_2 eşit olacaktır. Bunun sonucu olarak değeri belirlenecek R_x direnci, denge durumunda ölçülen tel uzunlukları ve direnç kutusunda kullanılan R direnci yardımıyla deneysel olarak hesaplanmış olur.



Şekil 3. (a) Wheatstone köprüsü devresi ve (b) tel sürgülü Wheatstone köprüsü deney düzeninin kurulumu.

Bu deneyde iki adet bilinmeyen R_x direnci ve üç adet bilinen R direnci verilmiştir. Bilinen R dirençleri 22Ω , 82Ω ve 150Ω değerlerine sahiptir.

3.4 Deneyin Yapılışı

1. Şekil 3.(b)'de verilen devre düzeni, bilinen direnç $R=22 \Omega$, bilinmeyen direnç R_x ve sürgülü tel (değişken direnç) kullanılarak kurulur.

1.1. Devrede, R_x direnci yerine değeri öğrenilmek istenilen direnç ve R direnci yerine ise değeri önceden bilinen bir direnç bağlanır.

1.2. Kullanılan R direncinin değeri tabloya kaydedilir.

1.3. Deneyde 3V (DC) güç kaynağı kullanılır. Devreyi kurarken güç kaynağı kapalı olmalıdır.

2. Multimetre, devrede ölçülecek voltaj (V) değeri için milivolt (DC) ölçüm aralığına getirilir.

2.1. Akım ve gerilim ölçebilen multimetrenin voltmetre olarak kullanılabilmesi için üzerinde bulunan fonksiyon seçici anahtarı mutlaka voltaj (DC) kademesine

(konumuna) getirilmelidir.

2.2. Ölçüm kolaylığı sağlamak için multimetre bağlantı kablosu uçlarından kırmızı olanı, multimetre üzerinde ölçülecek büyüklüğe göre seçilen voltaj girişine, siyah ucu ise COM (ortak) girişine bağlanmalıdır.

3. Denge durumuna ($V_{ab}=0$) ulaşmaya kadar, iletken tel üzerindeki sürgünün konumu tel üzerinden kaydırılarak değiştirilmeye başlanır.

3.1. Tel üzerindeki hareketli sürgü kaydırılırken, multimetre cihazından voltaj değişimleri (V_{ab}) dikkatli bir şekilde izlenir.

3.2. Multimetrenin voltaj değerini sıfır gösterdiği yer ($V_{ab}=0$), Wheatstone köprüsünde denge konumu olarak kabul edilir. Multimetreden voltaj değişimlerini izlemek için tel direnç üzerindeki hareketli sürgü kaydırılırken sürgü üzerindeki düğmeye basılması gerekir.

4. Denge konumunda ($V_{ab}=0$), sürgülü tel üzerindeki cetvel yardımıyla direnç telin ölçülen uzunlukları L_1 ve L_2 tabloya not edilir.

4.1. Tel sürgülü Wheatstone köprüsünde R_1 ve R_2 dirençleri kullanılan metal telin akıma karşı gösterdiği dirençlerdir. Bu dirençlerin kullanılan telin uzunluğuna bağlı olması nedeniyle, R_1/R_2 oranı, telin uzunluğunun oranına eşit olacaktır.

4.2. Tel uzunluğu oranı denklem (3.6)'da kullanılarak R_1/R_2 oranı belirlenir.

5. İşlemler, bilinmeyen direnç R_x aynı iken farklı bilinen dirençler $R=82 \Omega$ ve $R=150 \Omega$ kullanılarak tekrarlanır. Dirençler değiştirilirken devreden akım geçirilmemelidir.

6. Her bir bilinen direnç $R=22 \Omega$, $R=82 \Omega$, $R=150 \Omega$ için, denklem (3.7) kullanılarak bilinmeyen R_x direncinin değeri hesaplanır.

7. Hesaplanan R_x değerlerinden ortalama değer hesaplanır ve sonuç tabloya kaydedilir. Bu ortalama değer, bilinmeyen R_x direncinin deneysel değerini verecektir.

8. Şimdi, multimetre dirençölçecek şekilde ayarlandıktan sonra, deneyde kullanılan R_x direncinin beklenen değeri multimetreden okunur.

9. Deneyde kullanılan R_x direncinin deneysel değeri ile beklenen değeri karşılaştırılır ve aradaki fark $\Delta R(\%)$ belirlenir.

10. Devrede kullanılan R_x direnci, diğer bilinmeyen bir R_x direnciyle değiştirilir.

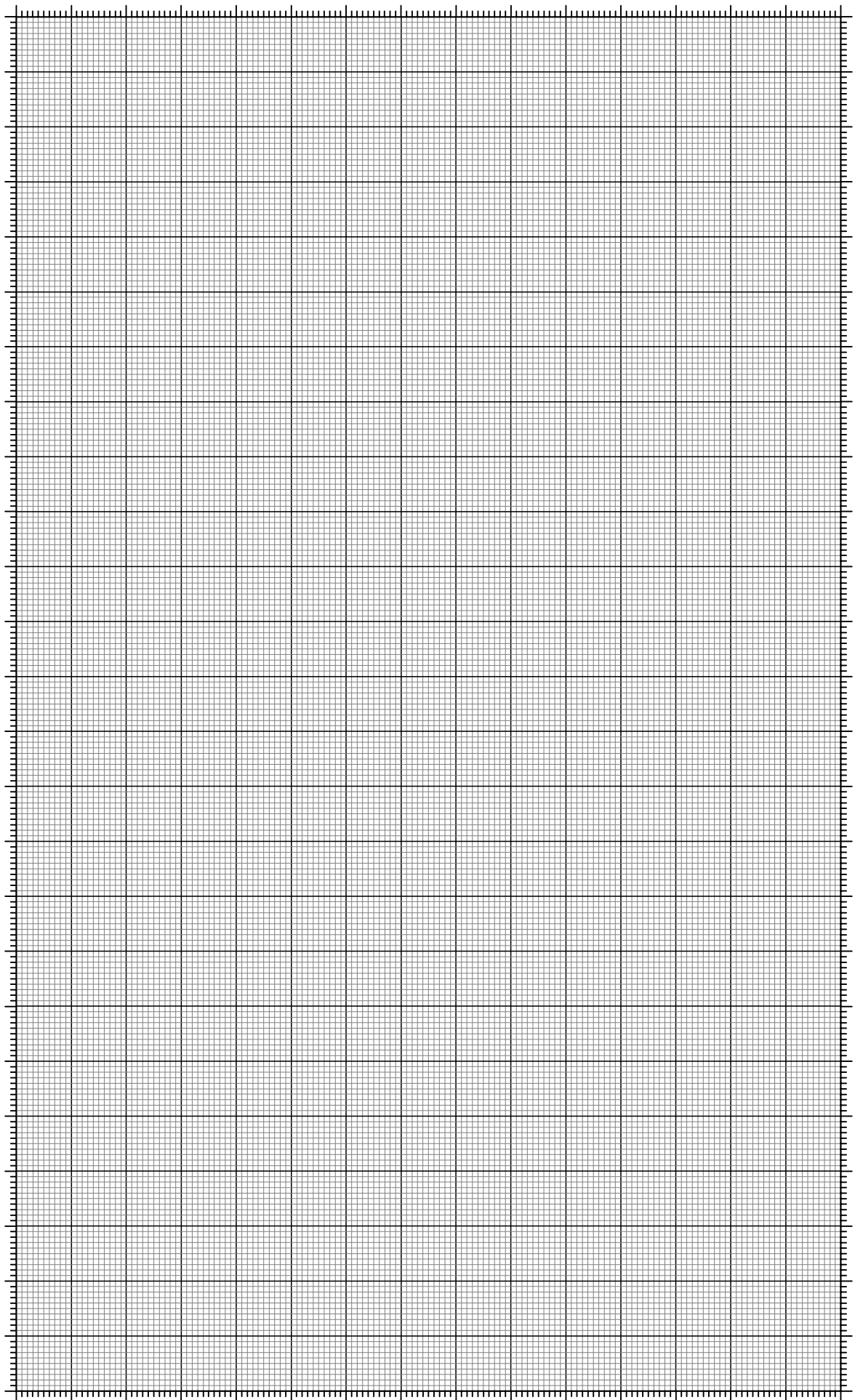
10.1. Bu bilinmeyen R_x direncinin deneysel değerini belirlemek için, yukarıda verilen tüm işlemler tekrar edilir.

3.5 Deney Raporu

Adı ve Soyadı:	_____
Bölüm:	_____
Öğrenci No:	_____
Tarih:	_____

Renk Kodu	Deneysel				Beklenen	Fark
	Veriler			Ortalama	Multimetre	
$R(\Omega)$	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$	$R_x = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)R(\Omega)$	$R_x(\Omega)$	$R_x(\Omega)$	$\Delta R(\%)$
22				.....	.....	.....
82						
150						

Renk Kodu	Deneysel				Beklenen	Fark
	Veriler			Ortalama	Multimetre	
$R(\Omega)$	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$	$R_x = \left(\frac{L_1}{L_2}\right)R(\Omega)$	$R_x(\Omega)$	$R_x(\Omega)$	$\Delta R(\%)$
22				.....	.....	.....
82						
150						



4. BIOT-SAVART YASASI

4.1 Amaç

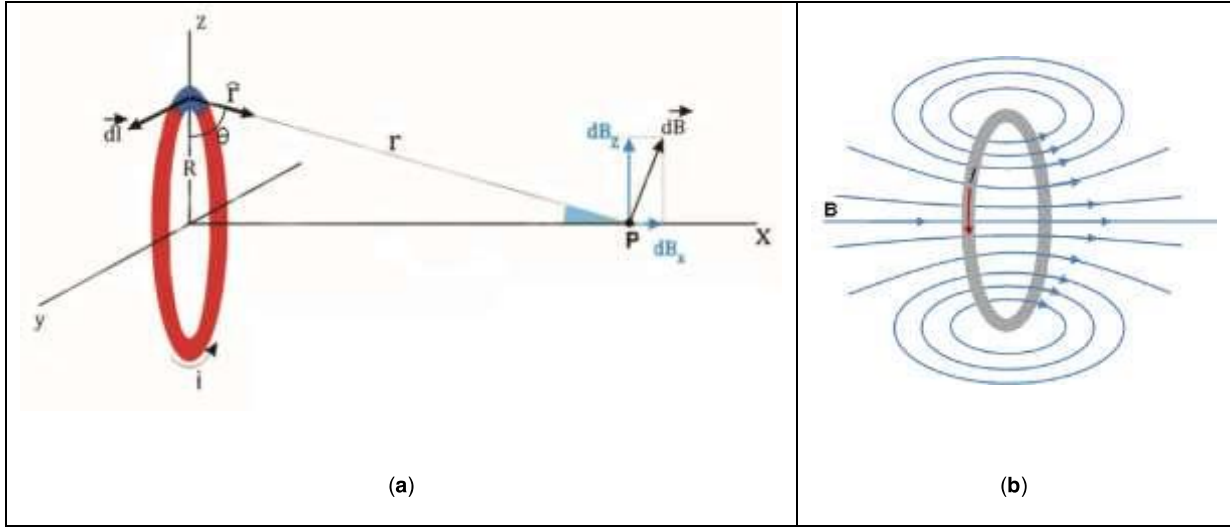
Bu deneyde,

- Akım uygulanan dairesel iletken bir telin manyetik alanı ölçülerek Biot-Savart kanunu deneysel olarak incelenecek,
- Bir bobinde meydana gelen manyetik alan büyüklükleri analiz edilecektir.

4.2 Biot-Savart Yasası

Üzerinden akım geçen dairesel iletken bir telin akım uzunluk elemanı, dl (akımın akış yönünde konumlandırılmış) ve bu uzunluk elemanından P-noktasına uzanan koordinat vektörü r ise, bu akım elemanının P-noktasında oluşturacağı B manyetik alanının yönü ve büyüklüğü Biot-Savart yasası tarafından verilir.

Biot-Savart yasasına göre, üzerinden akım geçen dairesel bir iletkenin dönme simetri eksenini (x-ekseni) boyunca oluşturacağı manyetik alan değeri, bu alanı oluşturan akımın büyüklüğü tarafından hesaplanabilir. Akım taşıyan dairesel iletken bir telin uzayın herhangi bir P-noktasında üreteceği manyetik alanın büyüklüğü B, iletkeni oluşturan her bir parçanın P-noktasında oluşturacağı manyetik alanların toplamı (superposition) olarak verilir.



Şekil-4.1: Dairesel iletken bir tel üzerinden geçen akımın uzaydaki bir P-noktasında oluşturacağı manyetik alan vektörü ve bileşenleri (a), Dairesel bir iletken üzerinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan çizgileri (b).

Üzerinden I akımı geçen dl uzunluklu iletken bir parçanın P-noktasında ürettiği manyetik alan vektörü dB ise, bu yasanın grafiksel incelemesi Şekil-(3.1)' de gösterilmiştir.

Akım taşıyan iletken bir tel üzerindeki dl elemanından, optik eksen (x) üzerindeki bir ölçüm noktasına (P) uzanan birim vektör, r olarak ifade edilirse; P-noktasında oluşacak manyetik alan vektörü, dB , Biot-Savart tarafından verilir:

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (4.1)$$

Burada;

dB : Optik eksen boyunca (x) oluşan manyetik alan vektörü (T)

μ_0 : Manyetik alan sabiti (T.m/A)

I : Uygulanan akım değeri (A)

x : Optik eksen üzerindeki bir noktanın dairesel tellin merkezine olan uzaklığı (m).

Eşitlik 4.1 Biot-Savart yasası olarak bilinip, birim vektörü,

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r}$$

olarak ifade edilir. Biot-Savart yasasına göre manyetik alan şiddeti $\mathbf{B}$, alanı üreten $\mathbf{I}$ akımı ile tanımlanır. Birim vektörü ($\hat{r}$); dl ile P-noktasını birleştiren doğru üzerindeki vektör olarak ifade edilir. Birim vektörü ($\hat{r}$), Eşitlik (4.1)'de yerine konulduğunda manyetik alanın büyüklüğü:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \phi}{r^2} \quad (4.2)$$

olarak yeniden yazılabilir.

Eşitlik-(4.2)'de verilen ϕ açısı $\vec{dl}$ ve $\vec{r}$ vektörleri arasındaki açıdır. Şekil-1' de görüldüğü gibi, $\vec{dl}$ ve $\vec{r}$ vektörleri birbirlerine dik olup, iletken tel üzerindeki yer değiştirme vektörü $\vec{dl}$ tarafından verilen manyetik alan ($\vec{dB}$) vektörünün yönü ise x-z düzlemindedir. Burada $\vec{dl}$ ve $\vec{r}$ vektörleri birbirlerine dik olduğundan;

$$\left| d\vec{l} \times \hat{r} \right| = dl \quad (4.3)$$

değeri elde edilir.

Bu değer Eşitlik-(4.1)'de kullanıldığında manyetik alanın büyüklüğü;

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{r^2} \quad (4.4)$$

olarak elde edilir. Dik üçgen bağıntısından:

$$r^2 = x^2 + R^2 \quad (4.5)$$

olduğu için Eşitlik-(4.4) yeniden düzenlendiğinde manyetik alanın büyüklüğü:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + R^2)} \quad (4.6)$$

olarak bulunur.

Şekil-(4.1) incelendiğinde, manyetik alanın z-bileşeni x-eksenine dik ve simetrik olması nedeniyle, z-ekseni üzerinde oluşan manyetik alanların toplamı, $B_z = 0$ olur (Şekil-2) . Bu nedenle, bileşke manyetik alanın (B) toplamı, $B = B_x$ olarak belirlenmiş olur. Şekil-2 kullanılarak manyetik alanın x-ekseni üzerindeki bileşenini incelersek:

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{(x^2 + R^2)} \frac{R}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \quad (4.7)$$

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R dl}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (4.8)$$

$$B_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \int dl \quad (4.9)$$

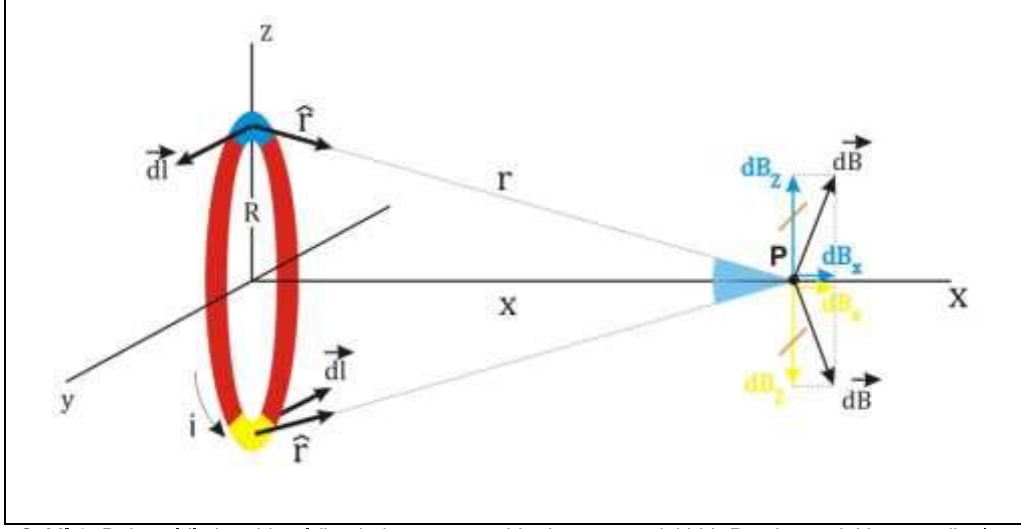
Burada;

$$\int dl = 2\pi R$$

olduğu için, manyetik alan büyüklüğünün x-ekseni üzerindeki bileşeni, B_x :

$$B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (4.10)$$

olarak hesaplanır. Bu eşitlik tek sarım döngülü (Single Loop System, N=1) bir iletkenin oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğünü verir.



Şekil-4.2: Dairesel iletken bir tel üzerinden geçen sabit akımın uzaydaki bir P noktasındaki manyetik alan vektörünün bileşenleri ve net manyetik alan vektörünün yönü.

Şekil-(4.2) incelendiğinde, bir ölçüm noktasındaki (P-noktasındaki) manyetik alan vektörü (dB) , z-ekseni yönünde (dB_z) ve x-ekseni yönünde (dB_x) olmak üzere iki bileşene ayrılır. İletken tel üzerindeki tüm dl elemanlarından kaynaklanan manyetik alanın bütün x-ekseni bileşenleri aynı yönde olduklarından birbirlerine eklenir. Bununla beraber, iletken tel üzerindeki dl elemanlarının z-ekseni yönünde oluşturduğu manyetik alanların bileşenleri ters yönlü olduğundan birbirlerini yok ederler. Bu nedenle, net manyetik alanın (B) toplamı, $B = B_x$ olarak belirlenir. Eğer, R-yarıçaplı dairesele iletken tel N-adet sarım içeriyorsa, Eşitlik (10)’ da verilen ifade yeniden düzenlenerek, çemberin eksenı boyunca ve merkezden x uzakta oluşın manyetik alan değeri aşğıdaki denklemlle hesaplanır:

$$B(x) = N\mu_0 \frac{I}{2} \frac{R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (4.11)$$

Eşitlik-(4.11) kullanıldığında, manyetik alan değeri (B) dairesele iletken tellerın sarım sayısına (N) bölersek

$$\frac{B(x)}{N} = \mu_0 \frac{I}{2} \frac{R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}}$$

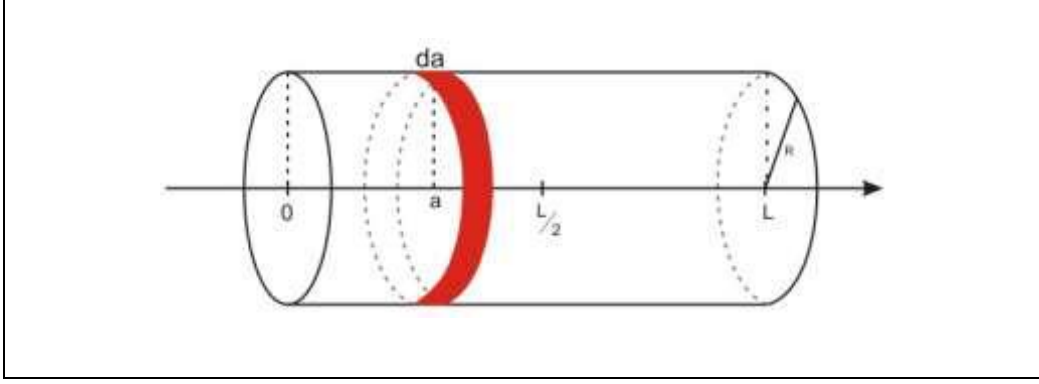
(Deneysele)

(4.12)

oranı elde edilir. Eşitlik-(4.12)’de verilen bu oran, Biot-Savart deneylerinde x-ekseni boyunca manyetik alan büyüklüğünün, “B(x)”, sarım sayılarına “(N)” karşı değışim grafiğini verir.

4.3 Bir Bobinin Manyetik Alanı

Bir bobinden akım geçirildiğinde bobin içinde bir manyetik alan meydana gelir. Bu oluşan manyetik alanın büyüklüğü, uygulanan akımın büyüklüğüne (I), bobinin boyuna (L) ve sarım sayısına bağlıdır (N). Bobin uzunluğu, L olan N-sarımlı bir bobinin eksenini boyunca manyetik alanın değişim özelliği, bobinin sonsuz küçük sayıda ve uzunlukta bobinlerden oluştuğu varsayılarak incelenir (Şekil-4.3).



Şekil-4.3: Uzunluğu ihmal edilemeyecek kadar büyük olan L-uzunluklu ve N -sarımlı bobin.

Merkezden belli bir uzaklıktaki bir bobinin kesiti, sonsuz küçüklükte bir manyetik alan verir;

$$dB(x) = \frac{1}{2} \frac{N}{L} \mu_0 I \frac{R^2}{[R^2 + (x-a)^2]^{3/2}} da \quad (4.13)$$

Burada, $\frac{Nda}{L}$; da uzunluğa sahip bobin kesitinin sarım sayısıdır.

Toplam manyetik alan büyüklüğü (B), Eşitlik-(4.13)'de verilen denklemin, “da” uzunluğu üzerinden integrali alınarak bulunur. Eşitlik-(4.13)'de verilen fonksiyonun integrali alınırsa manyetik alanın büyüklüğü:

$$B(x) = \frac{1}{2} \frac{N}{L} \mu_0 I R^2 \int_0^L \frac{da}{[R^2 + (x-a)^2]^{3/2}} \quad (4.14)$$

$$B(x) = \frac{1}{2} \frac{N}{L} \mu_0 I \left[\frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} - \frac{x-L}{\sqrt{R^2 + (x-L)^2}} \right] \quad (4.15)$$

olarak elde edilir.

Bobin uzunluğunun, bobin yarıçapı ile karşılaştırıldığında çok uzun olması koşulunda ($R \ll L$), bobin orta noktasında ($x=L/2$) manyetik alanın büyüklüğü (B_0), Eşitlik-(4.15)'den aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$B_0 = \mu_0 I \frac{N}{L} \quad (4.16)$$

Bu eşitlikten görüldüğü gibi manyetik alan, bobinin merkezinde maksimumdur.

Eşitlik-(4.15)'de verilen denklemden bobin uçlarındaki ($x=L$) manyetik alanın büyüklüğü hesaplandığında, bobin merkezindeki değerin yarısı kadar olduğu bulunur:

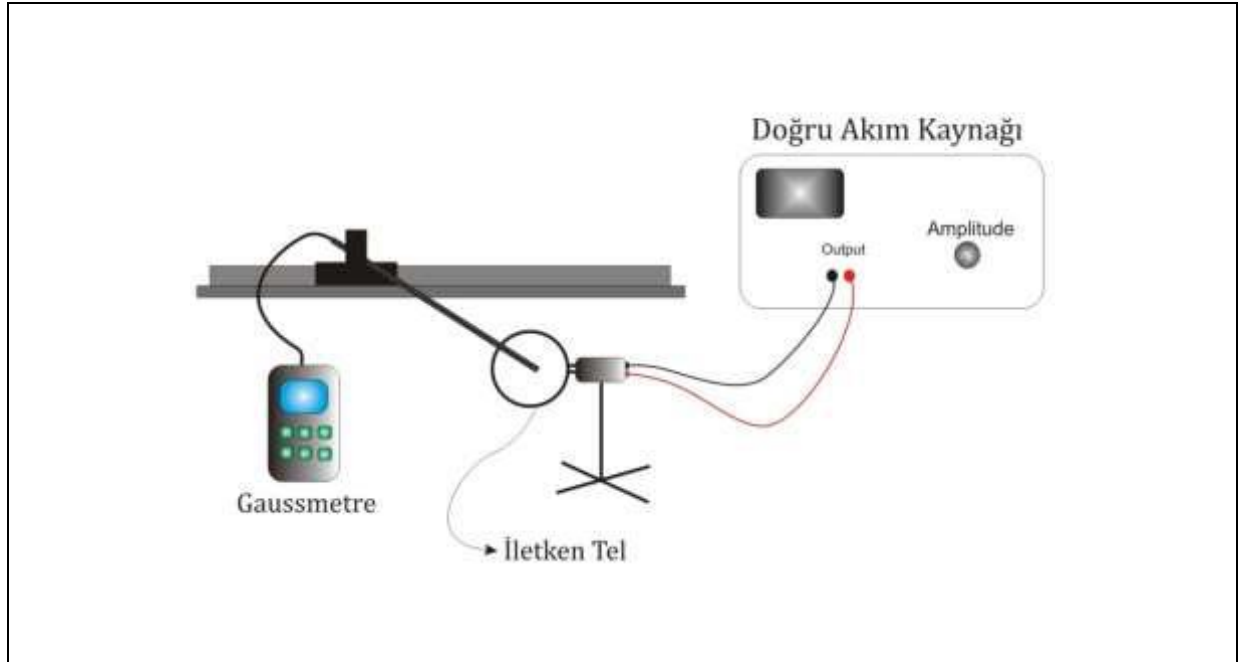
$$B_{u\grave{s}} = \frac{1}{2} \mu_0 I \frac{N}{L} \quad (4.17)$$

4.4 Deneyin Yapılışı

Deneyi yapısı iki bölümden oluşmaktadır:

- Dairesel iletken telin oluşturduğu manyetik alan büyüklüğünün ölçülmesi
- Bir bobinin içinde oluşan manyetik alanın ölçülmesi

Birinci olarak, farklı sarımlı ve yarıçaplı dairesele tellerin üzerinden sabit değeri bir doğru akım geçirildiğinde, bu dairesele iletken tellerin oluşturduğu manyetik alan büyüklükleri ölçülür. Elde edilen manyetik alan verilerinden manyetik alan sabiti (μ_0) deneysel olarak hesaplanır. Bunun için öncelikle Şekil-(4.4)'de verilen devre kurulur.



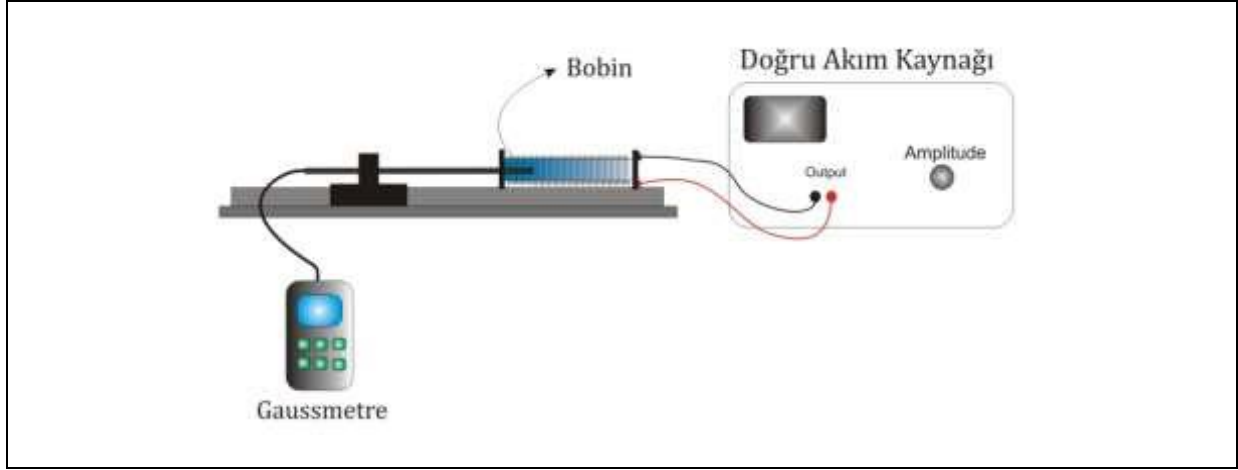
Şekil-4.4: Akım taşıyan dairesele iletken telin oluşturduğu manyetik alanın ölçüm düzeneği.

Bölüm-1: Dairesel İletken Telin Oluşturduğu Manyetik Alanın Ölçülmesi

- 1) Deney düzeneğinde, $R=6\text{cm}$ yarıçaplı dairesele tellerden $N=1$ sarımlı olanı tutucuya yerleştirin (Şekil-4.4).
- 2) Gaussmetre sensörünün (prob ucunu), dairesele iletken telin merkezine optik eksen (x) üzerinden hizalamasını yapın.
- 3) Dairesel iletken tellin çıkış uçlarını DC akım kaynağı çıkışına (Output) takın.
- 4) Doğru akım (DC) kaynağını açın. Akım kaynağını açmadan önce, akım çıkış seviyesi ayarının en düşüğe olmasına dikkat edin.
- 5) Doğru akım kaynağı üzerindeki akım ayarını kullanarak devreye uygulanacak akımı " $I=5\text{A}$ " değerine ayarlayın.

- 6) Gaussmetreyi çalıştırarak, ölçüm skalasını “mT” (militesla) olarak belirleyin.
- 7) Gaussmetre üzerindeki “RANGE” tuşunu kullanarak ölçüm hassasiyet skalasını “1/100” düzeyine getirin.
- 8) Gaussmetre probunun ucunu, deneyde kullanılan dairesel telin merkezine getirerek ($x=0$ cm), manyetik alan değerini okuyun ve kaydedin.
- 9) Benzer şekilde, dairesel iletken telin merkezinden; $x=1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ cm olmak üzere farklı uzaklıklarda manyetik alan ölçümlerini alın ve değerleri not edin.
- 10) Aynı yarıçaplı (R) fakat sarım sayısı farklı, $N=2, 3, 4$ dairesel teller (N -loops systems) için manyetik alan ölçümlerini; $x=1, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ cm uzaklıklarında tekrarlayın.
- 11) Madde-10’da alınan ölçüm verilerini kullanarak, aynı yarıçaplı dairesel iletken telin merkezinden $x=2$ cm uzaklıkta alınan manyetik alan değerlerini, sarım sayılarına göre veri tablosunda oluşturun.
- 12) Bu veri tablosunu kullanarak, manyetik alanın sarım sayısına göre değişim grafiğini çizin.
- 13) Grafiğin eğiminden, Eşitlik-(4.12) kullanarak manyetik alan sabitini (μ_0) hesaplayın.
- 14) Deneysel hesaplanan bu değeri manyetik alan sabitinin kuramsal değeriyle karşılaştırın ve hata hesabı yapın.
- 15) Aynı işlemleri farklı yarıçaplı iletken teller için tekrarlayın.

Bölüm-2: Bir Bobin İçinde Oluşan Manyetik Alanın Ölçülmesi



Şekil-5: Bir bobinin oluşturduğu manyetik alanın ölçülmesi devresi.

- 1) Şekil-(4.5)’de verilen ölçüm devresini kurunuz.
- 2) Doğru akım (DC) kaynağının açın. Akım kaynağını açmadan önce, akım çıkış seviyesi ayarının en düşüğe olmasına dikkat edin.
- 3) Doğru akım kaynağı üzerindeki akım ayarını kullanarak devreye uygulanacak akımı, “ $I=1A$ ” değerine ayarlayın.
- 4) Gaussmetreyi açın ve Gauss-militesla ayarından “mT” skalasına geçin.
- 5) Gaussmetre üzerindeki “RANGE” tuşunu kullanarak skalayı virgulden sonra “1/100” hassasiyete getirin.

- 6) Gaussmetrenin probunun ucunu bobinin tam ucuna yerleştirin ($x=0$ cm). Prob ucunun bobin kesit alanının tam merkezinde olmasına dikkat edin.
- 7) Probu optik raya bağlayan tutucunun bir noktasını referans alarak, prob ucunu bobin merkezinden başlayarak yavaş bir şekilde bobinin içerisine doğru hareket ettirin.
- 8) 1 cm aralıklarla Gaussmetreden okunan manyetik alan değerlerini not edin.
- 9) Bobinin orta noktasında ($x=L/2$) okunan manyetik alan değeri (B_0) ile Eşitlik-(4.16) kullanılarak hesapladığınız teorik (beklenen) manyetik alan değerini karşılaştırın.
- 10) Bobin ucunda ($x=L$) okunan manyetik alan ($B_{uç}$) değerlerini, Eşitlik-(4.17) tarafından hesapladığınız teorik manyetik alan değeri ile karşılaştırın.
- 11) Deneyi aynı boylu ve yarıçaplı fakat farklı sarımlı bobinler için tekrarlayın.
- 12) Bobinin ucundan başlayarak gaussmetre probu içeri doğru hareket ettirildiğinde okunan manyetik alan büyüklüklerinin nasıl değiştiğini yorumlayın.
- 13) Üzerine akım uygulanan dairesel iletken tellerde, manyetik alan büyüklüklerin maksimum değeri (B_{max}) hangi mesafede okunuyor, belirleyin.

4.5 Deney Raporu

Adı ve Soyadı: _____

Bölüm: _____

Öğrenci No: _____

Tarih: _____

BÖLÜM-1: Dairesel iletken tel üzerinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan değerlerinin ölçülmesi ve manyetik alan sabitinin, dairesele iletken telin oluşturduğu manyetik alan değerlerinden faydalanarak hesaplanması.

μ_0 (Deneysele):

μ_0 (Teorik):

Hata Hesabı, $\Delta\mu_0$ ($\pm\%$):

Tablo-1: R-yarıçaplı, N_1 -Sarım sayılı dairesele iletken telin farklı uzaklıklarda oluşturduğu manyetik alan büyüklükleri

R(cm)	Sarım Sayısı(N_1)	x(cm)	B(mT)
.		0	
		1	
		1.5	
		2.0	
		2.5	
		3.0	
		3.5	
		4.0	
		4.5	
		5.0	
		6.0	
		7.0	
		8.0	
		9.0	
		10.0	

Tablo-2: R-yarıçaplı, N₂-Sarım sayılı dairesel iletken telin farklı uzaklıklarda oluşturduğu manyetik alan büyüklükleri

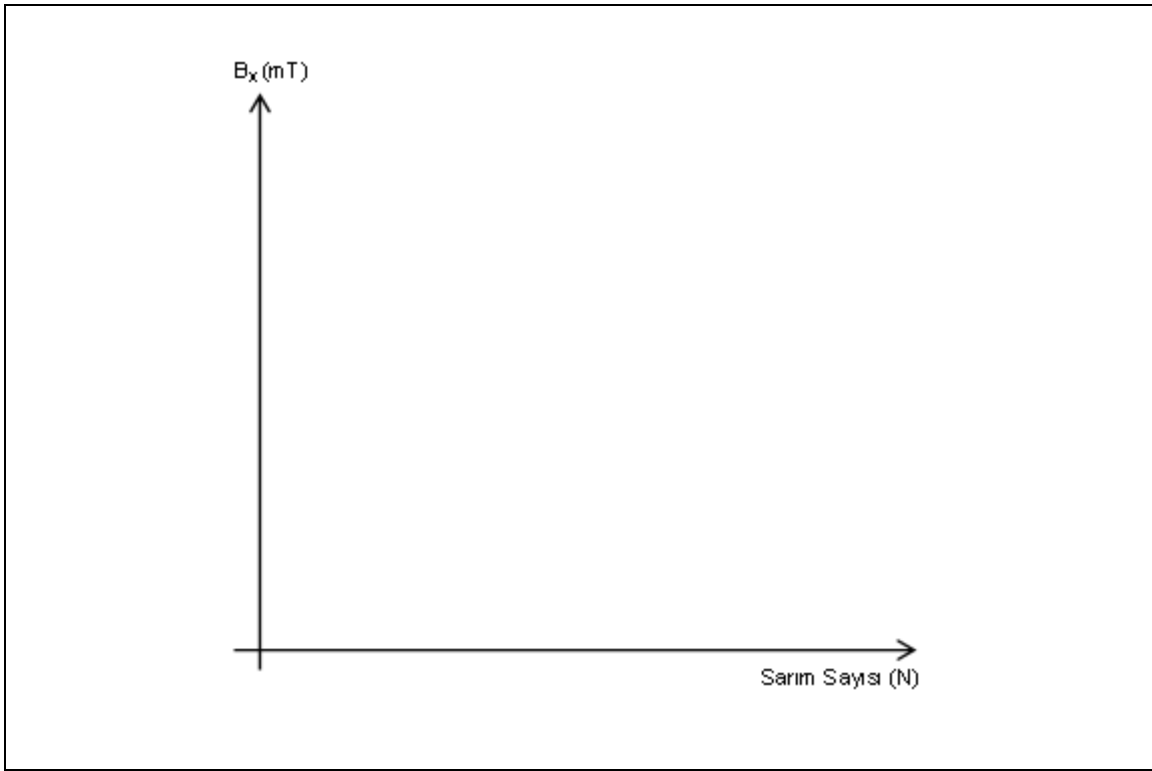
R(cm)	Sarım Sayısı (N ₂)	x(cm)	B(mT)
.....		0	
		1	
		1.5	
		2.0	
		2.5	
		3.0	
		3.5	
		4.0	
		4.5	
		5.0	
		6.0	
		7.0	
		8.0	
		9.0	
		10.0	

Tablo-3: R-yarıçaplı, N₃-Sarım sayılı dairesel iletken telin farklı uzaklıklarda oluşturduğu manyetik alan büyüklükleri

R(cm)	Sarım Sayısı(N ₃)	x(cm)	B(mT)
.....		0	
		1	
		1.5	
		2.0	
		2.5	
		3.0	
		3.5	
		4.0	
		4.5	
		5.0	
		6.0	
		7.0	
		8.0	
		9.0	
		10.0	

Tablo-4: Aynı yarıçaplı dairesel iletken tellerin sabit bir uzaklıkta, farklı sarım sayılarına karşılık manyetik alan değerleri.

R(cm)	x(cm)	N(sarım sayısı)	B(mT)
.....			



Grafik-1: Aynı yarıçaplı dairesel iletken tellerin sabit bir uzaklıkta, farklı sarım sayılarına karşılık manyetik alan değerlerinin değişimi.

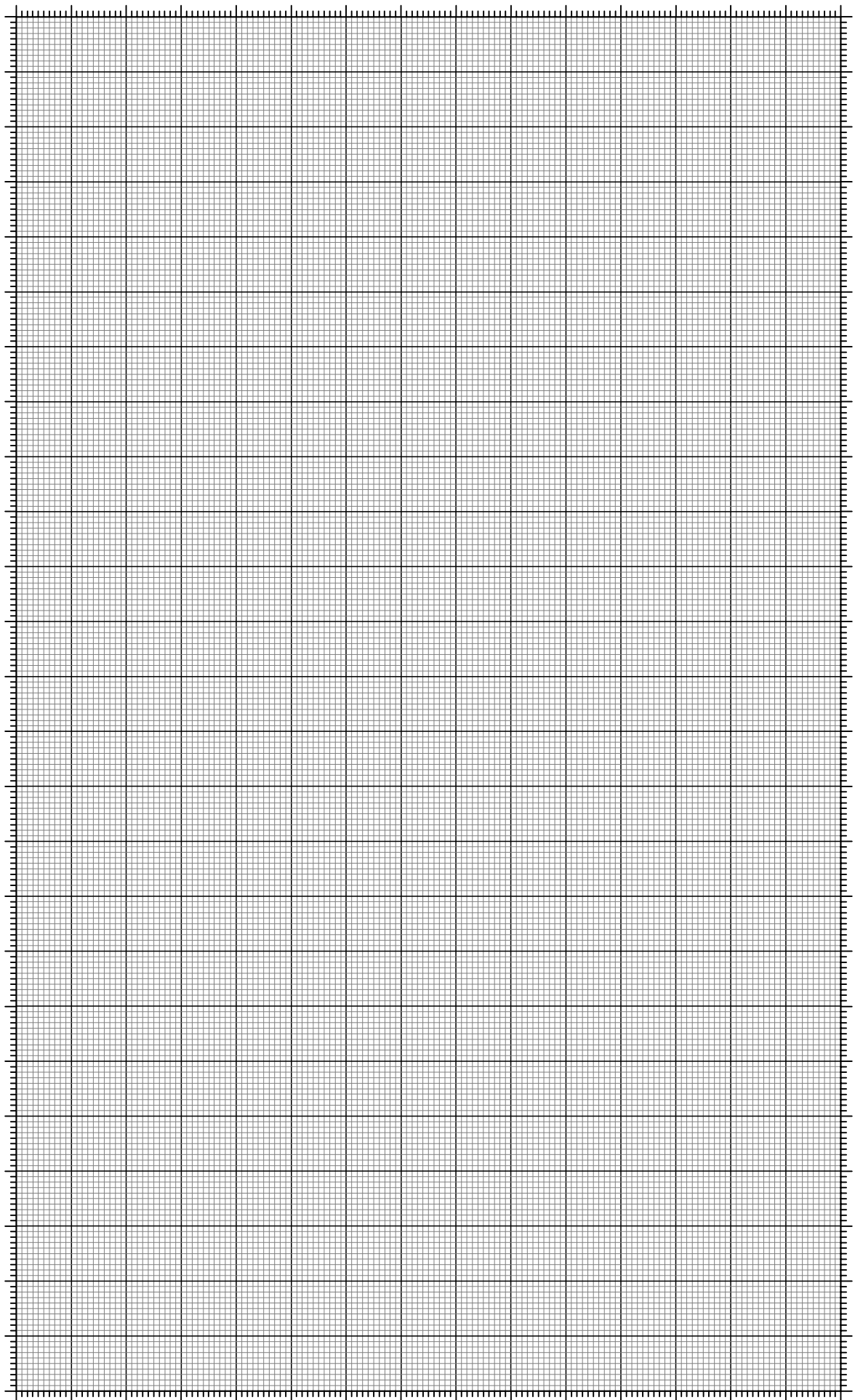
BÖLÜM-2: Bir bobinin merkezinde oluşan manyetik alanın ölçülmesi.

Aşağıdaki verileri kullanarak Eşitlik-(4.16) tarafından manyetik alanın beklenen değerlerini hesaplayınız. Beklenen manyetik alan değerlerini deneyde ölçülen manyetik alan değerleriyle karşılaştırınız. Aradaki farkı bularak hata hesabını yapınız.

Tablo-5: Bir bobinin oluşturduğu manyetik alan büyüklükleri.

Sarım Sayısı, N	Bobin Boyu, L(m)	Bobin Yarıçapı, R(m)	Manyetik Alan B(mT)		Fark $\Delta B(mT)$
			Ölçülen (Deneysel)	Hesaplanan (Beklenen)	Hesaplanan

Hata Hesabı $\Delta B (\pm\%) = \dots\dots$



5. MANYETİK KUVVET

5.1 Amaç

- Manyetik alanın elektrik akımı taşıyan iletken bir tel üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemek,
- Uygulanan elektrik akımına ve manyetik alanın şiddetine bağlı olarak iletken tel üzerine etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğünü belirlemek,
- Manyetik kuvvetten dolayı akım taşıyan iletken telin düşey düzlemle yapacağı sapma açısını bulmak.

5.2 Manyetik Kuvvet

Manyetik alan içerisinde bulunan ve üzerinden I elektrik akımı geçen iletken bir tele bu manyetik alan tarafından bir kuvvet etki eder. İletken tele etki eden bu kuvvete manyetik kuvvet denir. İletken telin ℓ uzunluklu doğrusal bir tel ve manyetik alanın düzgün olması durumunda, bu tele etki eden manyetik kuvvet:

$$\vec{F} = I \vec{\ell} \times \vec{B} \quad (5.1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada;

F : Manyetik alanın tele uyguladığı kuvvet,

I : İletken tel üzerinden geçen akım değeri,

ℓ : İletken telin manyetik alan içinde kalan kısmının uzunluğu,

B : Manyetik alan şiddetidir.

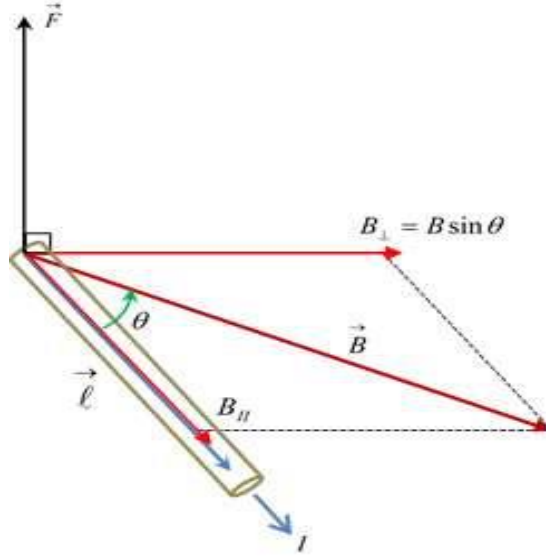
Manyetik alan içinde akım taşıyan doğrusal bir tele etki eden manyetik kuvvet vektörel bir büyüklük olup, yönü bu iletken içinden geçen akımın yönü ile manyetik alanın yönüne bağlıdır.

Bununla beraber, Şekil-(5.1)' de görüldüğü gibi manyetik alan ile akım yönü arasında bir θ açısı varsa, manyetik kuvvet:

$$F = I\ell B_{\perp} = I\ell B \sin \theta \quad (5.2)$$

olarak bulunur.

Manyetik alan B birimi tesla (T) olup, $1T = 1N / m.A$ olarak verilir. Manyetik kuvvetin F birimi ise Newton (N) olarak verilip, $1N = 1kg.m/s^2$ değerine eşittir.



Şekil-5.1: Manyetik alan içerisinde akım taşıyan iletken bir tel üzerine etki eden manyetik kuvvet. Tel üzerindeki manyetik kuvvetin yönü akım ve manyetik alan yönüne diktir.

Akım yönü ile manyetik alan yönü arasındaki açının $\theta = 90^\circ$ olması durumunda manyetik kuvvetin büyüklüğü:

$$F = I\ell B \quad (5.3)$$

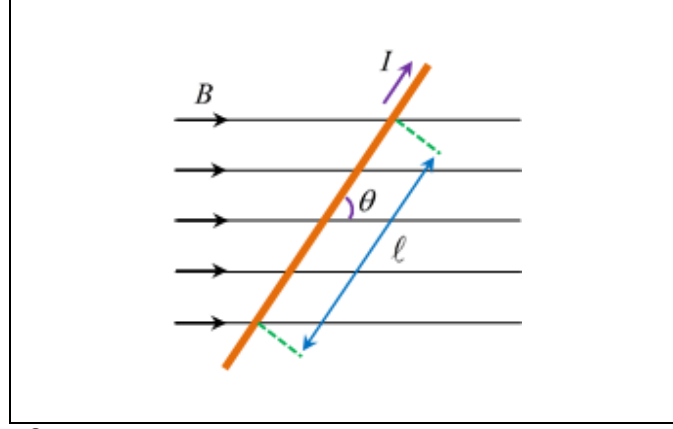
tarafından verilir. Eşitlik-(5.3)'de görüldüğü gibi, akım yönü manyetik alan yönüne dik olduğu zaman ($\theta=90^\circ$), iletken tel üzerindeki manyetik kuvvetin şiddeti en yüksek değerine ulaşır.

Akım taşıyan doğrusal bir iletkene etki eden manyetik kuvvetin şiddeti;

- İletken telden geçen akımın büyüklüğüne (I) bağlıdır ve doğru orantılıdır,
- İletken telin manyetik alan içinde kalan uzunluğuna (ℓ) bağlıdır ve doğru orantılıdır,
- Manyetik alanın (mıknatısın) şiddetine (B) bağlıdır ve doğru orantılıdır,
- Manyetik alan içerisinde bulunan iletken telin (akım yönünün), manyetik alan ile arasındaki açığa (θ) bağlıdır. Manyetik alanın, akım (iletken tel) yönüne dik ($\theta = 90^\circ$) olması durumunda manyetik kuvvet en büyük değerini alır. İletken tel ve manyetik alan birbirlerine paralel ise ($\theta = 0^\circ$) manyetik kuvvet sıfır olur (iletken tel üzerine manyetik kuvvet etki etmez).

Manyetik kuvvetin yönünü ise;

- Manyetik alanın ve iletken telden geçen akımın yönüne bağlıdır. İletken telden geçen akımın yönü değişirse manyetik kuvvetin yönü de değişir. Benzer şekilde, manyetik alanın yönü yani mıknatısın kutupları değişirse manyetik kuvvetin yönü de değişir.
- İletken telden geçen akımın yönü ve manyetik alanın yönü (mıknatısın kutupları) birlikte değişirse manyetik kuvvetin yönü değişmez.



Şekil-5.2: Manyetik alan içerisinde elektrik akımı taşıyan iletken bir tel.

Örneğin, uzunluğu $\ell = 12\text{cm}$ olan ve $I = 20\text{A}$ şiddetinde akım taşıyan doğrusal iletken bir tel $\theta = 60^\circ$ olacak şekilde düzgün bir manyetik alan içerisine konumlandırılmış olsun (Şekil-2). Manyetik alan sayfa düzlemine paralel olup, şiddeti $B = 0.9\text{T}$ olarak verilsin:

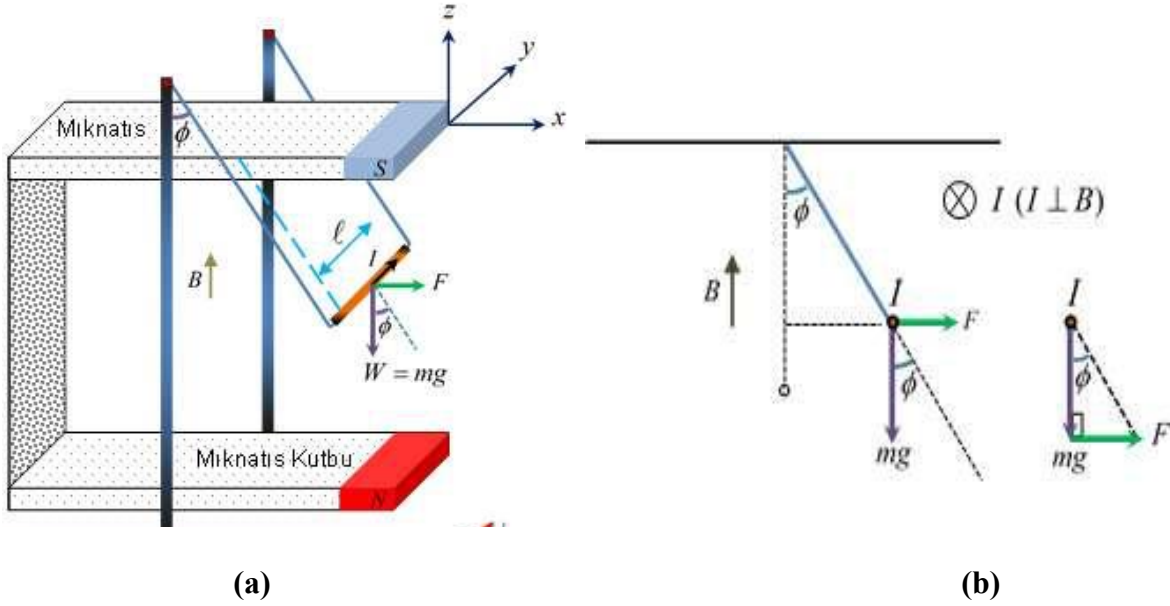
Akım	Tel Uzunluğu	Açı	Manyetik Alan
I	ℓ	θ	B
20A	12cm	60°	0.9T

Elektrik akımı doğrusal iletken tel üzerinden geçmeye başladığı anda, bu iletken tel üzerine bir manyetik kuvvet etki eder. Şiddeti 0.9T olan düzgün manyetik alan içerisinde bulunan telin $\ell = 12\text{cm}$ uzunluğundaki kısmına etki eden bu manyetik kuvvet F :

$$F = I\ell B \sin\theta$$

$$F = (20\text{A})(0.12\text{m})(0.9\text{T})(0.866)$$

$F = 1.87\text{N}$ hesaplanır. Manyetik kuvvetin yönü sayfa düzlemi içerisine doğrudur.



Şekil-5.3: Mıknatıs kutupları arasındaki manyetik alan içerisinde kalan ℓ uzunluklu yatay bir tele ağırlığından ve uygulanan akımdan dolayı etki eden kuvvetler (a). Manyetik kuvvetten dolayı m kütleli ve ℓ uzunluklu yatay iletken telin düşeyle yaptığı sapma ϕ -açısı (b). Akım yönü pozitif y eksenine yönündedir (sayfa düzlemi içerisine doğru).

Manyetik kuvvet deney düzeneğinde, mıknatıs kutupları arasında akım taşıyan yatay iletken telin ℓ uzunluklu kısmına etki eden manyetik kuvvet, farklı akım değerlerine göre incelenir (Şekil-5.3a). Akım yönü pozitif y ekseninden verilip, z ekseninde boyuna verilen manyetik alan yönüne diktir (Şekil-5.3b).

Akım ve manyetik alan yönü arasındaki açı $\theta = 90^\circ$ ($I \perp B$) deney boyunca sabit olup, akım taşıyan yatay iletken telin düşeyle yaptığı sapma açısı (ϕ) uygulanan akımın şiddetine göre değişim gösterir. Manyetik kuvvetin etkisiyle yatay iletken telin düşeyle yaptığı bu sapma açısı (ϕ) farklı doğru akım değerlerine göre deney düzeneğindeki açıölçer tarafından deneysel olarak bulunur.

Sapma açısının beklenen değerini hesaplamak için ise, manyetik alan içerisindeki yatay iletken tele etki eden kuvvetleri hesaplamak gerekir. Şekil-(5.3b) tarafından verilen geometri yardımıyla manyetik alan içerisinde akım taşıyan ℓ -uzunluğuna sahip doğrusal iletken tele etki eden kuvvetler incelendiğinde;

$$\tan \phi = \frac{F_G}{mg} \quad (5.4)$$

bağıntısı bulunur. Burada, yatay tel üzerine kütesinden dolayı etki eden yerçekimi kuvveti:

$$F_G = W = mg \quad (5.5)$$

tarafından verilir. Eşitlik-(5.3)'de verilen manyetik kuvvet F değeri Eşitlik-(5.4)'de yerine konursa;

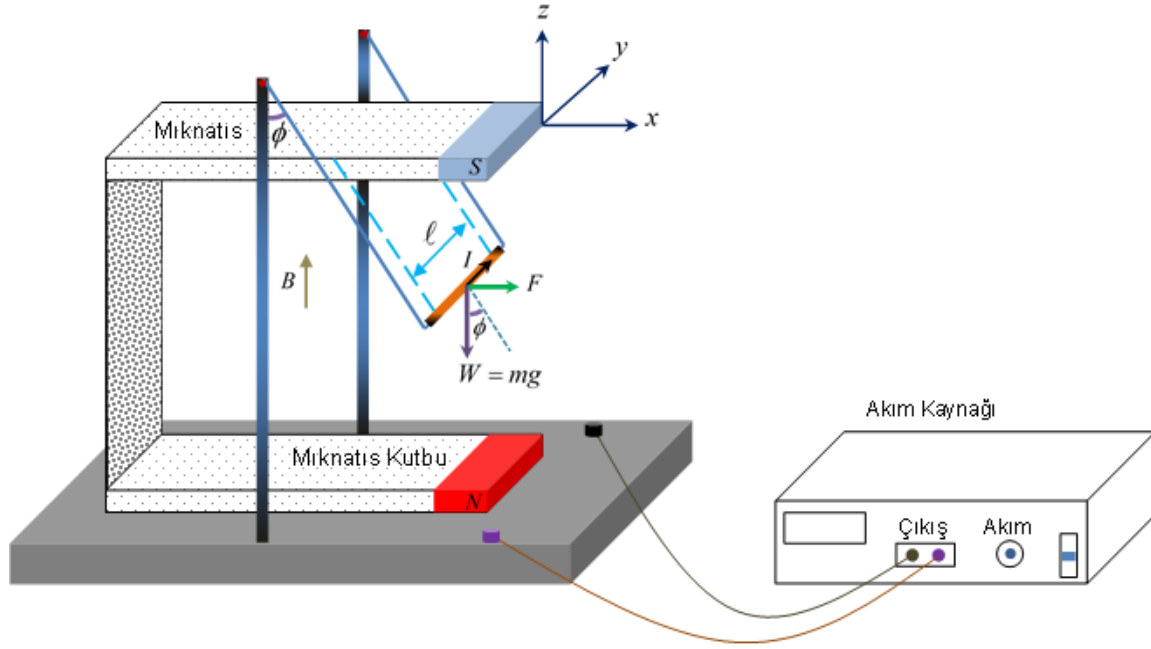
$$\tan\phi = \frac{I\ell B}{mg} \quad (5.6)$$

fonksiyonu elde edilir. Bu fonksiyon sapma açısı için yeniden düzenlenirse, yatay iletken telin düşeyle yaptığı sapma açısı ϕ :

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{I\ell B}{mg}\right) \quad (5.7)$$

olarak bulunur. Eşitlik-(5.6) tarafından verilen fonksiyon, uygulanan farklı akımlara göre yatay iletken telin düşeyle yaptığı sapma açısının ϕ beklenen (hesaplanan) değerini verir.

5.3 Deneyin Yapılışı



Şekil-5.4: Manyetik kuvvet deney düzeneği.

1) Şekil-(5.4)'de verildiği gibi, elektrik akım kaynağı, bağlantı kabloları yardımıyla deney düzeneğine bağlanır. Bu deney düzeneğinde;

- Mıknatısın oluşturduğu manyetik alan şiddeti, $B=72\text{mT}$,
- Yatay iletken telin toplam ağırlığı $m = 5.6\text{gr}$,
- Manyetik alan B ve akım I arasındaki sabit açı, $\theta=90^\circ$,
- Yatay iletken telin mıknatıs kutupları (manyetik alanı) içerisinde kalan kısmının uzunluğu, $\ell = 5.0\text{cm}$ olarak verilmektedir.

2) Akım kaynağı çalıştırılmadan önce, yatay iletken tel mıknatıs orta noktasında denge pozisyonuna gelecek şekilde dikey teller yardımıyla konumlandırılır.

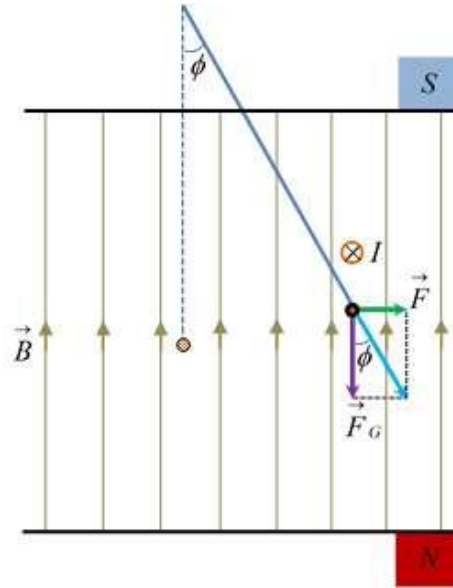
2.1. Burada, düzenekteki açı göstergesi kullanılarak dikey telin denge pozisyonundaki açısının (düşeyle yapılan açı) $\phi = 0^\circ$ olmasına dikkat edilir.

2.2. Yatay iletken telin ağırlığı m ve mıknatıs kutupları arasında kalan boyu ℓ deney tablosuna not edilir.

Deneyde Dikkat Edilecek Noktalar:

- Manyetik kuvvet deneyinde yatay iletken tele uygulanan akım değeri en fazla 4.0A olmalıdır.
- Elektrik akımı taşıyan yatay iletken telin ısınmaması için doğru akım kaynağından yatay tele uygulanan akım en fazla 15 dak. tutulmalıdır.
- Manyetik kuvvet hesaplamalarında yatay iletken telin uzunluğu, mıknatıs kutupları (manyetik alanı) içerisinde bulunan uzunluğu olarak alınmalıdır.
- Yerçekimi kuvvetinin etkisinde kalan kütle, yatay iletken telin toplam kütlesidir.

- 3) Doğru akım kaynağı çalıştırılarak, yatay iletken tele $I = 0.5A$ (DC) uygulanır.
- 4) Uygulanan akımdan dolayı yatay iletken telin mıknatıs içinde düşeyle belirli bir açıda durduğu gözlemlenir. Düşeyle yapılan bu açı (sapma açısı) ϕ , düzenekteki açı göstergesi tarafından dikey tel yardımıyla ölçülür.
- 5) Benzer şekilde, uygulanacak akım değerleri 0.5A aralıklarla artırılarak yatay telin düşeyle oluşturduğu açılar deney tablosuna kaydedilir.
- 6) Uygulanan her bir akım değeri için Eşitlik-(5.3) kullanılarak manyetik alanın tele uyguladığı manyetik kuvvet F hesaplanır.
- 7) Benzer şekilde, manyetik alan içerisinde bulunan yatay iletken tele ağırlığından dolayı etki eden yerçekimi kuvveti $F_G = mg$ hesaplanır.



Şekil-5.5: Yatay iletken tel üzerine etki eden manyetik kuvvet F ve yerçekimi kuvveti F_G .

- 8) Şekil-(5.5) ve Eşitlik-(5.7)'de verilen bağıntı kullanılarak, yatay telin düşeyle yaptığı sapma açısına ait beklenen değer ϕ' hesaplanır.
- 9) Ölçerek ve hesaplanarak bulunan sapma açısı değerleri arasındaki fark ($\Delta\phi$) belirlenir.
- 10) Sapma açısının deneysel ve beklenen değerler arasındaki yüzde fark oranı ($\pm\%$) hesaplanır. Bu işlem için:

$$Hata \% = \left| \frac{Beklenen - Deneyisel}{Beklenen} \right| \times 100$$

$$Hata \% = \left| \frac{\phi' - \phi}{\phi'} \right| \times 100$$

bağıntısı kullanılır.

11) Uygulanan her bir akım için yatay telin düşeyle yaptığı açı incelenerek, tel üzerinden geçen akım değerine göre manyetik kuvvetin nasıl değiştiği yorumlanır.

5.4 Deney Raporu

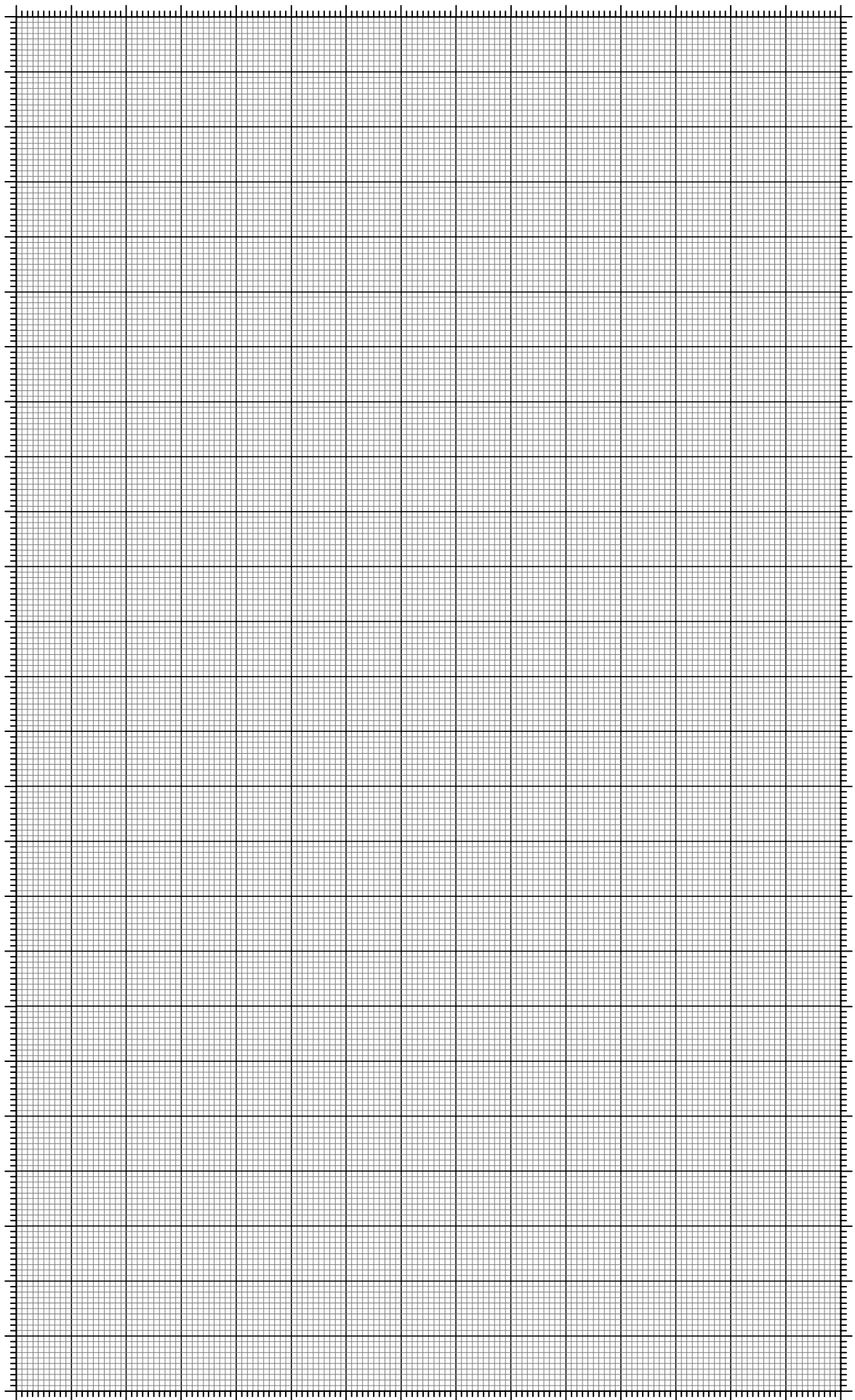
Adı ve Soyadı:	_____
Bölüm:	_____
Öğrenci No:	_____
Tarih:	_____

Tablo-1: Manyetik kuvvet deneyi veri tablosu.

Test Parametreleri			Yerçekimi Kuvveti	Uygulanan Akım	Manyetik Kuvvet	Ölçülen Aç	Beklenen Aç	Fark	Fark (%)
$B(T)$	$\ell(m)$	$m(kg)$	$F_G(N)$	$I(A)$	$F(N)$	$\phi(der)$	$\phi'(der)$	$\Delta\phi(der)$	$\Delta\phi(\pm\%)$
0.072	0.05	0.0056	0,055	0.5					
				1.0					
				1.5					
				2.0					
				2.5					
				3.0					
				3,5					
				4.0					

Tablo-(1)'de kullanılan kısaltmalar;

$B(T)$:	Mıknatısın oluşturduğu düzgün manyetik alan,
$\ell(m)$:	Yatay iletken telin, mıknatıs kutupları (manyetik alanı) içerisinde kalan kısmının uzunluğu,
$m(kg)$:	Yatay iletken telin toplam kütlesi,
$F_G(N)$:	Yatay tele kütlesinden dolayı etki eden yerçekimi kuvveti ,
$I(A)$:	Yatay iletken tele uygulanan doğru akım,
$F(N)$:	Yatay iletken tele etki eden manyetik kuvvet ,
$\phi(der)$:	Yatay iletken telin düşeyle yaptığı sapma açısının ölçülen (deneysel) değeri,
$\phi'(der)$:	Düşeyle yapılan sapma açısının hesaplanan (beklenen) değeri,
$\Delta\phi(der)$:	Ölçülen (deneysel) ve hesaplanan (beklenen) açı değeri arasındaki fark,
$\Delta\phi(\pm\%)$:	Ölçülen (deneysel) ve hesaplanan (beklenen) açı değeri arasındaki yüzde fark.



6. AKIM TERAZİSİ

6.1 Amaç

Bu deneyin amacı, düzgün bir manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen bir iletken etki eden manyetik kuvveti akım terazisi ile incelemektir. Deneyde;

- Elektrik akımının manyetik kuvvet üzerine etkisi,
- İletken tel uzunluğunun manyetik kuvvet üzerine etkisi,
- İletken tel ile manyetik alan arasındaki açının manyetik kuvvet ile bağıntısı,
- Bobin açısının manyetik kuvvet üzerine etkisi,

araştırılacaktır.

6.2 Akım Taşıyan Tele Etkiyen Manyetik Kuvvet

Düzgün bir manyetik alan içerisindeki akım taşıyan tel genellikle manyetik kuvvet olarak nitelendirilen bir kuvvete maruz kalır. Manyetik alan içerisindeki uzunluğu ℓ olan düz bir telin üzerindeki manyetik kuvvetin, F yönü her zaman iletken tel ve manyetik alana, B diktir. Manyetik alan içerisinde akım taşıyan iletken tele etki eden manyetik kuvvet F matematiksel olarak;

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B} \quad (6.1)$$

vektör çarpımı ile ifade edilebilir. Burada;

F : Manyetik alanın tele uyguladığı kuvvet,

I : İletken tel üzerinden geçen akım değeri,

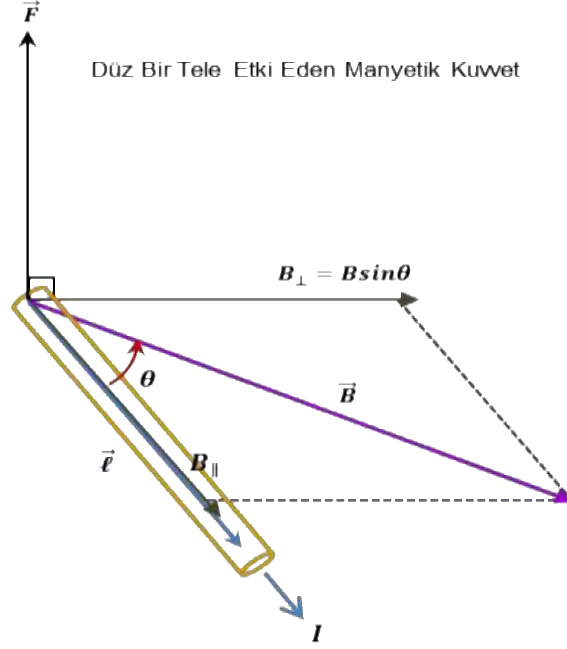
ℓ : İletken telin manyetik alan içinde kalan kısmının uzunluğu,

B : Manyetik alan şiddetidir.

Eşitlik-(6.1), manyetik alanda bulunan ve üzerinden I akımı geçen telin, ℓ uzunluğunda doğrusal bir tel olması ve manyetik alanının düzgün (uniform) olması durumunda geçerlidir. Eğer manyetik alan düzgün değil ve iletken tel doğrusal değilse, üzerinden akım geçen tel, doğrusal kabul edilebilecek sonsuz küçük $d\ell$ uzunluğundaki elemanlara bölünür. Bu durumda telin her bir

$d\ell$ elemanına etki eden manyetik kuvvet aşağıda verildiği şekilde olur;

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B} \quad (6.2)$$



Şekil-6.1: Manyetik alan içerisindeki akım taşıyan düz (doğrusal) bir tel üzerindeki manyetik kuvvet (F).

Şekil-(6.1)'de düzgün bir manyetik alan (B) içinde uzunluğu ℓ olan ve I akımı taşıyan düz bir tel verilmiştir. Akım taşıyan tel, B manyetik alanı ile herhangi bir θ açısı yaparsa, yani manyetik alan B , tele dik değil ve tel ile arasında bir θ açısı varsa, sadece B manyetik alanın tele dik olan bileşeni manyetik bir kuvvet uygular. Manyetik alanın bu bileşeni:

$$B_{\perp} = B \sin \theta \quad (6.3)$$

olarak verilir. Bu nedenle, akım taşıyan telin, ℓ uzunluklu doğrusal bir tel olması ve manyetik alanının düzgün olması durumunda bu telin tamamına etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü;

$F = I \ell B_{\perp} = I \ell B \sin \theta$

(Deneyisel)

$$(6.4)$$

olacaktır. Manyetik alan içinde akım taşıyan tel üzerindeki manyetik kuvvet (B), ℓ ve manyetik alan (B) yönüne diktir.

Eşitlik-(6.4)'de verilen manyetik kuvvet (F) hem akım geçen tele, hem de manyetik alana diktir. Manyetik kuvvetin büyüklüğü ve yönü aşağıda verilen değişkenlere bağlıdır;

- Teldeki akımın büyüklüğü,
- Manyetik alan içerisindeki telin uzunluğu ,
- Düzgün manyetik alan ve,
- Tel (akım yönü) ile manyetik alan arasındaki açı .

Manyetik alanın (B) akımın (I) yönüne dik olması koşulunda ($\theta = 90^0$), manyetik kuvvetin büyüklüğü aşağıdaki şekilde yazılır;

$$\boxed{F = I\ell B} \quad (\text{DeneySEL}) \quad (6.5)$$

Manyetik alan içinde I akım taşıyan iletken telin ℓ uzunluğunda doğrusal bir tel olması durumunda bu telin tamamına etki eden manyetik kuvvet deneysel olarak Eşitlik-(6.5)'de verilen bağıntıyla bulunur.

Bu nedenle, akım terazisi ile yapılacak olan bir deneyde;

- Eğer akımın (I) yönü manyetik alanın (B) yönüne dik ise ($\theta = 90^0$), tel üzerindeki manyetik kuvvet (F) maksimum (en büyük) olur (Eşitlik-5).
- Eğer akım, (yani, tel) manyetik alan çizgilerine paralel ($\theta = 0^0$) ise, telin manyetik alan içinde kalan boyu (ℓ) üzerindeki kuvvet sıfırdır (tel üzerine etkiyen bir kuvvet yoktur).

Bir iletken tel üzerinden geçen akım, hareket eden elektrik yüklerini içerdiği için serbest hareket eden bu yüklü parçacıkların manyetik alan içerisinde geçerken kuvvetinin etkisinde kalması beklenir (birim zamanda birim kesitten geçen yük miktarı elektrik akımını verir). Manyetik alan B, v hızı ile hareket eden bir yükü (parçacık) üzerine:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (6.6)$$

olarak bir kuvvet uygular.

Akım taşıyan iletken bir tel manyetik alan içerisine yerleştirildiğinde bir kuvvete maruz kalır. Akımın çok sayıda yüklü parçacıktan oluşması nedeniyle tele etki eden net kuvvet, her bir yüklü parçacığa etkiyen kuvvetlerin toplamıdır. Eşitlik-(6.6), sayıda yüklü parçacıktan birine etkiyen kuvveti verir. Tek bir yüklü parçacık, manyetik alan içinden geçerken Eşitlik-(6.6) tarafından verilen bir kuvvet etkisinde kalıyorsa, bu kuvvetin büyüklüğü aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F = qvB\sin\theta \quad (6.7)$$

Burada, θ ; v ve B arasındaki açıdır. Manyetik alan içerisinde hareket eden yüklü bir parçacığın v hız vektörü, B manyetik alan vektörüyle bir açısı yaparsa, parçacığa etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü $\sin\theta$ ile orantılı olarak değişecektir.

Eşitlik-(6.7)'de görüldüğü gibi, yüklü parçacık manyetik alan vektörüne dik yönde hareket ettiği zaman, bu durumda parçacığa etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü maksimum olacaktır ($\theta = 90^\circ$);

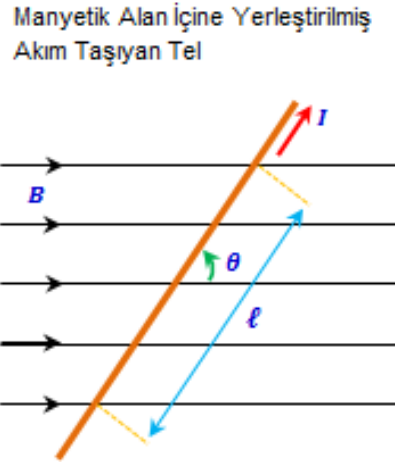
$$F_{max} = qvB \quad (6.8)$$

- Bu kuvvetin yönü, manyetik alan B vektörü ile parçacığın hız vektörünün oluşturduğu düzleme diktir.

Manyetik alan hareket eden yükler üzerine kuvvet uygular. Manyetik alanında hareket eden yüklü bir parçacığa etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü ve yönü, parçacığın v hız vektörü ile B manyetik alan vektörünün yönüne bağlıdır;

- Eğer, yüklü bir parçacık manyetik alan vektörüne paralel yönde hareket ederse ($\theta = 0^\circ$) bu parçacığa etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü sıfır olur.
- Buna karşılık, v vektörü B vektörüne dik olduğunda ($\theta = 90^\circ$), parçacığa etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü maksimum değerini alır.
- Yüklü parçacığın v hız vektörü manyetik alanla (B) bir θ -açısı yaparsa, F manyetik kuvvet vektörü, v ve B vektörlerinin oluşturduğu düzleme dik yönde etki eder.

Manyetik alanın birimi Tesla (T) olup, $1 \text{ T} = 1 \text{ N} / \text{m.A}$ olarak ifade edilebilir. Manyetik alanı belirtmek için kullanılan diğer bir birim gauss (G)'dur ve $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$ olarak dönüştürülebilir. Bu nedenle, olarak verilen bir manyetik alan hesaplamalarda daima birimine çevrilmelidir.



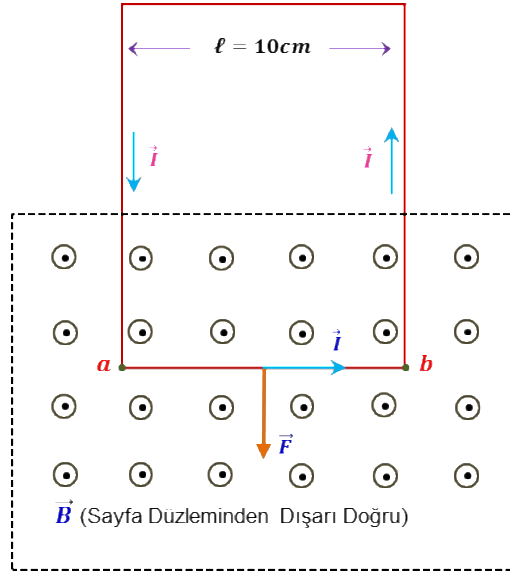
Şekil-6.2: Düzgün bir manyetik alan içerisinde üzerinden elektrik akımı geçen doğrusal bir tel.

Örnek olarak, bir mıknatısın iki kutbu arasında $\theta = 60^\circ$ açısıyla duran uzunluğu 12 cm olan ve 20A akım taşıyan düz bir tel düşünelim (Şekil-6.2). Ortam düzgün bir manyetik alana sahiptir $B = 0.9 \text{ T}$. Akım tel içerisinde geçtiği zaman, tel üzerine bir kuvvet etki eder. Tel üzerindeki bu manyetik kuvvetin beklenen büyüklüğünü aşağıda verilen verileri kullanarak bulabiliriz;

Akım	Tel Uzunluğu	Açı	Manyetik Alan
I	ℓ	θ	B
20A	12cm	60°	0.9T

Düzgün manyetik alan (B) içerisindeki 12 cm uzunluğundaki tel üzerindeki kuvvetin büyüklüğü şu şekilde hesaplanır:

Burada, ℓ uzunluğu mıknatısın kutupları arasındaki akım geçen telin uzunluğunu göstermektedir.



Şekil-6.3: Manyetik alan içerisinde akım taşıyan tel döngüsüne etkiyen manyetik kuvvet.

Şekil-(6.3)'te gösterildiği gibi manyetik alan içine yerleştirilen I akımı taşıyan dikdörtgen bir tel döngüsü düşünün. Akım döngüsü, sayfa düzleminden dışarı doğru yönelmiş (tele diktir) düzgün bir manyetik alan bölgesi içindedir. Manyetik alan içindeki telin yatay kısmının uzunluğu $\ell=10$ “ab” boyunca düzgündür ve bu tel döngüsünün (akım döngüsü) üst kısmı manyetik alanın dışındadır. Tel döngüsü 0.4 A büyüklüğünde bir akım taşıdığı anda, döngü aşağı yönde 0,03 N’luk bir manyetik kuvvet ile dengede (asılı) durmaktadır. Manyetik alanın büyüklüğünü bu verileri kullanarak bulabiliriz.

Şekil-(6.3)'te verilen akım döngüsünü (tel döngüsünü) incelediğimiz zaman, tel döngüsünün üç (3) düz kısmının manyetik alan (B) içerisinde olduğunu görürüz.

Düzgün manyetik alan içinde bulunan üzerinden akım geçen iletken tel döngüsüne manyetik alan tarafından bir kuvvet etki eder. Döngü bir yatay ve iki dikey kısımdan oluşmuştur. Üç kısma etkiyen toplam (net) manyetik kuvvet her bir kısma etkiyen kuvvetlerin vektör toplamıdır:

- 1) Telin sol dikey kısmına etkiyen manyetik kuvvetin F_1 yönü sola doğrudur.
- 2) Sağ dikey kısmına etkiyen manyetik kuvvetin F_2 yönü sağa doğrudur.
- 3) Bu iki kuvvet eşit ($F_1=F_2$) ve zıt yöndedir, bu yüzden toplandığı zaman sıfırı verir.
- 4) Akım döngüsüne etkiyen NET manyetik kuvvet F sadece uzunluğu $\ell=0.1$ m olan telin manyetik alan içinde kalan yatay kısmı “ab” üzerindedir.
- 5) Manyetik alan B ve üzerinden I akımı geçen yatay iletken tel arasındaki açı, $\theta = 90^\circ$ olacak şekildedir, yani akım ve manyetik alan birbirine diktir. Böylece $\sin 90=1$ bulunur.
- 6) Verilen değerler kullanarak, manyetik alan büyüklüğü B şu şekilde bulunur;

$$F = 3.0 \times 10^{-2} N$$

$$I = 0.4 A$$

$$\ell = 0.1 m$$

$$F = I \ell B \sin \theta$$

$$F = I \ell B$$

$$B = \frac{F}{I \ell} = \frac{3.0 \times 10^{-2} N}{(0.4 A)(0.10 m)} = 0.75 T$$

6.3 Akım Terazisi



(a)



(b)

Şekil-6.4: Dijital akım terazisi (a) ve ana ünite (b).

Akım terazisi deney seti ile deneyde aşağıda verilen üç değişkeni değiştirebilirsiniz:

- Devreden geçen akım I ,
- Düzgün bir manyetik alan içerisinde I elektrik akımı taşıyan telin ℓ uzunluğu ,
- Akım taşıyan tel ve manyetik alan arasındaki etkileşimi incelemek için tel ve manyetik alan arasındaki θ açısı.

Deneyin ilk iki bölümünde mıknatısın kutupları arasında farklı yatay uzunluklarda (test uzunluğu) akım döngüleri kullanılır. Bu nedenle, test uzunluklarının önceden bilinmesi gerekmektedir. Akım döngüleri ve ilgili test uzunlukları konusu, deneyin yapılışı bölümünde daha ayrıntılı açıklanacaktır.

Değişken döngü boylu akım devresi (akım döngüleri) düzenekte doğru akım kaynağına bağlanır. Deneyin ilk bölümünde (Deney-1) manyetik alan, akımın yönüne dik olarak kabul edilir ve akım döngülerindeki tel uzunluğu (ℓ) sabit tutulur. Akım devresinin kullanıldığı bu deneyde ℓ ve B vektörleri her noktada birbirine dik olduğundan $\sin\theta=1$ 'dir. Dolayısıyla, üzerinden akım geçen iletken tele etki eden (her zaman manyetik alana ve akıma dik olan) bu manyetik kuvvetin büyüklüğü, $F = I\ell B$ olacaktır. Manyetik kuvvetin (F) akımın (I) fonksiyonu olarak grafiğinin çizilmesi durumunda, bu F - I grafiğinin eğimi;

$$Eğim = \ell B$$

(Deneysel)

(6.9)

Deneyin ikinci bölümünde (Deney-2), değişken döngü boylu akım devresine uygulanan akım (I) sabit tutulur ve farklı tel uzunlukları için manyetik kuvvetin tel uzunluğu ile değişmesi incelenir. Manyetik kuvvetin (F) tel uzunluğunun (ℓ) fonksiyonu olarak grafik çizilirse, bu F- ℓ grafiğinin eğimi;

(6.10)

Deneyin üçüncü bölümünde (Deney-3) dönen bobin devresi kullanılır (akım devresi değil) ve manyetik kuvvetin, açı (θ) ile değişimi incelenir. Dönen bobin devresine uygulanan akımın (I) sabit olması koşuluyla, mıknatıs takımının kutupları arasındaki bobin devresi belirli açılarda döndürülür. Eğer manyetik alan B, üzerinden akım geçen iletken tele dik değilse manyetik kuvveti bulmak için manyetik alanın (B) tele dik bileşeni alınır. Bu durumda bobin devresinde iletken tele etki eden manyetik kuvvet, $F = I\ell B \sin\theta$ eşitliği ile bulunur. Burada, θ açısı; manyetik alanla üzerinden akım geçen telin arasındaki açıdır. Dolayısıyla, deney verileri kullanılarak F-sin θ grafiğinin çizilmesi durumunda, bu grafiğin eğimi;

(6.11)

Sonuç olarak, akım terazisi ile yapılan deneylerde;

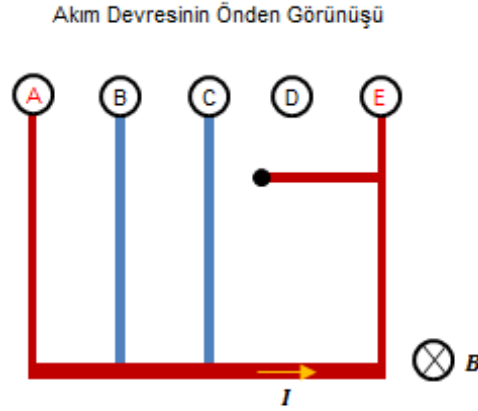
- Manyetik kuvvetin büyüklüğü, telden geçen akıma bağlıdır ve doğru orantılıdır.
- Kuvvetin büyüklüğü, akım taşıyan telin boyu ile orantılıdır.
- Manyetik kuvvetin büyüklüğü ile orantılı olarak değişir.
- Manyetik kuvvet, manyetik alan vektörüne ve aynı zamanda akıma diktir.
- Manyetik kuvvet, manyetik alan vektörünün dik bileşeni ile orantılıdır.

6.4 Deneyin Yapılışı

Bu deneyde, manyetik alan içinde akım taşıyan bir telin mıknatıs üzerine uyguladığı manyetik kuvvet incelenecektir. Tel uzunluğu, telin üzerinden geçen akım ve manyetik alanla üzerinden akım geçen telin arasındaki açı değiştirilerek mıknatıs üzerine etkiyen kuvvet deneysel olarak ölçülecektir.

Deney Notu: Bu deneyde, kuvvet (F) ölçümü olarak gram (g) cinsinden kütle okumaları kullanılacaktır. g eşitliğinde verildiği gibi kütlenin (m) kuvvet ile orantılı olduğunu düşünmelisiniz. Eğer kuvvet değerini bulmak isterseniz, newton (N) cinsinden kuvvet elde etmek için kütle okumasını (gram) kolayca standart kütle birimine “ kg” çevirip, sonrasında her kütle okumasını yer çekimi ivmesi ile çarpabilirsiniz. Bu, mıknatıs içerisindeki bir telden akım geçirildiğinde oluşan manyetik kuvvetin büyüklüğünü verecektir.

Deney-1 Elektrik Akımının Manyetik Kuvvet Üzerine Etkisi



Şekil-6.5: Değişken döngü boylu akım devresinin önden görünüşü.

Deneyin bu bölümünde, ana üniteye (iletken taşıyıcıya) bağlantısı yapılmış akım devresinde farklı yatay uzunluklarda (test uzunluklarında) akım döngüleri için ölçümler alınacaktır.

Şekil-(6.5)’te değişken yatay tel uzunlukları içeren akım devresi (döngüsü) verilmiştir. Manyetik alan (B) akımın yönüne diktir. Akım taşıyan telin yatay kısmı, ℓ uzunluklu doğrusal bir tel olması ve B manyetik alanının düzgün olması nedeniyle bu telin tamamına (yani test uzunluğuna) etki eden manyetik kuvvet, $F = I\ell B$ olur ($\theta = 90^\circ$). Sabit açıda $\theta = 90^\circ$, eğer ℓ , I ve B değişkenlerinden herhangi iki test parametresi sabit tutulur ve sonrasında üçüncü parametreye karşı F grafiği çizilirse, düz bir çizgi elde edilir. Manyetik alan (B) ve değişken döngülü akım devresi için test uzunluğu (ℓ) sabit değerler olarak alınır ve akıma karşı manyetik kuvvet doğrusal grafiği çizilirse, bu grafiğin eğimi “ ℓB ” çarpımını verecektir.

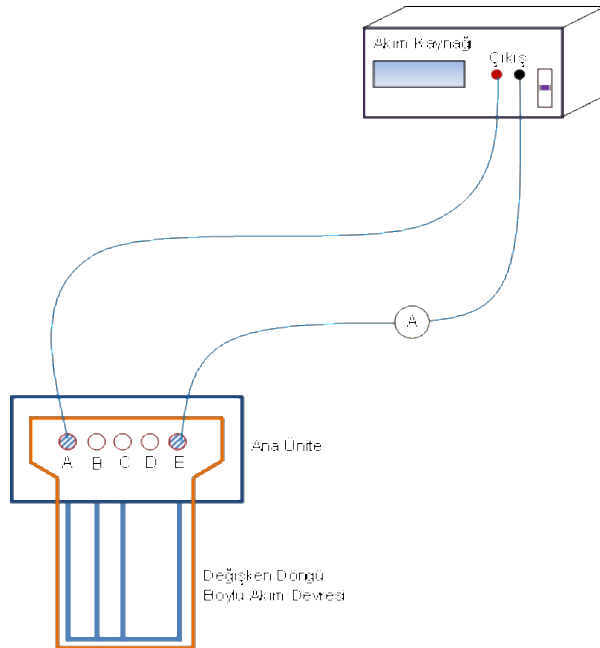
Böylece, manyetik alanın büyüklüğü deneysel olarak bulunabilir;

$$\theta = 90^\circ$$

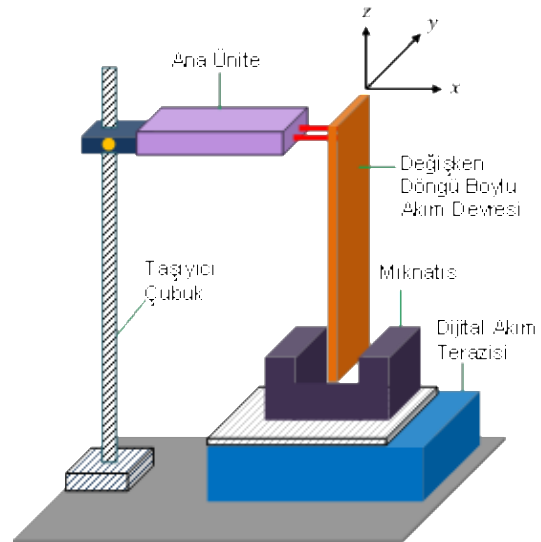
Sabit		Değişken	
ℓ	B	I	F

Mıknatısın kutupları arasındaki akım geçen değişken döngü boylu akım devresinin yatay tel uzunlukları (test uzunlukları) aşağıda verildiği gibidir:

Test Uzunluğu (cm)	Akım Döngüsü
1.0	AB veya BC
2.0	AC veya CE
3.0	BE veya ED
4.0	AE
5.0	CD
6.0	BD
7.0	AD



(a)



(b)

Şekil-6.6: Ana üniteye tutturulmuş değişken döngü boylu akım devresinin akım kaynağına bağlanması (a) ve dijital terazi üzerindeki mıknatısın kutuplarının orta noktasına akım devresinin yerleştirilmesi (b).

Uyarı: Düzgün bir manyetik alan içerisinde üzerinden akım geçen bir iletkene etki eden manyetik kuvveti akım terazisi ile belirlemek için farklı akım döngüleri (test uzunlukları) kullanılacaktır. Akım terazisi deney düzeneğinde bu akım döngülerine **uygulanan elektrik akımı 5 amperi ($I=5A$) geçmemelidir.**

Deney işlemleri aşağıda verildiği gibidir:

1. Şekil-(6.6a)'da gösterilen deney düzeneği kurulur.
2. 5 mm aralıklı mıknatıs grubunu dijital terazinin üzerine yerleştirilir.
3. Değişken döngü boylu akım devresi (döngü kartını) ana üniteye (iletken taşıyıcıya) takılır.
 - 3.1. En kısa yatay tel uzunluğa sahip döngü akım taşıyan döngü kartından seçilir.
 - 3.2. Seçilen akım taşıyan tel uzunluğu (test uzunluğu) $\ell=\ell_1$ olarak not edilir.
4. Akım taşıyan döngü kartının (akım devresi) alt kısmını, mıknatıslara değmeyecek şekilde mıknatıs kutuplarının (manyetik yuvarın) arasına yerleştirilir (Şekil-6.6b);
 - 4.1. Düzenekte, döngü kartı düzleminin mıknatıs grubuna paralel olmasına ve mıknatıs kutuplarına değmemesine önemle dikkat edilmelidir. Eğer gerekiyorsa ana ünitenin yüksekliği tutucusu tarafından ayarlanır.
 - 4.2. Akım döngüsü düzleminin mıknatıs grubunun yuvasına paralel olması durumunda, akım I yönü (yani iletken tel) ile manyetik alan B arasındaki açı $\theta = 90^0$ olacaktır.
5. Döngüden akım geçmezken (devrede akım yokken), dijital terazinin “Tare” butonuna basılır ve dijital ekranda $m=0.00$ g değeri görülür.
6. Şimdi, ana üniteye bağlı DC akım kaynağı seçilir.
7. Akım (I) ve kuvvet (F) arasındaki ilişkiyi incelemek için devreye uygulanan akım $I = 0$ A değerinden başlayarak maksimum 4.5 ampere çıkana kadar 0.5 ampere aralıklarla artırılır.
 - 7.1. Akım devresine uygulanan her akım değeri için mıknatıs takımının yeni kütlesi (m) dijital teraziden okunur.
 - 7.2. Eğer artan akım değerine karşılık dijital terazi okuması (mıknatıs takımının kütlesi) azalıyorsa manyetik alan içerisindeki akımın yönü Şekil- (6.6a)'da gösterildiği gibi değildir. Bu durumda akım devresinin bağlı olduğu ana üniteye bağlantılar ters çevrilir.
8. Tel uzunluğu (ℓ), uygulanan akım değerleri (I) ve buna karşılık gelen dijital terazi okumaları (m) verileri Tablo-(1)'e not edilir.
9. Yukarıdaki işlemler farklı akım taşıyan tel uzunlukları (ℓ) için tekrar edilir ve akım değerleri ile bunlara karşılık gelen dijital teraziden okunan kütle değerleri (m) not edilir.
10. Manyetik kuvveti (F) bulmak için dijital terazi okuması (m), yer çekimi ivmesi ile çarpılır.

11. Uygulanan akıma (I) karşı manyetik kuvvet (F) grafiğı çizilir.

11.1. Bu grafikte, veri noktalarına en uygun doğru çizilir ve bu doğrunun eğimi bulunur.

11.2. En uygun doğrunun eğiminden yararlanarak, mıknatısın oluşturduğu manyetik alan şiddeti (B) deneysel olarak bulunur (en uygun doğrunun eğimi, " ℓB " değerine karşılık gelir).

11.3. DENEYSEL bulunan bu manyetik alan şiddeti (B), birimi ile birlikte not edilir.

Deney-2 Manyetik Kuvvetin Tel Uzunluğu ile Değışmesi

1. Deney-1'de hazırlanan düzenek bozulmadan değışken döngü boylu akım devresine uygulanan akım sıfırlanır.

2. Akım devresinde tel uzunluğu (ℓ) en kısa olacak şekilde ayarlanır.

3. Dijital terazideki "Tare" butonuna basarak, $m = 0.00g$ değeri (dijital terazi okuması) ayarlanır.

4. Şimdi, akım $I = 3.0 A$ değerine ayarlanarak bu tel uzunluğu (test uzunluğu) için terazinin gösterdiği değer (m) okunur ve not edilir.

5. Uygulanan akım sıfırlanır ve akım kaynağı bağlantıları ana üniteden çıkarılır.

5.1. Deney işlemleri, tel uzunlukları arttırarak farklı tel uzunlukları (ℓ) için tekrarlanır.

5.2. Farklı tel uzunlukları (ℓ) ve bu uzunluklara karşılık ölçülen kütle değerleri (m) Tablo-(6)'ya not edilir.

6. Manyetik kuvveti (F) bulmak için her tel uzunluğuna karşılık dijital teraziden okunan kütle değeri (m), yer çekimi ivmesi ile çarpılır.

7. Manyetik kuvvet (F) tel uzunluğunun (ℓ) bir fonksiyonu olarak çizilir.

7.1. Veri noktalarından geçen en uygun doğrunun eğimi bulunur.

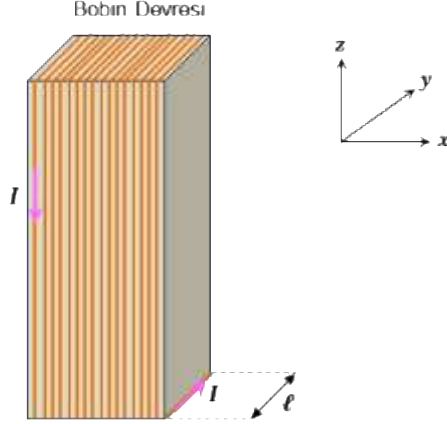
7.2. Eğimin birimi belirlenir.

7.3. Bu doğrunun eğimi, " IB " çarpımına (akım değeri ile manyetik alan büyüklüğünün çarpımına) eşit olacaktır.

8. Doğrunun eğimi kullanılarak mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü hesaplanır. Hesaplanan bu değer Deney-1'de bulunan değer ile karşılaştırılır.

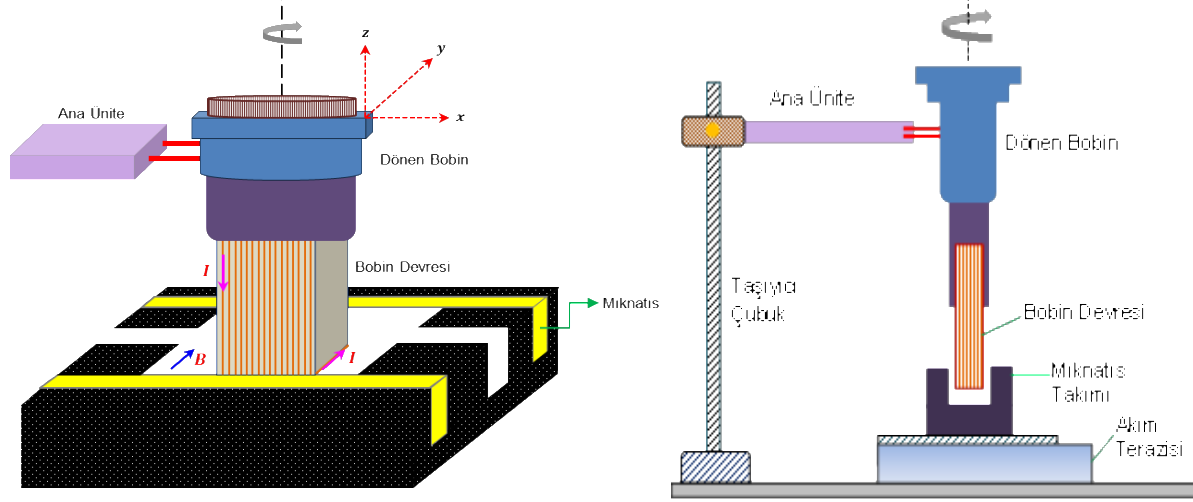
Deney-3 Manyetik Kuvvetin Açı ile Değişmesi

Uyarı: Deneyin bu bölümünde dönen bobin devresi kullanılacaktır. Dönen bobin, mıknatıs kutupları arasından geçecek şekilde mıknatlara değmeden manyetik yuvaya yerleştirmelidir.



Şekil-6.7: Akım taşıyan bobinin yatay uzunluğu.

1. Dijital terazi üzerine 22 milimetrelilik yuva genişliği olan mıknatıs takımı yerleştirilir.
2. Dönen bobin devresindeki yatay tel uzunluğu ölçülerek not edilir.
 - 2.1. Bu deneyde, 22 mm mıknatıs takımı arasına yerleştirilen dönen bobinin yatay alt kısmında bulunan tek bir telin uzunluğu $\ell' = 1.45$ cm olarak verilir;
 - 2.2. Toplam iletken (tel) uzunluğunu elde etmek için bobinin yatay alt kısım uzunluğunu (ℓ') sarım sayısı ($N=10$) ile çarpılır.
 - 2.3. Mıknatıs takımı içine yerleştirilen bu toplam tel uzunluğu $\ell = 14.5$ cm (veya $\ell=0.145$ m) olarak not edilir (Şekil-6.7);
3. Dönen bobin devresi ana üniteye takılır.
 - 3.1. Dönen bobin devresi üzerindeki tel kısmı mıknatıs takımının kutupları arasından geçecek ve mıknatlara kesinlikle değmeyecek şekilde yerleştirilmelidir.
 - 3.2. Bu işlem için eğer gerekiyorsa ana ünitenin yüksekliği ayarlanır.
4. Dönen bobin devresi mıknatıs takımının kutupları arasından geçecek şekilde yerleştirilir. Bobin devresinin tel kısımları mıknatlara kesinlikle değmemelidir.
5. Bobinden akım geçmezken dijital terazinin "tare" butonuna basarak göstergede $m = 0.00$ gram değeri görüntülenir.
6. Başlangıç olarak açı (θ), bobinin yatay alt düzlemindeki telleri manyetik alana paralel olacak şekilde "0" dereceye ayarlanır;
 - 6.1. Bobinin yatay alt düzlemindeki tellerin (akımın) başlangıç yönü, Şekil-(6.8a)'da verilen koordinat sisteminde gösterildiği gibi manyetik alana (B) paralel olmalıdır.
 - 6.2. Şimdi, bobin devresinin açısı $\theta = 0^\circ$ olarak ayarlanır.
7. Akım kaynağı ana üniteye bağlanır ve akım $I = 3.0$ A sabit değerine ayarlanır.



Şekil-8: Dönen bobinin $I \parallel B$ ($\theta = 0^\circ$) olacak şekilde 22mm'lik mıknatıs seti içindeki başlangıç konumu (a) ve bobinin son konumu ($I \perp B, \theta = 90^\circ$) (b).

Not: Ölçümler öncesi akım değerinden başlayarak artırılır ve bu artışlara karşılık gelen dijital terazideki kütle değerleri gözlemlenir. Eğer terazide okunan kütle değerleri (), akım arttıkça azalıyorsa manyetik alan içerisindeki akım yönü ana ünite üzerindeki bağlantılar ters çevrilerek değiştirilmelidir.

8. Akım tekrar $I = 3.0 \text{ A}$ değerine ayarlanır.

8.1 Uygulanan sabit akım değerinde ($I = 3.0 \text{ A}$) bobin devresi; $\theta = 0^\circ$ açısından $\theta = 90^\circ$ açısına kadar saat yönünde $\theta = 10^\circ$ aralıklarla döndürülür.

8.2 Her bir açı değerlerine karşılık gelen dijital terazi okumaları (m) not edilir.

9. $\theta = 90^\circ$ açısındaki son veriyi aldıktan sonra akım kaynağını kapatılır (Şekil-6.8b).

Not: Tel üzerine etki eden manyetik kuvvet (F), $\theta = 90^\circ$ açısında maksimum değerini almalıdır. Bir diğer ifadeyle, bu açı değeri için en büyük dijital terazi okuması (m) bulunmalıdır

10. Manyetik kuvveti (F) bulmak için her dijital terazi okuması (m), yer çekimi ivmesi ile çarpılır.

11. Tablo-7'deki manyetik kuvvet (F) değerlerini dönen bobinin farklı açıları için doldurulur.

12. Şimdi, her bir açı değeri için (akım yönü ve manyetik alan arasındaki açı), değerleri hesaplanır ve not edilir.

13. $F \cdot \sin\theta$ grafiği çizilir.

13.1. Grafiğe en uygun olan doğru belirlenir ve bu doğrunun eğimi bulunur.

13.2. Eğimin birimi belirlenir.

14. Eğim kullanarak, mıknatısın oluşturduğu manyetik alan şiddeti (B) deneysel olarak hesaplanır.

15. Bu mıknatıs takımı için bulunan değeri, Deney- 1 ve Deney-2'de bulunan değerlerle karşılaştırılır.

6.5 Deney Raporu

Adı ve Soyadı: _____

Bölüm: _____

Öğrenci No: _____

Tarih: _____

Deney-1

Elektrik Akımının Manyetik Kuvvet Üzerine Etkisi

Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan telin uzunluğu, : 0.01 (1.0cm)

Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90^0 (sabit)

Eğim — :

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-1: Manyetik alan içinde akım taşıyan uzunluğundaki telin üstüne etkiyen manyetik kuvvet.

Tel Uzunluğu	Akım	Dijital Terazi Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
0.01	0.0				
	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				

Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan telin uzunluğu, : 0.04 (4.0cm)

Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90^0 (sabit)

Eğim — :

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-2: Manyetik alan içinde akım taşıyan uzunluğundaki telin üstüne etkiyen manyetik kuvvet.

Tel Uzunluğu	Akım	Dijital Terazi Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
0.04	0.0				
	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				



Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan telin uzunluğu, : 0.05 (5.0cm)

Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90^0 (sabit)

Eğim — :

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-3: Manyetik alan içinde akım taşıyan uzunluğundaki telin üstüne etkiyen manyetik kuvvet.

Tel Uzunluğu	Akım	Dijital Terazi Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
0.05	0.0				
	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				



Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan telin uzunluğu, : 0.06 (6.0cm)

Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90^0 (sabit)

Eğim — :

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-4: Manyetik alan içinde akım taşıyan uzunluğundaki telin üstüne etkiyen manyetik kuvvet.

Tel Uzunluğu	Akım	Dijital Terazi Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
0.06	0.0				
	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				



Manyetik alan içine yerleştirilmiş akım taşıyan telin uzunluğu, : 0.07 (7.0cm)

Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90^0 (sabit)

Eğim — :

Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-5: Manyetik alan içinde akım taşıyan uzunluğundaki telin üstüne etkiyen manyetik kuvvet.

Tel Uzunluğu	Akım	Dijital Terazı Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
0.07	0.0				
	0.5				
	1.0				
	1.5				
	2.0				
	2.5				
	3.0				
	3.5				
	4.0				
	4.5				

Deney-2

Manyetik Kuvvetin Tel Uzunluğu ile Değişmesi



Uygulanan Akım, 3.0 (Sabit)
Tel (akım) ve manyetik alan arasındaki açı, : 90° (sabit)
Eğim — :
Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-6: Faklı uzunluklarda akım taşıyan teller için manyetik kuvvet değerleri.

Uygulanan Akım	Tel Uzunluğu	Dijital Terazi Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
				Eğim	
3	0.01				
	0.02				
	0.03				
	0.04				
	0.05				
	0.06				
	0.07				

Deney-3

Manyetik Kuvvetin Açı ile Değişmesi



Dönen bobinin yatay alt kısmındaki bir telin uzunluğu, : 0.0145m (1.45cm)

Bobin sarım sayısı, 10

Akım taşıyan telin toplam yatay alt uzunluğu, : 0.145m (14.5cm)

Uygulanan Akım, 3.0 (Sabit)

Eğim :

Mıknatıs setinin oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, :

Tablo-7: Farklı açılar için akım taşıyan tel üstündeki manyetik kuvvet değerleri.

Akım	Açı	Değer	Dijital Terazı Okuması	Manyetik Kuvvet	GRAFİK	Manyetik Alan
					Eğim	
3	0					
	10					
	20					
	30					
	40					
	50					
	60					
	70					
	80					
	90					

Tablo-8: Deneyin bu bölümünde kullanılan mıknatıs için bulunan manyetik alanların karşılaştırılması.

DENEY-1	Elektrik Akımının Manyetik Kuvvet Üzerine Etkisi					
	Değişken Döngü Boylu Akım Devresi İçindeki Her Bir Telin Sabit Uzunluk Değerleri					Sabit Aç
	0.01	0.04	0.05	0.06	0.07	90
Eğim —						
Manyetik Alan,						

Tablo-9: Deneyin bu bölümünde kullanılan mıknatısın manyetik alanı.

DENEY-2	Manyetik Kuvvetin Tel Uzunluğu ile Değişmesi
Sabit Akım,	3.0
Eğim —	.....
Manyetik Alan,	.....

Tablo-10: Deneyin bu bölümünde kullanılan mıknatısın manyetik alanı.

DENEY-3	Manyetik Kuvvetin Aç	ile Değişmesi
Sabit Akım,		3.0
Dönen bobinin yatay alt kısmındaki bir telin uzunluğu,		.....
Bobinin Sarım Sayısı,		.....
Akım Taşıyan Telin Toplam Yatay Alt Uzunluğu,		.....
Eğim		.....
Manyetik Alan,		.....

Tablo-11: Deneyisel ve beklenen manyetik alan değerlerinin karşılaştırılması.

KARŞILAŞTIRMA	DENEYSEL	BEKLENEN	FARK	
		(Manyetik Alan Sensörü Tarafından Ölçülen)*		
Deney-1 ve 2: Akım Taşıyan Döngü (Aralıklı Mıknatıs Takımı)				
Deney-3: Dönen Bobin (Aralıklı Mıknatıs Takımı)				

*Her bir mıknatıs takımı için beklenen manyetik alan değeri mıknatısın kutupları arasındaki merkez (orta) noktada **manyetik alan sensörü** kullanılarak ölçülmüştür.

