

Metin AKDAŞ
Berkay ÖMÜR

Abstract:

An important amount such as 55% of the main energy resources (crude oil, natural gas, coal etc.) are consumed in the industry. Fossil fuel like crude oil and coal being the most important energy resource are running out rapidly. We are buying and importing 70% of the consumed energy by paying foreign currency. In 2013, Turkey has paid 22,21 of every 100 USD to import energy and the total bill for energy reached 60,1 billion USD. As is known, Turkey imports most of its energy needed. In the same year current account deficit is 65 billion USD. In other words, current account deficit has gone completely to import energy.

The amount of energy consumed in order to produce 1 unit of GNP is called Density of Energy. Our country is one of the worst in the world in terms of Density of Energy. This rate is 2 times more than OECD countries and 4 times more than Japan. This means to produce one unit of good or service, the energy consumption is twice of OECD countries and 4 times of Japan. To overcome this hard situation, whether we should produce our own energy without considering how resources are being disposed (nuclear energy, renewable energy or fossil sources etc.) or we can use the energy efficiently. In our country the potential of energy which can be obtained by fossil sources are not sufficient. Renewable energy and nuclear energy requires a policy applicable with long term projections. That is why, the only option in the short term is to use energy efficiently. Turkey has a potential of building 1 nuclear power plant per year by using energy efficiently.

For energy efficiency:

- To reduce heat loss by correct insulation.
- To choose the appropriate fuel.
- To use high efficiency motors.
- To use frequency convertors in pumps and fans.
- To regain lost heat (Application of heat recovering and cogeneration)

In this article, energy efficiency by correct insulation of industrial installation and other equipments, right choice of insulation materials and methods of applications will be explained.

Key Words:

Energy Efficiency, Energy Density, Thermal Comfort, Heat Insulation, Insulating Material And Properties.

Sanayide Tesisat Yalıtımının Önemi ve Uygulamaları

ÖZET

Ana enerji kaynaklarının (petrol, doğal gaz, kömür vs. gibi) %55'i gibi önemli kısmı sanayide kullanılmaktadır. En önemli enerji kaynağı olan petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar hızla tükeniyor. Kullandığımız enerjinin %70'ini yurtdışından döviz ödeyerek satın alıyoruz. 2013 yılında Türkiye her 100 doların 22,21 dolarını enerji ithalatına harcadı ve enerji ithalat faturası 60,1 milyar dolar oldu. Bilindiği üzere Türkiye enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir. Aynı yıl cari açık ise 65 milyar dolar. Yani nerede ise, cari açığımızın tamamı enerji ithalatına gitmektedir.

1 birim gayri safi milli hasılayı elde etmek için tüketilen enerji, Enerji Yoğunluğu olarak adlandırılır. Ülkemiz enerji yoğunluğu açısından maalesef dünyanın en kötülerindedir. Bu oran, OECD ülkelerinin 2, Japonya'nın ise 4 katıdır. Yani birim mal veya hizmet üretmek için OECD ülkelerinde kullanılanın 2 katı, Japonya'da kullanılan enerjinin 4 katı enerji sarf edilmektedir. Bu zor durumun üstesinden, ya nasıl tükettiğimize bakmaksızın her türlü kaynaktan, (nükleer enerji, yenilenebilir enerjiler veya fosil kaynaklar vs.) kendi enerjimizi üreterek ya da enerjiyi verimli kullanarak gelebiliriz. Ülkemizin bilinen fosil kaynaklardan elde edilebilecek enerji rezervleri maalesef yetersizdir, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer enerji ise uzun vadeli projeksiyonlarla uygulanabilecek bir politika gerektirmektedir. Bu nedendir ki kısa vadedeki tek seçeneğimiz, verimli enerji kullanımudur. Türkiye, verimli enerji kullanımı ile her yıl 1 yeni nükleer santral inşa edebilecek potansiyele sahiptir.

Enerjiyi verimli kullanmak için;

- Doğru Isı Yalıtımı Yaparak Isı Kayıplarını Azaltmak
- Uygun Yakıtı seçmek
- Yüksek Verimli Motor Kullanılması
- Pompa ve Fanlarda Frekans Konvertörü Kullanarak
- Atık Isıyı Geri Kazanarak (Isı geri kazanım ve kojenerasyon uygulamaları)

Bu makalede sanayideki tesisat ve diğer ekipmanların doğru yalıtımı ile sağlanabilecek enerji verimliliği, doğru yalıtım malzemeleri seçimi ve bunların uygulamalarına yönelik çalışmalar anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Enerji Yoğunluğu, Isıl Konfor, Isı Yalıtımı, Yalıtım Malzemeleri ve Özellikleri.

1. GİRİŞ

Ana enerji kaynaklarının (petrol, tabii gaz, kömür vs. gibi) %55'i gibi önemli kısmı sanayide kullanılmaktadır. En önemli enerji kaynağı olan petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar hızla tükeniyor. Kullandığımız enerjinin %70'ini yurtdışından döviz ödeyerek satın alıyoruz. 2013 yılındaki Türkiye'nin net enerji ithalatı 60,1 milyar USD iken aynı yıl net cari açık 65 milyar USD olarak gerçekleşti. Türkiye'nin enerji tüketimi 2013 Yılında Toplam 80,2 milyar USD iken enerji ithalatı 60,1 milyar USD oldu. Bilim adamlarına göre fosil kaynaklarının kalan ömürleri ise yaklaşık olarak; petrol 42 yıl, doğalgaz 60 yıl, kömür 122 yıldır. Ülkemiz elektrik enerjisi üretiminde de maalesef fosil kökenli kaynaklar konusunda oldukça fakirdir ve enerji üretimi ithal kaynakla bağımlıdır. Aşağıda ki tabloda da yıllara ve enerji kaynaklarına göre elektrik enerji üretimi ve payları görülmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre ise aşağıdaki Tablo 1.2'de birincil enerji tüketiminin, kaynaklara oranına göre tahmini tüketim değerleri verilmiştir

TEDAŞ'ın verilerine göre de net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı Tablo 1.3'deki gibidir. Ticaret ve meskenlerdeki tüketim yıllar içinde artış göstermektedir.

Sanayinin çeşitli kollarına göre enerji maliyetleri bazı işkollarında nerede ise ürün maliyetinin %60'larına ulaşmakta olup, Tablo 1.4'de de görüleceği üzere, üretim maliyetinin içinde enerji maliyetinin en yüksek olduğu sanayi dalı çimento sektörüdür ve yaklaşık olarak üretilen her ürünün %55'i enerji maliyeti olarak karşımıza çıkmaktadır

Tablo-1.1 Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Payları

Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları						
Electricity generation and shares by energy resources						
Yıl	Toplam	Kömür	Sıvı yakıtlar	Doğal gaz	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar (*)
Year	Total	Coal	Liquid fuels	Natural Gas	Hydro	Renewable Energy and wastes
	(GWh)			(%)		
1990	57.543	35,1	6,9	17,7	40,2	0,1
1991	60.246	35,8	5,5	20,9	37,7	0,2
1992	67.342	36,5	7,8	16,1	39,5	0,2
1993	73.808	32,2	7,0	14,6	46,0	0,2
1994	78.322	36,0	7,1	17,6	39,1	0,2
1995	86.247	32,5	6,7	19,2	41,2	0,4
1996	94.862	32,1	6,9	18,1	42,7	0,3
1997	103.296	32,8	6,9	21,4	38,5	0,4
1998	111.022	32,1	7,1	22,4	38,0	0,3
1999	116.440	31,8	6,9	31,2	29,8	0,3
2000	124.922	30,6	7,5	37,0	24,7	0,3
2001	122.725	31,3	8,4	40,4	19,6	0,3
2002	129.400	24,8	8,3	40,6	26,0	0,3
2003	140.581	22,9	6,5	45,2	25,1	0,2
2004	150.698	22,9	5,1	41,3	30,6	0,2
2005	161.956	26,7	3,4	45,3	24,4	0,2
2006	176.300	26,5	2,5	45,8	25,1	0,2
2007	191.558	27,9	3,4	49,6	18,7	0,4
2008	198.418	29,1	3,8	49,7	16,8	0,6
2009	194.813	28,6	2,5	49,3	18,5	1,2
2010	211.208	26,1	1,0	46,5	24,5	1,9
2011	229.395	28,9	0,4	45,4	22,8	2,6
2012	239.497	28,4	0,7	43,6	24,2	3,1

Kaynak: TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri
Source: TETC, Electricity Generation - Transmission Statistics of Turkey
(*) Jeotermal, rüzgar, katı biyokütle, biogaz ve atık kaynaklarını içerir.

Tablo 1.2 Birincil Enerji Tüketimi ve Kaynaklara Oranı

	(Birim: Bin TEP)					
	2009		2010		2011	
	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)	Miktar	Pay (%)
TİCARİ ENERJİ	98.685	95,3	103.390	95,6	109.560	95,9
Taş Kömürü	16.395	15,8	15.960	14,8	16.160	14,1
Linyit	15.376	14,9	13.580	12,6	13.970	12,2
Petrol Ürünleri	28.880	27,9	31.209	28,8	33.925	29,7
Doğal Gaz	32.775	31,7	35.500	32,8	38.057	33,3
Hidrolik Enerji	3.092	3,0	4.558	4,2	4.644	4,1
Yenilenebilir Enerji	2.230	2,2	2.695	2,5	2.890	2,5
Elektrik İthalatı (İhracatı)	-63	-0,1	-112	-0,1	-86	-0,1
GAYRİ-TİCARİ ENERJİ	4.814	4,7	4.810	4,4	4.740	4,1
Kişi Başına Tüketim (KEP)	3.680	3,6	3.680	3,4	3.640	3,2
Hayvan ve Bitki Atıkları (T)	1.134	1,1	1.130	1,0	1.100	1,0
TOPLAM	103.499	100,0	108.200	100,0	114.300	100,0
Kişi Başına Tüketim (KEP)	1.440		1.488		1.555	

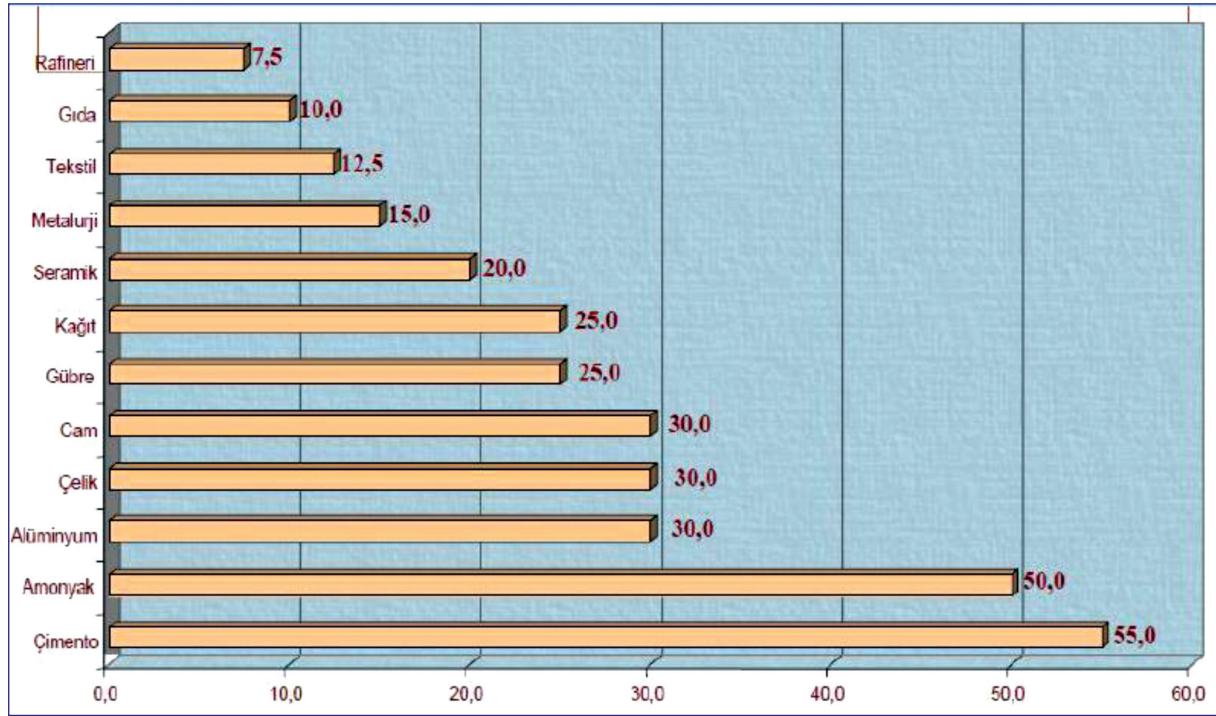
T = Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tahmini tüketim değerleri

Tablo 1.3 Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı

Net elektrik tüketiminin sektörlere göre dağılımı							
Distribution of net electricity consumption by sectors							
Yıl	Toplam	Mesken	Ticaret	Resmi daire	Sanayi	Aydınlatma	Diğer ⁽¹⁾
Year	Total	Household	Commercial	Government	Industrial	Illumination	Other ⁽¹⁾
	(GWh)			(%)			
1990	46.820	19,6	5,5	3,1	62,4	2,6	6,8
1991	49.283	22,0	6,2	3,8	57,9	2,9	7,3
1992	53.985	21,3	6,1	3,7	58,4	3,4	7,1
1993	59.237	21,2	6,1	3,8	57,8	3,8	7,2
1994	61.401	21,9	6,0	5,4	55,6	4,1	7,0
1995	67.394	21,5	6,2	4,5	56,4	4,6	6,8
1996	74.157	22,1	7,7	4,0	54,8	4,2	7,1
1997	81.885	22,6	8,4	4,6	53,1	4,0	7,2
1998	87.705	22,8	8,8	4,9	52,6	4,2	6,7
1999	91.202	24,8	9,0	4,1	51,0	4,6	6,5
2000	98.296	24,3	9,5	4,2	49,7	4,6	7,7
2001	97.070	24,3	10,2	4,5	48,4	5,0	7,6
2002	102.948	22,9	10,6	4,4	49,0	5,0	8,1
2003	111.766	22,5	11,5	4,1	49,3	4,5	8,1
2004	121.142	22,8	12,9	3,7	49,2	3,7	7,7
2005	130.263	23,7	14,2	3,6	47,8	3,2	7,4
2006	143.070	24,1	14,2	4,2	47,5	2,8	7,2
2007	155.135	23,5	14,9	4,5	47,6	2,6	6,9
2008	161.948	24,4	14,8	4,5	46,2	2,5	7,6
2009	156.894	25,0	15,9	4,5	44,9	2,5	7,3
2010	172.051	24,1	16,1	4,1	46,1	2,2	7,4
2011	186.100	23,8	16,4	3,9	47,3	2,1	6,5
2012	194.923	23,3	16,3	4,5	47,4	2,0	6,5

Kaynak: TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Tüketim İstatistikleri
Source: TEDC, Electricity Distribution and Consumption Statistics of Turkey
(1) Tarım, hayvancılık, balıkçılık, içme ve kullanma suyu pompaj tesisleri, kamuya ait hizmetler vb. tüketimleri içerir.

Tablo 1.4 Bazı Sanayi Kollarında Toplam Üretim Maliyetlerinin İçinde Enerji Maliyetlerinin Oranı (%)



Enerji tüketiminin bu kadar yoğun olduğu sektörlerde doğru yalıtım ve verimli enerji kullanım yöntemleri sayesinde ciddi anlamda tasarruf söz konusu olacaktır. Özellikle enerji yoğun sektörlerdeki tasarruf potansiyeli oldukça yüksek olup Tablo 1.5’de sektörlere göre tasarruf potansiyelleri verilmektedir.

Tablo 1.5 Enerji Tasarruf Potansiyeli

	Tasarruf Potansiyeli, %		Tasarruf Potansiyeli 1.000 TEP/ yıl
	Elektrik	Yakıt	
Sanayi	25%		8.015
Demir-Çelik	21	19	1.402
Çimento	25	29	1.124
Cam	10	34	261
Kağıt	22	21	206
Tekstil	57	30	1.097
Gıda	18	32	891
Kimyasal	18	64	2.283
Diğer	Yok	Yok	729
Bina	30%		7.160
Konut	29	46	5.655
Kamu ve Ticari	29	20	1.505
Toplam	27%		15.152

Sonuç olarak sanayide yıllık 3 milyar USD, konutlarda ise 2,5 milyar USD tasarruf potansiyeli gözükmektedir.

2. SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Yapılan bir tarama çalışması neticesinde ülkemizdeki 529 endüstriyel tesisi incelediğimizde enerji kayıplarına göre ortaya çıkan sonuç:

- İşletmelerin %98’inde %10 ile %44 arasında enerji kaybı vardır.
- %2 işletmedeki kayıplar ise %10’un altındadır. (EİEİ)

Bu oranlar Türk sanayisinde harcanan enerjinin çoğunluğunun boşa gittiğini göstermektedir ve buna bağlı olarak birim üretim maliyetlerinin artışı da tetiklemektedir.

2.1 Enerji Yoğunluğu Nedir?

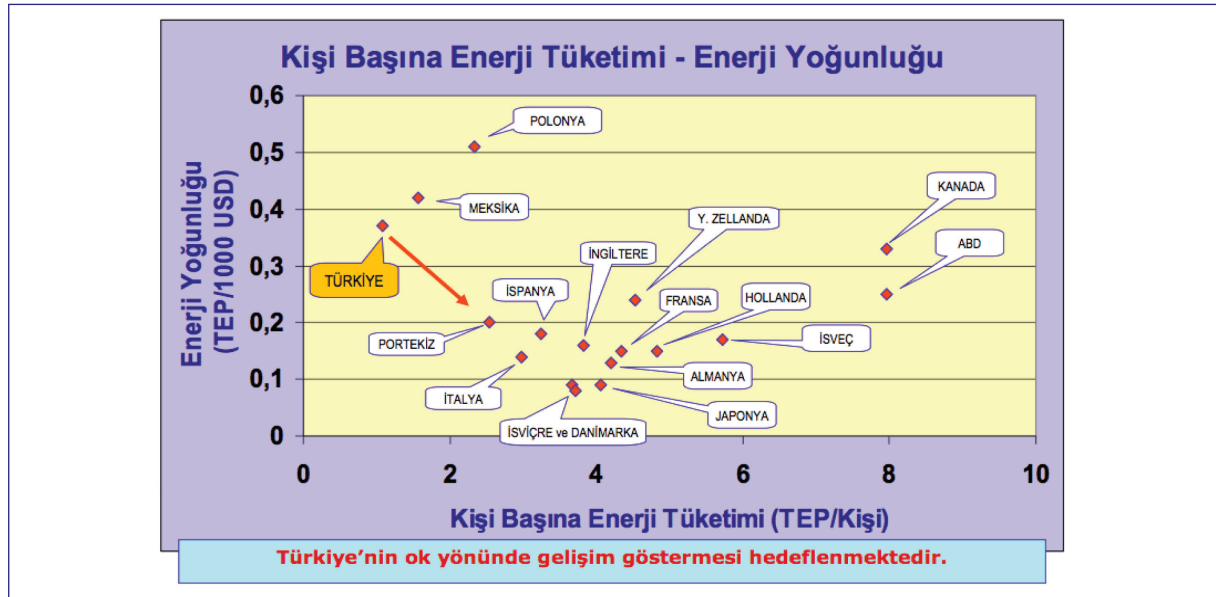
Üretim maliyetlerinin içerisindeki enerji payı tüm dünyada enerji yoğunluğu ile anlatılır.

- Enerji yoğunluğu, GSYİH (Gayri Safi Yurtiçi Hasi- la) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir.
- 1000 \$'lık hasıla için tüketilen TEP (ton petrol eş- değeri) enerji miktarı, enerji yoğunluğu göstergesi olarak tercih edilmektedir.
- 1 TEP, 1 ton petrolün yakılmasıyla elde edilecek enerjiye tekabül etmektedir ki, bu da yaklaşık 107 Kcal (kilokalori)'ye, 41,8x10⁹ joule'e ve 11,6x10³ kWh'a karşılık gelmektedir.

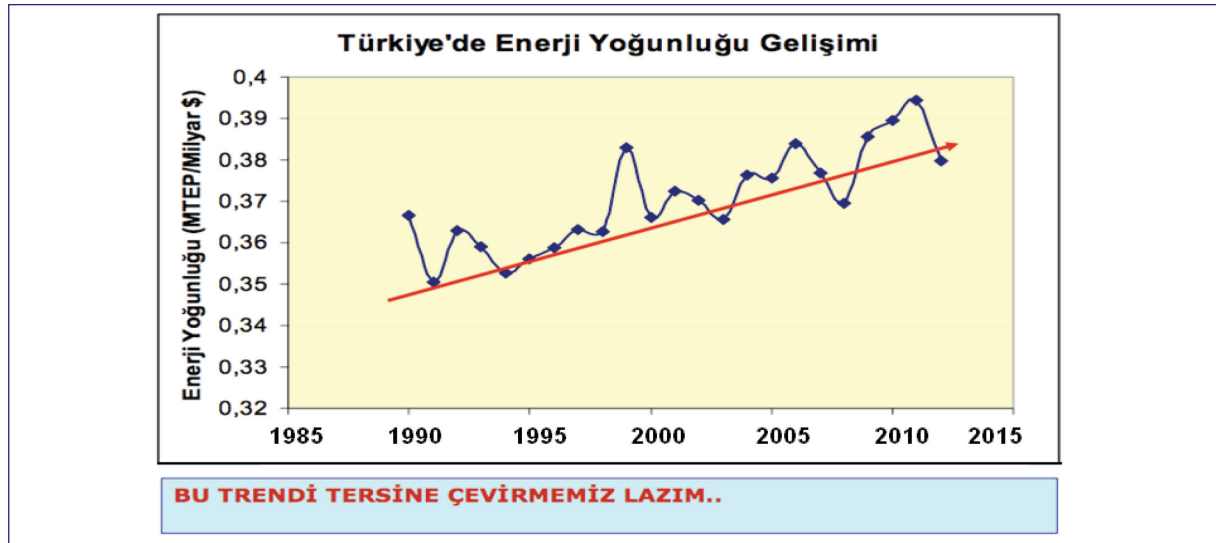
Sonuç olarak; bir ülkenin enerji yoğunluğu ne kadar düşükse, o ülkede birim hasıla üretmek için harcanan enerji de o kadar düşük demektir ki, bu da enerjinin verimli kullanıldığına işaret etmektedir. Tablo 2.1'de seçilmiş bazı ülkelerin enerji yoğunluğu değerleri verilmektedir.

Türkiye'de ise enerji yoğunluğu yıllara göre artış göstermektedir, bu durum özellikle enerjinin bu kadar değerli olduğu bir dönemde değerinden fazla enerji tüketimi olup karşılığını alamamamıza sebep olmaktadır. Tablo 2.2'de bu durum açıklanmaktadır.

Tablo 2.1 Dünya'da Enerji Yoğunluğu



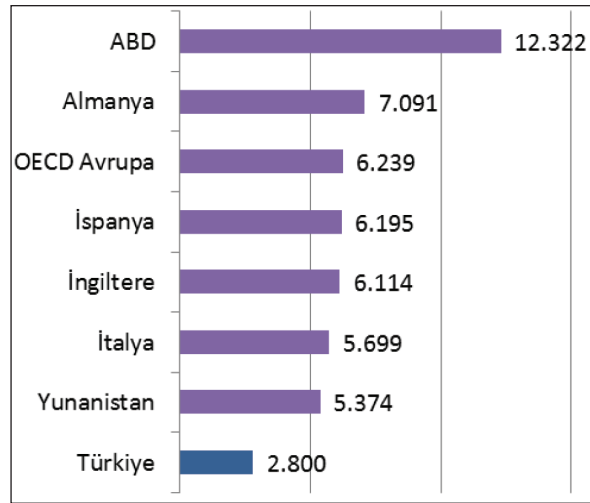
Tablo 2.2 Türkiye'de Enerji Yoğunluğu Gelişimi



Ülkemizde enerji yoğunluğu, OECD ülkelerinin 2, Japonya'nın ise 4 katıdır. Yani birim mal veya hizmet üretmek için OECD ülkelerinde kullanılan 2 katı, Japonya'da kullanılan enerjinin 4 katı enerji sarf edilmektedir.

Bir başka gerçek de kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarıdır ki Tablo 2.3'de bu konuda da gelişmiş ülkelerin oldukça gerisinde olduğumuz görülmektedir. Dünya geneline baktığımızda ABD'de kişi başına düşen elektrik tüketimi en fazladır. Türkiye ise en altlardadır. Buradan çıkan sonuç, az miktarda kullandığımız enerji tüketimini bile faydalı bir şekilde değerlendiremiyoruz.

Tablo 2.3 Dünya Genelindeki Elektrik Tüketimi



2.2 Enerjiyi Nasıl Verimli Kullanırız?

- Doğru Isı Yalıtımı Yaparak Isı Kayıplarını Azaltmak
- Uygun Yakıtı Seçmek
- Yüksek Verimli Motor Kullanmak
- Pompa ve Fanlarda Frekans Konvertörü Kullanmak
- Atık Isıyı Geri Kazanmak Yoluyla (ısı geri kazanım ve kojenerasyon uygulamaları).

2.3 Isı Yalıtımı Nedir?

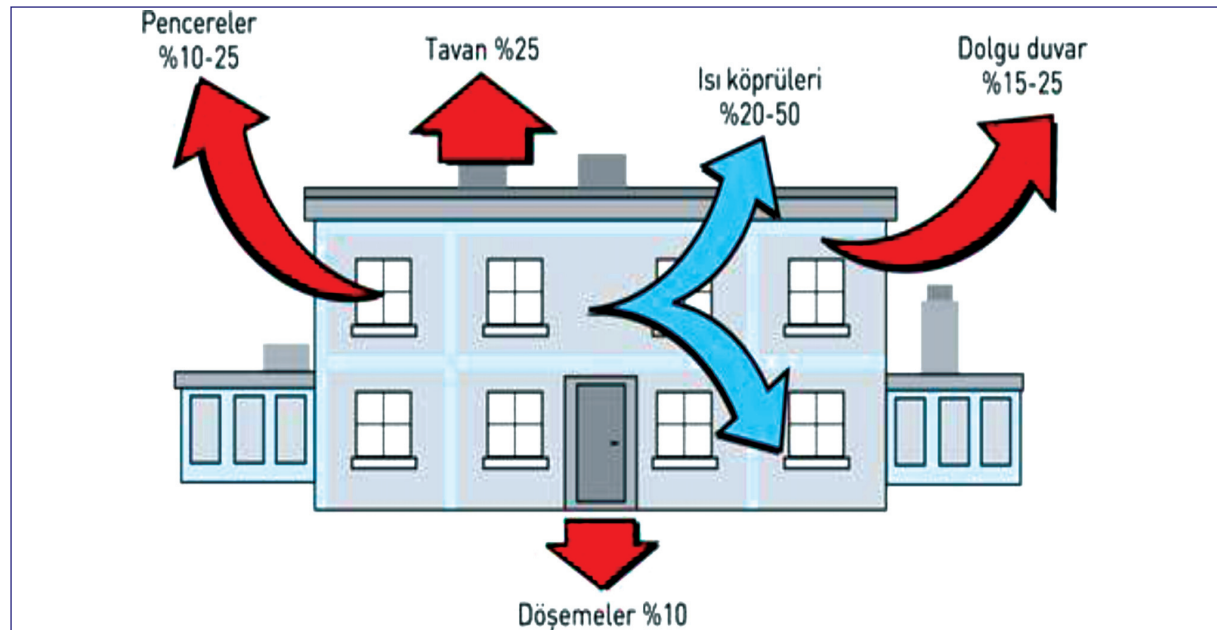
Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir.

2.4 Neden ısı yalıtımı?

- Ekonomi (Enerji kayıplarını en aza indirme)
- Isıl konfor
- Düşük emisyon değerleri = Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli nedenlerini minimize etmek, Yaşanabilir çevre
- Bilinen fosil kaynaklarının hızla azalması, Gelecekte olası yakıt sıkıntıları

2.4.1 Isıl Konfor Nedir?

Eğer bir mekanın hava sıcaklığı, nemi, hızı ve radyant sıcaklığı optimum değerlerde ise ve buradaki insanlar oda sıcaklığının daha sıcak veya soğuk olmasını veya nemin daha fazla veya az olmasını gereksinmi-



yorlarsa bu mekanda ısı konfora ulaşılmış demektir. Aşağıdaki kısa örnekle bu durum açıklanmıştır.

- $T_{iç}$ = İç ortam sıcaklığı (°C)
- T_{iy} = İç yüzey sıcaklığı (°C)
- $T_{iy\ ort}$ = İç yüzey sıcaklıklarının ortalaması (°C)
- Hissedilen sıcaklık = $T_h = (T_{iy\ ort} + T_{iç})/2$
- $T_{iç} = 20$ °C
- $T_{iy} = 9$ °C
- $T_{iy\ ort} = 9$ °C
- $T_h = (20+9) / 2$
- $T_h = 14,5$ °C

YALITIMLI VE YALITIMSIZ HALLERDE HESAP YÖNTEMLERİ

ISI TRANSFERİ

q : Isı Akış Yoğunluğu (W/m²)

q , herhangi d (metre) kalınlığındaki bir yapı bileşeni- nin 1 m²'sinden 1 saatte olan toplam ısı kaybıdır.

$$q = U (T_i - T_d)$$

T_i : İç Ortam Sıcaklığı (K)

T_d : Dış Ortam Sıcaklığı (K)

U : Isıl Geçirgenlik Katsayısı (W/m²K)

U , Herhangi d (metre) kalınlığındaki yapı bileşeni- nin (duvar, döşeme vs. gibi) her iki tarafında bulunan hava sıcaklıkları arasındaki farkın 1 °C olması halinde bileşenin 1 m²'sinden 1 saatte geçen ısı miktarıdır.

Toplam Isı Geçiş Direnci 1/U

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_d}$$

$1/\alpha_i$: İç ortam ısı taşınım direnci

$1/\alpha_d$: Dış ortam ısı taşınım direnci

$1/\Lambda$: Yapı bileşeni iletimle toplam ısı geçiş direnci

1/Λ Yapı Bileşeni İletimle Toplam Isı Geçiş Direnci

$$\frac{1}{\Lambda} = \sum \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{d_{siva}}{\lambda_{siva}} + \frac{d_{tugla}}{\lambda_{tugla}} + \frac{d_{izolasyon}}{\lambda_{izolasyon}} + \frac{d_{siva}}{\lambda_{siva}}$$

λ : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/Mk)

d : Yapı bileşenin kalınlığı (m)

ISI TRANSFERİ

$$Q = \left(\frac{1}{\lambda} = \sum \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{d_{siva}}{\lambda_{siva}} + \frac{d_{tugla}}{\lambda_{tugla}} + \frac{d_{izolasyon}}{\lambda_{izolasyon}} + \frac{d_{siva}}{\lambda_{siva}} \right) * (T_d - T_i) * A$$

TEKNİK YALITIMDA ISI KAYBI HESAPLARI

a) Yalıtımsız borularda ısı kaybı

Aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

t_i = Boru içindeki akışkan sıcaklığı (°C)

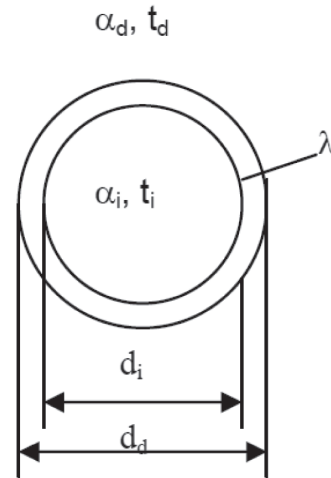
t_d = Borunun bulunduğu hacmin ortam sıcaklığı (°C)

α_i = Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

α_d = Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

d_i = Dış çap (m)

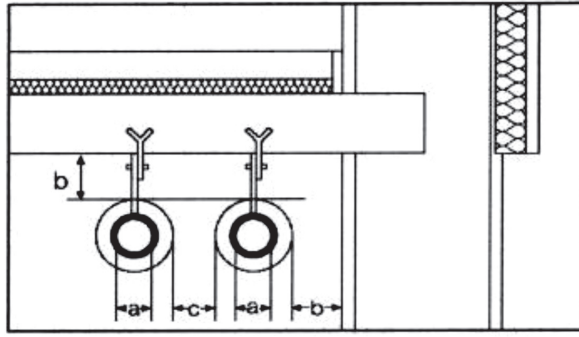
d_d = Dış çap (m)



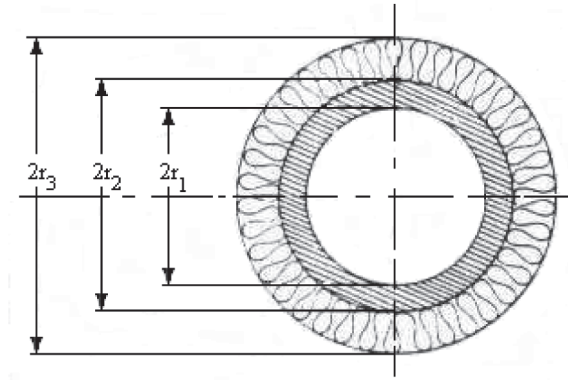
b) Yalıtımlı Borular

1) Yalıtımlı Boruların Aralarında, Tavan ve Duvara Olan Mesafeler

Ülkemizdeki uygulamalarda borular arasındaki mesafelerde olduğu gibi, boruların tavan ve yan duvarlara olan mesafelerine de yeterince dikkat edilmemektedir. Bu durum yalıtım işçiliğini zorlaştırmanın yanında ideal yalıtım kalınlıklarının uygulanamaması nedeni ile ısı kayıplarını da arttırmaktadır.



2) Isı Kaybı



$$Q = \frac{L(t_1 - t_d)}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{2\lambda_n} \ln \frac{d_n}{d_{n-1}} + \frac{1}{\alpha_d d_n}}$$

Örnek 1:

Boru 76x3

Boru uzunluğu = 30 m

Boru ısı iletim katsayısı = 40 W/mK

Boru iç tarafındaki akışkan sıcaklığı
= 200 °C (buhar)

Boru iç yüzeyindeki ısı taşınımı katsayısı
= 4000 W/m²K

Borunun dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı
= 15 W/m²K

Dış hava sıcaklığı = +30 °C

Yakıt ısıl değeri = 10000 kcal/kg (4,18 · 10⁴ kJ/kg)

Yakma verimi = %75

Boru ısı iletim katsayısı 0,048 W/mK olan yalıtım malzemesi ile 8 cm kalınlıkta yalıtıldığına göre 1 gündeki yakıt tasarrufu ne kadar olur?

Yalıtımlı borunun 24 h'deki ısı kaybı;

$$Q = \frac{\pi L(t_1 - t_d)}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_d d_n}} = \frac{\pi \cdot 30 \cdot (200 - 30) \cdot 24}{\frac{1}{4000 \cdot 0,07} + \frac{1}{2,40} \ln \frac{0,076}{0,070} + \frac{1}{2,0,48} \ln \frac{0,236}{0,076} + \frac{1}{15,0,236}} = 31,8 \text{ kWh}$$

Kazanç: Çıplak boru ısı kaybı (2.1 Yalıtımsız borularda ısı kaybı örneğinden) = 436,1 kWh
Yalıtımlı boru ısı kaybı = 31,8 kWh
Kazanç (434,4 – 35,7) = 404,3 kWh

$$G = \frac{404,3 \cdot 3600}{4,18 \cdot 10^4 \cdot 0,75} = 46,4 \text{ kg.yakıt/gün}$$

3) Yalıtım Yüzeyindeki Sıcaklık

Bu yalıtım yüzeyindeki sıcaklık dış havanın hareketine yani taşınım olayına bağlı olarak değişir ve aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$Q = \alpha_d \cdot \pi \cdot d_d \cdot L \cdot (t_{dy} - t_d)$$

$$t_{dy} = \frac{Q}{\alpha_d \cdot \pi \cdot d_d \cdot L} + t_d$$

Bu eşitliklerde;

Q = Yalıtımlı veya yalıtımsız halde 1 m uzunluktaki borunun ısı kaybı (W)

$$Q = \frac{\pi L(t_1 - t_d)}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_d d_3}}$$

d_d = Borunun yalıtımlı veya yalıtımsız dış çapı (m)

λ_1 = Borunun ortalama ısı iletim katsayısı (W/mK)

λ_2 = Yalıtım malzemesinin ortalama ısı iletim katsayısı (W/mK)

t_{dy} = Yalıtım yüzey sıcaklığı (°C)

t_1 = Boru içindeki akışkan sıcaklığı (°C)

t_d = Dış ortam sıcaklığı (°C)

α_d = Dış yüzdeki ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

α_i = İç yüzdeki ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

Açık havadaki borularda hava hareketi süratle değişeceğine göre yalıtım yüzeyindeki sıcaklığın da ortam sıcaklığına kadar yaklaşması doğaldır.

Tablo 2.4

Boru Yalıtım Kılıfı	A	B	e	C ₁₂
Alüminyum -hadde-	2,5	2,7	0,05	0,28
Alüminyum oksitli	3,1	3,3	0,13	0,74
Galvaniz sac	4,0	4,2	0,26	1,47
Galvaniz sac tozlu	5,3	5,5	0,44	2,49
Ostenit çelik	3,2	3,4	0,15	0,85
Metalik olmayan yüzey	8,5	8,7	0,94	5,33

e: Yayma katsayısı C₁₂: Işınım katsayısı

Tablo 2.4 Boru dışında ısı ışınlımını da kapsayan ısı taşınım katsayısı bağıntıları

$$(\alpha_d = \alpha_{\text{taşınım}} + \alpha_{\text{ışınım}}) \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Yatay borular Düşey borular ve yüzeyler

$$\alpha = A + 0.05 t \quad \alpha = B + 0.09 t$$

Şartlar

$$T_{\text{ort}} = 0.5 (t_{\text{dy}} + t_d) = 40^\circ\text{C}$$

$$t = t_{\text{dy}} - t_d \leq 60^\circ\text{C}; d_d = 0.5 \text{ m}$$

$$t = t_{\text{dy}} - t_d \leq 100^\circ\text{C}; d_d = 0.25 - 1.0 \text{ m}$$

Pratik değerler

Alüminyum kılıf: $\alpha = 4 - 5 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ostenit, ferritik galvaniz sac:
 $\alpha = 6 - 7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Çok oksitlenmiş sac
 $\alpha = 8 - 10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dış yüzeyden ısı ışınlımı: $\alpha = qC_{12}$

Örnek: İçerisinden 300 °C buhar geçen 108 mm çapındaki yatay boru için 80 mm kalınlığında yalıtım uygulanması durumunda yalıtım yüzeyinde oluşacak sıcaklık kaç derecedir?

$$\lambda_1 = 40 \text{ W/mK}$$

$$t_i = 300^\circ\text{C}$$

Tablo 2.5 Boru Dış Yüzey Isı Taşınım Katsayıları Bağıntıları

Boruların bina içinde bulunması			
Düşey boru	DIN ISO 12241	$\alpha_d = 1,32 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{0,25}$	$d^3 \Delta t \leq 1 \text{ m}^3\text{K}$ laminer doğal taşınım
	VDI 2055 DIN ISO 12241	$\alpha_d = 1,74 \cdot (\Delta t)^{1/3}$	$d^3 \Delta t > 1 \text{ m}^3\text{K}$ türbülanslı doğal taşınım
Yatay boru	DIN ISO 12241	$\alpha_d = 1,25 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{1/4}$	$d^3 \Delta t \leq 10 \text{ m}^3\text{K}$ laminer doğal taşınım
	VDI 2055	$\alpha_d = 1,22 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{1/4}$	$d^3 \Delta t \leq 10 \text{ m}^3\text{K}$ laminer doğal taşınım
	DIN ISO 12241 VDI 2055	$\alpha_d = 1,21 \cdot (\Delta t)^{1/3}$	$d^3 \Delta t > 10 \text{ m}^3\text{K}$ laminer doğal taşınım

$$\alpha_i = 4500 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$t_d = 20^\circ\text{C}$$

Yalıtım kalınlığı: 80 mm için $\lambda_2 = 0,06 \text{ W/mK} = 0,051 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$

Yalıtımlı borunun dış çapı $d_d = 108 + 160 = 268 \text{ mm}$

Tablo 2.4'den $\alpha_d = 2,5 + 0,05 \cdot 30 = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ veya yalıtım dış yüzey sıcaklığı 45 °C olarak tahmin edilirse, Tablo 2.5'den,

$$d^3 \Delta t = (0,268)^3 (45 - 20) = 0,481 \leq 10 \text{ m}^3\text{K}$$

laminer doğal taşınım,

Dış yüzey taşınım katsayısı;

$$\alpha_d = 1,25 \cdot \left(\frac{\Delta t}{d}\right)^{1/4} = 4,1 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ borudan kayıp olan ısı;}$$

$$Q = \frac{2\pi L(t_i - t_d)}{\frac{1}{\alpha_i r_1} + \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\alpha_d r_3}} = \frac{2\pi \cdot (300 - 20)}{\frac{1}{4500 \cdot \frac{0,108}{2}} + \frac{1}{40} \ln \frac{108}{100,8} + \frac{1}{0,06} \ln \frac{268}{108} + \frac{1}{4,1 \cdot \frac{0,268}{2}}}$$

$$= 104 \text{ W/m}$$

Yalıtım dış yüzey sıcaklığı $t_{\text{dy}} = Q / (\alpha_d \pi d_d) + 20 = 104 / (4,1 \pi \cdot 0,268) + 20 = 50^\circ\text{C}$ bulunur.

YASAL MEVZUAT VE YÖNETMELİKLER

1- 5.12.2008 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

2- 5.12.2008 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği-Ekleri

3- 18.04.2007 Enerji Verimliliği Kanunu

4- Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik

5- Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik-Ekleri

6- Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesine Dair Yönetmelik

- 7- Isı Yalıtım Yönetmeliği
 8- Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılmasına Dair Yönetmelik
 9- Yapı Denetim Uygulama Esasları Yönetmeliği

BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Mekanik Tesisat Yalıtım Esasları

MADDE 11- (1) (Değişik:RG-1/4/2010-27539)

Binaların ısıtma, soğutma, havalandırma ve klima gibi enerji kullanımını etkileyene tesisatlarında kullanılan borular, kollektörler ve bağlantı malzemeleri, vanalar, havalandırma ve iklimlendirme kanalları, sıhhi sıcak su üreticileri ve depolama üniteleri, yakıt depoları ve diğer mekanik tesisat ekipmanları, ısı köprüsüne yol açmayacak şekilde ve yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığı arasında 5 °C'den fazla fark ve yüzeyde yoğuşma olmayacak şekilde yalıtılır.

MADDE 11- (2) Mekanik tesisat yalıtım hesaplamaları ve uygulamalarında aşağıda belirtilen hususlara uyulur.

- a) (Mülga: RG-1/4/2010-27539)
 b) Mekanik tesisatta meydana gelen ısı kayıp ve kazançları pr EN ISO 12241:2008 standartına göre hesaplanır.
 c) (Mülga: RG-1/4/2010-27539)
 ç) Şartlandırılan mekanların içerisinde yer alan kanallar, ısı direnci 0,6 m²K/W'dan küçük olmayacak şekilde yalıtılır. Diğer mekanlarda yer alan ve yalıtılması gereken kanalların ısı direnci 1,2 m²K/W'dan küçük olmayacak şekilde yalıtılır.
 d) Mekanik tesisat boru ve klima kanalı montajları, boruların ve kanalların birbirleri arasındaki mesafeler ile tavan, taban ve duvarlar arasındaki mesafeleri, hesaplamaları yapılan yalıtım kalınlıklarının uygulanmasına engel olmayacak şekilde yapılır. Boruların ve klima kanallarının askıya alınmaları ile kalıcı veya sabit mesnetle desteklemelerinde ısı kayıplarının ve ısı köprülerinin oluşmasına izin verilmez.

MADDE 11 – (3) Soğuk su ve soğutma tesisatlarındaki borular ve

soğuk akışkan taşıyan klima kanalları, ısı kazançları ve yoğuşma riskini önlemeye yönelik olarak iki ayrı hesaplama yöntemi sonucunda elde edilen en büyük kalınlık değeri esas alınarak dıştan yalıtılır. Yoğuşmanın ve korozyonun önlenmesi için yapılan hesaplamalarda, borunun ve kanalın yüzey sıcaklığının, çığ noktası sıcaklığının altına düşmemesini sağlayan yalıtım kalınlığı göz önünde bulundurulur. Soğuk su ve soğutma tesisatlarındaki borular ve soğuk akışkan taşıyan klima kanalları açık gözenekli ısı yalıtım malzemeleri kullanılması durumunda, yoğuşmanın engellenmesi için dıştan buhar kesici bir malzeme ile kaplanır.

2.5 Isı Yalıtım Malzemelerinde Uygulamaya Göre Aranması Gereken Temel Özellikler

- Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)
- Yoğunluk (kg/m³)
- Buhar difüzyon direnci
- Sıcaklık dayanımı (°C)
- Yangın sınıfı (DIN4102 EN 13501-1)
- Su emme
- Mekanik dayanım (kPa)
- Boyutsal kararlılık
- Malzemenin yangın esnasında çıkardığı zehirli gaz miktarı (toksikite)
- Duman yoğunluğu (opasite)

2.6 Sanayide Kullanılan Isı Yalıtım Malzemeleri

- Polietilen köpük levha
- Elastomerik Kauçuk Köpüğü

Tablo 2.6

DN	Dış Çap (mm)		En Küçük Yalıtım Kalınlıkları(mm)		
			Isı İletkenlik Grupları (W/mK)		
	Cu	Fe	0,035	0,040	0,045
10	12	17,2	15	20	30
	15		15	20	30
15	18	21,3	20	30	40
20	22	26,9	20	30	40
25	28	33,7	25	30	50
32	35	42,4	25	40	50
40	42	48,3	32	50	60
50	54	60,3	40	50	70
65	76,1	76,1	50	70	90
80	88,9	88,9	60	70	100
100	108	114,3	70	80	120
> 100			90	100	130

- Cam Yünü
- Taş Yünü
- Seramik Yünü
- XPS
- EPS
- Poliüretan Köpük ve Panel
- Cam Köpüğü
- Fenol Köpüğü

Önerilen Malzemeler

Sanayide kullanılan yalıtım malzemeleri 3'e ayrılmaktadır. Soğuk hatlar için; -40 °C ile +20 °C arası, ılık hatlar için; +20 °C ile +70 °C arası, sıcak hatlar için; +70 °C ile 1250 °C arasındadır.

<u>Soğuk Hatlar</u>	<u>Ilık Hatlar</u>	<u>Sıcak Hatlar</u>
Polietilen	Polietilen	Cam Yünü
Kauçuk Köpüğü	Kauçuk Köpüğü	Taş Yünü
Cam Yünü*	Cam Yünü*	Seramik Yünü
Taş Yünü*	Taş Yünü*	Kauçuk Köpüğü**
Cam Köpüğü		

* Alüminyum folyo veya sac kaplı

** Özel üretilen +170 °C'e kadar dayanıklı kauçuk köpüğü

2.6.1 Polietilen Köpüğü

Ekstrüzyon metoduyla, boru veya levha şeklinde üretilen polietilen esaslı malzemelerdir. Tesisat yalıtımında kullanılmak üzere ortalama 35 kg/m³ yoğunluğunda levha ve boru biçiminde, alüminyum folyo kaplamalı veya kaplamasız olarak üretilirler.

- Kullanım alanları: Soğuk ve ılık hatlarda ve kanallarda
- Isı iletkenlik hesap değeri: +10 °C'de $\lambda=0,035$ W/mK
- Kullanım sıcaklığı: -80/+105 °C
- Yangına tepki sınıfı: C veya D (TS EN 13501-1)
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: $\mu \geq 5000$
- Üretilen Kalınlıklar: Levha ve boru 6/30 mm
- Gözenek yapısı: Kapalı gözenekli

2.6.2 Elastomerik Kauçuk Köpüğü

Ekstrüzyon metoduyla, boru veya levha şeklinde üretilen elastomerik kauçuk köpüğü esaslı malzemelerdir. Tesisat yalıtımında kullanılmak üzere 40-75 kg/m³ yoğunluklarında levha ve boru biçiminde,

alüminyum folyo kaplamalı veya kaplamasız olarak üretilirler.

- Kullanım alanları: Soğuk ve ılık hatlarda, kanallarda
- Isı iletkenlik hesap değeri: 0 °C'de $\lambda=0,035$ W/mK
- Kullanım sıcaklığı: -40/+105 °C
- Yangına Tepki sınıfı: C Sınıfı (TS EN 13501-1)
- Üretilen Kalınlıklar: Levha ve Boru 6/32 mm
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: $\mu \geq 7000$
- Gözenek yapısı: Kapalı gözenekli

2.6.3 Cam Yünü

İnorganik bir hammadde olan silis kumunun, yüksek basınç altında 1200 °C-1250 °C'de ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (14-100 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilir.

- Kullanım alanları: Sıcak hatlar, klimalar, havalandırma kanalları
- Isı iletkenlik hesap değeri: +10 °C'de $\lambda=0,040$ W/mK
- Kullanım sıcaklığı: -50 °C/+250 °C (Bakalitsiz +450 °C)
- Yangına tepki sınıfı: A1-A2 sınıfı
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: $\mu=1$
- Üretilen kalınlıklar: Levha ve boru 25/100 mm
- Gözenek yapısı: Açık Gözenekli

2.6.4 Taş Yünü

İnorganik bir hammadde olan bazalt ve diabez taşlarının 1350 °C -1400 °C sıcaklıklarda, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (30-200 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha boru veya dökme formunda üretilir.

- Kullanım alanları: Sıcak hatlar, klimalar, havalandırma kanalları ve yangın yalıtımı
- Isı iletkenlik hesap değeri 10 °C'de $\lambda=0,040$ W/mK
- Kullanım sıcaklığı: -50/+650 °C
- Yangına Tepki Sınıfı: A1 sınıfı
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: $\mu=1$
- Üretilen Kalınlıklar: Levha ve boru 25/100 mm
- Gözenek yapısı: Açık gözenekli

2.6.5 Seramik Yünü

Seramik yünü; seramik elyaflarının inorganik bağlayıcılar kullanılarak vakum ile şekillendirmesi ile levha, şilte vb. formlarda üretilir.

- Kullanım Alanları: Sıcak hatlarda
- Isı iletkenlik hesap değeri: 100 °C’de $\lambda=0,040$ W/mK
- Buhar difüzyon direnç katsayısı: $\mu=1$
- Kullanım sıcaklığı: 1200-1400 °C
- Yangına Tepki Sınıfı: A sınıfı yanmaz
- Üretilen Kalınlıklar: 6/50 mm
- Gözenek yapısı: Açık gözenekli

2.6.5 Ekstrüde Polistren Köpük (XPS)

Polistiren hammaddesinin ekstrüzyon (haddeleme) ile çekilmesi ile üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemeleridir. Değişik yoğunluklarda (≥ 25 kg/m³) levha formunda üretilebilir.

- Kullanım sıcaklığı -50 / +75 ~ +80 °C aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı TS EN 13501’e göre E sınıfındadır.
- Isıl iletkenlik hesap değeri 0,030-0,035 W/mK’dir.
- Su buharı difüzyon direnç k.sı $\mu=80$ -250 arasındadır.
- Hacimce su emme değeri, %0-0,5’dir.
- Basma dayanımı 100 ila 1000kPa arasında değişir.

2.6.6 Ekspande Polistren Köpük (EPS)

Polistiren hammaddesinin su buharı teması ile hammaddesinde bulunan pentan gazının genleşmesiyle büyük bloklar halinde şişirilip ve sıcak tel ile kesilerek üretilirler. EPS levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 20 kg/m³ olması gereklidir.

- Kullanım sıcaklığı -50/+75 ~ +80 °C aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı TS EN 13501’e göre E sınıfındadır.
- Isıl iletkenlik hesap değeri 0,031 - 0,040 W/mK’dir.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı: $\mu=20$ -40
- Hacimce su emme değeri, %1-5’dir.
- Basma dayanımı 30 ila 150 kPa arasında değişir.

Isı İletkenlik Değerleri ($\lambda=W/mK$)

Bu özellik malzemenin ısı yalıtım değerini belirler. Birbirine paralel iki yüzeyin sıcaklıkları arasındaki

fark 1 °C olduğunda birim zamanda (1 saat) birim alan (1 m²) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarıdır.

- XPS = 0,028-0,031 W/mK
- EPS = 0,040 W/mK
- MİNERAL YÜNLER = 0,040 W/mK

Bir malzemenin ısı yalıtımı olarak kabul edilebileceği sınır $\lambda = 0.065$ W/mK’dir.

- BETONARME = 2,1 W/mK
- GAZBETON = 0,23 W/mK
- TUĞLA = 0,45 W/mK

Su Buharı Difüzyon Direnci (μ)

- Su buharı difüzyon direnci; bir malzemenin belirli sıcaklık, nem ve kalınlık koşulları altında birim zaman da birim alandan geçen su buharı miktarını ifade eder.
- Her yapı malzemesinin, μ (mü) değeri olarak tanımlanan buhar geçiş difüzyon katsayısı mevcuttur. Bu değer, malzemelerin havaya oranla buhar geçiş direncini tanımlamaktadır.
- Farklı sıcaklık ve bağıl nem oranlarına sahip, birbirine komşu iki hava ortamında, sıcaklık ve bağıl nem farklılıklarından dolayı oluşan kısmi basınç farkı ile yüksek nemlilikteki ortamdaki, düşük nemlilikteki ortama doğru bir nem akışı olur. Bu nedenle bina yada tesisatta kullanılan yalıtım malzemesinin (μ) buhar geçirgenlik direnci yüksek olmalıdır.

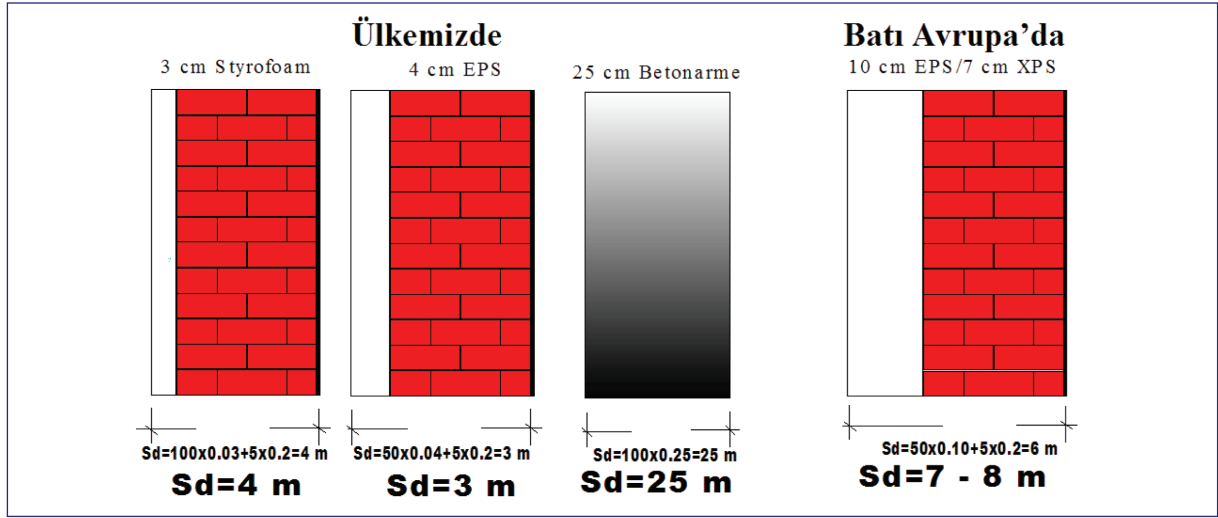
S_d Değeri Ne İfade Eder? ($S_d=\mu \times d$)

- S_d değeri, malzemenin birim direnç değerinin yanında, kullanıldığı kalınlık ile de doğru orantılıdır. Önemli olan su buharının katetmesi gereken yolun uzunluğudur. $S_d =$ Hava tabakasına eşdeğer kalınlıktır.

DIN 4108 Standardına göre nefes almazlık sınırı $S_d = 1500$ m’dir.

YOĞUŞMA (TERLEME)

Hava içindeki su buharının, ortam sıcaklığı ve bağıl nem miktarına bağlı olan terleme sıcaklığından daha



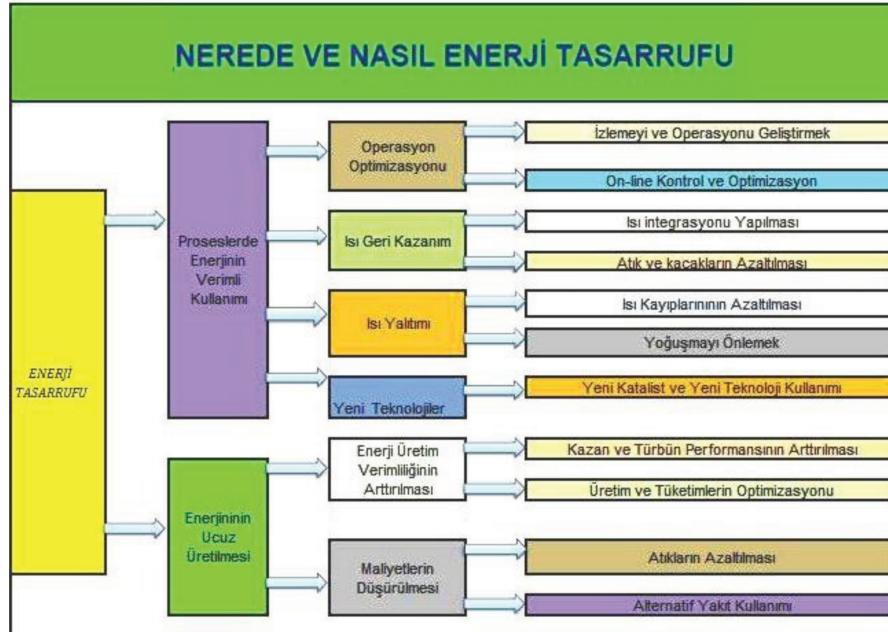
düşük sıcaklıktaki bir yüzeye temas etmesi sonucu gaz halinden sıvı hale geçmesidir.

Bütün bu bilgiler değerlendirildiğinde sanayide tesisat yalıtımının önemi bir kez daha öne çıkmaktadır. Önemli olan nerede ve nasıl enerji tasarrufu elde ederez bunu çok iyi bilmeliyiz çünkü enerjiyi bu kadar çok pahalı elde ettiğimizi düşünürsek yalıtımının da bu kadar iyi olması gerekmektedir. Aşağıdaki tabloda da sanayide enerji tasarrufları listelenmiştir.

SONUÇ

Sonuç olarak, Sanayide Enerji Verimliliği, uluslararası rekabet gücü açısından günümüzde önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Sanayide Enerji Verimliliğini artırmak için, enerji muhasebesi, kontrol sistemleri, yalıtım, yeni teknolojiler ve endüstriyel süreçler, hammadde özellikleri, ürün çeşitleri ve özellikleri, iklim şartları ve çevresel etkiler, kapasite kullanımı gibi alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Sanayi sektöründeki işletmelerin farklı enerji tasarruf önlemleri ve enerji verimli teknolojilerin yardımıyla

Tablo 2.7 Sanayide Enerjiyi Verimli Kullanma Yöntemleri ve Uygulamalar





enerji kullanımlarını verimli bir şekilde yönetmelerine olanak tanımak ve bu yönde teşvik etmek suretiyle Türk sanayisinde enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri.

[2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

[3] TEDAŞ, Türkiye Elektrik Dağıtım ve Türkiye İstatistikleri.

[4] BLOOMBERG HT 2013, Enerji İthalat Verileri.

[5] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi ve TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu Verileri.

