

BÖLÜM 4: DİNAMİK

Kuvvet

Herkes günlük yaşamında gerçekleştirdiği gözlemler ve deneyimleri ışığında kuvvet kavramına ilişkin bir fikre sahiptir. Bir cisme vurduğunuzda, onu fırlattığınızda, çektiğinizde ya da ittiğinizde, cisme kuvvet uygularsınız. Bu kuvvet bazen cismi harekete geçirirken bazen de uyguladığınız kuvvet cismin hareketlenmesine yetmeyebilir. Yine bazı durumlarda kuvvet, üzerine uygulandığı cismin şeklinde değişimler meydana getirebilir. Cismin hızındaki değişmeye ancak bir kuvvet neden olabilir. Buna göre düzgün doğrusal hareket (sabit hızlı) yapan bir cisme, hareketinin devamı için bir kuvvet uygulanması gerekmez. Yerkürenin çevresinde dönen Ay'ın hızı sabit değildir. Ay'ın hızındaki bu değişimin, Yerkürenin Ay'a uyguladığı kuvvetten kaynaklandığı uzun yıllardır bilinmektedir. Ancak bu kuvvetin, yukarıda bir cisme uygulanan kuvvetler için sıralanan etkilerin aksine, temas gerektirmediğine dikkat edilmelidir.

Hepimiz günlük yaşamımızda pek çok kuvvetle karşılaşırız. Fakat orijin itibariyle bu kuvvetlerin çoğu aynı türdendir. Kuvvetleri; Kütle çekim kuvveti Elektromanyetik kuvvet, Şiddetli nükleer kuvvetler Zayıf nükleer kuvvetler olmak üzere dört sınıfta toplamak mümkündür. Kaynağı itibariyle farklı olan bu kuvvetler arasındaki ilişki doğanın en gizemli olaylarından birisidir. Bu kuvvetleri tek bir yasa ile açıklamak günümüz teorik fizikçilerinin en büyük rüyalarından birisidir.

Kütle

Bir cismin, hareketinde meydana gelecek değişmeye karşı koyma (direnme) eğilimine, ilgili cismin eylemsizliği denir. Kütle, bir cismin sahip olduğu eylemsizliğin bir ölçüsüdür. SI birim sisteminde kütle birimi kilogramdır. Kütle, cismin değişmeyen bir özelliğidir ve cismin şeklinden, kütle ölçümü için kullanılan yöntemlerden bağımsızdır. Kütle skaler bir büyüklüktür.

Bir cismin ağırlığı, cisme etki eden kütle çekimi kuvveti olarak tanımlanır. Bu tanıma göre kütle ve ağırlık tamamen farklı niceliklerdir ve karıştırılmamaları oldukça önemlidir. Cismin ağırlığı konumuna bağlı olarak değişebilir. Örneğin Yerkürede ağırlığı 120 N olarak ölçülen bir cismin, Ay üzerindeki ağırlığı yaklaşık 20 N olarak ölçülür. Oysa cismin kütlesi her yerde aynı değere sahiptir.

Yerkürede

$$g = 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$w = mg = 9.80 \text{ N}$$

Ayda

$$g = 1.62 \text{ m/s}^2$$

$$w = mg = 1.62 \text{ N}$$

Newton'un Hareket Yasaları

Masanızın üzerinde bulunan bir kitaba herhangi bir kuvvet uygulanmadığı sürece kitabın masa üzerinde hareketsiz kalacağı açıktır. Pürüzlü bir yüzeyde ya da hava veya su gibi viskoz bir ortam içinde hareket eden bir cisim, çevresi ile etkileşiminden dolayı harekete karşı bir direnç etkisinde kalır. Bu direnç, sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Kitabı masaya yüzeyine paralel doğrultuda, sürtünme kuvvetlerini yenebilecek büyüklükte bir kuvvetle ittiğinizde, kitap uygulanan kuvvetle aynı yönde ivmelenir. Kitap hareketli iken, uygulanan kuvvetin sürtünme kuvvetine eşit ve zıt yönlü olması durumunda kitap sabit bir hızla hareket edecektir. Uygulanan kuvvet ortadan kalktığında cisim, bir süre hareket ettikten sonra sürtünme kuvvetinin etkisi ile durur. Şimdi masa ve kitap yerine buz pisti üzerinde hareket eden bir disk göz önüne alalım. Bu durumda disk ile üzerinde hareket ettiği zemin arasındaki sürtünme yok denecek kadar azdır. Disk, bir önceki örnekte olduğu gibi disk harekete geçiren kuvvet ortadan kalksa da çabucak durmayacaktır. Sürtünme tamamen ortadan kaldırılabilirse disk bir kez harekete geçtikten sonra karşı duvara çarpıncaya kadar aynı hızla hareket edecektir.

Newton'un Birinci Hareket Yasası

16. yüzyıldan önce yaşamış bilim adamları, maddenin durgun halinin onun doğal hali olduğunu düşünmüşlerdir. İlk kez Galileo, maddenin doğal hal ve hareketine farklı bir yorumla yaklaşmıştır. Galileo, sürtünmesiz yüzeylerde hareket eden cisimlerle ilgili bir düşünce deneyi geliştirerek, hareket halindeki cismin durmasının onun doğal hali olmadığını, hiç durmadan yoluna devam etmesi gerektiğini söylemiştir. Bu yeni yaklaşım daha sonra Newton tarafından formüle edilerek, kendi adı ile anılan Newton'un birinci hareket yasası olarak anılmış ve aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Bir cisme bir dış kuvvet etki etmiyorsa ya da etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise, cisim durgun ise durgun kalacak, hareketli ise sabit hızla doğrusal hareketine devam edecektir.

Newton'un İkinci Hareket Yasası

Çok düzgün, cilalı, parlatılmış yatay bir yüzey üzerinde, sürtünme kuvvetini ihmal ederek, bir buz bloğunu ittiğinizi düşünün. Blok üzerine yatay bir kuvveti uyguladığınızda blok herhangi bir ivmesi ile hareket edecektir. Kuvvet iki katına çıkarıldığında ivme de iki katına çıkacaktır. Benzer şekilde kuvvet üç katına çıkarıldığında ivme de üç katına çıkar ve bu hal böyle devam eder. Bu gözlemler, bir cismin ivmesinin, cisme etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı olduğu sonucunu ortaya koyar. Bir cismin ivmesi, cisme etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı, cismin kütlesi ile ters orantılı olup

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad (1N = 1 \text{ kg } m/s^2)$$

formülü ile verilir.

Eylemsizlik prensibi (Newton'un birinci yasası), ikinci yasanın özel bir hali olup, sadece bileşke kuvvetin "0" olduğu durumları açıklamaktadır. Ayrıca bu prensibin yalnızca eylemsiz gözlem çerçevelerinde geçerli olduğu vurgulanmalıdır. Daha genel bir uygulama alanı olan Newton'un ikinci yasasına "Dinamiğin Temel Prensibi" de denir.

Newton'un Üçüncü Yasası

Bir masanın yüzeyine parmak ucunuzla bastırdığınızda masa parmağınızı geri iter ve cildinizde bir yassılaşıma meydana gelir. Daha şiddetli bastırdığınızda, masanın geri itme etkisi, kuvvetteki artışa uyum gösterir ve parmağınızda yassılaştıran bölgenin yüzeyi genişler. Bu basit deney, Newton'un üçüncü yasası olarak bilinen önemli bir ilkeyi ortaya koyar.

Newton'un üçüncü yasası, iki cisim etkileştiğinde, ikinci cismin birinci cisme uyguladığı kuvvetinin, birinci cismin ikinci cisme uyguladığı kuvvetine eşit büyüklükte fakat zıt yönlü olduğunu ifade eder. Bu kanun, yalıtılmış tek bir kuvvetin bulunamayacağını ifade eder.

İster temas kuvvetleri ister alan kuvvetleri ile etkileşiyor olsunlar, iki cismin birbirine uyguladıkları kuvvetler etki tepki kuvvetleri olarak adlandırılır. Kuvvetlerden herhangi biri etki veya tepki kuvveti olarak işaretlenebilir. Etki kuvveti, büyüklükçe tepki kuvvetine eşit ve onunla zıt yönlüdür. Bütün durumlarda etki ve tepki kuvvetleri farklı cisimlere etki eder. Uygulama noktaları aynı değildir.

Ağırlık ve Normal Kuvvet

Yerkürenin bir cisme uyguladığı kuvvet, çekim (gravitasyon) kuvveti olarak adlandırılır ve F_g ile gösterilir. Yerkürenin tam olarak küresel olduğu kabul edilirse, çekim kuvvetinin yerkürenin merkezine doğru yöneldiği söylenebilir. Bir cisme etki eden çekim kuvveti cismin ağırlığı olarak bilinir.

Çekim Kütlesi ve Eylemsizlik Kütlesi

Bir cismin kütlesini ölçmenin iki farklı yolu vardır. Bunlardan birincisi bir eşit kollu terazi kullanmaktır. Bilinmeyen kütle terazinin kefelerinden birine yerleştirilir. ***Diğer kefeye ise bilinen kütleler konulur. Terazide dengeye geldiği*** zaman her iki kefeye etkiyen yerçekimi kuvveti aynı olur. O zaman her iki kefedeki kütleler aynı olmalıdır. Bu kütle ölçme yöntemi bir karşılaştırma yöntemidir. Eşit kollu terazi ile bir kütle farkli yerlerde ölçülmesiyle yerçekimi kuvveti değişmesine karşın ölçülen kütle değeri değişmez. Bu yöntemle ölçülen kütle çekim kütlesi denir.

Bir cismin kütlesini ölçmek için ikinci yöntem ilkinden tamamen farklıdır. Bilinmeyen bir kütle sürtünmesiz yatay bir yüzey üzerine yerleştirilir. Sonra bu cisim üzerine bilinen yatay bir kuvvet uygulanarak cismin kazanacağı ivme ölçülür. Daha sonra $m = F/a$ bağıntısından cismin kütlesi hesaplanır. Bu yöntemle ölçülen kütle eylemsizlik kütlesi denir. Bu ikinci yöntem sürtünmesiz yüzey temini ve ivme ölçmenin güçlüğü yüzünden pek tercih edilmez. Birinci yöntem daha kolay olması yüzünden daha sık kullanılır.

Çekim kütlesi ve eylemsizlik kütlesi temelden farklı kavramlardır. Bununla beraber bunlar verilen bir cisim için eşit sayısal değere sahiptir. Böylece çekim kütlesi ve eylemsizlik kütlesi arasında önemli bir bağıntı mevcuttur.

Sürtünme Kuvvetleri

Pürüzlü bir yüzeyde ya da hava veya su gibi viskoz bir ortam içinde hareket eden bir cisim, çevresi ile etkileşiminden dolayı harekete karşı bir direnç etkisinde kalır. Bu direnç, sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Bu kuvvet, yürüyebilmemiz, koşabilmemiz, durabilmemiz, arabaların harekete geçmesi ve durabilmesi için gerekli bir kuvvettir. Sürtünme kuvveti, sürtünen yüzeylerin; cinsine (metal, tahta, lastik...), cilalı ya da pürüzlü olmasına göre değişir. Örneğin tahta üzerinde lastik, tahta üzerinde tahtadan daha büyük sürtünme kuvvetine neden olur. Bunun gibi pürüzlü yüzeyler de düzgün yüzeylerden daha büyük sürtünme kuvvetine neden olurlar.

Sürtünmenin az veya çok olmasını istememiz amacımıza göre değişir, makineler da sürtünme enerji kaybına yol açtığı için istenmez. Buna karşılık tekerlek ile yol arasındaki sürtünmenin büyük olmasını isteriz. Örneğin bir araba virajı dönerken tekerleklerle yol arasındaki sürtünme yeteri kadar büyük değilse araba savrulur yoldan çıkar hatta devrilebilir. Arabayı çabuk durdurmak için de büyük sürtünmeye gereksinim vardır. Yürüme eylemi de sürtünme olmadan gerçekleşemez.

Bir zeminde kayan cismin, zemine temas eden yüzeyinin (taban) büyüklüğü, sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü etkilemez. Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir kutuyu, hangi yüzeyi üzerine yatırırırsanız yatırın, onu aynı büyüklükteki bir kuvvetle çekmeye başlayabilirsiniz. Bu, cismin zeminle sürtünen yüzeyinin büyüklüğünün, sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü etkilemediği anlamına gelir. Sürtünme kuvvetinin bir özelliği de yalnızca hareket halinde ortaya çıkması ve daima harekete zıt yöne sahip olmasıdır. Sürtünme kuvveti bu yüzden hareketi durdurmaya çalışır. Cisim üzerindeki net kuvveti hesaplarken sürtünme kuvvetini daima harekete zıt yönde almamız gerekir.

Bir temas kuvveti olan sürtünme kuvveti, çevresiyle etkileşimde bulunan bir cismin hareketine karşı koyan bir kuvvettir. İki yüzey arasında oluşan sürtünme kuvveti iki gruba ayrılır: statik ve kinetik sürtünme kuvveti. Yatay bir F kuvvetin etkisi altında cismin hareket etmesine engel olan kuvvet statik sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvet f_s ile gösterilir. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü

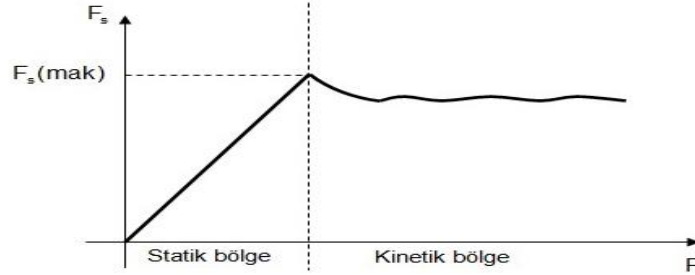
$$f_s \leq \mu_s N$$

ile verilir. Burada, N cisme uygulanan normal kuvvet ve μ_s ise statik sürtünme katsayısıdır. Cisim harekete başladıktan sonra bu kuvvetin değeri düşer ve bu durumda harekete karşı koyan kuvvet kinetik sürtünme kuvveti olarak adlandırılır f_k ile gösterilir. Kinetik sürtünme kuvveti de normal kuvvet ile orantılıdır ve

$$f_k = \mu_k N$$

olarak tanımlıdır. μ_k Kinetik sürtünme katsayısını gösterir. μ_k ve μ_s yüzey özelliklerine bağlı olup $\mu_k < \mu_s$ eşitsizliği geçerlidir.

Bir cismin üzerine uygulanan kuvvet, statik sürtünme direncini yenemiyorsa, cisim hareket ettiremez. Uygulanan kuvvet arttırıldığında belirli bir eşik değerinden sonra statik sürtünme direnci yenilir ve cisim hareket etmeye başlar.



Dairesel Hareket

Düzgün Dairesel Hareket

r yarıçaplı bir dairesel yörüngede sabit bir v sürati ile hareket eden parçacığın ivmesi daima dairenin merkezine doğru yönelmiştir ve büyüklüğü

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

olarak tanımlıdır. Bu ivme merkeze yönelmiş olduğundan merkezci ivme olarak adlandırılır ve a_r ivme vektörü anlık hız vektörüne diktir. Newton'un II. Yasası düzgün dairesel harekete uygulanabilir. Parçacığı sürekli merkeze doğru ivmelendiren, parçacık üzerine etkiyen merkeze doğru bir net kuvvet vardır. İvmenin büyüklüğü sabit olduğundan kuvvetin büyüklüğü de sabit olup

$$\sum F_r = ma_r = m \frac{v^2}{r}$$

eşitliği ile verilir. Bu kuvvet bazen merkezci kuvvet olarak adlandırılır ve merkezci ivme ile aynı yöndedir.

Düzgün Olmayan Dairesel Hareket

Dairesel yörüngede hareket eden cismin, sadece hızının doğrultusu değil aynı zamanda büyüklüğü de değişiyorsa, bu cismin yaptığı harekete düzgün olmayan dairesel hareket denir. Bu durumda, parçacığın merkezci ivmesinin yanında teğetsel ivmesi var olup

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_t$$

$$a_r = \frac{v^2}{r} ,$$

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

formülleri ile verilir. Böylece, parçacığa etki eden kuvvetin hem teğetsel hem de merkezci bileşeni var olup toplam kuvvet

$$\vec{F} = \vec{F}_r + \vec{F}_t$$

eşitliği ile verilir.

Newton'un Evrensel Kütle Çekim Yasası

Newton yerkürenin çevremizde bulunan cisimlere uyguladığı çekim kuvvetlerini ve Ay'ın Yerküre etrafındaki hareketine ait astronomik verileri çözümlerken, gezegenlerin hareketini yöneten kuvvet yasasının, Yer'e düşmekte olan bir cismi çeken kuvvet yasası ile aynı matematiksel forma sahip olduğunu ifade etmiştir. Newton, evrensel çekim yasası üzerine olan çalışmasını, 1687 yılında "Doğal Bilimlerin Matematik İlkeleri" kitabında yayınlamıştır. Newton'un evrensel kütle çekim yasası, **"Evrendeki her parçacık, başka bir parçacığ, kütlelerinin çarpımı ile doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olan bir kuvvetle çeker."** cümlesi ile ifade edilebilir. Eğer parçacıkların kütleleri m_1 ve m_2 ise ve parçacıklar birbirinden r gibi bir uzaklıkta bulunuyorlarsa, kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü

$$F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

ile hesaplanır. Burada G evrensel çekim sabiti denilen bir sabittir ve deneysel olarak ölçülmüştür. İlgili sabitin SI birim sistemindeki değeri $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ dir. Sözü geçen kuvvet yasası çoğu zaman ters kare yasası olarak da anılır. Bu isimlendirme, kuvvetin büyüklüğünün parçacıklar arasındaki uzaklığın karesinin tersi ile orantılı değişmesinden kaynaklanır.