

## BÖLÜM 5: İŞ, GÜÇ VE ENERJİ

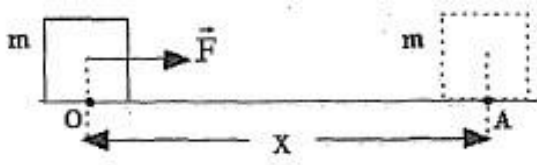
### İş

Fizikte bir cisme kuvvet uygulandığında cisim hareket ediyorsa cismin hareketi kadar *iş yapılmış sayılır*. İş skaler bir büyüklük olup  $W$  sembolü ile gösterilir, SI birim sisteminde birimi Nm ya da joule (J) olarak verilir.

İşin, fizikteki tanımı kesin olup ölçülebilir bir niceliği ifade eder.

#### Yatay kuvvetin yaptığı iş

Yatay kuvvetin yaptığı iş aşağıdaki Şekil 'de de görüldüğü gibi  $m$  kütleli bir cisme yatay bir  $F$  kuvveti etki ederek bu cismin  $x$  kadar yer değiştirmesine neden olduğunda  $F$  kuvvetinin yaptığı iş  $W = \vec{F} \cdot \vec{x}$  eşitliği ile tanımlanır. Kuvvet ve yer değiştirme vektörü aralarındaki  $\theta$  olsaydı  $\vec{F}$  ve  $\vec{x}$  gibi iki vektörün skaler çarpımının sonucu yine bir skaler olup  $\vec{F} \cdot \vec{x} = F \cdot x \cos \theta$  şeklinde olurdu.



#### İki Vektörün Skaler Çarpımı

Fiziksel anlamda iş kavramına ait matematiksel hesapların yapılabilmesi için öncelikle *vektörlerin skaler çarpımı* konusunun bilinmesi gerekir. Bu yüzden, öncelikle vektörlerin skaler çarpımının ne olduğunu öğrenelim:  $\vec{A}$  ve  $\vec{B}$  vektörlerinin *skaler çarpımı*,  $\vec{A} \cdot \vec{B}$  şeklinde yazılır ve  $\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$  şeklinde tanımlanır. Burada  $\theta$   $\vec{A}$  ve  $\vec{B}$  vektörleri arasındaki açıdır. *Skaler çarpımda*, vektörlerden birinin diğeri üzerindeki izdüşümü alınarak çarpma işlemi yapılır. Başka bir deyişle İki vektörün *skaler çarpımının sonucu*, birinci vektörün büyüklüğünün ( $|\vec{B}|$ ) ikinci vektörün birinci vektör doğrultusundaki bileşeninin büyüklüğü ( $|\vec{A}| \cos \theta$ ) ile çarpımına eşit *skaler* bir nicelikdir.

#### Sabit Kuvvetin Yaptığı İş

İş kelimesi günlük hayatta birçok anlama gelirken fiziksel anlamda işin tek bir tanımı bulunmaktadır. Bir cisme uygulanan kuvvetin, fiziksel anlamda cisim üzerinde iş yaptığının söylenilebilmesi için; hem *cismin yer değiştirmesi* hem de *cisme uygulanan kuvvetin, cismin yer değiştirme doğrultusuna paralel bir bileşeninin olması* gerekir. Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi bir cisim, *sabit bir  $\vec{F}$  kuvvetinin etkisi altında O noktasından A noktasına doğru  $\vec{x}$  kadar yer değiştirdiğinde  $\vec{F}$  kuvveti bu cisim üzerinde fiziksel anlamda bir iş yapar.  $\vec{F}$  Kuvvetinin yaptığı bu iş ( $W$ ), matematiksel olarak  $\vec{F}$  kuvveti ile  $\vec{x}$  yer değiştirmesinin skaler çarpımı olarak tanımlanır. Fiziksel olarak tanımlandığında ise sabit bir kuvvetin yaptığı iş, kuvvetin yer değiştirme doğrultusundaki bileşeni ile yer değiştirmenin büyüklüğünün çarpımına eşittir.*

$$W = \vec{F} \cdot \vec{x} = |\vec{F}| \cdot |\vec{x}| \cos \theta = Fx \cos \theta$$

Bir cisme, kendi hareket yönünde sabit bir kuvvet uygulandığında kuvvet ile yer değiştirme arasındaki açının değeri  $0^\circ$  olacağından bu kuvvetin cisim üzerinde yaptığı iş;

$W = Fx \cos 0 = Fx$  ifadesi ile verilir.

## Sürtünme Kuvvetinin Yaptığı İş

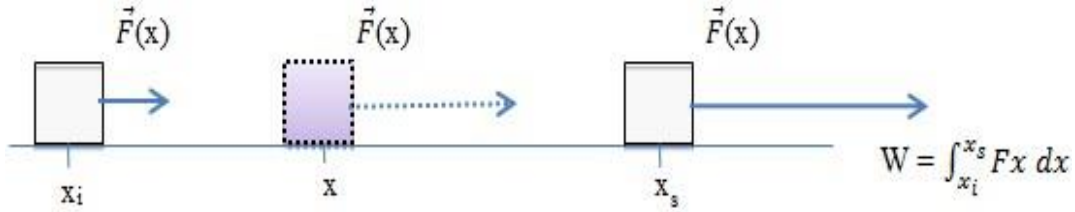
Daha önceki bölümde de bahsedildiği gibi sürtünme kuvveti, statik sürtünme kuvveti ve kinetik sürtünme kuvveti diye ikiye ayrılır. Statik sürtünme kuvvetinin etki ettiği durumlarda cismin konumunda bir değişiklik olmayacağı için ( $\Delta x=0$ ) statik sürtünme kuvveti, cisim üzerinde herhangi bir iş yapmaz. Kinetik sürtünme kuvveti ise cisimlerin hareketi esnasında etki eden kuvvetlerdendir. Kinetik sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = \vec{F}_k \cdot \vec{x} = |\vec{F}_k| \cdot |\vec{x}| \cos \theta$$

ifadesi ile hesaplanır.

## Değişken Kuvvetin Yaptığı İş

Konuma bağlı olarak değişen kuvvetlerin yaptıkları iş, integral işlemiyle hesaplanır. Örneğin **Şekil** deki gibi  $x$  konum koordinatı ile değişen bir  $\vec{F}(x)$  kuvvetinin etkisi altında  $x_i$  konumundan  $x_s$  konumuna  $+x$  yönünde  $\vec{x}$  kadar yer değiştiren bir cisim üzerinde  $\vec{F}(x)$  kuvvetinin yaptığı iş,  $W = \int_{x_i}^{x_s} F_x dx$  integrali ile hesaplanır.



Cismin küçük bir  $\Delta x$  yer değiştirmesi yaptığını düşünürsek, kuvvetin  $x$  bileşeni,  $\vec{F}(x)$  bu aralıkta yaklaşık olarak sabit kabul edilebilir. Bu durumda çok küçük yer değiştirme için kuvvetin yaptığı iş,  $W \approx F_x \Delta x$  olur.

## ENERJİ

Enerji kelimesi de iş kelimesi gibi günlük hayatımızda sıklıkla kullandığımız kelimelerdendir. Enerjinin tanımını yapmak oldukça zordur. Ancak, etkilerini göz önüne alarak enerjiyi bir cisim veya sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlayabiliriz.

### POTANSİYEL ENERJİ

Bir cismin bulunduğu konuma ya da durumu nedeniyle sahip olduğu enerjiye potansiyel enerji adı verilir. Sıkıştırılmış bir yay potansiyel enerjiye sahiptir. Çünkü önüne konulan bir cismin konumunu değiştirerek iş yapabilir. Yerden  $h$  kadar yüksekliğe kaldırılan  $\vec{G}$  ağırlığındaki bir cisim, bu yükseklikten düşerse  $\vec{G} \cdot \vec{h}$  kadar iş yapabilir. Dolayısıyla bu cismin yere göre sahip olduğu potansiyel enerji;

$$E_p = \vec{G} \cdot \vec{h} = mgh$$

olur. Potansiyel enerji skaler bir büyüklük olup birimi joule (J)'dur. Potansiyel enerjinin daima bir konuma göre tanımlandığını hatırdan çıkarmamak gerekir.

### Kinetik Enerji

**Kinetik enerji**, hareket halindeki cisimlerin hızlarından dolayı sahip oldukları enerji çeşididir. O halde, doğrusal (lineer), dönme veya titreşim hareketi yapan tüm cisimler kinetik enerjiye sahiptir. Ancak bu bölümde sadece düz bir düzlem üzerinde doğrusal hareket yapan cisimlerin sahip oldukları kinetik enerjiyle ilgileneceğiz. Doğrusal hareket yapan bir cismin sahip olduğu kinetik enerji cismin kütlesi ve cismin hızının karesiyle doğru

orantılıdır. *Kinetik enerji* genellikle  $K$  sembolüyle gösterilir,  $K = \frac{1}{2}mv^2$  denklemi ile tanımlanır. Bir cismin sahip olduğu kinetik enerji asla negatif olamaz. Kinetik enerjinin birimi *Joule* (J)'dür. Enerjinin elektrik enerjisi, ısı enerjisi, nükleer enerji, mekanik enerji gibi çeşitleri vardır. Bir cisim veya sistem enerji harcamışsa iş yapmış, ya da iş yapmışsa enerji harcamıştır. O halde iş ve enerji birimleri aynı olup her ikisinin de birimi joule (J)'dur.

### Kinetik Enerji ve İş-Kinetik Enerji Teoremi

Parçacık üzerine etki eden kuvvetleri belirlemenin zor olduğu durumlarda, problem iş ve enerji kavramları kullanılarak daha kolay çözülebilir.  $v$  hızıyla hareket eden bir parçacığın kinetik enerjisi

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

olarak tanımlanır. Parçacık üzerine etki eden net kuvvetin yaptığı iş, parçacığın kinetik enerjisindeki değişmeye eşittir:

$$\sum W = K_s - K_i = \Delta K$$

Bu da iş-kinetik enerji teoremi olarak adlandırılır. Bu teorem kuvvet değişken olduğunda da geçerlidir.

Sürtünmeli bir yüzeyde hareket eden parçacığın kinetik enerjisinde bir kayıp olur Bu kayıp olan enerji

$$\Delta K_{\text{sür}} = -f_k d$$

eşiliği ile ifade edilir. Bu kayıp enerjinin bir kısmı, parçacığı ısınmasına, diğer kısmı ise yüzeyin ısınmasına harcanır. Sürtünme dışında başka kuvvetlerde etki ediyorsa iş-kinetik enerji teoremi

$$K_i \sum W_{\text{diğer}} - f_k d = K_s$$

şeklinde ifade edilir.

Dönen bir cismin eylemsizlik momenti, cismi oluşturan kütlelerin, dönme eksenine olan dik uzaklıkların kareleri ile çarpımlarının toplamıdır.  $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots$ . Örneğin çember için eylemsizlik momenti: Çemberin yarıçapı  $r$ , kütlesi  $m$  olmak üzere  $I = mr^2$ 'dir.

Bir cismin veya sistemin potansiyel ve kinetik enerjileri toplamına **mekanik enerji** denir. Koşan bir çocuğun, fırlatılan bir taşın kinetik enerjisinden söz edileceği gibi barajlarda biriken suyun, ağaçtaki meyvenin, çatıdan sarkan buz saçaklarının potansiyel enerjisinden söz edebiliriz.

Cisimlerin potansiyel ve kinetik enerjisinden başka dönmelerinden dolayı sahip oldukları dönme kinetik enerjisi adını verdiğimiz bir enerjisi vardır. Bu enerji,  $E_d = \frac{1}{2}I\omega^2$  ile verilir. Burada  $I$  cismin eylemsizlik momentini,  $\omega$  ise açısal hızını göstermektedir. O halde zeminde kaymadan dönerek ilerleyen, örneğin bir otomobil tekerleğinin enerjisi, kinetik ve dönme kinetik enerjilerinin;  $E = E_k + E_d$  toplamı olacaktır.

### Enerjinin Dönüşümü

Enerjinin doğada çok çeşitli biçimlerde bulunduğundan söz etmiştik. Enerji bir biçimden diğerine dönüşebilir. Örneğin kimyasal enerji elektrik enerjisine, ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşebilir. Bu dönüşümler termodinamik yasaları çerçevesinde yürümektedir. Enerjiyi belki de önemli kılan bu dönüşüm

özelliğidir. Bu dönüşümlerde toplam enerji sabit kalmaktadır. Enerji dönüşümü biyoloji, kimya, fizik gibi temel bilimlerle mühendislik bilimlerinin esasını oluşturur.

Burada şu noktayı ifade etmekte fayda vardır. Enerji dönüşümleri bire bir dönüşümle gerçekleşmez. 1 J'luk elektrik enerjisi için 4 J'luk ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Elektrik enerjisini kıymetli kılan bu dönüşümdür. Çünkü, 1 J'luk elektrik enerjisi için ne kadar petrol, kömür, doğalgazın yakıldığını ya da barajlardan su bırakıldığını hesaplamak gerekir. Bu durumda "En ucuz enerji, tasarruf edilen enerjidir" ifadesinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır Isının mekanik eşdeğeri, 1cal=4,18J dur. Kalori (cal) günlük hayatta kullandığımız bir enerji birimidir.

### İş Enerji Teoremi

Bazı mekanik problemlerin çözümünde iş-enerji teoremi adını verdiğimiz teoremden yararlanırız. Bu teorem "Bir cismin üzerine bir kuvvet tarafından yapılan iş, o cismin kinetik enerjisi değişimine eşittir" şeklinde ifade edilir. İş Enerji Teoremi,  $W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{x} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$  bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada m cismin üzerine uygulandıktan sonraki ve uygulamadan önceki cismin hızını, x ise yolu göstermektedir.

### GÜÇ

Birim zamanda yapılan iş miktarına güç denir, t zamanında yapılan iş W ise, **güç**

$$P = \frac{W}{t}$$

olarak tanımlanır. Gücün birimi joule/saniye (J/s) olup, watt (W) olarak isimlendirilir.  $W=\mathbf{F} \cdot \mathbf{x}$  ifadesini yukarıdaki eşitlikte yerine koyarsak  $P = \frac{F \cdot x}{t}$  ve  $\frac{x}{t} = v$  olduğundan  $P = F \cdot v$  elde edilir. 1 BG=736 W olup 1BG (beygir gücü) pratikte kullanılan güç birimidir, wattaat (W h), 1W güç harcanarak 1 saatte yapılan iş olup 3600 J'e eşittir. 1 kilowattaat (k W h)=103 W h=3,60.10s J olarak tanımlanır.