

**ERZİNCAN İLİNDEKİ BİNALARDA ISI YALITIM
UYGULAMALARI VE ISI YALITIMININ ENERJİ
TASARRUFUNA ETKİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

İlker FIRAT

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA
2013
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZİNCAN İLİNDEKİ BİNALARDA ISI YALITIM UYGULAMALARI
VE ISI YALITIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİNİN
EKONOMİK ANALİZİ**

İlker FIRAT

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**ERZİNCAN İLİNDEKİ BİNALARDA ISI YALITIM UYGULAMALARI VE ISI
YALITIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA ortak danışmanlığında, İlker FIRAT tarafından hazırlanan bu çalışma 11/10/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA

İmza :

Üye : Doç. Dr. Abdurrehim BÖLÜKBAŞI

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Doğan ÇİLOĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP, projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 10.01.08 (Erzincan Üniversitesi)

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirilerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZİNCAN İLİNDEKİ BİNALARDA ISI YALITIM UYGULAMALARI VE ISI YALITIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ

İlker FIRAT

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI
Ortak Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA

Ülkemizdeki enerjinin %35'inin binalarda tüketildiği ve binalarda tüketilen enerjinin de %80'i ısıtma amaçlı kullanıldığı göz önüne alınırsa, binalara kurulacak daha verimli ısıtma sistemlerinin yanı sıra binalara uygulanacak uygun ısı yalıtımları ile büyük enerji tasarrufu sağlanacağı çok önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Erzincan ilinde örnek olarak seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız her bir bina türünden gerçekleşen ısı kayıpları belirlenerek il genelinde ısı yalıtımı yapılmamış binaların toplamından fazladan gerçekleşen ısı kayıplarının ekonomik analizi yapılması ve Erzincan'da mevcut bulunan ısı yalıtımlı binaların ısı yalıtımlarının termal kamera ile incelenmesi, ısı yalıtımının hiç yapılmaması durumunda fazladan meydana gelen ısı kayıplarının belirlenmesi ve yanlış yalıtım uygulamalarından dolayı meydana gelen ısı kayıp bölgeleri tespit edilmesidir.

Yapılan çalışmaların sonucunda, Erzincan ili genelinde bulunan binaların 2 411 189,77 m² toplam ısı transfer yüzey alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu alanın %31,36'sı yalıtımlı, %68,64'ü ise yalıtımsızdır. İlde mevcut bulunan %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların yalıtım kalınlıkları değişkenlik arz etmesi nedeni ile daha önce yapılan projelerde Erzincan ili için kullanılan 4, 5 ve 8 cm yalıtım kalınlıklarında hesaplamalar yapılmıştır. İldeki mevcut olan duruma göre %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 4 cm XPS ile yalıtıldığı kabul edilerek yalıtımlı ve yalıtımsız tüm binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 163 084 334,38 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Yalıtımsız binaların yalıtımlarının 4 cm XPS ile sağlanması durumunda toplam yıllık ısıtma maliyetinin 85 380 229,75 TL/yıl değerine düşeceği ve buradan %39,13'lük bir tasarruf elde edileceği belirlenmiştir. Yalıtım kalınlığının 5 cm ve 8 cm olması durumunda ise toplam yıllık ısıtma maliyetindeki tasarrufun sırası ile %41,30 ve %43,71 değerinde gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

İldeki ekonomik analizi yapılan yalıtımlı ve yalıtımsız bazı binalar, termal kamera ile incelenerek izolasyonu olmayan binalardan ve hatalı izolasyon uygulamalarından dolayı meydana gelen ısı kayıp bölgeleri tespit edilmiştir. Bu hataların daha çok binaların taşıyıcı sistemlerinin yeteri kadar yalıtılmadığı veya dış duvar ile aynı kalınlıkta yalıtıldığı durumlarda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Günümüzde yalıtım bilinci olarak binaların sadece dış duvarlarının yalıtıldığı, pencere, taban ve tavan yalıtımlarına gerekli önemin verilmediği termal kamera görüntüleri ile belirlenmiştir. Yalıtımın duvar malzeme çeşidine göre farklılık gösterdiği ve bina yalıtımının bir bütün içerisinde incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

2013, 108 sayfa

Anahtar Kelimeler: Isı kayıpları, Yalıtım, Ekonomik Analiz, Enerji Tasarrufu

ABSTRACT

ECONOMIC ANALYSIS OF EFFECT ON ENERGY SAVING OF THERMAL INSULATION AND THERMAL INSULATION APPLICATIONS AT BUILDINGS IN ERZINCAN PROVINCE

Master Thesis

İlker FIRAT

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

Co Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA

In Turkey 35% of the energy is consumed in buildings. 80% of the energy consumed in buildings is used for heating purposes. Considering these facts, efficient heating systems and suitable heat insulation will provide huge energy savings.

In this study, it was aimed to determine heat losses in the sample heat insulated and uninsulated buildings in Erzincan Province and conduct heat loss economic analysis. In addition, heat insulation of buildings were examined by thermal cameras. Also, it was aimed to determine the heat losses that were occurring in the absence of thermal insulation and proper insulation applications.

As a result of the study, it is identified that total heat transfer surface area in the buildings in Erzincan is 2 411 189,77 m². 31,36 per cent of this area is insulated and 68,64 per cent is uninsulated. Because, the insulated buildings' insulation thicknesses differ, 4, 5 and 8 cm insulation thickness calculations were made according to the projects that was made in Erzincan before. Assuming that the insulated buildings built with 4 cm XPS, total heating cost was determined as 163 084 334,38TL/year. If the uninsulated buildings have 4 cm XPS standard total annual heating cost would decrease to 85 380 229,75 TL/year and there would be 39,13 per cent saving. If insulation thicknesses is 5 cm and 8 cm, total annual saving respectively would be 41,30 per cent and 43,71 per cent.

Furthermore, areas of heat loss was determined in the buildings which don't have thermal insulation and proper insulation applications. It was discovered that these errors have emerged when carrier systems are not properly isolated or they are isolated with the same thickness of the outer wall. Today, as awareness of insulation only the outer walls of buildings is considered. It was found out by thermal camera images that window, floor and ceiling insulations are not given enough importance. Insulation differs depending on the type of wall material and building insulation be examined holistically.

2013, 108 page

Keyword: Heat losses, Insulation, Economic analysis, Energy saving

TEŞEKKÜR

Danışman çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA'ya tez boyunca yaptıkları katkılardan dolayı, bana inanıp, güvendiği ve her konuda, her zaman yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana inanan, güvenen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu makale Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 10.01.08 nolu “Binalarda ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin termal kamera ile incelenmesi” isimli proje kapsamında hazırlanmıştır. Destekleri nedeniyle Erzincan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	23
2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı	23
2.2. Isı Geçişinin Esasları	23
2.2.1. İletim ile ısı transferi	24
2.2.2. Taşınım ile ısı transferi.....	27
2.2.3. Işınım ile ısı transferi.....	28
2.3. Düzlem Duvarlarda Sürekli Isı İletimi	28
2.4. Isı Yalıtımı.....	32
2.4.1. Yapılarda ısı yalıtımının önemi	32
2.4.2. Isı yalıtımının çevre, enerji ve ısıl konfora etkileri	33
2.4.2.a. Isı yalıtımının çevresel etkileri	33
2.4.2.b. Isı yalıtımının enerjiye etkisi	34
2.4.2.c. Isı yalıtımının ısıl konfora etkisi.....	34
2.5. Yapılarda Isı Yalıtımı İle İlgili Mevzuat	37
2.6. TS 825'in Amacı	38
2.7. Isıl Direnç Kavramı	41
2.8. Çok Katmanlı Düzlem Duvarlar.....	43
2.9. Binalarda Isı Kaybı Hesabı.....	44
2.10. Bina Duvarlarının Isı Kaybı ve Yıllık Enerji İhtiyacı	47
2.11. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması	49
2.12. Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süresi	51
2.13. Erzincan'da Ölçümü Alınan Binaların İl Genelindeki İstatistiksel Verileri	52

3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	56
3.1. Materyal.....	56
3.1.1. Çalışma alanı	56
3.1.2. Bina duvarlarının yapısı	56
3.1.3. Deney düzeneği	57
3.1.3. Çalışmadaki materyaller.....	59
3.1.3.a. Yalıtımlı ve yalıtımsız müstakil evler	59
3.1.3.b. Yalıtımlı ve yalıtımsız çok katlı binalar	61
3.1.3.c. Yalıtımlı ve yalıtımsız okullar	61
3.1.3.d. Yalıtımlı ve yalıtımsız camiler	62
3.1.3.e. Dijital termometreler	62
3.1.3.f. Termal kamera ve uygulamaları	63
3.2. Metod.....	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	76
4.1. Erzincan'daki Binalardan Olan Toplam Isı Kaybı	76
4.2. İldeki Binaları Isıtmak İçin Gerekli Yıllık Enerji İhtiyacı	78
4.3. İldeki Binalar İçin Yıllık Toplam Isıtma Maliyeti	79
4.4. Erzincan İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Geri Ödeme Süresi	79
4.5. Erzincan'daki Çeşitli Binalara Ait Termal ve Gerçek Görüntüler	80
4.5.1. Camilere ait termal ve gerçek görüntüler	80
4.5.2. Çelik konstrüksiyonlu evlere ait termal ve gerçek görüntüler	83
4.5.3. Çok katlı evlere ait termal ve gerçek görüntüler	86
4.5.4. Müstakil evlere ait termal ve gerçek görüntüler.....	89
4.5.5. Okullara ait termal ve gerçek görüntüler	91
4.5.6. Parça yalıtımlı binalara ait termal ve gerçek görüntüler	94
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	100
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	109

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

$\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}}$	Düzlem duvardaki ısı iletim hızı [W]
T_{∞}	Akışkan sıcaklığı [K]
ΔT	Sıcaklık farkı [K]
$^{\circ}\text{C}$	Santigratderece
A	Alan [m^2]
a	Hava sızıntı katsayısı [m^3/mh]
A_s	Net tasarruf miktarı [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
c	Ondalık ifade [örneğin; .04 = ± 4]
C_A	Birim yüzey için yıllık ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{A,\text{yalıtlı},4}$	4 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{A,\text{yalıtlı},5}$	5 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{A,\text{yalıtlı},8}$	8 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{A,\text{yalıtımsız}}$	Yalıtımsız dış duvarın birim alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
C_{mlz}	Yalıtım malzemesinin birim fiyatı [TL/m^3]
C_t	Yalıtılmamış binanın toplam ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{t,\text{izo}}$	Yalıtılmış binanın toplam ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{t,\text{izo},4}$	4 cm XPS ile yalıtımı yapılan dış duvarın birim alanı için toplam ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{t,\text{izo},5}$	5 cm XPS ile yalıtımı yapılan dış duvarın birim alanı için toplam ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{t,\text{izo},8}$	8 cm XPS ile yalıtımı yapılan dış duvarın birim alanı için toplam ısıtma maliyeti [$\text{TL}/\text{m}^2\text{yıl}$]
$C_{t,\text{yalıtımsız}}$	Yalıtımsız dış duvarın birim alanı için toplam ısıtma

	maliyeti [TL/m ² yıl]
C _{ykt}	Yakıtın birim fiyatı [TL/m ³]
C _{ylt}	Yalıtım malzemesinin maliyeti [TL/m ²]
C _{ylt4}	4 cm XPS yalıtım malzemesinin birim fiyatı [TL/m ²]
C _{ylt5}	5 cm XPS yalıtım malzemesinin birim fiyatı [TL/m ²]
C _{ylt8}	8 cm XPS yalıtım malzemesinin birim fiyatı [TL/m ²]
DG	Derece-gün sayısı [°-gün]
E _b	Yüzeyin yayma gücü [W/m ²]
EPS	Expand polistiren köpük
E _{yıl}	Yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m ² yıl]
E _{yıl,yalıtımlı4}	4 cm XPS yalıtım malzemesi kaplı dış duvarın birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m ² yıl]
E _{yıl,yalıtımlı5}	5 cm XPS yalıtım malzemesi kaplı dış duvarın birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m ² yıl]
E _{yıl,yalıtımlı8}	8 cm XPS yalıtım malzemesi kaplı dış duvarın birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m ² yıl]
E _{yıl,yalıtımsız}	Yalıtımsız dış duvar için yıllık enerji ihtiyacı [MJ/ m ² yıl]
g	Enflasyon oranı
h	Isı taşınım katsayısı [W/m ² K]
H	Yapı durum katsayısı (rüzgar etkinliği katsayısı)[kWh/m ³ °]
h _{dış}	Dış ortam ısı taşınım katsayısı [W/m ² K]
h _{iç}	İç ortam ısı taşınım katsayısı [W/m ² K]
H _u	Yakıtın alt ısı değeri [J/ m ³]
Hz	Hertz
I	Elektrik akımı [A]
i	Faiz oranı
k	Isı iletim katsayısı [W/mK]
KDV	Katma değer vergisi
L	Duvar kalınlığı [m]
L	Pencere veya kapının açılan kısımlarının metre olarak çevre

	uzunluğu [m]
LPG	Likit Petrol Gazı
N	Ömür süresi [yıl]
p	Ondalık olarak ifade edilen seçenek
pop	Nüfus
PP	Geri ödeme süresi [yıl]
Q	Toplam ısı transfer miktarı [W]
q	Isı akısı [W/m^2]
Q_0	Artırımsız ısı kaybı [W]
Q_i	İletimsel ısı transferi [W]
Q_s	Kapı ve odalardan sızan ısının değeri [W]
$q_{yıl}$	Yıllık ısı kaybı [W/m^2]
R	Oda durum katsayısı [boyutsuz]
r	Gerçek faiz oranı
$R_{dış}$	Dış ortam ısı taşınım direnci [m^2K/W]
R_{duvar}	Isı iletimine karşı duvarın ısı direnci [m^2K/W]
$R_{duvar,toplam}$	Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci [m^2K/W]
R_e	Elektrik direnci [Ohm]
$R_{iç}$	İç ortam ısı taşınım direnci [m^2K/W]
$R_{taşınım}$	Duvarın taşınım direnci [K/W]
R_{toplam}	Toplam ısı direnç [K/W]
$R_{yalıtım}$	Yalıtım malzemesinin ısı direnci [m^2K/W]
SS	Örneklem büyüklüğü
ŞDF	Şimdiki değer faktörü
T	Sıcaklık [K]
T_a	Akışkan sıcaklığı [K]
t_i	İç ortam sıcaklığı [K]
t_{iy}	İç yüzey sıcaklığı [K]
TL	Türk Lirası
TS	Türk Standardı
T_y	Yüzey sıcaklığı [K]

U	Toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
U_D	Dış duvarın toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
U_P	Pencerelerin toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
U_T	Tavanın toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
U_t	Tabanın toplam ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
V_1, V_2	Direnç üzerindeki gerilim [volt]
x	Yalıtım malzemesinin kalınlığı [m]
x_{opt}	Optimum yalıtım kalınlığı [m]
XPS	Ekstrude Polistren
YTL	Yeni Türk Lirası
Z	Zamlar [$Z = 1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H$]
Z	Güven düzeyi
Z_A	Soğuk dış yüzey ısı kaybı artırımı
Z_D	Birleştirilmiş artırım katsayısı [$Z_D = Z_A + Z_U$]
Z_e	Katsayı [birimsiz]
Z_H	Yön zammı
Z_U	Kesintili ısıtma rejimi artırımı
Z_W	Kat zammı
η	Yakma sisteminin verimi
σ	Stefan-Boltzmann sabiti [$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$]
σ_e	Elektriksel iletkenlik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO ₂ emisyonları	5
Şekil 1.2. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı.	7
Şekil 1.3. Yalıtımsız bir duvardan olan ısı kaybının termal görüntüsü ve duvarın normal görüntüsü.	10
Şekil 1.4. Akşam ve gün ağarırken binalardan alınan termal görüntüler.....	19
Şekil 1.5. Pekin'deki 8 tip bina için toplam bina sayısı ve örneklem adedi arasındaki ilişki.....	21
Şekil 2.1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi.....	24
Şekil 2.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	26
Şekil 2.3. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları.	27
Şekil 2.4. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi.....	29
Şekil 2.5. Sürekli şartlarda düzlem duvarda sıcaklık dağılımı.....	31
Şekil 2.6. Sıcaklığın çalışma verimine etkisi	36
Şekil 2.7. Isıl ve elektriksel direnç kavramları arasındaki benzerlik	42
Şekil 2.8. Bir yüzeyde taşınım direncinin şematik gösterimi	43
Şekil 2.9. İki katmanlı kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi.	44
Şekil 2.10. Erzincan ili kent yerleşim planı.	53
Şekil 3.1. Örnek seçilen yapıların dış duvar bileşenlerinin özellikleri	60
Şekil 3.2. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan dijital termometre.	63
Şekil 3.3. Testo 875 termal kamera görüntüsü	64
Şekil 4.1. (a) Isı yalıtımsız cami dış duvarının içten termal görüntüsü, (b) Isı yalıtımsız cami dış duvarının içten gerçek görüntüsü, (c) Isı yalıtımsız caminin dış duvar termal görüntüsü, (d) Isı yalıtımsız caminin dış duvar gerçek görüntüsü, (e) Isı yalıtımlı caminin dış duvar termal görüntüsü, (f) Isı yalıtımlı caminin dış duvar gerçek görüntüsü, (g) Dıştan ısı yalıtımlı cami dış duvarının içten termal görüntüsü, (h) Dıştan ısı yalıtımlı cami dış duvarının içten gerçek görüntüsü, (ı) (g)'deki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgilerin çizgi boyunca sıcaklık profili.....	80

Şekil 4.2. (a) (e) (g) (i) Çelik evin dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı termal görüntüleri, (b) (f) (h) (i) Çelik evin dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı gerçek görüntüleri, (c) Çelik evin dıştan çekilmiş termal görüntüsü, (d) Çelik evin dıştan çekilmiş gerçek görüntüsü, (j) Şekil 4.2(ı)'daki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgi boyunca sıcaklık dağılımı.	83
Şekil 4.3. (a) (c) (e) Isı yalıtımsız çok katlı binanın dış duvar termal görüntüleri, (b) (d) (f) Isı yalıtımsız çok katlı binanın dış duvar gerçek görüntüleri, (g) (i) (j) Isı yalıtımlı çok katlı binanın dış duvar termal görüntüleri, (h) (i) (k)) Isı yalıtımlı çok katlı binanın dış duvar gerçek görüntüleri.	86
Şekil 4.4. (a) (c) Yalıtımsız müstakil evin farklı cephelerine ait termal görüntüler, (b) (d) Yalıtımsız müstakil evin farklı cephelerine ait gerçek görüntüler.	89
Şekil 4.5. (a) (d) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı termal görüntüler, (b) (e) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı gerçek görüntüler, (c) Şekil 5(a)'daki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgi boyunca sıcaklık dağılımı, (f) (h) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı termal görüntüler, (g) (i) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı gerçek görüntüler, (i) Isı yalıtımlı okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı termal görüntü, (j) Isı yalıtımlı okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı gerçek görüntü.	91
Şekil 5.1. Yalıtımsız ve farklı kalınlıktaki yalıtımlı dış duvarlar için yalıtım, yakıt ve ısıtma maliyetleri.	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve analiz şehirler için geri ödeme süresi.	14
Çizelge 1.2. Bazı yakıt türleri için gerekli yıllık yakıt miktarları ve azalma oranları. Yıllık yakıt miktarı hesaplamalarında ısı değerlerinin üst sınırları kullanılmıştır	17
Çizelge 1.3. Pekin'deki 8 farklı tip binaların toplamı için örneklem adetleri.....	20
Çizelge 2.1. İç ortam (t_i) ve iç yüzey sıcaklıkları (t_{iy}) arasındaki farka göre konfor şartları.	37
Çizelge 2.2. TS 825'e göre bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	39
Çizelge 2.3. TS 825'e göre Türkiye'nin iklim bölgeleri.....	40
Çizelge 2.4. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler...	52
Çizelge 2.5. 2011 yılına ait Erzincan ili bina envanteri.	52
Çizelge 3.1. Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012 yılı Şubat saatlik dış ortam sıcaklık verileri (Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012).	58
Çizelge 3.2. Katı, sıvı ve gaz yakıtların karşılaştırılması.	59
Çizelge 3.3. Dış duvar bileşenlerinin fiziksel özellikleri.	61

1. GİRİŞ

Enerji, bir cisim ya da sistemin iş yapabilme kapasitesidir ve değişik şekillerde karşımıza çıkar: Örneğin; ısı enerjisi, ışık enerjisi, mekanik enerji, elektrik enerjisi, kimyasal enerji ve nükleer enerji vb. şekillerde olabilir. Enerji kaynakları genelde yenilebilir ve yenilenemeyen (tükenebilen) olmak üzere iki grupta toplanırlar. Yenilebilir enerji, sürekli ve tekrar tekrar kullanılabilen enerjidir. Örneğin; güneş enerjisi, rüzgar enerjisi gibi. Yenilenemeyen enerji ise, kullanılan ama kısa zamanda yeniden oluşmayan enerji olarak tanımlanır. Bunlar genelde petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardır. Günümüzde fosil yakıtlar dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta ve bu yakıtların kullanım hızı da sürekli artmaktadır. Özellikle kalkınma eğilimi yüksek olan ülkelerin fosil yakıt talepleri oldukça fazladır. Bu taleplere paralel olarak fosil yakıt rezervleri artış göstermemektedir.

Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da çok bilinen bir diğer husustur. Sürdürülebilir kalkınmanın enerjiyle olan bağlantısı, çok uzun bir süre boyunca enerjinin tüketicilere güvenli biçimde sunulması ekseninde ele alınmış, enerji-kalkınma ilişkisi bu çerçeve içinde değerlendirilmiştir. Ancak, hâlihazırda en önemli enerji kaynağı olan fosil yakıtların (kömür, petrol, doğalgaz) gittikçe ve süratle azalmakta oluşu, diğer yandan bu kaynakların oluşturduğu çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik biçimde kullanımı olgusunu, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiş, sürdürülebilir kalkınmayla ilgili çalışmalara bu konuların dâhil edilmesi sonucunu doğurmuştur (Resmi Gazete 2003).

Dünya nüfusunun giderek artması ve sanayi sektörünün giderek gelişme eğiliminde olması enerjiye olan gereksinimin artmasına neden olmuştur. Enerjiye bağlılığın artmasına karşılık enerji arzındaki ve fiyatlardaki istikrarsızlık gelecekte enerji üretiminde fosil yakıtların kullanılmasında belirsizlikler oluşturmaktadır.

Dünya’da enerji üretim rakamları incelendiğinde %60 ile en büyük payı fosil yakıtların aldığı görülmektedir (Kadioğlu ve Tellioğlu 1996). Fosil yakıtlardan yanma sonucu enerji elde edildiğinde yanma ürünleri (CO_2 , NO_x ve SO_2 gibi gazlar), baca gazı olarak atmosfere yayılırlar. CO_2 gazı sera oluşumunda etkin bir gazdır. Artan CO_2 miktarı, yerkürenin sıcaklığının artmasına dolayısıyla iklimlerin farklılaşmasına yol açmaktadır. Atmosferdeki su buharı ile birleşen SO_2 ve NO_x ise esas olarak asit yağmurlarına yol açmakta ve bu da dünyanın ekolojik dengesinin zarar görmesine neden olmaktadır. Bütün fosil yakıt artıkları kış aylarında pek çok kentimizi etkisi altına alan hava kirliliğine yol açmaktadır (Ersoy ve Küçükbayrak 1994).

Bir yandan enerjiyle ilgili olarak ortaya çıkan ozon tabakasındaki incelme, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder boyutlara ulaşması gibi sorunlar, diğer yandan dünyadaki doğal enerji kaynaklarının (özellikle fosil yakıtların) hızla tükenmesi gibi riskler hem birer müstakil varlık olarak devletleri, hem de insanlık adına düşünme sorumluluğunda olan bilim adamlarını ve aydınları enerji konusuna daha çok yoğunlaşmaya ve bu alan üzerinde daha çok araştırma yapmaya sevk etmektedir. Bütün dünyada ülkelerin enerji konusuyla ilgili birimleri, karar vericileri ve üst yöneticileri güvenli, çevre şartlarını dikkate alan ve riski en aza indirmiş enerji politikaları üretmek için çalışmaktadırlar (Devlet Planlama Teşkilatı Yayını 2000).

Türkiye kömür dışında fosil yakıt kaynakları bakımından fakir bir ülkedir. Türkiye, Orta Doğu ülkeleri ve Rusya gibi petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip değildir. Ülkemizin sahip olduğu en önemli birincil enerji kaynağı potansiyeli, fosil yakıt olarak linyit kömürüdür. Linyit kömürü ağırlıklı olarak termik santrallerde elektrik üretiminde ve binalarda ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Bugün, hem sürdürülebilir kalkınmanın gereklerini yerine getiren hem de çevresel tehlikelerle enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan ekonomik ve sosyal faaliyetleri en aza indirgeyen bir strateji oluşturmak için çevresel kısıtlar, ekonomik ve siyasi kısıtlarla birlikte düşünülmektedir. Bu strateji de enerji verimliliği stratejisidir

(Çalıkoglu 2004). Böyle bir strateji en önce enerji ihtiyacı kavramının yeniden ele alınmasına bağlıdır.

Enerjinin verimli kullanılmasının sağlanmasında en temel gösterge enerji yoğunluğudur. Ülkemizde kişi başına enerji tüketimi OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) ülkeleri ortalamasının yaklaşık 1/5'i oranında, enerji yoğunluğu ise OECD ortalamasının iki katı kadardır. Bugüne kadar yürütülen çalışmalara rağmen enerji yoğunluğu düşme eğilimine girmemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu 0,09-0,19 arasında iken ülkemizde 0,38 olması ve azalma eğilimi göstermemesi bu konunun ciddi olarak ele alınması gereğini ortaya koymaktadır. Sadece bu rakam bile Türkiye'nin enerji verimliliğinin artırılması konusunda yapılabilecek çok şey olduğunu göstermektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Anonim).

Enerjinin verimli kullanılmasının sağlanması ve etkin bir enerji verimliliği programının uygulanması, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, enerji verimliliği konusunda bir bilinç oluşturulması ile uluslararası yükümlülüklerin yerine getirilmesi için gerekli kanuni düzenlemelerin yapılması zorunluluk arz etmiştir. Enerji Bakanlığı tarafından enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacı ile 18.04.2007 tarihinde onaylanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu bazı yükümlülükler getirmektedir. Bu bağlamda, 26 510 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Enerji Verimliliği Kanunu 2007).

Kanun ile ;

- Binaların yıllık maksimum enerji tüketim miktarları (kWh/m²) belirlenecek,
- Yapı tesisatları düzenli olarak denetlenecek,
- Yapılarda ısı yalıtımı standartları yasaya göre değişecek,
- Her binanın bir enerji pasaportu olacak,

- Binalarda enerji izleme yöntem ve sistemleri kullanılmaya başlanacak,
- Kanun kapsamına giren endüstriyel işletmelerde ve binalarda enerji yönetimi ile ilgili faaliyetleri yerine getiren enerji yöneticileri bulundurulacaktır.

Hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve yaşam kalitesinin enerjiye bağlı olarak yükselmesi enerji tüketimini artırmıştır. Enerji tüketimindeki bu hızlı artış maliyet ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. Ülkemizde enerjinin %35-40'ı binalarda tüketilmekte ve bu miktarın %85'i ise ısıtma amacıyla kullanılmaktadır (Özel 2008).

Enerji giderlerinin %35-40'ı bina sektöründe kullanıldığı ülkemizde, enerji sorunu kendini sürekli gündemde tutmuştur. Avrupa Birliği'ne katılmayı hedefleyen ülkemiz teknolojik ve sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmak için yoğun bir çaba harcamakta ve bu çabada en önemli engellerden biri de enerji tüketimindeki açık olmaktadır. Ülkemizde enerji açığı enerjinin ithal edilmesi yolu ile karşılanmaya çalışılmakta, bu durum sorunun büyümesine ve enerji krizi yaşanmasına yol açmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın açıklamalarına göre enerjinin %65'i ithal edilmektedir. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde 2020 yıllarında bu oranın %80'lere ulaşacağı belirtilmektedir. Bu nedenle ülkemizde enerjinin etkin kullanımı öncelikli olarak ele alınmalıdır (Oral 2003).

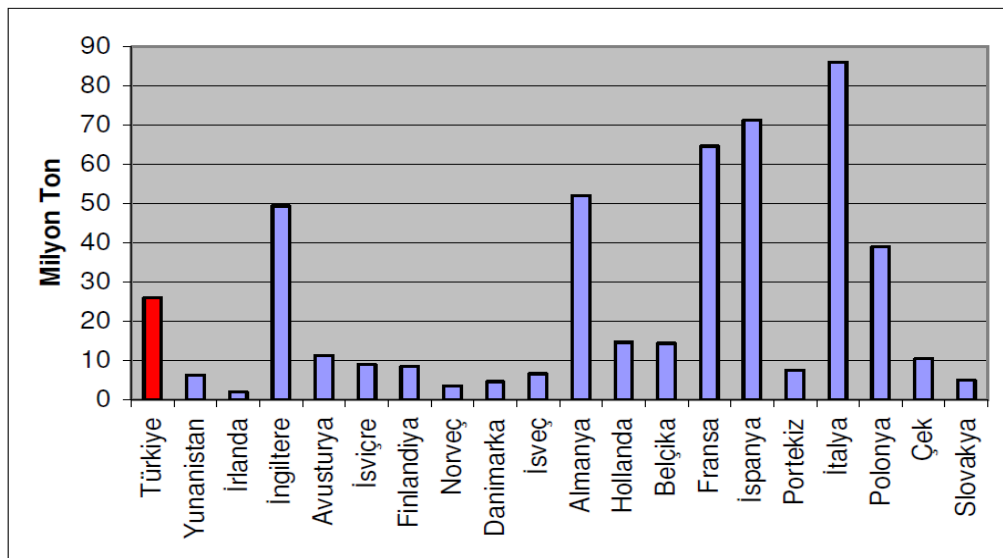
Enerji maliyetleri ve çevre kirliliğinin artması, binalarda ısı yalıtımı ile ilgili yapılan çalışmaları da hızlandırmıştır. Bu amaçla 1998 yılında binalarda birim enerji tüketiminin azaltılması ve verimli kullanılması için Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardı yayınlanmıştır. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından ise 2000 yılında Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği çıkarılmış ve bu yönetmelik ile binalarda ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmiştir.

1998 ve 2000 yıllarında yürürlüğe giren ısı yalıtım kurallarına göre yapılan binaların enerji performansı benzer iklim koşullarına sahip Avrupa ülkelerine göre daha düşüktür (Aytaç ve Aksoy 2006). Bu durum dikkate alınarak 2008 yılında TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında değişiklikler yapılmış, 2000 yılında yürürlüğe giren ve

değişik tarihlerde revize edilen Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği yürürlükten kaldırılmış, yerine Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY) çıkartılmıştır.

Yönetmelik; mevcut ve yeni yapılacak konut, ticari ve hizmet amaçlı kullanılan binaları kapsamaktadır. 5617 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu gereği mevcut binalarda da 2 Mayıs 2017 tarihine kadar Enerji Kimlik Belgesi alınması zorunludur (Yalıtım Dergisi Anonim).

Binalarda enerji gereksiniminin artması, bunun sonucunda binalarda kullanılan tükenbilir enerji kaynaklarının azalması, binalarda enerji korunumunun sağlanmasını ve dolayısıyla ısı yalıtımını gerekli kılmaktadır. Aksi halde karşımıza çıkması olası sorunların başında; yapıların ömürlerinin azalması, havaya bırakılan SO_2 , NO_x ve CO_2 parçacıkları ve diğer emisyonlara bağlı olarak insan sağlığının bozulması ve küresel ısınma, ısı kayıplarına bağlı olarak harcanan yakıt giderlerinin artması gibi sorunlar çıkmaktadır. Yukarıda belirtilen havaya bırakılan gazlar sonucu meydana gelen hava kirliliği “Avrupa Mineral Yün Yalıtım Malzemeleri Üreticileri Birliği” EURIMA tarafından araştırılmış ve konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO_2 emisyonlarının miktarları belirlenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO_2 emisyonları (Akıncı 2007).

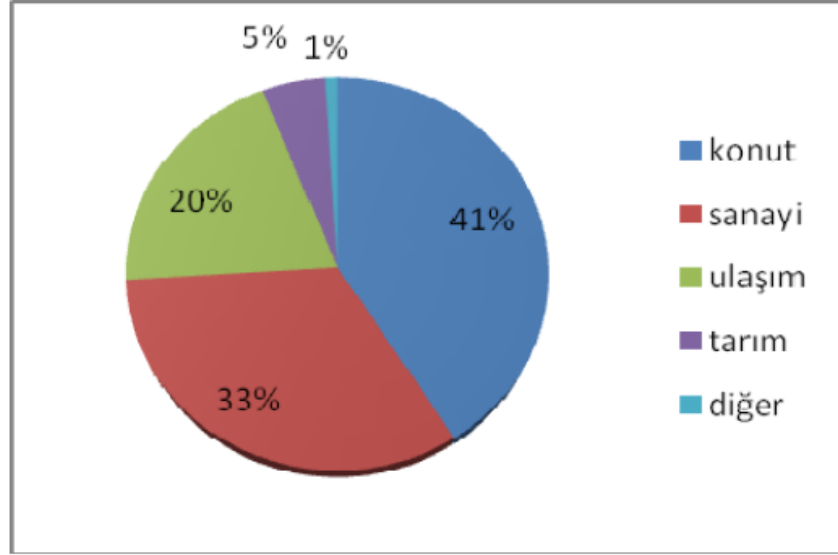
Ülkemizde toplumun küresel ısınma ve iklim değışikliğı ya da binalarda ısı yalıtımının çevre için taşıdığı önemi konusunda yeterli bilgisi olmadığı görölmektedir. İnsanların, binalarda yalıtımı geliştirme konusunda gösterecekleri kişisel çabaların CO₂ emisyonlarını azaltmak açısından taşıyacağı önemin farkında olmadıkları açıkça ortadadır. Bu nedenle binalarda yalıtım standartlarının yükseltilmesi için yoğun bir çaba gösterilmesi gerekmektedir (Koçu ve Korkmaz 2005). Yukarıda verilen bilgiler ışığında ülkemizin enerji verimliliğı konusunda daha duyarlı ve bilinçli olması gerekmektedir.

Isıl konfor açısından yapıların ve konutların ekonomik analizleri 1973 Enerji Krizi'nden önce yapılmamıştır. Bunun sebebi olarak o dönemde enerjinin ekonomik ve kolay erişilebilir olmasıdır. Fakat daha sonralarda yaşanan ekonomik krizler, binaların ve konutların yeteri düzeyde yalıtımlı olmadıkları gerekliliğini ortaya koymuştur. Binalarda ısı yalıtımının yeteri düzeyde olmamasından kaynaklanan ısı kaybı sonucu konforsuzluk, ekonomik sorunlar ile binanın dış etkenlerden etkilenecek ömrünün kısa olması gibi sorunları önlemek için mevcut yönetmeliklerin etkinliğinin artırılmasını sağlamak ve bu doğrultuda yeni yasal düzenlemelere gitmek zorunlu hale gelmiştir.

Özellikle AB ülkeleri iklim değışikliğı sözleşmesine taraf olarak Kyoto Protokolü'nün imzalanmasıyla küresel ısınma ve hava kirliliğı ile mücadele edilmesi yönünde taahhütlerde bulunmuşlar ve kısa zaman periyotlarında standartlarında yer alan enerji sınırlarını yenilemeye başlamışlardır.

Yeryüzünde mevcut enerji kaynaklarının büyük bir bölümü insanların ısıl konforunu sağlamak için yapıların ısıtılması, havalandırılması ve iklimlendirilmesinde tüketilmektedir (Resmi Gazete 1995). Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece %5 kadar artmış olmakla beraber, Türkiye' de son 25 yıldaki artış oranı %100 rakamının üzerindedir. Türkiye'nin enerji üretimi resmi rakamlara göre 1990 yılında toplam ihtiyacının %50 kadarını karşılarken günümüzde sadece %30'unu karşılayabilmektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin ortalama %41'i konutlarda, %33'ü sanayide, %20'si ulaşımda, %5'i tarımda ve %1'i diğer alanlarda kullanılmaktadır.

Tüketilen tüm bu enerjinin yaklaşık %85'i ısıtma amaçlı kullanılmaktadır (TÜBİTAK 2005).



Şekil 1.2. Enerji tüketiminin sektörel dağılımı (TÜBİTAK 2005).

Binalarda doğru malzemeler kullanılarak yapılacak olan ısı yalıtımları, binalardan olan büyük oranda ısı kayıplarını engelleyerek enerjinin tasarruf edilmesine olanak sağlarlar. anlıların sağlığı açısından bakıldığında, binalarda ısı yalıtımı kullanarak enerji tasarrufunun yanında hava kirliliğini de azaltmış oluyoruz. Özellikle kış aylarında insanları, hayvanları ve doğayı tehdit eden hava kirliliğine en büyük katkıyı, bilinçsizce tüketilen enerji kayıpları sağlamıştır.

Binalarda kışın büyük ısı kayıpları, yazın ise büyük ısı kazançları ortaya çıkmaktadır. Gerek müteahhitler gerekse konut kullanıcıları genelde bu olayı göz ardı etmekte, binanın sadece estetik ve güzel görünüşüne ağırlık vermektedirler. Durum böyle olunca özellikle bina inşaatı sırasında uygun olmayan yapı malzemeleri seçimi ve yapılmayan basit uygulamalar ile binanın kullanım ömrü süresince hem konut sahiplerine hem de daha fazla enerji tüketimi ile çevre üzerine olumsuzluklar vermektedir (Ekinci 1997).

Ülkemizde binalarda ısı yalıtım seviyesinin ne düzeyde olduğunu göstermek için uygulanmakta olan yalıtım kalınlıklarına bakmak gerekir. Örneğin; Ankara, Erzurum ve İstanbul'da, çatı ve duvarlarda uygulanmakta olan izolasyon kalınlıkları sırasıyla; Ankara için 6 cm ve 2 cm, Erzurum için 6 cm ve 3 cm, İstanbul için 5 cm ve 0 cm iken; İzocam Tic. San. A.Ş.'nin yaptığı hesaplara göre optimum izolasyon kalınlıkları ise yine çatı ve duvarlarda olmak üzere sırasıyla; Ankara için 10 cm ve 8 cm, Erzurum için 12 cm ve 9 cm ve İstanbul için 8 cm ve 6 cm'dir (İzocam Tic. San. A.Ş. 1990).

1990 yılında PİAR Araştırma Şirketi tarafından İstanbul, Ankara, Bursa ve Kocaeli'nde, ısı yalıtım yönetmeliğinin yürürlüğe girdiği tarihten sonra inşa edilmiş 15 643 bina üzerinde yapılan araştırma sonuçlarına göre bu binalarda, İstanbul'da %53, Ankara'da %24, İzmir'de, Kocaeli'nde ve Bursa'da %84 oranında yeni yönetmeliğe uyulmadığı görülmüştür (Oymael 1997).

Ülkemizdeki enerji fiyatlarındaki yüksek artışların etkisiyle yalıtım sektörüne olan yatırım eğilimi giderek artmaktadır. Avrupa Birliği'ne uyum çalışmaları çerçevesinde yapılan çalışmalar ve zorunlu standartların yürürlüğe girmesi sektörün geleceğine olumlu yönde etki etmektedir. Bu nedenle yapıların yalıtımında ulusal ekonomi ve çevre faktörlerinin dikkate alınması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi için ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat ve mimarlık gibi bilim dalları bir uyum içerisinde bulunmalıdır.

Yalıtım için yapılan yatırımlar enerji tasarrufunun yanında önemsiz kalmaktadır. Bu nedenle ısı yalıtımının öneminin ve getirdiği kazançların toplumun her kesimine çok iyi anlatılması ve bu konuda bilinçli toplumun oluşturulmasına çalışılmalıdır (İzoder Araştırma Raporu 2005).

Günümüzde enerjinin verimli kullanımı konusunda enerji tüketimi ve çevresel etkileri minimize edecek çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmaların en önemlisi bina kabuğuna yalıtım yaparak yapıyı ısı kaybı, ses gürültüsü ve yangına karşı korumak olmuştur. Bu amaçla yapı kabuğunun tasarımında enerji korunum düzeyini arttıracak

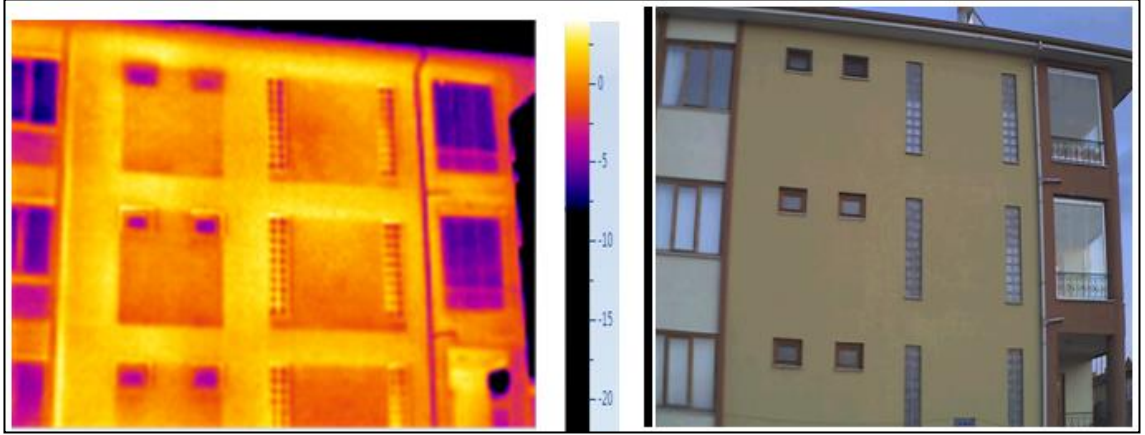
yalıtım malzemelerinin kullanılması ile konforlu mekân oluşumu sağlanmaktadır (Aydın 2011).

Isı yalıtımı ile güçlendirilen bir yapı kabuğunun sağladığı kazançlar;

- Isıl korunum yüzeyini arttırarak istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarını azaltır,
- Bina içinde tüketilen enerji miktarını azaltarak ekonomik katkı sağlar,
- Kabuk konstrüksiyonunu dış etkenlerden koruyarak meydana gelebilecek yapı hasarlarını en aza indirmekte (yalıtım özellikle dıştan yapıldığında),
- İç mekanda duvar yüzey sıcaklıklarını konfor sıcaklığına ulaştırır,
- Yalıtımın sürekliliğine bağlı olarak ısı ve nem köprülerini ortadan kaldırarak yoğunlaşma ve terlemeyi önleyerek sağlıklı bir yaşam ortamı oluşturur (Aydın 2011).

Isı yalıtımı ile ısı kayıplarının önüne geçildiği gibi yapılar; nem, rutubet ve korozyona karşı da korunur. Böylece binada ısı yalıtımı, binanın ömrüne olumlu yönde etki ederek bina ömrünü arttırır. Isı yalıtımı ile binalarda taşıma ve destek görevi gören elemanların iç ve dış yüzeylerinde meydana gelebilecek ısı farklılıklarına bağlı olan termal gerilmelerin önüne geçilir. Bu sayede bu elemanlarda termal gerilmeye bağlı oluşabilecek olası çatlakların oluşması önlenir. Bu durum; ülkemizin deprem kuşağında olması gerçeği göz önüne alınması durumunda dikkat ve hassasiyet gösterilmesi gereken bir konu olarak da karşımıza çıkmaktadır (Yılmaz 2006).

Binaya zarar veren etmenlerin etkileri uzun dönemde de olsa görülür. Ancak, ısı yalıtımının tasarruf etkisini kısa dönemde açıkça görmek mümkündür. Isı yalıtımı için harcanan maliyetler, az yakıt kullanımı sayesinde yapılan tasarruf ile kendini 1-2 sene gibi kısa zaman içerisinde amorti eder. Ayrıca ısı tasarrufu ile mekan içinde tesisat düzeyi küçüleceği için yaşam alanı kazancı da olur (Can 2006).



Şekil 1.3. Yalıtımsız bir duvardan olan ısı kaybının termal görüntüsü ve duvarın normal görüntüsü.

Sağladığı bu faydalardan dolayı gelişmiş ülkelerde ısı yalıtımı devlet tarafından teşvik edilmekte ve bağlayıcı yönetmeliklerle uygulama sağlanmaktadır. Örneğin Almanya’da, İngiltere’de, Fransa’da ve İsveç’te ısı yalıtımı yaptıracak kişiler, ister mal sahibi olsun ister kiracı olsun ısı yalıtımı malzemesi alımı için kredi verilmekte ve uzun vadeler tanınmaktadır. Bu sayede ülkenin döviz ile alınan enerji ithali azalmakta, kişilerin yakıt masrafı düşmekte ve hava kirliliği de o oranda azalmaktadır (Rubacı 2006).

Literatürde binalardan olan ısı kayıplarını ve O_2 salınım oranlarını azaltmaya yönelik birçok çalışma mevcuttur. Termal kamera yardımı sayesinde binalardan olan enerji kayıpları bazı literatür çalışmalarında görselleştirilmiştir. Ayrıca literatürde binalardan olan ısı kayıplarının önlenmesi için optimum yalıtım kalınlıkları üzerine de çalışmalar yapılmış ve gerekli öneriler sunulmuştur. Bu konularla ilgili literatürde mevcut olan bazı çalışmalardan aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

Jeong *et al.* (2007), çalışmalarında duvarlarla oluşturulan dört tip köşe noktasının, yüzey sıcaklıkları ve ısı akış modellemesini elde ederek ısı köprüsü etkisini incelemişlerdir. Bunun için termal kamera ve sonlu hacimler yöntemini kullanmışlardır. Termal kamerayla ısı köprüleri ve ısı yalıtımının etkisini göstermişlerdir. Sonlu hacimler yöntemini kullanarak yapı şekli, ısı yalıtımı ve ortam sıcaklıklarını değiştirerek

duvarların köşe noktalarındaki ısı transfer özelliklerini zamandan bağımsız olarak incelemişler ve her bir koşul için sıcaklık değişimlerini kıyaslamışlardır.

Irgat (2009) yaptığı çalışmada Kütahya'daki binalarda ısıtma için farklı enerji kaynakları (doğal gaz, ithal kömür ve Seyitömer kömürü) kullanıldığı kabulüyle farklı ısı yalıtım malzemeleri için (XPS, EPS) optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Optimum yalıtım kalınlığı hesabı; faiz ve enflasyon oranlarını dikkate alarak ömür maliyet analizine göre yapmıştır. Bu hesaplamalarda iki adet dıştan yalıtımlı (delikli tuğla ve ytong kullanılan) ve diğerinde sandviç duvar olmak üzere üç farklı duvar modelini baz almıştır. Enerji kaynağı olarak doğal gaz 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 yalıtımlı duvar için; 0,054 m, %46 ve 2,2 yıl olarak elde etmiştir. 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 etmiştir. Enerji kaynağı olarak Seyitömer kömürü kullanıldığında ise; sandviç duvar için; 0,046 m, %47 ve 2,1 yıl, dıştan yalıtımlı duvar için; 0,047m, %50 ve 2 yıl, ytong ile yapılmış dıştan yalıtımlı duvar için; 0,042 m, %40 ve 2,6 yıl olarak elde etmiştir. Ayrıca Kütahya'daki doğal gaz kullanan yaklaşık 2600 konutta optimum yalıtım kalınlığı uygulaması yapılması halinde1 yılda yaklaşık 3 000 000 TL'lik bir tasarruf sağlanabileceğini yapılan hesaplamalar sonucunda belirlemiştir.

İşbilir (2009) yaptığı çalışmada 1. İklim bölgesi olan İzmir'deki bazı özel sektör ve kamu kurum yapılarına ait örnek binalardaki ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulandığı yerler ve karşılaşılan sorunların araştırılmasını amaçlamıştır. Binaların ısıtılmasında kullanılan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının sınırlanmasına, bu yolla enerji tasarrufu ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak mimari detayların belirlenmesi hedeflemiştir. Örnek olarak alınan binalarda TS 825'ten faydalanılarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplamıştır. Bu doğrultuda yalıtım malzemesinin özelliği, kalınlığı ve doğru malzeme seçimi gibi mimariyi ilgilendiren detayları gözleme

dayalı olarak yerinde incelemiş ve resimlerini çekmiştir. İzmir yöresindeki XPS ve EPS'nin kullanıldığı yalıtımlı binalar ile yalıtımsız binaların yıllık ısıtma enerjisinin ihtiyaçlarını karşılaştırmıştır. Araştırmada bulunan konut ve işyeri binalarının ısı yalıtımlı ve yalıtımsız olarak yapılan hesaplamalarında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının 2,5 kata kadar tasarruf edildiği bulgusuna ulaşmıştır. Standartlara uygun ısı yalıtımlı binalarda yoğunlaşma sorunlarının önlendiği, konforlu ortamların oluştuğunu tespit etmiştir.

Bayer (2006) yaptığı çalışmada TS 825 Isı Yalıtım Kurallarını esas alarak örnek bir bina için öncelikle ısı yalıtımsız olarak daha sonra alternatif ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak oluşturulan ısı yalıtım sistemleri ile örnek binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve özgül ısı kaybı hesaplarını ve uygulanan sistemlerin maliyet analizlerini yapmıştır. Örnek bir bina projesini inceleyerek binanın alternatif ısı yalıtım çözümleri ile yalıtımsız durumu karşılaştırıldığında, binanın ısı yalıtımsız halindeki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının yalıtımlı duruma göre daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan bu incelemede konutlarda ısı kayıplarının çok olduğu dış duvarların ısı yalıtımı ile ısıtma enerjisi tüketiminde %38 oranında azalma sağlanabileceği anlaşılmıştır. Kış aylarında ısı kayıplarının önlenmesinin yanında, yaz aylarında da ısı kazançları önlenerek, soğutma enerjisi ihtiyacının azalması yapılacak ısı yalıtımı ile sağlanacaktır. Yapılan hesaplamalar yapının ömrü düşünüldüğünde, ısı yalıtımının tasarruflu olduğunu göstermektedir. Isı yalıtımı için yapılan yatırım maliyetinin bina maliyetine yaklaşık oranının %3,8, yatırım maliyetinin geri dönüş sürelerinin 4-5 yıl arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca ısıtma sisteminde kullanılacak malzemelerin boyutlarındaki küçülmeler ısıtma sisteminin ilk maliyetinde de bir azalma sağlayacaktır.

Değirmenci (2010) yaptığı çalışmada enerji tasarrufuna atıfta bulunarak, yalıtım tekniklerinin öneminin bir kez daha güncelliğini koruması için önemli çalışmalara yer vermeye çalışmıştır. Ayrıca ısı ve ısı transferi hakkında temel bilgiler vermiş, yalıtım tekniklerine değinmiş ve yapılarda ısı yalıtımı uygulamasının önemi üzerinde durmuştur. Isı yalıtım malzemeleri ile ilgili tanımlamalar yapmış, ısı yalıtımında sıklıkla

kullanılan malzemeler ve bu malzemelerde istenilen özellikleri detaylı olarak anlatmıştır.

Yapılarda en büyük ısı kayıplarının gerçekleştiği duvar, döşeme, giriş, kolon bölgelerinde uygulanan ısı yalıtım teknikleri ve uygulamada kullanılan malzemeleri anlatmıştır. Ayrıca geleneksel yalıtım sistemi dediğimiz dübel, file vb. malzemeler yerine yalıtım işlemi tek bir kalemde yapılan ve adına modern yalıtım sistemi denildiği yeni bir uygulama şeklinden bahsetmiştir. Teknolojik gelişmelerin üretim miktarlarına, zamanda oluşturduğu tasarrufa, meydana getirdiği kalite ve beraberinde de teşvik ediciliğini ön plana çıkartmıştır.

Yapılan termal kamera çekimleri ile bina ya da diğer sektörlerin yalıtımlı ve yalıtımsız durumları arasındaki farkları incelemiştir. Çıkan sonuçlar ışığında gereken önlemlerin nasıl alınması gerektiği, zamandan tasarruf ile hem mali açıdan kazanç sağlanması ve hem de sağlık açısından oluşabilecek zararların önüne geçilmesi gibi önem arz eden konuları gün yüzüne çıkarmaya çalışmıştır.

Dombaycı (2007) yaptığı çalışmada Türkiye’de 3. İklim bölgesinde bulunan Denizli şehrindeki binaların dış duvar optimum yalıtım kalınlıklarının çevresel etkilerini araştırmıştır. Hesaplamalarda yakıt kaynağı olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak da polistiren kullanmıştır. Sonucunda ise optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığı zaman binalardan olan enerji tüketiminin %46,6 ve çevreye salınan CO₂ ve SO₂ gazları emisyonlarının %41,53 oranında azaldığını belirlemiştir.

Hasan (1999) yaptığı çalışmada 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, polistiren yalıtımı için 1-1,7 yıl arasında olduğunu belirtmiştir.

Çomaklı and Yüksel (2003) yaptıkları çalışmada Türkiye'nin en soğuk üç şehri Erzurum, Kars ve Erzincan için optimum yalıtım kalınlığını derece gün yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre polistiren yalıtım malzemesi ve yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlıkları Erzurum için 0,10 m, Kars için 0,10 m ve Erzincan için 0,08 m olarak hesap etmişlerdir. Enerji tasarruflarını da bu üç şehir için sırası ile 12,13 \$/m², 12,72 \$/m² ve 7,99 \$/m² olarak hesap etmişlerdir.

Çizelge 1.1. Optimum yalıtım kalınlığı, yıllık tasarruf ve analiz şehirler için geri ödeme süresi (Çomaklı and Yüksel 2003).

Şehir	Optimum Yalıtım Kalınlığı (m)	Tasarruf Maliyeti (\$/m ²)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
Erzurum	0,104878	12,13718	1,457778
Kars	0,10737	12,72076	1,446181
Erzincan	0,085107	7,992435	1,576435

Bolattürk (2006) yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden 16 il için optimum yalıtım kalınlıklarını polistiren yalıtım malzemesi ve beş farklı yakıt türü için hesap etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre farklı yakıt ve iklim bölgelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları 2–17 cm arasında, enerji tasarrufları %22–79 ve geri ödeme süreleri 1,3–4,5 yıl arasında değiştiğini hesap etmiştir.

Evcil (2012) yaptığı çalışmada Kuzey Kıbrıs'taki binalardan olan enerji kaybını ve binaların yalıtımlı olduğunu dikkate alarak toplam enerji tasarrufunu hesaplamıştır. Kuzey Kıbrıs bölgesinde binaların özgül ısı kaybı katsayısı 852 W/° olarak tespit edilmiştir. Derece gün yöntemi, iklim bölgelerine göre konut dağılımı dikkate alınarak ortalama bir konut için yıllık ısıtma enerjisi 92 000 MJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Kuzey Kıbrıs için yıllık konut ısıtma enerjisi ihtiyacı 2 325 000 000 MJ olarak tespit edilmiştir. Bölgedeki binaların çift camlı PV pencerelere sahip olduğu ve dış duvarlar ile çatıların uygun yalıtım malzemesi ile yalıtıldığı düşünülürse bölgedeki konut ısıtma enerjisi ihtiyacı %41,3'e düşeceğini özetlemiştir. Bu ise bir yıl içinde ekonomi için 30 000 000

dolarlık bir tasarrufa denk geldiğini savunmuştur. Bu 30 000 000 dolarlık enerji tasarrufu 16 030 ton petrole veya 187 000 000 kWh elektriğe eşdeğer olduğunu belirlemiştir.

Özel ve Pıhtılı (2008) yaptıkları çalışmada duvar yalıtım kalınlığının pencere alanı üzerine etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuç olarak yazın pencerenin tek cam veya çift cam olması durumunda tüm cepheler için artan cam oranına göre duvarın farklı kalınlıklarda yalıtılması ısı kazancı açısından çok fazla bir etkiye sahip olmadığını belirlemişlerdir. Yani duvara farklı kalınlıkta yalıtım uygulanması cam alanını çok fazla değiştirmemiştir. Ancak kışın duvarın yalıtılması cam alanı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olmuştur. Kışın tek cam durumunda sadece 2 cm'lik yalıtım ile duvarın opak yüzey alanı yalıtımsız duvara göre güneyde %51, kuzeyde %25, doğu ve batıda ise %29 daha az seçilebileceği görülmüştür. Bu da duvara yalıtım eklenerek bütün cephelerde cam alanlarının daha büyük seçilebileceğini göstermektedir. Kışın çift camlı durumda ise yalıtımlı duvarlarda artan cam alanına göre kuzey ve doğu (veya batı) yönlerinde ısı kaybı artarken güney cephesinde cam oranı arttıkça ısı kaybında bir azalma görülmüştür. Ancak yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybındaki azalma giderek azalmıştır. Hatta yapılan hesaplamalarda 8,8 cm yalıtım durumunda tüm cam oranları için ısı kaybında neredeyse hiç değişim olmamıştır. Yani güney cephesinde 8,8 cm kalınlığındaki yalıtımlı duvardan ısı kaybı ile tamamen cam olması durumunda ısı kaybı aynı olmuştur. Bu durumda kışın ısı kaybını azaltmak amacıyla bu cephedeki opak duvarın yalıtılmasındansa yalıtımsız duvara oldukça büyük cam yapılması daha iyi olacağını belirlemişlerdir.

Usta (2009) yaptığı çalışmada TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardına göre ikinci derece gün bölgesinde yer alan ve hiçbir yapı elemanında ısı yalıtımı yapılmayan bir konut binasının ilk olarak TS 825 standardına uygun ısı yalıtımlı duruma dönüştürülmesini amaçlamıştır. Daha sonra binanın yalıtımsız ve yalıtımlı durumları için ısı kazançları, ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları belirlenerek bu değerlerdeki değişimlerin enerji verimliliği bakımından karşılaştırılmasını yapmıştır.

Araştırma konusu binanın mevcut yalıtımsız durumda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 306 769 653 kJ'dur. Yapı elemanlarında gerekli yalıtım detayları uygulandıktan sonra yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı %74,4 azaltılmış ve 78 587 700 kJ değerine düşürülmüştür. Yalıtımsız durumda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının yüzdelik cinsinden aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri büyükten küçüğe doğru şöyledir; Ocak %21,58, Şubat %19,43, Mart %14,91, Nisan %6,68, Mayıs %0,41, Ekim %4,94, Kasım %12,77, Aralık %19,28'dir. Yalıtımsız durumda en fazla ısıtma enerjisi dış hava sıcaklığının en düşük olduğu Ocak ayı için geçerlidir. Yalıtımlı durumda ise yıllık ısıtma enerjisinin ihtiyacının yüzdelik cinsinden aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri büyükten küçüğe doğru şöyledir; Ocak %23,44, Şubat %20,22, Mart %14,20, Nisan %5,20, Mayıs %0, Ekim %3,72, Kasım %12,45, Aralık %20,77'dir. Yalıtımlı durumda da en fazla ısıtma enerjisi dış hava sıcaklığının en düşük olduğu Ocak ayı için gereklidir. Yalıtımlı ve yalıtımsız durumların her ikisinde de Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında dış hava sıcaklığı iç ortam sıcaklığından büyüktür. Dolayısıyla bu aylarda ısı kaybı olmadığı kabul edilerek ısı kaybı ve ısıtma enerjisi ihtiyacı hesapları yapılmamıştır.

Araştırma konusu binanın yalıtımsız durumu ve TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardına uygun yalıtımlı durumundaki yıllık ısıtma enerjisi ihtiyaçları dikkate alınarak bazı yakıt türleri için gerekli yakıt miktarları ve yalıtım yapıldıktan sonra yakıt miktarlarındaki azalma oranları aşağıdaki Çizelgede verilmiştir. Yalıtım yapıldıktan sonra yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacındaki azalma ile orantılı olarak yakıt miktarlarında ortalama %74,4 azalma olmuştur.

Çizelge 1.2. Bazı yakıt türleri için gerekli yıllık yakıt miktarları ve azalma oranları. Yıllık yakıt miktarı hesaplamalarında ısı değerlerinin üst sınırları kullanılmıştır (Serfiçeli 2000).

Yakıt Türü	Isı Değeri (Kcal/Kg)	Yıllık Yakıt Miktarı (Ton)		Azalma (Ton)	Azalma (%)
		Yalıtımsız Durum	Yalıtımlı Durum		
Odun	2500-2800	26,20	6,71	19,49	74,40
Linyit Kömürü	3000-3300	22,22	5,70	16,52	74,35
Taş Kömürü	4500-7500	9,78	2,50	7,28	74,44
Motorin	10200-10800	6,79	1,74	5,05	74,37
Kalorifer Yakıtı (Fuel oil)	9700-10500	6,98	1,79	5,19	74,36
Likit Petrol Gazı (LPG)	11000-11900	6,16	1,58	4,58	74,35

Özel ve Pıhtılı (2008) yaptıkları çalışmada, dış duvarlara uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini birlikte ele alarak belirlemişlerdir. Hesaplamalar Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illeri için yapılmıştır. Bu durumda dış duvarlara ekstrüde polistren yalıtım malzemesi uygulanarak artan yalıtım kalınlıklarına göre optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak incelenen illere göre optimum yalıtım kalınlığının 0,04 ile 0,084 m arasında değiştiği, yıllık tasarrufun 21,94 ile 97,12 YTL/m² arasında değiştiği ve geri ödeme süresinin ise 1,45 ile 2,05 yıl arasında değiştiği görülmüştür.

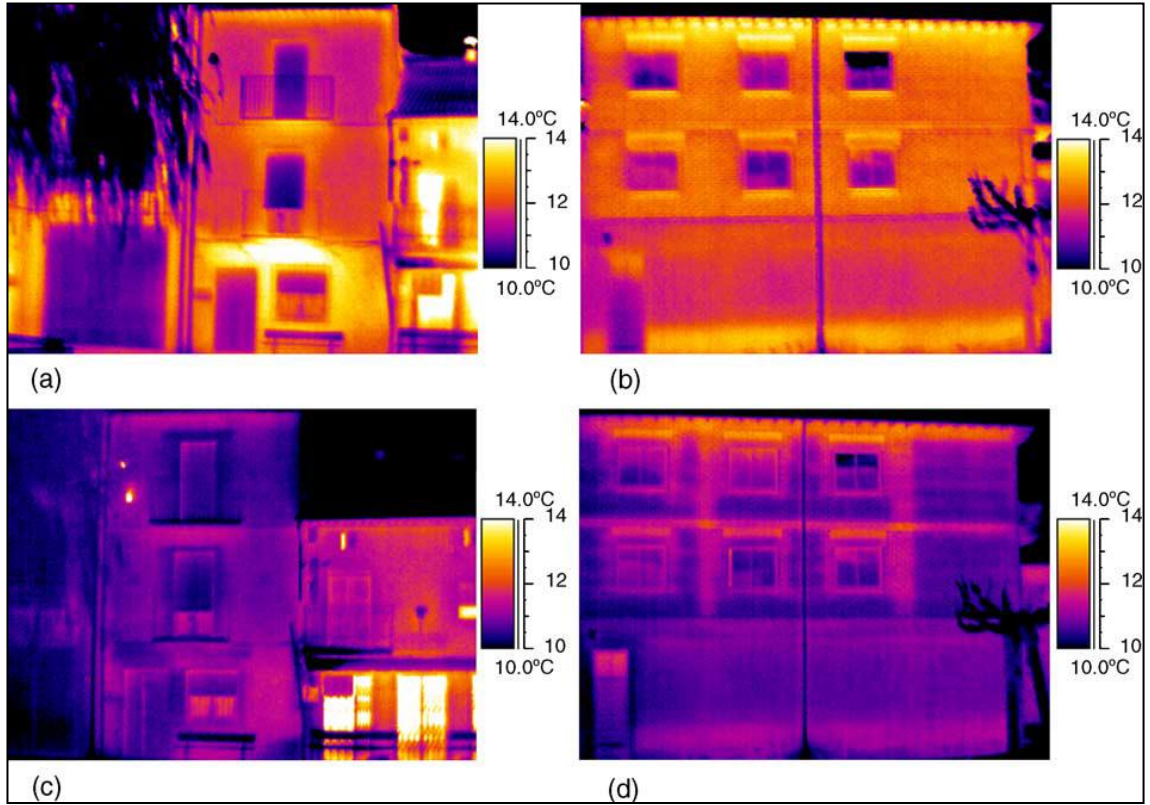
Şenkal Sezer ve Karagöz Yeşilyurt (2011) yaptıkları çalışmada, Türkiye ile Avrupa ülkelerinde uygulanan çift duvar arası ısı yalıtım uygulamalarının betonarme yüzeyler (ısı köprüleri) açısından analizini yapmışlardır. Bu amaçla çalışma alanı olarak Bursa ilinin Nilüfer ilçesinde bulunan bir siteyi ele almışlardır. Site bloklarında çift duvar arası yalıtım sistemi kullanılmıştır. Seçilen örnek yapının ısı köprüleri bölgelerinin U değeri hesaplanmış, ısı akım ve buhar difüzyon diyagramları çizilmiştir. Daha sonra aynı yapı elemanları kullanılarak örnek duvar kesiti yurtdışında uygulanan farklı ısı köprüsü detaylarına uyarlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Çıkan sonuçların U değerleri, ısı akım diyagramları ve yoğuşma ile buharlaşma durumları incelenmiş ve optimum çift duvar arası yalıtım detayını tanımlamaya çalışmışlardır.

Erdabak (2010) yaptığı çalışmada, Sivas'ta bulunan değişik binaların iç ve dış ortamlarından, termal kamera çekimleri yaparak, ısı kaybının gerçekleşebileceği kritik bölgeler üzerine yoğunlaşmıştır. Elde edilen görüntülerin bilgisayar ortamında analizini yaparak yüzey sıcaklık haritaları elde etmiştir. Daha sonra düzlem duvar, ısı köprüsü, lokal ve radyatör arkası yalıtımın, dolgu malzemesinin, pencerenin sıcaklık dağılımına etkisini sayısal olarak incelemiştir. FLUENT paket programı yardımıyla ısı transferinin sayısal çözümü sürekli şartlarda elde edilerek sıcaklığın değişimini görselleştirmiştir. Daha sonra aynı sınır koşullarında farklı yalıtım kalınlıklarının sıcaklık dağılımı üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmanın devamında farklı şekillerde yalıtımlı geometriler için ısı köprülerinin sıcaklık dağılımına olan etkileri incelenmiş ve iç ve dış yüzey sıcaklıkları ve ısı akılarının değişimi düzlem duvar ve ısı köprüsü için kıyaslanmıştır.

Ocana *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada İspanya'da kırsal alanlarda mevcut bulunan iki benzer evin (geleneksel ev ve modern ev) kızılötesi muayenelerini incelemiştir. Bu çalışmadaki amaç, kırsal yapıların kızılötesi termografi performanslarının saptanması için binaların termal verimliliklerinin değerlendirilmesidir. Termografik görüntüler ve görseller termal kamera tarafından çekilmiştir. Binaların güneş radyasyonundan etkilenmemesi için iki bina için de termal ölçümler akşam ve gün ağarırken yapılmıştır.

Ölçümlerin sonuçları şu şekildedir;

- ✓ Kızılötesi termografi bütün bir bina için termal görüntü sağlar. Farklı binalarda ısı kayıpları için karşılaştırma yapmamızı sağlar.
- ✓ Kırsal binaları bir bütün olarak hızlı bir şekilde analiz edebilir. Isı yalıtımı hataları ile küçük problemleri termal olarak ayrı bir şekilde muayene edebilir.
- ✓ Kızılötesi termografik açıklıklar ve ısı kayıplarının olduğu noktalar ile yalıtım hatalarının algılanmasını sağlar.
- ✓ Modern bina için en iyi sonuçlar sabah saatlerinde (şafak vakti) yapılan ölçümlerden elde edilmiştir.
- ✓ Geleneksel ev için en iyi sonuçlar akşam saatlerinde yapılan ölçümlerden elde edilmiştir.



Şekil 1.4. Akşam ve gün ağarırken binalardan alınan termal görüntüler

(a) Geleneksel binadan akşam alınan termal görüntü (b) Modern binadan akşam vakti alınan termal görüntü (c) Geleneksel binadan şafak vakti alınan termal görüntü (d) Modern binadan şafak vakti alınan termal görüntü.

Grinzato *et al.* (1998) yaptıkları çalışmada termal kameranın; binalarda ısı köprülerinin değerlendirilmesi, kusurlu bölgelerin belirlenmesi, hava kaçaklarının tespiti ve rutubet içeriği haritasının çıkarılması amacıyla kullanılması ve niteliksel değerlendirme yapılabilmesi için geliştirilen metotlar ve çalışmaları aktarmışlardır.

Dilmaç and Kesen (2003) yaptıkları çalışmada TS 825, EN 832 ve Alman Yönetmeliği'nde binaların ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının hesaplanması için verilen hesap metotlarını karşılaştırmıştır.

Yılmaz (2006) yaptığı çalışmada betonarme yapılarda kolon ve kiriş bölgelerinde meydana gelen ısı kayıplarına sebep olan ısı köprülerinin nasıl oluştuğunu ve hangi tedbirler alınarak bu kayıpların önlenebileceği üzerinde durmuşlardır. Ayrıca örnek bir

bina projesi üzerinde dış duvarlarda ve kolon-kiriş (donatılı beton) bölgelerinde oluşan ısı kayıplarını hesaplamışlardır.

Tuncer (2007) yaptığı çalışmada, farklı bölgelerde bulunan dört farklı ilde (Antalya, İstanbul, Konya, Sivas), dört farklı enerji türü (kömür, doğal gaz, fueloil, elektrik) için iki çeşit yalıtım malzemesi taş yünü ve expande polistiren köpük (EPS) kullanılarak, iki farklı duvar modeli (dıştan ve ortadan yalıtımlı) üzerinde her bir parametre için ayrı ayrı optimum yalıtım kalınlığı, yalıtımlı ve yalıtımsız yıllık toplam maliyeti, enerji tasarrufu ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmıştır. En az yalıtım kalınlığının yalıtım malzemesi olarak taş yünü ve yakıt türü olarak kömür kullanıldığında Antalya’da olduğunu belirlemiştir. En fazla yalıtım kalınlığı ve enerji tasarrufunun ise yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak elektrik kullanıldığında Sivas’ta olduğunu belirlemiştir. En az yatırım maliyeti, yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak kömür kullanıldığında Antalya’da ve en kısa geri ödeme süresi ise yalıtım malzemesi olarak EPS ve enerji türü olarak elektrik kullanıldığında ortadan yalıtımlı duvar modeli için Sivas’ da olduğu tespit edilmiştir.

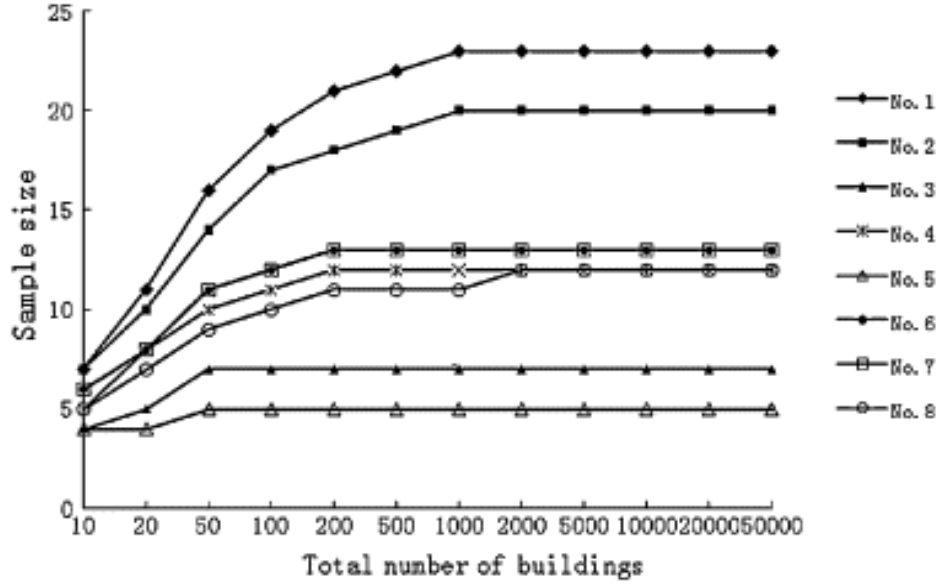
Liang and Shen (2010) tarafından yapılan makalede, Çin’deki 4 farklı şehirde bulunan binaların genelindeki enerji tüketiminin bulunabilmesi için gerekli örnek bina sayılarının belirlenmesi çalışması yapılmıştır. Bu istatistiksel çalışma 8 farklı tip bina için ayrı ayrı yapılmıştır.

Çizelge 1.3. Pekin’deki 8 farklı tip binaların toplamı için örneklem adetleri (Liang and Shen 2010).

Sample sizes for eight types of buildings in Beijing ($\Delta_{\bar{x}} = 0.1\bar{x}$, $F(t) = 87\%$).

Building type	Total number of buildings											
	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10,000	20,000	50,000
High-rise office buildings	7	11	16	19	21	22	23	23	23	23	23	23
Multi-story office buildings	7	10	14	17	18	19	20	20	20	20	20	20
High-rise hotels	4	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Multi-story hotels	5	8	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12
Large or mid-size commercial buildings	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Small commercial buildings	6	8	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13
High-rise residential buildings	6	8	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13
Multi-story residential buildings	5	7	9	10	11	11	11	12	12	12	12	12

Bina sayısı artmasına rağmen geneli temsil eden örnek bina sayısı belirli bir değerden sonra sabit kalmaktadır.



Şekil 1.5. Pekin’deki 8 tip bina için toplam bina sayısı ve örneklem adedi arasındaki ilişki (Liang and Shen 2010).

Günlük yaşantımızda enerji, temel ihtiyaçların karşılanması ve yaşamın devamlılığı için vazgeçilmez bir unsurdur. Sürekli artmakta olan dünya nüfusu, şehirleşme ve sanayileşmedeki hızla gelişme günümüzde enerji tüketimini artıran etkenlerin başında ülkeleri giderek artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yeni enerji politikaları oluşturmanın yanı sıra var olan enerji kaynaklarını daha verimli biçimde kullanmaya itmiştir. Gelişmiş ülkeler, enerjinin verimli kullanılması, yenilebilir enerji kaynakları ve enerji potansiyeli ile ilgili olarak çeşitli politikalar üretmişlerdir. Kalkınmakta ve nüfusu artan bir ülke olan ülkemizin enerji tüketimi hızla artmaktadır. Ülkemizdeki enerjinin %41’inin binalarda tüketildiği ve binalarda tüketilen enerjinin de büyük kısmının ısıtma amaçlı olduğu göz önüne alınırsa, binalarda uygulanacak uygun ısı yalıtımları ile büyük enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Erzincan ilinde örnek olarak seçilen ısı yalıtımlı ve yalıtımsız her bir bina türünden gerçekleşen ısı kayıpları belirlenerek il genelinde ısı yalıtımı yapılmamış binaların toplamından fazladan gerçekleşen ısı kayıplarının ekonomik analizi yapılması ve Erzincan'da mevcut bulunan ısı yalıtımlı özel binaların ısı yalıtımlarının termal kamera ile incelenmesi, ısı yalıtımının hiç yapılmaması durumunda fazladan meydana gelen ısı kayıplarının belirlenmesi ve yanlış yalıtım uygulamalarından dolayı meydana gelen ısı kayıp bölgelerinin tespit edilmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde ısı ve sıcaklık kavramlarının tanımı yapıp, ısı transfer türleri formüllerle açıklandıktan sonra bir binadan olan ısı kaybı hesabının formülleri gösterilmiştir. Ayrıca ısı kaybına paralel olarak ısı kaybının ekonomik analiz formülleri de gösterilmiştir. Binadaki ısı kaybı hesabı, binanın yalıtım durumuna göre formülize edilmiştir. Daha sonra ise termal kamera hakkında genel bilgiler verilip tezde kullanılan termal kamera tanıtılmıştır. Bu bölümün sonunda ise Erzincan'daki binaların istatistiki çalışmasından bahsedilmiştir.

2.1. Isı ve Sıcaklık Kavramı

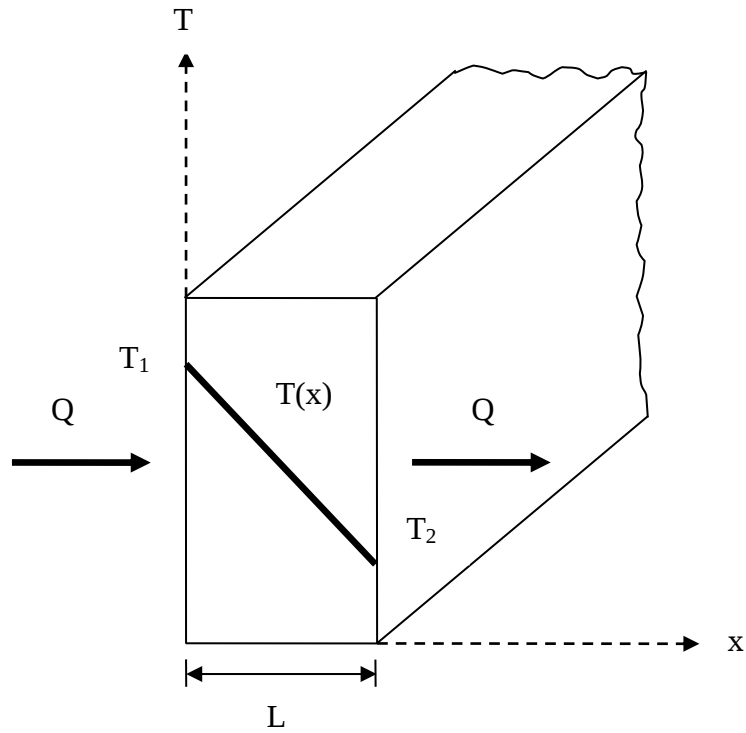
Isı, iki sistem arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen enerji geçişi diye tanımlanmaktadır. Başka bir anlatımla enerji geçişi sadece sıcaklık farkından dolayı gerçekleşmişse ısı diye tanımlanır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, herhangi bir zorlama olmaksızın sıcak bir ortamdan daha soğuk 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 (Çengel 1996; Yüncü ve Kakaç 1999).

2.2. Isı Geçişinin Esasları

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 ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğru olmaktadır (Çengel 1996; Yüncü ve Kakaç 1999).

2.2.1. İletim ile ısı transferi

İletim; bir maddenin enerjisi daha fazla olan moleküllerinden bitiştiğindeki diğer moleküllere, moleküller arasındaki etkileşim sonucunda enerji geçişidir. Isı aktarımı daima yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğrudur.



Şekil 2.1. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi (Halıcı ve Gündüz 1998).

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^2), 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 ise, 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 (Halıcı ve Gündüz 1998; Yüncü ve

Kakaç 1999). 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 (Halıcı ve Gündüz 1998; Yüncü ve Kakaç 1999).

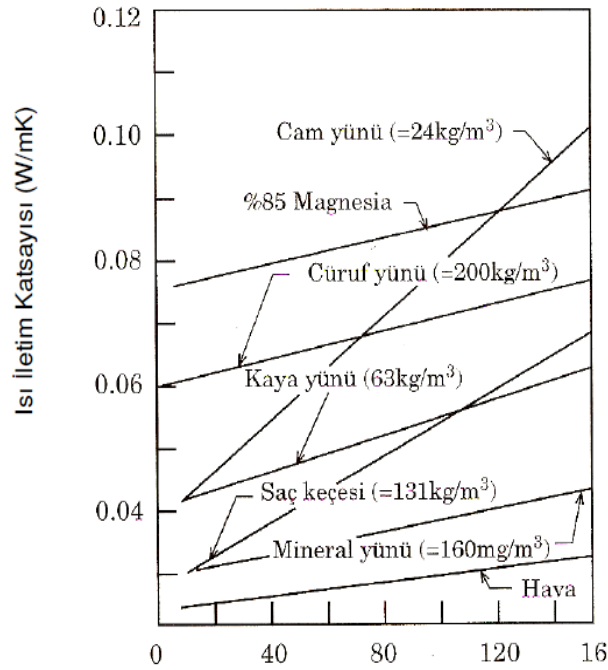
$$Q = q_x \cdot A \quad (2.5)$$

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.

Maddelerin fiziksel ve metalürjik özelliklerinin ısı iletim katsayılarına etkileri için aşağıdakiler söylenebilir.

- Saf metallerde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça azalır.

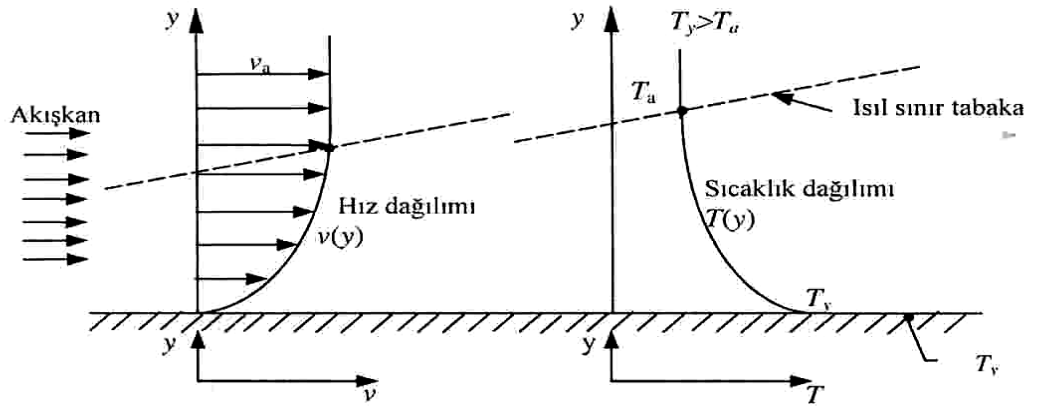
- Alaşımlarda ve yalıtım malzemelerinde ısı iletim katsayısı, sıcaklık arttıkça artar.
- Nem genellikle bütün malzemelerin ısı iletim katsayılarını artırır.
- Saf bir maddenin ısı iletim katsayısı eğer içerisine başka bir bileşen ilave edilirse azalır.
- Gazlarda sıcaklık arttıkça gaz moleküllerinin hareketi arttığından 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 (Halıcı ve Gündüz 1998).



Şekil 2.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının sıcaklıkla değişimi (Yüncü ve Kakaç 1999).

2.2.2. Taşınım ile ısı transferi

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



Şekil 2.3. Levha üzerindeki akışta hız ve sıcaklık dağılımları (Altınışık 2006).

Şekil 2.3’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, taşınım ile ısı akısı 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 ($\text{W/m}^2\text{K}$) 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 (Halıcı ve Gündüz 1998; Yüncü ve Kakaç 1999).

2.2.3. Işınım ile ısı transferi

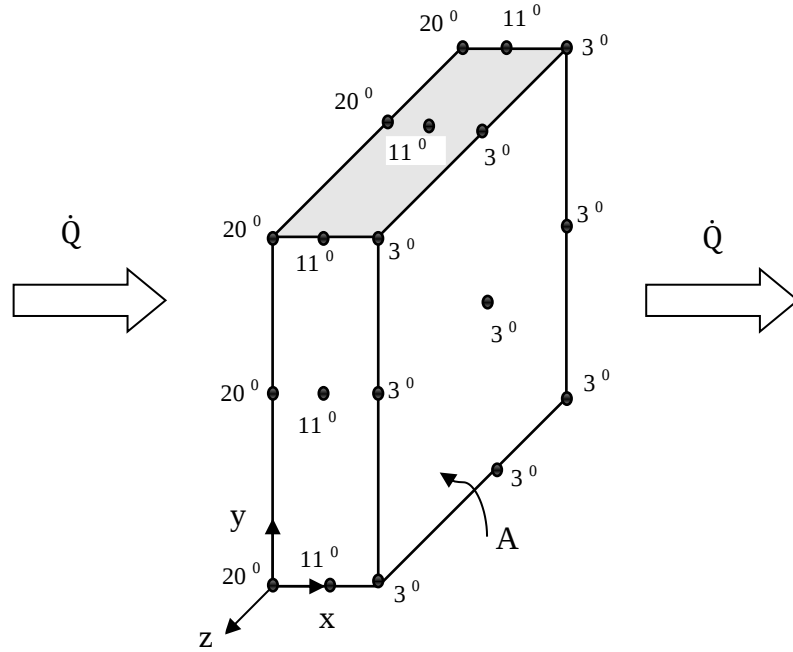
Işınım; maddenin atom veya moleküllerinin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığı ile gerçekleşen ısı geçişidir (Halıcı ve Gündüz 1998; Yüncü ve Kakaç 1999). İletim veya taşınım ile enerji aktarımı bir madde ortamının varlığını şart kılarken, ısınım için bu şart yoktur. Hatta ısınımla aktarım boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir.

$$E_b = \sigma T_y^4 \quad (2.7)$$

Burada E_b , yüzeyin yayma gücü (W/m^2), T_y ise yüzeyin mutlak sıcaklığı (K) ve σ , Stefan-Boltzmann sabitidir ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$).

2.3. Düzlem Duvarlarda Sürekli Isı İletimi

Bir kış gününde bir evin duvarlarındaki sürekli ısı iletimi dikkate alınsın. Isının sürekli olarak duvardan dışarı doğru kaçtığı bilinmektedir. Duvardaki ısı transferinin duvar yüzeyine dik doğrultuda olduğu ve diğer doğrultularda ısı transferinin önemli olmadığı sezgilerle hissedilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Düzlem duvarda bir boyutlu ısı iletimi

Belirli bir doğrultudaki ısı transferine o doğrultudaki sıcaklık gradyanı yol açar. Sıcaklığın değişmediği doğrultularda ısı transferi olmaz. Duvarın iç ve dış yüzeylerinde çeşitli yerlerde ölçülen sıcaklıklar bir duvar yüzeyinin neredeyse izotermal olduğunu doğrular. Yani duvar yüzeyinin hem sağ ve sol kenarlarında hem de alt ve üstünde sıcaklıklar neredeyse hep aynıdır. Bu yüzden üstten alta veya soldan sağa doğru ısı transferi yoktur fakat duvarın iç ve dış yüzeyleri arasında önemli sıcaklık farkı ve dolayısıyla iç yüzeyden dış yüzeye doğru kayda değer ısı transferi vardır.

Duvarın kalınlığının az olması bu doğrultuda sıcaklık gradyanının büyük olmasına sebep olur. Ayrıca bir evin iç ve dış tarafındaki hava sıcaklıkları değişmiyorsa o halde bu evin duvarındaki ısı transferi sürekli ve tek boyutlu olarak modellenebilir. Bu durumda duvardaki sıcaklık yalnızca bir doğrultuya (mesela x doğrultusu) bağlı olur ve $T(x)$ olarak gösterilebilir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Duvarın} \\ \text{içine olan ısı} \\ \text{transfer hızı} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Duvardan} \\ \text{dışarı olan ısı} \\ \text{transfer hızı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Duvarın} \\ \text{enerjisindeki} \\ \text{değişme hızı} \end{array} \right)$$

veya

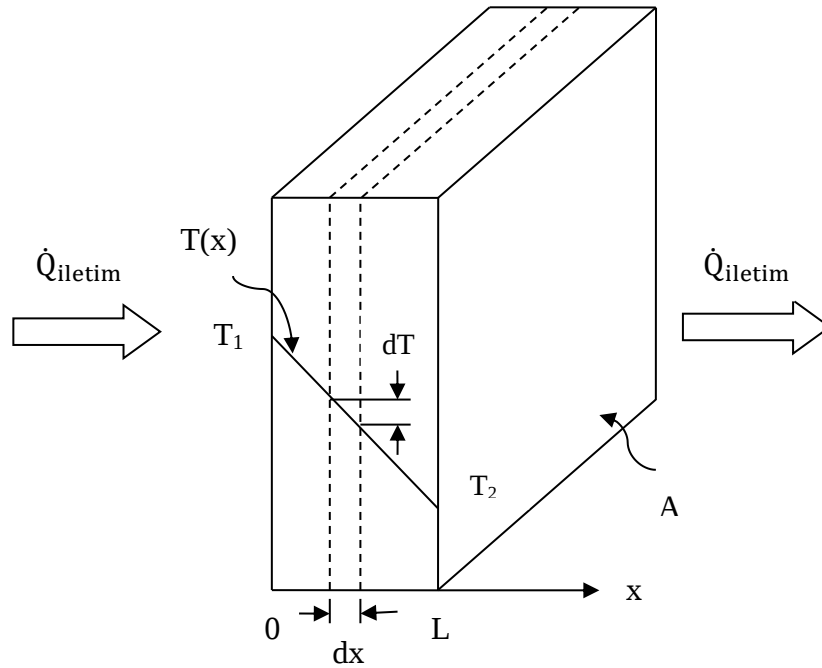
$$\dot{Q}_{\text{içeri}} - \dot{Q}_{\text{dışarı}} = \frac{dE_{\text{duvar}}}{dt} \quad (2.8)$$

Fakat sürekli işlemde $dE_{\text{duvar}}/dt = 0$ 'dır, çünkü duvarın hiçbir noktasının sıcaklığı zamana bağlı olarak değişmez. Bu yüzden duvarın içine olan ısı transfer hızı, duvardan dışarı olan ısı transfer hızına eşit olmalıdır. Bir başka deyişle duvardaki ısı transfer hızı sabit olmalıdır ($\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}} = \text{sabit}$).

Kalınlığı L ve ortalama ısıl iletkenliği k olan bir düzlem duvar göz önüne alınsın. Duvarın iki yüzeyi T_1 ve T_2 sabit sıcaklıklarında tutulmaktadır. Duvarda tek boyutlu sürekli ısı iletimi için sıcaklık $T(x)$ şeklindedir. Bu durumda duvar için Fourier ısı iletim kanunu,

$$\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (2.9)$$

olarak yazılabilir. Burada $\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}}$ iletim ısı transfer hızını, A ise sabit duvar alanını göstermektedir. Dolayısıyla $dT/dx = \text{sabittir}$ ki bu duvarda sıcaklığın x ile doğrusal olarak değişeceği anlamına gelir. Yani sürekli şartlarda duvardaki sıcaklık dağılımı düz bir doğrudur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Sürekli şartlarda düzlem duvarda sıcaklık dağılımı.

Eşitlik 2.9 değişkenlerine ayrılır ve $T(0) = T_1$ 'in olduğu $x = 0$ 'dan, $T(L) = T_2$ 'nin olduğu $x = L$ 'ye kadar integre edilirse,

$$\int_{x=0}^L \dot{Q}_{\text{iletim,duvar}} dx = - \int_{T=T_1}^{T_2} kAdT \quad (2.10)$$

bulunur. İntegraller alınır ve tekrar düzenlenirse,

$$\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{W}) \quad (2.11)$$

Bir düzlem duvardaki ısı iletim hızı; ortalama ısı iletim katsayısı, duvar alanı ve sıcaklık farkı ile doğru orantılı fakat duvarın kalınlığı ile ters orantılıdır.

2.4. Isı Yalıtımı

Isı, bir enerjidir ve farklı sıcaklıklara sahip mekanlarda sıcaklığın yüksek olduğu taraftan düşük olduğu tarafa doğru geçme eğilimi gösterir. Isı bu geçiş esnasında mekanlar arasındaki malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir dirençle karşılaşılır (Özer 2006).

Isı yalıtımı, kapalı mekanların iç sıcaklıklarını istenilen düzeyde tutabilmek için dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma soğutma işlemlerinde kullanılan enerji tasarrufu sağlamak, çevre sorunlarını çözmek ve hava kirliliğini azaltmak için yapılarda alınan her türlü önlemler bütünüdür. Yalıtım aynı zamanda yapıyı dış etkenlerden koruyarak ömrünü uzatmakta ve yapı fiziki şartları yerine getirildiği için de işletme maliyetlerini düşürmektedir (Koçu 2000).

2.4.1. Yapılarda ısı yalıtımının önemi

Binalarda ısı yalıtımı önlemleriyle binanın durumuna bağlı olarak %20-70’inde ısı tasarrufu sağlanabilmektedir. Isı tasarrufu, yakıt ve para tasarrufu demektir. Binalarda ısı yalıtımı yapmakla tesisat ilk yatırım giderlerinde azalma sağlanabilmektedir. Yalıtıma yapılan yatırım bu nedenlerle kısa zamanda kendini geri ödemektedir. Yakıta ödenen paranın büyük bir kısmı da ithalat yolu ile yurt dışına gittiği düşünülürse, yalıtım yolu ile yakıt tasarrufu döviz tasarrufu anlamına gelir (Karakoç vd 1999).

Isı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru geçme ve kendini dengeleme eğilimindedir. Soğuk kış aylarında istenen ortam sıcaklığına ulaşmak için yakıt tüketen ısıtma sistemleri çalıştırılmaktadır. Yalıtımı olmayan veya eksik yalıtımlı mekanlarda ısı konfor sağlanmadığı için ısıtma sistemine daha çok iş düşmekte, enerji kaynakları bakımından fakir ve dışarıya bağımlı ülkemiz için enerji tasarrufu yapılmaktadır (Şengül vd 2005).

Türkiye 4 derece gün bölgesine ayrılmıştır. 1. derece gün bölgesindeki şehirlerde yaz aylarında dış sıcaklık 40-45°C'lere ulaşmaktadır. Bu şehirlerdeki ısı yalıtımının faydası kışın harcanan ısıtma ve yazın harcanan soğutma giderlerinde görülmektedir. Soğutma giderleri de ısıtma işlemine kıyasla 3-6 kat daha fazla maliyete sahiptir. Dış sıcaklığın iç sıcaklıktan fazla olduğu bir mekanda yeterli yalıtım yapılırsa dışarıdan içeriye ısı geçişi azalır. Soğutma sisteminin minimum seviyelerde çalışması sağlanarak enerji tasarrufu yapılır (Şengül vd 2005).

2.4.2. Isı yalıtımının çevre, enerji ve ısıl konfora etkileri

Isıl konfor, bir insanın sağlıklı ve üretken olabileceği ısı parametrelerin sağlanması olarak tanımlanmaktadır. Isıl konfor sağlanamadığında tüketilen yakıt sadece binayı değil atmosferi ısıtmakta ve gereğinden fazla yakıt tüketilmektedir. Tüketilen yakıtın fazla olması binanın kullanım maliyetini yükseltirken aynı zamanda yakıtların atmosfere verdikleri zararlı gazlar ise çevre kirliliğini arttırmaktadır (Şenkal Sezer 2005).

2.4.2.a. Isı yalıtımının çevresel etkileri

Isıl konfor koşullarını sağlamak için ısıtma gereksinimde görülen artışa karşın ısıtmada kullanılan enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz vb.) azalmakta, ısıtma maliyetleri artmakta, dış havaya atılan kirleticiler insan sağlığına zarar vermektedir. Bu problemlerin çözümü için ısıtma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirgenmesi, ısı kayıplarının azaltılması ve dolayısıyla ısı yalıtımı kullanımı gerekli olmaktadır. Kullanıcı sağlığı düşünüldüğünde, binalarda ısı yalıtımı kullanımı ile ısı kayıplarını azaltmanın en önemli nedenlerinden birisi de enerji kökenli hava kirliliğidir. Türkiye'de enerji tüketiminden kaynaklanan SO₂, CO₂ parçacıkları ve diğer emisyonlar bölgesel ölçekte önemli sorunlara yol açmaktadır. Özellikle kış aylarında yaşanan, insanları, ürünleri ve doğal yaşamı tehdit edici boyutlara ulaşan hava kirliliğine en büyük katkı enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır (Yılmaz vd 2000).

2.4.2.b. Isı yalıtımının enerjiye etkisi

Enerjinin akıllıca kullanılışı ile kayıpların en aza indirilmesi aynı enerji ile daha çok iş yapılması veya aynı iş için daha az enerji kullanılması anlamını taşımaktadır. Enerji tasarrufu, enerji kaynaklarının daha rasyonel kullanılmasına, enerji üretim yatırımlarının ve enerji maliyetinin azaltılmasına olanak vererek, çevre sorunlarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır (Peker 2007).

Ülkemizin bilinen başlıca enerji kaynakları; taş kömürü, linyit, petrol, doğal gaz, hidroelektrik vb. olarak sıralanabilir. Bu kaynaklarla enerji gereksiniminin ancak sınırlı bir bölümü karşılanabilmektedir. Ülkemiz enerji kaynakları yönünden yeterli olmayıp tükettiği enerjinin büyük bir bölümünü ithal etmek zorunda kalmıştır. Ülkemizin enerji kaynaklarını korumak, temiz bir çevrede yaşamak ve ekonomik varlığımızı geliştirebileceğimiz için enerji tasarrufuna gereken önemin verilmesi gerekmektedir. Günden güne enerji kaynaklarının azalması ile ısınma giderlerinin pahalılaşması, yapıların ısı yalıtımı kurallarına uyulması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde ısıtma, soğutma giderleri azalır ve yapılarda konforlu bir ortam oluşarak enerji tasarrufu sağlanır (Koçu 2007).

Bina kabuğu, yalıtım ve maliyet enerji tasarrufunda değerlendirilmesi gereken önemli parametrelerdendir. Bina kabuğu için malzemelerin fiziksel özellikleri, kalınlık ve yapım şekli önemlidir. Isı yalıtım uygulaması ile bina kabuğundan maksimum performans beklenir ve bu uygulama binanın ilk yatırım maliyetini arttırır. Enerji ihtiyacını en az maliyetle karşılamak temel kuraldır. Ekonomik analiz yaparak ısıtma enerjisi ve yalıtım maliyetine bağlı olan toplam maliyeti belirlemek gerekir. Yalıtım kalınlığı minimum maliyet için önemlidir (Aksoy ve Keleşoğlu 2007).

2.4.2.c. Isı yalıtımının ısı konfora etkisi

Konfor en genel olarak kişinin etrafıyla bir sorunu olmaması hali olarak tanımlanabilir. Bir odadaki hava, odada bulunan kişilerin kendilerini iyi hissetmelerini ve çalışma

kapasitelerini önemli ölçüde etkiler. Havanın belli oranlarında insanların kendilerini çok daha konforlu hissettikleri gözlemlenmiştir. Bu oran “konfor aralığı” olarak bilinmekte ve oda hava sıcaklığı, çevre yüzeylerinin sıcaklığı, havanın nemi ve havanın hızı ile karakterize edilmektedir. Oda sıcaklığı ise normal giyimli ve herhangi bir fiziksel performans göstermeden oturan kişi için en kabul edilebilir oda hava sıcaklığı kışın 20-21°C, yazın ise (dış sıcaklık ortalama 24°C varsayılarak) 21-22°C’dir. Yazın hava sıcaklığının yüksek olması kişilerin daha ince giysiler giymelerini gerekli kılar. Vücut yüzey sıcaklığı sabit kaldığından çevreye aynı miktardaki ısı yayılması esas alındığında çevre sıcaklığı daha yüksek olabilir. Kışın 21-22°C’lik oda sıcaklığı kaba bir ortalama ve sadece hareketsiz hava koşulları için geçerlidir (Oğan 2008).

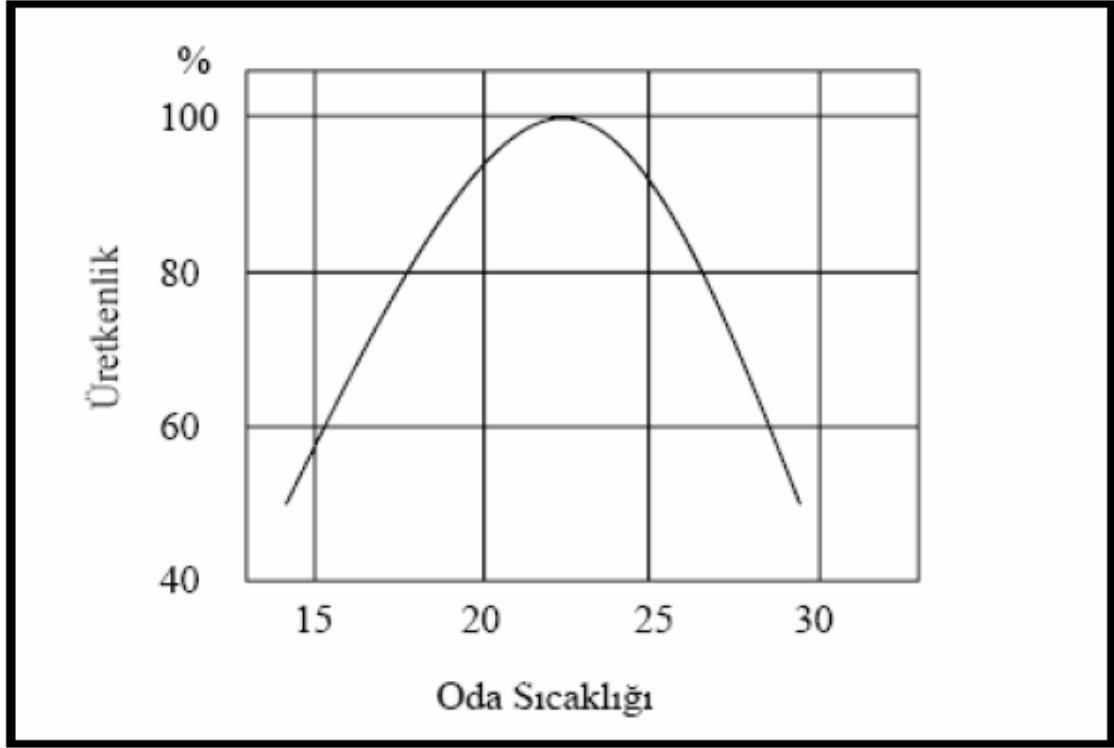
Bir odanın çevre yüzeylerinin (duvarlar, kapılar, pencereler, tavan, zemin) sıcaklıkları genelde insan vücut yüzey sıcaklığından düşük olduğunda oda konforsuz olarak algılanır. Konfor koşullarının sürekliliğini en ekonomik ve en verimli şekilde sağlamak için ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi bina enerji sistemlerinin optimum koşullarda işletilmesi gerekir (Oğan 2008).

Konfor şartlarını insan istekleri belirler. Herhangi bir ortamın ısı ihtiyacı TS 825 standardında belirtilen formata göre bulunur. Bulunan ısı yükü bu odanın ısınmasını garanti eder. Ancak oda içerisindeki ısıнын dağılımının mükemmelliğini garanti altına alamaz. Bunun temini için;

- ❖ Oda içindeki ısı dağılımı, sıcaklığı her noktada eş değerde tutacak şekilde olmalıdır.
- ❖ Binaların çatı, duvar, döşeme, kapı, pencere gibi elemanlarına da ısı yalıtım uygulamaları yapılmalıdır.
- ❖ Isıtma sistemlerinde otomatik kontrol uygulamaları projelerde belirtilerek uygulanması sağlanmalıdır (Aksoy vd 2001).

Çalışma veriminin sıcaklıkla değişimine ilişkin diyagram Şekil 2.6’da verilmiştir. Benzer çalışmalar aktif iş, yavaş iş, kış giysisi, hafif giysi gibi faktörler göz önüne

alınarak da yapılmıştır. Ortam sıcaklığı ve konforun iş yerlerindeki iş kazalarını bile etkilediği kaydedilmektedir (Anonim 2001).



Şekil 2.6. Sıcaklığın çalışma verimine etkisi (Anonim 2001).

İç yüzey sıcaklığı konfor ortamının belirlenmesinde önemli bir faktör olmaktadır. İç yüzey sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarında tutulması yakıt tüketimini de azaltacaktır. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını arttıracığından iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkacaktır. İç yüzey sıcaklığının düşük olması duvarın ısı yalıtımsızlığından kaynaklanmaktadır. İç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığına 2-3°C gibi yakın sıcaklık farklarında olmasının konfor hissi oluşturduğu belirtilmektedir. Çizelge 2.1’de çeşitli konfor durumları için iç ortam sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki görülmektedir (Şengül vd 2005).

Çizelge 2.1. İç ortam (t_i) ve iç yüzey sıcaklıkları (t_{iy}) arasındaki farka göre konfor şartları (Şengül vd 2005).

$t_i - t_{iy}$	Konfor durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8,5	Soğuk
>8,5	Çok soğuk

İç yüzey sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları arasındaki farkı azaltmak için ısı yalıtımı gerekir. Isı yalıtımı ile mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık sağlanır ve hava akımları engellenir. Bu da hem konforlu hem de sağlıklı bir ortam sağlar (Şengül vd 2005).

2.5. Yapılarda Isı Yalıtımı İle İlgili Mevzuat

Yapı kabuğunun amaçları doğrultusunda içinde yaşayan insanın dış ısısal etkilerden korunması gibi önemli bir işlevi vardır. Bu korunum ile sağlığa uygun, konfor verici ortamın oluşturulması, yapının onarım giderlerinin azaltılması ve yakıt ekonomisinin sağlanması mümkündür. Ayrıca ısısal etkilere bağlı olarak malzeme birleşimlerinde ortaya çıkan yüzeysel terleme, iç yoğuşma ve donma gibi sorunların da meydana getirdiği zararın giderilmesi ısısal yalıtımda öngörülen önlemlerle gerçekleşecektir. Isı yalıtımı ile ilgili olarak 1977 yılından sonra yürürlüğe giren TS 825 “Binalarda Isı Etkilerinden Korunma Kuralları” ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın “Yakıt Tüketiminde Enerji Sağlanması ve Şehirlerde Isıtma Tesislerinin Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Azalması”na ilişkin standart ve yönetmelikleri projelendirmede ve malzeme seçiminde birtakım önlemlerin alınmasını öngörmüşlerdir (Eriç 1994).

Binalarda ısı yalıtımı TS 825’de değişik sıcaklıklarda bulunan iç hacim ve dış hava arasındaki ısı akışını azaltıcı önlemlerin tamamı olarak tanımlanır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama doğru gitmektedir. Isınan iç ortamdan dış ortama doğru bir ısı akışı söz konusudur. İçeride

yeterli konfor ortamının sağlanabilmesi için kaybolan ısıнын bir ısıtma sistemi ile karşılanması gerekmektedir. Kaçan ısıyı en aza indirebilmek için çeşitli yollarla yalıtım yapılması gerekmektedir (Anonim 2008). “Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği”nin 9 Ekim 2008 tarih 27019 sayılı resmi gazetede yer almasından itibaren uygulanması zorunlu standart olarak 1 Kasım 2008’de yenilenerek yürürlüğe girmiştir (Anonim 2008).

2.6. TS 825’in Amacı

Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir. Bu standart ayrıca;

- ❖ Yeni yapılacak bir binaya ait çeşitli tasarım seçeneklerine bu standartta açıklanan hesap metodunu ve değerlerini uygulayarak ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğini belirlemek,
- ❖ Mevcut binaların ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek,
- ❖ Mevcut bir binaya yenileme projesi uygulamadan önce uygulanabilecek enerji tasarruf miktarını belirlemek,
- ❖ Bina sektörünü temsil edebilecek muhtelif binaların enerji ihtiyacını hesaplayarak bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacını milli seviyede tahmin etmek amaçlarına yöneliktir (Anonim 2008).

Standardın ve yönetmeliğin uygulanmasının denetimi;

- ✓ Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,
- ✓ Milli Eğitim Bakanlığı,
- ✓ Valilikler,
- ✓ Belediyeler tarafından yapılmaktadır (Oğan 2008).

TS 825 dış duvarlarda, zemine oturan döşemede ve çatı altı tavan veya teras çatı altı tavanda %100 oranda ısı yalıtımını ve ayrıca ısı köprülerinin sıfırlanmasını mecburi tutmaktadır. Yapılan ön hesaplarda bölgelere göre yaklaşık olarak ve sırasıyla dış duvarlarda 4 cm, 6 cm, 8 cm ve 10 cm, döşeme ve tavanda ise 5 cm, 10 cm, 15 cm ve 20 cm kalınlıklarında ısı yalıtımı malzemesi kullanılması gerekli görülmektedir. Ayrıca pencerelerin ısı camlı olması ve toplam pencere yüzeyinin toplam dış duvar yüzeyinin %10 ile %15'i oranında belirli bir oranda sınırlandırılması zarureti vardır (Savaş 2000).

Çizelge 2.2. TS 825'e göre bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (Anonim 2008).

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_i (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
1.Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2.Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3.Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4.Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

Çizelge 2.3. TS 825'e göre Türkiye'nin iklim bölgeleri (Anonim 2008).

1-Bölge Derece Gün İlleri			
ADANA	AYDIN	MERSİN	OSMANİYE
ANTALYA	HATAY	İZMİR	
İli 2. Bölgede olup da kendisi 1. Bölgede olan belediyeler			
AYVALIK (Balıkesir)		DALAMAN (Muğla)	
FETHİYE (Muğla)		MARMARİS (Muğla)	
BODRUM (Muğla)		DATÇA (Muğla)	
KÖYEĞİZ (Muğla)		MİLAS (Muğla)	GÖKOVA (Muğla)
2-Bölge Derece Gün İlleri			
SAKARYA	ÇANAKKALE	K.MARAŞ	RİZE
TRABZON	ADİYAMAN	DENİZLİ	KİLİS
SAMSUN	YALOVA	AMASYA	DİYARBAKIR
KOAEİ	SİİRT	ZONGULDAK	BALIKESİR
EDİRNE	MANİSA	SİNOP	DÜZE
BARTIN	GAZİANTEP	MARDİN	ŞANLIURFA
BATMAN	GİRESUN	MUĞLA	ŞIRNAK
BURSA	İSTANBUL	ORDU	TEKİRDAĞ
İli 3. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler			
HOPA (Artvin)	ARHAVİ (Artvin)		
İli 4. Bölgede olup da kendisi 2. Bölgede olan belediyeler			
ABANA (Kastamonu)	BOZKURT (Kastamonu)	ÇATALZEYTİN (Kastamonu)	
İNEBOLU (Kastamonu)	İDE (Kastamonu)	DOĞANYURT (Kastamonu)	
3-Bölge Derece Gün İlleri			
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLEİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNELİ
BİNGÖL	IĞDIR	KONYA	UŞAK
BOLU	ISPARTA	KÜTAHYA	
İli 1. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler			
POZANTI (Adana)	KORKUTELİ (Antalya)		
İli 2. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler			
MERZİFON (Amasya)	DURSUNBEY (Balıkesir)		ULUS (Bartın)
İli 4. Bölgede olup da kendisi 3. Bölgede olan belediyeler			
TOKAT (Kastamonu)			
4-Bölge Derece Gün İlleri			
AĞRI	ERZURUM		KAYSERİ
ARDAHAN	GÜMÜŞHANE		MUŞ
BAYBURT	HAKKARİ		SİVAS
BİTLİS	KARS		VAN
ERZİNAN	KASTAMONU		YOZGAT
İli 2. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan belediyeler			
KELES (Bursa)	ŞEBİNKARAHİSAR (Giresun)	ELBİSTAN (K.Maraş)	
MESUDİYE (Ordu)	ULUDAĞ (Bursa)	AFŞİN (K.Maraş)	Göksun (K.Maraş)
İli 3. Bölgede olup da kendisi 4. Bölgede olan belediyeler			
KIĞI (Bingöl)	PÜLÜMÜR (Tunceli)	SOLHAN (Bingöl)	

*Not: Adı bulunmayan yerleşim birimleri bağlı bulundukları belediyenin bölgesinde sayılır.

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de de görüldüğü gibi TS 825’e göre ülkemiz 1., 2., 3. ve 4. derece gün bölgesi olmak üzere dört ayrı iklim bölgesine ayrılmış olup ayrıca bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri görülmektedir. Isı yalıtımı uygulamasında yalıtım malzemesi nem geçişine ve dolayısıyla nem yoğuşması sonucu ıslanmaya karşı korunmalıdır. TS 825 binalarda ısı yalıtımı uygulaması ile birlikte yalıtım malzemesinin nem geçişine ve nem yoğuşması ile ıslanmasına karşı kontrolünü ve korunmasını da mecbur tutmaktadır. Isı yalıtımı uygulaması yanında yalıtım malzemesinin ıslanmaya karşı korunması için nem yalıtımı uygulamasına da önem verilmeli ve özen gösterilmelidir (Savaş 2000). TS 825’e göre ülkemiz 1., 2., 3. ve 4. derece gün bölgesi olmak üzere dört ayrı iklim bölgesine ayrılmıştır.

2.7. Isıl Direnç Kavramı

Bir düzlem duvarda ısı iletimi için Eşitlik 2.11,

$$\dot{Q}_{\text{iletim,duvar}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{duvar}}} \quad (\text{W}) \quad (2.12)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir; burada,

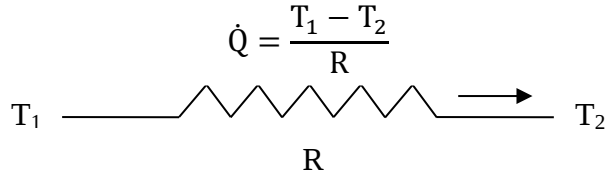
$$R_{\text{duvar}} = \frac{L}{kA} \quad (\text{K/W}) \quad (2.13)$$

değeri ısı iletimine karşı duvarın ısı direnci veya basitçe duvarın iletim direncidir. Bir ortamın ısı direnci ortamın geometrisine ve ısı özelliklerine bağlıdır.

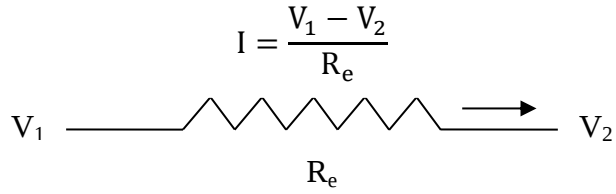
Bu ısı transferi denklemi,

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_e} \quad (2.14)$$

olarak yazılan I elektrik akımının akışı bağıntısının benzeridir. Burada $R_e = L/\sigma_e A$ olup elektrik direnci ve $V_1 - V_2$ ise direnç üzerindeki gerilim farkıdır (σ_e , elektriksel iletkenliktir). Böylelikle bir katmandaki ısı transfer hızı; elektrik akımına, ısıl direnç elektrik direncine ve sıcaklık farkı katmandaki gerilim farkına karşılık gelir (Şekil 2.6).



(a) Isı akışı



(b) Elektrik akımının akışı

Şekil 2.7. Isıl ve elektriksel direnç kavramları arasındaki benzerlik

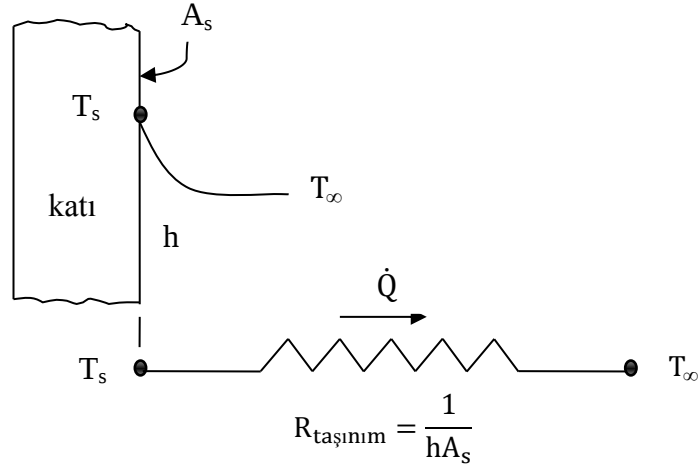
Alanı A_s ve sıcaklığı T_s olan bir katı yüzeyden, yüzeyden yeterince uzakta sıcaklığı T_∞ olan bir akışkana h taşınım ısı transfer katsayısıyla olan taşınım ısı transferi incelendiğinde taşınım ısı transfer hızı için taşınım formülü $\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_\infty)$ Newton'un soğutma kanunu,

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{taşınım}}} \quad (\text{W}) \quad (2.15)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Burada,

$$R_{\text{taşınım}} = \frac{1}{hA_s} \quad (\text{K/W}) \quad (2.16)$$

değeri ısı taşınımına karşı yüzeyin ısıl direnci veya duvarın taşınım direncidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Bir yüzeyde taşınım direncinin şematik gösterimi

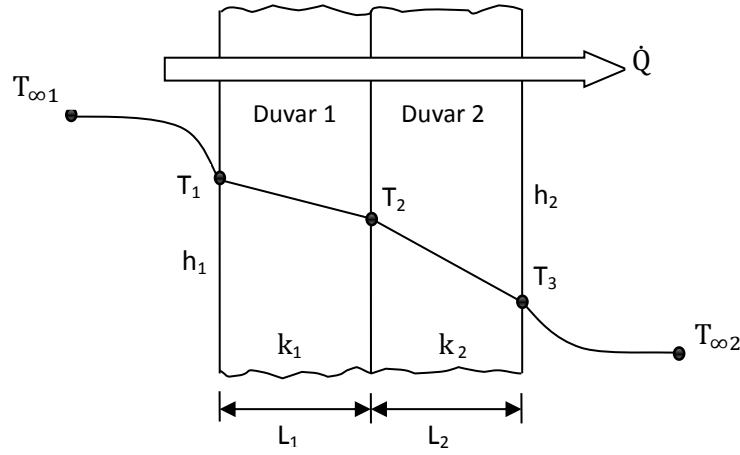
2.8. Çok Katmanlı Düzlem Duvarlar

Uygulamada çoğu kez farklı malzemelerden çok katmanlı düzlem duvarlarla karşılaşılır. Isıl direnç kavramı kompozit duvarlardaki sürekli ısı transfer hızını bulmak için de kullanılabilir. İki katmandan oluşan (yalıtlı tuğla duvar gibi) bir düzlem duvar göz önüne alalım. Bu iki katmanlı kompozit duvardaki sürekli ısı transfer hızı,

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{\text{toplam}}} \quad (2.17)$$

olarak yazılabilir (Şekil 2.9); burada R_{toplam} toplam ısıl direnç olup şöyle tanımlanır:

$$R_{\text{toplam}} = R_{\text{taşınım},1} + R_{\text{duvar},1} + R_{\text{duvar},2} + R_{\text{taşınım},2} = \frac{1}{UA} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.18)$$



Şekil 2.9. İki katmanlı kompozit duvardaki ısı transferinin şematik gösterimi.

2.9. Binalarda Isı Kaybı Hesabı

İki tarafında farklı sıcaklıkta hava bulunan duvardan geçen iletimsel (transmisyon) ısı transferi (Q_i) ile pencere, kapı ve odalardan sızan ısı (enfilitrasyon ısı) (Q_s) değerlerinin toplamı binadaki toplam ısı kaybını (Q) verir (Anonim 2002).

$$Q = Q_i + Q_s \quad (2.19)$$

Burada, Q_i iletimsel ısı kaybı olup;

$$Q_i = Q_0 \times Z \quad (2.20)$$

Z : Zamlar ($Z = 1 + \%Z_D + \%Z_W + \%Z_H$)

Q_0 : Artırımsız ısı kaybı (W)

Z_D : Birleştirilmiş artırım katsayısı ($Z_D = Z_A + Z_U$)

Z_W : Kat zammı

Z_H : Yön zammı

- Z' 'nin (artırımsız ısı kaybının) hesaplanması;

Z_D (birleştirilmiş artırım katsayısı) hesabı;

$$Z_D = Z_A + Z_U \quad (2.21)$$

Z_A ; soğuk dış yüzey ısı kaybı artırımıdır. Isıtılan hacimde soğuk dış yüzeylere radyasyonla olan ısı kaybının olumsuz etkilerini karşılamak için kabul edilen bir artırım katsayısıdır.

Z_U ; kesintili ısıtma rejimi artırımıdır. Isıtma rejimi azaltılmasından veya ısıtmaya bir süre ara verilmesinden sonra soğuyan yapı bileşenlerinin ve ısıtma sistemi elemanlarının kısa zamanda tekrar eski sıcaklıklarına getirilmesi için göz önüne alınan ısı kapasitesi artırımıdır. Isıtma sistemi ne kadar kesintili çalışıyorsa bu artırım o kadar büyük olmalıdır.

Z_A ve Z_U değerlerinin birlikte kıyaslanmasına bağlı olarak aşağıdaki formül yardımı ile D sabiti ve D sabitine bağlı olarak da TS 825'e göre Z_D değeri bulunur.

$$D = Q_0 / F_{TOP} \times (T_{iç} - T_{dış}) \quad (2.22)$$

Z_W (kat zammı) hesabı: Yapının konumu ne olursa olsun belirli birkaç kattan daha yukarılardaki katlarda rüzgar hızının artması nedeniyle ısı taşınım miktarı da buna bağlı olarak artacaktır. Ayrıca ısıtma sistemindeki kolon hatları yukarı çıktıkça taşıdığı suyun sıcaklığı azalacaktır. Bu ise istenen verimin sağlanmamasına neden olacaktır. Bu aksaklığın giderilmesi amacı ile TS 825'de belirtilen kat yüksekliğine bağlı kat zamları kullanılmalıdır.

Z_H (yön zammı) hesabı: Binalardan olan ısı transferine güneş ışınlarının radyasyonu etki etmektedir. Bu nedenle binanın yönüne bağlı olarak TS 825'de verilen sabitler kabul edilerek zamsız ısı kaybına etki ettirilir.

- Q_0 (artırımsız ısı kaybı) değerin hesaplanması;

$$Q_0 = A.U.\Delta T \quad (W) \quad (2.23)$$

A : Isı transfer yüzey alanı (m^2)

ΔT : Sıcaklık farkı (K) ($\Delta T = T_2 - T_1$)

U : Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

Toplam ısı transfer katsayısı (U); yapısı ve kalınlığı belli olan bir yapı bileşeninin iki yüzeyindeki hava sıcaklıklar farkı $1^\circ C$ ($1 K$) iken, $1 m^2$ 'den 1 saatte geçen ısı miktarı olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{iç}} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{dış}} \quad (2.24)$$

Burada; k değeri duvarda bulunan yapı malzemelerine ait ısı iletkenlik değeri, $h_{iç}$ ve $h_{dış}$ değerleri ise hesabı yapılan bina için iç ortam ve dış ortam ısı taşınım katsayılarıdır.

- Q_s değeri aşağıdaki eşitlik ile hesap edilir;

$$Q_s = \sum (a \cdot L) \cdot R \cdot H \cdot \Delta T \cdot Z_e \quad (2.25)$$

a : Hava sızıntı katsayısı (m^3/mh)

L : Pencere veya kapının açılan kısımlarının metre olarak çevre uzunluğu (m)

R : Oda durum katsayısı (boyutsuz)

H : Yapı durum katsayısı (rüzgar etkinliği katsayısı)($kWh/m^3^\circ C$)

Z_e : Katsayı (birimsiz)

ΔT : Sıcaklık farkı (K) ($\Delta T = T_2 - T_1$)

a (sızdırmazlık katsayısı) ; TS 825'de belirtilen pencere ile kapının hem malzemesi hem de tasarımı göz önünde bulundurularak tespit edilen katsayıdır.

L değeri (pencerelerin açılan kısımlarının çevre uzunluğu) bilinmiyorsa yaklaşık olarak hesaplanabilir. Bunun için $w = L / F$ formülünden faydalanabilir. Böylece L değeri; TS 825’de verilen pencerenin veya kapının yüksekliğine bağlı bir w sabit değeri ile F, pencere veya kapı alanının çarpımı ile hesaplanabilir.

R (oda durum katsayısı) değeri; $\sum(a.L)$ değeri ile oda içine giren havanın akıp gidebilme durumunu belirtir. Çoğu zaman pencereler vasıtasıyla içeri, iç kapılardan dışarı ve istem dışı odaya giren hava miktarı kadar dışarıya sızıntı olur. R katsayısı ise oda durumunun göstermiş olduğu direnci belirtir. R değerinin tam olarak hesabı imkansızdır. Bu değer normal boyutlarda pencere veya kapıları olan odalar için 0,9 olurken büyük pencereleri ve bir tek iç kapısı olan odalar için ise 0,7 alınır.

H (yapı durum katsayısı) değeri; bölgenin rüzgar durumuna ve inşaatın tasarımına bağlı olarak TS 825’e göre tespit edilen katsayıdır.

Z_e değeri; ısı kaybı hesabı yapılan odanın pencere sayısına göre tespit edilen katsayıdır.

Eşitlik 2.19’da belirtilen ısı kaybı hesabı değeri; TS 825’de tanımlanan kriterler doğrultusunda Eşitlik 2.20 ve Eşitlik 2.25’te belirtilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

2.10. Bina Duvarlarının Isı Kaybı ve Yıllık Enerji İhtiyacı

Dış duvarın birim yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı;

$$q = U \cdot \Delta T \quad (2.26)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada U; toplam ısı transfer katsayısını, ΔT ise dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkıdır. Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı toplam ısı transfer katsayısı (U) ve derece gün sayısı ile hesaplanır.

$$q_{yıl} = 86400.DG.U \quad (2.27)$$

Tipik bir yalıtımlı duvar için toplam ısı transfer katsayısı U;

$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{duvar} + R_{yalıtım} + R_{dış}} \quad (2.28)$$

şeklindedir. Burada $R_{iç}$ ve $R_{dış}$ sırasıyla iç ve dış ortamın ısı taşınım direncini, R_{duvar} ; duvar katmanlarının ısı yalıtımı olmadan ısı iletim direncini göstermektedir. $R_{yalıtım}$ ise yalıtım malzemesinin ısı direnci olup;

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \quad (2.29)$$

şeklinde hesaplanır. Burada x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ile yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını göstermektedir. Yalıtımsız duvar tabakasının toplam direnci $R_{duvar,toplam}$;

$$R_{duvar,toplam} = R_{iç} + R_{duvar} + R_{dış} \quad (2.30)$$

olduğuna göre yalıtımlı duvar için toplam ısı transfer katsayısı (U);

$$U = \frac{1}{R_{duvar,toplam} + R_{yalıtım}} \quad (2.31)$$

şeklinde ifade edilir. Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl}$;

$$E_{yıl} = \frac{86400.DG}{(R_{duvar,toplam} + R_{yalıtım}).\eta} \quad (2.32)$$

şeklinde hesaplanır (Kürekçi vd 2012).

2.11. Yıllık Enerji Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığının Hesaplanması

Enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan yöntemlerden biri de derece gün yöntemidir. DG (derece gün) değeri belirli bir denge sıcaklığı referans alınarak hesaplanır. Denge sıcaklığı binadaki ısı kaynaklarıyla binadan oluşan 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),

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{ykt}}{(R_{duvar, toplam} + R_{izo}) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (2.33)$$

eşitliği ile hesaplanır (Hasan 1999; Çomaklı and Yüksel 2003). Burada C_{ykt} , yakıtın TL/m³ olarak maliyetini, H_u ise yakıtın alt ısı değerini vermektedir.

Optimum yalıtım kalınlığı hesaplanırken ömür maliyet analizi yöntemi (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 (Dombaycı *et al.* 2006).

$$i > g \text{ ise } r = \frac{i-g}{1+g} \quad (2.34)$$

$$i < g \text{ ise } r = \frac{g-i}{1+i} \quad (2.35)$$

Türkiye'de faiz oranları enflasyondan yüksek olduğu için şimdiki değer faktörü hesaplanırken Eşitlik 2.34 kullanılmıştır.

$$\text{\$DF} = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (2.36)$$

Burada N ömür süresidir ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir (Gölcü vd 2006).

Yalıtım maliyeti ($C_{\text{yıl}}$) ise;

$$C_{\text{yıl}} = C_{\text{mlz}} \cdot x \quad (2.37)$$

olarak hesaplanır (Hasan 1999; Çomaklı and Yüksel 2003). Burada C_{mlz} , yalıtım malzemesinin birim fiyatını TL/m³ olarak, x ise yalıtım malzemesinin kalınlığını metre (m) cinsinden verir. Sonuç olarak yalıtımı yapılan bir bina için toplam ısıtma maliyeti sistemle ilgili tüm harcamaların toplamından oluşan ömür maliyet analiz (LCCA) dikkate alınarak hesaplanmış ve;

$$C_{\text{t,izo}} = C_A \cdot \text{\$DF} + C_{\text{yıl}} \quad (2.38)$$

veya

$$C_{\text{t,izo}} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_{\text{ykt}} \cdot \text{\$DF}}{(R_{\text{duvar,toplam}} + R_{\text{izo}}) \cdot H_u \cdot \eta} + C_{\text{yıl}} \quad (2.39)$$

olarak yazılabilir (Hasan 1999; Çomaklı and Yüksel 2003).

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.

$$x_{\text{opt}} = 293,94 \cdot \left(\frac{DG \cdot C_{\text{ykt}} \cdot \text{\$DF} \cdot k}{H_u \cdot C_{\text{mlz}} \cdot \eta} \right)^{1/2} - k \cdot R_{\text{duvar,toplam}} \quad (2.40)$$

Eşitlik 2.40'dan 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 (Arslan and Köse 2006).

2.12. Enerji Tasarrufu ve Geri Ödeme Süresi

Yıllık toplam maliyet farkı A_s , yalıtılmamış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti ile yalıtılmış bir binanın yıllık toplam ısıtma maliyeti arasındaki farktır.

$$A_s = C_t - C_{t,izo} \quad (2.41)$$

ile hesaplanır (Şenkal Sezer 2005). Geri ödeme süresi (PP) ise;

$$PP = \frac{C_t}{A_s} \quad (2.42)$$

olarak hesaplanmıştır (Gölcü vd 2006).

Örnek projelere göre yapılacak bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametreler.

<u>PARAMETRE</u>	<u>BİRİM</u>	<u>DEĞER</u>
Derece gün sayısı	DG (Erzincan 2012 için)	2874
Isı iletim katsayısı (XPS)	W/mK	0,035
Yalıtım malzemesi fiyatı	TL/m ³	150 (KDV ve işçilik dahil)
Faiz oranı (%)	---	13,75
Enflasyon oranı (%)	---	6,16
Şimdiki değer faktörü	---	6,97
Ömür yılı	Yıl	10
<u>KULLANILAN YAKIT</u>		<u>DOĞAL GAZ</u>
Isıl değer	J/m ³	34 526 000
Yakma sistemi verimi (%)	---	93
Yakıt maliyeti (KDV dahil)	TL/m ³	0,97

2.13. Erzincan’da Ölçümü Alınan Binaların İl Genelindeki İstatistiksel Verileri

Erzincan ili birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle depreme karşı alınan tedbirlerden biri de çok katlı yapılardan kaçınmaktır. Erzincan’daki yapıların çoğunluğu tek, 2 ve 3 katlı mimariye sahip olarak inşa edilmektedir. Çizelge 2.5’de Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü’nden alınan bina sayıları ve il genelindeki yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. 2011 yılına ait Erzincan ili bina envanteri (Erzincan Belediyesi 2012).

BİNA KAT SAYISI	İLDEKİ ADEDİ	İLDEKİ YÜZDESİ
1 Katlı Bina Sayısı	4370	%49,5
2 Katlı Bina Sayısı	2413	%27,3
3 Katlı Bina Sayısı	1656	%18,8
4 Katlı Bina Sayısı	359	%4,07
5 Katlı Bina Sayısı	14	%0,15
6 Katlı Bina Sayısı	2	%0,02



Şekil 2.10. Erzincan ili kent yerleşim planı (Erzincan Belediyesi 2013).

Erzincan il genelindeki binaların tamamı üzerinde değerlendirmeler yapabilmek ve binaların toplam ısı transfer yüzey alanını belirlemek için Şekil 2.10’da görüldüğü gibi kent yerleşim planını üzerinden 6 çalışma bölgesi seçilmiştir. Yapılacak çalışmaların ve devamında yapılacak istatistiksel hesaplamaların istenilen güvenilirlikte olmasını sağlamak için ise bu seçilen bölgelerin her birinde her bina türünü temsil edecek 12’şer adet bina belirlenmiştir (Liang and Shen 2010).

Çizelge 2.5’de verilen il genelindeki 1 katlı, 2 katlı ve 3 katlı binaları temsil edecek sayıdaki binalardan, ısı kaybı ile ekonomik analiz hesapları için belirli periyotlarda iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Erzincan il genelindeki binaların toplam ısı transfer yüzey alanını belirlemek için 6 çalışma bölgesinde seçilen 12’şer adet örnek binaların projeleri üzerinden her birinin toplam ısı transfer yüzey alanları belirlenmiştir. Geneli temsil etmesi için belirlenen bu yüzey alanlarının ortalaması alınarak il genelindeki sayıları ile çarpılmıştır. Sonra il

genelindeki her bina tiplerinin toplam ısı transfer yüzey alanları toplanarak Erzincan il genelindeki binaların toplam ısı transfer yüzey alanı 2 411 189,77 m² olarak bulunmuştur.

Yalıtımlı ve yalıtımsız bina sayılarını belirlemek için ise il genelinde bir anket yapılmıştır. Yapılan ankette aşağıda belirtilen sorular sorulmuştur.

- 1- Erzincan'da mı ikamet ediyorsunuz?
 - a) Evet b) Hayır
- 2- Eviniz 2011 yılından önce mi yapıldı, yoksa sonra mı?
 - a) Önce b) Sonra
- 3- Eviniz yalıtımlı mı?
 - a) Evet b) Hayır

TÜİK'in istatistiksel olarak kullandığı formül aşağıda verilmiştir (TÜİK 2013).

$$SS = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{c^2} \quad (19)$$

Nüfus için düzeltme;

$$\text{Yeni SS} = \frac{SS}{1 + \frac{SS-1}{\text{pop}}} \quad (20)$$

%95 güven düzeyi ve %4 güven aralığı (hata marjı) 96474 nüfusu temsil etmek için hesaplamalar sonucu 597 kişi ile anket yapılmıştır. Yukarıda verilen anket soruları Erzincan genelinde 597 farklı kişiye sorulmuştur. Alınan sonuçlar ise şöyledir. 597 kişinin %1'i Erzincan'da ikamet etmemektedir. Yani Erzincan'da ikamet eden ankete göre 597 kişiden yaklaşık 591 kişidir. 591 kişinin %12'si 2011 yılından sonra yapılan binalarda oturmaktadır. Geriye kalan yaklaşık 520 kişi ise 2011 yılından önce yapılan binalarda yaşamaktadır. Bu 520 kişinin %22'si yalıtımlı evde otururken, %78'i

yalıtımsız evde yaşamaktadır. 2011 yılı öncesi yapılan binaların toplam ısı transfer alanı $2\,121\,847\text{ m}^2$ 'dir. Bu rakamın %22'si olan $466\,806,34\text{ m}^2$ 'si yalıtımlı iken, %78'i olan $1\,655\,040,66\text{ m}^2$ 'si yalıtımsız binadan oluşmaktadır. 2011 yılından sonra yönetmelik gereği yapılan binaların ısı transfer yüzey alanı toplam binaların ısı transfer yüzey alanının %12'si olan $289\,342,77\text{ m}^2$ 'dir. İldeki yalıtımlı binaların toplam ısı transfer yüzey alanı $289\,342,77 + 466\,806,34 = 756\,149,11\text{ m}^2$ 'dir. Bu rakam ise toplam binaların ısı transfer yüzey alanının ($2\,411\,189,77\text{ m}^2$) %31,36'sını oluşturmaktadır. Yani Erzincan'daki mevcut binaların %31,36'sı ısı yalıtımlı iken, %68,64'ü ise ısı yalıtımsızdır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Erzincan Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeybatı bölümünde yukarı Fırat havzasında 39° 02' - 40° 05' kuzey enlemleri ile 38° 16' - 40° 45' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 11903 km² olup il merkezinin denizden yüksekliği 1185 metredir. Erzincan karasal iklim özelliğine sahiptir. Yıllık sıcaklık ortalaması 16,6°C'dir. En soğuk ay olan Ocak ayı ortalamasının -3,7°C, en sıcak ay olan Ağustos ayı ortalamasının da 23,9°C olduğu görülmektedir. Erzincan, çevre illere göre daha uzun ve sıcak yaz mevsimi yaşamaktadır. Kış mevsiminde doğudan gelen Sibirya kaynaklı hava kütlelerinin tesirinde kaldığı için oldukça sert kış günleri yaşanmaktadır. Yağış itibarıyla 380,6'lık (kg/m²) yağış ortalamasına sahip olan il, yıl içerisinde en fazla yağışı 633,1 mm olarak, en az yağışı 206,1 mm olarak almaktadır. En yağışlı mevsim ilkbahar olup, yağışın yüzde 39'u bu mevsimde, yüzde 26'sı sonbahar, yüzde 22'si kış ve yüzde 13'ü de yaz mevsiminde kaydedilmektedir. Yıllık nem ortalaması ise yüzde 62'dir (Erzincan Valiliği). Erzincan sanayi şehri olmadığı için ildeki hava kirliliği en fazla konutların ısınmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.2. Bina duvarlarının yapısı

Binanın dış duvarları, binayı dış çevreden ayırır ve dış çevre etkilerine karşı binayı korur. Binadan olan en fazla ısı kaybı yerleri ise binanın dış yüzeye bakan duvarlarıdır. Dolayısıyla bina dış duvarlarının yalıtımı, ısı kaybının azalmasını sağlayan önemli bir unsurdur. Yalıtımsız bina duvarında ısı kaybı ve dolayısıyla yakıt tüketimi de fazla olmaktadır. Ayrıca yalıtımsız dış duvarlara sahip yapılar yaz mevsiminde aşırı derecede sıcak olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek, daha az yakıtla konfor ısına ulaşılın,

kışın sıcak yazın serin mekânlar elde etmek amacıyla bina dış duvarları; dıştan yalıtımlı, içten yalıtımlı veya sandviç olarak yapılmaktadır.

3.1.3. Deney düzeneği

Bu çalışmada 40 adet (12 adet müstakil, 12 adet 2 katlı, 12 adet 3 katlı, 2 adet okul, 2 adet cami) örnek yapı ele alınmıştır. Örnek alınan okulların ve camilerin dış duvarlar özellikleri konutların dış duvar özelliklerine yakın olduğu için hesaplamalarda konutların dış duvar özelliği esas alınmıştır. Örnek yapıların dış duvarları ise yalıtımlı ve yalıtımsız olmak üzere iki çeşittir. Bu yapılardan dijital termometreler yardımı ile iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerleri alınmıştır. Sıcaklık ölçüm verileri 2012 yılı Şubat ayı boyunca alınmıştır. Bu ay süresince örnek yapıların her gün akşam saat 17.00-18.00'da iç ortam ve dış ortam sıcaklık verileri dijital termometrelerden okunmuştur. İki ay boyunca iç ortam sıcaklık verilerinde fazla bir sapma olmadığından iç ortam sıcaklık değeri ortalama 20°C kabul edilmektedir. Dış ortam sıcaklık değerleri ise, dış ortamda dijital termometreden okunan değerler ile meteoroloji sıcaklık değerleri aynı olduğundan meteoroloji sıcaklık verileri baz alınmıştır. Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012 yılı Şubat ayı her günün saat 17.00-18.00 arası dış ortam sıcaklık değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. İl genelinin büyük bir kısmında yakıt olarak doğal gaz kullanıldığı için hesaplamalarda yakıt olarak doğal gaz referans alınmıştır. Doğal gazın diğer yakıtlar ile olan kıyaslaması Çizelge 3.2'de verilmektedir. Ayrıca termal kamera ile yalıtım hatalarının ve yalıtımsız binalardan olan ısı kayıplarının görsel olarak belirtilmesi için ildeki binalardan termal görüntüler alınmıştır. Bu görüntüler sayesinde binalardan olan ısı kayıpları ve yanlış yalıtım uygulamaları görseller ile açıklanmıştır.

Çizelge 3.1. Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012 yılı Şubat saatlik dış ortam sıcaklık verileri (Erzincan Meteoroloji Müdürlüğü 2012).

TARİH	SAAT	SIKLIK DEĞERİ (°C)
01.02.2012	17.00-18.00	-6,6
02.02.2012	17.00-18.00	-10,1
03.02.2012	17.00-18.00	-9,3
04.02.2012	17.00-18.00	-9,8
05.02.2012	17.00-18.00	-9,6
06.02.2012	17.00-18.00	-8,7
07.02.2012	17.00-18.00	-0,3
08.02.2012	17.00-18.00	0,5
09.02.2012	17.00-18.00	0,4
10.02.2012	17.00-18.00	-5,4
11.02.2012	17.00-18.00	-7,8
12.02.2012	17.00-18.00	-8,1
13.02.2012	17.00-18.00	-7,5
14.02.2012	17.00-18.00	-2,7
15.02.2012	17.00-18.00	2,5
16.02.2012	17.00-18.00	-2,3
17.02.2012	17.00-18.00	0,2
18.02.2012	17.00-18.00	-3,5
19.02.2012	17.00-18.00	-4,6
20.02.2012	17.00-18.00	-7,7
21.02.2012	17.00-18.00	-9,9
22.02.2012	17.00-18.00	-10,5
23.02.2012	17.00-18.00	-10,7
24.02.2012	17.00-18.00	-9,8
25.02.2012	17.00-18.00	-5,1
26.02.2012	17.00-18.00	-2,7
27.02.2012	17.00-18.00	1,5
28.02.2012	17.00-18.00	5,4
29.02.2012	17.00-18.00	2,8

Hesaplarımızda Şubat ayı dış ortam sıcaklık değeri için en düşük sıcaklık değeri olan -10,7°C değeri ısı kaybı hesapları için kullanılmıştır.

Dış duvarın birim alanından olan ısı kaybı hesabı yapılarak ildeki yalıtımlı ve yalıtımsız yapı m²'leri ile çarpılıp ildeki toplam ısı kaybı değeri bulunmuştur. Mevcut durumdaki binalardan olan ısı kaybının ekonomik analizi hesaplanmıştır. Buna paralel olarak yalıtımsız binaların yalıtımlı olması halinde maddi olarak ne kadar tasarruf edilebileceği rakamlar ile belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Katı, sıvı ve gaz yakıtların karşılaştırılması.

YAKIT	BİRİM FİYAT	ISIL DEĞER	VERİM
Doğal Gaz	0,97 TL/m ³	34 526 000 J/kg	%93
LPG 12 kg (ev tüpü)	5,50 TL/kg	11 000 kcal/kg	%90
Kömür (ithal)	0,80 TL/kg	6000 kcal/kg	%65
Fuel-oil No:4	2,53 TL/kg	9 875 kcal/kg	%80
Dökme Gaz (konut)	4,916175 TL/kg	11 100 kcal/kg	%92
Elektrik (konut)	0,371263 TL/kWh	860 kcal/kWh	%99
Motorin (VP Dizel)	5,136095 TL/kg	10 256 kcal/kg	%84
Bedellere KDV dahildir.			

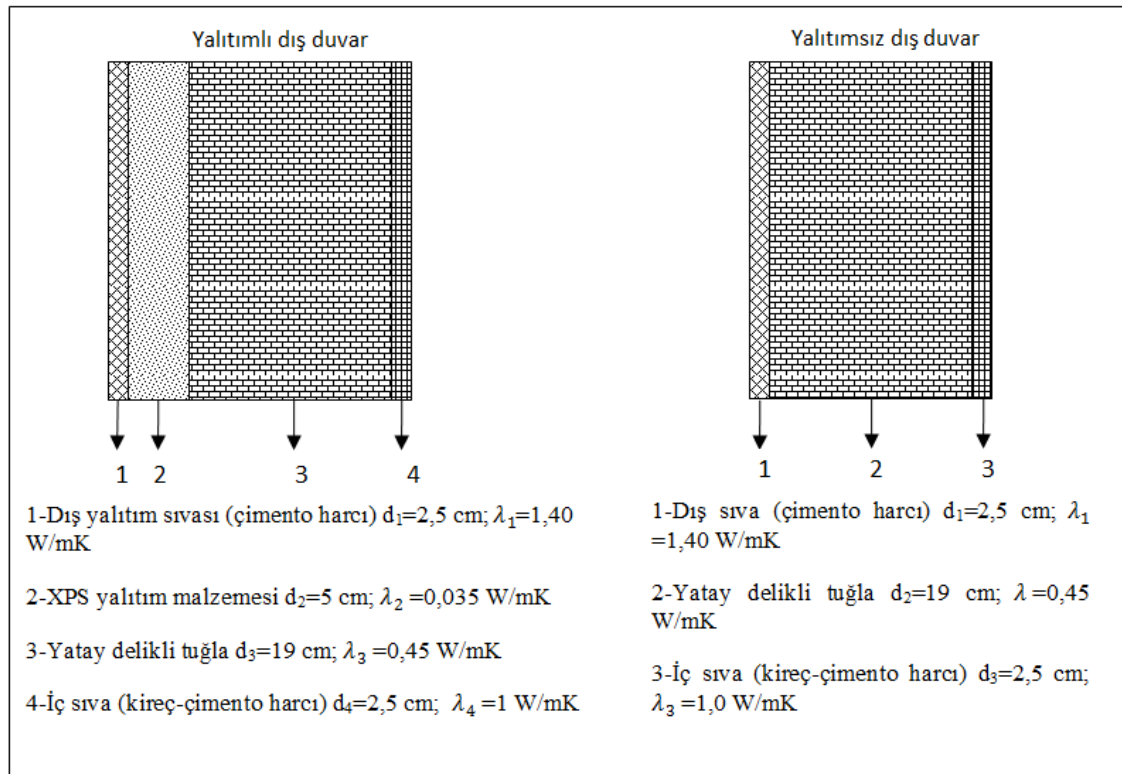
3.1.3. Çalışmadaki materyaller

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğindeki materyaller; yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarına göre müstakil evlerden, çok katlı binalardan, camilerden, okullardan, iki adet dijital termometreden ve termal kameradan oluşmaktadır. Aşağıda bu materyalleri tanıttıcı bilgiler verilmiştir.

3.1.3.a. Yalıtımlı ve yalıtımsız müstakil evler

Erzincan ilinde bulunan toplam tek katlı bina sayısı Çizelge 2.2’de 4370 olarak verilmiştir. Kuramsal temeller bölümünde istatistiksel olarak il genelini temsil edecek şekilde 1 katlı (müstakil) bina sayısı 12 olarak hesaplanmıştır. Bu tek katlı binalardan

olan ısı kaybı hesabı yapılarak, il genelindeki yalıtımsız tek katlı yapılardan olan enerji savurganlığının ekonomik analizi yapılmıştır. Isı kaybı hesabı yapılan örnek yapıların yalıtımlı ve yalıtımsız durumları için dış duvar iki farklı yapıya sahiptir. Yalıtımlı dış duvar; 2,5 cm iç sıva, 19 cm yatay delikli tuğla, 4-5-8 XPS yalıtım malzemesi ve 2,5 cm dış sıvadan oluşmaktadır. Yalıtımsız dış duvar ise, 2,5 cm iç sıva, 19 cm yatay delikli tuğla ve 2,5 cm dış sıvadan oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Örnek seçilen yapıların dış duvar bileşenlerinin özellikleri

Çizelge 3.3. Dış duvar bileşenlerinin fiziksel özellikleri.

	Dıştan Yalıtımlı Dış Duvar			Yalıtımsız Dış Duvar		
Duvar Malzemesi	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m²K/W)	Kalınlık (m)	k (W/mK)	R (m²K/W)
İç sıva	0,025	1	0,025	0,025	1	0,025
Yatay delikli tuğla	0,19	0,45	0,422	0,19	0,45	0,422
XPS yalıtım malzemesi	0,04-0,05-0,08	0,035	1,143-1,432,285	---	---	---
Dış sıva	0,025	1,40	0,0178	0,025	1,4	0,0178
R _{iç} (m ² K/W)	---	0,13	---	---	0,13	---
R _{dış} (m ² K/W)	---	0,04	---	---	0,04	---

3.1.3.b. Yalıtımlı ve yalıtımsız çok katlı binalar

Erzincan ili 1. derece deprem kuşağında yer aldığından binalar en fazla 3 kat olarak inşa edilmektedir. 4, 5 ve 6 katlı bina sayısı çok az olduğundan çok katlı binalardan olan ısı kaybı hesapları için il genelindeki 2 ve 3 katlı binalar baz alınmıştır. İl genelindeki 2 katlı bina sayısı 2413 ve 3 katlı bina sayısı 1656 olarak Çizelge 2.2’de verilmiştir. Bu rakamları temsil edecek şekilde il genelindeki 2 ve 3 katlı (çok katlı) binalardan rastgele 12’şer adet bina seçilerek ekonomik analizleri için termometreler yardımıyla ölçümler alınmıştır. Bu yapılara ait dış duvar bileşenleri Şekil 3.1’de verilmiştir.

3.1.3.c. Yalıtımlı ve yalıtımsız okullar

Erzincan genelinden kayıp olan ısının belirli bir miktarı da okullardan meydana gelmektedir. Okullardan olan ısı kayıpları da Erzincan il genelinin ısı kaybına dahil edilerek toplam enerji kaybı genelleştirilmiştir. İl genelindeki okulları temsilen yalıtımlı okul olarak Vali Metin İlyas Aksoy İlköğretim Okulu, yalıtımsız okul olarak ise Melikşah İlköğretim Okulu referans alınarak hesaplamalara dahil edilmişlerdir. Bu yapılara ait dış duvar bileşenleri Şekil 3.1’de verilmiştir.

3.1.3.d. Yalıtımlı ve yalıtımsız camiler

Tezimizin amacını tekrar hatırlamak gerekirse Erzincan il genelindeki yapılardan olan enerji kayıplarının ekonomik analizi yapılarak, yalıtımsız yapıların yalıtılması halinde maddi olarak ne kadar kazanç sağlayacağını hesap edilmesidir. Erzincan’da bulunan yapılar sadece ailelerin ikame ettiği meskenlerden oluşmamaktadır. Camiler de kış ayları boyunca sürekli ısıtıldığı için buralardan da ısı kaybı meydana gelmektedir. İl genelindeki camileri temsil edecek şekilde yalıtımlı cami olarak Ergenekon Camii ve yalıtımsız cami olarak ise Muhammediye Camii örnek alınarak ısı kaybı hesabını yapmak için termometreler ile bu camilerden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Bu yapılara ait dış duvar bileşenleri Şekil 3.1’de verilmiştir.

3.1.3.e. Dijital termometreler

Erzincan’da seçilen örnek yapıların ısı kaybı hesapları için termometrelerden faydalanılmıştır. Yapıların iç ortam sıcaklığını ölçmek için bir adet termometre odanın içerisinde ve dış hava sıcaklığını ölçmek için de bir adet termometre dış ortamda kullanılmıştır.

Ölçümler sırasında kullanılan dijital termometrelere ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir.

Markası: TFA 31.1034 portatif termometre

Sıcaklık ölçüm aralığı: -60.....+1370°C (-76.....+2498 °F)

Sıcaklık ölçüm hassasiyeti: $\pm 1^\circ\text{C}$ veya $\pm 1\%$

Ebatlar: 42x20x78 mm

Ağırlık: 47 gr

Pil: 1x 3V R2032



Şekil 3.2. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan dijital termometre.

3.1.3.f. Termal kamera ve uygulamaları

Termal kamera, çeşitli uygulamalarda kullanılan alanların ya da parçaların normalin üzerindeki sıcaklıklarını ya da soğukluklarını ölçebilen çok pahalı tanı cihazıdır. Bu cihazlar objelerden yayılan termal enerjiyi ölçmeye yarayan lenslerden ve algılayıcılardan oluşur. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirmeksizin sıcaklık modellerini algılayan bir cihazdır. Görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir. Termal kameralar çıplak gözle tespit edilmeyen ancak ciddi sonuçlara yol açabilen küçük problemleri görmemizi sağlar (Çalışan ve Türkoğlu 2011).

Termal kamerayla çekilen ısı resimleri çok sıcak bölgeleri açık renkle, soğuk bölgeleri ise koyu renk ile göstererek problemin kaynağını rahatlıkla belirlemeye yardımcı olur. Termal kameralar görüntü alınan alanın durumunu siyah-beyaz veya renkli gösterirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda ortam sıcaklığına göre ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Mavi alanlar en soğuk bölgeleri, sarı alanlar ise en sıcak bölgeleri gösterir (Çalışan ve Türkoğlu 2011).

Termografi ve termal görüntüleme elektrikli ekipmanları ve süreç ekipmanlarını denetlemek, sağlık, savunma ve bina incelemeleri için kullanılabilir. Bina incelemeleri çatıdaki rutubeti, hava sızıntısına yönelik olarak bina yalıtımı incelemelerini ve binadaki nemi içerir (Çalışan ve Türkoğlu 2011).

Bu çalışmada Erzincan'daki yalıtımsız ve hatalı yalıtımlı binaların termal kamera görüntüleri alınmıştır. Termal görüntüler sayesinde yapılardan olan ısı kayıpları ve hatalı yalıtımdan kaynaklanan ısı kayıpları görsellerle belirtilmiştir. Bu hataların giderilmesi ve tekrar edilmemesi için alınması gereken önlemler belirtilmiştir. Termal görüntüler için Testo 875 markalı termal kamera kullanılmıştır. Testo 875 termal kameraya ait teknik bilgiler ise aşağıda verilmiştir.

Markası: Testo 875

Dedektör: 160x120 piksel

Termal duyarlılık (NETD): < 80mK

Sıcaklık aralığı: -20°C...+280°C

Görüntü yenileme hızı: 9 Hz

Lens 32°x23°

SuperResolution

Otomatik sıcak/soğuk nokta belirleme

Solar mod

Lens koruma camı



Şekil 3.3. Testo 875 termal kamera görüntüsü

3.2. Metod

Çizelge 3.3 verileri ile yalıtımsız dış duvarın ısı direnci R_{duvar} ;

$$R_{\text{duvar}} = R_{\text{içsiva}} + R_{\text{tuğla}} + R_{\text{dışsiva}}$$

$$R_{\text{duvar}} = 0,025 + 0,422 + 0,0178$$

$$R_{\text{duvar}} = 0,4648 \text{ m}^2\text{K/W}$$

olarak hesaplanır.

Eşitlik 2.29 ve Çizelge 3.3'den yalıtım malzemesinin (XPS) ısı direnci aşağıdaki gibi bulunur.

$$R_{\text{yalıtım}} = x/k$$

4 cm XPS yalıtım malzemesi için;

$$R_{\text{yalıtım}, 4} = 1,143 \text{ m}^2\text{K/W}$$

5 cm XPS yalıtım malzemesi için;

$$R_{\text{yalıtım}, 5} = 1,430 \text{ m}^2\text{K/W}$$

8 cm XPS yalıtım malzemesi için;

$$R_{\text{yalıtım}, 8} = 2,285 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Çizelge 3.3'den iç ortam ve dış ortam ısı taşınım dirençleri sırasıyla $R_{\text{iç}} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ve $R_{\text{dış}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ değerleri alınır.

Yalıtımsız dış duvar tabakasının toplam direnci $R_{\text{duvar, toplam}}$ Eşitlik 2.30'dan;

$$R_{\text{duvar, toplam}} = R_{\text{iç}} + R_{\text{duvar}} + R_{\text{dış}}$$

$$R_{\text{duvar, toplam}} = 0,13 + 0,4648 + 0,04$$

$$R_{\text{duvar, toplam}} = 0,6348 \text{ m}^2\text{K/W}$$

olarak hesaplandıktan sonra yalıtımlı dış duvar için toplam ısı transfer katsayısı ($U_{\text{yalıtımlı}}$) Eşitlik 2.31 ile hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_{\text{duvar, toplam}} + R_{\text{yalıtım}}}$$

4 cm XPS yalıtım malzemesi için $U_{\text{yalıtımlı,4}}$;

$$U_{\text{yalıtımlı,4}} = \frac{1}{0,6348 + 1,143}$$

$$U_{\text{yalıtımlı,4}} = 0,5625 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5 cm XPS yalıtım malzemesi için $U_{\text{yalıtımlı,5}}$;

$$U_{\text{yalıtımlı,5}} = \frac{1}{0,6348 + 1,430}$$

$$U_{\text{yalıtımlı,5}} = 0,4843 \text{ W/m}^2\text{K}$$

8 cm XPS yalıtım malzemesi için $U_{\text{yalıtımlı,8}}$;

$$U_{\text{yalıtımlı,8}} = \frac{1}{0,6348 + 2,285}$$

$$U_{\text{yalıtımlı,8}} = 0,3425 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Yalıtımsız dış duvar için toplam ısı transfer katsayısı ($U_{\text{yalıtımsız}}$) Eşitlik 2.31 ile hesaplanırsa;

$$U_{\text{yalıtımsız}} = \frac{1}{R_{\text{duvar, toplam}}}$$

$$U_{\text{yalıtımsız}} = \frac{1}{0,6348}$$

$$U_{\text{yalıtımsız}} = 1,5753 \text{ W/m}^2\text{K}$$

değeri bulunur.

Yalıtımsız dış duvarın birim yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı Eşitlik 2.26 ile bulunur.

$$q = U \times \Delta T$$

Burada iç ortam sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığı sırasıyla 20°C ve $-10,7^\circ\text{C}$ 'dir.

$$q_{\text{yalıtımsız}} = U_{\text{yalıtımsız}} \times \Delta T$$

$$q_{\text{yalıtımsız}} = 1,5753 \times [20 - (-10,7)]$$

$$q_{\text{yalıtımsız}} = 48,361 \text{ W/m}^2$$

olarak bulunur ve toplam yalıtımsız binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılırsa ildeki mevcut yalıtımsız binalardan olan ısı kaybı hesaplanmış olur. İldeki yalıtımsız binaların ısı transfer yüzey alanı kuramsal temeller bölümünde belirtildiği gibi $1\,655\,040,66 \text{ m}^2$ 'dir.

$$Q_{\text{yalıtımsız}} = 48,361 \times 1655040,66$$

$$Q_{\text{yalıtımsız}} = 80,04 \text{ MW}$$

değeri bulunur.

4 cm XPS kalınlık ile yalıtım yapılmış dış duvarın birim yüzeyinden meydana gelen ısı kaybı Eşitlik 2.26 ile bulunur.

$$q_{yalıtlı4} = U_{yalıtlı4} \times \Delta T$$

$$q_{yalıtlı4} = 0,5625 \times [20 - (-10,7)]$$

$$q_{yalıtlı4} = 17,27 \text{ W/m}^2$$

olarak bulunur ve ildeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılırsa ildeki mevcut yalıtımlı binalardan olan ısı kaybı hesaplanmış olur. İldeki yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı kuramsal temeller bölümünde de belirtildiği gibi 756 149,11 m²’dir.

$$Q_{yalıtlı4} = 17,269 \times 756149,11$$

$$Q_{yalıtlı4} = 13,05 \text{ MW}$$

değeri hesaplanmış olur.

Aynı şekilde 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım kalınlıkları için dış duvarın birim yüzeyinden meydana gelen ısı kayıpları;

$$q_{yalıtlı5} = 14,86 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{yalıtlı5} = 14,86 \times 756149,11$$

$$Q_{yalıtlı5} = 11,23 \text{ MW}$$

$$q_{yalıtlı8} = 10,51 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{yalıtlı8} = 10,51 \times 756149,11$$

$$Q_{yalıtlı8} = 7,94 \text{ MW}$$

değerleri hesaplanmış olur.

Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı ($E_{yıl,yalıtlı}$) yalıtımlı dış duvar için Eşitlik 2.32 ve Çizelge 2.4’den faydalanılarak hesap edilir.

$$E_{yıl} = \frac{86400 \times DG}{(R_{duvar,toplam} + R_{yalıtım}) \times \eta}$$

4 cm XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılmış bina dış duvarının birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl,yalıtımlı4}$;

$$E_{yıl,yalıtımlı4} = \frac{86400 \times 2874}{(0,6348 + 1,143) \times 0,93}$$

$$E_{yıl,yalıtımlı4} = 150,02 \text{ MJ/m}^2\text{yıl}$$

İldeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak 4 cm XPS yalıtım uygulaması ile ildeki yalıtımlı binaları ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı;

$$E_{yıl,yalıtımlı4} = 150,02 \text{ MJ/m}^2\text{yıl} \times 756149,11 \text{ m}^2$$

$$E_{yıl,yalıtımlı4} = 113\,437\,489,48 \text{ MJ/yıl}$$

değeri bulunur.

5 cm XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılmış bina dış duvarının birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl,yalıtımlı5}$;

$$E_{yıl,yalıtımlı5} = \frac{86400 \times 2874}{(0,6348 + 1,430) \times 0,93}$$

$$E_{yıl,yalıtımlı5} = 129,312 \text{ MJ/m}^2\text{yıl}$$

İldeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak 5 cm XPS yalıtım uygulaması ile ildeki yalıtımlı binaları ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı;

$$E_{yıl,yalıtımlı5} = 129,312 \text{ MJ/m}^2\text{yıl} \times 756149,11 \text{ m}^2$$

$$E_{yıl,yalıtımlı5} = 97\,779\,153,71 \text{ MJ/yıl}$$

değeri bulunur.

8 cm XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılmış bina dış duvarının birim alanı için yıllık enerji ihtiyacı $E_{yıl,yalıtımlı8}$;

$$E_{yıl,yalıtımlı8} = \frac{86400 \times 2874}{(0,6348+2,285) \times 0,93}$$

$$E_{yıl,yalıtımlı8} = 91,445 \text{ MJ/m}^2\text{yıl}$$

İldeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak 8 cm XPS yalıtım uygulaması ile ildeki yalıtımlı binaları ısıtmak için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı;

$$E_{yıl,yalıtımlı8} = 91,445 \text{ MJ/m}^2\text{yıl} \times 756149,11 \text{ m}^2$$

$$E_{yıl,yalıtımlı8} = 69\,146\,055,36 \text{ MJ/yıl}$$

değeri bulunur.

Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı ($E_{yıl,yalıtımsız}$) yalıtımsız dış duvarın birim alanı için Eşitlik 2.32 ve Çizelge 2.4'den faydalanılarak hesap edilir.

$$E_{yıl,yalıtımsız} = \frac{86400 \times DG}{(R_{duvar,toplam}) \times \eta}$$

$$E_{yıl,yalıtımsız} = \frac{86400 \times 2874}{0,6348 \times 0,93}$$

$$E_{yıl,yalıtımsız} = 420,611 \text{ MJ/m}^2\text{yıl}$$

olarak bulunur.

İldeki toplam yalıtımsız binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak ildeki yalıtımsız binalardan ısıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı;

$$E_{yıl,yalıtımsız} = 420,611 \text{ MJ/m}^2\text{yıl} \times 1655040,66 \text{ m}^2$$

$$E_{yıl,yalıtımsız} = 696\,128\,029,44 \text{ MJ/yıl}$$

değeri bulunur.

Yıllık yakıt maliyeti ile yakıtın birim fiyatının çarpılması yakıtın maliyetini verir. Birim yüzey alan yalıtımsız dış duvar için ısıtmanın yıllık maliyeti Eşitlik 2.33'den faydalanılarak aşağıdaki gibi hesap edilir.

$$C_A = \frac{86400 \times DG \times C_{ykt}}{(R_{duvar,toplam} + R_{izo}) \times H_u \times \eta}$$

Bu formülde yalıtımsız dış duvar için yalıtım direnci olan $R_{izo} = 0$ alınır. Çizelge 3.2'den doğal gaz için yakıtın maliyeti $C_{ykt} = 0,97$ TL/m³, yakıtın alt ısı değeri $H_u = 34\,526\,000$ J/kg, derece gün sayısı Çizelge 2.4'den 2874 ve doğal gazın verimi $\eta = 0,93$ olarak alınır ve yukarıda hesaplanan $R_{duvar,toplam} = 0,6348$ m²K/W hesaba dahil edilirse A ;

$$C_{A,yalıtımsız} = \frac{86400 \times 2874 \times 0,97}{(0,6348+0) \times 34526 \times 10^3 \times 0,93}$$

$$C_{A,yalıtımsız} = 11,817 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

4 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim yüzey alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti;

$$C_{A,yalıtımlı,4} = \frac{86400 \times 2874 \times 0,97}{(0,6348+1,143) \times 34526 \times 10^3 \times 0,93}$$

$$C_{A,yalıtımlı,4} = 4,22 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

5 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim yüzey alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti;

$$C_{A,yalıtımlı,5} = \frac{86400 \times 2874 \times 0,97}{(0,6348+1,430) \times 34526 \times 10^3 \times 0,93}$$

$$C_{A,yalıtımlı,5} = 3,63 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

8 cm XPS yalıtımlı dış duvarın birim yüzey alanı için ısıtmanın yıllık maliyeti;

$$C_{A,yalıtımlı,8} = \frac{86400 \times 2874 \times 0,97}{(0,6348+2,285) \times 34526 \times 10^3 \times 0,93}$$

$$C_{A,yalıtımlı,8} = 2,57 \text{ TL/m}^2\text{yıl}$$

2012 yılı faiz oranı enflasyon oranından yüksek olduğu için ŞDF (şimdiki değer faktörü) hesap edilirken Eşitlik 2.34 ve Eşitlik 2.36'dan yararlanılır. Çizelge 2.4'de 2012 yılı için faiz oranı %13,75 ve enflasyon oranı %6,16 olarak verilmiştir. Gerçek faiz oranı r ise;

$$r = \frac{i - g}{1 + g}$$

$$r = \frac{0,1375 - 0,0616}{1 + 0,0616}$$

$$r = 0,0715$$

olarak hesaplanır.

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

Burada N , ömür süresidir ve 10 yıl olarak kabul edilmiştir.

$$\text{ŞDF} = \frac{(1 + 0,0715)^{10} - 1}{0,0715 \cdot (1 + 0,0715)^{10}}$$

$$\text{ŞDF} = 6,97$$

olarak hesap edilir ve bu değer Çizelge 2.4'de de yer almaktadır.

4 cm XPS yalıtım malzemesi için yalıtım maliyeti C_{ylt} , Eşitlik 2.37 ile bulunur.

$$C_{ylt} = C_{mlz} \cdot x$$

4 cm, 5cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesinin birim fiyatları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

$$C_{ylt4} = 150 \times 0,04$$

$$C_{ylt4} = 6 \text{ TL/m}^2$$

olarak bulunur. Aynı şekilde 5 cm ve 8 cm için hesap yapılırsa;

$$C_{ylt5}=150 \times 0,05$$

$$C_{ylt5}= 7,5 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{ylt8}= 150 \times 0,08$$

$$C_{ylt8}= 12 \text{ TL/m}^2$$

olarak hesap edilir.

Sonuç olarak 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS ile yalıtımı yapılan bina dış duvarının birim yüzey alanı için toplam ısıtma maliyeti Eşitlik 2.38'den faydalanılarak bulunur.

4 cm XPS için;

$$C_{t,izo,4}= C_{A,yalıtımlı,4} \times \text{\$DF} + C_{ylt4}$$

$$C_{t,izo,4}= 4,22 \text{ TL/m}^2 \times 6,97 + 6 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{t,izo,4}= 35,41 \text{ TL/m}^2$$

5 cm XPS için;

$$C_{t,izo,5}= C_{A,yalıtımlı,5} \times \text{\$DF} + C_{ylt5}$$

$$C_{t,izo,5}= 3,63 \text{ TL/m}^2 \times 6,97 + 7,5 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{t,izo,5}= 32,80 \text{ TL/m}^2$$

8 cm XPS için;

$$C_{t,izo,8}= C_{A,yalıtımlı,8} \times \text{\$DF} + C_{ylt8}$$

$$C_{t,izo,8}= 2,57 \text{ TL/m}^2 \times 6,97 + 12 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{t,izo,8}= 29,91 \text{ TL/m}^2$$

değerleri bulunur.

Yalıtımsız bir bina dış duvarının birim yüzey alanı için toplam ısıtma maliyeti ise;

$$C_{t,yalıtımsız} = C_{A,yalıtımsız} \times \text{ŞDF} + C_{yıl}$$

$$C_{t,yalıtımsız} = 11,817 \times 6,97 + 0$$

$$C_{t,yalıtımsız} = 82,36 \text{ TL/m}^2$$

Optimum yalıtım kalınlığı için Eşitlik 2.40'dan faydalanılır.

$$x_{opt} = 293,94 \times \left(\frac{DG \times C_{ykt} \times \text{ŞDF} \times k}{H_u \times C_{mlz} \times \eta} \right)^{1/2} - k \times R_{duvar,toplam}$$

$$x_{opt} = 293,94 \times \left(\frac{2874 \times 0,97 \times 6,97 \times 0,035}{34526 \times 10^3 \times 150 \times 0,93} \right)^{1/2} - 0,035 \times 0,6348$$

$$x_{opt} = 0,0882 \text{ m}$$

Yıllık toplam maliyet farkı A_s , 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi için Eşitlik 2.41 ile aşağıdaki gibi bulunur;

$$A_s = C_{t,yalıtımsız} - C_{t,izo,4}$$

$$A_{s,4} = 82,36 - 35,41$$

$$A_{s,4} = 46,95 \text{ TL/m}^2$$

4 cm XPS yalıtım malzemesi için geri ödeme süresi (PP) Eşitlik 2.42 ile;

$$PP_4 = \frac{C_{t,yalıtımsız}}{A_{s,4}} = \frac{82,36}{46,95}$$

$$PP_4 = 1,75 \text{ yıl}$$

$$A_s = C_{t,yalıtımsız} - C_{t,izo,5}$$

$$A_{s,5} = 82,36 - 32,80$$

$$A_{s,5} = 49,56 \text{ TL/m}^2$$

5 cm XPS yalıtım malzemesi için geri ödeme süresi (PP) Eşitlik 2.42 ile;

$$PP_5 = \frac{C_{t,yalıtımsız}}{A_{s,5}} = \frac{82,36}{49,56}$$

$$PP_5 = 1,66 \text{ yıl}$$

$$A_s = C_{t,yalıtımsız} - C_{t,izo,8}$$

$$A_{s,8} = 82,36 - 29,91$$

$$A_{s,8} = 52,45 \text{ TL/m}^2$$

8 cm XPS yalıtım malzemesi için geri ödeme süresi (PP) Eşitlik 2.42 ile;

$$PP_8 = \frac{C_{t,yalıtımsız}}{A_{s,8}} = \frac{82,36}{52,45}$$

$$PP_8 = 1,57 \text{ yıl}$$

olarak hesap edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Erzincan'daki Binalardan Olan Toplam Isı Kaybı

Erzincan'da bulunan binaların dış duvarları genellikle birbirine benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Bu nedenle hesaplamalar için geneli temsil edecek şekilde duvar kalınlığı ve bileşenleri seçilmiştir. Farklı dış duvar kalınlık ve bileşenleri ihmal edilmiştir. Birim alan için hesabı yapılan dış duvara ait özellik ve bilgiler Şekil 3.1 ile Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Materyal ve metot kısmında binalar ve dış duvarları ile ilgili verilen bilgiler ışığında ekonomik analiz incelenmiştir. Yalıtımsız dış duvar tabakasının toplam ısı transfer katsayısı $0,6348 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak, 4 cm XPS kaplı dış duvarın toplam ısı direnci $0,5625 \text{ W/m}^2\text{K}$, 5 cm XPS kaplı dış duvarın toplam ısı direnci $0,4843 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve 8 cm XPS kaplı dış duvarın toplam ısı direnci ise $0,3425 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Buradan, dış duvarın yalıtımsız halinden, dış duvara farklı kalınlıklarda yalıtım uygulaması sonucu yalıtım kalınlığı arttıkça kaçan ısı miktarının azaltıldığı görülmektedir. Uygulanan yalıtımın kalınlığı arttıkça duvardan kaçan ısı azalmakta ama yalıtım maliyeti ise artmaktadır.

Hesaplamalarda iç ortam ve dış ortam sıcaklıklarının 20°C ve $-10,7^\circ\text{C}$ olduğu materyal ve metot kısmında belirtilmiştir. Yalıtımsız dış duvarın birim alanından kaçan ısı miktarı hesaplamalar sonucu $48,361 \text{ W/m}^2$ olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi uygulanmış dış duvarların birim alanından kaçan ısı miktarları sırası ile $17,269 \text{ W/m}^2$, $14,86 \text{ W/m}^2$ ve $10,51 \text{ W/m}^2$ olarak hesap edilmiştir. Bu değerler Erzincan'daki toplam yalıtımlı ve yalıtımsız bina m^2 'leri ile çarpıldığında ildeki toplam ısı kaybı elde edilmiş olur.

Erzincan'daki toplam binaların ısı transfer yüzey alanı $2\,411\,189,77 \text{ m}^2$ olduğu, bunun ise $1\,655\,040,66 \text{ m}^2$ 'sinin yalıtımsız, $756\,149,11 \text{ m}^2$ 'sinin ise yalıtımlı olduğu kuramsal

temeller bölümünde istatistiki olarak açıklanmıştır. Yalıtımsız dış duvarın birim alanından olan ısı kaybı değeri ile ildeki yalıtımsız binaların ısı transfer yüzey alanı ($1\,655\,040,66\text{ m}^2$) çarpılırsa Erzincan'daki toplam yalıtımsız binalardan olan ısı kaybı 80,04 MW olarak bulunur. İldeki yalıtımlı binaların tamamının 4 cm XPS yalıtım malzemesi ile kaplı olduğu düşünülürse 4 cm XPS yalıtım malzemesi uygulanmış duvarın birim alanından olan ısı kaybı ile ildeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı çarpılırsa ildeki yalıtımlı (4 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 13,05 MW olarak bulunmuştur.

İldeki yalıtımlı binaların yalıtım kalınlığı hepsinde 5 cm (XPS) olursa, 5 cm XPS kaplı dış duvarın birim alanından olan ısı kaybı ve ildeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı çarpılıp ildeki yalıtımlı (5 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 11,23 MW değeri bulunmuştur.

Erzincan'daki yalıtımlı binaların yalıtım kalınlığı 8 cm (XPS) olursa, 8 cm XPS kaplı dış duvarın birim alanından olan ısı kaybı ve ildeki toplam yalıtımlı binaların ısı transfer yüzey alanı çarpılıp ildeki yalıtımlı (8 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 7,94 MW değeri hesap edilmiştir.

İldeki yalıtımlı binaların hepsi 4 cm XPS yalıtım malzemesi ile kaplı olursa, ildeki yalıtımsız ve yalıtımlı (4 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 93,09 MW olarak hesap edilmiştir.

Erzincan'daki yalıtımlı binaların tümü 5 cm XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılırsa, ildeki yalıtımsız ve yalıtımlı (5 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 91,27 MW olarak hesap edilmiştir.

Aynı şekilde ildeki yalıtımlı binaların tamamı 8 cm XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılırsa, ildeki yalıtımsız ve yalıtımlı (8 cm XPS) binalardan olan toplam ısı kaybı 87,98 MW olarak hesap edilmiştir.

Bu rakamlar ise, duvarlara uygulanan yalıtım kalınlığı arttırıldığında ildeki toplam ısı kaybının azalacağını göstermektedir. Isı kaybındaki azalma yakıt olarak tasarrufa neden olmaktadır.

4.2. İldeki Binaları Isıtmak İçin Gerekli Yıllık Enerji İhtiyacı

Yalıtımlı binalardan olan ısı kaybı, yalıtımsız binalardan olan ısı kaybına göre daha azdır. Binalardan olan ısı kaybı konfor sıcaklığını etkilemeyecek derecede ne kadar az olursa, ısıtma için gerekli enerji de o kadar az harcanmış olur. Ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlı olduğunu düşünürsek, enerjiden yaptığımız tasarruflar ülkemize mali açıdan katkı sağlayacaktır. Erzincan'daki yalıtımlı ve yalıtımsız binalardan olan ısı kaybı sonucu gerekli yıllık enerji ihtiyacı hesabı yapılmıştır.

Isıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı yalıtımsız dış duvarın birim alanı için 420,611 MJ/m²yıl olarak hesaplanmıştır. Dış duvara 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi uygulandığında dış duvarın birim alanından olan ısıtma için gerekli yıllık enerji ihtiyacı sırası ile 150,02 MJ/m²yıl, 129,312 MJ/m²yıl ve 91,445 MJ/m²yıl'dır. Bulunan değerlerden de görüldüğü gibi dış duvarın yalıtımsız haline 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi uygulandıkça ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı azalmaktadır. Bu ise enerjiden kar elde edildiğini göstermektedir. Bu değerler ildeki yalıtımlı ve yalıtımsız toplam binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılarak ilin ısıtma için gerekli yıllık enerjisi hesap edilmiştir. Erzincan'daki mevcut yalıtımsız binaların tümü için gerekli yıllık enerji ihtiyacı 696 128 029,44 MJ/yıl'dır. 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi kaplı yalıtımlı binaların tümü için yıllık enerji ihtiyacı sırası ile 113 437 489,48 MJ/yıl, 97 779 153,71 MJ/yıl ve 69 146 055,36 MJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Yalıtımsız ve 4 cm XPS ile yalıtılmış binalardan olan toplam yıllık enerji ihtiyacı 809 565 518,92 MJ/yıl olarak, yalıtımsız ve 5 cm XPS ile yalıtılmış binalardan olan toplam yıllık enerji ihtiyacı 793 907 183,15 MJ/yıl ve yalıtımsız ve 8 cm XPS ile yalıtılmış binalardan olan toplam yıllık enerji ihtiyacı 765 274 084,8 MJ/yıl olarak hesap edilmiştir.

4.3. İldeki Binalar İçin Yıllık Toplam Isıtma Maliyeti

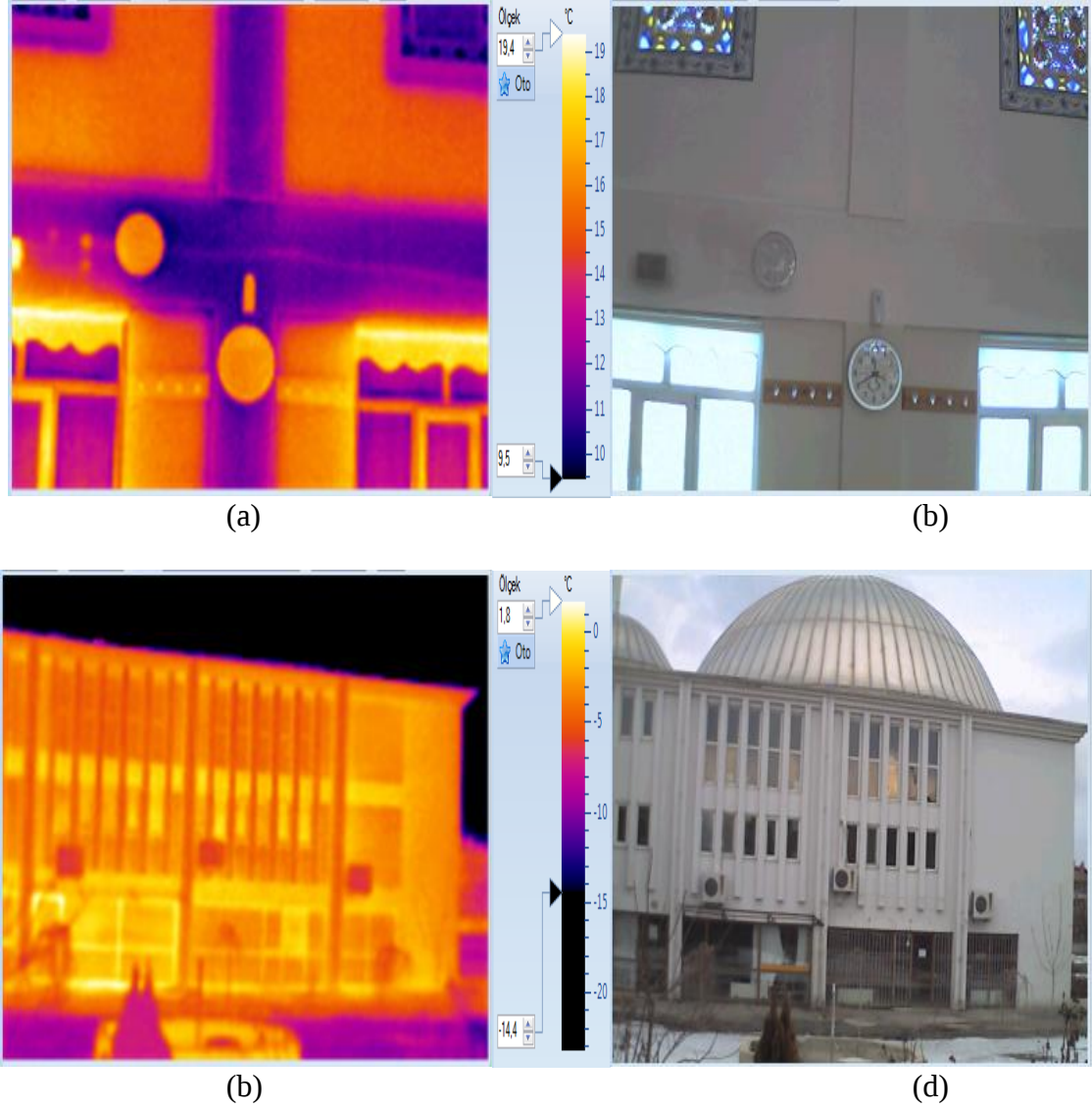
Dış duvarlar için ısıtmanın yıllık maliyeti, şimdiki değer faktörü ve yalıtım maliyetleri dikkate alınarak Erzincan'daki bina dış duvarlarının yalıtımlı ve yalıtımsız durumları dikkate alınarak toplam ısıtma maliyeti hesabı yapılmıştır. İldeki yalıtımsız binaların dış duvarlarının birim alanı için yıllık toplam ısıtma maliyeti 82,36 TL/m² olarak hesaplanmıştır. 4 cm XPS ile yalıtılmış dış duvarın birim alanının toplam ısıtma maliyeti yıllık olarak 35,41 TL/m², 5 cm XPS yalıtımlı dış duvar için 32,80 TL/m² ve 8 cm XPS yalıtımlı dış duvar için ise 29,91 TL/m² olarak bulunmuştur. Bu değerler ildeki yalıtımlı ve yalıtımsız toplam binaların ısı transfer yüzey alanı ile çarpılırsa ilin yıllık toplam ısıtma maliyeti bulunmuş olur. İldeki yalıtımsız binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 82,36 TL/m²yıl x 1 655 040,66 m² = 136 309 094,4 TL/yıl olarak hesaplanmış olur. Aynı şekilde 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi uygulanmış yalıtımlı binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti sırası ile 26 775 239,98 TL/yıl, 24 801 690,80 TL/yıl ve 22 616 419,88 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.4. Erzincan İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı Ve Geri Ödeme Süresi

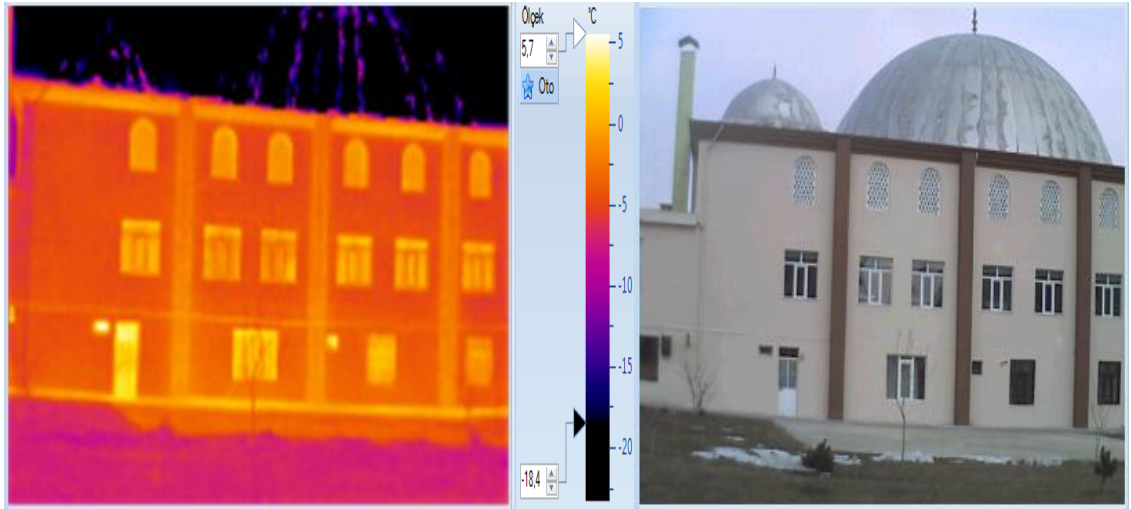
Dış duvarlara uygulanan yalıtımın kalınlığı arttıkça ısıtma giderleri düşmektedir. Isıtma giderleri dış duvarlara uygulanan yalıtım malzemesinin maliyeti ve geri ödeme süresi ile de ilgilidir. Duvarlara uygulanan yalıtım malzemesinin kalınlığı belirli bir kalınlığa kadar arttırılır. Bu noktadaki yalıtım malzemesinin kalınlığı optimumdur. Bu kalınlıktan daha fazla olan yalıtım malzemeleri ekonomik olmaktan çıkar. Erzincan ilindeki binalar için materyal ve metot bölümünde optimum yalıtım kalınlığı ve geri ödeme süreleri hesabı farklı kalınlıklardaki yalıtım malzemeleri için yapılmıştır. Erzincan ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,0882 m, geri ödeme süresi ise 4 cm, 5 cm ve 8 cm XPS yalıtım malzemesi için sırasıyla 1,75 yıl, 1,66 yıl ve 1,57 yıl olarak bulunmuştur. Yalıtım kalınlığı arttıkça geri ödeme süresi düşmektedir.

4.5. Erzincan'daki Çeşitli Binalara Ait Termal ve Gerçek Görüntüler

4.5.1. Camilere ait termal ve gerçek görüntüler

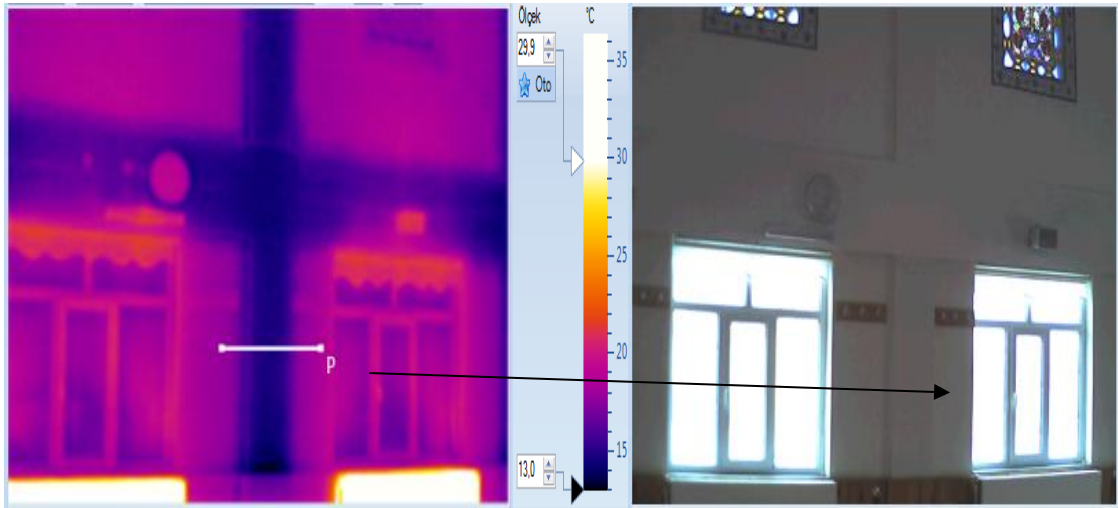


Şekil 4.1. (a) Isı yalıtımsız cami dış duvarının içten termal görüntüsü, (b) Isı yalıtımsız cami dış duvarının içten gerçek görüntüsü, (c) Isı yalıtımsız caminin dış duvar termal görüntüsü, (d) Isı yalıtımsız caminin dış duvar gerçek görüntüsü, (e) Isı yalıtımlı caminin dış duvar termal görüntüsü, (f) Isı yalıtımlı caminin dış duvar gerçek görüntüsü, (g) Dıştan ısı yalıtımlı cami dış duvarının içten termal görüntüsü, (h) Dıştan ısı yalıtımlı cami dış duvarının içten gerçek görüntüsü, (ı) (g)'deki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgilerin çizgi boyunca sıcaklık profili.



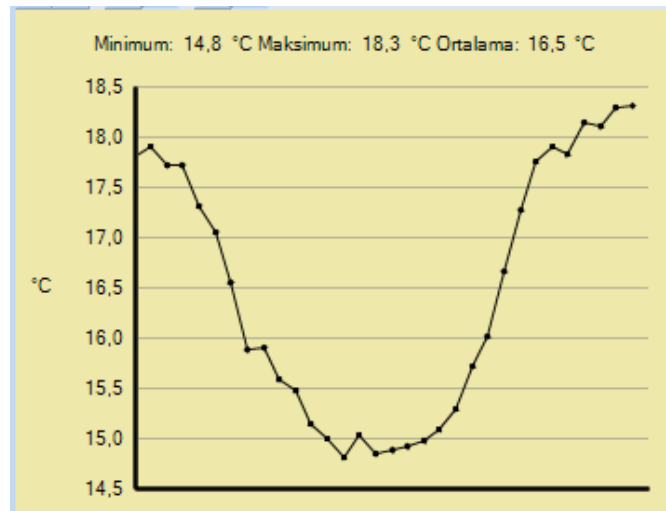
(e)

(f)



(g)

(h)



(i)

Şekil 4.1 (devam)

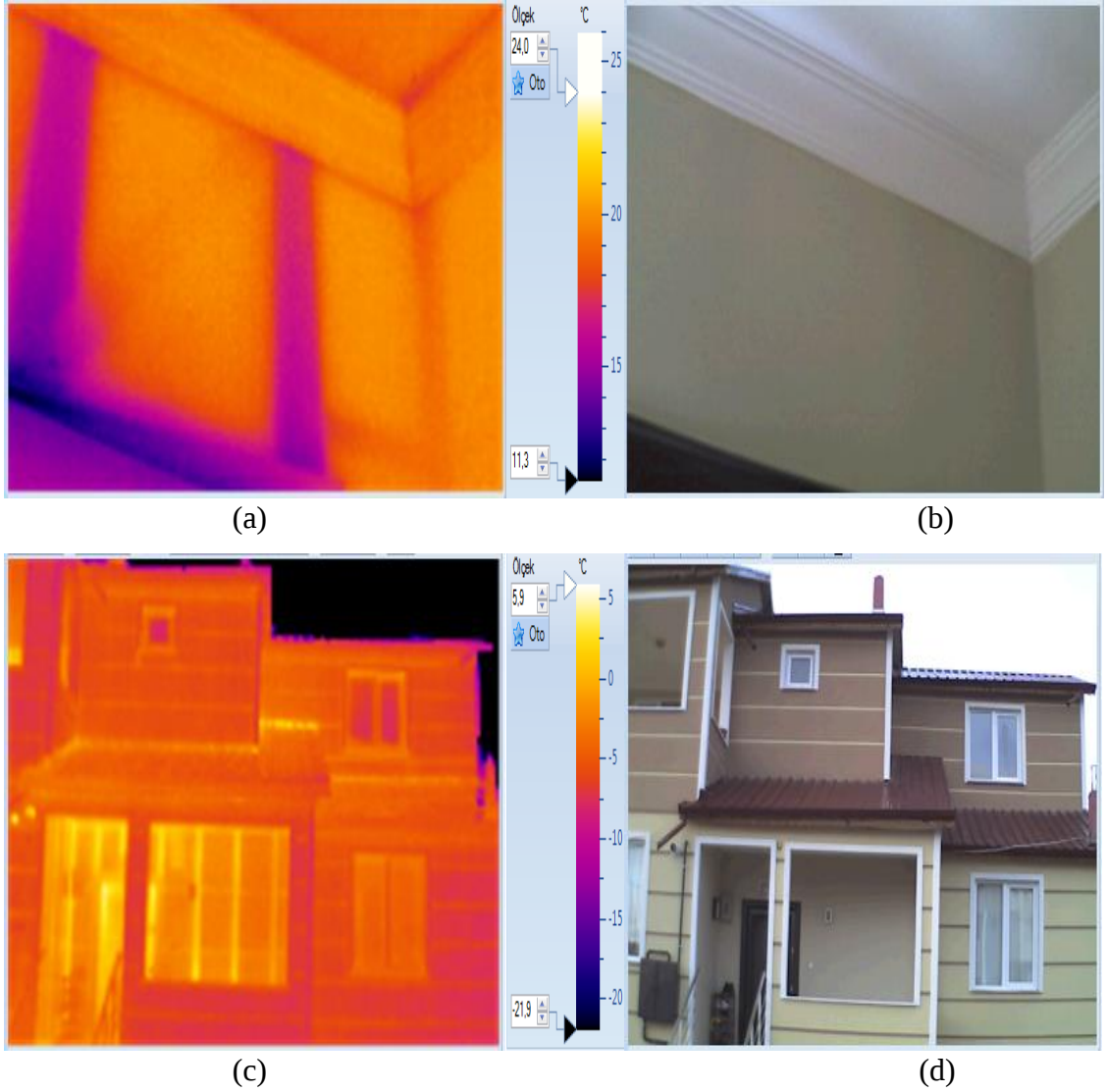
Şekil 4.1’de yalıtımlı ve yalıtımsız cami dış duvarlarına ait termal ve gerçek görüntüler verilmiştir. Termal görüntülerde açık sarı olan bölgeler sıcak alanları, koyu renkli kısımlar ise soğuk alanları göstermektedir. Şekil 4.1(a)’da verilen termal görüntüde kolon ve kirişlerin koyu renkte olduğu ve dolayısıyla daha soğuk bölgeler olduğu gözükmemektedir.

Şekil 4.1(c)’de verilen termal görüntüde, ısı yalıtımsız dış duvara sahip caminin kolon ve kirişleri açık sarı renkte görülmektedir. Bu ise dış ortama en fazla olan ısı kaybının caminin taşıyıcı sisteminden kaynaklandığını göstermektedir. Cami içerisinden dış ortama doğru en fazla ısı kaybı kolon ve kirişlerden olmaktadır.

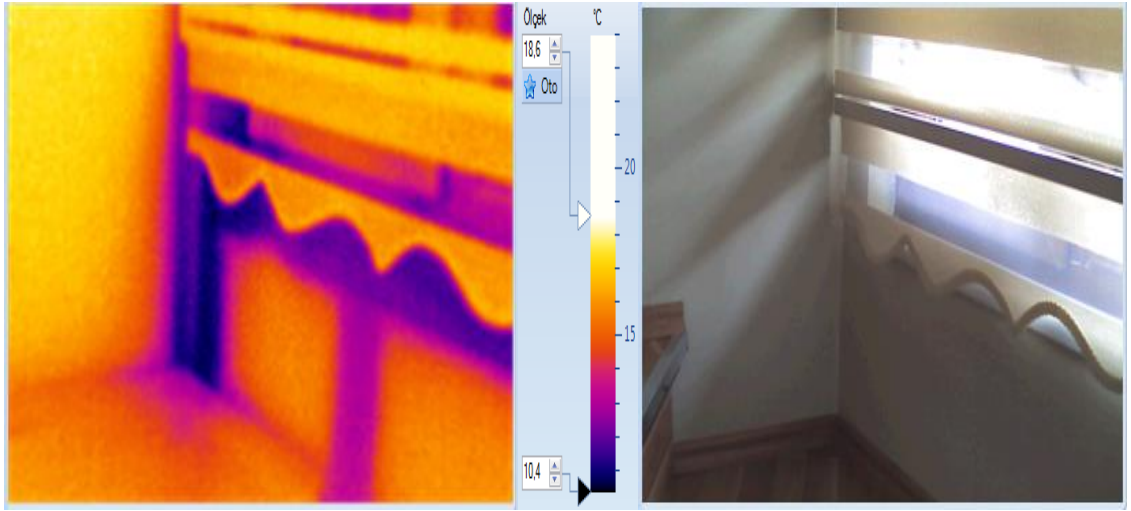
Şekil 4.1(e)’de verilen termal görüntüde, cami dış duvarları yalıtımlı olduğu için buralardan olan ısı kaybı az olmaktadır. Kolon ve kirişlerde yalıtıldığından yalıtımsız caminin taşıyıcı sistemine göre daha az ısı kaybı meydana gelmektedir.

Şekil 4.1(i) ise Şekil 4.1(g)’deki termal görüntü üzerinde gelişigüzel çizilen çizgi boyunca olan sıcaklık profilini göstermektedir. Şekil 4.1(i)’de görüldüğü gibi tuğla duvarın sıcaklığı fazla iken kolonun sıcaklığı tuğla duvara göre çok düşük değerdedir. Bu ise kolon ve kirişlerin ısı iletiminin tuğla duvara göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kolon ve kirişlerden olan ısı kaybını minimize edecek şekilde standartlara uygun yalıtım malzemesi seçmek gerekmektedir.

4.5.2. Çelik konstrüksiyonlu evlere ait termal ve gerçek görüntüler

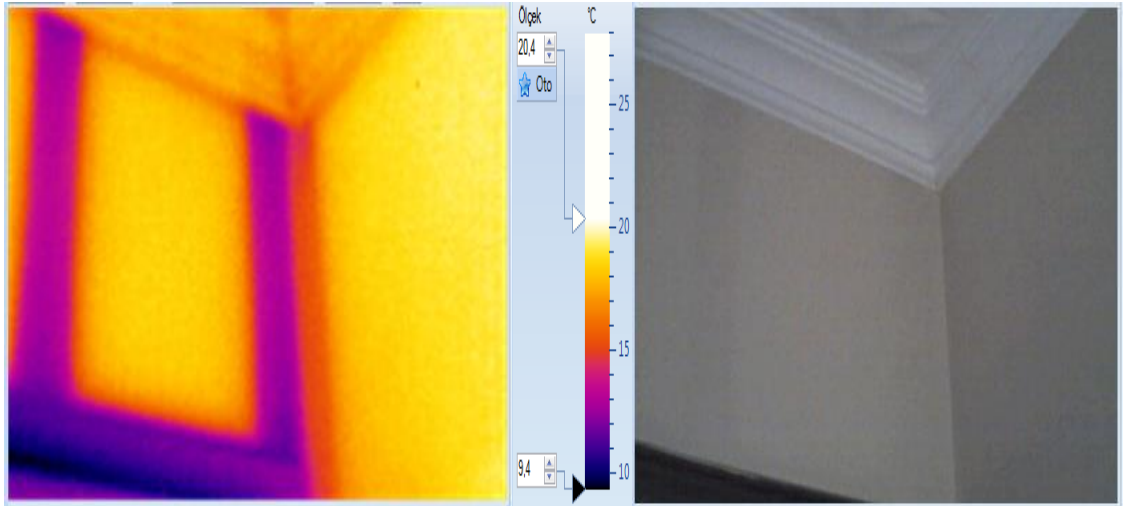


Şekil 4.2. (a) (e) (g) (i) Çelik evin dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı termal görüntüleri, (b) (f) (h) (i) Çelik evin dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı gerçek görüntüleri, (c) Çelik evin dıştan çekilmiş termal görüntüsü, (d) Çelik evin dıştan çekilmiş gerçek görüntüsü, (j) Şekil 4.2(i)'daki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgi boyunca sıcaklık dağılımı.



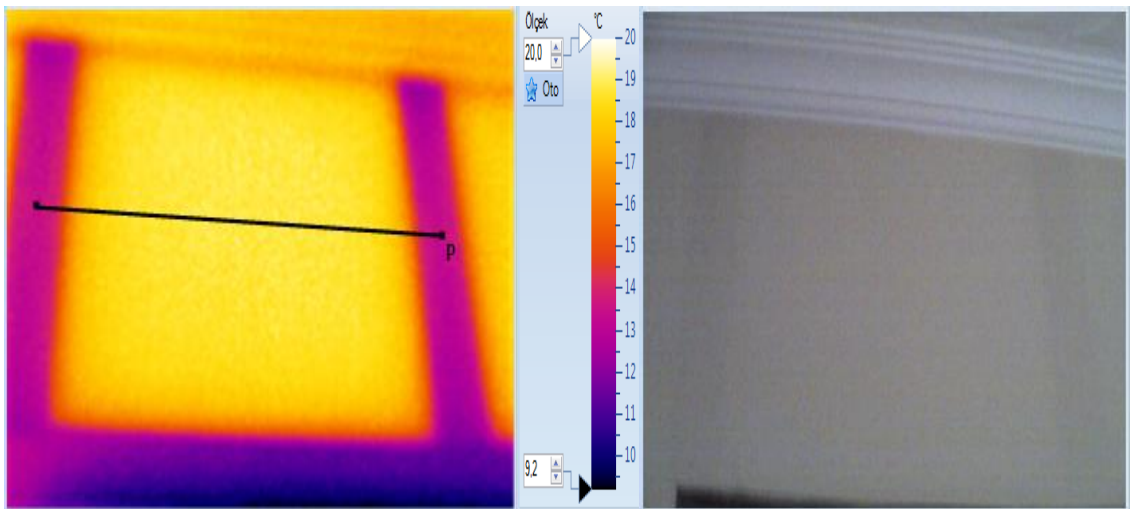
(e)

(f)



(g)

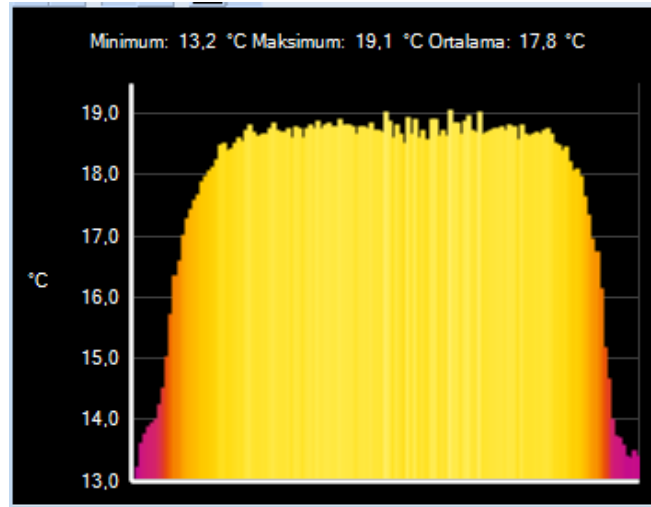
(h)



(i)

(i)

Şekil 4.2 (devam)



(j)

Şekil 4.2 (devam)

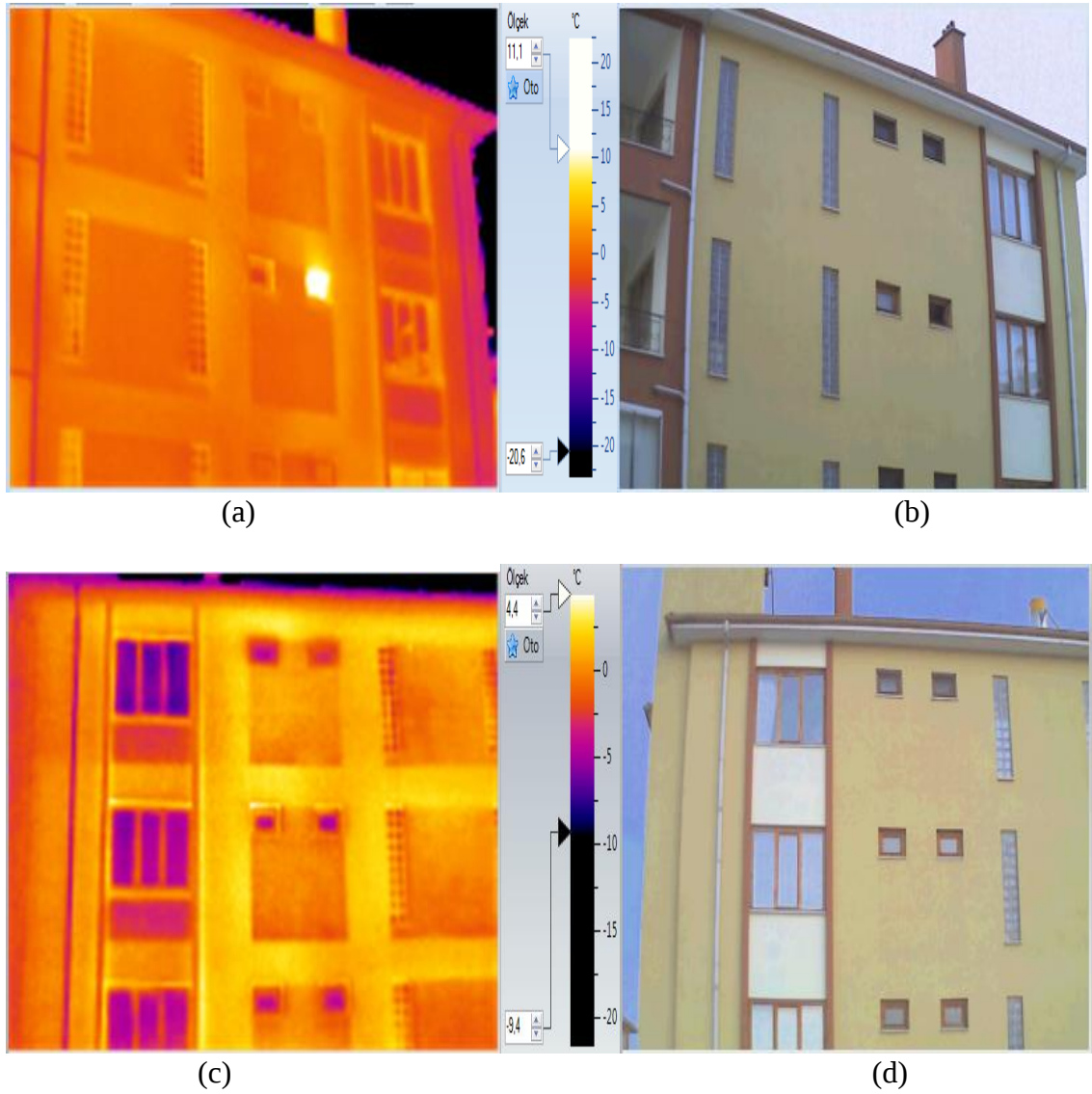
İlde farklı sistemle inşa edilmiş yapılardan bir diğeri de çelik konstrüksiyonlu yapılardır. Böyle yapılarda taşıyıcı sistem olarak çelik profiller kullanılmıştır. İlimiz deprem bölgesinde yer aldığından çelik yapılara olan talep gün geçtikçe artma eğilimi göstermektedir. Dayanıklılık açısından depreme karşı dayanıklı olan yapılardan olan ısı kayıpları termal görüntüler ile görselleştirilmiştir.

Şekil 4.2(a), Şekil 4.2(e), Şekil 4.2(g) ve Şekil 4.2(ı)'da bina içerisinden çekilmiş termal görüntüler yer almaktadır. Termal görüntü alınan bu bina dıştan yalıtımlı olduğu için bina dışından çekilen termal görüntüde taşıyıcı sistem belirgin olmamaktadır. Bina içerisinden çekilen termal görüntülerde açık sarı renk sıcak olan bölgeyi, koyu renkli kısımlar ise soğuk olan bölgeyi göstermektedir. Termal görüntüdeki renklerden anlaşıldığı üzere en fazla ısı kaybı çelik profillerin olduğu kısımlarda meydana gelmektedir. Gerçek resimlerde belirgin olmayan çelik profillerin olduğu bölgelerde ani sıcaklık değişimleri meydana gelmektedir. Örneğin çelik profil olan kısım soğuk iken çelik profil olmayan duvar çok sıcak alan oluşturmaktadır.

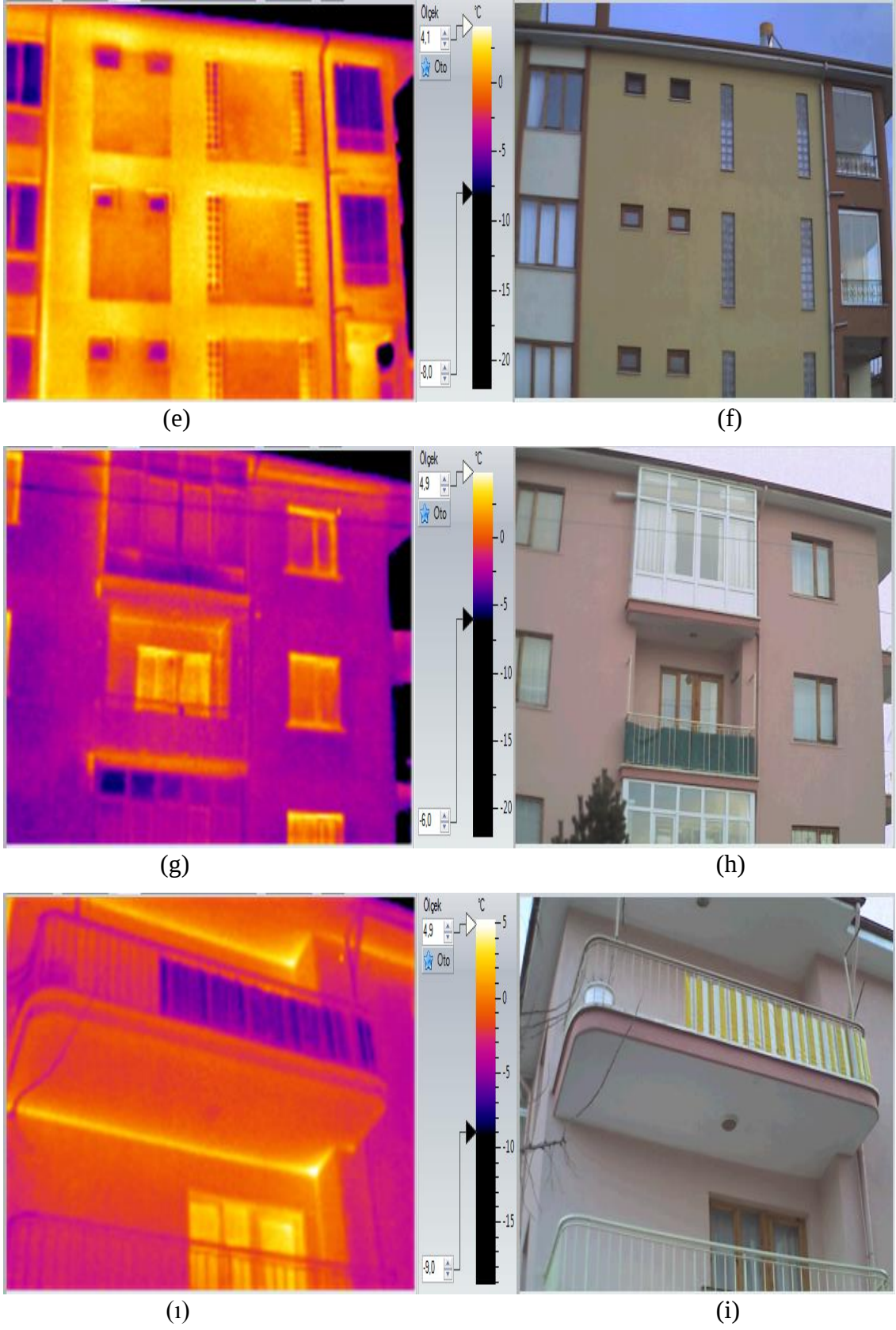
Şekil 4.2(ı)'daki termal görüntü üzerinde çizilen çizginin sıcaklık profili Şekil 4.2(j)'de verilmektedir. Şekil 4.2(j)'de de gösterildiği gibi iç ortamdan dış ortama ısı kaybı en fazla düşük sıcaklık alanları oluşturan çelik profillerden meydana gelmektedir. Bu

nedenle elik profiller yapı inşa aşamasında iken uygun kalınlıkta ve standartlara uygun ısı yalıtım malzemesi ile yalıtılması gerekmektedir.

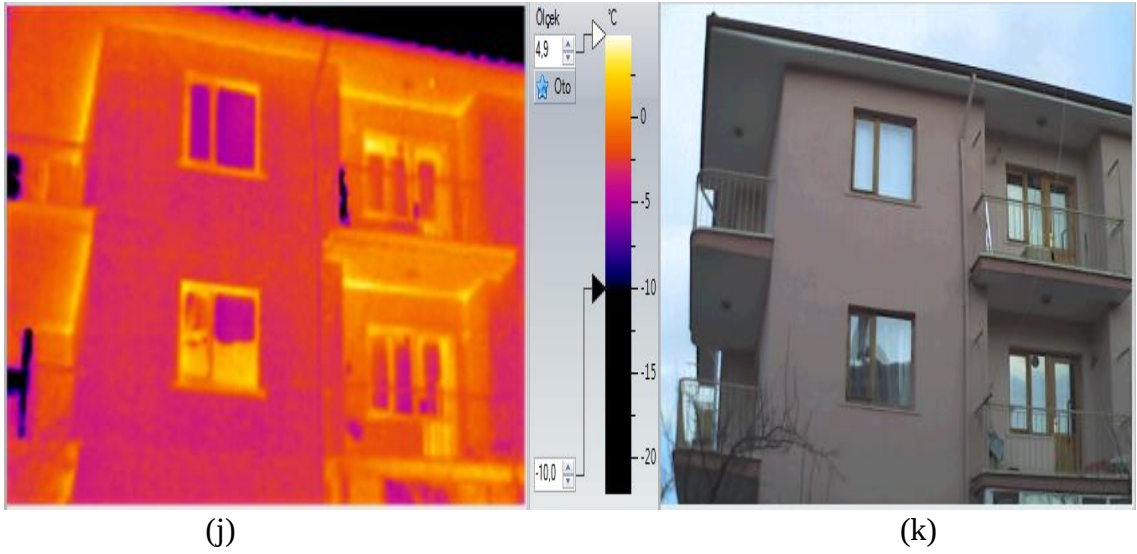
4.5.3. Çok katlı evlere ait termal ve gerçek görüntüler



Şekil 4.3. (a) (c) (e) Isı yalıtımsız çok katlı binanın dış duvar termal görüntüleri, (b) (d) (f) Isı yalıtımsız çok katlı binanın dış duvar gerçek görüntüleri, (g) (ı) (j) Isı yalıtımlı çok katlı binanın dış duvar termal görüntüleri, (h) (i) (k)) Isı yalıtımlı çok katlı binanın dış duvar gerçek görüntüleri.



Şekil 4.2 (devam)



Şekil 4.2 (devam)

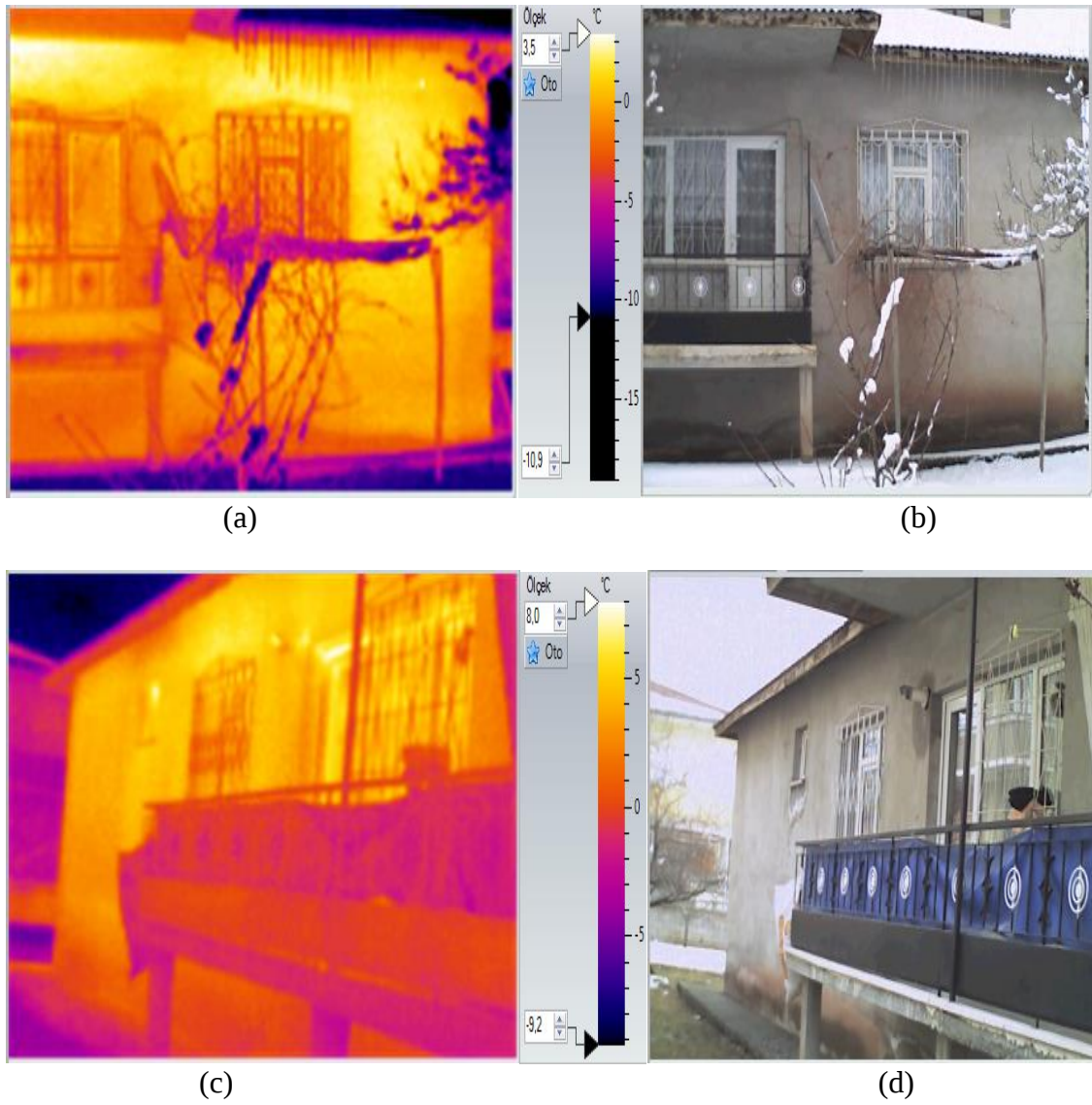
İldeki binaların çoğu müstakil, 2 katlı ve 3 katlı binalardan oluşmaktadır. 4 katlı ve 5 katlı bina sayısı oldukça azdır. Erzincan ili deprem bölgesinde olduğu için fazla katlı bina çok az yapılmaktadır. İldeki hemen hemen tüm mahallelerde yoğunluk en fazla müstakil, 2 katlı ve 3 katlı binalardadır. Bu binalardan olan ısı kaybı ilin enerji portresinin büyük bir oranını ortaya koymaktadır.

Şekil 4.3(a), Şekil 4.3(c) ve Şekil 4.3(e)'deki termal görüntüler 3 katlı yalıtımsız bir binaya aittir. Bu termal görüntülerde açık sarı ısı kaybının fazla olduğu bölgeleri göstermektedir. Termal görüntülerde binanın taşıyıcı sistemi olan kolon ve kirişlerde, tuğla duvara nazaran daha fazla ısı kaybı olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3(g), Şekil 4.3(i) ve Şekil 4.3(j)'de verilen termal görüntüler 3 katlı yalıtımlı bir binaya aittir. Yalıtımlı bina termal görüntüleri ile yalıtımsız bina termal görüntüleri arasında renk farkı vardır. Bu ise yalıtımsız bina dış duvarlarından ısı kaybının fazla olduğunu göstermektedir. Yalıtımsız bina sakinleri ısınma için, yalıtımlı bina sakinlerine göre daha fazla maddiyat ödemektedir.

Şekil 4.3(g), Şekil 4.3(ı) ve Şekil 4.3(j)'de verilen termal görüntülerden balkon bölgelerinin yalıtılmadığı ve buralardan olan enerji kaybının dış duvara göre fazla olduğu açık sarı renklerle belirtilmiştir. Bina dış yüzeyine bakan bütün yapı elemanlarını bir bütün olarak ele alarak ısı konfor için parça yalıtım yerine tüm dış cephenin yalıtımının yapılması gerekmektedir.

4.5.4. Müstakil evlere ait termal ve gerçek görüntüler

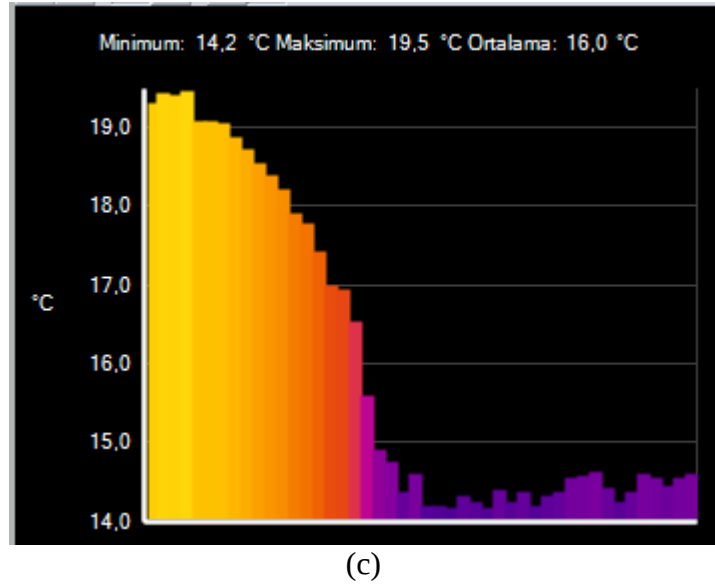
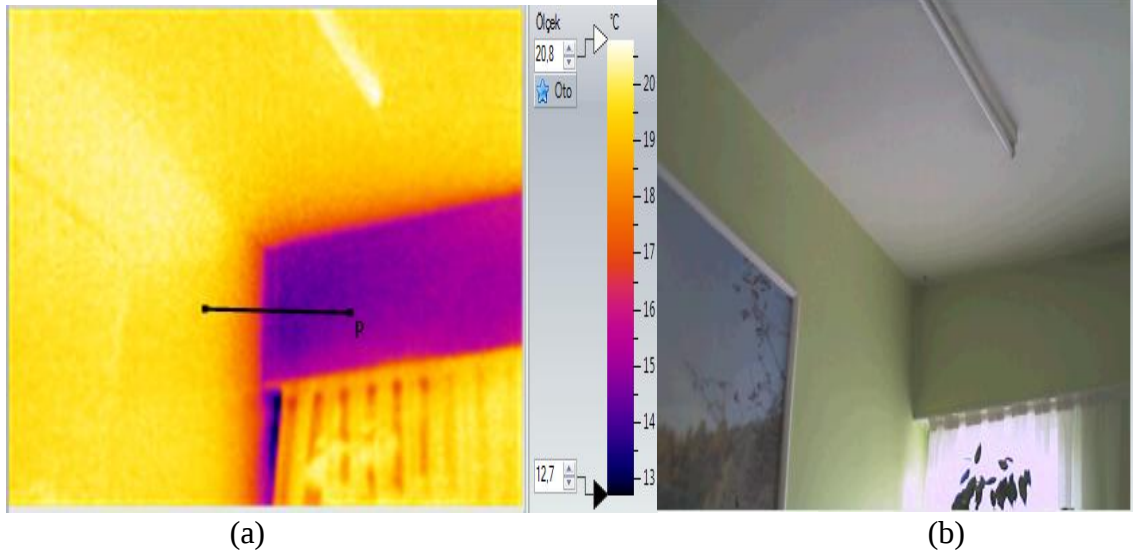


Şekil 4.4. (a) (c) Yalıtımsız müstakil evin farklı cephelerine ait termal görüntüler, (b) (d) Yalıtımsız müstakil evin farklı cephelerine ait gerçek görüntüler.

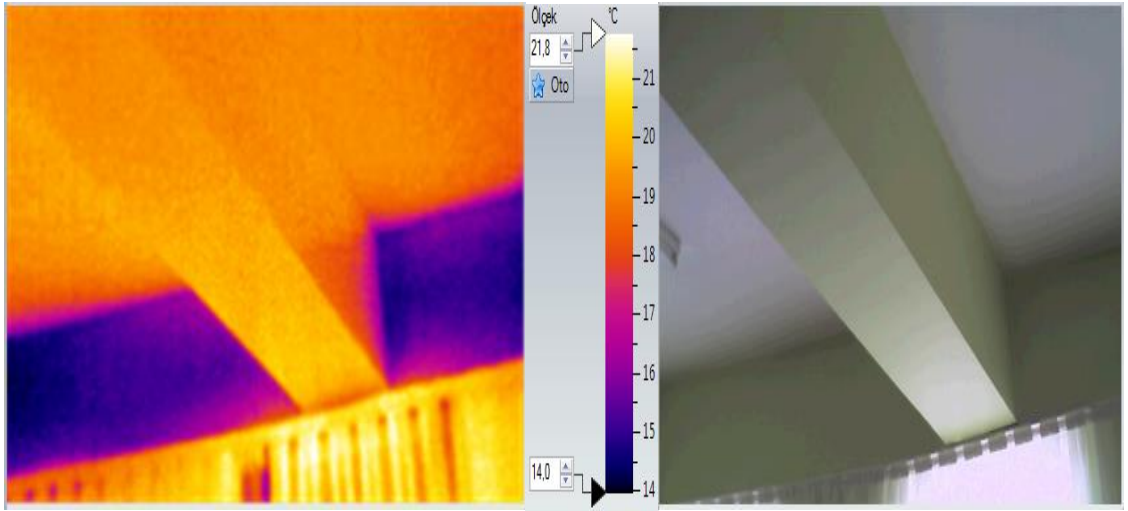
İldeki bina oranlarının önemli bir kısmını müstakil evler, 2 katlı ve 3 katlı evlerin oluşturduğu bilinmektedir. Müstakil ev sahipleri doğal gazın Erzincan'a gelmesiyle birlikte evlerinde ısınma aracı olarak kombiyi tercih etmektedirler. Yalıtımsız evde kombiyi kullandıklarında ise ısınma sorunu ortaya çıkmaktadır. Daha yüksek sıcaklıkta kombiyi çalıştırırım derken diğer taraftan doğal gaz faturası yüksek gelmektedir. Dolayısıyla ildeki müstakil ev sakinlerinin birçoğu evdeki ısınmama sorununu doğal gaza mal etmektedirler.

Şekil 4.4(a) ve Şekil 4.4(c)'de yalıtımsız müstakil eve ait termal görüntüler verilmektedir. Dış duvarları yalıtımsız olduğu için evin dört bir tarafından ısı kaybı meydana gelmektedir. Ayrıca ildeki müstakil evlerin birçoğunun tabanı toprak ile direkt temas halinde olduğu için tabandan da ısı kaybı meydana gelmektedir. Tüm bu sıkıntıları minimize etmek için binanın dış duvarları, tavanı, pencereleri ve dış kapısı ısı yalıtımlı olmalıdır.

4.5.5. Okullara ait termal ve gerçek görüntüler

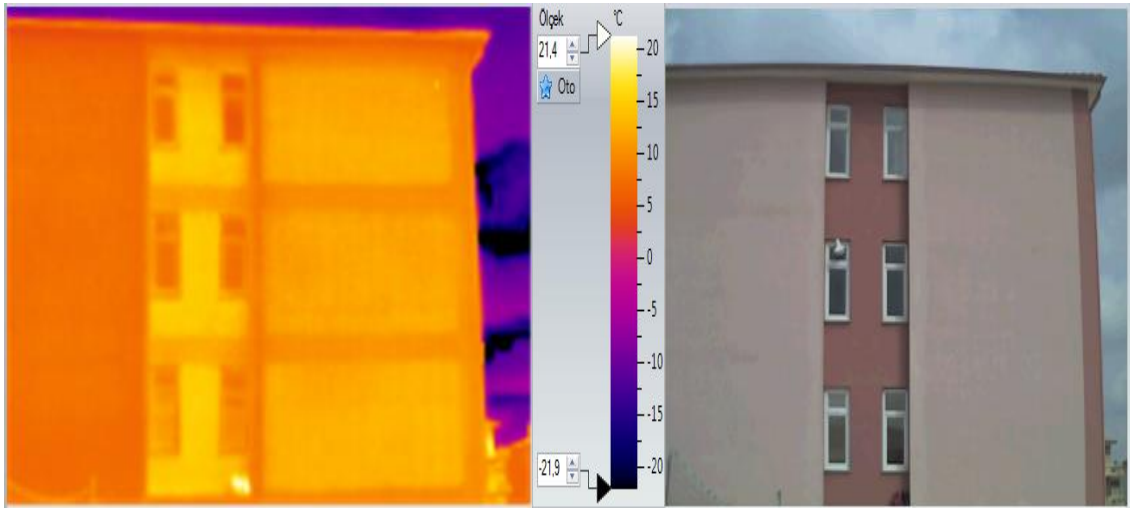


Şekil 4.5. (a) (d) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı termal görüntüler, (b) (e) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina içinden çekilmiş farklı gerçek görüntüler, (c) Şekil 5(a)'daki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizgi boyunca sıcaklık dağılımı, (f) (h) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı termal görüntüler, (g) (i) Isı yalıtımsız okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı gerçek görüntüler, (j) Isı yalıtımlı okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı termal görüntü, (j) Isı yalıtımlı okulun dış duvarına ait bina dışından çekilmiş farklı gerçek görüntü.



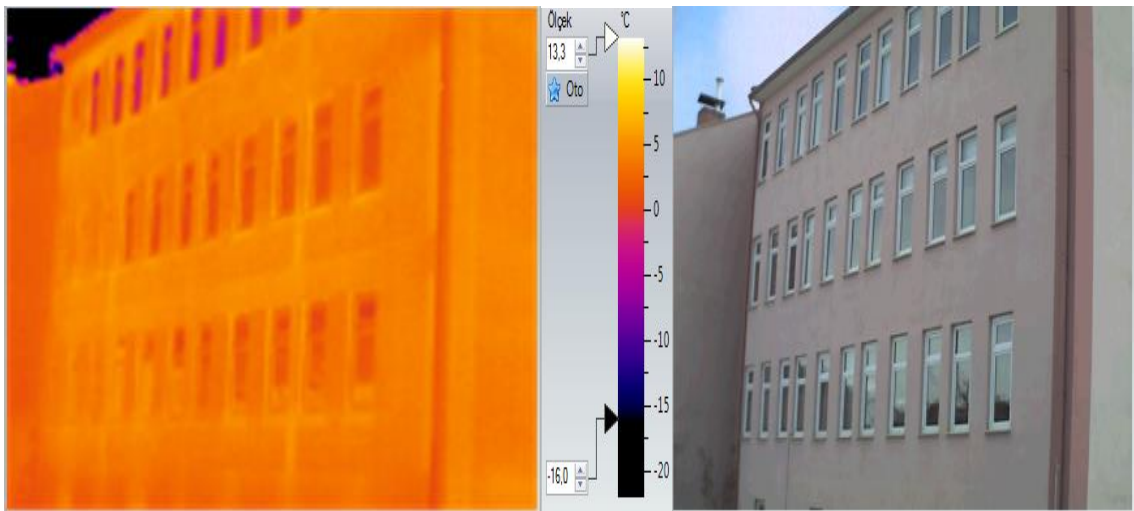
(d)

(e)



(f)

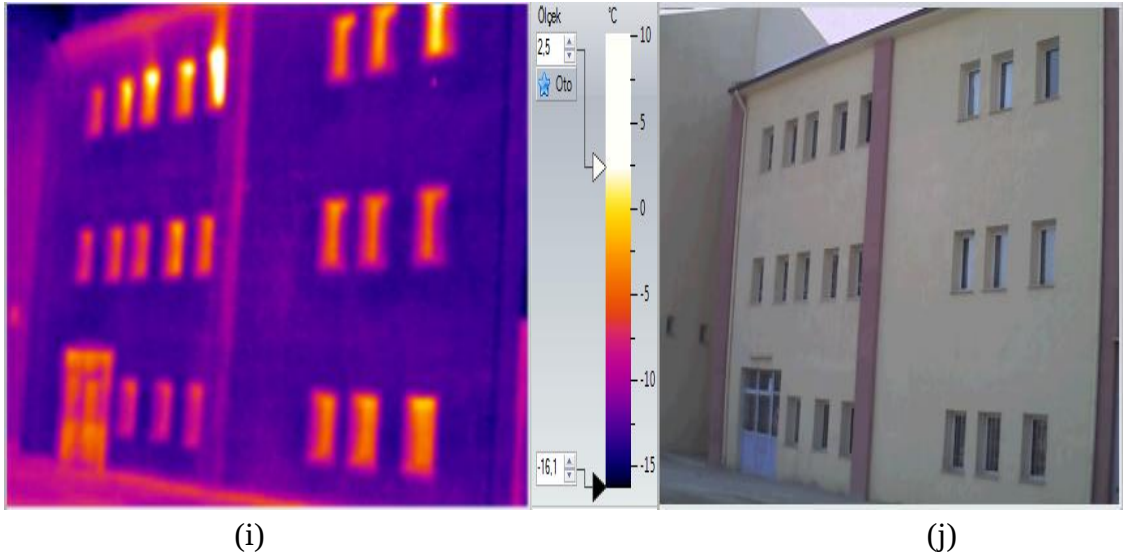
(g)



(h)

(i)

Şekil 4.2 (devam)

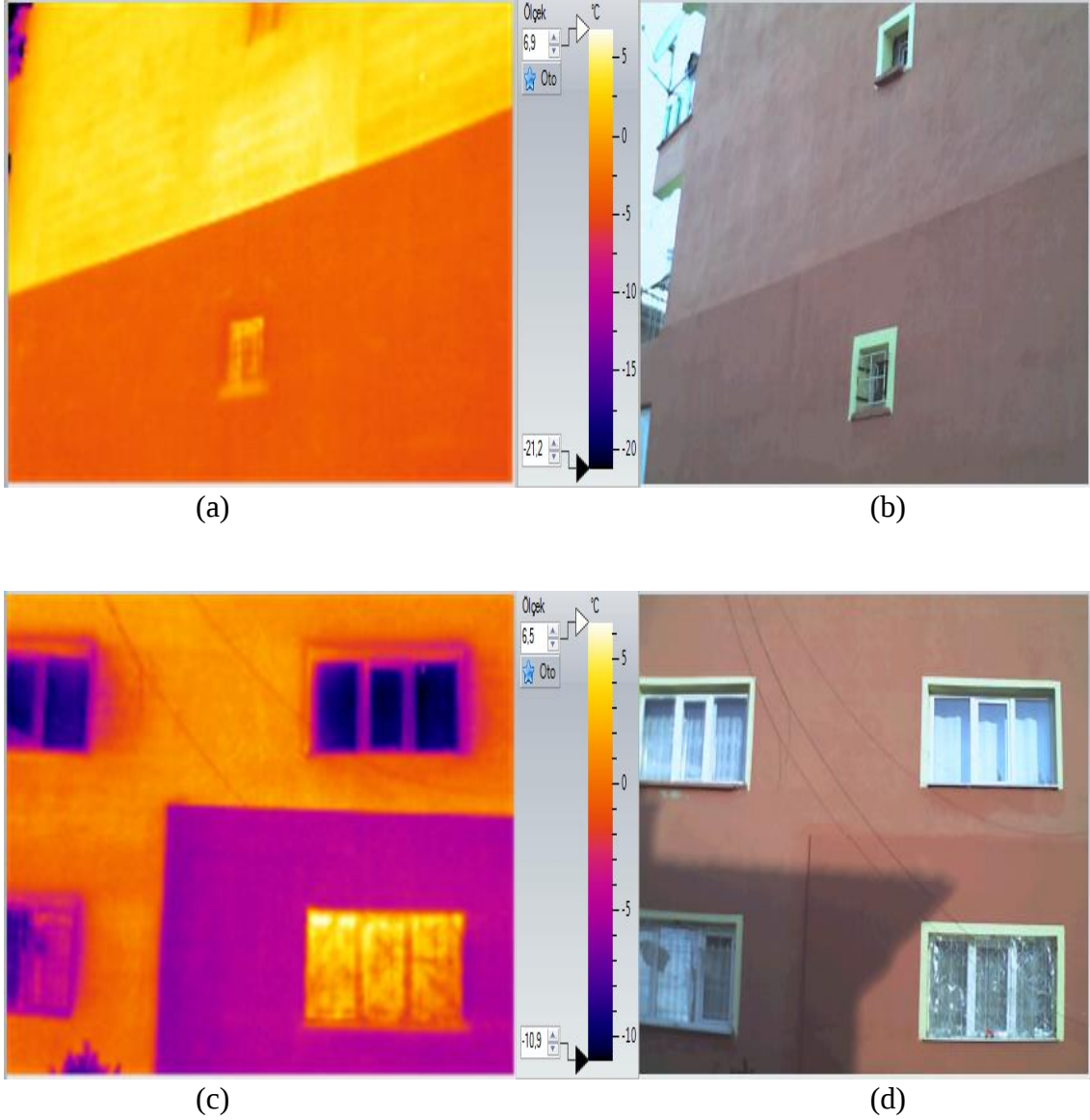


Şekil 4.2 (devam)

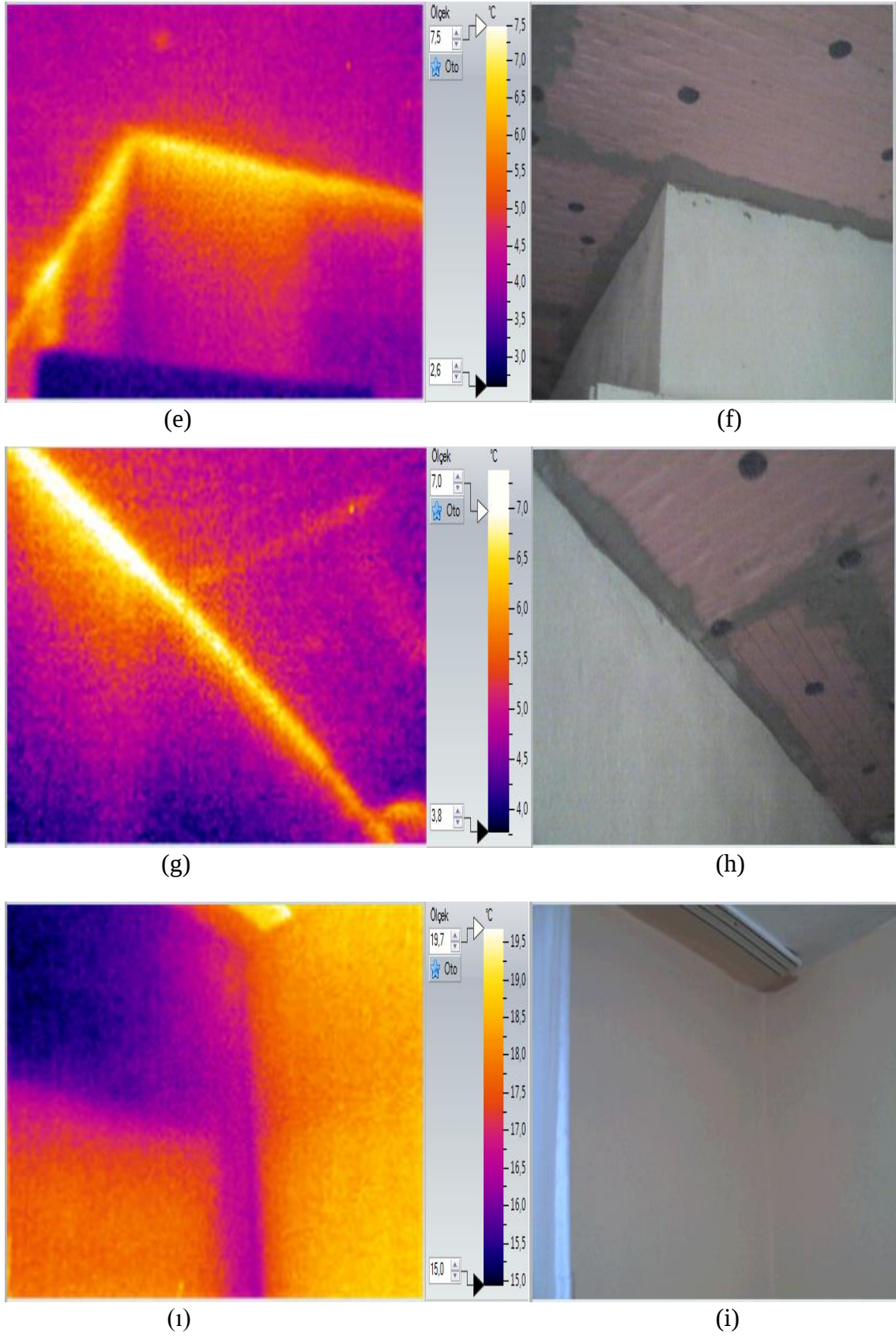
Şekil 4.5(a) ve Şekil 4.5(d)'de ısı yalıtımsız okula ait bina içerisinden çekilmiş termal görüntüler verilmektedir. Termal kameralar ısıya duyarlı olduklarından sıcaklığı yüksek olan bölgeleri açık sarı renkte, soğuk ve sıcaklığı düşük olan bölgeleri ise koyu renk olarak göstermektedir. Bu termal görüntülerde soğuk alan olan kiriş bölgesinin sıcaklığı tuğla duvarın sıcaklığından daha düşük değerlerde olduğu görüntülerde belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 4.5(d)'deki termal görüntüde bina içindeki kirişinde ısı köprüsü oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 4.5(c)'de verilen sıcaklık profili, Şekil 4.5(a)'daki termal görüntü üzerinde rastgele çizilen çizginin sıcaklık dağılımıdır. Tuğla duvar üzerinde herhangi bir noktada başlayan çizgi kiriş üzerinde sonlandırılmıştır. Şekil 4.5(c)'de görüldüğü üzere tuğla duvarın yüzey sıcaklığı kirişin yüzey sıcaklığından daha fazladır.

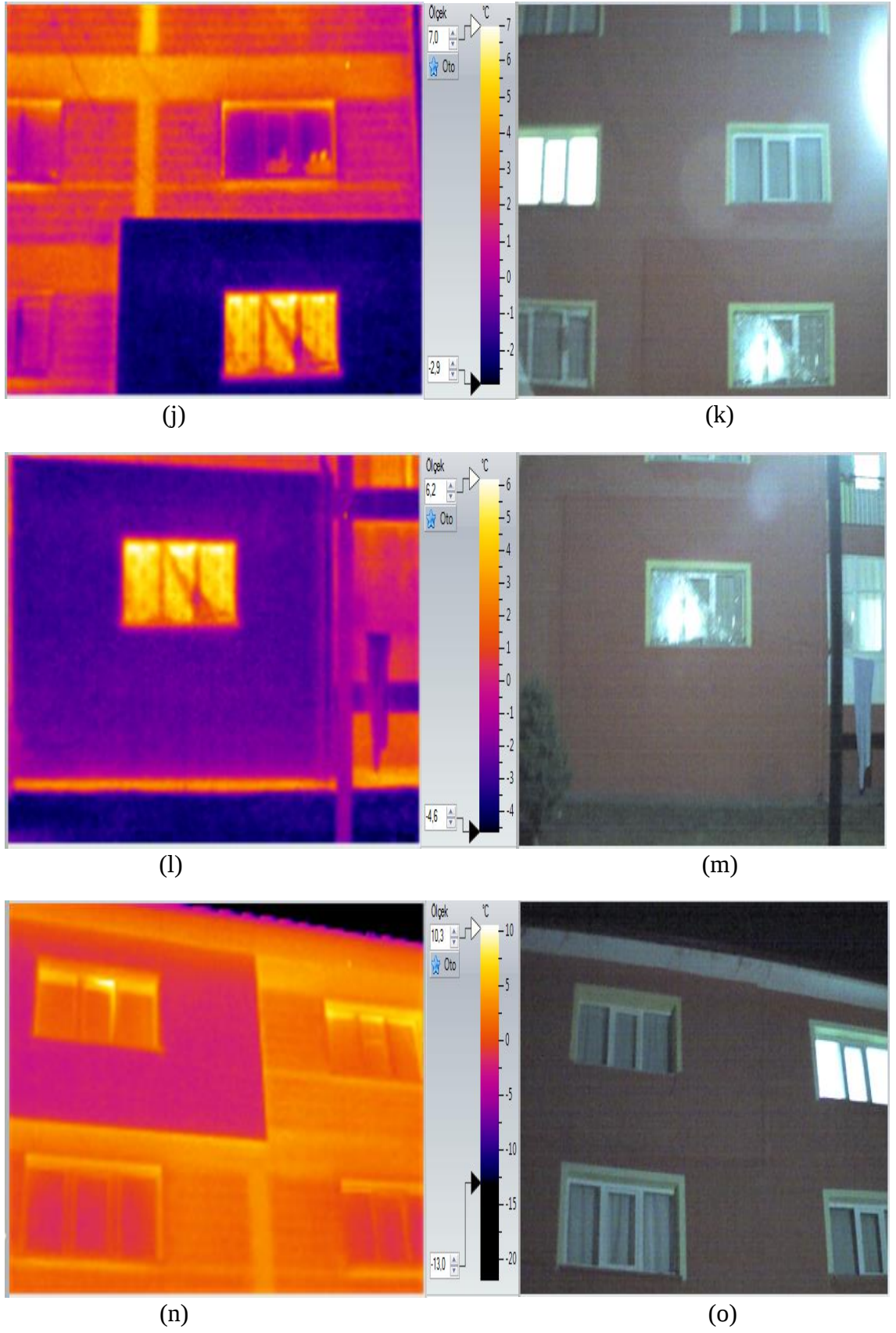
4.5.6. Parça yalıtımlı binalara ait termal ve gerçek görüntüler



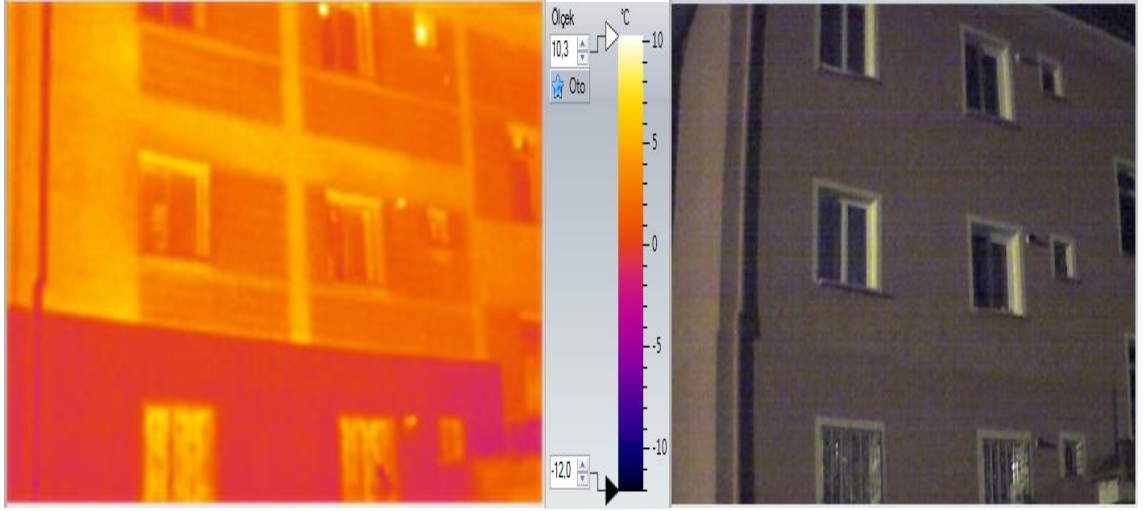
Şekil 4.6. (a) (c) Parça yalıtımlı binanın termal görüntüleri, (b) (d) Parça yalıtımlı binanın gerçek görüntüleri, (e) (g) Bina tabanına sonradan uygulanan yalıtımın termal görüntüleri, (f) (h) Bina tabanına sonradan uygulanan yalıtımın gerçek görüntüleri, (i) Isı yalıtımsız bina dış duvarının bina içerisinden çekilmiş termal görüntüsü, (j) Isı yalıtımsız bina dış duvarının bina içerisinden çekilmiş gerçek görüntüsü, (k) (m) (n) (ö) (r) (ş) (u) (v) Parça yalıtımlı binanın gece çekilmiş termal görüntüleri, (l) (p) (s) (t) (ü) (y) Parça yalıtımlı binanın gece çekilmiş gerçek görüntüleri.



Şekil 4.6 (devam)

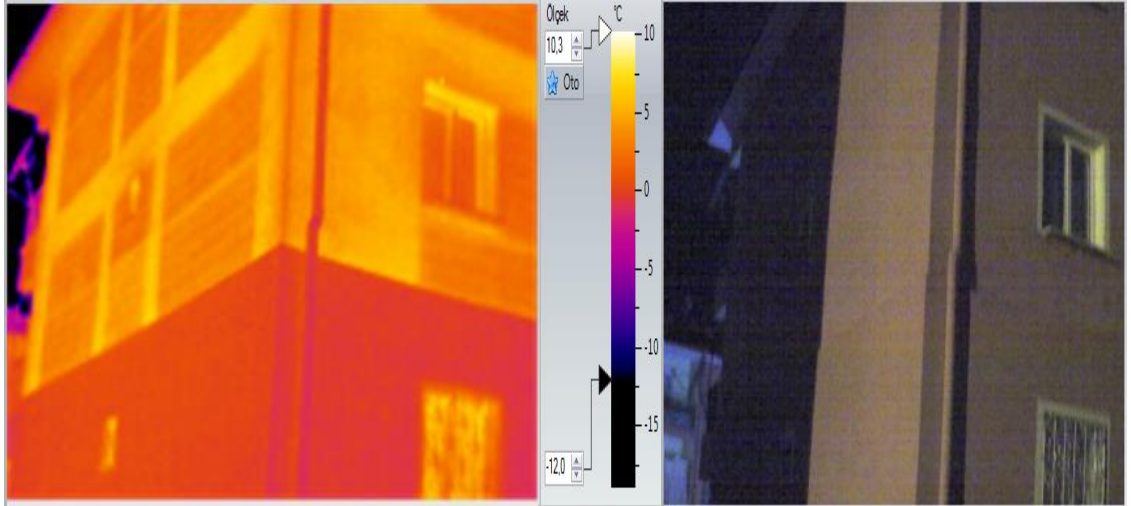


Şekil 4.6 (devam)



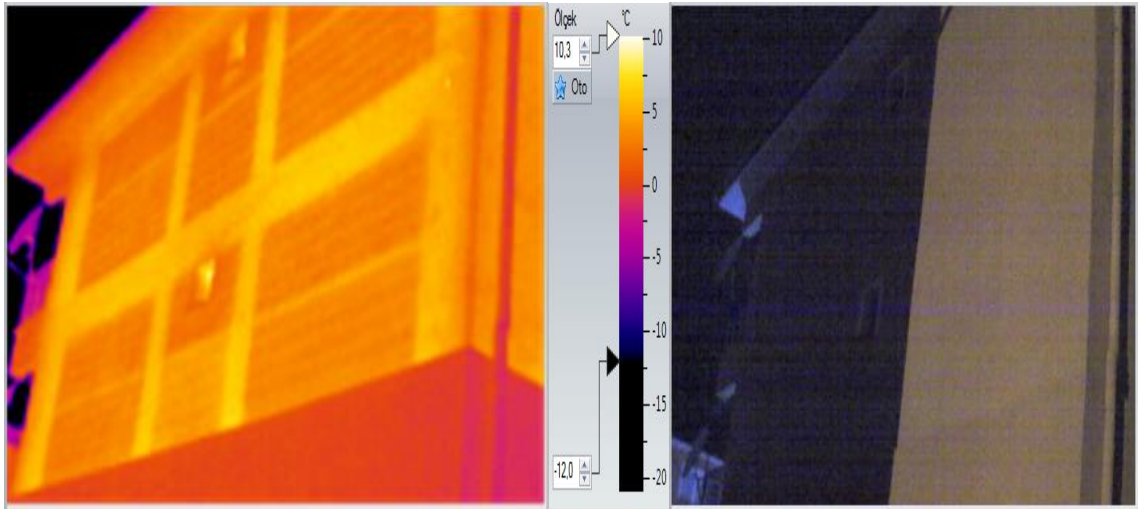
(ö)

(p)



(r)

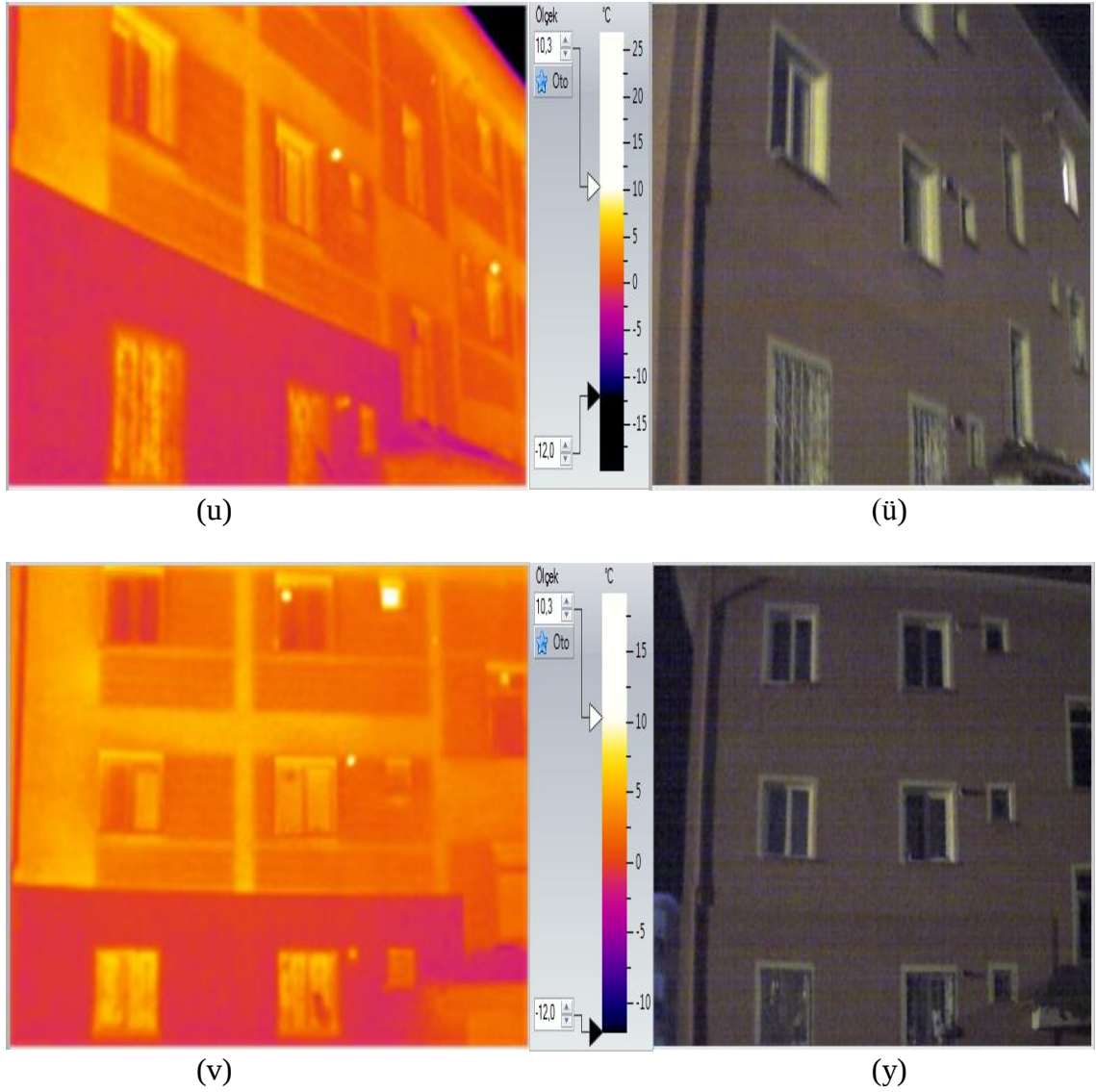
(s)



(ş)

(t)

Şekil 4.6 (devam)



Şekil 4.6 (devam)

Şekil 4.6(a)'da parça yalıtımlı binaya ait termal görüntü verilmektedir. Şekil 4.6(b)'de de görüldüğü gibi binanın dış duvarının alt kısmı ısı yalıtımlı iken üst kısmı ısı yalıtımsızdır. Yalıtımsız dış duvardan olan ısı kaybı açık sarı renk ile belirtilmektedir.

Şekil 4.6(c)'de ise parça yalıtımlı binanın farklı cephesinin termal görüntüsü verilmektedir. Isı yalıtımsız dış duvardan olan ısı kaybının, ısı yalıtımlı dış duvara oranla daha fazla olduğu termal görüntüdeki renk farkından anlaşılmaktadır.

Şekil 4.6(e)'de bina tabanına sonradan uygulanan ısı yalıtımının termal görüntüsü verilmektedir. Binanın inşa aşamasında iken taban yalıtımı uygulanmadığından sonradan uygulanan ısı yalıtım malzemesi ile taban alanının tamamı yalıtılmamıştır. Bodrum kattaki kömürlük mahallerini birbirinden ayıran duvarların taban ile kesiştiği yerler yalıtımsızdır. Bu birleşim noktalarına sonradan uygulanan yalıtım malzemesi ile yalıtılması mümkün olmamaktadır. Şekil 4.6(e)'de tabandan duvara doğru ısı kaybının meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.6(g)'deki termal görüntüde de Şekil 4.6(e)'ye benzer şekilde ısı kaybı meydana gelmektedir. Bu gibi sorunların ileride ortaya çıkmasını engellemek için bina inşa aşamasında yapıya gerekli yalıtımların yapılması gerekmektedir.

Şekil 4.6(ı)'da ısı yalıtımsız bina dış duvarının bina içerisinden çekilmiş termal görüntüsü verilmektedir. Termal görüntüdeki koyu renkli alan sıcaklığı düşük olan bölgeyi (kiriş) göstermektedir. Burada ise kolon ve kirişlerden olan ısı kaybının tuğla duvara göre daha fazla olduğu termal görüntüden anlaşılmaktadır. Optimum kalınlıkta ısı yalıtım malzemesi kolon, kiriş ve dış duvarlara uygulanarak ısı kaybını azaltmak mümkün olmaktadır.

Şekil 4.6(j), Şekil 4.6(l), Şekil 4.6(n), Şekil 4.6(ö), Şekil 4.6(r), Şekil 4.6(ş), Şekil 4.6(u) ve Şekil 4.6(v)'de parça yalıtımlı binanın farklı cephelerinden gece çekilmiş termal görüntüler verilmektedir. Bu görüntülerden açık sarı renkli olan kısımlardan görüldüğü üzere ısı kaybının binanın taşıyıcı sisteminden daha fazla gerçekleştiğidir. Resimlerden görüldüğü üzere binanın tek dairesi yalıtımlı iken diğer daireleri yalıtımsızdır. İldeki birçok binada buna benzer bir yalıtım uygulaması mevcuttur. Bunun nedeni ise daire sahiplerinin binanın tümüne yalıtım yaptırıp yaptırmama konusunda uyuşmazlığıdır. Bina sakinleri arasında meydana gelen uyuşmazlık sonucu binaya uygulanan parça yalıtımın yerine binanın tamamının yalıtılmış olması bina ısı konforu açısından daha verimli olmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Ülkemizde enerjinin büyük bir kısmı sanayide ve konutlarda tüketilmekte, konutlardaki enerjinin büyük bir kısmı ise ısınma için kullanılmaktadır. Isınma için harcanan enerji ne kadar fazla olursa veya bilinçsizce tüketilirse, enerji kaynakları bakımından fakir olan ülkemizin başka devletlere olan bağımlılığı süreklilik arz etmektedir. Dışa olan bağımlılığı azaltmak ve enerjiyi verimli kullanmak adına yetkili makamlarca yönetmelik (BEPY) çıkarılarak binalarda ısı yalıtımı konusunda zorunluluk getirilmiştir. 1 Ocak 2011 tarihinden itibaren yapılan binalarda ısı yalıtımı zorunlu kılınmıştır. Bu tarihten önce yapılan binaların ise 2 Mayıs 2017 tarihine kadar bina sahiplerince yalıtılması şart koşulmuştur.

Erzincan'daki yalıtımsız binalardan olan enerji kaybı ve buna bağlı olarak enerji maliyeti ülkemize ekonomi açısından yük olmaktadır. Erzincan halkı, hava kirliliği yok denecek kadar az olan, verimi diğer yakıtlara göre daha az ve fiyat bakımından daha ekonomik sayılan doğal gazı 2007 yılından itibaren kullanmaktadır. 2007 yılından günümüze doğal gaz kullanan abone sayısı arttıkça ildeki hava kirliliği aynı oranda azalmıştır. Evlerde doğal gazın yakıt olarak kullanılması ile birlikte, daha önce kullanılan katı ve sıvı yakıtlar önemini kaybetmektedir.

İldeki bina sahiplerinin ısı yalıtımı konusunda yeterli bilgiye sahip olmayışı yalıtımsız binalarda ısınamama sorununu gündeme getirmiştir. Doğal gazın il geneline yaygınlaşması ile birlikte binalarda ısı yalıtımı önem kazanmıştır. Erzincan'daki yalıtım firmaları ve ustalarının ısı yalıtımı konusunda yeterli eğitim almamış olması, uygulama sonrası binalarda bazı hataları meydana getirmiştir. Yalıtım malzemesine uygulama sırasında yeterli sayıda dübel çakılmaması, uygun olmayan zemine yalıtım yapılması, yalıtım levhasının uygulama sırasında günlerce olumsuz hava şartlarına maruz bırakılması, yalıtım levhasına yapıştırma harcının eksik ya da yanlış sürülmesi, uygun kalınlıkta ve gerekli standartlara sahip olmayan ısı yalıtım malzemesi kullanılması ve bina sakinleri arasındaki uyuşmazlık sonucu yapılan parça yalıtımlar ildeki başlıca ısı yalıtım hatalarıdır. Bu hataların bazılarını gözle görmemiz mümkün olmamaktadır.

Ancak uygulama sonrası üzerinden bir kış mevsimi geçtikten sonra bazı hatalar gözle görülmektedir. Örneğin, yalıtım levhasına yeterince sürülmeyen yapıştırma harcı sonucu yapılan ısı yalıtımlı bir binanın üzerinden bir kış mevsimi geçtikten sonra yalıtım levhalarının duvardan ayrılarak parçalandığı görülmektedir. Gözle görülmeyen yalıtım hatalarını termal kamera görüntüleri ile görmek mümkündür.

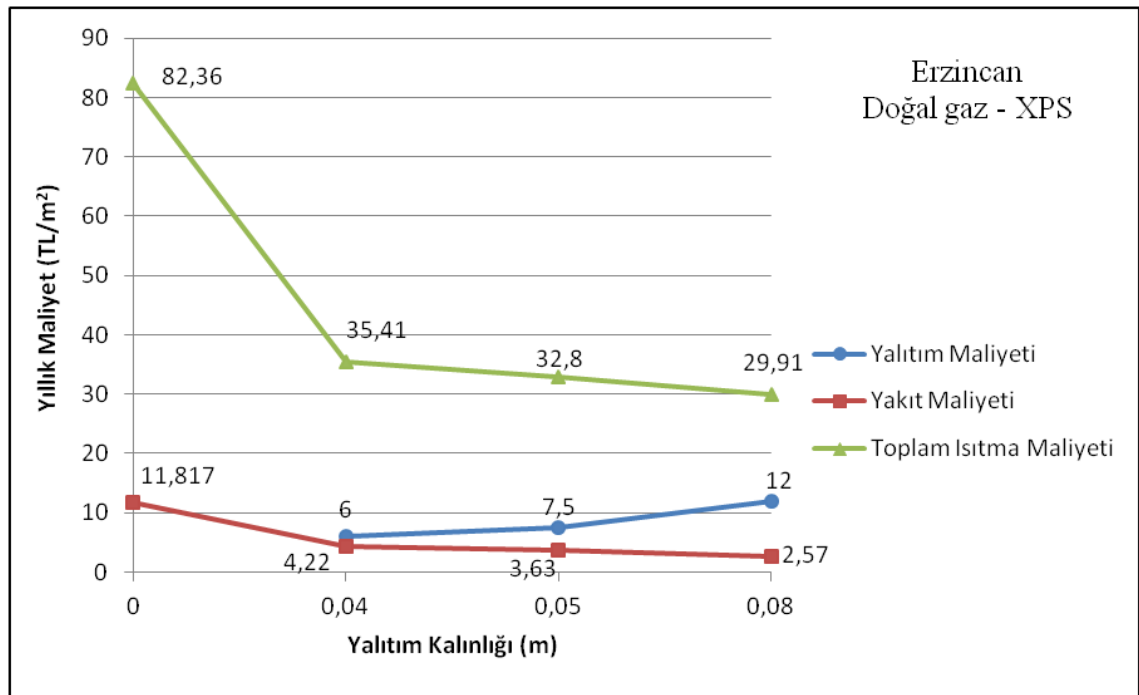
Termal kamera görüntüleri ile ildeki hatalı yalıtımlar ve yeteri kalınlıkta uygulanmayan yalıtımlar araştırma bulguları kısmında resimler ile açıklanmıştır. Termal çekimlerden de görüldüğü gibi yalıtımsız binalarda meydana gelen ısı kaybı yalıtımlı binalara göre çok fazladır. Yani yalıtımsız binada oturan kişi ısınma için fazla enerji harcamakta ve buna paralel olarak daha fazla yakıt faturası ödemektedir. Yalıtımlı bina sahipleri ise daha az para ile ısı konforuna ulaşmaktadır. 1 Ocak 2011 tarihinden önce ilde yapılan ısı yalıtımsız binaların ısı yalıtım hesabı yetkili mühendisler ile görüşülerek hesap edilmelidir. Bu hesap ile birlikte mühendis kontrolünde, ısı yalıtımı konusunda eğitim almış firma yetkilileri ve ustalarına binaların ısı yalıtımı işi verilmelidir.

Erzincan'daki yalıtımsız ve hatalı yalıtımlı binalardan meydana gelen enerji kaybı termal görüntüler ile açıklanmıştır. Bu görsellerin yanında yalıtımın önemine dikkat çekmek için il genelindeki binaların ısı kaybına bağlı olarak ekonomik analizi hesaplanmıştır.

Erzincan'daki binaların toplam ısı transfer alanı $2\,411\,189,77\text{ m}^2$ 'dir. Yapılan istatistiksel araştırma sonucu bu alanın $1\,655\,040,66\text{ m}^2$ 'si (%68,64) yalıtımsız iken, $756\,149,11\text{ m}^2$ 'si (%31,36) yalıtımlıdır. Hesaplamalarda binaların yalıtım kalınlıkları 4 cm, 5 cm ve 8 cm olarak kabul edilmiştir. Binalara uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça kaybolan ısı miktarı azalacaktır.

İldeki binaları ısıtmak için gerekli yıllık enerji ihtiyacı, tüm binaların yalıtımsız durumuna göre $1\,014\,172\,940,34\text{ MJ/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. İlde mevcut bulunan %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların yalıtım kalınlıkları değişkenlik arz etmesi nedeni ile daha önce yapılan projelerde Erzincan ili için kullanılan 4, 5 ve 8 cm yalıtım

kalınlıklarında hesaplamalar yapılmıştır. İldeki mevcut olan duruma göre %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 4 cm XPS ile yalıtıldığı kabul edilerek yalıtımlı ve yalıtımsız tüm binalar için yıllık toplam enerji ihtiyacı 809 565 518,92 MJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda tüm binaların yalıtımsız durumuna göre %20,18 oranında tasarruf edilmiş olmaktadır. Yalıtımsız binaların da 4 cm XPS ile yalıtıldığını kabul edersek yıllık toplam enerji ihtiyacı 361 726 689,29 MJ/yıl olarak hesaplanmıştır. Yani %68,64'lük kısmında 4 cm XPS ile yalıtılması halinde %44,16 oranında tasarruf edilmiş olacaktır. Buradan yalıtım kalınlığı 5 cm ve 8 cm olması durumunda ise toplam yıllık enerji ihtiyacındaki tasarrufu sırası ile %47,54 ve %53,71 değerinde gerçekleşeceği hesaplanmıştır.



Şekil 5.1. Yalıtımsız ve farklı kalınlıktaki yalıtımlı dış duvarlar için yalıtım, yakıt ve ısıtma maliyetleri.

İldeki binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti, tüm binaların yalıtımsız durumuna göre 198 585 589,45 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. İldeki mevcut olan duruma göre %31,36 oranındaki yalıtımlı binaların tümünün 4 cm XPS ile yalıtıldığı kabul edilerek yalıtımlı ve yalıtımsız tüm binalar için yıllık toplam ısıtma maliyeti 163 084 334,38 TL/yıl olarak

hesaplanmıştır. Bu durumda tüm binaların yalıtımsız durumuna göre %17,88 oranında tasarruf edilmiş olmaktadır. Yalıtımsız binaların da 4 cm XPS ile yalıtıldığını kabul edersek yıllık toplam ısıtma maliyeti 85 380 229,75 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Yani %68,64'lük kısmında 4 cm XPS ile yalıtılması halinde %39,13 oranında tasarruf edilmiş olacaktır. Buradan yalıtım kalınlığı 5 cm ve 8 cm olması durumunda ise yıllık toplam ısıtma maliyeti tasarrufu sırası ile %41,30 ve %43,71 değerinde gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

Dış duvarlara uygulanan yalıtım kalınlığı arttıkça geri ödeme süresi düşmektedir. Dış duvarlara uygulanan yalıtım kalınlığı 4 cm için yapılan hesaplar sonucu geri ödeme süresi 1,75 yıldır. 5 cm ve 8 cm yalıtım kalınlıkları için geri ödeme süresi sırası ile 1,66 ve 1,57 yıldır. Erzincan ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,0882 m olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- AB Genel Sekreterliği, Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı (24.07.2003 tarih ve 25178 mükerrer sayılı Resmî Gazete).
- Akgün G., Dilmaç Ş., Isı köprüsü problemlerinde kullanılan matematik modellerin karşılaştırılması, İtü dergisi/mühendislik, Cilt 4, Sayı 5 , Ekim 2005, 3-16s
- Akıncı H. ‘Günümüzde Uygulanan Isı Yalıtım Malzemeleri, Özellikleri, Uygulama Teknikleri ve Fiyat Analizleri’, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- Aksoy, M.A., Keçeciler, A., Onural, A.Ş. 2001. “ Konutlarda Isı Yalıtımı Yöntemlerinde Ekonomik Uygulamalar”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yalıtım Kongresi, 23-24-25 Mart, Eskişehir, s.81-86.
- Aksoy, U.T., Keleşoğlu, Ö. 2007. “Bina Kabuğu Yüzey Alanı ve Yalıtım Kalınlığının Isıtma Maliyeti Üzerinde Etkileri”,Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt:22, No:1, s. 103-109.
- Altınışık K., Isı yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtım, 2006.
- Anonim 2001. İzolasyon Dünyası, Teknik Dergi, Ocak Sayısı.
- Anonim, 2002, MMO/2002/259-2 sayılı yayın.
- Anonim, 2008. “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği”,Resmi Gazete.
- Arslan O., Köse R., 2006, Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings, Energy and Buildings 38, 1403s
- Aydın Ö. ‘Yapı Düşey Dış Kabuğu Isı Yalıtım Uygulamaları İle Enerji Verimliliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2011.
- Aytaç A., Aksoy T., 2006, Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 21, No 4, 753-758s.
- Bayer, G. ‘Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri ve Örnek Bir Projede Isı Yalıtım Maliyet Analizi’ Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006.
- BOLATTÜRK A. ‘Determination of Optimum Insulation Thickness for Building Walls With Respect to Various Fuels and Zones in Turkey’, Applied Thermal Engineering, 2006.
- Buyruk, E., Pınarbaşı A., Temel Ü.N., ve Tamay T. (2006). Binalarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna Etkisinin Termal Kamera ile Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Büyükalaca O., Bulut H., YILMAZ T., “Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey”, *Applied Energy* 69: 269-283 (2001).
- Can A. ‘Yapılarda Isı Yalıtımı ve Türkiye’de Enerji İhtiyacının Azaltılması
- Çalıkoğlu E., “Enerji Verimliliği ve EİEİ Tarafından Yürütülen Çalışmalar”, 23. Ulusal Enerji Verimliliği Kongresi, EİEİ Genel Müdürlüğü (Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu) Yayını, Ankara, 2004, ss.59-64.
- Çalışan M., Türkoğlu İ. “Termal Kameralar ve Uygulamaları”, Fırat Üniversitesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 46-50 s, 2011, Elazığ.
- Çengel Y.A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Literatür Yayıncılık, 1996, İstanbul.

- Çomaklı K. and Yüksel B. 'Optimum insulation thickness of external walls for energy saving', Applied Thermal Engineering, March,2003.
- Dağsöz A.K.,Konutlarda Ekonomik Isınma El Kitabı, İzocam Tic.San. A.Ş Yayınları, İstanbul,2002.
- Dağsöz, A. K., 1999. Türkiye’de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayiinin Durumu, İstanbul Ticaret Odası Yayınları, Sayı:52
- Değirmenci, A. İ. 'Türkiye’de Uygulanan Yalıtım Tekniklerinin Araştırılmasında Termal Kameranın Etkin Biçimde Kullanılması' Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2010.
- Devlet Planlama Teşkilatı, Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005, DPT Yayını, Ankara, 2000.
- Dilmaç Ş. ve Kesen N., "A comparison of new Turkish thermal insulation standard (TS 825), ISO 9164, EN 832 and German regulation", *Energy and Buildings*, 35, 2003, 161-174.
- Dilmaç Ş., "Yeni TS 825’de önerilen hesap metodunun değerlendirilmesi", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, (1): 110 (1999).
- Dombaycı Ö.A., Gölcü M., Pancar Y., 2006, Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources, *Applied Energy* 83, 921-928s.
- Dombaycı, Ö.A. 'The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings', Building and Environment, November,2007.
- Ekinci C. E., Isı Yalıtım İle Ulusal Ekonomi ve Çevre Korunumu, *Yalıtım Dergisi*, 6 (1997), 30-35.
- Ekinci, .E. , Yalıtım Teknikleri, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2003
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Eğitim Dökümanları.
- Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun No. 5627, Sayı: 26510,Tarihi: 18.4.2007,Ankara.
- Erdabak M. 'Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksikliklerin Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 2010.
- Erensan Isı Tekniği ve Sanayi ve Ticaret A.Ş., "Ürün katalogları", 1- 6 (2008).
- Eriç, M. 1994. "Yapı Fiziği ve Malzemesi", Literatür Yayınları:2, 1. Basım,Nisan, İstanbul.
- Ersoy E.,Küçükbayrak S., "21. yüzyılda bütün yönleri ile enerji", *Enerji Çevre İlişkisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı* s. 124-127, 1994.
- Erzincan Belediyesi İmar Müdürlüğü, Bina Envanteri,Erzincan, 2012.
- Evcil, A. 'An estimation of the residential space heating energy requirement in Cyprus using the regional average specific heat loss coefficient', Energy and Buildings,2012.
- Gölcü M., Dombaycı Ö.A. ve Abalı S., 2006, Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 21, No 4, 639-644s
- Grinzato E., Vavilov V. and Kauppinen T., "Quantative infrared thermography in buildings", *Energy and Buildings*, 29,1,1998, 1-9.
- Güç A., Yapılarda Ekstrüde Polistren Isı Yalıtımı, *İzolasyon Dünyası Dergisi*, , Sayı:52, S:30-31.
- Gültekin M.L., Kadioğlu M., "Marmara bölgesinde ısıtma soğutma derece - günlerinin dağılımı", *Tesisat mühendisliği dergisi*, Temmuz-Ağustos, 33-34 (1996).
- Halıcı F., Gündüz M., 1998, Örneklerle ısı geçişi, Nil Matbaacılık, Sakarya.

- Hasan A., 'Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost', *Applied Energy*, ilt 63, 115-124,1999.
- TÜİK, 2013. <http://www.surveysystem.com/sscalc.htm>,
http://www.yapicephe.com/dokuman/Isi_Kopruleri.pdf, Haziran 2008
- Incropera F.P., DeWitt D.P., Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık,2006, İstanbul.
- Irgat, F. 'Kütahya İçin Optimum Isı Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Isıtma Maliyeti İlişkisi' Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Mart,2009.
- İnternet: Toksoy M. ve ark., "Konutlarda enerji performansı standart değerlendirme metodu", 24-25 (2008) <http://web.iyte.edu.tr/~geocen/kep-sdm/doc1.pdf> (2009).
- İşbilir, D. 'Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması' Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2009.
- İzocam Tic. San. A.Ş., Ülkemizdeki Eksik Bina İzolasyonunun Şehirlerimizin Hava Kirliliği ve Ülke Ekonomisi Üzerine Etkileri, İstanbul, 1990.
- İzoder Araştırma Raporu, İstanbul, 2005.
- Jeong, Y.S., hoi, G.S., Kim, K.W. and Lee, S.E. (2007).The Heat Transfer Simulation For Thermal Bridge Effect Of The Corner Walls Of Building According to Thermal Condition, Building Simulation, Korea.
- Kadioğlu S., Tellioğlu Z., "Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri", TMMOB Türkiye Enerji Sempozyumu, s. 55-67, 1996.
- Karabulut K. 'Yapı Elemanlarındaki Isı Kayıplarının Sayısal Olarak İncelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, 2010.
- Karaca H. 'Yapılarda, Duvar Yalıtımında Isı Kayıplarının Ölçme Ve Değerlendirme Yöntemleri', Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- Karakoç T.H., "Uygulamalı TS825 ve Kalorifer Tesisatı Hesabı", İzocam yayınları, 26, 82 (2001).
- Karakoç, T.H., Binyıldız, E., Turan, O. 1999. " Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı", Eylül.
- Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz R., "Isıtma süreci ve optimum yalıtım kalınlığı", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 110, 19-24 (2009).
- Koçu N., Korkmaz Z. S., 'Konya Çevresindeki Yapılarda Isı Yalıtım Uygulamalarının TS 825' e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi' Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fak. ,2005.
- Koçu, N. 2000. "Yapılarda Isı Yalıtımının Enerji Tasarrufuna ve Hava Kirliliğine Etkisi", İpek Yolu, K.T.O. Yıl.13. Sayı.145, Mart, Konya, s.25-29.
- Koçu, N. 2002. " Konya Çevresinde Yapılarda Isı Yalıtım Uygulamalarının TSE 825'e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi" Makine Mühendisleri Odası, Tesisat Mühendisliği, Sayı74, Mart-Nisan, Eskişehir.
- Koçu, N. 2007. "Isı Yalıtımsız Yapıların Atmosfer Kirliliğine ve Küresel Isınmaya Etkisi" *Mimaran Dergisi* Yıl.1. Sayı.2, Yaz, Konya, s.70-79.
- Koçu, N., Dereli, M. 2008. "Yapı Cephelerini Görsel Yönden Olumsuz Olarak Etkileyen Sorunlar ve Nedenlerin Analizi", IV. Ulusal Çatı&ephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, 13-14 Ekim, İstanbul
- Kubuş Isı Cihazları, "Ürün katalogları ve kazan verim deney raporları", 1- 3 (2008).

- Kürekçi A., Bardakçı A. T., Çubuk H., Emanet Ö., ‘Türkiye’nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi’ , Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 131, Eylül-Ekim 2012.
- Liang Z. and Shen H., “Determining sample size for building energy consumption surveys using statistical theory”, Energy and Buildings, 2010.
- Oğan, N. 2008. “Enerji Verimliliği Teknik Kitapçık”, İTÜ Enerji Enstitüsü ve Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği, 1. Baskı, İstanbul, Eylül.
- Oral, G.K., (2003). Sürdürülebilir Enerji ve Saydam Yalıtım. Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi. Sayı 41, Sayfa 70-75, Doğa Yayın Grubu. İstanbul.
- Oymael S., Yapılarda Isı Yalıtımı Sorunları ve Çözüm Yolları, Yalıtım Dergisi 5, (1997), 41-45.
- Özel M. ve Pıhtılı K., ‘Duvar yalıtım kalınlığının pencere alanlarına etkisinin araştırılması’, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(3):655-622 (2008).
- Özel M. ve Pıhtılı K., ‘Isıtma ve Soğutma Derece-Gün Değerlerini Kullanarak Optimum Yalıtım Kalınlığının Belirlenmesi’, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, ilt: 26, Sayı: 3, 2008.
- Özel M., “Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4): 879-884 (2008).
- Özer, M. 2006. “Yapılarda Isı ve Su Yalıtımları”, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul.
- Öztürk A., Yavuz H., Uygulamalarla ısı geçişi, Çağlayan Kitapevi, 1995, İstanbul.
- Peker, T. 2007. “Sağlık ve Yalıtım”, İzolasyon Dünyası, Sayı.64, Mart-Nisan, s.8-12.
- Resmi Gazete. Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (22354 Sayılı Mükerrer), 15 Temmuz 1995.
- Rubacı E., ‘Yaşanan Konutlarda Enerji Tasarrufu’ Martav Yalıtım A.S, 2006.
- Savaş, S. 2000. “T825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve Uygulama Sorunları”, Tesisat Mühendisliği, Kasım-Aralık.
- Serfiçeli, S.Y., 2000, “Malzeme Bilgisi Ders Kitabı”, MEB Yayınları Yayın No: 3458, İstanbul.
- Şengül, D., Sayın, B., Kaplan, S.A. 2005. “Su ve Isı Yalıtımının Yapılarda Uygulanmasının Gerekliliği ve Yalıtımdaki Uygulamaların Emniyet ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi”, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, 17-19 Kasım, İstanbul, s.457-466.
- Şenkal Sezer F. Ve Karagöz Yeşilyurt N. ‘Türkiye’deki Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması’, Uludağ Üni.Müh.Mim.Fak.Dergisi, ilt 16, Sayı 1, 2011.
- Şenkal Sezer F., 2005, Türkiye’de ısı yalıtımının gelişimi ve konutlarda uygulanan dış duvar ısı yalıtım sistemleri, Uludağ Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 10, Sayı 2, 79-85s
- Thermal Insulation of Housing in Turkey (Aygün M., Kuş H.). 1994. 22nd International IAHS Symposium on Housing Construction and Financing, International Association for Housing Science, pp.42-51, Salzburg, 3-7 October.
- TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, 1-75 (2008).
- TS EN 303-2, TS EN 303-3, TS EN 303-5, Türk Standartları Enstitüsü, (2001).

- Tuncer M., ‘‘Isıtılan ve soğutulan mahallerde ısı yalıtımının optimizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-8 (2007)
- TÜBİTAK, Enerji Ve Doğal Kaynaklar Raporu, Vizyon 2005 Teknoloji Öngörü Projesi, Ankara, 2005.
- Ulaş A. ‘Binalarda TS 825 Hesap Yöntemine Göre Isı Kaybı, Yakıt Tüketimi, Karbondioksit Emisyonu Hesabı ve Maliyet Analizi’, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, 2010.
- Usta S., ‘TS 825 ‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’ Standardına Göre İkinci Bölgede Bulunan Bir Binanın Yalıtımsız ve Yalıtımlı Durumlarının Enerji Verimliliği Bakımından Karşılaştırılması’, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, ilt:5, No:1,2009 (1-24).
- Yalıtım dergisi, ‘‘Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinin Amacı’’, S 46,48.
- Yılmaz, R. ‘Betonarme Karkas Yapılarda Kolon ve Kirişlerdeki Isı Kayıplarının Önlenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Haziran,2006.
- Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G., Manioğlu, G., 2000. ‘Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi’’, İTÜ Araştırma Fonu, Proje no: 985, İstanbul.
- Yönünden Önemi’ Trakya Üniversitesi, 2006.
- Yüncü H., Kakaç S., Temel ısı transferi, Bilim Kitabevi, 1999, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Erzincan’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan’da tamamladı. 2007 yılında Cumhuriyet Üniversite’si Makine Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. Özel sektörde bir süre Makine Mühendisi olarak çalıştı. 2009 yılında vatani görevini tamamladı. 2010 yılı Aralık ayından itibaren Erzincan Üniversitesi İliç Dursun Yıldırım Meslek Yüksekokulu’nda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.