

TANK VE BORULARDA



ISI YALITIMI

Süreyya AKMAN

Kimya Yüksek Mühendisi



T.C. ENERJİ VE TABİİ
KAYNAKLAR BAKANLIĞI

TANK ve BORULARDA ISI YALITIMI

A. Giriş

B. Yalıtım Malzemeleri

C. Tesis Yalıtımı

D. Boru Sistemlerinin Yalıtımı

E. Ekonomik Yalıtım Kalınlığının Tespiti

A. GİRİŞ

GENEL KURALLAR

• 60°C 'nin üzerinde sıcaklığı olan yüzeylerin tamamı

• 50°C 'nin üzerinde sıcaklığı olan yüzeylerin çoğu

el ile dokunulabilecek yüzey sıcaklığını sağlayabilecek mertebede yalıtılmalıdır. (vana, flanş, boru tutucu ve destek elemanları dahil)

A. GİRİŞ

TEKNİK KURALLAR

- Kullanım yerine göre uygun malzemeler kullanılmalı
- Yalıtımsız yüzey bırakılmamalı
- Çok katlı yalıtımda, malzemeler üst üste tam olarak oturmalı
- Yalıtımlı boru tutucu-destek elemanları kullanılmalı
- Yalıtım uygulaması etkin olarak denetlenmeli ve izlenmeli
- Geniş kapsamlı inceleme ve araştırmalar yapılmalı
 - *Yalıtım öncesi ve sonrası ısı kayıpları ve
 - *Tasarruf ve yatırım miktarları hesaplanmalı

B. YALITIM MALZEMELERİ

- **Organik Malzemeler**
Bitkilerden yapılan ve selülöz içeren malzemeler,
(Mantar, keten, yalıtım keçeleri vb.)



- **İnorganik Malzemeler**
Cam yünü, kaya yünü, vermuculit, perlit, seramik, fiber vb.



- **Sentetik Malzemeler**
Polistren, Poliüretan, Poliisosiyanat, Kauçuk vb.



B. YALITIM MALZEMELERİ

Yalıtım malzemesi seçiminde dikkate alınması gereken hususlar-1:

- Değişik İşletme Sıcaklıklarına Dayanım
- Fiziksel Mukavemet
(taşıma, depolama, işleme ve uygulama)
- Basma Mukavemeti
- Mekanik Mukavemet
(genleşme ve büzülme, titreşimlere dayanım)
- Zararlı Emisyon Yayımama
- Yanma Direnci

B. YALITIM MALZEMELERİ

Yalıtım malzemesi seçiminde dikkate alınması gereken hususlar-2:

- Korozif Etkilere Dayanım
- Yalıtımın Kalınlığı ve Ağırlığı
- Kimyasal Etkilere Karşı Direnci
- Yüksek ısı direnç- R (m^2K/W) / Düşük ısı iletkenlik- λ (W/mK)
- Isı direnç başına en düşük maliyet
- Kolay ve ucuz işçilik

B. YALITIM MALZEMELERİ

Yalıtım uygulaması sırasında dikkate alınması gereken hususlar:

- İşletme sıcaklığı
- Ortam Şartları
- Yalıtımın zarar görme riski
- İşletme şekli (Sürekli - Kesintili)
- Sıcaklık farkı
- Hava hareketleri, gaz hızları

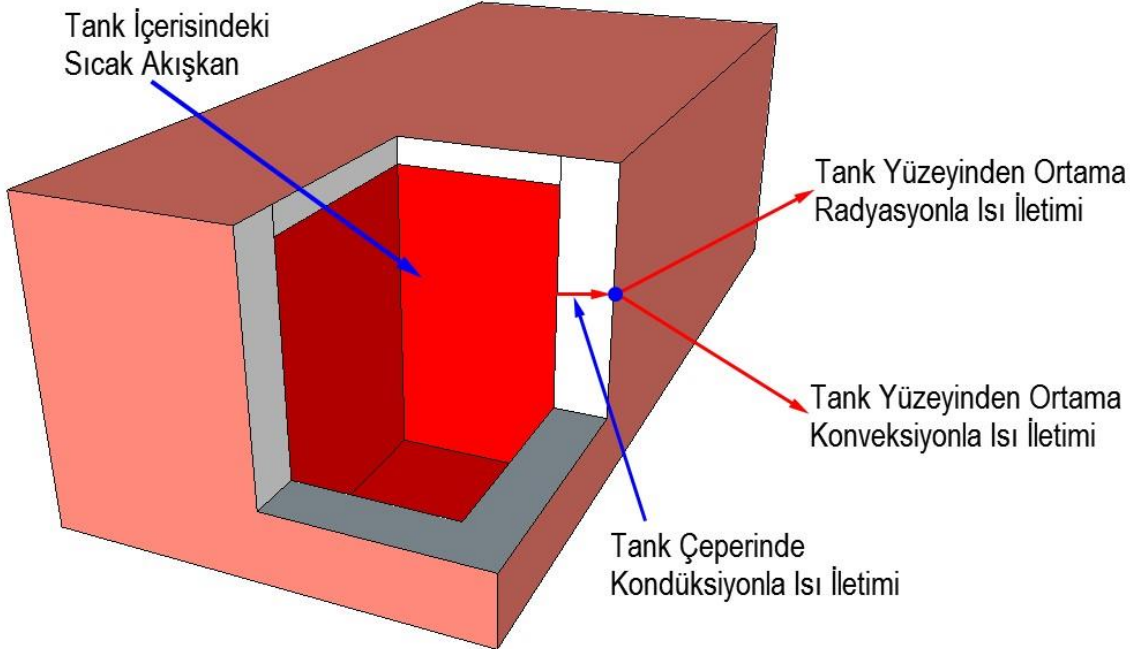
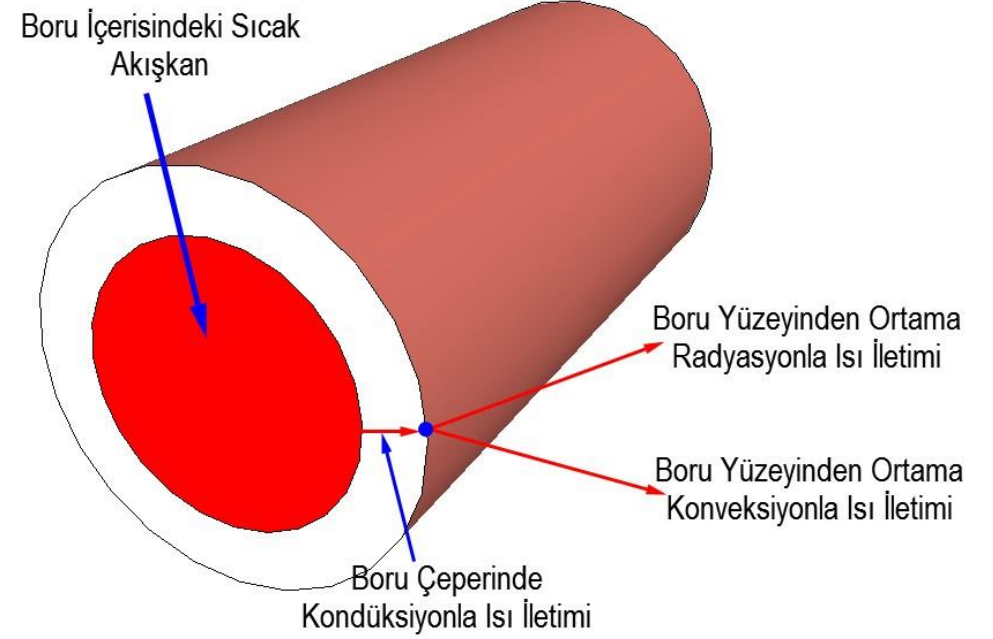
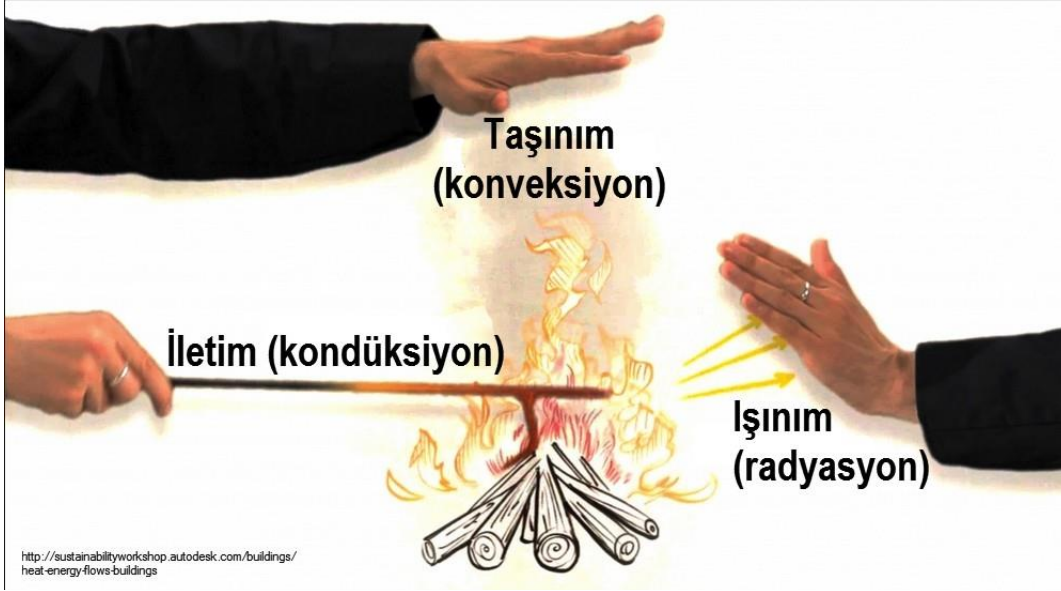
C. TESİS YALITIMI

1. Kazan yalıtımları
2. Tank yalıtımları
3. Baca ve kanal yalıtımları
4. Fırın yalıtımları

ISI İLETİM ŞEKİLLERİ



ISI İLETİM ŞEKİLLERİ



C. TESİS YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI

Konveksiyon ve Radyasyonla olan ısı kaybı

$$Q = (U_c + U_r) \times A \times (T_y - T_o)$$

Q = Isı kaybı (W)

U_c = Konveksiyonla ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

U_r = Radyasyonla ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

T_y = Yüzey sıcaklığı ($^\circ K$)

T_o = Ortam sıcaklığı ($^\circ K$)

C. TESİS YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI (Düzlem Yüzey)

1. Konveksiyonla olan ısı kaybı

$$Q_c = U_c \times A \times (t_y - t_o)$$

U_c = Konveksiyonla ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot K$)

$$U_c = B \times (t_y - t_o)^{0,25}$$

A = Yüzey alanı (m^2)

t_y = Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}K$)

t_o = Ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)

B = Çarpım faktörü

1,45 Dik yüzeyler için

1,70 Yatay yüzeylerin üst kısmı için

0,85 Yatay yüzeylerin alt kısmı için

1,20 Yatay silindirler için

C. TESİS YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI (Düzlem Yüzey)

2. Radyasyonla olan ısı kaybı

$$Q_r = U_r \times A \times (T_y - T_o)$$

U_r = Radyasyonla ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot K$)

$$U_r = 5,67 \times \varepsilon \times \frac{((T_y / 100)^4 - (T_o / 100)^4)}{(T_y - T_o)}$$

A = Yüzey alanı (m^2)

ε = Emissivite katsayısı

T_y = Yüzey sıcaklığı ($^{\circ}K$)

T_o = Ortam sıcaklığı ($^{\circ}K$)

C. TESİS YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI (Düzlem Yüzey)

- Konveksiyonla olan ısı kaybı

$$Q_c = B \times A \times (t_y - t_o)^{1,25}$$

- Radyasyonla olan ısı kaybı

$$Q_r = 5,67 \times \varepsilon \times A \times ((T_y / 100)^4 - (T_o / 100)^4)$$

C. TESİS YALITIMI

YALITIM SONRASI ISI KAYBI (Düzlem Yüzey)

Konveksiyon ve Kondüksiyonla olan ısı kaybı

$$Q = \frac{A \times (T_y - T_o)}{\Sigma R}$$

A = Isı transfer alanı (m²)

R = Isıl direnç (m² °K/W)

T_y = Yüzey sıcaklığı (°K)

T_o = Ortam sıcaklığı (°K)

C. TESİS YALITIMI

Tek kat yalıtım

$$\Sigma R = R_i + R_s$$

R_i = Yalıtım malzemesinin ısı direnci ($m^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$)

R_s = Yüzeye ait ısı direnç ($m^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$)

Çok katlı yalıtım

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_s \text{ ()}$$

$$R = L / \lambda$$

L = Yalıtım kalınlığı (m)

λ = yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik değeri ($\text{W/m}^\circ\text{K}$)

C. TESİS YALITIMI - Örnek

Yalıtımsız yüzeyden olan ısı kaybı

$$Q_{\text{kayıp}} = (U_c + U_r) \times A \times (T_y - T_o)$$

Tank yüzey sıcaklığı	t_s	=	92	°C
Ortam sıcaklığı	t_a	=	35	°C
Yalıtım malzemesinin yoğunluğu		=	60-90	kg/m ³
Isıl iletkenliği	λ	=	0,053	W/m K
et kalınlığı	L	=	40	mm
			0,04	m
Konveksiyonla ısı iletim katsayısı	α_d	=	20	W/m ² K
Tank yüzey alanı	A	=	15,27	m ²
Emisivite	E	=	0,8	

C. TESİS YALITIMI - Örnek

$$U_c = B \times (t_y - t_o)^{0,25}$$

$$U_c = 1,20 \times (92 - 35)^{0,25}$$

$$U_c = 3,2972 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

$$U_r = \frac{5,67 \times \varepsilon \times ((T_y / 100)^4 - (T_o / 100)^4)}{(T_y - T_o)}$$

$$U_r = \frac{5,67 \times 0,8 \times ((365 / 100)^4 - (308 / 100)^4)}{(365 - 308)}$$

$$U_r = 6,9629 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

C. TESİS YALITIMI - Örnek

$$Q_{\text{kayıp}} = (U_c + U_r) \times A \times (T_y - T_o)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = (3,2972 + 6,963) \times 15,27 \times (365 - 308)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 8.930,35 \text{ W}$$

C. TESİS YALITIMI - Örnek

YALITIM SONRASI ISI KAYBI (Düzlem Yüzey)

Konveksiyon ve Kondüksiyonla olan ısı kaybı

$$Q = \frac{A \times (T_y - T_o)}{\frac{L}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_d}}$$

$$Q = \frac{15,27 \times (92 - 35)}{\frac{0,04}{0,053} + \frac{1}{20}} = 1.081,61 \text{ W}$$

C. TESİS YALITIMI - Örnek

$$\text{Enerji Tasarrufu} = Q_{\text{kayıp}} - Q_{\text{yalıtımlı}}$$

$$\text{Enerji Tasarrufu} = 8.930,35 - 1.081,61 = 7.848,74 \text{ W}$$

$$\text{Tasarruf Oranı} = \frac{7.848,74}{8.930,35} \times 100 = \% 88$$

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

- Boru sistemleri vana ve flanşlar da dahil olmak üzere eksiksiz yalıtılmalı.

Bağlı bulunduğu boruya flanşlı bağlantı yapılmış

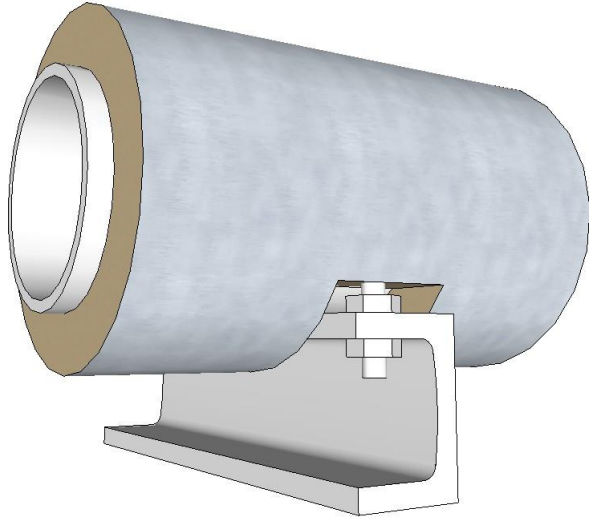
yalıtımsız bir vanadan olan ısı kaybı aynı çapta ve aynı yüzey sıcaklığında, **2,5 m** uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eşdeğerdir.

Yalıtımsız bir flanştan olan ısı kaybı ise aynı çapta ve aynı yüzey sıcaklığında **0,5 m** uzunluğunda yalıtımsız borudan olan ısı kaybına eşdeğerdir.

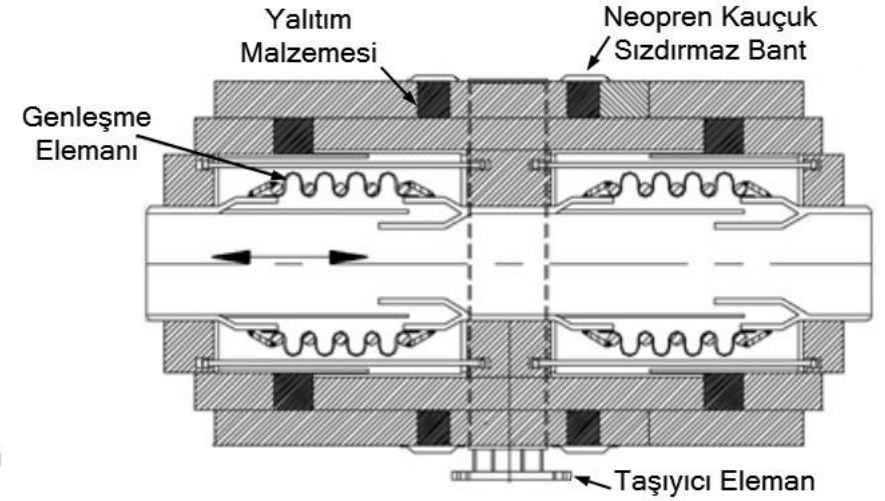
Not: Eşdeğer boru uzunlukları sıcaklık ve çapa göre değişebilmekle birlikte (bu tür değişik değerlere ilişkin tabloları WEB ortamında bulmak mümkündür) bu değerler genel olarak alınabilmektedir.



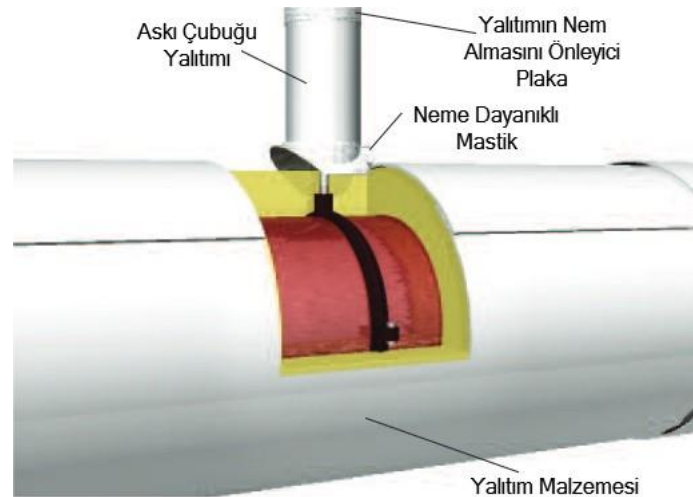
D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI



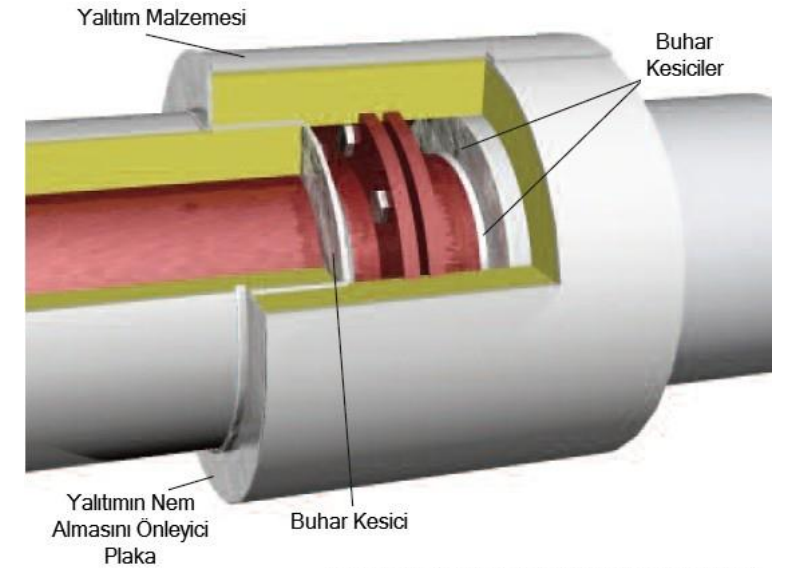
<http://insulationinstitute.org/wp-content/uploads/2015/11/CI228.pdf>



<http://www.pipeshields.com>



<http://insulationinstitute.org/wp-content/uploads/2015/11/CI228.pdf>



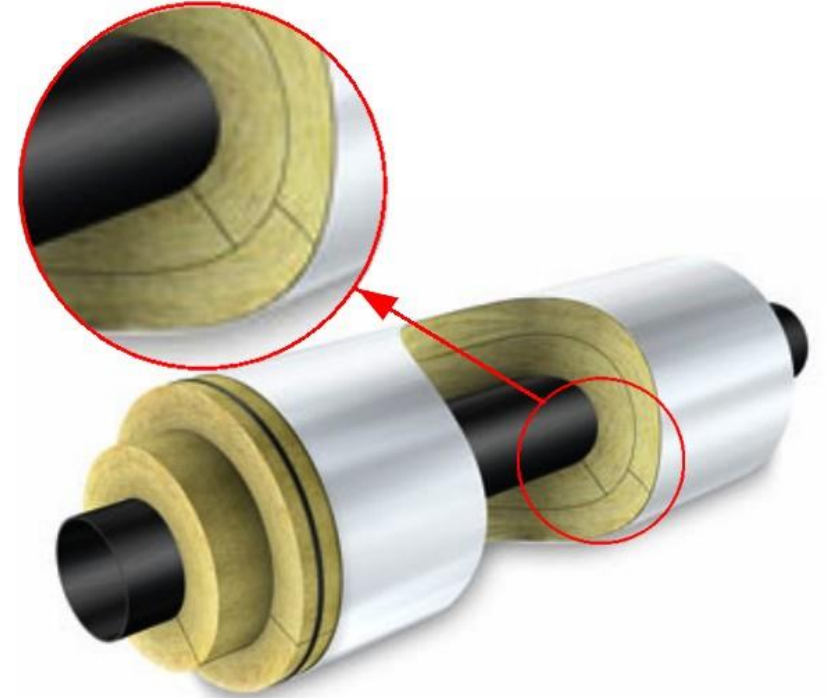
<http://insulationinstitute.org/wp-content/uploads/2015/11/CI228.pdf>

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI



D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

- Yalıtımlı boru tutucu-destek elemanları kullanılmalı
- 65 mm den daha kalın uygulamalarda çok katlı yalıtım yapılmalı
- Ek yerleri üst üste gelmemeli
- Genleşmeler için boşluk bırakılmalı
- Dış kaplamalar ortam şartlarına uygun seçilmeli



D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

- Kullanım yerindeki şartların önemli olması halinde, tüm olumsuz etkiler dikkate alınarak yalıtım kalınlığı belirlenmeli
- Dış ortamlardaki yalıtım uygulamalarında, bölgedeki rüzgar etkisi de dikkate alınmalı
- Aynı şekilde mevsime bağlı yada geceleri meydana gelen sıcaklık düşmeleri de dış ortamlardaki yalıtım uygulamalarında dikkate alınmalı

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI

Konveksiyon ve Radyasyonla olan ısı kaybı

$$Q = (U_c + U_r) \times \pi \times d_1 \times (T_y - T_o)$$

Q = Isı kaybı (W /m)

U_c = Konveksiyonla ısı transfer katsayısı (W/m² °K)

U_r = Radyasyonla ısı transfer katsayısı (W/m² °K)

T_y = Boru yüzey sıcaklığı (°K)

T_o = Ortam sıcaklığı (°K)

d_1 = Boru dış çapı (m)

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

YALITIM ÖNCESİ ISI KAYBI

Konveksiyonla ısı transfer katsayısı

$$U_c = 1,15 \times ((T_y - T_o) / d_1)^{0,25}$$

Radyasyonla ısı transfer katsayısı

$$U_r = 5,67 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times (T_y^2 + T_o^2) \times (T_y + T_o)$$

Veya klasik yazılmış haliyle

$$U_r = 5,67 \times \varepsilon \times \frac{((T_y / 100)^4 - (T_o / 100)^4)}{(T_y - T_o)}$$

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

YALITIM SONRASI ISI KAYBI

Kondüksiyon ve Konveksiyonla olan ısı kaybı

$$Q = \frac{\pi \times (T_y - T_o)}{\frac{\ln(d_2 / d_1)}{2 \times \lambda} + \frac{1}{u_{s0} \times d_2}}$$

d_1 = Boru dış çapı (m)

d_2 = Yalıtım sonrası dış çap (m)

λ = Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği (W/m°K)

u_{s0} = Yüzeysel ısı transfer katsayısı (W/m²°K)

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI

Hava hızına bağı olarak yüzeysel ısı iletim katsayıları - u_{so}

Yüzey tipi	Yüzey katsayısı u_{so}			
	Hava hızları m/sn			
	0	0.5	1.0	2.0
Parlak yüzeyle metaller (Parlatılmış Alüminyum)	5.7	6.5	8.0	9.5
Mat yüzeyle metaller (Galvanizli yada işlenmiş çelik, alüminyum boyalı yüzeyler)	8.0	9.0	11.0	13.0
Diğer tüm yüzeyler	10.0	11.0	13.0	15.0

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI -Örnek

Yalıtımsız Borudan olan ısı kaybı

$$Q = (U_c + U_r) \times \pi \times d_1 \times (T_y - T_o)$$

Boru yüzey sıcaklığı	t_y	=	165,8 °C
Ortam sıcaklığı	t_o	=	20,2 °C
Boru dış çapı	d_1	=	26,9 mm 0,0269 m
Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği	λ	=	0,05 W/m°K
Yalıtım malzemesinin et kalınlığı		=	25 mm
Yalıtım sonrası boru dış çapı	d_2	=	0,0769 m
Boru boyu	L	=	28,2 m
Hava hızına bağlı yüzeysel ısı iletim katsayısı (Parlak Yüzeyleli metaller)		=	5,7 W/m°K
Emissivite		=	0,95

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI -Örnek

Konveksiyonla ısı transfer katsayısı

$$U_c = 1,15 \times ((T_y - T_o) / d_1)^{0,25}$$

$$U_c = 1,15 \times ((438,8 - 293,2) / 0,0269)^{0,25} = 9,864 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

Radyasyonla ısı transfer katsayısı

$$U_r = 5,67 \times \varepsilon \times \frac{((T_y / 100)^4 - (T_o / 100)^4)}{(T_y - T_o)}$$

$$U_r = 5,67 \times 0,95 \times \frac{((438,8 / 100)^4 - (293,2 / 100)^4)}{(438,8 - 293,2)}$$

$$U_r = 10,981 \text{ W/m}^2\text{°K}$$

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI -Örnek

Yalıtımsız Borudan olan ısı kaybı

$$Q = (U_c + U_r) \times \pi \times d_1 \times (T_y - T_o)$$

$$Q = (9,864 + 10,981) \times 3,14 \times 0,0269 \times (438,8 - 293,2)$$

$$Q_{\text{kayıp}} = 256,49 \text{ W/m}$$

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI -Örnek

Yalıtımlı Borudan olan ısı kaybı

$$Q = \frac{\pi \times (T_y - T_o)}{\frac{\ln(d_2 / d_1)}{2 \times \lambda} + \frac{1}{u_{so} \times d_2}}$$

$$Q = \frac{3,14 \times (438,8 - 293,2)}{\frac{\ln(0,0769 / 0,0269)}{2 \times 0,05} + \frac{1}{5,7 \times 0,0769}}$$

$$Q_{\text{yalıtımlı}} = 35,78 \text{ W/m}$$

D. BORU SİSTEMLERİNİN YALITIMI -Örnek

$$\text{Enerji Tasarrufu} = Q_{\text{kayıp}} - Q_{\text{yalıtımlı}}$$

$$\text{Enerji Tasarrufu} = 256,49 - 35,78 = 220,72 \text{ W}$$

$$\text{Tasarruf Oranı} = \frac{220,72}{256,49} \times 100 = \% 86$$

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

$$\text{Isının maliyeti} = \frac{\text{Yakıtın Maliyeti}}{\text{Yakıtın alt ısı değeri}}$$

$$\text{Yararlı Isının maliyeti} = \frac{\text{Isının Maliyeti}}{\text{Sistem Verimi}}$$

$$\text{Maliyet faktörü} = \text{Yararlı Isının maliyeti} \times \text{Yıllık Çalışma Süresi}$$

$$\text{Kayıp ısının maliyeti} = \text{Maliyet faktörü} \times \text{Isı kaybı}$$

(Boru sistemlerinde: W/m ; Düzlem yüzeylerde W/m^2)

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Yalıtım malzemesi	Kalınlık mm	Isı kaybı W/m veya W/m ²	Maliyet faktörü	Kayıp ısı maliyeti TL/m veya TL/m ²	Yatırım Maliyeti TL/m veya TL/m ²	Toplam Maliyet TL/m veya TL/m ²
1	2	3	4	5 (3x4)	6	7 (5+6)

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Yalıtım Malzemesi = Taş Yünü

$$\text{Yalıtımsız Yüzey Sıcaklığı} = t_s = 165,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Ortam Sıcaklığı} = t_a = 20,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Yalıtımsız Boru Dış Çapı} = d_1 = 26,9 \text{ mm}$$

$$= 0,0269 \text{ m}$$

$$\text{Yalıtımsız Boru için Emissivite} = \varepsilon = 0,95$$

$$\text{Yalıtım Malzemesi Et Kalınlığı} = e_t = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Yalıtım Sonrası Boru Dış Çapı} = d_2 = 76,9$$

$$= 0,0769 \text{ m}$$

$$\text{Yalıtım Malzemesi Isıl İletkenlik Katsayısı} = \lambda = 0,05 \text{ W / mK}$$

$$\text{Yüzeysel Isı İletim Katsayısı} = U_{so} = 5,7$$

$$\text{Uc için Yüzey Duruş Katsayısı} = 1,15$$

Yalıtımsız Boruda Isı Kaybı		
U_r	U_c	$Q_{\text{kayıp}}$
(Watt / m ² °K)	(Watt / m ² °K)	(Watt / m)
10,981	9,864	256,492

Hava hızına bağlı olarak yüzeysel ısı iletim katsayıları - U_{so}

Yüzey tipi	Yüzeysel ısı iletim katsayıları U_{so}			
	Hava hızı m/sn			
	0	0,5	1,0	2,0
Parlak yüzeysel metallere (Parlatılmış Alüminyum)	5,7	6,5	8,0	9,5
Mat yüzeysel metallere (Galvanizli yada işlenmiş çelik, alüminyum boyalı yüzeyler)	8,0	9,0	11,0	13,0
Diğer tüm yüzeyler	10,0	11,0	13,0	15,0

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Yalıtım Malzemesi = Taş Yünü

Yakıt Birimi =	Sm ³		
Yakıt Maliyeti =	1,20	TL / Sm ³	
Yakıt Alt Isıl Değeri =	8.250,00	kCal / Sm ³	
Isının Maliyeti =	0,000145455	TL / kCal	$\leq \text{Formül} = 1 / 8.250 = 0,000145455 \text{ TL / kCal}$
Sistem Verimi =	95,00	%	
Yaralı Isının Maliyeti =	0,00015311	TL / kCal	$\leq \text{Formül} = 0,000145455 / (95 / 100) = 0,000153110 \text{ TL / kCal}$
Yaralı Isının Maliyeti =	0,000131675	TL / W	$\leq \text{Formül} = 0,000153110 \times (860 / 1.000) = 0,000131675 \text{ TL / W}$
Yıllık Çalışma Süresi =	8.760	saat / Yıl	
Maliyet Faktörü =	1,153		$\leq \text{Formül} = 0,000131675 \times 8.760 = 1,153$

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	Yalıtım Malzemesi Kalınlığı	Yalıtım Sonrası Boru Dış Çapı	Yalıtımsız Boruda Isı Kaybı	Yalıtımlı Boruda Isı Kaybı	Tasarruf	Maliyet Faktörü	Kayıp Isının Maliyeti	Yalıtım Yatırım Maliyeti	Toplam Maliyet
(mm)	(m)	(m)	(Watt / m)	(Watt / m)	(Watt / m)		(TL / m)	(TL / m)	(TL / m)
25	0,025	0,0769	256,49	35,78	220,72	1,153	41,25	6,20	47,45
30	0,03	0,0869	256,49	33,28	223,21	1,153	38,37	7,40	45,77
40	0,04	0,1069	256,49	29,63	226,86	1,153	34,16	10,60	44,76
50	0,05	0,1269	256,49	27,07	229,42	1,153	31,22	12,60	43,82
60	0,06	0,1469	256,49	25,17	231,32	1,153	29,03	16,60	45,63

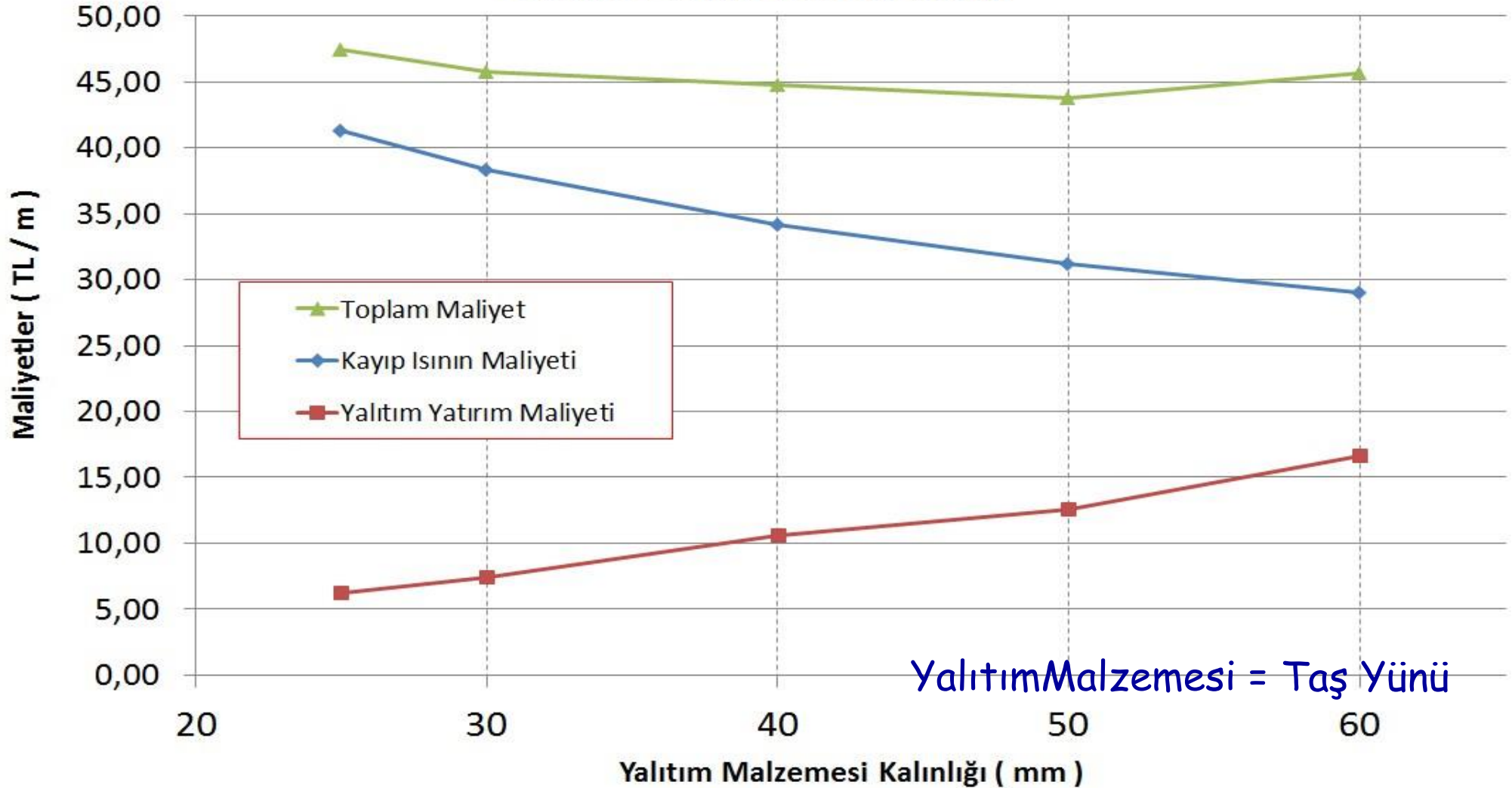
$$Q_{\text{kayıp}} = (U_c + U_r) \times \pi \times d_1 \times (T_s - T_a)$$

$$35,78 \times 1,15 = 41,25$$

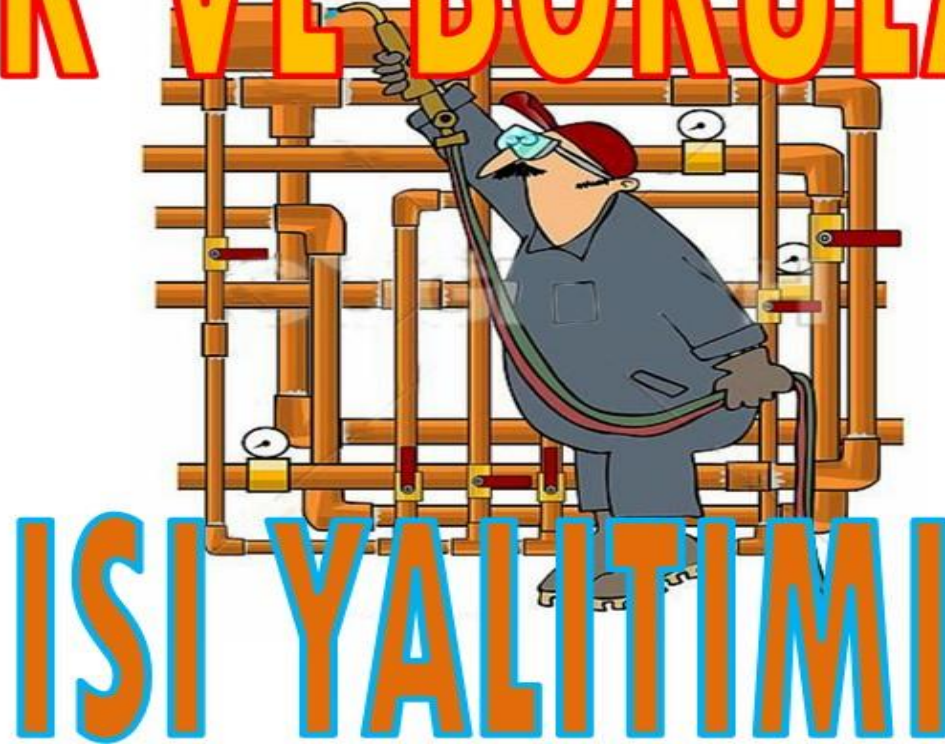
$$Q_{\text{yalıtım}} = \frac{\pi \times (T_s - T_a)}{\frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2 \times \lambda} + \frac{1}{u_{so} \times d_2}}$$

E. EKONOMİK YALITIM KALINLIĞININ TESPİTİ

Ekonomik Yalıtım Kalınlığı Grafiği



TANK VE BORULARDA



ISI YALITIMI

Süreyya AKMAN

Kimya Yüksek Mühendisi

Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı

e-posta : sakman@enerji.gov.tr

sureyya.akman@enerji.gov.tr

