

1. ÜNİTE: KUVVET VE HAREKET

1.1 VEKTÖRLER

Sadece sayılar ve birimlerle ifade edilebilen büyüklüklere **skaler büyüklük** denir. Sayılar ve birimlerin yanı sıra yön bilgisini de içeren büyüklüklere **vektörel büyüklük** denir.

Eşit vektörlerin yönleri ve büyüklükleri aynıdır. Yönleri zıt, büyüklükleri eşit olan vektörler birbirinin negatiftir. Pozitif sayıyla çarpılan vektörün büyüklüğü değişebilir, yönü ve doğrultusu değişmez. Negatif sayıyla çarpılan vektörün büyüklüğü değişebildiği gibi yönü de ters döner.

İki boyutlu (x,y) Kartezyen koordinat sisteminde vektör çizilirken vektörün başlangıç noktası orijin olarak kabul edilir. Bitiş noktası ise koordinatlarla belirtilen noktadır. Başlangıç noktası ile bitiş noktası birleştirilerek vektör çizilir. Vektörün yönü başlangıç noktasından bitiş noktasına doğrudur.

Üç boyutlu (x,y,z) Kartezyen koordinat sisteminde vektör çizilirken vektörün başlangıç noktası orijin olarak kabul edilir. Bitiş noktası ise koordinatlarla belirlenen noktadır. Başlangıç noktası ile bitiş noktası birleştirilerek vektör çizilir. Vektörün yönü başlangıç noktasından bitiş noktasına doğrudur.

Birden çok vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre **bileşke vektör** denir. Eşit büyüklükteki iki F vektörünün bileşkesi

$$\alpha = 60^\circ \text{ ise } R = F\sqrt{3}$$

$$\alpha = 90^\circ \text{ ise } R = F\sqrt{2}$$

$$\alpha = 120^\circ \text{ ise } R = F \text{ olur.}$$

Bileşke vektörü bulmak için kullanılan her bir vektöre bileşke vektörün **bileşenleri** denir. Kartezyen koordinat sistemindeki iki vektörünün büyüklüğü Pisagor teoremi yardımıyla hesaplanabilir.

1.2 BAĞIL HAREKET

Bir cismin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine **bağıl hareket**, sahip olduğu hıza ise **bağıl hız** denir. Bir K aracının bir L aracına göre hızı, K aracının yere göre hızından L aracının yere göre hızı vektörel olarak çıkarılarak bulunur. Buna göre K aracının L aracına göre hızı

$$\vec{v}_{\text{bağıl}} = \vec{v}_{KL} = \vec{v}_L - \vec{v}_K \text{ ile bulunur.}$$

Birden fazla hareketin etkisindeki cisimlerin yaptığı hareketlere **bileşik hareket** denir. Nehirdeki yüzücünün yere göre hareketi bileşik harekete örnek olarak verilebilir.

1.3 NEWTON'IN HAREKET YASALARI

Newton'ın birinci hareket yasasına göre bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ve cisim başlangıçta hareketsizse durgun kalır; hareketli ise sabit hızla hareketine devam eder.

Newton'ın ikinci hareket yasasına göre bir cisme etki eden net kuvvet sıfırdan farklı ise cisim kuvvet doğrultusunda ivme kazanır. Birden fazla kuvvetin yaptığı etkiyi tek başına yapan kuvvete **net kuvvet** denir. Kuvvetler tarafından ivmelendirilen kütlelere etki eden net kuvvetin büyüklüğü

$$F_{\text{net}} = m_{\text{toplam}} \cdot a \text{ ile bulunur.}$$

Newton'ın üçüncü hareket yasasına göre bir yüzeye dik olarak etki eden net kuvvete, yüzeyin gösterdiği eşit büyüklükte ve zıt yönlü kuvvete **tepki kuvveti** denir.

Sürtünme kuvveti, birbirine temas eden yüzeyler arasında, yüzeylere paralel doğrultuda oluşan ve hareketi zorlaştıran bir kuvettir ve iki yüzeye de etki eder. Cisim hareket hâlinde iken yüzeyde oluşan sürtünme kuvveti cismin hareket yönüne ters yöndedir. Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü

$$F_s = k \cdot N \text{ ile bulunur.}$$

Bir cisme etki eden tüm kuvvetlerin uygulama noktaları, yönleri ve büyüklüklerinin gösterilmesine **serbest cisim diyagramı** adı verilir.

1.4 BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Bir cismin, seçilen bir referans noktasına göre zamanla konum değiştirmesi olayına **hareket** denir. Cisimler, öteleme, dönme veya titreşim hareketi yapabilir. Sıfırdan farklı net kuvvet cisme ivme kazandırır, cisim bu ivmenin etkisiyle hızlanır ya da yavaşlar. Cisme sabit kuvvet etki ettiğinde ivme sabit olacağından birim zamanda hızdaki değişim de sabit olur. Birim zamandaki hız değişimine **ivme** denir. Buna göre ivmenin büyüklüğü

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ ile bulunur.}$$

Doğrusal olarak ivmeli hareket eden cisimler için hız, yer değiştirme ve zamansız hız formülleri

Hız formülü $v = v_0 \pm a \cdot t$

Yer değiştirme formülü $\Delta x = v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Zamansız hız formülü $v^2 = v_0^2 \pm 2a \cdot \Delta x$ şeklindedir.

Formüllerdeki ivme cismin hızını arttırıcı yönde ise aradaki işaret (+), azaltıcı yönde ise (-) alınır.

Bir gök cisminin birim kütleye uyguladığı çekim kuvvetine o gök cisminin **çekim ivmesi** denir ve $\vec{g}$ sembolü ile gösterilir.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda ilk hızsız olarak bırakılan cisimler, yalnız yer çekimi kuvveti etkisinde hareket eder. Bu harekete **serbest düşme hareketi** denir. Cismin hareket ivmesinin büyüklüğü g 'ye eşit olur. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda v_0 büyüklüğünde hız ile düşey olarak aşağı doğru atılan cisme yalnızca yer çekimi kuvveti etki eder. Cisim yer çekimi kuvveti etkisinde düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden v_0 büyüklüğünde hızla düşey olarak yukarıya doğru atılan cisme yalnız yer çekimi kuvveti etki eder. Cismin, çıkabileceği en büyük yüksekliğe **maksimum yükseklik ($h_{\max}$)** denir. Cisim yer çekimi kuvveti etkisinde maksimum yüksekliğe çıkana kadar düzgün yavaşlayan doğrusal hareket, maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra aşağıya doğru düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşme hareketine, aşağı doğru düşey olarak atılan cismin hareketine ve yukarıya doğru düşey olarak atılan cismin hareketine ait hız, yer değiştirme ve zamansız hız formülleri

Hız formülü $v = v_0 \pm g \cdot t$

Yer değiştirme formülü $h = v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} g \cdot t^2$

Zamansız hız formülü $v^2 = v_0^2 \pm 2g \cdot h$ şeklindedir.

Formüller kullanılırken serbest düşme hareketinde $v_0 = 0$ alınır. Aşağı doğru düşey olarak atılan cismin hareketiyle ilgili işlemlerde aradaki işaret (+), yukarıya doğru düşey olarak atılan cismin hareketiyle ilgili işlemlerde aradaki işaret (-) alınır.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden yukarıya doğru düşey atış, belli bir yükseklikten yatay atış ve eğik atış hareketlerinde cismin çıkış süresi t_c , iniş süresine t_i ve uçuş süresi $t_{uçuş}$ ile gösterilirse

$$t_c = t_i$$

$$t_{uçuş} = 2t_c = 2t_i \text{ olur.}$$

Hava ortamında ilk hızsız olarak bırakılan cisimlere harekete ters yönde hava tarafından **direnç kuvveti (F_d)** etki eder. Hava direnç kuvveti

$$F_d = K \cdot A \cdot v^2 \text{ ile bulunur.}$$

Hava ortamında ilk hızsız olarak bırakılan cisim ağırlığı etkisinde hızlanır. Hızı arttıkça cisme etki eden hava direnç kuvveti de artar. Hava direnç kuvveti ile ağırlığın büyüklükleri eşitlendiği anda cisme etki eden net kuvvet ve cismin ivmesi sıfırlanır. Cisim bundan sonra sabit hızla hareket eder. Bu sabit hız **limit hız (v_{lim})** denir. Limit hız

$$v_{lim} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{K \cdot A}} \text{ ile bulunur.}$$

1.5 İKİ BOYUTTA HAREKET

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden belli bir yükseklikten yatay olarak atılan cisim hareketine **yatay atış hareketi** denir. Yatay olarak atılan cisim yatay doğrultuda sabit hızlı, düşey doğrultuda sabit ivmeli hareket yapar. İşlemlerde yatay doğrultudaki harekette sabit hızlı harekete, düşey doğrultudaki harekette serbest düşme hareketine ait formüller kullanılır.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatay düzlemle açı yapacak şekilde atılan cismin hareketine **eğik atış hareketi** denir. Yatayla yukarı yönde eğik olarak atılan cisim yatay doğrultuda sabit hızlı, düşey doğrultuda önce yukarıya doğru düzgün yavaşlayan, maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra aşağıya doğru düzgün hızlanan hareket yapar. İşlemlerde yatay doğrultudaki harekette sabit hızlı harekete, düşey doğrultudaki harekette yukarıya doğru düşey atış hareketine ait formüller kullanılır.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda eğik atış hareketinde cismin çıkış süresi t_c , iniş süresine t_i ve uçuş süresi $t_{uçuş}$ ile gösterilirse

$$t_c = t_i$$

$$t_{uçuş} = 2t_c = 2t_i \text{ olur.}$$

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatay ya da eğik atış hareketi yapan cisim aynı anda hem yatay hem düşey düzlemde hareket eder. Yatay veya eğik olarak atılan cisimler bileşik hareket yapar. Cismin herhangi bir andaki hızının büyüklüğü Pisagor teoremi ile bulunur.

Atılan bir cismin yatay doğrultuda alabileceği maksimum uzaklığa **menzil (atış uzaklığı)** denir. Eğik olarak atılan cisim yatayla yukarı yönde 45° açı yapacak şekilde atıldığında maksimum menzile sahip olur. Atış açısı yatayla yukarı yönde 0° den 45° ye kadar büyüdükçe atış uzaklığı da büyür, 45° den 90° ye kadar büyüdükçe atış uzaklığı küçülür. Cisim, aynı büyüklükteki hızlarla birbirini 90° ye tamamlayan açılarla atılırsa yatayda aynı atış uzaklığına sahip olur.

1.6 ENERJİ VE HAREKET

Enerji değişimi **iş** olarak ifade eder. Bir cismin Δx kadar yer değiştirmesini sağlayan F büyüklüğündeki kuvvetin yaptığı işin büyüklüğü

$$W = F \cdot \Delta x \text{ ile bulunur.}$$

Cisme birden fazla kuvvet uygulanırsa net kuvvet iş yapar. Yapılan bu iş kuvvetlerin her birinin ayrı ayrı yaptığı işlerin cebirsel toplamına eşittir. Net kuvvetin yaptığı iş cisim üzerinde yapılan işi verir.

Eşit büyüklükte kuvvetler uygulandığında farklı cins yayların uzama ve sıkışma miktarını belirleyen niceliğe **yay sabiti** denir. Esnek cisimlerin denge konumuna doğru uyguladıkları kuvvete **geri çağırıcı kuvvet** denir. Uzama ya da sıkışma miktarı (x) olan yayın yay sabitine (k) ise geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğü

$F = k \cdot x$ ile bulunur.

Cisimlerin kuvvet uygulanarak esnetilmesi ya da sıkıştırılması sırasında cisim üzerinde yapılan iş, cisimlere potansiyel enerji olarak depolanır. Depolanan bu enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** denir. Esneklik potansiyel enerjisi

$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ ile bulunur.

m kütleli cismin sabit hızla yerden h kadar yükseltilmesi sırasında kuvvetin yer çekimine karşı yaptığı iş cisme yer **çekimi potansiyel enerjisi** olarak aktarılır. Yer çekimi potansiyel enerjisi

$E_p = m \cdot g \cdot h$ ile bulunur.

Cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerji toplamına **mekanik enerji** denir. Mekanik enerji

$E_{\text{mekanik}} = E_p + E_k$ ile bulunur.

1.7 İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

θ hızı ile hareket eden m kütleli bir parçacığın kütle ve hızının çarpımından elde edilen terime **çizgisel momentum** denir. Çizgisel momentumun büyüklüğü

$P = m \cdot \theta$ ile bulunur.

Kuvvetin büyüklüğü ve etki süresinin çarpımı, kuvvetin etki miktarını ifade eder. Buna **itme** denir. İtmenin büyüklüğü

$I = F \cdot \Delta t$ ile bulunur.

itme, momentumundaki değişime eşittir. Buna göre

$\vec{I} = \Delta \vec{P}$ yazılabilir.

Dış kuvvetlerden yalıtılmış bir sistemde iki veya daha fazla parçacık etkileştiğinde, sistemin toplam momentumu sabit kalır. Bu sonuca **çizgisel momentumun korunumu** denir. Dış kuvvetlerden yalıtılmış ve iki cisimden oluşan sistemde çarpışmadan önceki momentumlar $\vec{P}_1, \vec{P}_2$ ve çarpışmadan sonraki momentumlar $\vec{P}_1', \vec{P}_2'$ ise

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$ yazılabilir.

Bir sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşitse sistemin kinetik enerjisi korunmuştur. Bu tür çarpışmalara **esnek çarpışmalar** denir. İki cisimden oluşan sistemde çarpışmadan önceki kinetik enerjiler E_1, E_2 ve çarpışmadan sonraki kinetik enerjiler E_1', E_2' ise

$E_1 + E_2 = E_1' + E_2'$ yazılabilir

Esnek çarpışma yapan iki cisimden birinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamı, diğ erinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamına eşittir. Cisimlerin çarpışmadan önceki hızları $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ ve çarpışmadan sonraki hızları $\vec{v}_1', \vec{v}_2'$ ise

$\vec{v}_1 + \vec{v}_1' = \vec{v}_2 + \vec{v}_2'$ yazılabilir.

Çarpışma sırasında sistem enerji kaybedebilir. Bu tür çarpışmalara da **esnek olmayan çarpışmalar** denir. Esnek olmayan çarpışmalarda cisimler çarpışmadan sonra ayrılmaz ve birbirine yapışarak hareket ederse bunlara da **tamamen esnek olmayan çarpışmalar** denir. Momentum esnek olmayan çarpışmalarda ve tamamen esnek olmayan çarpışmalarda da korunur.

Bir dış kuvvet olmadan iç kuvvetler ile parçalara ayrılan cisimlerden oluşan sistemin çizgisel momentumu korunur. Patlama öncesi cismin momentumu, patlamayla oluşan parçaların momentumları toplamına eşit olur.

Uzay araçlarının çalışma sistemi de momentum korunumu yasası ile açıklanabilir. Uzay araçlarında yakıtların yanmasıyla oluşan gazların dışarı püskürmesi sırasında gazın momentumundaki değişim ile aracının momentumundaki değişim eşit olur.

1.8 TORK

Bir kuvvetin bir cismi bir eksen ya da nokta etrafında döndürme etkisine **tork** denir. Tork, vektörel bir büyüklüktür. Torkun büyüklüğü

$\tau = F \cdot d$ ile bulunur.

Kuvvet etkisiyle dönen cismin torkunun yönü, sağ el kuralına göre bulunur. Bu kurala göre sağ elin avuç içi dönme eksenine bakacak ve dört parmak kuvvetin döndürme yönünü gösterecek şekilde tutularak başparmak dört parmağa dik olarak açılır. Açılan başparmak torkun yönünü gösterir.

1.9 DENGİ VE DENGİ ŞARTLARI

Bir cisme etkiyen net kuvvet sıfır ise cisim dengelenmiş kuvvetlerin etkisindedir. Bu durumdaki cisim ya durur ya da ivmesiz hareket eder. Bir cisme etkiyen net kuvvetin sıfır olması cismin dengede olması için yeterli değildir. Bir cismin dengede olabilmesi için cisme etkiyen toplam kuvvetin sıfır olmasının yanında toplam torkun da sıfır olması gerekir. $\vec{F}_{\text{toplam}} = 0$ ve $\vec{\tau}_{\text{toplam}} = 0$ koşullarını sağlayan cisim, statik (durgun) dengededir.

Bir noktaya etki eden üç kuvvet dengede ve $\vec{F}_1$ kuvvetini dengelen kuvvetler arasında ki açı θ_1 , $\vec{F}_2$ kuvvetini dengelen kuvvetler arasında ki açı θ_2 , $\vec{F}_3$ kuvvetini dengelen kuvvetler arasında ki açı θ_3 ise

$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_3}{\sin\theta_3}$ şeklinde ifade edilen Lami teoremi kullanılır.

Kuvvetler arasında kalan açılar arasında $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ ilişkisi varsa, kuvvetlerin büyüklükleri arasında $F_3 > F_2 > F_1$ ilişkisi vardır. Bu durumda küçük açı karşısında büyük kuvvet, büyük açı karşısında küçük kuvvet olur.

Cismi oluşturan parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin uygulama noktasına **ağırlık merkezi** denir. Cismin sahip olduğu kütlenin tamamının toplandığı kabul edilen noktaya cismin **kütle merkezi** denir. Düzgün geometrik şekle sahip homojen cisimlerde kütle merkezi cismin geometrik merkezindedir. Kütle merkezi, skaler bir büyüklüğün merkezi iken ağırlık merkezi, vektörel bir büyüklüğün uygulama merkezidir.

Birleştirilmiş iki cismin ağırlık merkezi, cisimlerin ağırlık merkezlerini birleştiren doğru üzerindedir. Sistemin ağırlık merkezinin cisimlere uzaklığı cisimlerin ağırlıkları ile ters orantılıdır.

Her hangi bir noktasından ip ile asılan cisim ipin uzantısı kütle merkezinden geçecek şekilde dengede kalır. Bir cisim ağırlık merkezinin düşeyine gelecek şekilde bir destek üzerine yerleştirilirse yine dengede kalır.

Kesit uzunlukları diğer uzunluklarının yanında ihmal edilecek kadar küçük olan cisimler tek boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu durumda türdeş, tek boyutlu cismin ağırlığı uzunluğuyla doğru orantılı olur. Kalınlığı, yüzey alanı yanında küçük olan cisimler iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu durumda türdeş, iki boyutlu cismin ağırlığı alanıyla doğru orantılı olur. Türdeş ve üç boyutlu cisimlerden içi boş olanlarının ağırlıkları yüzey alanlarının toplamıyla, içi dolu olanlarının ağırlıkları ise hacimleriyle doğru orantılı olur.

Bir iple asılan cisim dengede ise ipin uzantısının iki yanında kalan parçaların, ipin uzantısına göre torklarının büyüklüğü eşit olur.

1.10 BASİT MAKİNELER

Günlük yaşantımızda iş yapma kolaylığı sağlayan araçlara **basit makineler** denir. Basit makineler kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü değiştirerek iş kolaylığı sağlayabilir ancak enerjiden kazanç sağlamaz. Basit makinelerde kuvvetten kazanca **kuvvet kazancı** ya da **mekanik avantaj** adı verilir. Kuvvet kazancı, taşınan yükün, yükü dengeleyen kuvvete oranıdır. Buna göre

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Yükü dengeleyen kuvvet}} \text{ ile bulunur.}$$

Sürtünmelerin ihmal edildiği basit makinede makineden alınan enerji, makineye verilen enerjiye eşittir. Böyle bir makinede verim %100 kabul edilir. Ancak sürtünmeden dolayı gerçekte durum böyle değildir. Bir makinenin verimi, makineden alınan enerjinin, makineye verilen enerjiye oranından bulunur. Buna göre

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}} \text{ ile bulunur. \% verim bulunurken elde edilen değer 100 ile çarpılır.}$$

Basit makinelerde verim % 100 ise kuvvetten kazanç kaç kat ise yoldan kayıp o oranda olur.

Bir dayanma noktası üzerinde hareket edebilen, katı cisimlerden oluşan sistemlere **kaldıraç** denir. Desteğin yük ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar, yükün destek ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar ve kuvvetin destek ile yük arasında olduğu kaldıraçlar olarak üç gruba ayrılır.

Merkezinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen ve etrafına sarılı ipin çekilmesi ile dönme hareketi sağlanan tekerlek biçimindeki sistemlere **makara** denir. Merkezinden geçen sabit eksen etrafında dönebilen makaradan oluşan ve yükü taşıyan ip ile birlikte öteleme hareketi yapmayan sisteme **sabit makara** denir. Etrafına sarılmış ip aracılığı ile etrafında dönerek yükü birlikte öteleme hareketi yapan sisteme **hareketli makara** denir. İki ya da daha fazla makaranın farklı şekillerde bağlanmasıyla elde edilen sisteme **palanga** denir. Makara ve palanga sistemi dengede ise sisteme etki eden net kuvvet sıfırdır.

Bir düzlemin bir kenarının alçak, diğer kenarının yüksek yere dayanmasıyla elde edilen eğimli yola **eğik düzlem** denir. $\vec{G}$ ağırlıklı yük, $\vec{F}$ kuvveti ile sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemde sabit hızla çekildiğinde kuvvetin aldıracağı yol L , ağırlığın yükselmesi h ise

$$F \cdot L = G \cdot h \text{ yazılabilir.}$$

Merkezinden geçen eksen etrafında dönebilen bir silindir, silindirin merkezine bağlı bir kol ve üzerine sarılı halat ya da zincirden oluşmuş sisteme **çıkırcık** denir. $\vec{F}$ kuvvetinin ve $\vec{G}$ yükünün silindir merkezine

göre torkları eşit büyüklükte olur. Kuvvetin silindir merkezinden geçen eksene uzaklığı R, yükün silindir merkezinden geçen eksene uzaklığı r ise

$F \cdot R = G \cdot r$ yazılabilir.

Bir merkez etrafında dönebilen ve çevresinde dişlerin sıralandığı disk şeklindeki çarklara **dişli** denir. Bir merkez etrafında dönebilen, disk şeklindeki ve etrafına kayış sarılabilen basit makinelere **kasnak** denir. Farklı merkezli kasnaklar birbirine kayış ile bağlanır. Dişliler ve kasnaklar, birbiriyle uyum içinde çalışması gereken sistemlerde enerji aktarımını sağlayan basit makinelerdendir.

Aynı merkezli olan kasnak ve dişliler aynı yönde döner ve dönme sayıları birbirine eşit olur. Farklı merkezli olan kasnak ve dişliler birbirine bağlanma şekline göre aynı yönde ya da farklı yönde dönebilir. Birbirine bağlantılı iki kasnak ya da dişlilerin dönme sayıları (n) yarıçaplar (r) ile ters orantılıdır. Dişliler üzerindeki diş sayısı (N) yarıçapları ile doğru orantılıdır. Buna göre

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ yazılabilir.}$$

Bir eğik düzlemin silindir ya da konik cisim üzerine sarılması ile elde edilen basit makineye **vida** denir. Vida üzerindeki dişler arası uzaklık bir **vida adımı** olarak adlandırılır. Vidanın ilerleme doğrultusuna dik olarak uygulanan kuvvet F, uygulama noktasının vidayı bir tur attırana kadar aldığı yol $2\pi r$, vidanın ilerlemesi sırasında vidaya yapılan baskı kuvveti P ve vidanın bir turdaki ilerleme mesafesi a ise

$F \cdot 2\pi \cdot r = P \cdot a$ yazılabilir.

Kuvvetten kazanç sağlayabilmek için vida başının yarıçapının büyük ve vida adımının küçük olması gerekir. Vida bir tam tur döndürüldüğünde bulunduğu zeminde bir vida adımı kadar yol alır. n tur döndürülmüş olan vidanın yüzey içerisinde ilerleme miktarı

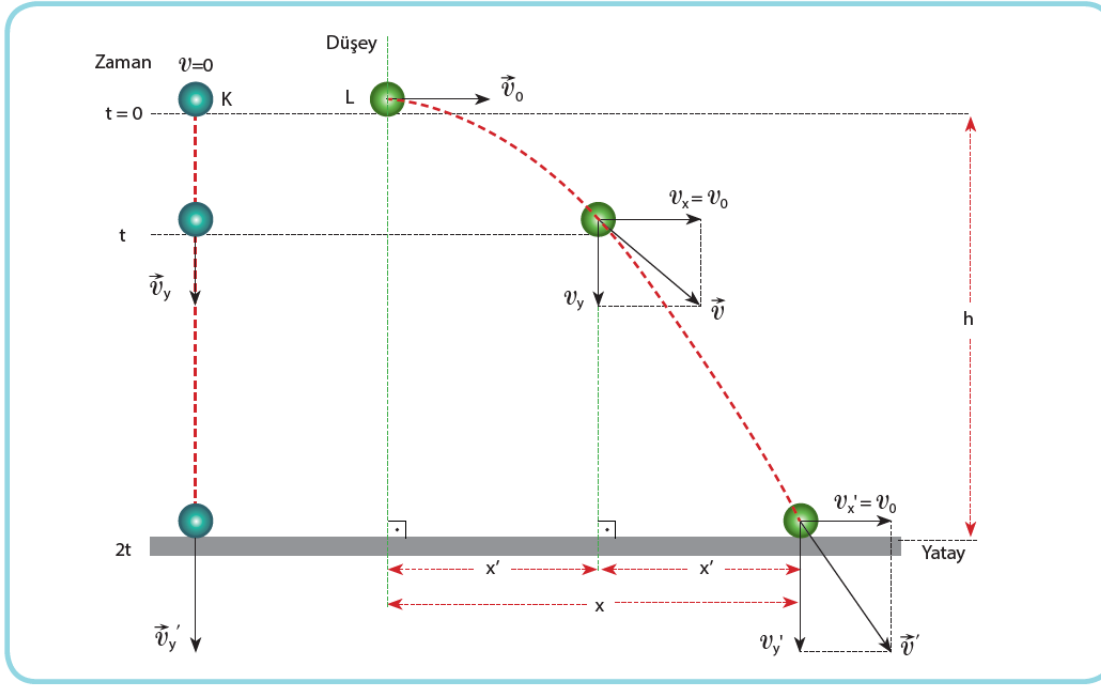
$h = n \cdot a$ ile bulunur.

ÜNİTE ÖZETİ

1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET

A) YATAY ATIŞ HAREKETİ

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden belli bir yükseklikten yatay olarak atılan cisim, atıldığı andan itibaren yalnızca çekim kuvveti etkisinde kalır. Bu etki altındaki cisim, düşey doğrultuda sabit ivmeli hareket yapar. Cisme atış anından sonra yatay doğrultuda etki eden herhangi bir kuvvet olmadığı için cisim sabit hızlı hareket yapar. Cisim aynı anda hem yatay hem düşey düzlemde hareket ettiği için cismin yaptığı hareket, bileşik harekettir.

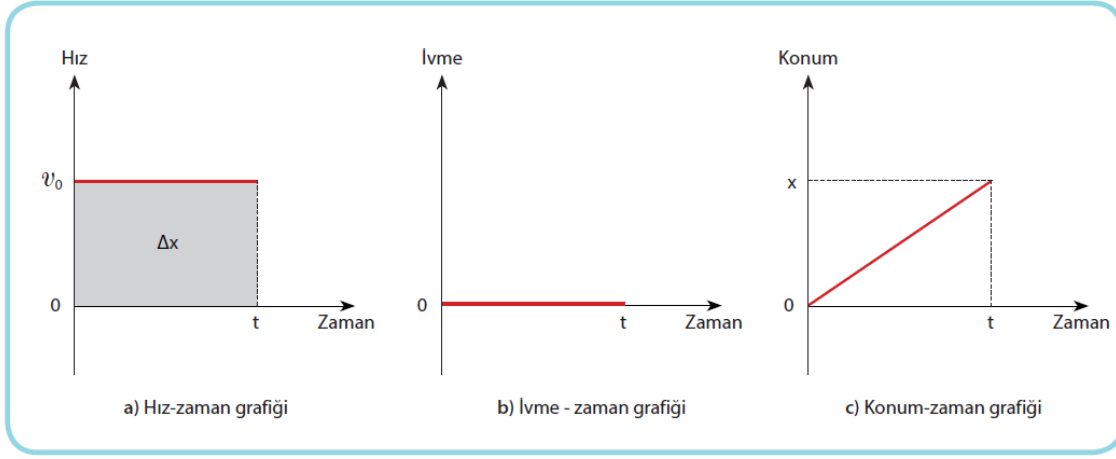


Cisim iki boyutta hareket ettiği için yatay ve düşey düzlemdeki hareketleri ayrı ayrı değerlendirilerek incelenir. Yatay ve düşey eksenler üzerindeki hareketler birbirinden bağımsız olarak ele alındığında harekete ait denklemler Tablo 1,9'daki gibi olur.

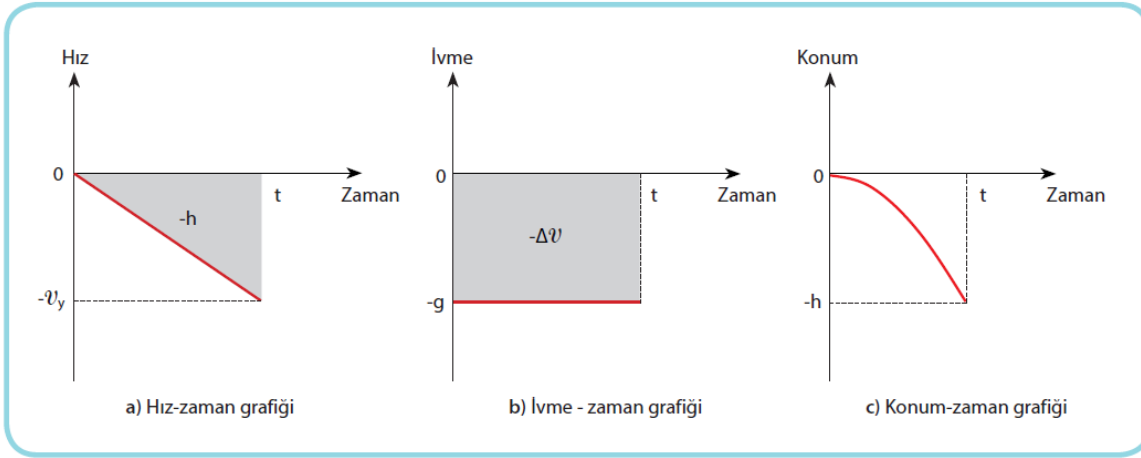
Tablo 1.9: Yatay Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Cismin Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{v} = \vec{g} \cdot t$	$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t$	$\vec{v}_x = \vec{v}_0$
$\vec{h} = \frac{1}{2} \vec{g} \cdot t^2$		$\vec{v}_y = \vec{g} \cdot t$
$v^2 = 2\vec{g} \cdot \Delta \vec{h}$		$\vec{v}_x$ ve $\vec{v}_y$ dik olduğundan $v^2 = v_x^2 + v_y^2$

Cismin yatay ve düşey doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.11 ve Grafik 1.12'deki gibi olur.



Grafik 1.11: Yatay atış hareketi yapan cismin yatay doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri

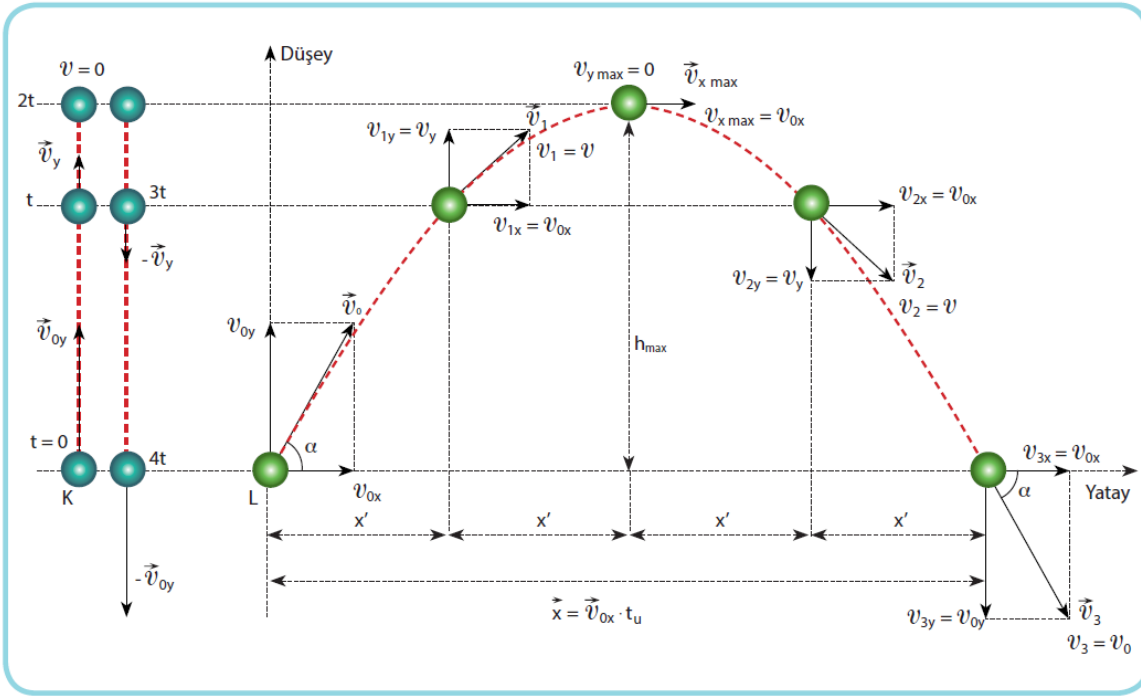


Grafik 1.12: Yatay atış hareketi yapan cismin düşey doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri

B) EĞİK ATIŞ HAREKETİ

Yukarı Yönde Eğik Atış Hareketi

Eğik atış hareketi, yatay düzlemle açı yapacak şekilde atılan cismin hareketidir. Güllü, cirit ve disk atan sporcuların atış şekli, eğik atışa örnek verilebilir. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda eğik olarak atılan cisim, hem yatay hem de düşey doğrultuda ilerlediği için bileşik hareket yapar.



Eğik atış hareketinde cisim aynı düzleme düşerse çıkış süresi (t_c) ile iniş süresi (t_i) eşittir. Buna göre uçuş süresi (t_u)

$t_u = 2t_c = 2t_i$ olur.

Yukarı yönde eğik atış hareketi yapan cisim, maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra yatay atış hareketiyle aynı hareketi yapar. Eğik olarak atılan bir cismin izlediği yol paraboliktir.

Cismin hareket boyunca yatay doğrultuda aldığı en uzun mesafeye **menzil** (x) denir. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda eğik olarak atılan cismin yükselirken ve düşerken aynı yüksekliklerdeki hız büyüklükleri eşittir.

Eğik atış hareketine ait grafikler; yatay düzlemde sabit hızlı harekete, düşey düzlemde yukarıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerle aynı özellikleri taşır. V_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan cisim, t_c çıkış süresinde maksimum yüksekliğe (h_{max}) ve t_i iniş süresinde de atıldığı yüksekliğe ulaşır.

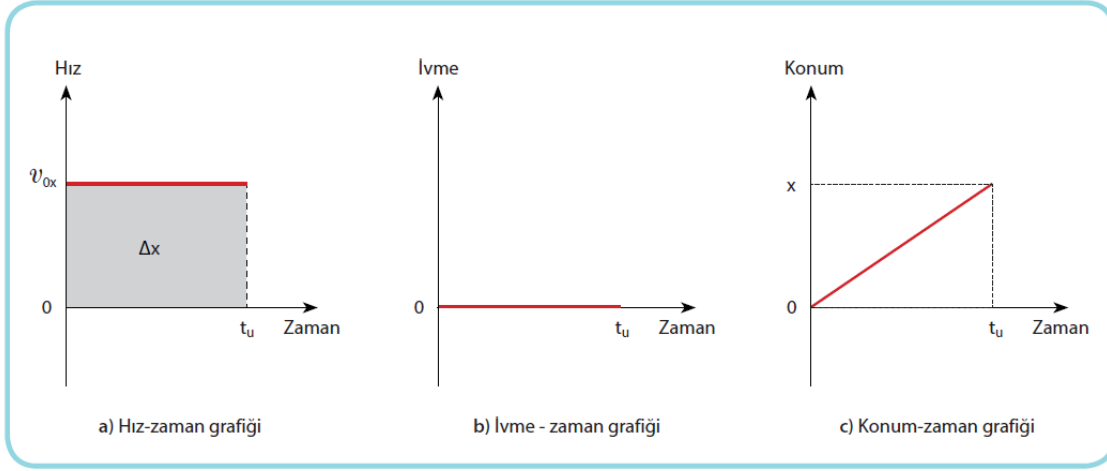
Eğik atış hareketi, yatay ve düşey eksenler üzerinde ve birbirinden bağımsız olarak ele alınıp incelenir.

Aşağı yön negatif alındığında harekete ait denklemler Tablo 1.10'da gösterildiği gibidir.

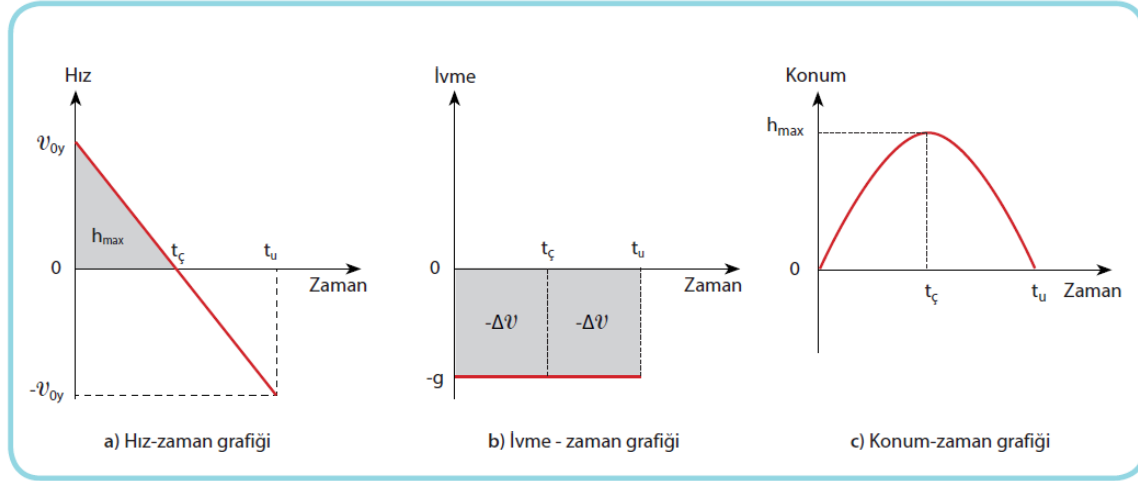
Tablo 1.10: Yukarı Yönde Eğik Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} - \vec{g} \cdot t_c$	$\Delta \vec{x}_{menzil} = \vec{v}_{0x} \cdot t_u$	$\vec{v}_x = \vec{v}_{0x}$ $\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} - \vec{g} \cdot t$ $v^2 = v_x^2 + v_y^2$
$\vec{h}_{max} = \vec{v}_{0y} \cdot t_c - \frac{1}{2} \vec{g} \cdot t_c^2$		
$v_y^2 = v_{0y}^2 - 2\vec{g} \cdot \Delta \vec{h}$		

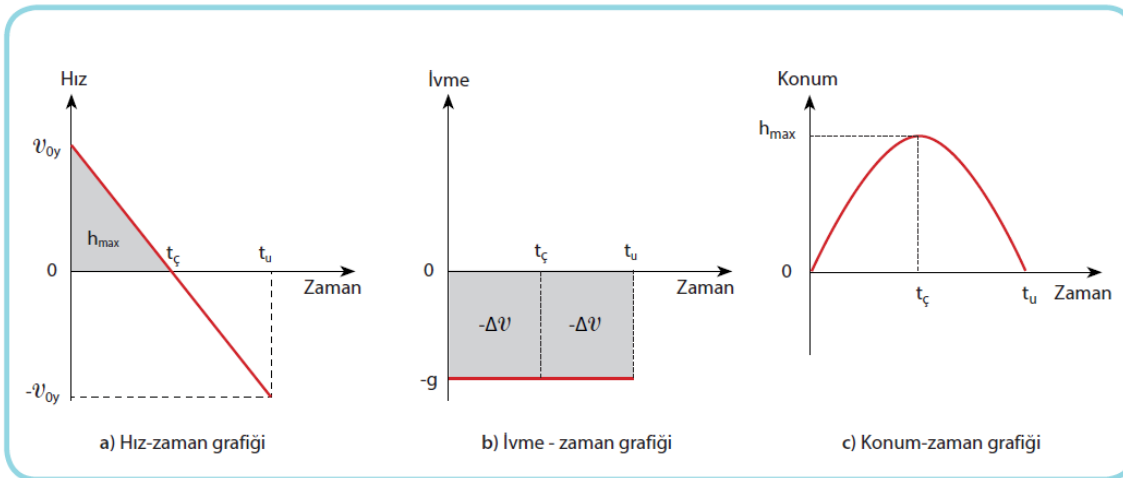
Eğik atış hareketinde aşağı doğru olan yön (-) seçilerek hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri çizildiğinde Grafik 1.13 ve Grafik 1.14'teki gibi olur.



Grafik 1.13: Eğik atış hareketinde yatay doğrultudaki hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri



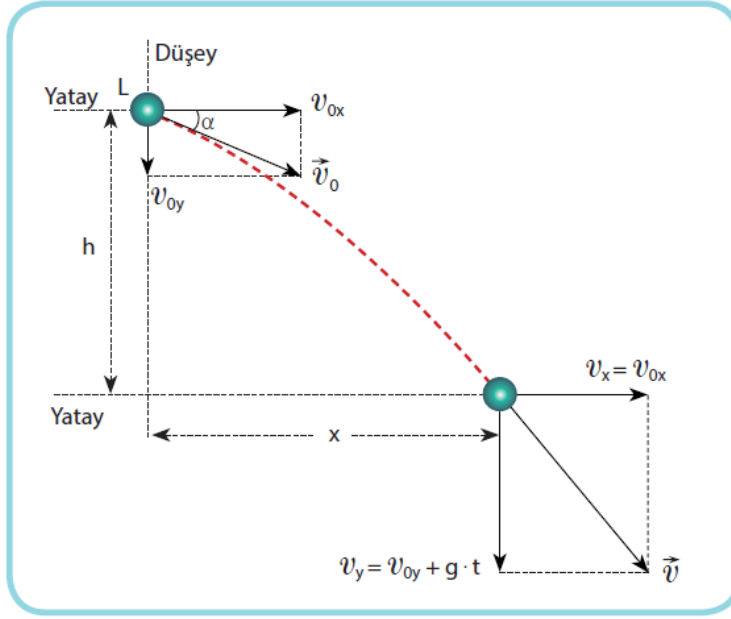
Grafik 1.14: Eğik atış hareketinde düşey doğrultudaki hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri



Grafik 1.14: Eğik atış hareketinde düşey doğrultudaki hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri

Aşağı Yönde Eğik Atış Hareketi

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatayla α açısı yapacak şekilde aşağı yönde eğik olarak atılan cisim, hem yatay hem de düşey doğrultuda ilerler.



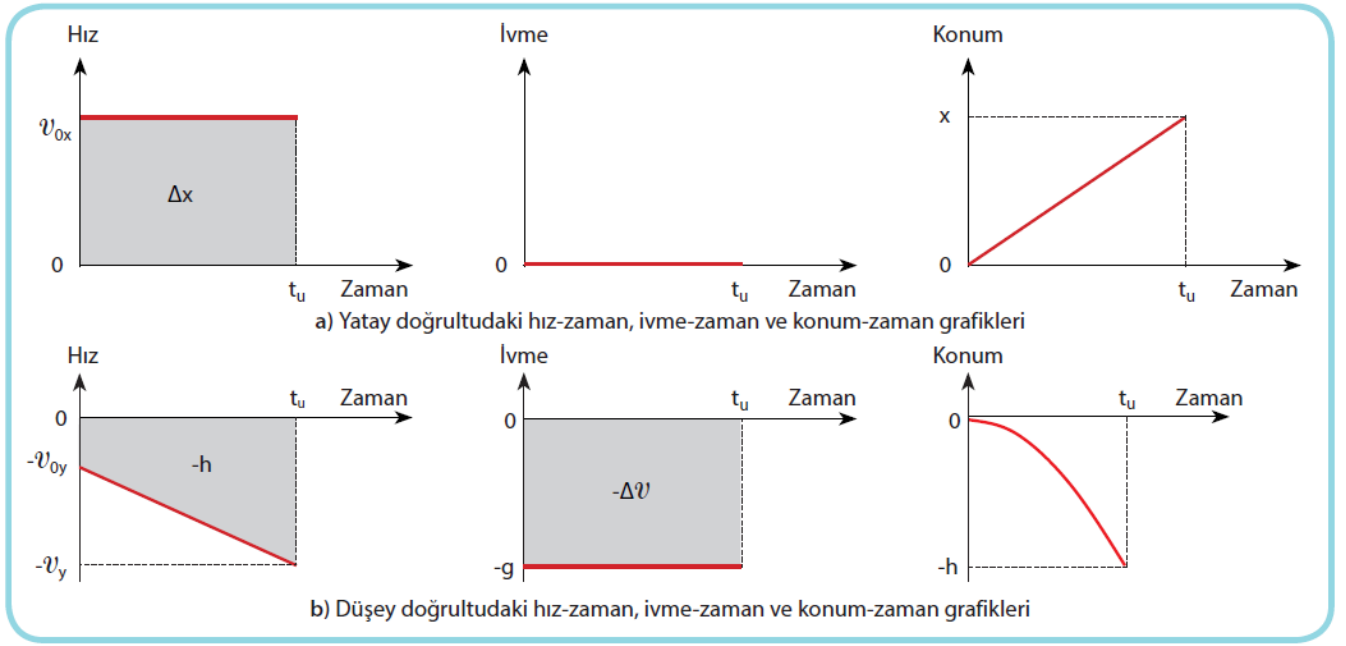
Şekil 1.45: Aşağı yönde eğik atış hareketi

İki boyuttaki hareket yatay ve düşey eksenler üzerinde ve birbirinden bağımsız olarak ele alınıp incelenir. Bu durumda harekete ait denklemler Tablo 1.11’de gösterilmiştir.

Tablo 1.11: Aşağı Yönde Eğik Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g} \cdot t$	$\Delta \vec{x} = \vec{v}_{0x} \cdot t$	$\vec{v}_x = \vec{v}_{0x}$ $\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} + \vec{g} \cdot t$ $v^2 = v_x^2 + v_y^2$
$\vec{h} = \vec{v}_{0y} \cdot t_\zeta + \frac{1}{2} \vec{g} \cdot t^2$		
$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2\vec{g} \cdot \Delta \vec{h}$		

Aşağı yönde eğik atış hareketine ait grafikler yatayda sabit hızlı harekete ve düşeyde aşağıya doğru düşey atış hareketine ait grafik özellikleri taşır. Başlangıç noktası sıfır kabul edilen ve yerden h yüksekliğindeki noktadan V_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan cisim t sürede yere düşer. Aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.15’teki gibi olur.



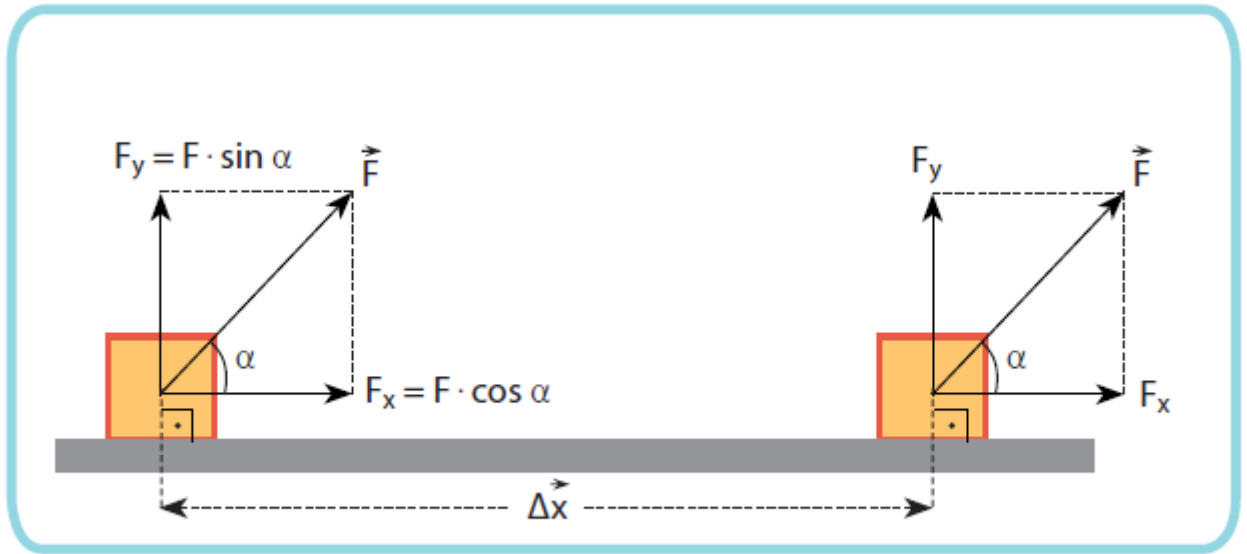
Grafik 1.15: Aşağıya doğru eğik atış hareketi yapan cisme ait grafikler

1.6. ENERJİ VE HAREKET

A) İŞ VE ENERJİ

Bir cisme uygulanan kuvvetin iş yapabilmesi için cismin yer değiştireceği doğrultuda bir bileşene sahip olması ve kuvvet uygulanan cismin yer değiştirmesi gerekir. Enerji aktarımı yani iş yalnızca hareket doğrultusundaki kuvvetler tarafından yapılır. İş,

$$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta x} \text{ ile bulunur.}$$



Şekil 1.46: Cismin yatay düzlemle açı yapacak şekilde kuvvet uygulanarak çekilmesi

Bir cisme Şekil 1.46'daki gibi kuvvet, sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde yer değiştirme doğrultusuyla α açısı yapacak şekilde uygulanırsa yapılan iş $W = F \cdot \cos \alpha \cdot \Delta x$ ile ifade edilir.

Hooke Yasası

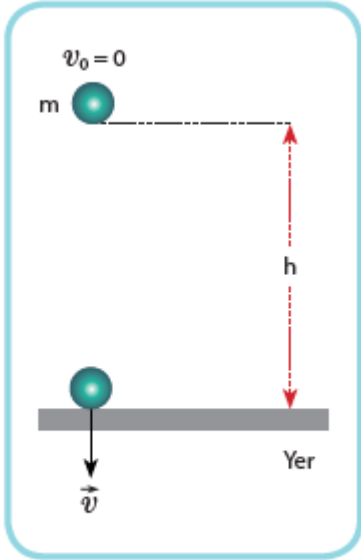
Bir yaydaki uzama veya sıkışma miktarı (x), uygulanan kuvvet (F) ve yay sabitine (k) bağlıdır. Bu değişkenler arasındaki ilişki $\vec{F} = k \cdot \vec{x}$ ifadesi ile gösterilir. Bu ifadeye **Hooke (Huk) Yasası** denir.

Bir cisme kuvvet uygulanarak esnetilmesi ya da sıkıştırılması sırasında cisim üzerinde yapılan iş, cisme potansiyel enerji olarak aktarılır. Esnek cisimlerde depo edilen enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** adı verilir.

B) MEKANİK ENERJİ VE KORUNUMU

Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjinin toplamına **mekanik enerji** denir. Mekanik enerji

$E_{\text{Mekanik}} = E_P + E_K$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 1.50: h yüksekliğinden serbest düşen cisim

Yerden h yüksekliğinde tutulan m kütleli cismin hızı olmadığı için kinetik enerjisi (EK) de yoktur. Sadece yere göre $E_P = m \cdot g \cdot h$ kadar potansiyel enerjisi vardır. Cisim serbest bırakıldığında aşağıya doğru düşerken yerden yüksekliği azaldığı için potansiyel enerjisi azalır. Hava direnci gibi etkiler ihmal edildiğinde cismin kaybettiği potansiyel enerji, cisimde kinetik enerjiye dönüşür (Şekil 1.50). Cisim yere çarptığı anda da potansiyel enerjinin tamamı kinetik enerji olarak cisme aktarılır. Düşme sırasında potansiyel enerjideki azalma kinetik enerjideki artışı oluşturduğundan her an potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı sabit kalır. Bu olaya **mekanik enerjinin korunumu** denir.

Bir sistemin enerjisi, mekanik enerjinin korunumu ilkesine göre

$E_{\text{ilk}} = E_{\text{son}}$

$E_P(\text{ilk}) + E_K(\text{ilk}) = E_P(\text{son}) + E_K(\text{son})$ olarak ifade edilebilir.

C) SÜRTÜNME KUVVETİNİN YAPTIĞI İŞ

Sürtünme kuvvetinin (F_s) olduğu yatay düzlem üzerinde V hızı ile fırlatılan cisim yavaşlayarak durur. Bu olayda cismin durmasının nedeni sürtünme kuvvetinin cismin hareketine karşı iş yapmasıdır. Cismin kinetik enerjisi sürtünme kuvveti nedeni ile sürtünen yüzeylerde ısı enerjisine dönüşür. Cisim durana kadar iş yapan kuvvet sürtünme kuvvetidir. Cisim x kadar yer değiştirdiğinde yol boyunca sabit olan sürtünme kuvvetinin yaptığı iş (W_s)

$W_s = \vec{F}_s \cdot \vec{x}$ olur.

1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

A) ÇİZGİSEL MOMENTUM

$\vec{v}$ hızı ile hareket eden m kütleli bir parçacığın kütle ve hızının çarpımından elde edilen terime çizgisel momentum denir. Çizgisel momentum hareketliliğin bir ölçüsüdür. Hareketli kütleye dair bir kavram olan çizgisel momentum P sembolü ile gösterilir ve SI' da birimi kg.m/s'dir.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$$

Çizgisel momentum, vektörel bir büyüklüktür. Çizgisel momentum vektörü her zaman hız vektörü ile aynı yönlüdür.

B) İTME

Kuvvetin büyüklüğü ile etki süresinin çarpımı, kuvvetin etki miktarını ifade eder. Buna **itme** denir. İtme vektörel bir büyüklüktür ve her zaman kuvvet vektörü ile aynı yönlüdür. **I** sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi N.s'dir.

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \text{ ile ifade edilir.}$$

C) İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Bir cisme uygulanan itme, cismin çizgisel momentumundaki değişime eşittir.

$$\vec{I} = \Delta \vec{P}$$

Ç) ÇİZGİSEL MOMENTUMUN KORUNUMU

Dış kuvvet etkisi olmayan bir sistemde iki veya daha fazla parçacık etkileştiğinde sistemin toplam çizgisel momentumu sabit kalır. Yani bir sistemin toplam çizgisel momentumu her zaman sistemin ilk çizgisel momentumuna eşittir. Bu sonuca da **çizgisel momentumun korunumu** denir. Çizgisel momentumun korunumu; birbirini iten cisimler, çarpışan cisimler, çarpışma sonucu kenetlenen cisimler ve iç patlama sonucu parçalanmış cisimler gibi sistemler için de geçerlidir.

D) ÇARPIŞMALAR

Sistemin kinetik enerjisinin korunduğu ya da korunmadığı durumlara göre çarpışmalar esnek ve esnek olmayan çarpışmalar olarak isimlendirilir. Bir sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşitse sistemin kinetik enerjisi korunmuştur. Bu tür çarpışmalara **esnek çarpışmalar** denir.

Çarpışma sırasında cisimlerde şekil değişikliği, yapışma, ses, ısı ya da ışık çıkması gibi durumlar oluşursa bu sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşit olmaz çünkü sistem enerji kaybeder. Bu tür çarpışmalara da **esnek olmayan çarpışmalar** denir. Esnek olmayan çarpışmalarda cisimler

Çarpışmadan sonra birbirine yapışarak hareket edebilir. Cisimlerin yapışması durumunda çarpışma **tamamen esnek olmayan çarpışma** olarak ifade edilir.

1.8. TORK

A) TORK KAVRAMI

Bir kuvvetin cismi bir eksen ya da nokta etrafında döndürme etkisine **tork** denir. Tork, vektörel bir büyüklük olup **x** sembolü ile gösterilir. SI'da birimi **N.m**'dir.

B) TORKUN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

Torkun büyüklüğü, uygulanan dik kuvvetin şiddetine ve dönme noktasına olan dik uzaklığına bağlıdır.

Torkun büyüklüğü bulunurken kuvvet ve konum vektörü birbirine dik ise ifade $\tau = F.d$ şeklinde kullanılır.

Birimi **Newton. metre** dir (**N.m**).

1.9. DENG  VE DENG  şARTLARI

Bir cisme etkiyen net kuvvet sıfır ise o cismin dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde olduğu ifade edilir. Bu durumda, cisim durmaktaysa durmaya; bir hızı varsa o hızla hareket etmeye devam eder. Her iki durumda da cisim dengededir.

A) DENG 

Bir cismin dengede olabilmesi için cisme etkiyen toplam kuvvetin sıfır olmasının yanında toplam torkun da sıfır olması gereklidir.

B) KÜTLE MERKEZİ VE AĞIRLIK MERKEZİ

Cisimlere etki eden kütle çekim kuvvetine **ağırlık** adı verilir. Cismi oluşturan parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin uygulama noktasına **ağırlık merkezi** denir. Yer  ekimi olmayan ortamlarda cismin ağırlığı olmadığı için ağırlık merkezi kavramından söz edilemez. Ancak yer çekimi olmadığında bile cisimler bir kütleye sahiptir. Cismin sahip olduğu kütlenin tamamının toplandığı kabul edilen noktaya cismin **kütle merkezi** denir. Düzgün geometrik şekle sahip homojen cisimlerde kütle merkezi, cismin geometrik merkezindedir. Kütle merkezi, skaler bir büyüklüğün merkezi iken ağırlık merkezi, vektörel bir büyüklüğün uygulama merkezidir.

1.10. BASİT MAKİNELER

Günlük yaşantımızda iş yapma kolaylığı sağlayan araçlara **basit makineler** denir. Basit makineler iş kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılır ancak işin yapılması için gereken enerjiden kazanç sağlanmaz. İdeal bir basit makinede kuvvetin yaptığı iş, yüke aktarılan enerjiye eşit olur. Kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü değiştirerek iş kolaylığı sağlayabilir. Basit makineler genellikle kuvvetten kazanç sağlamak için yapılmış araçlardır. Kuvvetten elde edilen bu kazanca **kuvvet kazancı** ya da **mekanik avantaj** adı verilir.

A) KALDIRAÇLAR

Bir destek noktası üzerinde hareket edebilen sistemlere **kaldıraç** denir. Kaldıraçlar; destek noktasının, yükün ve kuvvetin konumuna göre üç gruba ayrılır.

B) SABİT VE HAREKETLİ MAKARALAR

Merkezinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen ve etrafına sarılı ipin çekilmesi ile dönme hareketi yapması sağlanan, tekerlek biçimindeki sistemlere **makara** denir. Makaralar, kuvvetten kazanç sağlamak ya da kuvvetin yönünü değiştirmek için kullanılır.

Merkezinden geçen sabit bir eksen etrafında dönen ve yükü taşıyan ip ile birlikte öteleme hareketi yapmayan makaralara **sabit makara** denir.

Etrafına sarılmış ip aracılığı ile dönerek yükü birlikte öteleme hareketi yapan makarayla oluşturulan sisteme **hareketli makara** denir. Bu tür makaralar, makaranın çevresinden geçen ipe bir kuvvet uygulandığında yük ile birlikte hareket eder.

C) PALANGALAR

İki ya da daha fazla makaranın farklı şekillerde bağlanmasıyla elde edilen sisteme **palanga** denir. Palanga sistemi dengede ise sisteme etki eden net kuvvet sıfırdır.

Ç) EĞİK DÜZLEM

Bir düzlemin bir kenarının alçak, diğer kenarının yüksek bir yere dayanmasıyla elde edilen eğimli yola **eğik düzlem** denir. Eğik düzlem, bir cismi bulunduğu yerden yükseğe çıkarabilmek için kullanılan en basit düzendir.

D) ÇIKRIK

Çıkrık; merkezinden geçen eksen etrafında dönebilen bir silindir, silindirin merkezine bağlı bir kol ve üzerine sarılı halat ya da zincirden oluşmuş bir sistemdir. Bisiklet pedalı, kapı kolu ve kapı anahtarı çıkırık sistemi örnekleridir.

E) ÇARKLAR

Bir merkez etrafında dönebilen ve çevresinde dişlerin sıralandığı disk şeklindeki çarklara **dişli** denir. Dişliler, birlikte ve eş zamanlı çalışması gereken mekanik parçalar arasında bağlantıyı sağlar. Günlük hayatta motorların, saatlerin ve bunun gibi mekanizmaların içerisinde dişli çarklar çokça kullanılır.

F) KASNAKLAR

Bir merkez etrafında dönebilen ve etrafına kayış sarılabilen disk şeklindeki basit makinelere **kasnak** denir. Farklı merkezli kasnaklar etraflarına sarılan kayış ile birbirine bağlanır.

G) VİDA

Bir eğik düzlemin silindir ya da konik cisim üzerine sarılması ile elde edilen basit makineye **vida** denir. Vidalar, günlük hayatta genellikle parçaları birbirine birleştirmek için kullanılır.