

SÜRTÜNME KUVVETLERİ

Gülşen ÖNENGÜT*

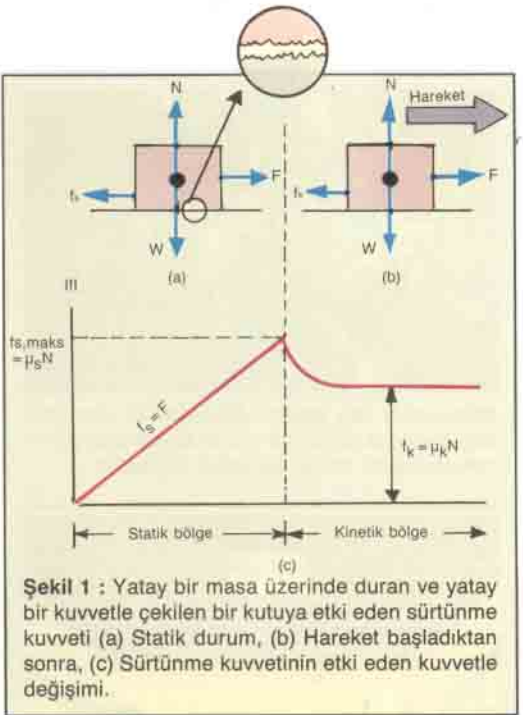
Geçen sayıda mekanik problemlerini çözmek için bir strateji verilmiş ve bu stratejiyi kullanarak örnek problemler çözülmüştü. Bu stratejinin en önemli adımı hareketin incelenecek cismin çevresinden ayrılarak bir serbest cisim diyagramının çizilmesi idi. Bu sayıda aynı stratejiyi kullanarak sürtünme kuvvetlerini de içeren problemler çözmeye devam edeceğiz (Bu köşenin daha yararlı olabilmesi için önerilerini-zi ve sorularınızı yazarın adresine gönderiniz).

Bir cisim, girintili çıkıntılı bir yüzey üstünde veya hava, su gibi viskozluğu olan bir ortam içinde hareket ettiği zaman, cismin çevresi ile olan etkileşmesi nedeni ile hareketine karşı bir direnç oluşur. Bu dirençe **sürtünme kuvveti** denir. Sürtünme kuvvetleri günlük yaşamımızda büyük önem taşırlar. Yürümümüzü, koşmamızı ve tekerlekli araçların hareketini sağlayan bu kuvvetlerdir.

Şekil 1a'da görüldüğü gibi yatay bir masa üzerinde duran bir kutuyu düşünelim. Bu kutuya sağa doğru yatay bir dış kuvvet (F) uygularsak, F 'nin fazla büyük olmayan değerleri için kutu hareketsiz kalacaktır. Kutunun hareketini engelleyen kuvvet sola doğru etki eden f sürtünme kuvvetidir. Kutu denge olduğu sürece $f = F$ 'dir. Kutu bu sırada hareket-siz olduğu için, etki etmekte olan sürtünme kuvvetine statik sürtünme kuvveti (f_s) denir. Bu kuvvet, iki yüzeyin birbirine sürtünen kısımlarının Şekil 1a'daki büyütülmüş resimde görüldüğü gibi girintili çıkıntılı olmasından doğar ve atom ve moleküller arasındaki elektrostatik etkileşmelerden kaynaklanır.

F kuvvetinin büyüklüğünü artırırsak Şekil 1b'de görüldüğü gibi, kutu harekete başlayacaktır. Kutu harekete geçmek üzere iken f_s maksimumdur. F 'nin büyüklüğü $f_{s, maks}$ 'u geçtiğinde kutu harekete geçer ve sağa doğru ivmelenir. Kutu hareket halinde iken harekete karşı koyan sürtünme kuvvetine **kinetik sürtünme kuvveti** (f_k) denir. Bu kuvvetin büyüklüğü $f_{s, maks}$ 'dan küçüktür (Şekil 1c). X doğrultusunda ki dengelenmemiş $F - f_k$ kuvveti kutunun sağa doğru ivmelenmesine neden olur. Eğer uygulanan kuvvet kaldırılırsa, sürtünme kuvveti cismi sola doğru ivmelenendir; dolayısı ile kutunun hızı azalır ve durur.

Deneyssel olarak görülmüştür ki, gerek statik, gerek kinetik sürtünme kuvvetleri kutuya etki eden normal kuvvetle orantılıdır. Deneyssel gözlemlerden çıkan sürtünme yasaları şöyle özetlenebilir:



Şekil 1 : Yatay bir masa üzerinde duran ve yatay bir kuvvetle çekilen bir kutuya etki eden sürtünme kuvveti (a) Statik durum, (b) Hareket başladıktan sonra, (c) Sürtünme kuvvetinin etki eden kuvvetle değişimi.

1. Dokunan iki yüzey arasındaki statik sürtünme kuvveti uygulanan kuvvete ters yöndedir ve

$$f_s < \mu_s N$$

ile verilen değerleri alır. Burada μ_s , statik sürtünme katsayısı adı verilen boyutsuz bir sabit ve N , normal kuvettir. Eşitlik sadece hareket başlamak üzere iken geçerlidir.

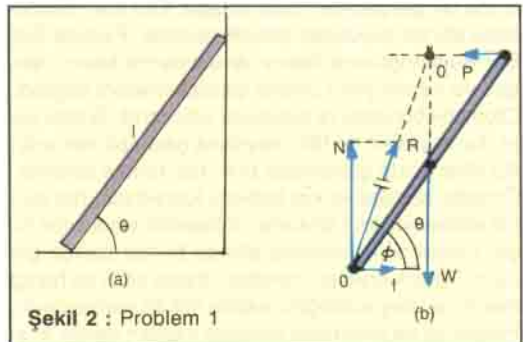
2. Kinetik sürtünme kuvveti cismin hareketine ters yöndedir ve

$$f_k = \mu_k N$$

eşitliği ile verilir; μ_k , kinetik sürtünme katsayısıdır.

3. μ_s ve μ_k 'nin değerleri yüzeylerin cinsine ve özelliğine bağlıdır. Verilen iki yüzey için μ_k 'nin değeri μ_s 'ninkinden küçüktür.

Problem 1 : Uzunluğu $L = 2$ m ve ağırlığı $W = 50$ N olan bir merdiven Şekil 2a'da görüldüğü gibi bir duvara dayalı olarak durmaktadır. Merdivenin yatayla yaptığı θ açısı 60° 'dir. Duvar sürtünmesizdir.



Şekil 2 : Problem 1

* Prof.Dr., Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü ADANA.

Yer ile merdiven arasındaki statik sürtünme katsayısı 0.40'tır. Merdivene yer tarafından uygulanan kuvveti bulunuz. Merdivenin kaymadan durabileceği minimum θ değeri nedir?

Çözüm : Şekil 2b'de merdivenin serbest cisim diyagramı görülmektedir. Duvarda sürtünme olmadığı için, duvarın merdivene uyguladığı kuvvet yatay doğrultudadır (P). Yerdeki tepki kuvveti R ise normal kuvvet N ile sürtünme kuvveti f'nin vektörel toplamıdır. Merdiven dengede olduğu için üzerine etki eden kuvvetler ve torkların vektörel toplamı sıfır olmalıdır:

$$\Sigma F_x = f - P = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = N - W = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma \tau_o = P L \sin \theta - W \frac{L}{2} \cos \theta = 0 \quad (3)$$

Torklar merdivenin yere dokunduğu O noktasına göre alınmıştır. $N = W = 50 \text{ N}$ değeri (3) numaralı eşitlikte kullanılırsa $P = 14.37 \text{ N}$ olarak bulunur. (1) numaralı eşitlik ise $f = P = 14.37 \text{ N}$ verir. Görülüyor ki statik sürtünme kuvveti maksimum değer olan $\mu_s N = 0.40 \times 50 = 20 \text{ N}$ 'dan küçüktür. Yer in merdivene uyguladığı toplam tepki kuvveti R, f ile N'nin vektörel toplamıdır:

$$R = i f + j N = i 14.37 + j 50 \text{ N}$$

Merdivenin kaymaya başlayacağı anda ise statik sürtünme kuvveti maksimum değeri olan 20 N 'a eşit olmalıdır. Dolayısı ile (1) numaralı eşitlikten $P = 20 \text{ N}$ ve (3) numaralı eşitlikten

$$\tan \theta_{\min} = \frac{W}{2P} = \frac{50 \text{ N}}{40 \text{ N}} = 1.25$$

$$\theta_{\min} = 51.3$$

Problem 2 : Sürtünmeli, yatay bir yüzey üzerindeki m_1 kütleli bir kutu Şekil 3a'da görüldüğü gibi hafif ve sürtünmesiz bir makaradan geçen bir ip ile (kütle çok küçük) m_2 kütleli bir cisme bağlanmıştır. Büyüklüğü F olan bir dış kuvvet yatayla θ açısı yapacak şekilde m_1 kütleli kutuya uygulanmaktadır. Kutu ile yüzey arasındaki kinetik sürtünme katsayısı μ olduğuna göre cisimlerin ivmelerini ve ipteki gerilimi bulunuz.

Çözüm : Önce m_1 ve m_2 kütlelerinin serbest cisim diyagramlarını çizelim (Şekil 3b ve c). m_1 'in hareketinin sağa doğru olduğunu farzederek hareket denklemlerini yazalım.

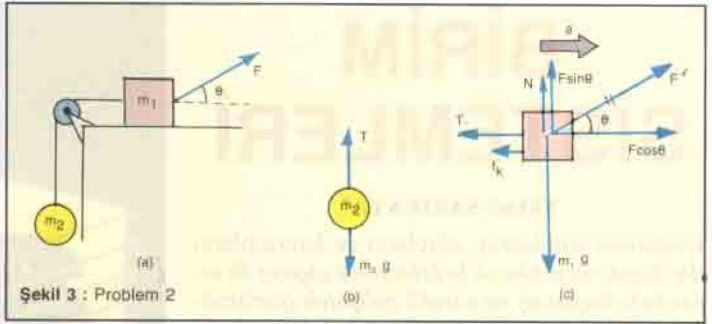
$$m_1 \text{ için : } \Sigma F_x = F \cos \theta - f_k - T = m_1 a$$

$$(1) \Sigma F_y = N + F \sin \theta - m_1 g = 0$$

$$m_2 \text{ için : } \Sigma F_x = 0$$

$$(2) \Sigma F_y = T - m_2 g = m_2 a$$

(1) numaralı denklemden $N = m_1 g - F \sin \theta$ bulunur. Dolayısı ile (3) $f_k = \mu N = \mu (m_1 g - F \sin \theta)$ ki-



netik sürtünme kuvvetidir. (3) numaralı denklemi ve (2) numaradan çekeceğimiz T'nin değerini (1) numaralı denklemlerde yerine koyarak a'yı şöyle buluruz:

$$(4) a = \frac{F (\cos \theta + \mu \sin \theta) - g (m_2 + \mu m_1)}{m_1 + m_2}$$

Bu değer 2'de yerine koyularak T bulunabilir. (4)'ün payının işaretine bağlı olarak m_1 sağa veya sola doğru hareket ediyor olabilir. Eğer m_1 sola doğru hareket ediyorsa, f_k 'nin yönünü değiştirmeliyiz; çünkü sürtünme kuvveti her zaman harekete ters yöndedir. Bu durumda a'nın değeri (4)'te μ yerine $-\mu$ koyarak bulunabilir.

Bir dahaki sayıda ivmelenen gözlem çerçevelerinde Newton yasalarının nasıl uygulanabileceğini göreceğiz. □

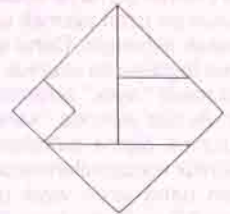
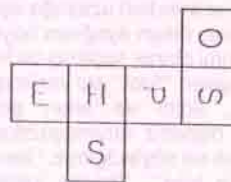
ZEKÂSAYAR

(Geçen sayıda yayınlanan soruların cevapları).

MANTIK ADASI : 1. A'nın "Dün ben yalan söyledim" diyebileceği günler sadece pazartesi ve perşembeldir. B'nin aynı önermeyi yapabileceği günler ise, pazar ve perşembe'dir. Dolayısıyla ikisinin birlikte söyleyebilecekleri tek gün perşembeldir. 2. Benzer şekilde ilk önermenin yapılacağı günler sadece pazartesi ve perşembeldir. Perşembeden 3 gün sonra, yani pazar günü doğru söyleyeceği gün olduğu için, bu önerme perşembe günü yapılamaz. Cevap, "pazartesi"dir. 3. İlk önerme pazartesi ve perşembe günleri yapılabilir. İkinci önerme ise, pazar ve çarşamba günleri yapılabilir. Dolayısıyla ikisinin aynı günde yapılabilmesi mümkün değildir.

HARF ZARI : S harf (Bu harf, iki kez kullanılmış).

KARE ELDE EDİN



RENKLİ BAYANLAR :

Adlar : Bayan Yeşil Bayan Mavi Bayan Siyah
Elbiseler : Siyah Yeşil Mavi

NE GELECEK : Her daireye biri uzun diğeri kısa olmak üzere iki ok gelmektedir (Köşedeki daireler hariç). Uzun okun olduğu dairedeki sayının 2 katının kısa oka ait dairedeki sayı ile toplamı hedef dairedeki sayıyı vermektedir ($19 \times 2 + 24 = 62$).