

Uluslararası Yavuz Tüneli

(International Yavuz Tunnel)

Tünele rüzgar kaynaklı etkiyen aerodinamik kuvvetler
ve bu kuvvetlerin oluşturduğu kesme kuvveti ve
moment diyagramları

(Aerodynamic Forces Acting onto Tunnel and Shear Stress and Moment
Diagrams formed by this forces)

Tevfik Uyar

bilgi@tevfikuyar.com

Kısaltmalar:

C_D	:	Sürükleme Katsayısı
Re	:	Reynold Sayısı
μ	:	Dinamik Viskozite
ρ	:	Yoğunluk
T	:	Sıcaklık
h	:	Yükseklik
M_K	:	Köke Uygulanan Moment
F	:	Kuvvet
V	:	Rüzgar Hızı

Kabuller:

- K1. 10^7 üzerinde hesaplanan tüm Reynold sayıları 10^7 dir.
- K2. Atmosfer ve Stratosfer, Standarttır
- K3. Tüm rüzgarlar aynı yön ve doğrultuya sahiptir.
- K4. Her 250 metrede bir ölçülmüş rüzgar verileri arasında kalan bölgelerde rüzgar hızı lineer değişmektedir.
- K5. 17652. metre ile 30000. metre arasında rüzgar hızı 7,4 m/s'den 0'a lineer azalmaktadır
- K6. Tünel çapı 20 metredir
- K7. Tünel Silindirdir
- K8. Bir x mesafesinde ölçülmüş değerler, diğer bir x+1 mesafesine kadar sabittir.
- K9. Tünel ankastre mesnettir
- K10. Tünel, sıfır noktası diye anılacak olan 5000.metreden başlamaktadır.

Notlar:

Her bir metredeki basınç, sıcaklık ve yoğunluk değerleri için deneysel verilerle elde edilmiş tablolardan yararlanılmıştır. Her 250 metredeki hava akımı hızı için ise rüzgar radarlarının ölçmüş olduğu deneysel verilerden yararlanılmıştır. (Bkz: EK-1)

Rüzgar Hızlarının Belirlenmesi:

Rüzgar radarları yardımıyla ölçülmüş değerler 250 metre aralıklarla bulunduğundan, 1 metre adımlı trapez sayısal yöntemi kullanabilmek ve Reynold sayılarını her metre için hesaplayabilmek amacıyla iki rüzgar verisi arasında enterpolasyon yapılmıştır. İstenen bir noktadaki hız, enterpolasyon ile şöyle elde edilmiştir:

$$V_{k+x} = V_k + \frac{V_{k+250} - V_k}{250} \quad (1)$$

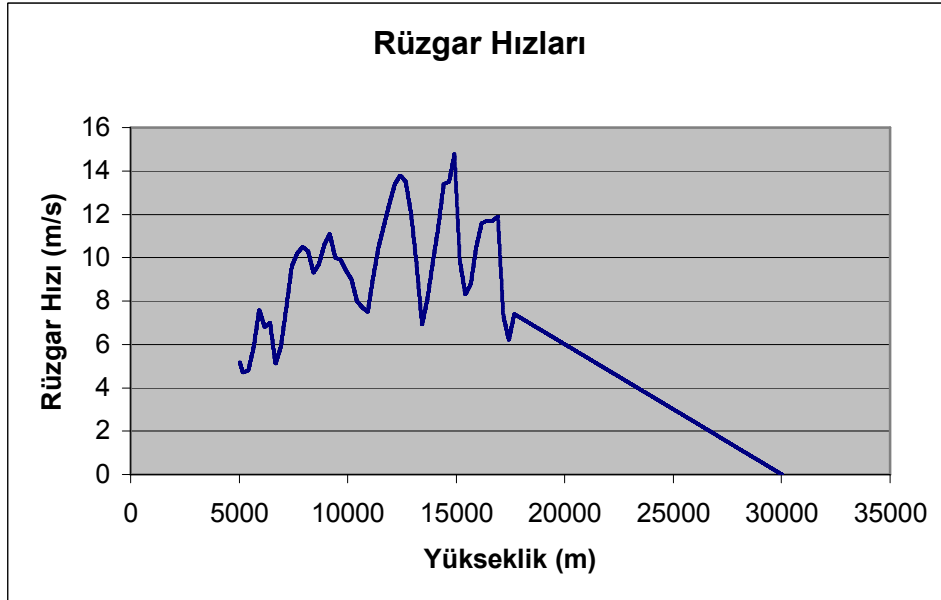
Burada V_{k+x} herhangi bir noktadaki rüzgar hızını,

V_{k+250} o noktadan yüksek ilk deneysel rüzgar verisini,

V_k da o noktadan akçaktaki ilk deneysel rüzgar verisini ifade etmektedir.

Böylelikle, iki rüzgar ölçümü arasında kalan noktadaki rüzgar hızlarının lineer değiştiği kabulü yapılmıştır. UYT – Tefvik Yazılımı ile (Bkz: EK-2 – UYT – Tefvik yazılımı kaynak kodları) tüm bu noktadaki rüzgar hızı elde edilmiş ve sonuç tablosunda (Bkz: EK-3 – Değer Tablosu) gösterilmiştir.

Bu kabul ve yöntemle elde edilmiş tüm rüzgar hızlarının yükseklikle değişimini gösteren grafik şöyledir:



17652. metreden sonra rüzgar verisi bulunmadığından ve stratosferin üst tabakalarından itibaren rüzgar etkisinin azalarak etkisiz bir hale ulaşacağı kabulünden, 30000 metredeki rüzgar hızı sıfır

kabul edilerek burada ayrıca bir enterpolasyon yapılmıştır. Grafikte lineer şekilde sapma gösteren ve 30000'de sifira ulaşan doğru bu kabulün ve işlemin bir sonucudur.

Viskozitelerin Belirlenmesi:

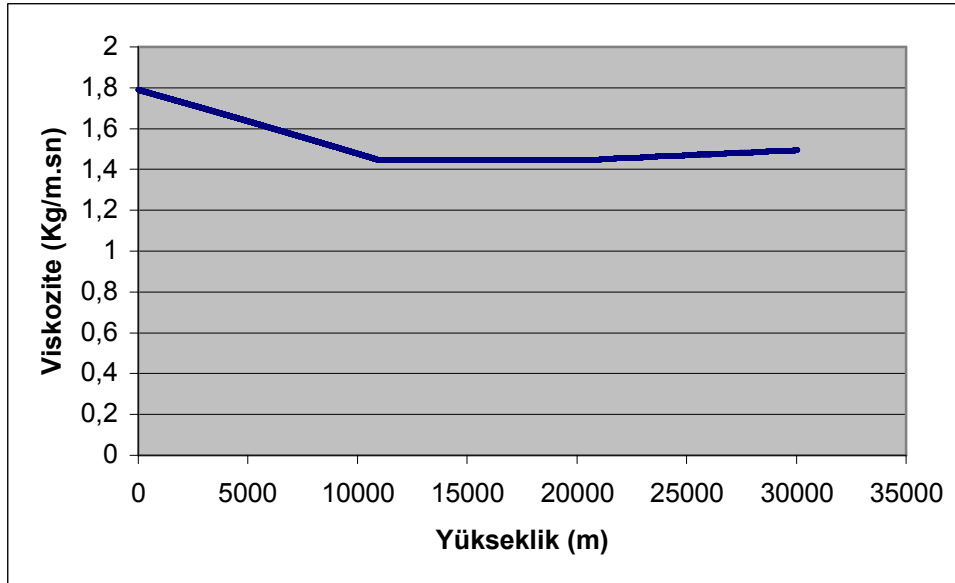
Akışkanın akmaya karşı direncinin sayısal ifadesi olan dinamik viskozite, sürüklenme katsayısı hesabında önemli bir yer tuttuğundan hesaplanması öncelikli olan parametreler arasında yer almaktadır. Viskozite sadece sıcaklığa bağlı bir değişkendir. Bir noktadaki viskozite bilindiği zaman diğerinin hesaplanmasına yarayan formül aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{3}{4}} \quad (2)$$

Atmosferin standart olduğu kabulünü yaptığımız için deniz seviyesindeki büyüklüklerin:

$$T_0 = 288,15 \text{ K} \quad P_0 = 1013 \text{ mbar.} \quad \rho = 1,275$$

Olduğu kabul edilebilir. Bunlardan hareketle (2) formülü de kullanılarak elde edilen viskozite değerleri ekte bulundan değer tablosunda yer almaktadır. Viskozitenin yüksekliğe göre değişim grafiği aşağıdaki gibi elde edilmiştir:



Grafikte görülen viskozitenin sabit olduğu bölge stratosferde $\frac{dT}{dh}$ sıcaklık gradyanının sıfır

olmasından kaynaklanmaktadır. Stratosferde sıcaklığın değişmediği kabul edildiği için viskozite de aynı bölgede değişim göstermemektedir.

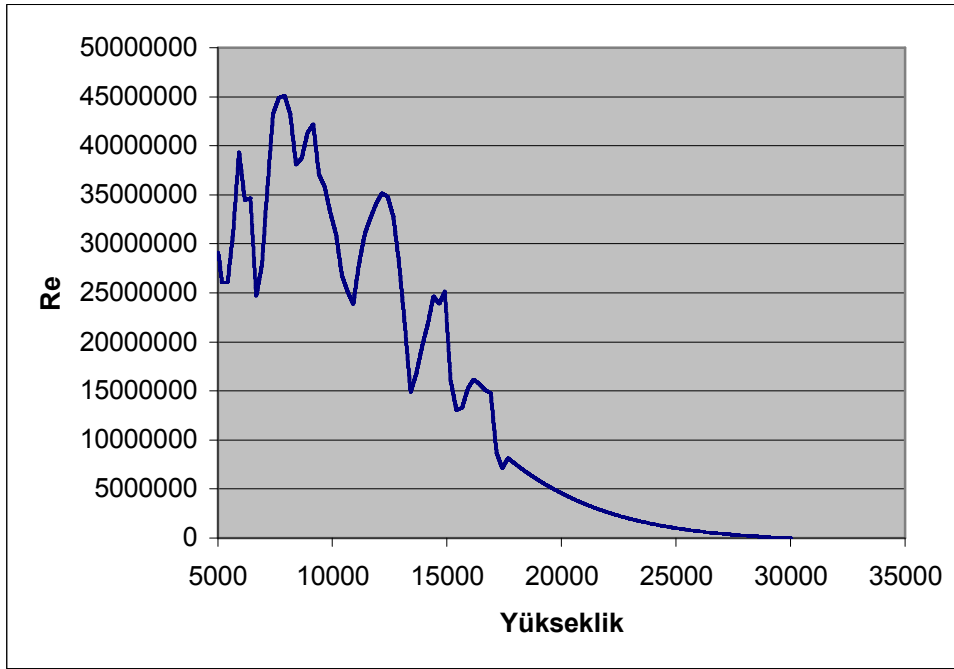
Reynold Sayılarının Hesaplanması:

Reynold sayısı akım atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranını veren çok önemli bir akım karakteristiğidir. Kısaca Re olarak gösterilen sayının eldesi, sürüklenme katsayısının elde edilmesinde büyük önem taşımaktadır.

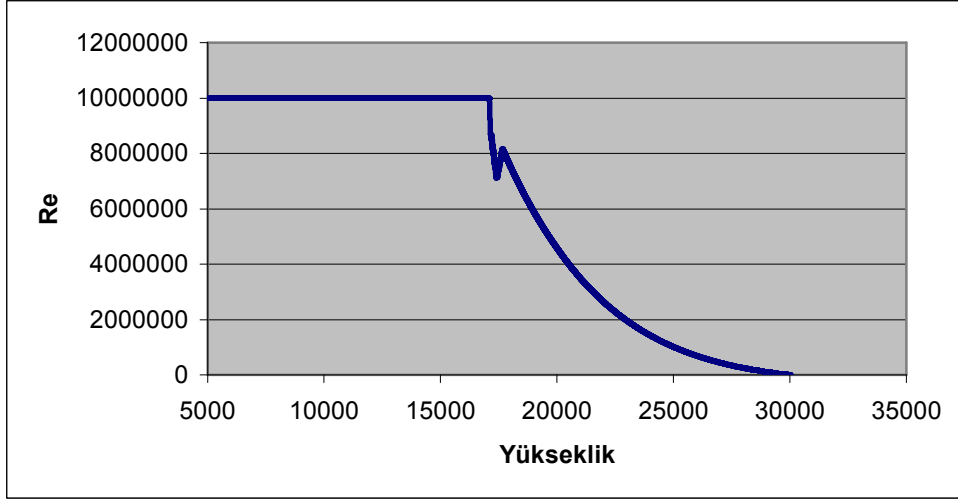
Atalet kuvvetler: $\rho.V.d$, Viskoz Kuvvetler: μ olarak ifade edilirse;

$$Re = \frac{\rho.V.d}{\mu} \quad (3)$$

Reynold sayısı da atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı olarak (3) bağıntısındaki gibi ifade edilir. Re boyutsuz bir ifadedir ve d, burada akıma maruz kalan veter uzunluğunu yani silindirin çapını ifade etmektedir. Veter 120 metre kabul edilerek bulunan Reynold sayılarının yüksekliğe bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibidir:

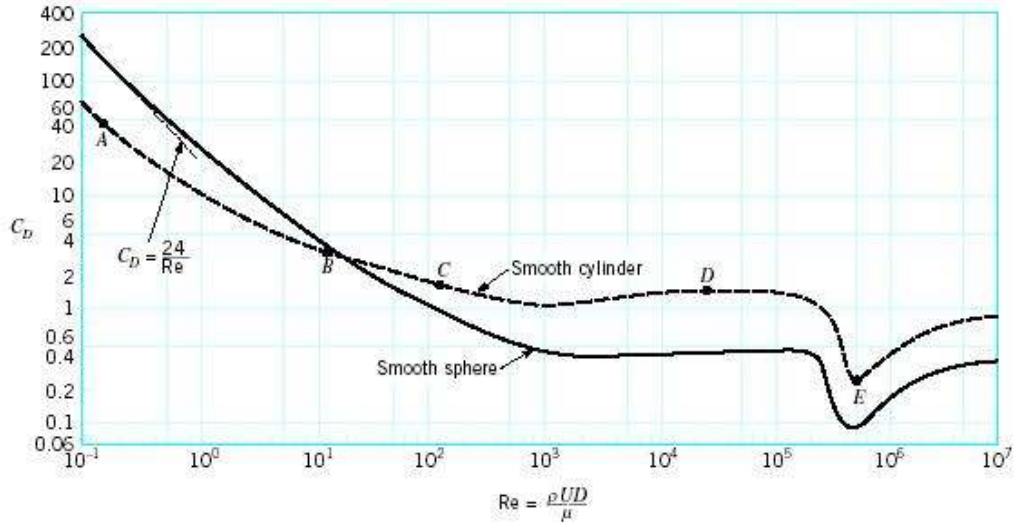


Birinci kabulümüze göre (K1) düzeltilmiş Reynold sayılarının yüksekliğe bağlı değişim grafiği ise şöyledir:



Sürükleme Katsayılarının Eldesi:

Sürükleme Katsayısının Re sayısına bağlı hesaplanması için doğrudan bir formül kullanılmamaktadır. Bu hesap için silindirin kusursuz olduğu kabulü yapılmış ve aşağıdaki grafikten faydalanılmıştır:



Şekildeki grafikte sürükleme katsayısının seçildiği 11 değerinde bir C_D belirlenmiş, grafik lineere kalan değerler enterpolasyonla elde edilmiştir. Belirlenen C_d 'ler Ek-2'de bulunan yazılım kaynak kodlarında belirtilmiştir.

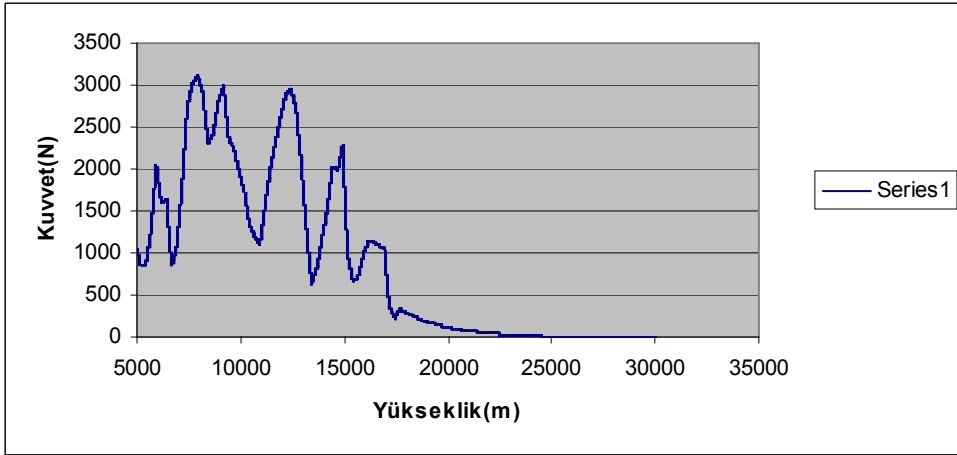
Yayı Yükn Hesabı:

Sürükleme katsayılarının da belirlenmesi ile artık kuvvet hesaplanabilir hale gelmiştir. Kuvvet için formül şöyledir:

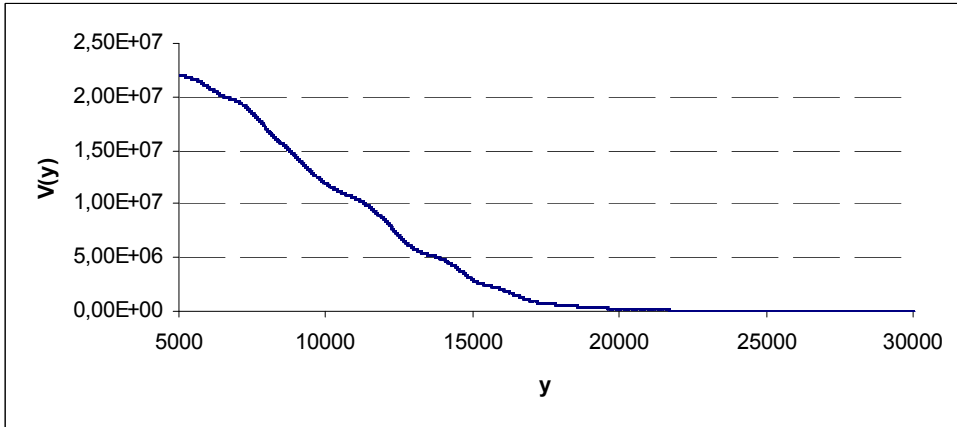
$$F = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S \quad (4)$$

Burada S akımın etki ettiği veter alanının ifadesidir. K8 kabulüne göre her bir metreye uygulanan kuvvet önceki metre taşındaki değerlerle hesaplanacağından bu yüzey alanı 1 metre x 120 metre = 120 metrekare diye hesaplanmış ve S=120 olarak kabul edilerek hesaplanmıştır.

Birbirinden bağımsız olarak elde edilmiş kuvvetlerin yüksekliğe göre değişimi aşağıdaki grafikte ifade edildiği gibidir:

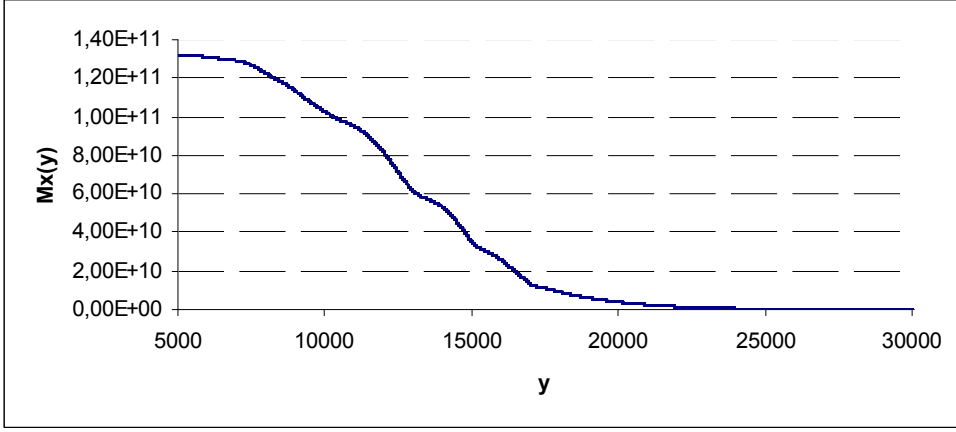


Tünelin kesme kuvveti diyagramı ise şöyledir:



Her bir 120 metrekarelik bölgenin kökte oluşturduğu moment, o bölgenin tünel köküne olan uzaklığı ile bulunur. 30000 m >> 0.5 m olduğundan bölgelerde oluşan kuvvet bölgeleri hesaplanmamış, bölge başlangıç noktalarının yüksekliği kuvvet kolu olarak hesaba katılmıştır.

Bu yolla elde edilen momentlere göre tünelin moment diyagramı ise şöyledir:



Her iki diyagramda da görüldüğü gibi ve kuvvetin tek yönlü olduğu ankastre bir mesnetten beklenildiği gibi kesme kuvveti kritik noktası ve moment diyagramı kritik noktası tünelin kökü, yani sıfır noktasıdır.

Kritik noktadaki değerler:

Kesme Kuvveti : $2,21 \times 10^7$ N

Eğilme Momenti : $1,316 \times 10^{11}$ Nm olarak hesaplanmıştır.