

## Yarıiletkenlerin Manyetik Özellikleri

Düğadaki tüm Manyetik alanların kaynağı (Mıknatıslarda dahil) hareket halindeki yüklerdir, yani Akımdır.

Bir atomda elektronların iki tür hareketi vardır. Bunlar

i.) Elektronların çekirdek etrafındaki yörüngelerdeki hareketi (Yörünge hareketi)

ii.) Elektronların kendi eksenleri etrafındaki (Spin) hareketi (Elektronların hareketi Dünyanın Güneş etrafındaki hareketine benzetilebilir)

Elektronların bu hareketlerinin herbiri bir akıma karşılık gelir ve bu hareketlerinden kaynaklanan bir Manyetik moment vardır.

Manyetik Moment ( $\mu$ ) :

$$\vec{\mu} = I \vec{A}$$

olarak tanımlanır.

Yörünge hareketinden kaynaklanan manyetik moment  $\mu_L$  yörünge açısal momentumu ( $\vec{L}$ ) ile Spin hareketinden kaynaklanan manyetik moment  $\mu_S$  ise spin açısal momentumu ( $\vec{S}$ ) ile orantılıdır.

$$\text{Yörünge } \mu_L \propto \vec{L}$$

$$\text{Spin } \mu_S \propto \vec{S}$$

## • Yörünge Açısal Momentum ve Manyetik Momenti

Açısal momentum  $\vec{L}$ ,

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} = m\vec{v}r$$

$$\vec{\mu}_0 = I\vec{A}$$

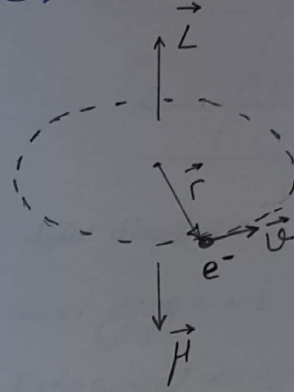
$$I = \frac{q}{t} = \frac{e}{t}$$

$$t = T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$I = \frac{e}{\frac{2\pi r}{v}} = \frac{ev}{2\pi r}$$

$$\mu_0 = IA = \frac{ev}{2\pi r} (\pi r^2) = \frac{evr}{2} \frac{m}{m} = \frac{mvr}{2m}$$

$$\vec{\mu}_0 = \left(-\frac{e}{2m}\right) \vec{L}$$



Buradaki  $(-)$  işareti  $\vec{\mu}_0$  ile  $\vec{L}$  nin zıt yönde olduğunu gösterir.

## • Spin Açısal Momentum ve Manyetik Momenti

Spin açısal momentumu ( $\vec{S}$ );

$$\vec{S} = \pm \frac{\hbar}{2} \text{ ile tanımlanır.}$$

Spin manyetik moment  $\vec{\mu}_s$ ;

$$\vec{\mu}_s = \left(-\frac{e}{m}\right) \vec{S}$$

Not:

Spin açısal momentumu tamamen kuantum mekaniksel dir.

Dolayısıyla yörünge açısal momentumunun çıkarılışındaki gibi klasik model KULLANILAMAZ.

Bir atomun toplam ahsal momentumu değisiyle toplam manyetik momentini yörünge ve spin bileşenlerinin toplamından oluşur.

1,5

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

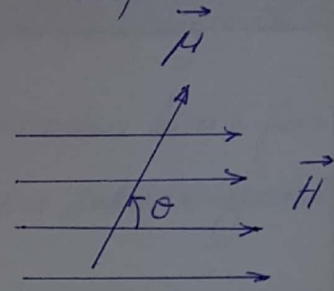
Şimdi, toplam manyetik momentini  $\vec{\mu}$  olan bir atom bir dış manyetik alan içine konursa ne olacağına bakalım;

Bu dipole bir tork etker; Etkiyen tork

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{H}$$

$$\tau = \mu H \sin \theta$$

ile verilir.



$\theta = \frac{\pi}{2}$  için dipolün pot. enerjisi sıfır seğılirse

Etkiyen torkun dipolü dış alanla  $\theta$  açısı yapacak konuma döndürmesi için yaptığı iş dipolde potansiyel enerji olarak depolanır. Yani Dipolün potansiyel enerjisi  $U_m$ ,

$$U_m = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} \tau d\theta = \mu H \int_{\frac{\pi}{2}}^{\theta} \sin \theta d\theta$$

$$= -\mu H \cos \theta$$

$\mu$ ,  $H$  ile aynı yönde iken  $U_m$  minimum zıt yönde iken maksimumdur.

Elektronun sadece yörünge hareketini gözönüne alarak olursak; Bir atomun man. alandaki pot. enerjisi

$$U_m = \frac{e}{2m} L H \cos \theta$$

olacaktır. Ahsal Momentumun izin verilen deęerleri

$$L = \sqrt{l(l+1)} \hbar$$

ile verilir.

Manyetik kuantum sayısı  $m_l$  olan bir atomun bir  $H$  dış manyetik alanı içerisindeki manyetik enerjisi

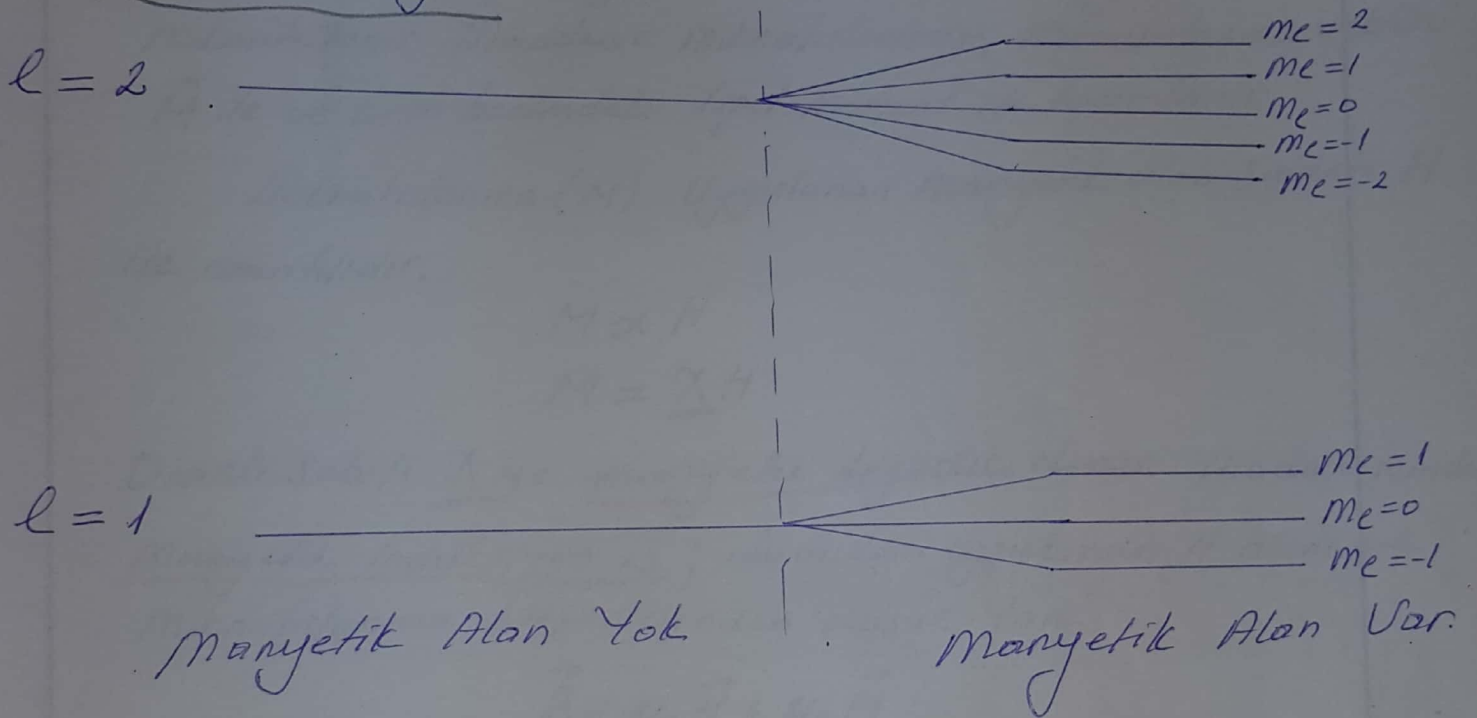
$$U_m = m_l \left( \frac{e \hbar}{2m} \right) H$$

olarak bulunur.



Burada  $m_l$  nin alabileceği değerler  $-l$  ile  $+l$  arasındaki tamsayı değerlerdir.

Buna göre; atom manyetik alan içine yerleştirildiğinde enerji seviyeleri manyetik alanın yokluğundaki enerjisinden biraz fazla veya azdır. Enerji seviyelerinin manyetik alanda bu şekilde yarılması, Zeeman olayı denir.



~~Bir Atomun toplam orbital momentumu dolayısıyla toplam manyetik momenti yörünge ve spin bileşenlerinin toplamından oluşur.~~

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

★

### • Manyetik Duygunluk

Bir madde bir dış manyetik alan içine konduğunda madde mıknatıslanır. Maddenin mıknatıslanması, mıknatıslanma vektörü  $\vec{M}$  ile ve birim hacimdeki dipol moment ile tanımlanır.

Mıknatıslanma ( $M$ ) uygulanan manyetik alan şiddeti  $H$  ile orantılıdır.

$$M \propto H$$

$$M = \chi H$$

Orantı sabiti  $\chi$  ye manyetik duyarlık denir. Madde içindeki manyetik indüksiyon  $B$ ; dışarıdan uygulanan  $H$  alanı ve mıknatıslanma bileşenlerinden oluşur. Yani

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

$$= \mu_0 H + \mu_0 \chi H$$

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H}$$

Görüldüğü gibi  $\vec{B}$  vektörü uygulanan many. alanla ( $\vec{H}$ ) orantılıdır.

Orantı sabiti

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi)$$

ye Ortamın manyetik duyarlılığı denir. Göçü zaman relatif duyarlılık kullanılır. Relatif duyarlılık  $\mu_r$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \text{ olarak tanımlanır.}$$

## - Malzemelerin Sınıflandırılması

i.)  $\chi > 0$  ve  $M$  dış alana ( $H'$ 'ye) paraleldir. Bu tür malzemelere Paramanyetik malzemeler denir.

ii.)  $\chi < 0$  ve  $M$  dış alana anti paraleldir. Bu tür malzemelere Diamanyetik malzeme denir.

iii.) Ferromanyetik Malzemeler  $\chi \gg 1$  tür  $\mu_e$  ( $10^5 \text{ cm}^{-3}$ )  
 bu tür malzemeler belirli bir sıcaklığın altında  
 kendiliğinden manyetizlanırlar.

## 1 - Diamanyetik maddeler: (çiniş, bitum)

(4)

Diamanyetik maddelerde her bir atomun manyetik momentinin yönü diğer atomların manyetik momentlerinin yönünden bağımsızdır. Bu nedenle dış manyetik alan ortadığında oluşan net manyetik moment sıfırdır.

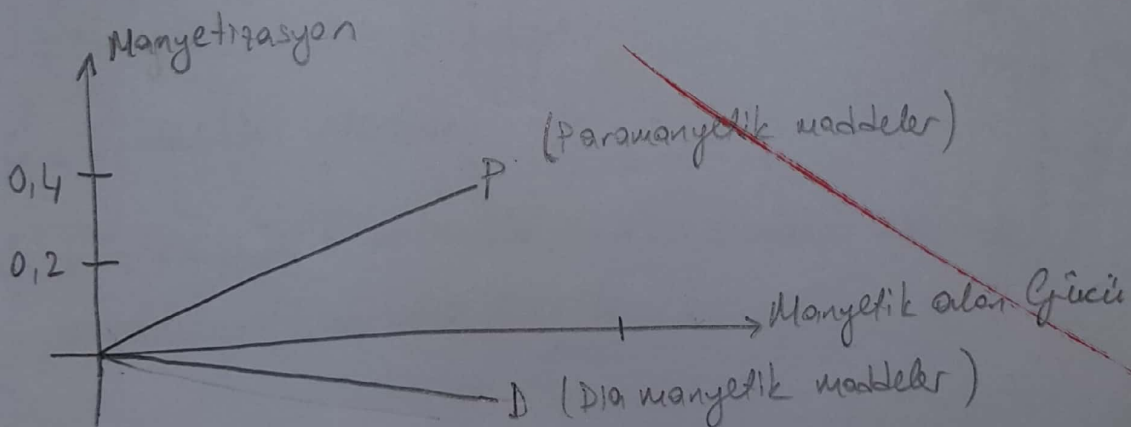
Diamanyetik maddelere dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında e<sup>-</sup>lar fazladan bir manyetik kuvvet etkisinde  $\vec{F}_B = q \vec{v} \times \vec{B}$  kalırlar. Ek kuvvet nedeniyle e<sup>-</sup>ların üzerine etkileyen net manyetik kuvvet değişir. Sonuçta e<sup>-</sup>ların manyetik momentleri birbirlerini yok etmekte, dış manyetik alana zıt yönde bir dipol moment oluşturmurlar.

## 2 - Paramanyetik maddeler: (ozon, platin, krom, sıvı oksijen, manganez)

Paramanyetik maddelerin de spin ve orbital momentlerinden kaynaklanan manyetik momentleri büyük oranda birbirlerini yok eder.

Paramanyetik maddelere bir dış alan uygulandığında, manyetik momentleri bu alana bir miktar yönelirler. Bu yönlenme paramanyetiklik derecesine göre değişiklik gösterir.

Dış manyetik alan ortadan kalktığında, manyetiklikleri yok olur.



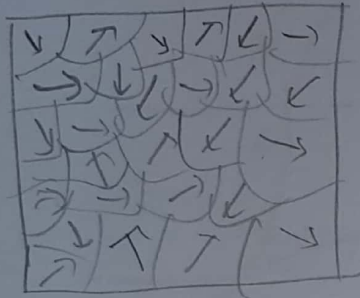


### 3 - Ferrromanyetik Maddeler:

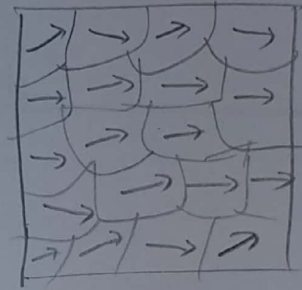
5

Ferrromanyetik maddeler, sürekli manyetik momente sahip olan maddelerdir. (Demir, kobalt, nikel). Bu tür maddeler zayıf bir dış manyetik alanda bile paralel yönelirler ve dış manyetik alan ortadan kalksa bile miknatıslığını sürdürebilirler. Yine ferrromanyetikalik derecesi değişik maddeler mevcuttur.

Tüm ferrromanyetik maddeler domain denen mikroskopik bölgelerden oluşur. Başlangıçta farklı yönde olan dipol momentler dış manyetik alan etkisi ile yaklaşık paralel yönelirler.



$$\vec{B} = \vec{0}$$

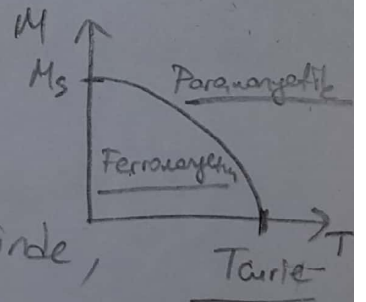


$$\vec{B}$$

Domainlerin hacimleri yaklaşık  $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^3$  olup, her bir domain  $10^{17} - 10^{21}$  civarında atom içerir.

### Ferrromanyetik Maddelerini:

- 1 - Bapıl manyetik geçirgenlikleri ( $\mu$ ) 1 den çok büyüktür.
- 2 - Bapıl manyetik geçirgenlikleri, malzemenin cinsine, üzerine uygulanan manyetik alan şiddetine göre değişir.
- 3 - Manyetik histerisize sahiptir.
- 4 - Sıcaklıktan etkilenir.
- 5 - Ferrromanyetik maddeler Curie sıcaklığı üzerinde, paramanyetik duruma geçerler.





## Histerisiz Eprisi (Geurini):

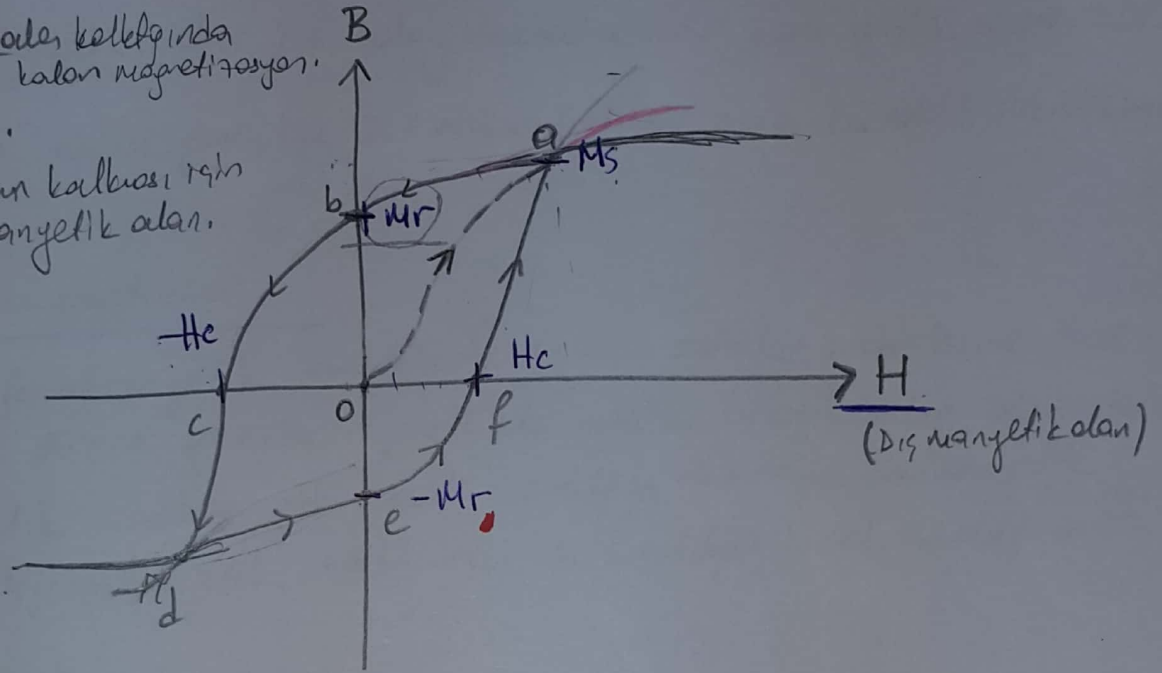
(6)

Ferromanyetik bir maddenin, bir dış manyetik alan etkisi ile döner davranışlarını ve mıknatıslanma karakteristiğini gösteren eğridir.

$M_r$ : Dış manyetik alan kaldırıldığında kalan mıknatıslanma.

$M_s$ : Doyma değeri.

$H_c$ : Mıknatıslanmanın kalkması için uygulanacak ters manyetik alan.



o noktası - Maddeye dış manyetik alan uygulanmaya başlayınca mıknatıslığı artar.

a noktası - Mıknatıslanma doymaya ulaşır. Ve dış manyetik alan azaltılır.

b noktası - Dış manyetik alan tamamen ortadan kalktığı durumda, maddenin mıknatıslığı yok olur. ( $M_r$ ).

c noktası - Ters yönde dış manyetik alan uygulandığında dönerlerin yönü değişmeye başlar.

d noktası - Yönlenme tamamlanır ve doymaya ulaşılır.

e noktası - Dış manyetik alan ortadan kaldırıldığında yine kalıcı bir mıknatıslık görülür.

f noktası - Yine başlangıçtaki yönde dış alan uygulanarak dönerlerin yöndeğiştirilmesi sağlanır.

g noktası - Yönlenme ve mıknatıslanma yine a noktasında doymaya ulaşır ve eğri tamamlanır.

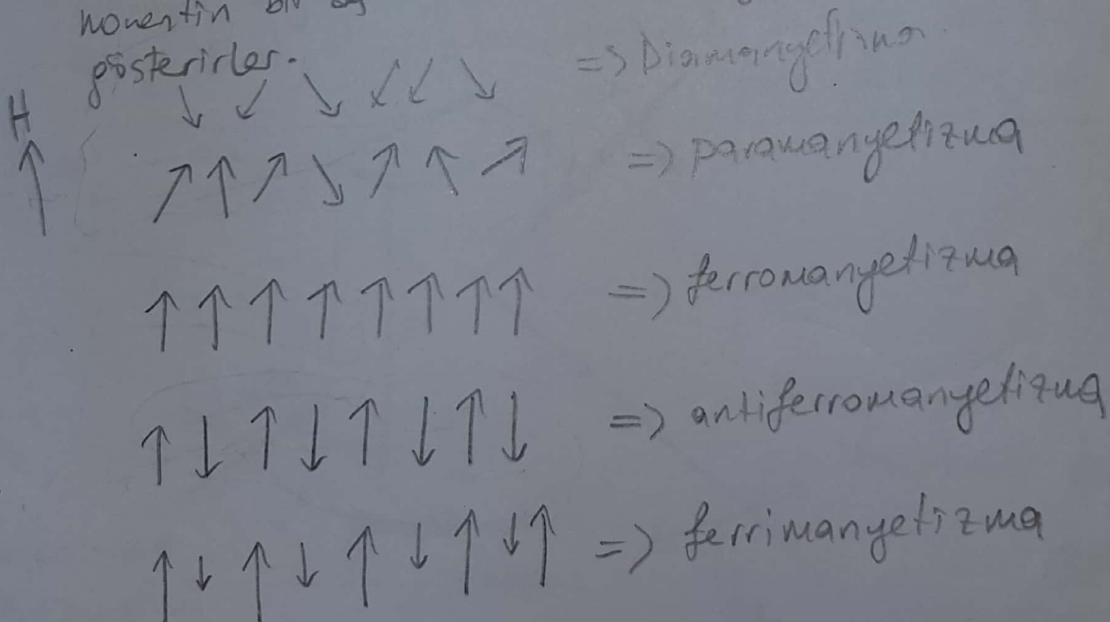
- \* İnce filmlerde histerisiz eğrisi kareye benzer.
- \* Histerisis eğrisinin alanı küçükse, manyetik geçirgenliği de küçüktür. (yumuşak mıknatıslar).
- \* Alan büyükse, manyetik geçirgenliği de büyüktür. (sert mıknatıslar).
- \* Histerisiz eğrisi dar ise kolay mıknatıslanır ama düşük değerdedir.
- \* Histerisiz eğrisi geniş ise zor mıknatıslanır ama kuvvetli mıknatıslar.

### Antiferromagnetizma:

Antiferromanyetik maddelerde komşu spinler birbirlerine göre ters yönde düzere girerler. Genellikle iyonik bileşiklerden oluşurlar. Ferrromanyetik maddeler gibi belli sıcaklığın üzerinde paramanyetik olurlar. Ancak antiferromanyetik maddelerin bu sıcaklığı Neel sıcaklığıdır.

## Ferrimagnetizma:

Paramanyetik atomlardan iki farklı düzineye ayrılabilir.  
 1. Zif yoneli ancak siddetleri farklıdır. Bu nedenle net manyetik momentin bir değeri vardır. Paramanyetik maddelere benzer özellik gösterirler.



Farklı yöntemler kullanılarak manyetik hafızasına yapmak mümkündür.

Isı etkisi ile hafızasına:

Oda sıcaklığında sert manyetik özellik gösteren, oda ısıtıldığında yumuşak manyetik özellik gösteren malzemelere uygulanır. Veri saklama yeterliği, manyetik alan etkisi altındaki, küçük bir alanın laserle ısıtılarak bilgi saklanması ve sonra oda sıcaklığına soğutulularak bilginin kalıcı hale gelmesi ile sağlanır.

Saklanan bilgiyi okuma için yine laserlerle Kerr manyeto-optik etki kullanılarak yapılır.

Başlıca İki Manyetik Etki:

Kerr manyeto-optik Etkisi

Manyetik bir maddeye ışık düşürüldüğünde ışığın polarizasyonunda belli açılarda dönme gözlenir. Bu açı maddenin manyetizasyonuna göre değişim gösterir. Bu şekilde maddenin manyetik dipol momenti ve şekli ile ilgili tespitler yapılabilir.

