

### Sürtünme Kuvveti Nedir?

Mahir E. Ocak

**S**ürtünme kuvveti maddelerin hareketlerine karşı direnç gösteren kuvvettir. Kuru sürtünme, akışkan sürtünmesi ve iç sürtünme gibi çeşitli gruplar altında sınıflandırılabilir. Birbirine temas halinde olan iki katı arasındaki sürtünmeyi tanımlamak için kullanılan kuru sürtünme, statik ve kinetik olarak ikiye ayrılır. Cisimlerin birbirlerine göre hareket etmediği durumdaki statik sürtünme kuvveti ve cisimlerin birbirlerine göre hareket ettiği durumdaki kinetik sürtünme kuvveti çoğunlukla birbirinden farklıdır.

Sürtünme kuvveti doğadaki dört temel kuvvetten (kütleçekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, güçlü kuvvet, zayıf kuvvet) biri değildir. Cisimler arasındaki elektromanyetik etkileşimlerden kaynaklanır.

Temas halinde olan yüzeyler birbirlerinin üzerinde kayarken sürtünme kuvveti cisimlerin sahip olduğu hareket enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Bu durum cisimlerin bir taraftan giderek yavaşlarken diğer taraftan giderek ısınmasına neden olur. İki nokta arasında hareket ederken ısıya dönüşen hareket enerjisi miktarı takip edilen yola bağlı olarak değişir.

Eski Yunanlı düşünürler sürtünme kuvvetinin kökeni ve nasıl azaltılabileceğiyle ilgilenmişlerdi. Hatta statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri arasındaki farkı biliyorlardı. MS 300'lü yıllarda yaşamış Themistius hareket eden bir cisimi hızlandırmanın durağan bir cisimi harekete geçirmekten daha kolay olduğunu söylemişti.

Birbiri üzerinde kayan cisimler arasındaki sürtünme kuvvetiyle ilgili yasalar Leonardo da Vinci tarafından 15. yüzyılda keşfedilmişti. Ancak da Vinci kendi not defterlerine kaydettiği yasaları hiçbir zaman yayımlamadı. Bu yasalar yaklaşık

200 yıl sonra Amantos tarafından 17. yüzyılın sonlarında yeniden keşfedildi.

Kinetik sürtünme kuvvetiyle ilgili, yaklaşık olarak doğru üç yasa şu şekilde özetlenebilir:

- *Amantos'un Birinci Yasası:* Sürtünme kuvveti uygulanan yükü doğru orantılıdır.

- *Amantos'un İkinci Yasası:* Sürtünme kuvveti görünen temas yüzeyinden bağımsızdır.

- *Coulomb'un Sürtünme Yasası:* Kinetik sürtünme kayma hızından bağımsızdır.

Sürtünme kuvvetini hesaplamak için kullanılan ve yaklaşık olarak geçerli olan model Charles-Agustin de Coulomb'un adıyla anılır ve şu eşitsizlikle ifade edilir:  $F_s \leq \mu F_n$ . Bu eşitsizlikte  $F_s$  temas eden yüzeylerin birbirine uyguladığı sürtünme kuvvetini gösterir. Bu kuvvetin yönü, sürtünme kuvveti olmasaydı cismin hareket edeceği yönün tersidir.  $F_n$  yönü temas yüzeyine dik olan normal kuvvetini (paralel



yüzeyleri sıkıştıran net kuvveti) gösterir. Eşitsizlikteki  $\mu$  ise sürtünme katsayısıdır. Bu katsayının değeri, çeşitli etkenlere bağlı olarak değişir ve deneylerle bulunur. Coulomb sürtünme modelinin matematiksel ifadesiyle ilgili önemli bir nokta, eşitlik değil eşitsizlik olmasıdır. İfade sürtünme kuvvetinin alabileceği en yüksek değerin ne olduğunu söyler. Hareketsiz bir cisme uygulanan kuvvet bu azami değerden küçük olduğu sürece sürtünme kuvvetinin büyüklüğü uygulanan kuvvete eşittir. Bu durum cisme etki eden net kuvvetin sıfır olmasına ve böylece cismin hareketsiz kalmasına neden olur. Ancak uygulanan kuvvetin büyüklüğü, sürtünme kuvvetinin alabileceği azami değeri aştığı zaman cismin üzerinde net bir kuvvet oluşur ve cisim hareket etmeye başlar.

Sürtünme sabiti cisimler birbirine göre hareket ederken statik sürtünme sabitine, cisimler birbirine göre hareket etmeye başladıktan sonraysa kinetik sürtünme sabitine eşittir. Çoğu durumda statik sürtünme sabitinin değeri kinetik sürtünme sabitinden büyüktür. Ancak bu durumun istisnaları vardır. Örneğin birbirine sürtünen malzemelerin her ikisinin de teflon olduğu durumda statik ve kinetik sürtünme katsayıları eşittir.

Kinetik sürtünme sabitinin statik sürtünme sabitinden daha büyük olduğu sistemler de vardır. Çoğu kuru malzeme için sürtünme katsayısının değeri 0,3 ile 0,6 arasında değişir. Bu aralığın dışındaki değerlerse nadirdir. Ancak bazı malzeme kombinasyonları için sürtünme katsayısının değerinin 1'i aştığı bile görülür. Örneğin silikonlu kauçukla ya da akrilik kauçukla kaplı yüzeylerin sürtünme katsayısı 1'den büyüktür.

Sürtünme katsayısının değerini belirleyen tek şey malzemelerin türü değildir. Örneğin daha pürüzlü yüzeylerin sürtünme katsayısı genellikle daha büyüktür. Ayrıca yüzeylerin geometrisi, ortam sıcaklığı ve cisimlerin birbirine göre hareket hızları da sürtünme katsayısını etkiler. Örneğin bakır bir levhanın üzerinde kayan bir bakır iğne için sürtünme katsayısının değeri düşük hızlarda 0,6'ya kadar çıkarken yüksek hızlarda 0,3'e kadar düşer.



Bu durumun nedeni yüksek hızlarda birim zamanda sürtünme nedeniyle ısıya dönüşen kinetik enerji miktarının daha fazla olmasıdır. Yükselen sıcaklıkla beraber temas eden yüzeylerin az da olsa erimeye başlaması sürtünme katsayısının düşmesine neden olur. İğnenin yüzey alanı artırıldığıdaysa ısı daha hızlı dağıldığı için sürtünme katsayısı artar. Sürtünme katsayısını kendisini belirleyen etkenleri kullanarak hesaplamak mümkün değildir. Hangi koşullar altında hangi değerleri alacağı deneylerle bulunur.

Coulomb'un sürtünme modeli, pratik amaçlar için yararlı olsa da her durumda doğru değildir. Normal kuvveti ile sürtünme kuvveti arasında her zaman doğrusal bir ilişki yoktur. Ancak Coulomb modeli pek çok karmaşık sistem için çok basit bir hesaplama yöntemi sunar.

Bir ortamda ışığın varlığı da bir tür sürtünme kuvvetine neden olur. Bu olgu ilk olarak Albert Einstein tarafından 1909 yılında açıklanmıştı. Bu durumu anlamak için bir levha olduğunu düşünelim. Ortamdaki ışık levhanın her iki tarafına da basınç uygulayacaktır. Eğer levha hareketsizse farklı yüzlere etki eden basınçlar eşit ama zıt yönlü olacaktır. Ancak levha hareket ederken durum değişir. Ön yüzden yansıyan ışığın miktarı arka yüzden yansıyan ışıktan fazla olacağı için ön yüzdeki ışık basıncı arka yüzdeki ışık basıncından fazla olacaktır. Bu durumda levha üzerinde harekete zıt yönlü net bir kuvvet oluşur. Einstein bu olguyu tanımlamak için "radyasyon sürtünmesi" terimini kullanmıştı.

