

KÜTAHYA İÇİN OPTİMUM ISI YALITIM  
KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFUNA  
ETKİSİ VE ISITMA MALİYETİ İLİŞKİSİ

Fehmi IRGAT

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart – 2009

KÜTAHYA İÇİN OPTİMUM ISI YALITIM KALINLIĞININ  
ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİ VE ISITMA MALİYETİ İLİŞKİSİ

Fehmi IRGAT

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Mart-2009

## KÜTAHYA İÇİN OPTİMUM ISI YALITIM KALINLIĞININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİ VE ISITMA MALİYETİ İLİŞKİSİ

Fehmi IRGAT

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2009

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

### ÖZET

Türkiye’de toplam enerji tüketiminin %31 gibi büyük bir kısmının konutlarda kullanıldığı düşünüldüğünde, binalarda ısıtma amaçlı olarak kullanılan enerjide tasarrufa gitmenin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada; Kütahya’daki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (doğalgaz, ithal kömür ve Seyitömer kömürü) kullanıldığı kabulüyle farklı ısı yalıtım malzemeleri için (XPS, EPS) optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı; faiz ve enflasyon oranları dikkate alınarak, ömür maliyet analizine göre yapılmıştır. Bu hesaplamalarda 2 adet dıştan yalıtımlı (delikli tuğla ve ytong kullanılan) ve diğerinde sandviç duvar olmak üzere 3 farklı duvar modeli baz alınmıştır. Enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanıldığında; optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi sırasıyla sandviç duvar için; 0,059 m, %54 ve 1,8 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için; 0,060 m, %57 ve 1,8 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtılmış duvar için 0,054 m, %46 ve 2,2 yıl olarak elde edilmiştir. Enerji kaynağı olarak ithal kömür kullanıldığında ise; sandviç duvar için, 0,072 m, %60 ve 1,6 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için, 0,074 m, %62 ve 1,6 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için, 0,068 m, %53 ve 1,9 yıl olarak elde edilmiştir. Enerji kaynağı olarak Seyitömer kömürü kullanıldığında ise; sandviç duvar için, 0,046 m, %47 ve 2,1 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için, 0,047 m, %50 ve 2 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için, 0,042m, %40 ve 2,6 yıl olarak elde edilmiştir. Ayrıca Kütahya’daki doğalgaz kullanan yaklaşık 2600 konutta optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılması halinde 1 yılda yaklaşık  $3.10^6$  TL’lik bir tasarruf sağlanabileceği yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, ısıtma maliyeti

## **EFFECT OF OPTIMUM HEAT ISOLATION THICKNESS ON ENERGY SAVING AND HEATING COST FOR KUTAHYA**

Fehmi IRGAT

Mechanical Engineering, M.S.Thesis, 2009

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Ramazan KÖSE

### **ABSTRACT**

When we are thought that using in buildings of a large part as %31 of total energy consuming in Turkey, energy which using in order to heat in building may used saving. In this study, when it was used that different energy sources (natural gas, import coal, Seyitömer coal) in order to heat buildings in Kütahya, optimum isolatin thickness (XPS, EPS) for different isolatin materials, energy savings and repayment times were calculated. Optimum isolation thickness account was made consider to interest and inflation rates according to life-cost analysis. These accounts were made on the brink of exteriorly isolation and sandvic wall on two different wall model. When natural gas was used as energy source, optimum isolation thickness, energy savings and repayment were obtained as 0.059m, %54 and 1.8 year, respectively. When natural gas was used as energy source, optimum isolation thickness, energy savings and repayment were obtained as 0.059m, %54 and 1.8 year for sandwic wall and 0.060m, %57 and 1.8 year for isolation wall from out and 0.054m, %46 and 2.2 year for isolation wall from out made with ytong, respectively. When export coal was used as energy source, optimum isolation thickness, energy economic and repayment were obtained as 0.072m, %60 and 1.6 year for sandwic wall and 0.074, %62 and 1.6 year for isolation wall from out and 0.068m, %53 and 1.9 year for isolation wall from out made with ytong, respectively. When Seyitömer coal was used as energy source, optimum isolation thickness, energy economic and repayment were obtained as 0.046m, %47 and 2.1 year for sandwic wall and 0.047, %50 and 2 year for isolation wall from out and 0.042m, %40 and 2.6 year for isolation wall from out made with ytong, respectively. If approximate 2600 buildings which use natural gas in Kütahya have optimum isolation thickness, examines show that may provided approximate  $3.10^6$  TL saving in one year.

**Keywords:** Optimum isolatin thickness, energy savings, heating cost

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıŐmalarımı özenle yönlendiren, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli danıŐmanım Prof. Dr. Ramazan KÖSE'ye teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan değerli aileme, çalıŐmalarımnda Kütahya iline ait bilgilere ulaşmamda yardımcı olan Kütahya Belediyesi Özel Kalem Müdürü Hüseyin Özyurt'a, bana bu çalışmada her türlü destek sağlayan mesai arkadaşım Kadir GÖK'e emeklerinden dolayı teŐekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>sayfa</u></b>
ÖZET .....	IV
SUMMARY .....	V
TEŞEKKÜR .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIV
1. GİRİŞ .....	1
2. ISI YALITIMI .....	2
2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı .....	2
2.2. Isı Geçişinin Esasları .....	2
2.3. Yalıtılmış Düzlem Duvarda Isı Geçışı .....	9
2.4. Isı Köprüsü .....	11
2.5. Isı Yalıtımının ve Faydaları ve Isı Yalıtımı Olmayan Yapılardaki Sorunlar .....	13
2.6. TS 825 Standardı ile Getirilen Yenilikler ve Değişiklikler .....	15
3. ISI YALITIM MALZEMELERİ .....	16
3.1 Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması .....	16
3.2. Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Özellikler .....	17
3.3. Isı Yalıtım Malzemeleri .....	19
3.3.1. Cam yünü .....	19
3.3.2. Taş yünü .....	19
3.3.3. Extrüde Polistren Köpük (XPS) .....	20
3.3.4. Ekspande Polistren Levha (EPS) .....	21
3.3.5. Rijit Poliüretan Köpük .....	22
3.3.6. Cam Köpüğü .....	22
3.3.7. Fenol Köpüğü .....	23
3.3.8. Mantar Levhalar .....	24
3.3.9. Perlit .....	25
3.3.10. Ahşap Lifli Levhalar .....	25

## İÇİNDEKİLER (Devamı)

	<b><u>sayfa</u></b>
4. KONUTLARDA ISI YALITIMI .....	28
4.1. Konutlarda Isı Yalıtımı Kullanılması ve Enerji Tasarrufu Sağlanması Gerektiren Sebepler .....	28
4.2. Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri .....	36
4.2.1. Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamaları .....	37
4.2.2. Duvar İç Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları .....	38
4.2.3. Duvar Dış Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları .....	39
4.3. Literatürdeki Çalışmalar .....	40
5. MATERYAL VE METOD .....	42
5.1. Materyal .....	42
5.1.1. Çalışma Alanı .....	42
5.1.2. Bina Duvarlarının Yapısı .....	42
5.1.3. Kütahya’da Kullanılan Yakıtlar ve Özellikleri .....	44
5.1.4. Kütahya İl Merkezinde Hava Kirliliği Değerleri .....	44
5.2. Metod .....	46
5.2.1. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması .....	46
5.2.2. Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süresi .....	47
6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME .....	49
6.1. Senaryo 1 .....	49
6.2. Senaryo 2 .....	49
7. SONUÇLAR .....	63
8. KAYNAKLAR .....	67
9. ÖZGEÇMİŞ .....	70
<b>EKLER</b>	
1. Senaryo 1’ de kullanılan yapı bileşenleri detayları	
2. Senaryo 2’ de kullanılan yapı bileşenleri detayları	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi .....	3
2.2. Isı iletim katsayısının değişik maddeler için değişim aralıkları .....	4
2.3. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi .....	5
2.4. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları .....	6
2.5. Işınım ile ısı alışverişi: (a) bir yüzeyde ve (b) bir yüzey ile daha büyük çevre yüzeyler arasında .....	8
2.6. Yalıtılmış düzlemsel duvarda ısı geçişi .....	9
2.7. İncelenen kesitlerde sıcaklık ve ısı akısının dağılımı .....	12
3.1. Cam yünü .....	19
3.2. Taş yünü .....	20
3.3. Ekstrüde polistren köpük .....	21
3.4. Ekspande polistren levha .....	21
3.5. Rijit poliüretan köpük .....	22
3.6. Cam köpüğü .....	23
3.7. Fenol köpüğü .....	24
3.8. Mantar levha .....	24
3.9. Perlit .....	25
3.10. Ahşap lifli levha .....	26
4.1. 1990-2006 yılları arası sektörel enerji tüketimi dağılımı .....	29
4.2. 2010-2020 arası beklenen sektörel enerji tüketimi dağılımı .....	31
4.3. Binaların kullanım amacına göre dağılımı .....	32
4.4. Konutlarda kullanılan enerji dağılımı .....	32
4.5. Isı yalıtım malzemesi kullanım payı .....	33
4.6. Duvarlarda meydana gelen enerji kayıpları .....	34
4.7. Konutlarda oluşan toplam ısı enerjisi kaybı .....	35
4.8. Duvarların yalıtım kalınlığı .....	35
4.9. Genel olarak binalardaki enerji kayıpları .....	36
4.10. Çift duvar arası ısı yalıtım detayları .....	37
4.11. Dış duvarlarda içten yalıtım detayı .....	39



**ŞEKİLLER DİZİNİ (Devamı)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.12. Dış duvarlarda dıştan yalıtım detayları .....	40
5.1. Hesaplalarda kullanılan duvar modelleri .....	43
6.1. Kütahya için yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi .....	50
6.2. Şimdiki değer faktörüne göre optimum yalıtım kalınlığının değişimi .....	51
6.3. Derece gün sayısının geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığına etkisi (Kullanılan yakıt doğalgaz ise) .....	51
6.4. Derece gün sayısının geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığına etkisi (Kullanılan yakıt kömür ise) .....	52
6.5. Farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi .....	52
7.1. Kullanılan yakıt türüne göre bina sayıları .....	63

## TABLOLAR DİZİNİ

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Isı taşınım katsayısı için yaklaşık değerler .....	7
2.2. İncelenen kesitlere ait hesaplarda kullanılan değerler ve kesitlerde bulunan U (Yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayısı) değerleri .....	12
2.3. Bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri .....	15
3.1. ASTM E-84'de verilen yapı malzemelerinin yangın sınıfları ve malzeme yüzeylerinin yanma karakteristikleri .....	18
3.2. Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri .....	27
4.1. Yıllar itibarıyla sektörel enerji tüketimi .....	28
4.2. Gelecekte beklenen sektörel enerji tüketimi .....	30
4.3. Birincil enerji payındaki değişim .....	33
5.1. Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri .....	43
5.2. Yanma sonucu oluşan baca gazı miktarları.....	44
5.3. Kütahya ilinde kullanılan yakıtların elementel analiz değerleri .....	44
5.4. 2003-2005 yılları kış aylarında günlük maksimum emisyon ve bölgeleri .....	45
5.5. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler .....	48
6.1. Farklı duvar bileşenlerinde farklı yakıt türleri için yapılan hesaplamalarda bulunan sonuçlar (Kullanılan yalıtım malzemesi; XPS) .....	54
6.2. Farklı duvar bileşenlerinde farklı yakıt türleri için yapılan hesaplamalarda bulunan sonuçlar (Kullanılan yalıtım malzemesi; EPS) .....	55
6.3. Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresine etkisinin sonuçları (Kullanılan yakıt; Doğalgaz) .....	56
6.4. Derece gün sayısının optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süresine etkisinin sonuçları (Kullanılan yakıt; Kömür) .....	57
6.5. Optimum yalıtım kalınlığının yıllık enerji tasarrufuna etkisinin sonuçları ....	58
6.6. Optimum yalıtım kalınlığının yıllık enerji tasarrufuna etkisinin sonuçları (Kullanılan yakıt; Kömür) .....	59
6.7. Şimdiki değer faktörünün optimum yalıtım kalınlığına etkisinin sonuçları (Kullanılan yakıt; Doğalgaz) .....	60
6.8. Şimdiki değer faktörünün optimum yalıtım kalınlığına etkisinin sonuçları (Kullanılan yakıt; Kömür) .....	61
6.9. Optimum yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisinin sonuçları .....	62

**TABLULAR DİZİNİ (Devamı)**

<b><u>Tablo</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>7.1.</b>	Yapı bileşenlerine göre toplam alan ve toplam ısı köprüsü arasındaki değişim	64
<b>7.2.</b>	Yapı bileşenine göre ısı köprüsü kayıpları .....	64
<b>7.3.</b>	Yakıt türüne göre tasarruf ve baca gazı emisyon değerleri .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$A_s$	Yıllık toplam maliyet farkı (TL/m <sup>2</sup> )
$C_A$	Isıtma için yıllık enerji maliyeti (TL/m <sup>2</sup> -yıl)
$C_{ykt}$	Yakıt maliyeti (TL/kg, TL/Nm <sup>3</sup> )
$C_{mlz}$	Yalıtım malzemesinin maliyeti (TL/m <sup>3</sup> )
$C_{ytl}$	Yalıtım maliyeti (TL/m <sup>2</sup> )
$C_t$	Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma maliyeti (TL/m <sup>2</sup> -yıl)
$C_{t, izo}$	Yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti (TL/m <sup>2</sup> -yıl)
$E$	Yüzeyin yayma gücü (W/m <sup>2</sup> )
$g$	Enflasyon oranı
$h$	Isı taşınım katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$H_u$	Yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg, kJ/Nm <sup>3</sup> )
$i$	Faiz oranı (%)
$k$	Yalıtım malzemesinin ısıl iletim katsayısı (W/mK)
$N$	Ömür süresi (yıl)
$q$	Isı akısı (W/m <sup>2</sup> )
$Q$	Birim zamanda geçen ısı miktarı (W)
$r$	Gerçek faiz oranı (%)
$R_i$	İç ortam havasının ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{izo}$	Yalıtım malzemesinin ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_t$	Tuğla malzemesinin ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_w$	Yalıtımsız duvar tabakasının ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{wt}$	Yalıtımsız duvar tabakasının toplam ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$R_{wt, izo}$	Yalıtımlı duvar tabakasının toplam ısıl direnç katsayısı (m <sup>2</sup> K/W)
$T_a$	Akışkan sıcaklığı (K)
$T_y$	Yüzey sıcaklığı (K)
$U$	Toplam ısı iletim katsayısı (W/m <sup>2</sup> K)
$x$	Yalıtım kalınlığı (m)
$x_{opt}$	Optimum yalıtım kalınlığı (m)
$\eta$	Yakma sisteminin verimi (%)

### SİMGELER VE KISALTMALAR (Devamı)

$\sigma$	Stefan-Boltzman Sabiti ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )
$\varepsilon$	Işınım neşretme katsayısı
$\mu$	Su buharı difüzyon direnç katsayısı

#### **Kısaltmalar**    **Açıklama**

ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme Test Birliği)
CEN	European Committee for Standardization (Avrupa Standardizasyon Komitesi)
DGS	Derece gün sayısı ( $^{\circ}\text{C}$ gün)
EURIMA	European Insulation Manufacturers Association (Avrupa Yalıtım Üreticileri Birliği)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Örgütü)
LCCA	Life Cycle Cost Analysis (Ömür maliyet analizi)
PP	Payback Period (Geri ödeme süresi)
ŞDF	Şimdiki değer faktörü
KVS	Kısa vadeli sınır değer
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

Kalkınmakta ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle Türkiye'nin enerji tüketimi hızlı artmaktadır. Bu da doğal kaynakların bilinçsizce ve büyük bir hızla tüketilmeye başlanmasına neden olmaktadır. Bu bilinçsizce tüketim enerji kaynaklarının verimli kullanımını gündeme getirdiği gibi tüketim sonucunda oluşan her türlü katı, sıvı ve gaz gibi atıkların meydana getirdiği önemli çevre kirliliğinin önlenmesi arayışını da beraberinde getirmektedir.

Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir. Türkiye'de kullanılan enerjinin %31 gibi büyük bir kısmının konutlarda kullanılması, konutlarda ısıtma amaçlı olarak kullanılan enerji de tasarrufa gitmenin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Konutlarda enerji tasarrufu ısı kayıpları minimuma indirilerek sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulamaktır[1]. Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyetinin azalmasına karşın yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetini arttırmaktadır. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet, belirli bir değere kadar azalmakta daha sonra ise artmaktadır. Bu nedenle, yalıtım malzemesi kalınlığı ile maliyet arasında bir optimizasyon yapmak gerekmektedir. Toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını vermektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin 3. derece ısı bölgesinde ve ortalama 2880 derece gün sayısına sahip olan ve hava kirliliğinin kent merkezinde yoğun olarak yaşandığı Kütahya ili çalışma sahası olarak ele alınmıştır[2]. Çalışmanın ikinci bölümde; ısı ve sıcaklık kavramı, ısı geçiş türleri ve ısı yalıtımının faydaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise; ısı yalıtım malzemelerinde olması gereken özellikler ve ısı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Dördüncü bölümde; konutlarda ısı yalıtımı ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri incelenmiş olup, beşinci bölümde çalışmada takip edilen materyal ve metod verilmiş ve Altıncı bölümde ise, ömür maliyet analizine göre yapılan hesaplamalarla örnek bina duvarlarındaki ısı kaybı ile enerji tüketimi hesaplanmış ve optimum yalıtım kalınlığı; kullanılan yakıt çeşidi, yalıtım malzemesi, duvar tipi, maliyet ve geri dönüşüm süresi gibi parametrelere göre değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre; yakıt türlerine göre tasarruflar ve baca gazı emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.

## 2. ISI YALITIMI

### 2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı

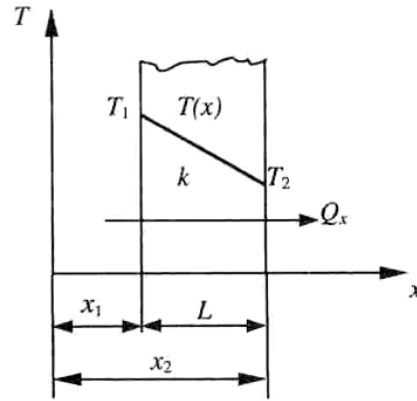
Isı, iki sistem arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçişi diye tanımlanmaktadır. Başka bir anlatımla, enerji geçişi sadece sıcaklık farkından dolayı gerçekleşmişse ısı diye tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre; ısı, herhangi bir zorlama olmaksızın sıcak bir ortamdan daha soğuk bir ortama doğru kendiliğinden akar. Termodinamik, bu ısı geçişinin nasıl ve ne hızda olduğunu açıklamaz. Çünkü termodinamikte zaman bir değişken olarak ele alınmaz. Termodinamik denge durumundaki sistemler ile ilgilenir. Geçen ısı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ama meydana getirdiği tesirler gözlenebilir ve ölçülebilir. Sıcaklık ise herhangi bir noktada ölçülen bir değer olup bir maddenin moleküllerinin kinetik enerjisinin ölçüsüdür[3-8].

### 2.2. Isı Geçişinin Esasları

Isı geçişi bilim dalı; termodinamiğin birinci ve ikinci, kütle korunumu ve Newton'un ikinci hareket kanunlarına ilave üç özel kanun yardımı ile, ısı geçişi olayının yapısını inceleyerek, ısı geçişini etkileyen büyüklükleri belirler ve bu büyüklükler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade eder. Çözüm yöntemi olarak da analitik, sayısal, deneysel ve benzeşim yöntemlerini kullanır. Isı geçişi üç şekilde; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıyım (radyasyon) olarak gerçekleşmektedir. Isı geçişi hangi yolla gerçekleşirse gerçekleşsin herhangi bir zorlama olmadığı zaman yönü yüksek sıcaklıktaki ortamdaki, düşük sıcaklıktaki ortama doğru olmaktadır[3-8].

- **İletim**

İletim; bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılması olarak düşünülebilir. Isı geçişi; doğrultuya, yöne ve şiddete sahip olduğundan vektörel bir büyüklüktür. Basit geometrilerden, iki yüzeyi farklı sıcaklığa sahip olan düzlem duvarda geçen ısı miktarı, Fourier ısı iletim kanununa göre hesaplanabilmektedir. Düzlem duvarda ısı geçişinin fiziksel yapısı Şekil 2.1' de gösterildiği gibidir[4-8].



**Şekil 2.1.** Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi[4].

Düzlem duvarda, x yönünde geçen ısı akısı aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Isı akısı  $q_x$  (W/m<sup>2</sup>), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı (dT/dx) ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k, ısı iletim katsayısı (W/mK) olarak adlandırılan bir aktarım özelliğidir ve duvar malzemesi ile ilişkilidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur[4-8]. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradyanı,

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.2)$$

olarak ifade edilebilir ve ısı akısı da;

$$q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.3)$$

veya,

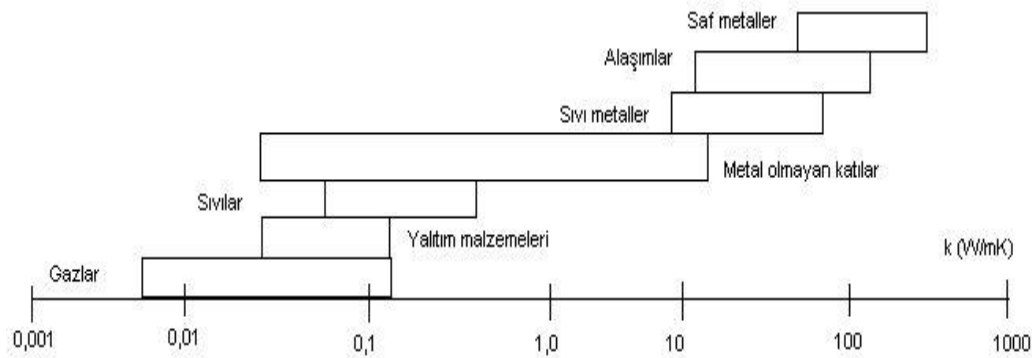
$$q_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (2.4)$$



olarak yazılabilir. Bu eşitliğin, ısı akısını, yani birim yüzeyden, birim zamanda geçen ısıyı verdiğine dikkat edilmelidir. Böylece, yüzey alanı A olan düz bir duvardan birim zamanda geçen ısı, akı ile alanın çarpımına eşittir[4-8].

$$Q = q_x \cdot A \quad (2.5)$$

Isı iletim katsayısı birim kalınlıkta sıcaklık artışı için iletilen ısı geçiş hızı olup malzemeye göre değişmektedir. Basınca göre değişim, sıcaklığa göre değişimden daha az olması nedeniyle ihmal edilebilir. Bu nedenle, ısı iletim katsayısı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kabul edilebilir. O zaman ısı iletim katsayısı; birim kalınlıktaki bir cismin, birim yüzeyden birim zamanda cismin iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde geçen ısı miktarı olarak tanımlanabilir. Yoğunluğu büyük olan malzemelerin, ısı iletim katsayılarının daha büyük olabileceği söylenebilir de, bu bir genel kural olmamaktadır. Malzemenin gözenekli olması ısı iletim katsayısını küçültmekte, fakat nem oranı arttıkça, ısı iletim katsayısı da artmaktadır. Gözenekli veya gevşek lifli yapıdaki malzemelerin yoğunluklarının düşük olması nedeniyle, ısı iletim katsayıları da düşüktür[4-8]. Şekil 2.2.'de ısı iletim katsayısının değişik maddeler için değişim aralıkları gösterilmekte olup, ısı iletim katsayısı en yüksek malzemelerin saf metaller olduğu, ısı iletim katsayısı en düşük maddelerinde gazlar olduğu görülmektedir.

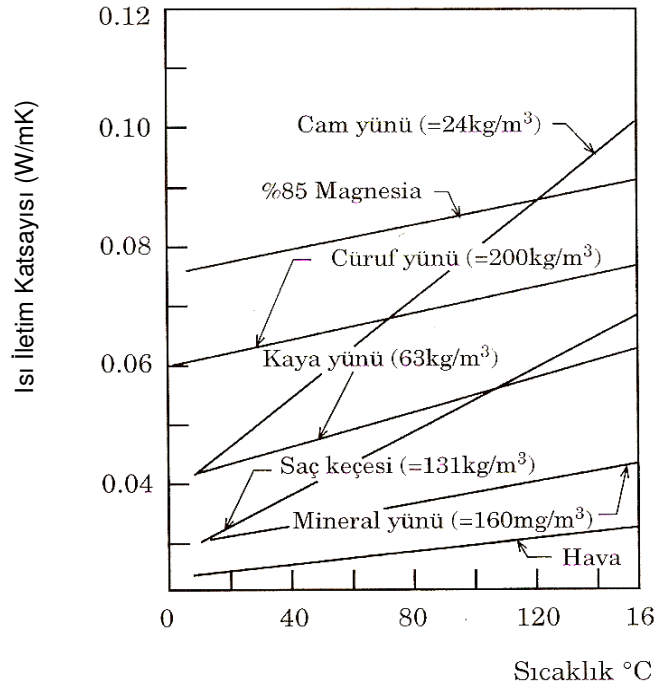


**Şekil 2.2.** Isı iletim katsayısının değişik maddeler için değişim aralıkları[7].

Maddelerin fiziksel ve metalurjik özelliklerinin, ısı iletim katsayılarına etkileri için aşağıdakiler söylenebilir[4].

- Saf metallerde ısı iletim katsayısı sıcaklık arttıkça azalır.
- Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar.
- Nem, genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayılarını artırır.
- Saf bir maddenin ısı iletim katsayısı, eğer içerisine başka bir bileşen ilave edilirse azalır.
- Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından dolayı ısı iletim katsayısı artmaktadır.
- Sıvılarda sıcaklık arttıkça, çoğu sıvının ısı iletim katsayısı azalmakla birlikte bazı sıvılarınki artmaktadır. Suyun ısı iletim katsayısı, 140°C sıcaklığa kadar artmakta daha sonra azalmaya başlamaktadır.
- Isı yalıtım malzemelerinde, yoğunluk ve sıcaklık arttıkça ısı iletim katsayısı artar.

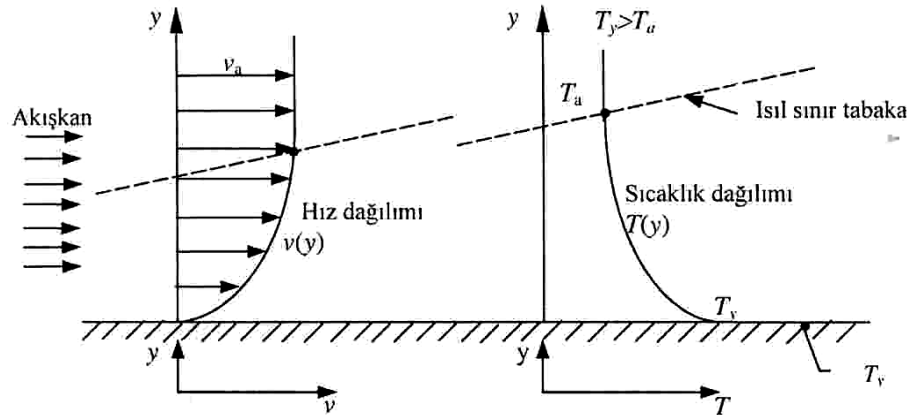
Sıcaklık arttıkça, yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının arttığı Şekil 2.3.'de net olarak görülebilir.



Şekil 2.3. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi[8].

- **Taşınım**

Taşınım; katı bir yüzeyle onun temas ettiği akışkan bir ortam arasında gerçekleşen ısı geçişidir. Taşınımla olan ısı geçişi, sıcaklığın değişken olduğu ısıl sınır tabaka içinde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.4. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları[6].

Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi  $T_y$  sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan  $T_a$  sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçişi ifadesi 1701 senesinde Newton tarafından verilmiştir. Bu ifade;

$$q = h(T_y - T_a) \quad (2.6)$$

şeklinde gösterilir. Burada, taşınımla ısı akışı  $q$  ( $W/m^2$ ), yüzey ve akışkan sıcaklıkları arasındaki fark ( $T_y - T_a$ ) ile doğru orantılıdır. Bu ifade; Newton'un Soğutma Yasası olarak bilinir ve orantı katsayısı  $h$  ( $W/m^2K$ ) da ısı taşınım katsayısı olarak adlandırılır. Bu değer, yüzey geometrisine, akışkan hareketinin türüne ve akışkanın bazı termodinamik ve aktarım özelliklerine göre belirlenen sınır tabakadaki koşullara bağlıdır[4-8]. Mühendislik uygulamalarında yüzey boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı kullanılmaktadır. Yüzey boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı;

$$h = \frac{1}{A} \int h dA \quad (2.7)$$

bağıntısıyla verilmektedir[5].

Isı transferi proseslerinde, akışkanın hareketi bir pompa veya fan yardımıyla gerçekleştirilirse, bu zorlanmış taşınım olarak adlandırılır. Eğer akışkan hareketi yoğunluk farkı

nedeniyle kütleli bir kuvvet etkisiyle gerçekleşirse, bu tür ısı taşınım olayına doğal taşınım adı verilmektedir[6]. Tablo 2.1’de ısı taşınım katsayısının taşınım türüne göre değerleri verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Isı taşınım katsayısı için yaklaşık değerler[5].

Akışkan	Doğal taşınım (W/m <sup>2</sup> K)	Zorlanmış taşınım (W/m <sup>2</sup> K)
Gazlar	5 - 30	30 - 300
Yağlar	5 - 100	30 - 3 000
Su (tek faz)	30 - 300	300 - 10 000
Sıvı metaller	50 - 500	500 - 20 000
Su kaynaması	2 000 - 20 000	3000 - 100 000
Su buharı yoğuşması	3 000 - 30 000	3000 - 200 000

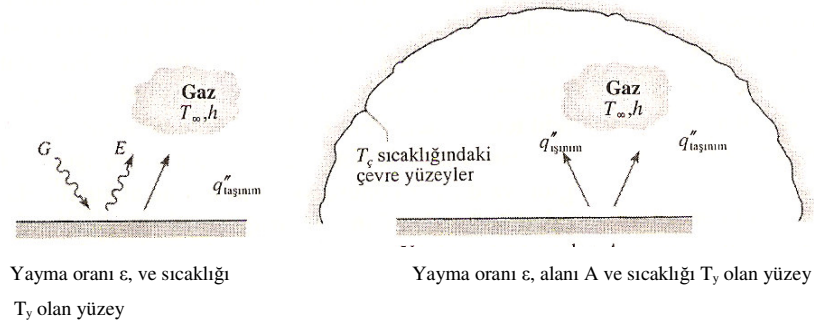
- **Işınım**

Işınım; maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığı ile gerçekleşen ısı geçişidir[4-8]. İletim veya taşınım ile enerji aktarımı, bir maddi ortamın varlığını şart kılarken, ışınım için bu şart yoktur. Hatta, ışınım ile aktarım, boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir.

Şekil 2.5a’daki yüzey için ışınım ile ısı geçişi göz önüne alınsın. Yüzeyin yaydığı ışınım, yüzeyin sardığı cismin ısı enerjisinden kaynaklanır ve birim zamanda birim yüzeyden serbest bırakılan enerji (W/m<sup>2</sup>) yüzeyin yayma gücü E olarak adlandırılır. Yayma gücünün, Stefan-Boltzmann yasası ile tanımlanan bir üst sınırı vardır;

$$E_b = \sigma T_y^4 \quad (2.8)$$

Burada,  $T_y$ , yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) olup  $\sigma$ , Stefan-Boltzmann sabitidir ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ). Böyle bir yüzey, ideal ışınım yayıcı veya siyah cisim olarak adlandırılır.



**Şekil 2.5.** Işınım ile ısı alışverişi: (a) bir yüzeyde, (b) bir yüzey ile daha büyük çevre yüzeyler arasında[7].

Gerçek bir yüzeyin yaydığı ısı akısı, aynı sıcaklıkta bulunan bir siyah cismin yaydığından daha azdır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir;

$$E = \epsilon \sigma T_y^4 \quad (2.9)$$

Burada  $\epsilon$ , gerçek yüzeyin yayma gücünün, aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin yayma gücüne oranı olup; ışınım yayma oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu katsayı siyah cisimler için 1, beyaz cisimler için ise 0 kabul edilir[4-8].

Alanı A olan  $T_1$  sıcaklığındaki bir siyah yüzey,  $T_2$  sıcaklığındaki diğer bir siyah yüzeye çevrilmişse ışınım ile ısı geçişi,

$$Q = A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.10)$$

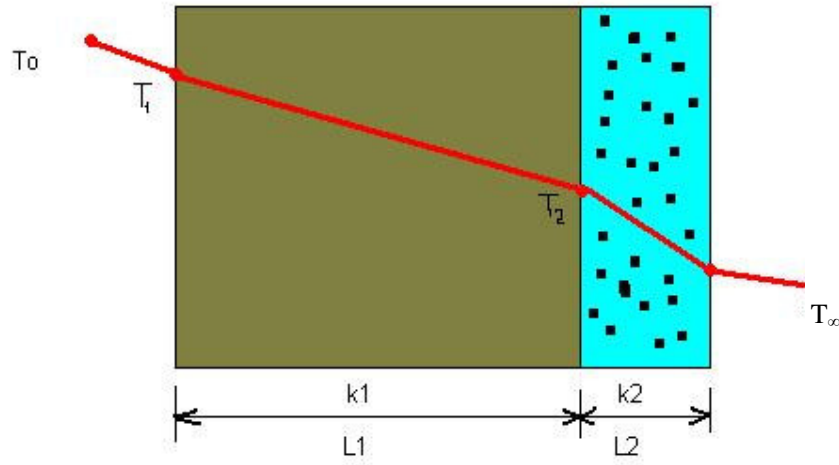
şeklindedir. Eğer yüzeylerden birisi siyah yüzey değilse ( $\epsilon \neq 1$ )

$$Q = \epsilon A \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.11)$$

bağıntısı geçerli olur.

### 2.3. Yalıtılmış Düzlem Duvarda Isı Geçişi

Şekil 2.6.'da verilen duvarın yüzeyi A, kalınlığı  $L_1$ , ısı iletim katsayısı  $k_1$ , yalıtım kalınlığı  $L_2$  ve ısı iletim katsayısı  $k_2$  olsun. Sıcak ve soğuk yüzeye ait taşınım katsayıları sıra ile  $h_1$  ve  $h_2$  olsun.



Şekil 2.6. Yalıtılmış düzlemsel duvarda ısı geçişi[6].

Bu sistem için bir boyutlu ısı geçişi,

$$q_x = \frac{T_o - T_\infty}{\sum R_i} \quad (2.12)$$

olarak ifade edilebilir. Toplam ısı dirençler açılarak yazıldığında,

$$q_x = \frac{T_o - T_\infty}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (2.13)$$

olur[5]. Bileşik sistemlerde Newton soğuma yasasına benzer bir biçimde tanımlanan, toplam ısı geçiş katsayısı U ile çalışmak çoğu kez daha kolaydır. Bu yaklaşımla;

Toplam ısı transfer katsayısı,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}} \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilebilir[6]. Kompozit bir yapı için 2.7 ifadesi,

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (2.15)$$

şeklinde yazılabilir[6]. Buna göre duvarın iki yüzünden toplam transfer edilen ısı;

$$Q = UA\Delta T \quad (2.16)$$

olup,  $\Delta T$  toplam sıcaklık farkıdır. Toplam ısı geçiş katsayısı toplam ısı dirençle ilişkilidir ve denklem (2.12)' den  $UA=1/R_t$  olduğu görülür[5]. Buradan, Şekil 2.3'deki duvar için,

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}} \quad (2.17)$$

olarak veya,

$$R_t = \sum R_i = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \quad (2.18)$$

şeklinde yazılabilir[5].

## 2.4. Isı Köprüsü

Yapı elemanlarında kullanılan delikli tuğlaların ve briketlerin perde kısımları, giriş kolon gibi elemanlar ya da ısı yalıtım yapılan yerlerde, yalıtım malzemesini monte etmek için kullanılan metal ya da plastik esaslı parçalar, buldukları yerlerdeki diğer elemanlardan ısıyı daha fazla iletiklerinden, ısı köprüsü adını almaktadırlar. Bu yüzden ısı yalıtımı yapılan yerlerde ısı köprüsünün meydana gelmemesine özen gösterilmelidir[4].

Isı köprüleri, binanın ortalama U değerinden (iletimle ısı kaybından) büyük ölçüde yüksek U değerlerine (ısı kaybına) sahip sınırlı alanlardaki bölgelerdir. Bu bölgelerde meydana gelen fazla ısı kayıpları;

- \* Yakıt tüketiminin artmasına,
- \* Bölgesel olarak ısı akısının artmasına ve iç yüzey sıcaklıklarının düşmesine,
- \* Bu bölgelerde terleme veya küf oluşmasına,

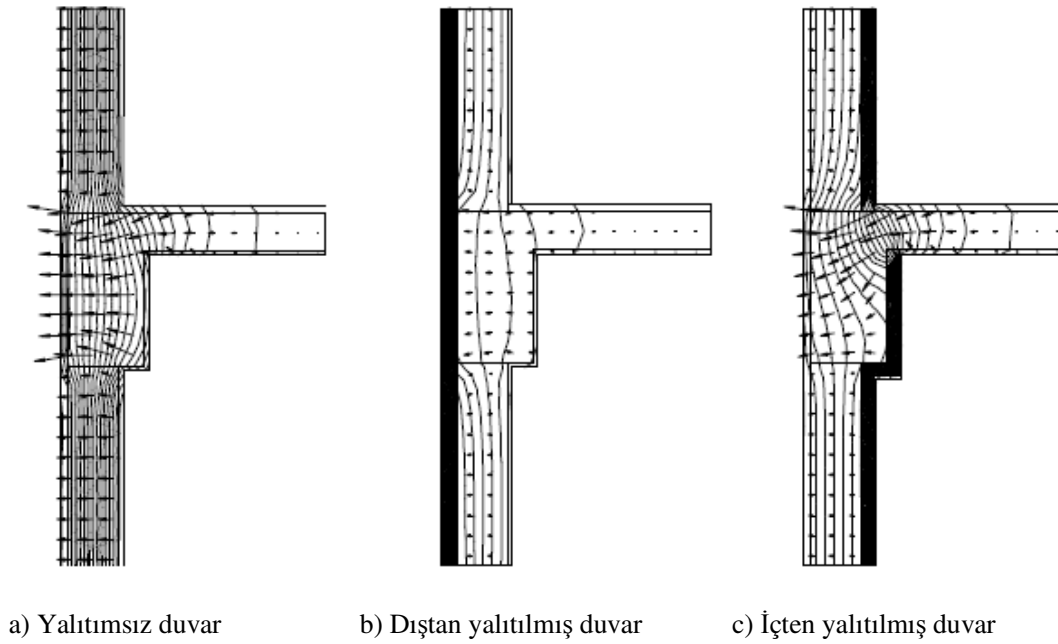
sebepler olacaktır.

Betonarme elemanlar ile duvarların birleşim bölgelerinde, betonarme elemanların ısı iletkenliği, duvarlardan çok daha yüksek olduğundan betonarme elemanlar iç yüzeyden daha fazla enerjiyi dış yüzeye iletceklerdir.

Bunun sonunda betonarme eleman-duvar arakesitinde iç yüzeye yakın bölgede duvarın sıcaklığı betonarme elemandan fazladır ve duvardan betonarme elemana doğru ısı iletimi meydana gelir; arakesitin dış yüzeye yakın bölgesinde ise, betonarme elemanın sıcaklığı duvarın sıcaklığından yüksek olacağından betonarme elemandan duvara doğru ısı iletimi gerçekleşmektedir.

Dolayısıyla, betonarme eleman ve çok yakın çevresinin dışında tek boyutlu (duvar yüzeylerinin oluşturduğu düzlemlere dik doğrultuda) olan ısı iletimi, betonarme eleman etrafında iki boyutlu hale gelmektedir. Isı köprülerinin bulunduğu bölgede ısı yalıtımının sürekliliği de sağlanamaz ise, iki boyutlu iletimin mertebesi daha da artabilir. Fazladan ısı kayıplarının meydana gelmesinin yanında düşük iç yüzey sıcaklıklarının meydana gelmesi kaçınılmaz olup, terleme ve küf oluşma ihtimali ise yükselebilmektedir[9].





Şekil 2.7. İncelenen kesitlerde sıcaklık ve ısı akısının dağılımı[10].

Tablo 2.2. İncelenen kesitlere ait hesaplarda kullanılan değerler ve kesitlerde bulunan U değerleri[10].

	L (m)	L <sub>yal</sub> (m)	L <sub>duv</sub> (m)	L <sub>içsiv</sub> (m)	L <sub>dışsiv</sub> (m)	k <sub>yal</sub> (W/mK)	k <sub>duv</sub> (W/mK)	k <sub>içsiv</sub> (W/mK)	k <sub>dışsiv</sub> (W/mK)	Kesitlerin U değerleri (W/m <sup>2</sup> K)
a (yalıtımsız)	0,24		0,2	0,015	0,025	---	0,45	0,87	0,87	2,04
b (dıştan yalıtım)	0,29	0,05	0,2	0,015	0,025	0,04	0,45	0,87	0,87	0,57
c (içten yalıtım)	0,29	0,05	0,2	0,015	0,025	0,04	0,45	0,87	0,87	0,57

Şekil 2.7'deki örnek duvarlar için hesaplamalarda kullanılacak değerler, Tablo 2.2'de verilmiştir. Isı köprüsü hesaplamalarında kanatçık yaklaşımı kullanıldığı zaman, döşeme boyunca gerçekleşen ısı çekişi de dikkate alındığından; U-değerleri yükselmekte ve her durum için farklı değerler alınmaktadır. Kesitlerdeki U değerlerine baktığımızda yalıtımsız ve yalıtımlı durumlar arasında büyük fark olduğu görülmektedir[10].

## 2.5. Isı Yalıtımı ve Faydaları

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında gerçekleşen ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ısı yalıtımı denir.

- **Isı yalıtımının enerji tasarrufuna faydası**

Isı yalıtımı yapılmış bir binada ısı kaybı ve kazancı azalmakta; dolayısıyla ısıtma ve soğutma için harcanan yakıt miktarı da azaltılmış olmaktadır. Böylece daha küçük kapasiteli ısıtma, soğutma sistemleri ve bu sistemlerin tesisatları daha küçük olacağından ilk yatırım maliyetleri azalmaktadır.

- **Isı yalıtımının çevreye katkısı**

Isı yalıtımı çevrenin korunmasına katkı sağlar. Kömür, petrol gibi yakıtlar; uygun olmayan yakma sistemlerinde kullanıldığında bir yandan gözle görülür biçimde hava kirliliğine yol açarken, diğer yandan da küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında, renksiz ve yanmayan bir gaz olan karbondioksit açığa çıkar. Genellikle atmosferin alt tabakası troposferde bulunan karbondioksitin ekolojik denge açısından önemi büyüktür. Enerji tüketimindeki artış sonucu, atmosferdeki karbondioksit miktarı yıldan yıla artmaktadır. Bunun sonucunda, güneş ışınlarının yeryüzüne gidişi ve yansıma ile dönmesi sırasında, çok fazla miktarda enerji soğurulmakta ve atmosferin sıcaklığı giderek yükselmektedir. Enerji tüketimindeki olağanüstü hızlardaki artış, küresel ısınma tehdidini de büyütmektedir[11]. Küresel ısınma, sera gazları olarak adlandırılan gazların etkisiyle atmosfer sıcaklığındaki bu yükselmenin sonucudur. Artan nüfus ve buna bağlı olarak yükselen enerji talebi göz önüne alınarak yapılan hesaplarda CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılamaması halinde bunun atmosferdeki konsantrasyonunun 2100 yılında 700 ppm'e ulaşacağı hesaplanmaktadır. Uluslararası İklim Değişikliği Komisyonu bunun 500 ppm ile, hatta 400 ppm ile sınırlandırılması gerektiğini belirtmektedir. Son zamanlarda konsantrasyonun 378 ppm'e ulaşması, dünyanın felaket sınırından çok uzak olmadığını göstermektedir[12]. Fosil kaynaklı yakıtların yakılarak tüketilmesi sonucunda diğer önemli bir çevre sorunu da kükürt ve azot oksitlerin artışıdır. 2000 yılında yapılan bir araştırmaya göre fosil kaynaklı yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) sebep olduğu çevre zararlarının maddi boyutunun yaklaşık 2900 milyar dolar civarına ulaşabileceğini ortaya koymuştur[12]. Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının yaklaşık yüzde 50'si de binalara ilişkin faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

Binalarda kullanılan enerjinin hava kirliliğine katkısının oranı ise yüzde 21'dir. Etkin bir ısı yalıtımı ile %50 enerji tasarrufu sonucu hava kirliliği de büyük ölçüde azaltılmış olacaktır.

- **Isı yalıtımının ısı konfora katkısı**

Kapalı ortamlardaki ısı koşulları, o ortamda yaşayan insanların rahatlığını, konforunu ve sağlığını doğrudan ilgilendirir. İnsanların çalışma verimlerini buldukları ortamın sıcaklığı büyük ölçüde belirlemektedir. Çalışma ortamının ısı koşulları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını doğrudan etkilemektedir. Çok soğuk ya da çok sıcak ortamların, çalışma verimini düşürdüğü belirlenmiştir. Yine çok soğuk ortamların yol açtığı sağlık sorunları da iş gücü kaybına ve buna bağlı sağlık harcamalarına neden olmaktadır. Ortam sıcaklığının iş yerlerinde iş kazalarına da yol açtığı bilinmektedir.

Bunları engellemek için yapılarda ısı konforu sağlanmalıdır. Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının düşürülmesi gerekmektedir. Bu fark ne kadar yüksek olursa konfor da o kadar düşük olacaktır. Konforlu bir mekan için bu fark 3 °C 'den daha az olmalıdır. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması durumunda, ısının ortam içinde soğuk yüzeylere doğru hareketi, istenmeyen hava akımları oluşturur. Bu hava akımları da konforu azaltmakta ve hastalıklara neden olmaktadır[11].

Tüm bunları engellemek için, ısı yalıtımı yapılmalıdır. Isı yalıtımı ile, mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenir. Bunun sonunda hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlanmış olur.

- **Isı yalıtımı ve sağlık**

Isı yalıtımsız mekanlarda, oluşan nemin hastalıklarla ilişkisi bilinmektedir. Nemli ortamlar, mikroorganizmaların üremesi için uygun ortam yaratır ve bu da ortamdaki havanın solunum yolları için zararlı hale gelmesine yol açar. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki; nemli ortamlar ve bu ortamlardaki küf oluşumu, özellikle küçük çocukların astım hastalığına yakalanma riskini büyük ölçüde artırmaktadır. Standartlara uygun olarak yapılmış ısı yalıtımı, tüm bu sorunları ortadan kaldırmaktadır[11].

## 2.6. TS 825 Standardı ile Getirilen Yenilikler ve Değişiklikler

TS 825 standardı, yeni inşa edilecek binalar ile mevcut binaların tümünde veya bağımsız bölümlerinde yapılacak olan esaslı tamir, tadil ve eklemelerdeki (mevcut binaların oturma alanının %15'i oranında ve üzerinde yapılacak tadilatlardaki) ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplama kurallarını, izin verilebilecek en yüksek ısı kaybı değerlerini ve hesaplama ile ilgili bilgilerin sunuş şeklini kapsamakta ve binalarda ısıtma enerjisi ihtiyacının hesaplanmasına yönelik bir metot belirlemektedir[13,14]. Yapılarda kullanılan ısı yalıtımı ile ısı kayıplarının önemli ölçüde azaltıldığı, %70 oranlarında yakıt tasarrufu sağlandığı bilinmektedir. Bu yüzden de yaşam alanlarının yalıtılması ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde ısınma için aşırı bir yakıt tüketimi vardır; Türkiye’de birim hacmi ısıtmak için harcanan enerji Fransa’dan % 46, İsveç’ten % 230 daha fazladır. Bu aşırı yakıt tüketimi, ülkemizin coğrafi konumundan değil, ülkemizde ısı yalıtımına gereken önemin verilmeyişinden kaynaklanmaktadır[14]. 2003 yılından bu yana süre gelen revizyon çalışmalarının tamamlanmasına takiben Mayıs 2008’de TSE tarafından yayınlanmış yeni TS 825, binaların ısı kayıp hesaplamalarına yeni düzenlemeler getirmiştir. Bu düzenlemeler ile binalarda daha az ısı kaybına müsaade edilmekte, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı azaltılmaktadır.

Yapılan son değişiklikler ile binaların iç ortam sıcaklık değerleri 19 °C olarak belirlenmiştir. Ayrıca çok katlı olarak inşa edilecek olan binaların bağımsız ara döşemeleri ile komşu duvarları; ısıtılmayan iç hacimlere bitişik taban ve duvar gibi düşünülerek, “R direnci en az 0,8 m<sup>2</sup>K/W olacak şekilde hesaplanmalı ve yalıtılmalı” maddesi gelmiştir[14].

TS 825’e göre Kütahya 3. iklim bölgesinde yer almaktadır. Kütahya için ısı yalıtımı hesaplarında tavsiye edilen yapı bileşenlerinin tasarım ve yerleşimi Tablo 2.3.’ de verilen “U” değerlerine eşit veya küçük olmalıdır. Uygulamalarda öncelikle hatalar bu noktada yapılmaktadır. Isı yalıtımı hesaplamalarında TS 825’de tavsiye edilen “U” değerleri dikkate alınmamaktadır[14].

**Tablo.2.3.** Bölgelere göre tavsiye edilen U değerleri[14].

	U duvar (W/m <sup>2</sup> K)	U tavan (W/m <sup>2</sup> K)	U döşeme (W/m <sup>2</sup> K)	U pencere (W/m <sup>2</sup> K)
1. Bölge	0.80	0.50	0.80	2.80
2. Bölge	0.60	0,40	0,60	2,80
3. Bölge (Kütahya için)	<b>0,50</b>	<b>0,30</b>	<b>0,45</b>	<b>2,80</b>
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,80

### 3. ISI YALITIM MALZEMELERİ

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için yapılan uygulamada, yalıtımı sağlamak için kullanılan malzemelere ısı yalıtım malzemeleri adı verilmektedir. Isı yalıtım malzemeleri, gerek üretim sürecinin gerekse bu malzemeyi oluşturan ana maddelerin kimyasal bileşimi ve yapısının bir sonucu olarak ya kapalı ya da açık boşluklu hava/gaz içeren maddelerdir. Bu özellik, buhar akımı yönünden malzemenin kullanımını etkileyen çok önemli yapısal bir özelliktir. Bilindiği gibi, kapalı gözenekli yalıtkanların bünyeleri süreklilik gösterdiği için hiçbir tür gaz ve buharı geçirmez; buna karşılık açık gözenekli yalıtım malzemelerinde süreklilik söz konusu olmadığından her türlü gaz ve buhar geçişine açıktır[15]. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliğinin ısı iletim katsayısı olduğu söylenebilir. ISO (Uluslararası Standartlar Örgütü) ve CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi)'ne göre ısı iletkenlik katsayıları  $0,06 \text{ W/mK}$ 'nin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemeleri olarak tanımlanmaktadır. Diğer malzemeler, yapı malzemeleri olarak kabul edilmektedir[16].

#### 3.1. Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Isı yalıtım malzemeleri; üretildiği malzeme türüne, bünye yapısına ve uygulama sistemine göre olmak üzere değişik türlerde sınıflandırılabilir.

A-) Üretildiği malzeme türüne;

- Doğada varolan malzemelerden üretilen ısı yalıtım malzemeleri
  1. Bitkisel ve hayvansal kökenli malzemeler,
  2. Mineral kökenli malzemeler.
- Doğada var olmayan ve sentetik (yapay) olarak üretilen ısı yalıtım malzemeleri

B-) Bünye yapısına göre ısı yalıtım malzemeleri;

- Lifsel yapıda olan malzemeler,
- Daneli yapıda olan malzemeler,
- Köpük yada (gözenekli) yapıda olan malzemeler,
- Kompozit yapıda olan malzemeler,
- Bağlayıcı madde aglomeraları,
- Liflerle donatılı kompozitler,

- Lamine kompozitler,

C-) Uygulama sistemlerine göre;

- Levha yapıdaki ısı yalıtım malzemeleri, Yatay yapı elemanlarında uygulama, Düşey yapı elemanlarında uygulama, Duvar malzemesine yapışan yalıtım malzemeleri, Bir yapıştırıcıyla tespit edilen yalıtım malzemeleri, Özel tespit malzemesiyle tespit edilenler, Bir ızgara sistemiyle tespit edilenler (asbest çimento levhalar, polimer levhalar)
- Şilte (rulo) yapıdaki ısı yalıtım malzemelerinin uygulanması (camyünü)
- Yerinde köpük oluşturan ısı yalıtım malzemeleri (poliüretan köpük)
- Harca katılarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri (hafif agregalı malzeme)
- Dolgu (dökme) olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri (polistrol, genleştirilmiş perlit)
- Blok halinde örülerek kullanılan ısı yalıtım malzemeleri (polistren köpüklü tuğlalar)
- Gazların ısı taşımına engel olacak şekilde tasarlanan ısı yalıtım malzemeleri (ısı camlar) [17] .

### 3.2. Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Özellikler

Bina yalıtımında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri de çeşitlilik göstermektedir. Önemli olan uygun yalıtım malzemesinin kullanılmasıdır. Isı yalıtım malzemelerinin istenilen performansı sağlayabilmeleri için; ısı iletim katsayısının düşük olması, nem tutuculuk, yanmazlık, hafiflik, kolay uygulama, korozyon ve paslanma yapmamak gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Sadece ısı iletkenliği düşünülerek oluşturulan yapı elemanlarının istenilen sonuçları vermediği görülmektedir. Isı yalıtımının yanında rutubet akımı ve yoğuşma olayının önemi yalıtım malzemesinde başka nitelikleri aramayı gerekli kılmaktadır. Tek bir malzemenin bu ve benzeri tüm özelliklere sahip olması beklenmemektedir. Çeşitli kullanım yerlerine göre, iyi bir ısı yalıtım malzemesinden beklenen özellikler [18]:

- Isı geçişine karşı yüksek dirence sahip olması,
- Yeterli basınç direncine sahip olması, zamanla çökme yapmaması,
- Yeterli çekme direncine sahip olması,
- Kullanılan sıcaklıkla bozulmaması,

- Özelliklerini zaman içinde kaybetmemesi,
- Birlikte kullanılan malzemelerle reaksiyona girmemesi ve bozulmaması,
- Yanmazlık ve alev geçirmezlik,
- Yeterli buhar difüzyon direnci,
- Suya ve neme karşı yüksek dayanım,
- Uygulama ve işçilik kolaylığı,
- Boyutsal kararlılık,
- Kokusuz olması,
- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi,
- Detay bazında ekonomik olması,
- Hafiflik,
- Küf tutmaması,

olarak sayılabilir.

Isı yalıtım malzemesi seçilirken dikkat edilmesi gereken özelliklerden biri olan malzemenin yangına tepki sınıfları Tablo 3.1 de gösterilmiştir. Burada alev yayılması 22 mm olan A sınıfı malzemeler en yanmaz malzemeler olmakta, alev yayılması en çok 500 mm ve daha fazla olarak gösterilen E sınıfı malzemeler ise en kolay yanabilen malzemeler olarak sınıflandırılmıştır[19].

**Tablo 3.1.** ASTM E-84’de verilen yapı malzemelerinin yangın sınıfları ve malzeme yüzeylerinin yanma karakteristikleri [19].

Yangın sınıfı	Alev Yayılması/ Duman Oluşumu	Açıklama
A	0 – 25 / 0 - 450	Alev yayılması 22 mm’ye kadar olan malzemeler
B	26 – 75 / 0 - 450	Alev yayılması 75 mm’ye kadar olan malzemeler
C	76 – 201 / 0 - 450	Alev yayılması 201 mm’ye kadar olan malzemeler
D	202 – 500 / 0 - 450	Alev yayılması 500 mm’ye kadar olan malzemeler
E	> 500 / 0 - 450	Alev yayılması 500 mm’den fazla olan malzemeler

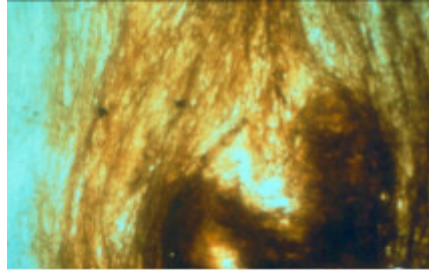
### 3.3. Isı Yalıtım Malzemeleri

#### 3.3.1. Cam yünü

İnorganik bir madde olan silisyum kumunun, yüksek basınç altında 1200 - 1250°C de ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (14-100 kg/m<sup>3</sup>) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir[20].

Cam yünü malzemelerinin genel özellikleri;

- Kullanım sıcaklığı -50 ile +250 °C aralığındadır.
- A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir.
- Isı iletkenlik katsayısı 0,035 - 0,050 W/mK dir
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 1$  dir.
- Hacimce su emme değeri, %3-10 dur.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



Şekil 3.1. Cam Yünü.

#### 3.3.2. Taş yünü

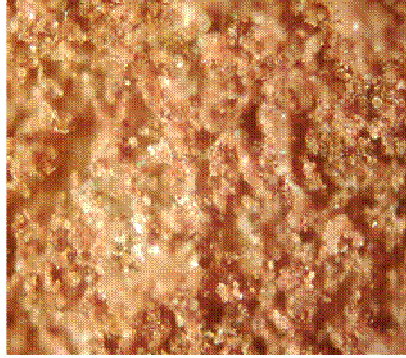
İnorganik bir madde olan bazalt ve diabaz taşlarının 1350-1400 °C sıcaklıklarda, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (30-200 kg/m<sup>3</sup>) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha boru veya dökme formunda üretilebilir[20].

Taş yünü malzemesinin genel özellikleri;

- Kullanım sıcaklığı -50 ile +650 °C aralığındadır.
- A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir.



- Isı iletkenlik katsayısı 0,035 - 0,050 W/mK dir.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 1$  dir.
- Hacimce su emme değeri %2,5-10 dur.
- Basma dayanımı 0,5 ila 500 kPa arasındadır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



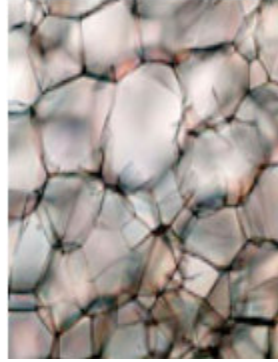
**Şekil 3.2** Taş Yünü.

### 3.3.3. Extrüde Polistren Köpük (XPS)

Polistren hammaddesinin ekstrüzyon (haddeleme) ile çekilmesi ile üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemeleridir. Değişik yoğunluklarda ( $\geq 25 \text{ kg/m}^3$ ) XPS levhaları levha veya boru biçiminde üretilebilir[20].

XPS malzemelerinin genel özellikleri;

- Kullanım sıcaklığı -50 ile +80 °C aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı D veya E dir.
- Isı iletkenlik katsayısı 0,030 - 0,040 W/mK dir
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 80-250$  arasındadır.
- Hacimce su emme değeri %0-0,5 dir.
- Basma dayanımı 100-1000 kPa arasında değişir.
- Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır.



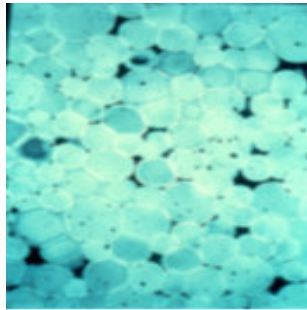
**Şekil 3.3.** Ekstrüde Polistren Köpük.

### 3.3.4. Ekspande Polistren Levha (EPS)

Polistren hammaddesinin su buharı ile teması ile hammaddesinde bulunan pentan gazının genişmesiyle büyük bloklar halinde şişirilip sıcak tel ile kesilerek üretilir. Levha şeklinde kalıp içerisinde şişirilerek de üretilebilir. EPS levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az  $15 \text{ kg/m}^3$  olması gerekir[20].

EPS malzemelerinin genel özellikleri;

- Kullanım sıcaklığı  $-50$  ile  $+80$  °C aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı D veya E dir.
- Isı iletkenlik katsayısı  $0,035 - 0,040 \text{ W/mK}$  dir.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 20-100$  arasında değişmektedir.
- Hacimce su emme değeri %1-5 dir.
- Basma dayanımı  $30$  ila  $500 \text{ kPa}$  arasında değişir.
- Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır.



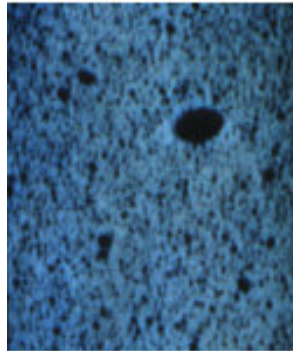
**Şekil 3.4.** Ekspande Polistren Levha.

### 3.3.5. Rijit Poliüretan Köpük

Poliüretan, iki ayrı kimyasal komponentin bir araya getirilmesi ile üretilir. Bu karışım daha sonra kalıba dökülerek kapatılır. Kimyasal reaksiyon sonucunda, genişerek kalıbı tamamıyla kaplar ve sıvı halden katı hale geçer. Farklı yoğunluklarda ( $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ ) levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir[20].

Rijit poliüretan köpük malzemelerinin genel özellikleri;

- Kullanım sıcaklığı  $-200$  ile  $+110^\circ\text{C}$  aralığındadır.
- Yangına tepki sınıfı E dir.
- Isı iletim katsayısı  $0,025 - 0,040 \text{ W/mK}$  dir
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 30-100$  arasındadır.
- Hacimce su emme değeri  $\%3-5$  dir
- Basma dayanımı  $25$  ila  $800 \text{ kPa}$  arasında değişir.
- Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır.



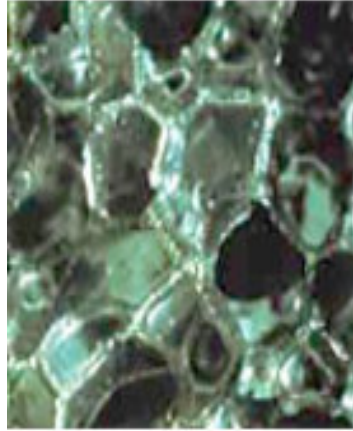
Şekil 3.5. Rijit Poliüretan Köpük.

### 3.3.6. Cam Köpüğü

Cam köpüğü; hücresel dolgu malzemesi ile birleştirilmiş atık cam kırıklarından oluşur. Bu iki bileşen bir kalıba yerleştirilerek yaklaşık  $510^\circ\text{C}$  ye ısıtılır. Isıtma işlemi süresince kırılmış cam tanecikleri eriyerek sıvı hale geçer. Hücresel dolgu malzemesinin ayrışması sonucunda karışım genişip kalıbı doldurur. Karışımın milyonlarca birbirine bağlı, üniform ve kapalı hücreler oluşturmasıyla değişik yoğunluklarda ( $100-150 \text{ kg/m}^3$ ) cam köpüğü elde edilir[20].

Cam köpüğünün genel özellikleri;

- Isı iletkenlik katsayısı 0,045 - 0,060 W/mK dir.
- Kullanım sıcaklığı -260 ile +430 °C aralığındadır.
- Basma dayanımı 430 ila 8800 kPa arasındadır.
- Kimyasal maddelere dayanıklıdır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



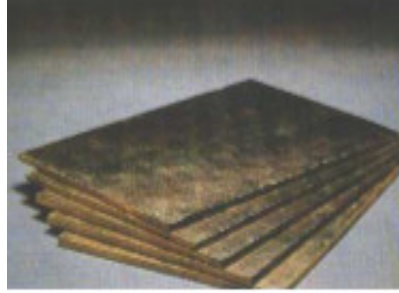
Şekil 3.6. Cam Köpüğü.

### 3.3.7. Fenol Köpüğü

Fenol-Formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddeler katılarak elde edilir. Muhtelif yoğunluklarda levha ve boru biçiminde alüminyum folyo, metal vb. kaplamalar ile donatılabilen bir üründür[20].

Fenol köpüğünün genel özellikleri;

- Isı iletkenlik katsayısı 0,030 - 0,045 W/mK dir
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 10-50$  dir.
- Kullanım sıcaklığı -180 ile +120 °C aralığındadır.



**Şekil 3.7.** Fenol Köpüğü.

### 3.3.8. Mantar Levhalar

Doğal bir ürün olan mantar, akdeniz yöresindeki özel ağaçlardan elde edilmektedir. Ağaçlardan soyulan mantar, temizlenip prosesten geçirilerek granül haline getirilir. Granüller kurutma cihazında temizleme ve traşlama prosesinden elde edilen mantar tozlarının yakılması ile elde edilen kızgın buhara tabi tutulur. Mantar bloklar bu prosesten sonra kurutma cihazından çıkarılarak su ile soğutularak 2 hafta süresince dinlenmeye bırakılır. Bu sürenin ardından testere ile talep edilen kalınlıklarda kesilerek değişik yoğunluklarda ( $80-500 \text{ kg/m}^3$ ) mantar levhalar elde edilir[20].

Mantar levhaların genel özellikleri;

- Yangına tepki sınıfı E dir.
- Isı iletkenlik katsayısı  $0,045 - 0,055 \text{ W/mK}$  dir
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 5-10$  dur.
- Kullanım sıcaklığı  $-180$  ile  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$  aralığındadır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



**Şekil 3.8.** Mantar Levha.

### 3.3.9. Perlit

Bünyesinde %2-4 oranında bağlı su bulunduran ve camsı bir kayadır. Perlitin en önemli özelliği, ısıtılarak yumuşama sıcaklığına getirildiğinde orijinal hacminin 4-24 katına çıkabilmesidir. Perlit temel olarak silika ve alüminyum bileşenlerinden oluşmuş olsa da kolaylıkla nem absorbe edebilen  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  gibi higroskopik katkıları da içermektedir. Ham perlitin kırılıp değişik ebatlardaki eleklerden geçirilerek tasnif edilmesinin ardından 800-1150 °C'ye hızlı bir şekilde ısıtılarak bünyesindeki öz suyun buharlaşması ile patlaması sonucu granül halinde genişletilmiş perlit elde edilir. Levha veya granül olarak torbalara konularak kullanılabilir[20].

Perlit malzemesinin genel özellikleri;

- Isı iletkenlik katsayısı 0,045-0,065 W/mK dir.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 5$  dir.
- Kullanım sıcaklığı -250 ile +1000 °C aralığındadır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



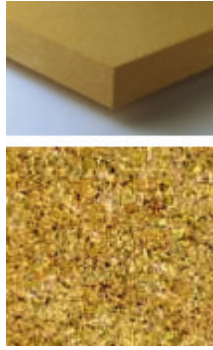
Şekil 3.9. Perlit.

### 3.3.10. Ahşap Lifli Levhalar

Ahşap lifli ısı yalıtım malzemeleri; ladin, köknar gibi ağaç yongalarından üretilmektedir. Ahşap yongaları termo-mekanik olarak hamur haline getirilip ince şeritler halinde kesilir. Elyafalara su itici katkıları (%2 parafin) püskürtülür ve ardından kurutulur. Kurutulmuş elyaflara %4 oranında poliüretan esaslı reçine püskürtülmesinin ardından levha biçimine getirilerek değişik yoğunluklarda 110-450 kg/m<sup>3</sup> üretilir[20].

Ahşap lifli malzemelerin genel özellikleri;

- Yangına tepki sınıfı E dir.
- Isı iletkenlik katsayısı 0,035-0,070 W/mK dir.
- Su buharı difüzyon direnç katsayısı  $\mu = 5$  dir.
- Su emme değeri 0,5-2 kg/m<sup>2</sup> dir.
- Basma dayanımı 5 ila 100 kPa arasındadır.
- Güneşin mor ötesi ışınlarından etkilenmez.



**Şekil 3.10.** Ahşap Lifli Levha.

**Tablo 3.2.** Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

	Isı İletkenlik Katsayısı W/mK	Kullanım Sıcaklığı °C	Yanma Sınıfı	Su buharı difüzyon direnç katsayısı	Hacimce su emme %	Basma dayanımı kPa	Mor ötesi ışıktan etkilenme
Cam yünü	0,035-0,050	-50 / +250	A1,A2	1	3-10	----	Etkilenmez
Taş yünü	0,035-0,050	-50 / +650	A1,A2	1	2,5-10	0,5 - 500	Etkilenmez
XPS	0,030- 0,040	-50 / +80	D,E	80-250	0-0,5	100 - 1000	Etkilenir
EPS	0,035-0,040	-50 / +80	D,E	20-100	1-5	30 - 500	Etkilenir
Rijit poliüretan köpük	0,025-0-040	-200 / +110	E,F	30-100	3-5	25 - 800	Etkilenir
Cam köpüğü	0,045-0,060	-260 / +430	E		----	430 - 8800	Etkilenmez
Fenol köpüğü	0,030-0,045	-180 / +120	E	10-50	----	----	
Mantar Levha	0,045-0,055	-180 / +100	E	5-10	----	----	Etkilenmez
Perlit	0,045-0-,065	-250 / +1000	---	5	----	----	Etkilenmez
Ahşap lifli levha	0,035-0,070	----	E	5	0,5-2	5 - 100	Etkilenmez



#### 4. KONUTLARDA ISI YALITIMI

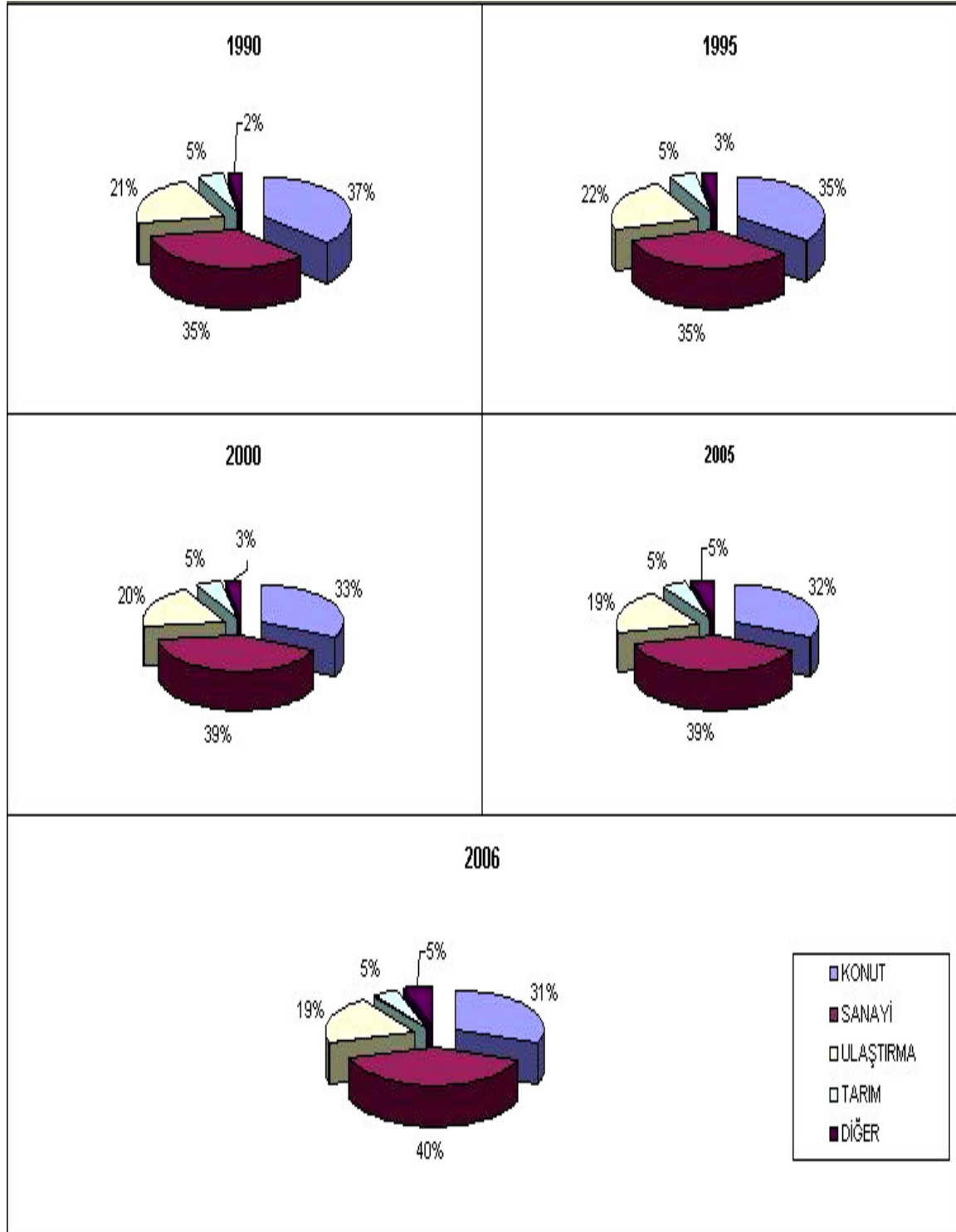
Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir. Türkiye’de kullanılan enerjinin %31 gibi büyük bir kısmının konutlarda kullanılması, konutlarda ısıtma amaçlı olarak kullanılan enerji de tasarrufa gitmenin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Konutlarda enerji tasarrufu ısı kayıpları minimuma indirilerek sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulamaktır.

##### 4.1. Konutlarda Isı Yalıtımı Kullanılması ve Enerji Tasarrufu Sağlanması Gerektiren Sebepler

Enerjinin doğru ve verimli olarak kullanımı ile sağlanacak enerji tasarrufunun, en ucuza elde edilebilen bir enerji kaynağı olduğu söylenebilir. Türkiye’nin 2006 yılında sektörel dağılımına göre enerji tüketiminin verildiği Tablo 4.1 incelendiğinde, konut sektörünün enerji tüketiminde %31 lik önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir[1].

**Tablo 4.1.** Yıllar itibarıyla sektörel enerji tüketimi (BİNTEP)[1].

Yıllar	Konut	%	Sanayi	%	Ulaştırma	%	Tarım	%	Diğer	%
1990	15358	37	14542	35	8723	21	1956	5	1031	2
1995	17596	35	17372	35	11066	22	2555	5	1386	3
2000	20058	33	24501	39	12008	20	3073	5	1915	3
2005	22923	32	28084	39	13849	19	3359	5	3296	5
2006	23860	31	30996	40	14994	19	3610	5	4163	5



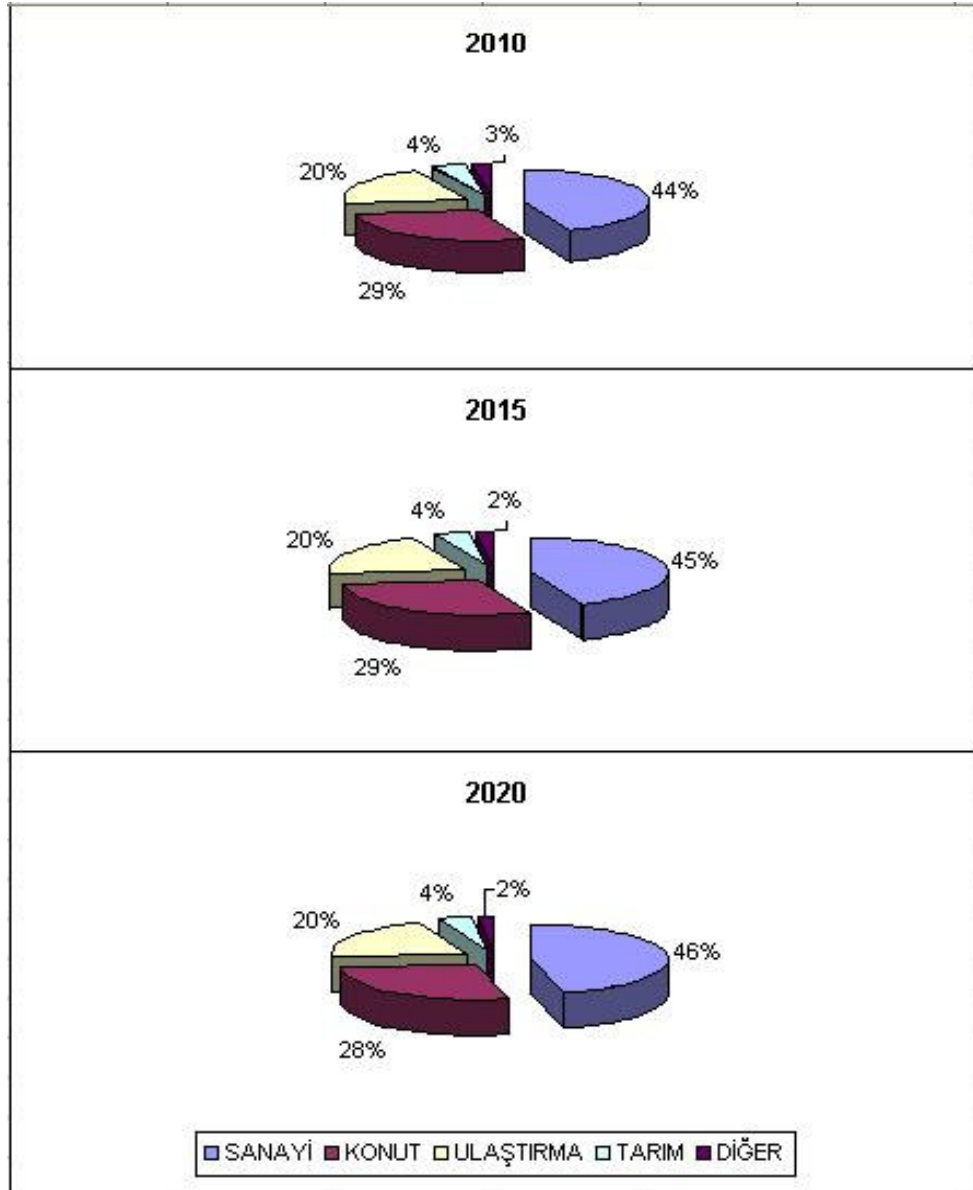
Şekil 4.1. 1990-2006 yılları arası sektörel enerji tüketimi dağılımı[1].

Yıllar itibariyle enerji tüketimi değişiminin verildiği Şekil 4.1 ve Tablo 4.1 incelendiğinde; 1990'lı yıllarda %37'lik paya sahip olan konut sektörünün 1995'te %35, 2000'de %33, 2005'de %32 ve 2006'da %31 olarak düşüşte olduğunu, buna paralel olarak sanayi sektöründe ise, enerji tüketiminin 1990'lı yıllarda %35 iken 2006'ya gelindiğinde bu oranın %40'a çıktığı görülmektedir. Nüfus artışı ile birlikte konut ihtiyacının artmasına rağmen konut sektöründe enerji tüketimi payının azalmasının nedeni; sanayileşmenin artması ve son yıllarda yapılan binalarda yalıtıma önem verilmesidir.

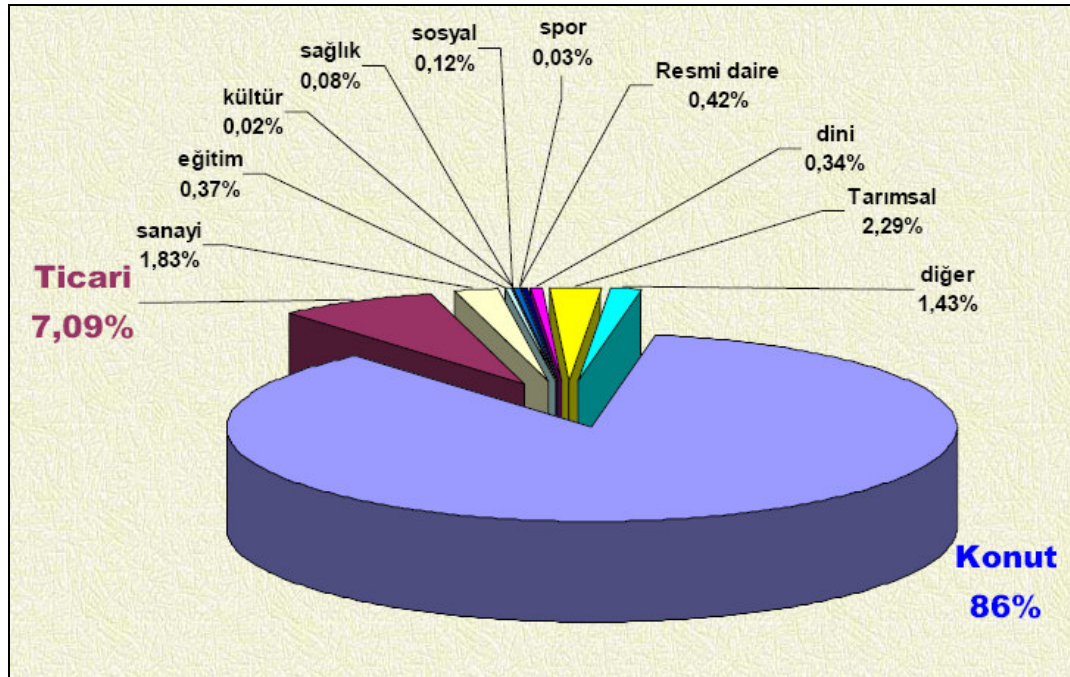
Şekil 4.2 ve Tablo 4.2 incelendiğinde, 2020 yılına kadar sanayide enerji tüketiminin %2 artacağı buna karşılık ise konutlarda %1 azalacağı görülmektedir. Bugün itibariyle %31'lik paya sahip olan konut sektöründe bu binaların kullanım amacına göre dağılımları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.3'ten de görülebileceği gibi Türkiye'de bulunan toplam 8,5 milyon binanın %86'sı konut olarak kullanılmaktadır.

**Tablo 4.2.** Gelecekte beklenen sektörel enerji tüketimi(BİNTEP)[1].

Yıllar	Sanayi	%	Konut	%	Ulaştırma	%	Tarım	%	Diğer	%
2010	43585	44	29019	29	19915	20	4370	4	2513	3
2015	57633	45	38507	29	26541	20	5443	4	2844	2
2020	78732	46	47549	28	34039	20	6753	4	3219	2

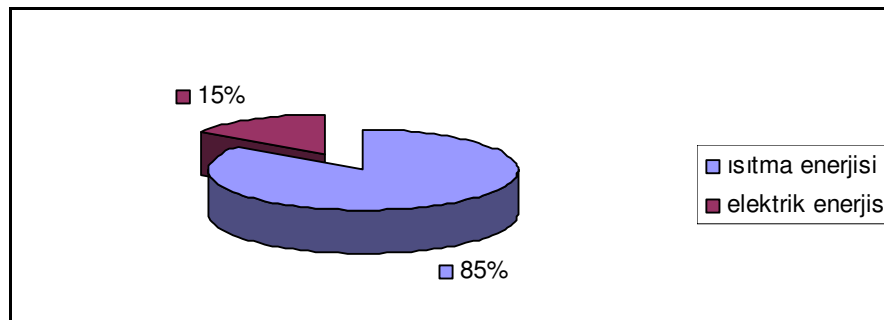


Şekil 4.2. 2010-2020 arası beklenen sektörel enerji tüketimi dağılımı[1].



Şekil 4.3. Binaların kullanım amacına göre dağılımı[21].

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi konutlarda kullanılan enerjinin de %85'i ısıtma için kullanılmaktadır[22]. Konut sektöründe enerjinin verimli kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasının sağlanması, diğer sektörlerde de bir kazanç olarak yansıtacağı düşünülmektedir.

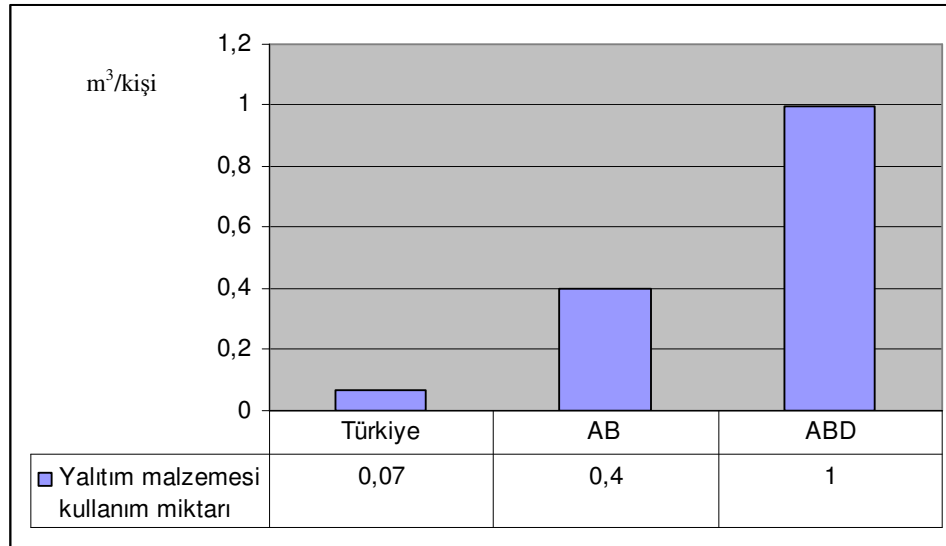


Şekil 4.4. Konutlarda kullanılan enerji dağılımı[22].

Tablo 4.3’de yıllar itibariyle birincil enerji payındaki değişim incelendiğinde son 10 yılda enerji talebimizin 1,5 kat arttığı, 1995’te enerji ihtiyacının %42’sini karşılamaktayken 2006’da bu oranın %26’ ya düştüğü, buradaki azalmayla ithal edilen enerjinin de %58’den %73’e çıktığı görülmektedir. Enerji talebinin çok altında üretim yapıldığı için tasarruf kaçınılmaz hal almaktadır. Bu değerlere bakıldığında binalardaki yalıtımın ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.5’de ise yalıtım konusunda Türkiye’nin çok geride kaldığı görülmektedir. 2005 yılı itibariyle ısı yalıtım malzemesi kullanım payı ABD’de kişi başı 1 m<sup>3</sup> iken, AB ülkesinde 0,4 m<sup>3</sup>, Türkiye’de ise 0,07 m<sup>3</sup> olarak çok düşük olduğu net bir şekilde görülmektedir.

**Tablo 4.3.** Birincil enerji payındaki değişim[21].

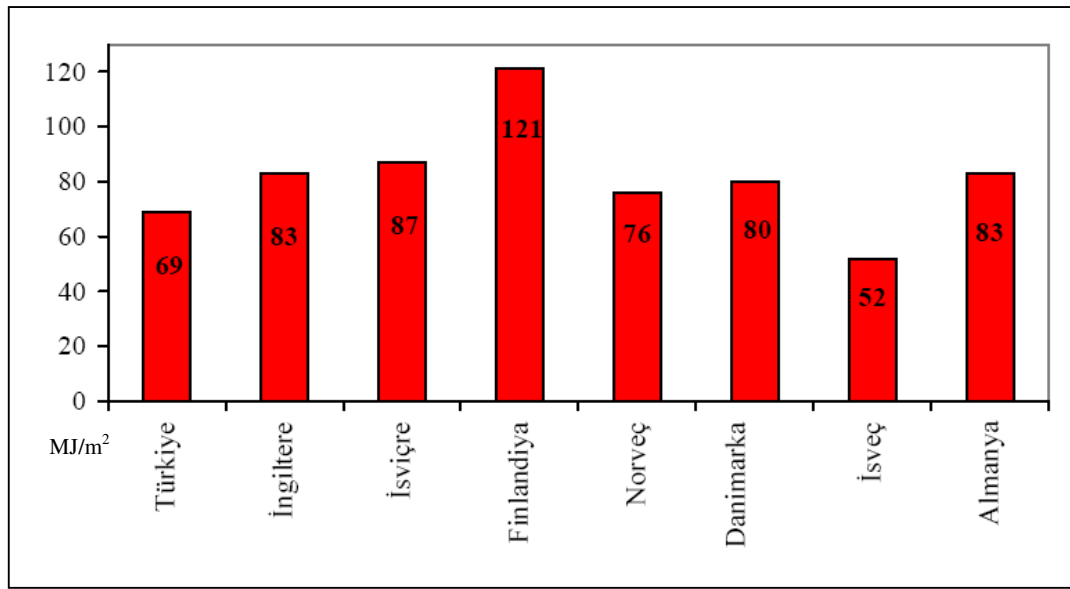
YIL	Talep (milyon TEP)	Üretim (milyon TEP)	%	İthal (milyon TEP)	%
1995	63,1	26,3	42	38,6	58
2000	81,2	27,6	34	53,6	66
2002	78,3	24,6	31	53,7	69
2004	87,5	24,4	28	63,1	72
2006	99,8	26,8	26,8	80,4	73,2



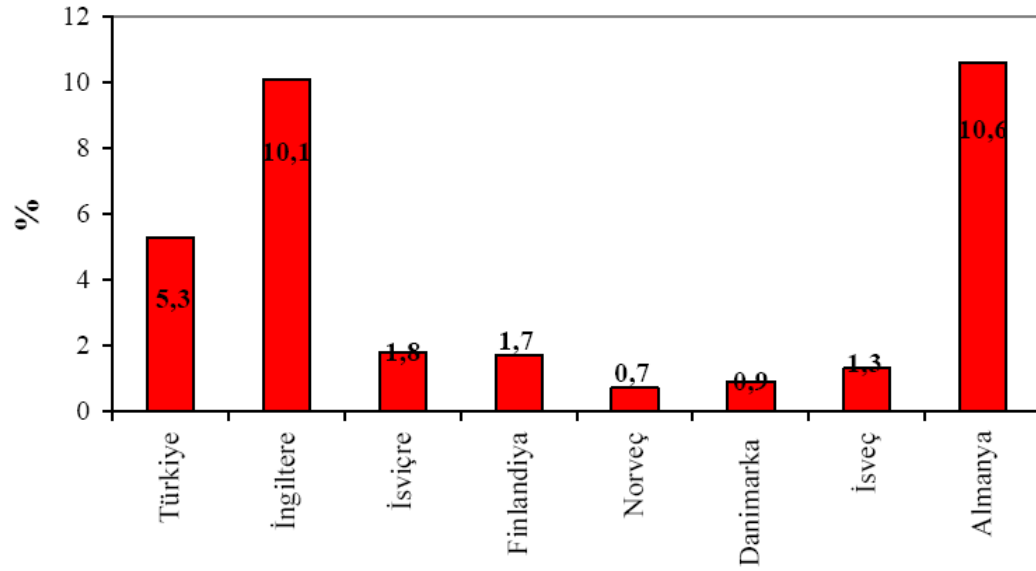
**Şekil 4.5.** Isı yalıtım malzemesi kullanım payı (2005)[21].

Konutların en önemli işlevlerinden biri iç ortam ısı konfor koşullarının sağlanmasıdır. Günümüzdeki enerji sorunu göz önünde bulundurulduğunda, bina kabuğunun ısı konforu

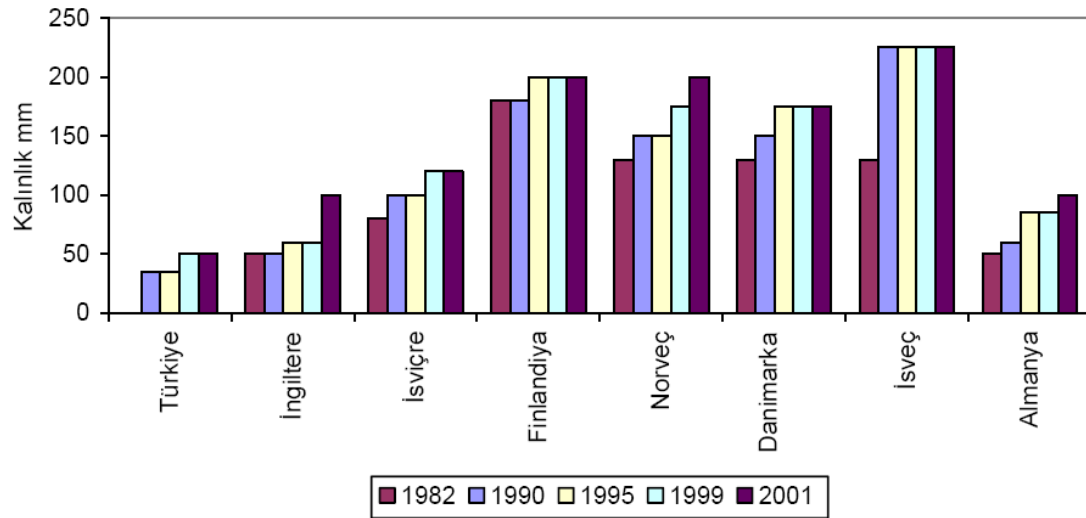
minimum enerji kullanarak sağlaması büyük bir önem taşımaktadır. Isıtma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirilmesi için ısı kayıplarının azaltılması ve dolayısıyla ısı yalıtımı kullanımı gerekli olmaktadır. Avrupa Yalıtım Üreticileri Birliği EURIMA (European Insulation Manufacturers Association)'dan alınan 2001 yılı verilerine göre duvarlardan meydana gelen enerji kayıpları, konutlarda oluşan toplam ısı enerji kaybı ve duvarların yalıtım kalınlığı sırasıyla Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8'de görülmektedir[22]. Şekil 4.6' de Türkiye'nin enerji kaybının az oluşunun nedeni, kıyaslandığı ülkelerden daha sıcak bir iklime sahip olmasıdır. Bu yüzden Şekil 4.8' de görüldüğü gibi duvarlardaki yalıtım kalınlığı en az olan ülke olarak görülmektedir.



Şekil 4.6. Duvarlarda Meydana Gelen Enerji Kayıpları[18].



Şekil 4.7. Konutlarda Oluşan Toplam Isı Enerjisi Kaybı[18].

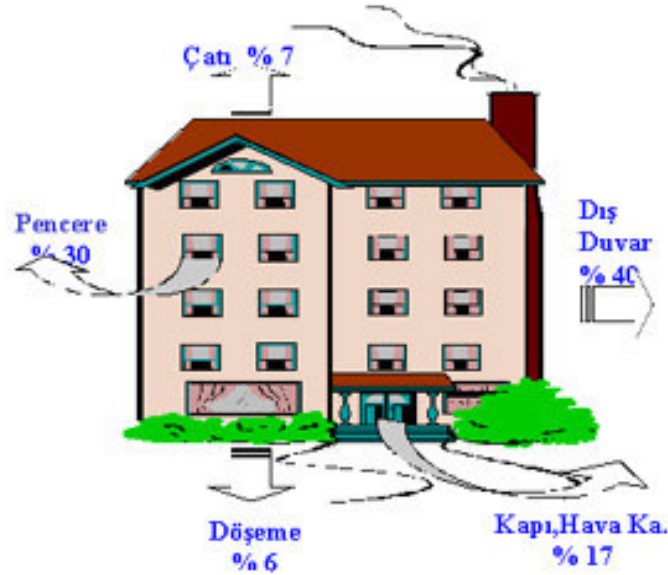


Şekil 4.8. Duvarların Yalıtım Kalınlığı[18].



#### 4.2. Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri

Konutlardaki en büyük ısı kayıpları, duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi yapı elemanlarından gerçekleşmektedir. Bu bölgelerden oluşan ısı kayıpları oranları yapının mimarisine, konumuna, ısı yalıtım durumuna ve kullanılan yapı malzemelerinin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak binalardaki enerji kayıplarındaki en büyük oran ise, Şekil 4.9'da görüldüğü gibi %40 ile dış duvarlardan meydana gelmektedir. Bu yüzden dış duvarların yalıtımı daha da önem kazanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde duvarlar; tek bir katmandan oluşabildiği gibi, bünyesinde yalıtım malzemesi barındıran, birden fazla katmandan oluşan bir yapı elemanı olarak da ele alınabilmektedirler[23].



Şekil 4.9. Genel olarak binalardaki enerji kayıpları[22].

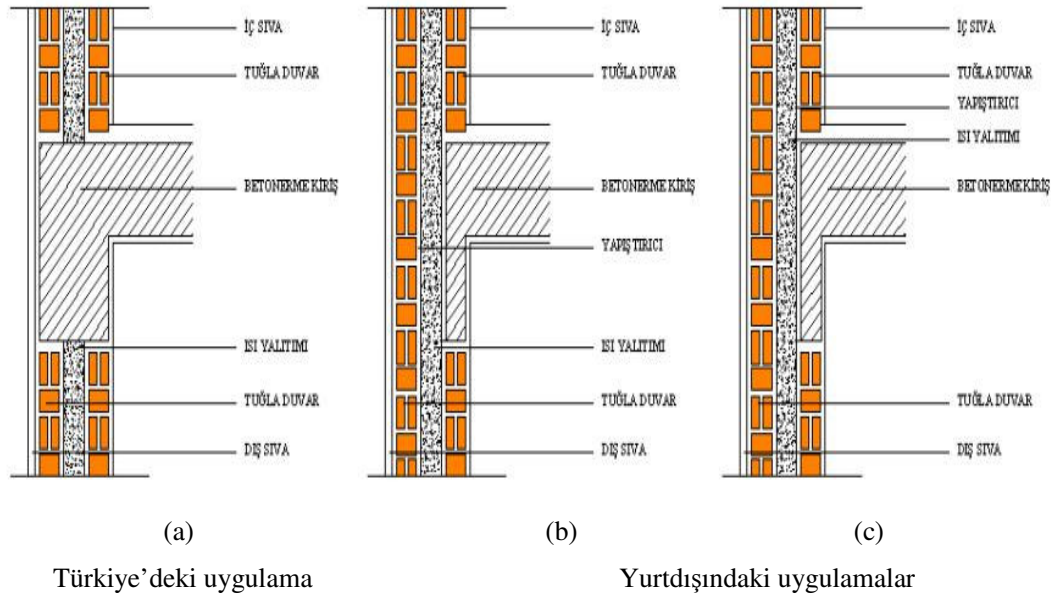
Günümüzde Türkiye'de dış duvarlardaki yalıtım, ısı yalıtım malzemesinin konumuna göre 3 farklı sistemde uygulanmaktadır.

- Çift duvar arası ısı yalıtım uygulamaları (Sandviç Duvar)
- Duvar iç yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları
- Duvar dış yüzeyine yapılan ısı yalıtım uygulamaları

#### 4.2.1. Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamaları

Bu yalıtım uygulamasında, ülkemizdeki durum ile Avrupa ülkelerindeki durum arasında büyük farklılık vardır. Ülkemizdeki uygulamalar, yapı fiziği kurallarına tamamen aykırıdır ve içerden yalıtım uygulamalarından daha fazla sakıncalar taşımaktadır. Avrupa'daki uygulamalar ise, dışardan yalıtımın değişik bir görünümü şeklindedir ve dışardan yalıtımın avantajlarının önemli bir bölümünü taşımaktadır.

Türkiye'deki çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarında, çoğunlukla betonarme yüzeyler yalıtılmamaktadır. Betonarme yüzeylerdeki ısı köprülerinin oluşumunu engellemek, yapının dıştan yalıtılmasıyla (mantolama) mümkün olmaktadır. Yurtdışında yapılan uygulamalarda ısı köprülerini önlemek amacıyla betonarme yüzeyler de yalıtılmaktadır[20,24].



**Şekil 4.10.** Çift duvar arası ısı yalıtımının a) Türkiye'deki b,c) Yurtdışındaki uygulama detayları[20].

Türkiye'deki uygulamalarda; çoğunlukla betonarme elemanlar ve yalıtım levhaları arasındaki boşluklar ısı köprüleri oluşturur. Cephenin büyük bir bölümü yalıtımsız betonarme elemanlardan meydana gelen ısı köprülerinden oluşur. Bu yüzden kesit içinde yoğuşma ihtimali

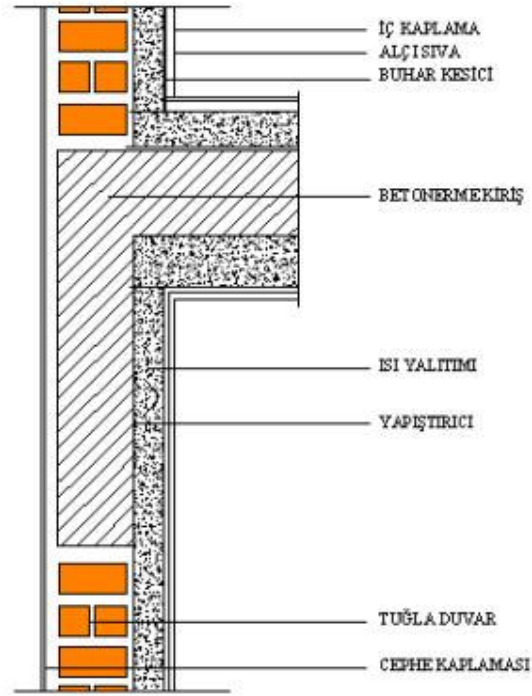
fazladır. Tüm taşıyıcı elemanlar atmosfer şartlarına maruz bırakılmıştır, korunmamıştır. Az katlı yapılar için geliştirilmiş bu sistemin, Türkiye'deki apartman bloklarında uygulanabilmesi için geliştirilmesi gerektiği söylenebilir[20].

#### **4.2.2. Duvar İç Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları**

Bu sistem uygulama kolaylığı açısından daha çok mevcut binalar için uygundur. Ancak döşemelerin ve iç duvarların birleşim noktalarında ısı köprüleri oluşur ve yalıtımın verimini düşürür. İç taraftan yalıtım, yapı fiziğine uygun bir sistem değildir. Betonarme kiriş ve perdelerin iç yüzüne ısı yalıtımı uygulandığında, Türkiye'nin büyük bir bölümünde, ısı yalıtım malzemesinin çeşidinden bağımsız olarak; ısı yalıtımı ile betonarme elemanın arakesitinde yoğunlaşma meydana gelmektedir.

Hızlı ısınma sağladığı için, konferans salonu vb. uzun aralıklarla kısa süreli kullanılan binalar için uygun bir sistemdir. Alçı sıva veya alçı panolar ile yalıtım malzemesi kolaylıkla kaplanabilir. Uygulama kolaylığı vardır ve maliyeti düşüktür. Tüm bunlar sistemin avantajları olarak sayılabilir.

Yalıtım kesikli olduğu için ısı köprüleri oluşur. Özellikle kuzeye bakan cephelerde, iç köşelerde küflenme ve hatta terleme beklenir. Dış duvarlar, betonarme vb taşıyıcı elemanlar atmosfer şartlarına maruz bırakılmıştır, korunmamıştır. Isıtma sistemi kapatıldığında ortamın hızla soğumasına sebep olduğu için, iç ortam sıcaklığı hızla düşer[20,24].

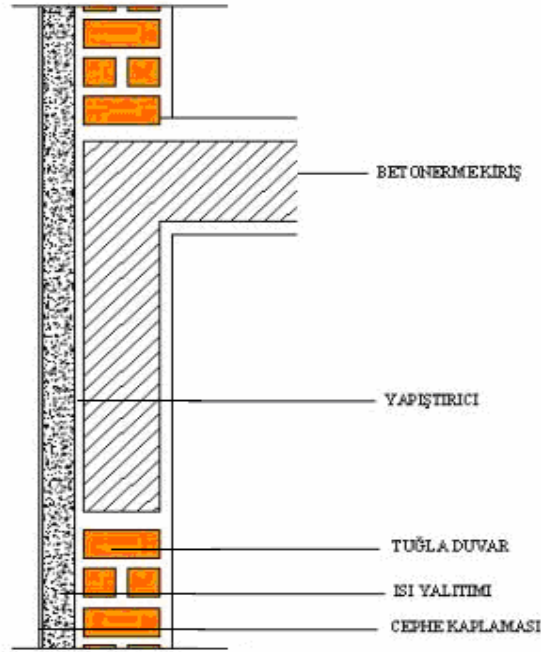


**Şekil 4.11.** Dış Duvarlarda İçten Yalıtım Detayı[20].

#### 4.2.3. Duvar Dış Yüzeyine Yapılan Isı Yalıtım Uygulamaları

Türkiye’de yeni uygulamaya başlanan bu sistem diğer ülkelerde yaygın şekilde yıllardır uygulanmaktadır. Bu sistem yapı fiziği yönünden en uygun sistem olup, ısı yalıtım levhaları tüm binayı dışardan bir manto gibi sarar.

Dışarıdan yalıtım sistemi, yeni binalarda uygulanabileceği gibi mevcut binalara da uygulanabilmektedir. Uygulama sırasında tüm işlemler bina dışında gerçekleşmekte olduğu için tüm cepheye iskele kurulması ve kalifiye eleman ile uygulanması gerekmektedir. Bu yüzden maliyet artmaktadır. Ancak konut gibi uzun süreli kullanılan mekanlar için en uygun sistemlerdir.



Şekil 4.12. Dış Duvarlarda Dıştan Yalıtım Detayları[20].

Duvarlara dıştan ısı yalıtımı uygulaması ile ısı köprüleri en aza indirilir. Tüm yapı elemanları atmosfer etkilerinden korunur böylece taşıyıcı elemanlar korozyondan korunmuş olur ve binanın ömrü uzar. Isıtma sisteminin kısa süreli kapatılması halinde (geceleri), iç ortam sıcaklığının düşmesi önlenir. (Konut, ofis vb sürekli veya kısa aralıklarla sürekli kullanılan binalarda önemlidir). Su buharının kesit içinde yoğuşma riski en azdır. Isı yalıtım malzemesinin buhar direncinin düşük olması tercih sebebidir. Yapı fiziki hasarlarının önemli bir bölümü, dışardan ısı yalıtımı uygulamaları ile engellenebileceği gibi; mevcut hasarların onarımında da en etkin ve kalıcı uygulama olmaktadır. Bütün bu avantajlarının yanında bu sistemin maliyetinin yüksek olması ve binaya iskele kurulması ihtiyacı da sistemin dezavantajları olarak gösterilebilmektedir[20,24].

#### 4.3. Literatürdeki Çalışmalar

Köse vd. [18], Konutlarda ısı yalıtım kullanımını enerji verimliliği açısından incelemiştir. Enerji verimliliğinin sağlanmasında en etkin yolun, konutlarda enerji etkin sistemler olarak tasarlanması olduğunu vurgulamışlar ve bu konuda yapılmış örnek bir çalışma sunmuşlardır.

Dombaycı [23] Türkiye'nin III. iklim bölgesinde bulunan Denizli ili için EPS yalıtım Doğalgaz malzemesi ve kömür kullanarak bina dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığını hesaplamıştır. Yakıt tüketiminin %46,6 oranında azalması ile CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonlarının %41,53 oranında azaldığını belirlemiştir.

Sezer [24], Türkiye'de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemlerini incelemiştir.

Aytaç ve Aksoy [26], mevcut ısı yalıtım standardına göre III. iklim bölgesinde yer alan Elazığ ili için beş farklı yakıt türü ve iki farklı yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar olmak üzere iki farklı duvar için hesaplamışlardır.

Gölcü vd. [27], Denizli'deki binalarda ısıtma için iki farklı enerji kaynağı kullanarak dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını derece-gün sayısını esas alarak belirlemiştir.

Çomaklı ve Yüksel [30], TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardına göre Türkiye'nin IV. derece-gün bölgesinde bulunan üç ili göz önüne alarak optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır.

Hasan [31], Filistin için dört yakıt türü ve iki yalıtım malzemesi için optimum yalıtım kalınlıklarını derece-gün ve ömür maliyet analizi yaklaşımıyla hesaplamıştır. Sonuç olarak taş yünü yalıtımı için geri ödeme süresinin 1,3-2,3 yıl arasında, polistren yalıtımı için 1-1,7 yıl arasında olduğunu belirtmiştir.

Kaynaklı ve Karadeniz [32], Bir bölgenin derece gün sayısının hesaplanmasına dış duvarlara uygulanacak yalıtım kalınlığının tespitine yönelik bir prosedür sunmuşlardır.

Özel ve Pıhtılı [33], Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece-gün değerlerini göz önüne alarak hesaplamışlardır.

Mohsen, Binalarda farklı yalıtım malzemeleri kullanarak, ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamış, duvar ve çatı yalıtımında geliştirilmiş polistren kullanıldığında %76,8' e varan enerji kazancı elde edilmiştir.

## 5. MATERYAL ve METOD

### 5.1. Materyal

#### 5.1.1. Çalışma Alanı

İç Batı Anadolu'da yer alan Kütahya; arazi yapısı, iklimi ve bitki örtüsü itibarıyla İç Anadolu bölgesinden Ege bölgesine geçiş özelliği gösterir. Kütahya ili  $38^{\circ} 70'$  ve  $39^{\circ} 80'$  kuzey enlemleri ile  $29^{\circ} 00'$  ve  $30^{\circ} 30'$  doğu boylamları arasında kalmaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 969 m olup  $11\ 977\ km^2$  yüzölçümü ile Türkiye topraklarının %1.5'ini kaplamaktadır. Doğu ve batısı dağlarla çevrili bir plato üzerinde konumlanır. Kütahya Ege ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Kışları yağmurlu ve soğuktur, yazları ise sıcak ve kurudur. Yıllık ortalama sıcaklığı  $10,6^{\circ}C$  dir. Kütahya'da bir yılda 7 ay boyunca soğuk hava mevcuttur. Bu sert iklim ve olumsuz coğrafi yapısı şehri hava kirliliği sorunlarının ciddi sebebidir. Bu bakımdan Kütahya Türkiye'nin en kirli şehirlerinden biridir. Şehirde fazla tesis olmadığı için, hava kirliliğinin en büyük kaynağı konut ısıtmasından dolayıdır[25].

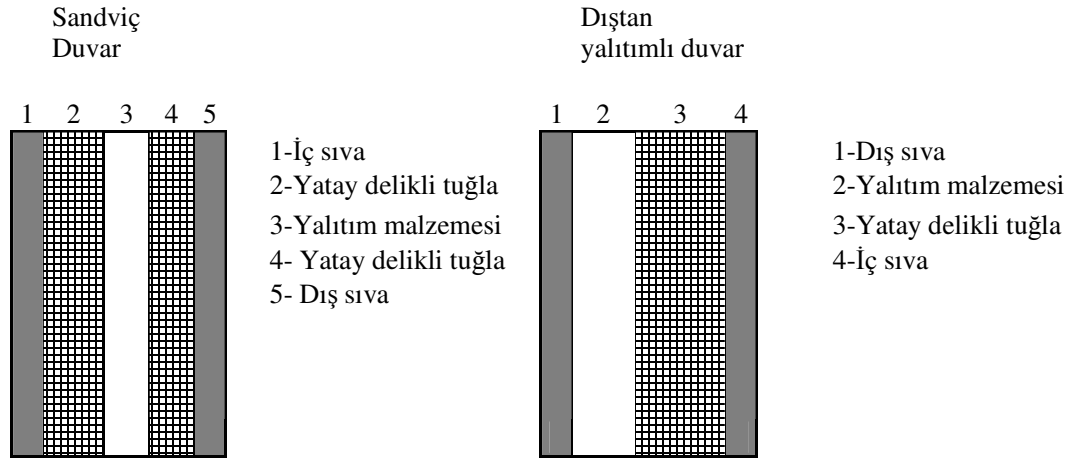
#### 5.1.2. Bina Duvarlarının Yapısı

Binayı dış ortamdan ayıran ve dış ortam etkilerine karşı koruyan binanın dış duvarlarıdır. Aynı zamanda bina duvarları, binanın en çok ısı kaybeden yerleridir. Dolayısıyla bina dış duvarlarının yalıtımı, ısı kaybı hesabı sonuçlarını değiştiren önemli bir faktördür. Yalıtımsız inşa edilen bina duvarında ısı kaybı ve dolayısıyla yakıt tüketimi de fazla olmaktadır. Ayrıca bu tip duvarlara sahip mekanlar yaz mevsiminde dayanılmaz derecede sıcak olmaktadır. Bu sakıncaları gidermek, az yakıtla kolay ve iyi ısıtılan, kışın sıcak yazın serin mekanlar elde etmek amacıyla bina duvarı; dıştan yalıtımlı, içten yalıtımlı veya sandviç olarak düzenlenmektedir.

Bu çalışmada, iki örnek bina ele alınmıştır ve dış duvarları iki farklı yapıya sahiptir. Bunlardan biri; 2 cm iç sıva, 13,5 cm lik 2 delikli tuğla, aralarında yalıtım malzemesi ve 3 cm dış sıvadan oluşan sandviç duvar, diğeri ise; 2 cm iç sıva 19 cm yatay delikli tuğla, yalıtım malzemesi ve 3 cm dış sıvadan oluşan dıştan yalıtımlı duvardır. Hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS kullanılmıştır. Malzemelere ait fiziksel özellikler Tablo 5.1'de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Dış duvar malzemelerinin fiziksel özellikleri.

Malzeme	Sandviç Duvar			Dıştan Yalıtımlı Duvar		
	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)
İç Sıva	0,02	0,85	0,023	0,02	0,85	0,02
Yatay Delikli Tuğla	0,135	0,45	0,3	0,19	0,45	0,42
Dış Sıva	0,03	1,8	0,016	0,03	1,8	0,016
R <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	---	0,13	---	---	0,13	---
R <sub>dış</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	---	0,04	---	---	0,04	---
R <sub>w</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	---	0,70	---	---	0,65	---

**Şekil 5.1.** Hesaplamalarda kullanılan örnek projelerin duvar modelleri.

Tipik bir duvar için U,

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{izo} + R_{di}} \quad (5.10)$$

olarak hesaplanır[8]. R<sub>i</sub> ve R<sub>dış</sub> iç ve dış ısı taşınım direncini, R<sub>w</sub> ise duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini vermektedir. Yalıtım katmanının ısı iletim direnci (R<sub>izo</sub>) ise,

$$R_{izo} = x/k \quad (5.11)$$

olarak hesaplanır[26,27]. Burada; x yalıtım malzemesinin kalınlığını, k ise yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını vermektedir. Hesaplamalarda kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.



### 5.1.3 Kütahya’da kullanılan yakıtlar ve özellikleri

Kütahya şehir merkezinde ağırlıklı olarak kömür ve doğalgaz (2008 ısıtma sezonunda yaklaşık 19 milyon Nm<sup>3</sup>) kullanılmaktadır. Kullanılan kömür türleri ise; Tunçbilek, Seyitömer ve İthal kömürdür. Bu kömürlerin 1 kg’ının ve doğalgazın 1 Nm<sup>3</sup>’ünün yakılması sonucu oluşan baca gazı miktarları Tablo 5.2’de elementel analiz değerleri ise Tablo 5.3’de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Yanma sonucu oluşan baca gazı miktarları[28]

	Seyitömer	İthal	Tunçbilek	Doğalgaz
CO <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg)	0,841	1,133	0,901	1,775
SO <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /kg)	0,011	0,002	0,018	----

**Tablo 5.3.** Kütahya ilinde kullanılan kömürlerin elementel analiz değerleri[28]

	Elementel Analiz(Orijinal) (%)							Üst Isıl Değer(kJ/kg)
	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	O <sub>2</sub>	Kül	Nem	
Tunçbilek	48,26	3,85	1,23	2,58	13,85	15,50	14,73	22 976
Seyitömer	45,03	3,58	1,33	1,60	19,77	14,79	13,89	13 262
İthal	60,69	4,98	1,45	0,32	18,09	7,37	7,10	27 209

### 5.1.4. Kütahya il merkezinde hava kirliliği değerleri

Bayındırlık ve İskan Bakanlığının 8 Mayıs 2000 yılında hazırladığı Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliğine göre Kütahya 3. Bölgede yer almaktadır[13]. Isıtma dönemi, Ekim ve Nisan ayları arasındadır. Bunun haricindeki aylarda oluşan kirlilik değerleri insanlardan, taşıtlardan, fabrikalardan vb. nedenlerle kaynaklanan ısınma amaçlı yakıt tüketimi haricindeki hava kirliliğidir. 2005 yılı Mart ayından itibaren Kütahya ilinde hava kirliliği, 4 ayrı ölçüm istasyonunda yapılmaktadır[29].

2003-2005 ısıtma sezonunda KVS sınır değerlerinin aşıldığı günler Tablo 5.4’de görülmektedir. Bu tablo incelendiğinde; I. bölgenin kirlilik düzeyi bakımından en kötü durumda olduğu anlaşılmaktadır. Belirtilen zaman aralığında SO<sub>2</sub> miktarındaki en yüksek değer, 29

Kasım 2004 tarihinde I. Bölgede  $1190 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu değer, hava kalitesinin korunması yönetmeliğine göre 3. kademe uyarı tedbirlerinin alınmasını gerektirmektedir[29].

**Tablo 5.4.** 2003-2005 yılları kış aylarında günlük maksimum emisyon ve bölgeleri[29].

	Tarih	Maksimum SO2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Bölge
2003	16 Ocak	553	I
	28 Şubat	399	IV
	12 Mart	517	I
	11 Nisan	425	I
	29 Ekim	338	I
	25 Kasım	746	I
	20 Aralık	608	II
	2004	09 Ocak	841
14 Şubat		697	I
15 Mart		631	II
05 Nisan		490	I
27 Ekim		471	I
29 Kasım		1190	I
01 Aralık		765	I
2005	14 Ocak	922	I
	13 Şubat	465	I

## 5.2. Metod

### 5.2.1. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan yöntemlerden biride derece-gün'dür. DG değeri belirli bir denge sıcaklık referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı binadaki ısı kaynaklarıyla binadan olan ısı kayıplarının eşit olduğu sıcaklık olarak tanımlanır.

Yıllık yakıt maliyeti ile yakıtın birim fiyatının çarpılması yakıtın maliyetini verir. Birim yüzey alan için ısıtmanın yıllık maliyeti ( $C_A$ ),

$$C_A = \frac{86400.DGS.C_{ykt}}{(R_{wt} + R_{izo}).H_u.\eta} \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanır[30,31]. Burada  $C_{ykt}$  yakıtın TL/m<sup>3</sup> olarak maliyetini,  $H_u$  yakıtın alt ısı değerini vermektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi (LCCA) kullanılmıştır. Toplam ısıtma maliyetinin, ömür süresi(N) ve şimdiki değer faktörü (ŞDF) ile birlikte değerlendirilmesi gerekir. ŞDF, enflasyon oranı (g) ve faiz oranı (i)' ye bağlıdır. Faiz ve enflasyon oranları göz önüne alındığında gerçek faiz oranı (r) ve ŞDF değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir[23].

$$i > g \text{ ise } r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (5.2)$$

$$i < g \text{ ise } r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (5.3)$$

Türkiye'de faiz oranları enflasyondan yüksek olduğu için şimdiki değer faktörü hesaplanırken denklem (5.2) kullanılmıştır.

$$\text{ŞDF} = \frac{(1 + r)^N - 1}{r.(1 + r)^N} \quad (5.4)$$

Burada N ömür süresidir ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir[27].

Yalıtım maliyeti ( $C_{ytl}$ ) ise;

$$C_{ytl} = C_{mlz} \cdot x \quad (5.5)$$

olarak hesaplanır[30,31]. Burada  $C_{mlz}$  yalıtım malzemesinin birim fiyatını TL/m<sup>3</sup> olarak,  $x$  ise yalıtım malzemesinin kalınlığını  $m$  cinsinden verir. Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analizi (LCCA) dikkate alınarak hesaplanmış ve;

$$C_{t,izo} = C_A \cdot \text{\$DF} + C_{ytl} \quad (5.6)$$

veya

$$C_{t,izo} = \frac{86400 \cdot DGS \cdot C_{ykt} \cdot \text{\$DF}}{(R_{wt} + R_{izo}) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{ytl} \quad (5.7)$$

olarak yazılabilir[30,31].

Optimum yalıtım kalınlığı, toplam ısıtma maliyetini minimuma indirmekle veya yıllık kazancı maksimize etmekle hesaplanır. Toplam ısıtma maliyetini bulan denklemin yalıtım kalınlığına ( $x$ ) göre türevi alındığında optimum yalıtım kalınlığı elde edilir.

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left( \frac{DGS \cdot C_{ykt} \cdot \text{\$DF} \cdot k}{H_u \cdot C_{mlz} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{wt} \quad (5.8)$$

Denklem (5.7)'den görüldüğü üzere optimum yalıtım kalınlığı; yakıt fiyatı, yalıtım malzemesinin fiyatı, duvar ve yalıtım malzemesinin özellikleri, derece gün sayısı ve şimdiki değer faktörü gibi parametrelere değişkenlik göstermektedir[25].

## 5.2.2. Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süresi

Yıllık toplam maliyet farkı  $\Delta C$ , yalıtılmamış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti ile yalıtılmış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti arasındaki farktır.

$$A_s = C_t - C_{t,izo} \quad (5.9)$$

ile hesaplanır[24]. Geri ödeme süresi ( $PP$ ) ise ;

$$PP = \frac{C_t}{A_s} \quad (5.10)$$

olarak hesaplanmıştır [27].

Örnek projelere göre yapılacak bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Tablo 5.5’de verilmiştir.

**Tablo 5.5.** Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler.

Parametre	Birim	Değer	
Derece gün sayısı	DGS	2880	
Isı iletim katsayısı (XPS-EPS)	W/mK	XPS - EPS 0,030 - 0,035	
Yalıtım malzemesi fiyatı	TL/m <sup>3</sup>	200 - 160	
Faiz oranı	%	16	
Enflasyon oranı	%	8	
Şimdiki değer faktörü	----	6,9	
Ömür Yılı	yıl	10	
<b>KULLANILAN KÖMÜR</b>		<b>İthal</b>	<b>Seyitömer</b>
Isıl değer	kJ/kg	27.209	13.262
Yakma sistemi verimi	%	65	65
Yakıt maliyeti	TL/kg	0,600	0,150
<b>KULLANILAN DOĞALGAZ</b>		<b>Doğalgaz</b>	
Isıl değer	kJ/Nm <sup>3</sup>	34.542	
Yakma sistemi verimi	%	92	
Yakıt maliyeti	TL/m <sup>3</sup>	0,782	

## 6. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

### 6.1. Senaryo 1

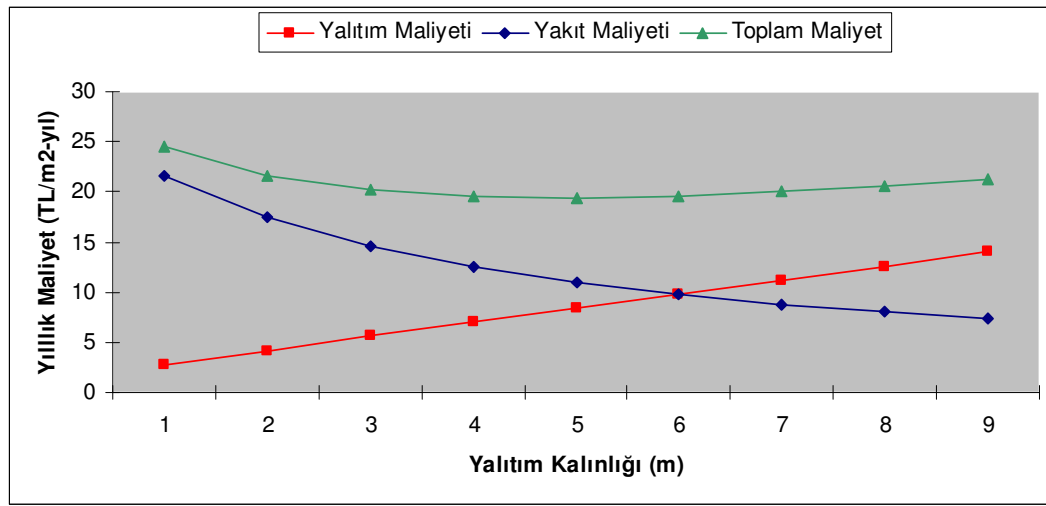
Kütahya merkezde bulunan bina 8 katlı ve 32 daireden oluşmaktadır. 2006 yılında ruhsatı alınan binanın, ısı yalıtım uygulama projesi ve ısı kaybı hesapları Ek-1’de gösterilmiştir. Binanın dış duvar bileşenleri ise Ek-1’deki veriler düzenlenerek Şekil 5-1’de gösterilmiştir. Ek-1’de görüldüğü gibi binada 0,03 m kalınlığında Poliüretan sert köpük kullanılmıştır. Buna göre; Tablo 5.2’ de verilen değerler denklem (5.6)’ da yerine konduğu zaman toplam ısıtma maliyeti 30,842 TL/m<sup>2</sup>yıl olarak bulunmuştur. Bu değer binanın toplam dış duvar alanı (1643,98 m<sup>2</sup>) ile çarpıldığında binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti ise yaklaşık olarak 50.703 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu bina için aynı duvar bileşenlerine göre optimum yalıtım kalınlığı hesaplandığında Tablo 6.1’ de görüldüğü gibi optimum yalıtım kalınlığı 0,059 m, toplam ısıtma maliyeti 27,553 TL/m<sup>2</sup>-yıl hesaplanmıştır. Hesaplamalarda görüldüğü üzere; Kütahya’da yalıtımlı ve lüks olarak bilinen bu yapıda bile optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılıyorsa, ısıtma maliyetinde %10’luk bir kazanç sağlamak mümkün olacaktır.

Bu bina yalıtımsız olarak ele alındığında yapılan hesaplamalarda yalıtımsız binanın toplam ısıtma maliyeti Tablo 6.1’de görüldüğü gibi 60,377 TL/m<sup>2</sup>yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti ile kıyaslandığında, optimum yalıtım kalınlığı uygulanan bir binada yaklaşık olarak %51’e varan bir enerji tasarrufuna gidileceği söylenebilir.

### 6.2. Senaryo 2

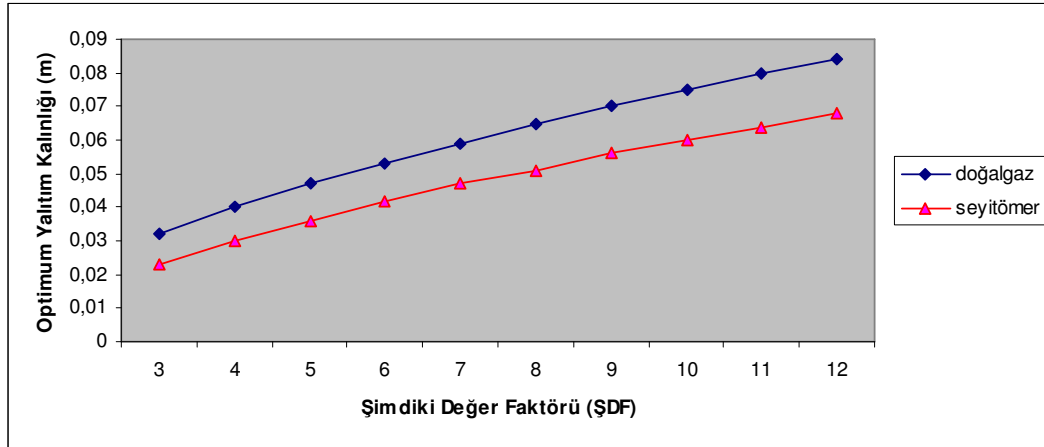
İkinci örnek projenin dış duvar bileşenleri Ek-2’de gösterilmiştir. Dıştan yalıtımlı duvar uygulaması ile yapılmış dış duvarlarda 0,05 m kalınlığında poliüretan sert köpük kullanılmıştır. Bu değerler ile yapılan hesaplamalarda toplam ısıtma maliyeti 28,234 TL/m<sup>2</sup>yıl olarak bulunmuştur. Bu binada da optimum yalıtım kalınlığı hesaplandığında 0,060 m değeri çıkmakta ve bu değere göre toplam ısıtma maliyeti 27,964 TL/m<sup>2</sup>yıl olarak bulunmaktadır. Optimum yalıtım kalınlığı uygulaması ile %1 lik bir kazanç sağlanabileceği görülmektedir. Bu projede optimum yalıtım kalınlığına uyulmamış fakat bu değere yakın bir kalınlıkta yalıtım kullanıldığı için %1 lik küçük bir fark çıkmıştır.

Binalarda artan yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyeti azalır. Ancak kalınlığın artması yalıtım maliyetinin artması demektir. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet, belirli bir değere kadar azalır; bu seviyeden sonra artar. Toplam maliyetin minimum olduğu değer optimum yalıtım kalınlığını verecektir. Kütahya ili için yapılan hesaplamalarla yalıtım kalınlığına göre yıllık maliyetin değişimi Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



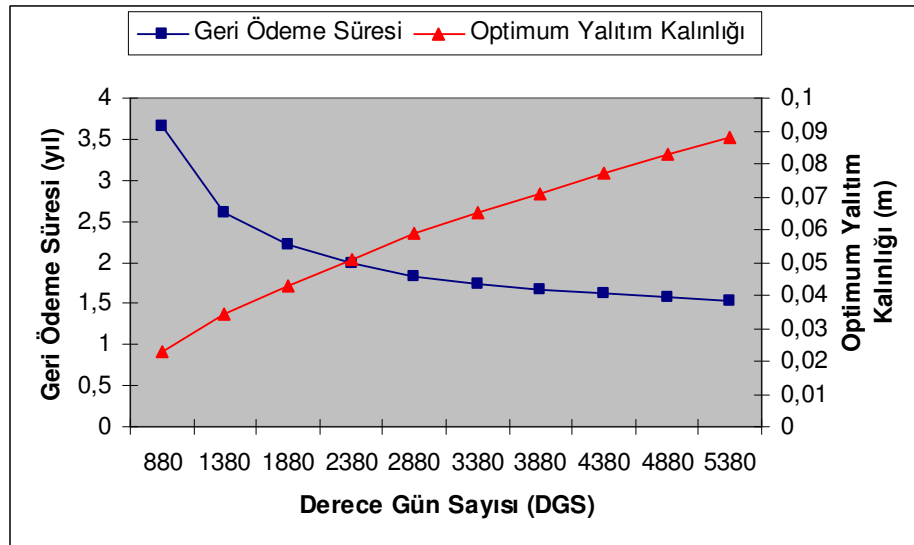
Şekil 6.1. Kütahya için yalıtım kalınlığının toplam maliyete etkisi.

Ömür ile faiz ve enflasyon oranları ŞDF’ü etkilemekte olup, optimum yalıtım kalınlığı da ŞDF’den etkilenir. Yani faiz ve enflasyon oranlarının değişmesi ile birlikte ŞDF ve dolayısıyla optimum yalıtım kalınlığı da değişmektedir. ŞDF’nün optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisinin sonuçları Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



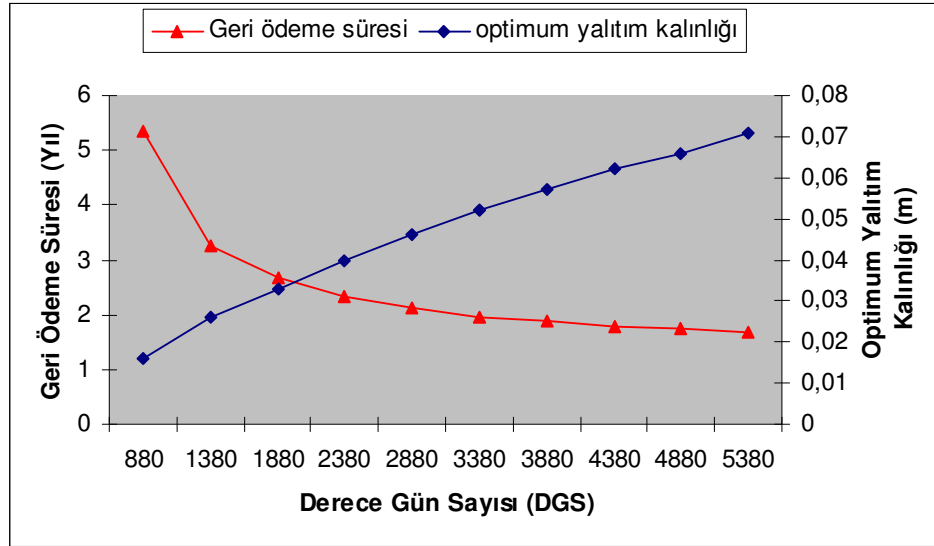
Şekil 6.2. Şimdiki değer faktörüne göre optimum yalıtım kalınlığının değişimi.

Şekil 6.3' de ise derece gün sayılarının geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisini göstermektedir. DGS'nin artması ile geri ödeme süresi azalır, optimum yalıtım kalınlığı artar. Kütahya gibi DGS yüksek olan soğuk iklimlerde daha çok yalıtım kalınlığına ihtiyaç duyulur. Bu yüzden Kütahya için yapılan hesaplamalarda büyük değerler elde edilmiştir.



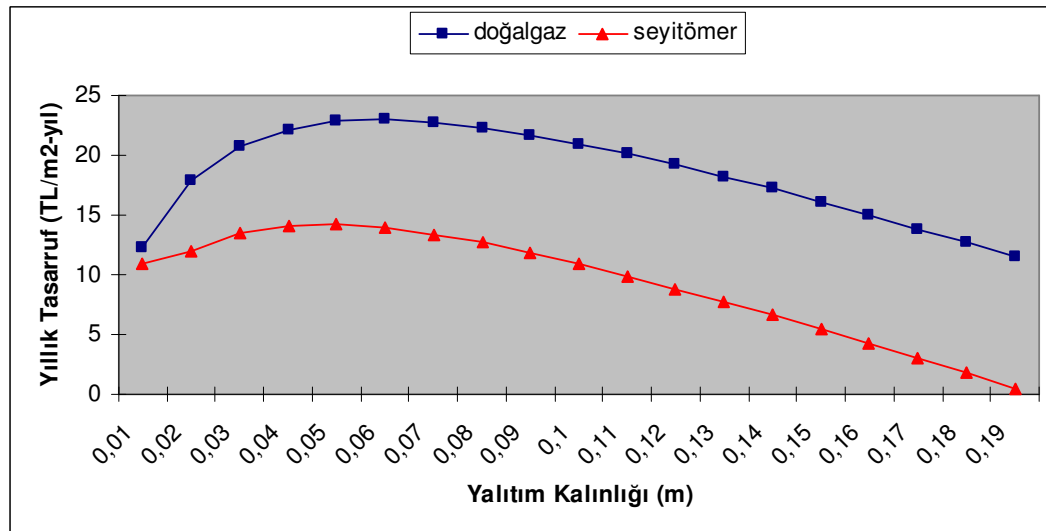
Şekil 6.3. DGS'nin geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığına etkisi (Kullanılan yakıt doğalgaz ise).





Şekil 6.4. DGS'nin geri ödeme süresi ve optimum yalıtım kalınlığına etkisi (Kullanılan yakıt kömür ise).

Yıllık enerji tasarrufu ise yakıt maliyeti ve ŞDF ile doğru orantılıdır, yakıt maliyetindeki herhangi bir artış tasarrufu arttıracaktır. Farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi de Şekil 6.5'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Farklı yakıt türleri için yalıtım kalınlığının yıllık tasarrufa etkisi.

Farklı yakıt türleri, farklı yalıtım malzemeleri, farklı derece gün sayıları ve farklı duvar modelleri temel alınarak 10 yıllık bir ömür süresi için geri ödeme süresi, yıllık tasarruflar, optimum yalıtım kalınlıkları bilgisayar programı ile hesaplanarak bulunan değerleri Tablo 6.1-9 arasındaki tablolarda gösterilmiştir. Bu tablolardaki hesaplamalarda kullanılan parametreler Tablo 5.5' de verilmiştir.



Tablo 6.2. Farklı duvar bileşenlerinde farklı yalıtım türleri için yapılan hesaplamalarla buharın soruclar (Kullanılan yalıtım malzemesi:EPS)

Bileşenler	Duvvar Bileşenleri		Kullanılan Yalıtım Türü	Kullanılan Yalıtım Değeri	Kullanılan Yalıtım Fiyatı	Yalıtım Sistemine Verilen Enerji	Yalıtım Durumunun Toplam Isıl Direnci	Yalıtım Malzemesinin Isıl Dürüncü	Yalıtım Malzemesinin Isıl Dürüncü	Yalıtım Kalınlığı	Yalıtım Maliyeti	Yalıtımsız Binaunun Yıllık Enerji Tutarı	Yalıtımsız Binaunun Yıllık Enerji Tutarı	Yalıtımsız Binaunun Yıllık Enerji Tutarı	Yalıtımsız Binaunun Yıllık Enerji Tutarı	Yalıtımsız Binaunun Yıllık Enerji Tutarı
	İç Sıra	Dış Sıra														
<b>SENARYO 1</b>																
Kalınlık (m)	0,02	0,135	0,077	0,085	0,03											
Isı İletim Kat.	0,85	0,45	0,035	0,45	1,8	DOĞALGAZ	34,542	0,92	0,699	0,072	8,759	26,019	60,377	34,358	1,757	
Kalınlık (m)	0,02	0,135	0,061	0,085	0,03	seytömer										
Isı İletim Kat.	0,85	0,45	0,035	0,45	1,8	+50-100 mm	13,282	0,65	0,699	0,056	6,184	21,208	42,630	21,422	1,990	
Kalınlık (m)	0,02	0,135	0,095	0,085	0,03	İthal										
Isı İletim Kat.	0,85	0,45	0,035	0,45	1,8	Kömür	27,209	0,6	0,699	0,088	12,075	31,185	83,238	52,053	1,599	
<b>SENARYO 2-A</b>																
Kalınlık (m)	0,03	0,19	0,079	0,03												
Isı İletim Kat.	0,87	0,45	0,035	1,4		DOĞALGAZ	34,542	0,92	0,648	0,073	9,447	26,273	65,123	38,850	1,676	
Kalınlık (m)	0,03	0,19	0,063	0,03		seytömer										
Isı İletim Kat.	0,87	0,45	0,035	1,4		+50-100 mm	13,282	0,65	0,648	0,058	6,670	21,462	45,981	24,519	1,875	
Kalınlık (m)	0,03	0,19	0,097	0,03		İthal										
Isı İletim Kat.	0,87	0,45	0,035	1,4		Kömür	27,209	0,6	0,648	0,090	13,025	31,439	89,782	58,342	1,539	
<b>SENARYO 2-B</b>																
Kalınlık (m)	0,03	0,125	0,072	0,03												
Isı İletim Kat.	0,87	0,2	0,035	1,4		DOĞALGAZ	34,542	0,92	0,851	0,072	5,043	17,368	34,761	17,393	1,999	
Kalınlık (m)	0,03	0,125	0,056	0,03		seytömer										
Isı İletim Kat.	0,87	0,2	0,035	1,4		+50-100 mm	13,282	0,65	0,851	0,056	3,590	14,200	24,750	10,550	2,346	
Kalınlık (m)	0,03	0,125	0,09	0,03		İthal										
Isı İletim Kat.	0,87	0,2	0,035	1,4		Kömür	27,209	0,6	0,851	0,090	6,945	20,864	47,870	27,006	1,773	

Tablo 6.3. Derece Gün Sayısının Optimimum Yalıtım Kalınlığı ve Geri Ödeme Süresine Etkisinin Sonuçları (Kullanılan Yalıtı Döğalgaz)

Bileşenler	Duvar Bileşenleri				Derece Gün Sayısı	Yalıtım Malz. İsl Direnç Kat.	Opt. Yalıtım Kalınlığı	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	
	İç siva del.tuğ	yalıtım del.tuğ	del.tuğ	dış siva														
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,051	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	2880	1,967	2,297	8,759	27,553	60,377	32,824	1,839					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,051	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	2380	1,700	2,109	7,238	24,811	49,895	25,083	1,989					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,043	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1880	1,433	1,874	5,718	21,584	39,412	17,829	2,211					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,034	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1380	1,133	1,601	4,197	17,859	28,930	11,072	2,613					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,023	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	880	0,767	1,276	2,676	13,401	18,448	5,047	3,655					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,065	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	3380	2,167	2,508	10,279	30,331	70,859	40,527	1,748					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,071	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	3880	2,367	2,691	11,800	32,825	81,341	48,516	1,677					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,077	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	4380	2,567	2,852	13,321	35,087	91,823	56,736	1,618					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,083	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	4880	2,767	2,994	14,841	37,157	102,305	65,148	1,570					
kabnlık (m)	0,02	0,135	0,088	0,085	0,03													
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	5380	2,933	3,149	16,362	39,263	112,787	73,524	1,534					



Tablo 6.5. Optimum Yalıtım Kalınlığının Yıllık Enerji T. Asarufuna Etkisinin Sınımları (Kullanılan Yalıtı: Doğalgaz)										
Bileşenler	Duvar Bileşenleri			Yalıtım Malz. İsl Dış Kat. R <sub>vt,izo</sub>	Opt. Yalıtım Kalınlığı x	Yalıtımsız Bina Yıllık Enerji Maliyeti C <sub>A,iso</sub> TL/m <sup>2</sup> - yıl	Yalıtımsız Bina Toplam Isıtma Maliyeti C <sub>A,iso</sub> TL/m <sup>2</sup> - yıl	Yalıtımsız Bina Toplam Isıtma Maliyeti C <sub>i</sub> TL/m <sup>2</sup> - yıl	Yıllık Enerji Tasarımı A <sub>i</sub>	Geri Ödeme Süresi PP
	del. tuğ	yalıtım	del. tuğ							
İç siva										
İç siva										
0,02	0,135	0,059	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1,967	0,059	8,759	27,553	60,377	32,824
0,02	0,135	0,05	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1,667	0,050	8,759	27,841	60,377	32,535
0,02	0,135	0,04	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1,333	0,040	8,759	28,768	60,377	31,609
0,02	0,135	0,03	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	1,000	0,030	8,759	30,842	60,377	29,535
0,02	0,135	0,02	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,667	0,020	8,759	34,905	60,377	25,472
0,02	0,135	0,01	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,333	0,010	8,759	42,883	60,377	17,494
0,02	0,135	0,07	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	2,333	0,070	8,759	27,919	60,377	32,458
0,02	0,135	0,08	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	2,667	0,080	8,759	28,541	60,377	31,836
0,02	0,135	0,09	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	3,000	0,090	8,759	29,410	60,377	30,966
0,02	0,135	0,1	0,085	0,03						
0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	3,333	0,100	8,759	30,467	60,377	29,909



Tablo 6.6. Optimum Yalıtım Kalınlığının Yıllık Enerji T. Asarufuna Etkisinin Sonuçları (Kullanılan Yakıt; Kömür)

	Duvar Bileşenleri			Yalıtım Malz. İsl Direnç Kat. R <sub>vt,izo</sub>	Yalıtımın Opt. Kalınlığı x	Yalıtımsız Bina Yıllık Enerji Maliyeti		Yalıtımlı Bina Yıllık Enerji Maliyeti		Yalıtımsız Bina Toplam İstirna Maliyeti	Yalıtımlı Bina Toplam İstirna Maliyeti	Yıllık Enerji T. Asarufu A <sub>y</sub>	Geni Ödeme Süresi PP	
	İç siva	del. tuğ	yalıtım del. tuğ			İç siva	del. tuğ	İç siva	del. tuğ					İç siva
	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	1,937	6,184	22,527	42,630	20,103	2,121
bileşenler	0,02	0,135	0,04	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	1,937	6,184	22,527	42,630	20,103	2,121
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	1,937	6,184	22,527	42,630	20,103	2,121
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,040	0,040	2,127	6,184	22,663	42,630	19,966	2,135
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,04	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	1,937	6,184	22,527	42,630	20,103	2,121
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,040	0,040	2,127	6,184	22,663	42,630	19,966	2,135
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,05	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	1,827	6,184	18,597	42,630	24,052	1,774
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,020	0,020	0,920	6,184	10,342	42,630	32,288	1,320
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,12	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,859	6,184	7,922	42,630	34,708	1,228
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,010	0,010	0,859	6,184	7,922	42,630	34,708	1,228
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,14	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,806	6,184	15,554	42,630	27,076	1,574
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,050	0,050	0,806	6,184	15,554	42,630	27,076	1,574
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,15	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,759	6,184	17,229	42,630	25,400	1,678
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,060	0,060	0,759	6,184	17,229	42,630	25,400	1,678
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,16	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,717	6,184	18,940	42,630	23,689	1,800
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,070	0,070	0,717	6,184	18,940	42,630	23,689	1,800
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,17	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,679	6,184	20,682	42,630	21,948	1,942
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,080	0,080	0,679	6,184	20,682	42,630	21,948	1,942
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,18	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,645	6,184	22,449	42,630	20,181	2,112
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,090	0,090	0,645	6,184	22,449	42,630	20,181	2,112
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,19	0,085	0,03	0,85	0,45	1,8	0,615	6,184	24,238	42,630	18,392	2,318
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	0,02	0,100	0,100	0,615	6,184	24,238	42,630	18,392	2,318



Tablo 6.7. Şimdiki Değer Faktörünün Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisinin Sıuçları (Kullanılan Yakıt, Doğalgaz)

Bileşenler	Duvar Bileşenleri				Şimdiki Değer Faktörü	Opt. Yalıtım Kalınlığı	Yalıtımlı Bina Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Bina Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımlı Bina Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Bina Toplam Isıtma Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Geri Ödeme Süresi
	İç suva	del.tuğ	yalıtım	del.tuğ dış suva								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	6,893	0,059	2,297	8,759	27,553	60,377	32,824	1,839
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	3,000	0,052	2,297	8,759	13,195	26,277	13,082	2,009
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	4,000	0,040	2,297	8,759	17,116	35,035	17,919	1,955
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	5,000	0,047	2,297	8,759	20,844	43,794	22,950	1,908
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	6,000	0,053	2,297	8,759	24,435	52,553	28,119	1,869
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	7,000	0,059	2,297	8,759	27,921	61,312	33,391	1,836
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	8,000	0,065	2,297	8,759	31,325	70,071	38,746	1,808
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	9,000	0,070	2,297	8,759	34,662	78,830	44,167	1,785
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	10,000	0,075	2,297	8,759	37,943	87,589	49,646	1,764
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	11,000	0,080	2,297	8,759	41,175	96,347	55,172	1,746
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45								

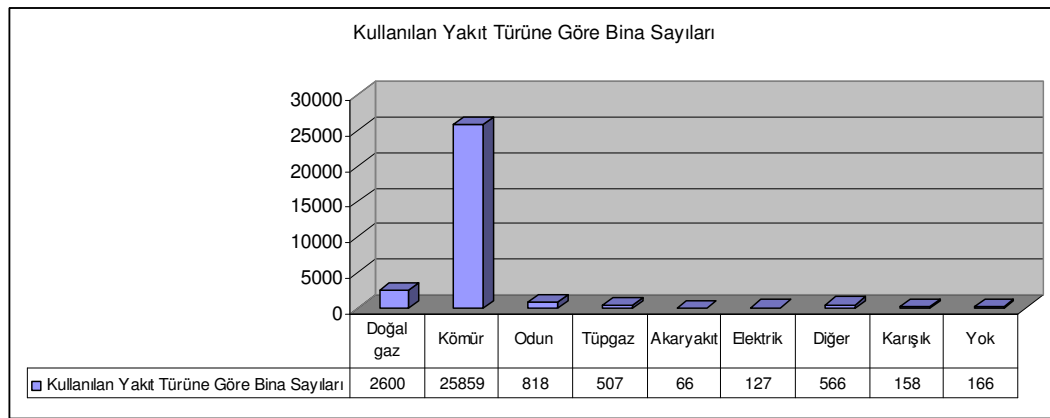
Tablo 6.8. Şimdiki Değer Faktörünün Optimum Yalıtım Kalınlığına Etkisinin Sonuçları (Kullanılan Yakıt, Kömür)

Bileşenler	Duvar Bileşenleri			Şimdiki Değer Faktörü	Opt. Yalıtım Kalınlığı	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtımsız Binaın Toplam Isıtma Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Geri Ödeme Süresi		
	İç Sıva	İç Sıva	İç Sıva										
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	6,893	0,046	1,937	6,184	22,527	42,630	20,103	2,121
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	3,000	0,023	1,937	6,184	10,437	18,553	8,116	2,286
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	4,000	0,030	1,937	6,184	13,738	24,737	10,999	2,249
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	5,000	0,036	1,937	6,184	16,877	30,922	14,044	2,202
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	6,000	0,041	1,937	6,184	19,901	37,106	17,205	2,157
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	7,000	0,046	1,937	6,184	22,837	43,290	20,453	2,117
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	8,000	0,051	1,937	6,184	25,704	49,474	23,770	2,081
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	9,000	0,055	1,937	6,184	28,515	55,659	27,144	2,050
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	10,000	0,060	1,937	6,184	31,278	61,843	30,565	2,023
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,046	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	11,000	0,063	1,937	6,184	34,000	68,027	34,027	1,999

Tablo 6.9. Optimum Yalıtım Kalınlığının Toplam Maliyete Etkisinin Sornçları													
Bölüşenler	Duvar Bölüşenleri			Yalıtım Malz. İsl Dinç Kat.	Rwt,izo	x	Yalıtım Binaann Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtım Binaann Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtım Binaann Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtım Binaann Yıllık Enerji Maliyeti	Yalıtım Binaann Yıllık Enerji Maliyeti	Geni Ödeme Süresi	
	ıç sıva del.tuğ	del.tuğ	yalıtım del.tuğ										
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,059	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	11,7	1,967	0,059	2,297	8,759	27,553	32,824	1,839
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,02	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	4,0	0,667	0,020	4,483	8,759	34,905	25,472	2,370
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,03	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	6,0	1,000	0,030	3,604	8,759	30,842	29,535	2,044
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,04	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	8,0	1,333	0,040	3,013	8,759	28,768	31,609	1,910
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,05	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	10,0	1,667	0,050	2,588	8,759	27,841	32,535	1,856
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,06	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	12,0	2,000	0,060	2,269	8,759	27,638	32,739	1,844
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,07	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	14,0	2,333	0,070	2,019	8,759	27,919	32,458	1,860
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,08	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	16,0	2,667	0,080	1,819	8,759	28,541	31,836	1,896
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,09	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	18,0	3,000	0,090	1,655	8,759	29,410	30,966	1,950
kalınlık (m)	0,02	0,135	0,1	0,085	0,03								
ısı iletim kat.	0,85	0,45	0,03	0,45	1,8	20,0	3,333	0,100	1,518	8,759	30,467	29,909	2,019

## 7. SONUÇLAR

Kütahya ili merkezindeki binaların kullandıkları yakıt türüne göre sayıları Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Doğal gaz kullanan 2600 binada toplam 15083 doğalgaz abonesi olup, bunların yaklaşık 12000 tanesi ısıtma için aktif bir şekilde kullanıldığı tahmin edilmektedir. Kalan 3000 abone ise merkezi sistemli evlerde mutfak ve sıcak su ihtiyacı için abone olunan sayıyı vermektedir.



**Şekil 7.1.** Kullanılan Yakıt Türüne Göre Bina Sayıları.

Tablo 7.1’ de yapı bileşenlerine göre toplam alan ve ısı köprüsü alanı arasındaki ilişki verilmektedir. Tablo 7.1 incelendiğinde en fazla ısı köprüsü oluşumunun %20 ile hafif tuğla ile yapılmış duvarlarda, en az ısı köprüsü oluşumunun ise %8 ile delikli tuğla ile yapılmış çift duvar arası yalıtım bileşeninde olduğu görülmektedir. Yapı bileşenine göre ısı köprüsü kayıplarının verildiği Tablo 7.2 incelendiğinde ise ısı köprüsü kayıplarının, hafif tuğla yapılarda toplam kayıpların % 33 ünü oluşturduğu, bu oranın sandviç duvarda %20, dışardan yalıtımlı duvarda ise %12 olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.1.** Yapı bileşenlerine göre toplam alan ve toplam ısı köprüsü arasındaki değişim[9].

Yalıtım Durumu	$A_{duvar}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{ısı köprüsü}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{toplam}$ (m <sup>2</sup> )	$A_{ısı köp.}/A_{toplam}$ %
Gazbeton/yalıtımsız	1284.2	325.6	3026.3	11
Delikli tuğla/yalıtımsız	470.4	396.2	2081.4	19
Delikli tuğla/Çift duvar arası yalıtım (Senaryo 1)	1643,98	400,92	5011,51	8
Hafif Tuğla	240.6	183.2	900.5	20
EPS katkılı blok / dışardan yalıtım (Senaryo 2)	345,74	124,04	886	14

**Tablo 7.2.** Yapı bileşenine göre ısı köprüsü kayıpları[9].

Yalıtım durumu	Duvar kayıpları+İK kay/ Toplam kayıp, %	İK kay./ Toplam kayıp, %
Gazbeton/yalıtımsız	50	23
Delikli tuğla/yalıtımsız	52	29
Delikli tuğla/çift duvar arası yalıtım (Senaryo1)	32	20
Hafif tuğla	50	33
EPS katkılı blok/dışardan yalıtım (Senaryo2)	33	12

2008 yılı ısıtma sezonunda Kütahya'da yaklaşık olarak 15 milyon TL'lik gaz tüketilmiştir. İlgili sezondaki ortalama doğalgaz birim fiyatı 0,782 TL/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Buna göre; Kütahya'da ısıtma sezonunda 19,160 milyon m<sup>3</sup> doğalgaz tüketildiği hesap edilmiştir. Bu tüketim miktarının abone sayısına oranlanmasıyla daire başına tüketim miktarı 1596 Nm<sup>3</sup>/daire olarak belirlenir. Buna göre; bir dairenin ısıtma amaçlı yakıt tüketim maliyeti yaklaşık olarak 1250 TL'dir. Standart 100 m<sup>2</sup> taban alanına sahip bir dairenin ısı kaybeden dış duvar alanının yaklaşık 35 m<sup>2</sup> olduğu baz alındığında, yalıtımlı binanın toplam ısıtma maliyeti yaklaşık olarak 965 TL, yalıtımsız binanın toplam ısıtma maliyeti ise 2115 TL olarak bulunur (bkz, Tablo 6.1). Bu sonuçlara göre Kütahya ilinde doğalgaz kullanan binaların çoğunlukla yalıtımsız olmadığı fakat optimum yalıtım kalınlığına da uyulmadığı görülmektedir. Şayet,

Kütahya'daki doğalgaz kullanan yaklaşık 2600 konutta optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılması halinde 1 yılda yaklaşık olarak 4 milyon m<sup>3</sup> doğalgaz tasarrufu ile 3,2 milyon TL lik bir enerji tasarrufu elde edilmesi mümkün olacaktır.

Tablo 7.3.' de ise doğal gaz yerine ithal kömür veya Seyitömer kömürü kullanılması halinde oluşacak baca gazı emisyonları verilmiştir.

**Tablo 7.3.** Yakıt türüne göre tasarruf ve baca gazı emisyon değerleri.

	<b>Doğalgaz</b>	<b>İthal Kömür</b>	<b>Seyitömer Kömürü</b>
Tüketim miktarı	19,16 milyon m <sup>3</sup>	34420 ton	70633 ton
Optimum yalıtım kalınlığı uygulanması halinde tüketilecek	15,12 milyon m <sup>3</sup>	27162 ton	55740 ton
Tasarruf edilecek olan miktar	4 milyon m <sup>3</sup>	7258 ton	14893 ton
Baca gazı emisyonundaki azalma			
CO <sub>2</sub>	7,1 milyon Nm <sup>3</sup>	8,2 milyon Nm <sup>3</sup>	12,5 milyon Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	-----	14516 Nm <sup>3</sup>	163823 Nm <sup>3</sup>

Kütahya'da 2008 yılı kış sezonunda doğalgaz kullanan binalarda İthal kömür kullanılmış olsaydı optimum yalıtım kalınlığı uygulaması halinde, ithal kömür kullanımında atmosfere bırakılan baca gazı emisyonlarında, 8,2 milyon Nm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> ve 14516 Nm<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> azalma görülecektir. Optimum yalıtım kalınlığı sayesinde, tasarrufun yanında çevre kirliliğinin de azaltılabileceği Tablo 7.3' de net bir şekilde görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, binaların kat sayısının artması, yüzeylerinin büyümesi, fazla sayıda yüzeyden oluşması, yüzeylerdeki boşlukların alan olarak büyümesi, yapım teknikleri açısından olduğu kadar ısı yalıtım sorunlarını da çoğaltarak daha duyarlı davranılmasını gerektirmektedir. Isı yalıtımının doğru ve istenilen ölçülerde gerçekleştirilmesi mimari yönden en uygun çözümlerdir.

Binalarda ısı kayıp ve kazançlarının azaltılması genel olarak mimari projeye ve projede kullanılan yapı elemanlarının fiziksel özelliklerine bağı olarak değişmektedir. Bu nedenle mimari projenin hazırlanması sırasında mimarlar ısı kayıpları ve kazançlarını dikkate almalıdırlar. Yapı tasarımında TS 825 ısı yalıtım hesaplarına göre detaylar düşünmelidirler. Günümüzde önce yapının projesi bitirilmekte, daha sonra ısı yalıtım detayları aranmaktadır. Halbuki tam tersi yapı tasarımı yapılırken eldeki mevcut ısı yalıtım malzemeleri ve detaylara göre proje geliştirilmelidir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] <http://www.enerji.gov.tr/istatistik.asp>, Haziran 2008
- [2] Bulut H., Büyükalaca O., Yılmaz T., 2007, Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri, ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi,Kayseri.
- [3] Çengel Y.A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik,Literatür Yayıncılık,1996,İstanbul
- [4] Halıcı F., Gündüz M., 1998, Örneklerle ısı geçişi, Nil Matbaacılık, Sakarya
- [5] Incropera F.P., DeWitt D.P., Isı ve kütle geçişinin temelleri, Literatür Yayınları, 2001, İstanbul.
- [6] Altınışık K., Isı yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtım, 2006
- [7] Öztürk A., Yavuz H., Uygulamalarla ısı geçişi, Çağlayan Kitabevi,1995,İstanbul
- [8] Yüncü H., Kakaç S., Temel ısı transferi,Bilim Kitabevi,1999,Ankara
- [9] [http://www.yapicephe.com/dokuman/Isi\\_Kopruleri.pdf](http://www.yapicephe.com/dokuman/Isi_Kopruleri.pdf), Haziran 2008
- [10]Akgün G., DilmaçŞ., Isı köprüsü problemlerinde kullanılan matematik modellerin karşılaştırılması, itü dergisi/mühendislik, Cilt 4, Sayı 5 , Ekim 2005, 3-16s
- [11]Şen A.O., 2006, Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri, dünyada ve Türkiye’de yalıtım, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [12] Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yayın No:175, Aralık 2006, Ankara
- [13] TS 825, Binalarda ısı yalıtım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1998
- [14] Resmi Gazete, TS825 Binalarda ısı yalıtım yönetmeliği, Sayı: 27019, 09/10/2008
- [15] N.Toydemir, E.Gürdal, L.Tanaçan, “Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme” Literatür Yayınları, no.39, Birinci Baskı, İstanbul, 2000, s.394
- [16][http://www.cen.eu/cenorm/standards\\_drafts/onlinecataloguewithlinkstomembers/index.asp](http://www.cen.eu/cenorm/standards_drafts/onlinecataloguewithlinkstomembers/index.asp), Haziran 2008



## KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)

- [17] <http://www.mmoistanbul.org/yayin/Scripts/prodView.asp?idproduct=305>, Mart 2009
- [18] Köse B., Isıkan O., İnan A.T., 2006, Isı yalıtım uygulamalarının üç bölge için enerji verimliliği açısından incelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1-9s
- [19] ASTM E-84, "Bina Malzemelerinin Yüzey Yanma Karakteristiklerini Belirlemede Kullanılan Standart Test Yöntemi"
- [20] Isı Yalıtımı, İzoder Yalıtım Eğitim ve Danışma Merkezi, 2008
- [21] Buyruk B.H., 2008, Türkiye'deki Binaların Genel Enerji Durumu, Tasarruf Potansiyeli ve Gelişmeler, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü
- [22] <http://www.mmoistanbul.org/yayin/tesisat/102/5/>, Şubat 2009
- [23] Dombaycı Ö.A., Gölcü M., Pancar Y., 2006, Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, Applied Energy 83, 921-928s
- [24] Şenkal Sezer F., 2005, Türkiye'de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri, Uludağ Ün. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 10, Sayı 2, 79-85s
- [25] Arslan O., Köse R., 2006, Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings, Energy and Buildings 38, 1403s
- [26] Aytaç A., Aksoy T., 2006, Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi, Gazi Ün. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 4, 753-758s.
- [27] Gölcü M., Dombaycı Ö.A. ve Abalı S., 2006, Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları, Gazi Ün. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 4, 639-644s
- [28] Arslan O., Yetgin S.H., Köse R., Kütahya şehir merkezinde hava kirliliği ve doğalgaz, DPÜ Müh.Fak., Kütahya
- [29] Yıldızay H.D., 2005, Kütahya'da doğalgaz kullanımının hava kalitesine etkilerinin irdelenmesi, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [30] Çomaklı K., Yüksel B., 2003, Optimum insulation thickness of external walls for energy saving, Applied Thermal Engineering 23, 473-479s

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (Devamı)**

- [31] Hasan A., 1999, Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost, Applied Energy 63, 115-124s
- [32] Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R., Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı hesabı, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 187-195s
- [33] Özel M., Pıhtılı K., 2005, Bina duvarlarına uygulanan yalıtımın farklı konumlarının ısı kazanç ve kayıplarına olan etkisinin araştırılması, DEÜ Müh.Fak. Fen ve Mim. Der., Cilt 7, Sayı 1, 87-97s
- [34] Ünalın H., Gökaltun E., Uğurlubilek R., Yapı kabuğunda ısı kayıplarının azaltılması ve bir iyileştirme projesi örneği, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 401-410s
- [35] Dilmaç Ş., Kesen N., 2003, A comparison of new Turkish thermal insulation standart(TS825), ISO 9164, EN 832 and German regulation, Energy and Buildings 35, 161-174s
- [36] Bayraktar K.G., Dağsöz A.K., Kılıç A., 2003, Dış hesap sıcaklıkları ve ülke ekonomisine etkileri, İTÜ Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, 73-82s
- [37] Çomaklı K., Bakırcı K., Erdoğan S., Şahin B., 2005, Enerji, çevre, sağlık ve güvenlik açısından yalıtım, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 89, 65-70s

## **ÖZGEÇMİŞ**

Fehmi IRGAT, 15 Ocak 1978 yılında Kütahya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kütahya'da tamamladı. 2000 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında Dumlupınar Üniversitesi Kütahya Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2007 yılında Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalında Yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Enerji Anabilim Dalında Yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.