

Isı Kaybı Hesabı

Ön izolasyonlu paket boruların direk olarak toprağa gömülmesi halinde borunun bir metresinde meydana gelen ısı kaybı, ϕ , *Denklem 2.1* den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\phi = U(t_f - t_g) [W/m]$$

Denklem 2.1

burada;

ϕ [W/m] : Ön izolasyonlu paket borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı

U [W/m°C] : Ön izolasyonlu paket borunun ısı iletkenlik katsayısı (*Denklem 2.2*)

t_f [°C] : Akışkan sıcaklığı

t_g [°C] : Toprak sıcaklığı (boruların gömüldüğü derinlikte)

Isıl iletkenlik katsayısı, U, *Denklem 2.2* den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_s + R_{PUR} + R_{PE} + R_g} [W/m^{\circ}C]$$

Denklem 2.2

burada;

U [W/m°C] : Ön izolasyonlu paket borunun ısı iletkenlik katsayısı

R_s [m°C /W] : Servis borunun ısı iletkenlik direnci (*Denklem 2.3*)

R_{PUR} [m°C /W] : İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik direnci (*Denklem 2.4*)

R_{PE} [m°C /W] : Kılıf borunun ısı iletkenlik direnci (*Denklem 2.5*)

R_g [m°C /W] : Toprağın ısı iletkenlik direnci (*Denklem 2.6*)

Isıl iletkenlik dirençleri *Denklem 2.2 - Denklem 2.6* dan aşağıdaki gibi hesaplanır.

R_s , Servis borunun Isıl İletkenlik Direnci

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} \ln \frac{D_o}{D_i} [m^{\circ}C/W]$$

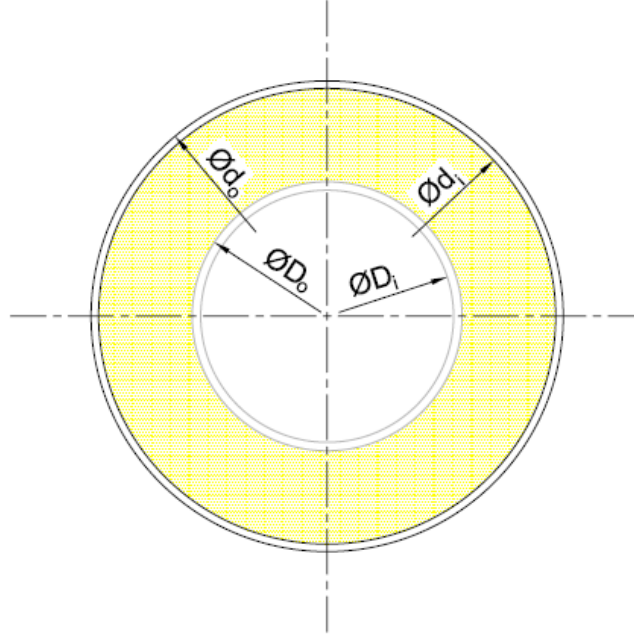
Denklem 2.3

burada;

- R_s [m°C /W] : Servis borunun ısı iletkenlik direnci (Denklem 2.3)
 D_o [mm] : Servis borunun dış çapı
 D_i [mm] : Servis borunun iç çapı
 λ_s [W/m°C] : Servis borunun ısı iletkenlik katsayısı (Tablo 2.1)

Malzeme Cinslerine Göre Isıl İletkenlik Katsayısı	
Servis borunun Cinsi	Isıl İletkenlik Katsayısı λ (W/m.°C)
Siyah Çelik	76
Paslanmaz Çelik	16
PP-R	0,15
Bakır	400
CTP	0,31
Polietilen(HD)	0,43

Tablo 2.1 – Malzeme Cinslerine Göre Isıl İletkenlik Katsayısı



Şekil 2.1 – Servis ve Kılıf Borunun İç ve Dış Çapı

R_{PUR} , İzolasyon Malzemesinin Isıl İletkenlik Direnci

$$R_{PUR} = \frac{1}{2\pi\lambda_{PUR}} \ln \frac{d_i}{D_o} [m°C/W]$$

Denklem 2.4

burada;

R_{PUR} [$m^{\circ}C / W$] : İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik direnci (Denklem 2.4)

D_o [mm] : Servis borunun dış çapı

d_i [mm] : Kılıf borunun iç çapı

λ_{PUR} [$W/m^{\circ}C$] : İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı

Standarta göre poliüretan izolasyon malzemesinin azami değeri 0,033 [$W/m^{\circ}C$] dir. **İZOBOR** tarafından kullanılan poliüretan izolasyon malzemesinin değeri $\lambda_{PUR} = 0,028$ [$W/m^{\circ}C$] dir.

R_{PE} , Kılıf Borunun Isıl İletkenlik Direnci

$$R_{PE} = \frac{1}{2\pi\lambda_{PE}} \ln \frac{d_o}{d_i} [m^{\circ}C/W]$$

Denklem 2.5

burada;

R_{PE} [$m^{\circ}C / W$] : Kılıf borunun ısı iletkenlik direnci

d_o [mm] : Kılıf borunun dış çapı

d_i [mm] : Kılıf borunun iç çapı

λ_{PE} [$W/m^{\circ}C$] : Kılıf borunun ısı iletkenlik katsayısı (Polietilen boru için $\lambda_{PE} = 0,43$)

R_g , Toprağın Isıl İletkenlik Direnci

$$R_g = \frac{1}{2\pi\lambda_g} \ln \frac{4Z}{d_o} [m^{\circ}C/W]$$

Denklem 2.6

burada;

R_g [$m^{\circ}C / W$] : Toprağın ısı iletkenlik direnci

d_o [mm] : Kılıf borunun dış çapı

Z [mm] : Toprak dolgu yüksekliği,

Servis borunun merkezinden toprak üst seviyesine ölçülen dolgu yüksekliğine (Z_c) toprağın yüzey direnci (100mm) eklenerek bulunur. $Z = Z_c + 0,1m$

λ_g [$W/m^{\circ}C$] : Toprağın ısı iletkenlik katsayısı (Tablo 2.2)

Toprak özelliklerinin tam olarak tespit edilemediği durumlarda $\lambda_g = 2,0$ [$W/m^{\circ}C$] olarak alınabilir.

Toprağın Isıl İletkenlik Katsayısı			
Cinsi	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Hacimsel Nem Oranı %	Isıl İletkenlik Katsayısı λ (W/m.°C)
Kum	1500	4	1,04
	1800	14	1,70
Killi Toprak	1500	23	1,50
	2000	28	2,60

Tablo 2.2 – Toprağın Isıl İletkenlik Katsayısı

Örnek-2.1:

Isıtma suyu ihtiyacı 45 [m³/h] olan sera ısıtma sisteminin boru çapı DN150 ve ısıtma suyu gidiş sıcaklığı 90[°C] dir. Isıtma sisteminde ön izolasyonlu paket boru (izoleli boru veya jeotermal boru) kullanılmaktadır ve hattının uzunluğu 1000[m] dir. Buna göre, borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı ve ısıtma suyunun hattın sonundaki sıcaklığı nedir? (Dolgu yüksekliği 500mm ve boruların gömüldüğü derinlikte toprak sıcaklığı 5[°C] dir.)

İzoleli borunun özellikleri:

D _o	[mm]	= 168,3
D _i	[mm]	= 160,3
d _o	[mm]	= 250,0
d _i	[mm]	= 242,2
λ_s	[W/m°C]	= 76
λ_{PUR}	[W/m°C]	= 0,028
λ_{PE}	[W/m°C]	= 0,43
λ_g	[W/m°C]	= 1,70

Isıl iletkenlik dirençleri *Denklem 2.2 - Denklem 2.6* da yukarıdaki değerler kullanılarak hesaplanır.

$$R_s = \frac{1}{2\pi \times 76} \ln \frac{168,3}{160,3} = 0,00010 [m^\circ C/W]$$

$$R_{PUR} = \frac{1}{2\pi \times 0,028} \ln \frac{242,2}{168,3} = 2,0691 [m^\circ C/W]$$

$$R_{PE} = \frac{1}{2\pi \times 0,43} \ln \frac{250,0}{242,2} = 0,0117 [m^\circ C/W]$$

$$R_g = \frac{1}{2\pi \times 1,70} \ln \frac{4 \times (500 + 100)}{250,0} = 0,1799 [m^\circ C/W]$$

Isıl iletkenlik katsayısı,U, *Denklem 2.2* den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$U = \frac{1}{0,00010 + 2,0691 + 0,0117 + 0,1799} = 0,4423 [W/m^\circ C]$$

Borunun bir metresinde meydana gelen ısı kaybı, ϕ , *Denklem 2.1* den hesaplanır.

$$\phi = 0,4423 \times (90 - 5) = 37,59 [W/m]$$

İzolasyon tiplerine göre, farklı sıcaklıklar ve muhtelif çaplar için toprağa gömülü ön izolasyonlu paket boruların bir metresinde meydana gelen ısı kayıpları *Tablo 2.3*, *Tablo 2.4*, ve *Tablo 2.5* de gösterilmiştir.

Hattın sonundaki akışkan sıcaklığı *Denklem 2.7* den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$t_2 = t_1 - \Delta T = t_1 - \frac{\phi \times L}{m \times \rho \times C_p \times 1000} [^\circ C]$$

Denklem 2.7

burada;

t_2 [°C] : Suyun son sıcaklığı

t_1 [°C] : Suyun ilk sıcaklığı

ϕ [W/m] : Ön izolasyonlu paket borunun 1 metresinde meydana gelen ısı kaybı

L [m] : Boru uzunluğu

m [m³/s] : Su debisi

ρ [kg/m³] : Suyun özkütlesi (Tablo 1.1)

C_p [kJ/kg.°C] : Suyun özgül ısısı (Tablo 1.1)

Denklem 2.7 den ;

$$t_2 = 90 - \frac{37,59 \times 1000}{45/3600 \times 965,25 \times 4,208 \times 1000} = 90 - 0,74 = 89,26 [^\circ C]$$

**SERİ-1* E GÖRE TOPRAĞA GÖMÜLÜ
ÖN İZOLASYONLU PAKET BORUDA MEYDANA GELEN
BİRİM ISI KAYBI (W/m)**

Servis Borusu (Siyah Çelik) Özellikleri				Kılıf Boru (HDPE) Özellikleri		Sevis Borusundaki Su Sıcaklığı			
Çelik Boru Anma Çapı		Dış Çap	Et Kalınlığı	Dış Çap	Et Kalınlığı	60°C	70°C	80°C	90°C
DN	inch	mm	mm	mm	mm	W/m	W/m	W/m	W/m
15	½"	21,3	2,0	75	2,2	7,7	9,1	10,5	12,0
20	¾"	26,9	2,0	90	2,2	8,0	9,5	10,9	12,4
25	1"	33,7	2,3	90	2,2	9,9	11,7	13,4	15,2
32	1 ¼"	42,4	2,6	110	2,5	10,2	12,0	13,8	15,7
40	1 ½"	48,3	2,6	110	2,5	11,8	13,9	16,0	18,2
50	2"	60,3	2,9	125	2,5	13,2	15,6	18,0	20,4
65	2 ½"	76,1	2,9	140	3,0	15,9	18,8	21,7	24,6
80	3"	88,9	3,2	160	3,0	16,4	19,4	22,4	25,4
100	4"	114,3	3,6	200	3,2	17,2	20,3	23,4	26,5
125	5"	139,7	3,6	225	3,5	20,1	23,8	27,5	31,1
150	6"	168,3	4,0	250	3,9	24,3	28,7	33,2	37,6
200	8"	219,1	4,5	315	4,9	26,7	31,6	36,5	41,3
250	10"	273	5,0	400	6,3	25,7	30,3	35,0	39,6
300	12"	323,9	5,6	450	7,0	30,0	35,4	40,9	46,3
350	14"	355,6	5,6	500	7,8	29,0	34,3	39,6	44,9
400	16"	406,4	6,3	560	8,8	31,1	36,8	42,4	48,1

*Seri-1 : Standart Tip Poliüretan İzolasyon

Tablo 2.3 – Seri-1' e Göre Ön İzolasyonlu Paket Boruda Meydana Gelen Isı Kaybı

Tasarım Değerleri

λ_s , Servis borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 76 [W/m°C]
λ_{PUR} , İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı	= 0,028 [W/m°C]
λ_{PE} , Kılıf borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 0,43 [W/m°C]
λ_g , Toprağın ısı iletkenlik katsayısı	= 2 [W/m°C]
Z, Toprak dolgu yüksekliği	= 500 [mm]
t_g , Toprak sıcaklığı (boruların gömüldüğü derinlikte)	= 5 [°C]

**SERİ-2' YE GÖRE TOPRAĞA GÖMÜLÜ
ÖN İZOLASYONLU PAKET BORUDA MEYDANA GELEN
BİRİM ISI KAYBI (W/m)**

Servis Borusu (Siyah Çelik) Özellikleri				Kılıf Boru (HDPE) Özellikleri		Sevis Borusundaki Su Sıcaklığı			
Çelik Boru Anma Çapı		Dış Çap	Et Kalınlığı	Dış Çap	Et Kalınlığı	60°C	70°C	80°C	90°C
DN	inch	mm	mm	mm	mm	W/m	W/m	W/m	W/m
15	½"	21,3	2,0	90	2,2	6,7	7,9	9,2	10,4
20	¾"	26,9	2,0	110	2,5	6,9	8,1	9,4	10,6
25	1"	33,7	2,3	110	2,5	8,2	9,7	11,2	12,6
32	1 ¼"	42,4	2,6	125	2,5	8,9	10,5	12,2	13,8
40	1 ½"	48,3	2,6	125	2,5	10,1	12,0	13,8	15,7
50	2"	60,3	2,9	140	3,0	11,5	13,6	15,7	17,8
65	2 ½"	76,1	2,9	160	3,0	13,0	15,3	17,7	20,1
80	3"	88,9	3,2	180	3,2	13,7	16,2	18,6	21,1
100	4"	114,3	3,6	225	3,5	14,2	16,8	19,4	22,0
125	5"	139,7	3,6	250	3,9	16,6	19,6	22,6	25,6
150	6"	168,3	4,0	280	4,4	19,0	22,5	25,9	29,4
200	8"	219,1	4,5	355	5,6	20,2	23,9	27,5	31,2
250	10"	273	5,0	450	7,0	19,6	23,2	26,7	30,3
300	12"	323,9	5,6	500	7,8	22,7	26,8	30,9	35,1
350	14"	355,6	5,6	560	8,8	21,8	25,7	29,7	33,6
400	16"	406,4	6,3	630	9,8	22,6	26,7	30,9	35,0

Tablo 2.4 – Seri-2'ye Göre Ön İzolasyonlu Paket Boruda Meydana Gelen Isı Kaybı

Tasarım Değerleri

λ_s , Servis borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 76 [W/m°C]
λ_{PUR} , İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı	= 0,028 [W/m°C]
λ_{PE} , Kılıf borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 0,43 [W/m°C]
λ_g , Toprağın ısı iletkenlik katsayısı	= 2 [W/m°C]
Z, Toprak dolgu yüksekliği	= 500 [mm]
t_g , Toprak sıcaklığı (boruların gömüldüğü derinlikte)	= 5 [°C]

**SERİ-3' E GÖRE TOPRAĞA GÖMÜLÜ
ÖN İZOLASYONLU PAKET BORUDA MEYDANA GELEN
BİRİM ISI KAYBI (W/m)**

Servis Borusu (Siyah Çelik) Özellikleri				Kılıf Boru (HDPE) Özellikleri		Sevis Borusundaki Su Sıcaklığı			
Çelik Boru Anma Çapı		Dış Çap	Et Kalınlığı	Dış Çap	Et Kalınlığı	60°C	70°C	80°C	90°C
DN	inch	mm	mm	mm	mm	W/m	W/m	W/m	W/m
15	½"	21,3	2,0	110	2,5	5,9	7,0	8,0	9,1
20	¾"	26,9	2,0	125	2,5	6,3	7,4	8,6	9,7
25	1"	33,7	2,3	125	2,5	7,4	8,7	10,0	11,4
32	1 ¼"	42,4	2,6	140	3,0	8,1	9,6	11,1	12,5
40	1 ½"	48,3	2,6	140	3,0	9,1	10,8	12,4	14,1
50	2"	60,3	2,9	160	3,0	9,9	11,7	13,5	15,3
65	2 ½"	76,1	2,9	180	3,0	11,2	13,2	15,2	17,3
80	3"	88,9	3,2	200	3,2	11,9	14,0	16,2	18,3
100	4"	114,3	3,6	250	3,9	12,3	14,6	16,8	19,1
125	5"	139,7	3,6	280	4,4	13,9	16,4	19,0	21,5
150	6"	168,3	4,0	315	4,9	15,5	18,3	21,1	23,9
200	8"	219,1	4,5	400	6,3	16,2	19,2	22,1	25,0
250	10"	273	5,0	500	7,8	16,2	19,1	22,1	25,0
300	12"	323,9	5,6	560	8,8	18,0	21,3	24,5	27,8
350	14"	355,6	5,6	630	9,8	17,2	20,4	23,5	26,7
400	16"	406,4	6,3	710	11,1	17,7	21,0	24,2	27,4

Tablo 2.5 – Seri-3'e Göre Ön İzolasyonlu Paket Boruda Meydana Gelen Isı Kaybı

Tasarım Değerleri

λ_s , Servis borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 76 [W/m°C]
λ_{PUR} , İzolasyon malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı	= 0,028 [W/m°C]
λ_{PE} , Kılıf borunun ısı iletkenlik katsayısı	= 0,43 [W/m°C]
λ_g , Toprağın ısı iletkenlik katsayısı	= 2 [W/m°C]
Z, Toprak dolgu yüksekliği	= 500 [mm]
t_g , Toprak sıcaklığı (boruların gömüldüğü derinlikte)	= 5 [°C]