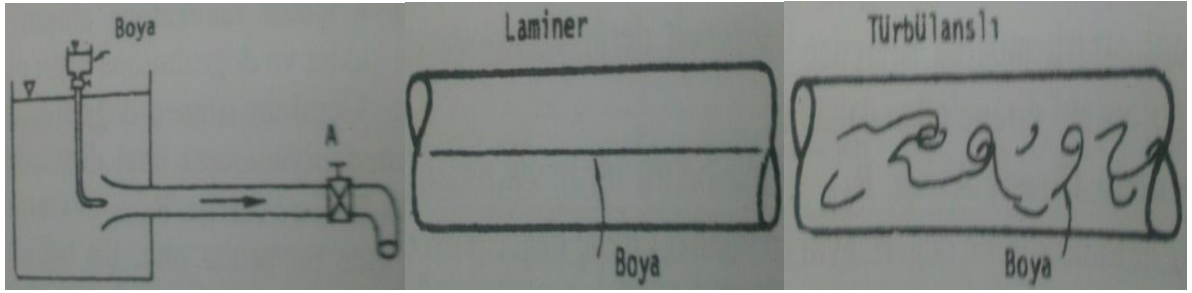


3.3 Sınır Tabaka (Kenar Tabaka)

3.3.1 Reynolds Deneyi



Şekil 3.1 Reynolds deneyi.

Herhangi bir daire kesitli boru içindeki bir akışın Reynolds sayısı, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Rn = \frac{vD}{\nu}$$

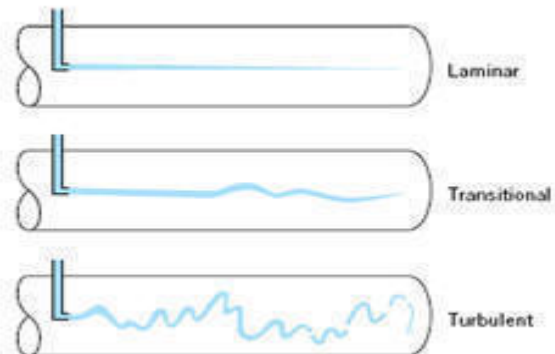
v : Hız

D : Boru çapı

ν : Kinematik viskozite katsayısı

Reynolds sayısı küçükken boya akım hattı, doğrusal (yani akışkan akım hatlarının birbirine karışmadığı) bir yörünge takip eder. Bu haldeki akım, laminar akımdır.

Eğer akışkanın hızı artar ise o zaman akışın **Rn** değeri de artar. Bu durumda akım türbülanslı hale dönüşür.



Düz bir levha etrafındaki akım hali için ***Rn*** değeri, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Rn = \frac{vL}{\nu}$$

v: Hız

L: Levha boyu

ν: Kinematik viskozite katsayısı

Düz levhalar etrafındaki akım için,

3.3.2 Laminer Akım Hali ($Rn \leq 3 \times 10^5$)

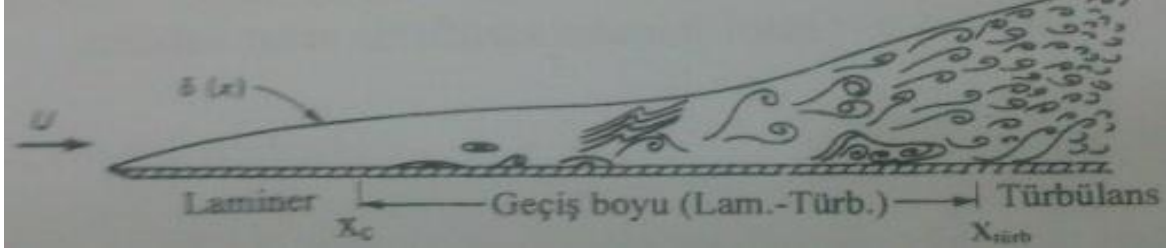
Laminer akım halinde, akışkan tabakaları enine doğrultuda birbirine karışmadan, düzlemsel tabakalar halinde hareket ederler.



3.3.3 Türbülanslı Akım Hali ($3 \times 10^5 < Rn < 10^6$)

Cisim veya akışkanın hızının artması ile Reynolds sayısı büyür. Bu durumda sınır tabaka içerisinde akım hatlarının düzgünlüğü bozulur ve birbirine karışarak türbülanslı akım oluşur.

Sınır tabaka içinde; akışkanın cinsine, cisim veya akışkanın hızına, akışkan içindeki cismin biçimine, boyuna ve yüzey durumu ile akışkan derinliğine bağlı olarak; **laminer akım** hali, **laminer-türbülanslı akım** hali veya **tamamen türbülanslı** akım hali meydana gelir.



Akım hatlarının bozulmaya başladığı **Rn** değeri, **kritik Reynolds sayısı** olarak tanımlanır.

$$\text{Kritik Reynolds sayısı} = \frac{u x_c}{\nu}$$

x_c : Kritik uzunluk, Eğer $u \uparrow \rightarrow x_c \downarrow$

$x = 0$ için sınır tabaka kalınlığı $\delta(x) = 0$

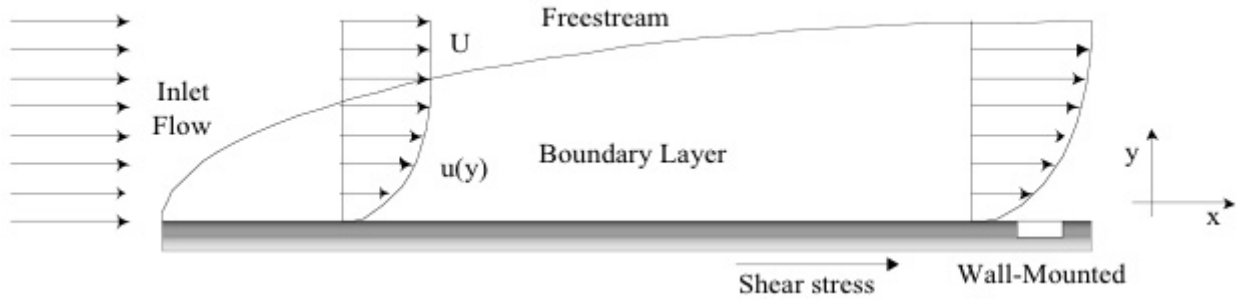
$\delta(x) \ll x$ ($\delta(x)$ değeri, x 'e kıyasla çok çok küçüktür.)

Doğada laminer ve türbülanslı akımlar mevcut olmasına karşın, türbülanslı akım daha doğal bir haldir:

3.3.4 Sınır Tabaka (Kenar Tabaka)

Gerçek akışkan halinde, akışkan ile cismin yüzeyi arasında bir kayma olayı olmaz. Akışkanın viskozite değeri ne kadar düşük olursa olsun, akışkan parçaları cismin yüzeyine yapışır. Bu durumda cismin yüzeyindeki akışkanın hızı sıfır olur yani akışkan cismin yüzeyinde hareket etmez. Yüzeyden uzaklaştıkça akışkan tabakalarının birbirini sürüklemeye etkisi azalır ve böylece akışkanın hızı artar.

Akışkan hızının cismin yüzeyinden başlayıp üniform akım hızına eşitlendiği yere kadar olan bölgeye, **sınır tabaka** veya **kenar tabaka** denilir.

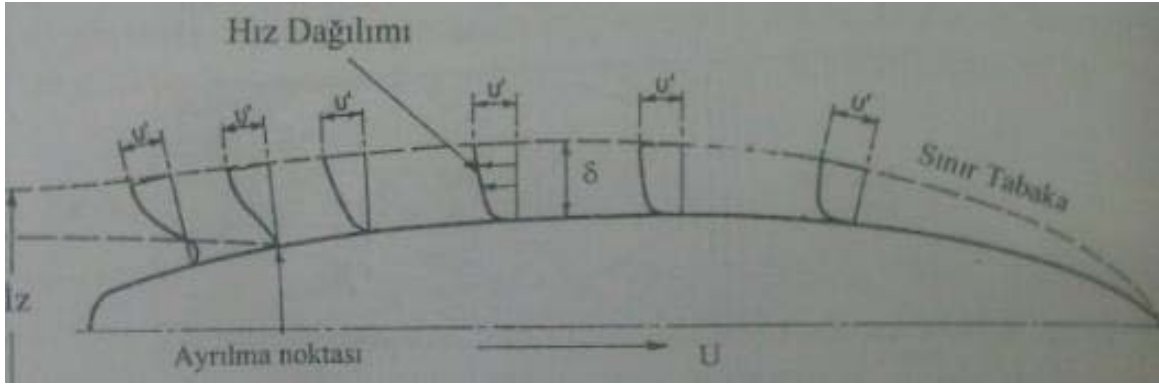


Sınır tabaka içerisinde $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$ kayma gerilmeleri meydana gelir. Sınır tabaka, sürtünme direncinin de kaynağıdır.

Sınır tabaka dışındaki akışkan bölgesinde, $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ yani $\tau = 0$ ve $u = u_\infty$ olur. Sınır tabaka dışındaki bölgede sürtünme kuvveti de meydana gelmez.

3.3.5 Gemi Etrafındaki Sınır Tabaka

Su hızının, gemi ıslak gövdesine yakın olan oldukça dar bir tabaka içinde değiştiği bölge, **geminin sınır tabakası** olarak isimlendirilir. Gemi etrafındaki sürtünme kuşağında, suyun hızı geminin ilerleme hızı V 'den daha düşük olduğu için, sınır tabaka içindeki su gemiden geride kalarak, gemiyi arkadan izler ve böylece **dümen suyu** denilen bir akıntı oluşur. Söz konusu bu akıntı **gemi izi** olarak da isimlendirilir (Şekil 3.5).

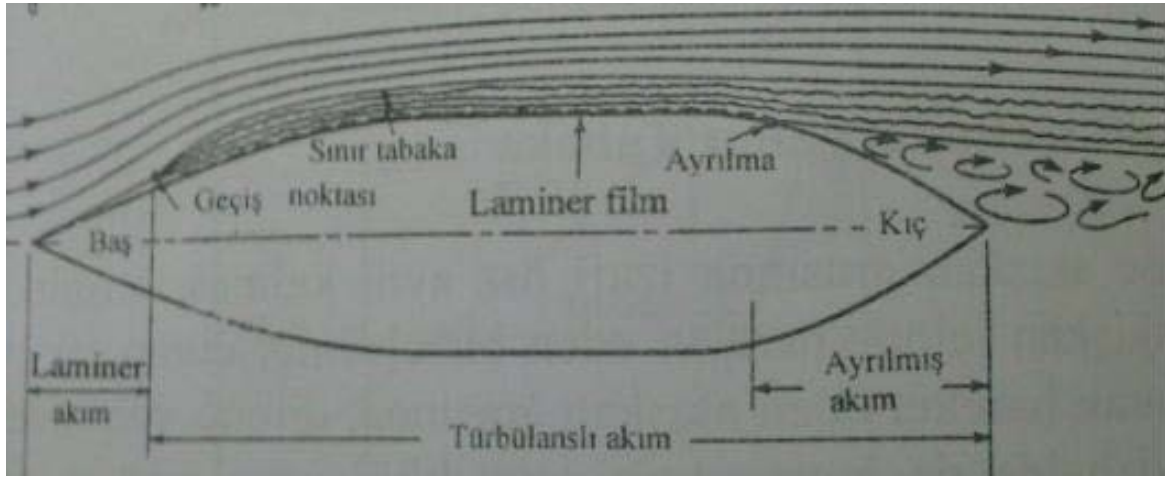
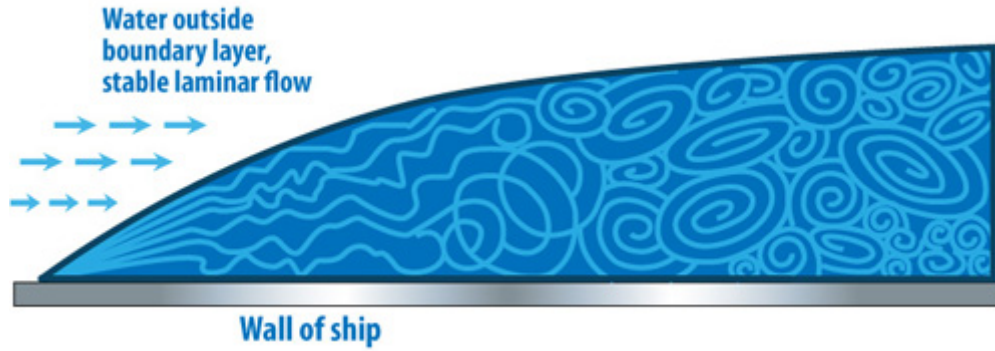


Şekil 3.5 Bir geminin sınır tabaka bölgesi.

Laminer sınır tabakada, türbülanslı sınır tabakada olduğundan daha az bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Türbülanslı akım durumunda direnç değeri daha fazla olur.

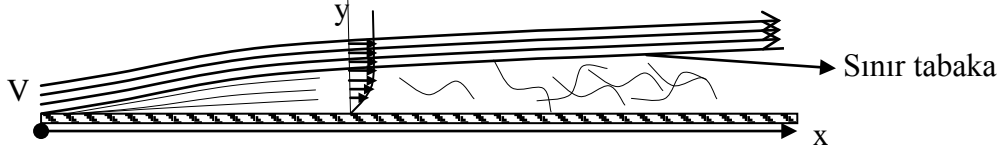
Geminin boyu, hızı, ıslak yüzey pürüzlülüğü ve kirliliği, sınır tabakayı laminar halden türbülanslı hale getirir.

Düşük hızlarda, geminin baş bodoslaması dışındaki tüm bölgelerinde türbülanslı akım hali gözlenir.



Küçük gemi modelleri etrafında ise laminar akım meydana gelir. Bu nedenle gemi model deneyleri yapılırken, akım hali benzerliğini de sağlamak için model üzerinde değişik türbülans yapıcılar kullanılır. Böylelikle model etrafındaki akım türbülanslı hale getirilmiş olunur.

3.3.6 Sınır Tabaka Kalınlığı



Gerçek sınır tabaka kalınlığı tam olarak tayin edilemez. Ancak akışkan ilerleme hızının, ünüform akım hızı V 'nin % 99'una eşit olduğu nokta genellikle sınır tabakanın sonu olarak kabul edilir. Diğer bir deyişle, $u = 0$ 'dan $u = 0.99 \times U$ noktasına kadar olan uzaklık, x 'e bağlı olarak cismin $\delta(x)$ sınır tabaka kalınlığıdır.

Sınır tabaka kalınlığı iki farklı şekilde belirlenebilir. Bunlar:

1. Birinci durumda akışkan sabit olup, cisim hareketlidir. Akışkan hızlarının, cismin hızının $1/100$ 'üne eşit olduğu noktalar kümesi cismin sınır tabaka bölgesini oluşturur.
2. İkinci durumda ise cisim sabit olup, akışkan hareketlidir. Cismin yüzeyinde sıfır olan akışkan hızlarının, cismin yüzeyinden uzaklaştıkça üniform akım hızının % 99'una eşit olduğu noktalar alınarak, cismin sınır tabaka bölgesi belirlenir.

Düz levhalar ve gemi sınır tabaka kalınlığı hesabı için bazı ampirik ifadeler:

1- Blasius Formülü (levhalar için)

Levhalar için laminar akım halindeki sınır tabaka kalınlığı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanabilir ($Rn: 2 \times 10^5 - 3 \times 10^6$):

$$\delta(x)_{lam} = \frac{5x}{\sqrt{Rn}}$$

Burada;

x, levha ucundan uzaklık,

Rn , x mesafedeki Rn sayısıdır.

Eğer $Rn \uparrow$, $\Rightarrow \frac{\delta(x)_{lam}}{x} \downarrow$. Sınır tabaka ince bir bölge şeklinde oluşur.

2- Prandtl - Von Karman Formülü (levhalar için)

Levhalar için türbülanslı haldeki ($10^6 < Rn < 10^7$) sınır tabaka kalınlığı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.:

$$\delta(x)_{turb} = 0.37 \frac{x}{\sqrt[5]{Rn(x)}} \quad (yaygın olarak kullanılır.)$$

3- K. G. Windel ve L. Gaudel Formülü (Gemi ve model için)

Rn: ($10^6 - 10^9$) aralığında geçerli olan, gemi ve model için sınır tabaka kalınlığı aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir:

$$\delta(x)_{\text{turb}} = 0.085 \frac{x}{Rn(x)^{0.1}},$$

Burada; $Rn(x) = \frac{Ux}{\nu}$

x , gemi başından uzaklık

U , gemi hızıdır.

4- Baker ve Allen Formülleri (Gemiler için)

Gemiler için sınır tabaka kalınlığı aşağıdaki ampirik bağıntılar ile hesaplanabilir:

$$\delta^2 + 1.5\delta = 0.02x \quad (\text{Baker Formülü})$$

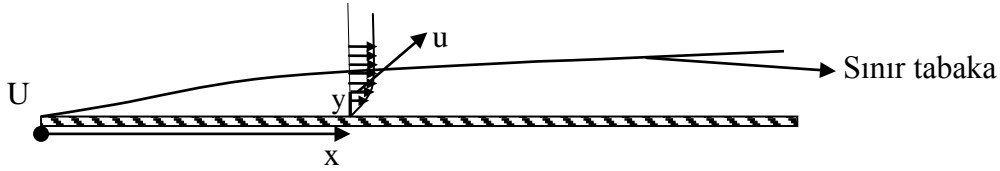
$$\delta^2 + 4\delta = 0.065x \quad (\text{Allen Formülü})$$

Burada; δ sınır tabaka kalınlığı (feet olarak)

x , sınır tabakanın hesaplandığı konumun gemi başından uzaklığıdır (feet olarak).

3.3.7 Sınır Tabaka İçerisindeki Hız Dağılımı (Hız Profili)

Von Karman'ın levhalarla yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçlar, aşağıdaki bağıntı ile verilir:



$$u = U(y/\delta)^n$$

U : Üniform akım hızı

δ : Levhanın ön ucundan x uzaklıktaki sınır tabaka kalınlığı

y : Cismin yüzeyinden dik uzaklık

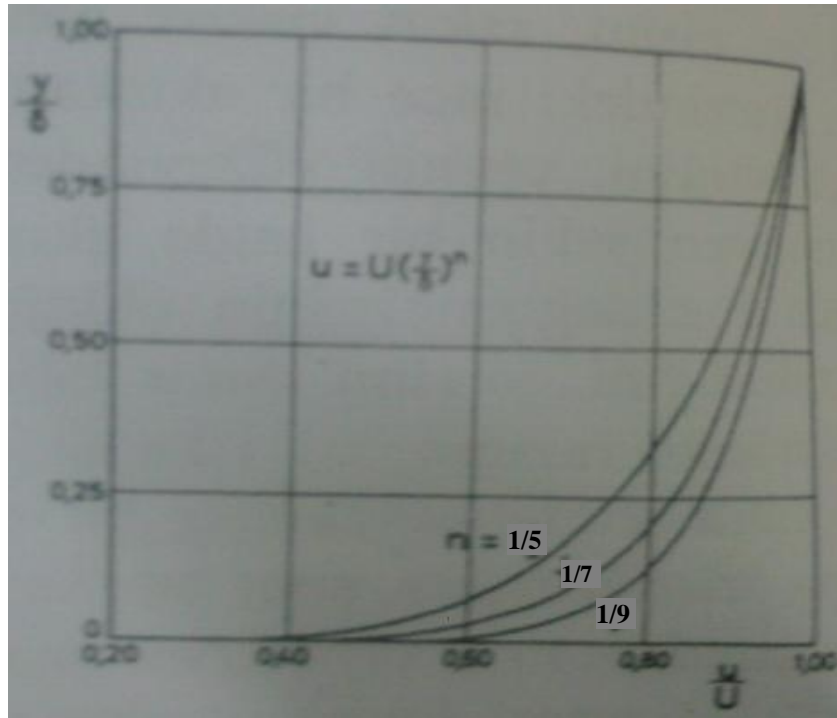
n : Levhanın yüzey özelliğine bağlı bir katsayı

$n = 1/9$ Parlak cilalı çelik yüzeyler için

$n = 1/7$ Temiz yüzeyli ticaret gemileri için

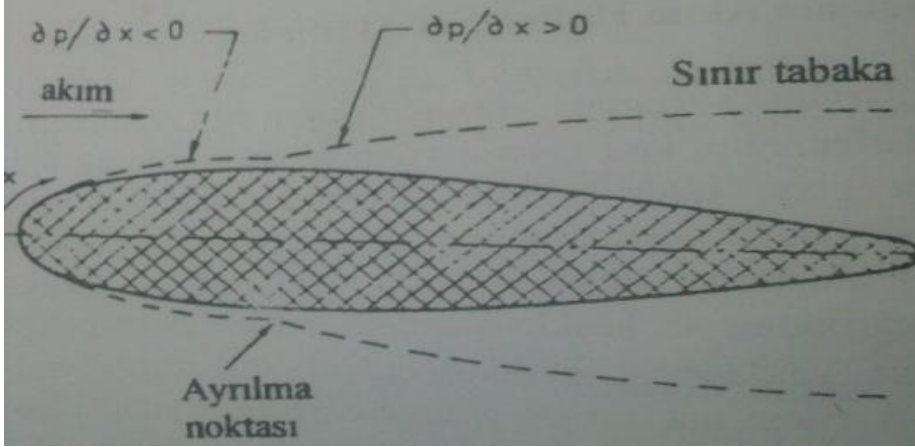
$n = 2/11$ Parafin, plastik ve ahşap gemi modelleri için

$n = 1/5$ Otlı kaplı yüzeyler için



3.3.8 Sınır Tabakada Akım Hatlarının Ayrılması

Akışkanın bir kısmının esas akım doğrultusunda ilerlemeyip, katı cisim yüzeyinden ayrılarak ters yönde bir akımın oluşması, **akım ayrılması olayı** olarak isimlendirilir. Cismin yüzeyinden ayrılan bu akım, girdaplar oluşturur. Oluşan bu girdaplar da ilave dirence neden olur.



Akım ayrılması olayının nedeni, cismin geometrisindeki büyük eğrilikler ve keskin dönüşlerdir.

Ayrılma noktasına kadar kısmen ince olan sınır tabaka kalınlığı, ayrılma noktasından sonra ters akımların oluşması nedeniyle hızlı bir şekilde kalınlaşır.

Hızı azalan akışkan zerrecikleri küçük kinetik enerjileri sebebiyle basıncı artan bölgenin içine fazlaca giremezler. Böylece sınır tabaka, cidardan yanlara doğru saparak ayrılır ve ana akımın içine doğru hareket eder.

Sınır tabaka içinde bu ayrılma noktasının ötesinde akım hatları oldukça karışır, dönme ve çevriler meydana gelir. Sürtünme direnci artar, sınır tabaka bölgesi kalınlaşır.

