

Deney 3 EĞİK DÜZLEM

SÜRTÜNME KATSAYISININ BELİRLENMESİ

DENEYİN AMACI: Sürtünen yüzeyler için statik (μ_s) ve kinetik (μ_k) sürtünme katsayılarının eğik düzlem kullanarak belirlenmesi.

KULLANILAN ARAÇ GEREÇ: Cetvel, ahşap yüzeyli ve kumaş yüzeyli bloklar.

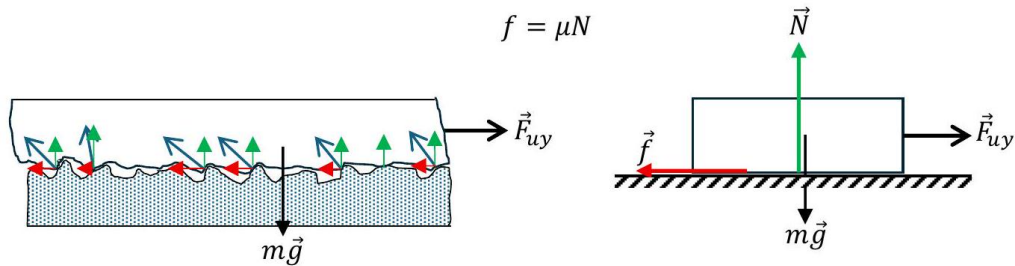
GENEL BİLGİLER

Kuvvet, bir cismin çevresi ile etkileşmesinin bir ölçüsüdür. Cisim bir masa üzerinde olduğu düşünülürse, cismin çevresi masa olacaktır. Birbirleri ile sürtünen yüzeyler düşünüldüğünde, her iki cisim de birbirinin çevresi olacak şekilde etkileşirler. Bu etkileşme neticesinde birbirleri üzerine eşit ve zıt yönlü kuvvetler etki ettirirler. Ortaya çıkan bu kuvvetin doğasında sürtünen yüzeylerin pürüzlülüğünden kaynaklanan temas kuvvetleri vardır. Bu kuvvete sürtünme kuvveti denir.

Sürtünme kuvvetleri sürtünen cisimlerin yüzeylerinin pürüzlülüğü ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda temas noktalarında cisimlerin birbirlerine etki ettirdikleri normal kuvvetlerin dik bileşeni ile de orantılıdır (Şekil 1). En genel sürtünme kuvveti bir orantı sabiti ile normal kuvvetin çarpımı şeklinde $f = \mu N$ ifadesi ile verilir. Orantı sabiti μ sürtünen yüzeyler için sürtünme katsayısı olarak adlandırılır. Sürtünen cisimlerin pürüzlülüğü ne kadar büyükse o cisimler için sürtünme katsayısı o kadar büyüktür.

Katı cisimler için (elastik olmayan, rijit) sürtünme katsayısının en büyük değeri 1'dir ve boyutsuzdur. Bunun anlamı, en fazla 45 derecelik bir eğimde kaymadan durabilen katı cisimler ile eğik yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 1'dir. Sürtünen elastik yüzey çiftleri için sürtünme katsayısı 1'den büyük olabileceği unutulmamalıdır. Bu deneyde katı (elastik olmayan) cisimlerin sürtünme kuvvetleri ile ilgilenilecektir.

Sürtünme kuvveti vektörel bir büyüklük olmasına rağmen skaler bir denklemle ifade edildiğine dikkat edin. Şekil 1'de gösterildiği gibi sürtünme kuvveti, cisimlerin temas noktalarında oluşan normal kuvvetin yatay bileşenlerinin toplamıdır. Aynı şekilde düşey bileşenlerinin toplamı da cisme etki eden normal kuvveti $\vec{N}$ vektörünü oluşturur.



Şekil 1

Sürtünme kuvvetleri cisimlerin olası hareket yönü veya harekete meyli yönünün tersi yönünde oluşmaktadır. Yürüyen bir kişiyi düşündüğünüzde, ayakkabının tabanı ile yer arasında oluşan sürtünme kuvvetinin yönü ayakkabının yere göre hareket yönünün tersi yönündedir. Oluşan sürtünme kuvvetinin aynı zamanda kişinin hareket yönü ile aynı olması çelişki gibi görünebilir. Yer ile etkileşen kişi değil ayakkabının tabanıdır. Bu bir çelişki oluşturmaz. Eğer kişinin hareket yönünün tersinde bir sürtünme kuvveti aranacaksa bu hava sürtünmesi olabilir.

Bir cisim hareket etmediği ancak hareket etme meyli olduğu durumda sürtünme kuvveti mevcuttur. Bunun anlamı eğer cisme bir dış kuvvet uygulanmasına rağmen cisim duruyor ise Newton'un birinci yasası gereği, cisme uygulanan kuvvetin zıt yönünde ve eşit büyüklükte bir kuvvetin olması gerektiğidir. Bu kuvvet statik sürtünme kuvvetidir. Statik sürtünme kuvveti cisim hareket edene kadar olan durgun kısımda oluşmaktadır. Bu nedenle statik sürtünme kuvveti sıfır ile maksimum bir değer arasında birden fazla değer alabilir (Şekil 2).

Sürtünme kuvvetleri, cisimlerin pürüzlü bir yüzey üzerinde, hava veya sıvı ortamlarda hareket ettiği durumlarda da oluşmaktadır. Yani cismin çevresi ile bağli hıza sahip olması durumunda oluşan sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvveti olarak adlandırılır. Sürtünen iki katı cisim için, kinetik sürtünme kuvvetinin tek bir değeri vardır.

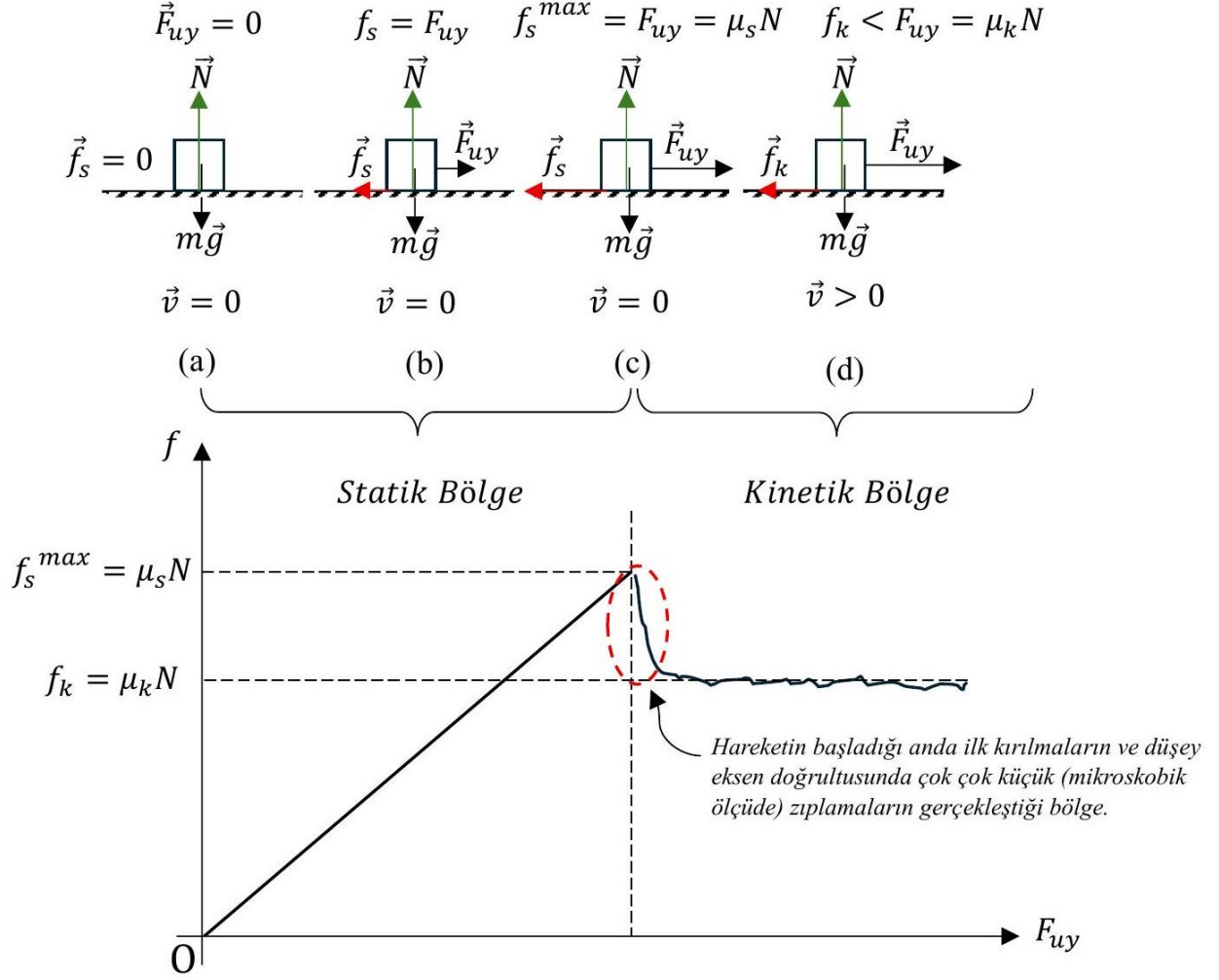
Şekil 2'de gösterildiği gibi, masa üzerinde duran m kütleli cisme yatay doğrultuda bir kuvvet uygulanmadığında sürtünme kuvveti oluşmaz (Şekil 2-a). Cisme yatay doğrultuda bir kuvvet uygulandığında cisim yine hareket etmeyecek ancak uygulanan kuvvete eşit ve zıt yönlü f_s statik sürtünme kuvveti oluşacaktır (Şekil 2-b). Sürtünme kuvvetinin oluşmasına neden olan F_{uy} uygulanan kuvvettir. Cisme yatay doğrultuda uygulanan kuvvet hareketi hemen hemen başlatacak kadar artırıldığında uygulanan kuvvete eşit ve zıt yönlü f_s statik sürtünme kuvveti maksimum değerini alır. Bu değer $f_s^{\max} = \mu_s N$ 'dir (Şekil 2-c).

Cisme uygulanan yatay kuvvet artırılmaya devam edilirse, cisim artık harekete geçmiş olacak ancak bu durumda cisme etki eden sürtünme kuvveti uygulanan kuvvetten küçük ve tek bir sabit değere sahip olacaktır. Bu değer $f_k = \mu_k N$ 'dir ve statik sürtünme kuvvetinin maksimum değeri $f_s^{\max} = \mu_s N$ 'den küçüktür (Şekil 2-d).

$$\begin{aligned} f_k &< f_s^{\max} \\ f_k &= \mu_k N < f_s^{\max} = \mu_s N \\ \mu_k N &< \mu_s N \\ \mu_k &< \mu_s \leq 1 \quad \text{olmalıdır.} \end{aligned}$$

Cisim durgun halden harekete geçtiği anda oluşan kırılmalar nedeni ile sürtünen yüzeylerin pürüzlülüğü azalacağından kinetik sürtünme kuvveti statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden küçük olur. Hareketin devamında bu kırılmalar ilkinde olduğu kadar şiddetli olmayacağı için kinetik sürtünme kuvveti hemen hemen sabit kalır.

Katı cisimler arasındaki sürtünme kuvvetini statik sürtünme, kinetik sürtünme ve yuvarlanma sürtünmesi olarak üçe ayırabiliriz.



Şekil 2

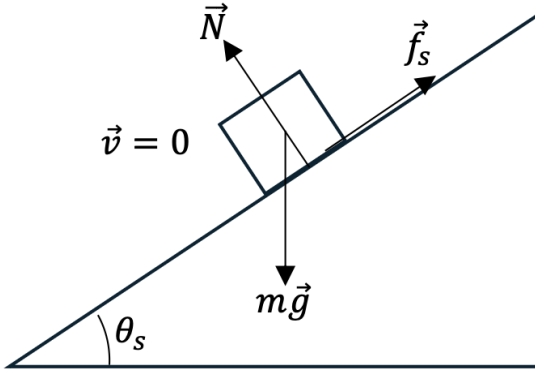
Yuvarlanma sürtünmesi kaymadan yuvarlanan cisimlere etki eden sürtünme kuvvetidir ve statik tabanlıdır. Yani cismin temas noktası ile çevresi arasında bağıl hız sıfırdır. Yuvarlanma hareketinde sürtünme kuvvetinin yönü, cisme uygulanan kuvvetin uygulama noktasına göre değişmektedir. Ancak sürtünme kuvvetinin yönü hakkında yukarıda verdiğimiz tanımlarla uyum içindedir.

Sürtünme kuvveti atomik ölçekteki etkileşmeye de bağlı olduğu unutulmamalıdır. Sürtünme kuvvetleri için yukarıda yaptığımız tanımlamalar mekanik çerçeve içinde ele alınmıştır.

DENEY

Statik sürtünme katsayısının belirlenmesi

Deneyin bu kısmında farklı yüzey çiftleri için statik sürtünme katsayısı hesaplanacaktır.



$$f_s - mg \sin \theta_s = 0$$

$$N - mg \cos \theta_s = 0$$

$$f_s = \mu_s N$$

$$\mu_s = \tan \theta_s$$

1. Tahta bloğun tahta yüzeyini eğik düzlem üzerine koyarak blok harekete geçene kadar eğim açısını yavaş yavaş artırınız. Bu durumda cisme etki eden statik sürtünme kuvveti maksimum değerine ulaşmıştır.
2. Eğik düzlemin açı ölçerinden θ_s açı değerini Tablo 1'e işleyiniz.
3. Bu açı değeri ile $\mu_s = \tan(\theta)$ statik sürtünme katsayısını hesaplayarak Tablo 1'e işleyiniz.
4. Bu işlemi eğik düzlemin farklı bölgeleri için 5 defa tekrarlayınız.
5. Daha sonra aynı bloğun kumaş tarafını eğik düzlem üzerine koyup yukarıdaki işlemleri tekrarlayınız. Bulduğunuz değerleri Tablo 2'ye işleyiniz.

Tablo 1: Eğik düzlem yüzeyi ile tahta yüzey arasındaki statik sürtünme katsayısı

Ölçüm	θ_s	$\mu_s = \tan(\theta_s)$	$\Delta\mu_s = \mu_s - \mu_s^{\text{ort}}$	$\Delta\mu_s^2$
1				
2				
3				
4				
5				
$\mu_s^{\text{ort}} =$				
$(\Delta\mu_s^{\text{ort}})^2 =$				
$\mu_s = \mu_s^{\text{ort}} \pm (\Delta\mu_s^{\text{ort}})^2 = \dots \pm \dots$				

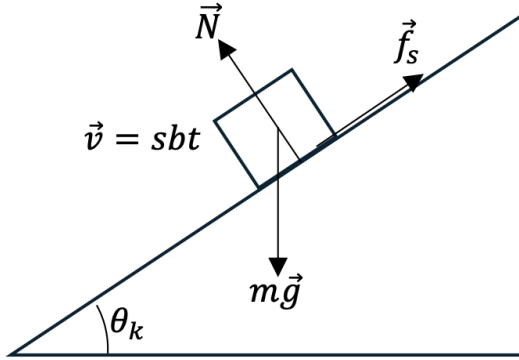
Tablo 2: Eğik düzlem yüzeyi ile kumaş yüzey arasındaki statik sürtünme katsayısı

Ölçüm	θ_s	$\mu_s = \tan(\theta_s)$	$\Delta\mu_s = \mu_s - \mu_s^{\text{ort}}$	$\Delta\mu_s^2$
1				
2				
3				
4				
5				
$\mu_s^{\text{ort}} =$				
$(\Delta\mu_s^{\text{ort}})^2 =$				
$\mu_s = \mu_s^{\text{ort}} \pm (\Delta\mu_s^{\text{ort}})^2 = \dots \pm \dots$				

Kinetik sürtünme katsayısının belirlenmesi

Deneyin bu kısmında farklı yüzey çiftleri için kinetik sürtünme katsayısı hesaplanacaktır. Deneyin bu kısmı iki aşamada yapılacaktır.

I. Eğik düzlem üzerinde bloğu sabit hız ile hareket ettirerek kinetik sürtünme katsayısının bulunması



$$f_k - mg \sin \theta_k = 0$$

$$N - mg \cos \theta_k = 0$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \tan \theta_k$$

$$\theta_k < \theta_s \text{ olmalıdır}$$

1. Tahta bloğun tahta yüzeyini eğik düzlem üzerine koyunuz.
2. Bloğa parmağınızla küçük dokunuşlar yaparak sabit hızla hareket edip etmediğini kontrol ediniz. Bloğun sabit hız ile hareketi görülene kadar eğim açısını değiştiriniz.
3. Sabit hız ile hareket görüldüğünde, eğik düzlemin açı ölçerinden okunan θ açısı değerini Tablo 3'e işleyiniz.
4. Bu açı değeri ile $\mu_k = \tan(\theta_k)$ kinetik sürtünme katsayısını hesaplayarak Tablo 3'e işleyiniz.
5. Bu işlemi 10 defa tekrarlayınız.

6. Daha sonra aynı bloğun kumaş tarafını eğik düzlem üzerine koyup yukarıdaki işlemleri tekrarlayınız. Bulduğunuz değerleri Tablo 4'e işleyiniz.

Tablo 3: Eğik düzlem yüzeyi ile tahta yüzey arasındaki kinetik sürtünme katsayısı

Ölçüm	θ_k	$\mu_k = \tan(\theta_k)$	$\Delta\mu_k = \mu_k - \mu_k^{\text{ort}}$	$\Delta\mu_k^2$
1				
2				
3				
4				
5				
$\mu_k^{\text{ort}} =$				
$(\Delta\mu_k^{\text{ort}})^2 =$				
$\mu_k = \mu_k^{\text{ort}} \pm (\Delta\mu_k^{\text{ort}})^2 = \dots \pm \dots$				

Tablo 4: Eğik düzlem yüzeyi ile kumaş yüzey arasındaki kinetik sürtünme katsayısı

Ölçüm	θ_k	$\mu_k = \tan(\theta_k)$	$\Delta\mu_k = \mu_k - \mu_k^{\text{ort}}$	$\Delta\mu_k^2$
1				
2				
3				
4				
5				
$\mu_k^{\text{ort}} =$				
$(\Delta\mu_k^{\text{ort}})^2 =$				
$\mu_k = \mu_k^{\text{ort}} \pm (\Delta\mu_k^{\text{ort}})^2 = \dots \pm \dots$				

SORULAR

1. Sürtünen yüzey çiftleri için kinetik sürtünme katsayısı, neden statik sürtünme katsayısından küçüktür?
2. Yarış arabalarının ve uçakların lastikleri geniş ve yüzeyi dişsizdir. Sizce bunun nedeni ne olabilir?