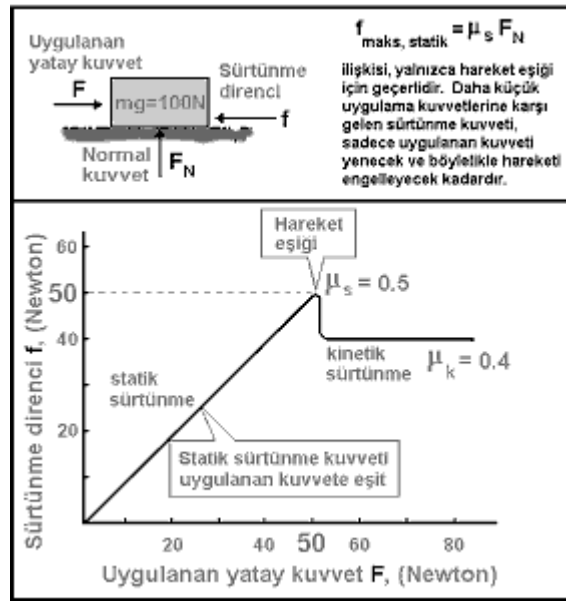


Sürtünme kuvveti diye, temas halindeki iki cismin arayüzeyinde, yüzeylerin birbirine göre hareketini engelleyici yönde oluşan kuvvete denir.

Örneğin alttaki şekilde, üstte görüldüğü gibi, bir cisim yerde duruyor olsun. Biz bu cisme önce, cisimi hareket ettirmeye yetemeyecek kadar küçük bir yatay F kuvveti uygulayalım. Cisim hareket edememiştir, çünkü; cismin alt yüzeyiyle zemin arasında bir sürtünme kuvveti f oluşmuş olup, uyguladığımız yatay F kuvvetini dengelemektedir. Biz uyguladığımız yatay F kuvvetini arttırdıkça, sürtünme kuvveti f de artar. Bu sırada sürtünme kuvveti, arayüzeye dik olan kuvvetlerden bağımsız olup, sadece uygulamakta olduğumuz yatay kuvvete bağlıdır. Ta ki, uyguladığımız F kuvveti bir eşik değerini aşana kadar. Bu eşik değeri aşıldığında, cisim harekete geçer ve tam bu sırada, hepimizin günlük deneyimlerimizden tanışık olduğumuz üzere, sürtünme kuvveti ansızın, bir miktar azalır. Azalmış ve hem de, uyguladığımız yatay kuvvetten bağımsız bir hal almıştır. Yatay kuvveti ne kadar arttırırsak arttıralım, artık hep aynı büyüklükte kalır.



Hareketin eşikine kadarki sürtünme kuvvetine 'statik,' hareket başladıktan sonrakine de 'kinetik' sürtünme denir. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğü değişken olup, herhangi bir aşamada, cisme o an uygulanmakta olan yatay kuvvete eşittir. Bu durum, şeklin alt tarafındaki grafikte 45 derece eğimli doğrusal kesim olarak görülüyor. Halbuki kinetik sürtünme; eşik değeri aşıлып da cisim harekete geçtikten sonra devreye girer ve büyüklüğü; uygulanan yatay kuvvetten bağımsız olup, arayüzeye dik olan 'normal' kuvvetle orantılıdır. Bu ise, aynı grafiğin devamındaki yatay doğru olarak görülüyor. İki doğrusal kesim arasında, sürtünme kuvvetinde bir azalma var.

Sürtünme kuvvetinin davranışı böyle. Kökeni ise, iki cismin temas eden yüzeylerinde bulunan atom ya da moleküller arasındaki elektrostatik çekme kuvvetleri. Her ne kadar, bir malzemeyi oluşturan atom ya da moleküller, elektrik yükü açısından toplamda nötr iseler de, bu atom veya moleküllerin; aralarındaki elektron alışverişinin veya paylaşımının sonucu olarak; bazı kısımlarında artı, bazı kısımlarında da eksi yük fazlalıkları bulunuyor. Bu yerel yük dengesizlikleri, atom veya moleküller arasında çekme kuvvetleri oluşturuyor. Malzemeyi

bir arada tutan ‘molekül kuvvetleri’ de, bu ‘**elektrostatik kuvvet kalıntıları**’ ndan oluşuyor zaten. Dolayısıyla, iki cisim birbiriyle temas ettirildiğinde, her birinin içinde ayrı ayrı var olan ve her ikisini de ayrı ayrı bir arada tutan çekme kuvvetleri, iki cisim arasında da oluşmaya başlıyor. Sürtünme kuvveti bu... Karmaşık bir kuvvet olduğu için, kuramsal olarak hesaplanamıyor ve ancak deneysel olarak incelenebiliyor.

Atom ya da moleküller, yani yüzeyler birbirlerine ne kadar yakınsa, aradaki çekim kuvvetleri, dolayısıyla da sürtünme kuvveti o kadar büyük oluyor. İki yüzeyin birbirine yakınlığını belirleyen etken ise, az önceki anlatımda uyguladığımız yatay kuvvet değil; yüzeyler arasındaki normal kuvvet. Bu kuvvet ne kadar büyük olursa, iki yüzeyi birbirine o kadar fazla yaklaştırıyor. Dolayısıyla, sürtünme kuvvetinin, iki cisim arasındaki normal kuvvetle orantılı olması beklenir ve bu iki kuvvet arasındaki orantı sayısına, ‘sürtünme katsayısı’ denir. Şöyle ki; sürtünme kuvveti, $f = \mu F_N$ ifadesiyle verilir. Burada; statik sürtünme için μ_s , kinetik sürtünme için μ_k değerleri kullanılır. Aslında statik sürtünme katsayısı μ_s ‘ye, iki cisim arasında henüz bir hareket söz konusu olmadığından, ‘dururkenki sürtünme katsayısı,’ kinetik sürtünme katsayısı μ_s ‘ye de, ‘kayarkenki sürtünme katsayısı’ demek daha doğru olurdu. Statik sürtünme katsayısı μ_s , statik sürtünme kuvvetinin olası en büyük, yani eşik değeriyle normal kuvvet arasındaki oranı; μ_k ise, hareket halindeki sürtünme kuvvetiyle normal kuvvet arasındaki oranı belirler. Statik sürtünmeyle ilgili olarak dikkat edilmesi gereken husus, $f = \mu_s F_N$ ilişkisinin yalnızca, hareketin başlamasından hemen önceki statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünü veriyor olmasıdır, daha öncekileri değil. Bu eşik değerinden öncesi için; statik sürtünme kuvveti f ‘nin büyüklüğü, tekrarlamak pahasına; normal kuvvet F ‘nin büyüklüğünden bağımsız olup, cisim üzerindeki yatay kuvvetlerin toplamına eşittir. Öte yandan, hareketin başlamasıyla birlikte sürtünme kuvvetinin azalması, $\mu_s > \mu_k$ olmasını gerektirir. Bu azalmanın nedeni, temas yüzeyleri üzerindeki pürüzlerin, hareket nedeniyle kısmen de olsa törpülenmesidir. Tıpkı, birbirine sürtülen iki zımpara arasındaki sürtünme kuvvetinin, zımparalardaki pürüzler aşındıkça azalmasında olduğu gibi. Ya da temas yüzeyi üzerinde, hareket bir kez başladıktan sonra hareketin devamını kolaylaştıran yağ veya benzeri yabancı unsurların bulunması ve yüzeydeki girintileri doldurmasıdır. Tıpkı, birbirine sürtülen iki sünger taşı arasındaki sürtünme kuvvetinin, gözenekler tozla doldukça azalmasında olduğu gibi. Bu durumda, ki bu husus çok önemli; temas yüzeylerinde safsızlık veya kirliliklerin bulunmaması ve de geometrik girinti çıkıntılarının olmaması halinde, statik ve kinetik sürtünme katsayılarının farklı olması için ortada neden kalmaz. Nitekim, arayüzeyleri iyice temizlenip parlatılmış metal cisimler arasındaki statik ve kinetik sürtünme katsayıları arasında bir fark gözlenemiyor. Sürtünme kuvveti aslında, hakkındaki genellemelerin her birine karşı istisnalar bulunabilen karmaşık bir kuvvettir. Örneğin, iki cisim arasındaki temas yüzeyinin daha pürüzsüz ve temiz hale getirilmesi, her zaman için sürtünme kuvvetinin azalacağı anlamına gelmiyor. Çünkü bilindiği gibi; aynı metalden iki parça alınıp da, arayüzeyleri yeterince temizlenip, dümdüz hale getirildiğinde; aralarındaki sürtünme kuvveti azalmak bir yana, iki parçayı tek bir metal parçası haline getirecek kadar artabiliyor ve buna ‘soğuk kaynak’ deniyor.

Kinetik sürtünme kuvveti ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise, bu kuvvetin, genelde sanılanın aksine; iki cisim arasındaki temas yüzeyinin genişliğinden bağımsız olup, yalnızca normal kuvvetin büyüklüğüne bağlı olmasıdır. Bu durum; temas yüzeyinin birim alanı başına oluşan sürtünme kuvvetinin ($\mathbf{p}_f = \mathbf{f}/A$) sadece temas yüzeylerinin birbirine ne kadar yakın olduğuna bağlı olmasından ve yakınlık arttıkça büyümesinden kaynaklanıyor. Temas yüzeylerinin birbirine yakınlığını belirleyen etken ise, temas yüzeyinin genişliği değil, birim alan başına uygulanan normal kuvvet ($\mathbf{p}_N = \mathbf{F}_N/A$), yani temas yüzeyleri üzerindeki basınçtır. Şimdi; birim alan başına sürtünme kuvveti \mathbf{p}_f , birim alan başına normal kuvvet, yani \mathbf{p}_N ile orantılı ise; toplam sürtünme kuvveti $\mathbf{p}_f A$ 'nın da; $\mathbf{p}_N A$ ile orantılı olması gerekir. Yani; bu birincisi \mathbf{f} , ikincisi de \mathbf{F}_N olduğuna göre; $\mathbf{f} = \mu_k \mathbf{F}_N$ olmak zorundadır. Dolayısıyla, gerek iki cisim arasındaki statik sürtünme kuvvetinin eşik değeri, gerekse kinetik sürtünme kuvveti olsun, her iki kuvvetin de büyüklüğü; temas yüzeyinin alanından bağımsız olup; bu yüzeye dik olan normal kuvvet ile, ilgili sürtünme katsayısının çarpımıyla belirleniyor. Kuvvetin büyüklüğü; temas yüzeyinin alanından bağımsız olmakla beraber, yüzeylerin özelliklerine bağlı. Çünkü sürtünme katsayısını, bu özellikler belirliyor.

Statik ve kinetik sürtünmeden başka, bir de 'yuvarlanma sürtünmesi'nden söz edilir. Örneğin bir araba tekerleğinin 'kaymadan yuvarlanma'sı sırasında, her an için, lastiğin en alt noktası, yerdeki bir noktayla temas halindedir. O çok kısa süren temas sırasında, bu iki nokta öpüşmüş olup; tekerin merkezinden bakıldığında aynı hızla geriye doğru kaçıyor olmakla beraber, yerden bakıldığında hareketsizdirler. Öte yandan, tekerle yer arasındaki sürtünme kuvvetinin tamamı, bu iki nokta üzerinde toplanmıştır. Noktalar birbirlerine karşı hareket halinde olmadıklarından, bu bir statik sürtünme kuvvetidir ve kuvvet eşik değerine ulaşmamışsa eğer, büyüklüğü normal kuvvetlerden hareketle hesaplanamaz. Sistemin dinamik denklemlerinin yazılıp çözülmesi gerekir. Fakat önemli olan şu ki; noktalar birbirine karşı hareket halinde olmadıklarından, bu sürtünme kuvvetine karşı iş yapılmamaktadır. Dolayısıyla kuramsal olarak, bu 'kaymadan yuvarlanma' sırasında, sürtünme nedeniyle enerji kaybının olmaması gerekir. Fakat, lastik yol boyunca ezişip büzüşerek, şekil değiştirip durmaktadır ve ideal esnek bir malzeme olmadığından, kısmen de esnek olmayan (plastik) şekil değiştirmelerine uğramaktadır. Şekil değiştirmelerin esnek olmayan bu bileşenin emdiği enerji, geriye alınamazdır ve ısıya dönüştürülür. Öte yandan, tekerleğin aksında, metalin metale sürtünmesinden dolayı bazı sürtünme kayıpları vardır. Sonuç olarak; bu kayıpların hesabına yönelik, üçüncü bir; 'kaymadan yuvarlanmanın sürtünme katsayısı' μ_y tanımlanmıştır.

Sürtünme kuvveti sadece katı cisimler arasında değil, sıvılar ve gazlar arasında da var. Bu kuvvet, bizim için bazen sorun oluşturmakla beraber, işimize de çok yarıyor. Örneğin, yerle aramızdaki sürtünme kuvveti olmasaydı, dünyayı geriye doğru itip ileri doğru hareket edemezdik. Bir otomobil keza öyle. O zaman, yegane hareketli canlılar kuşlar olabilirdi. Onlar da, uçuş sonrasında bir dala konup pençeleriyle dalı kavradıklarında, dalın etrafında pervane gibi döner dururdu. Hayat zor olurdu. Sürtünme kuvvetinin sağladığı hareket imkanından yararlanıyor, yol açtığı enerji kayıplarını azaltmak için de yöntemler arıyoruz.

Bilindiği gibi, sürtünen yüzeyler arasına kaygan maddeler koyarak, bu kayıpları azaltmaya çalışıyoruz. Çeşitli yağlama malzemelerinin özelliklerini inceleyen bilim dalına ‘triboloji’ deniyor. Ancak, iki cisim arasındaki sürtünmeyi azaltmanın tek yolu, arayüzeyi yağlamak değil. Bu amaçla, hızlı tren raylarında olduğu gibi, manyetik kaldırma kuvvetlerinden de yararlanılıyor. Keza, yüzeylerin sürtünme sırasında çıkardıkları ses dalgaları da, iki yüzey arasında enerjik bir yastık oluşturmak suretiyle bu kayıpları azaltıyor. Buna ‘akustik yağlama’ deniyor. II. Dünya Savaşı’nda kullanılan Panzer tanklarının paletlerinde olmuş olduğu gibi...

Son olarak bir de, sürtünme katsayısı büyüklüklerine bakalım. Sürtünme kuvveti karmaşık bir kuvvet olduğundan, kuramsal olarak hesaplanamıyor. Sadece deneysel olarak ölçülebiliyor ve cisimlerin sürtünme özelliklerini inceleyen bilim dalına ‘triboloji’ deniyor. Öte yandan, sürtünme daima iki cisim arasında yer aldığından, tek bir cisim için sürtünme katsayısı anlamsız. Dolayısıyla, sürtünme katsayıları hep, birer malzeme çifti için geçerli. Günlük yaşamda karşılaştığımız sürtünme problemleriyle ilgili olarak, pek çok malzeme çifti için ölçümler yapıp listelenmiş. Geçimini bu işten sağlayan şirketler, kullandıkları malzemeleri kendileri inceleyip, sürtünme katsayılarını kendileri ölçüyorlar. Tabii, ölçüm için hazırlanan örnekler birbirlerinin tıpatıp aynı olamıyor. Bu yüzden; belli bir malzeme çifti için dahi, farklı listelerde verilen sürtünme katsayıları arasında, ufak tefek de olsa farklılıklar var. İki cisim arasındaki sürtünme katsayısı, genelde 0-1 arasında değişmekle beraber, 1’den büyük olabiliyor. Ki bu son durumda, yani katsayının 1’den büyük olması halinde, bu cisimlerden birini diğerinin üzerinde yatay yönde harekete geçirebilmek (statik) ya da kaydırabilmek (kinetik) için; yatay yönde, o cismin ağırlığından daha büyük bir kuvvet uygulamak gerekiyor. Böyle malzemeler var. Örneğin, arayüzey temiz ve kuru olmak kaydıyla; gümüşün gümüş üzerindeki statik sürtünme katsayısı 1.4 kadar. Katıların kauçuk üzerindeki kinetik sürtünme katsayısı ise 1 ile 4 arasında değişiyor. Yukarıda bahsettiğimiz ‘soğuk kaynak’ durumunda ise, sürtünme katsayısı daha da büyük değerler alabiliyor. Sürtünme katsayılarının en küçük değerlerine gelince; teflon üzerinde teflon için, statik ve kinetik sürtünme katsayıları eşit ve 0.04. Eklemlerimiz için de bu iki değer birbirine eşit ve daha bile küçük: 0.01. Fakat, uzun zamandır sanılmış olanın aksine, sürtünme katsayısı 0 dahi olabiliyor. Yakınlarda, karbon yapıların incelenmesi sırasında keşfedilen ve ‘süperyağlama’ denilen etkide, birbirinin üzerinden kayan iki karbon yapı arasındaki sürtünme kuvvetinin 0 olduğu gözlemlendi.

Kaynak: www.biltek.tubitak.org.tr

Araştıran: Ali Ali