

- ISITMA
- HAVA KOŞULLANDIRMA
- HAVALANDIRMA
- **SU ŞARTLANDIRMA**
- SU ARITIMI
- ENERJİ
- OTOMATİK KONTROL
- BİNA OTOMASYON

- İŞ YÖNETİMİ VE ORGANİZASYON
- MALİYE / FİNANS
- MÜHENDİSLİK GELİŞTİRME
- PAZARLAMA / SATIŞ
- HALKLA İLİŞKİLER / REKLAM
- EĞİTİM
- AR-GE
- KİŞİSEL GELİŞİM
- ÜRETİM
- İHRACAT / İTHALAT
- MÜŞTERİ HİZMETLERİ
- SERVİS HİZMETLERİ

Alarko Carrier San. Ve Tic. A.Ş.
GOSB – Gebze Organize Sanayi Bölgesi
Şahabettin Bilgisu Cad. 41480 Gebze / KOCAELİ
www.alarko-carrier.com.tr
info@alarko-carrier.com.tr

POMPA ve HİDROFOR Sistemlerinde Kullanılan Sürtünme Kaybı Hesap Metotları

Cüneyt BULCA

* Yayın Tarihi: Eylül 2004

* Yayınlayan: Tesisat Dergisi

* Kaynak gösterilerek kısmen ya da tamamen
yayınlanabilir.

Pompa ve Hidrofor Sistemlerinde Kullanılan Sürtünme Kaybı Hesap Metotları



E.Cüneyt BULCA

Alarko Carrier Sanayi ve Ticare A.Ş.
Ürün Yöneticisi - Pompa

GOSB-Gebze Organize Sanayi Bölgesi
Şahabettin Bilgisu Caddesi 41480 Gebze-KOCAELİ
Tel: (262)648 60 31 Fax: (262) 648 60 24

E-mail: cuneyt.bulca@alarko-carrier.com.tr
Web: www.alarko-carrier.com.tr

ABSTRACT :

When a liquid flows through a pipeline, shear stresses develop between the liquid and the pipe wall of friction, and its magnitu. This shear stress is a result of friction, which depends on the properties of the fluid that is passing through the pipe, the speed at which it is moving, the internal roughness of the pipe, and the length and diameter of the pipe. Another source of friction is the interaction between the fluid layers close to the pipe wall and the pipe roughness or the small peaks and valleys on the wall.

For selecting a pump at the point of highest efficiency ,we have to calculate the total head and total head components precisely, especially the value of total friction loss .We may chose one of the calculate methods and equations below.The Colebrook-white, Darcy-weisbach and moody,Swame-jain,Hazen-williams and Manning equations provide to us a method of calculating friction head . Another component of friction head is the pressure drop due to fittings.

ÖZET :

Bir akışkan bir boru hattı boyunca akarken, akışkan ile boru cidarı arasında kayma gerilmeleri oluşur.Bu kayma gerilmeleri, sürtünmenin bir sonucudur ve büyüklüğü boru içerisinden geçen akışkanın türüne, hareket hızına,dahili yüzey pürüzlülüğüne, boru boyuna ve boru çapına bağlıdır.Diğer bir sürtünme kaynağında,boru cidarı ve pürüzlere yakın veya boru yüzeyindeki küçük girinti ve çıkıntılara yakın akışkan katmanlarının birbirleriyle etkileşimleridir

Pompaların en verimli noktada seçilebilmeleri için, toplam yüksekliği,toplam yükseklik bileşenlerini ve özellikle sürtünme yüksekliğini tam olarak hesaplamamız gereklidir.Bu hesaplamalar için aşağıdaki denklemlerden biriniseçebiliriz .The Colebrook-white, Darcy-weisbach and moody,Swame-jain,Hazen-williams and Manning denklemleri bize sürtünme yüksekliği(Kaybı) hesap metotlarını vermektedir.

1. GİRİŞ :

Pompaların ,dünyada üretilen bütün enerjinin yaklaşık % 20'sini (*) tüketmekte oldukları göz önünde bulundurulduğunda, en verimli noktada seçilmiş olması zorunluluğu daha iyi anlaşılmaktadır..Çok geniş ve çeşitli kullanım alanına sahip bu sistemler, en düşük enerji tüketimi ile en düşük çevre kirliliği yaratacak şekilde seçilmeli veya projelendirilmelidir.Konu başlığında yer alan” Hidroforlar” pompa sisteminden ayrı olmayıp, pompaya eklenen otomasyon ve kontrol elemanlarıyla paket bir pompa sistem formudur.Bundan dolayı pompa sistemlerinde kullanılan bütün hesaplama metotları hidrofor sistemleri içinde aynı olacaktır.

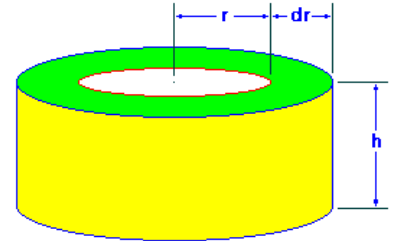
Bir pompa veya hidrofor sisteminin projelendirilmesinde en önemli kriter, sistemin kayıplarını en doğru şekilde hesaplayabilmek ve bu değerlerle sistem karakteristiğine uygun pompa seçimi yapabilmektir.Gerçekçi verilerden uzak yapılan pompa veya hidrofor seçimleri, sistemi ,güvenli bölgenin dışında ve verimsiz bir noktada çalıştırarak, yüksek işletme maliyetinin oluşmasına neden olacaktır.Ayrıca ürün kayıplarının oluşabileceği de unutulmamalıdır.En önemli kayıplar “Sürtünme “ve “Lokal kayıplar” dır.

2. SÜRTÜNME, SÜRTÜNME KAYBI (YÜKSEKLİĞİ) :

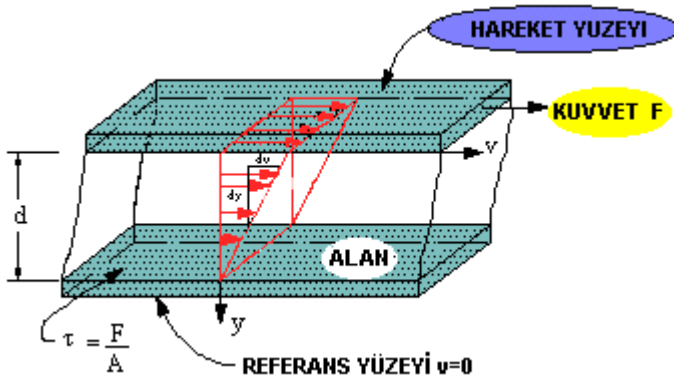
Pompa sistemlerinin tasarımında ilk adım olan sürtünme kayıplarının hesaplanmasına geçmeden önce, hesap sistematığı içinde geçen bazı önemli tanımların neler olduğunu bilmeliyiz.

Sürtünme, Sürtünme Yüksekliği Nedir ?:

Akışkan katmanlar, boru eksenine göre pozisyonlarına bağlı olarak farklı hızlarda hareket ederler. Hız, boru cidarında sıfır iken ekseninde maksimum değerindedir (Tam gelişmiş Akış).Akışkan katmanlar arasındaki hızdaki fark sürtünmenin kaynağıdır .Sürtünmenin diğer bir kaynağı da boru cidarı ve pürüzlere yakın veya boru yüzeyindeki küçük girinti ve çıkıntılara yakın akışkan katmanlarının birbirleriyle etkileşimleridir. Bu iki sürtünme kaynağının toplamı akışkan hareketine bağlı toplam sürtünme değeridir. Sürtünme yüksekliği akışkana bağlı bir enerji kaybıdır.



Şekil 1.1 : Boru Parçası/ modeli



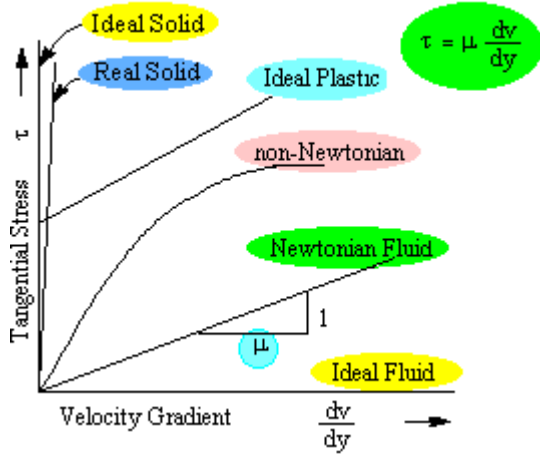
Sistemin Reynolds sayısına bağlı olarak, kuvvet; hıza,alana, vizkoziteye, pürüzlülüğe ve boru boyuna göre değişecektir.

Bu yüzden, bu etkinin karakterizasyonu için bazı formül ve metotların kombinasyonu gerekecektir.

Şekil 1.2 : Sürtünmenin oluşumu ,sürtünme kuvveti ve kayma gerilmesi.

(*) Hhydraulic institue-LCC Anelize for Pumping Systems ISBN:1-880952-58-0 ,ISBN 1-880952-65-6 LCC Guide Turkish Edition.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi, artan akışkan hızına ve akışkanın türüne bağlı olarak sabit test alanı dahilinde, sürtünme kuvveti ve oluşturduğu kayma gerilmesi çok farklı karakteristikde değişmektedir. Biz hesap metodlarımızın çoğunda, Newtonsal akışkanların kullanıldığını öngörmekteyiz. Aksi durum gerekli ek bilgilerle tarafınıza aktarılacaktır.



Şekil 1.3 : Akışkan türüne göre, hız ve kayma gerilmesi karakteristikleri.

Reynolds Sayısı Nedir ?:

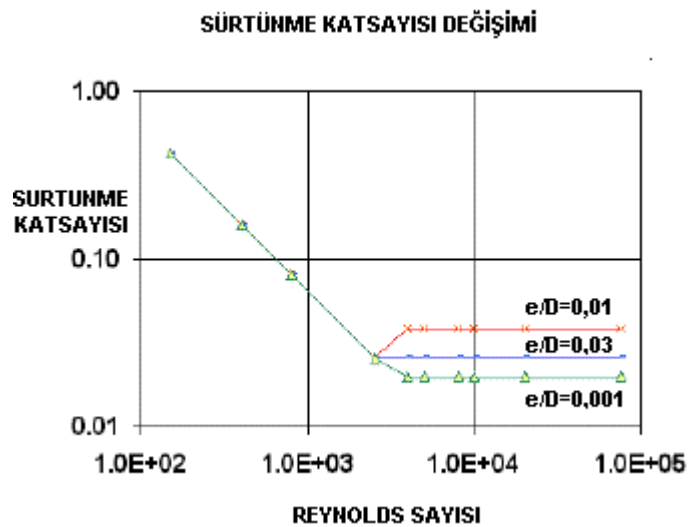
Reynolds sayısı, bizim pompa sistemlerindeki sürtünme kaybı hesabında kullanacağımız metodu belirlemede oldukça önemli bir sayıdır. Her hangi bir birimi olmayan bu sayı, kinematik viskozite, ortalama hız ve boru iç çapı ile ilişkilidir. Kinematik viskozitede, mutlak viskozitenin akışkan yoğunluğuna oranıdır. 3 önemli sistem karakteristiğini olan, akışkanın hızını, viskozitesini ve yoğunluğunu içerir. Bu sayının yorumuyla akışın laminar veya türbülanslı olup olmadığına karar veririz. Bu karar ileride anlatacağımız hesap metodu seçiminde etkileyecektir.

$$Re = 1000 \frac{v(m/s) D(mm)}{\nu(cSt)}$$

$$Re = 7745.8 \frac{v(ft/s) D(in)}{\nu(cSt)}$$

Re < 2000: f = 64/Re – laminar

2500 < Re < 4000: Laminar ve Türbülanslı



Şekil 1.4 : Bağlı bürüzlülük katsayısı (e/D)'na göre değişim e=mutlak pürüzlülük D=boru çapı)

3. SÜRTÜNME KAYIP KATSAYISI ve SÜRTÜNME KAYBI HESAP METOTLARI :

Re < 2000	Laminer Akış	Sürtünme Katsayısı $f = 64/Re$
2500 < Re < 4000	Kısmi Türbülans	$f =$ Laminer'den interpolasyon+Mody Diy.
4000 < Re		

Darcy-Weisbach Formülü ;

$$h_L = f \frac{LV^2}{D2g} = \frac{8fLQ^2}{gD^5\pi^2} \quad V = \frac{Q}{A}$$

f : Darcy-weisbach Sürtünme Faktörü(Katsayısı)

g : Yerçekim sabiti = 32.174 ft/s² = 9.806 m/s²

Q : Debi (m³/h)

The Darcy-Weisbach *Sürtünme faktörü*, boru çidarı kayma gerilmesi gibi bazı değişkenlerin bir fonksiyonudur. Tekrar bir boyut analizi yaparak, sürtünme faktörü için bir fonksiyonel ilişki geliştirilirse ;

$f = F\left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{D}\right) = F\left(Re, \frac{\epsilon}{D}\right)$ Şeklinde bir fonksiyonla ifade edilebilecektir.

Colebrook-White Denklemi ve Moody Diyagramı ;

En eski fakat en popüler hesaplama metotlarından biridir. Bu denklemin kullanılmasındaki zorluk, denklemin dolaylı bir sürtünme faktörü fonksiyonu olmasıdır. Tipik olarak, denklem başlangıçta tahmin edilen bir sürtünme faktörü değerinin, denklemin her iki tarafında eşitleninceye kadar ,itere edilmesiyle çözülür. Denklem bu şekliyle oldukça zaman alıcı ve zor bir formdadır.

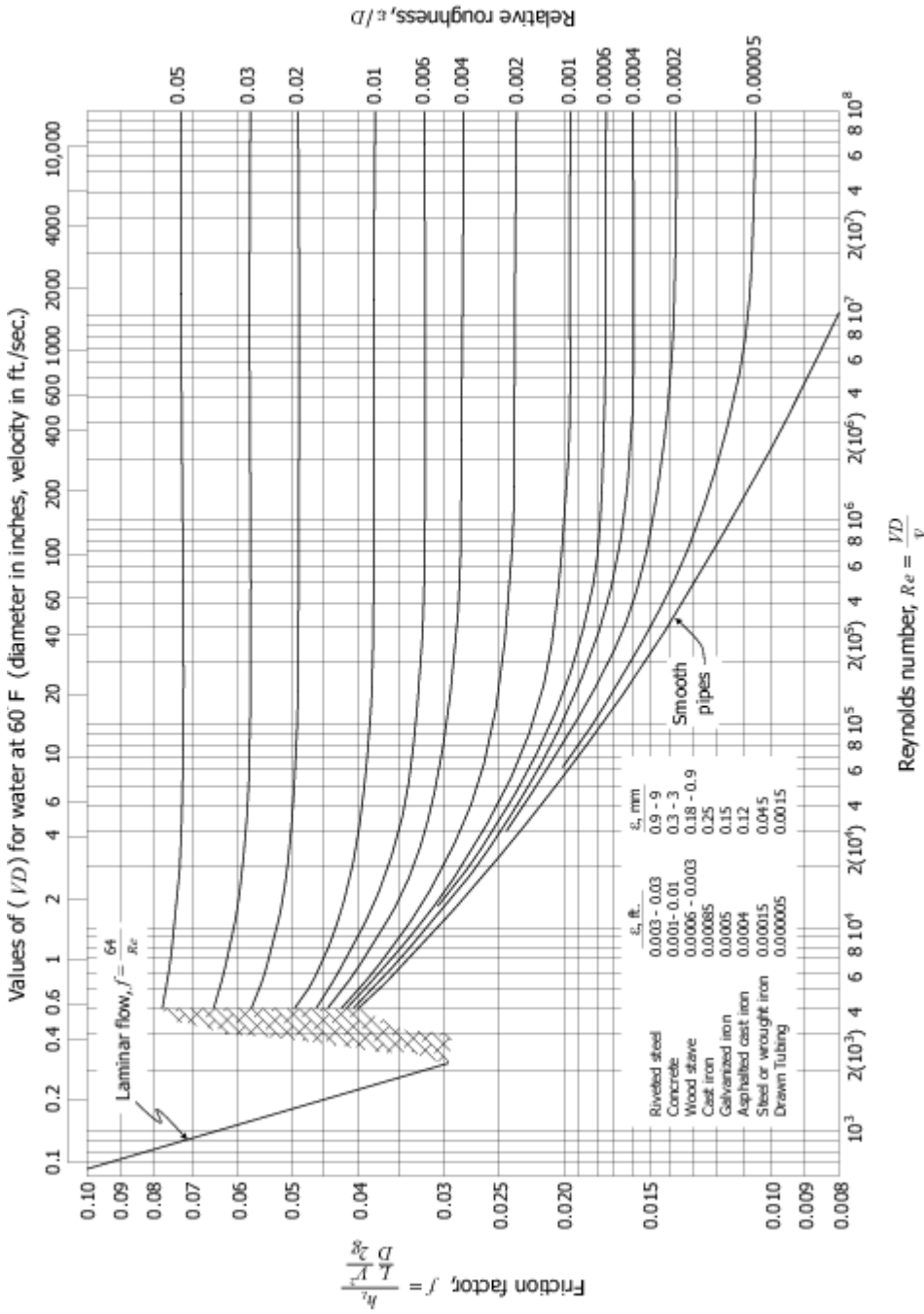
Reynold sayısı düşük olduğu ,düşük hız ve/veya yüksek vizkozite değerinde (4.000<Re<50.000) yüzey pürüzlülüğünün etkisi hızın etkisine eşit bir seviyededir. Re>50.000 civarı olan yüksek hız ve/veya düşük vizkozite durumunda bu değer tamamiyle boru pürüzlülüğüne bağlıdır.

$$f = \frac{64}{Re} \quad Re < 2500$$

$$f = \frac{0.25}{\left(\log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad 4000 < Re < 50000$$

$$\frac{1}{f} = -2 \log_{10}\left(\frac{\epsilon}{3.7D}\right) \quad Re > 50000$$

Mody diyagramı (Bknz Şek 1.5) Colebrook-White denkleminin bir grafiksel çözümü olarak, Darcy-Weisbach sürtünme faktörü için geliştirilmiştir.



Şekil 1.5 :Mody Diyagramı.

Swamee-Jain Metodu ;

Swamee ve Jain (1976) tarafından geliştirilen bu formül Darcy-Weisbach sürtünme faktörü yaklaşımında, Colebrook-White denklemi iterasyonundan çok daha kolay bir metottur.

Nisbi kolaylık ve yüksek doğruluk oranından dolayı, bir çok su dağıtım sistemi tasarımı yapan softwhare yazılım paketlerinde, sürtünme kaybı hesabında kullanılmaktadır.

$$4 \times 10^3 \leq Re \leq 1 \times 10^8 \quad \text{ve}$$

$$1 \times 10^{-6} \leq \epsilon/D \leq 1 \times 10^{-2}$$

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Hazen - Williams Metodu ;

Bir başka kullanıcı dostu sayılan ve özellikle kullanımı Kuzey Amerikada daha yaygın olan formül ***Hazen-Williams formülüdür.***

$$h_L = \frac{C_f L}{C^{1.852} D^{4.87}} Q^{1.852}$$

h_L = Basınç kaybı(Sürtünme) (ft, m)

L =	Emme ve Basma arası uzaklık (ft, m)
C =	Hazen-Williams C-faktörü
D =	Boru çapı (ft, m)
Q =	Debi (cfs, m ³ /s)
C _f =	Birim çevirim faktörü (4.73 English, 10.7 SI)

<i>Çap:Su geçiş/temas boru çapı</i>	Farklı Çaplardaki Borular için C-Faktörü					
Boru Tipi	1.0 in. (2.5 cm)	3.0 in. (7.6 cm)	6.0 in. (15.2 cm)	12 in. (30 cm)	24 in. (61 cm)	48 in. (122 cm)
Kaplamasız döküm – Düzgün ve yeni		121	125	130	132	134
Kaplamalı döküm – Düzgün ve yeni		129	133	138	140	141
30 yaşında						
Trend 1 – Düşük seviyeli yıpranma		100	106	112	117	120
Trend 2 - Orta seviyeli yıpranma		83	90	97	102	107
Trend 3 – Kayda değert yıpranma		59	70	78	83	89
Trend 4 – Yüksek Oranlı Aşınma		41	50	58	66	73
60 yaşında						
Trend 1 – Düşük seviyeli yıpranma		90	97	102	107	112
Trend 2 - Orta seviyeli yıpranma		69	79	85	92	96
Trend 3 – Kayda değert yıpranma		49	58	66	72	78
Trend 4 – Yüksek Oranlı Aşınma		30	39	48	56	62
100 Yaşında						
Trend 1 – Düşük seviyeli yıpranma		81	89	95	100	104
Trend 2 - Orta seviyeli yıpranma		61	70	78	83	89
Trend 3 – Kayda değert yıpranma		40	49	57	64	71
Trend 4 – Yüksek Oranlı Aşınma		21	30	39	46	54
Çeşitli Tipler ;						
Yeni kazınmış borular		109	116	121	125	127
Yeni Zımparanalmış (Fırçalama)Borular		97	104	108	112	115
Eskimiş kaplı değişik yaşlardaki döküm borular						
Galvanizlenmiş demir – Düzgün ve yeni	120	129	133			
Wrought iron – Düzgün ve yeni.	129	137	142			
Kaplanmış Çelik – Düzgün ve yeni.	129	137	142	145	148	148
Kaplanmamış çelik – Düzgün ve Yeni	134	142	145	147	150	150
Aspest kaplı çimento – Temiz		147	149	150	152	

Aspest kaplanmamış cimento- Temiz		142	145	147	150	
Tablo 1.1: Lamont (1981)'den çevrilmiştir.						
Farklı Çaplardaki Borular için C- Faktörü						
Boru Tipi	1.0 in. (2.5 cm)	3.0 in. (7.6 cm)	6.0 in. (15.2 cm)	12 in. (30 cm)	24 in. (61 cm)	48 in. (122 cm)
Dönel cimento-doğrusal-Temiz		147	149	150	152	153
Düz boru prinç, bakır, polyethylene, and PVC) - Temiz	140	147	149	150	152	153
PVC ağır – Temiz	134	142	145	147	150	150
Beton						
Class 1 - Cs = 0.27; Temiz		69	79	84	90	95
Class 2 - Cs = 0.31; Temiz		95	102	106	110	113
Class 3 - Cs = 0.345; Temiz		109	116	121	125	127
Class 4 - Cs = 0.37; Temiz		121	125	130	132	134
Best - Cs = 0.40; Temiz		129	133	138	140	141
Preslenmiş Beton Borular - Temiz				147	150	150
Tablo 1.2 :Lamont (1981)'den çevrilmiştir.						

Borunun C faktörü,türbülans koşulları altındaki akış hızlarında değişkenlik gösterebilir.Aşağıdaki denklemi C Faktörünü değişik hızlar için ayarlama kullanabilirsiniz. Yinede yapılan bu düzeltmenin etkisi genellikle çok sınırlı kalmaktadır. İkikatına çıkan bir akış hızında, sürtünme faktörünün sadece % 5 azaldığı görülecektir.Bu farklılık genellikle başlangıçta tahmin edilen pürüzlülük değeri için , hata Kabul sınırları içinde kalmaktadır.Bununla beraber, yüksek akış hızlarında (V>10 ft/sn) yapılan C Faktörü deney sonuçlarında elde edilen değerler, düşük hızlardaki basınç kaybı hesaplarında kullanıldığında çok önemli bir hata yapılmış olacaktır.

$$C = C_o \left(\frac{V_o}{V} \right)^{0.081}$$

C = Hıza göre ayarlanmış C faktörü

Co = Referans C Faktörü.

Vo = Kararlaştırılan hız değerindeki,referans hız değeri (L/T)

Manning Metodu ;

Açık kanal akışları için daha çok tercih edilen tipik bir sürtünme kaybı hesap metotudur.

$$h_L = \frac{C_f L (nQ)^2}{D^{5.33}}$$

n = Manning pürüzlülük katsayısı.

Cf = Birim çevrim faktörü (4.66 English, 10,29 SI)

Diğer basınç kaybı tanımlarının geçerliliği ile birlikte, manning formülü boru uzunluk ve çapına, çıkış veya boru içindeki akışın debisine ve pürüzlülük katsayısına bağlıdır. Bu durumda yüksek bir “n” değeri, yüksek bir dahili pürüzlülüğü göstermektedir. Aşağıdaki tablo sık kullanılan boru malzemeleri için tipik manning pürüzlülük faktörünü bulmanız için verilmiştir.

Materyal	Manning Faktörü	Materyal	Manning Faktörü
Asbestos beton	.011	Dalgalı(Kıvrımlı)Metal	.022
Prinç	.011	Galvanizlenmiş demir	.016
Tuğla	.015	Kurşun	.011
Dökme demir - Yeni	.012	Plastik	.009
Beton		Çelik	
Çelik Formlar	.011	Kömür-kadran mineli	.010
Ahşap Formlar	.015	Yeni içkaplamasız	.011
Dönel Formlar	.013	Perçimlenmiş	.019
Bakır	.011	Ahşap(Fıçı tahtası)	.012

Tablo 2 : Manning's Pürüzlülük Değerleri

Hesap Metotlarının Karşılaştırılması ;

Darcy-waisbach formülü daha çok fiziksel temelli bir denklem olup, 2.Newton yasasından türetilmiştir.Uygun bir akışkan vizkozitesi ve yoğunluğunda , hertürlü newtonsak akışkan ve (**Bakınız sayfa 2 Şekil 1.3**) akış rejiminde bir borudaki basınç kaybının bulunması için kullanılabilir.

Diğer taraftan Hazan-Williams denklemi, ampirik (Deneysel) temelli ifadelerde ve genellikle türbülanslı akış koşullarındaki sadece Su uygulamalarında kullanılmaktadır.

Hazan-Williams metodu, Amerika'da en çok tercih edilen, Darcy-Waisbach Avrupa'da en çok tercih edilen, Manning ise Avusturalya'da kısmen tercih edilen hesaplama metodudur. Manning formülü genellikle tipik su dağıtım modellerinde kullanılmamaktadır.

Kaynaklar ;

1. "Friction factor for pipe flow" L.F.Moddy Trans. A.S.M.E Vol 66,1944
2. Fluid System Pressure Calculations and Centrifugal Pump Sizing by J. Chaurette
3. Willams and Hazen , 1920, ASCE, 1992
4. Advanced Water Distribution Models and Management, Haestad Press **C-Tables**

<http://www.haestad.com/library/books/awdm/online/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm>

5. Fluid Mechanics: with Engineering Applications. Tenth Edition; E. John, Joseph B. Franzini.
6. Elementary Fluid Mechanics. Third edition Vennard, John K.(Html tanıtımı üzerinden)
7. Alarko-Carrier Dalğış pompa seçim teknikleri ; E.Cüneyt BULCA 2002