

## 9.Sınıf Fizik Konu Özetleri

**3.Ünite : Hareket ve Kuvvet**

**1.Bölüm : Hareket**

### 9.3.1.1. Cisimlerin Hareketlerinin Sınıflandırılması

**Amaç:** Bir cismin hareketini farklı referans noktalarına göre değerlendirerek cisimlerin hareketlerini sınıflandırmak.

Harekete yol açan etkilere bakılmaksızın, yalnızca cisimlerin konumları ile zaman arasındaki ilişkiyi inceleyen fiziğin alt alanı olan mekaniğin dalına kinematik denir. Görsel 3.1’de yatay hareketli bir platformu kullanan yolcular görülmektedir.



Görsel 3.1: Yürüyen platform kullanan yolcular

Görseli incelediğinizde, platform üzerinde duran yolcular birbirlerini hareketsiz görürken platform dışında duran başka bir kişi ise platformdaki yolcuları hareketli görür. Eğer platformdaki yolcu platform dışındaki kişiyi gözlemlerse bu sefer bu kişi hareketli olarak gözlenecektir. Şimdi bu durumu sayısal örneklerle açıklayalım. Platform ortalama 1 m/s sürat ile hareket etsin. Bu platform üzerinde siz duruyorken yanınızdan zıt yönde 1,5 m/s’lik süratle geçen bir kişinin olduğunu düşünün. 1,5 m/s yanınızdan geçen kişinin platforma göre süratidir.

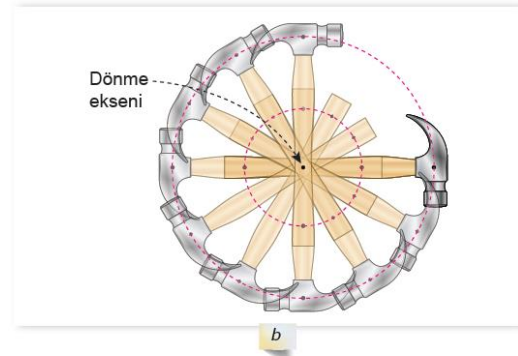
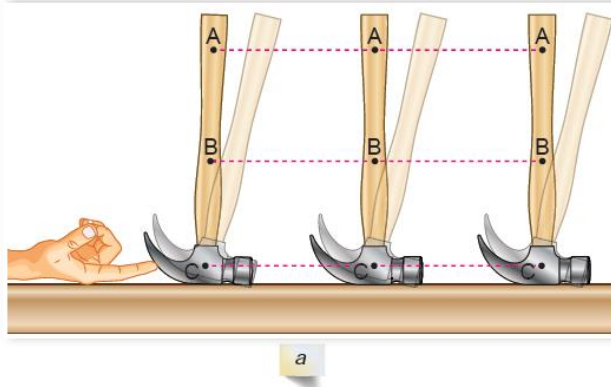
Eğer siz platform dışında durup platformda yürüyen kişiyi gözlemlerseniz gözlemlediğiniz kişinin yere göre süratinin  $1 \text{ m/s} + 1,5 \text{ m/s} = 2,5 \text{ m/s}$ ’lik bir süratle hareket ettiğini belirlersiniz. Bu durumu günlük yaşantınızda karşılaştığınız yürüyen merdivenlerdeki, otobüsteki, trendeki yolcularda da görebilirsiniz.

Dünya üzerinde hareketsiz olan binalar Dünya’nın hem kendi eksenini hem de Güneş etrafında dönmesi nedeniyle hareketlidir. Yine benzer biçimde Güneş’in Samanyolu galaksisinin merkezi etrafındaki yörüngesinde dönmesi, Samanyolu galaksisinin diğer galaksilere göre yerini değiştirmesi aslında her şeyin hareketli olduğunu göstermektedir. O hâlde hareketi tanımlamak için belirli bir gözlem noktasının seçilmesi gerekliliği çıkarımını yukarıda verilen örneklerden yapabilirsiniz. Seçilen bu noktaya **referans noktası** denir.

Farklı referans noktalarından yapılan gözlemlerden, cismin hareketiyle ilgili farklı sonuçlar elde edilebilir. Bir referans noktasına göre durgun görülen cisim, başka bir referans noktasına göre hareketli görülebilir. Bu duruma **hareketin göreceliği** denir.

Çevrenizi gözlemlediğinizde cisimlerin hareketlerinin birbirinden farklı olduğunu görebilirsiniz. Koşan atın, yuvarlanan topun, düşen yaprağın hareketi birbirinden farklıdır.

Görsel 3.3.a’da öteleme hareketi yaptırılan çekicin şematik gösterimi verilmiştir. Çekiç hareket ettirildikçe üzerinde işaretlenen A, B ve C noktaları da benzer şekilde birbirlerine paralel yörüngelerde hareket etmektedir. O hâlde öteleme hareketi yapan katı bir cismin yöneliminde değişme olmaz. Yani cismi oluşturan her bir parçacık benzer paralel yörüngelerde hareket eder.



Görsel 3.3.a.b: Oteleme ve dönme hareketi

Görsel 3.3.b'de dönme eksenine göre dönme hareketi yaptırılan çekicin şematik gösterimi verilmiştir. Çekiç hareket ettirildikçe üzerinde işaretlenen A, B ve C noktaları da merkezleri dönme eksenini olan farklı çembersel yörüngeler izler. O hâlde dönme hareketi yapan katı bir cismin dönme hareketi süresince yönelimi değişir. Yani cismi oluşturan her bir parçacık dönme eksenini denilen düz bir çizgiyi merkez kabul eden farklı çembersel yollar takip eder.

İki nokta arasında ileri geri tekrarlanarak yapılan hareketlere titreşim ya da salınım hareketi denir. Bu harekete günlük yaşamımızdan en bilindik örnek salıncaklardır. Bebek beşikleri de salınım hareketi yapar. Beşik, kuvvet uygulanarak aynı rota üzerinde sağa-sola doğru sallanır.

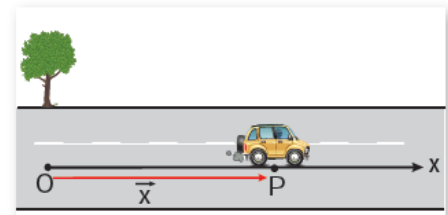
Unutmayınız ki çevrenizdeki cisimler öğrendiğiniz bu hareket türlerinin hepsini veya birkaçını aynı anda yapar.

### 9.3.1.2. Hareketin Temel Kavramları

Amaç: Konum, alınan yol, yer değiştirme, sürat ve hız kavramlarını birbirleri ile ilişkilendirmek.

**Konum**, bir cismin belli bir referans noktasına göre uzaklığı ve yönü olarak tanımlanır. Konum  $\vec{x}$  sembolüyle gösterilir. Vektörel bir büyüklüktür. Konum vektörü, referans noktasından cismin bulunduğu yere çizilen vektördür (Görsel 3.5). Örneğin trafikte seyreden otomobillerden kırmızı renkli olan otomobil referans alınarak sarı ve mavi otomobillerin herhangi bir andaki konum vektörleri çizilirse Görsel 3.6'daki gibi olur.

**Yer değiştirme**, cismin daha önce bulunduğu bir noktaya göre konumudur. Başka bir deyişle cismin konumundaki değişim yer değiştirme olarak tanımlanır. Bir noktadan başka bir noktaya giden cismin hareketi, ilk konumdan son konuma çizilen ok ile gösterilir. Çizilen bu ok, cismin yer değiştirme vektörüdür.



Görsel 3.5: Arabanın konumu



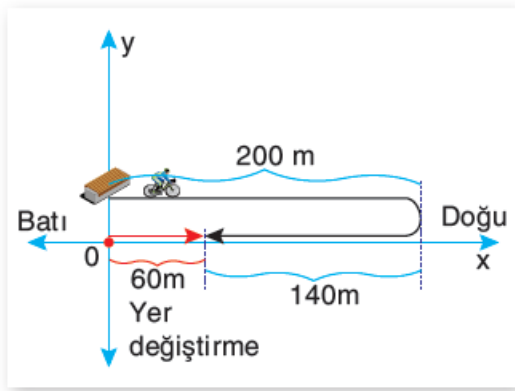
Görsel 3.6: Kırmızı araba referans olarak belirlenirse sarı ya da mavi arabanın konum vektörleri

Günlük konuşmalarımızda yer değiştirme ve yol ifadelerini sıkça kullanırız. Fakat yer değiştirme ve yol kavramları birbirinden farklı anlamdadır. Bu nedenle bir cismin aldığı yol ile yer değiştirmesi arasındaki farkı iyi belirlemek gerekir.

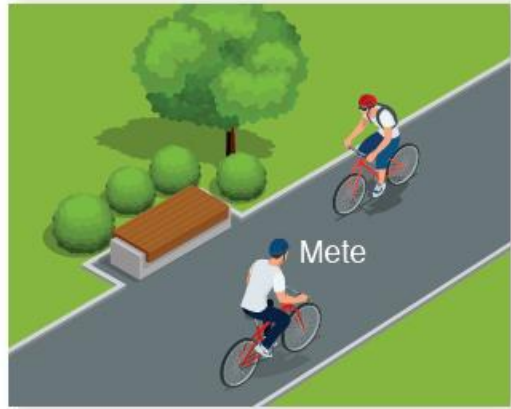
**Yol**, cismin hareketi boyunca izlediği yörüngenin toplam uzunluğudur. Dikkat edilirse yol, cismin hareket yönüyle ilgili bir bilgi içermezken yer değiştirme cismin hareket yönüyle ilgili bilgiyi de içerir. Bu nedenle yolun skaler, yer değiştirmenin ise vektörel bir büyüklük olarak sınıflandırıldığını hatırlayınız.

Görsel 3.7'deki parkta bankın kenarından harekete başlayan Mete, doğuya doğru 200 m bisiklet sürdükten sonra geri dönerek batıya doğru 140 m daha sürmeye devam ediyor. Mete'nin, bisikletini toplam 340 m sürmesine karşın başlangıç noktası olan banktan yalnızca 60 m uzaklıkta olacağına dikkat ediniz.

Mete'nin yaptığı hareketi Görsel 3.8'deki gibi gösterebiliriz. Siyah renkte gösterilen mesafe toplamda 340 m'dir. Bu mesafe Mete'nin aldığı yoldur. Başlangıç noktasını hareketin bitiş noktasına birleştiren kırmızı ok ile gösterilen uzaklık ise yer değiştirme vektörüdür. Yer değiştirme vektörünün büyüklüğü 60 m, yönü ise doğuya doğrudur.



Görsel 3.8: Yer değiştirme ve yolun şematik gösterimi

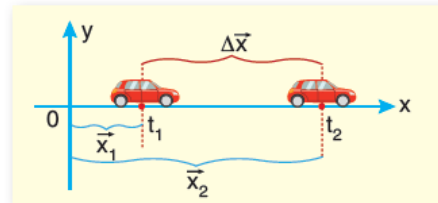


Görsel 3.7: Bisiklet süren kişiler

Hareketli bir cismin yer değiştirme bağıntısını Görsel 3.9'dan yararlanarak açıklayalım. Arabanın  $t_1$  anındaki konumu  $x_1$  ve daha sonraki bir  $t_2$  anındaki konumu  $x_2$  ise

Yer değiştirme = Son konum – İlk konum

$$\Delta \vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1 \text{ olarak yazılır.}$$



Görsel 3.9: Yer değiştirme

Yer değiştirmenin yönlü bir büyüklük olduğunu biliyorsunuz. Dolayısıyla yer değiştirmenin işareti hareketin yönünü belirler. Bu nedenle bir doğru boyunca hareket eden hareketli için ilk hareket yönünü ve buna zıt yöndeki hareket yönünü isteğe bağlı olarak pozitif (+) ve negatif (-) olarak seçmek gerekir.

### Örnek - 1

Bir böcek, düz bir ip üzerinde belirlenen referans noktasından  $t_1$  anında 1,5 m uzaklıktadır.

Böcek,  $t_2$  anında referans noktasına göre 4 m uzağa giderse kaç m yer değiştirir?

#### Çözüm

$t_1$  anında  $x_1 = 1,5$  m ve  $t_2$  anında  $x_2 = 4$  m olarak verilmiştir. Burada böceğin hareketi tek yönlüdür. Her iki konum da pozitif. Yani böcek hep aynı tarafa gitmiş ve yön değiştirmemiştir.

$$\Delta \vec{x} = \vec{x}_2 - \vec{x}_1$$

$$\Delta \vec{x} = 4 \text{ m} - 1,5 \text{ m}$$

$$\Delta \vec{x} = 2,5 \text{ m} \text{ bulunur.}$$

### Örnek - 3

Bir sporcu, yarıçapı 40 m olan dairesel bir pistte bir tur atarak tekrar bulunduğu noktaya geliyor.

Buna göre sporcunun yer değiştirmesinin büyüklüğü ve aldığı yol kaç m olur? ( $\pi = 3$ )

#### Çözüm

Yer değiştirme, sporcunun harekete başladığı ilk konum ile son konum arasındaki uzaklık idi. Sporcu koşarak tekrar bulunduğu noktaya geldiğinden yer değiştirmesinin büyüklüğü sıfır olur.

Sporcunun aldığı yol skaler bir niceliktir. Bu nedenle yol yönşüz bir büyüklüktür. O hâlde sporcunun aldığı yol, koştuğu pistin çevresi hesaplanarak bulunabilir.

$$Yol = 2\pi r \text{ bağıntısından,}$$

$$Yol = 2 \cdot 3 \cdot 40 = 240 \text{ m hesaplanır.}$$

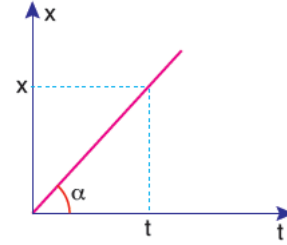
### 9.3.1.3. Düzgün Doğrusal Hareket

**Amaç:** Düzgün doğrusal hareket için konum, hız ve zaman kavramlarını ilişkilendirmek.

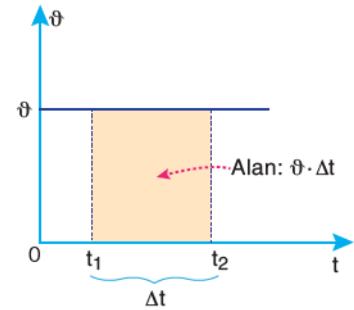
Çevrenizi incelediğinizde farklı hareket türlerini görebilirsiniz. Bu hareketler arasında en basit olanı bir doğru üzerindeki sabit hızlı harekettir. Bu tür harekette, hareket eden cisim düz bir çizgi boyunca eşit zaman aralıklarında eşit yer değiştirmeler yapar. Bu nedenle bu tür hareketlere **düzgün doğrusal hareket** de denir.

Bir doğru boyunca eşit zaman aralıklarında eşit yer değiştirmeler yapılan harekete düzgün doğrusal hareket, başka bir deyişle sabit hızlı hareket denir. Örneğin bir bisikletli bir doğru boyunca 8 m/s hızla hareket ediyorsa bisikletli, hareketinin her saniyesinde 8 m yer değiştiriyor demektir. Hızın ve yer değiştirmenin vektörel bir nicelik olduğunu biliyorsunuz. Bu  $\frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$  nedenle hareket yönünüzü pozitif

yön olarak kabul ettiğinizde etkinlikte çizdiğiniz konum-zaman grafiği Grafik 3.1 ile, hız-zaman grafiği de Grafik 3.2 ile benzer olacaktır. Grafik 3.1'de doğrunun eğimi oranının hareketlinin hızını verdiğine dikkat ediniz.



Grafik 3.1: Konum-zaman grafiği



Grafik 3.2 : Hız-zaman grafiği

$$\text{Eğim} = \tan \alpha = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \text{ bağıntısı yazılır.}$$

Diğer bir önemli durumu da Grafik 3.2'de grafiğin altındaki alan hesabından elde edilebilir. Hız-zaman grafiğinin altındaki alan  $v \cdot \Delta t$  (yükseklik x genişlik diyebiliriz.) yer değiştirmeye eşittir.

$$\Delta \vec{x} = v \cdot \Delta t \text{ bağıntısı yazılır.}$$

O hâlde düzgün doğrusal hareket eden bir hareketlinin konum-zaman grafiğinin eğimi hızı, hız-zaman grafiğinin alanı ise yer değiştirmesi hakkında bilgi verir.

#### Örnek - 4

Bir cismin doğrusal bir yolda hareketine ait veriler Tablo 3.1'de verilmiştir.

| Zaman (s)    | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|--------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Uzaklık (cm) | 0 | 4 | 8  | 12 | 16 | 16 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 22 | 20 |

Tablo 3.1

Buna göre,

- Konum-zaman,
- Hız-zaman grafiklerini çiziniz.

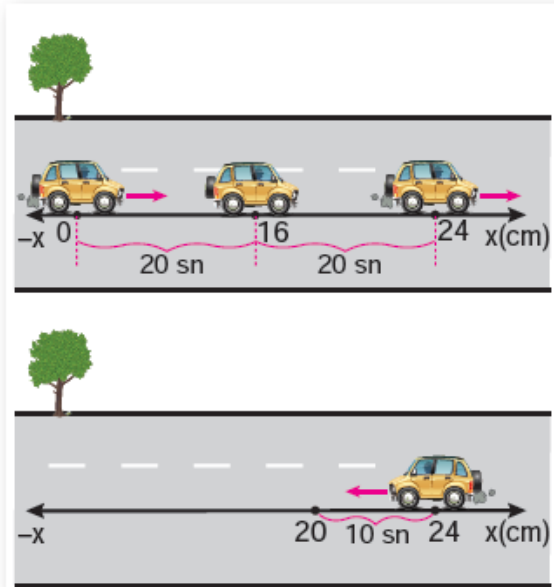
#### Çözüm

- Tablo 3.1'den yararlanarak hareketlinin zaman aralıklarındaki yer değiştirme ( $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$ ) değerleri Tablo 3.1'deki gibi olur.

Tablo 3.1 incelendiğinde hareketlinin yer değiştirmesinin;

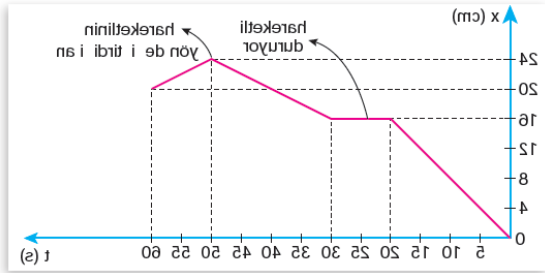
- 0-20 s aralığında 16 cm,
- 20-30 s aralığında sıfır,
- 30-50 s aralığında 8 cm,
- 50-60 s aralığında -4 cm olur.

Yer değiştirme miktarının pozitif değerden negatif değere dönüşmesi, hareketlinin yön değiştirdiğinin göstergesidir.



Görsel 3.11

Grafik 3.4'ü analiz edersek 0-20 s arasında pozitif x yönünde 0,8 cm/s hızla hareket ediyor. 20-30 s arasında ise hareketli duruyor. 30-50 s aralığında ise hareketli pozitif x yönünde 0,4 cm/s hızla hareket ediyor. 50-60 s aralığında hareketli yön değiştiriyor. Yani negatif x eksenini yönünde 0,4 cm/s hızla hareket ediyor.



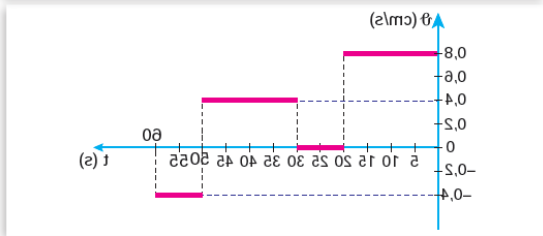
| Zaman (s)    | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|--------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Uzaklık (cm) | 0 | 4 | 8  | 12 | 16 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 22 | 20 | 18 |

Grafik 3.3

Grafik 3.3'ü analiz edersek 0-20 s arasında pozitif x yönünde 0,8 cm hareket ediyor. 20-30 s aralığında ise hareketli duruyor. Yani konumunda değişiklik olmuyor. 30-50 s aralığında ise konum 24 cm oluyor. 50-60 s aralığında hareketli yön değiştiriyor. Yani negatif x eksenini yönünde yer değiştiriyor ve son konum 20 cm oluyor. Bu hareket, şemantik olarak Görsel 3.11'deki gibi olur.

d) Hareketlinin hız-zaman grafiğine konum-zaman grafiğinin eğimini grafikte gösterelim. Buna göre;

| $t_2 - t_1$ (s) | $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$ (cm) | $\bar{v} = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{t_2 - t_1}$ (cm/s) |
|-----------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 20 - 0          | 16 cm - 0 = 16 cm            | $\frac{16 \text{ cm}}{20 \text{ s}} = 0,8 \text{ cm/s}$    |
| 30 - 20         | 16 cm - 16 cm = 0            | $\frac{0 \text{ cm}}{10 \text{ s}} = 0 \text{ cm/s}$       |
| 50 - 30         | 24 cm - 16 cm = 8            | $\frac{8 \text{ cm}}{20 \text{ s}} = 0,4 \text{ cm/s}$     |
| 60 - 50         | 20 cm - 24 cm = -4           | $\frac{-4 \text{ cm}}{10 \text{ s}} = -0,4 \text{ cm/s}$   |



Grafik 3.4

Grafik 3.4'e göre çizilmiştir.

### Örnek - 5

Düzgün doğrusal yolda hareket eden K ve L araçlarının konum-zaman grafiği Grafik 3.5'teki gibidir.

Buna göre K ve L araçlarının hız-zaman grafiğini çizerek hareketi analiz ediniz.

#### Çözüm

Konum-zaman grafiğini incelediğimizde L aracının K aracından 10 m geriden harekete başladığını anlarız.

Konum-zaman grafiğinin eğimini bulursak K ve L araçlarının hareket yönleri ve hız büyüklükleri hakkında bilgi edinebiliriz.

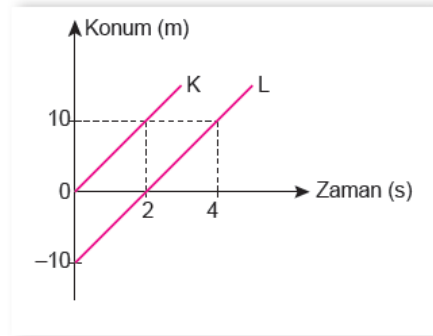
K aracının eğimi,

$$\text{tg}\alpha = \frac{10 - 0}{2 - 0} = 5 \text{ m/s}$$

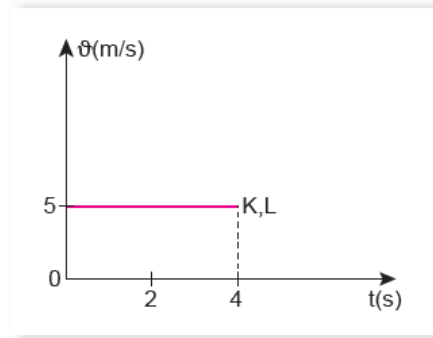
L aracının eğimi ise

$$\text{tg}\theta = \frac{0 - (-10)}{2 - 0} = 5 \text{ m/s bulunur.}$$

K ve L araçlarının eğimleri pozitif ve eşit büyüklükte bulundu. O hâlde K ve L araçlarının hızlarının büyüklüğünün 5 m/s olduğu ve aynı yönde hareket ettikleri söylenebilir. Araçların hız-zaman grafiği Grafik 3.6'daki gibi olur.



Grafik 3.5



Grafik 3.6

#### 9.3.1.4. Ortalama Hız

**Amaç:** Ortalama hız kavramını açıklamak.

Hareket eden cisimlerin hareketinin en belirleyici özelliği günlük yaşantınızda da sık sık kullandığınız sürat ve hız kavramlarıdır.

Ortalama sürat, bir cismin hareket yönüne bakılmaksızın verilen bir zaman aralığında ne kadar yol alacağının göstergesidir. Başka bir deyişle bir cismin ortalama sürati, alınan mesafenin o mesafeyi almak için gerekli zamana bölümü olarak tanımlanırken sürat, birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır. Skaler bir nicelik olup S<sub>ort</sub> ile gösterilir.

$$\text{Ortalama sürat} = \frac{\text{Alınan yol}}{\text{Geçen zaman}}$$
$$S_{\text{ort}} = \frac{x}{\Delta t} \quad \text{bağıntısıyla hesaplanır.}$$

Ortalama hız, bir cismin yaptığı yer değiştirmenin, bu yer değiştirme için geçen süreye oranı olarak tanımlanırken hız ise birim zamanda yapılan yer değiştirme olarak tanımlanır.

Vektörel bir nicelik olup  $\vec{\vartheta}$  ile gösterilir.

$$\text{Ortalama hız} = \frac{\text{Yer değiştirme}}{\text{Gecen zaman}}$$
$$\vec{\vartheta}_{\text{ort}} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Yol ve yer deęiřtirme kavramından da yararlanarak ortalama sūratı ve ortalama hızı Ŗzlem'in yaptıęı hareket Ŗzerinden aēıklayalım. Ŗzlem, 200 m doęuya, ardından 80 m batıya doęru hareket ettięinde, Ŗzlem'in aldıęı yolu, 200 m + 80 m = 280 m, yaptıęı yer deęiřtirmeyi ise 200 m – 80 m = 120 m olarak buluruz. Ŗzlem'in bu hareketini 140 s'de tamamladıęını dūřınūrsek ortalama sūrat,

$$\vartheta_{\text{ort}} = \frac{x}{\Delta t} = \frac{280}{140} = 2 \text{ m/s} \text{ bulunur.}$$

Ortalama hızın būyūklūęı,

$$\vec{\vartheta}_{\text{ort}} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \text{ matematiksel modelinden}$$

$$\vartheta = \frac{120}{140} \cong 0,85 \text{ m/s} \text{ bulunur.}$$

Bir araēla yolculuk ederken hangi sūratle gittięinizi ancak bir sūrat Ŗlēerle Ŗğrenebilirsiniz. Sūrat Ŗlēer yolculuk boyunca sizlere anlık sūrat deęerini verir. Bu durum hız iēin de geēerlidir.

Araē trafikte hızlanabilir, yavařlayabilir veya durabilir. Bu nedenle aracın anlık hareket durumunu tanımlamak iēin anlık hız kavramı kullanılır. Ortalama hız veya ortalama sūrat kavramları belli bir zaman dilimini kapsarken anlık hız ve anlık sūrat kavramları o andaki hız ve sūrat bilgilerini belirtir. Anlık ifadesinden kasıt, zamanın sonsuz kūēūklūkte olmasıdır. Anlık sūrat daima anlık hızın būyūklūęine eē deęeridir. ēūnkū gidilen uzaklık ve yer deęiřtirmenin būyūklūęı sonsuz kūēūk deęerler alındıęında aynı olur. Gūnlūk yařantımızda anlık sūrat veya anlık hız yerine sūrat ve hız kavramları kullanılmaktadır.

### Yeşil Dalga Sistemi

Būyūk řehirlerde trafięe ēıkan araē sayısının her geēen gūn artması trafik yoęunluęunu da beraberinde getirmektedir. Bu yoęunluęu kontrol etmek amacıyla aynı yol Ŗzerine trafik lambaları peř peře yerleřtirilir. Trafik lambalarında kırmızı ışıęa denk gelen araēların zaman, yakıt gibi kayıpları Ŗlke ekonomisine būyūk yūē getirmektedir.

Bu yoğunluğun giderilmesi, trafiğin akıcı hāle getirilmesi amacıyla yeşil dalga denilen bir sistem uygulanmaktadır. Yeřil dalga sistemiyle istenilen ortalama sūrat aralığı oluşturularak araēların sūratleri kontrol altına alınır. Būylece trafikte akıcılığın sağlanarak yoğunluğun giderilmesi sağlanırken hava kirliliği ve gereksiz yakıt harcanması da azaltılmış olur.

| Nicelik      | Sembolū           | Birimi        |
|--------------|-------------------|---------------|
| Yol (mesafe) | x                 | m             |
| Zaman        | t                 | s             |
| Sūrat        | $\vartheta$       | $\frac{m}{s}$ |
| Hız          | $\vec{\vartheta}$ | $\frac{m}{s}$ |

Tablo 3.2: Sūrat ve hızın SI birim sistemindeki birimleri

Görsel 3.13'te yeşil dalga sisteminin uygulandığını ve hız sınırını gösteren bir levha görülmektedir. Bu uygulamaya, yolun başından itibaren bakıldığında genellikle art arda ve belli zaman aralıklarıyla yanan yeşil ışıklar görülmektedir. Sürücü, ortalama sürat aralığında hareket ettiğinde kırmızı ışığa yakalanmadan yoluna devam eder.



Görsel 3.13: Yeşil dalga sistemine girildiğini ve hız sınırını gösteren bir levha

### 9.3.1.5. Sabit İvmeli Hareket

**Amaç:** Sabit ivmeli hareketi kavramak.

Trafik ışıklarında duran ve yeşil ışık yandığında hızlanan araçları veya hareket hâlindeyken kırmızı ışığı gördüklerinde yavaşlayıp ışıkta bekleyen araçları günlük yaşamımızda defalarca gözlemledik. Araçların hızlanma ya da yavaşlama durumları hızlarındaki değişimle açıklanabilir. Bu durumu Görsel 3.15'te bir otomobil ile bir kamyonun hareketlerini inceleyerek ve bu araçların hızlarının düzgün arttığını ya da düzgün azaldığını göz önüne alarak açıklayacağız. Hızın eşit zaman aralıklarında eşit miktarlarda arttığını ya da azaldığını varsayalım. Görsel 3.15'te bir kamyon ve bir otomobilin kırmızı ışıkta beklerken ve yeşil ışık yandıktan bir süre sonraki konumları görülmektedir. Aynı sürede otomobil kamyonun daha fazla yer değiştirmiştir. Bu bize otomobilin kamyonla göre daha çabuk hızlandığını gösterir.

**İvme**, bir cismin birim zamandaki hız değişimi olarak tanımlanır. Hız gibi vektörel bir büyüklüktür.  $\vec{a}$  sembolüyle gösterilir. Birimi  $m/s^2$  dir. İvmenin yönünün aracın hareketini nasıl etkilediğini doğrusal bir yolda modelleyerek açıklayalım. Görsel 3.16.a'da pozitif x ekseninde hareket eden bir aracın son hızı ( $\vec{v}_{son}$ ), ilk hızından ( $\vec{v}_{ilk}$ ) büyük ise hız değişimi  $\Delta\vec{v} = (\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk})$  pozitif x ekseninde yönelir. İvme, her zaman  $\Delta\vec{v}$  ile aynı yönde yönelir. Bu nedenle  $\vec{a}$  pozitif x ekseninde yönelir. Böyle bir durumda aracın pozitif x ekseninde hızlandığı söylenir.

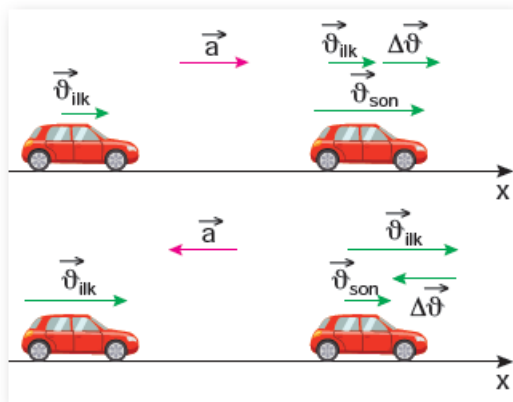
Görsel 3.16.b'de pozitif x ekseninde hareket eden bir aracın son hızı ( $\vec{v}_{son}$ ), ilk hızından ( $\vec{v}_{ilk}$ ) küçük ise hız değişimi  $\Delta\vec{v} = (\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk})$  negatif x ekseninde yönelir. İvme vektörü de  $\Delta\vec{v}$  ile aynı yönde yönelerek negatif x ekseninde yönelir. Böyle bir durumda aracın pozitif x ekseninde yavaşladığı söylenir.

Buna göre bir aracın hız ve ivme vektörleri aynı yönde olduğunda aracın hızlanması, zıt yönde olduğunda ise aracın yavaşlaması söz konusudur.

Hız-zaman grafiğinden yararlanılarak ivme hakkında bilgi edinilebilir. Bir aracın zamanla hızındaki değişimin grafikleri Tablo 3.3'ten incelenebilir.

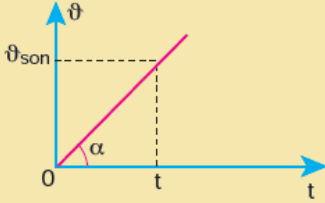
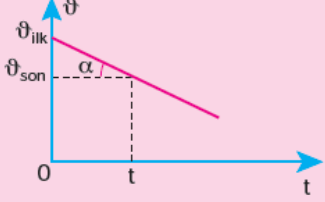
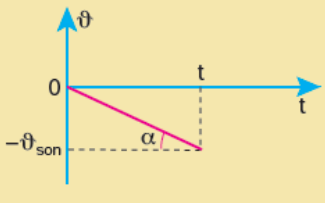
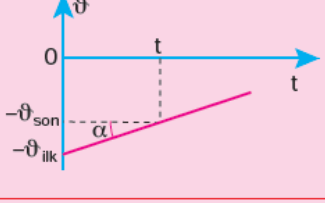


Görsel 3.15: Yeşil ışık yandıktan sonra kamyon ve otomobilin ivmelenmesi



Görsel 3.16.a.b: Aracın hız değişimi ve ivmenin yönü

da

|                       |                                                                                     |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Pozitif Yönde Hareket |    |
|                       | Durgun hâlden pozitif x eksenini yönünde düzgün hızlanan aracın hız-zaman grafiği   |
| Negatif Yönde Hareket |    |
|                       | Pozitif x eksenini yönünde düzgün yavaşlayan aracın hız-zaman grafiği               |
| Negatif Yönde Hareket |   |
|                       | Durgun hâlden negatif x eksenini yönünde düzgün hızlanan aracın hız-zaman grafiği   |
| Negatif Yönde Hareket |  |
|                       | Negatif x eksenini yönünde düzgün yavaşlayan aracın hız-zaman grafiği               |

Tablo 3.3 : Hız-zaman grafikleri

- ★ Hız-zaman grafiğinin eğimi, hareketlinin ivmesini verir.

Buna göre ivme,

$$\text{eğim} = \tan \alpha = \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{(\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}})}{(t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}})}$$

bağıntısıyla bulunur.

**Örnek - 8**

İvme-zaman grafiği Grafik 3.11'deki gibi olan hareketlinin ilk hızı 12 m/s'dir.

**Hareketlinin 7 s sonraki hızını bulunuz.**

**Çözüm**

İvme-zaman grafiğinin altındaki alan hız değişimini verir.

$$\Delta \vec{v} = 5 \text{ m/s} \cdot 7 \text{ s}$$

$$\Delta \vec{v} = 35 \text{ m/s olur.}$$

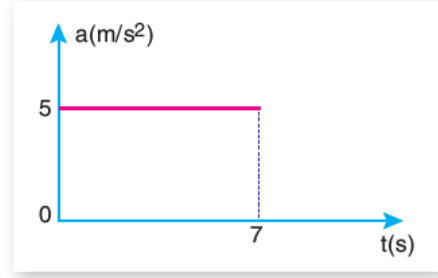
$$\Delta \vec{v} = (\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}})$$

$$35 \text{ m/s} = (\vec{v}_{\text{son}} - 12) \text{ m/s}$$

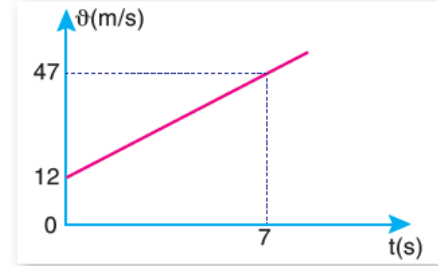
$$\vec{v}_{\text{son}} = 35 \text{ m/s} + 12 \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{\text{son}} = 47 \text{ m/s}$$

Hareketlinin hız-zaman grafiği çizilirken ilk hız değerinin 12 m/s olduğuna dikkat edilmelidir. Bu durumda hareketlinin hız-zaman grafiği Grafik 3.12'deki gibi olur.



Grafik 3.11



Grafik 3.12

## 9.Sınıf Fizik Konu Özetleri

**3.Ünite : Hareket ve Kuvvet**

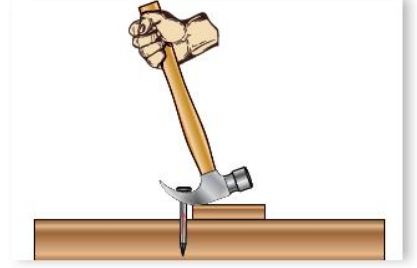
**2.Bölüm : Kuvvet**

### 9.3.2.1. Kuvvet Kavramı

**Amaç:** Kuvvet kavramını açıklayarak temel kuvvetlerin ne olduğunu öğrenmek.

Görsel 3.18’de çiviye tahta bloktan çıkarabilmek, Görsel 3.19’da ise kutuyu hareket ettirebilmek için kuvvet uygulanması gerektiğini günlük tecrübelerimizden biliyoruz. Kuvvet, itme veya çekme olarak tanımlanabilir. Verdiğimiz örneklerde olduğu gibi iki cisim arasında doğrudan bir teması gerektiren kuvvetlere temas kuvveti denir. Sürtünme kuvveti, bisiklet sürerken pedala uyguladığımız kuvvet, suyun üzerindeki kayığa etki eden kaldırma kuvveti, bir masa üzerinde duran kitaba uygulanan tepki kuvveti vb. kuvvetler temas kuvvetlerine örnek olarak verilebilir.

Görsel 3.20’de mıknatısı demir tozlarına yaklaştırdığımızda demir tozlarının mıknatıs tarafından çekildiğini, Görsel 3.21’de ise elimizdeki bir topu yüksekte bıraktığımızda Dünya’nın, bırakılan topu, aralarında bir değme olmamasına karşın kendisine doğru çektiğini gözlemleriz.



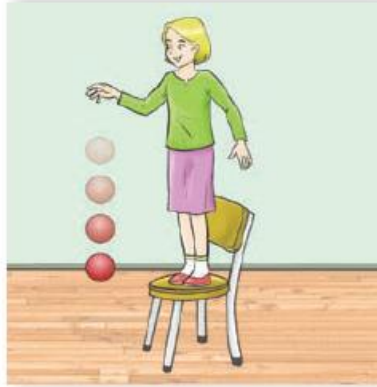
Görsel 3.18: Tahta bloktan çivinin çıkartılması



Görsel 3.19: Kutuyu çeken ve iten çocuklar



Görsel 3.20: Mıknatısın demir tozlarını çekmesi



Görsel 3.21: Serbest bırakılan top her zaman yeryüzüne doğru hareket eder.

Peki, nasıl olur da cisimler, aralarında temas olmadan da birbirlerine kuvvet uygulayabilir?

Bu soru Michael Faraday (Mişel Faraday) tarafından geliştirilen alan kavramıyla cevap bulmuştur. Alan kavramı, birbirine teması olmayan cisimlerin uzaktan etkileşimlerini anlamamıza yardımcı olmuştur. Cisimlerin birbirine teması olmadan da etkili olan uzun menzilli kuvvetlere alan kuvveti denir. İki mıknatısın birbirini itmesi veya çekmesi, Dünya’nın bizlere

uyguladığı yer çekimi kuvveti temas gerektirmeyen kuvvetlere yani alan kuvvetlerine örnek olarak verilebilir.

### **Temel Kuvvetler (Etkileşimler)**

Günlük yaşamda karşılaştığımız kuvvetler genellikle temas kuvvetleridir. 1930'lu yıllardan sonra keşfedilen atom altı parçacıkların etkileşimleri bilinen etkileşimlerle açıklanamaz. Çünkü her bir atomik çekirdeğin içinde çekirdeği oluşturan atom altı parçacıkları bir arada tutan farklı kuvvetler vardır. Temel kuvvetler etki menzillerinin durumuna göre evrenin yapısını tayin eder. Atom altı etkileşimlerden tutun da galaksiler arasındaki etkileşimlere kadar her alanda bu kuvvetlerin etkisi vardır. Bilinen tüm etkileşimler dört temel kuvvet olarak sınıflandırılabilir. Bu etkileşimlerden kütle çekim ve elektromanyetik kuvvetleri önceki bilgilerinizden hatırlayabilirsiniz.

Kütle çekim kuvvetini Dünya'nın cisimleri çekmesi şeklinde, elektromanyetik kuvveti ise ebonit bir tarakla saçımızı taradıktan sonra küçük kâğıt parçalarını çekmesinden biliyoruz. Buzdolabına yapışan buzdolabı süsleri ise manyetik kuvvetin etkisiyle açıklanır. Hatırladığımız bu kuvvetlerden farklı olarak atom çekirdeğinde meydana gelen zayıf ve güçlü etkileşimler de vardır. Şimdi dört temel kuvveti kısaca açıklayalım.

#### **1. Kütle Çekim Kuvveti**

Kütle çekim kuvveti Ters Kare Yasası'na ( $1/r^2$ ) uyduğu için uzun menzillidir. Hatta sonsuz menzilli olarak kabul edilir. Bütün cisimler arasında oluşan çekme kuvvetidir. Gezegenleri Güneş çevresinde dolaştıran Ay'ın, Dünya'nın çevresinde dönmesini sağlayan ve yüksek bir yerden herhangi bir cismi yere doğru çeken kuvvettir. Zayıf kuvvet olmasına karşın galaksilerin varlığı ve şekli kütle çekim kuvvetinin uzun erimli olduğunun bir göstergesidir.

#### **2. Elektromanyetik Kuvvet**

19. yüzyılda elektrik ve manyetizmanın birbirleriyle ilişkili olduğu belirlendi. Bu da bizlere elektromanyetik kuvvetin elektrik ve manyetizma olmak üzere iki karakterli olduğunu gösterir. Bu etkileşimde durgun hâldeki yüklü parçacıkların yükünün cinsi elektriksel kuvvetin itme ya da çekme kuvveti olacağını belirler. Elektrik yükleri hareketli olduğunda ise manyetik etkileşme meydana gelir.

Ayrıca bir mıknatısla demir parçasının veya iki mıknatısın etkileşmesinde de manyetik kuvvetler etkindir. Elektromanyetik kuvvet Ters Kare Yasası'na ( $1/r^2$ ) uyduğu için uzun menzillidir. Hatta sonsuz erimli olarak kabul edilir. Elektromanyetik kuvvetler, DNA moleküllerini bir arada tutar.

#### **3. Zayıf Nükleer Kuvvet**

Atom çekirdeğindeki atom altı parçacıklar arasındaki itme kuvvetidir. Radyoaktif bozunmalarda etkilidir. Etki menzili çekirdek altı mesafelerdir.

#### **4. Güçlü (Yeğin) Nükleer Kuvvet**

Atom çekirdeğini oluşturan proton ve nötronu bir arada tutan kuvvettir. Atom çekirdeği elektriksel yük olarak nötr olan nötronlarla pozitif olan protonları barındırır. Protonlar arasındaki elektriksel itme kuvveti çekirdeği parçalamaya çalışır. Fakat atom altı parçacıkları arasındaki çekme kuvveti, protonlar arasındaki itme kuvvetini dengeleyerek protonların bir arada kalmasını sağlar ve kararlı atom çekirdeklerinin oluşmasında etkin rol üstlenir. Güçlü nükleer

kuvvetlerin etki alanı atom çekirdeğiyle sınırlıdır. Bu kuvvet Güneş'te oluşan tepkimelerde etkindir

Tablo 3.4'te temel kuvvetlerin şiddet ve menzil karşılaştırmasını inceleyebilirsiniz. Tabloda kuvvetlerin şiddetlerini karşılaştırabilmek için kütle çekim kuvvetinin şiddeti 1 olarak kabul edilmiştir. Diğer kuvvetlerin şiddeti de bu değere göre belirtilmiştir.

| Etkileşme türü         | Bağıl şiddet | Menzil     |
|------------------------|--------------|------------|
| Kütle çekim kuvveti    | 1            | $\infty$   |
| Zayıf nükleer kuvvet   | $10^{25}$    | $10^{-18}$ |
| Elektromanyetik kuvvet | $10^{36}$    | $\infty$   |
| Güçlü nükleer kuvvet   | $10^{38}$    | $10^{-15}$ |

Tablo 3.4: Temel kuvvetler

Şimdi dört temel kuvvetten biri olan kütle çekim kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri açıklayalım.

#### Kütle Çekim Kuvvetinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Günlük yaşamımızda ağırlık kavramını çok kullanırız. Ağırlığın, Dünya'nın cisimlere uyguladığı bir çekim kuvveti olduğunu hatırlayınız. Kütlesi olan bütün cisimler birbirlerine kütle çekim kuvveti olarak adlandırdığımız bir kuvvet uygular. Yani ağırlık, kütle çekim kuvvetinin özel hâlidir demek yanlış olmaz.

Newton tarafından keşfedilen Kütle Çekim Yasası veya gravitasyon kuvveti, evrendeki herhangi iki cisim arasında kütlelerin çarpımıyla doğru ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak bir çekim kuvveti uygulanmasıdır, şeklinde tanımlanır. Bu ifadeyi matematiksel olarak modellemek istersek

$$G, \text{gravitasyon sabiti ve değeri } 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$m_1 \cdot m_2$  birinci ve ikinci cisimlerin kütlesi (kg)

$r$ , kütlelerin merkezleri arasındaki uzaklık (m) olmak üzere

$$F = G \cdot \frac{(m_1 \cdot m_2)}{r^2} \text{ yazılır.}$$

Matematiksel modelleme incelendiğinde kütle çekim kuvvetinin büyüklüğünün, cisimlerin kütlelerine ve aralarındaki uzaklığa bağlı olduğu çıkarımını yapabilirsiniz. Cisimlerin arasındaki uzaklığı değiştirmeden kütlelerini artırırsak kütle çekim kuvvetinin arttığını veya cisimlerin kütlelerini değiştirmeyip aralarındaki uzaklığı artırdığımızda da kütle çekim kuvvetinin azaldığını söyleyebiliriz. Çevremizdeki cisimlerin hareketini kuvvet yardımıyla sağlayabiliriz. Cisimlere etki eden toplam kuvvetin büyüklüğüne göre cismin hareket durumu da değişir.

Şimdi kuvvetin etkisiyle herhangi bir cismin bir doğru boyunca hareket durumunu açıklayalım.

### Dengelenmiş Kuvvet

Bir cismin başlangıçta durduğunu ya da sabit hızla hareket ettiğini düşünelim. Bu cisme etki eden kuvvetlerin vektörel toplamı (bileşke veya net kuvvet) sıfır ise cisim başlangıçtaki durumunu korur. Yani ya durmaya ya da sabit hızla hareketini sürdürmeye devam eder. O hâlde cisme etki eden net kuvvet sıfır ise cisim dengelenmiş kuvvetlerin etkisindedir denir. Burada önemli olan, cisme etki eden net kuvvetin sıfır olmasıdır.

Görsel 3.27’de halat çekme oyunu oynayan çocuklar görülmektedir. Burada ipe birden fazla çocuk kuvvet uygular. Görsel 3.28’de ipi sağa doğru çekmeye çalışan kişilerin uyguladıkları kuvvetleri toplayarak bunu tek bir kuvvet olarak düşünebiliriz. Yani sağa doğru uygulanan 210 N, 100 N ve 130 N’lık üç kuvveti toplayıp sağa doğru uygulanan net kuvvetin 440 N olduğunu bulabiliriz. Benzer biçimde sola doğru uygulanan kuvvetlerin toplamının da 440 N olduğunu kabul edelim. Bu durumda Görsel 3.29’daki sistemin net kuvveti, her iki yönde uygulanan kuvvetler zıt yönde olduklarından birbirinden çıkarılarak bulunur.

Bu durumda sistemin net kuvvetinin 0 (sıfır) olduğu belirlenir. Bu sonuca göre sistemin dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde olduğu söylenir.

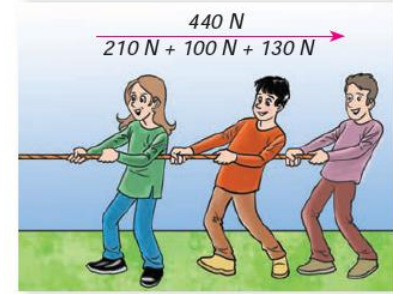
### Dengelenmemiş Kuvvet

Günlük yaşamımızda sıfırdan farklı net kuvvetin cisimlere etki ettiğini biliyoruz. Eğer bir cisme net bir kuvvet uygulanıyorsa cismin dengelenmemiş kuvvetlerin etkisinde olduğu söylenir.

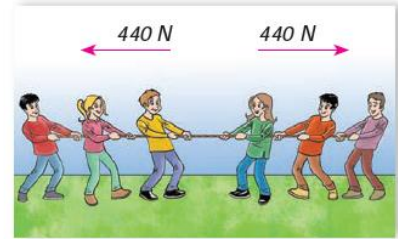
Görsel 3.30’da birbirlerini ipe çekmeye çalışan kişiler görülmektedir. Bu kişilerin uyguladıkları net kuvvetlerin; sağ tarafa 440 N ve sol tarafa 300 N olduğunu düşünelim. Dikkat edilirse sisteme farklı büyüklükte ve zıt yönde iki kuvvet etki etmektedir. Kuvvetler zıt yönlü olduğundan sisteme etki eden net kuvvetin 140 N ve sağa doğru olduğu söylenebilir. Bu nedenle sol taraftaki kişiler sağa doğru çekilirler.



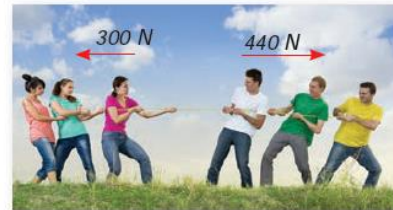
Görsel 3.27: Halat çekme oyunu oynayan çocuklar



Görsel 3.28: Aynı yönde uygulanan kuvvetlerin bileşkesi toplanarak bulunur.



Görsel 3.29: Birbirlerine zıt yönde eşit büyüklükte kuvvetle çekmeye çalışan çocuklar



Görsel 3.30: Birbirlerini, zıt yönde ve farklı değerlerdeki kuvvetlerle çekmeye çalışan kişiler

### Örnek - 9

Yatay ve sürtünmesiz bir düzlemde duran kutuya yatay ve aynı yönde 45 N, 37 N ve 50 N olmak üzere üç kuvvet uygulanıyor.

**Sistemin net kuvvetini bulunuz.**

#### Çözüm

Kutuya yatay ve aynı yönde üç kuvvet etki ettiği için net kuvvet, uygulanan kuvvetlerin toplanmasıyla

$$F_{\text{net}} = F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_{\text{net}} = 45 \text{ N} + 37 \text{ N} + 50 \text{ N}$$

$$F_{\text{net}} = 132 \text{ N} \text{ bulunur.}$$

### Örnek - 10

Görsel 3.31’de yatay ve sürtünmesiz düzlemde 5 m/s hızla hareket eden bir cisme etki eden dik kuvvetler gösterilmiştir.

**Buna göre cisme etki eden net kuvvet ve cismin hareket durumu için ne söylenir?**

#### Çözüm

Görsel 3.31’de cisim pozitif x yönünde hareket etmektedir. Hareket hâlindeki bu cisme pozitif x yönünde  $F_1$ ,  $F_2$  negatif x yönünde ise  $F_3$  ve  $F_4$  kuvvetleri etki etmektedir. Net kuvvet için aynı yönlü kuvvetler toplanıp bulunan değer zıt yönlü kuvvetlerden çıkartılır.

$$F_{\text{net}} = (F_1 + F_2) - (F_3 + F_4)$$

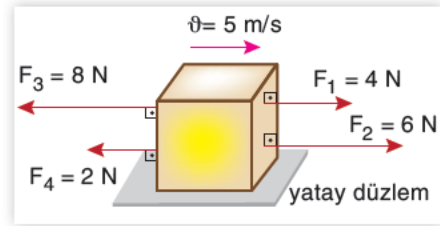
$$F_{\text{net}} = (4 \text{ N} + 6 \text{ N}) - (8 \text{ N} + 2 \text{ N})$$

$$F_{\text{net}} = 10 \text{ N} - 10 \text{ N}$$

$$F_{\text{net}} = 0 \text{ bulunur.}$$

Bu durumda cisme etki eden net kuvvet yoktur.

Newton’ın I. Hareket Yasası’na göre cisim 5 m/s hızla +x yönündeki hareketine devam eder.



Görsel 3.31

## 9.Sınıf Fizik Konu Özetleri

**3.Ünite : Hareket ve Kuvvet**  
**3.Bölüm : Newton'ın Hareket Yasaları**

### 9.3.3.1. Dengelenmiş Kuvvetlerin Etkisindeki Cisimlerin Hareketi

**Amaç:** Kuvvet, ivme ve kütle arasındaki ilişkiyi analiz etmek, etki-tepki kuvvetlerini ve maddenin eylemsizlik özelliğini örneklerle açıklamak.

Kuvvet ile kuvvetin neden olduğu ivme (cismin hızındaki değişim) arasındaki ilişki ilk defa Newton tarafından anlaşılmıştır. Newton kendisinden önce birçok bilim insanının yaptığı gözlem ve çalışmalarından yararlanarak Newton Yasaları olarak bilinen sonuçlara ulaşmıştır. Bu çalışmaları yapan bilim insanlarından biri de İbn-i Sina'dır. İbn-i Sina'nın, hareket konusuna bakışı Aristo ile uyuşmuyordu. Aristo'ya göre bir cisim hareket ettirildiğinde bu hareketin devamlılığı hava ile sağlanır. İbn-i Sina ise Aristo'nun görüşüne katılmayıp hareket eden cisimlerin hareket etme isteği kavramını dillendirmiştir. Buna göre eğer bir cisim herhangi bir engelle karşılaşmazsa kazandığı hareket etme isteğinden dolayı cisim hareketini devam ettirir. Bu durum eylemsizlik olarak da isimlendirilmektedir. Bu ifade daha sonra Newton tarafından da aynı şekilde söylenmiş olup Newton'ın I. Hareket Yasası olarak bilim tarihinde yerini almıştır. Cisimlerin eylemsizliğini bir örnekle açıklayalım. Otobüste ayakta yolculuk edenleri ele alalım. Otobüsün frenine basıldığı anda yolcuların öne doğru savrulduklarını günlük tecrübelerimizden biliyoruz. Otobüsün frenine basıldığı andan itibaren yolculara bir itme ya da çekme kuvveti uygulanmadığına göre yolcular neden öne doğru savrulur? Bu savrulmanın nedeni yolcuların, otobüsün frenine basılmadan önceki hareketi sürdürme eğilimidir. İşte bu hareketi sürdürme eğilimi eylemsizlik olarak açıklanmaktadır.

Kütlesi olan her cismin eylemsizliğinden bahsedilir. Cisimler dursa da hareket etse de eylemsizliği vardır. Eylemsizlik cisimlerin hareket durumunu koruma eğilimi olarak tanımlanabilir. Şimdi de körling oyunu üzerinden Newton'ın I. Hareket Yasası'nı açıklayalım. Körling oyunu, dört kişilik iki takımla uzunluğu 42 m, genişliği 4,3 m olan buz pisti üzerinde oynanır. Sporcu, kaydırarak attığı körling taşlarının hedefte istenen yerde durmasını amaçlar. Hatta takımın diğer üyeleri körling taşına dokunmadan buz zemini süpürerek taşın her defasında hedeflenen noktada durmasını sağlamaya çalışır. Böylece oyun sonunda rakibe puan üstünlüğü sağlayan takım oyunu kazanmış olur.



Görsel 3.36: Erzurum'da yapılan  
Uniliğ Üniversiteler Arası Kış  
Oyunları'nda körling taşının atılışı

Sporcu, Görsel 3.36'daki gibi körling taşını kaydırarak bırakmaktadır. Buz üzerindeki sürtünme kuvvetinin ihmal edildiğini düşünelim. Bu durumda yatay doğrultuda hareket hâlindeki körling taşına etki eden net kuvvet sıfırdır. Dolayısıyla körling taşı sabit hızla yani ivmesiz hareket edecektir (Görsel 3.37).



Görsel 3.37: Körling taşının sabit hızlı hareketi

O hâlde Newton'ın I. Hareket Yasası; bir cisme etki eden net kuvvet sıfırsa, cisim duruyorsa durmaya, hareket hâlinde ise doğrusal bir yörüngede sabit hızla bu hareketini sürdürmeye devam eder şeklinde tanımlanabilir.

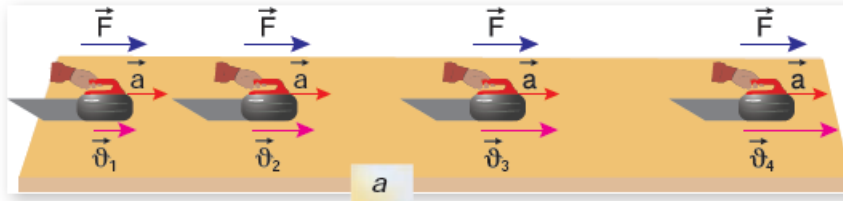
### 9.3.3.2. Kuvvet, İvme ve Kütle

**Amaç:** Kuvvet, ivme ve kütle arasındaki ilişkiyi açıklamak.

Newton yaptığı çalışmalarla cisimlerin hızlarının değişebileceğini fark etti. Bu durumu Görsel 3.38'de körling oyunundan yararlanarak açıklayalım. Oyuncu, körling taşını hedefin merkezine en yakın noktaya göndermeye çalışır. Görsel 3.38'de dikkat edilirse atılan körling taşları hedef halkalarının merkezinden farklı yerlerde durmaktadır. Bunun nedeni oyuncuların körling taşlarına kazandırdığı farklı hızlardır. Hızların farklı olmasının nedeni körling taşlarına uygulanan kuvvetlerin farklı olmasıdır. Şimdi körling taşına uygulanan net kuvvetin etkisinin nasıl olacağını açıklayalım. Görsel 3.39.a'daki gibi oyuncu, körling taşına, elinden çıkarıncaya kadar yatay net bir kuvvet uygular. Uygulanan sabit net kuvvetin etkisiyle körling taşının hızı sabit bir oranda değişir. Yani körling taşının hızı sabit bir oranda değişir. Yani körling taşı  $\vec{v}$  ve  $\vec{F}$  ile aynı yönlü sabit bir  $\vec{a}$  ivmesiyle hareket eder.



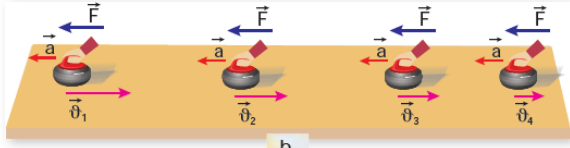
Görsel 3.38: Körling taşları atış hızlarına göre hedefin farklı yerlerinde konumlanır.



Görsel 3.39.a: Düzgün hızlanan körling taşı için kuvvet, ivme ve hızın yönleri

Görsel 3.39.b'deki gibi oyuncunun körling taşına uyguladığı net kuvvet, taşın  $\vec{v}$  hızına zıt yönde olursa durum ne olur?

Bu durumda da körling taşının bir ivmesi olacak. Önceki bilgilerinizden de hatırlayacağınız üzere körling taşı, sağa doğru gittikçe yavaşlayan bir hızla hareket eder. Bu yavaşlamanın nedeni körling taşına uygulanan  $\Sigma \vec{F}$  kuvveti ile aynı yöndeki  $\vec{a}$  ivmesidir.

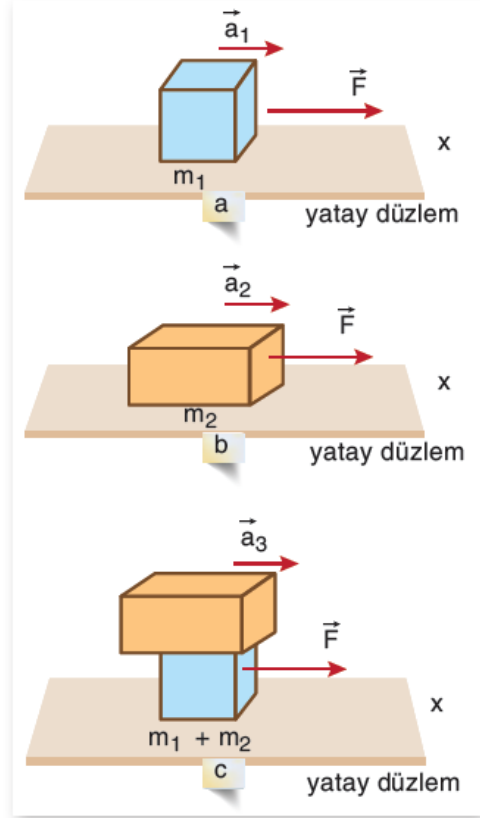


Görsel 3.39.b: Düzgün yavaşlayan körling taşı için kuvvet, ivme ve hızın yönü

İçi dolu ve boş alışveriş arabalarını eşit büyüklükte yatay bir kuvvetle ittiğinizi düşünelim. Eşit kuvvet etkisinde, dolu olan arabanın boş olan arabaya göre hızlanmasının, diğer bir deyişle ivmelenmesinin daha zor olacağını tahmin edebilirsiniz. Bu durum şematik olarak Görsel 3.41.a.b.c'de gösterilmiştir.

Görsel 3.41.a'da kütlesi  $m_1$  olan cisme sabit bir  $\vec{F}$  net kuvveti uygulandığında  $m_1$  kütlesi, büyüklüğü  $a_1$  olan bir ivme kazanır. Görsel 3.41.b'de kütlesi  $m_2$  olan cisme sabit bir  $\vec{F}$  net kuvveti uygulandığında  $m_2$  kütlesi, büyüklüğü  $a_2$  olan bir ivme kazanır. Görsel 3.41.c'de  $m_1$  ve  $m_2$  kütleleri üst üste konarak  $(m_1 + m_2)$  kütlesi elde ediliyor. Bu sisteme sabit bir  $\vec{F}$  net kuvveti uygulandığında sistemin kütlesi  $(m_1 + m_2)$ , büyüklüğü  $a_3$  olan bir ivme kazanır.  $m_1 < m_2$  olduğu dikkate alınırsa bu cisimlerin ivmeleri arasındaki ilişkinin  $a_1 > a_2 > a_3$  olduğunu kestirebiliriz. Buradan eşit net kuvvet için kütle ile ivmenin ters orantılı olduğunu görürüz.

Görsel 3.39.b'den elde edilecek sonuç, bir cisme uygulanan net kuvvetin o cismin uygulanan net kuvvetle aynı yönde ivmelenmesine neden olduğudur.



Görsel 3.41.a.b.c: Sabit bir kuvvetin etkisinde, cisimlerin ivmesinin kütleyle ilişkisi

Yani Newton'ın II. Hareket Yasası'na göre bir cismin ivmesi, ona etki eden net kuvvetle doğru, kütlesi ile ters orantılıdır. İvmenin yönü ise cisme etki eden net kuvvetin yönündedir diye söylenir.

Buna göre, cisme etki eden net kuvvetin büyüklüğünün o cismin kazandığı ivmenin büyüklüğüne oranı sabittir. Bu orana o cismin **eylemsizlik kütlesi** veya kısaca **kütlesi** denir.

$$m = \frac{\vec{F}}{\vec{a}} \text{ olarak gösterilir.}$$

Kuvvetin büyüklüğü  $F = ma$  olarak yazılır.

O hâlde kütlenin eylemsizliğin nicel bir ölçüsü olduğunu söyleyebiliriz. Tablo 3.5'te kuvvet niceliğinin SI birim sistemindeki birimini inceleyebilirsiniz.

| Nicelik | Sembolü | Birimi           |
|---------|---------|------------------|
| Kütle   | m       | kg               |
| İvme    | a       | m/s <sup>2</sup> |
| Kuvvet  | F       | N                |

Tablo 3.5: Kuvvetin SI birim sistemindeki birimi

#### Örnek - 12 >

Durgun hâldeki 25 kg ve 2 kg kütleli iki metal kutuyu yatay zemin üzerinde 3 m/s<sup>2</sup> lik ivme ile ivmelendirebilmek için gereken net kuvvetleri bulunuz.

#### Çözüm

Cisimlerde 3 m/s<sup>2</sup> lik ivmeyi oluşturacak net kuvvet Newton'ın II. Hareket Yasası'ndan yararlanılarak bulunur. Buna göre 25 kg'lık kutuyu birinci cisim olarak alalım.

Etki eden net kuvvet

$$F_1 = m_1 \cdot a_1$$

$$F_1 = 25 \text{ kg} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 75 \text{ N olur.}$$

2 kg'lık kutuyu ikinci cisim olarak alalım.

Etki eden net kuvvet

$$F_2 = m_2 \cdot a_2$$

$$F_2 = 2 \text{ kg} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6 \text{ N olur.}$$

Dikkat edilirse kütlesi büyük olan kutuya, kütlesi küçük olan kutuyla aynı büyüklükte ivme kazandırmak için daha büyük kuvvet uygulamak gerekir.

#### Örnek - 13 >

Sürtünmesiz yatay bir zemin üzerindeki kutuya 48 N büyüklüğünde yatay kuvvet uygulanıyor.

Kutu 6 m/s<sup>2</sup> ivme kazandığına göre kutunun kütleini bulunuz.

#### Çözüm

Cisim, uygulanan kuvvet nedeniyle ivme kazanmıştır. Kuvvet ve ivme yardımıyla cismin kütlesi bulunabilir. Newton'ın II. Hareket Yasası'ndan cismin kütlesi,

$$F = m \cdot a$$

$$48 = m \cdot 6 \Rightarrow m = \frac{48}{6} = 8 \text{ kg bulunur.}$$

### Kütle ve Ağırlık

Kütle ve ağırlık kavramlarıyla sıkça karşılaşırız. Fakat bu kavramlar gündelik konuşmalarda birbirinin yerine sıkça kullanılarak hata yapılır.

Kütlesi büyük olan cisimleri ivmelendirmek için kütlesi küçük olan cisimlere göre daha büyük kuvvet uygulanması gerektiğini hatırlayınız. Örnek olarak bowling ve pinpon topunu ele alalım. Durgun hâldeki bowling topu ile pinpon topunu hareket ettirebilmek için bowling topuna daha fazla kuvvet uygulamak gerektiğini biliyoruz. Bunun nedeni bowling topunun eylemsizliğinin pinpon topunun eylemsizliğinden büyük olmasıdır.

Bu nedendir ki bowling topu, pinpon topundan daha fazla kütleyle sahiptir.

Önceki yıllardan, ağırlığın Dünya'nın cisimlere uyguladığı kütle çekim kuvveti olduğunu biliyorsunuz. Bungee jumping (bangi camping) yapan kişi yüksek bir yerden kendini bıraktığında aşağı doğru ivmelenmeye başlar.

Newton'ın II. Hareket Yasası'na göre bu ivmelenmeyi sağlayan bir kuvvet olmalıdır. Havanın etkisi dikkate alınmadığında bu atlayışta ivmelenmeyi sağlayan kuvvet, kişinin kendi ağırlığıdır.

Bu ağırlığın Dünya ile kişi arasındaki kütle çekim kuvvetinden kaynaklandığını hatırlayınız. Düşme hareketinde kütle çekim kuvvetinin etkisiyle yer çekimi ivmesi oluşur.

Kütle çekim bağıntısı,  $m_D$  Dünya'nın kütlesi,  $m$  cismin kütlesi alınarak düzenlenirse  $F = G \cdot \frac{m_D \cdot m}{r^2}$  yazılır.

Bu bağıntıda  $G$ ,  $m_D$  ve  $r$  değişmediğinden yer çekimi ivmesinin büyüklüğü sabitler cinsinden  $g = G \cdot \frac{m_D}{r^2}$  olarak yazılabilir.

Bağıntı yardımıyla yer çekimi ivmesinin değeri yaklaşık 9,80 N/kg bulunur. Dünya yüzeyinde g'nin değeri 9,78 N/kg ile 9,82 N/kg arasında değişir.

Bu değişimin nedeninin Dünya'nın tam bir küre olmaması, kendisinin ve Güneş etrafında dönmesinin sonucu olduğunu söyleyebiliriz. Hesaplamalarda kolaylık sağlaması bakımından değeri 10 N/kg olarak alınacaktır.

Yer çekimi ivmesi vektörel bir büyüklük olup yönü Dünya'nın merkezine doğru gösterilir. Görsel 3.45'te paraşütle atlayan kişiye etki eden ağırlık ve yer çekimi ivmesinin yönü görülmektedir.

Ağırlık hesaplamalarında genel olarak dikkat edilmesi gereken husus, cisim ile Dünya'nın merkezi arasındaki uzaklığın değişip değişmediğidir. Eğer uzaklık değişirse unutulmamalıdır ki g yer çekimi ivmesinin değeri de değişecektir. Bu da bize ağırlığın yer çekimi ivmesine bağlı olarak değişebileceğini gösterir.

O hâlde kütle çekim kuvveti  $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$  olarak düzenlenebilir.

Tablo 3.6'da ağırlık niceliğinin SI birim sistemindeki birimini inceleyebilirsiniz.

| Nicelik           | Sembolü | Birimi                           |
|-------------------|---------|----------------------------------|
| Kütle             | m       | kg                               |
| Yer çekimi ivmesi | g       | m/s <sup>2</sup><br>yada<br>N/kg |
| Ağırlık           | G       | N                                |

Tablo 3.6: Ağırlığın SI birim sistemindeki birimi

#### Örnek - 14 >

**Kütlesi 7,2 kg olan bowling topunun Dünya'daki ve Ay'daki ağırlıklarını bulunuz.**

( $g_{Ay} = 1,62$  N/kg;  $g_{Dünya} = 10$  N/kg alınız.)

#### Çözüm

Öncelikle kütlenin Dünya ve Ay'da değişmeyeceğini, dolayısıyla 7, 2 kg olacağını belirtelim. Kütlenin değişmeyeceğini hatırlayınız. Fakat ağırlık kütle çekim kuvvetinin büyüklüğüdür.

O hâlde bowling topunun ağırlığı

$$G_{Dünya} = m \cdot g_{Dünya}$$

$$G_{Dünya} = 7,2 \cdot 10$$

$$G_{Dünya} = 72 \text{ N olurken}$$

$$G_{Ay} = m \cdot g_{Ay}$$

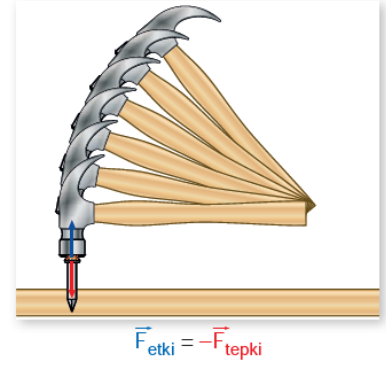
$$G_{Ay} = 7,2 \cdot 1,62$$

$$G_{Ay} = 11,7 \text{ N olur.}$$

### 9.3.3.3. Etki-Tepki Kuvvetleri

**Amaç:** Etki-Tepki kuvvetlerini örneklerle açıklamak.

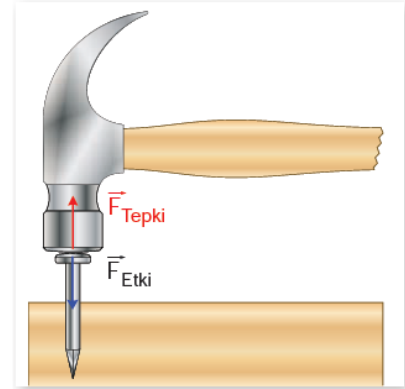
Newton, cisimlerin birbirine uyguladıkları kuvvetin tek taraflı olmadığını düşünüyordu. Çünkü Görsel 3.47'deki gibi çekiç hareket ederek çiviye doğru yaklaşır. Daha sonra çiviyle temas ettiği andan itibaren de çiviye bir kuvvet uygular. Bu kuvvetin etkisiyle çivi, tahta blok içine doğru gömülmeye başlar. Bu sırada çekicinin yavaşladığını ve durduğunu gözlemleyebilirsiniz. Bunun nedeni de çivinin çekice geriye doğru bir kuvvet uygulamasıdır.



Görsel 3.47: Çekiç, çiviye bir kuvvet uyguladığında çivi de çekice zıt yönde eşit büyüklükte kuvvet uygular.

Newton birbiri ile etkileşime giren iki cismin birbirlerine uyguladıkları kuvvetin daima aynı büyüklükte ve zıt yönde olduğunu belirtmiştir. Bu durum Newton'ın III. Hareket Yasası olarak adlandırılır.

Newton'ın III. Hareket Yasasına göre; birbiriyle etkileşen cisimlerden biri, ikinci cisim üzerine kuvvet uyguladığında ikinci cisim de birinci cisme zıt yönde eşit büyüklükte bir kuvvet uygular.



Görsel 3.48: Çekiç çiviye bir kuvvet uyguladığında çivi de çekice zıt yönde eşit büyüklükte kuvvet uygular.

Görsel 3.48'de çekicinin çiviye uyguladığı kuvvet etki, çivinin çekice uyguladığı kuvvet ise tepki olarak isimlendirilir.

$$\vec{F}_{\text{Etki}} = -\vec{F}_{\text{Tepki}}$$

Dikkat edilirse etki-tepki kuvvetleri farklı cisimler üzerindedir. Görsel 3.49.a.b.c'de gösterildiği gibi buz pistinde birbirini çeken kişiler, basketbol topunun yere çarpıp zıplaması ve kapı kolundan tutularak kapının açılması vb. durumların hepsinde etki-tepki kuvveti vardır.



Görsel 3.49.a.b.c: Etki-tepki kuvvetlerine örnekler

Dikkat edilirse etki-tepki kuvvetleri çiftler hâlinindedir ve farklı cisimler üzerindedir. Hepiniz futbol, voleybol, basketbol gibi birçok oyunu oynamışsınızdır. Etki-tepki kuvvet çiftlerini voleybol örneğiyle açıklayalım. Voleybol topuna vurduğunuzu düşünelim. Elinizin topa uyguladığı kuvvet, topun ileri doğru gitmesini sağlar. Bu sırada topun elinize uyguladığı tepki kuvvetini de hissedersiniz. Ayrıca günlük tecrübelerinizden, etki eden kuvvet

nedeniyle topun ve elinizin şeklinin de değiştiğini çıkarabilirsiniz. İşte bu kuvvetlere **etki-tepki çifti** denir.

Bu durum, elin topa uyguladığı etki kuvveti  $\vec{F}_{ET}$  ve topun ele uyguladığı tepki kuvveti de  $\vec{F}_{TE}$  olmak üzere,

$$\vec{F}_{Etki} = -\vec{F}_{Tepki}$$

$$\vec{F}_{ET} = -\vec{F}_{TE} \text{ olarak gösterilebilir.}$$

Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre Görsel 3.51.a.b'deki masa ve kitabın etkileşmesini inceleyelim. Masa üzerinde duran kitaba yer çekiminden dolayı bir ağırlık etki eder. Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre kitabın hareket etmesi gerekir. Kitap durgun olduğuna göre kitabın ağırlığını dengeleyecek başka bir kuvvetin olması gerekir. Bu kuvvet de masanın cisme yukarı doğru uyguladığı kuvvettir.

Görsel 3.51.a'da Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre masa üzerinde duran kitaba aşağı doğru etki eden yer çekimi kuvvetinin ( $\vec{G}$ ) masa tarafından yukarı doğru uygulanan bir kuvvetle ( $\vec{N}$ ) dengelendiği görülmektedir. Masa tarafından uygulanan  $\vec{N}$  kuvveti kitabın masaya değdiği yüzeye diktir ve **normal kuvvet** olarak isimlendirilir.

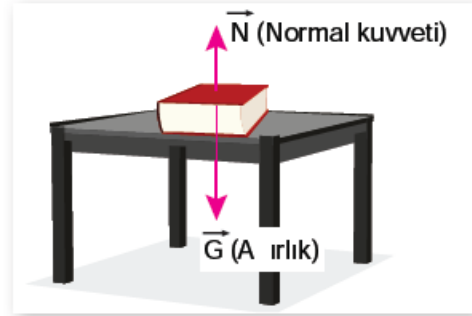
Burada dikkat edilmesi gereken, Görsel 3.51.a'daki  $\vec{G}$  ve  $\vec{N}$  kuvvetlerinin aynı cisim üzerinde olmasıdır. Öyleyse bu kuvvetler etki-tepki çifti değildir. Çünkü Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre etki-tepki kuvvet çifti farklı cisimler üzerinde olmalıdır.

Görsel 3.48'de Newton'ın III. Hareket Yasası'ndan öğrendiğimiz etkileşmeyi inceleyelim. Kitap, ağırlığından dolayı masaya düşey aşağı yönde  $\vec{F}_{KM}$  kuvveti uygular. Buna karşın masa da kitaba düşey yukarı yönde bir  $\vec{F}_{MK}$  kuvveti uygular.

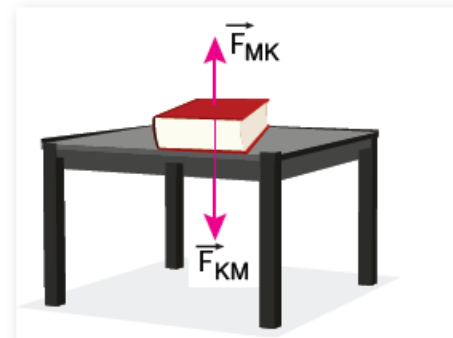
Bu kuvvetlerin birer kuvvet çifti ve uygulama noktalarının masa ile kitap üzerinde olduğuna dikkat ediniz. Bu kuvvetleri Görsel 3.51.b'den inceleyebilirsiniz.

$$\vec{F}_{MK} = -\vec{F}_{KM}$$

$$|\vec{F}_{MK}| = |\vec{F}_{KM}| \text{ olarak yazılabilir.}$$



a



b

Görsel 3. 51.a.b: Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre kitabın masaya etki ve masanın kitaba tepki kuvveti

Masanın kitaba uyguladığı FMK kuvvetinin büyüklüğünün kitabın ağırlığına eşit olduğuna dikkat ediniz.

Newton Yasaları ile cisimlerin hareket ve denge durumları ile ilgili sorunların çözümleri bulunur. Bu nedenle cisim üzerine etki eden tüm kuvvetleri gösteren bir diyagramın çizilmesi önemlidir. Böyle diyagramlara **serbest cisim diyagramı** veya **kuvvet diyagramı** denir.

Serbest cisim diyagramını her bir cisim için ayrı ayrı çizmek problemin çözümü için yapılacak işlemlerin belirlenmesinde kolaylık sağlar.

#### Örnek - 15 >

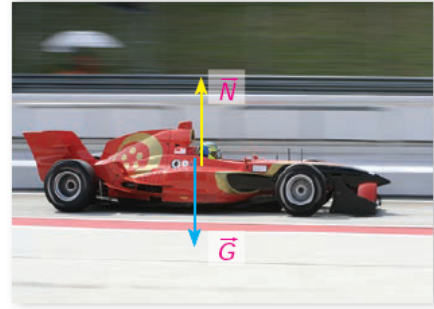
**Sürtünmesiz doğrusal bir yolda sabit hızla hareket eden arabanın serbest cisim diyagramını çiziniz.**

#### Çözüm

Cisimlerin hareketli ya da durgun olmaları serbest cisim diyagramı çiziminde herhangi bir sorun oluşturmaz. Öncelikle arabanın sabit hızla hareket etmesi Newton'ın I. Hareket Yasası'na göre yatay doğrultuda net kuvvetin etki etmediğini belirtir.

Düşey doğrultuda da araba hareket etmemektedir. Newton'ın II. Hareket Yasası'na göre arabaya düşey doğrultuda etki eden kuvvetlerin toplamı da sıfır olmalıdır. Bu nedenle aşağı yönde gösterilen arabanın ağırlığını dengeleyecek şekilde yerin yukarı yönde uygulayacağı bir  $\vec{N}$  kuvveti olmalıdır.

O hâlde arabanın serbest cisim diyagramı Görsel 3.52'deki gibi olur.



Görsel 3.52

#### Örnek - 16 >

Yatay düzlemde duran  $\vec{G}$  ağırlıklı bir cisme yere doğru dik  $\vec{F}$  kuvvetiyle bastırılıyor.

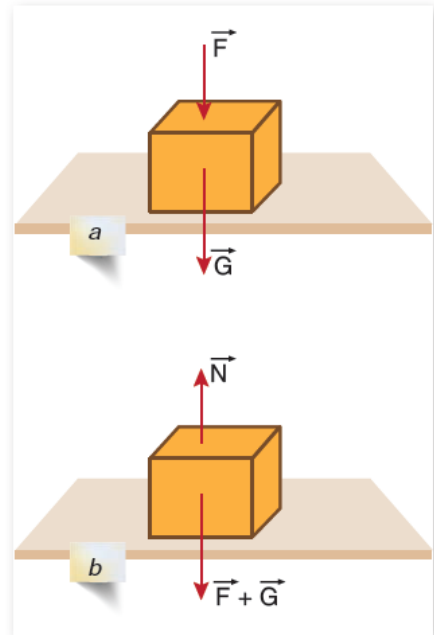
**Cismin etki-tepki kuvvetlerini çiziniz.**

#### Çözüm

Görsel 3.53.a'da yatay zemin üzerinde duran cisim, yere " $F + G$ " büyüklüğünde bir kuvvetle etki eder.

Zemin de " $F + G$ " büyüklüğüne eşit büyüklükte ve zıt yönde bir tepki kuvvetini ( $\vec{N}$ ) cisme uygular (Görsel 3.53.b).

Etki-tepki kuvvetlerinin farklı cisimler üzerinde olduğunu gözden kaçırmayınız.



Görsel 3.53.a.b

## 9.Sınıf Fizik Konu Özetleri

**3.Ünite : Hareket ve Kuvvet**

**4.Bölüm : Sürtünme Kuvveti**

### 9.3.4.1. Sürtünme Kuvvetinin Bağlı Olduğu Değişkenler

**Amaç:** Sürtünme kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek. Statik ve kinetik sürtünme kuvvetlerini karşılaştırmak.

Günlük yaşamda karşılaştığımız faaliyetlerin her birinde sürtünme kuvvetiyle karşılaşırız. Arabaların hareketi esnasında havayla, tekerleklerin yerle ya da motor içindeki parçaların birbiriyle teması sürtünme kuvvetine neden olur. Yine yazı yazarken, yüzerken, paraşütle atlarken, koşarken, yürürken vb. birçok faaliyette sürtünme kuvvetiyle karşılaşırız. Kaykayı yatay bir zeminde hareket ettirmek için ayağımızla iteriz. Kaykay kaymaya başlar fakat bir süre sonra durur. Kaykayın durmasının nedeninin sürtünme olduğunu biliyoruz.

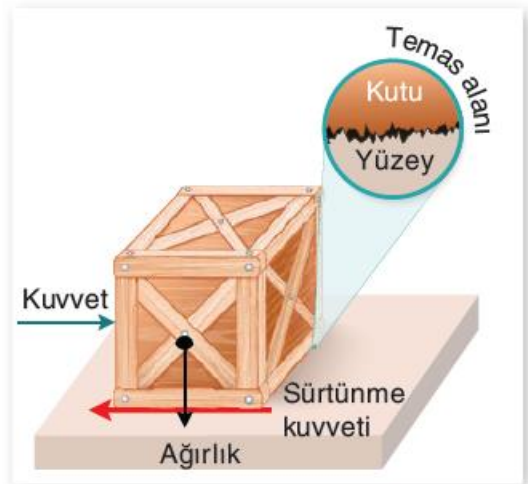
Günlük yaşamımızdaki tecrübelerimize dayanarak buzdolabını sandalyeye göre daha zor hareket ettirdiğimizi söyleyebiliriz. Hatta uygulanan kuvvetin yetersiz olması durumunda cisimlerin hareket ettirilemediğini de biliyoruz.

Kayarak İlerleyen Cisimlerde Sürtünme Kuvveti Görsel 3.60'daki gibi bir cismi göz önüne alalım. Cisimle yüzeyin birbirine temasıyla sürtünme kuvveti oluşur. Yüzeylerin temasıyla oluşan sürtünme kuvvetini mikroskobik düzeyde açıklamaya çalışalım.

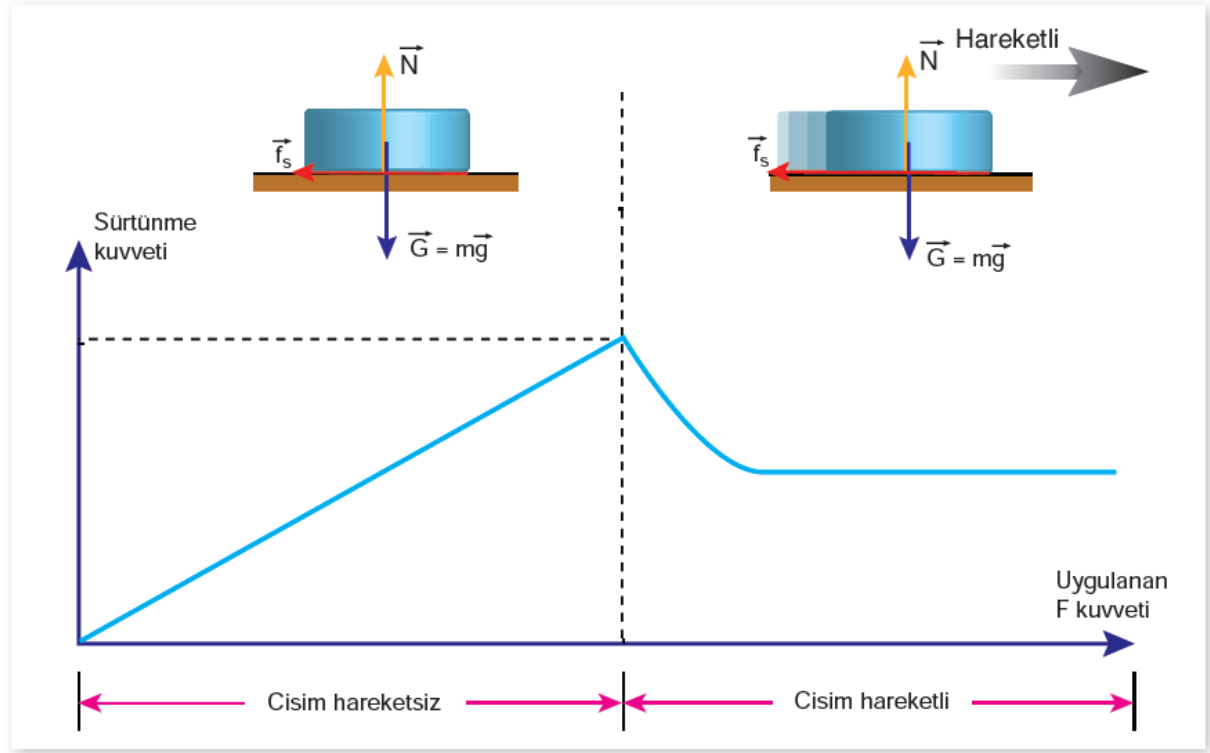
Görsel 3.60'da ara kesiti görülen pürüzlü yüzeylerin temas hâlinde olduğu noktalardaki atomlar arasında elektriksel kuvvetlerden kaynaklanan bağlar oluşur. Cisim kayarak ilerlerken yüzeyler arasında sürekli olarak bağlar oluşur ve kopar.

Yatay zeminde duran bu cisim maksimum bir statik sürtünme kuvveti ( $f_s$ ) etki eder. Bu cismi hareket ettirmek için bir  $F$  kuvveti uygulanmalıdır. Cismin hareket etmesi ancak uygulanan  $F$  kuvvetinin büyüklüğüne bağlıdır.

$F$  kuvvetinin en küçük değeri cismin statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden büyük olmalıdır. Bu kuvvetin etkisiyle harekete geçen cisme artık kinetik sürtünme kuvveti ( $f_k$ ) etki eder. Kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden daha küçüktür. Görsel 3.60'da sürtünme kuvvetinin yönü serbest cisim diyagramında gösterilmiştir.



Görsel 3.60: Sürtünme kuvveti yüzeylerin pürüzlü olmasından kaynaklanır.



Grafik 3.15: Cismnin durgun ve hareketli olma durumuna göre sürtünme kuvveti ve uygulanan kuvvet arasındaki grafiği

Grafik 3.15'te sürtünme kuvvetinin uygulanan  $F$  kuvvetine bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.  $F$  kuvvetinin büyüklüğü arttıkça  $f_s$  sürtünme kuvveti bunu dengeleyecek değeri alır. Bu durum  $F$  kuvveti belli bir eşik değerine ulaşınca kadar sürer. Çünkü sürtünme kuvveti sonunda bir maksimum değere ulaştığında bundan sonra artık  $F$  kuvvetini dengeleyemez. Bu durumda cisim hareket etmeye başlar.

Yapılan deneylerin sonuçlarına göre sürtünme kuvvetinin maksimum değeri normal kuvvetle ( $N$ ) orantılıdır. Normal kuvvetin daima yüzeye dik ve yüzey tarafından cisme etkiyen kuvvet olduğunu hatırlayınız.

Yatay zeminde büyüklüğünün cismin ağırlığına eşit ve zıt yönlü olduğunu Newton'ın III. Hareket Yasası'ndan biliyorsunuz.

Normal kuvvetin büyüklüğü  $N = m \cdot g$  olur.

Grafik 3.15'i incellerseniz cismin harekete geçmesinden sonra sürtünme kuvvetinin maksimum değerinde bir düşme olduğu görülür. Bu nedenle sürtünme kuvveti; durgun olan cisimler için statik sürtünme katsayısı ( $k_s$ ), hareketli cisimler için ise kinetik sürtünme katsayısı ( $k_k$ ) ile tanımlanır. Sürtünme katsayısının değeri deneysel olarak belirlenir.

Genel anlamda sürtünme katsayısının ( $k$ ) alacağı değer hem cisimlerin hem de temas hâlindeki yüzeylerinin pürüzlülük, ıslaklık, kuruluk gibi belirli özelliklerine bağlıdır ve birimsizdir. Buna göre sürtünme kuvvetinin matematiksel modeli, statik sürtünme kuvvetinin maksimum büyüklüğü için;

$$f_{s,maks} = k_s \cdot N$$

kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü için;

$$f_k = k_k \cdot N$$

olarak yazılır.

Tablo 3.7’de bazı yüzeylerin statik ve kinetik sürtünme katsayılarının yaklaşık değerlerini karşılaştırarak fikir sahibi olabilirsiniz.

| Yüzey                            | Statik sürtünme katsayısı ( $k_s$ ) | Kinetik sürtünme katsayısı ( $k_k$ ) |
|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Lastik- kuru asfalt              | 1,0                                 | 0,8                                  |
| Lastik- ıslak asfalt             | 0,7                                 | 0,5                                  |
| Buz-buz                          | 0,1                                 | 0,03                                 |
| Tahta-tahta                      | 0,25-0,5                            | 0,2                                  |
| Yağlanmış bilyeli yatak (rulman) | 0,01                                | <0,01                                |
| İnsanda eklem bağlantıları       | 0,01                                | 0,003                                |
| Teflon-teflon                    | 0,04                                | 0,04                                 |
| Çelik-çelik                      | 0,7                                 | 0,6                                  |

Tablo 3.7: Bazı yüzeylerin statik ve kinetik sürtünme katsayıları

Kullanım kolaylığı olması bakımından sürtünme kuvveti hesaplamalarında statik sürtünme kuvvetinin matematiksel modelinden yararlanılır.

O hâlde sürtünme kuvvetini

$$f_{s,maks} = k \cdot N$$

olarak yazabiliriz.

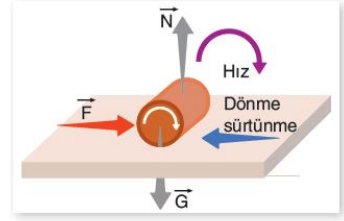
Ağır bir cismi tekerlekli bir araba yardımıyla hareket ettirmek, yerde kaydırarak hareket ettirmekten daha kolaydır. Şimdi bu olayın nedenini açıklayalım.

### Dönerek İlerleyen Cisimlerde Sürtünme Kuvveti

Görsel 3.62'deki silindir, yatay zemin üzerinde dönerek ilerlemektedir. Silindirin ağırlığının etkisiyle zemin de silindire aynı büyüklükte ama zıt yönde normal kuvvet uygular.

Silindire uygulanan yatay  $F$  kuvveti, silindirin  $+x$  yönünde dönerek ilerlemesine neden olur. Bu esnada silindirin yüzeye temas ettiği noktada  $-x$  yönünde dönme sürtünme kuvveti etki eder.

Doğrusal hareket eden bir aracın tekerleğine etkiyen direnç kuvvetine dönme (yuvarlanma) sürtünme kuvveti denir. Dönme sürtünme kuvveti bisikletin hareketi sırasında yol ve lastiklerdeki şekil değiştirmelerden kaynaklanır (Görsel 3.63). Bu şekil değişiklikleri enerji kaybına yol açar. O hâlde bu enerji kaybını azaltmak için arabaların tekerleklerindeki hava basıncının doğru olması gerektiğini öngörebilirsiniz.



Görsel 3.62: Dönerek ilerleyen cisme etki eden kuvvetlerin modellenmesi



Görsel 3.63: Bisiklet tekerleri

#### Örnek - 18 >

Yatay zeminde 15 m/s hızla hareket eden cisim aynı zeminde 20 m/s hızla hareket ederse kinetik sürtünme kuvvetiyle ilgili olarak ne söyleyebilirsiniz?

#### Çözüm

Grafik 3.15'i (sayfa 112) incelediğimizde cismin hareket esnasındaki kinetik sürtünme kuvvetinin ortalama değerinin sabit olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle cisim farklı hızlarla hareket ettiğinde kinetik sürtünme kuvvetinin değişmediğini söyleyebiliriz. Bu harekette temas eden yüzeylerin özelliklerinin değişmediğinin göz önünde bulundurulması gerektiğini gözden kaçırmamalıyız.

### Örnek - 19 >

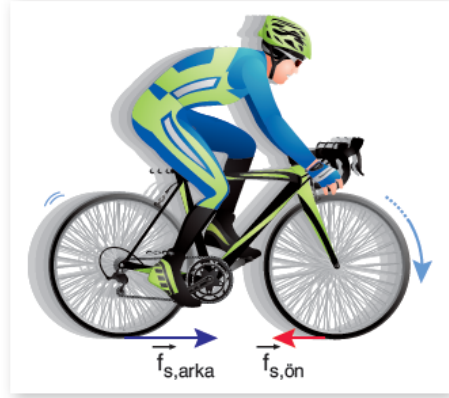
Doğrusal yatay bir yolda bisikletle durgun hâlden hızlandığı-mızı düşünelim. **Yolun bisiklet tekerleklerine uyguladığı sürtünme kuvvetlerini karşılaştırarak serbest cisim diyagramını çiziniz.**

#### Çözüm

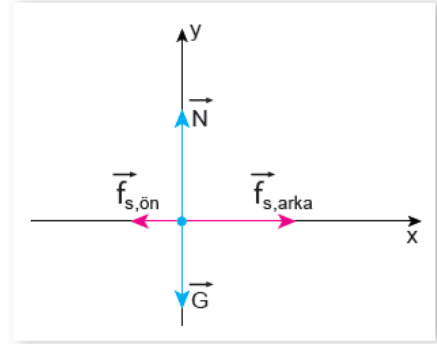
Görsel 3.64'te görüldüğü gibi bisikletin arka tekerleğine bağlı pedala basarak kuvvet uygulanır. Bu kuvvet, bisikletin arka tekerleğini döndürerek ileri doğru hareket edilmesini sağlar. Arka tekerlek dönerken yola geriye doğru bir kuvvet uygular.

Newton'ın III. Hareket Yasası'na göre de yol, bisikletin arka tekerleğine zıt yönde bir kuvvet ( $\vec{f}_{s,arka}$ ) uygular. Bisikletin ön tekerleği de arka tekerlekle aynı yönde dönecektir. O hâlde ön tekerleği arka tekerlekle aynı yönde döndürecek kuvvet, yol tarafından geriye doğru ( $\vec{f}_{s,ön}$ ) uygulanır. Bisiklet ileri yönde hareket ettiğine göre arka tekerleğe uygulanan sürtünme kuvvetinin ön tekerleğinkinden büyük olduğuna dikkat ediniz.

Bununla birlikte bisiklet ve sürücüsünün ağırlıkları ( $\vec{G}$ ) kadar bir normal kuvvetinin de olduğunu biliyorsunuz. Buna göre serbest cisim diyagramı Görsel 3.65'teki gibi olur.



Görsel 3.64



Görsel 3.65 Bisiklete etki eden kuvvetlerin serbest cisim diyagramı

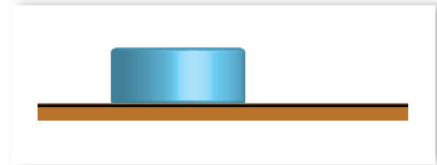
### Örnek - 20 >

Görsel 3.66'daki  $\vec{G}$  ağırlıklı kütlenin durgun ve sabit hızla hareketli durumları için serbest cisim diyagramlarını çiziniz.

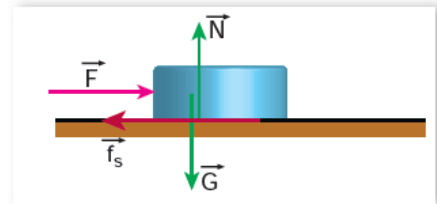
#### Çözüm

Özdeş cisimlerin ağırlıkları  $\vec{G}$  olsun. Görsel 3.67.a'da cisme etki eden kuvvetler gösterilmiştir. Burada  $\vec{G}$  cismin ağırlığı,  $\vec{N}$  ise yerin cisme uyguladığı tepki kuvvetidir.  $\vec{G}$  ağırlıklı cismi hareket ettirme sınırına kadar uygulanacak kuvvetin yönüne zıt yönde statik sürtünme kuvveti oluşur. Görsel 3.67.a'da cisme uygulanacak kuvvetin değeri statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden ( $f_{s,maks} = kN$ ) küçükse cisim hareketsiz kalmaya devam eder.

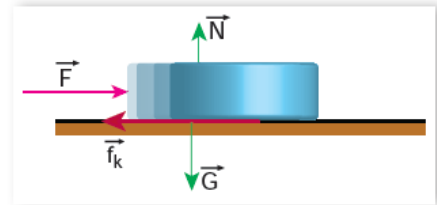
Cisme uygulanan kuvvet statik sürtünme kuvvetinden büyük ise hareket başlar. Bu durumda cisme artık kinetik sürtünme kuvveti etki eder (Görsel 3.67.b). Kinetik sürtünme kuvvetinin statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden küçük olduğunu hatırlayınız.



Görsel 3.66



a. Hareket yok ( $F \leq f_{s,maks}$ )



b. Hareketli cisim

Görsel 3.67.a.b