



SU DEBİSİ VE BORU ÇAPI HESABI

ISITMA SİSTEMİ



Su Debisi ve Boru apı Hesabı

Su debisi ve boru çapı hesapları detaylı olarak incelenmiştir. Sıcak sulu ısıtma sistemleri, günümüzde bireysel ve bölgesel konut ısıtmasında, fabrika ve atölye, sera ısıtmasında, jeotermal enerjinin kullanıldığı ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır.

Su Debisi Hesabı

Isıtma sisteminde ihtiyaç duyulan **su debisi**, ısıtma sistemini oluşturan boru sisteminin boyutlandırılmasında (boru çaplarının belirlenmesinde) bilinmesi gereken ilk parametredir. Borudaki akışkan hızı, basınç düşümü gibi diğer parametreler de tespit edildiğinde boru çapları belirlenebilir. **Su debisi**, ısıtma sistemindeki ısı ihtiyacı ve gidiş-dönüş su sıcaklıkları belirlendiğinde *Denklem 1.1* den hesaplanır;

$$m = Q / (\rho \times C_p \times \Delta T) \text{ [m}^3\text{/s]} \text{ *Denklem 1.1*}$$

burada;

m [m³/s] : Su debisi
Q [kW] : Isı ihtiyacı
ρ [kg/m³] : Suyun özkütlesi (Tablo 1.1)
C_p [kJ/kg.°C] : Suyun özgül ısısı (Tablo 1.1)
ΔT [°C] : Gidiş-dönüş borusu arasındaki sıcaklık farkı
Örnek-1.1:

Isıtma ihtiyacı 1000 kW ve ısıtma sistemi gidiş sıcaklığı 90°C ve ısıtma sistemi dönüş sıcaklığı 70°C olan bir seranın ısıtma su ihtiyacı;

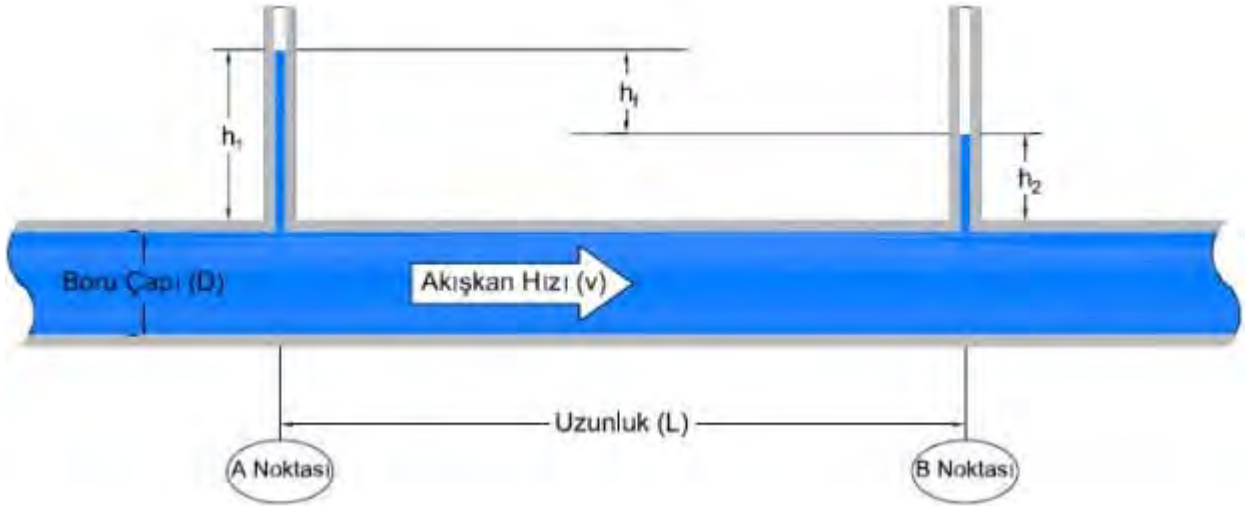
$$m = 1000 / (972 \times 4.198 \times 20) = 0,0123 \text{ [m}^3\text{/s]} = 0,0123 \times 3600 = 44,1 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

NOT: Suyun özkütlesi ve özgül ısısı gidiş-dönüş ortalama sıcaklığına göre (80°C) Tablo 1.1 den bulunan değerlerdir.

Boru apı Hesabı

Isıtma sisteminde ihtiyaç duyulan **su debisi** hesaplandıktan sonra, sistemi oluşturan boru çaplarının belirlenmesi aşağıdaki hesaplama basamakları izlenerek tayin edilir.

Bernoulli Prensibine göre, akışın oluşabilmesi için A Noktasında, B Noktasından daha fazla enerji olması gerekir. (*Şekil 1.1*) Bu enerji farkı, borudaki akışkan ile boru iç cidarı arasındaki sürtünme direncini yenmek için kullanılır.



Şekil 1.1 – Bernoulli Prensibi

Akışkanın toplam enerjisinin değişimi basınç düşümü h_f (m) olarak açıklanır. Basınç düşümü aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

- L [m] : Boru uzunluğu
- D [m] : Boru iç çapı
- V [m/s] : Borudaki ortalama akışkan hızı
- μ [Pa.s] : Akışkanın dinamik viskozitesi
- ρ [kg/m³] : Akışkanın yoğunluğu
- k_s [m] : Boru pürüzlülüğü

Akışkan direncinin oluşturduğu basınç düşümü, D'Arcy-Weisbach Denklemi olarak bilinen *Denklem 1.2* den hesaplanır.

$$h_f = \lambda \times (L/D) \times (\rho \cdot V^2 / 2) \text{ [Pa]} \quad \text{Denklem 1.2}$$

burada;

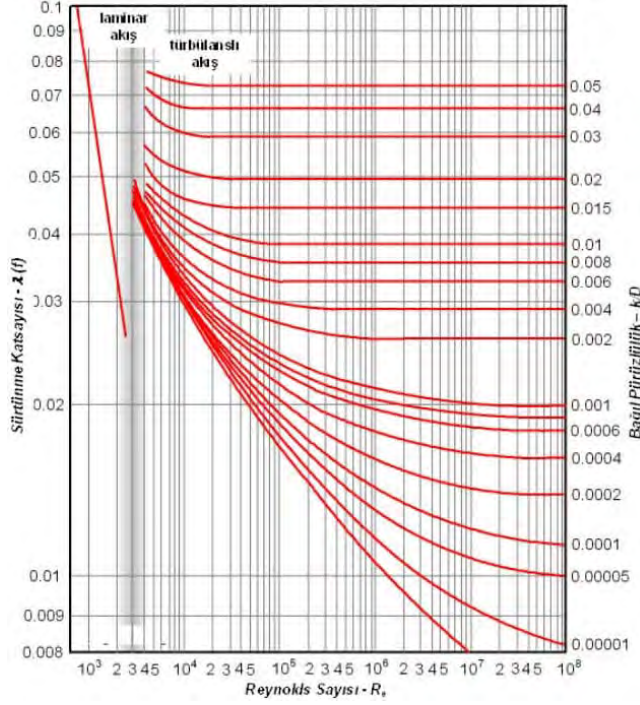
- h_f [Pa] : Basınç düşümü
- λ [-] : Sürtünme katsayısı (Moody diyagramı, Şekil 1.2)
- L [m] : Boru uzunluğu
- D [m] : Boru iç çapı
- V [m/s] : Borudaki ortalama akışkan hızı (Denklem 1.3)
- ρ [kg/m³] : Akışkanın yoğunluğu

Boru çapı hesabı, *Denklem 1.2* nin Deneme-Yanılma Metodu şeklinde kullanılmasıyla yapılır. Akışkan debisine göre yaklaşık boru çapı seçilerek; seçilen boru çapı ve diğer parametreler *Denklem 1.2* de yerine koyulur. Boru uzunluğu, L, yerine 1 yazılarak, akışkanın borunun bir metresinde meydana getirdiği basınç düşümü hesaplanır. Isıtma sistemlerinde borunun bir metresinde tavsiye edilen basınç düşümü küçük çaplı borular için (DN150 den küçük borular) 100-200 Pa/m ve büyük çaplı borular için 100-150 Pa/m dir. Seçilen boru çapının meydana getirdiği basınç düşümü, tavsiye edilen basınç düşüm aralığında kalmalıdır. Eğer seçilen çapa göre meydana gelen basınç düşümü tavsiye edilen basınç düşüm aralığında değilse, seçilen çap değiştirilerek hesaplamalar bu aralığı yakalayana kadar tekrar edilir.

Borudaki akışkan hızı *Denklem 1.3* den hesaplanır.

$$V=(4 \times m)/(\pi \times D^2) \text{ [m/s]} \text{ Denklem 1.3}$$

burada; V [m/s] : Borudaki ortalama akışkan hızı
m [m3/s] : Su debisi (Denklem 1.1)
D [m] : Boru iç çapı



Şekil 1.2 Moody Diyagramı

Boru çapının hesaplanması ve basınç düşümünün hesaplanması, bağıl pürüzlülük, Reynolds Sayısı, akışkanın dinamik viskozitesi gibi diğer gerekli parametrelerin hesaplanması *Örnek-1.2* de açıklanmıştır.

Örnek-1.2:

Isıtma suyu ihtiyacı 45 [m³/h] olan sera ısıtma sisteminin boru çapı nedir? (Ortalama su sıcaklığı 80°C)

1. İterasyon (Boru çapı = DN150 , D=160,3mm)

• Borudaki akışkan hızı *Denklem 1.3* den hesaplanır.

$$V=(4 \times 45)/(\pi \times 3600 \times 0,1603^2)=0,62 \text{ [m/s]}$$

• Sürtünme katsayısı Reynolds Sayısına bağlı olduğundan Reynolds Sayısı *Denklem 1.4* den hesaplanır

$$Re=\rho \times V \times D/\mu \text{ [-]} \text{ Denklem 1.4}$$

burada;

Re [-] : Reynolds Sayısı

ρ [kg/m³] : Akışkanın yoğunluğu (Tablo 1.1)

V [m/s] : Borudaki ortalama akışkan hızı (*Denklem 1.3*)

D [m] : Boru iç çapı

μ [Pa.s] : Suyun dinamik viskozitesi (Tablo 1.1)

SUYUN TERMAL ÖZELLİKLERİ				
Sıcaklık T (°C)	Dinamik Viskozite μ (N s/m ²) x 10 ⁻³	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Hacim v (m ³ /kg)	Özgül Isı c _p (kJ/kg.°C)
0	1,787	1000,00	0,001000	4,210
5	1,519	1000,00	0,001000	4,204
10	1,307	1000,00	0,001000	4,193
20	1,002	998,00	0,001002	4,183
30	0,798	996,02	0,001004	4,179
40	0,653	992,06	0,001008	4,179
50	0,547	988,14	0,001012	4,182
60	0,467	983,28	0,001017	4,185
70	0,404	977,52	0,001023	4,191
80	0,355	971,82	0,001029	4,198
90	0,315	965,25	0,001036	4,208
100	0,282	957,85	0,001044	4,219

Tablo 1.1 – Suyun Termal Özellikleri

Denklem 1.4 den ;

$$Re=971,82 \times 0,62 \times 0,1603 / (0,355 \times 10^{-3}) = 272071 [-]$$

• Sürtünme katsayısı bağlı pürüzlülüğe bağlı olduğundan bağlı pürüzlülük *Denklem 1.5* den hesaplanır.

$$B.Pürüzlülük = k_s / D [-] \text{ *Denklem 1.5*}$$

burada;

ks [m] : Boru pürüzlülüğü (Tablo 1.2)

D [m] : Boru iç çap

Malzeme Cinslerine Göre Pürüzlülük Katsayıları	
Borunun Cinsi	Pürüzlülük Katsayısı k_s $\times 10^{-3}$
Bakır	0,001 - 0,002
PVC ve Plastik Borular	0,0015 - 0,007
Paslanmaz Çelik	0,015
Siyah Çelik	0,045 - 0,09
Galvanizli Çelik	0,15

Tablo 1.2 – Malzeme cinslerine göre pürüzlülük katsayıları

Denklem 1.5 den ;

$$B.Pürüzlülük = 0,045 \times 10^{-3} / 0,1603 = 0,0003 [-]$$

• Sürtünme katsayısı, bulunan Reynold Sayısı (272071) ve bağlı pürüzlülüğe (0,0003) göre Şekil 1.2 den $\lambda = 0,016$ bulunur.

• Tüm bulunan bu değerler *Denklem 1.2* de yerine koyularak basınç düşümü hesaplanır.

$$hf = 0,016 \times (1/0,1603) \times (971,82 \times 0,62^2 / 2) = 18,64 \text{ [Pa/m]}$$

Basınç düşümü, tavsiye edilen basınç düşümünden (100-150 Pa/m) çok düşük olduğu için yukarıdaki hesap basamakları daha küçük çaplarda bu basınç düşümü aralığında bir değer bulunana kadar tekrarlanır.

2. İterasyon (Boru çapı = DN100 , D=107,1mm)

$$V=(4 \times 45)/(\pi \times 3600 \times 0,1071^2)=1,39 \text{ [m/s]}$$

$$Re=971,82 \times 1,39 \times 0,1071 / (0,355 \times 10^{-3}) = 407532[-]$$

$$B.Pürüzlülük = 0,045 \times 10^{-3} / 0,1071 = 0,0004 [-]$$

• Sürtünme katsayısı, bulunan Reynold Sayısı (407532) ve bağlı pürüzlülüğe (0,0004) göre Şekil 1.2 den $\lambda = 0,016$ bulunur.

$$hf = 0,016 \times (1/0,1071) \times (971,82 \times 1,39^2 / 2) = 140,25 \text{ [Pa/m]}$$