T.C.
KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2021-2022 BAHAR YARIYILI FİZ120 FİZİK II DERSİ

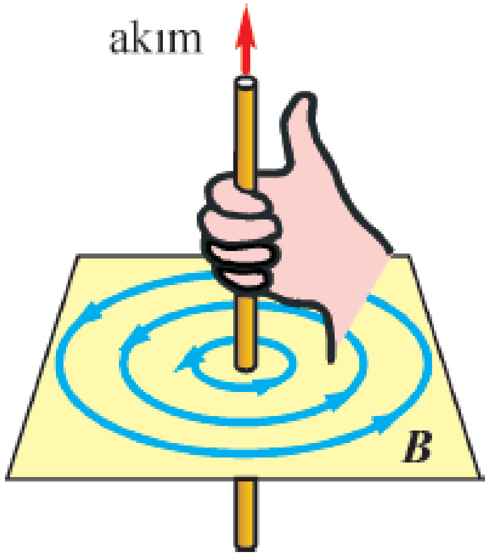
MANYETİK ALAN KAYNAKLARI

Öğretim Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi SALİHA ELMAS
İletişim: saliha.elmas@kocaelisaglik.edu.tr

- Bir Akımın Manyetik Alanı-Biot-Savart Yasası
- Manyetik Alan Hesapları
- Paralel Akımlar Arasındaki Kuvvet-Amper Birimi
- Ampere Yasası
- Maddenin Manyetik Özellikleri

BİR AKIMIN MANYETİK ALANI – BİOT-SAVART YASASI

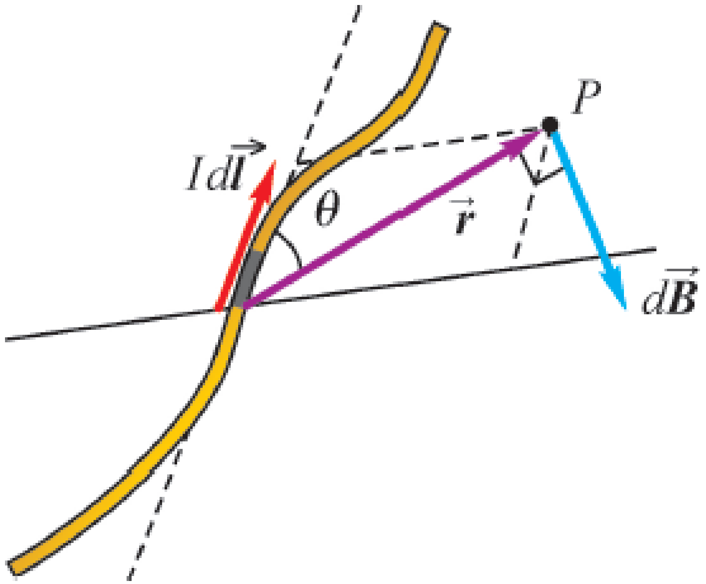
I akımı geçen doğrusal bir telin manyetik alanı.



Gözlenen özellikler:

- Manyetik alan çizgileri tele dik düzlemde, merkezi tel olan çemberler.
- Yönü, sağ-el kuralına göre, başparmak akım yönündeyken, dört parmağın kıvrıldığı yönde.
- Manyetik alan şiddeti r uzaklığıyla ters orantılı.

Bu özellikleri ilk kez gözleyen Jean-Baptiste Biot ve Felix Savart, her türlü akım için manyetik alan ifadesini keşfettiler.



Biot-Savart Yasası

I akımı geçen bir telin $d\ell$ uzunlukta bir parçasının r uzaklıktaki bir noktadaki manyetik alana katkısı,

$$dB = k' \frac{I\, d\ell\, \sin\theta}{r^2}$$

olur. Burada θ açısı $\vec{r}$ konum vektörünün $d\ell$ doğrultusuyla yaptığı açıdır.

k' sabiti: $k' = 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A}$

Diğer bir sabit:

Boşluğun manyetik geçirgenliği: $\mu_0 = 4\pi k' = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A}$

Vektörel Çarpım İfadesi:

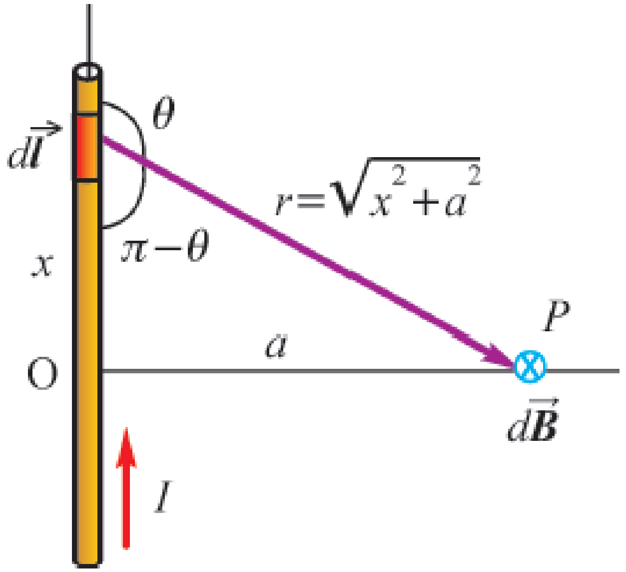
$$d\vec{B} = k' \frac{I\, d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \qquad \text{(Biot-Savart: vektörel ifade)}$$

Sonlu bir tel için: İntegral alınır:

$$\vec{B} = k' \int \frac{I\, d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

MANYETİK ALAN HESAPLARI

Sonsuz Doğrusal Akımın Manyetik Alanı



x-ekseni boyunca I akımı taşıyan telden a uzaklığında P noktası.

Tel üzerinde, orijinden x uzaklıkta bir dx elemanı $d\ell$ olarak alınır.

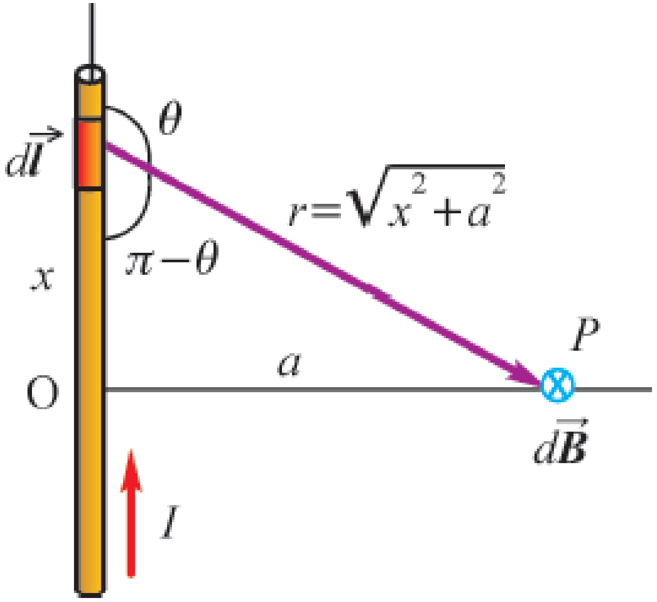
Bu akım elemanının r uzaklıktaki P noktasındaki manyetik alana katkısı:

$$dB = k' \frac{I\,dx\,\sin\theta}{r^2}$$

$d\vec{B}$ nin yönü, sağ-el kuralına göre, ekran düzlemi içine doğru.

Tüm dx parçalarının katkıları hep aynı yönde olduğu için, dB katkılarının integrali doğrudan alınabilir:

$$B = k' I \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx\,\sin\theta}{r^2}$$



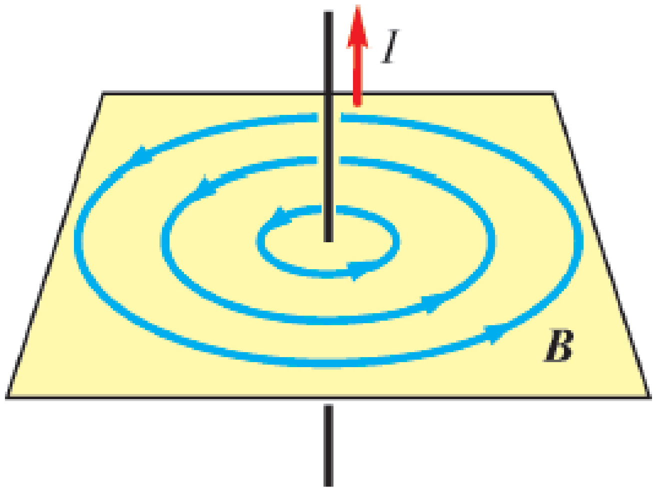
$$B = k' I \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx \, \sin\theta}{r^2}$$

Tüm değişkenler x cinsinden yazılır:

$$r = \sqrt{x^2 + a^2}$$

$$\sin\theta = \sin(\pi - \theta) = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$

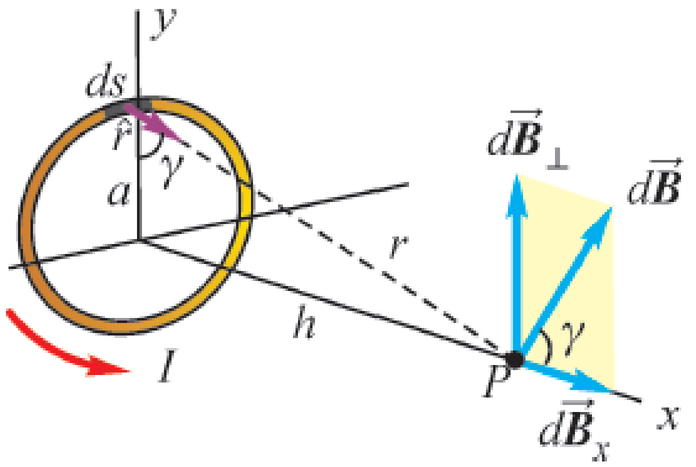
$$B = k' I \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx \, (a/\sqrt{x^2 + a^2})}{x^2 + a^2} = k' I a \underbrace{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}}}_{2/a^2}$$



$$\boxed{B = \frac{2k'I}{a} \qquad \text{(Doğrusal tel)}}$$

Manyetik alan çizgileri, teli eksen kabul eden çemberler oluştururlar.

Akım Çemberinin Manyetik Alanı



I akımı geçen a yarıçaplı çemberin ekseni üzerinde h uzaklıkta bir P noktası.

Tel üzerinde küçük bir $d\ell$ parçası ds yayı olarak seçilir.

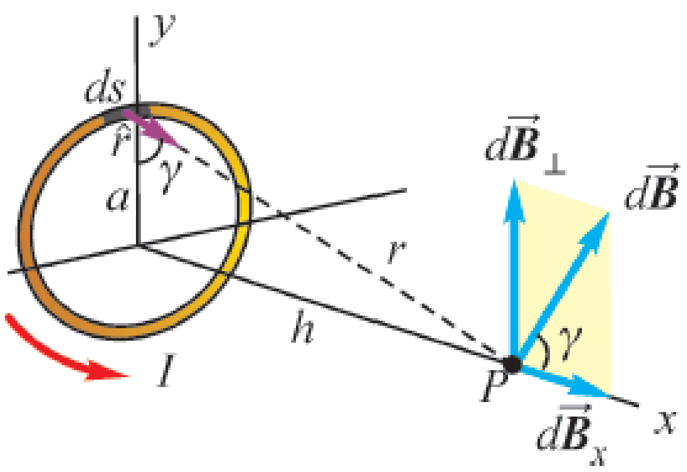
ds yay parçası y-ekseni üzerinde ve $+z$ yönünde seçilir.

$I\,ds$ akım elemanının P noktasındaki dB manyetik alanı, hem ds ve hem de $\hat{\boldsymbol{r}}$ birim vektörüne dik olacağından, xy-düzlemindedir.

Ayrıca, ds ile $\hat{\boldsymbol{r}}$ arasındaki açı $\theta = 90°$ olur.

Bu parçanın dB katkısı Biot-Savart yasasına göre yazılır:

$$dB = k' \frac{I\,ds \sin 90°}{r^2} = k' I \frac{ds}{a^2 + h^2}$$



$$dB = k' \frac{I\,ds\,\sin 90^\circ}{r^2} = k' I \frac{ds}{a^2 + h^2}$$

$d\vec{\mathbf{B}}$ vektörü iki bileşene ayrılır:

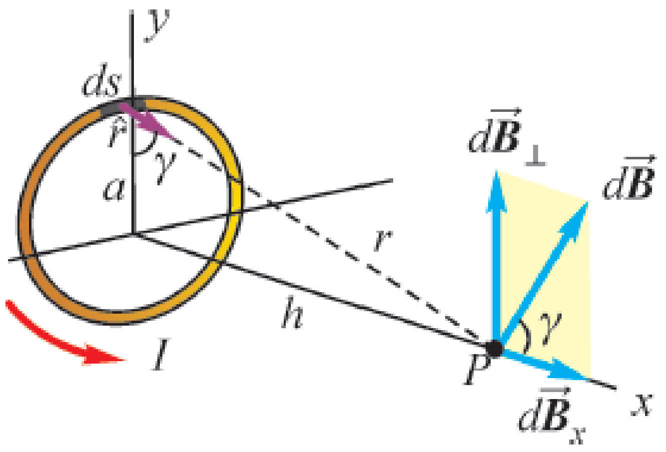
$$dB_x = dB\cos\gamma \quad \text{ve} \quad dB_\perp = dB\sin\gamma$$

ds yayını çember çevresinde gezdirerek, herbir $d\vec{\mathbf{B}}$ katkısını topladığımızda, $dB_\perp$ katkıları P noktası etrafında bir çember çizecek ve simetriden dolayı sıfır katkı verecektir:

$$\int dB_\perp = 0 \qquad \text{(simetriden dolayı)}$$

Bu durumda, sadece x-ekseni yönündeki katkılar x-yönünde bir toplam manyetik alan vereceklerdir:

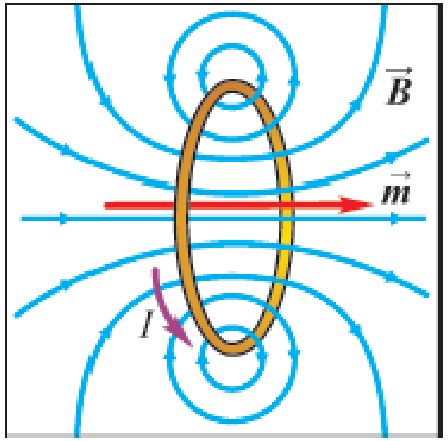
$$B = \int dB_x = \int dB\cos\gamma$$



Şekilde iki yerde gösterilen γ açıları eşit. (Kenarları birbirine dik.)

$$\cos\gamma = a/r = a/\sqrt{h^2 + a^2}$$

$$B = \int dB\cos\gamma = k' I \int \frac{ds}{a^2 + h^2}\,\frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} = \frac{k' I\, a}{(h^2 + a^2)^{3/2}}\underbrace{\oint ds}_{2\pi a}$$



$$B = \frac{2\pi k' I\, a^2}{(h^2 + a^2)^{3/2}} \qquad \text{(Çemberin m. alanı)}$$

Çember merkezinde manyetik alan, bu formülde $h = 0$ alınarak bulunur:

$$\boxed{B = \frac{2\pi k' I}{a} \qquad \text{(Çember merkezinde m. alan)}}$$

Manyetik Dipol ile İlişki

Hatırlatma: I akımı geçen ve yüzölçümü A olan bir çerçevenin manyetik dipol momenti $m = I\,A$ olarak tanımlanmıştı:

Çember akımın manyetik alan ifadesi: $B = \dfrac{2\pi k' I\, a^2}{(h^2 + a^2)^{3/2}}$

Bu ifadede bir manyetik dipol momenti var (çemberin yüzölçümü πa^2)

$$B = \frac{2k'(I\,\pi a^2)}{(h^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{2k'\,m}{(h^2 + a^2)^{3/2}}$$

Manyetik dipolden çok uzaklarda ($h \gg a$):

$$B \approx \frac{2k'\,m}{h^3} \qquad (h \gg a \text{ için manyetik dipolün alanı})$$

Maddenin mıknatıslık özellikleri, atomları çok küçük birer manyetik dipol gibi kabul ederek açıklanabilir.

ÖRNEK: Yerin manyetik alanı $5x10^{-5}$ T şiddetindedir.

a) 1 A akım geçen doğrusal telden hangi uzaklıkta manyetik alan şiddeti bu değere eşit olur?

b) 1 m yarıçaplı çember akımın merkezindeki manyetik alanın bu değere eşit olması için ne kadar akım geçmelidir?

a) Doğrusal telin manyetik alanını veren formülü kullanılır.

- $B = \frac{2k'I}{a}$

- Bu ifade yerin manyetik alanına eşitlenip, a uzaklığı bulunur:

- $a = \frac{2k'I}{B} = \frac{2x10^{-7}x1}{5x10^{-5}} = 0.004\ m = 4\ mm$

b) Çember akımın merkezindeki manyetik alanı veren formül kullanılır.

- $B = \frac{2\pi k'I}{a}$

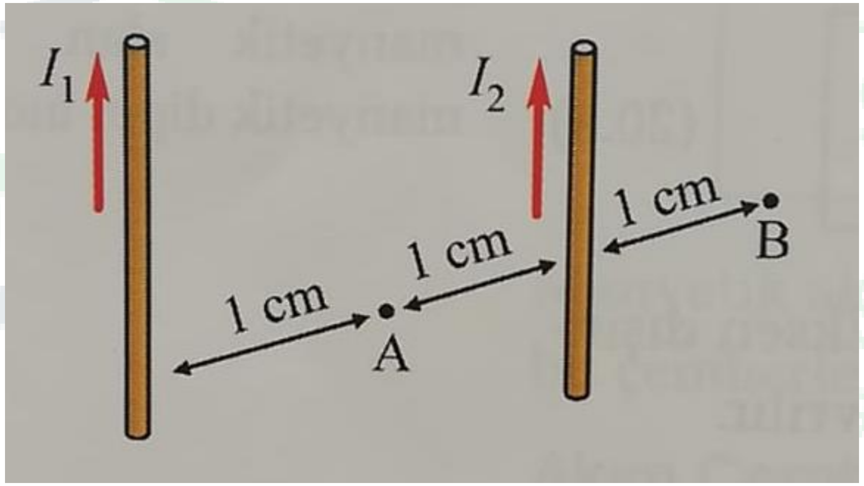
- Yine bu ifade yerin manyetik alanına eşitlenip akım hesaplanır:

- $I = \frac{aB}{2\pi k'} = \frac{1x5x10^{-5}}{2x3.14x10^{-7}} = 80\ A$

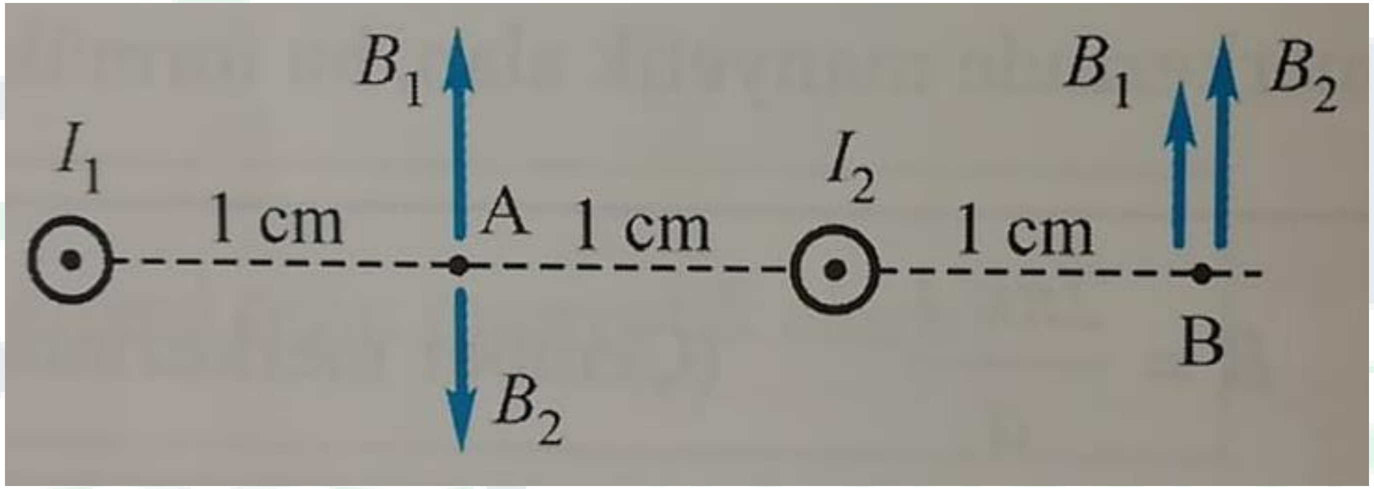
ÖRNEK: Şekilde paralel I_1=100 A ve I_2=200 A akımları arasındaki mesafe 2 cm’ dir.

a) Tellerin orta noktası A daki toplam manyetik alanı hesaplayın.

b) I_2 telinden 1 cm ötedeki B noktasında manyetik alanı hesaplayın.



a) Önce her iki noktada B_1 ve B_2 manyetik alanlarının yönlerini belirleyelim. Sağ-el kuralı uygulanırsa, manyetik alanların kağıdın üstünden görünüşü şöyle olur:



Sonra, herbir akımın manyetik alanı $B = \frac{2k'I}{a}$ formülüyle hesaplanır:

- A noktasında:

- $B_1 = \frac{2k' I_1}{a} = \frac{2x10^{-7}x100}{0.01} = 0.002\ T$

- $B_2 = \frac{2x10^{-7}x200}{0.01} = 0.004\ T$

- Zıt iki vektörün A noktasındaki bileşkesi alınır:

- $B_A = B_1 - B_2 = 0.002 - 0.004 = -0.002\ T\ (aşağı\ yönde)$

- B noktasında:

- $B_1 = \frac{2x10^{-7}x100}{0.03} = 0.00067\,T = 0.67\,mT$

- $B_2 = \frac{2x10^{-7}x200}{0.01} = 0.004\,T = 4\,mT$

- Aynı yönde iki vektörün B noktasındaki bileşkesi alınır:

- $B_B = B_1 + B_2 = 0.67 + 4 = 4.67\,mT$

ÖRNEK: Yarıçapı 1 m olan iletken bir çember üzerinden 1 A akım geçmektedir.

a) Çember merkezindeki manyetik alan şiddeti ne kadardır?

b) Eksen üzerinde nerede manyetik alan merkezdeki değerinin yarısına düşer?

a) Akım çemberinin merkezindeki manyetik alan aşağıdaki formül yardımıyla bulunur:

- $B = \frac{2\pi k' I}{a} = \frac{2x3.14x10^{-7}x1}{1} = 6.3x10^{-7}\ T$

b) Burada yeniden manyetik alan değerini hesaplamaya gerek yoktur. Sadece, merkezdeki ve h uzaklıktaki alan ifadelerinin oranını alırız. Akım çemberinin ekseni üzerindeki h noktasındaki manyetik alan ifadesi aşağıdaki formülde verilmişti:

- $B = \frac{2\pi k' I a^2}{(h^2+a^2)^{3/2}}$

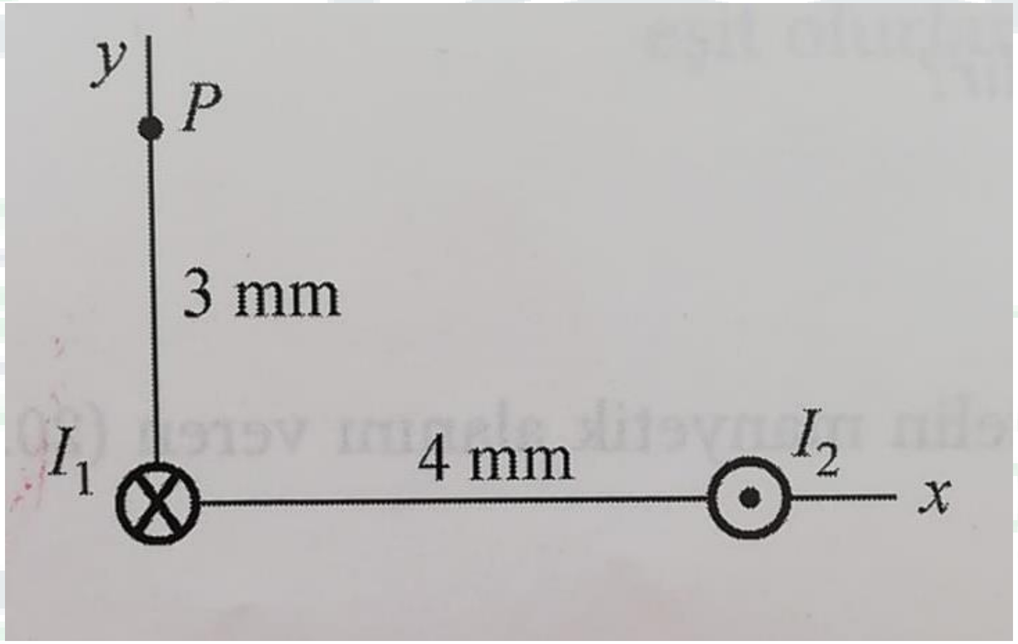
- Yukarıda yazdığımız çemberin merkezindeki alan ifadesini B_0 ile gösterip, bu iki alanın oranını alalım:

- $\frac{B}{B_0} = \frac{2\pi k' I a^2}{(h^2+a^2)^{3/2}} x \frac{a}{2\pi k' I} = [\left(\frac{h}{a}\right)^2 + 1]^{3/2}$

- $B = \frac{B_0}{2}$ $ve\ a = 1$ değerlerini yerine konulup, h için çözülür:

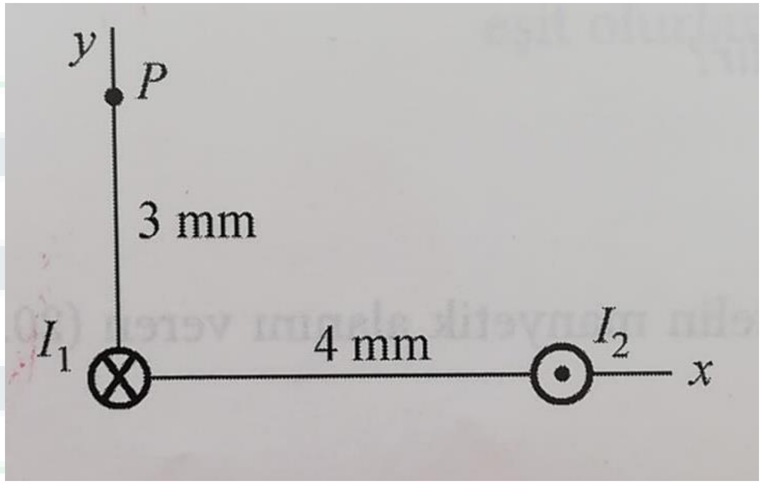
- $[h^2 + 1]^{3/2} = \frac{1}{2} \rightarrow h = 0.77\ m$

ÖRNEK: Şekilde kağıt düzlemine dik doğrultudaki doğrusal tellerdeki akımlar I_1= 60 A ve I_2=50 A dir. P noktasındaki toplam manyetik alanın bileşenlerini hesaplayın.



- Önce P noktasındaki B_1 ve B_2 alan şiddetleri hesaplanır:

- $B = \frac{2k'I}{a}$

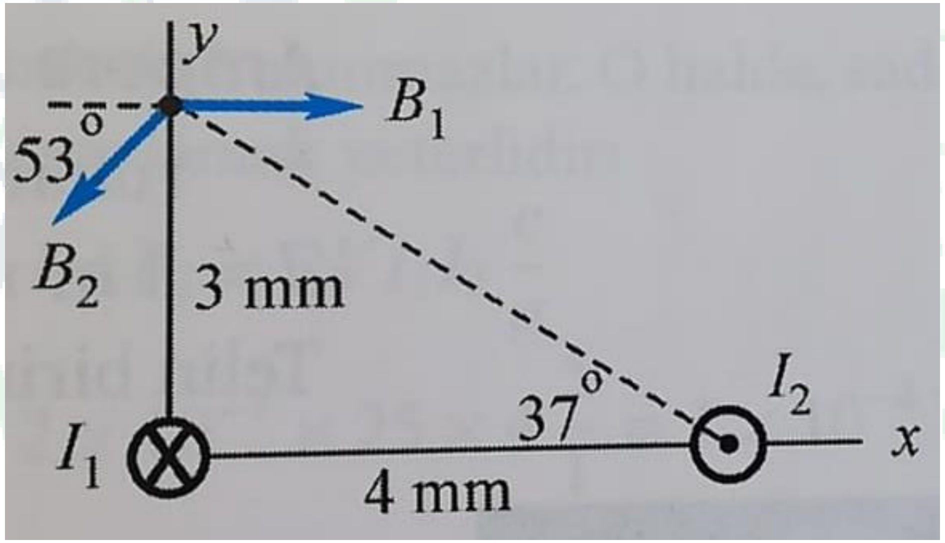


- $B_1 = \frac{2x10^{-7}x60}{0.003} = 0.004\,T = 4\,mT$

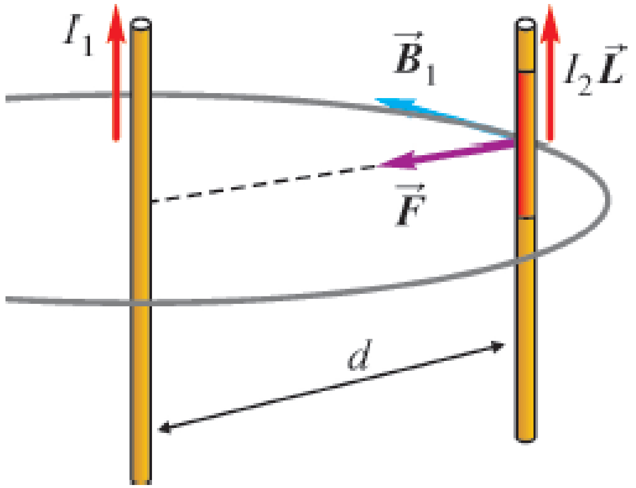
- $B_2 = \frac{2x10^{-7}x50}{0.005} = 0.002\,T = 2\,mT$

- Daha sonra, bu manyetik alan vektörlerinin yönleri sağ-el kuralıyla bulunur. Her iki alan yönü şöyle olur:

- Son olarak, bu iki vektörün toplamı, bileşenleri cinsinden bulunur:
- $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$
- $B_x = B_1 - B_2 cos53° = 4 - 2x0.6 = 2.8\, mT$
- $B_y = -B_2 sin53° = -2x0.8 = -1.6\, mT$
- İstenirse, toplam manyetik alan şiddeti ve yönü bu bileşenlerden hesaplanabilir.



PARALEL AKIMLAR ARASINDAKİ KUVVET



Aralarında d uzaklığı bulunan paralel iki doğrusal telde, aynı yönde I_1 ve I_2 akımları.

I_1 akımının d uzaklığında manyetik alanı:

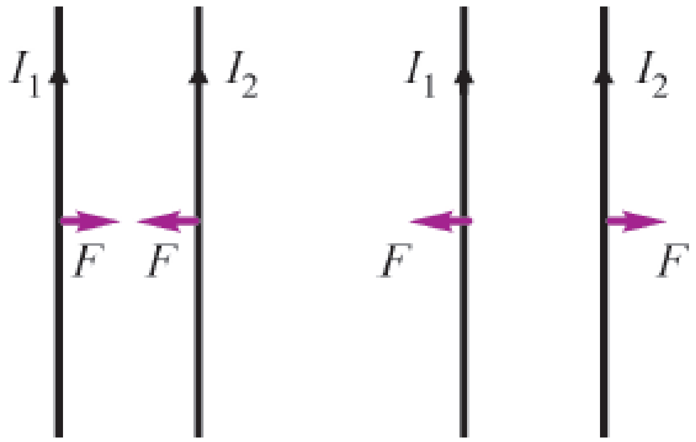
$$B_1 = \frac{2k' I_1}{d}$$

B_1 manyetik alanında, ikinci telin L kadar uzunluğuna etkiyen kuvvet:

$$\vec{F} = I_2 \left(\vec{L} \times \vec{B}_1 \right)$$

Kuvvetin yönü:

Sağ-el kuralı: Kuvvet hem $\vec{B}_1$ alanına hem de I_2 teline dik ve I_1 teline yönelik: $\rightarrow$ İki tel birbirini çeker.



Akımlar birbirine zıt yönde (anti-paralel) ise, teller birbirini iter.

Her iki durumda, kuvvetin şiddeti:

$$\boxed{F = \frac{2k' I_1 I_2}{d} L}$$

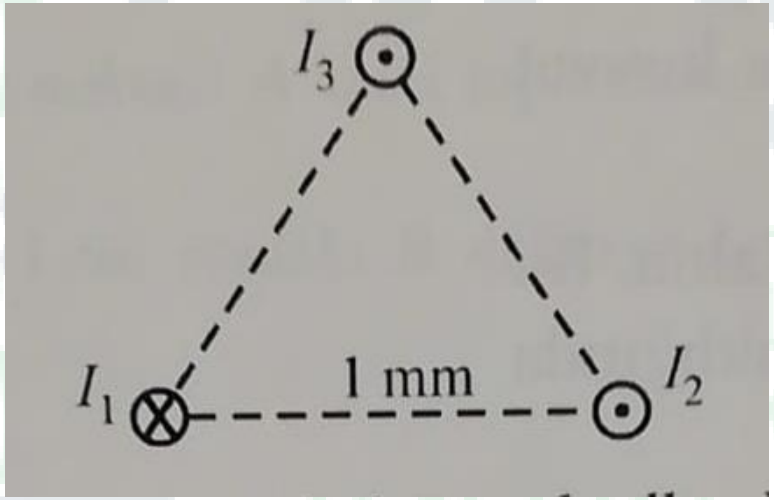
Sonuç: **Paralel akımlar birbirini çeker, anti-paralel akımlar iter.**

Ampere Biriminin Tanımı:

Telin birim uzunluğuna etkiyen kuvvet: $\frac{F}{L} = \frac{2k' I_1 I_2}{d}$

Aralarında 1 m mesafe bulunan ve özdeş akımlar taşıyan paralel iki uzun tel arasında, birim uzunluğa etkiyen kuvvet 2×10^{-7} N/m **olduğunda, tellerden geçen akım 1 ampere (A) olur.**

ÖRNEK: Şekilde kağıt düzlemine dik doğrusal teller, bir kenarı 1 mm olan bir eşkenar üçgenin köşelerini oluşturmaktadırlar. $I_1=I_2=I_3=100$ A olduğuna göre I_3 akımı telin 1 m uzunluğuna etkiyen toplam kuvveti hesaplayın.



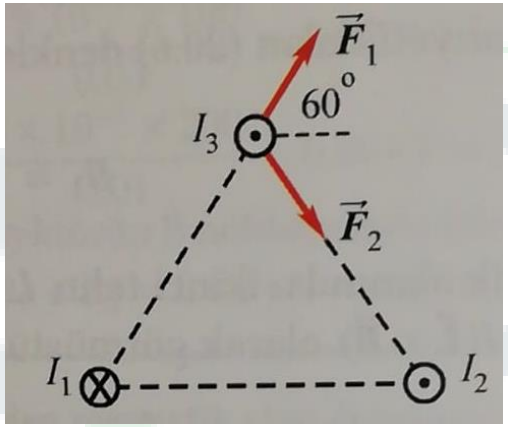
- Paralel ve akımlar arasında kuvvet formülü ile verilmiştir.

- $F = \frac{2k' I_1 I_2}{d} L$

- I_1 ve I_2 akımları aynı şiddette olduğu için, uyguladıkları kuvvetlerin şiddetleri eşittir:

- $F_1 = F_2 = \frac{2x10^{-7}x100^2}{0.001} x1 = 2\ N$

- Bu iki kuvvetin yönlerini bulmak istersek, şu kuralı uygularız: Paralel akımlar birbirini çeker antiparalel akımlar birbirini iter. Buna göre, I_3 akımı üzerindeki kuvvetlerin yönleri şu şekilde olur:

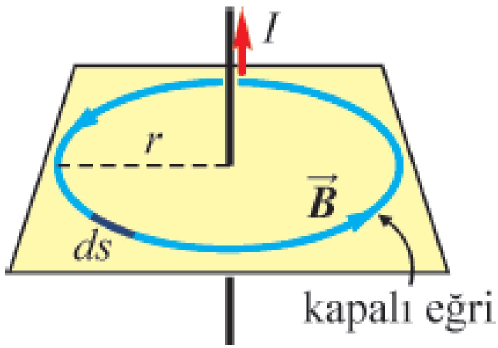


- Yatayla eşit açı yapan eşit iki kuvvetin toplamı, açıortay yönünde, yani yatay olur:

- $F = F_{1x} + F_{2x} = 2Fcos60^{\circ} = 2N$

AMPERE YASASI

Basit bir örnek: Sonsuz doğrusal tel.



I akımlı telden r uzaklıkta manyetik alan:

$$B = \frac{2k'I}{r}$$

Manyetik alanın r yarıçaplı çembere teğet olan bileşeninin, çember boyunca integralini alalım.

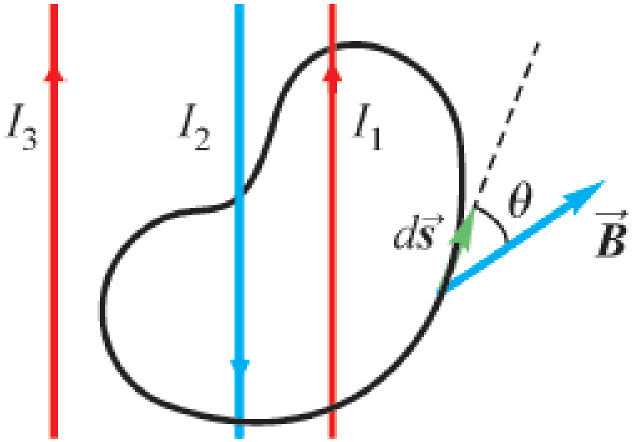
Her noktada B nin teğet bileşenini küçük ds yay parçası ile çarpıp, çember üzerinden toplayalım.

$$\oint B\,ds = B \underbrace{\oint ds}_{2\pi r} = \frac{2k'I}{\cancel{r}} 2\pi \cancel{r} = \underbrace{4\pi k'}_{\mu_0} I = \mu_0 I$$

Sonuç r yarıçapından bağımsızdır!

Eğer I akımını dışarda bırakan bir eğri seçilseydi, sonuç sıfır olurdu.

Ampere Yasası denilen bu sonuç en genel akım dağılımı ve seçilen eğrisel yol için de geçerlidir. (İspat ileri düzeyde.)



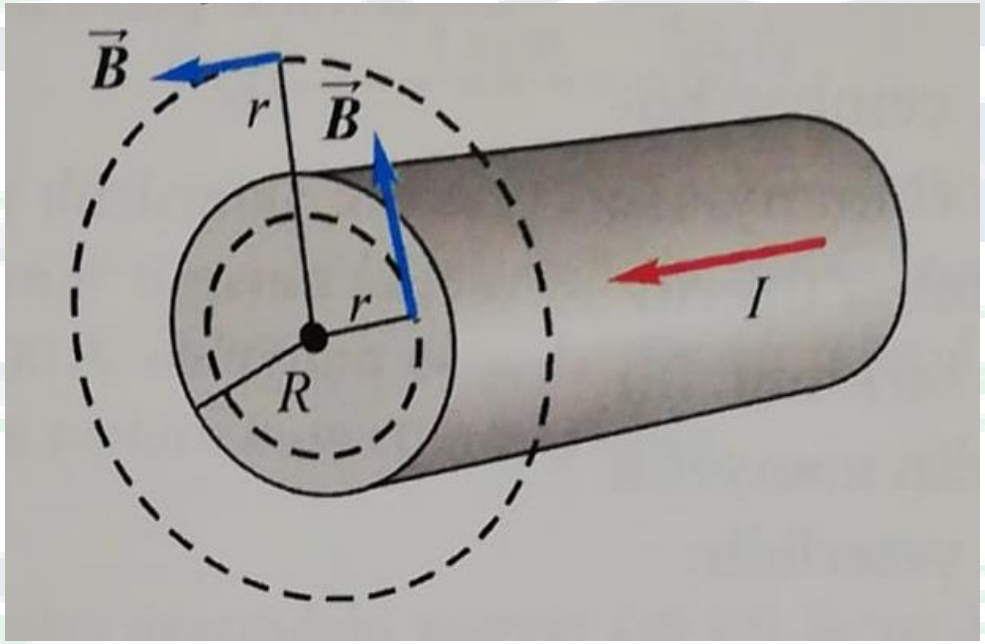
Ampere Yasası

Kapalı bir eğri boyunca manyetik alanın izdüşümünün integrali, bu eğrinin çevrelediği herhangi bir yüzeyi kesen net akım ile orantılıdır:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{iç} \qquad \text{(Ampere Yasası)}$$

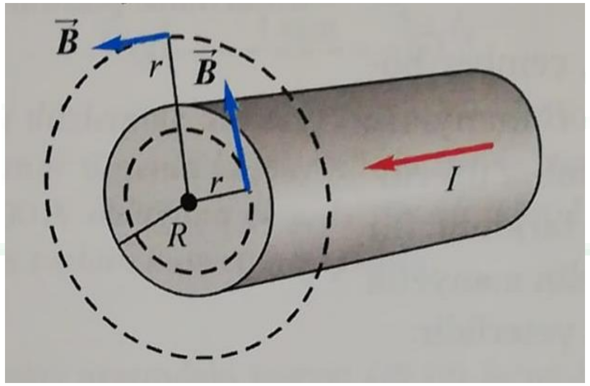
- $I_{iç}$ kapalı eğri içinde kalan net akımdır. Bir yöndeki akım pozitif ise zıt yöndeki akım negatif alınır.
- Eğri dışında kalan akımlar hesaba katılmaz.
- Problemin simetrisine uygun bir eğri seçilirse, integral almaya gerek kalmaz.

ÖRNEK: R yarıçaplı sonsuz silindir şeklindeki bir iletkenden geçen I akımı, silindir kesitine düzgün olarak dağılmıştır. Silindir dışında ve içinde manyetik alanı bulun.



- Ampere yasasını uygulayabilmek için daima bir simetri bulmak gerekir. Manyetizmada en temel simetri doğrusal akımın manyetik alanıdır. Doğrusal akımın manyetik alanı, teli merkez kabul eden çemberlere teğet yönde oluşur. Bu simetriyi bozacak bir durum yoksa, buradan başlamak gerekir.

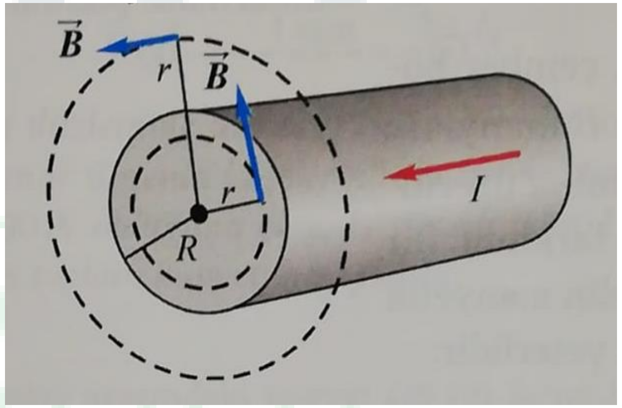
- Tel dışında: r>R olacak şekilde hayali bir çember düşünelim. Bu çember üzerindeki bir noktadan baktığımızda, telin her iki yarım kesiti aynı katkıyı verecektir. O halde, manyetik alanı çembere teğet doğrultudan değiştirecek bir sebep yoktur. Yine simetriye göre, çember üzerinde her noktada B değeri aynı olmalıdır.
- Ampere yasasına göre, bu teğetsel manyetik alanın r yarıçaplı çember boyunca integrali, içeride kalan net takımı eşit olmalıdır:
- $\oint \vec{B}.d\vec{s} = \mu_0 I_{iç}$



- B yola paralel olduğundan $\vec{B}.d\vec{s} = Bds$ olur ve sabit olan B değeri integral dışına alınır. Kalan integral çemberin çevre uzunluğu 2πr olur. Sağ taraftaki akım, silindirden geçen toplam I akımıdır:

- $B(2\pi r) = \mu_0 I \rightarrow B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r} = \dfrac{2k' I}{r}$

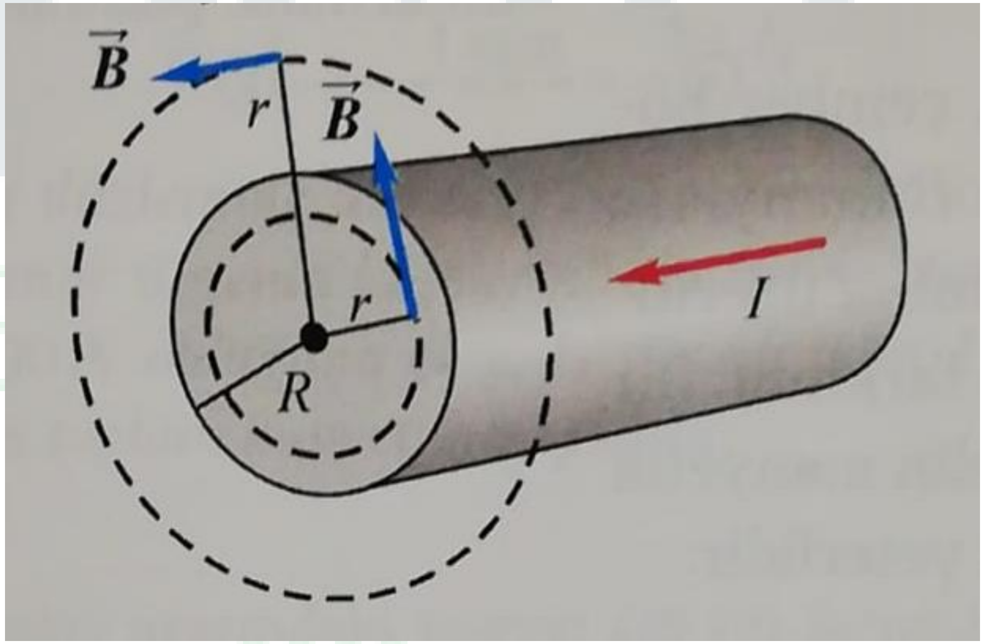
- Bu sonuç, doğrusal akım ifadesi ile aynıdır.



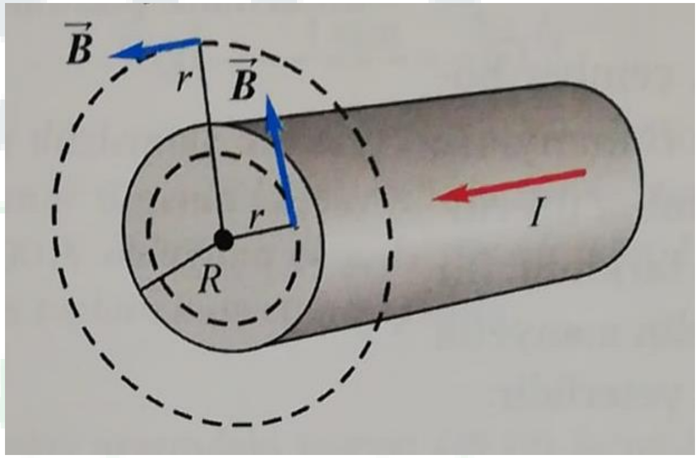
- Tel içinde: r<R olacak şekilde, yine hayali bir çember düşünelim. Yine simetriye göre, çember üzerindeki manyetik alan her noktada aynı değerde ve çembere teğet olmalıdır.

- Ampere yasası yazılır:

- $\oint B ds = B(2\pi r) = \mu_0 I_{iç}$



- Bu kez, çember içinde kalan akım daha azdır. Akım R yarıçaplı silindir kesitine düzgün dağılmış olduğundan, R yarıçaplı kısımda kalan miktarı orantı yoluyla bulunur:

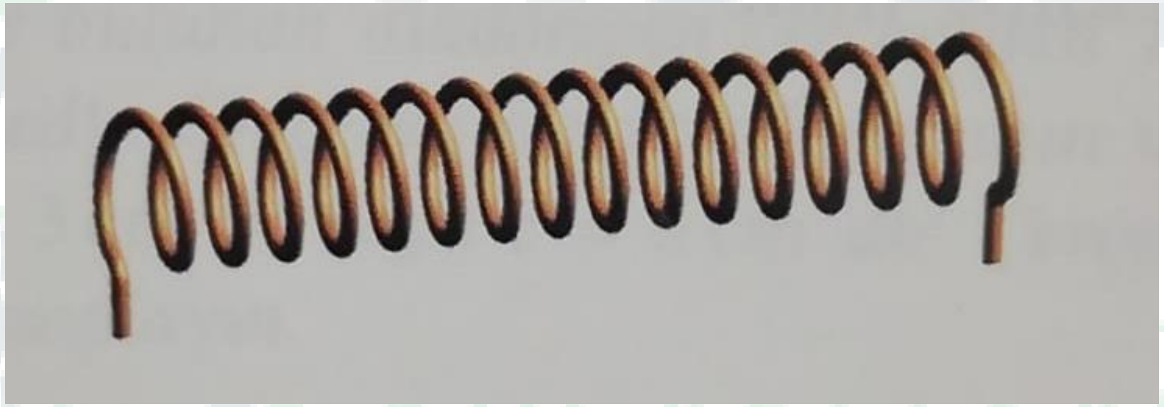


- $I_{iç} = \frac{I}{\pi R^2}.\pi r^2$

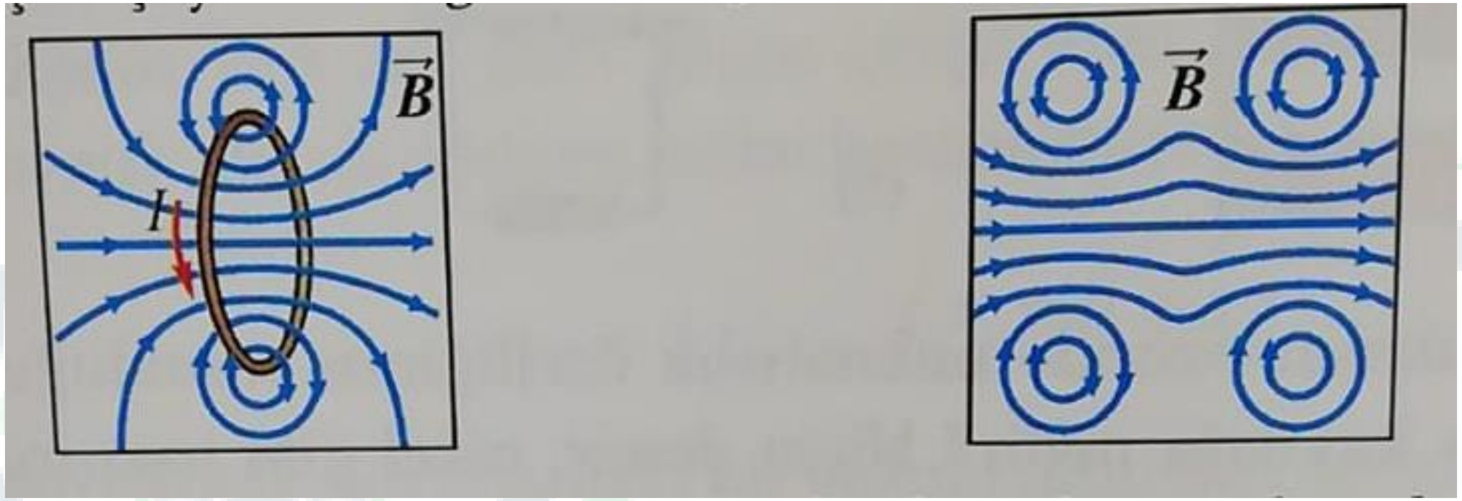
- Bu ifade yerine konur ve B hesaplanır:

- $B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} = \frac{2k' I}{R^2} r$

ÖRNEK: Solenoid: Sonsuz uzunlukta bir solenoidin içinde ve dışında manyetik alanı hesaplayın.

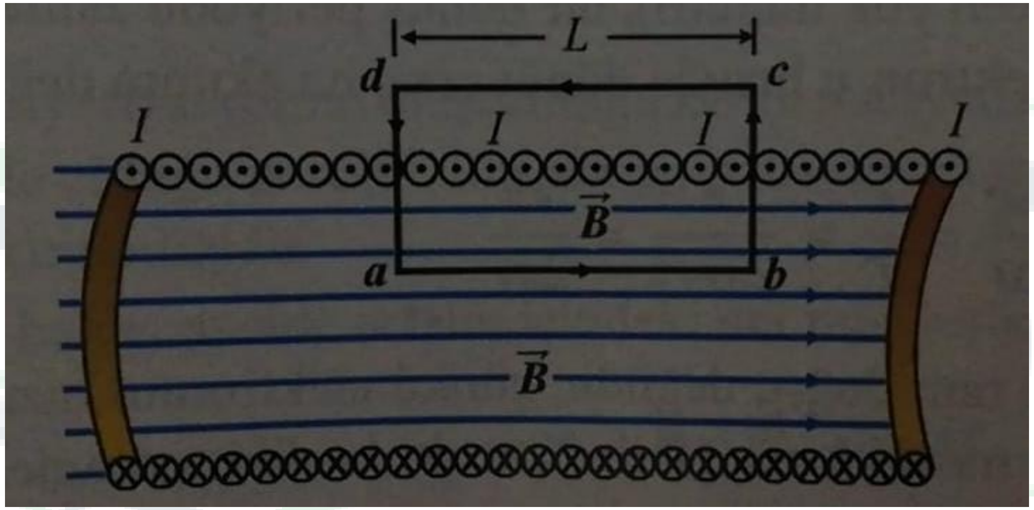


- Bir çember akımın manyetik alanını hesaplamış ve şöyle bir dağılım olduğunu söylemiştik:



- Şimdi bu çemberin yanına özdeş ikinci bir çember akımı daha koyduğumuzu düşünelim. Her noktada manyetik alan vektörel olarak toplandığında, iç bölgede alan çizgilerinin giderek eksene daha paralel hale geldiği ve çember dışına biraz daha geç çıktıkları görülür.

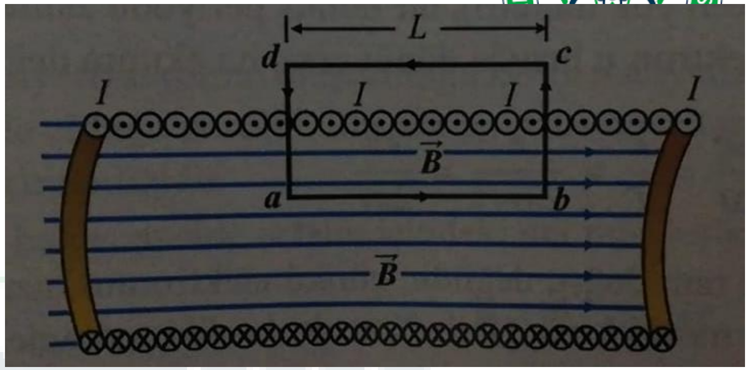
- İşte, böyle çemberlerden sonsuz tanesi yan yana getirildiğinde oluşan solenoidin manyetik alanı, içerde eksene paralel hale gelir ve dışarıda sıfıra yaklaşır. Sonuçta şöyle bir yapı oluşur.



- Şimdi, bu varsayımlarla Ampere yasasını uygulayalım.

- Şekilde görülen dikdörtgen şeklindeki abcd yolu boyunca manyetik alanın integralini yazalım:

- $\oint \vec{B}.d\vec{s} = \left[\int_a^b + \int_b^c + \int_c^d + \int_d^a \right] \vec{B}.d\vec{s} = \mu_0 I_{iç}$



- Bu dört integralden sadece birincisi sıfırdan farklı olacaktır. Çünkü 2. ve 4. integrallerde (bc ve da yolları) $\vec{B}$ vektörü $d\vec{s}$ yoluna diktir ve skaler çarpım sıfır olur. 3. integral tümüyle solenoid dışında olduğundan bu bölgede B=0 varsayılmıştı. 1. integral içinde B değeri aynı olduğundan, integral dışına alınır. ab uzunluğunu L ile gösterirsek, sol taraf şöyle olur:

- $B\ L = \mu_0 I_{iç}$

- Şimdi sağ taraftaki $I_{iç}$ değerini hesaplayalım. Solenoidi oluşturan sarımların birim uzunluktaki sayısı n olsun. Buna göre, dikdörtgen yol içinde kalan sarım sayısı nL olur. Her birinden I akımı geçtiğine göre, içeride kalan akım miktarı nLI olacaktır:

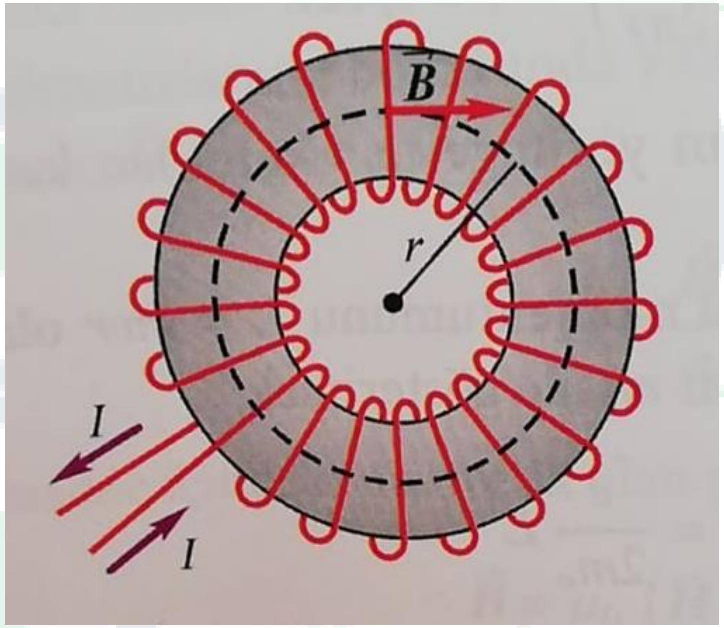
- $B\,L = \mu_0 nLI$

- Buradan, solenoid içindeki manyetik alan ifadesi bulunur:

- $B = \mu_0 nI$

- Sonucun yarıçapa bağlı olmadığına dikkat edelim. Solenoid hacmi içinde her yerde manyetik alan bu sabit değer de olur.

ÖRNEK: TOROİD: Toroid (simit) şeklinde sarılmış toplam N sarımdan oluşan solenoid içinde, merkezden r uzaklıkta manyetik alanı hesaplayın.



- Toroidi N tane çember akımdan oluşmuş gibi düşünelim. Her bir çemberin eksen üzerinde manyetik alanı eksen yönünde olduğundan, toroidin yapısı bu simetriyi bozmayacak ve içerde manyetik alan eksen yönünde dolanacaktır.

- Şimdi, Toroid içinde r yarıçaplı hayali bir çember alıp Ampere yasasına uygulayalım:

- $\oint \vec{B}.d\vec{s} = \mu_0 I_{iç}$

- Çember yol boyunca $\vec{B}$ yola paralel olduğu için skaler çarpım düz çarpım olur ve B alanı yol boyunca gelişmediğinden integral dışına alınır. Ayrıca, sağ taraftaki $I_{iç}$ akımı N tane I akımının toplamıdır:

- $B(2\pi r) = \mu_0 NI$

- Buradan toroidin manyetik alan ifadesi bulunur:

- $B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} = \frac{2k' NI}{r}$

- Aynı işlemi toroid dışında bir çember için yapsaydık, orada manyetik alanın sıfır olduğunu bulurduk.

MADDENİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

Gözlemler:

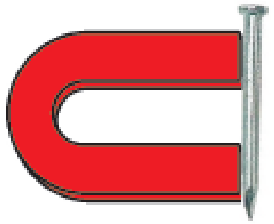
- **Kalıcı mıknatıslar**:

  4 metal (Demir, Nikel, Kobalt, Gadolinyum)

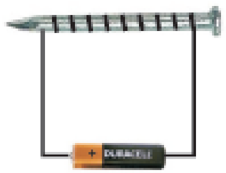
- **Etkiyle mıknatıslananlar**:

  Mıknatısla temas ettirmek   Solenoidin içinde tutmak

(a)



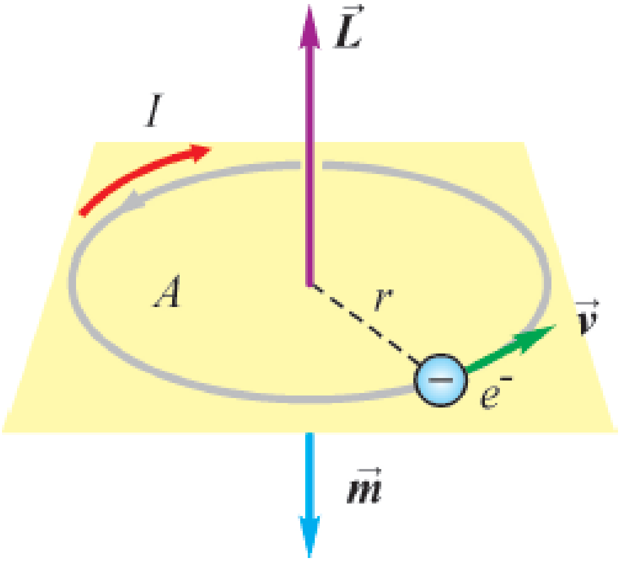
(b)



İki soru:

- Mıknatıslığın atomik kaynağı nedir?
- Neden bazı cisimler kalıcı mıknatıs?

Atomların Manyetik Dipol Momenti: 2 tür olabilir:



1. Yörünge dipol momenti

Pozitif yüklü çekirdek etrafında yörüngede dönen $(-e)$ yüklü elektronlar.

r yarıçaplı dairesel yörüngede v hızıyla dönen elektronun oluşturduğu akım:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{e}{T} = \frac{e}{2\pi r/v} = \frac{ev}{2\pi r}$$

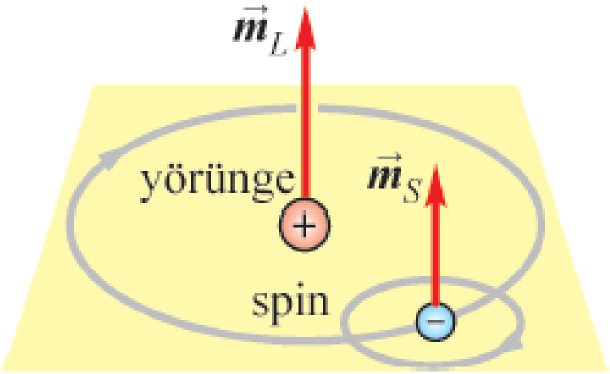
O halde, elektronların yörünge hareketinin manyetik dipol momenti:

$$m = I\,A = \left(\frac{ev}{2\pi r}\right)\pi r^2 = \frac{1}{2}\,evr$$

Noktasal cismin açısal momentumunu $L = mvr$ cinsinden:

$$m_L = \frac{e}{2m_e}L \qquad \text{(Açısal momentumla manyetik dipol momenti ilişkisi)}$$

1. Spin dipol momenti



Elektronların kendi özünde olan ve **spin** denilen bir açısal momenti daha var.

Spinin klasik açıklaması yok. Elektron kendi ekseni etrafında dönen bir topaca benzetilebilir.

Spin manyetik momenti benzer şekilde tanımlanır:

$$m_S = 2.0023 \times \frac{e}{2m_e} S \qquad \text{(Spin manyetik momenti)}$$

O halde, atomun toplam manyetik momenti: $\vec{m} = \vec{m}_L + \vec{m}_s$

Hatırlatma: Bir B manyetik alanında m momentine etkiyen tork:

$$\tau = mB \sin\theta$$

Mıknatıslanmanın kaynağı budur: Bir dış manyetik alana konulan cisimlere etkiyen tork, manyetik momentleri döndürmeye çalışır.

Manyetizasyon ($\vec{M}$)

Birim hacımdaki net manyetik momente **manyetizasyon** denir:

$$\vec{M} = \frac{\sum_i \vec{m}_i}{V}$$

Bu ortalama momentin kendi oluşturduğu manyetik alan: $\vec{B}' = \mu_0 \vec{M}$

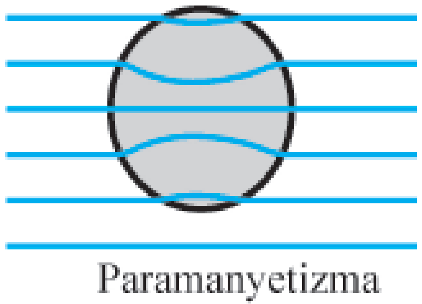
Bir $\vec{B}_0$ dış manyetik alanına konulan madde içindeki net manyetik alan:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M} = \mu_0 \left(\frac{\vec{B}_0}{\mu_0} + \vec{M} \right)$$

Tanım: $\vec{H} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}$ **manyetik şiddet vektörü**

Buna göre, madde içindeki manyetik alan: $\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{H} + \vec{M} \right)$

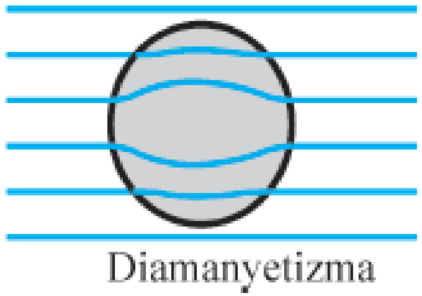
$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$$



- Ortamda mıknatıslanma yoksa ($M = 0$) $\rightarrow$ $\vec{B} = \vec{B}_0$
- Ortamın mıknatıslanması dış alanla aynı yönde ise:

  $M > 0 \;\rightarrow\; B > B_0 \;\rightarrow$ **Paramanyetizma**

  (Aluminyum, platin, kalsiyum, sodyum. . .)



- Ortamın mıknatıslanması dış alana zıt yönde ise:

  $M < 0 \;\rightarrow\; B > B_0 \;\rightarrow$ **Diamanyetizma**

  (Altın, gümüş, bakır, kurşun. . .)

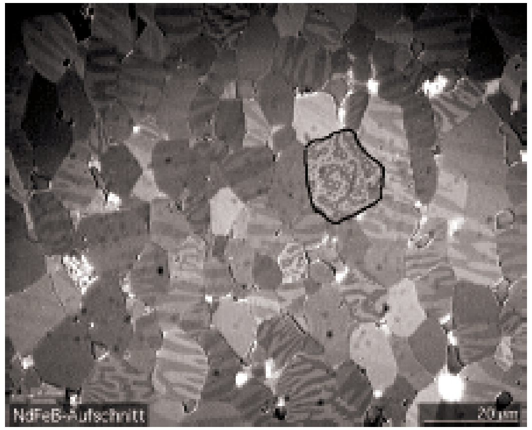
Her iki tür maddenin mıknatıslığı, dış manyetik alan kaldırıldığında yokolur.

Ferromanyetizma

Dört metal (demir, nikel, kobalt, gadolinyum) dış manyetik alan kaldırıldığında mıknatıslık özelliklerini kaybetmezler.

Bu kalıcı manyetizasyon özelliğine **ferromanyetizma** denir.

Ferromanyetik maddelerin mıknatıslığı çok güçlüdür. Paramanyetik maddelere kıyasla 1000 kat daha büyük M manyetizasyona çıkabilir.



NdFeB kristalinde domenler.

Mikroskopik yapılarında, net mıknatıslığa sahip **domen** denilen bölgeler gözlenir.

Domenler başlangıçta herbiri rasgele yönde olduğundan, net bir mıknatıslanma oluşmaz.

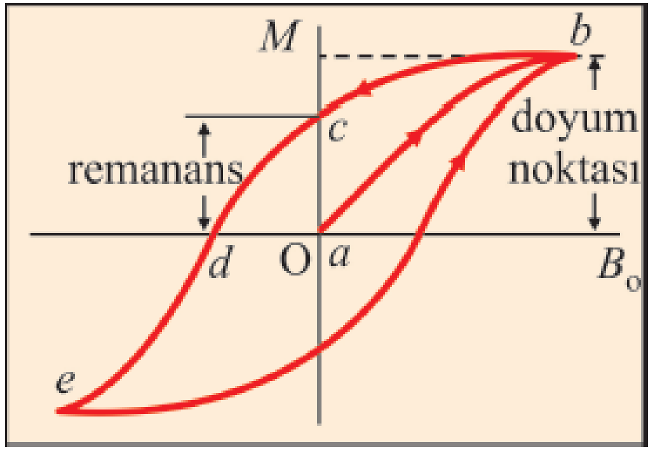
Bir dış manyetik alan içine konulduğunda, alan yönündeki domenlerin büyüdüğü, diğer yöndekilerin küçüldüğü gözlenir.

Fakat, ferromanyetizma kritik bir sıcaklığa (Curie sıcaklığı) kadar sürer.

Bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında madde, ani bir faz geçişiyle, tekrar paramanyetik özelliğine geri döner. (Demir için kritik sıcaklık 770 °C.)

Histerezis eğrisi

Bir B_0 dış manyetik alanı içine konulan ferromanyetik malzemenin M manyetizasonundaki değişimi gösteren eğri.



B_0 arttıkça M manyetizasyonu da artar (ab)

Bu artış, sonunda bir **doyum manyetizasonu** denilen değere kadar sürer (b noktası). Bu noktada tüm atomların manyetik momentleri dış alana paralel hale gelmiştir.

Sonra, B_0 azaltılır, ama M değeri aynı yolu izleyerek geri dönmez (bc eğrisi).

c noktasında $B_0 = 0$ olduğu halde kalıcı bir M_r oluşur (remanans).

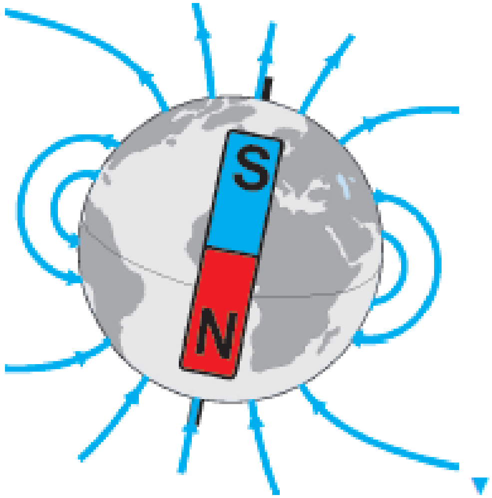
Dış manyetik alan ters yöne çevrilirse (cde yolu), mıknatıslanma da azalır ve benzer davranış tekrarlanır.

Buradan ferromanyetik maddelerin niçin hafıza çiplerinde kullanıldığı anlaşılır. Manyetik alan bir yönde sıfırlandığında, manyetizasyon M_r, diğer yönde sıfırlandığında $-M_r$ değerinde kalmaktadır.

Dünyanın Manyetik Alanı

Mıknatıslı pusulayı Dünya'nın kuzey kutbuna yönlendiren şey dünyanın manyetik alanıdır.

Ortalama değeri 10^{-4} T, tam yüzeye paralel değil, yüzeye dik küçük bir bileşeni daha var.



Dikkat: Dünya mıknatısının güney kutbu (S) coğrafi kuzey kutbunda. (Bu yüzden pusulanın kuzey kutbunu coğrafi kuzey yönünde çekiyor.)

Bu mıknatısın kutupları coğrafi kuzey ve güney kutuplarıyla tam çakışmıyor.

Manyetik kutup zaman içinde yerdeğiştiriyor (Halen Kuzey Kanada'da Ellesmere adası civarında, Rusya'ya doğru kaymakta).

Kaynağı tam bilinmiyor. Bugün, elektrik yüklü erimiş lavların konveksiyon akımlarından kaynaklandığı düşünülmekte.

TEŞEKKÜR EDERİM