

DOĞANIN KARMAŞASI: SÜRTÜNME

Fizik çok basit formüller üzerine kuruludur. $F=m \cdot a$, $E=m \cdot c^2$, $F_{\text{elektrik}} = k \cdot q_1 \cdot q_2 / r^2$...gibi. Çok basit göründüğüne bakmayın. Gözlemlenen ve gözlemlenemeyen tüm evrende geçerli bu yasalar. Bu yazıda yine en basit formülü bulunmaya çalışılan bir kuvvetten bahsedeceğiz: Sürtünme kuvveti.

Sürtünme kuvveti fizikçiler için tam olarak çözülememiş bir kuvvet. Yapılan deneylerde sürtünen cisimler çok yavaş ya da çok hızlı gidiyorsa, hareketlerini bir tek formülle ifade etmek imkânsız. Örneğin, hava akımı olan bir tünele uçak yerleştirip hava akımını çok azaltın, sürtünme kuvvetinin akımın hızıyla doğru orantılı olduğunu gözlemleyeceksiniz. Akımı çok artırırsanız kuvvetin bu sefer de hızın karesiyle doğru orantılı olduğu çıkacak ortaya.

Asırlar önce yapılan deneylerin formüllerini aşamadık; ancak nedenlerinin açıkladığı teoriler ürettik.

Tarihsel Bakış

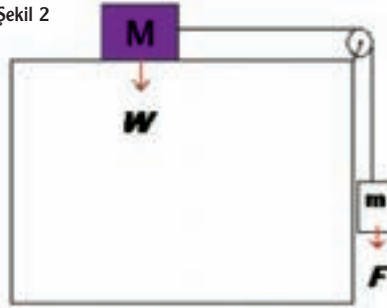
MÖ 200.000'lerde, insanlık doğayı anlamakla kalmamış kontrol etmeye başlamıştı bile. Tahtaları ve çakmaktaşlarını birbirine *sürterek* ateş yakıyor, buzun kayganlığından yararlanarak kızaklarla seyahat ediyor hatta artan tecrübesiyle kızakları yağlayıp daha hızlı gidiyorlardı. Günümüze 4.000 yıl kadar yaklaşınca taşıdıkları nesnelere yağlamayı akıl etmiş, sürtünmeye müdahale etmeye başlamışlardı.

Bu konuda ilk bilimsel tanımı yapan, sürtünmenin bağlı olduğu ve olmadığı değişkenleri açıklayan bilim adamı Leonardo da Vinci'dir. Da Vinci der ki; "Sürtünme kuvveti 'Normal'le ve ağırlıkla doğru orantılıdır; yüzey alanından bağımsızdır." Bu kuvveti formüle etmekte başarılı olan

bilim adamı kendini şöyle ifade etmiştir: $F = \mu \cdot N$

N, normal kuvvettir yani nesnenin durduğu yüzeye verdiği ağırlığının ters yönündeki kuvvettir; μ yüzeyler arasındaki sürtünme sabitidir. F'nin de sürtünme kuvveti olduğu açık. Bununla birlikte hareketsiz cisimler için $\mu = F/W$ (W:Ağırlık) formülünü buldu.

Şekil 2



Ancak, da Vinci kinetik ve statik sürtünme katsayısı ayrımını yapmamış, ondan 200 yıl kadar sonra doğan Fransız fizikçi Amontons statik sürtünme katsayısının kinetik sürtünme katsayısından daha büyük olduğunu saptamıştır. Böyle bir saptamaya rağmen bu sonucu çok anlamlandıramayan fizikçi, görevini Euler'e devreder. Euler statik ve kinetik sürtünme ayrımını yapmış ilk bilim adamı unvanını alır.

Statik sürtünme katsayısı kinetik sürtünme katsayısından büyüktür çünkü bir nesneyi hareket ettirmek onun hareketinin devamlılığını sağlamaktan daha zordur. Hatta hareket ettirmek için o kadar kuvvet harcarsınız ki hareket ettikten hemen sonra hızı artar yani ivme kazanır.

Günümüzdeki açıklamalara en yakınlarını ise ünlü fizikçi Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) yapmıştır. Moleküler

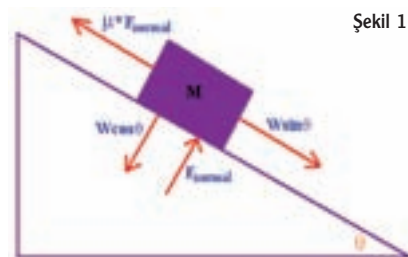
ler düzeyde kurduğu teori bugün kabul ettiğimiz adezyon kuvvet teorisidir ancak Coulomb, bu teoriyle deney sonuçlarını açıklayamaz. Örneğin, sürtünme kuvvetinin yüzey alanından bağımsız olduğunu gözlemler; ancak, "bu teori doğru ise" der, "geniş yüzeyi üzerinde kayan cisim sürtünmeye daha fazla maruz kalırdı." (Doğru açıklama aşağıdaki başlık altında belirtildi). Coulomb'un en büyük katkısı kayan cisimlerin oluşturduğu sürtünmenin cismin hızından bağımsız olduğunu saptaması ve eğik düzlemde sabit hızla kayan bir cismin düzlemle arasındaki sürtünme katsayısının cismin ağırlığından bağımsız olduğunu bulmasıdır.

Örneğin, Şekil 1'deki cisim sabit hızla kayıyorsa üzerindeki kuvvetler birbirini dengeliyor demektir. Yani;

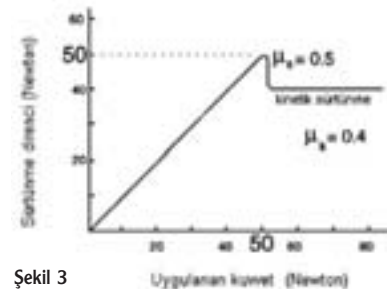
$\mu \cdot W \cdot \cos\theta = W \cdot \sin\theta$ eşitliğini kurar ve gerekli düzenlemeleri yaparsak μ değerinin $\tan\theta$ 'ya eşit olduğunu çıkarırız. Ne cismin ağırlığı etkendir ne de hızı.

Moleküler Düzeyde Sürtünme

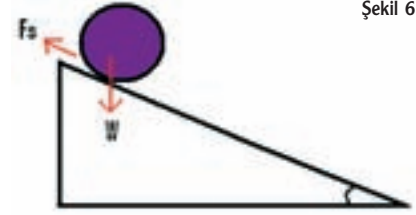
Sürtünme, birbirine değen iki nesnenin atomlarının birbirini çekmeye çalışmasından doğan kuvvettir. Adezyon (kaynak bağ) Teorisi denilen bu teorinin öncükilerden farkı sürtünmeyi mikroskobik düzeyde incelemiş olmasıdır. Öyleyse maddelerin sürtünme katsayılarının birbirinden farklı olması mantıklıdır. Artık maddelerin sürtünme katsayıları yaklaşık olarak biliniyor. Tam olarak bilinmemesinin sebebi ise bunun zaten hesaplanmasının imkânsız olması. Sürtünmede yüzeylerin temiz olması çok önemli. Örneğin bakır-bakır arasındaki katsayısı ölçmek istiyoruz. Öncelikle bakırın yüzeyine yapışmış olan oksijen ve buna benzer maddeleri temizleyelim desek... Bakırları birbirine sürtmeye başladık, yavaş yavaş oksitlenmiş taraflardan ya da diğer maddelerden kurtuluyoruz. O da ne? Bakırlar birbirine mi yapıştı? Evet. Bu durumda bakırlar birbirine yapışır çünkü iki farklı parçaya ait olan bakır atomları artık bunun farkında değildir ve birbirini aynı



Şekil 1



Şekil 3



kuvvet uygulamamız gerekecektir. Her zamanki gibi burada da sürtünme hareketin tersi yönünde tabii...

Sürtünmeyi Azaltmak

Sürtünmeye müdahalenin binyıllar önce başladığını söylemiştik. Bulunan çözümler bugün de, daha bilinçli ve kontrollü bir şekilde kullanılmaya devam ediyor. Örneğin sert bir metal olan çeliğin çelik ile arasındaki kinetik sürtünme katsayısı 0,6 iken, çelikler arasına konan bitkisel ve hayvansal yağlarla bu katsayı 0,08-0,1 arasına kadar düşürülüyor. Ya da çelikler arasına 0,01- 0,001 mm incelikte yumuşak bir metal olan indiyumdan yapılmış film şeridi konduğunda örneğin 4 kg kütleli bir çeliği yatay düzlemde 0,08 katsayısıyla taşıyabiliyorsunuz.

Akışkanlarda Sürtünme

Akışkanlarda kinetik ya da statik sürtünme katsayısından bahsedemiyoruz. Pe ki, bir uçağın havada uçması ve balda uçması -aslında uçamaması- arasındaki farkı neyle tanımlıyoruz? Karşımıza “Viskozite” denilen kavram çıkıyor. Anlamı yapışkanlık, kıvam. Akışkanların molekülleri arasındaki sürtünmenin değerinin ifadesi bir bakıma. Örneğin suyun viskozite değeri ‘1 Poise’ kabul edildiğinde ki bu küçük bir değer, motor yağının 10, asfaltın 10.000 P viskoziteye sahip olduğu ölçülüyor. Akışkanın kıvamı yani viskozitesi ile, etki ettiği sürtünme kuvveti ise doğru arasında doğru orantı var.

Ne kadar karışık olursa olsun doğayı en basit şekilde ifade ediyor fizik. Çünkü Thales'ten Einstein'a en büyük fizikçiler, dehanın az sözle çok şey anlatmak olduğunu söylüyor...

Şule Çivi

ODTÜ Fizik Bölüm 2. Sınıf



Şekil 4

Buzda ve Karda Sürtünme

Sürtünmenin yüzey büyüklüğünden bağımsız olduğunu biliyoruz. Öyleyse buzda kayan, zaten metalden yapılmış olsa bile, bir kütleli hızlandırmanın yolu neden altına daha küçük metaller koymaktan geçer? Çünkü buz diğer katılardan farklı olarak sıvı halden katı hale geçerken genişler. Buz üstünde kayan ağırlığı daha küçük yüzeylere vermekle buza uygulayacağımız basıncı artırıp erime noktasını noktasını düşürmüştür. Böylelikle, sürtünmenin, yol açtığı ısının erimeye yol açması kolaylaşacak ve bu sayede oluşan su tabakasının sürtünme katsayısı, buzunkinden daha düşük olacaktır.



Şekil 5

Dönen Cisimlerde Sürtünme

Cisimler yalnızca durmaz ya da düz gitmezler. Yine bir eğik düzlem hayal edin ve topu serbest dönmeye bırakın. Ya kaymadan yuvarlanacak, ya da Şekil 1'deki cisme benzer şekilde, yuvarlanmaksızın kayacaktır. Bu iki farklı hareketin yine iki farklı açıklaması var. Kaymadan yuvarlanan top yalnızca düzleme değdiği noktalarda, kısa süre için sürtünmeye maruz kalacaktır. Bu kısa süre içinde de, değme noktaları birbirine karşı hareket etmediğinden, sürtünme kuvvetine karşı iş yapılmamış olacak, yani sürtünmeden dolayı enerji kaybı olmadığı varsayılabilir. Topu yukarı doğru iterken ise, benzer şekilde, kaymadan yuvarlanmamız halinde sürtünme kayıpları az olacak, ancak ağırlığa karşı da iş yaptığımız için, cismin ağırlığı ve eğimin dikliğiyle orantılı bir

Madde	Statik Sürtünme Katsayısı
Metal (Aynı metal ile)	>100
Metal-hava	1
Yağlanmış (mineral yağ ile)	0,2-0,4
Yağlanmış (hayvansal veya bitkisel yağ ile)	0,1
Alaşımalar	
Bakır-kurşun (yağlanmamış)	0,2
Bakır-kurşun (yağlanmış)	0,1
Dökme demir (yağlanmamış)	0,4
Dökme demir (yağlanmış)	0,1-0,2
Çelik (sert ve yağlanmamış)	0,6
Yağlanmış (mineral yağ ile)	0,14-0,2
Yağlanmış (hayvansal veya bitkisel yağ ile)	0,08-0,1
İndiyum film şeridi ile	0,08
Kurşun film şeridi ile	0,15
Bakır film şeridi ile	0,3
Ametaller	
Cam (aynı ametal ile)	1
Sıvı hidrokarbon ve yağlı asit ile	0,3-0,6
Katı hidrokarbon ve yağlı asit ile	0,1
Grafit (aynı madde ile)	0,5-0,8
Grafit-hava	0,1
Yağlanmış grafit-hava	0,1
Buz (aynı madde ile)	0,5
50°C'nin altında	0,5
0-20°C arasında	0,05-0,1
Plastik (aynı madde ile)	0,8
Plastik-çelik	0,3-0,5
Naylon (aynı madde ile)	0,5
Ahşap (aynı madde ile)	0,25-0,5
Aynı madde ile-ıslak	0,2
Ahşap-metal (kuru)	0,2-0,6
Ahşap-metal (ıslak)	0,2
Deri-Metal	
Kuru	0,6
Islak	0,4
Yağlanmış	0,2

maddeymişçesine çeker. Bu yüzden metaller arasındaki sürtünme katsayılarının tam olarak hesaplanması imkânsızdır.

Sürtünme Neden Yüzey Büyüklüğünden Bağımsızdır?

Dikdörtgenler prizması şeklinde iki kütle düşünelim. Bu iki kütle tahtadan yapılmış olsun ve yine tahtadan bir eğik düzlem üzerine aynı hizaya koyalım. Biri küçük alan üzerinde diğeri büyük taban alanı üzerinde dursun ve eğik düzlemde yeterli eğikliği sağladığımızda ikisi aynı anda kaymaya başlar ve dibe aynı anda ulaşırlar. Küçük yüzey üzerinde duran kütle daha önce düşeceğini tahmin ederiz ancak ikisi de aynı anda düşerler. Tahminimizde yanılırız çünkü gözlemlerimiz makroskopik düzeydedir. Mikroskopik düzeyde $F = \mu \cdot N$ formülünü anlamlandırmaya çalışırsak, N (Normal) küçük yüzey üzerindeki birim alana, büyük yüzeyde olduğundan daha fazla etki edecek. Bu da düzlemdeki atomları daha fazla yıpratır. Tıpkı büyük yüzey altında daha fazla atomu yıpratması gibi eşit sürtünmeyle karşı karşıya kalacaklardır. Günlük hayatta bu deneyi yaptığımızda kütlelerin aynı anda düşmediğini gözlemlerseniz, bunun sebebi kütle yüzeylerinin veya düzlem yüzeyinin yeterince düz olmamasıdır.

Kaynaklar

1. Ohanian: Physics, 1985
2. Feynman R: Lectures On Physics, 1965
3. Bowden F. P., Tabor D: Friction and Lubrication, 1967
4. Meyer E ve diğer yazarlar, Nanoscience: Friction and Rheology on the Nanometer Scale. 1998
5. library.thinkquest.org
6. http://www.funonline.net/Oyunlar/Kwan_Puzzle.jpg
7. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/frict2.html>
8. <http://www.brookes.ac.uk/geology/sedstruc/viscosity/vis.htm#measure>
9. <http://www.synlube.com/viscosities.htm#INTRODUCTION>
10. http://www.encyclopedia.com/html/section/friction_TheNatureofFluidFriction.asp