

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**BİNALARDA KULLANILAN ISI YALITIM
MALZEMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Veli BEKTAŞ
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

BİLECİK, 2018

Ref.No: 10200025



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

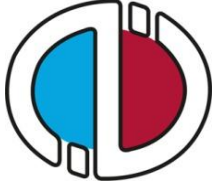
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**BİNALARDA KULLANILAN ISI YALITIM
MALZEMELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Veli BEKTAŞ
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

BİLECİK, 2018



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**COMPARISON OF THE THERMAL INSULATION
MATERIALS IN THE BUILDINGS**

**Veli BEKTAŞ
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR**

BILECIK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 13/06/2018 tarih ve 33 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/06/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Veli BEKTAŞ'ın "*Binalarda Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin Karşılaştırılması*" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR

ÜYE : Doç. Dr. Özgür AVŞAR

ÜYE : Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde bilgisini, tecrübesini ve zamanını benden esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Süheyla YEREL KANDEMİR'e, beni bugünlere getiren, eğitim hayatım boyunca her konuda desteğini hiç esirgemeyen aileme ve beni her fırsatta eğitime, bilime ve araştırmaya teşvik eden ablama çok teşekkür ederim.

Veli BEKTAŞ
2018

ÖZET

Dünya üzerinde bulunan enerji kaynaklarının tüketimi hızla artmaktadır. Gelişen sanayi, teknoloji ve kentleşme ile birlikte enerji talebi de büyümektedir. Bu sebeple ülkeler enerjinin etkin kullanımı ile ilgili çeşitli politikalar izlemek durumunda kalmış ve yeni standartlar geliştirmişlerdir.

Enerji tüketiminin en çok gerçekleştiği sektörlerden biri olan yapı sektöründe enerji tasarrufuna yönelik önlemler alınmalıdır. Konutlarda ısı kaybının önlenmesi ve etkin enerji kullanımının sağlanması için ısı yalıtım uygulaması gereklidir.

Bu çalışmada Ankara’da bulunan örnek bir bina için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Hesaplar TS 825 standardı ve ömür maliyet analizi ile yapılmıştır. Ekonomik analizler için bugünkü değer yöntemi ve P_1 - P_2 metodundan yararlanılmıştır. 5 farklı yalıtım malzemesi ve 2 farklı duvar tipi için bulunan sonuçlar grafikler ve tablolar halinde sunulmuştur. TS 825 hesap metoduna göre optimum yalıtım kalınlıklarının 4,4 cm ile 7,9 cm arasında, geri ödeme sürelerinin de 5,1 yıl ile 6,6 yıl arasında değiştiği görülmüştür. Enerji tasarrufunun ise %60,6 ile %63,3 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bugünkü değer yöntemi ve P_1 - P_2 metoduna göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları ise sırasıyla 1,3 cm ile 5,1 cm ve 2,3 cm ile 6,5 cm arasında değişmiştir.

Bulunan sonuçlardaki farklılığın belirli nedenleri vardır. TS 825 hesap metodu binayı bir bütün olarak ele alarak binada meydana gelen tüm ısı kayıplarını dikkate alır. Hesaplarda dış duvarlarda uygulanan yalıtım maliyeti için tüm maliyetler hesaba katılmıştır. Ömür maliyet analizinde ise hesaplar duvar kesiti üzerinden yapılmaktadır. Bu durum metodun eksik yönü sayılabilir. Ayrıca toplam yalıtım maliyeti yalıtım malzemesinin m^3 fiyatı dikkat alınarak yapılmıştır. Diğer maliyetler hesaba katılmamıştır. Yine bu durum metodun eksik yönü olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler

Isı yalıtımı; TS 825; Ömür maliyet analizi; Bugünkü değer yöntemi; P_1 - P_2 metodu.

ABSTRACT

The consumption of energy resources on the world is increasing rapidly. With the developing industry, technology and urbanization, energy demand is also growing. For this reason, countries have had to follow various policies regarding the efficient use of energy and have developed new standards.

Measures for energy saving should be taken in the building sector which is one of the sectors where energy consumption is most realized. In order to prevent heat loss and provide effective energy usage in houses, thermal insulation application is required.

In this study, optimum insulation thicknesses were calculated for a sample building in Ankara. The calculations were made by TS 825 standard and life cycle cost analysis. For economic analyzes, the present worth method and the P_1 - P_2 method were used. The results for 5 different insulation materials and 2 different wall types are presented in graphs and tables. According to the TS 825 calculation method, optimum insulation thicknesses vary between 4,4 cm and 7,9 cm, and pay-back periods vary between 5,1 and 6,6 years. It is determined that energy saving is between 60,6% and 63,3%. The optimum insulation thicknesses calculated according to present worth method and P_1 - P_2 method were changed between 1,3 cm and 5,1 cm and 2,3 cm and 6,5 cm, respectively.

There are certain reasons for the difference in the results found. The TS 825 calculation method considers the building as a whole and considers all the heat losses that occur in the building. In the calculations, all costs was taken into consideration for the cost of insulation applied to the outer walls. In the life cycle cost analysis, calculations are made on the wall section. This can be interpreted as a drawback of the method. Besides, the total insulation cost was made taking into account the price of m^3 of the insulation material. Other costs are not taken into account. This can be considered as a drawback of the method also.

Key words

Thermal insulation; TS 825; Life cycle cost analysis; Present worth method; P_1 - P_2 method.

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÇİZELGE DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ, ENERJİ TASARRUFU VE ISI YALITIM İLE İLGİLİ MEVZUATLAR.....	7
4. ÜLKEMİZİN ENERJİ GÖRÜNÜMÜ.....	12
5. BİNALARDA ISI YALITIMI.....	17
5.1. Isı Yalıtımı.....	18
5.1.1. Isı yalıtımın önemi.....	19
5.1.2. Isı yalıtımının faydaları.....	20
5.1.3. Isı yalıtımın uygulandığı yerler.....	23
5.1.4. Isı yalıtımının maliyeti.....	24
5.2. Isı Yalıtım Malzemeleri.....	24
5.2.1. Ekspande polistren köpük.....	26
5.2.2. Ekstrüde polistren köpük.....	28
5.2.3. Mineral yünler.....	29
5.2.3.1. Cam yünü.....	29
5.2.3.2. Taş yünü.....	30
5.2.3.3. Cam yünü ve taş yünü kullanım alanları.....	31
5.2.4. Poliüretan sert köpük.....	32
5.2.4.1. Poliüretanın özellikleri.....	32
5.2.4.2. Poliüretanın tercih edilme sebepleri.....	33
5.3. Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	34
5.4. Isı Yalıtımı ve Cam.....	34
5.4.1. Düşük yayınlı ısı kontrol (Low-E) kaplamalı yalıtım camı ünitesi.....	35
5.4.2. Düşük yayınlı ısı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı yalıtım camı ünitesi.....	35
5.5. Isı Yalıtım Malzemesi Seçiminde Göz Önüne Alınması Gereken Özellikler.....	35
5.6. Nemin Yapı İçindeki Hareketi ve Binalarda Yoğuşma Problemi.....	43
5.6.1. Yoğuşma olayının grafiksel incelenmesi.....	43
5.7. Isı Köprüleri.....	45

5.8. Yalıtım ve Kirlilik Problemi.....	46
5.9. Sıcaklık Değişimlerinin Malzeme Üzerinde Olumsuz Etkisi.....	47
5.10. Tesisat Yalıtımı.....	47
5.11. Pasif İklimlendirmenin Isı Yalıtımına ve Enerji Verimliliğine Katkıları....	49
5.12. Bina Kabuğu Tasarım Parametreleri.....	50
5.13. Isı Yalıtımı Projesi Zorunluluğu ve Proje İçeriği.....	50
5.14. Binalarda Enerji Tasarrufu Adına Atılması Gereken Adımlar.....	51
6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, KÜRESEL ISINMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR.....	53
6.1. İklim Değişikliği ve Yalıtım.....	53
6.2. Sera Etkisi ve Küresel Isınma.....	54
6.2.1. Karbon ayak izi.....	55
6.3. Sürdürülebilir Binalar ve Yalıtım.....	55
7. MATERYAL VE METOT.....	57
7.1. Dıştan Yalıtım Uygulaması.....	57
7.1.1. Dıştan yalıtım uygulamasının avantajları.....	57
7.1.2. Uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlar.....	58
7.1.3. Dıştan ısı yalıtım uygulamalarında kullanılan yardımcı malzemeler.....	59
7.1.3.1. Isı yalıtım yapıştırıcısı.....	59
7.1.3.2. Isı yalıtım sıvası.....	60
7.1.3.3. Isı yalıtım dübeli.....	60
7.1.3.4. Sıva filesi.....	61
7.1.3.5. Köşe profili.....	62
7.1.3.6. Damlalıklı köşe profili.....	62
7.1.3.7. Su basman profili.....	62
7.1.3.8. Son kat dekoratif kaplama malzemesi.....	63
7.2. Duvar Yapı Malzemeleri.....	63
7.3. Hesap Metotları.....	64
7.3.1. TS 825 hesap metodu.....	64
7.3.1.1. Tarifler.....	65
7.3.1.2. Hesap metoduna giriş.....	66
7.3.1.3. Birimler.....	72
7.3.1.4. Hesap raporu.....	72
7.3.1.5. Kabuller.....	73
7.3.2. Ömür maliyet analizi.....	75
7.3.2.1. Hesap metoduna giriş.....	75
7.3.2.2. Ekonomik analiz yöntemi-bugünkü değer yöntemi.....	76
7.3.2.3. Ekonomik analiz yöntemi-P ₁ -P ₂ yöntemi.....	78
8. UYGULAMA ÇALIŞMASI.....	81
8.1. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği Hesap Metoduna Göre Hesaplar.....	81

8.1.1. Ekonomik analizler.....	117
8.1.1.1. Binanın yalıtımsız (mevcut) ve yalıtımlı durumları için yıllık yakıt maliyetinin belirlenmesi.....	117
8.1.1.2. Geri ödeme sürelerinin hesabı.....	118
8.1.1.3. Yalıtım maliyetlerinin belirlenmesi.....	119
8.2. Ömür-Maliyet Analizine Göre Hesaplar.....	122
8.2.1. Bugünkü değer yöntemi.....	122
8.2.1.1 Bugünkü değer yöntemine göre hesaplar.....	126
8.2.2. P_1 - P_2 yöntemi.....	131
8.2.2.1. P_1 - P_2 yöntemine göre hesaplar.....	132
9. DEĞERLENİRME.....	136
9.1. TS 825 Hesap Yöntemine Göre Değerlendirmeler.....	136
9.2. Ömür-Maliyet Analizine Göre Değerlendirmeler.....	141
9.2.1. Bugünkü değer yöntemi.....	141
9.2.2. P_1 - P_2 yöntemi.....	142
9.3. Dıştan Yalıtım Uygulamasının Binaya Getireceği İlave Yükler Açısından Değerlendirmeler.....	144
10. SONUÇ ve ÖNERİLER	147
KAYNAKLAR.....	151
EK-1: Örnek Binanın Zemin Kat Planı.....	159
EK-2: Örnek Binanın A-A Kesiti.....	160
EK-3: Örnek Binanın Ön Cephe Görünümü.....	161
EK-4: Örnek Binanın Arka Cephe Görünümü.....	162
EK-5: Örnek Binanın Sol Yan Cephe Görünümü.....	163
EK-6: Örnek Binanın Sağ Yan Cephe Görünümü.....	164
EK-7: 6 cm XPS için hesaplar (Tuğla Duvar).....	165
EK-8: 6 cm XPS için hesaplar (Gazbeton Duvar).....	167
EK-9: 7 cm EPS için hesaplar (Tuğla Duvar).....	169
EK-10: 6 cm EPS için hesaplar (Gazbeton Duvar).....	171
EK-11: 8 cm cam yünü için hesaplar (Tuğla Duvar).....	173
EK-12: 8 cm cam yünü için hesaplar (Gazbeton Duvar).....	175
EK-13: 8 cm taş yünü için hesaplar (Tuğla Duvar).....	177
EK-14: 7 cm taş yünü için hesaplar (Gazbeton Duvar).....	179
EK-15: 5 cm PUR için hesaplar (Tuğla Duvar).....	181
EK-16: 5 cm PUR için hesaplar (Gazbeton Duvar).....	183
EK-17: Hesaplanmış Yüzeysel Isıl İletim (Taşınım) Direnç Değerleri.....	185
EK-18: Farklı Amaçlarla Kullanılan Binalar İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Aylık Ortalama İç Sıcaklık Değerleri.....	186
EK-19: Farklı Derece Gün (DG) Bölgeleri İçin Isı Kaybı ve Yoğuşma Hesaplamalarında Kullanılacak Aylık Ortalama Dış Sıcaklık Değerleri.....	187
EK-20: Bütün Derece Gün Bölgeleri İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Olan	

Ortalama Aylık Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri (W/m^2).....	188
EK-21: İllere Göre Derece Gün Bölgeleri.....	189
EK-22: Derece Gün Bölgelerine Göre İllerimiz.....	191
EK-23: Bazı Pencere Sistemlerinin U_p Değerleri.....	192
EK-24: Kapı Sistemlerinin U_k Değerleri.....	193

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1: Birincil enerji kaynakları rezervi.....	14
Çizelge 5.1: Isı yalıtım malzemelerinin önemli özellikleri.....	40
Çizelge 5.2: Tesisat yalıtımında sıkça kullanılan yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları.....	48
Çizelge 7.1: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.....	67
Çizelge 7.2: Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü.....	71
Çizelge 7.3: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirime faktörü.....	71
Çizelge 7.4: Birim dönüştürme tablosu.....	72
Çizelge 7.5: En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri.....	73
Çizelge 7.6: Bölgelere ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak sınırlandırılan Q'nun hesaplanması.....	73
Çizelge 8.1: Çözüm sistemleri (1-6).....	82
Çizelge 8.2: Çözüm sistemleri(7-12).....	83
Çizelge 8.3: Bina bilgileri.....	84
Çizelge 8.4: Dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon+kiriş) duvar alanı.....	84
Çizelge 8.5: Toplam pencere ve kapı alanları.....	85
Çizelge 8.6: Binanın cephelerine göre pencere alanları.....	85
Çizelge 8.7: Bina hesap değerleri.....	87
Çizelge 8.8: Dış ortama açık tuğla duvar için ısı kaybı hesabı.....	88
Çizelge 8.9: Dış ortama açık betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.....	89
Çizelge 8.10: Toprak temaslı betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.....	90
Çizelge 8.11: Tavan için ısı kaybı hesabı.....	91
Çizelge 8.12: Toprak temaslı taban için ısı kaybı hesabı.....	92
Çizelge 8.13: Dış kapı ve pencereler için ısı kaybı hesabı.....	93
Çizelge 8.14: Yönler göre toplam pencere alanları.....	94
Çizelge 8.15: Binanın mevcut halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.....	95
Çizelge 8.16: Binanın mevcut halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (tuğla duvar).....	96
Çizelge 8.17: Dış ortama açık gazbeton duvar için ısı kaybı hesabı.....	97
Çizelge 8.18: Binanın mevcut halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (gazbeton duvar).....	99
Çizelge 8.19: Mevcut binadaki yapı malzeme ve bileşenlerin özellikleri.....	100
Çizelge 8.20: Yalıtımlı binadaki yapı malzeme ve bileşenlerin özellikleri.....	101
Çizelge 8.21: Dış ortama açık tuğla duvar için ısı kaybı hesabı.....	102
Çizelge 8.22: Dış ortama açık betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.....	103
Çizelge 8.23: Dış kapı ve pencereler için ısı kaybı hesabı.....	104
Çizelge 8.24: Binanın yalıtımlı halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.....	104
Çizelge 8.25: Binanın yalıtımlı halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (tuğla duvar).....	105
Çizelge 8.26: XPS (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı	

kayıpları.....	106
Çizelge 8.27: Dış ortama açık gazbeton duvar için ısı kaybı hesabı.....	107
Çizelge 8.28: Binanın yalıtımlı halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (gazbeton duvar).....	108
Çizelge 8.29: XPS (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	109
Çizelge 8.30: EPS (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	110
Çizelge 8.31: EPS (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	111
Çizelge 8.32: Cam yünü (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	112
Çizelge 8.33: Cam yünü (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	112
Çizelge 8.34: Taş yünü (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	113
Çizelge 8.35: Taş yünü (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	114
Çizelge 8.36: PUR (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	115
Çizelge 8.37: PUR (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.....	115
Çizelge 8.38: Aylara göre doğalgaz satış fiyatları.....	117
Çizelge 8.39: Yalıtımsız ve yalıtımlı durumlar için yıllık yakıt tüketimi miktarları ve maliyetleri.....	118
Çizelge 8.40: Yardımcı malzemelerin yalıtım maliyeti.....	119
Çizelge 8.41: Yalıtım malzemelerinin maliyeti.....	120
Çizelge 8.42: Yalıtım sisteminin toplam m ² maliyeti.....	120
Çizelge 8.43: Yalıtım sistemlerinin KDV dâhil toplam maliyetleri.....	120
Çizelge 8.44: Tüm yalıtım harcamaları dâhil toplam maliyetler.....	121
Çizelge 8.45: Yalıtım sistemlerinin hesaplanan geri ödeme süreleri.....	121
Çizelge 8.46: Tuğla duvarın hesaplanan ısı iletkenlik direnci.....	122
Çizelge 8.47: Gazbeton duvarın hesaplanan ısı iletkenlik direnci.....	123
Çizelge 8.48: Doğalgaza ait parametreler.....	124
Çizelge 8.49: 2007-2017 yılları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ısıtma gün dereceleri.....	124
Çizelge 8.50: Yalıtım malzemelerine ait parametreler.....	125
Çizelge 8.51: 2017 yılına ait aylara göre TÜFE ve ÜFE oranları.....	125
Çizelge 8.52: Çalışmada kullanılan parametreler ve değerler.....	131
Çizelge 9.1: Hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları.....	138
Çizelge 9.2: Ekonomik analizlerde kullanılan yalıtım kalınlıkları.....	139
Çizelge 9.3: Tüm metotlar için bulunan optimum yalıtım kalınlıkları.....	143
Çizelge 9.4: Yardımcı malzemelerin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu toplam yük.....	144

Çizelge 9.5: Isı yalıtım malzemelerinin birim hacim kütlesi.....	145
Çizelge 9.6: Isı yalıtım malzemelerinin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu yük.....	145
Çizelge 9.7: Yalıtımın binaya getireceği toplam ilave yükler.....	146

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 4.1: Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	13
Şekil 4.2: Doğal gaz sektörel tüketim dağılımı (%).....	14
Şekil 4.3: Yıllara göre ülkemizin birincil enerji tüketimi.....	15
Şekil 4.4: Türkiye enerji talebinin yıllara göre dışa bağımlılık oranı.....	16
Şekil 5.1: Binalarda meydana gelen ısı kayıpları.....	18
Şekil 5.2: Binalarda yalıtım uygulanan yüzeyler.....	24
Şekil 5.3: EPS ve hücresel yapı görünümü.....	26
Şekil 5.4: XPS ve hücresel yapı görünümü.....	28
Şekil 5.5: Cam yünü şilte, cam yünü levha, cam yünü boru.....	31
Şekil 5.6: Taş yünü şilte, taş yünü levha, taş yünü boru.....	32
Şekil 5.7: Poliüretan sert köpük ve hücre yapısı.....	33
Şekil 5.8: Konik kalorimetre.....	37
Şekil 5.9: Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı basıncı ve su buharı kısmi basıncının durumu.....	44
Şekil 5.10: Yüzeyde ve kesit içinde yoğuşma.....	45
Şekil 5.11: Tesisatta yoğuşma.....	45
Şekil 5.12: Binalarda gerçekleşen ısı köprüleri.....	46
Şekil 5.13: Tesisatta kullanılan yalıtım malzemeleri.....	47
Şekil 5.14: Tesisatta termal kamera ile ısı kaybı tespiti.....	48
Şekil 5.15: Yoğuşma sebebiyle zarar görmüş bir tesisat.....	49
Şekil 7.1: Dıştan yalıtım uygulaması.....	58
Şekil 7.2: Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detayları.....	59
Şekil 7.3: Dıştan yalıtım uygulamasında kullanılan malzemeler.....	59
Şekil 7.4: Yalıtım levhasının yapıştırma uygulaması.....	60
Şekil 7.5: Plastik ve çelik çivili dübeller.....	61
Şekil 7.6: Yapı malzemelerine göre değişen dübel modelleri.....	61
Şekil 7.7: Beton ve tuğlada dübel uygulaması.....	61
Şekil 7.8: Sıva filesi örnekleri.....	62
Şekil 7.9: Alüminyum ve PVC köşe profili.....	62
Şekil 7.10: Su basman profili uygulaması.....	63
Şekil 7.11: Son kat dekoratif kaplama uygulaması.....	63
Şekil 7.12: Gazbeton ve yatay delikli tuğla.....	64
Şekil 7.13: Net oda yüksekliği.....	74
Şekil 8.1: Dış ortama açık duvar (tuğla) detayı.....	88
Şekil 8.2: Dış ortama açık duvar (betonarme) detayı.....	89
Şekil 8.3: Toprak temaslı duvar (betonarme) detayı.....	90
Şekil 8.4: Tavan (çatılı) detayı.....	91
Şekil 8.5: Taban (toprak temaslı) detayı.....	93
Şekil 8.6: Dış ortama açık duvar (gazbeton) detayı.....	98

Şekil 8.7: 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (tuğla) detayı.....	103
Şekil 8.8: 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (betonarme) detayı.....	103
Şekil 8.9: 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (gazbeton) detayı.....	107
Şekil 9.1: Binanın ısı kaybeden alanları ve oranları.....	136
Şekil 9.2: Binanın mevcut durumu için ısı kayıpları (çözüm 1-tuğla duvar).....	137
Şekil 9.3: Binanın mevcut durumu için ısı kayıpları (çözüm 2-gazbeton duvar).....	137
Şekil 9.4: Hesaplanan yıllık tasarruf miktarları.....	140
Şekil 9.5: Bugünkü değer yöntemine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları...	141
Şekil 9.6: P_1 - P_2 yöntemine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları.....	142

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_n	: Bina Kullanım Alanı
A_s	: Yıllık Toplam Maliyet Farkı
A_{top}	: Binanın Isı Kaybeden Yüzeylerinin Toplam Alanı
B_y	: Yıllık Doğalgaz Tüketimi
c	: Özgül Isı Kapasitesi
C_{Ain}	: Yıllık Yakıt Maliyeti
C_f	: Yakıtın Birim Fiyatı
C_i	: Yalıtım Malzemesinin Birim Fiyatı
C_{in}	: Yalıtımın Toplam Maliyeti
D	: Yapı Bileşeninin Kalınlığı
E_A	: Isıtmadaki Yıllık Enerji İhtiyacı
F_w	: Camlar İçin Düzeltme Faktörü
g	: Enflasyon Oranı
$g_{\perp}$	: Yüzeye Dik Gelen Işın İçin Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü
$g_{i, ay}$	: “i” Yönündeki Saydam Elemanların Güneş Enerjisi Geçirme Faktörü
H	: Binanın Özgül Isı Kaybı
H_T	: İletim ve Taşınım Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı
H_u	: Yakıtın Alt Isıl Değeri
H_v	: Havalandırma Yoluyla Gerçekleşen Isı Kaybı
$I_{i, ay}$	: “i” Yönünde Dik Yüzeylere Gelen Aylık Ortalama Güneş Işınımı Şiddeti (W/m^2)
i	: Faiz Oranı
m_f	: Tüketilen Yıllık Yakıt Miktarı
M_s	: Yıllık Bakım ve İşletme Maliyeti
N	: Yatırımın Ekonomik Ömrü
n_h	: Hava Değişim Oranı
PP	: Geri Ödeme Süresi
Q	: Isıtma Enerjisi İhtiyacı
$Q_{i, ay}$	: Aylık Isıtma Enerjisi İhtiyacı
$Q_{i, yıl}$	: Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı

R	: Isıl Geçirgenlik Direnci
r	: Yıllık Faiz Oranı
R_e	: Dış Yüzeyin Yüzeysel Isı İletim Direnci
$r_{i, ay}$	: “İ” Yönünde Saydam Yüzeylerin Aylık Ortalama Gölgeleme Faktörü
R_i	: İç Yüzeyin Yüzeysel Isı İletim Direnci
R_{in}	: Yalıtım Tabakasının Isıl Direnci
R_v	: İlk Yatırım Maliyeti
R_w	: Yalıtımsız Duvarın Isıl Direnci
U	: Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
$V_{brüt}$	: Binanın Isıtılan Brüt Hacmi
V^1	: Hacimce Hava Değişim Debisi
x_{opt}	: Optimum Yalıtım Kalınlığı
η_k	: Sistem Verimi
θ_e	: Aylık Ortalama Dış Ortam Sıcaklığı
θ_i	: Aylık Ortalama İç Ortam Sıcaklığı
λ_h	: Isıl İletkenlik Hesap Değeri
μ	: Su Buharı Difüzyon Direnç Faktörü
ρ	: Havanın Birim Hacim Kütlesi
ϕ_i	: Binanın İç Isı Kazançları
ϕ_s	: Güneş Enerjisi Kazançları
η	: Kazanç Kullanım Faktörü
λ	: Isı İletkenlik Katsayısı

Kısaltmalar

ASTM	: American Society For Testing And Materials
CEN	: European Committee For Standardization
CFC	: Kloroflorokarbon
DG	: Derece-Gün
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren Köpük
EUCEB	: European Certification Board For Mineral Wool Products
HCFC	: Hidrokloroflorokarbon
HCN	: Hidrojen Siyanür
IARC	: International Agency For Research On Cancer
ISO	: International Organization For Standardization
Mtpe	: Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
N ₂ O	: Nitroz Oksit
NO ₂	: Azot Dioksit
O ₃	: Ozon
PUR	: Poliüretan Sert Köpük
PWF	: Şimdiki Değer Faktörü
SO ₂	: Kükürt Dioksit
TÜFE	: Tüketici Fiyat Endeksi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UV	: Ultraviyole
ÜFE	: Üretici Fiyat Endeksi
XPS	: Ekstrüde Polistiren Köpük

1. GİRİŞ

Günümüzde, insanlar daha iyi koşullarda yaşama isteğine bağlı olarak sürekli değişim ve gelişim içerisinde. Isı ile ilgili problemleri önlemek ve iç ortam konforunu sağlayabilmek için her geçen gün yeni çözümler aranmakta ve yeni araştırmalarla en iyi yalıtımı sağlayacak malzemeler üretilmeye çalışılmaktadır (Yılmaz, 2009).

Kentleşmenin, teknolojinin ve sanayinin gelişmesinden dolayı enerjiye olan gereksinim de artmaktadır. Oysa dünya üzerinde bulunan enerji kaynakları sınırlı, üretimi ve temini ise gittikçe zorlaşmaktadır. İhtiyaç duyulan toplam enerji içerisindeki en büyük pay ısınmaya aittir. Çünkü tüketilen enerjinin büyük bir kısmı konutlarda ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Konutlarda harcanan bu enerjinin azaltılmasına yönelik en iyi çözüm, ısı yalıtım uygulamalarıdır.

Enerji kullanımının artması sonucu mevcut enerji kaynaklarının azalması ve artan çevre kirliliği, enerji etkinliğini gündeme getirmiştir. Günümüzde enerjiyi etkin kullanmak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve mevcut kaynakların ömrünü uzatmayı öngören politikaları desteklemek ülkelerin temel stratejileri arasına girmiştir (Gazioğlu, vd., 2013).

Ülkemizde son yıllarda hızla artan inşaat faaliyetleri ile binalarda tüketilen enerji miktarı katlanarak artmaktadır. Bu enerji ise en fazla ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu, yeni veya mevcut yapılardaki ısı yalıtım uygulamalarının, proje ve uygulama aşamasında bütün performans gerekleri karşılayacak şekilde tasarlanması ve uygulanması ile sağlanabilir. Bu doğrultuda, bina kabuğu bir bütün olarak ele alınmalı ve bütün yapı elemanlarında ısı yalıtımının sürekliliği sağlanmalıdır (Türkmen, 2016).

Kırsal kesimlerden kentlere hızlı bir nüfus akışı olmaktadır. Dolayısıyla müstakil konutlardan apartmanlara geçilmektedir. Apartmanların yüzey alanı müstakil konutlara göre daha büyüktür. Bundan dolayı apartmanların dış kabuklarında ısı kaybı ve ısı köprüleri artmakta, bu da binanın enerji performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Isı yalıtımının yapılması halinde, yapı dış kabuğu atmosferik şartlara karşı korunacak, farklı iklim koşullarında oluşabilecek genleşme ve büzülme gibi fiziksel değişimler önlenecektir. Duvar iç gerilmelerinin ve çatlakların önlenmesiyle daha güvenli ve uzun ömürlü binalar elde edilecektir (Yılmaz, 2012).

Yalıtım sektöründe pek çok ısı yalıtım malzemesi vardır. Bir ısı yalıtım malzemesinde olması gereken özellikleri başlıklar halinde sayabiliriz. Ancak bu özelliklerinin tek bir ısı yalıtım malzemesinde mevcut olması mümkün değildir. Önemli olan kullanım amacına ve yerine göre en uygun malzemeyi belirlemektir. Doğru seçilmiş bir ısı yalıtım malzemesi kullanılarak yapılan ısı yalıtımı ile yakıt ve enerji tasarrufu, tasarrufla birlikte meydana gelen ekonomik iyileşme, hava kirliliğinin azalmasına bağlı olarak sağlıklı bir çevre ve bina içi konforlu bir yaşam alanı meydana gelir.

Ülkemiz, enerji kaynaklarının temini açısından dışa bağımlı olduğundan enerjinin verimli kullanılması gerekir. Çünkü daha az enerji tüketimi daha az ithalat, daha az dışa bağımlılık ve daha fazla ekonomik kazanç anlamına gelir. Enerji tüketiminin azalması için yalıtım konusunda önemli çalışmalar yapılmalı ve bu çalışmalar istisnasız uygulanmalıdır. Eksiklikler ve hatalar giderilmeli, yetersiz görülen standartlar revize edilmelidir. İstenilen konfor şartlarının oluşması için işçiliğin iyi olduğu, malzemenin doğru seçildiği ve duvar bileşenlerinin performansının yeterli olduğu bir uygulama yapılmalıdır. Isı yalıtım uygulaması, yapının proje aşamasından tamamlanmasına kadar tüm evrelerinde önemle üzerinde durulması gereken bir iş kalemi haline gelmelidir.

Bu çalışmada, farklı yalıtım malzemeleri ve duvar modelleri ile oluşturulan yalıtım sistemlerinde optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresinin hesaplanmasıyla elde edilen en uygun yalıtım çözümünün belirlenmesi amaçlanmaktadır. Isı yalıtım uygulamasından yüksek performans almak ve yalıtım maliyetini ekonomik sınırlar içerisinde tutmak için, yalıtımda kullanılacak malzemelerin özellikleri iyi bilinmeli ve optimum yalıtım kalınlığı belirlenmelidir.

Çalışma kapsamında Ankara ilinde bulunan örnek bir yapı için farklı yalıtım çözümleri incelenmiştir. Öncelikle binanın mevcut hali için daha sonra ise yalıtımlı hali için hesaplamalar yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS, taşyünü, cam yünü ve poliüretan tercih edilirken, duvar modeli olarak ise gazbeton ve yatay delikli tuğla yapı malzemeleri kullanılarak oluşturulan duvar modelleri seçilmiştir. Ayrıca çalışmada kapılar ve pencereler yalıtım yönünden iyileştirilmiştir.

Çalışma yöntemi olarak TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı ve Ömür-maliyet analizi kullanılmıştır. Ömür-maliyet analizindeki ekonomik analizler ise bugünkü değer yöntemi ve P_1 - P_2 yöntemi yardımıyla yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Isı yalıtım malzemeleri ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Aytaç ve Aksoy (2006), makalelerinde, Elazığ ili için, optimum yalıtım kalınlığını tespit etmişlerdir. Çalışmada enerji kaynağı olarak kömür, doğalgaz, fuel oil, LPG ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak EPS ve taş yünü tercih edilmiştir. Hesaplamalar, dıştan yalıtımlı ve sandviç duvar modelleri için gerçekleştirilmiştir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı her iki duvar modelinde de doğal gaz ile sağlanmıştır. Dıştan yalıtımlı duvarda EPS için bu değer 0,039 m, taş yünü için 0,029 m dir. Sandviç duvarda ise bu değerler EPS ve taş yünü için sırasıyla 0,042 m ve 0,033 m olarak hesaplanmıştır.

Dombaycı, vd., (2006), çalışmalarında Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığını tespit etmişlerdir. Çalışmada 5 farklı enerji kaynağı (kömür, doğalgaz, LPG, akaryakıt ve elektrik) ve 2 farklı yalıtım malzemesi (EPS ve taş yünü) tercih edilmiştir. En uygun değer, yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak da EPS kullanıldığında bulunmuştur. Optimum yalıtım kalınlıkları 10 yıllık bir ömür ve sırasıyla %8 ve %0 yıllık faiz oranı ve enflasyon oranı için belirlenmiştir. Optimum yalıtım kalınlığının uygulanması ile tasarruf ve geri ödeme süresi sırasıyla 14.09 \$/m² ve 1.43 yıl olduğu sonucuna varılmıştır.

İşbilir (2009), yüksek lisans tezinde, 1. İklim bölgesinde bulunan İzmir'deki bazı örnek binalar için ısı yalıtım uygulamaları araştırmıştır. Yalıtımsız binalar ile XPS ve EPS nin uygulandığı binalar, ısıtma enerjisi ihtiyaçları bakımından mukayese edilmiştir. Neticede ısı yalıtımlı binanın, yalıtımsız binaya göre 2,5 kat daha fazla enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.

Öztuna ve Dereli (2009), araştırma makalesinde, Edirne ili için çalışma yapmıştır. Hesaplarda derece-gün sayıları dikkate alınmıştır. Çalışmada 6 farklı yakıt türü için 5 farklı duvar modeli, EPS ve taş yünü kullanılarak incelenmiştir. En iyi sonuç olarak; yerli kömürün yakıt, EPS nin ise yalıtım malzemesi olarak uygulandığında; optimum yalıtım kalınlığı 0,028-0,039 m, geri ödeme süreleri 2,1-4,2 yıl, enerji tasarrufu %24-%47 elde edilmiştir.

Yu vd., (2009), çalışmalarında Çin'de sıcak ve soğuk bölgeleri temsil etmek üzere 4 şehir seçmiştir. Çalışmada EPS, XPS, PUR, perlit ve köpük polivinil klorür olmak üzere beş farklı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkları

0,053 ila 0,236 m arasında, geri ödeme süresi ise 20 yıllık bir bina ömrü için 1,9 ile 4,7 yıl arasında değişmiştir. En yüksek tasarruf ve en düşük geri ödeme süresi dikkate alınarak en ekonomik yalıtım malzemesinin EPS olduğu belirtilmiştir.

Ucar ve Balo (2010), çalışmalarında Türkiye'nin dört iklim bölgesinden dört il (Bitlis, Elazığ, Şanlıurfa ve Mersin) için optimum yalıtım kalınlığını incelemiştir. Beş farklı yakıt tipi ve dört farklı yalıtım malzemesi kullanarak, 10 yıllık ömür boyunca ve sırasıyla %4 ve %5 yıllık faiz oranı ve enflasyon oranı için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, şehir ve yalıtım malzemelerine bağlı olarak enerji maliyet tasarruflarının $4,2 \text{ \$}/\text{m}^2$ ile $9,5 \text{ \$}/\text{m}^2$ arasında değiştiğini göstermiştir.

Aydın (2011), doktora tezinde, 2. derece gün bölgesinde bulunan Trabzon ili için yalıtım konusu üzerinde çalışma yapmıştır. Yıl boyunca binanın ısıtma harcamalarını optimum seviyede tutan dış kabuk seçeneklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Binaların dış kabukları TS 825 ve Design Builder simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü tercih edilirken 3 farklı duvar modeli (tuğla, gazbeton ve betonarme) ele alınmıştır. Hesaplar haricinde anket değerlendirmesi de yapılmıştır. Çalışma sonunda, her iki hesap yönteminde de gazbetonla oluşturulan duvar tipinde kullanılan tüm yalıtım malzemeleri için kalınlığın daha az olduğu tespit edilmiştir.

Çay (2011), çalışmasında Düzce ili için optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir. Çalışmada yalıtım malzemesi olarak XPS, enerji kaynağı olarak ise kömür, doğalgaz, fuel-oil, LPG ve elektrik kullanılmıştır. Dış duvarlarda ise en yaygın yapı malzemelerinden olan gazbeton ve yatay delikli tuğla tercih edilmiştir. Farklı yakıt türlerine bağlı olarak yatay delikli tuğla için optimum yalıtım kalınlıkları 0,06-0,13 m arasında değişirken, gaz beton kullanılması halinde bu değer 0,05-0,12 m arasında değişmektedir. Her iki duvar malzemesinde de en düşük optimum yalıtım kalınlığı yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında tespit edilmiştir.

Dağıdır ve Bolattürk (2011), çalışmalarında, İzmir için güneş radyasyonun da etkisini dikkate alarak soğutma ve ısıtma yüküne göre optimum yalıtım kalınlıklarını tespit etmişlerdir. Hesaplar iki farklı duvar modeli için yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS, yakıt olarak ise ısıtma için doğalgaz, soğutma için elektrik tercih edilmiştir. Hesaplar 10 yıllık ömür için yapılmış, faiz oranı ve enflasyon oranı sırası ile

%16 ve %10 olarak belirlenmiştir. Neticede optimum yalıtım kalınlığı hesabı yapılırken güneşin radyasyon etkisinin de göz ardı edilmemesi gerektiği belirtilmiştir. Bu yüzden hesaplarda güneşin radyasyon etkisinin de hesaba dâhil edildiği soğutma yükü esas alınmıştır.

Gürel ve Daşdemir (2011), çalışmalarında Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden dört il (Aydın, Edirne, Malatya ve Sivas) seçmiştir. Enerji kaynağı olarak ısıtma için doğalgaz, soğutma için elektrik tercih edilirken, yalıtım malzemesi olarak XPS ve EPS seçilmiştir. Neticede yalıtım malzemesi ve seçilen ile bağlı olarak optimum yalıtım kalınlıklarının, enerji tasarruflarının ve geri ödeme sürelerinin sırasıyla 0.036-0.1 m, 12.08-58.28 TL/m² ve 1.5-2.52 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük optimum yalıtım kalınlığı Aydın'da XPS kullanılması halinde, en yüksek kalınlık ise Sivas'ta EPS kullanılması halinde ortaya çıkmıştır.

Özkan ve Onan (2011), çalışmalarında, pencerelerin ve dış duvar alanlarının değiştirilmesinin, binanın ısıtma enerjisi gereksinimi ve optimum yalıtım kalınlığı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışma farklı yalıtım malzemeleri, yakıt türleri ve cam alanları için 4 derece-gün bölgesi kapsamında ele alınmış, sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. Ayrıca çalışmada CO₂ ve SO₂ gibi çevre kirliliğine yol açan gazların emisyon değerleri de incelenmiştir.

Mishra vd., (2012), çalışmalarında Hindistan'daki binalarda optimum yalıtım kalınlığını 10 yıllık yapı ömrü için tespit ederek bina duvarlarındaki enerji tasarrufunu araştırmıştır. Yalıtım malzemesi olarak Cam yünü ve XPS seçilmiştir. Bu çalışmada çeşitli duvar malzemeleri (Taş, Tuğla ve Beton) ve farklı yakıt türleri (Kömür, LPG, Elektrik, Doğalgaz ve Akaryakıt) tercih edilmiştir. Isıtma yükleri Derece-gün yöntemi ile hesaplanmıştır. Optimum yalıtım kalınlığının 3.14 cm ile 8.47 cm arasında değiştiği görülmüştür.

Yılmaz (2012), tez çalışmasında 3. İklim bölgesinde bulunan Konya ilinden ve 4. İklim bölgesinde bulunan Erzincan ilinden 10 farklı apartmanın ısı yalıtım analizini yapmıştır. Apartmanlarda yalıtım malzemesi olarak EPS ve XPS tercih edilmiştir. 10 adet apartman için ısı yalıtımı yapıldığı takdirde elde edilen tasarrufun yaklaşık %62 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ısı yalıtım malzemesi kalınlığının minimum 6 cm olması gerekirken 2-3 cm kalınlıklarda uygulamalar olduğu görülmüştür.

Baykal (2014), tez çalışmasında, İstanbul Beykoz'da bulunan örnek bir bina için analizler yapmıştır. Bir veri kaydedici yardımıyla binanın dört yönü için dış duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıklarını, dış ortam ve iç ortam sıcaklığını bir yıl boyunca kaydetmiştir. Bu verileri kullanarak bir model geliştirmiş ve yönlere göre optimum yalıtım kalınlıklarını tespit etmiştir. Neticede kuzey, güney, batı, doğu ve yönden bağımsız durum için optimum yalıtım kalınlıklarını sırasıyla; 6,47 cm, 3 cm, 6,92 cm, 7 cm, 5,25 cm olarak hesaplamıştır.

Çağlayan (2014), tezinde Türkiye'deki örnek bir binada yalıtım sistemlerinin yaşam dönemi maliyet analizini gerçekleştirmiştir. Örnek bina, genişliği 20 m, uzunluğu 25 m ve yüksekliği 15 m olan 5 katlı bir binadır. Yalıtım uygulaması tavanda 15 cm taş yünü ve dış duvarlarda değişen kalınlıklarda EPS şeklindedir. Çalışmada yalıtımlı bina ile yalıtımsız binanın yıllık enerji ihtiyaçları kıyaslanmıştır. Hesaplar 20 yıl kabul edilen bir süre boyunca gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada Türkiye'nin her bir bölgesi için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmış ve mevcut binalar için TS 825 e göre sınır değerler sorgulanmıştır.

Sancaktar (2015), yüksek lisans çalışmasında, eski bir bina üzerinde yapılan yalıtım iyileştirmesi ile elde edilen tasarrufu göstererek, ülkemizdeki diğer binalara örnek oluşturmasını hedeflemiştir. Çalışma binası yan yana beş katlı iki bloktan oluşmaktadır. Isıtma, merkezi sistem olup doğalgaz ile sağlanmaktadır. Dış yüzeylerin ısı yalıtımları için sırasıyla 3 cm, 4 cm ve 5 cm'lik EPS ile bunlara uygun yüzey sıvası kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sadece 5 cm lik EPS yalıtım malzemesi ile yapılan sistemin TS 825 e göre uygun olduğu görülmüş ve detaylı analizler ile maliyet hesapları buna göre yapılmıştır. Sadece duvarlar ve pencerelerdeki iyileştirmeler sayesinde yıllık %56,8'lik performans artışı görülmüştür.

3. TÜRKİYE’DE ENERJİ VERİMLİLİĞİ, ENERJİ TASARRUFU ve ISI YALITIM İLE İLGİLİ MEVZUATLAR

Enerji verimliliği, enerji tasarrufu ve ısı yalıtımı konusunda çıkarılan mevzuatlar ve yapılan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Ülkemizde ısı yalıtımı konusunda 1968 yılında İmar ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan ve yayınlanan “Yapıda Isı Tesirlerinden Korunma” adlı, “Halk Konutları Standardı” bulunmaktadır. Bu standartta uyulmasında zorunluluk bulunmayan yardımcı bilgiler bölümünde “ısı tecridi” başlığı altında, yapının ve yapıda oturan insanların ısı tesirlerinden zarar görmemesi için bilgi verilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Yapılardaki ısı kayıplarının azaltılmasına ve yakıt tasarrufuna yönelik bir çalışma olan TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” TSE tarafından 1970 yılında yayınlanmıştır. Bu standart yapıların ısı etkilerinden korunması için gereken kuralları ve bu amaç doğrultusunda yapı elemanlarının özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Ayrıca Türkiye iklim bakımından bir harita ile 3 bölgeye ayrılmıştır (Aksöz, 2009).

Yakıt tasarrufu ile ilgili ilk ciddi yönetmelik Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanmıştır. "Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Şehirlerde Isıtma Tesislerinin Sebep Olduğu Hava Kirliliğinin Azaltılmasına Dair Yönetmelik" başlıklı olup 19 Eylül 1972 tarih ve 14311 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmıştır (Dağsöz, 1999).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı oluşan krizin etkilerinin hafifletilmesi amacıyla: 03 Kasım 1977 tarihinde “Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği”ni yayımlamıştır. Bu yönetmeliğin içeriğini yakıt tasarrufu ve halkın sağlığını tehdit eden hava kirliliğine yönelik önlemler oluşturmaktadır.

07 Aralık 1980 tarihinde ise “Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı” ile bakanlığa bağlı mevcut binalarda ve yeni yapılacak tüm binalarda uyulması gereken ısı yalıtımı şartları açıklanmıştır. Ayrıca yalıtım bilincinin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması da kararlaştırılmıştır. Bu talimatnamede Türkiye 4 sıcaklık bölgesine ayrılmıştır.

1981 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi’nde “enerji tasarrufu” ile ilgili bir bölüm kurulmuştur. Kurumun ilk çalışması,

enerji tasarrufu bilincinin kamu ve kamuoyunda arttırılması yönelik enerji tasarrufu haftası etkinlikleri düzenlemek olmuştur (Diz, 2013).

30 Ekim 1981 tarih ve 17499 sayılı Resmi Gazetede, yakıt tasarrufu ile ilgili "Bazı Belediyelerin İmar yönetmeliklerinde Değişiklik Yapılması ve Bu Yönetmeliklere Yeni Maddeler Eklenmesi Hakkındaki Yönetmelik" yayınlanmıştır. Bu yönetmelikle ülkemiz 4 bölgeye ayrılmış ve bölgelerdeki ortalama toplam ısı geçiş katsayıları verilmiştir (Dağsöz, 1999).

19 Kasım 1984 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı ile Yakıt Tasarrufu Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliğini yayımlamıştır. Ayrıca tüm bina stoğunu kapsayan enerji verimliliği ile ilgili düzenlemeler hazırlanmıştır.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı 16 Ocak 1985 tarihinde belediyelerin imar yönetmeliklerine ısı yalıtımı ile ilgili hususların eklenmesi ile ilgili yönetmeliği (1981) revize ederek tekrar yayımlamıştır. Bu yönetmeliğin en önemli özelliği, 2000 yılına kadar uygulanacak olmasıdır (Diz, 2013).

Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 825 sayılı ve Mart 1989 tarihli "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" adlı standardı yayımlanmış ve Türkiye'nin iklim haritası verilmiştir (Dağsöz, 1999).

Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 825 sayı ve Nisan 1998 tarihli "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardı 1989 tarihli standardın yenileştirilmiş ve genişletilmiş halidir. Bu standart 1998 yılında Avrupa standartları esas alınarak revize edilmiştir. Temel olarak TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardı; enerji tüketimini sınırlayarak enerjiden tasarruf yapmayı, limit enerji ihtiyacı değerlerini belirlemeyi ve enerji verimli, yüksek konforlu yapıların üretilmesini hedeflemektedir. TS 825, binaları bir bütün olarak ele alarak; çatı, duvar, döşeme ve pencere sistemlerinin enerji verimli tasarlanmasını sağlar. Ayrıca buhar difüzyonunun ve yoğuşmanın analiz edilmesini şart koyar. Yoğuşma veya enerji limitlerinden birini sağlayamayan tasarımlar standarda uygun olmayacağından, yapı ruhsatı alamaz.

TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardının 29 Nisan 1998 tarihinde tavsiye niteliğinde yürürlüğe girmesinin ardından bu standardın paralelinde hazırlanan 08 Mayıs 2000 tarihli "Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği" yayımlanarak TS 825 standardı 14 Haziran 2000 tarihinde uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu

yönetmelikte ayrıca “Isı İhtiyacı Kimlik Belgesi” de hayata geçirilmiştir. Mevcut Enerji Kimlik Belgesinin bir benzeri bu belge; kiralama ya da satın alma aşamasında kullanıcıların yatırım ve işletme bedellerini göz önüne alabilmelerini sağlamıştır (Diz, 2013).

Bir diğer çalışma ise 2007 yılında yapılan Enerji Verimliliği Kanunudur. Bu çalışma 5627 sayılı kanun ve 26510 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Enerjinin verimli kullanılması, enerji maliyetlerinin ekonomideki etkisinin hafifletilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmıştır. Bu kanun ile Enerji Kimlik Belgesi’nin düzenlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Kanunda “ Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmeliğe göre hazırlanan yapı projeleri kapsamında enerji kimlik belgesi düzenlenir. Enerji kimlik belgesinde binanın enerji ihtiyacı, yalıtım özellikleri, ısıtma-soğutma sistemlerinin verimi ve binanın enerji tüketim sınıflandırması ile ilgili bilgiler asgarî olarak bulundurulur.” denilmektedir. Enerji Verimliliği Kanununda mevcut binalara yönelik bazı değişiklikler ve düzenlemeler de mevcuttur. Özellikle ısı yalıtımının oy birliği yerine oy çokluğu ile gerçekleştirileceği düzenlemesi yapılmıştır. Böylelikle mevcut binalarda ısı yalıtımı yapılması konusunda karar alma sürecini uzatan bu sorun çözümlenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2007).

19 Aralık 2007 tarihinde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik yayımlanmıştır. Bu yönetmelikte her türlü yapının yapımı ve kullanımı gibi tüm safhalarında çıkabilecek yangınların en aza indirilmesini ve olası yangının can ve mal kaybını en aza indirerek söndürülmesi amaçlanmaktadır. Binalarda kullanılacak yapı malzemeleriyle ilgili olarak güvenlik anlamında, kolay alevlenen yapı malzemeleri yapılarda yangına karşı kullanılamayacağı belirtilmiştir.

TS EN 13501-1’e göre malzemelerin yanıcılık sınıfları:

Hiç yanmaz: A1 / Zor yanıcı: A2 / Zor alevlenici: A2, B, C / Normal alevlenici: D, E/

Kolay alevlenici: F şeklindedir (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2007).

14 Nisan 2008 tarihinde ise “Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik” (26847 sayılı Resmi Gazete) hazırlamıştır. Yönetmelikte merkezi ısıtma sistemlerine sahip binalarda ısınma giderlerinin, kullanıcıların kullanım miktarlarına göre paylaştırılması,

binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve yakıt tüketimlerinin azaltılması amaçlanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

1998 yılında yayımlanan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı revize edilerek 22 Mayıs 2008 de tekrar yayımlanmıştır. Yapılan yenileme çalışmaları ile hem ısı konforu hem de iç yüzeyde küflenme oluşumunun önlenmesine yönelik, tüm yapı elemanlarının iç yüzey sıcaklıklarının, iç ortam sıcaklığından en fazla 3°C düşük olarak tasarlanması zorunlu hale getirilmiştir.

Isı Yalıtım Kuralları Standardı'nın yayımlanmasının ardından Bayındırlık ve İskân Bakanlığı bu standarda yönelik mecburi standart tebliği yayımlamıştır. Çünkü bu standardın yeni projelerde uygulanabilmesi için 08 Mayıs 2000 tarihinde 24043 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak ısı yalıtımı zorunluluğu getiren Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin yenilenmesi gerekir. Yayımlanan standart ile Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin birbirleri ile uyumlu hale getirilmesi amacıyla, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği'ni 09 Ekim 2008 tarih ve 27019 sayılı Resmi Gazete'de yayımlamıştır. Yönetmelik 1 Kasım 2008 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiştir (Diz, 2013).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Enerji Verimliliği Kanununa dayanılarak 5 Aralık 2008 tarihinde 27075 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte iklim, iç mekân, mahalli ve maliyet şartları göz önünde bulundurularak, bir binanın bütün enerji kullanımlarını değerlendirebilecek hesaplama kurallarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolü, enerji ve karbondioksit (CO₂) salınımı açısından sınıflandırılması, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve çevrenin korunmasını amaçlanmıştır.

Bir diğer önemli çalışma ise 25 Şubat 2012 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023" dir. Enerji verimliliği; enerjide arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılığın azaltılması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilirliği, iklim değişikliği ile mücadelenin artırılması ve çevrenin korunması gibi ulusal stratejik hedefleri tamamlayan bir kavramdır. Enerji Verimliliği Strateji Belgesinde, 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmiştir. Ayrıca binaların enerji ihtiyacı

ve karbon salınımlarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaların yaygınlaştırılması, binalara azami enerji ihtiyacı ve CO₂ salınımı sınırlaması getirilmesi de hedeflenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012).

İklim değişikliği ile mücadele amaçlı yapılan çalışmalardan biri de, uluslararası düzeyde olan Paris İklim Anlaşması'dır. 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturan Paris Anlaşması, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilmiştir. Anlaşma, 5 Ekim 2016 itibariyle, küresel sera gazı salınımlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşuluyla, 4 Kasım 2016 itibariyle yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz ise bu anlaşmayı, 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzalamıştır. Paris Anlaşması, 2020 sonrası süreçte, iklim değişikliği tehlikesine karşı küresel sosyo/ekonomik dayanıklılığın güçlendirilmesini hedeflemektedir. Paris Anlaşması'nın uzun süreli hedefi, küresel sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulmasıdır. Bu hedef fosil yakıt (petrol, kömür) kullanımından yenilenebilir enerjiye yönelmeyi gerektirmektedir (TC Dışişleri Bakanlığı, (2017).

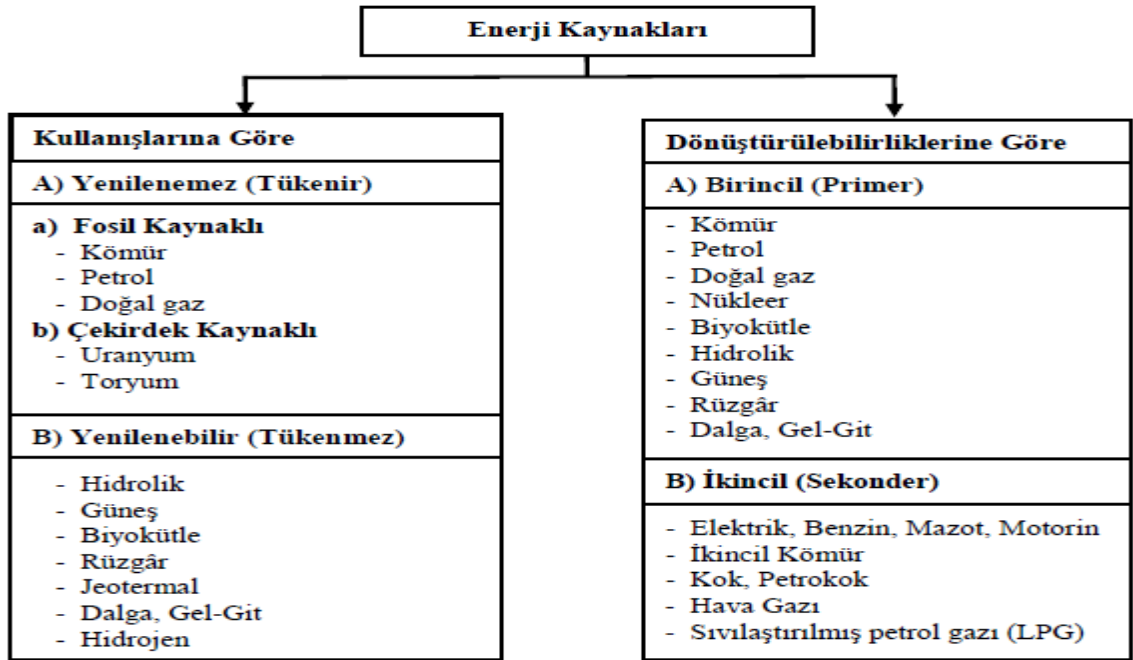
4. ÜLKEMİZİN ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

Enerji, bir ülkenin ekonomik gelişimi ve sosyal yaşamın sürdürülebilmesi için gereken en temel ihtiyaçlardan biridir. Ülkemiz enerji kaynaklarının temini yönünden zengin değildir. Özellikle ihtiyaç duyduğumuz fosil kaynaklı petrol ve doğal gaz gibi enerji kaynaklarının çok büyük bir bölümünü ithal etmektedir. Vazgeçilmesi güç olan bu enerji kaynakları konut, sanayi ve ulaşım gibi sektörlerde kullanılmaktadır.

Giderek artan enerji ihtiyacımızı karşılamak için enerjiyi etkin kullanarak doğayı koruyabilir ve enerji maliyetlerini azaltabiliriz. Günümüzde enerji kaynaklarına erişim çabaları; ülkeler arası ekonomik ve siyasi ilişkilerin, hatta savaşların belirleyicisi durumundadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülke, nüfusuna oranla daha fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Her geçen gün artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak ve dışa bağımlılıktan kurtulmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş vb.) geliştirilmesine hız verilmiştir (Yaman, vd., 2015).

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve dünya nüfusundaki artış enerjiye olan talebi hızla arttırmaktadır. Üretimde temel girdi olan enerji, toplumların refah seviyesinin yükselmesi için gerekli bir unsur olup, günlük yaşamda hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Kısaca, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji, mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi değişik türlerde bulunabilmekte, uygun yöntemlerle bir türden diğerine dönüşebilmekte olup, farklı şekillerde sınıflandırılabilir (Koç ve Kaya, 2015).

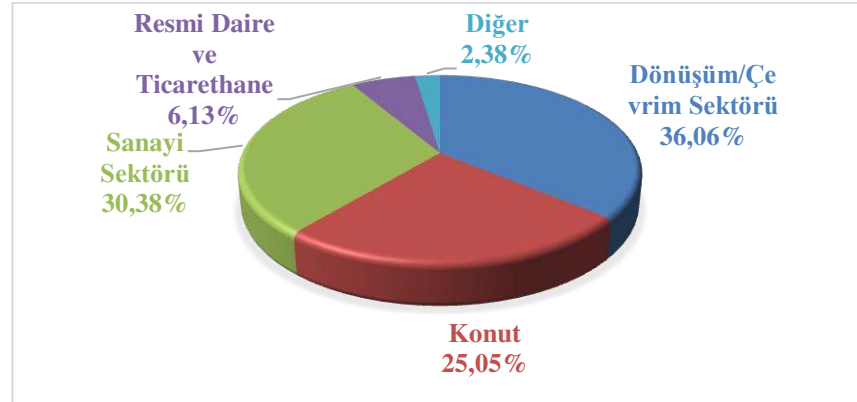
Şekil 4.1’de görüldüğü üzere kullanılışlarına göre enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırken; dönüştürülebilirliklerine göre enerji kaynakları birincil ve ikincil enerji kaynakları şeklinde incelenmektedir.



Şekil 4.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013).

Enerji tüketiminin büyük bir bölümünü oluşturan doğal gaz tüketimlerinde, konutlar önemli paya sahiptir. Özellikle konutlarda ısınma amaçlı olarak tüketilen enerjinin önemli bir kısmını doğalgaz oluşturur. Doğal gaz tüketiminin sektör bazında dağılımına baktığımızda; konut tüketimi %25,05, elektrik üretimi için tüketim %36,06 ve sanayi tüketimi %30,38 olarak gerçekleşmiştir. Diğer temel sektörler ise kalan %8,51 lik kısmı oluşturmaktadır. Ülkemizin en temel enerji ihtiyaçlarının başından gelen doğal gazın, üretim ve ithalat oranları ise ciddi anlamda üzerinde düşünmemiz gereken bir problem haline gelmiştir. Ülkemizde doğal gaza talebin her geçen gün artması ve yurtiçi rezerv ve üretim miktarlarının da bu talepleri karşılamak için yeterli olmaması, doğal gaz ithalatını zorunlu kılmaktadır. Doğal gaz piyasası sektör raporuna göre ülkemizin toplam doğalgaz arzının %0,79'u Türkiye'de üretilen doğal gaz ile geri kalan %99,21'lik kısmı da yurt dışından ithalat lisansı sahibi şirketler tarafından değişik kaynaklardan gerçekleştirilen ithalat ile karşılanmıştır (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2016). İthalat rakamları üzerinden hareket edildiğinde doğal gaz ithalatının %53,5'i Rusya'dan, %16,7'si İran'dan, %14'ü de Azerbaycan'dan yapılmıştır. Ayrıca Cezayir ve Nijerya'dan da doğal gaz alımı gerçekleştirilmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017).

Şekil 4.2'de doğal gazın sektörel olarak tüketim oranları verilmiştir.



Şekil 4.2. Doğal gaz sektörel tüketim dağılımı (%) (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2016).

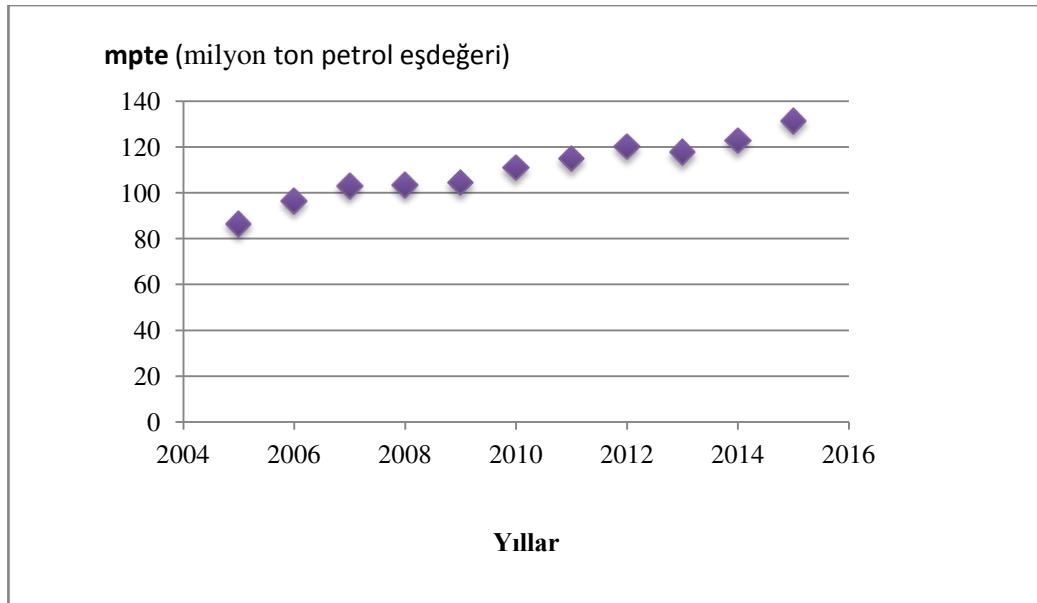
Türkiye’de çok çeşitli birincil enerji kaynakları vardır. Ham petrol, doğal gaz, linyit, taş kömürü, asfaltit, uranyum ve toryum gibi fosil kaynak rezervleri mevcutken, güneş enerjisi, hidrolik enerji ve jeotermal enerji gibi tükenmez enerji potansiyellerine de sahiptir. Ancak ülkemizde özellikle fosil kaynak rezervleri azdır. Bu yüzden enerji ihtiyacını karşılamak için bazı kaynakları ithal etmek durumundayız.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, ülkemizin birincil enerji kaynakları rezervleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Birincil enerji kaynakları rezervi (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2016).

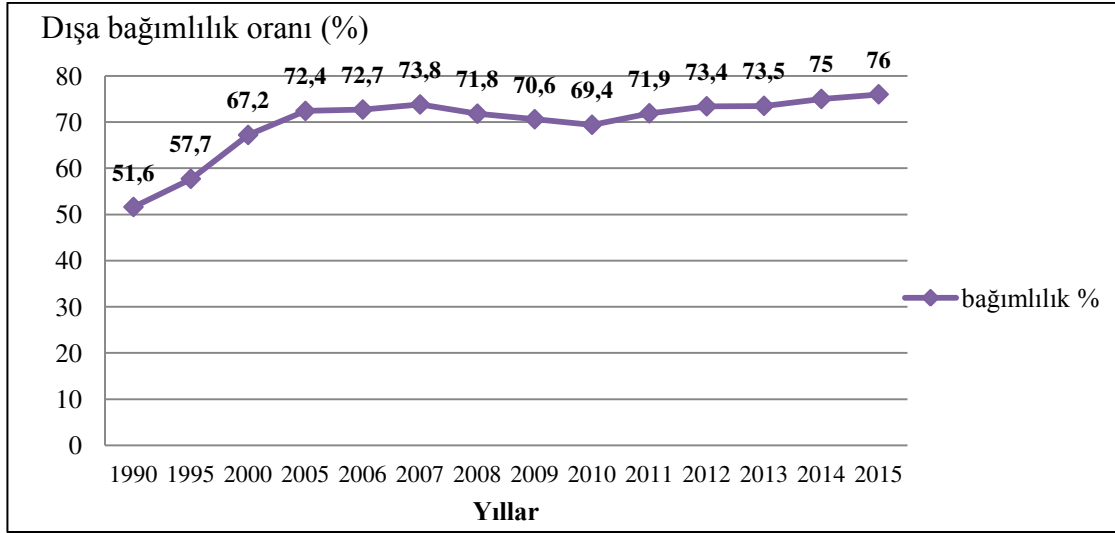
KAYNAKLAR	GÖRÜNÜR	MUHTEMEL	MÜMKÜN	TOPLAM
Taş kömürü (Milyon Ton)	506,5	425	368,4	1308,5
Linyit (Milyon Ton)				
Elbistan	4845,5			4845,5
Diğer	9146	768,9	4,5	9919,4
Toplam	13991,5	768,9	4,5	14764,9
Asfaltit (Milyon Ton)	82			82
Bitümler (Milyon Ton)	1641,4			1641,4
Hidrolik				
GWh/Yıl	59245,8			59245,8
MW	22748,9			22748,9
Ham Petrol (Milyon Varil)	7167			7167
Doğalgaz (Milyar m³)	23,2			23,2
Nükleer Kaynaklar (Ton)				
Uranyum	9129			9129
Toryum	380000			380000

BP'nin verilerine göre dünyanın toplam birincil enerji tüketimi 2005 yılında 10940 mtpe dir. Bu değer her yıl yükselerek 2015 yılında, bir önceki yıla göre %1 lik bir artış ile 13147,3 mtpe seviyesindedir. Aşağıdaki şekil incelendiğinde ülkemizin de toplam birincil enerji tüketiminin 2005 yılı itibariyle sürekli artmakta olduğu görülmektedir. 2015 yılında, bir önceki yıla göre %7 lik bir artış ile toplam birincil enerji tüketimi 131,3 mtpe (milyon ton petrol eşdeğeri) seviyelerindedir. Bunun 38,8' si petrolden, 39,2'si doğal gazdan, 34,4'ü kömürden, 15,1'i hidroelektrik santrallerinden ve 3,8'i de yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (BP, 2016). Ülkemizin yıllara göre birincil enerji tüketimi Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Yıllara göre ülkemizin birincil enerji tüketimi (BP, 2016).

Şekil 4.4'te ise birincil enerji talebinin yerli üretimle karşılanma oranının, 2015 yılında %24 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu aynı zamanda Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılıkta son on yılın en yüksek seviyesi olan %76 seviyesinde olduğunu göstermektedir. Dışa bağımlılık oranı, özellikle 1990'ların başından itibaren doğal gaz tüketimindeki büyük yükselişe bağlı olarak önemli bir artış göstermiş ve 2000'li yılların başından itibaren %70'ler civarında seyretmeye başlamıştır (Türkiye Petrolleri, 2017).



Şekil 4.4. Türkiye enerji talebinin yıllara göre dışa bağımlılık oranı (Türkiye Petrolleri, 2017).

Enerji tüketimi ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Enerji üretiminin az olması ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji korunumunu zorunlu hale getirmiştir. Enerji korunumu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığını uygulamaktır. Türkiye gibi enerji üretim ve tüketim oranları arasında büyük fark olan ülkeler için enerjinin etkili bir biçimde kullanılması çok önemlidir. Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde ise, malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı ile birlikte maliyet önemli bir faktördür. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım giderlerini arttıran bir uygulamadır. Ancak, maliyet ve enerji tasarrufuna bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süresiyle, sonraki yıllarda ekonomiye artı bir katkı ve enerji tüketiminde de azalma sağlanır (Aytaç ve Aksoy, 2006).

5. BİNALARDA ISI YALITIMI

Isı, sıcaklıkları farklı maddeler arasında alınıp verilen enerjinin adıdır. Maddenin, katı, sıvı veya gaz fazında oluşundan bağımsız bir biçimde ısı, enerjisi yüksek olan maddeden daha düşük olan maddeye doğru hareket eder. Buna ısı alışverişi denir. Isı enerjisinin birimi joule (j) ya da kalori (cal)'dir. Sıcaklık, hissedilebilir bir büyüklük olarak suyun donma derecesi olan 0°C ile kaynama noktası olan 100°C'yi referans alır. Suyun donduğu ve kaynadığı seviyelerin civalı termometre üzerinde işaretlenip bu aralığın 100 eşit parçaya bölünmesiyle her bir derece aralığı belirlenir. Bir cismin sıcaklığı moleküllerinin titreşim hızına bağlıdır. Molekülleri ne kadar hızlı titreşirse cisim o kadar sıcak, ne kadar yavaş titreşirse cisim o kadar soğuk olur (Topçuoğlu, 2017).

Yalıtım ise izole etmek ya da dış etkilerden ayırmak veya tecrit etmek anlamına gelmektedir. İnşaat sektöründe yalıtım; “yapıyı kendi bünyesi ile içindeki eşya ve canlılara zarar verici etkilerden korumak için alınan önlemler paketi” olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle yapının ve yapı kullanıcılarının su, nem, ısı transferi ve gürültü gibi istenmeyen dış etkilerden korunması amacıyla yapının tecrit edilmesi işlemine yalıtım denilmektedir. Yapı yalıtımı, malzemenin üretiminden uygulanmasına kadar çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir iştir. Bu nedenle, bina yalıtımında, ekonomi, fizik, kimya, makine, inşaat ve mimarlık gibi birçok bilim disiplini işbirliği içinde çalışmaktadır (Topçuoğlu, 2017).

Yalıtım denildiğinde akla ilk gelen ısı yalıtımıdır. Ülkemiz enerji de dışa bağımlı durumdadır. İthal edilen enerjinin büyük bir kısmının konutlarda ısıtma enerjisi olarak kullanıldığını göz önüne alırsak, neden yalıtım sözcüğünün genelde ısı yalıtımı olarak algılandığını daha iyi anlamış oluruz. Yalıtım ihtiyacı insanların rahatsız olduğu durumları ortadan kaldırmak ya da en azından etkisini azaltmak adına ortaya çıkmıştır. Yazın sıcak bir ortam, kışın ise serin bir ortam arayışı ısı yalıtımı ihtiyacını doğurmuştur.

Isı, farklı sıcaklıklara sahip mekânlarda; sıcaklığın yüksek olduğu taraftan düşük olduğu tarafa doğru geçme eğilimi gösterir. Isı, bu geçiş esnasında, mekânlar arasındaki malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarına ve kalınlıklarına bağlı olarak bir dirençle

karşılaşır. En genel anlamda ısı yalıtımı, ısı geçişini azaltan bir dirençtir. Isı geçişi iletim, taşınım ve ışıınım yolu ile gerçekleşir (Özer, 2006).

Isı kaybının büyük bir kısmı, duvarlar ve çatı boyunca hareket ederken iletim yoluyla gerçekleşir. Isı kaybı aynı zamanda ışıınım yolu ile pencerelerden, taşınım yolu ile de kapıların ve pencerelerin iyi kapatılmadığı boşluklardan gerçekleşebilir.

Şekil 5.1’de binalarda gerçekleşen ısı kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Binalarda meydana gelen ısı kayıpları (EduRev Notes, 2014).

5.1. Isı Yalıtımı

İnsanoğlunun var olduğundan bu yana bilinen en önemli ihtiyacı barınmadır. İnsan fizyolojisi 1 Atm basınç, 25°C sıcaklık ve %40-60 bağıl nem ortamında, normal vücut sıcaklığı olan 37°C’yi koruyabilmekte, böylece hayati önem taşıyan kimyasal reaksiyonlar kolayca gerçekleşmekte ve sağlıklı olarak yaşamını sürdürebilmektedir. Bu şartların sağlandığı durumlara “Isıl Konfor Şartı” denilmektedir. İnsanoğlu olumsuz atmosferik şartlardan, aşırı soğuk ve sıcaktan kendini koruyabilmek ve konfor şartlarını sürekli kılabilmek için ilk çağlardan beri kendine barınaklar inşaa etmiştir. Uygarlığın gelişimi ile birlikte, yaşamakta olduğumuz mekânların konfor standartları da yükselmiş ve ileri teknoloji ürünü çeşitli ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılmaya başlamıştır. Geline bu noktada, yaşam alanlarımızı oluşturan binalarda daha az enerji harcayarak konfor şartlarını sağlamanın en önemli unsuru binalara “Isı Yalıtımı” uygulamasıdır (Onbaşıoğlu, 2013).

Isı yalıtımı için farklı tanımlar yapılabilir. Isı yalıtımı, enerji kaybını önlemek amacıyla, sıcaklık farkından kaynaklanan ısı kayıp ve kazançlarının sınırlandırılmasıdır. Başka bir deyişle ısı yalıtımı, binanın ısıtılması ya da soğutulması için gerekli olan sıcak

ya da soğuk havanın dış ortama kaçmasının engellenmesi olayıdır. Binalarda enerji tüketimini azaltmak ve ısı kaybını önlemek için ısı yalıtım uygulamaları yapılır. Bir binada, duvar ve çatı gibi ısı kaybının çok olduğu bölgelerde yalıtım uygulaması ile ısı geçişi önlenir.

Isı yalıtımının önemini daha iyi anlamak adına bazı kavramlar üzerinde durmak gerekir. Bunlar enerjinin etkin kullanımı, ısı konfor ve hava kirliliğidir. Enerjinin etkin kullanımı, ısıtma ve soğutma için tüketilen toplam enerjinin gerekli koşullar sağlanarak sınırlandırılmasıdır. Enerjiyi verimli kullanarak istenilen tasarruf değerlerine ulaşılabilir. Isıl konfor ise insanların mutlu, huzurlu ve üretken olabilmeleri için ihtiyaç duyulan bina içi ortamdır. Gerek konutlarda gerekse alışveriş merkezleri, okullar, hastaneler gibi insanların bir arada bulundukları alanlarda konforlu bir ortam oluşturulmalıdır. Hava kirliliği ise, insan ve çevre sağlığını tehdit eden büyük bir problemdir. Enerji kaynaklarının tüketilmesi sonucu atmosfere zararlı gazlar yayılır. Doğru bir ısı yalıtım uygulaması ile enerji tüketimi azalacağından, bulunduğumuz çevreye daha az miktarda zararlı gaz salınımı olur (Çölhan, 2001).

Isı yalıtımının en önemli kısmını oluşturan dış cephe ısı yalıtımı (mantolama) gelişmiş ülkelerde 1970'li yıllarda uygulamaya başlanmış, Türkiye ise 1991 yılında ithal ürünlerle dış cephe ısı yalıtım malzemelerini tanımıştır. Yine 1990'lı yılların başında önemli ısı kayıplarının yaşandığı dış cephe doğramalarında ısı cam (çift cam) kullanımı da başlamıştır. İlk yıllarda 3cm civarında kullanılan ısı yalıtım kalınlığı ilgili standardın (TS 825) uygulanması ve hesaplama kurallarıyla bulunduğu bölgeye göre 8-16 cm kalınlığa kadar ulaşmıştır. Türkiye'de hala %85 yapı ısı yalıtımsızdır. Başbakanlık 10. Kalkınma Planı çerçevesinde Enerji Verimliliği üzerinde durulmuş, %15 olan yalıtımlı bina oranı 2018'e kadar %26'ya çıkarılması hedeflenmiştir (Yaman, vd., 2015).

5.1.1 Isı yalıtımının önemi

Isı, doğası gereği yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder ve ısı direnç azaldıkça ısı akışının hızı artar. Binaların kışın ısı kayıplarını ve yazın da ısı kazanımlarını azaltmak, binaya ısı konfor sağlarken tüketilen enerji miktarının azaltılmasını da sağlamış olur. Enerji kayıplarını azaltmayı sağlayan yöntemlerden en yaygın kullanılanı, mevcut binalara uygulamaya en elverişli olanı ve maliyetine oranla kazancı en yüksek olan ısı yalıtımıdır. Beton, ısı direnci düşük bir malzeme

olduğundan betonarme bina kabuğunun ısı kaybı yalıtım malzemeleri kullanılmadığı durumda hızlı olmaktadır. Bu nedenle mevcut betonarme konut binalarında ısı konforun artırılması için ısı yalıtımı yapılmalıdır (Soğukoğlu ve Vatan, 2014).

Isı yalıtımı, mevsim şartları neticesinde oluşan sıcak ya da soğuk havayı önleyerek yazın ve kışın ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarımızın azaltılmasıdır. Isı yalıtımı ile farklı sıcaklıklara sahip iki ortam arasında ısı transferi engellenmiş olur. Isı yalıtımlı yapılar, kışın sıcak, yazın ise serin ortamlar oluşturarak konforlu ortamların oluşmasına katkıda bulunmasının ötesinde, doğal enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına, enerji israfının engellenmesine ve çevrenin korunmasına da yardımcı olur.

5.1.2 Isı yalıtımının faydaları

Isı yalıtımının faydaları aşağıda verilmiştir.

***Isı yalıtım sayesinde ciddi miktarlarda enerji tasarrufu sağlanır.**

- Isı kayıplarının engellenmesiyle %50 civarında enerji ve yakıt tasarrufu sağlanır. Binanın ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşer. Daha az yakıt ile daha çok ısınma sağlar (Kibici, 2016).
- Yalıtım sadece kış aylarında ihtiyaç olan bir yatırım gibi düşünülmemelidir, yaz aylarında da soğutma için harcanan enerji giderleri ısı yalıtımı ile azalacaktır.
- Isı yalıtımı bulunan binalarda, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji tüketimi daha az, verimliliği ise çok ve dolayısıyla çevreye verilen zarar daha azdır (Kibici, 2016).
- Isınma ve serinleme amacıyla yapılan harcamalardan en az %60 tasarruf ederek, kışın daha iyi ısınmaya, yazın ise serin kalmaya imkân sağlar (İzoder, 2017).
- Türkiye 4 derece gün bölgesine ayrılmıştır ve özellikle 1. derece gün bölgesindeki şehirlerimizde yaz aylarında dış sıcaklıklar 40–45°C'lere ulaşmaktadır. Bu şehirlerdeki ısı yalıtımının faydası, kışın yapılan ısıtma giderlerinden ziyade yazın yapılan soğutma giderlerinde görülmektedir. Soğutma giderleri de ısıtma işlemine kıyasla 3–6 kat daha fazla maliyete sahiptir. Dış sıcaklığın iç sıcaklıktan fazla olduğu bir mekânda yeterli yalıtım yapılırsa, dışarıdan içeri ısı geçişi azaltılır. Dolayısıyla soğutma sisteminin minimum seviyede çalışması sağlanarak enerji tasarrufu yapılır (Kozak, 2015).

***Isı yalıtımı insan sağlığı için önemlidir.**

- Isı yalıtımının faydalarından en önemlisi, kullanıcının sağlığına olan yararadır. İnsanların çalışma verimini bulundukları ortamın sıcaklığı büyük oranda etkilemektedir. Çalışma ortamının ısı şartları, insanların bedensel ve zihinsel üretim hızını etkilemektedir. Isıl konfor ve iç hava kalitesi, bireyin bir ortam için ısı şartlarında kendini rahat hissetmesi ve bu şartlardan doğan sağlık sorunları ile karşılaşmayacağı bir ortamın özellikleridir. İnsan sağlığı iş verimini doğrudan, havanın hızı ve nem miktarı gibi faktörler ise direkt olarak etkilemektedir (Kozak, 2015).
- Isı yalıtımlı olmayan duvar ve perde duvarlarda difüzyon sonucu yoğuşma oluşur. Duvardaki malzemeler hasara uğrar. Bu tür duvarların iç yüzeylerinde terleme sonucu küflenme ve siyah lekeler meydana gelir, sıva ve boyalar kabırır, iç mekânda dengesiz bir ısı dağılımı oluşur, pencerelere yakın yerler soğuk iç taraflar daha sıcak olur. Tüm bu sebepler nedeniyle sağlıklı bir ortam oluşur. Ayrıca yazın serinlemek için fazla çalıştırılan klimalar, yaz griplerini tetiklerken başka hastalıklara da yol açarlar (Özen, 2016).
- Aşırı nemli ortamlarda uzun süre yaşayan insanlarda romatizmaya bağlı eklem hastalıkları hatta kalp problemlerine kadar gidebilecek kalıcı rahatsızlıklar oluşabilir.
- Buhar ve kaynar su tesisatlarında yüzey sıcaklığının yüksek olması nedeniyle insanların kazaya uğramasını önler (İzoder, 2013).

***Isı yalıtımı bina içi konforlu ortam oluşmasına yardımcı olur.**

- Yaşam alanları içerisinde dengeli oda sıcaklıkları yaratarak konforlu ve sağlıklı mekânlar oluşturur (İzoder, 2017).
- Isıtılan bir iç mekânda sıcak hava, soğuk bölümlere doğru hareket etmektedir. Yalıtımsız yâda eksik yalıtımlı bir mekânın, belirtildiği gibi yüzey sıcaklıkları düşük olmaktadır ve sıcak hava soğuk yüzeylere, pencerelere doğru hareket eder. Bu hareket sebebi ile mekân içerisinde hava akımı oluşur. Konfor açısından bakıldığında hava akımı oluşması istenmez. Bu sebeple duvar iç yüzey sıcaklığının artırılması için ısı yalıtımı yapılır. İç yüzey sıcaklığı konfor bakımından dikkate alınması gereken bir kavramdır. Böylelikle hem konforlu bir ortam sağlanmış olur hem de yakıt tüketimini azalır (Kozak, 2015).

- Binalarda oda sıcaklığının konforlu olması için ortam sıcaklığı ile iç duvar yüzey sıcaklığı arasında en fazla 2-3 derecelik bir fark olmalıdır. Ancak yalıtımsız binalarda bu fark daha büyük olunca içeride bir hava hareketi gerçekleşmektedir (Özen, 2016).

***Isı yalıtımı ile yatırım ve işletme maliyetleri azalır.**

- Isı ve tesisat yalıtımı yapılmış binalarda inşaat aşamasında veya daha sonraki aşamalarda yapılacak işlerde daha düşük kapasiteli kazan, boiler, soğutma kulesi, klima, daha küçük ve daha az sayıda radyatörler, radyatör boruları, vanaları vs. ve daha az işçilik giderleri olacağı için bu durumda yatırım ve işletme maliyeti de azalacaktır (Özen, 2016).

*** Yalıtım deprem riskine karşı binayı korur.**

- Isı yalıtımı ile korozyon riskinin önüne geçilebilir. Yalıtım betonun içindeki demirlerin paslanmasını engelleyerek dayanım kaybı oluşmamasını sağlar. Olası bir depreme karşı binayı korumuş olur. Su yalıtımı özellikle temeldeki donatıları korozyona karşı korurken, ısı yalıtımı ise dış duvarlarda ve çatıda yoğuşmayı önleyerek korozyon oluşumunu engeller.

***Isı yalıtımı bina sağlığını korur.**

- Isı yalıtımı yapının sağlığı açısından oldukça önemlidir. Güneş ısısı arttığında yapıda genleşmeler başlar ve bu genleşmelerin etkisi belirli değerlere çıktığında yapıda çatlamlar olabilir. Çatlamlar yapıya büyük zararlar verebilir ve yapıya su girmesine neden olabilir (Kozak, 2015).
- Isı yalıtımı yapılmamış veya yanlış uygulanmış binalarda sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan ısıl gerilmeler, bina dış kabuğunda ciddi hasarlara yol açabilmektedir.
- Teras çatı ve temel perde duvarlarına uygulanan su yalıtım örtülerini termik tahriplerden koruyarak ömürlerini uzatır (Koçu ve Korkmaz, 2002).

***Isı yalıtımı tesisat sistemini korur.**

- Soğuk iklim koşullarına maruz kalan tesisatlardaki suyun donmasını önleyerek tesisat sistemini korur (İzoder, 2013).

***Isı yalıtımı ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltır.**

- Isı yalıtımı ile daha az yakıt tüketimi olacağından, enerji kaynaklarının büyük bir bölümünü ithal eden ülkemizin de dışa bağımlılığı dolaylı olarak azalacaktır.

***Isı yalıtımı işsizliğin azalmasına yardımcı olur.**

- Isı yalıtımı sektörünün gelişmesiyle iş hacmi gerek üretim ve gerekse uygulama yönlerinden artacağı için,
a-Vergi gelirlerinin artması,
b-İşsizliğin azalması söz konusudur (Dağsöz, 1999).

*** Isı yalıtımı dekoratif bir uygulamadır.**

- Isı yalıtımı uygulamaları ile binalarda estetik bir görüntü sağlanabilir.

***Isı yalıtımı ile odaların kullanma alanları artar.**

- Isı yalıtım sonucunda ısıtmada gerekli radyatör grupları ile sayılarındaki azalma sebebiyle daha az yer işgal edeceklerinden odaların kullanma alanları da artacaktır. Böylelikle birim alandan kazanç sağlanılır (Dağsöz, 1999).

5.1.3. Isı yalıtımın uygulandığı yerler

Temel olarak ısı yalıtım malzemeleri; kullanım amacı ne olursa olsun ısıtılan bir hacmin;

1. Isıtılmayan bina bölümleri ile ortak yüzeylerine ve
2. Sıcaklığı farklı olan atmosfer veya toprağa temas eden yüzeylerine uygulanırlar.

Binalarda yapılan yalıtım uygulamalarının bir bütünlük içerisinde sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Tam anlamıyla ısı yalıtımının faydalarından yararlanmak için tüm duvar ve döşemeler ile çatılar mutlaka yalıtılmalı ve nitelikli pencereler kullanılmalıdır (İzoder, 2013).

Isı yalıtım malzemeleri;

- Binaların çatı ve dışa bakan duvarlarına,
- Katları ayıran döşemelere,
- Garaj, depo gibi ısıtılmayan bölümlere bakan duvarlara,
- Eğimli ve teras çatılara,
- Çıkma tabanlarına ,
- Tesisat boruları, havalandırma kanalları, vanalar vb. tesisat elemanlarına yapılır.
- Ayrıca, özel kaplamalı (Low-E / Solar Low-E) camlarla üretilen yalıtım camı üniteleri ve yalıtımlı doğramalar ile kışın pencerelerden oluşan ısı kayıpları azaltılır, yazın ise gün ışığından ödün vermeden binaya güneş ısı girişi sınırlanır (İzoder, 2017).

Şekil 5.2’de, yapılarda ısı yalıtımının uygulandığı alanlar gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Binalarda yalıtım uygulanan yüzeyler (Akıncı, 2007).

5.1.4. Isı yalıtımının maliyeti

Isı yalıtımının binanın yapım aşamasındaki maliyeti, bina maliyetinin %1'i ile %3'ü arasındadır. İnşaat aşamasında ısı yalıtımı yapılmış bir binada; düşük kapasiteli bir kazan, klima, küçük radyatör ve tesisat kullanılacağı için, işletme maliyetlerinin yanı sıra ilk yatırım maliyetleri de azalacaktır. Isı yalıtımı için yapacağınız yatırım, yapınızın özelliklerine göre sağlanan enerji tasarrufu ile 2-5 yıl içinde kendini geri ödemektedir (İzoder, 2017).

5.2. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemeleri ISO ve CEN Standartlarına göre yapılan sınıflandırmada:

- λ (Isı iletkenlik katsayısı) $> 0,065 \text{ W/mK}$ ise “yapı malzemesi”
- λ (Isı iletkenlik katsayısı) $< 0,065 \text{ W/mK}$ ise “ısı yalıtım malzemesi” olarak değerlendirilir.

Isı yalıtım malzemeleri, bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak veya dışarıya kaçan ısı miktarını azaltmak amacı ile kullanılırlar (Özer, 2006).

DIN 4108'e göre ise, ısı iletkenliği (λ) $< 0,1 \text{ W/mK}$ olan yapı malzemeleri ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılabilir. Yalıtım malzemeleri için artan talep ve ısı yalıtımı ile karşılanması gereken artan gereksinimler nedeniyle, piyasadaki farklı yalıtım ürünleri sayısı sürekli olarak artmaktadır. Mineral yünü izolasyon malzemeleri ve genişletilmiş köpük malzemeleri en popüler malzemelerdir. Son yıllarda yenilenebilir hammaddelerden yapılan yalıtım malzemeleri keşfedilmekte ve bunların uygulama seçenekleri artmaktadır. Vakumlu yalıtım panelleri veya kızılötesi emici polistiren

yalıtım malzemeleri gibi yenilikçi yalıtım malzemeleri de, oldukça iyi yalıtım değerleri gösterir (Hegger, vd., 2006).

Ülkemizde yaygın olarak duvar, döşeme ve çatılarda; camyünü, taş yünü, ekspande polistren köpüğü(EPS), ekstrüde polistren köpüğü (XPS), poliüretan köpüğü ve ahşap yünü kullanılır. Pencerelerde; Low-E kaplamalı cam içeren ısı yalıtım performansı yüksek yalıtım camları veya Solar Low-E kaplamalı cam içeren ısı ve güneş kontrol performansı yüksek yalıtım camı üniteleri ve yalıtımlı doğramalar kullanılır. Hava kanalları, borular, vanalar gibi tesisat elemanlarında; cam yünü, taş yünü, polietilen köpüğü, elastomerik kauçuk köpüğü, poliolefin köpüğü ve poliüretan köpüğü gibi ısı yalıtım malzemeleri kullanılır. Aşağıda yapılarda yaygın olarak tercih edilen ısı yalıtım malzemeleri listelenmiştir (Özen, 2016).

- Cam yünü
- Taş yünü
- Ekspande polistren köpük (EPS)
- Ekstrüde polistren köpük (XPS)
- Poliüretan köpüğü
- Ahşap yünü
- Polietilen köpüğü
- Elastomerik kauçuk köpüğü
- Poliolefin köpüğü
- Fenol köpüğü
- Cam köpüğü
- Genleştirilmiş perlit levhalar
- Genleştirilmiş mantar
- Ahşap lifli levhalar
- Low-E ve Solar Low-E cam üniteleri ve yalıtımlı doğramalar

Yalıtım malzemeleri içerisinde tüm gereksinimleri karşılayabilecek tek bir yalıtım malzemesi mevcut değildir. Bir ısı yalıtım malzemesinin başlıca özelliği ısı iletkenliktir. Bir yapı kabuğu için düşük ısı iletkenlik ($W / (mK)$), yüksek termal direnç (m^2K / W) ve düşük termal geçirgenlik $U-(W / (m^2K))$ anlamına gelir (Jelle, 2011).

Yalıtım malzemeleri, enerji tasarruflu binalar tasarlamak ve oluşturmaktaki en önemli araçtır. Bu anlamda, bir binanın tasarım ve yapım aşamasının ayrılmaz bir

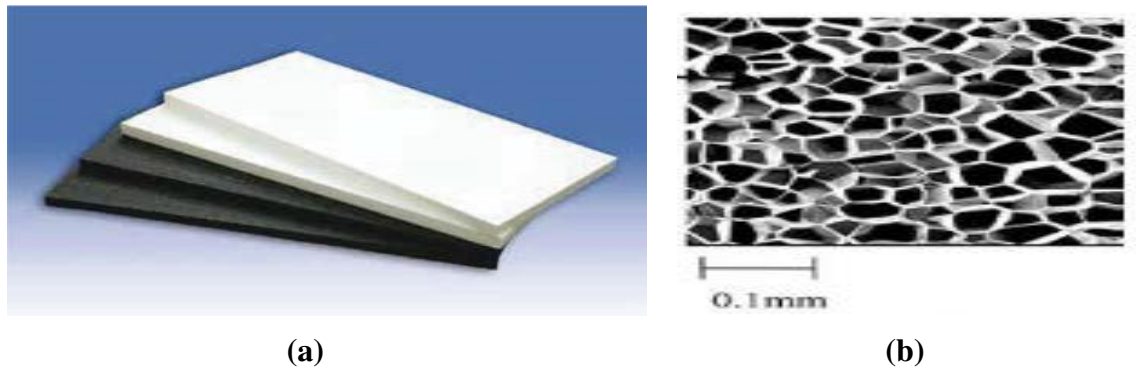
parçası olarak değerlendirilmelidir. Isı yalıtım malzemeleri ile sağlanan ısı koruma, ısı konfor, düşük enerji tüketimi ve düşük işletme maliyeti, binalarda enerji etkinliği için yapılabilecek en etkili yol olarak değerlendirilebilir (Papadopoulos, 2005).

Çalışmada kullanılan 5 farklı yalıtım malzemesi aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1. Ekspande polistren köpük

EPS, polistiren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen bir malzemedir. Şişirilmesi ve köpük haline getirilmesi işlemleri için kullanılan şişirici gaz pentandır. Pentan, öncelikle tanecikler içinde çok sayıda küçük gözenek oluşumunu sağlar, üretim sırasında ve üretimden sonraki çok kısa süre içerisinde hava ile yer değiştirerek malzemeyi terk eder. Bu sırada malzemenin ısı iletkenlik değeri gittikçe artar yani ısı direnci azalır. Ancak etkin mekanik dayanımın yanında şişirici gazın çok kısa sürede hava ile yer değiştirmesi, ürünün performansının kullanım ömrü boyunca sabit kalmasını sağlar (Özer, 2006).

EPS ve EPS'nin hücreli yapısı Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. (a) EPS (b) hücreli yapı görünümü (Yaman, vd., 2015; Öchsner, vd., 2008).

EPS yapısında polimerize polistiren (%1,5-2) ve hava (%98-98,5) içermektedir. Yangın direnci özelliklerini iyileştirmek için heksanbromsikododekan, %5-7'lik bir yüzdeye kadar kullanılır (Papadopoulos, 2005).

Yoğunluğu 16 kg/m^3 ün altında olan EPS, yalıtım malzemesi olarak tanımlanamaz ve şartnameler gereği yalıtım amacıyla kullanımı mümkün değildir. EPS nin ısı iletkenlik değeri $\lambda \leq 0,040 \text{ W/mK}$ dir ve kullanım sıcaklığı $-50/+75 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığındadır. EPS nin parlama sıcaklığı ise ortalama 360°C dir. Bu parlama sıcaklığı değerinde kolaylıkla tutuşacaktır. Ayrıca yanma esnasında açığa çıkan karbon monoksit, monostyrol, benzol ve halojen bileşenleri zehirli gazlardır. Bu nedenle yangın riskinin

yüksek olduğu alanlarda mecbur kalınmadıkça uygulanmamaları gerekir (Topçuoğlu, 2017).

EPS'yi meydana getiren tanecikler bünyelerinde çok sayıda kapalı gözeneğe sahip olsalar da bu tanecikler yüzeylerinde az sayıda da olsa açık gözenekler ve boşluklar barındırır. Bundan ötürü EPS malzemeler bir miktar suyu bünyelerine alabilirler. EPS içerisindeki gözenek miktarının artmasının malzemenin ısı iletkenliği üzerinde olumlu etkisi vardır. Genellikle gözenek miktarı arttıkça ısı iletkenlik değeri (k) düşmektedir. EPS mükemmel ısı yalıtım özelliğini m³ başına düşen 3–6 milyar olan küçük kapalı gözeneklere ve durgun havaya borçludur (Uzun, vd., 2012).

EPS, asit ve baz kimyasallarına karşı direnç gösterirken, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı dayanıksızdır. Ayrıca EPS nin ultraviyole ışınlar ve güneşin mor ötesi ışınlarına karşı davranışı da kötüdür (Aydın, 2010).

EPS ısı iletkenliği özellikle negatif sıcaklıklarda olmak üzere dayanım sıcaklığı limiti olan 100°C civarına kadar sıcaklıkla doğrusal bir değişim göstermektedir. Bu değişim düşük sıcaklıklarda azalmakta yüksek sıcaklıklarda ise artma şeklinde kendini göstermektedir (Uzun, vd., 2012).

EPS ısı yalıtım malzemesinin diğer önemli özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Çevre şartlarına dayanıklıdır, uzun ömürlüdür.
- Yoğunluğu istenildiği gibi değiştirilebilir. Kullanıcı için en uygun ürünü seçme imkânı tanıdığından gereksiz kullanımın ve israfın önüne geçilebilir.
- Üretim ve kullanım aşamasında, ozon tabakasına zarar verici CFC vb. içermediğinden, çevre dostu bir malzemedir.
- Uygulama ve kullanımı esnasında insan sağlığı için tehdit oluşturmaz.
- Darbe emme özelliği çok iyidir.
- Bakteri, mantar vb. gelişimine karşı dayanıklıdır.
- Uygulama kolaylığı vardır, hafif olduğundan kolayca istenilen yere taşınabilir.
- İstenilen şekilde üretilebilir, kolay işlenebilir (Eps Sanayi Derneği , 2017).

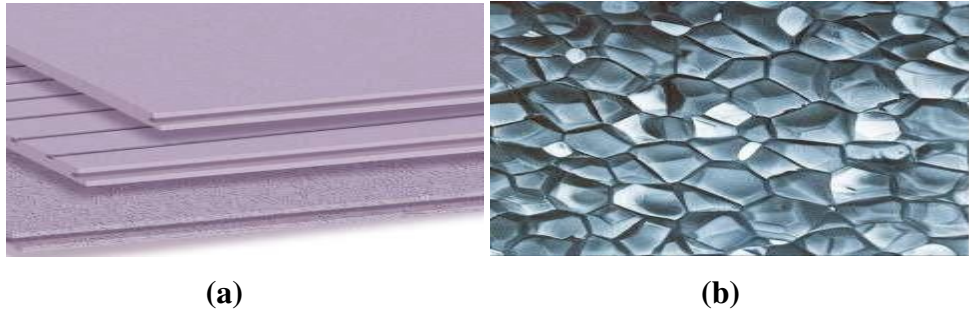
EPS ürünler, levha, boru veya önceden şekil verilmiş elemanlar halinde, yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayinde yoğun bir şekilde kullanılırlar. Binalarda duvarların, döşemelerin, eğimli ve teras çatıların, tavanların, soğuk hava

depolarının ve tesisatların ısı yalıtımında kullanılırlar. Kullanım alanlarının bu kadar çok olmasını hafifliğine, dayanımına, işlenebilme ve uygulanma kolaylığına ve düşük ısı iletkenliğine borçludur (Özer, 2006).

5.2.2.Ekstrüde polistren köpük

XPS, polistiren hammaddesinden, ekstrüzyon yolu ile meydana getirilen ve yerli olarak da üretilen, homojen hücre yapısına sahip bir ısı yalıtım malzemesidir. Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyut ve yoğunlukta değişik kenar ve yüzey şekillerinde levha olarak üretilmektedir. Isı iletkenlik değeri düşüktür ($\lambda \leq 0,035$ W/mK) ve yapı ömrü boyunca bu değeri koruyabilir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $m = 80-250$ dir. Kullanım sıcaklığı $-50/+75$ °C aralığındadır. Tamamıyla kapalı gözenekli hücre yapısından dolayı bünyesine su almaz. Nefes alabilen bir yapıya sahiptir. Bina kabuğunu yoğuşmadan ve korozyondan korur. İşlenebilirliği ve uygulanabilirliği kolaydır, fire vermez, israfsız kullanılabilir. Uygulama yerine taşınması hafif olduğundan kolaydır (Özer, 2006).

XPS ve XPS'nin hücresel yapısı Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. (a) XPS (b) ve hücresel yapı görünümü (XPS, 2017).

Ekstrüde polistiren de polimerize polistirrole dayalıdır. Karbon dioksit, %3-7 oranında itici gaz olarak kullanılırken ateşe dayanıklı katkı maddeleri de %1-6 oranında kullanılır (Papadopoulos, 2005).

Bu malzemelerin besin değeri olmadığından böcekler zarar veremez. UV ışığa karşı dirençli değildir ve kötü bir davranış sergiler. Eğer birkaç ay UV' ye maruz kalırsa yüzeyinde sarıdan kahverengiye doğru bir renk değişimi ve solma gözlenir (Türkmen, 2016).

XPS levhaların, kireç, çimento, alçı, bitüm, seyreltik asit v.b. gibi inşaat malzemelerine karşı dayanıklılığı varken, yakıt, katran ürünleri, cila ve diğer solvent bazı çözücülere dayanıklı değildir.

Ekstrüde Polistren Köpükler kısa ve uzun süreli yüklemeler karşısında yüksek mekanik dayanım gösterirler. Basma dayanımı en yüksek malzemelerden biridir. Güvenli tarafta kalmak için de malzemelerin %10 deformasyondaki basma dayanımları esas alınmalıdır. Sünme ise sabit bir yük altında uzun süreli deformasyon olarak tanımlanır. XPS ürünlerin en önemli özelliklerinden olan Basma/ Sünme dayanımı ile yoğunlukları arasında doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça basma ve sünme dayanımları artar (XPS, 2017).

XPS yanıcı bir malzemedir. Yanıcılığı petrol türevi bir ürün olmasından kaynaklanır. XPS yanarken ortama zehirli gazlar yayılır. Üretimi genel olarak HCFC (hidrokloroflorokarbon) olarak adlandırılan bir sera gazı ile yapılmaktadır. Bu gaz ozon tabakasına zarar vermektedir. Gelişmiş birçok ülkede kullanımı ya yasak ya da az sayıdadır. Bu yüzden XPS üretiminde zararsız gazların kullanılması gerekmektedir. Günümüzde CO₂ gazı kullanılarak XPS plaklar üretilmektedir (Topçuoğlu, 2017).

XPS dış yüzeyden yalıtım, iç yüzeyden yalıtım ve sandviç yalıtım uygulamalarında kullanılabilir. Ancak yapı fiziği açısından değerlendirildiğinde bu uygulamalar içerisindeki en doğru çözüm mantolama (dış yüzeyden) uygulamasıdır. Çünkü bu uygulama, binanın tüm cephesine sürekli bir yalıtım sağlar, kolon ve kiriş gibi taşıyıcılarda oluşabilecek ısı köprülerini önler ve yaz/kış sıcaklık farklarından dolayı oluşan ısıl gerilmeleri düşük seviyelere indirir (Özer, 2006).

5.2.3. Mineral yünler

5.2.3.1. Cam yünü

Cam yünü silis kumu, kireç ve sodyum karbonat karışımının 1650 °C de ergitilip çok küçük gözenekli bir kaptan geçirilerek elyaf haline getirilmesi ile üretilen bir ısı, ses ve yangın yalıtımı malzemesidir. Temel bileşeni silistir ve yaklaşık %70 oranında karışımda bulunur. Silis, kum ve çakıl taşı gibi maddelerin en az %95'ini, yer kabuğunun ise yaklaşık %26'sını oluşturmaktadır. Cam yününün ısı iletkenlik hesap değeri $\lambda \leq 0,040$ /mK dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -50/+250 °C arasında, erime sıcaklığı ise >800 °C' dir. Ayrıca -200 °C/+450 °C aralığında ihtiyaca göre özel olarak üretilmektedir. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz, böcekler ve mikro organizmalar tarafından tahrip edilmez. Su itici özelliğe sahip ve kapiler su emmeye dayanıklıdır. A sınıfı yani yanmaz malzeme sınıfındadır.

Cam yünü uygulamalarında iş güvenliğini de göz önünde bulundurmak gerekir. Araştırmacılar tarafından cam yününün kanserojen olmadığı yönünde bir fikir birliği olsa da, kanserojen bir madde olan asbeste fiziksel benzerliği vardır. Asbest gözlerin, cildin ve solunum yollarının tahrişine sebep olabilmektedir. Cam lifleri ise imalat sırasında kullanılan bazı kimyasallardan dolayı, dermatit olarak bilinen cilt iltihabına neden olabilir. Ayrıca bağlayıcı olarak bulunan formaldehitin deriye teması veya solunması sonucu ciddi rahatsızlıklar meydana gelebilir (Topçuoğlu, 2017; Özer, 2006).

5.2.3.2. Taş yünü

Taş yünü bazalt, diyabaz, dolomit gibi kayaların 1350-1400 °C de eritilerek püskürtüldükten ve bakalit ile karıştırılıp daha sonra özel işlemlerden geçirilmesi sonucu üretilen bir ısı, ses ve yangın yalıtımı malzemesidir. Üretimi için genellikle bazalt kullanılır. Bazalt, kömür tozu ve çelik endüstrisinden gelen atık cüruf birlikte eritilerek elyaf haline getirilir. Taş yününün ısı iletkenlik hesap değeri 0,035-0,040 W/mK aralığındadır. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -50/+700-750 °C aralığındadır. Isı direnci yüksektir. Erime sıcaklığı ise >1000 °C' dir. Sıcağa ve rutubete maruz kalması halinde dahi boyutlarında bir değişme olmaz. Zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Böcekler ve mikro organizmalar tarafından tahrip edilmez. Taş yününün korozif (aşındırıcı, tahrip edici) etkisi yoktur. Diğer malzemelerle kimyasal etkileşime girmezler.

Taş yünü higroskopik ve kapiler değillerdir. Ancak 1 m² yüzeyinden 1-3 kg su emebilmektedir. Malzeme ıslandığı takdirde ise ısı yalıtım özelliğini, ısı iletkenlik değerinin %98 ine kadar kaybedebilir. Bu nedenle taş yünü, su ile temas edebileceği alanlarda bir ısı yalıtımı malzemesi olarak kullanılmamalıdır. En sık tercih edilen yangın yalıtım malzemesidir. Yanmaz malzemeler olan A sınıfındandır. Çok yüksek sıcaklıklarda yanması halinde dahi insan sağlığına ve atmosfere zararlı gaz çıkışı gerçekleşmez (Topçuoğlu, 2017; Özer, 2006).

Binalarda ve teknikte ısı, ses ve yangın yalıtımı amacıyla kullanılan elyaflar Amerikan (ASTM) standartlarında mineral elyaf (mineral fiber), Avrupa (EN) standartlarında ise mineral yün (mineral wool) olarak isimlendirilmektedir. Mineral yünlerin sağlıkla ilgili olarak EUCB tarafından sertifikalandırılmış olmaları gerekmektedir. EUCB (Mineral Yünler için Avrupa Sertifikasyon Kurulu) 1272/2008

/EC no'lu Avrupa Yönergesine göre kanserojen olarak sınıflandırılmamış mineral yün ürünleri izleyen belgelendirme otoritesidir (Öktem, 2014).

Dünya Sağlık Örgütü'nün alt kuruluşu olan Uluslararası Kanser Araştırmaları Kurumu (IARC) ise yine aynı şekilde, Avrupa Birliği 97/69/EC Yönetmeliği doğrultusunda, mineral yün elyaflarını vücut sıvılarında çözülebilen, kanserojen olmayan malzemeler olarak sınıflandırmıştır (Günaydın, 2014).

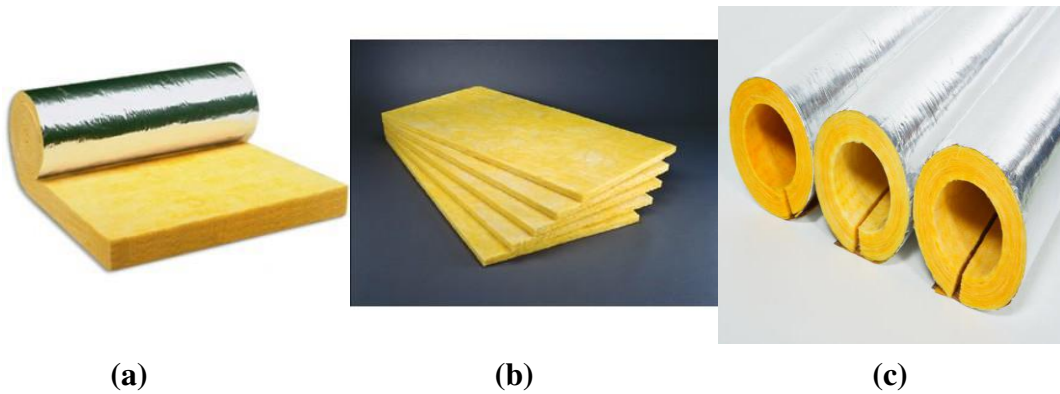
Taş yünü ve cam yünü gibi mineral yün grubundaki malzemelerin bünyelerinde havanın geçebileceği boşluklar bulunmaktadır. Bu malzemeler, açık gözenekli yapılarından dolayı ses yutucu olarak nitelendirilebilirler. Sesin mineral yünlere girişi, iç boşluklara doğru ilerlemesi ile gerçekleşir. Ses enerjisinin bir kısmı, bu boşluklarda ilerlerken sürtünme ve malzemelerdeki küçük elyafların titreşimi sayesinde ısı enerjisine dönüşerek kaybolur. Ses dalgasının malzeme içerisine girişi oranında yutulan ses enerjisi de artar (Murat, 2016).

5.2.3.3. Cam yünü ve taş yünü kullanım alanları

Cam yünü şilte, her türlü ahşap oturtma çatılar ve metal çatılarda, çatı arası döşemelerde, sandviç çatı sistemlerinde, güneş enerji sistemlerinde, havalandırma ve klima kanallarının dıştan yalıtımında kullanılır.

Cam yünü levha, genellikle dış duvarların ısı yalıtımında, iki duvar elemanı arasında, düz ve eğimli teras çatılarda, çatı katlarında ve mertek aralarında, sandviç duvar panellerinde ve taşıyıcı döşemelerin üzerinde kullanılır.

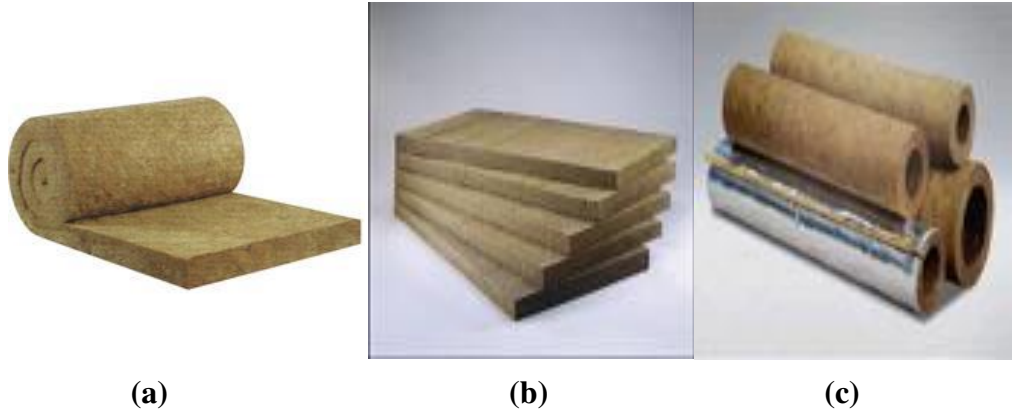
Cam yünü boru, kalorifer ve merkezi ısıtma tesisatında, güneş enerjisi tesisatında, boruların terleme ve donmaya karşı korunmasında, basınçlı su borularında titreşime ve sese karşı olmak üzere her türlü mekanik ve endüstriyel tesisatta kullanılır. Cam yününün şilte, levha ve boru hali Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. (a) Cam yünü şilte (b) cam yünü levha (c) cam yünü boru (İzoder, 2017).

Taş yünü, binaların çatılarında, döşemelerinde, bölme duvarlarda, dış cephe ısı yalıtımında, eğimli çatılarda, gemi inşaatlarında, fırınlarda, sinema gibi eğlence mekânlarının ses yalıtımlarında, elektrikli ev aletlerinin ısı ve ses yalıtımlarında kullanılır. Bu malzemeler çoğunlukla yük taşıma gerektiren uygulamalarda kullanılmalıdır. Teras çatı, döşeme ve dış cephe ısı yalıtımı gibi yüksek basma ve çekme mukavemeti gerektiren uygulamalarda, bu ihtiyacı karşılayabilecek, uygun kalınlıklarda ve özelliklerde taş yünü malzemelerin kullanılması çok yararlı olacaktır.

Şekil 5.6'da taş yününün şilte, levha ve boru hali gösterilmiştir.



Şekil 5.6. (a) Taş yünü şilte (b) taş yünü levha (c) taş yünü boru (İzoder, 2017).

5.2.4. Poliüretan sert köpük

Poliüretan (PUR), izosiyanatlar ile polioller (birden fazla hidroksil grubu içeren alkoller) arasındaki bir reaksiyon ile oluşur. Genleşme işlemi sırasında kapalı gözenekler bir genleşme gazı (HFC, CO₂ veya C₆H₁₂) ile doldurulur. PUR, ne kadar güvenli olsa bile, yangın durumunda ciddi sağlık sorunları ortaya çıkabilir. Yangın sırasında, çok zehirli gaz olan hidrojen siyanür (HCN) ve izosiyanatlar oluşur (Jelle, 2011).

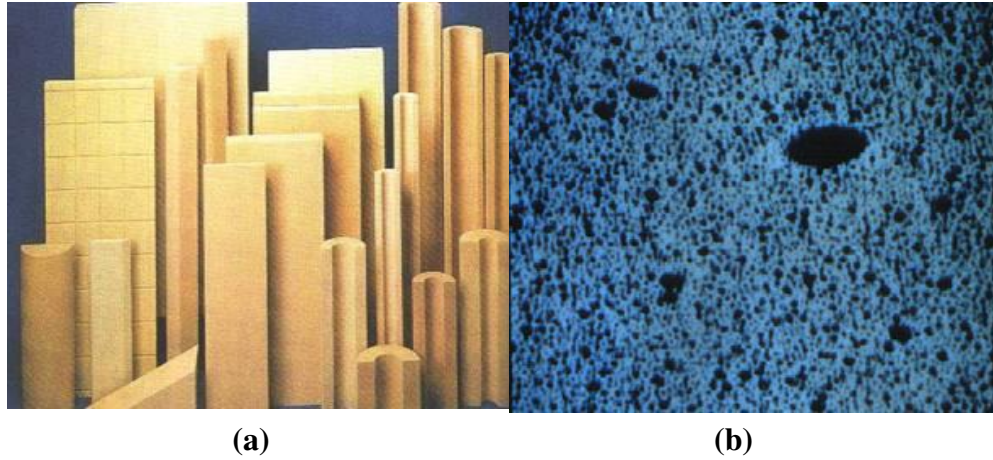
5.2.4.1. Poliüretanın özellikleri:

Poliüretanın ısı iletkenlik katsayısı oldukça düşüktür. Yoğunluğa ve sıcaklığa bağlı olarak 0,016-0,032 arasında değişen ısı iletkenlik değeri ile yalıtım sektöründe kullanılan en iyi ısı iletim katsayısına sahip malzemelerden birisidir. Poliüretan köpüğün yoğunluğu 30-200 kg/m³ arasında ayarlanabilir. Genellikle bina yalıtımları için kullanılanları 30- 40 kg/m³ yoğunluklardadır. Kullanım sıcaklığı -180 ile 110 °C aralığındadır. Malzemenin su alması az olsa da yine de EPS den daha fazladır. 24 saat suya daldırılmış numune hacminin % 0,2-1,0 i kadar su alır. Buhar difüzyonu yolu ile

ıslanma durumu söz konusu olduğundan levhalar ya sızdırmaz şekilde kaplanmalı veya muhtemel gerilmelere karşı önceden önlem alınmalıdır.

Poliüretan yanıcı bir petrol türevi malzemedir. Ancak imalatı esnasında bazı maddelerle zor alev alabilen malzeme sınıfına girebilir. Diğer yalıtım malzemelerine (lifli malzemeler, EPS) kıyasla ucuz bir malzeme sayılmaz ama sandviç paneller gibi hazır prefabrik elemanlarla işçilikten ve zamandan büyük kazanç sağlar. Genellikle piyasada 15 ile 150 mm kalınlıklarda bulunur (Topçuoğlu, 2017; Özer, 2006).

Poliüretan ve poliüretanın hücre yapısı Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. (a) Poliüretan sert köpük (b) hücre yapısı (İzoder, 2013).

5.2.4.2. Poliüretanın tercih edilme nedenleri:

Poliüretan ısı yalıtım malzemesinin yalıtım uygulamalarında tercih edilme nedenleri aşağıda maddeler halinde yer almaktadır.

- PUR, en verimli ve yüksek performanslı yalıtım malzemelerinden biridir. Mütevazı kalınlıklarda bile yalıtım performansı son derece yüksektir.
- Uygulanışı kolaydır.
- Poliüretan imalatında kullanılan HC Pentan gazının malzemenin yalıtım özelliğine pozitif etkisi vardır. Ayrıca bu gaz ozon tabakasına zarar vermez. İnsan ve çevre sağlığı üzerinde tehdit oluşturması söz konusu değildir.
- Mekanik özellikleri iyidir. Diğer malzemelere mükemmel yapışma-bağlanma özelliği ile kompozit ürünlerin (sandviç panel vb.) imalatında tercih edilir.
- Kimyasallardan fazla etkilenmez. Hafif asitlere, benzine, mazota, alkalilere ve deniz suyuna karşı dayanıklıdır ancak ultraviyole ışınlarına karşı dayanıksızdır.

- Poliüretan dengeli ve dayanıklıdır. Yaşlanma sonucu ısı iletkenliğindeki değişim en çok %15 olmaktadır. Bu da yapı ömrüne eşdeğer bir kullanım süresi olduğu anlamına gelmektedir (Topçuoğlu, 2017; Aydın, 2010).

Poliüretan sert köpüğünden yapılan yalıtım malzemelerinin kullanım alanı oldukça geniştir. Ürünler, çatı kaplamasında, duvarlarda, zeminler ve tavanlarda, pencere çerçevesi yalıtımı ve köpük dolgu macunlarından, endüstriyel yapılar için metal yüzölçü sandviç panellere kadar uzanır. Poliüretan aynı zamanda, pencerelerin ve kapıların etrafında dolgu yapmak ve çeşitli boşlukları doldurmak için de kullanılabilir. Püskürtme veya sprey olarak en küçük boşlukları bile doldurabileceğinden ısı köprüsü oluşumunu büyük ölçüde engeller (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations, 2006).

Sprey poliüretan yüksek basınçlı poliüretan makinesi ile uygulanır. Uygulama, makine sistemi, kompresör, hammadde pompaları ve hortumları bulunan mobil sistem ile gerçekleşir. Püskürtülen malzeme %100 aderans ile aplikasyon zeminin yapışarak yekparelik sağlar. Sprey poliüretan uygulamasında yüzeyde meydana getirilen poliüretan katmanının her yerde eşit kalınlıkta olması ve yoğunluğunun istenen düzeyde olması uygulama detaylarına özen gösterilmesine bağlıdır (Topçuoğlu, 2017).

5.3. Isı Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Yapılarda kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri, hammadde kaynağına bağlı olarak, bitkisel ve hayvansal kökenli ısı yalıtım malzemeleri, mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri ve sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

a) Bitkisel ve hayvansal kökenli ısı yalıtım malzemeleri: Mantar, pamuk esaslı ısı yalıtım malzemesi, bor katkılı selülozik yalıtım malzemesi.

b) Mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri: Cam yünü, taş yünü, perlit, gaz beton, Bims(pomza).

c) Sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri: Poliüretan köpük(PUR), genleştirilmiş polistren sert köpük(EPS), Ekstrüde polistren sert köpük (XPS), PVC-polivinilklorür köpüğü (Karadayı ve Yüksek, 2016).

5.4. Isı Yalıtımı ve Cam

Yalıtım camı üniteleri ülkemizde 1970'lerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu camların çalışma prensipleri iki cam arasında hapsedilen kuru ve durgun havaya

dayanır. Bu hava sayesinde binanın pencerelerinin yol açtığı ısı kaybı %50 oranında azaltılabilir. Bu sayede bu camlarla verimli bir ısı yalıtımı sağlanmış olur. Günümüzde Low-E ve Solar Low-E kaplamalı camlarla üretilen yalıtım camı üniteleri yapılmaktadır. (İzoder, 2013).

5.4.1. Düşük yayımlı ısı kontrol (Low-E) kaplamalı yalıtım camı ünitesi

Sıradan çift cama göre ısı kayıplarını %50 azaltır. Isı yalıtımı ve enerji tasarrufu sağlar, yakıt masraflarını düşürür. Pencere önlerinin kışın soğuk olmasını engeller ve cam yüzeyinde oluşan buğulanmaları geciktirir. Güneş ısısından maksimum fayda sağlar. Ultraviyole (UV) ışınlarının geçişini %76 oranında engelleyerek eşyaların renklerinin solmasını önler. Radyatör gibi ısı kaynaklarından çıkan ısıyı tekrar içeriye yansıtır ve binadan dışarıya ısı kaybını engeller.

5.4.2. Düşük yayımlı ısı ve güneş kontrol (Solar Low-E) kaplamalı yalıtım camı ünitesi

Sıradan çift cama göre ısı kayıplarını %50; güneş ısısının içeriye girişini ise %40 azaltır. Tek bir kaplama ile güneş kontrolünü ve ısı yalıtımını bir arada sağlar. Yakıt ve klima masraflarını düşürür. Cam yüzeyinde oluşan buğulanmaları geciktirir. Pencere önlerinin kışın soğuk, yazın sıcak olmasını önler. Ultraviyole (UV) ışınlarının geçişini %91 oranında engelleyerek eşyaların renklerinin solmasını önler (Şişecam-Düzcem, 2017).

5.5. Isı Yalıtım Malzemesi Seçiminde Göz Önüne Alınması Gereken Özellikler

Yalıtım malzemelerinin özelliklerini üç ana gruba ayırabiliriz. Birinci grupta, ısı yalıtım performansı, mekanik dayanım, yoğunluk, neme ve yangına direnç gibi malzemenin davranışını tanımlayan fiziksel özellikler bulunur. İkinci grupta, yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri ile ilgili, açık olarak daha az ifade edilen ve daha az kabul gören özellikler vardır. Bu grup, birincil enerji, malzemenin üretimi için gaz salımları, biyolojik etkilere karşı katkı maddelerinin kullanımı, atık işlem sınıflandırması, yeniden kullanılabilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve malzemenin çevresel etkileri gibi özellikleri içerir. Son grupta ise toz ve lif salımları, biyopersistans ve yangın anında toksisite gibi halk sağlığı ile ilgili özellikler bulunur. Bu özellikler malzemenin üretim, kullanım ve yok olmasının son aşamasında bulunabilir (Papadopoulos, 2005).

Bir ısı yalıtım malzemesi seçiminde en önemli özelliklerin başında düşük ısı iletkenlik değerini söyleyebiliriz. Çünkü ısı yalıtımında temel amaç ısı kayıp ve kazanımlarını sınırlamaktır. Dolayısıyla ısı iletkenlik ve ısı direnç gibi kavramlar malzemenin yalıtım davranışını göstermektedir. Günümüzde bulunan mevcut ısı yalıtım malzemeleri talep edilen birçok ihtiyacı karşılayabildikleri halde, tüm ihtiyaçları karşılayabilecek mükemmel diyebileceğimiz tek bir ısı yalıtım malzemesi yoktur (Hegger, 2006).

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde göz önüne alınması gereken başlıca hususlar şunlardır:

Isı iletkenlik katsayısı (λ): Isı iletkenlik katsayısı, bir ısı yalıtım malzemesi seçimi için dikkate alınması gereken en önemli özelliklerin başında gelmektedir. Alternatifleri arasında en düşük ısı iletkenliğe sahip malzemeler tercih edilmelidir (Karadayı ve Yüksek, 2016). Termal iletkenlik (λ) ısı yönünde iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1 Kelvin (K) iken, 1 m²'lik bir yüzey ve 1 metre kalınlığında bir malzeme tabakasında, (W) ısı akışını temsil eder. Isıl iletkenliğin birimi W/(m.K) dir (Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations, 2006).

Isı iletim katsayısına etki eden faktörler (malzemeye bağlı olanlar) ;

- Malzemenin yoğunluğu,
- Malzeme tipi (Levha, Boru, Dökme v.s.),
- Malzemenin içindeki nem miktarı,
- Malzemenin buhar difüzyon direnç faktörü,
- Gözenek, lif, hava dağılımı ve yapısıdır (Kaya ve Oğuz, 2015).

Su buharı difüzyon direnç katsayısı: Su buharı, sıcaklığa ve bağlı neme bağlı olarak, kısmi buhar basıncı yüksek olandan düşük olana doğru ilerler ve ilerlerken de bir direnç ile karşılaşır. Her malzeme, kalınlığına bağlı olarak buhar difüzyonuna karşı koyar. Bu direncin, havanın su buharı difüzyon direncine oranı “Su Buharı Difüzyon Direnç Katsayısı (μ)” denir (Cellubor, 2017).

Özgül ısı kapasitesi: Özgül ısı kapasitesi (c), bir maddenin kütlesine bağlı olarak ısıyı emme özelliğini tanımlar. Isı yalıtım malzemesinin özgül ısı kapasitesi, kalorimetri olarak bilinen özel bir teknik kullanılarak ölçülür. Malzemenin mikro yapısı ve yoğunluğu onun ne kadar ısı tutabileceği ile ilişkilidir. Yoğun bileşenlerin ısınması

daha uzun sürer ve eğer özgül ısı kapasiteleri yüksekse bu malzemeler daha fazla ısı tutabilirler (Pfundstein, vd., 2008).

Yangın standardı: Yapıda ve tesisatta kullanılan yalıtım malzemeleri yangın güvenliği açısından yeterli düzeyde olmalıdır. Malzemelerin tutuşabilirliği, alev yayılım özelliği, çıkardığı ısı ve duman, “Yangın Güvenliği” açısından en önemli kriterlerdir. Pek çok ülkede bu güvenlik kriterleri standartlaştırılmıştır. İngiltere BS476, Almanya DIN 4102, İskandinavya, İtalya, Hollanda, Fransa, İsveç bu ülkelerin başlıcalarıdır (Cellubor, 2017)

Yapı malzemelerinin yangın karşısındaki davranışları ile ilgili olarak tüm AB ülkelerinde geçerli olan ortak sınıflandırma esasları ve test yöntemleri oluşturulmuştur. Gümrük birliği anlaşmasına istinaden Türkiye ve AB arasında teknik mevzuatın uyumlaştırılmasına dair hükümler doğrultusunda yeni sınıflandırma esaslarının verildiği EN 13501-1 standardı 2003 yılında Türk standardı olarak yayınlanmıştır. Yapılan bu uyumlaştırma çalışmasının neticesinde Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmeliğin, TS EN 13501-1 standardında verilen yanıcılık sınıfları esas alınacak şekilde revize edilmiştir (Kaya ve Oğuz, 2015).

Yapı malzemelerinin Türk Standartlarındaki yanıcılık sınıfları ise;

A1: hiç yanmaz, A2: zor yanıcı, A2,B,C: zor alevlenici, D,E: normal alevlenici, F: kolay alevlenici şeklindedir (Türk Standartları Enstitüsü, 2013).

Yangın kullanılan dış cephe ısı yalıtım malzemelerinin yanma karakteristikleri üzerindeki ısı akısı etkisini incelemek amacıyla konik kalorimetre kullanılmaktadır. Konik Kalorimetre Şekil 5.8’de de görüldüğü üzere, ağırlıklı olarak yanma odası, yük üniteleri, oksijen analizörleri, duman ölçümü, havalandırma sistemleri ve ilgili yardımcı ekipmanı içerir (Zhang, 2014).



Şekil 5.8. Konik kalorimetre (Zhang, 2014).

Toksisite: Malzemelerin yangın anındaki davranışları yanında, yangın sırasında malzemeden çıkan duman içindeki zehirli gaz miktarı da yani “Toksisite” si de önemlidir. Mineral malzemeler ile mantar gibi doğal malzemeler toksisite açısından avantajlıdır (Karadayı ve Yüksek, 2016).

Hacimce su emme – Hücre yapısı: Isı yalıtım malzemelerinin hücre yapıları ile hacimce su emme değerleri arasında önemli bir bağlantı vardır. Bilindiği üzere ısı yalıtım malzemeleri kapalı veya açık gözenekli hücre yapısına sahiptir (Karadayı ve Yüksek, 2016). Su emme, her türlü yalıtım malzemesi için istenmeyen bir durumdur. Su, ısı yalıtım malzemelerine, hücre yapılarına göre çeşitli şekillerde sızabilir. Böylece gözenek yapısına bağlı olarak bünyesine su alan malzemenin ısı iletkenlik değeri yükselir (Pfundstein, vd., 2008).

Ekonomiklik: Yapıda kullanılacak ısı yalıtım malzemesi seçimi yaparken dikkat edilmesi gereken özelliklerden birisi de ekonomikliktir. Her kullanıcı malzemenin en ekonomik olanını seçmek ister ancak sadece ekonomik durum gözetilerek yapılan bir seçim yalıtım performansı adına verimli olmayabilir. Bu yüzden yalıtımın hangi amaçla uygulanacağı belirlenmeli ve bu amaca göre ekonomik şartlar da gözetilerek malzemelerin üstün olduğu özelliklerinden yararlanılmalıdır.

Isı yalıtım malzemesinin kullanılacağı yapı elemanı: Yalıtım sektöründe bulunan ısı yalıtım malzemeleri kullanım alanlarına göre çeşitlilik gösterirler. Her malzemenin üstün ve zayıf özellikleri vardır. Hangi yapı elemanında hangi malzemenin kullanılmasına karar verirken de malzemelerin üstün özelliklerinden faydalanılır. Böylelikle hem daha yüksek performans gösteren elemanlar oluşturulur hem de malzemenin yapı elemanında maruz kalacağı etkilerin önüne geçilmiş olur.

Ekolojik ve biyolojik özellikler: Yapı malzemeleri çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yarattığından ısı yalıtım malzemesi seçiminde fiziksel, kimyasal vb. özelliklerinin yanında çevresel ve biyolojik özelliklerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çevresel özellikleri iyi olan malzemeler yeryüzüne daha az zarar verirler ve bu nedenle çevre dostu malzeme olarak tanımlanırlar (Karadayı ve Yüksek, 2016).

Yoğunluk: Yoğunluk, bir maddenin kütlesinin hacmine oranıdır (kg/m^3) ve bir ısı yalıtım malzemesinin ısıl performansı açısından çok önemli bir özelliktir. Düşük bir yoğunluk genellikle, yüksek porozite veya yüksek hacimdeki boşluklar anlamına gelir;

bu da, termal iletkenlikte bir azalmaya, diğ er bir deyişle söz konusu malzeme için daha iyi bir ısı yalıtımı etkisine neden olur (Pfundstein, vd., 2008).

Isıl direnç: Isıl direnç malzeme kalınlığının ısı iletkenlik değerine bölünmesi ile elde edilir. Bir ısı yalıtım malzemesinin ısıl direncinin büyük olması diğ er malzemelere kıyasla daha iyi yalıtım özelliğine sahip olduğu anlamına gelir. Yalıtım uygulamalarında amaç, yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı değerinin mümkün olduğunca azaltılmasıdır (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

Korozyon riski: Demir donatıdaki korozyon hasarı, nem, su, oksijen, CO₂ ve klor unsurlarının pas payından donatıya geçmesi ve donatının oksitlenerek (paslanarak) kesit kaybına uğraması şeklindedir. Kesit küçüldüğünde yapıya gelecek olan yatay yükler ve çekme kuvvetleri karşılanamaz. Bu durum, yapının taşıma gücüne zarar verir ve deprem esnasına bina güvenliğini tehlikeye sokar. Bu nedenle yeni inşa edilecek yapılarda donatı korozyonunun oluşmaması için yapının temel tabanından, çatısındaki mahyasına kadar tüm dış kabuğun uygun malzemeler ile su ve ısı yalıtımının kesintisiz olarak yapılması gerekir (Evrimler, 2013).

Aşağıda yer alan  izelge 5.1’de yaygın kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin bazı özellikleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. Isı yalıtım malzemelerinin önemli özellikleri (Pfundstein, vd., 2008; Yılmaz, 2009).

Isı yalıtım malzemelerinin özellikleri	EPS	XPS	Taş yünü	Cam yünü	PUR
Yoğunluk (kg/m ³)	15-30	25-45	20-200	20-200	30-100
Isıl iletkenlik(λ)-W/mK	0,035-0,040	0,030-0,040	0,035-0,045	0,035-0,045	0,024-0,030
Özgül ısı kapasitesi (J/kgK)	1500	1300-1700	600-1000	600-1000	1400-1500
Maksimum servis sıcaklıkları (kısa süreli-°C)	100	100	1000	600	250
Maksimum servis sıcaklıkları (uzun süreli-°C)	80-85	75	600-750	500	(-30)-(+120)
Termal genleşme katsayısı (K ⁻¹)	5x10 ⁻⁵ -7x10 ⁻⁵	6x10 ⁻⁵ -8x10 ⁻⁵	*	*	5x10 ⁻⁵ -8x10 ⁻⁵
Su buharı difüzyon direnç katsayısı	20-100	80-200	(1-2)	(1-2)	30-200
Su emme (uzun süreli-hacimce %)	(1-5)	0,1-0,3	3 kg/m ²	3 kg/m ²	1,5-3
%10 deformasyonda basınç dayanımı (kPa)	60-200	150-700	15-80	15-80	100-500
Çekme dayanımı (kPa)	>100	>200	3,5-80	3,5-80	40
Yangın dayanımı (DIN EN 13501)	E	E	A1	A1-A2	B-s2,d0--C-s3,d0
Yangın dayanımı (DIN 4102)	B1	B1	A1	A2	B1,B2
İşlenebilirlik	√	√	√	√	√
Sıva tutuculuk	√ (pürüzlüler)	√ (pürüzlüler)	√ (mantolama)	X	√
Çürümezlik	√	√	√	√	√
Parazitlere dayanıklılık	√	√	√	√	√
Uzun ömürlü olma	√	√	√	√	√
İnsan sağlığına ve çevreye zararlı olmama	√	√	√ (deri ile temas etmemeli)	√ (deri ile temas etmemeli)	√
Kimyasal etkenlere karşı dayanım	√ (kimyasal solventler ve baca gazları hariç)	X	√ (sert asitler hariç)	√ (hidroflori k asit hariç)	√
Ultraviyole ışınlar karşı dayanım	X	X	√	√	X
Kullanım amacı	Isı yalıtımı	Isı yalıtımı	Isı, ses ve yangın yalıtımı	Isı, ses ve yangın yalıtımı	Isı yalıtımı

Çizelge 5.1’de verilen ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerine ilişkin karşılaştırmalar aşağıda maddeler halinde yorumlanmıştır.

- Özellik tablosundaki ısı iletim katsayılarına bakıldığında, en iyi ısı yalıtımı sağlayan malzemenin poliüretan köpükler olduğu görülür.
- Sentetik kökenli (xps, eps, poliüretan vb.) ısı yalıtım malzemelerinin çoğunun yangın davranışları iyi değildir. Bu malzemelerin aksine taş yünü, cam yünü gibi mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri yüksek sıcaklık dayanımları ile yangın riskinin fazla olduğu alanlarda tercih edilebilirler.
- Yoğuşma, yapılarda önemli problemlerden biridir. Isı yalıtım malzemelerinin buhar difüzyon direnç değerlerine bakarak yoğuşma hakkında yorumlar yapılabilir. XPS, EPS ve poliüretan köpüklerin buhar difüzyon direnç faktörü yüksektir ($\mu= 20-200$). Yoğuşma riski yüksek olan dış duvarlarda su buharı geçişine karşı yüksek direnç gösteren bu malzemeler kullanılabilir. Taş yünü ve cam yünü malzemelerin ise buhar difüzyon dirençleri düşüktür ($\mu= 1-2$).
- Çizelge de yer alan tüm malzemeler parazit ve mantar gibi mikroorganizmaların gelişmesine imkân vermediklerinden çürüme ve bozulma gibi risklerin olduğu yapılarda rahatlıkla tercih edilebilirler.
- Yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkisi göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Yukarıda bulunan malzemelerin tümü sağlık üzerinde ciddi problemler oluşturmazlar. Ancak cam yünü ve taş yünü malzemeler deriye temas halinde ciltte tahrişe yol açabilirler.
- Mineral yünlerin kullanım amacı ve alanı polimerlere kıyasla daha fazladır. Isı yalıtımın yanında yangın ve ses yalıtımında da sıklıkla tercih edilirler. Dolayısıyla yüksek maliyetli olmalarına karşın diğer malzemelere göre daha fonksiyonel avantaja sahiptirler.
- Bilindiği üzere ısı yalıtım malzemelerinin gözenek yapıları farklılık gösterir. Cam yünü ve taş yünü açık gözenekli malzemelerken, XPS, EPS ve PUR çok büyük oranda kapalı gözenekli hücre yapısına sahiptir. Mineral yünlerin açık gözenekli yapılarından dolayı kapiler etkiyle su emme miktarları sentetik polimer kökenli malzeme olan EPS, XPS ve PUR tan çok daha yüksektir.
- Boşluklu yapıya sahip olan ısı yalıtım malzemelerinin yoğunlukları düşüktür. (EPS, XPS, PUR vb.) Malzemede bulunan çok sayıdaki boşluk ise, yalıtım görevini üstlenmektedir.

- Isı yalıtım malzemeleri, etkili yalıtım davranışlarının yanı sıra basınç gerilmelerine karşı koyabilecek mukavemete de sahip olmalıdırlar. Yukarıdaki tablodan polimerlerin %10 deformasyonda basınç dayanımlarının mineral yünlere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebeple gezilen çatı ve teraslarda genellikle yüksek dayanımlarından dolayı polimerler tercih edilirler. Taş yününün basınç mukavemeti cam yününe kıyasla biraz fazla olabilir. Bunun nedeni ise camyününde lifler sadece yatay doğrultuda iken, taş yününde lifler her doğrultuda olabilir (Aydın, 2010).
- Isı yalıtım malzemelerinin çoğu asitlere ve çözücü maddelere karşı duyarlıdırlar. Mineral yünler, polimer esaslı malzemelerden daha dayanıklıdır. Ayrıca mineral yünler polimerlere kıyasla UV ışınlarına karşı daha dayanıklıdırlar.
- Yangın davranışı ve sıcaklık dayanımı açısından mineral kökenli camyünü ve taş yünü malzemeler hammaddelerinin yanma özellikliğinin olmamasından dolayı iyi performans gösterirler. Sentetik kökenli EPS, XPS ve poliüretan ise petrol türevi olduklarından yanıcıdır.
- Gözenek yapısı, gözeneklerin büyüklükleri ve şekilleri çok önemlidir. Açık hücre yapısında dokular arasında bulunan boşluklarda tipik olarak hava bulunmaktadır. Kapalı hücre yapısında ise hücreler çok ince duvarlar tarafından sınırlandırılmıştır. Polistren ve poliüretan malzemeler kapalı hücre yapısındadır. EPS malzemeler sadece duvarlardan oluşurken XPS ve poliüretan malzemeler hem duvarlardan hem de duvarlar arasında kalan boşluklardan oluşur (Uzun, vd., 2012).
- EPS nin ısı iletkenlik değeri grafit katkısı ile düşürülerek XPS seviyesine indirilebilir. 15 kg/m^3 yoğunluğa sahip bir grafit reflektörlü EPS, 30 kg/m^3 yoğunluğundaki bir EPS nin ısı iletkenlik değerine sahiptir. Böylece yaklaşık %20 daha iyi bir ısı yalıtımı sağlanarak daha ince yalıtım levhalarıyla eşdeğer yalıtım performansına ulaşılabilir (Topçuoğlu, 2017).
- Taş yünü ürünler, camyünü ürünlere göre daha yüksek sıcaklığa dayanıklı ürünler olduğundan yangın yalıtım çözümlerinde daha yüksek bir yangın dayanımı sağlamaya yardımcı olurlar. Camyünü ve taş yünü ürünlerin şilte tipinde olanları yük taşıma özelliğine sahip değildir. Ancak taş yünü levha tip ve kalınlığa bağlı olarak 10 ton/m^2 'den daha fazla yük taşıyabilirler (Öktem, 2014).

5.6. Nemin Yapı İçindeki Hareketi ve Binalarda Yoğuşma Problemi

Yapı elemanları içindeki nem hareketi üç şekilde olur. Bunlar infiltrasyon, kapilarite etkisi ve buhar difüzyonudur.

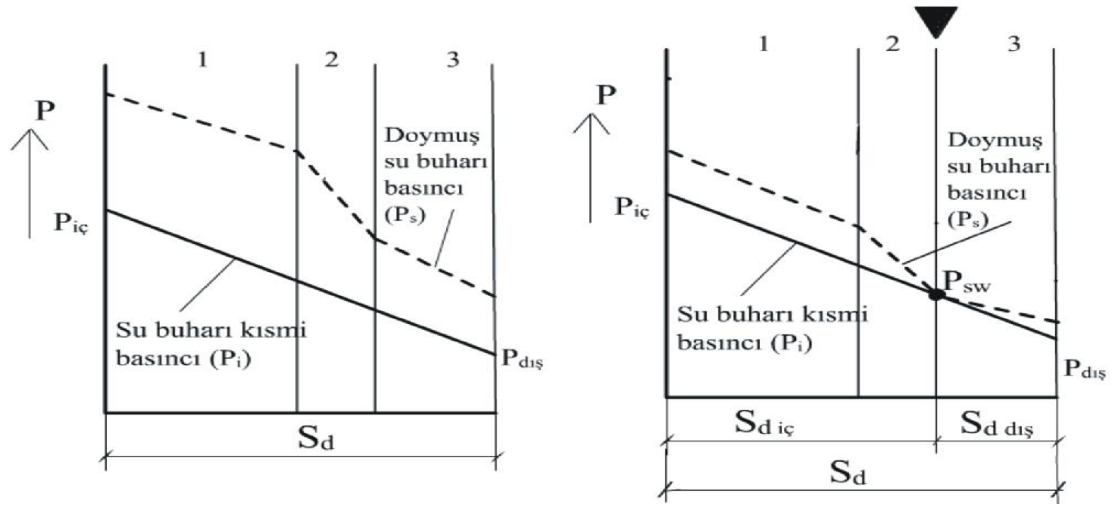
İnfiltrasyon, sıcaklık farklarının oluşturduğu rüzgâr etkisiyle veya hacimde yapılan mekanik ventilasyon etkisiyle oluşur. İçerideki sıcak ve nemli hava bina kabuğundaki küçük boşluklardan ve aralıklardan (çatlak) dışarı kaçar, çatlaklardan geçerken bünyesindeki nemin bir kısmı yoğuşarak çatlaklar içerisinde birikir veya çatlakların eğimine göre içeri veya dışarı sızar. Kapilarite etkisi, gözenekli bir yapı elemanının suya doymasıyla birlikte, suyun kılcallık etkisi ile dikey olarak yapı elemanı içinde yükselmesi ve yapı elemanının yüzeyinden buharlaşması olayıdır. Buhar difüzyonu ise su buharının basınç farkı nedeniyle yapı elemanı içerisinden geçip basıncın düşük olduğu ortama ulaşmasıdır (Ertaş, 2001).

Yapı elemanının iki yüzeyi arasında farklı sıcaklık ve bağıl nem olması durumunda, yüzeylerde farklı buhar basınçları oluşur. Kış mevsiminde iç ortamda bulunan su buharı, ısı geçişi ile aynı yönde hareket ederek dış ortama ulaşma isteğindedir. Su buharının dış ortama gaz halinde ulaştığında yapı elemanı açısından bir sorun teşkil etmez. Ancak su buharı yapı elemandan geçişi sırasında sıvı hale dönüşürse oluşan su yapıya zarar verebilir (Aksöz, 2009). Yoğuşma iç yüzeyde veya yapı elemanları içine meydana gelebilir. Yüzeyde oluşan yoğuşma, neme karşı hassas olan yapı malzemelerinde hasarlara yol açabilir. Yüzeydeki nem miktarının fazla olması; telafisi olmayan dökülme ve kabarma gibi fiziksel değişikliklere ve paslanma gibi kimyasal reaksiyonlara neden olarak yapıyı etkiler. Yapı elemanları içinde meydana gelen yoğuşma ise, yapının taşıyıcı elemanlarında bulunan donatının korozyonuna sebep olduğu için yapı ömrünü tehdit eden unsurlardan biridir (İzoder, 2013).

5.6.1. Yoğuşma olayının grafiksel incelenmesi

Tabaka içinde kısmi su buharı basınçları doymuş su buharı basınçları ile karşılaştırılır. Yapı bileşenlerinde su buharı hareketlerini izlemek için çizilen grafikte yatay eksen (x-ekseni) eş değer hava tabakası kalınlığını (S_d), dikey eksen (y-ekseni) su buharı basınçlarını gösterir. Grafikte doyma basıncı eğrisi ile kısmi su buharı basıncı eğrilerinin kesişip kesişmediğine bakılır. Kesişme yoksa yoğuşma yoktur. Eğer kesişme varsa yoğuşan suyun miktarı belirlenir.

Şekil 5.9’da kesişmenin olduğu 2. ve 3. katmanlar (P_{sw} noktası) arası yoğuşma gözlenmektedir.



Şekil 5.9. Duvar bileşenlerinde doymuş su buharı basıncı ve su buharı kısmi basıncının durumu (Atmaca ve Kargıcı, 2006).

Tesisatta su buharı da dikkat edilmesi gereken bir konudur. Su buharı, sıcaklık ve bağıl nemle değişen kısmi buhar basıncına sahiptir. Buhar, basınç farkı nedeniyle yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket ederken difüzyon direnci ile karşılaşır. Yalıtım malzemesi içerisinde veya boru yüzeyinde yoğuşma olması halinde, yalıtım malzemesinin ısıl direnci azalır (Buyruk, 2014).

Yoğuşmaya karşı açık gözenekli yalıtım malzemelerinde (cam yünü, taş yünü) buhar kesici kullanılmalıdır. Kapalı gözenekli malzemelerde ise buhar kesiciye gerek yoktur. Ancak paslanmayı önlemek adına malzemenin su buharı difüzyon direnç katsayısı ve kalınlığı çok iyi hesaplanarak belirlenmelidir. Hatlardaki vana ve armatürlerde yalıtılmalıdır.

Yoğuşma riskinin azaltılması veya tamamen önlenmesi için; yapı elemanlarının tüm kesitindeki sıcaklık dağılımı, doyma sıcaklığının üstünde olmalıdır. Bu durum ise yapı elemanlarının iklim koşullarından korunmasıyla ve yapının hava ile temas eden tüm yüzeylerinde doğru ısı yalıtım uygulamalarıyla sağlanabilir. Böylece yapı elemanları, ısı yalıtımının sıcak tarafında kalır ve yoğuşma sıcaklığının üstünde tutularak sorun çözümlenmiş olur (Koçu ve Dereli, 2010).

TS 825, yapı elemanının kesitinde oluşabilecek yoğuşma miktarını sınırlamıştır. Yalıtımsız duvarlarda, özellikle kuzey cephelerin iç kısımlarında duvar yüzeyi soğuk olduğu için yoğuşma sonucu su damlacıkları oluşur. Küflenmenin temel nedeni bu

olaydır. Bu yüzden malzemelerin su buharı difüzyon direnç (μ) değerleri kullanılarak yapı elemanının su buharı geçirgenliği hesaplanmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır (Vitra, 2013).

Bina iç yüzeyinde, kesit içinde ve tesisatta meydana gelen yoğuşmalar Şekil 5.10'da ve Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. (a) Yüzeyde (b) kesit içinde yoğuşma (Hokkacı, 2013).



Şekil 5.11. Tesisatta yoğuşma (Diz, 2009).

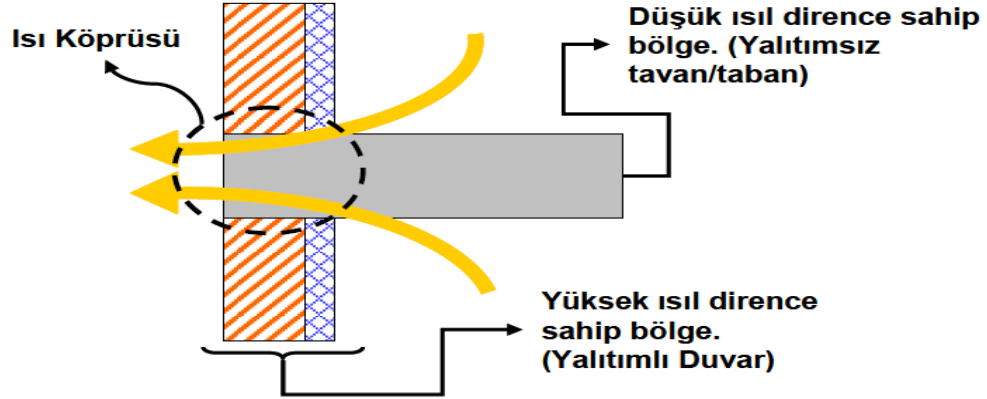
5.7. Isı Köprüleri

Yapılarda iç yüzey sıcaklığı ile dış yüzey sıcaklığının farklı olmasından dolayı, ısı az yoğun ortamdan çok yoğun ortama hareket eder. Bu ısı transferi olayı, ısı köprüsü olarak tanımlanır (Aksöz, 2009).

Bir enerji türü olan ısı, içerisinde iletkenlik değeri yüksek demir donatıların bulunduğu ve yalıtımsız olması sebebiyle direncin düşük olduğu yüzeylerden transfer olarak ısı köprülerine yol açabilir. Isı köprülerinin meydana gelmesi durumunda enerji kayıpları ile birlikte yüzeyde iklim koşullarından kaynaklı yoğuşma problemleri de oluşabilir. Bu sebeple; 08 Mayıs 2000 tarih ve 24043 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Isı Yalıtımı Yönetmeliği”ne göre; kat döşemeleri ile birleşimlerde ısı köprülerini önleyecek şekilde tavan-döşeme iç yüzeyine en az 50 cm dönülerek yalıtılmalıdır. Isı yalıtım levhalarının tavana uygulanması esnasında mekanik tespit elemanları da

kullanılmalıdır. Buhar kesici tabakalar tavan ve döşemelere devam ettirilmelidir (İzoder, 2013).

Binalarda gerçekleşen ısı köprüleri Şekil 5.12’de resmedilmiştir.



Şekil 5.12. Binalarda gerçekleşen ısı köprüleri (İzoder, 2013).

Yalıtımlı yüzeylerde ısı kaybının önemli ölçüde azalması nedeniyle söz konusu ısı köprülerinin oluşmasını engellemek için iklime göre uygun kalınlıktaki doğru bir yalıtım malzemesi seçilmeli ve binaların dış yalıtımı yapılmalıdır (Yılmaz, 2006).

5.8. Yalıtım ve Kirlilik Problemi

Yalıtım malzemelerinde bulunan ve ozon tabakasına ciddi zararlar veren kirleticiler klor esaslı kimyasal maddelerdir. Yalıtım malzemesi imalatında en çok tartışılan konu ise kloroflorokarbon(CFC) maddesidir. Bu madde XPS ve poliüretan üretiminde kullanılmaktadır. CFC kullanımının azaltılmasına yönelik zorunluluk bildiren uluslar arası anlaşmalar yapılmıştır. 1993’ten itibaren yalıtım malzemesi üretiminde CFC’nin kullanımı azaltılmış ve hidro kloroflorokarbonun(HCFC) kullanımı yaygınlaşmıştır. HCFC’nin CFC’den daha iyi olduğu ancak yine de küresel ısınmaya neden olduğu bilinmektedir.

Yapısı gereği kimyasal reaksiyonla oluşan yalıtım malzemeleri de sağlık için tehdit oluşturmaktadır. Polistiren üretiminde kullanılan stiren kanser yapıcı ve zehirli bir maddedir. Ayrıca üretimde kullanılan bir diğer kimyasal olan benzen çevre ve insan sağlığı için zararlıdır. Çoğu cam yünü üretiminde lifleri bir arada tutmak için kullanılan Fenol formaldehit de çevreye kirliliğine yol açan bir maddedir. EPS üretiminde ise CFC veya HCFC yerine pentan kullanılır. Pentanın, ozon tabakasına ve dolayısıyla küresel ısınma üzerine olumsuz bir etkisi yoktur (Cellubor, 2017).

5.9. Sıcaklık Değişimlerinin Malzeme Üzerinde Olumsuz Etkisi

Bir yapının yer aldığı iklim bölgesine bağlı olarak yıl içinde ortalama sıcaklıklar farklılık gösterebilir. Farklı sıcaklık değerlerine maruz kalan bir malzeme üzerinde yapısal değişiklikler meydana gelebilir. Bu yüzden farklı özelliklerdeki malzemeler birlikte kullanıldığında birleşim ve bağlantı noktalarında meydana gelebilecek gerilmeler (genleşme ve büzülme) göz önüne alınmalıdır. Özellikle cephelerdeki ısı yalıtım uygulamalarında, bu gerilmelerden dolayı meydana gelecek sıva ve boya çatlamlarına dikkat edilmelidir (Türkmen, 2016).

5.10. Tesisat Yalıtımı

İçinden akışkan geçen borular, vanalar, havalandırma amaçlı kullanılan kanallar, radyatörler, kazan daireleri, hidrofor, soğutma üniteleri, kombi, boyler vb cihazlarda yalıtım yapılması işlemine tesisat yalıtımı denir. Tesisat yalıtımı ile ısınma veya soğutma harcamalardan tasarruf edilir, enerjide dışa bağımlılığı önler, yoğunlaşma nedeni ile oluşacak korozyonun önüne geçilir ve yakıt tüketiminden kaynaklı atık gaz salınımı azalacağından çevre kirliliği azalmış olur (Böke, 2017). Ayrıca tesisat yalıtımı sayesinde, kızgın buhar, kızgın yağ, sıcak/soğuk su gibi akışkan taşıyan tesisatlarda enerji kayıp ve kazançları azaltılarak işletme maliyetlerini düşürülür.

Tesisat yalıtımında sıklıkla kullanılan malzemeler Şekil 5.13'te verilmiştir.

Yalıtım Malzemeleri		
<u>Soğuk Devreler:</u>	Akışkan Sıcaklığı: $T \leq 6^{\circ}\text{C}$	
<u>Ilık Devreler:</u>	Akışkan Sıcaklığı: $6^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$	
<u>Sıcak Devreler:</u>	Akışkan Sıcaklığı: $T \geq 100^{\circ}\text{C}$	
<u>Soğuk Hatlar</u>	<u>Ilık Hatlar</u>	<u>Sıcak Hatlar</u>
■ Polietilen	■ Polietilen	■ Cam Yünü
■ Kauçuk Köpüğü	■ Kauçuk Köpüğü	■ Taş Yünü
■ Poliolefin Köpüğü	■ Poliolefin Köpüğü	■ Kauçuk Köpüğü **
■ Cam Yünü *	■ Cam Yünü *	■ Cam Köpüğü
■ Taş Yünü*	■ Taş Yünü *	■ Seramik Yünü
■ EPS	■ Cam Köpüğü	■ Kalsiyum Silikat
■ XPS	■ Poliüretan	
■ Poliüretan		

* Alüminyum Folyo veya saç kaplı

** Özel üretilen $+170^{\circ}\text{C}$ ' ve kadar dayanıklı kauçuk köpüğü

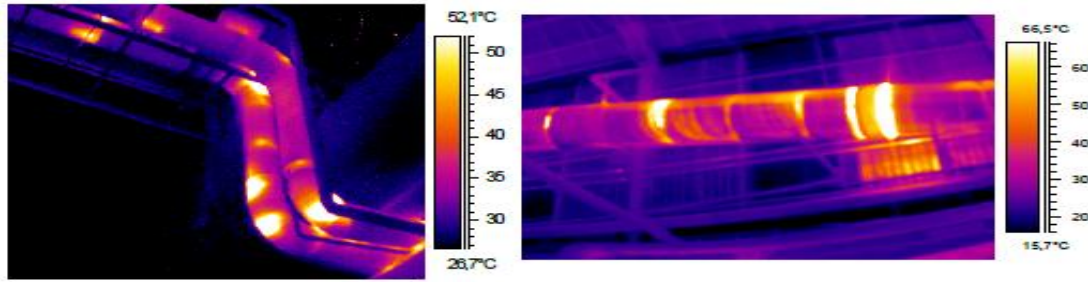
Şekil 5.13. Tesisatta kullanılan yalıtım malzemeleri (Diz, 2009).

Çizelge 5.2'de ise tesisat yalıtımında yaygın olarak tercih edilen yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Tesisat yalıtımında sıkça kullanılan yalıtım malzemelerinin maksimum dayanım sıcaklıkları (Buyruk, 2014).

Yalıtım Malzemesi	Maksimum Dayanım Sıcaklığı (°C)
Seramik Yünü	1800
Taş Yünü	750
Cam köpüğü	430
Cam Yünü	250
Poliüretan köpük	110
Kauçuk köpüğü	116
Polietilen köpük	100
Expanded polistren	80
Extrüde polistren	80

Tesisatta meydana gelen ısı kayıplarının termal kamera yardımıyla tespiti Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Tesisatta termal kamera ile ısı kaybı tespiti (Diz, 2009).

Birim sıcaklık kaybını ya da kazancını tolere etmek için yapılan enerji harcamaları soğutmada ısıtmaya kıyasla çok daha fazla olduğundan, soğuk hatların yalıtımı daha fazla önem ve dikkat isteyen bir işlemdir. Soğutma için yapılan yalıtımdaki öncelikli amaç yoğuşmayı önleyerek sağlıklı çalışan bir sistem oluşturmaktır. Eğer bir sistem sağlıklı çalışmıyorsa hedeflenen verimde ve performansta soğutma yapılamayacağı gibi boru hattının tamamen değişmesi de gerekebilir.

Yoğuşma boru yüzeyinde (yalıtım malzemesinin iç kesitinde) veya yalıtım malzemesinin dış kesitinde meydana gelebilir. Dış yüzeyin sıcaklığının çığ noktası sıcaklığından düşük olması halinde yoğuşma yalıtım malzemesinin dış yüzeyinde oluşur. Bu durum yalıtım malzemesinin kalınlığının doğru seçilmediği anlamına gelir. Yoğuşmanın malzeme iç kesitinde olması halinde daha tehlikeli bir durumla karşılaşılır. Sistem performansının yetersizliğinin yanı sıra metal elemanların korozyon etkiden dolayı paslanma ve çürümesi gerçekleşebilir. İç kesitte yoğuşma bölgesinin oluşmasında,

uygulamada hava geçişine imkân sağlayacak hataların yapılmış olması etkili olabilir (Kaya ve Oğuz, 2015).

Şekil 5.15'te yoğuşmadan dolayı zarara uğramış bir tesisat elemanı yer almaktadır.



Şekil 5.15. Yoğuşma sebebiyle zarar görmüş bir tesisat (Böke, 2017).

5.11. Pasif İklimlendirmenin Isı Yalıtımına ve Enerji Verimliliğine Katkıları

Pasif iklimlendirme, binaların tasarım aşamasında, enerji etkin tasarım değişkenlerine ilişkin doğru adımlar atılmasıyla gerçekleşir. Enerji etkin tasarım değişkenleri, yerleşme, bina, hacim ve yapı elemanı başlıkları altında incelenir. İklim bölgelerine göre arazide doğru yer seçimi, güneş ışıınımı ve rüzgârdan yararlanma veya korunma, binaların birbirlerine göre konumlarının belirlenerek gölgeli alan yaratmaları veya güneş ışıınımı kazançlarına engel olmamaları ve binanın formunun belirlenmesi çok önemlidir. Ayrıca, hacimlerin bina içindeki konumları ve yönlendiriliş durumları ve bina kabuğunun opak ve saydam bileşenlerine ilişkin doğru kararlar alınması da pasif iklimlendirmenin en temel adımlarıdır. Binalar pasif olarak ne kadar doğru tasarlanırlarsa aktif ve enerji harcayan sistemlere duyulan gereksinim de o kadar azalacaktır (Manioğlu, 2014).

Bina zarfında yapılacak ısı yalıtımı uygulamasını enerji verimliliğini etkileyen en önemli parametre cephe kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleridir. Bunlar aynı zamanda pasif iklimlendirme işlevi açısından bina kabuğunu tanımlayan özelliklerdir. Pasif iklimlendirme açısından cephe kabuğunun tanımı, kabuğun;

- Güneş ışıınımına ilişkin yutuculuk, geçirgenlik, yansıtıcılık gibi optik ve
- Toplam ısı geçirme katsayısı, saydamlık oranı, zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü gibi termofiziksel özellikleri ile yapılmaktadır.

Cephe kabuğunun birim alanından yitirilen ve kazanılan ısı miktarları, ısı yalıtımının özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir, dolayısıyla ısıtma ve soğutma yükleri de söz konusu termofiziksel özelliklere bağlı olarak değişim gösterirler (Oral ve Manioğlu, 2010).

5.12. Bina Kabuğu Tasarım Parametreleri

Yapıların, istenilen konfor şartlarında ve minimum enerji tüketecek şekilde üretilmesi ve işletilmesi, bina kabuğu tasarımı ile mümkündür. Bina kabuğu tasarımında yalıtım uygulamaları çok önemli bir adımı oluşturur (Bostancıoğlu, 2010).

Yapı kabuğunu tasarlarken amaç; gün ışığından maksimum düzeyde yararlanırken, iç ortama temiz hava girişine imkân veren, zaman içinde değişen çevresel etmenlere ve kullanıcı gereksinimlerine uyum sağlayan, aynı zamanda enerjiyi etkin kullanan sistemlerin ortaya konmasıdır. Yapı kabuğu, iç ortam konfor koşullarının yerine getirilmesinde önemli görevler üstlenmektedir. Dış ortam koşulları sabit değildir ve sürekli bir değişim içerisindedir; hava sıcaklığı, güneş ışınlarının geliş açısı, yağmur, rüzgâr, vb. gibi birçok dış etmen zamanla değişkenlik gösterir. Bu nedenle, yapı kabuğu tasarımında dikkat edilmesi gereken konulardan biri de değişime adaptasyon özelliğidir (Gür ve Aygün, 2008).

Bilindiği üzere, hem binaların pasif sistem olarak gösterdikleri enerji performansı hem de binadaki mekanik ve elektrik-elektronik sistemlerin enerji verimliliği, binaya ilişkin mimari tasarım parametreleriyle doğrudan ilişkilidir. Başlıca tasarım parametreleri olarak;

- Binanın yeri,
- Binanın diğer binalara olan mesafesi ve konumlandırılış durumu,
- Binanın yönü,
- Binanın formu,
- Binayı çevreleyen kabuk elemanlarının ısı geçişini etkileyen fiziksel ve optik özellikleri ve
- Güneş kontrol ve doğal havalandırma sistemleri sayılabilir.

Bu parametrelerin her biri enerji etkin bina tasarımında önemli rol oynar ve binanın enerji performansına etkileri birbirleriyle bağlantılıdır (Yılmaz, 2006).

5.13. Isı Yalıtımı Projesi Zorunluluğu ve Proje İçeriği

Isı yalıtım projesi zorunluluğu;

(1) TS 825 standardında belirtilen hesap metoduna göre, yetkili makina mühendisi tarafından hazırlanan "ısı yalıtımı projesi" imara ilişkin mevzuat gereğince yapı ruhsatı verilmesi safhasında tesisat projesi ile birlikte ilgili idarelerce istenir.

(2) Isı yalıtım projesinde;

a) Isı kayıpları, ısı kazançları, kazanç/kayıp oranı, kazanç kullanım faktörü ve aylık ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının büyüklükleri, TS 825 standardında verilen “Binanın Özgül Isı Kaybı” ve “Yıllık Isıtma Enerjisi İhtiyacı” çizelgelerindeki örneklerde olduğu gibi çizelgeler halinde verilmelidir. Ayrıca hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının (Q), TS 825 standardından edilecek olan sınır değerden büyük olmadığı hesaplanmalıdır.

b) Binaların dış duvar, tavan ve döşemeleri gibi en çok ısı kaybının gerçekleştiği yüzeylerinde kullanılan malzemeler ile bu malzemelerin eleman içindeki sıralanışı, kalınlıkları, elemanlarının alanları ve “U (ısı geçirgenlik katsayısı) ” değerleri belirtilmelidir.

c) Pencere sistemlerinde kullanılan cam ve çerçevenin tipi, bütün yönler bulunan tüm pencerelerin alanları ve “U” değerleri belirtilmelidir.

ç)Havalandırma tipi belirtilmeli, mekanik havalandırma söz konusu ise, hesaplamalar ve sonuçlar proje raporunda belirtilmelidir.

d)Binanın ısı kaybeden yüzeylerinde oluşabilecek yoğuşmanın TS 825 standardına göre incelenerek, gerekli çizim ve hesaplamalar proje raporunda verilmelidir.

e) Mevcut binalarında yapılacak olan esaslı tamir, tadil ve eklemelerdeki uygulama yapılacak olan bölümlerde, TS 825 standardına göre tavsiye edilen ısı geçirgenlik katsayılarına eşit veya daha küçük olduğunun gösterilmeli ve oluşabilecek yoğuşma yine standarda göre tahkik edilmeli, gerekli çizim ve hesaplamalar raporlanmalıdır (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2008).

5.14. Binalarda Enerji Tasarrufu Adına Atılması Gereken Adımlar

- Zeminden çatıya tüm bina yalıtımı eksiksiz bir şekilde yapılmalıdır.
- Binalarda TS 825’e uygun kalınlıklarda ve kaliteli yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır.

- Pencerelerde ısı kaybı fazla olduğundan ikili veya üçlü cam sistemleri pencerelerde tercih edilmelidir. Özellikle cephelerinde büyük oranda cam kullanılan yapılar için, yalıtımlı camlar üzerine çalışmalar yapılmalıdır.
- Radyatörlerden yayılacak ısıdan daha iyi faydalanmak adına radyatörlerin önü boş bırakılmalıdır. Ayrıca çok sıcak ortamlara ulaşıldığında pencereleri açmak yerine radyatör vanalarını kısarak sıcaklığı düşürmek daha akılcı bir çözüm olacaktır.
- Devletin yalıtımı teşvik amaçlı çeşitli vergi muafiyetleri ve kredi imkânları sağlanması özellikle mevcut binaların yalıtılması için önemlidir.
- Sektördeki tüm yalıtım şirketlerinin, tasarım, uygulama ve işletme süreçlerinde yalıtımı, günümüz teknik ihtiyaçlarına uygun bir biçimde sağlamaları gereklidir.
- Yapıların ısıtma ihtiyacının dışında soğutma ihtiyacı da vardır ve soğutma sistemleri ciddi miktarda enerji tüketmektedir. Bu yüzden standart, soğutma ile ilgili yapısal ve tasarımsal bilgiler de bulundurulmalıdır.
- Isı yalıtım standardında dış kapılar ve ışıklıklar için limit değerler verilmeli aynı zamanda pencereler için verilen limit değerler ise düşürülmelidir (Aykar, 2016).

6. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, KÜRESEL ISINMA VE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİNALAR

6.1. İklim Değişikliği ve Yalıtım

Tüm gelişmiş ülkelerde iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik çalışmaların başında binalarda enerji verimliliğinin artırılması gelmektedir. Çünkü binalar çok fazla enerji tüketmekte ve sera gazı salımında ilk sıralarda yer almaktadır.

İnşaat sektöründe birincil enerji kullanımı ve karbondioksit salımlarının büyük bir kısmı inşaat işleri ve bina malzemesi üretiminden, özellikle de dış cephe yapısal ve yalıtım malzemeleri gibi yapı kabuğu malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Küresel anlamda, birincil enerji kullanımının %40'ından fazlasından ve sera gazı salımlarının üçte birinden inşaat sektörü sorumludur ve dünyada toplam çıkarılan minerallerin de yaklaşık %60'ı inşaat faaliyetleri için kullanılmaktadır (Tettey, vd., 2014).

Küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunu dünya gündemini sürekli meşgul eden bir konu haline gelmiştir. Küresel anlamda bazı tedbirlerin alınması amacıyla 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve 1997 yılında ise Kyoto Protokol'ü kabul edilmiştir. Bu iki organizasyonda da iklim değişikliği nedenlerini tahmin etmek ve zararlı etkilerini azaltmak ile ilgili hükümler bulunmaktadır. Türkiye Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne 2004'te, Kyoto Protokolü'ne ise 2009 tarihinde katılmıştır. Diğer taraftan; Kyoto Protokolü'nün 2020 yılında sona erecek olması ile birlikte yine bu tarihte yürürlüğe girmesi planlanan ve ortalama küresel sıcaklık artışının 2°C derecenin altında tutulmasını hedefleyen Paris Anlaşması, kabul edilmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017).

İklim değişikliği artık dünyamız için ciddi anlamda tehdit oluşturmaktadır. Geçmiş yılların hava durumu ve iklim verileri ile gelecek için uzun dönem tahminler gittikçe zorlaşacaktır. Belirsizliğin nedeni iklim değişikliklerinden kaynaklanan dengesiz hava şartlarıdır.

İklim değişikliği binalarda bulunan yalıtım uygulamalarını da olumsuz etkileyebilir. Olumsuz atmosfer koşulları sonucu normalin üstünde yağışlar, fırtınalar, sıcak hava dalgaları hatta yangınlar oluşabilir. Tüm bu kötü koşullar için kaliteli ve dayanıklı yalıtım sistemleri gerekir. Aksi halde hem yalıtım sistemi hem de yapı ciddi zararlar görecektir.

6.2. Sera Etkisi ve Küresel Isınma

Kentleşme ve sanayileşme gibi etkenlerden dolayı artan enerji kullanımı sonucu mevcut enerji kaynaklarının azalması ve artan çevre kirliliği, enerji etkinliğini gündeme getirmiştir. Enerjiyi etkin kullanmak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve mevcut kaynakların yok olmasını önlemek amacıyla düzenlenen politikaları desteklemek pek çok ülkenin temel stratejileri arasında yer almıştır (Oral ve Manioğlu, 2010).

Enerji tüketiminin hızla devam etmesi durumunda 2020 yılında fosil yakıt kaynaklarının yaklaşık yarısının tükenmiş olacağı tahmin edilmektedir. Kömür veya petrol gibi fosil yakıtların yanması sonucu, daima CO₂ oluşur. Karbondioksit diğer sera gazlarına göre %55’lik bir oranla, doğal sıcaklık dengelerinin bozulmasında en büyük etkiyi yaparak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Atmosfere atılan diğer sera gazları ise CO, SO₂, NO_x gibi zehirli gazlar ve radyoaktif maddelerdir (Kibici, 2015). Fosil yakıtların yanması ile atmosfere salınan gazların yanında, yoğun tarımdan kaynaklı açığa çıkan zehirli gazlar da (metan ve nitroz oksit (N₂O)), sera etkisine ve dolayısıyla küresel ısınmaya neden olmaktadır (Hegger, vd., 2006).

Ülkeler inşaat sektöründeki “karbon salımı” için en uygun politikaları seçmelidirler. Genel anlamda, binalardan sera gazı salımlarının azaltılmasına yönelik beş ana politika hedefi vardır:

- Yeni ve mevcut binaların enerji verimliliğini artırmak (hem bina örtüsü, hem de ısıtma, havalandırma gibi işletme özellikleri),
- Cihazların (beyaz eşya, bilgisayar, telefon vb.) enerji verimliliğini artırmak,
- Enerji ve dağıtım şirketlerini inşaat sektöründe emisyon azaltmayı desteklemek için teşvik etmek,
- Olaylara bilimsel olarak bakmak ve sağlığın önemini kavratmak,
- Fosil yakıtları yenilenebilir enerjilerle değiştirmektir (United Nations Environment Programme, 2009).

İnsanlığın gelmiş olduğu bu seviyede tüketim ve üretim ihtiyacı artmaktadır. Kontrolsüzce ve bilinçsizce yapılan üretim ve tüketim dünyamıza ciddi zararlar vermektedir. Büyük miktarlarda karbondioksit salınımı gerçekleşmekte, denizler ve

topraklar kirlenmekte, ormanlar yanmakta ve buzullar erimektedir. Bu yüzden karşı karşıya kaldığımız bu küresel tehditle mücadele herkesin sorumluluğunda olmalıdır.

6.2.1. Karbon ayak izi

Karbon ayak izi, çıkarım, üretim, nakliye ve kullanım dâhil olmak üzere yapı ömrü aşamalarının neden olduğu toplam sera gazı emisyonlarının toplamıdır (Biswas, 2014). Başka bir ifade ile karbon ayak izi; birim karbondioksit cinsinden ölçülen, üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararın ölçüsü olarak da tanımlanabilir (Tombak, 2013).

Küresel ısınmaya yol açan sera gazlarının oranı, tüketilen enerji miktarı ile doğru orantılı olarak gün geçtikçe artmaktadır. Ulaşım, ısıtma ve soğutma, hatta neredeyse her gün yaptığımız faaliyetler ile atmosfere karbon salımı yapmaktayız. Dolayısıyla bize düşen görev daha temiz bir dünya için karbon salımına dikkat etmeli ve bu konuyu temel görevimiz olarak benimsemeliyiz.

6.3. Sürdürülebilir Binalar ve Yalıtım

Sürdürülebilir binalar, “ Yapının arazi seçiminden başlayarak yaşam döngüsü çerçevesinde değerlendirildiği, sosyal ve çevresel sorumluluk anlayışıyla tasarlandığı, iklim verilerine ve o yere özgü koşullara uygun, ihtiyacı kadar tüketen, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiş, doğal ve atık üretmeyen malzemelerin kullanıldığı katılımı teşvik eden, doğayla uyumlu yapılar” olarak tariflenebilir. Sürdürülebilir binaların; Kentsel yaşam alanlarına ve binaya değer katması, yalıtım sistemleri ile ısıtma-soğutma maliyetlerinin ve karbondioksit salınımını azaltması, yaşam alanlarında yaşayanların işletme giderlerini düşürerek aidatları azaltması, yapım aşamasında doğal çevre tahribatını en aza indirmesi ve güneş enerjisinden yararlanması gibi birçok faydası vardır (Kibici, 2016).

Bina yalıtımı yaygın olarak, petrokimyadan elde edilen malzemelerin kullanılmasıyla (Başlıca polistiren) ya da yüksek enerji tüketimiyle işlenmiş doğal kaynaklar (cam yünü ve taş yünü) ile gerçekleştirilir. Bu malzemeler esasen üretim ve imha aşamasındaki bazı sorunlar (ürünlerin ömrünün sonunda yeniden kullanılması veya geri dönüştürülmesindeki sorunlar) nedeniyle, çevre üzerinde önemli zararlı etkilere neden olur. Bina tasarım sürecinde "sürdürülebilirlik" kavramının dikkate alınması ile doğal veya geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılarak ısı yalıtım

malzemelerini geliştirmeyi amaçlayan araştırmaların önü açılmıştır. Böylece inşaat sektöründe “sürdürülebilirlik” kavramının etkisiyle birlikte, yeni yalıtım ürünlerinin üretimi hızlanmıştır (Asdrubali, vd., 2015).

Doğal liflere dayanan ısı yalıtım malzemeleri, şu anda inşaat pazarında ortaya çıkan umut verici malzemelerden bazılarıdır. Bu malzemeler özellikle sürdürülebilir kalkınma açısından çok önemlidir. Çünkü yenilenebilir hammadde kaynaklarını kullanırlar ve üretimleri için çok fazla enerji gerekmez. Ancak, bu malzemelerle ilgili sorun ise, sentetik (köpük polistiren) veya inorganik (mineral yn) malzemelerden yapılan geleneksel yalıtıma kıyasla, ısı ve nem taşıma sırasında oldukça farklı davranışlara sahip olmalarıdır (Zach, vd., 2016).

Dünyada, teknolojik gelişmelere paralel olarak sağlıklı ve konforlu ortamlarda yaşama işteği buna karşın enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerji etkinliğine yönelik çalışmaları harekete geçirmiştir. Bina kabuğuna ısı yalıtımı yapılması, tüm dünyada enerji etkinliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli dayanağını oluşturmaktadır. Ülkemizde de inşaat sektörü enerji tüketimi adına önemli bir paya sahiptir. Sürdürülebilir binalar için, inşaat sektöründe enerjinin etkin kullanımı ile ısı yalıtım teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması, diğer sektörlere de bir kazanç olarak yansıyacaktır (Oral ve Manioğlu, 2010).

Bina sektöründe sürdürülebilirlik denince pasif evler, sıfır enerjili evler, çevreci binalar, yeşil binalar gibi tanımlamalar ile karşılaşılır. AB’de 2020 yılında tüm yeni binaların sıfır karbon binası olması hedeflenmektedir. Bir binanın sürdürülebilir olabilmesi için belirli kriterleri sağlaması gerekmektedir. Bu zelliklerin en önemlisi enerji verimliliğinin sağlanması ve binadaki enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Bu da bina kabuğunun ısı kayıp ve kazançlarına karşı korunmasıyla yani ısı yalıtımı ile mümkün olmaktadır (Tombak, 2013).

7. MATERYAL VE METOT

Yalıtım malzemeleri ile ilgili bilgiler daha önceki bölümlerde detaylı bir şekilde verildiğinden bu bölümde dıştan yalıtım uygulamasına ve uygulamada kullanılan yardımcı malzemelere değinilecektir.

7.1. Dıştan Yalıtım Uygulaması

Isı yalıtım malzemeleri, yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik direncini artırmak dolayısıyla ısı geçiş miktarını azaltmak için kullanılırlar. Isı yalıtım malzemeleri ile yapılacak bir yalıtımda yapı bir bütün olarak ele alınmalı ve yalıtım eksiksiz bir şekilde uygulanmalıdır. Isı yalıtımının temel olarak dışarıdan yapılması esastır. Burada amaç binanın tüm yapı elemanlarıyla ısı depolayan bir kütle olarak değerlendirilmesidir. Mantolama olarak da bilinen bu sistemde duvar, kolon ve girişlerin tümü bina dışından yalıtım malzemeleriyle kaplanır (Topçuoğlu, 2017).

Dıştan yalıtım uygulaması, binanın dış yüzeyine sürekli bir yalıtım olanağı sağlayan ve diğer yalıtım uygulamaları içerisinde yapı fiziği açısından en doğru çözümü sunan yalıtım uygulamasıdır. Yalıtımın binanın tüm dış yüzeyine sürekli olması, ısı köprülerinin oluşmasını önlerken, yaz/kış sıcaklık farklarından dolayı duvarda meydana gelen ısıl gerilmeleri de asgari düzeye indirir (Özer, 2006).

7.1.1. Dıştan yalıtım uygulamasının avantajları

- Yapının taşıyıcı elemanlarındaki tüm ısı köprülerini, elemanların dış ortamla bağlantısını keserek, ortadan kaldırır.
- Rutubet, küf gibi yoğunlaşma sonucu oluşabilecek durumların önüne geçer.
- Yapı dış duvarlarında orantısız sıcaklık farkı oluşumunu önler.
- Dıştan yalıtım uygulaması sadece binanın dış yüzeyinde gerçekleştirildiğinden bina iç ortamında alan kaybına sebep olmaz.
- Yalıtımsız bir binada yoğunlaşmadan dolayı donatıda paslanma meydana gelebilir. Dıştan yalıtım uygulaması donatıyı korozyondan korur.
- Yazın aşırı sıcak, kışın ise soğuk bir ortamın oluşmasını önleyerek konforlu bir yaşam alanı oluşturur.
- Eski yapılarda uygulanması daha basit olduğundan bu yapılar için daha idealdir.
- Yapıya estetik açıdan yeni bir görünüm kazandırır (Özer, 2006).

7.1.2. Uygulamada dikkat edilmesi gereken hususlar

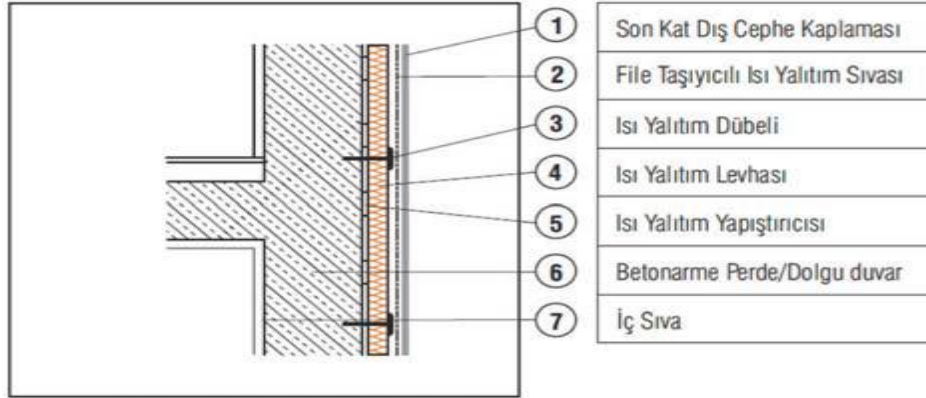
- Yüzeye uygulama yapmadan önce sorunlu boya tabakaları temizlenmelidir. Ayrıca katmanlar arasında aderansı zayıflatabilecek her türlü toz, kir gibi zararlı tabakalar alınarak yüzey uygulamaya elverişli hale getirilmelidir.
- Yüzeyin yapışmayı sağlayacak pürüzlülüğe sahip olup olmadığına dikkat edilmelidir. Gerekli olduğu durumda tüm yüzey zımparalanmalıdır.
- Yüzeyde çatlak olması halinde çatlaklar tamir edilerek düzeltilmelidir.
- Uygulama sırasında ısı yalıtım malzemeleri arasında boşluk kalmamasına özen gösterilmelidir. Aksi durumda dolgu işlemi yapılarak boşluk kapatılmalıdır.
- Uygulama belirli bir sırada ve düzende gerçekleşmelidir. Örneğin yeterli süre geçmeden dübelleme işlemlerine başlanılmamalıdır.
- Bu nedenle yalıtımı pencere ve kapı kasalarına kadar uygulayarak ısı kaçış yolu uzatılmalıdır (Topçuoğlu, 2017).
- Uygulama olumsuz hava şartlarında (yağmur, rüzgâr, sis vb.) yapılmamalıdır.
- Uygulama çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda yapılmamalıdır.

Dıştan yalıtım uygulaması mühendislik açısından mükemmel bir ısı yalıtım imkânı verir. Eski ve yeni her türlü yapıda ek bir önlem almadan rahatlıkla uygulanabilir. Enerji etkin yapıların oluşturulmasında alınacak önlemlerden en önemlisi, bina dış kabuğunun ısı geçirgenlik katsayısının istenilen düzeye getirilmesidir. Bu amaçla dış duvar bileşenlerinde uygun malzemeler kullanılarak dışarıdan ısı yalıtım uygulanmasının yapılması gerekir (Yılmaz, 2006).

Şekil 7.1’de dıştan yalıtım uygulamasına ait bir resim yer almaktadır. Şekil 7.2’de ise dıştan yalıtım yapılmış bir duvarın yalıtım detayları verilmiştir.



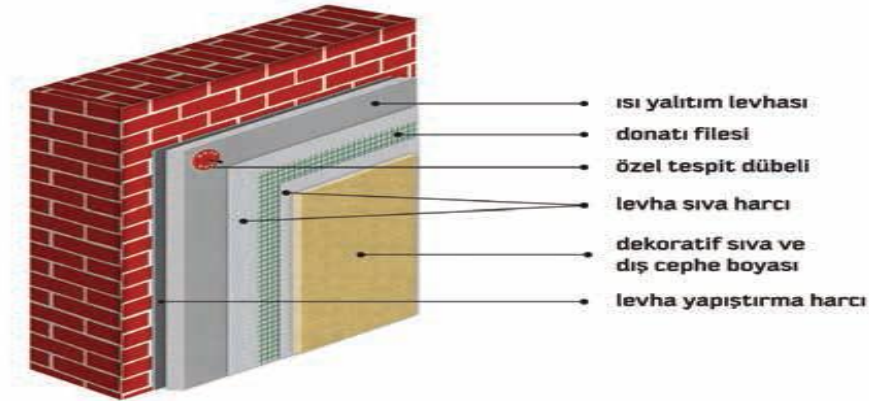
Şekil 7.1. Dıştan yalıtım uygulaması (Koçu ve Dereli, 2010).



Şekil 7.2. Dıştan yalıtılmış bir duvarın yalıtım detayları (Yaman, vd., 2015).

7.1.3. Dıştan ısı yalıtım uygulamalarında kullanılan yardımcı malzemeler

Aşağıdaki verilmiş olan Şekil 7.3'te dıştan yalıtım uygulamasında kullanılan malzemeler gösterilmiştir. Isı yalıtım levhası ile birlikte kullanılan bu malzemeler yalıtım uygulamasının yardımcı malzemeleri olarak adlandırılabilir. Bu bölümde yardımcı malzemelerden kısaca bahsedilecektir.



Şekil 7.3. Dıştan yalıtım uygulamasında kullanılan malzemeler (EPS Sanayi Derneği, 2017).

7.1.3.1. Isı yalıtım yapıştırıcısı

Dışarıdan ısı yalıtım uygulamasında, ısı yalıtım levhalarının düşey yüzeylere veya alt taraftan yatay yüzeylere yapıştırılması amacı ile kullanılan polimer katkılı, su itici özellikli, yüksek buhar geçirgenliğine sahip ve çimento esaslı yapıştırma harcıdır. Ahşap yüzeylerde ise akrilik esaslı yapıştırıcı kullanılmalıdır (Kenet, 2012).

Şekil 7.4'te ısı yalıtım yapıştırıcısı ile gerçekleştirilen uygulama gösterilmektedir.



Şekil 7.4. Yalıtım levhasının yapıştırma uygulaması (Vitra, 2013).

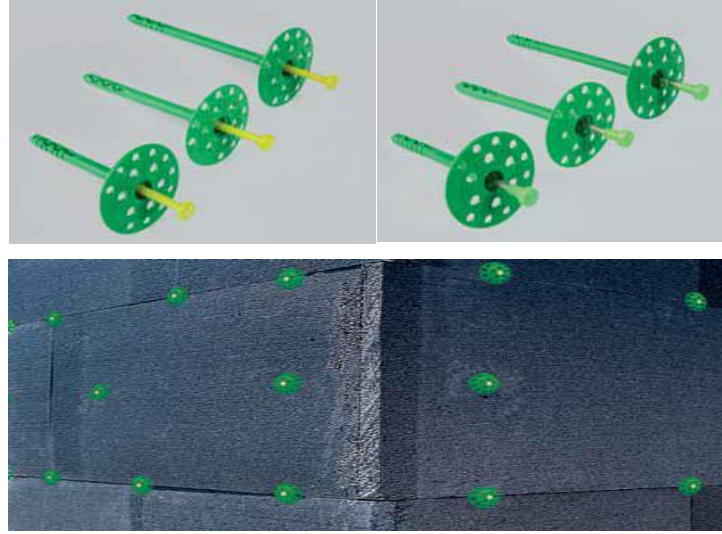
7.1.3.2. Isı yalıtım sıvası

Mantolama sisteminde, ısı yalıtım levhalarından oluşan yüzeyin file ile birlikte sıvanması için kullanılan, çimento esaslı, elyaf takviyeli özel bir sıvadır. Sıva, sentetik katkılarla kalitesi arttırılmış, ıslak halde uzun işlenebilme süresi olan, priz aldıktan sonra yağmur darbelerine, donma çözünme döngülerine dayanıklı, su ile karıştırılarak hazırlanan çimento bazlı olmalıdır. Yapışma mukavemeti 80 kPa'dan küçük olmamalıdır. Kesit içinde yoğunlaşma olmaması için de su buharı difüzyon direnç faktörü(μ) ≤ 50 olmalıdır. Ayrıca sıva katman kalınlığı 4mm'yi aşmamalıdır (Kenet, 2012).

7.1.3.3. Isı yalıtım dübeli

Mantolama sisteminde, yalıtım levhalarını uygulama yüzeyine mekanik olarak tespit etmek ve böylece rüzgar ve türbülans gibi atmosferik şartlardan etkilenmemesini sağlamak amacıyla kullanılan sert plastikten mamul, geniş başlı tespit gerecidir. Dübelleri ayrıca sistemin zaman içindeki performansını koruyarak doğru bir şekilde işlevini sürdürmesini sağlar. Minimum 0,20 kN/cm² çekme dayanımına sahip olmalıdır. Isı yalıtım malzemelerinin beton, tuğla ya da gaz beton gibi elemanlara montajında kullanılır. Bu yüzden uygulanan yüzeye göre plastik veya çelik çivili dübel modelleri tercih edilmelidir. Çelik çivilerin başlıkları ısı köprüsüne yol açmayacak şekilde yalıtılmış olmalıdır. Boyu sağlam zemine en az 4 cm girmelidir (Kenet, 2012).

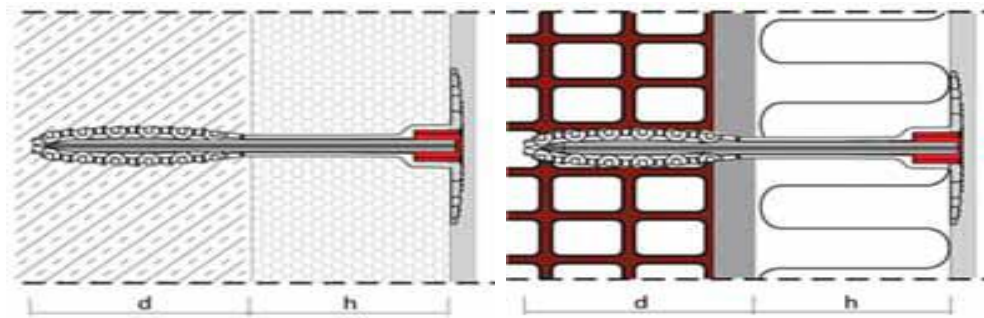
Dübel çeşitleri ile beton ve tuğlada dübel uygulaması Şekil 7.5'te, Şekil 7.6'da ve Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Plastik ve çelik çivili dübelller (Vitra, 2013).



Şekil 7.6. Yapı malzemelerine göre değişen dübel modelleri (İzoder, 2013).



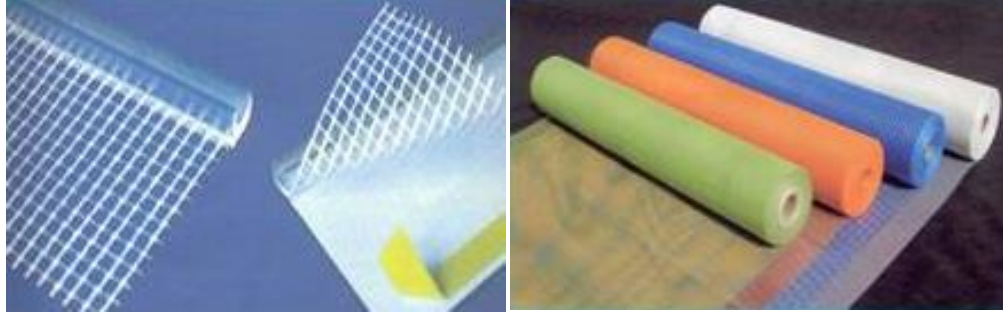
Şekil 7.7. Beton ve tuğlada dübel uygulaması (Korkmaz, 2016).

7.1.3.4. Sıva filesi

Kaplanan sıvada oluşacak çekme gerilmelerini karşılamak ve çatlamasını önlemek amacıyla kullanılan, göz boyutları en fazla 4x4 mm olan, alkali ortamda çözülmeyecek bir bağlayıcı ile emprenye edilmiş, genellikle cam elyafından dokunmuş ve genelde 160 gr/m² ağırlığında sıva dokuma armatürüdür. Sıva filesinin görevi sıvada

oluşacak çekme gerilmelerini karşılayarak çatlak oluşmasını engellemektir. Çekme gerilmesinin ortalama değeri 40 N/mm'den büyük olmalıdır (Kenet, 2012).

Şekil 7.8'de sıva filesi örnekleri yer almaktadır.

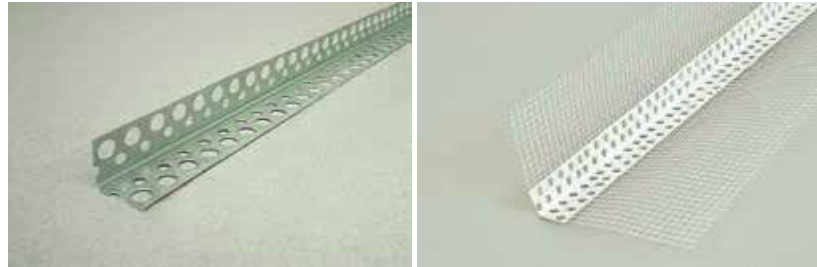


Şekil 7.8. Sıva filesi örnekleri (İzoder, 2013).

7.1.3.5. Köşe profili

Mantolama sisteminde, bina köşelerini, pencere ve kapı kenarlarındaki köşeleri mekanik etkilerden korumak ve sıva uygulamasında master görevi görmek üzere kullanılan alüminyum, PVC veya cam elyafından imal edilmiş, istenilirse donatı filesi takviyeli olan, alkali ortama dayanıklı profillerdir. Et kalınlığı en az 0,4 mm, kanatlar en az 21x21 mm olmalıdır (Kenet, 2012).

Alüminyum ve PVC köşe profillerine ait resimler Şekil 7.9'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Alüminyum ve PVC köşe profili (Vitruvius, 2013).

7.1.3.6. Damlalıklı köşe profili

Mantolama sisteminde, balkon, çıkma vb. bina bölümlerinden yağmur ve benzeri su akıntılarının uzaklaştırılması için plastik veya alüminyumdan yapılmış, istenilirse donatı filesi takviyeli olan profillerdir (İzoder, 2013).

7.1.3.7. Su basman profili

Mantolama sisteminde, ısı yalıtım levhalarının başladığı seviyede, sistemi mekanik etkilerden korumak, sıva uygulamasında master görevi görmek ve yüzey suyunun sistem içine girmeden yüzeyden uzaklaşmasını sağlayan ve yalıtım levhalarının içine oturmasını ve düzgün hat oluşturmasını sağlayacak şekilde biçim

verilmiş ve duvara mekanik olarak tespit edilen, belirli bir mekanik dayanıma sahip alüminyumdan üretilmiş profillerdir (İzoder, 2013).

Şekil 7.10'da su basman profili uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 7.10. Su basman profili uygulaması (EPS Sanayi Derneği, 2017).

7.1.3.8. Son kat dekoratif kaplama malzemesi

Mantolama sisteminde, sistemi ve binayı mekanik etkilerden ve atmosfer etkilerinden korumak, dekoratif ve estetik kazandırmak amacıyla kullanılan son kat malzemelerdir. Isı yalıtım levhası sıvasının üzerine uygulanır. Yapışma mukavemeti 80kPa'dan küçük olmamalıdır. Kesit içinde yoğuşma olmaması için de su buharı difüzyon direnç faktörü (μ) ≤ 50 olmalıdır. Görsellik için, çelik mala ile çekildikten sonra plastik mala ile perdahlanmalıdır. Solvent bazlı cephe kaplama malzemeleri kullanılmamalıdır (Kenet, 2012).

Şekil 7.11'de son kat dekoratif kaplama uygulamasına ait resimler yer almaktadır.

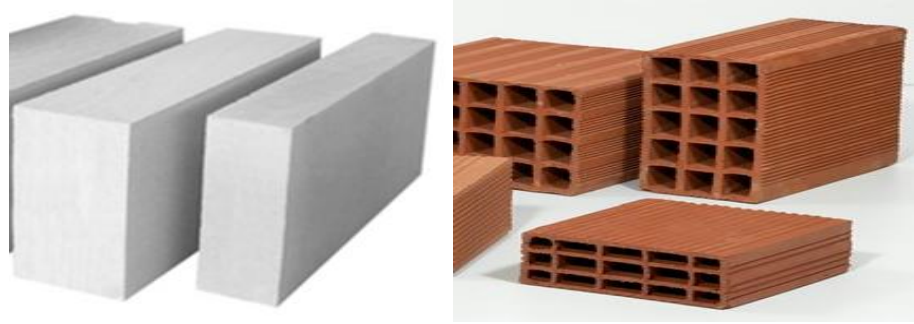


Şekil 7.11. Son kat dekoratif kaplama uygulaması (İzoder, 2013).

7.2. Duvar Yapı Malzemeleri

Uygulamalarda dış duvar sistemini meydana getiren malzemelerin seçimi çok önemlidir. Duvar sistemini oluşturan malzemeler arasında ise ısı yalıtım malzemeleri ve duvar yapı malzemeleri ön plandadır.

Şekil 7.12’de, analizi yapılacak duvar sistemlerinde duvar yapı malzemesi olarak tercih edilen gazbeton ve yatay delikli tuğla ait resimler verilmiştir.



Şekil 7.12. Gazbeton ve yatay delikli tuğla (Yapı kataloğu, 2018).

7.3. Hesap Metotları

Çalışmada 3 farklı hesap metodu (TS 825 hesap metodu, bugünkü değer metodu ve P_1 - P_2 metodu) ile optimum yalıtım kalınlığı hesaplanmıştır. Bu bölümde her bir metod detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

7.3.1. TS 825 hesap metodu

TS 825 standardı, binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyaçlarını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesine yönelik bir metot izlemektedir. Bu standardın amacı, ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarlarını sınırlamayı, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmayı ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu ve değerlerini belirlemektir (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

Standardda, binanın iç ısı alışverişi dışında, ısıtılan bina hacminden dışarıya olan ısı kayıplarının gerçekleştiği tavan, taban, dış duvar, pencere vb. bölümleri dikkate alınır. Bu hesap metodu; binalarda kullanılacak olan yapı ve yalıtım malzemelerinin tasarım aşamasında standartta tanımlanan sınır şartlara uygun olacak şekilde seçilmesini, yerleştirilmesini ve kalınlığının belirlenmesini sağlar. Yıllık net ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabını birim yapı alanı veya brüt hacme göre yapar.

TS 825 standardı binayı bir bütün olarak ele alır. Bina kabuğunu oluşturan; duvar, döşeme, çatı, pencere sistemleri gibi yapı elemanları; bir bütün olarak yapının izin verilen enerji ihtiyacı limitleri içerisinde kalacağı şekilde tasarlanır. Bu hesap metodunda temel prensip yapının net ısı ihtiyacının hesaplanmasıdır. Bunun için yapıdaki ısı kayıpları ve ısı kazançları belirlenir ve birbirinden çıkartılarak net ısı ihtiyacı bulunur (İzoder, 2017).

7.3.1.1. Tarifler

Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_1 , ay): Isıtma sisteminden ısıtılan ortama bir ay içinde verilmesi gereken ısı enerjisi miktarı. Birimi "Joule" dır.

Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_1 , yıl): Isıtma sisteminden ısıtılan ortama bir yıl içinde verilmesi gereken ısı enerjisi miktarı. Birimi "Joule" dır.

Binanın özgül ısı kaybı (H): İç ve dış ortamlar arasında 1 K sıcaklık farkı olması durumunda, binanın dış kabuğundan iletim ve havalandırma yolu ile birim zamanda kaybedilen ısı enerjisi miktarı. Birimi "Watt/Kelvin"dir.

Aylık ortalama dış ortam sıcaklığı (θ_e): Dış sıcaklığın aylık ortalama değeri. Birimi "°C"tur.

Aylık ortalama iç ortam sıcaklığı (θ_i): İç sıcaklığın aylık ortalama değeri. Birimi "°C"tur.

Binanın iç ısı kazançları (ϕ_i): Binanın ısıtma sisteminin dışında, ısıtılan ortam içinde bulunan ısı kaynaklarından, ısıtılan ortama birim zamanda yayılan ısı enerjisi miktarı. Birimi "Watt"tır.

Güneş enerjisi kazançları (ϕ_s): Isıtılan ortama birim zamanda, doğrudan ulaşan güneş enerjisi miktarı. Birimi "Watt"tır.

Kazanç kullanım faktörü (η): İç ısı kazançlarının ve güneş enerjisi kazancının toplamının ortamın ısıtılmasına olan katkı oranı. Birimsizdir.

Bina kullanım alanı (A_n): Binanın net kullanım alanı. Birimi "m²"dir. Bu alan duvarlar içerisinde kalan kullanılabilir alanı ifade etmektedir. Dolayısıyla duvarlar, asansör alanları ve blok girişleri gibi alanlar bu alana dâhil edilmez.

Binanın ısıtılan brüt hacmi ($V_{brüt}$): Binanın ısı kaybeden yüzeylerini çevreleyen ve dış kabuğun ölçülerine göre hesaplanan hacim. Birimi "m³"tür.

Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı (A_{top}): Dış duvar, tavan, taban/döşeme, pencere, kapı vb. yapı bileşenlerinin ısı kaybeden yüzey alanlarının dış ölçülere göre bulunan toplamı. Birimi "m²"dir.

$A_{top} / V_{brüt}$ oranı: Isı kaybeden toplam yüzey alanının (A_{top}), yapının ısıtılan brüt hacmine ($V_{brüt}$) oranı. Birimi "m⁻¹"dir.

Tek hacimli bina: Binanın tamamı için tek bir ortalama iç sıcaklık alınarak hesaplama yapılması hâlinde kullanılan bina tanımlanması.

Birden fazla hacimli bina: Binanın farklı amaçlarla kullanılan birden fazla bölümünün iç sıcaklık ortalamalarının ayrı ayrı bulunması ve her bir bina bölümü için ayrı ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplaması yapılması durumu için kullanılan binanın tanımlanması (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

7.3.1.2.Hesap metoduna giriş

Isıl geçirgenlik direncinin (R) hesaplanması

Tek tabakalı yapı bileşenleri

Isıl geçirgenlik direnci (R) Eşitlik (7.1)'de belirtildiği gibi, yapı bileşeninin kalınlık (d) değerinin, ısıl iletkenlik hesap değerine (λ_h) bölünmesi ile hesaplanır.

$$R = \frac{d}{\lambda_h} \quad (7.1)$$

Burada ısıl geçirgenlik direncinin birimi “m².K/W”, yapı bileşeninin kalınlığının birimi “m” ve ısıl iletkenlik hesap değerinin birimi “W/m.K” dir.

Çok tabakalı yapı bileşenleri

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısıl geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları ($d_1, d_2, \dots, d_n$) ve bu yapı elemanlarının, ısıl iletkenlik hesap değerleri ($\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn}$) kullanılarak Eşitlik (7.2) ile hesaplanır.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (7.2)$$

Toplam ısıl geçirgenlik direncinin (1/U) hesaplanması

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (1/U), yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençlerine (R), iç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (R_i) ve dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direnci (R_e) değerleri eklenerek Eşitlik (7.3)'e göre hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (7.3)$$

Toplam ısıl geçirgenlik katsayısının (U) hesaplanması

Tek tabakalı ve çok tabakalı yapı bileşenleri

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U), Eşitlik (7.3)'teki denklemin aritmetik tersi alınarak Eşitlik (7.4)'e göre hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (7.4)$$

Burada yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısının birimi W/m².K dir.

TS 825 standardında bölgelere göre tavsiye edilen ısıl geçirgenlik katsayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Standarda göre Çizelge 7.1’de verilen U değerlerine eşit ya da daha küçük değerlerin sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 7.1. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.

	U_D (W/m²K)	U_T (W/m²K)	U_t (W/m²K)	U_P (W/m²K)
1. Bölge	0,7	0,45	0,7	2,4
2. Bölge	0,6	0,4	0,6	2,4
3. Bölge	0,5	0,3	0,45	2,4
4. Bölge	0,4	0,25	0,4	2,4

Yüzeysel ısıl iletim direnci (taşınım)

Yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısıl iletim direnç değerleri için, EK-17’de verilen R_i ve R_e değerleri kullanılmalıdır.

Yapı bileşeninin ısı kaybı hesabı

Kararlı durumdaki bir ısı akış yoğunluğu (q), Eşitlik (7.5)’e göre hesaplanır.

$$q=U.(\theta_i- \theta_e) \quad (7.5)$$

Burada ısı akış yoğunluğunun birimi W/m² dir.

Genel Bilgiler

Yeterli seviyede ısı yalıtımı sağlanmış bir binada, ısıtma periyodunda, iç ortamda belli bir iç sıcaklığı (θ_i) sağlamak için gereken ısı enerjisinin bir kısmı iç kaynaklardan ve güneş enerjisinden sağlanır. Kalan miktarın ısıtma sistemi tarafından iç ortama verilmesi gerekir. Aşağıda tanımlanan hesap metodu kullanılarak, ısıtma sisteminin iç ortama vermesi gereken ısı enerjisi miktarı belirlenir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı olarak tanımlanan bu miktar, toplam kayıplardan güneş enerjisi kazançları ve iç ısı kazançları çıkartılarak hesaplanır.

Tanımlanan hesap metodunda, yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ısıtma dönemini kapsayan aylık ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının toplanması ile bulunur. Böylece binanın ısıl performansının gerçeğe daha yakın bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır.

Ayrıca, tasarımcıya, önerdiği tasarımın güneş enerjisinden faydalanma kapasitesini değerlendirme imkânı sağlayacaktır.

Tek hacimli bina için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının hesabı

Eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K 'den fazla değil ise, binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli olarak ele alınır ve yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (7.6)$$

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \quad (7.7)$$

Burada “t” zamanı ifade eder. (saniye olarak bir ay = 86400 x 30)

$H (\theta_i - \theta_e)$, ısı kayıpları

$(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})$, ısı kazançları

Not: Eşitlik (7.7)’de, köşeli parantez içindeki ifadenin pozitif olduğu aylar için toplama yapılacaktır. Negatif olan aylar dikkate alınmaz.

Hesaplamalar aşağıda verilen işlem sırasına göre yapılmalıdır:

a) Isıtılan ortamın sınırları ve gerekli ise farklı sıcaklıktaki bölgelerin veya ısıtılmayan ortamların (duvar, taban, tavan, pencere ve kapılar) sınırları belirlenir.

b) Hesaplarda dıştan dışa ölçüler kullanarak yapı elemanlarının alanları ve kalınlıkları belirlenir.

c) Yapının ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı ve brüt hacmi hesaplanır.

d) Tek hacimli bir binada, binanın özgül ısı kaybı (H) hesaplanır.

e) Aylık ortalama iç sıcaklıklar (θ_i) Ek-18 den alınır.

f) Aylık ortalama dış sıcaklıklar (θ_e) Ek-19 ten alınır.

g) Aylık iletim ve havalandırma ile ısı kaybı “[H ($\theta_i - \theta_e$)]eşitliği kullanılarak hesaplanır.

h) Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$) hesaplanır.

ı) Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$) hesaplanır. Hesap sırasında kullanılacak ($I_{i,ay}$) değerleri Ek-20 den alınır.

i) Aylık ortalama dış sıcaklık değerleri kullanılarak aylık kazanç/kayıp oranı (KKO) ve ısı kazancı yararlanma faktörü (η_{ay}) hesaplanır.

j) Aylık ortalama değerler kullanılarak, “[$\eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})$]” eşitliği ile faydalı kazançlar “W” cinsinden hesaplanır.

k) Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Eşitlik (7.7)’ye göre hesaplanır.

l) Son olarak tüm aylar için hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyaç değerleri toplanarak yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı Eşitlik (7.6)’ya göre bulunur.

Binanın özgül ısı kaybının hesabı

Binanın özgül ısı kaybı (H), iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_T) ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (H_v) toplanması ile bulunur.

$$H = H_T + H_v \quad (7.8)$$

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Eşitlik (7.9) ile hesaplanır. Bu eşitlikte yapı elemanlarının bünyesinden iletilen ısı kaybına, varsa ısı köprülerinden iletilen ısı kaybı eklenir. Isı köprüsü, bitişik yüzeye göre bileşimi değişik, ısı kaybı binanın ortalama ısı kaybından daha yüksek ve kışın kararlı durum için iç yüzey sıcaklığının daha düşük olduğu bölümdür.

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (7.9)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds} \quad (7.10)$$

Burada;

U_D : Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı

U_P : Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı

U_K : Dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısı

U_T : Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı

U_t : Zemine oturan tabanın /döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısı

U_d : Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı

U_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı

A_D : Dış duvarın alanı

A_P : Pencerenin alanı

A_K : Dış kapının alanı

A_T : Tavan alanı

A_t : Zemine oturan taban/döşeme alanı

A_d : Dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanı

A_{ds} : Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı

I : Isı köprüsü uzunluğunu (m cinsinden)

U_l : Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini (W/mK cinsinden) göstermektedir.

UYARI: Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa, eşitlikte yer alan U_T 'nin önündeki 0,8 katsayısı 1 olarak alınır.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Eşitlik (7.11) ile hesaplanır.

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^l \quad (7.11)$$

Doğal havalandırma:

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^l = \rho \cdot c \cdot n_h V_h = 0.33 n_h V_h$$

Burada;

ρ : Havanın birim hacim kütlesi

c : Havanın özgül ısısı

V^l : Hacimce hava değişim debisi

n_h : Hava değişim oranı

V_h : Havalandırılan hacim ($V_h = 0,8 \times V_{brüt}$) dir.

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı “ n_h ” değeri 0,8 (h^{-1}) olarak alınır.

Aylık ortalama iç kazançlar ($\phi_{i,ay}$)

Konutlarda, okullarda ve normal donanımlı binalarda, $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$ (W)

Yüksek iç enerji kazançlı binalarda, $\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ (W)

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (7.12)$$

A_n : Bina kullanım alanı (m^2)

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$)

Bu madde pencerelerden sağlanan doğrudan güneş ışıınının hesaplanmasını tarif etmektedir. Pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak kazançlar ihmal edilmiştir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\phi_{s,ay}$), binanın durumuna bağlı olarak Çizelge 7.2’de verilen gölgelenme faktörü ($r_{i, ay}$) değerleri doğrudan alınıp Eşitlik (7.13) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i, ay} \times g_{i, ay} \times I_{i, ay} \times A_i \quad (7.13)$$

Burada;

$r_{i, ay}$: “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü,

$g_{i, ay}$: “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü,

$I_{i, ay}$: “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti (W/m^2),

A_i : “i” yönündeki toplam pencere alanıdır (m^2).

Bütün derece gün bölgeleri için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama aylık güneş ışıınımı şiddeti değerleri “ $I_{i, ay}$ ” Ek-20 de verilmiştir. Ara yönlerin aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti değerleri olarak, hâkim yönlerin değerleri, yatay camlamalarda ise Güney yönü için verilen değerler alınır.

Çizelge 7.2. Saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü ($r_{i, ay}$).

	$r_{i, ay}$
Ayrık (müstakil) ve/veya az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yönlerde	0,8
Ağaçlardan kaynaklanan gölgelenmenin olduğu ve/veya 10 kata kadar yükseklikteki binaların bulunduğu yönlerde	0,6
Bitişik nizam ve/veya 10 kattan daha yüksek binaların bulunduğu yönlerde	0,5

Güneş enerjisi geçirme faktörü:

$$g_{i, ay} = F_w \cdot g_{\perp} \quad (7.14)$$

Burada;

F_w : Camlar için düzeltme faktörüdür. $F_w = 0,8$ alınır.

$g_{\perp}$: Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Ölçü değerlerinin olmaması durumunda “ $g_{\perp}$ ” için Çizelge 7.3’te yer alan değerler kullanılabılır.

Çizelge 7.3. Laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörü.

Cam türü	$g_{\perp}$
Renksiz tek cam için	0,85
Renksiz yalıtım camı birimi için	0,75
Isıl geçirgenlik katsayısı $2 W/m^2K$’den daha küçük olan diğer ısı yalıtım birimleri için	0,5

Kazanç kullanım faktörü (η)

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{\left(-\frac{1}{KKO_{ay}}\right)} \quad (7.15)$$

Burada;

KKO_{ay} , Kazanç / kayıp oranı olup, aşağıda verildiği gibi hesaplanmalıdır.

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H (\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (7.16)$$

Not: KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir.

7.3.1.3.Birimler

Bu standarda göre yapılacak hesaplarda ve raporun hazırlanmasında SI birimleri kullanılır. Buna göre sıcaklık K veya °C, enerji Joule ve güç Watt olarak belirtilmelidir. Toplam ısıl geçirgenlik değeri olan U ise W/m²K birimi ile gösterilmelidir.

Birimler arasındaki dönüşüm katsayıları Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Birim dönüştürme tablosu.

1 kCal	4,187	kJ
1 kCal	$1,163 \times 10^{-3}$	kWh
1 kWh	860	Kcal
1 kCal/m ² h°C	1,163	W/m ² K
1 m ² h°C/kCal	0,86	m ² K/W
1 kJ	$0,278 \times 10^{-3}$	kWh

7.3.1.4.Hesap raporu

Isıtılacak yapı hacmi ($V_{brüt}$) ile ve binanın kullanım alanı (A_n) ile ilişkili olarak azami yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı değerleri ($A_{top}/V_{brüt}$) oranlarına bağlı olarak Çizelge 7.5'te ve Çizelge 7.6'da verilmiştir. Bina'nın kullanım alanıyla (A_n) ilişkili olarak verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri (Q') sadece, temiz ölçüler verildiğinde oda yükseklikleri 2,60 m veya daha az olan binalarda kullanılabilecektir. Oda yüksekliklerinin 2,60 m' nin üzerinde olması durumunda ise ısıtılacak yapı hacmiyle ilişkili olarak verilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri (Q') göz önüne alınarak hesaplama yapılacaktır.

Çizelge 7.5. En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri.

		$A/V \leq 0,2$ için	$A/V \geq 1,05$ için	Birim
1. Bölge $Q'_{1,DG}$	A_n ile ilişkili	19,2	56,7	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	6,2	18,2	kWh/m ³ ,yıl
2. Bölge $Q'_{2,DG}$	A_n ile ilişkili	38,4	97,9	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	12,3	31,3	kWh/m ³ ,yıl
3. Bölge $Q'_{3,DG}$	A_n ile ilişkili	51,7	116,5	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	16,6	37,3	kWh/m ³ ,yıl
4. Bölge $Q'_{4,DG}$	A_n ile ilişkili	67,3	137,6	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	21,6	4,1	kWh/m ³ ,yıl

Çizelge 7.6. Bölgelere ve ara değer $A_{top}/V_{brüt}$ oranlarına bağlı olarak sınırlandırılan Q' 'nin hesaplanması.

		$0,2 < A/V < 1,05$ için	Birim
1. Bölge $Q'_{1,DG}$	A_n ile ilişkili	$44,1 \times A/V + 10,4$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	$14,1 \times A/V + 3,4$	kWh/m ³ ,yıl
2. Bölge $Q'_{2,DG}$	A_n ile ilişkili	$70 \times A/V + 24,4$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	$22,4 \times A/V + 7,8$	kWh/m ³ ,yıl
3. Bölge $Q'_{3,DG}$	A_n ile ilişkili	$76,3 \times A/V + 36,4$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	$24,4 \times A/V + 11,7$	kWh/m ³ ,yıl
4. Bölge $Q'_{4,DG}$	A_n ile ilişkili	$82,8 \times A/V + 50,7$	kWh/m ² ,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili	$26,5 \times A/V + 16,3$	kWh/m ³ ,yıl

7.3.1.5. Kabuller

1. Elemanlarda yoğunlaşma olmayacak ve ısı köprüsü meydana gelmeyecek şekilde tedbirlerin alındığı kabul edilmiştir.

2. Isı köprüsü oluşmayacak kabulüyle hesap yapılacağından, denklemde “ $I U_I$ ” değeri dikkate alınmayacaktır. Bu durumda iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı (H_T) hesabı aşağıdaki gibi yapılır.

$$H_T = \sum AU$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_p A_p + U_k A_k + 0.8 U_T A_T + 0.5 U_t A_t + U_d A_d + 0.5 U_{ds} A_{ds}$$

3. Yapıda herhangi bir iklimlendirme sistemi kullanılmadığından hesaplamalarda doğal havalandırma değerlerini kullanılır. Binadan havalandırma ile olan kayıplar için, mekanik havalandırma olmadığından $0,33.n_h V_n$ eşitliği kullanılır.

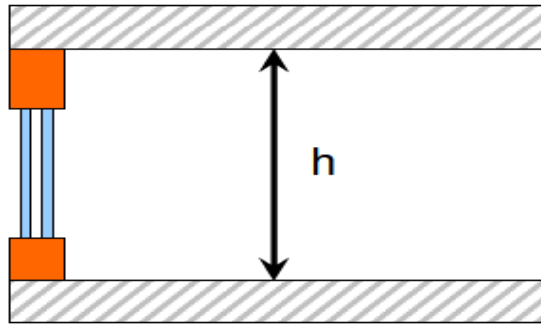
4. Binamız tek hacimli binaya örnektir. TS 825 standardında belirtildiği gibi eğer binanın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyorsa veya ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K 'den fazla değil ise, binanın tamamı için ortalama bir iç sıcaklık değeri hesaplanarak bina tek hacimli olarak ele alınır.

5. Bina konut olarak kullanılacağı için aylık ortalama iç sıcaklık değerleri (θ_i , °C) EK-18 den 19°C olarak alınır.

6. Bina Ankara ilinde bulunmaktadır. Ankara ili, derece gün bölgeleri içerisinde 3. Bölgede bulunmaktadır (Bkz. EK-21, EK-22). O halde ısı kaybı hesaplamalarında kullanılacak aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (θ_e , °C) 3. Bölge için EK-19 den alınır.

7. Bina konut olarak kullanılacağı için iç ısı kazançları 5 W/m^2 olarak alınabilir. Bu durumda örnek bina için iç kazançlar; $A_n \times 5$ değeriyle hesaplanacaktır.

8. Binanın oda yüksekliği hesaplar açısından çok önemlidir. Hesaplamalarda net oda yüksekliği olarak döşemeden tavana olan mesafe ele alınır. Şekil 7.13'te net oda yüksekliği gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Net oda yüksekliği (İzoder, 2017).

Net oda yüksekliği $> 2,6\text{m}$ ise $Q = Q_{yıl}/V_{brüt} \text{ (kWh/m}^3\text{)}$

Net oda yüksekliği $\leq 2,6\text{m}$ ise $Q = Q_{yıl}/A_n \text{ (kWh/m}^2\text{)}$

9. $Q < Q'$ olması halinde bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu yorumu yapılır. Bu durumda proje, standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

7.3.2. Ömür-maliyet analizi

Ömür maliyet analizi yöntemi, belirli bir süre boyunca bir sistemin tüm maliyetlerini göz önüne alan yöntemlerden biridir. Diğer bir deyişle, uzun vadeli maliyet performansına dayalı en iyi alternatifi seçen bir ekonomik karar verme aracıdır. Ömür maliyet analizi yöntemi çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise optimum yalıtım kalınlığını tespit etmek üzere yalıtım konusu üzerinde kullanılacaktır. Analizde, yalıtım maliyeti ve ısıtma enerjisi maliyetlerinin düşürülmesi sebebiyle oluşacak tasarruflar dikkate alınmaktadır.

Bu çalışmada, yalıtım maliyetinden kaynaklanan başlangıç maliyetleri ve yıllık ısıtma enerjisi gereksinimlerinin azaltılması ile elde edilen işletme tasarrufu, ömür maliyet analizine göre değerlendirilmektedir. Hesaplar 10 yıllık dönem için yapılmaktadır (Çağlayan, 2014).

Woodward'a (1997) göre ömür maliyet analizi yönteminin amaçları şunlardır:

1. Yatırım seçeneklerinin daha etkili bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için,
2. Sadece başlangıçtaki sermaye maliyetlerini göz önünde bulundurmak yerine, tüm masrafları göz önünde bulundurmak.
3. Tamamlanmış projelerin ve binaların etkin yönetimini desteklemek.
4. Alternatifler arasında seçim yapmayı kolaylaştırmak.

7.3.2.1. Hesap metoduna giriş

Ülkemizdeki binaların ısıtılmasında kullanılan enerji miktarını sınırlamak, dolayısıyla enerji tasarrufunu artırmak ve enerji ihtiyacının hesaplanması sırasında kullanılacak standart hesap metodunu belirlemek için öncelikle mevcut binaların ısıtma enerji tüketimlerini belirlemek gerekir.

Yıllık ısı enerjisi

Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q = U \cdot \Delta t \quad (7.17)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada, U duvarın toplam ısı geçiş katsayısını ifade etmektedir. Birim yüzey alanda meydana gelen yıllık ısı kaybı ise U ve Derece gün sayısı (DG) kullanılarak hesaplanabilir.

$$q = U \cdot 86400 \cdot DG \quad (7.18)$$

Isıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı ise, birim yüzey alanda oluşan yıllık ısı kaybının sistem verimine bölünmesiyle elde edilir. Bir binaya ait ısıtmadaki yıllık

enerji ihtiyacı E_A , derece gün değeri DG , duvarın toplam ısı geçiş katsayısı U (W/m^2K) ve ısıtma sisteminin verimi η olmak üzere Eşitlik (7.19) ile bulunur.

$$E_A = \frac{U \cdot 86400 \cdot DG}{\eta} \quad (7.19)$$

Duvarın toplam ısı geçiş katsayısı U , duvarı oluşturan katmanların dirençleri dikkate alınarak Eşitlik (7.20) ile hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_i + R_w + R_{in} + R_o} \quad (7.20)$$

Eşitlik (7.20)'de R_i iç yüzey ısı direncini, R_o dış yüzey ısı direncini, R_w yalıtımsız duvarın ısı direncini, R_{in} yalıtım tabakasının ısı direncini ifade etmektedir.

Yalıtım tabakasının ısı direnci R_{in} , x/λ ifadesi ile de verilebilir. Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı λ (W/mK), yalıtım kalınlığı x (m) olup, toplam ısı geçiş katsayısı U (W/m^2K) olmak üzere Eşitlik (7.20)'yi Eşitlik (7.21) gibi yazabiliriz.

$$U = \frac{1}{R_{wt} + x/\lambda} \quad (7.21)$$

Eşitlik (7.21) ile verilen R_{wt} ($R_i + R_w + R_o$), yalıtım tabakasının ısı direnci hariç diğer ısı iletim dirençlerinin toplamını ifade etmektedir. Buna göre ısıtma için gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı Eşitlik (7.22)'deki gibi hesaplanır.

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}) \cdot \eta} \quad (7.22)$$

7.3.2.2. Ekonomik analiz yöntemi-bugünkü değer yöntemi

Ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan bugünkü değer yöntemi en uygun yalıtım kalınlığının belirlenmesi için kullanılır. Yöntemin temel amacı yatırımın ekonomik olup olmadığını tespit etmektir. Bu sebeple hesaplarda yatırımla ilgili yatırımın ekonomik ömrü süresince belirli parametreler kullanılır.

Bugünkü değer faktörü hesaplanırken, enflasyon etkisi olmayan yıllık faiz oranı (reel faiz oranı) r kullanılır. Gerçek faiz oranı Eşitlik (7.23) ile bulunur.

$$r = \frac{(i-g)}{(1+g)} \quad (7.23)$$

Burada “g” enflasyon oranı iken “i” faiz oranını ifade eder.

Toplam ısıtma maliyeti; yalıtım malzemesinin N yıllık ekonomik ömrü ve şimdiki değer faktörünün birlikte değerlendirilmesi ile hesaplanır. Ekonomik ömür süresi 10 yıl olarak kabul edilecektir.

Eşitlik (7.24)'teki ifade Şimdiki Değer Faktörü (PWF) olarak adlandırılır. N yıllık ekonomik ömür ve r kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (7.24)$$

En iyi yalıtım kalınlığının tespiti

Öncelikle tüketilen yıllık yakıt miktarı Eşitlik (7.25) kullanılarak bulunur.

$$m_f = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (7.25)$$

Burada yakıt olarak doğalgaz kullanıldığından; m_f yıllık doğalgaz tüketimini ifade etmektedir. H_u ise doğalgazın alt ısı değeri.

Yalıtımlı bir binanın birim alanını ısıtmak için kullanılan yıllık yakıt maliyeti (C_{Ain}) Eşitlik (7.26) kullanılarak elde edilir. Bu eşitlikten de anlayacağımız üzere Eşitlik (7.26) da bulunan yıllık yakıt miktarı ile yakıtın birim fiyatının çarpılması yıllık yakıt maliyetini (C_{Ain}) vermektedir. Eşitlikte yer alan “ C_f ” yakıtın birim fiyatını göstermektedir.

$$C_{Ain} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (7.26)$$

Yalıtımın toplam maliyeti Eşitlik (7.27)’ye göre bulunur.

$$C_{in} = C_i \cdot x \quad (7.27)$$

C_{in} TL/m² cinsinden, yalıtımın toplam maliyeti olup formüldeki x yalıtım malzemesinin kalınlığını (m) ve C_i ise TL/m³ cinsinden yalıtım malzemesinin birim fiyatını gösterir.

Böylece yalıtımlı bir binada N yıllık toplam ısıtma maliyeti Eşitlik (7.28)’de olduğu gibidir.

$$C_{Tin} = C_{Ain} \cdot PWF + C_i \cdot x \quad (7.28)$$

Eşitlik (7.26)’dan C_{Ain} alınıp Eşitlik (7.28)’de yerine yazılırsa, Eşitlik (7.29) elde edilir.

$$C_{Tin} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \cdot H_u \cdot \eta} + C_i \cdot x \quad (7.29)$$

Toplam ısıtma maliyetinin, yalıtım kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi sonucunda optimum yalıtım kalınlığı tespit edilir.

$\frac{dC_{Tin}}{dx} = 0$, şartını sağlayan x (m), toplam kazancı en büyük yapan yalıtım malzemesi kalınlığını verir. Optimum yalıtım kalınlığı, Eşitlik (7.30) ile hesaplanır.

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{DG \cdot C_f \cdot PWF \cdot \lambda}{H_u \cdot C_i \cdot \eta} \right)^{1/2} - \lambda \cdot R_{wt} \quad (7.30)$$

Yalıtımlı durumda en iyi yalıtım kalınlığında sağlanan enerji tasarrufu ile yalıtımsız haldeki ısıtma maliyetinin mukayesesi, yalıtımın ekonomik olup olmadığını verir. Yıllık toplam maliyet farkı A_s , Eşitlik (7.31)'e göre hesaplanır.

$$A_s = C_T - C_{T_{in}} \quad (7.31)$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{R_{wt} \cdot H_u \cdot \eta} \quad (7.32)$$

Eşitlik (7.32), yalıtımsız durumdaki ısıtmada kullanılan yakıt maliyetini ifade etmektedir. Eşitlik (7.29) ve Eşitlik (7.32) alınıp Eşitlik (7.31)'de yerine yazılırsa N yıllık toplam ısıtma maliyeti kazancı Eşitlik (7.33)'te olduğu gibi hesaplanır.

$$A_s = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{R_{wt} \cdot H_u \cdot \eta} - \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \cdot H_u \cdot \eta} - C_i \cdot x \quad (7.33)$$

Eşitlik (7.33)'teki ilk terim yalıtım malzemesi kullanılmadığı durumda, ikinci terim ise yalıtımlı durumda ortaya çıkan toplam yakıt maliyetini ifade etmektedir. Belirtilen iki maliyet arasındaki fark sağlanan enerji tasarrufunu verir.

Geri ödeme süresinin tespiti

Geri Ödeme Süresi, kaç yıl içerisinde gelirlerin giderleri karşılayacağını belirten bir değerdir. Geri ödeme süresinin tespiti Eşitlik (7.34) kullanılarak yapılır. Yapılan yatırımlar içerisinde, geri ödeme süresi en kısa olan yani en kısa sürede geri dönen yatırımın tercih edilmesi uygun olur.

$$PP = \frac{C_{in}}{A_s} \quad (7.34)$$

A_s yıllık toplam ısıtma maliyeti kazancı (farkı) olup $(C_T - C_{T_{in}})$ şeklinde hesaplanır. C_T , yalıtım malzemesi kullanılmadığında bir binada birim alanı ısıtmak için kullanılan yıllık enerji (yakıt) maliyetidir.

7.3.2.3. Ekonomik analiz yöntemi-P₁-P₂ metodu

Dış duvarın birim yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı,

$$q = U \cdot \Delta t \quad (7.35)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Birim yüzey alanda meydana gelen yıllık ısı kaybı,

$$q = U \cdot 86400 \cdot DG \quad (7.36)$$

olarak bulunur. Yalıtımlı veya yalıtımsız bir duvarda ısıtma amaçlı gerekli olan yıllık enerji ihtiyacı,

$$E_A = \frac{U \cdot 86400 \cdot DG}{\eta} \quad (7.37)$$

Yalıtımsız duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (U_{un}),

$$U_{un} = \frac{1}{R_i + R_{wt} + R_o} \quad (7.38)$$

Yalıtımlı duvarın toplam ısı geçiş katsayısı (U_{in}) ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$U_{in} = \frac{1}{R_i + R_{wt} + R_{in} + R_o} \quad (7.39)$$

Eşitlik (7.39) ile verilen R_{wt} ($R_i + R_w + R_o$), yalıtım tabakasının ısıl direnci hariç diğer ısı iletim dirençlerinin toplamını ifade etmektedir. R_{in} ise yalıtım tabakasının ısıl direnci olup x/k olarak yazılabilir. Bu durumda;

$\Delta U = U_{un} - U_{in}$ olduğundan

$$\Delta U = \frac{1}{R_{wt}} - \frac{1}{R_{wt} + \frac{x}{\lambda}} \quad (7.40)$$

Olarak hesaplanır.

$$U = \frac{1}{R_{wt} + \lambda/k} \quad (7.41)$$

Her bir birim yüzey için yıllık enerji maliyeti ise Eşitlik (7.42) ile hesaplanır.

$$C_{Ain} = \frac{86400 \cdot DG \cdot U \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} \quad (7.42)$$

Yalıtımın toplam maliyeti Eşitlik (7.43)'e göre bulunur.

$$C_{in} = C_i \cdot x \quad (7.43)$$

C_{in} TL/m² cinsinden, yalıtımın toplam maliyeti olup formüldeki x yalıtım malzemesinin kalınlığını (m) ve C_i ise TL/m³ cinsinden yalıtım malzemesinin birim fiyatını gösterir.

Optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi

P_1 - P_2 metodu yaşam döngüsü maliyetinin hesaplanmasına yönelik bir yöntemdir. Ömür maliyet analizi bazı ekonomik parametreleri (faiz ve enflasyon oranları, yakıt ve yalıtım malzemesi fiyatları gibi) hesaba katarak en uygun yalıtım kalınlığını tespit etmek için kullanılır. Toplam ısıtma maliyetinin hesabında yaşam ömrü süresi (N) ve P_1 birlikte ele alınır.

P_1 değeri, faiz oranı (i) ve enflasyon oranına (g) bağlı olarak değişir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$i \neq g$ ise;

$$P_1 = \frac{1}{g-i} \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+g} \right)^N \right] \quad (7.44)$$

$i = g$ ise;

$$P_1 = \frac{N}{1+i} \quad (7.45)$$

P_2 ise yalıtımın ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri ve bakım giderlerine bağlı olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$P_2 = 1 + P_1 M_s - \frac{R_v}{(1+g)^N} \quad (7.46)$$

Burada M_s yıllık bakım maliyeti ve işletme maliyeti olarak belirlenir R_v ilk yatırım maliyeti olarak kabul edilir. Bu çalışmada hesaplarda bakım ve işletme maliyeti olmadığı kabul edildiğinden $P_2 = 1$ olarak alınır.

Bina dış duvarı birim alanından elde edilecek enerji tasarrufu (A_s), Eşitlik (7.47) ile verilmiştir.

$$A_s = \frac{P_1 \cdot 86400 \cdot DG \cdot \Delta U \cdot C_f}{H_u \cdot \eta} - P_2 \cdot C_i \cdot x \quad (7.47)$$

Yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti (C_{Tin}); tüm harcamaların toplamını ifade eder ve Eşitlik (7.48) ile hesaplanır.

$$C_{Tin} = P_1 C_{Ain} + P_2 C_{in} \quad (7.48)$$

$$C_{Tin} = \frac{P_1 \cdot 86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{wt} + \frac{x}{\lambda}\right) \cdot H_u \cdot \eta} + P_2 \cdot C_i \cdot x \quad (7.49)$$

Optimum yalıtım kalınlığı (x_{opt}), yıllık maliyetin en düşük olduğu nokta olarak tanımlanabilir. Bu noktada gerçekleşecek bir yalıtım ile maliyet minimum ve enerji tasarrufu ise maksimum olacaktır. Toplam ısıtma maliyetinin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak optimum yalıtım kalınlığı bulunmuş olur. Optimum yalıtım kalınlığı Eşitlik (7.50) verilen formülle elde edilir.

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400 \cdot P_1 \cdot \lambda \cdot DG \cdot C_f}{P_2 \cdot C_i \cdot H_u \cdot \eta}} - \lambda \cdot R_{wt} \quad (7.50)$$

Yapılan yatırıma karşılık gelen geri ödeme süresi ise Eşitlik (7.51) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$PP = \frac{P_2 \cdot C_i \cdot H_u \cdot \eta (R_{wt} \cdot x + R_{wt}^2 \cdot \lambda) \cdot (1+i)}{C_f \cdot 86400 \cdot DG} \quad (7.51)$$

8. UYGULAMA ÇALIŞMASI

8.1. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği Hesap Metoduna Göre Hesaplar

Üzerinde ısı yalıtım analizleri yapılacak örnek bina, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliğine göre 3. Bölgede bulunan Ankara ilinde yer almaktadır. Örnek bina 1 bodrum kat, 1 zemin kat ve 4 normal kat ile toplamda 6 katlıdır. Binada merkezi ısıtma sistemi vardır. Yakıt türü doğalgazdır. Bodrum kat dâhil ısıtılmayan iç ortam bulunmamaktadır. Çatısı ise üzerinde gezilemeyen/üzeri kullanılmayan şeklindedir. Örnek binaya ait mimari proje, kat planı, kesit ve cephe görüntüleri ile birlikte EK 1, EK 2, EK 3 ... EK 6'da mevcuttur.

Hesapların daha iyi anlaşılması adına XPS yalıtım malzemesi için yapılan hesaplamalar ayrıntılı bir şekilde verilecektir. Diğer malzemeler (EPS, Cam yünü, Taş yünü ve PUR) için bulunan sonuçlar ise EK bölümünde yer almaktadır.

Örnek binanın duvarları için yapılan hesaplar hem tuğla hem de gazbeton için yapılacaktır. Binanın mevcut halinde dış havaya açık duvarlarda yalıtım yoktur. Ancak diğer alanlarda yalıtım (ısı ve su yalıtımı) mevcuttur. Toprak temaslı betonarme duvarda 10 cm lik XPS, tavanda (çatılı) 12 cm lik cam yünü ve tabanda (toprak temaslı) ise yine 10 cm lik XPS kullanılmıştır.

5 farklı yalıtım malzemesinin (XPS, EPS, Cam yünü, Taş yünü ve PUR) kullanılacağı dıştan yalıtım sisteminde, yalıtım malzemeleri sadece dış havaya açık dolgu duvar ve betonarme duvar yüzeylerine uygulanacaktır. Diğer ısı kaybeden alanlarda ise binanın mevcut durumunda kullanılan malzemeler aynen kalacaktır. Bu alanlar için hesaplanan ısı geçirgenlik katsayısı “U” (W/m^2K) değerleri, TS 825’ de verilen “Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri” şartını sağlamaktadır. (Bkz: Çizelge 7.1.)

Binanın mevcut halinde balkon kapıları ve dış kapı metal doğrama ısı yalıtımsız şeklindedir. Balkon kapısı, yüksekliği boyunca yarısı cam yarısı metal doğrama şeklinde iken dış kapının tamamı metal doğramadır cam yoktur. Pencereleer ise alüminyum doğrama tek camlı penceredir. Hesaplarda ilk durumda yani yalıtımsız durum için kullanılacak kapı ve pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayıları sırasıyla 5,5 W/m^2K ve 5,9 W/m^2K alınmıştır. Dış duvarlara uygulanacak yalıtım malzemeleri ile birlikte kapı ve pencereler de yalıtım yönünden iyileştirilecektir. Bu amaçla pencerelere, TS 825’de verilen “ U_p ” şartını da sağlayacak şekilde ahşap doğrama çift camlı low-e

kaplamalı pencere tercih edilmiştir. Kapılara ise metal-ısı yalıtımlı kapı seçilmiştir. Yalıtımlı durum için kullanılacak kapı ve pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayıları sırasıyla 4 W/m²K ve 2,2 W/m²K dir. (Kapı ve pencere sistemlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları (U_k, U_p) Ek-23 ve Ek-24 de verilmiştir.)

Isı kaybeden alanlar ve bu alanlarda kullanılan malzemeler 12 farklı çözüm şeklinde Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2 de verilmiştir. İlk iki çözüm sistemi binanın mevcut durumu için, kalan çözümler ise dış havaya açık duvarlara değişen kalınlıklarda farklı yalıtım malzemeleri (XPS, EPS, taş yünü, cam yünü ve PUR) ile oluşturulmuş çözüm sistemleridir.

Çizelge 8.1. Çözüm sistemleri(1-6).

	Çözüm 1	Çözüm 2	Çözüm 3	Çözüm 4	Çözüm 5	Çözüm 6
Dış havaya açık duvarlar (tuğla, gazbeton ve betonarme)	Yalıtım yok (tuğla duvar)	Yalıtım yok (gazbeton duvar)	XPS (değişen kalınlıklar da)-tuğla duvar	XPS (değişen kalınlıklar da)-gazbeton duvar	EPS (değişen kalınlıklar da)-tuğla duvar	EPS (değişen kalınlıklar da)-gazbeton duvar
Toprağa temas eden betonarme duvarlar	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)
Tavan (çatılı-kullanılmayan)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)
Taban (toprağa temas eden)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)
Pencereler	Alüminyum doğrama tek camlı (U _p 5,9 W/m ² K)	Alüminyum doğrama tek camlı (U _p 5,9 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U _p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U _p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U _p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U _p 2,2 W/m ² K)
Kapılar	Metal-ısı yalıtımsız (U _k 5,5 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımsız (U _k 5,5 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U _k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U _k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U _k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U _k 4 W/m ² K)

Çizelge 8.2. Çözüm sistemleri(7-12).

	Çözüm 7	Çözüm 8	Çözüm 9	Çözüm 10	Çözüm 11	Çözüm 12
Dış havaya açık duvarlar (tuğla, gazbeton ve betonarme)	Camyünü (değişen kalınlıklarda)-tuğla duvar	Camyünü (değişen kalınlıklarda)-gazbeton duvar	Taş yünü (değişen kalınlıklarda)-tuğla duvar	Taş yünü (değişen kalınlıklarda)-gazbeton duvar	PUR (değişen kalınlıklarda)-tuğla duvar	PUR (değişen kalınlıklarda)-gazbeton duvar
Toprağa temas eden betonarme duvarlar	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)
Tavan (çatılı-kullanılmayan)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)	Camyünü (12 cm)
Taban (toprağa temas eden)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)	Ekstrüde Polistren Köpük (XPS-10 cm)
Pencereler	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)	Ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m ² K)
Kapılar	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)	Metal-ısı yalıtımlı (U_k 4 W/m ² K)

Örnek binanın ısı kaybeden alanları

1. Toprağa temas eden taban alanı
2. Üzeri kullanılmayan çatı/tavan alanı
3. Dış havaya açık taşıyıcı olmayan duvar (tuğla, gazbeton) alanı
4. Dış havaya açık betonarme duvar alanı
5. Toprağa temas eden betonarme duvar alanı
6. Kapı alanı
7. Pencere alanı

Çizelge 8.3'te bina bilgileri verilmiştir.

Çizelge 8.3. Bina bilgileri.

Bina eni	11,85 m
Bina boyu	23,00 m
Bina yüksekliği	18,15 m
Kat yüksekliği	2,90 m

Hesaplarda gerekli olan dış havaya açık kolon boyutları 25x50 cm, 25x60 cm, kiriş boyutları ise 25x75 cm'dir. Ayrıca örnek binanın temeli toprağın 1,60 m altından başlamaktadır.

Çizelge 8.4'te dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon+kiriş) duvar alanı bilgileri verilmiştir.

Çizelge 8.4. Dış havaya açık taşıyıcı betonarme (kolon+kiriş) duvar alanı.

Ön cephe	
Kolon alanı	41,5 m ²
Kiriş alanı	104,25 m ²
Arka cephe	
Kolon alanı	41,5 m ²
Kiriş alanı	113,85 m ²
Sağ yan cephe	
Kolon alanı	28,22 m ²
Kiriş alanı	45,68 m ²
Sol yan cephe	
Kolon alanı	28,22 m ²
Kiriş alanı	45,68 m ²
Ön cephe toplam betonarme duvar alanı (A_{bet1})	145,75 m ²
Arka cephe toplam betonarme duvar alanı (A_{bet2})	155,35 m ²
Sağ yan cephe toplam betonarme duvar alanı (A_{bet3})	73,90 m ²
Sol yan cephe toplam betonarme duvar alanı (A_{bet4})	73,90 m ²
Toplam betonarme (kolon+kiriş) duvar alanı	448,9 m²

Örnek binada balkon kapıları ve dış kapı metal doğrama ısı yalıtımsız şeklindedir. Balkon kapısı, yüksekliği boyunca yarısı cam yarısı metal doğrama şeklinde iken dış kapının tamamı metal doğramadır, cam yoktur. Bu durumda cam kısmı pencere alanına, metal doğrama kısmı da kapı alanına eklenecektir. Pencere alanı ise

alüminyum doğrama tek camlı penceredir. Hesaplarda ilk durumda yani yalıtımsız durum için kullanılacak kapı ve pencerelerin ısı geçirgenlik katsayıları sırasıyla 5,5 W/m²K ve 5,9 W/m²K alınmıştır. Kapı ve pencere sistemlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (U_k , U_p) Ek-23'te ve Ek-24'te verilmiştir.

Toplam pencere ve kapı alanları Çizelge 8.5'te verilmiştir.

Çizelge 8.5. Toplam pencere ve kapı alanları.

Ön cephe	
Kapı alanı (A_{k1})	14,2 m ²
Pencere alanı (A_{p1})	93,61 m ²
Arka cephe	
Kapı alanı (A_{k2})	8,8 m ²
Pencere alanı (A_{p2})	84,64 m ²
Sağ yan cephe	
Pencere alanı (A_{p3})	3,38 m ²
Sol yan cephe	
Pencere alanı (A_{p4})	3,38 m ²
Toplam pencere alanı	185 m ²
Toplam kapı alanı	23 m ²

Binanın pencere alanı en fazla olan ön cephesi aynı zamanda güney cephedir. Çizelge 8.6'da binanın cephelerine göre pencere alanları verilmiştir.

Çizelge 8.6. Bina'nın cephelerine göre pencere alanları.

Güney cephe pencere alanı	93,61 m ²
Kuzey cephe pencere alanı	84,64 m ²
Batı cephe pencere alanı	3,38 m ²
Doğu cephe pencere alanı	3,38 m ²

Dış havaya açık taşıyıcı olmayan duvar (tuğla, gazbeton) alanı hesabı;

Taşıyıcı olmayan duvar alanını hesaplarken binanın dış yüzey alanından, yüzeydeki betonarme (kolon+kiriş) duvar alanı ve kapı-pencere alanını çıkarmak işlemleri kolaylaştıracaktır. Yukarıdaki hesaplarda dış havaya açık taşıyıcı betonarme

(kolon+kiriş) duvar alanı ve kapı-pencere alanlarını hesaplamıştık. Şimdi ise her bir cephe için duvar (tuğla, gazbeton) alanını hesaplayalım. $A_{Dön}$, A_{Darka} , $A_{Dsağ}$ ve $A_{Dsöl}$ sırasıyla ön cephe, arka cephe, sağ cephe ve sol cephe toplam duvar yüzey alanıdır. Bu alanlar Çizelge 8.3 yardımıyla hesaplanır.

Ön cephe toplam duvar (tuğla, gazbeton) alanı;

$$A_{Dön} = A_{bet1} - A_{p1} - A_{k1}$$

$$\text{Duvar alanı: } 128,24 \text{ m}^2$$

Arka cephe toplam duvar (tuğla, gazbeton) alanı;

$$A_{Darka} = A_{bet2} - A_{p2} - A_{k2}$$

$$\text{Duvar alanı: } 133,01 \text{ m}^2$$

Sağ yan cephe toplam duvar (tuğla, gazbeton) alanı;

$$A_{Dsağ} = A_{bet3} - A_{p3}$$

$$\text{Duvar alanı: } 119,43 \text{ m}^2$$

Sol yan cephe toplam duvar (tuğla, gazbeton) alanı;

$$A_{Dsöl} = A_{bet4} - A_{p4}$$

$$\text{Duvar alanı: } 119,43 \text{ m}^2$$

Toplam dış havaya açık taşıyıcı olmayan duvar (tuğla, gazbeton) alanı: 500, 11 m²

Toplam toprağa temas eden betonarme duvar alanı: 111,52 m²

Toprağa temas eden taban alanı: 272,55 m²

Üzeri kullanılmayan çatı/tavan alanı: 272,55 m²

Örnek binanın brüt hacmi ($V_{brüt}$) 4960,41 m³ dir. Bina kullanım alanı (A_n) 1587,33 m² dir. Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı (A_{top}) 1813,63 m² dir. $A_{top} / V_{brüt}$ oranı ise 0,3656 m⁻¹ dir.

Bulduğumuz tüm değerler ile binaya ait diğer özellikler Çizelge 8.7’de verilmiştir.

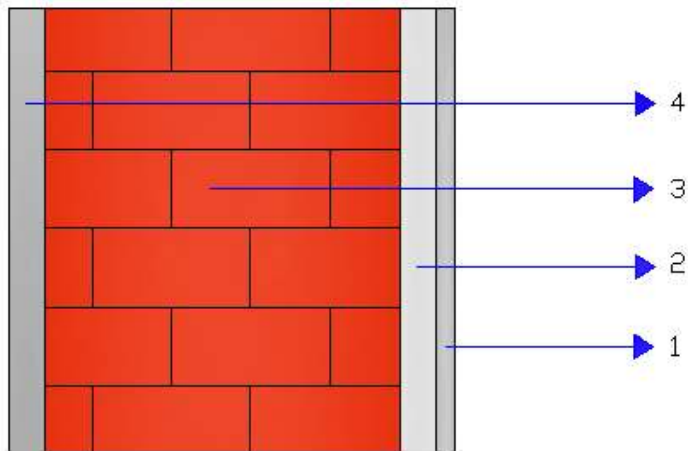
Çizelge 8.7. Bina hesap değerleri.

Binanın bulunduğu il	Ankara
Derece gün bölgesi	3
Bina tipi	Konut
Kat yüksekliği (h)	2,90 m
Kat sayısı	6
Çatı tipi	Üzeri kullanılmayan
Isıtılmayan iç ortam	Yok
Yakıt tipi	Doğalgaz
Bina ısıtma sistemi	Merkezi ısıtma sistemi
Havalandırma tipi	Doğal havalandırma
V_{brüt} (Brüt hacim)	4960,41 m ³
A_n (Bina kullanım alanı)	1587,33 m ²
(A_{top})	1813,63 m ²
A_{top} / V_{brüt}	0,3656 m ⁻¹
Dış havaya açık duvar (betonarme) alanı	448,9 m ²
Dış havaya açık duvar (tuğla-gazbeton) alanı	500, 11 m ²
Toprağa temas eden betonarme duvar alanı	111,52 m ²
Taban alanı	272,55 m ²
Tavan alanı	272,55 m ²
Güney cephe pencere alanı	93,61 m ²
Kuzey cephe pencere alanı	84,64 m ²
Batı cephe pencere alanı	3,38 m ²
Doğu cephe pencere alanı	3,38 m ²
Toplam pencere alanı	185 m ²
Toplam kapı alanı	23 m ²

Çözüm 1.Örnek binanın mevcut durumu (tuğla duvar) için özgül ısı kaybı hesabı.

Çizelge 8.8. Dış ortama açık tuğla duvar için ısı kaybı hesabı.

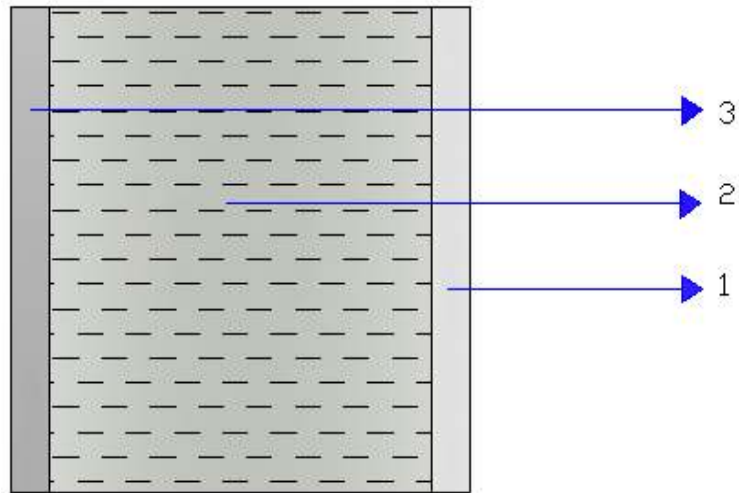
1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	Ri			0,1300			
	1.Sadece alçı kullanılarak(a gregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196			
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	3.Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,2	0,33	0,6060			
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	Re			0,0400			
Toplam				0,8281	1,2076	500,11	603,93



Şekil 8.1. Dış ortama açık duvar (tuğla) detayı.

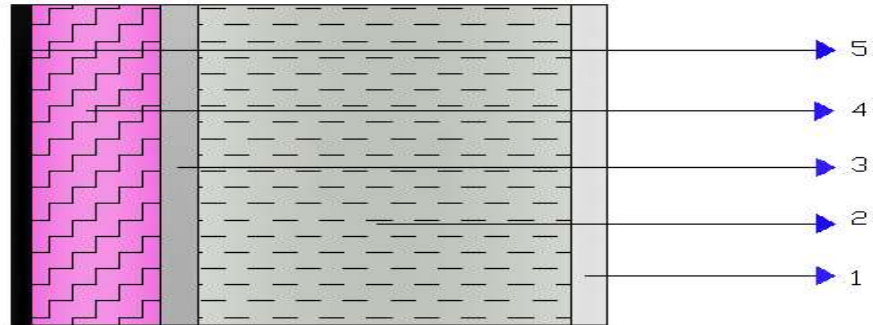
Çizelge 8.9. Dış ortama açık betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, betonarme)	Ri			0,1300			
	1.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	2.Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar-donatılı	0,25	2,5	0,1000			
	3.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	Re			0,0400			
Toplam				0,3025	3,3058	448,9	1483,97

**Şekil 8.2.** Dış ortama açık duvar (betonarme) detayı.

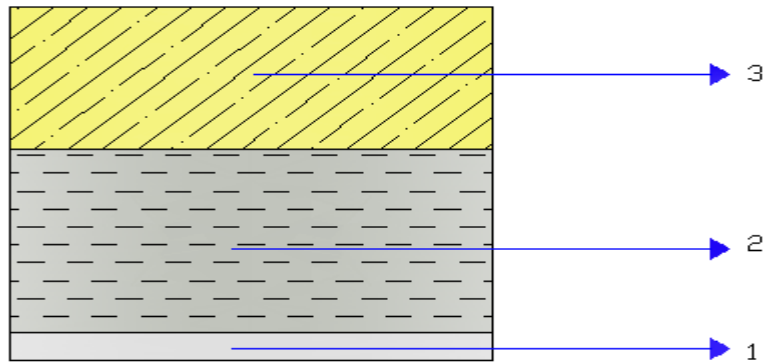
Çizelge 8.10. Toprak temaslı betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı eleman 1 kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
	Ri			0,1300			
Duvar yüzeyleri (Toprak temaslı, betonarme)	1.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	2.Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-donatılı	0,25	2,5	0,1000			
	3.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	4.Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS)-TS 11989 EN 13164'e uygun	0,1	0,035	2,8571			
	5.Polimer bitümlü su yalıtım örtüsü	0,003	0,19	0,0158			
	Re			0,0000			
Toplam				3,1354	0,3189	111,52	35,56

**Şekil 8.3.** Toprak temaslı duvar (betonarme) detayı.

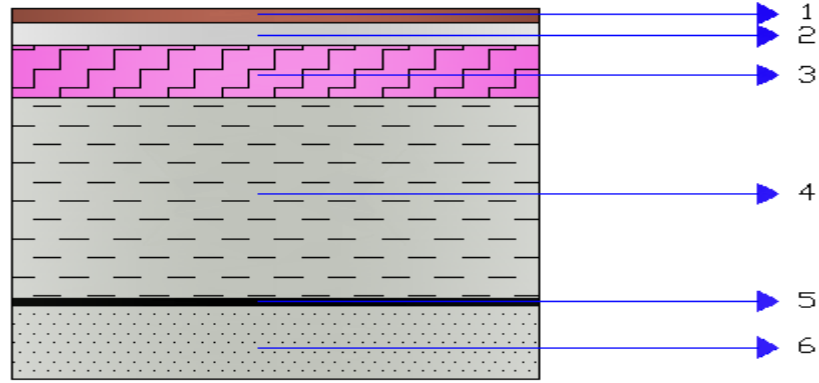
Çizelge 8.11. Tavan için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı eleman 1 kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Tavan (Çatılı)	Ri			0,1300			
	1.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	2.Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-donatılı	0,15	2,5	0,0600			
	3.Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemele ri (cam yünü, taş yünü vb.)	0,12	0,035	3,4286			
	Re			0,0800			
Toplam				3,7186	0,2689	272,55	73,29

**Şekil 8.4.** Tavan (çatılı) detayı.

Çizelge 8.12. Toprak temaslı taban için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Taban (Toprak temaslı)	Ri			0,1700			
	1.Sentetik malzemeden kaplamalar	0,01	0,23	0,0435			
	2.Çimento harçlı şap	0,05	1,4	0,0357			
	3.Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS)	0,1	0,035	2,8571			
	4.Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar-donatılı	0,6	2,5	0,24			
	5.Polimer bitümlü su yalıtım örtüsü	0,003	0,19	0,0158			
	6.Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya micir kullanılarak yapılmış betonlar-donatısız	0,1	1,65	0,0606			
	Re			0,0000			
Toplam				3,4227	0,2922	272,55	79,64



Şekil 8.5. Taban (toprak temaslı) detayı.

Çizelge 8.13. Dış kapı ve pencereler için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Dış kapı					5,5	23	126,5
Pencere					5,9	185	1091,5

Binanın özgül ısı kaybının hesabı

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı

İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Eşitlik (7.9) ile hesaplanır. Hesaplarda ısı köprüsü oluşmadığı kabul edilmiştir. Bu yüzden “ I U₁ ” değeri “ 0 ” alınacaktır. Bu durumda;

$H_T = 3439,912$ W/K dir.

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı Eşitlik (7.11) ile hesaplanır. Bu durumda;

$H_v = 1047,639$ W/K dir.

$H(\text{Binanın özgül ısı kaybı}) = H_T + H_v$ ise;

$H = 4487,551$ W/K dir.

Binanın yıllık ve aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı Eşitlik (7.6) ve (7.7)'ye göre belirlenir.

$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta_{ay} (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t$, ifadesindeki bilinmeyenleri sırasıyla bulalım.

1. Binaın özgül ısı kaybı (H) 4487,551'dir.

2. " θ_i " değeri aylık ortalama iç sıcaklıkları ifade eder ve EK-18'den alınır. Isıtılacak örnek bina konut olduğundan, " θ_i " değeri 19 °C olarak alınır.

3. " θ_e , °C" değerleri aylık ortalama dış sıcaklıkları ifade eder ve EK-19'den alınır.

4. " $\phi_{i,ay}$ " değeri aylık ortalama iç kazançları ifade etmektedir. $\phi_{i,ay} = 7936,65$ W dir.

5. " $\phi_{s,ay}$ " değeri aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarını ifade eder. Eşitlik (7.13) kullanılarak hesaplanabilir.

" $r_{i, ay}$ " değeri ağaçlardan kaynaklanan gölgelenme olduğu için Çizelge 7.2'den "0,6" olarak alınır. " $g_{\perp}$ " değeri, örnek binanın mevcut durumunda pencerelerimiz tek cam olduğu için Çizelge 7.3'ten "0,85" olarak alınır. Bu durumda " $g_{i, ay}$ " değeri 0,68 olarak bulunur. " $I_{i, ay}$ " ortalama aylık güneş ışıınımı şiddeti değerleri (W/m^2) EK-20'den alınacaktır.

" A_i ", yönler'e göre toplam pencere alanları Çizelge 8.14'te verilmiştir.

Çizelge 8.14. Yönler'e göre toplam pencere alanları.

Güney cephe toplam pencere alanı	93,61 m ²
Kuzey cephe toplam pencere alanı	84,64 m ²
Batı cephe toplam pencere alanı	3,38 m ²
Doğu cephe toplam pencere alanı	3,38 m ²

Binanın mevcut halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları Çizelge 8.15'te verilmiştir.

Çizelge 8.15. Binanın mevcut halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.

Aylar	$r_{i, ay}$	$g_{i, ay}$	$I_{i,ay} \times A_i$				$\phi_{s,ay} (W)$
			Güney	Kuzey	Batı	Doğu	
Ocak	0,6	0,68	6739,92	2200,64	145,34	145,34	3766,346
Şubat			7863,24	3131,68	192,66	192,66	4643,138
Mart			8144,07	4401,28	260,26	260,26	5330,875
Nisan			8424,90	5586,24	304,20	304,20	5964,772
Mayıs			8612,12	6686,56	385,32	385,32	6556,283
Haziran			8892,95	7025,12	412,36	412,36	6831,058
Temmuz			8705,73	6855,84	398,84	398,84	6674,574
Ağustos			8705,73	6178,72	358,28	358,28	6365,212
Eylül			8331,29	4824,48	273,78	273,78	5590,959
Ekim			7676,02	3385,60	199,42	199,42	4675,868
Kasım			6271,87	2285,28	138,58	138,58	3604,398
Aralık			5991,04	1862,08	125,06	125,06	3306,122

6. “ KKO_{ay} ,” Kazanç / kayıp oranı olup, Eşitlik (7.16)’ya göre hesaplanır.

7. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü (η), Eşitlik (7.15)’e göre hesaplanır.

Tüm bilinenlerden sonra binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanır. Aşağıdaki çizelgede binanın mevcut halinin tuğla duvar için ısıtma enerjisi ihtiyacı verilmiştir.

Çizelge 8.16. Binanın mevcut halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (tuğla duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kazanç kullanı m faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgü l ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpl arı	İç ısı kazan cı	Güneş enerjisi kazancı	Topla m			
	H (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	H ($\theta_i - \theta_e$) (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	4488	19,3	86610	7937	3766	11703	0,14	0,99	194.461.586
Şubat		18,9	84815		4643	12580	0,15	0,99	187.558.981
Mart		14,9	66865		5331	13268	0,20	0,99	139.267.267
Nisan		8,9	39939		5965	13901	0,35	0,94	69.651.875
Mayıs		4,6	20643		6556	14493	0,70	0,76	24.956.043
Haziran		0,5	2244		6831	14768	6,58	0,14	0
Temmuz		0,0	0,00		6674	14611	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0,00		6365	14302	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	8078		5591	13528	1,67	0,45	5.158.509
Ekim		7,4	33208		4676	12613	0,38	0,93	55.671.589
Kasım		13,4	60133		3604	11541	0,19	0,99	126.249.945
Aralık		17,7	79430		3306	11243	0,14	0,99	177.031.806

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 980.007.601 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 980.007.601 \text{ (kJ)} = 272.442 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 54.92 \text{ kWh/m}^3$$

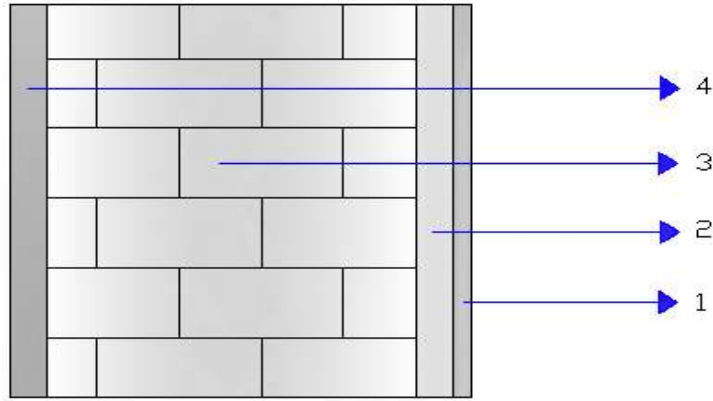
$A_{top}/V_{brüt} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Çizelge 7.6'dan alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q > Q^1$ ($54.92 > 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerinde olduğu görülmektedir. Bu yüzden örnek binanın mevcut durumu için yapılan hesaplar göstermektedir ki, bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir.

Çözüm 2. Örnek binanın mevcut durumu (gazbeton duvar) için özgül ısı kaybı hesabı.

Çizelge 8.17. Dış ortama açık gazbeton duvar için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı eleman kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	Isı geçirgenlik katsayısı U ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	Ri			0,1300			
	1.Sadece alçı kullanılarak(agregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196			
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	3.Gazbeton yapı levhaları	0,2	0,2	1,0000			
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	Re			0,0400			
Toplam				1,2221	0,8183	500,11	409,24



Şekil 8.6. Dış ortama açık duvar (gazbeton) detayı.

Mevcut binadaki duvarın gaz beton olması durumunda ise sadece dış ortama açık duvar yüzeyleri için yapılan hesaplarda değişiklik olacaktır. Daha önceki hesaplarda kullandığımız yatay delikli tuğla yerine bu kez gaz beton yapı levhası kullanılmıştır. Bu durumda tuğla duvar için yaptığımız hesaplardaki diğer ısı kaybeden yüzeyler için bulunan ısı kayıpları aynen alınacaktır. $H_T = 3245,222$, $H_v = 1047,639$ W/K dir. Sonuç olarak binanın özgül ısı kaybı (H) 4292,861 W/K olarak bulunur.

Aşağıdaki çizelgede binanın mevcut halinin tuğla duvar için ısıtma enerjisi ihtiyacı verilmiştir.

Çizelge 8.18. Binanın mevcut halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (gazbeton duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kaza nç kulla nım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazanc ı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	4293	19,3	82852	7937	3766	11703	0,14	0,99	184.722.1 20
Şubat		18,9	81135		4643	12580	0,16	0,99	178.021.3 54
Mart		14,9	63964		5331	13268	0,21	0,99	131.748.1 86
Nisan		8,9	38206		5965	13901	0,36	0,94	65.160.61 3
Mayıs		4,6	19747		6556	14493	0,73	0,75	23.010.38 3
Haziran		0,5	2146		6831	14768	6,88	0,14	0
Temmuz		0,0	0,00		6675	14611	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0,00		6365	14302	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	7727		5591	13528	1,75	0,44	4.600.804
Ekim		7,4	31767		4676	12613	0,40	0,92	52.264.18 5
Kasım		13,4	57524		3604	11541	0,20	0,99	119.487.8 32
Aralık		17,7	75984		3306	11243	0,15	0,99	168.099.7 48

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 927.115.225 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 927.115.225 \text{ (kJ)} = 257.738 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 51,96 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{top}/V_{brüt} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Çizelge 7.6'dan alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q > Q^1$ ($51,96 > 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin üstünde olduğu görülmektedir. Bu yüzden örnek binanın mevcut durumu için yapılan hesaplar göstermektedir ki, bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir.

Mevcut binadaki yapı malzeme ve bileşenlerinin özellikleri TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardından alınmıştır. Malzemelere ait özellikler Çizelge 8.19’da verilmiştir.

Çizelge 8.19. Mevcut binadaki yapı malzeme ve bileşenlerin özellikler (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

Sıra no	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m^3	Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h \text{ W/mK}$	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
4.1	Kireç harcı, kireç çimento harcı	1800	1,00	15/35
4.2	Çimento harcı	2000	1,60	15/35
4.4	Sadece alçı kullanılarak (agregasız) yapılmış sıva	1200	0,51	10
7.1.5.1	Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar	600	0,33	5/10
6.1.1.1	Gazbeton yapı levhaları	400	0,20	5/10
5.1.1	Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-donatılı	2400	2,50	80-130
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS)	≥ 25	0,035	80-250
9.2.2.1.5	Polimer bitümlü su yalıtım örtüsü	2000-5000	0,19	20000
10.5.1	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (cam yünü, taş yünü vb.)	8-500	0,035	1
9.1.3	Sentetik malzemeden kaplamalar	1500	0,23	-
4.6	Çimento harçlı şap	2000	1,4	15/35
5.1.2	Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mıcır kullanılarak yapılmış betonlar-donatısız	2200	1,65	70/120

Yalıtımlı binadaki yapı malzeme ve bileşenlerinin özellikleri TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardından alınmıştır. Bir önceki çizelgede verilenle ortak olan malzemeler tekrar yazılmamıştır. Malzemelere ait özellikler Çizelge 8.20’de verilmiştir.

Çizelge 8.20. Yalıtımlı binadaki yapı malzeme ve bileşenlerin özellikleri (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

Sıra no	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m^3	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h W/mK	Su buharı difüzyon direnç faktörü μ
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren (XPS) köpüğü	≥ 25	0,035	80-250
10.3.1.1.2	Genleştirilmiş polistiren (EPS) köpüğü	≥ 20	0,040	30-70
10.5.4	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (cam yünü)	8-500	0,050	1
10.5.3	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (taş yünü)	8-500	0,045	1
10.3.3.1.2	Poliüretan sert köpük (PUR)	≥ 30	0,030	30-100
4.8.2	Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	900	0,35	-

Çözüm 1 ve Çözüm 2’de dış havaya açık duvarlarda yalıtım yoktur. Yapılan hesaplarda projenin, standartta verilen hesap metoduna göre uygun olmadığı görülmüştür. Şimdi ise Dış havaya açık duvarların değişen kalınlıklardaki 5 farklı yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda hesaplamalar yapılacaktır. Yalıtım malzemelerinin kalınlıkları 1 cm ile 10 cm arasında değişecektir. Bulunan sonuçların daha iyi anlaşılması adına 1 cm kalınlık için Çözüm 3 ve Çözüm 4 detaylı bir şekilde yapılacaktır. Bu çözümlerde 1 cm lik XPS yalıtım malzemesi tuğla duvar ve gazbeton duvara ayrı ayrı uygulanacaktır. Daha sonra ise değişen kalınlıklar için bulunan ısıtma enerjisi ihtiyaçları çizelge şeklinde sunulacaktır. Bulunan sonuçlar ve TS 825’e göre sınırlandırılan değerler (olması gereken en büyük ısı kaybı) dikkate alınarak yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı tespit edilecektir. Bu işlemler tüm çözüm sistemleri için yapılarak bulunan sonuçlar çizelgeler halinde sunulacaktır.

Çözüm 3. Örnek binanın 1 cm XPS yalıtımı için özgül ısı kaybı hesabı (tuğla duvar).

Çizelge 8.21. Dış ortama açık tuğla duvar için ısı kaybı hesabı.

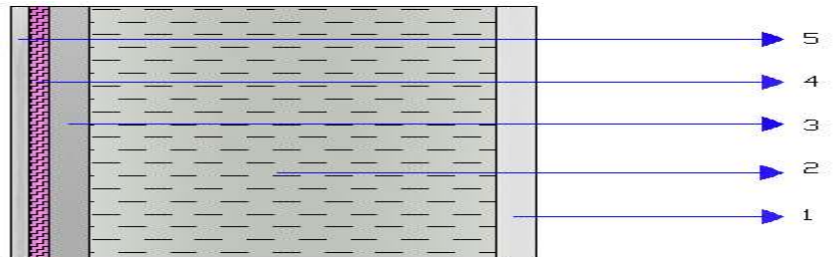
1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A x U (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	Ri			0,1300			
	1.Sadece alçı kullanılarak(agregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196			
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	3.Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar	0,2	0,33	0,6060			
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	5.Ekstrüde polistiren köpüğü	0,01	0,035	0,2857			
	6.Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,35	0,0229			
	Re			0,0400			
Toplam				1,1367	0,8797	500,11	439,95



Şekil 8.7. 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (tuğla) detayı.

Çizelge 8.22. Dış ortama açık betonarme duvar için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanının kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, betonarme)	Ri			0,1300			
	1.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	2.Normal beton -donatılı	0,25	2,5	0,1000			
	3.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	4.Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS)	0,01	0,035	0,2857			
	5.Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,35	0,0229			
	Re			0,0400			
Toplam				0,6111	1,6364	448,9	734,58



Şekil 8.8. 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (betonarme) detayı.

Çizelge 8.23. Dış kapı ve pencereler için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isı iletkenlik direnci R (m^2K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m^2K)	Isı kaybedilen yüzey A (m^2)	Isı kaybı $A \times U$ (W/K)
Dış kapı					4,0	23	92
Pencere					2,2	185	407

$H_T = 1807,542$ W/K olarak bulunur. $H_v = 1047,639$ W/K olduğundan binanın özgül ısı kaybı (H) 2855,181 W/K dir.

Binanın mevcut durumunda pencereler tek camlıydı. Yalıtımlı halinde ise pencerelerde çift camlı low-e kaplamalı pencereler tercih edilmiştir. Bu durumda “ $\phi_{s,ay}$ ” aylık ortalama güneş enerjisi kazançlarında değişiklik olacaktır. Yalıtımlı durumda güneş enerjisi geçirme faktörü Çizelge 7.3’ten “0,75” olarak alınır.

Aşağıdaki çizelgede binanın yalıtımlı halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları hesaplanmıştır.

Çizelge 8.24. Binanın yalıtımlı halinin aylık ortalama güneş enerjisi kazançları.

Aylar	$r_{i, ay}$	$g_{i, ay}$	$I_{i,ay} \times A_i$				$\phi_{s,ay}$ (W)
			Güney	Kuzey	Batı	Doğu	
Ocak	0,6	0,60	6739,92	2200,64	145,34	145,34	3323,246
Şubat			7863,24	3131,68	192,66	192,66	4096,886
Mart			8144,07	4401,28	260,26	260,26	4703,713
Nisan			8424,90	5586,24	304,20	304,20	5263,034
Mayıs			8612,12	6686,56	385,32	385,32	5784,955
Haziran			8892,95	7025,12	412,36	412,36	6027,404
Temmuz			8705,73	6855,84	398,84	398,84	5889,330
Ağustos			8705,73	6178,72	358,28	358,28	5616,364
Eylül			8331,29	4824,48	273,78	273,78	4933,199
Ekim			7676,02	3385,60	199,42	199,42	4125,766
Kasım			6271,87	2285,28	138,58	138,58	3180,352
Aralık			5991,04	1862,08	125,06	125,06	2917,166

Çizelge 8.25. Binanın yalıtımlı halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (tuğla duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kaza nç kulla nım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2855	19,3	55105	7937	3323	11260	0,20	0,99	113.938.330
Şubat		18,9	53963		4097	12034	0,22	0,99	108.992.862
Mart		14,9	42542		4704	12640	0,30	0,96	78.816.122
Nisan		8,9	25411		5263	13200	0,52	0,85	36.784.062
Mayıs		4,6	13134		5785	13722	1,04	0,62	11.991.711
Haziran		0,5	1428		6027	13964	9,78	0,10	0
Temmuz		0,0	0,00		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0,00		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	5139		4933	12870	2,51	0,33	0
Ekim		7,4	21128		4126	12062	0,57	0,83	28.814.049
Kasım		13,4	38259		3180	11117	0,29	0,97	71.217.636
Aralık		17,7	50537		2917	10854	0,21	0,99	103.139.356

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 553.694.128 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 553.694.128 \text{ (kJ)} = 153.927 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 31,03 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Çizelge 7.6'dan alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q > Q^1$ ($31,03 > 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin üstünde olduğu görülmektedir. Bu yüzden örnek binanın yalıtımlı (1 cm XPS) durumu için yapılan hesaplar göstermektedir ki, bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir.

Diğer yalıtım kalınlıkları için de ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybının azaldığı tabloda fark edilir şekilde görülmektedir.

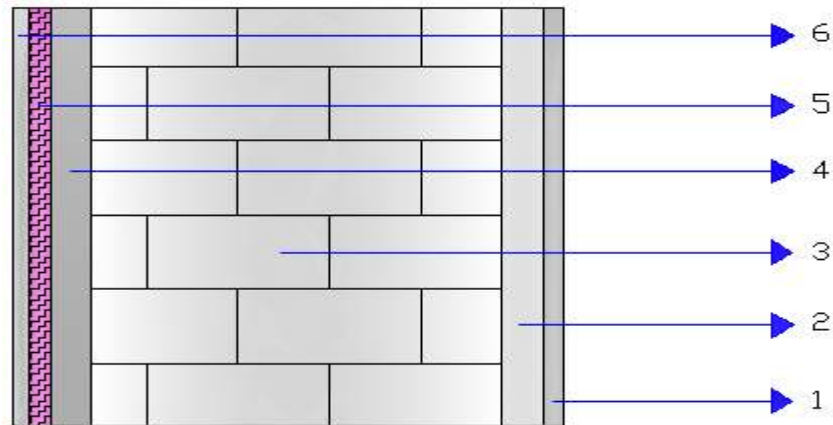
Çizelge 8.26. XPS (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2855,181	31,03	20,62
2	2532,781	26,42	
3	2353,037	23,86	
4	2237,213	22,24	
5	2155,972	21,12	
6	2095,687	20,29	
7	2049,109	19,67	
8	2012,007	19,16	
9	1981,741	18,75	
10	1956,570	18,42	

Çözüm 4. Örnek binanın 1 cm XPS yalıtımı için özgül ısı kaybı hesabı (gazbeton duvar).

Çizelge 8.27. Dış ortama açık gazbeton duvar için ısı kaybı hesabı.

1	2	3	4	5	6	7	8
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı d(m)	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_h (W/mK)	Isıl iletkenlik direnci R (m ² K/W)	Isı geçirgenlik katsayısı U (W/m ² K)	Isı kaybedilen yüzey A (m ²)	Isı kaybı A x U (W/K)
Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	Ri			0,1300			
	1.Sadece alçı kullanılarak(agregasız) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196			
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200			
	3.Gazbeton yapı levhaları	0,2	0,2	1,0000			
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125			
	5.Ekstrüde polistiren köpüğü (XPS)	0,01	0,035	0,2857			
	6.Anorganik esaslı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,008	0,35	0,0229			
	Re			0,0400			
Toplam				1,5307	0,6533	500,11	326,72



Şekil 8.9. 1 cm XPS ile yalıtılmış dış ortama açık duvar (gazbeton) detayı.

Not: Diğer ısı kaybeden alanlar için yapılan hesaplar 1 cm XPS yalıtılmış tuğla duvar için yapılan hesaplarla aynı olacağından tekrar yazmaya gerek görülmemiştir.

H_T , 1694,312 W/K olarak bulunmuştur. H_v , 1047,639 W/K olduğundan binanın özgül ısı kaybı (H) 2741,951 W/K dir.

Çizelge 8.28. Binanın yalıtımlı halinin ısıtma enerjisi ihtiyacı (gazbeton duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KKO	Kaz anç kullanı m faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgöl ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazan cı	Güneş enerjisi kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2742	19,3	52920	7937	3323	11260	0,21	0,99	108.273.929
Şubat		18,9	51823		4097	12034	0,23	0,99	103.445.853
Mart		14,9	40855		4704	12640	0,31	0,96	74.443.081
Nisan		8,9	24403		5263	13200	0,54	0,84	34.514.110
Mayıs		4,6	12613		5785	13722	1,09	0,60	11.352.970
Haziran		0,5	1371		6027	13964	10,19	0,09	0
Temmuz		0,0	0,00		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0,00		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	4936		4933	12870	2,61	0,32	0
Ekim		7,4	20290		4126	12062	0,59	0,82	26.954.871
Kasım		13,4	36742		3180	11117	0,30	0,96	67.572.973
Aralık		17,7	48532		2917	10854	0,22	0,99	97.944.547

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 524.502.334 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,278 \times 10^{-3} \text{ kWh olduğuna göre}$$

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 524.502.334 \text{ (kJ)} = 145.812 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 29,40 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{top}/V_{brüt} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Çizelge 7.6'dan alınan $Q' = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q > Q'$ ($29,40 > 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değer üstünde olduğu görülmektedir. Bu yüzden örnek binanın yalıtımlı (1 cm XPS) durumu için yapılan hesaplar göstermektedir ki, bu proje bu standardda verilen hesap metoduna göre uygun değildir.

Diğer yalıtım kalınlıkları için de ısı kayıpları hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça ısı kaybının azaldığı tabloda fark edilir şekilde görülmektedir.

Çizelge 8.29. XPS (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2741,951	29,40	20,62
2	2456,523	25,35	
3	2298,157	23,09	
4	2195,828	21,70	
5	2123,644	20,68	
6	2069,734	19,97	
7	2027,813	19,38	
8	1994,220	18,92	
9	1966,654	18,54	
10	1943,612	18,24	

Örnek binanın XPS yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda oluşan ısı kayıpları çözüm 3 ve çözüm 4'te hesaplanarak çizelgeler halinde sunulmuştur. Çözüm 3'te tuğla duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında XPS kullanılması durumunda ısı kaybı $31,03 \text{ kWh/m}^3$ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer $18,42 \text{ kWh/m}^3$ dir. Ancak TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı $20,62 \text{ kWh/m}^3$

dir. Sınırlandırılan bu değeri sağlayan uygun kalınlık ise “**5,6 cm**” olarak bulunur. Bu değerin altında seçilecek bir kalınlık TS 825 hesap metoduna göre uygun sonuçlar vermeyecektir. Ancak bu kalınlıkta da yalıtım malzemesi seçmek piyasada üretimi açısından olanaksızdır. Ayrıca ekonomik analizlerin (yalıtım maliyeti, geri ödeme süresi...) de yapılabilmesi için bu değeri 6 cm olarak alabiliriz. 6 cm kalınlığında XPS kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-7 de yer almaktadır (tuğla duvar).

Çözüm 4’te ise gazbeton duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında XPS kullanılması durumunda ısı kaybı $29,40 \text{ kWh/m}^3$ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer $18,24 \text{ kWh/m}^3$ dir. TS 825 Standardına göre sınırlandırılan $20,62 \text{ kWh/m}^3$ değerini sağlayan uygun kalınlık ise “**5,1 cm**” olarak bulunur. Yine aynı şekilde üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 6 cm olarak alabiliriz. 6 cm kalınlığında XPS kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-8 de yer almaktadır (gazbeton duvar).

Çözüm 5. Örnek binanın EPS yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (tuğla duvar).

Çizelge 8.30. EPS (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m^3)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m^3)
1	2915,034	32,03	20,62
2	2594,689	27,29	
3	2410,447	24,70	
4	2289,521	22,96	
5	2203,625	21,78	
6	2139,290	20,90	
7	2089,227	20,23	
8	2049,113	19,67	
9	2016,224	19,22	
10	1988,771	18,84	

Çözüm 6. Örnek binanın EPS yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (gazbeton duvar).

Çizelge 8.31. EPS (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2795,324	30,17	20,62
2	2511,109	26,09	
3	2348,757	23,79	
4	2242,111	22,31	
5	2166,035	21,24	
6	2108,760	20,47	
7	2063,927	19,88	
8	2027,813	19,38	
9	1998,044	18,96	
10	1973,071	18,64	

Örnek binanın EPS yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda oluşan ısı kayıpları çözüm 5 ve çözüm 6’da hesaplanarak çizelgeler halinde sunulmuştur. Çözüm 5’te tuğla duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında EPS kullanılması durumunda ısı kaybı 32,03 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 18,84 kWh/m³ dir. Ancak TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı 20,62 kWh/m³ dir. Sınırlandırılan bu değeri sağlayan uygun kalınlık ise “**6,4 cm**” olarak bulunur. Malzemenin üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 7 cm olarak alabiliriz. 7 cm kalınlığında EPS kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-9 da yer almaktadır (tuğla duvar).

Çözüm 6’da ise gazbeton duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında EPS kullanılması durumunda ısı kaybı 30,17 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 18,64 kWh/m³ dir. TS 825 Standardına göre sınırlandırılan 20,62 kWh/m³ değerini sağlayan uygun kalınlık ise “**5,8 cm**” olarak bulunur. Yine aynı şekilde üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 6 cm olarak

alabiliriz. 6 cm kalınlığında EPS kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-10 da yer almaktadır (gazbeton duvar).

Çözüm 7. Örnek binanın cam yünü yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (tuğla duvar).

Çizelge 8.32. Cam yünü (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	3010,888	33,45	20,62
2	2699,252	28,80	
3	2510,409	26,08	
4	2382,441	24,29	
5	2289,521	22,96	
6	2218,774	21,97	
7	2162,993	21,19	
8	2117,837	20,61	
9	2080,508	20,10	
10	2049,113	19,67	

Çözüm 8. Örnek binanın cam yünü yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (gazbeton duvar).

Çizelge 8.33. Cam yünü (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2881,148	31,53	20,62
2	2603,502	27,43	
3	2436,799	25,05	
4	2324,081	23,47	
5	2242,111	22,31	
6	2179,474	21,45	
7	2129,903	20,78	
8	2089,587	20,24	
9	2056,098	19,76	
10	2027,813	19,38	

Örnek binanın cam yünü yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda oluşan ısı kayıpları çözüm 7 ve çözüm 8’de hesaplanarak çizelgeler halinde sunulmuştur. Çözüm 7’de tuğla duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında cam yünü kullanılması durumunda ısı kaybı 33,45 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 19,67 kWh/m³ dir. Ancak TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı 20,62 kWh/m³ dir. Sınırlandırılan bu değeri sağlayan uygun kalınlık ise “**7,9 cm**” olarak bulunur. Malzemenin üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 8 cm olarak alabiliriz. 8 cm kalınlığında cam yünü kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-11 de yer almaktadır (tuğla duvar).

Çözüm 8’de ise gazbeton duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında cam yünü kullanılması durumunda ısı kaybı 31,53 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 19,38 kWh/m³ dir. TS 825 Standardına göre sınırlandırılan 20,62 kWh/m³ değerini sağlayan uygun kalınlık ise “**7,3 cm**” olarak bulunur. Yine aynı şekilde üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 8 cm olarak alabiliriz. 8 cm kalınlığında cam yünü kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-12 de yer almaktadır (gazbeton duvar).

Çözüm 9. Örnek binanın taş yünü yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (tuğla duvar).

Çizelge 8.34. Taş yünü (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2966,367	32,79	20,62
2	2649,806	28,08	
3	2462,671	25,42	
4	2337,772	23,64	
5	2248,024	22,40	
6	2180,229	21,46	
7	2127,116	20,74	
8	2084,330	20,16	
9	2049,113	19,67	
10	2019,585	19,26	

Çözüm 10. Örnek binanın taş yünü yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (gazbeton duvar).

Çizelge 8.35. Taş yünü (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2841,227	30,84	20,62
2	2559,776	26,82	
3	2394,751	24,48	
4	2284,702	22,91	
5	2205,404	21,80	
6	2145,249	20,99	
7	2097,886	20,32	
8	2059,540	19,81	
9	2027,813	19,38	
10	2001,095	18,99	

Örnek binanın taş yünü yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda oluşan ısı kayıpları çözüm 9 ve çözüm 10’da hesaplanarak çizelgeler halinde sunulmuştur. Çözüm 9’da tuğla duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında taş yünü kullanılması durumunda ısı kaybı 32,79 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 19,26 kWh/m³ dir. Ancak TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı 20,62 kWh/m³ dir. Sınırlandırılan bu değeri sağlayan uygun kalınlık ise “**7,2 cm**” olarak bulunur. Malzemenin üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 8 cm olarak alabiliriz. 8 cm kalınlığında taş yünü kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-13 de yer almaktadır (tuğla duvar).

Çözüm 10’da ise gazbeton duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında taş yünü kullanılması durumunda ısı kaybı 30,84 kWh/m³ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer 18,99 kWh/m³ dir. TS 825 Standardına göre sınırlandırılan 20,62 kWh/m³ değerini sağlayan uygun kalınlık ise “**6,6 cm**” olarak bulunur. Yine aynı şekilde üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 7 cm olarak alabiliriz. 7 cm kalınlığında taş yünü kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-14 de yer almaktadır (gazbeton duvar).

Çözüm 11. Örnek binanın PUR yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (tuğla duvar).

Çizelge 8.36. PUR (tuğla duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2784,380	30,00	20,62
2	2462,671	25,42	
3	2289,521	22,96	
4	2180,229	21,46	
5	2104,635	20,41	
6	2049,113	19,67	
7	2006,541	19,08	
8	1972,851	18,63	
9	1945,502	18,27	
10	1922,864	17,94	

Çözüm 12. Örnek binanın PUR yalıtımı için uygun kalınlığın belirlenmesi (gazbeton duvar).

Çizelge 8.37. PUR (gazbeton duvar) yalıtımlı binada değişen kalınlıklar için ısı kayıpları.

Yalıtım kalınlığı (cm)	Özgül ısı kaybı (W/K)	Hesaplanan ısı kaybı (kWh/m ³)	TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı (kWh/m ³)
1	2678,970	28,49	20,62
2	2394,751	24,48	
3	2242,111	22,31	
4	2145,249	20,99	
5	2077,755	20,07	
6	2027,813	19,38	
7	1989,251	18,85	
8	1958,531	18,45	
9	1933,452	18,09	
10	1912,574	17,82	

Örnek binanın Poliüretan sert köpük (PUR) yalıtım malzemesi ile yalıtılması durumunda oluşan ısı kayıpları çözüm 11 ve çözüm 12’de hesaplanarak çizelgeler halinde sunulmuştur. Çözüm 11’de tuğla duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm

kalınlığında PUR kullanılması durumunda ısı kaybı $30,00 \text{ kWh/m}^3$ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer $17,94 \text{ kWh/m}^3$ dir. Ancak TS 825 Standardına göre olması gereken en büyük ısı kaybı $20,62 \text{ kWh/m}^3$ dir. Sınırlandırılan bu değeri sağlayan uygun kalınlık ise “**4,8 cm**” olarak bulunur. Malzemenin üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 5 cm olarak alabiliriz. 5 cm kalınlığında PUR kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-15 de yer almaktadır (tuğla duvar).

Çözüm 12’de ise gazbeton duvar için yapılan hesaplamalarda 1 cm kalınlığında PUR kullanılması durumunda ısı kaybı $28,49 \text{ kWh/m}^3$ iken, 10 cm kalınlıkta ise bu değer $17,82 \text{ kWh/m}^3$ dir. TS 825 Standardına göre sınırlandırılan $20,62 \text{ kWh/m}^3$ değerini sağlayan uygun kalınlık ise “**4,4 cm**” olarak bulunur. Yine aynı şekilde üretilebilirliği ve ekonomik analizlerin yapılabilirliği açısından bu değeri 5 cm olarak alabiliriz. 5 cm kalınlığında PUR kullanılması durumunda yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı kontrolü EK-16 da yer almaktadır (gazbeton duvar).

8.1.1. Ekonomik analizler

8.1.1.1.Binanın yalıtımsız (mevcut) ve yalıtımlı durumları için yıllık yakıt maliyetinin belirlenmesi

Örnek binada yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Yıllık yakıt maliyetinin hesaplanması için doğalgaza ait bazı verilerin bilinmesi gerekmektedir. Öncelikle yakıt fiyatını belirleyelim. Başkent Doğalgaz Dağıtım A.Ş. 2017 yılı verilerine göre düzenlenen Çizelge 8.38 aşağıda verilmiştir. Her bir ay için sunulan doğalgaz satış fiyatlarının ortalaması alınarak hesaplarda kullanılacak bir değer belirlenecektir.

Çizelge 8.38. Aylara göre doğalgaz satış fiyatları (Başkent Doğalgaz, 2018).

	Başkent Doğalgaz Perakende Satış Fiyatı (TL/m³)
Ocak	0,978257
Şubat	0,987634
Mart	0,994905
Nisan	0,990284
Mayıs	0,989678
Haziran	0,985423
Temmuz	0,983412
Ağustos	0,983773
Eylül	0,982818
Ekim	0,978296
Kasım	0,985645
Aralık	0,997888

Hesaplarda kullanılacak değer ise aylara göre değişen doğalgaz satış fiyatlarının ortalaması olan 0,986501 TL/m³ dir. Ayrıca hesaplar için yine doğalgazın alt ısı değeri (H_u) ve sistem verimi (η_k) değerleri de bilinmelidir. H_u değeri 34542 kJ/m³, η_k değeri ise 0,92 (%92) olarak alınmıştır.

Bina için gereken yıllık yakıt miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$B_y = \frac{Q_{yıl}}{H_u \cdot \eta_k}$$

Bu eşitlikte “ B_y ” yıllık doğalgaz tüketimini ifade etmektedir. Birimi ise m³ tür.

Yıllık yakıt miktarı ile yakıtın satış fiyatı çarpımı ($B_y \times 0,986501$) ise yıllık yakıt maliyetini verecektir. Yıllık yakıt maliyetinin (TL/yıl) yalıtımsız ve yalıtımlı tüm sistemler için değerleri Çizelge 8.39’da verilmiştir.

Çizelge 8.39. Yalıtımsız ve yalıtımlı durumlar için yıllık yakıt tüketimi miktarları ve maliyetleri.

	Yıllık ısı kaybı, $Q_{yıl}$ (kj)	Yıllık tüketilen yakıt miktarı ($m^3/yıl$)	Yıllık yakıt maliyeti (TL/yıl)
1. Yalıtımsız durum (tuğla duvar)	980.007.601	30838,56	30422,27
2. Yalıtımsız durum (gazbeton duvar)	927.115.225	29174,16	28780,34
3. XPS-6 cm (tuğla duvar)	362.057.597	11393,11	11239,32
4. XPS-6 cm(gazbeton duvar)	356.294.270	11211,75	11060,41
5. EPS-7 cm (tuğla duvar)	360.981.071	11359,24	11205,90
6. EPS-6 cm (gazbeton duvar)	365.306.275	11495,34	11340,16
7. Cam yünü-8 cm (tuğla duvar)	367.779.024	11573,15	11416,93
8. Cam yünü-8 cm (gazbeton duvar)	361.079.142	11362,32	11208,94
9. Taş yünü-8 cm (tuğla duvar)	359.647.034	11317,26	11164,49
10. Taş yünü-7 cm (gazbeton duvar)	362.656.647	11411,96	11257,91
11. PUR-5 cm (tuğla duvar)	364.182.546	11459,98	11305,28
12. PUR-5 cm (gazbeton duvar)	358.137.209	11269,75	11117,62

8.1.1.2. Geri ödeme sürelerinin hesabı

Geri ödeme süresi hesabı, yalıtım yapılması durumunda oluşacak yakıt tasarrufu neticesinde yalıtım maliyetinin kendisini kaç yıl içerisinde amorti edeceğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Geri ödeme sürelerinin tespiti için yalıtım maliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen yalıtım maliyetlerinin yakıt tasarruf değerlerine bölünmesi sonucunda geri ödeme süreleri hesaplanmaktadır. Yakıt

tasarruf değerlerini ise yalıtımsız durumdaki yıllık yakıt maliyeti ile yalıtımlı durumdaki yıllık yakıt maliyeti arasındaki fark oluşturur.

Geri ödeme süresi= Toplam yalıtım maliyeti (TL) / yıllık yakıt tasarrufu (TL)

Yıllık yakıt tasarrufu= Yıllık yakıt maliyeti (Yalıtımsız) – Yıllık yakıt maliyeti (Yalıtımlı)

8.1.1.3.Yalıtım maliyetlerinin belirlenmesi

Öncelikle farklı yalıtım şirketlerinin fiyat listeleri incelenerek ortalama birim fiyatlar belirlenmiştir. Birim fiyatı, malzemelerinin cinsi ve kalınlığı doğrudan etkilemektedir. Ayrıca faiz oranları da fiyatlar üzerinde etkilidir. Binaların yalıtım ihtiyacı ile kullanıcıların beklentilerine göre yalıtım fiyatları farklılık gösterebilir. Binanın yalıtımlı durumunda sadece dış havaya açık duvarlara yalıtım yapılmıştır. Ayrıca pencereler ve kapılar da yalıtım açısından iyileştirilmiştir. Bundan dolayı duvarlar için hesaplanan yalıtım maliyetine kapı ve pencereler için yapılan harcamalar da eklenerek toplam yalıtım maliyeti belirlenecektir. Çizelge 8.40'ta toplam yalıtım maliyetini oluşturan malzemelere ilişkin veriler yer almaktadır.

Çizelge 8.40. Yardımcı malzemelerin yalıtım maliyeti.

	Birim	Miktar	Birim fiyat (TL)	m ² maliyet (TL)	Toplam alan (m ²)	Toplam maliyet (TL)
Isı yalıtım levha yapıştırıcısı	Kg	5	0,84	4,2	949,01	3985,84
Isı yalıtım levha sıvası	Kg	5	0,90	4,5	949,01	4270,55
Dübel	Adet	6	0,18	1,08	949,01	1024,93
Sıva filesi	m ²	1,1	3,00	3,3	949,01	3131,73
Köşe profili	m ²	0,25	1,25	0,3125	949,01	296,57
Dekoratif kaplama astarı	Kg	0,10	10,62	1,062	949,01	1007,85
Dekoratif kaplama	Kg	2,9	1,53	4,437	949,01	4210,76
Dış cephe boyası	Kg	0,2	19,34	3,868	949,01	3670,77
İskele+işçilik	m ²	1	25	25	949,01	23725,25

Binanın yalıtımlı durumunda sadece dış havaya açık duvar yüzeyi yalıtımlıdır. Toplam duvar alanı 949,01 m² dir. Yukarıdaki malzemelerin toplam m² maliyeti 47,76 TL iken toplam maliyet ise 45.324,24 TL dir. Yalıtım malzemelerinin m² ve toplam maliyetleri de Çizelge 8.41'de verilmiştir.

Çizelge 8.41. Yalıtım malzemelerinin maliyeti.

	Birim	Miktar	Birim fiyat (TL)	m ² maliyet (TL)	Toplam alan (m ²)	Toplam maliyet (TL)
6 cm EPS	m ²	1,05	17,14	17,997	949,01	17079,33
7 cm EPS	m ²	1,05	20,24	21,252	949,01	20168,36
6 cm XPS	m ²	1,05	19,65	20,633	949,01	19580,45
8 cm cam yünü	m ²	1,05	30,75	32,288	949,01	30641,16
8 cm taş yünü	m ²	1,05	38,29	40,205	949,01	38154,47
7 cm taş yünü	m ²	1,05	34,46	36,183	949,01	34338,03
5 cm PUR	m ²	1,05	28,50	29,925	949,01	28399,12

Yalıtım sisteminin toplam m² maliyeti ise Çizelge 8.42’de verilmiştir. Yalıtım malzemesinin m² maliyetine Çizelge 8.40’ta yer alan malzeme ve işçilik toplam m² maliyeti (47,76 TL) eklenmiştir.

Çizelge 8.42. Yalıtım sisteminin toplam m² maliyeti.

	Yalıtım sisteminin toplam m ² maliyeti (TL)
6 cm EPS	65,76
7 cm EPS	69,01
6 cm XPS	68,39
8 cm cam yünü	80,05
8 cm taş yünü	87,96
7 cm taş yünü	83,94
5 cm PUR	77,68

Yalıtım sisteminin KDV (%18) dâhil toplam maliyeti ise Çizelge 8.43’te yer almaktadır.

Çizelge 8.43. Yalıtım sistemlerinin toplam maliyetleri.

	Yalıtım sisteminin toplam maliyeti (TL)	KDV (%18) dâhil toplam maliyet (TL)
6 cm EPS	62403,58	73636,22
7 cm EPS	65492,60	77281,27
6 cm XPS	64904,69	76587,54
8 cm cam yünü	75965,40	89639,18
8 cm taş yünü	83478,72	98504,88
7 cm taş yünü	79662,27	94001,48
5 cm PUR	73723,37	86993,57

Binanın yalıtımlı durumunda kapı ve pencereler de iyileştirilmiştir. Kapılarda metal-ısı yalıtımlı kapı tercih edilirken (U_k 4 W/m²K) , pencerelerde ise ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere (U_p 2,2 W/m²K) kullanılmıştır. Pencerelerin her şey dâhil (işçilik, KDV ...) fiyatı araştırmalar sonucu 66,90 TL olarak belirlenmiştir. Toplam pencere alanı 185 m² olduğundan pencerelerin yalıtım yönünden iyileştirilmesi sonucunda 12.376,5 TL maliyet çıkmıştır. Kapılar için ise belirlenen maliyet 8590,10 TL olarak bulunmuştur. Toplam pencere ve kapı maliyeti ise 20966,6 TL dir. Tüm yalıtım harcamaları dâhil toplam maliyet ise Çizelge 8.44'te yer almaktadır.

Çizelge 8.44. Tüm yalıtım harcamaları dâhil toplam maliyetler.

	TOPLAM MALİYET (TL)
6 cm EPS	94602,82
7 cm EPS	98247,87
6 cm XPS	97554,14
8 cm cam yünü	110605,78
8 cm taş yünü	119471,48
7 cm taş yünü	114968,08
5 cm PUR	107960,17

Toplam maliyetleri belirledikten sonra artık geri ödeme sürelerini hesaplayabiliriz. Çizelge 8.45'te her bir yalıtım sistemi için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Çizelge 8.45. Yalıtım sistemlerinin hesaplanan geri ödeme süreleri.

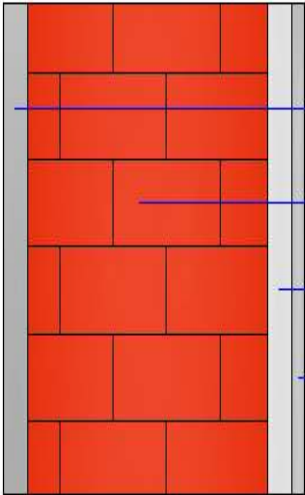
	Toplam yalıtım maliyeti (TL)	Yalıtımsız toplam yıllık yakıt maliyeti (TL)	Yalıtımlı toplam yıllık yakıt maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
1. XPS-6 cm (tuğla duvar)	97554,14	30422,27	11239,32	5,1
2. XPS-6 cm(gazbeton duvar)	97554,14	28780,34	11060,41	5,5
3. EPS-7 cm (tuğla duvar)	98247,87	30422,27	11205,90	5,1
4. EPS-6 cm (gazbeton duvar)	94602,82	28780,34	11340,16	5,4
5. Cam yünü- 8 cm (tuğla duvar)	110605,78	30422,27	11416,93	5,8
6. Cam yünü- 8 cm (gazbeton duvar)	110605,78	28780,34	11208,94	6,3
7. Taş yünü-8 cm (tuğla duvar)	119471,48	30422,27	11164,49	6,2
8. Taş yünü-7 cm (gazbeton duvar)	114968,08	28780,34	11257,91	6,6
9. PUR- 5 cm (tuğla duvar)	107960,17	30422,27	11305,28	5,6
10. PUR- 5 cm (gazbeton duvar)	107960,17	28780,34	11117,62	6,1

8.2. Ömür-Maliyet Analizine Göre Hesaplar

8.2.1. Bugünkü değer yöntemi

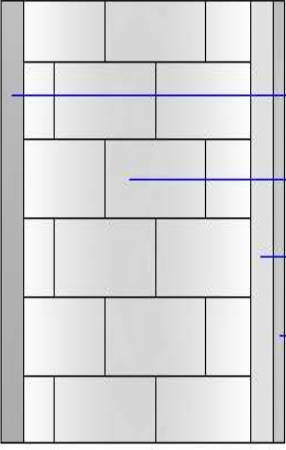
Öncelikle yaşam dönemi maliyet analizi için gerekli olan parametreleri belirlemek gerekir. İlk olarak duvarların ısı iletkenlik direncini tespit edelim. Bilindiği üzere TS 825'e göre yapılan hesaplarda tuğla duvar ve gazbeton duvar için ısı geçiş katsayıları bulunmuştu. Bu değerler Çizelge 8.46'da ve Çizelge 8.47'de yer almaktadır.

Çizelge 8.46. Tuğla duvarın hesaplanan ısı iletkenlik direnci (R_{wt}).

1	2	3	4	5
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı eleman 1 kalınlığı $d(m)$	Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h (W/mK)$	Isı iletkenlik direnci $R (m^2K/W)$
 Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	Ri			0,1300
	1.Sadece alçı kullanılarak(agregası z) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200
	3.Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,2	0,33	0,6060
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125
	Re			0,0400
	Toplam			0,8281

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere tuğla duvar için bulunan ısı iletkenlik direnci (R_{wt}) değeri $0,8281 \text{ m}^2\text{K/W}$ dir.

Çizelge 8.47. Gazbeton duvarın hesaplanan ısı iletkenlik direnci (R_{wt}).

1	2	3	4	5
Isı kaybeden yüzey	Binadaki yapı elemanları	Yapı elemanı kalınlığı $d(\text{m})$	Isıl iletkenlik hesap değeri $\lambda_h (\text{W/mK})$	Isı iletkenlik direnci $R (\text{m}^2\text{K/W})$
 Duvar yüzeyleri (Dış ortama açık, dolgu)	R_i			0,1300
	1.Sadece alçı kullanılarak(agregası z) yapılmış sıva	0,01	0,51	0,0196
	2.Kireç harcı, kireç çimento harcı	0,02	1	0,0200
	3.Gazbeton yapı levhaları(TS EN 771-4'e uygun plakalar) Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilen levhalar	0,2	0,2	1,0000
	4.Çimento harcı	0,02	1,6	0,0125
	R_e			0,0400
	Toplam			1,2221

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere gazbeton duvar için bulunan ısı iletkenlik direnci (R_{wt}) değeri $1,2221 \text{ m}^2\text{K/W}$ 'dir.

Doğal gazla ait veriler Çizelge 8.48'de verilmiştir.

Çizelge 8.48. Doğal gazla ait parametreler.

Alt ısı değeri (H_u)	$34542 \times 10^3 \text{ J/m}^3$
Birim fiyatı	$0,986501 \text{ TL/m}^3$
Sistem verimi (η_k)	0,92

Isıtma gün dereceleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre belirlenmiştir. Ankara ili için 2007-2017 yıllarına ait ortalama yıllık bir değer bulunmuştur. Her yıl için alınan veriler Çizelge 8.49'da yer almaktadır.

Çizelge 8.49. 2007-2017 yılları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ısıtma gün dereceleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018).

Yıllar	Yıllık Isıtma Derece-Gün Değerleri
2007	2517
2008	2528
2009	2267
2010	2028
2011	2709
2012	2421
2013	2327
2014	2150
2015	2511
2016	2410
2017	2493

Hesaplarda kullanılacak ısıtma derece-gün değeri ise 2007-2017 yılları arasındaki değerlerin ortalaması alınarak 2396 olarak belirlenmiştir.

Yalıtım malzemelerinin piyasa araştırması sonucunda belirlenen birim fiyatları (TL/m^3) ise Çizelge 8.50'de yer almaktadır.

Çizelge 8.50. Yalıtım malzemelerine ait parametreler.

	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Birim fiyatı (TL/m³)
XPS	0,035	330
EPS	0,040	290
Camyünü	0,050	410
Taş yünü	0,045	500
PUR	0,030	600

Hesaplarla kullanılacak faiz ve enflasyon değerleri 2017 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileridir. 2017 yılına ait ÜFE (Üretici Fiyat Endeksi) ve TÜFE (Tüketici Fiyat Endeksi) oranları Çizelge 8.51’de yer almaktadır. Enflasyon oranı için aylık TÜFE değerlerinin ortalaması, faiz oranı için ise aylık ÜFE değerlerinin ortalaması alınacaktır. Çünkü ÜFE ve TÜFE oranlarının faiz ve enflasyon değerleri ile yakın ilişkisi vardır. Çoğu zaman bu oranlar birbiri ile eş yönlü olarak değişmektedir.

Çizelge 8.51. 2017 yılına ait aylara göre TÜFE ve ÜFE oranları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2018).

	TÜFE (%)	ÜFE (%)
Ocak	9,22	13,69
Şubat	10,13	15,36
Mart	11,29	16,09
Nisan	11,87	16,37
Mayıs	11,72	15,26
Haziran	10,90	14,87
Temmuz	9,79	15,45
Ağustos	10,68	16,34
Eylül	11,20	16,28
Ekim	11,90	17,28
Kasım	12,98	17,30
Aralık	11,92	15,47

Çizelgedeki verilere göre enflasyon oranı (g) 11,13 olarak alınacaktır. Faiz oranı(i) ise 15,81 olarak belirlenmiştir. Yatırımın ekonomik ömrü 10 yıl olarak belirlenmiştir. Bu durumda reel faiz oranı;

$$r = (0,1581-0,1113)/(1+0,1113) = 0,042$$

$$r = \%4,2 \text{ dir.}$$

$$PWF = \frac{(1+0,042)^{10}-1}{0,042.(1+0,042)^{10}}$$

PWF (Şimdiki değer faktörü) 8,03 olarak bulunur.

Not: Bir binada toplam ısı kayıpları dış duvarlardan, pencerelerden, tavan, zemin, kolon, kiriş ve havalandırmadan kaynaklanan ısı kayıpları dikkate alınarak tespit edilir. Bu çalışma da düzlemsel duvarlarda ısı kayıpları incelenmiş olup diğer ısı kayıpları göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışma gerçek yapıda sadece bir kesite aittir.

8.2.1.1 Bugünkü değer yöntemi göre hesaplar

XPS (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,035}{34542 \cdot 10^3 \cdot 330 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,035 \cdot 0,8281 = 0,045 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{0,8281 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 62,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(0,8281 + \frac{0,045}{0,035}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,045 \cdot 330 = 39,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,045 \cdot 330 = 14,85 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 62,3 - 39,3 = 23 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{14,85}{23} = 0,65 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

XPS (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,035}{34542 \cdot 10^3 \cdot 330 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,035 \cdot 1,2221 = 0,031 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{1,2221 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 42,2 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(1,2221 + \frac{0,031}{0,035}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,031 \cdot 330 = 34,7 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,031 \cdot 330 = 10,23 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 42,2 - 34,7 = 7,5 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{10,23}{7,5} = 1,36 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

EPS (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,040}{34542 \cdot 10^3 \cdot 290 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,040 \cdot 0,8281 = 0,051 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{0,8281 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 62,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(0,8281 + \frac{0,051}{0,040}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,051 \cdot 290 = 39,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,051 \cdot 290 = 14,79 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 62,3 - 39,3 = 23 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{14,79}{23} = 0,64 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

EPS (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,040}{34542 \cdot 10^3 \cdot 290 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,040 \cdot 1,2221 = 0,035 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{1,2221 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 42,2 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(1,2221 + \frac{0,035}{0,040}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,035 \cdot 290 = 34,8 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,035 \cdot 290 = 10,15 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 42,2 - 34,8 = 7,4 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{10,15}{7,4} = 1,37 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

Cam yünü (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,050}{34542 \cdot 10^3 \cdot 410 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,050 \cdot 0,8281 = 0,038 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{0,8281 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 62,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(0,8281 + \frac{0,038}{0,050}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,038 \cdot 410 = 48,1 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,038 \cdot 410 = 15,58 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 62,3 - 48,1 = 14,2 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{15,58}{14,2} = 1,10 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

Cam yünü (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,050}{34542 \cdot 10^3 \cdot 410 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,050 \cdot 1,2221 = 0,018 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{1,2221 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 42,2 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(1,2221 + \frac{0,018}{0,050}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,018 \cdot 410 = 40 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,018 \cdot 410 = 7,38 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 42,2 - 40 = 2,2 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{7,38}{2,2} = 3,35 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

Taş yünü (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,045}{34542 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,045 \cdot 0,8281 = 0,031 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{0,8281 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 62,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(0,8281 + \frac{0,031}{0,045} \right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,031 \cdot 500 = 49,5 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,031 \cdot 500 = 15,5 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 62,3 - 49,5 = 12,8 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{15,5}{12,8} = 1,21 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

Taş yünü (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,045}{34542 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,045 \cdot 1,2221 = 0,013 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{1,2221 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 42,2 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(1,2221 + \frac{0,013}{0,045} \right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,013 \cdot 500 = 40,7 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,013 \cdot 500 = 6,5 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 42,2 - 40,7 = 1,5 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{6,5}{1,5} = 4,33 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

PUR (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,030}{34542 \cdot 10^3 \cdot 600 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,030 \cdot 0,8281 = 0,026 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{0,8281 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 62,3 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(0,8281 + \frac{0,026}{0,030}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,026 \cdot 600 = 46 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,026 \cdot 600 = 15,6 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 62,3 - 46 = 16,3 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{15,6}{16,3} = 0,96 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

PUR (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = 293,94 \cdot \left(\frac{2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03 \cdot 0,030}{34542 \cdot 10^3 \cdot 600 \cdot 0,92} \right)^{1/2} - 0,030 \cdot 1,2221 = 0,014 \text{ m}$$

$$C_T = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{1,2221 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} = 42,2 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{T_{in}} = \frac{86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 8,03}{\left(1,2221 + \frac{0,014}{0,030}\right) \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} + 0,014 \cdot 600 = 39 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{in} = 0,014 \cdot 600 = 8,4 \text{ TL/m}^2$$

$$A_s = 42,2 - 39 = 3,2 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{8,4}{3,2} = 2,63 \text{ yıl (geri ödeme süresi)}$$

8.2.2. P₁-P₂ yöntemi

Hesaplarda gerekli olan parametreler ve değerleri Çizelge 8.52’de verilmiştir.

Çizelge 8.52. Çalışmada kullanılan parametreler ve değerler.

Parametre	Değer
Duvarın Isı iletkenlik direnci R (m²K/W)	
R _{wt} (Tuğla duvar)	0,8281
R _{wt} (Gazbeton duvar)	1,2221
Doğalgaz	
Alt ısııl değeri (H _u)	34542x10 ³ j/m ³
Birim fiyatı	0,986501 TL/m ³
Sistem verimi (η _k)	0,92
Isıtma Derece-Gün sayısı	
DG sayısı	2396
Finansal veriler	
Enflasyon oranı (g)	11,13 (%)
Faiz oranı (i)	15,81 (%)
Yatırımın ekonomik ömrü (N)	10
P ₁	10,91
P ₂	1
Yalıtım malzemeleri	
XPS	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,035
Birim fiyatı (TL/m ³)	330
EPS	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,040
Birim fiyatı (TL/m ³)	290
Cam yünü	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,050
Birim fiyatı (TL/m ³)	410
Taş yünü	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,045
Birim fiyatı (TL/m ³)	500
PUR	
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,030
Birim fiyatı (TL/m ³)	600

8.2.2.1. P₁-P₂ yöntemine göre hesaplar

XPS (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400 \cdot 10,91 \cdot 0,035 \cdot 2396 \cdot 0,986501}{1 \cdot 330 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92}} - 0,035 \cdot 0,8281 = 0,057 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{0,8281} - \frac{1}{0,8281 + \frac{0,057}{0,035}} \right) = 0,80$$

$$A_s = \frac{10,91 \cdot 86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 0,8}{34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} - 1 \cdot 330 \cdot 0,057 = 37,28 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1 \cdot 330 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92 \cdot (0,8281 \cdot 0,057 + 0,8281^2 \cdot 0,035) \cdot (1 + 0,1581)}{0,986501 \cdot 86400 \cdot 2396} = 4,23 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

XPS (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400 \cdot 10,91 \cdot 0,035 \cdot 2396 \cdot 0,986501}{1 \cdot 330 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92}} - 0,035 \cdot 1,2221 = 0,043 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{1,2221} - \frac{1}{1,2221 + \frac{0,043}{0,035}} \right) = 0,41$$

$$A_s = \frac{10,91 \cdot 86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 0,41}{34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} - 1 \cdot 330 \cdot 0,043 = 14,56 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1 \cdot 330 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92 \cdot (1,2221 \cdot 0,043 + 1,2221^2 \cdot 0,035) \cdot (1 + 0,1581)}{0,986501 \cdot 86400 \cdot 2396} = 6,23 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

EPS (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{opt} = \sqrt{\frac{86400 \cdot 10,91 \cdot 0,040 \cdot 2396 \cdot 0,986501}{1 \cdot 290 \cdot 34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92}} - 0,040 \cdot 0,8281 = 0,065 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{0,8281} - \frac{1}{0,8281 + \frac{0,065}{0,040}} \right) = 0,80$$

$$A_s = \frac{10,91 \cdot 86400 \cdot 2396 \cdot 0,986501 \cdot 0,8}{34542 \cdot 10^3 \cdot 0,92} - 1 \cdot 290 \cdot 0,065 = 37,24 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1.290.34542.10^3.0,92.(0,8281.0,065+0,8281^2.0,040).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 4,25 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

EPS (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,040.2396.0,986501}{1.290.34542.10^3.0,92}} - 0,040.1,2221 = 0,049 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{1,2221} - \frac{1}{1,2221 + \frac{0,049}{0,040}} \right) = 0,41$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,41}{34542.10^3.0,92} - 1.290.0,049 = 14,54 \text{ TL/m}^2 \quad (\text{tasarruf})$$

$$PP = \frac{1.290.34542.10^3.0,92.(1,2221.0,049+1,2221^2.0,040).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 6,25 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

Cam yünü (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,050.2396.0,986501}{1.410.34542.10^3.0,92}} - 0,050.0,8281 = 0,051 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{0,8281} - \frac{1}{0,8281 + \frac{0,051}{0,050}} \right) = 0,67$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,67}{34542.10^3.0,92} - 1.410.0,051 = 26,06 \text{ TL/m}^2 \quad (\text{tasarruf})$$

$$PP = \frac{1.410.34542.10^3.0,92.(0,8281.0,051+0,8281^2.0,050).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 5,65 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

Cam yünü (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,050.2396.0,986501}{1.410.34542.10^3.0,92}} - 0,050.1,2221 = 0,031 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{1,2221} - \frac{1}{1,2221 + \frac{0,031}{0,050}} \right) = 0,28$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,28}{34542.10^3.0,92} - 1.410.0,031 = 6,92 \text{ TL/m}^2 \quad (\text{tasarruf})$$

$$PP = \frac{1.410.34542.10^3.0,92.(1,2221.0,031+1,2221^2.0,050).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 8,32 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

Taş yünü (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,045.2396.0,986501}{1.500.34542.10^3.0,92}} - 0,045.0,8281 = 0,042 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{0,8281} - \frac{1}{0,8281 + \frac{0,042}{0,045}} \right) = 0,64$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,64}{34542.10^3.0,92} - 1.500.0,042 = 23,87 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1.500.34542.10^3.0,92.(0,8281.0,042+0,8281^2.0,045).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 5,91 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

Taş yünü (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,045.2396.0,986501}{1.500.34542.10^3.0,92}} - 0,045.1,2221 = 0,024 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{1,2221} - \frac{1}{1,2221 + \frac{0,024}{0,045}} \right) = 0,25$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,25}{34542.10^3.0,92} - 1.500.0,024 = 5,53 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1.500.34542.10^3.0,92.(1,2221.0,024+1,2221^2.0,045).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 8,70 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

PUR (tuğla duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,030.2396.0,986501}{1.600.34542.10^3.0,92}} - 0,030.0,8281 = 0,034 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{0,8281} - \frac{1}{0,8281 + \frac{0,034}{0,030}} \right) = 0,70$$

$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,70}{34542.10^3.0,92} - 1.600.0,034 = 28,68 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1.600.34542.10^3.0,92.(0,8281.0,034+0,8281^2.0,030).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 5,27 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

PUR (gazbeton duvar) için hesaplar;

$$x_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{86400.10,91.0,030.2396.0,986501}{1.600.34542.10^3.0,92}} - 0,030.1,2221 = 0,023 \text{ m}$$

$$\Delta U = \left(\frac{1}{1,2221} - \frac{1}{1,2221 + \frac{0,023}{0,030}} \right) = 0,32$$

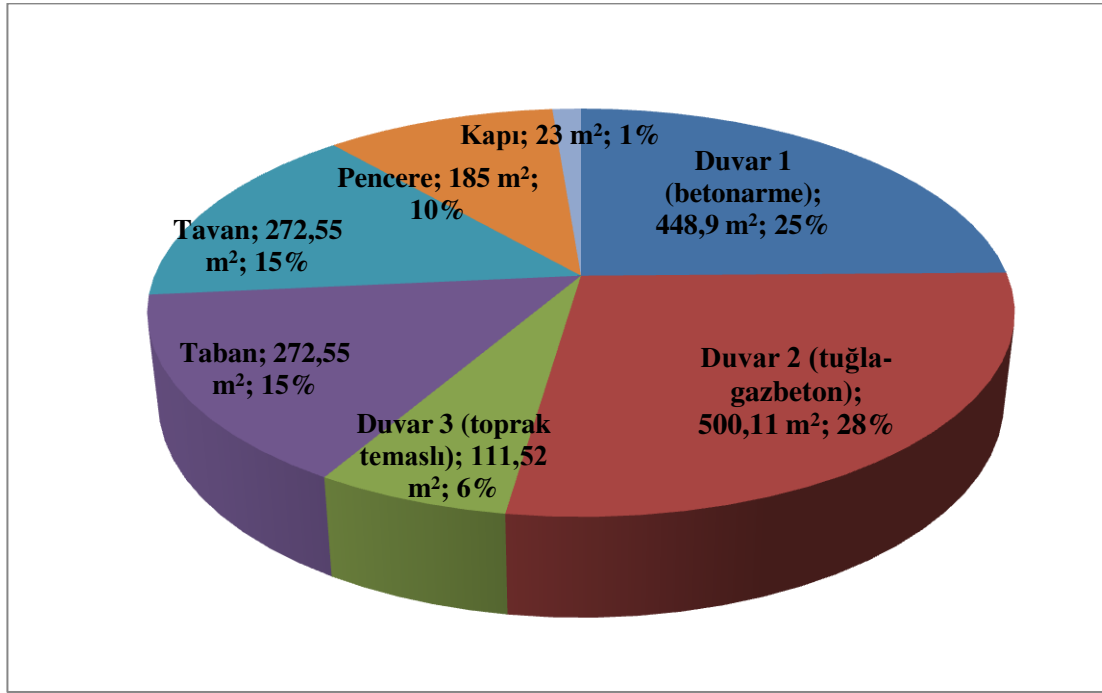
$$A_s = \frac{10,91.86400.2396.0,986501.0,32}{34542.10^3.0,92} - 1.600.0,023 = 8,64 \text{ TL/m}^2 \text{ (tasarruf)}$$

$$PP = \frac{1.600.34542.10^3.0,92.(1,2221.0,023+1,2221^2.0,030).(1+0,1581)}{0,986501.86400.2396} = 7,88 \text{ yıl} \quad (\text{G. ö. s})$$

9. DEĞERLENDİRME

9.1. TS 825 Hesap Yöntemine Göre Değerlendirmeler

Örnek binanın ısı kaybeden alanları incelendiğinde en büyük alanın dış havaya açık duvar (tuğla-gazbeton) alanı olduğu görülmektedir. Bu alanı ise yine dış havaya açık betonarme duvar alanı izlemektedir. Isı kaybeden en küçük alanı ise toplam dış kapı alanı oluşturmaktadır. Şekil 9.1’de ısı kaybeden alanlar ve değerleri görülmektedir.

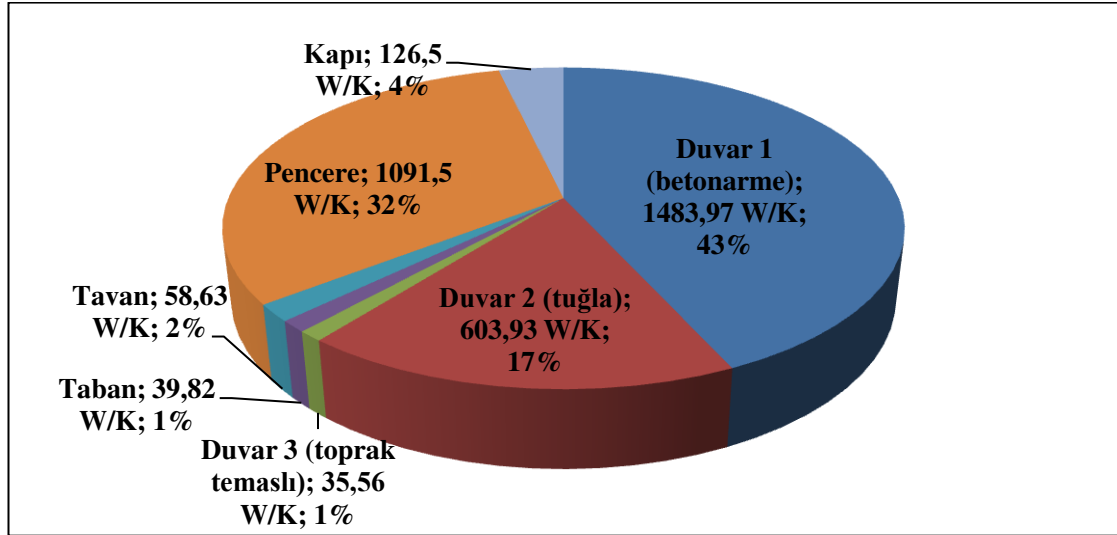


Şekil 9.1. Binaın ısı kaybeden alanları ve oranları.

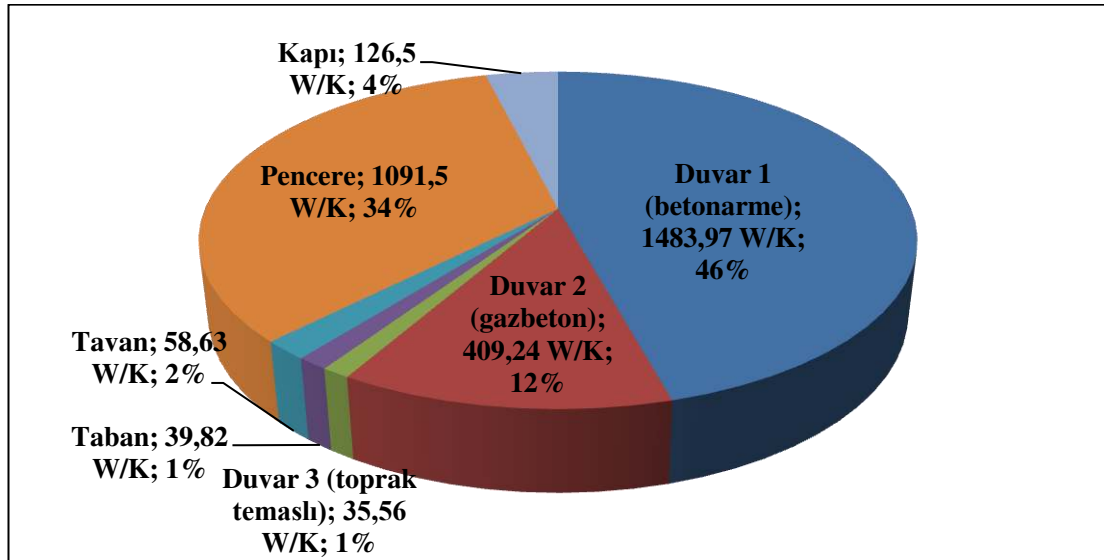
Örnek binanın ısı yalıtım çözümleri için 12 farklı çözüm sistemi mevcuttur. İlk iki çözüm binanın yalıtımsız mevcut durumu için tuğla ve gazbeton duvar modeli üzerinde yapılan çözümlerdir. Her iki sistem için yapılan hesaplar incelendiğinde en fazla ısı kaybının dış havaya açık betonarme duvar yüzeyinde meydana geldiği görülmektedir. Bu ısı kaybı değerini pencerelerde gerçekleşen ısı kayıpları izlemektedir. En az ısı kaybı ise toprağa temas eden betonarme duvar alanında gerçekleşmiştir. Tuğla duvar yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı 603,93 W/K iken, gazbeton duvar yüzeyinde meydana gelen ısı kaybı ise 409,24 W/K dir. Gazbeton duvarda daha az ısı kaybı meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca örnek binada dış ortama açık duvar yüzeylerinde tuğla kullanıldığında binanın özgül ısı kaybı 4487,551 W/K olarak hesaplanırken, gazbeton kullanıldığında ise H, 4292,861 W/K olarak bulunmuştur. Bu durumun ana

sebebi ise gazbetonun ısı iletkenlik hesap değeri (0,2) tuğlaya göre (0,33) daha küçüktür. Isıl iletkenlik değeri azaldıkça yalıtım özelliği artmaktadır.

Şekil 9.2’de ve Şekil 9.3’te binanın mevcut durumunda tuğla ve gazbeton çözüm sistemleri için, yapı alanlarında meydana gelen ısı kayıpları verilmiştir.



Şekil 9.2. Bina ısı kayıpları (çözüm 1-tuğla duvar).



Şekil 9.3. Bina ısı kayıpları (çözüm 2-gazbeton duvar).

Birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı(Q) tuğla duvar için yapılan hesaplarda 54.92 kWh/m³, gazbeton duvar için yapılan hesaplarda ise 51,96 kWh/m³ olarak bulunmuştur. TS 825 hesap metoduna göre örnek bina için olması

gereken (sınırlandırılan) en büyük ısı kaybı (Q^1) ise 20,62 kWh/m³ olduğundan binanın mevcut durumu ısı yalıtım açısından uygun değildir.

Örnek binanın yalıtımlı durumunda ise 10 farklı çözüm vardır. 5 farklı yalıtım malzemesi (EPS, XPS, Cam yünü, Taş yünü ve PUR) ve 2 farklı duvar modelinin (tuğla ve gazbeton) kullanılacağı sistemler için optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır.

Binanın mevcut halinde dış havaya açık duvarlarda yalıtım yoktur. Ancak diğer alanlarda yalıtım (ısı ve su yalıtımı) mevcuttur. Toprak temaslı betonarme duvarda 10 cm lik XPS, tavanda (çatılı) 12 cm lik cam yünü ve tabanda (toprak temaslı) ise yine 10 cm lik XPS kullanılmıştır.

5 farklı yalıtım malzemesinin kullanılacağı dıştan yalıtım sisteminde, yalıtım malzemeleri sadece dış havaya açık dolgu duvar ve betonarme duvar yüzeylerine uygulanacaktır. Diğer ısı kaybeden alanlarda ise binanın mevcut durumunda kullanılan malzemeler aynen kalacaktır.

Binanın mevcut halinde balkon kapıları ve dış kapı metal doğrama ısı yalıtımsız şeklindedir. Pencereleler ise alüminyum doğrama tek camlı penceredir. Dış duvarlara uygulanacak yalıtım malzemeleri ile birlikte kapı ve pencereler de yalıtım yönünden iyileştirilecektir. Bu amaçla pencerelelere, TS 825 de verilen “ U_p ” şartını da sağlayacak şekilde ahşap doğrama çift camlı low-e kaplamalı pencere tercih edilmiştir. Kapılara ise metal-ısı yalıtımlı kapı seçilmiştir. 10 farklı çözüm için bulunan optimum yalıtım kalınlıkları Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1. Hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları.

XPS (tuğla duvar)	5,6 cm
XPS (gazbeton duvar)	5,1 cm
EPS (tuğla duvar)	6,4 cm
EPS (gazbeton duvar)	5,8 cm
Cam yünü (tuğla duvar)	7,9 cm
Cam yünü (gazbeton duvar)	7,3 cm
Taş yünü (tuğla duvar)	7,2 cm
Taş yünü (gazbeton duvar)	6,6 cm
PUR (tuğla duvar)	4,8 cm
PUR (gazbeton duvar)	4,4 cm

Her bir yalıtım malzemesi için hesaplanan değerlere bakıldığında tuğla duvar için bulunan optimum yalıtım kalınlığı değerinin gazbeton için bulunan değerden daha büyük olduğu görülmektedir. Tuğla duvar yüzeyinde meydana gelen ısı kaybının gazbeton duvar yüzeyine kıyasla daha fazla olmasından dolayı tuğla duvar için yapılan hesaplarda daha büyük yalıtım kalınlıkları bulunmuştur. Ayrıca en küçük optimum yalıtım kalınlığı (4,4 cm) poliüretan sert köpük (PUR) levhanın gazbeton duvar için kullanıldığında bulurken, en yüksek optimum yalıtım kalınlığı (7.9 cm) ise cam yününün tuğla duvar için kullanıldığında tespit edilmiştir.

Yalıtım piyasasında bu kalınlıklara sahip yalıtım malzemesi temin etmek oldukça zordur. Çünkü yalıtım malzemelerinin üretimi belirli kalınlıklarda gerçekleşmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen ekonomik analizler yalıtım malzemelerinin optimum yalıtım kalınlıklarına göre değil de TS 825 yönetmeliğine göre sınırlandırılan değeri sağlayan en yakın tam sayı değerine göre hesaplanmıştır. Bu durumda ekonomik analizlerde kullanılacak yalıtım kalınlıkları Çizelge 9.2’de verilmiştir.

Çizelge 9.2. Ekonomik analizlerde kullanılan yalıtım kalınlıkları.

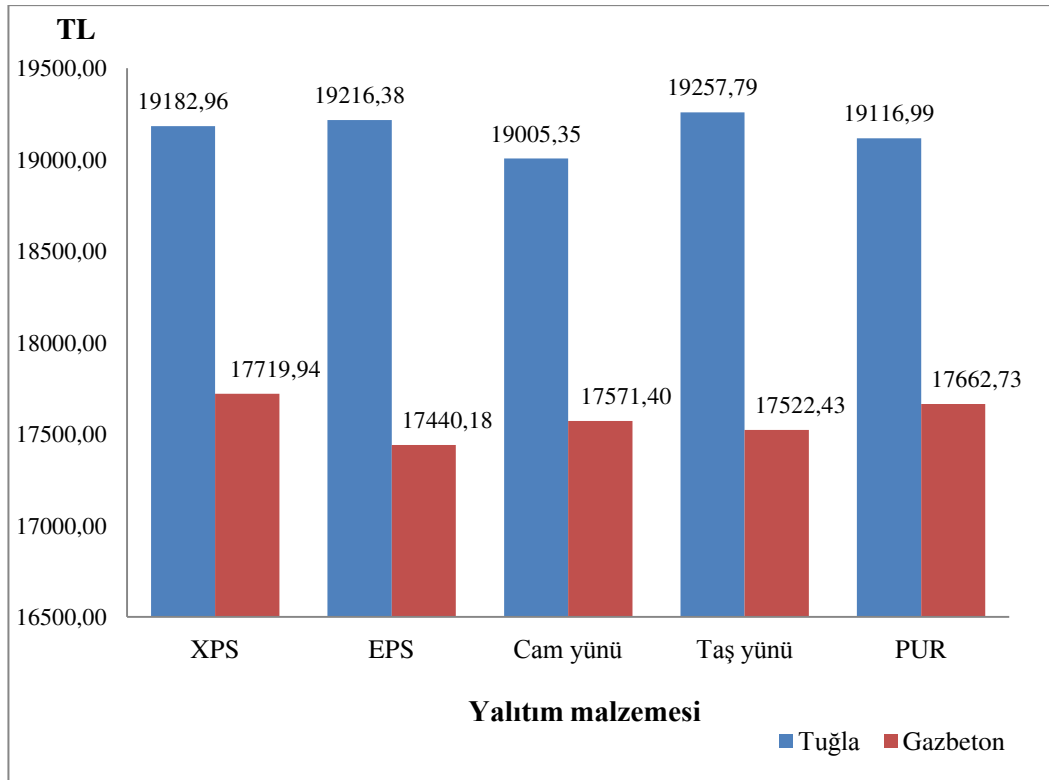
XPS (tuğla duvar)	6 cm
XPS (gazbeton duvar)	6 cm
EPS (tuğla duvar)	7 cm
EPS (gazbeton duvar)	6 cm
Cam yünü (tuğla duvar)	8 cm
Cam yünü (gazbeton duvar)	8 cm
Taş yünü (tuğla duvar)	8 cm
Taş yünü (gazbeton duvar)	7 cm
PUR (tuğla duvar)	5 cm
PUR (gazbeton duvar)	5 cm

Yapılan hesaplamalar sonucunda en büyük yalıtım maliyeti, pencere ve kapılar için yapılan harcamalar da göz önüne alınarak 8 cm kalınlığında taş yünü kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Yatırımın maliyeti ise 119.471,48 TL dir. En düşük yalıtım maliyeti ise 6 cm EPS kullanıldığında tespit edilmiştir. Yatırımın maliyeti 94.602,82 TL dir.

Yalıtımsız durumda toplam yıllık yakıt maliyetleri tuğla duvar için 30.422,27 TL iken, gazbeton duvar için 28.780,34 dir. Binanın duvarlarında gazbeton tercih edildiğinde yıllık yakıt maliyetinin azaldığı görülmüştür.

Yalıtımlı durumda ise en düşük toplam yıllık yakıt maliyeti XPS (6 cm-gazbeton) kullanıldığında 11060,41 TL olarak bulunurken, en yüksek değer ise cam yünü (8 cm-tuğla duvar) kullanıldığında 11416,93 TL olarak bulunmuştur. Geri ödeme süreleri ise 5,1 yıl ile 6,6 yıl arasında değişmektedir. Geri ödeme süresinin en kısa olduğu çözüm XPS (6 cm-tuğla duvar) ve EPS (7 cm-tuğla duvar) kullanıldığında bulunurken, en uzun geri ödeme süresi ise taş yünü (7 cm-gazbeton) kullanıldığında hesaplanmıştır.

Yıllık tasarruf miktarları ise yalıtımsız durumdaki yıllık yakıt maliyeti ile yalıtım yapıldıktan sonra hesaplanan yıllık yakıt maliyeti arasındaki farka göre tespit edilmiştir. Bulunan sonuçlar Şekil 9.4'te yer almaktadır. En yüksek tasarruf miktarının 19.257,79 TL ile taş yününün (tuğla) kullanıldığı çözüm sisteminde olduğu görülmektedir.



Şekil 9.4. Hesaplanan yıllık tasarruf miktarları.

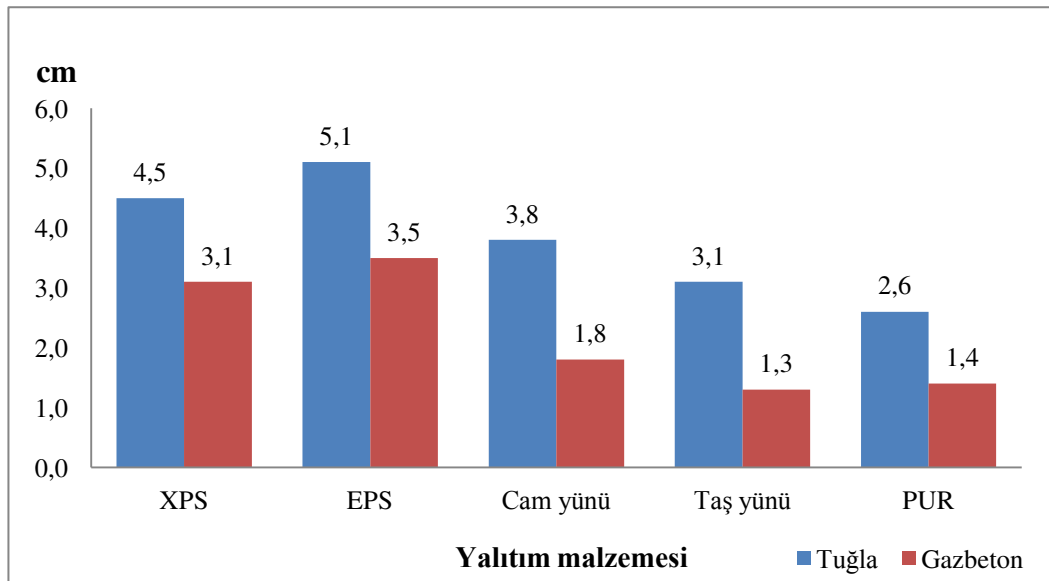
9.2. Ömür Maliyet Analizine Göre Değerlendirmeler

9.2.1. Bugünkü değer yöntemi

Optimum yalıtım kalınlığının tespitinde kullanılan yöntemlerden birisi de ömür maliyet analizidir. Ekonomik analizler için ise bugünkü değer metodu kullanılmıştır. Öncelikle bu yöntem için gerekli olan parametreler tespit edilmiştir.

Isıtma gün dereceleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmış ve Ankara ili için 2007-2017 yıllarına ait ortalama yıllık bir değer hesaplarda kullanılmak üzere belirlenmiştir. Yine hesaplarla kullanılacak faiz ve enflasyon değerleri 2017 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu'ndan temin edilmiştir. ÜFE ve TÜFE oranlarının faiz ve enflasyon değerleri ile eş yönlü olarak değiştiği düşünülerek enflasyon oranı için aylık TÜFE değerlerinin ortalaması, faiz oranı için ise aylık ÜFE değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Ömür maliyet analizine göre yapılan analizlerde hesaplar üzerinde etkili olan bir durum mevcuttur. Bir binada toplam ısı kayıpları en fazla dış duvarlar olmak üzere pencerelerden, tavan, zemin, kolon, kiriş ve havalandırmadan kaynaklanmaktadır. Ancak bu analiz yönteminde düzlemsel duvarlarda ısı kayıpları incelenmiş olup diğer ısı kayıpları göz ardı edilmiştir. Bu yüzden çalışma gerçek yapıda sadece dış havaya açık duvar kesitine aittir. Şekil 9.5'te, her bir yalıtım sistemi için bulunan optimum yalıtım kalınlıkları verilmiştir.

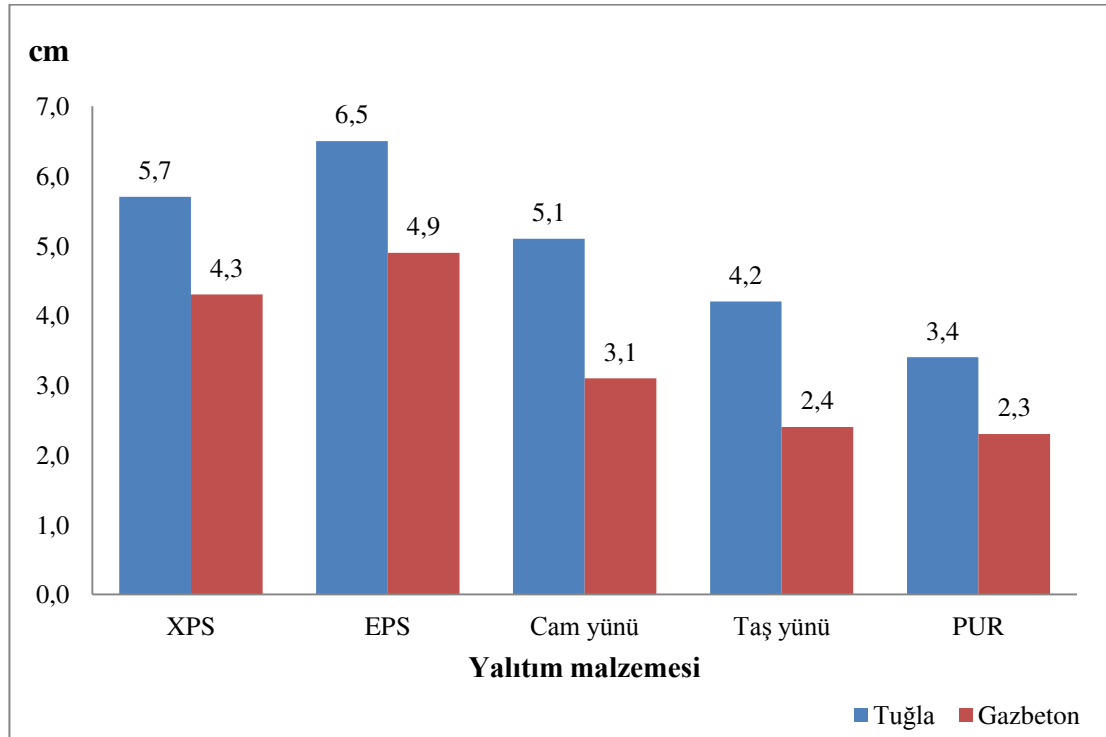


Şekil 9.5. Bugünkü değer yöntemine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları.

En büyük tasarruf değeri olan 23 TL/m² XPS (tuğla) ve EPS (tuğla) kullanıldığında elde edilmiştir. En küçük tasarruf değeri ise 1,5 TL/m² olarak bulunmuştur. Bu değer ise taş yünü (gazbeton) kullanıldığında elde edilmiştir. Geri ödeme süreleri ise 0,64 yıl ile 4,33 yıl arasında değişmektedir.

9.2.2. P₁-P₂ yöntemi

Ekonomik analizler için kullanılan bir diğer yöntem ise P₁-P₂ metodudur. P₁-P₂ metoduna göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları Şekil 9.6'da verilmiştir.



Şekil 9.6. P₁-P₂ yöntemine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlıkları.

En büyük tasarruf değerleri, 37,3 TL/m² ve 37,2 TL/m² ile XPS (tuğla) ve EPS (tuğla) kullanıldığında elde edilmiştir. En küçük tasarruf değeri ise 5,5 TL/m² olarak bulunmuştur. Bu değer ise taş yünü (gazbeton) kullanıldığında elde edilmiştir. Geri ödeme süreleri ise 4,23 yıl ile 8,70 yıl arasında değişmektedir.

Son olarak hesap yöntemlerine göre bulunan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm hesap yöntemleri için bulunan optimum yalıtım kalınlıkları Çizelge 9.3'te yer almaktadır.

Çizelge 9.3. Tüm metotlar için bulunan optimum yalıtım kalınlıkları.

Yalıtım Sistemleri	TS 825 hesap yöntemi (2008)	Ömür Maliyet Analizi	
		Bugünkü değer yöntemi	P ₁ -P ₂ yöntemi
XPS (tuğla duvar)	5,6 cm	4,5 cm	5,7 cm
XPS (gazbeton duvar)	5,1 cm	3,1 cm	4,3 cm
EPS (tuğla duvar)	6,4 cm	5,1 cm	6,5 cm
EPS (gazbeton duvar)	5,8 cm	3,5 cm	4,9 cm
Cam yünü (tuğla duvar)	7,9 cm	3,8 cm	5,1 cm
Cam yünü (gazbeton duvar)	7,3 cm	1,8 cm	3,1 cm
Taş yünü (tuğla duvar)	7,2 cm	3,1 cm	4,2 cm
Taş yünü (gazbeton duvar)	6,6 cm	1,3 cm	2,4 cm
PUR (tuğla duvar)	4,8 cm	2,6 cm	3,4 cm
PUR (gazbeton duvar)	4,4 cm	1,4 cm	2,3 cm

TS 825 hesap metodu binada meydana gelen tüm ısı kayıplarını dikkate alır. Binayı bir bütün olarak ele alan bu metotta ısı kaybeden alanların yalıtım ile iyileştirilmesi gerekmektedir. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen ısı geçirgenlik katsayıları(U) belirlenmiştir. Isı kaybeden tüm alanların belirlenen sınır değerleri sağlaması gerekmektedir. Ayrıca hesaplanan ısı kaybının TS 825'in belirlediği olması gereken en büyük ısı kaybı değerinden de küçük olması gerekmektedir. Bu hesap metodunda iç ısı kazançları ve güneş enerjisi kazançları da hesaba dâhil edilmektedir. Ekonomik analizlerde yalıtım maliyeti ve yakıt cinsi dikkate alınmaktadır. Kullanılan yakıtta ait parametreler tüketilen yıllık yakıt miktarını belirlemektedir. Çalışmada doğalgaz tercih edilmiştir. Geri ödeme süresinin hesabı için ise toplam yalıtım (yatırım) maliyeti bilinmelidir. Hesaplarda dış duvarlarda uygulanan yalıtım maliyeti için sadece yalıtım malzemesi dikkate alınmamış aynı zamanda yapıştırma harcı, dübel, boya, iskele ve işçilik gibi diğer maliyetler de hesaba katılmıştır. Aynı zamanda örnek binada kapı ve pencereler de yalıtım yönünden iyileştirilmiştir. Ek bir maliyete sebep olan kapı ve pencerelerin toplam maliyet içindeki oranı ise hiç azımsanmayacak düzeydedir.

Ömür maliyet analizinde ise bina bir bütün olarak ele alınmazken, hesaplar duvar kesiti üzerinden yapılmaktadır. Binanın ısı kaybeden birçok alanı olmasına rağmen hesapların sadece dış duvar kesiti esas alınarak yapılması metodun eksik yönü olarak sayılabilir. Optimum yalıtım kalınlığı dış duvar alanın m² başına kaybedilen ısı miktarına göre bulunmaktadır. Ekonomik analizlerde ise toplam yalıtım maliyeti yalıtım

malzemesinin m^3 fiyatı dikkat alınarak yapılmıştır. Diğer maliyetler hesaba katılmamıştır. Bulunan sonuçlardaki farklılığın nedenlerinden biriside bu durumdur ve yine metodun eksik yönü olarak değerlendirilebilir.

9.3. Dıştan Yalıtım Uygulamasının Binaya Getireceği İlave Yükler Açısından Değerlendirmeler

Bu bölümde mantolamanın binaya yaklaşık olarak ne kadar yük getireceği konusunda bir değerlendirme yapılacaktır. İlave yüklerin deprem açısından risk oluşturabilecek seviyelerde olup olmadığı araştırılacaktır. Öncelikle dıştan yalıtım uygulamasında kullanılan yardımcı malzemelerin 1 metrekarelik bir alanda oluşturacağı yükü tespit edelim. Bir önceki bölümde yalıtımda kullanılan yardımcı malzemelerin metrekare ve toplam maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplar için gereken veriler Çizelge 8.40'ta yer almaktadır. Bu çizelgede malzemelerin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu yük kg cinsinden verilmiştir. Aşağıda yer alan Çizelge 9.4'te yardımcı malzemelerin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu toplam yük hesaplanmıştır. Hesaplamalarda dübel, sıva filesi ve köşe profili ağırlıkları dikkate alınmamıştır.

Çizelge 9.4. Yardımcı malzemelerin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu toplam yük.

	Birim	Miktar
Isı yalıtım levha yapıştırıcısı	Kg	5
Isı yalıtım levha sıvası	Kg	5
Dekoratif kaplama astarı	Kg	0,1
Dekoratif kaplama	Kg	2,9
Dış cephe boyası	Kg	0,2
Toplam	Kg	13,2

Bu durumda yardımcı malzemelerin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu toplam yük 13,2 kg olarak bulunmuştur. Yalıtım malzemelerinin (XPS, EPS, taş yünü, cam yünü ve PUR) 1 metrekarelik alanda oluşturduğu yükü ise malzemelerin birim hacim kütlelerinden faydalanarak bulabiliriz. Isı yalıtım malzemelerinin birim hacim kütlesi (kg/m^3) değerleri TS 825 standardından alınmıştır. Bu değerler Çizelge 9.5'te verilmiştir.

Çizelge 9.5. Isı yalıtım malzemelerinin birim hacim kütlesi (Türk Standartları Enstitüsü, 2008).

Sıra no	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi kg/m ³
10.3.2.1.2	Ekstrüde polistiren (XPS) köpüğü -TS 11989 EN 13164'e uygun	≥25
10.3.1.1.2	Genleştirilmiş polistiren (EPS) köpüğü-Parçacıklı köpük TS 7316 EN 13163' e uygun	≥20
10.05.2004	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (cam yünü) TS 901-1 EN 13162 10 'ye uygun	8-500
10.05.2003	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri (taş yünü) TS 901-1 EN 13162 10 'ye uygun	8-500
10.3.3.1.2	Poliüretan sert köpük (PUR)- TS 10981 ve TS EN 13165'e uygun	≥30

XPS, EPS ve PUR için birim hacim kütlelerini sırasıyla 25 kg/m³, 20 kg/m³ ve 30 kg/m³ olarak alalım. Piyasada mantolama yalıtım levhası olarak tercih edilen cam yünü ve taş yününün birim hacim kütlesi ise 120 kg/m³ olarak alınabilir. Bu durumda ısı yalıtım malzemelerinin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu yük Çizelge 9.6'da verilmiştir.

Çizelge 9.6. Isı yalıtım malzemelerinin 1 metrekarelik alanda oluşturduğu yük.

	Birim	Miktar
6 cm EPS	Kg	1,2
7 cm EPS	Kg	1,4
6 cm XPS	Kg	1,5
8 cm cam yünü	Kg	9,6
8 cm taş yünü	Kg	9,6
7 cm taş yünü	Kg	8,4
5 cm PUR	Kg	1,5

Dıştan yalıtım uygulamasının binaya kattığı toplam yükü hesaplamak için, yardımcı malzemeler ve ısı yalıtım malzemelerinin 1 metrekarelik alanda oluşturdukları

yükü toplamak gerekir. Binanın yalıtımlı durumunda sadece dış havaya açık duvar yüzeyi yalıtımlıdır. Toplam duvar alanı 949,01 m² dir. Çizelge 9.7’de uygulamanın binaya getireceği ilave yükler belirlenmiştir.

Çizelge 9.7. Yalıtımın binaya getireceği toplam ilave yükler.

	Yalıtımın 1 metrekairelik alanda oluşturduğu yük (kg)	Toplam alan (m²)	Yalıtımın binaya getireceği toplam ilave yük (kg)
6 cm EPS	14,4	949,01	13666
7 cm EPS	14,6	949,01	13856
6 cm XPS	14,7	949,01	13950
8 cm cam yünü	22,8	949,01	21637
8 cm taş yünü	22,8	949,01	21637
7 cm taş yünü	21,6	949,01	20499
5 cm PUR	14,7	949,01	13950

Çizelgeden de anlaşılabileceği üzere, kullanılan yalıtım malzemesinin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak yalıtımın 1 metrekairelik alanda oluşturduğu yük 14,4 kg ile 22,8 kg arasında değişmiştir. Yalıtımın binaya getireceği toplam yük ise 13,7 ton ile 21,6 ton arasındadır. 6 cm EPS ısı yalıtım malzemesi ile oluşturulan mantolama sistemi 13,7 tonluk bir ilave yük oluşturuyorken, 8 cm cam yünü veya taş yünü kullanılması halinde ise 21,6 tonluk bir ilave yük meydana gelmiştir.

Örnek bina 1 bodrum kat, 1 zemin kat ve 4 normal kat ile toplam 6 katlıdır. Her katta 2 daire olduğundan toplam 12 daireli bu binaya 6 cm EPS uygulanması durumunda daire başına yaklaşık 1 ton kadar bir yük oluşmaktadır. Bu yük eve alınacak birkaç eşya ve eve gelecek 5-6 misafirin oluşturabileceği bir yük kadar olduğu düşünüldüğünde yalıtımın deprem açısından binalar için bir risk oluşturmadığını söyleyebiliriz.

Dıştan ısı yalıtım uygulaması, depreme yönelik bir risk oluşturmasının aksine, olası bir depreme karşı binayı korur. Yoğuşmayı önleyerek korozyon riskinin önüne geçer. Yalıtım sayesinde betondaki demir donatıların paslanması önlenir ve kesit kaybı oluşmaz. Böylece, yapının taşıma gücü zarar görmez.

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bilindiği üzere ülkemiz birincil enerji kaynakları yönünden zengin değildir. Özellikle doğalgaz temini açısından dışa bağımlı bir ülkedir. Ancak enerji konusu tüm ülkelerin dikkatle takip etmesi gereken bir konu haline gelmiştir. Çünkü birincil enerji kaynakları gittikçe azalmakta ve enerji kaynaklarına olan talep, savaşları bile beraberinde getirebilecek durumdadır. Bu açıdan bakıldığında enerji kaynaklarının etkin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Özellikle konutlarda gerçekleşen yakıt tüketimleri göz önüne alındığında, yapılarda enerji tasarrufu konusu gündem bir konu haline gelmektedir.

Ülkemizde yalıtım uygulamasına yönelik standartlar mevcuttur. Bu standartlar yapıda ısı kaybını sınırlayan ve binayı yalıtım yönünden iyileştiren standartlardır. Ancak bu standartların yeterliliği açısından çalışmalar yapılmalı, Avrupa’da kullanılan diğer standartlar incelenmelidir. Gerektiği takdirde ülkemizde kullanılan standartlar yenilenmeli ve yalıtım uygulamasına yönelik daha kesin çözümler sunulmalıdır. Ülkemizde son dönemlerde yalıtım uygulamaları artmaktadır. Bu sevindirici bir haber olsa da uygulamaların doğru malzemelerle bilinçli bir şekilde uygulanması çok önemlidir. Çünkü istenilen verimi sağlayamayan, dolayısıyla hedeflenen tasarruf değerlerine ulaşamayan uygulamalar yapıya sadece ek bir masraf getirecektir. Bu gerekçeyle ülkemize ve yalıtım firmalarına büyük görev düşmektedir. Yalıtımın gerekliliği daha iyi bir şekilde anlatılmalı ve doğru yalıtım uygulamalarıyla sağlanacak tasarruf değerleri ile halk bilinçlendirilmelidir. Ayrıca ısı yalıtımının sıradan bir iş olmadığı, işinin ehli kişilerce uygulanması gerektiği vurgulanmalıdır.

Günümüzde enerji tüketiminin az olduğu çevre dostu, sürdürülebilir yapılar yapılmaktadır. Bu yapıların diğer yapılara göre maliyetli olduğu açıktır ancak elde edilen tasarruf miktarları ve tüketilen yakıt miktarları düşünüldüğünde bu yapılar kendisini kısa sürede amorti etmektedir. Bu yüzden bu yapıların teşvik edilmesi ve gittikçe yaygınlaşması insanlara büyük fayda sağlayacaktır.

Yapı sektörünün gelişmesi ve enerjinin bilinçli tüketilmemesinden dolayı ülkemiz her yıl büyük oranda enerji ithal etmekte ve ciddi miktarlarda paralar ödemektedir. Ülkemizde enerji tüketiminin büyük bir kısmı konutlarda gerçekleşmektedir. Her geçen gün çok katlı yapılar tasarlanmaktadır. Yapılarda kat sayısının artması ısı kaybeden yüzeylerin artacağı anlamına geldiğinden, bu yapılara

kurallara uygun bir şekilde ısı yalıtım yapılmalıdır. Çünkü doğru uygulanmış bir ısı yalıtım yüksek yakıt tasarrufu anlamına gelmektedir. Ülke bazında bu oranı değerlendirdiğimizde ise hem ülkemiz adına hem de halkımız için bir kazanç ifade etmektedir. Doğalgaz yönünden dışa bağımlı olan ülkemiz için ithalatın azalması, milletimiz için ise ısınma amacıyla ödenen yüksek faturalar düşünüldüğünde aile ekonomisinin iyileşmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca ısı yalıtım ile daha konforlu yapılar oluşacak ve atmosfere yayılan zararlı gazların miktarı azalacağından daha sağlıklı bir çevre meydana gelecektir.

Binalarda ısı konforunun sağlanması da çok önemlidir. Çünkü ısı konforu ile insan sağlığı ve bağlantılı olarak verimliliği değişmektedir. Konfor düzeyi yüksek alanlarda yaşayan kişilerin daha sağlıklı ve üretken oldukları bilinmektedir. Bu sebeple binalarda ısı konforunun sağlanmasında etkili ve gerekli olan faktörler, yalıtım malzemesinin seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi olarak sayılabilir.

Bu çalışmada örnek bir bina üzerinde 5 farklı yalıtım malzemesi ve 2 farklı duvar tipi esas alınarak optimum yalıtım kalınlığı, tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Binada yakıt olarak kullanılan enerji kaynağı doğalgazdır. Çalışmada 2 farklı yöntem ve 3 farklı hesap metodu kullanılmıştır. Bunlar TS 825 ve ömür maliyet analizi yöntemleridir. Ömür maliyet analizi yöntemindeki ekonomik analizler ise bugünkü değer metodu ve P_1 - P_2 metodu yardımıyla yapılmıştır.

Çalışmada ısı yalıtım sistemlerinden mantolama tercih edilmiştir. Dıştan ısı yalıtım uygulaması da denilen mantolama, binayı bir bütün olarak saran en uygun en etkin ısı yalıtım uygulamasıdır. Mantolama ile hem yazın hem de kışın ciddi anlamda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Çalışmada ısı kayıplarının en fazla yaşandığı dış duvarlarda 5 farklı yalıtım malzemesinin uygulandığı mantolama çözüm sistemleri incelenmiştir. Yalıtımlı durumlar hem tuğla duvar hem de gazbeton duvar için yapılmış aynı zamanda pencere ve kapılar da mevcut duruma kıyasla yalıtım yönünden iyileştirilmiştir.

Hesaplamalarda tuğla ve gazbeton duvar modeli tercih edilmiştir. Kullanılan tuğla ve gazbeton yapı malzemelerine göre duvar kesitlerinin ısı geçirgenlik dirençleri hesaplanmıştır. Sonuçlar gazbeton duvar modelinin tuğla duvara kıyasla daha yüksek ısı iletkenlik direncine (R , m^2K/W) sahip olduğunu dolayısıyla daha düşük ısı geçirgenlik katsayısı (U , W/m^2K) değerine sahip olduğunu göstermiştir.

Yapılan çalışmada ısı yalıtım yapılması ile birlikte yıllık yakıt maliyetlerinin yalıtımsız duruma kıyasla ciddi anlamda düştüğü gözlemlenmiştir. Doğalgaz tüketimi azalmış büyük miktarda enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Binanın mevcut durumunda gözlemlenen diğer bir sonuç ise binada meydana gelen en fazla ısı kaybının dış havaya açık duvarlarda gerçekleşmiş olmasıdır. Özellikle betonarme yüzeylerde çok büyük miktarda ısı kaybı meydana gelmiştir. Bu ısı kayıplarının sınırlandırılması, belirli bir değerde tutulması ancak doğru bir ısı yalıtım uygulamasıyla gerçekleşecektir. Yalıtım maliyeti ve tasarruf miktarları beraber düşünüldüğünde yalıtım kendisini kısa bir süre içerisinde amorti edecektir. Bu anlamda ısı yalıtımın kazançlı bir yatırım olduğu da anlaşılmaktadır.

TS 825 hesap metoduna göre her bir yalıtım sistemi için yapılan hesaplamalar sonucunda optimum yalıtım kalınlıklarının 4,4 cm ile 7,9 cm arasında, geri ödeme sürelerinin de 5,1 yıl ile 6,6 yıl arasında değiştiği görülmüştür. Enerji tasarrufunun ise % 60,6 ile % 63,3 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Ömür maliyet analizine göre yapılan hesaplamalar sonucunda ekonomik analizler için bugünkü değer metodunun kullanılması ile optimum yalıtım kalınlıklarının 1,3 cm ile 5,1 cm arasında, geri ödeme sürelerinin de 0,64 yıl ile 4,33 yıl arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tasarruf değerlerinin ise 1,5 TL/m² ile 23 TL/m² arasında olduğu bulunmuştur. Bir diğer yöntem olan P₁-P₂ metodunun kullanılması durumunda ise optimum yalıtım kalınlıkları 2,3 cm ile 6,5 cm arasında değişirken, geri ödeme süreleri 4,23 yıl ile 8,70 yıl arasında değişmektedir. Tasarruf değerlerinin ise 5,5 TL/m² ile 37,3 TL/m² arasında değiştiği hesaplanmıştır.

TS 825'e ve ömür maliyet analizine göre bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. TS 825 hesap metodunda binada gerçekleşen tüm ısı kayıpları dikkate alınır. Bu açıdan bakıldığında bu hesap metodunda daha doğru sonuçlara varılabilir yorumunda bulunabiliriz. Ayrıca metotta, ekonomik analizler için tüm yalıtım maliyetleri dikkate alınır. TS 825 standardı için eksikliklerden de bahsetmek gerekirse öncelikle soğutma ihtiyacı söylenebilir. Bilindiği gibi yapıların ısıtma ihtiyacının dışında soğutma ihtiyacı da vardır ve soğutma sistemleri ciddi miktarda enerji tüketmektedir. Bu yüzden standart, soğutma ile ilgili tasarımsal bilgiler de bulundurulabilir. Ayrıca standardda dış duvar, tavan, taban ve pencereler için U (ısıl geçirgenlik katsayısı) değerleri belirlenmiştir. Fakat ışıklık ve dış kapılar için limit

değerler yoktur. Dolayısıyla dış kapılar ve ışıklıklar için limit değerler verilebilir aynı zamanda pencereler için verilen sınır değerler iyileştirilebilir.

Ömür maliyet analizinde ise hesaplar duvar kesiti üzerinden yapılmaktadır. Binaların en fazla ısı kaybeden bölümü dış duvarlardır. Ancak binalarda pencere ve çatı gibi bölümlerde de ciddi miktarda ısı kaybı yaşanır. Bu yüzden metodun bu yönü eleştirilebilir. Ayrıca ekonomik analizlerde ise sadece yalıtım malzemesinin birim fiyatı dikkate alınırken diğer maliyetler hesaba katılmamıştır. Metodun olumlu yönü ise pratik olmasıdır. Hızlı sonuç almak adına ömür maliyet analizi hesap metotları kullanılabilir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu çalışma, kıyaslama adına fazlaca seçenek sunmaktadır. 5 farklı yalıtım malzemesi, 3 farklı hesap metodu kullanılarak karşılaştırılmıştır. Metotların üstün yönleri ve eksiklikleri belirtilmiştir. Ayrıca deprem açısından mantolamanın binaya getirdiği ilave yükler araştırılmıştır.

Bilindiği üzere tüm gereksinimleri karşılayacak mükemmel bir ısı yalıtım malzemesi yoktur. Her malzemenin üstün ve zayıf yönleri mevcuttur. Kullanılan yapıya, işleme, iklime ve maliyete bağlı olarak tercih edilen yalıtım malzemeleri değişiklik gösterebilir. Günümüzde, inşaat sektöründeki gelişim ve tüketilen enerji miktarları düşünüldüğünde ısı yalıtım uygulaması kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca çevre kirliliğinin azalmasında rol oynaması ve yaşam alanında ısıl konforun sağlanmasında yardımcı olması ısı yalıtımın göz ardı edilemeyecek derecede önemli olduğunu göstermektedir. Hem devlet hem de aile ekonomisine olan katkısı da unutulmamalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı yapılara ısı yalıtım uygulaması yapılmalıdır. Yalıtım malzemesinin cinsi ve kalınlığı doğru belirlenmelidir. İnsanlar yalıtım konusunda bilinçlenmeli ve yalıtım ülkelerin ana gündem konularından biri olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akıncı, H., “Günümüzde uygulanan ısı yalıtım sistemleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2007).
- Aksöz, H., “Betonarme binalarda uygulanan ısı yalıtım amaçlı duvar elemanlarının ısı ve ekonomik yönden analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Tekirdağ (2009).
- Asdrubali, F., D’Alessandro, F. and Schiavoni, S., “A review of unconventional sustainable building insulation materials”, **Sustainable Materials and Technologies** 4: 1-17 (2015).
- Atmaca, Ş. U. ve Kargıcı, S., “Konya’da kış aylarında yapı malzemelerinde oluşan buhar geçişinin örnekle incelenmesi”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, 47(553): 55-62 (2006).
- Aydın, İ., “Binalarda uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2010).
- Aydın, Ö., “Yapı Dış Dış Kabuğu Isı Yalıtım Uygulamaları İle Enerji Verimliliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon (2011).
- Aykar, E., “Tüm binaların yalıtımı için ülkemizde atılması gereken adımlar”, **İzodergi**, 117: 10-12 (2016).
- Aytaç, A. ve Aksoy, U. T., “Enerji Tasarrufu İçin Dış Duvarlarda Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Isıtma Maliyeti İlişkisi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 21(4): 753-758 (2006).
- Başkent Doğalgaz, “Doğalgaz parakende satış fiyatı”, <https://online.baskentdogalgaz.com.tr/MusteriOnline/faces/genel/dogalgazsatisfiyatları.jsf> , (Erişim Tarihi: 10.02.2018).
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”, **Resmi Gazete**, (2008).
- Baykal, C., “Binalarda yönere göre yalıtım kalınlığının ekonomikliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2014).
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, “Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik”, **Resmi Gazete**, (2007).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Biswas, W. K., “Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3: 179-186 (2014).
- Bostancıoğlu, E., “Konutlarda Duvar ve Çatı Yalıtımlarının Bina Kabuğu, Isıtma Enerjisi ve Yaşam Dönemi Maliyetleri Üzerindeki Etkisi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15(1) (2010).
- Böke, B., “Tesisat Yalıtımına Giriş”, *İzoder*, 6-8 (2017).
- BP, “Statistical Review of World Energy”, *BP, London* (2016).
- Buyruk, H., “Tesisat yalıtımı”, *İzolasyon Dünyası*, 105: 8-9 (2014).
- Cellubor, “Isı yalıtımı malzemelerinde temel seçim kriterleri”, <http://www.cellubor.com/>, (Erişim Tarihi: 05.09.2017).
- Çağlayan, S. S., “Life cycle costing analysis of insulation applications for existing buildings in Turkey”, Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2014).
- Çay, Y., “Farklı Yapı Malzemeleri Kullanımında Isı Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkileri”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1): 47-56 (2011).
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Küresel Isınmayı Önlemede Enerji Verimliliğinin Önemi”, *İzodergi*, 125: 8-12 (2017).
- Çölhan, N. A., “Bayındırlık ve İskân Bakanlığının eski ısı yalıtım yönetmeliği’nde önerdiği tip döşeme kesitlerinin değerlendirilmesi, yeni yönetmelik ve TS 825’e göre yeniden önerilmeleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2001).
- Dağıdır, C. and Bolattürk, A., “Sıcak İklim Bölgelerindeki Binalarda Isıtma ve Soğutma Yüküne Göre Tespit Edilen Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Karşılaştırılması”, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 64-77 (2011).
- Dağsöz, A. K., “Türkiye’de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayinin Durumu”, *İstanbul Ticaret Odası(İTO) yayınları*, İstanbul (1999).
- Diz, T., “Tesisatlarda Enerji Verimliliği ve Isı Yalıtımı”, *Türk Sanayisinde Enerji Verimliliği Semineri*, İstanbul Sanayi Odası, (2009).
- Diz, T., “Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliği ile İlgili Mevzuatlar”, *İzolasyon Dünyası*, 100: 60-66 (2013).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Dombaycı, Ö. A., Gölcü, M. and Pancar, Y., “Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources”, *Applied Energy*, 83: 921-928 (2006).
- EduRev Notes, “Heat and Temperature Study Guide”, *EduRev Notes*, (2014).
- Enerji piyasası düzenleme kurumu, “Doğal gaz piyasası sektör raporu”, *EPDK, Ankara* (2016).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji Verimliliği Kanunu”, *Resmi Gazete*, (2007).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023”, *Resmi Gazete*, (2012).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Mavi Kitap”, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı* (2016).
- EPS Sanayi Derneği, “EPS nedir?”, <https://www.epsder.org.tr/index.html> , (Erişim Tarihi: 18.11.2017).
- Ertaş, K., “Binalarda Buhar Difüzyonu Olayının İrdelenmesi”, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi*, Eskişehir, (2001).
- Evrimler, S., “Kentsel dönüşümde yalıtım”, *İzolasyon Dünyası*, 99: 64-65 (2013).
- Federation of European Rigid Polyurethane Foam Associations, “Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam”, *BING, Brussels* (2006).
- Gazioğlu, A., Akşit, Ş. F. And Manioğlu, G., “Enerji etkin bina tasarımında ısıtma enerjisi tüketimini azaltmaya yönelik bir iyileştirme çalışması”, *Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu, Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 907-918 (2013).
- Günaydın, S., “Mineral yünler ve EUCEB belgelendirmesi”, *İzolasyon Dünyası*, 105: 48-49 (2014).
- Gür, N. V. ve Aygün, M., “Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi”, *itüdergisi/a- mimarlık, planlama, tasarım*, 7(1): 74-82 (2008).
- Gürel, A. E. ve Daşdemir, A., “Türkiye’nin Dört Farklı İklim Bölgesinde Isıtma ve Soğutma Yükleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(4): 346-352 (2011).
- Hegger, M., Auch-Schwelk, V., Fuchs, M. and Rosenkranz, T., “Construction Materials Manual”, *Walter de Gruyter*, Munich (2006).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Hokkacı, M. F., “Dış cephe ısı yalıtım sistemleri”, *Terratherm Manto*, (2013).
- İşbilir, D., “Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2009).
- İzoder, “İnşaat Teknolojisi-Isı Yalıtımı”, *İzoder*, (2013).
- İzoder, “Isı Yalıtımı Bilgilendirme Kitapçığı”, *İzoder*, (2017).
- İzoder, “TS 825 hesap metodu”, <http://www.izoder.org.tr/sayfa/30/ts-825-hesap-programi>, (Erişim Tarihi: 15.10.2017).
- Jelle, B. P., “Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions–Properties, requirements and possibilities”, *Energy and Buildings*, 43(10): 2549-2563 (2011).
- Karadayı, T. T. ve Yüksek, İ., “Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma”, *Tesisat Dergisi*, 242 (2016).
- Kaya, S. ve Oğuz, M. E., “Tesisat yalıtımında uygun malzeme seçimi”, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, (2015).
- Kenet, M., “EPS mantolama sistem bileşenleri ve uygulama yapılacak cephenin yeterliliği”, *EPS haber*, 9: 12-16 (2012).
- Kibici, İ., “Binalarda ısı yalıtımı ve konut değerine etkisi”, *İzolasyon Dünyası*, 116: 32-33 (2015).
- Kiper Yılmaz, G. H., “Binalarda dış duvarlarda kullanılan ısı yalıtım kaplamalarının enerji korunum performansları açısından incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2009).
- Koç, E. ve Kaya, K., “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Mühendis ve Makina*, 56(668): 36-47 (2015).
- Koç, E. ve Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme”, *Mühendis ve Makina*, 54(639): 32-44 (2013).
- Koçu, N. ve Dereli, M., “Dış duvarlarda ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanması ve detaylarda karşılaşılan sorunlar (Konya kentinden örnekler)”, *5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İzmir (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Koçu, N. ve Korkmaz, Z., “Konya çevresindeki yapılarda ısı yalıtımı uygulamalarının TS 825’e göre değerlendirilmesi ve çevre kirliliğine etkisi”, *Tesisat Mühendisliği*, 74 (2002).
- Korkmaz, M.G., “Isı yalıtım-mekanik bağlantı elemanlarında radikal bir değişim”, *İzodergi*, 118: 56-58 (2016).
- Kibici, İ., “Bina yöneticileri”, *İzodergi*, 118: 60-62 (2016).
- Kozak, M. ve Kozak, Ş., “Su ve Isı yalıtımının Yapılarda Emniyet ve Ekonomi Açısından Önemi”, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 5(1): 38-47 (2015).
- Manioğlu, G., “Enerjiyi korumanın ilk kuralı enerjiyi harcamamak”, *İzocam Diyalog Dergisi*, 12-13, (2014).
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Yıllık ısıtma derece-gün değerleri”, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=yillik&m=0600&y=2017&a=12#sfB>, (Erişim Tarihi: 10.02.2018).
- Mishra, S., Usmani, J. and Varshney, S., “Optimum insulation thickness of building walls for energy saving”, *International Journal of Engineering Sciences And Management*, Vol II, Issue I, 88-95 (2012).
- Murat, T., “Ses yalıtımının önemi”, *İzodergi*, 117: 36-37 (2016).
- Onbaşıoğlu, H., “Yalıtım malzemelerinde kalınlığın önemi”, *İzolasyon Dünyası*, 101: 26-27 (2013).
- Oral, G. K. ve Manioğlu, G., “Bina Cephelerinde Enerji Etkinliği ve Isı yalıtımı”, *5. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, İzmir (2010).
- Öchsner, A., Murch, G. E., and de Lemos, M. J. (Eds.), “Cellular and porous materials: thermal properties simulation and prediction”, *John Wiley & Sons*, Weinheim (2008).
- Öktem, F., “Mineral yün nedir?”, *İzolasyon Dünyası*, 109: 66-67 (2014).
- Özer, M., “Yapılarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri”, *Maya Basın Yayın*, (2006).
- Özkan, D. B. and Onan, C., “Optimization of insulation thickness for different glazing areas in buildings for various climatic regions in Turkey” *Applied Energy* 88(4): 1331-1342 (2011).
- Özen, O., “Konut Yöneticileri”, *İzodergi*, 118: 8-13 (2016).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Öztuna, S. ve Dereli, E., “Edirne İlinde Optimum Duvar Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi”, *Trakya Univ J Sci*, 10(2): 139-147 (2009).
- Papadopoulos, A. M., “State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments”, *Energy and Buildings*, 37: 77-86 (2005).
- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. and Rudolphi, A., “Insulating materials: principles, materials, applications”, *Walter de Gruyter*, München (2008).
- Sancaktar, O., “Binalarda ısıtma performansının örnek bir uygulama üzerinden incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul (2015).
- Soğukoğlu, M. ve Vatan, M., “Mevcut betonarme konut binalarında enerji verimliliğinin artırılması için mimari çözüm önerileri”, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 21: 13-22 (2014).
- Strateji Geliştirme Başkanlığı, “Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü”, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, Ankara (2017).
- Şişecam, “Kaplama Camlar Katalogu”, *Şişecam-Düzcamlar*, (2017).
- Tettey, U., Dodoo, A. and Gustavsson, L., “Primary energy implications of different wall insulation materials for buildings in a cold climate”, *Energy Procedia*, 61: 1204-1207 (2014).
- Tombak, E.T., “Sürdürülebilir binalar ve yalıtım”, *İzolasyon Dünyası*, 101: 10-11 (2013).
- Topçuoğlu, K., “Yalıtım Teknolojisi”, *Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. LTD. ŞTİ.*, İstanbul (2017).
- TUİK, “ÜFE ve TÜFE oranları” ,<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategorist>, (Erişim Tarihi: 10.02.2018).
- Türk Standartları Enstitüsü, “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *TSE*, (2008).
- Türk Standartları Enstitüsü, “Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması”, *TS EN 13501-1+A1*, (2013).
- Türkiye Cumhuriyeti Dışişleri Bakanlığı, “İklim Değişikliği ile Mücadele-Paris Anlaşması”, <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, (Erişim Tarihi: 18.10.2017).
- Türkiye Petrolleri, “Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu”, *TP*, Ankara (2017).

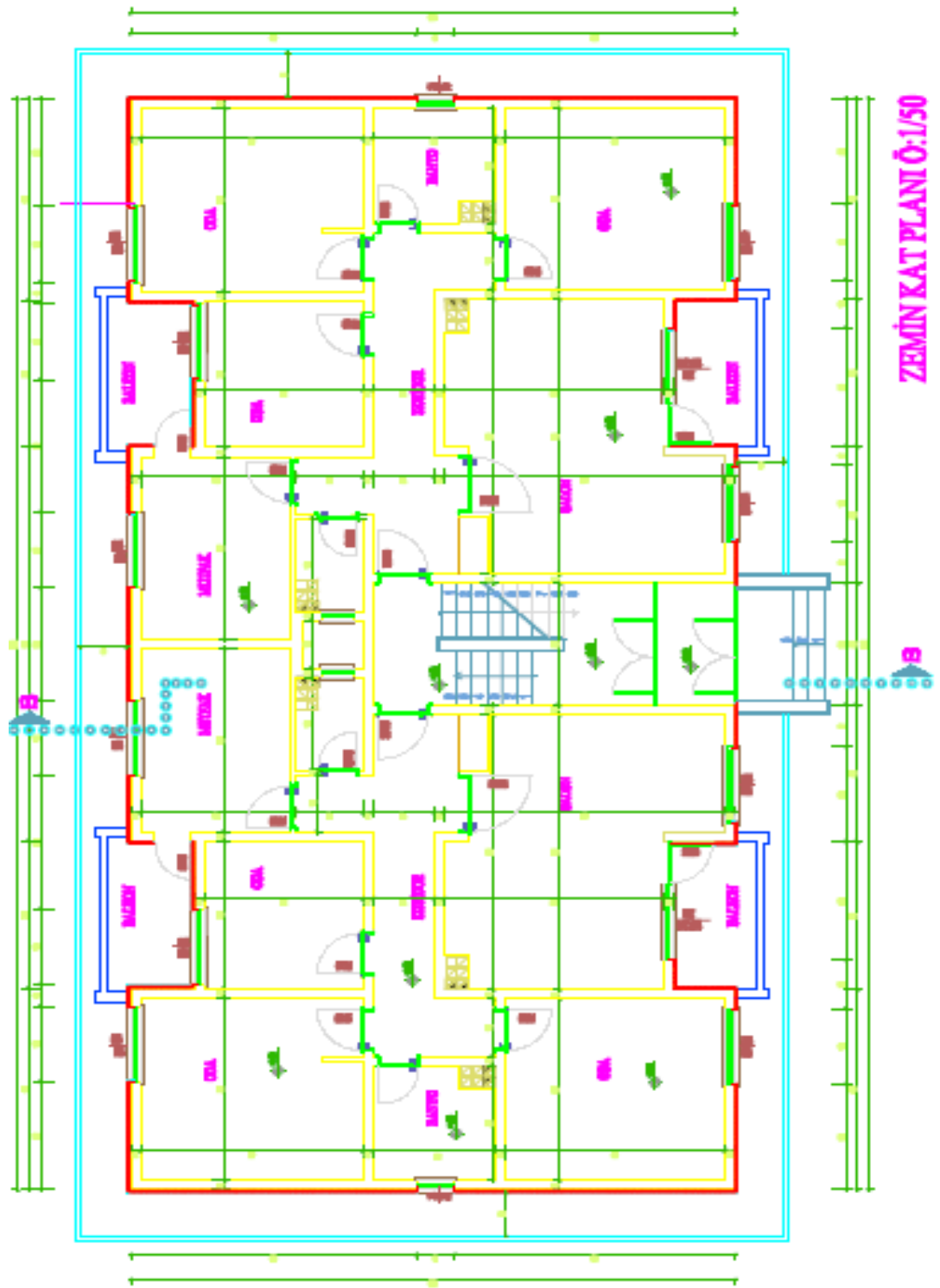
KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Türkmen, M., “Bina kabuğunda ısı yalıtımı uygulamalarının yapısal performansı ve etkinliğinin İstanbul’da bir alan çalışması ile incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2016).
- Ucar, A. and Balo, F., “Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls”, **Renewable Energy** 35: 88-94 (2010).
- Uzun, İ., Yeşilyurt, K., Ünal, P., Muratlı, Ç. ve Çapuk, S., “EPS Isıl İletkenlik Hesaplamalarında Teorik modeller”, **EPS Haber**, 9 (2012).
- United Nations Environment Programme, “Buildings and Climate Change, Summary for decision makers”, **UNEP**, (2009).
- Vitra, “Dış cephe ısı yalıtım sistemleri teknik katalog”, **Vitra Therm**, (2013).
- Woodward, D. G., "Life Cycle Costing - Theory, Information Acquisition and Application", **International Journal of Project Management**, 15(6): 335-344 (1997).
- XPS, “XPS nedir?”, <http://www.xpsturkiye.org/>, (Erişim Tarihi: 19.10.2017).
- Yalıtımın Konut Değerine Katkısı, **İzolasyon Dünyası Dergisi**, Sayı 116 (2015).
- Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalikuş, O., Kara, İ., Erdem, Ş., ve Özgür, D., “Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri”, **Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)**, 487: 62-75 (2015).
- Yapı Güvenliği ve Yalıtım, **İzodergi**, Sayı 120 (2016).
- Yapı Kataloğu, “Gazbeton ve yatay delikli tuğla”, <http://www.yapikatalogu.com/>, (Erişim Tarihi: 21.04.2018).
- Yeşil Binalar, Çatılar ve Yalıtım, **İzodergi**, Sayı 121 (2016).
- Yılmaz, A., “Apartmanların dış kabuğuna uygulanan ısı yalıtımının bina enerji performansına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya (2012).
- Yılmaz, R., “Betonarme karkas yapılarda kolon ve kirişlerdeki ısı kayıplarının önlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya (2006).
- Yılmaz, Z., “Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji”, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 91: 7-15 (2006).

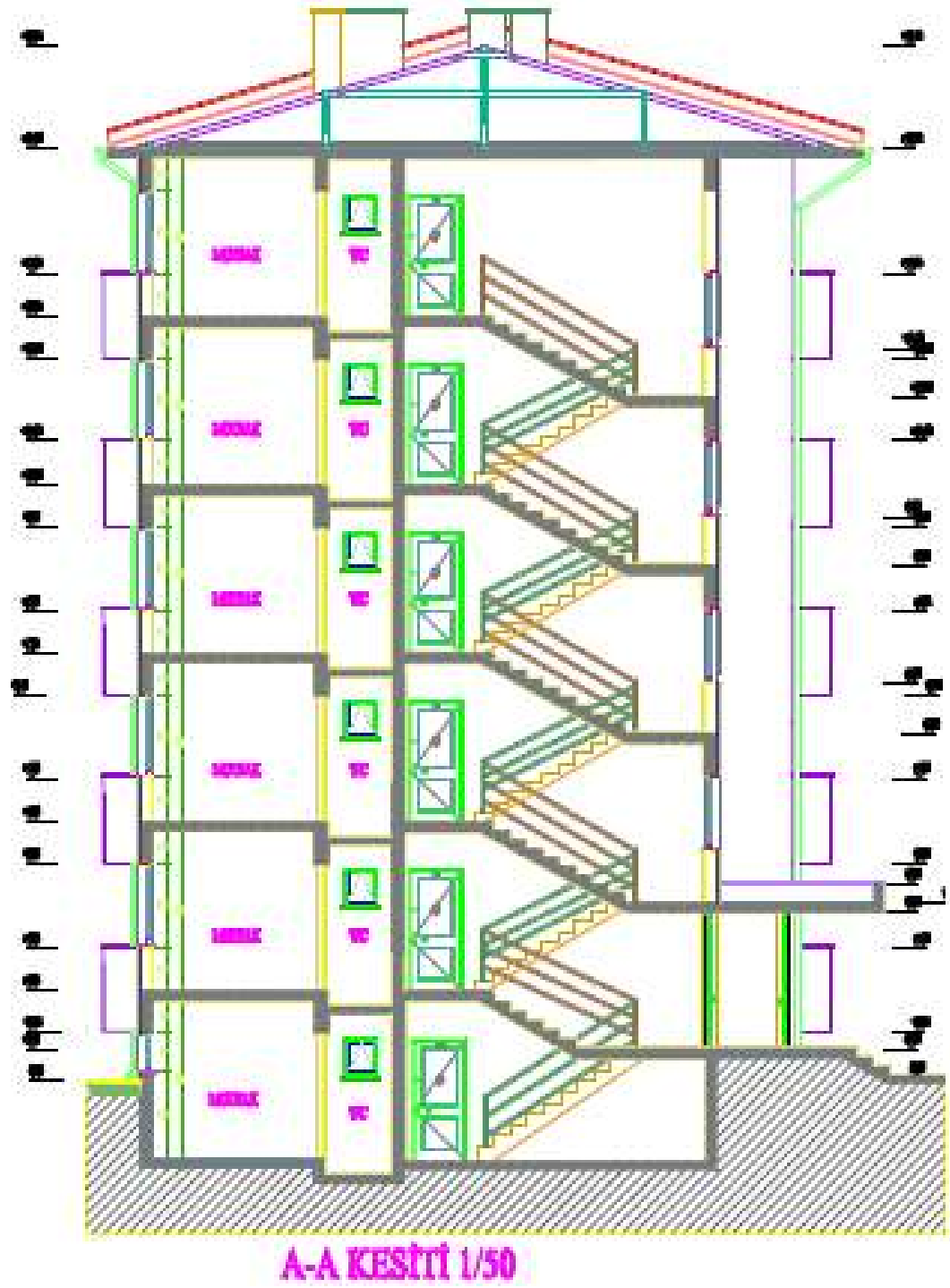
KAYNAKLAR (Devam ediyor)

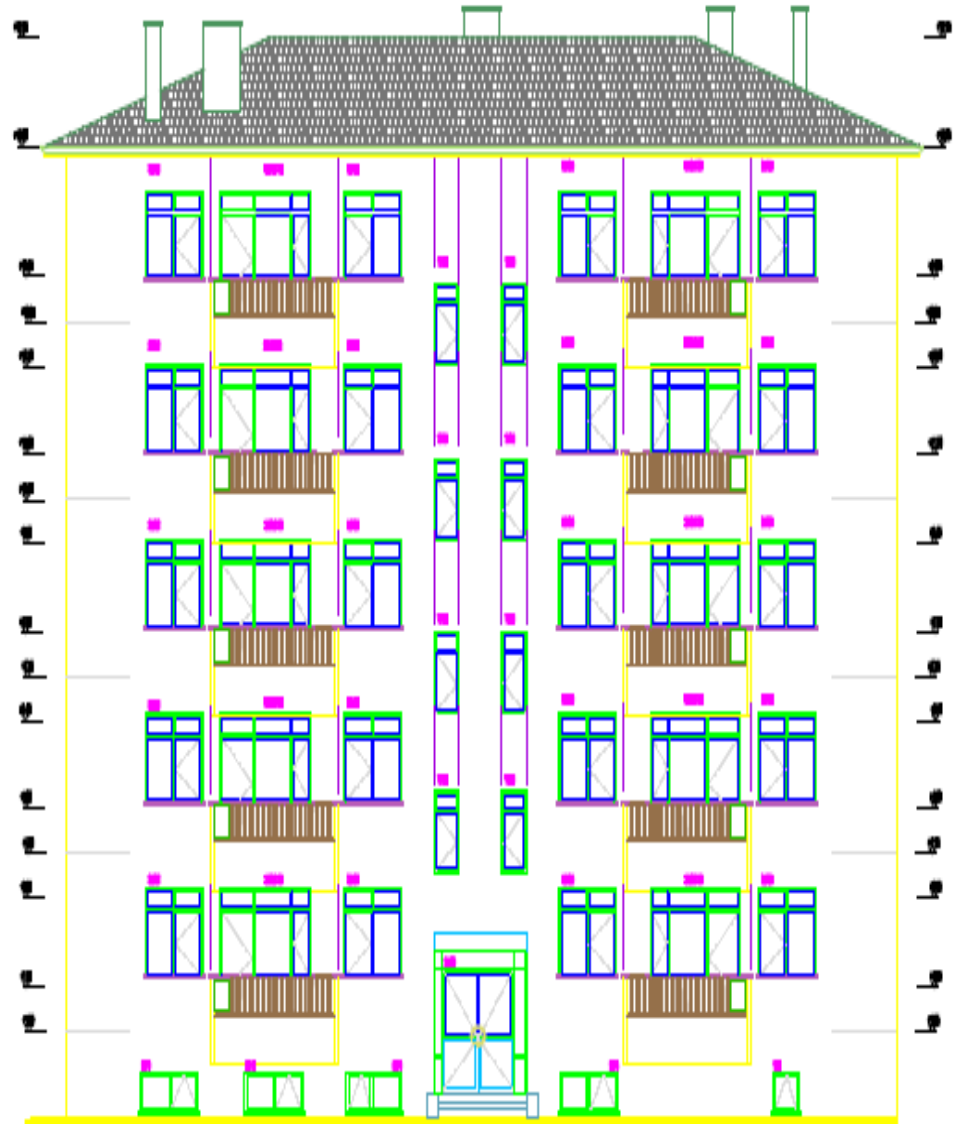
- Yu J., Yang C., Tian L. and Liao D., “ A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China”, *Applied Energy*, 86 (11): 2520-2529 (2009).
- Zach, J., Slavik, R. and Novak, V., “Investigation of the process of heat transfer in the structure of thermal insulation materials based on natural fibres”, *Procedia Engineering*, 151: 352-359 (2016).
- Zhang, M., “Experimental study of the heat flux effect on combustion characteristics of commonly exterior thermal insulation materials” , *Procedia Engineering* 84: 578-585 (2014).

EK-1: Örnek Binanın Zemin Kat Planı

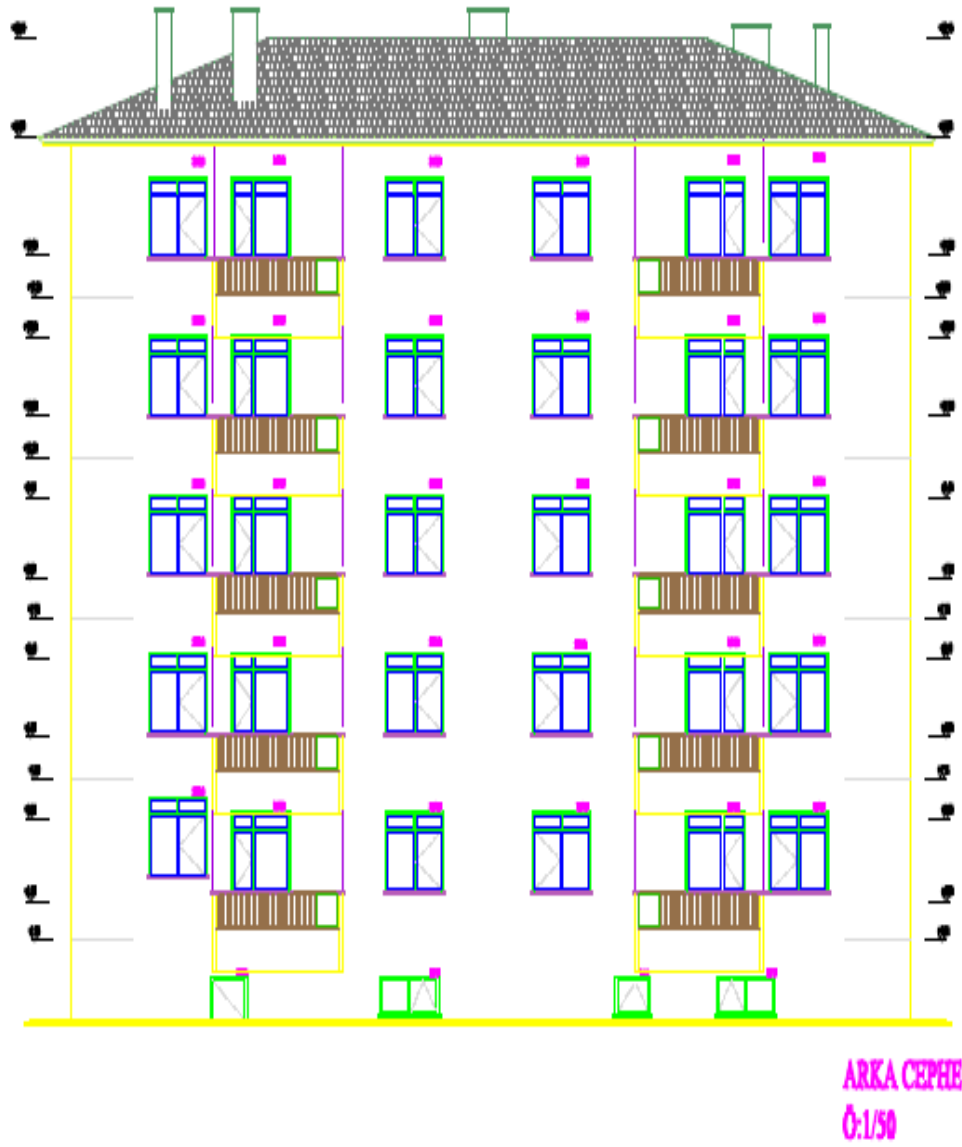


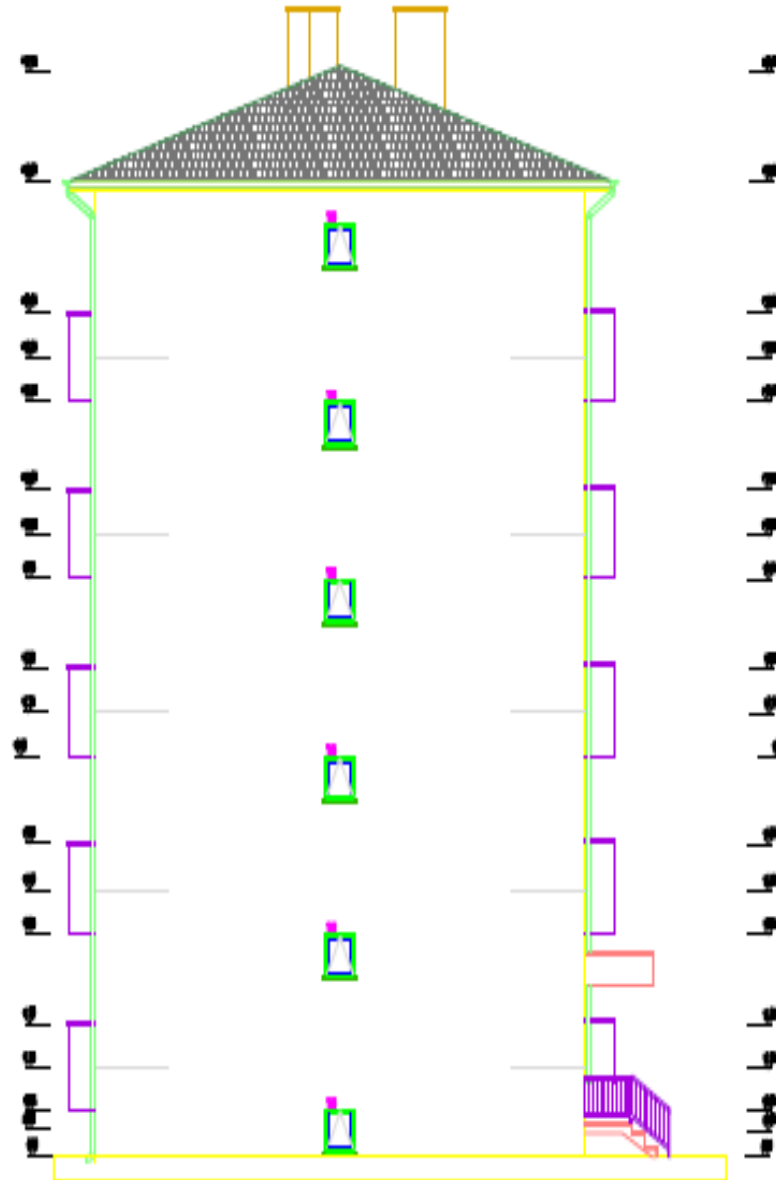
EK-2: Örnek Binanın A-A Kesiti



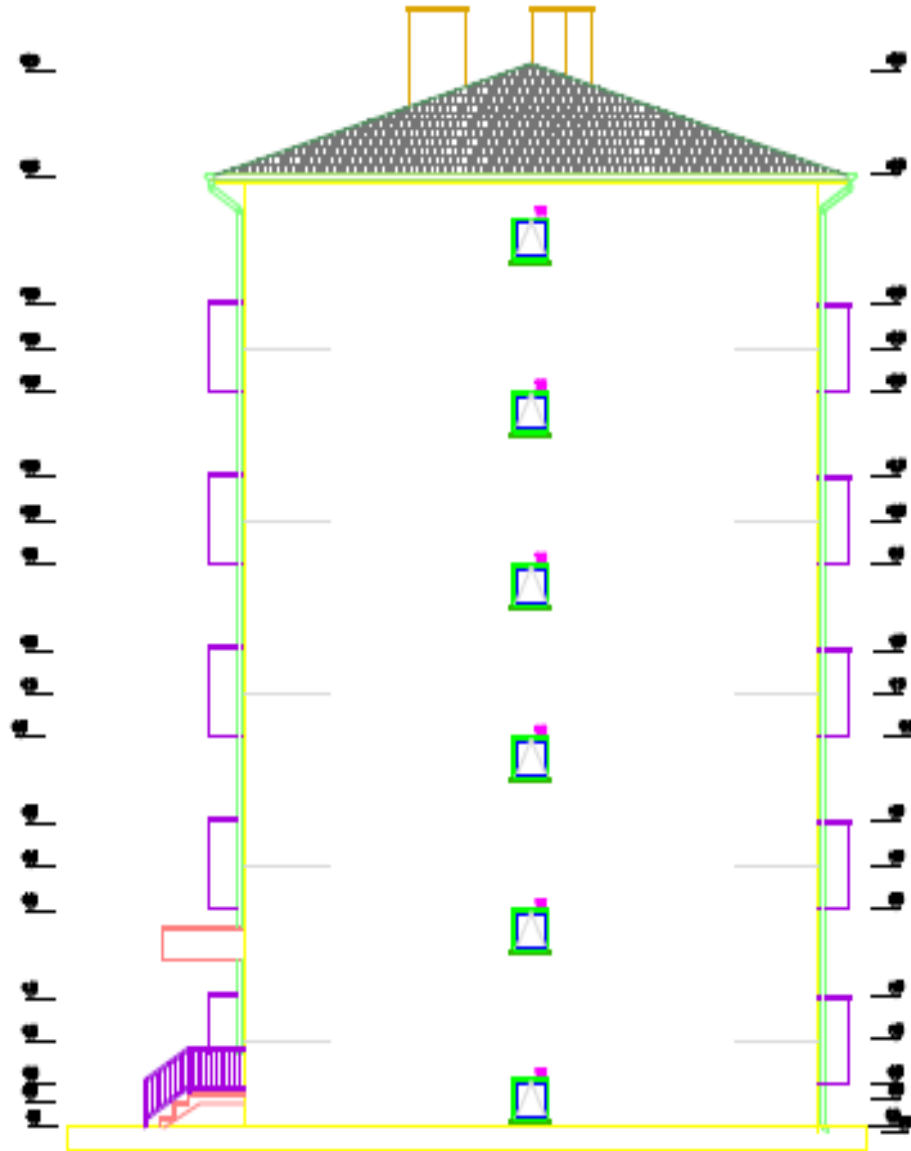
EK-3: Örnek Binanın Ön Cephe Görünümü

ÖN CEPHE
Ö:1/50

EK-4: Örnek Binanın Arka Cephe Görünümü

EK-5: Örnek Binanın Sol Yan Cephe Görünümü

SOL YAN CEPHE Ö:1/50

EK-6: Örnek Binanın Sağ Yan Cephe Görünümü

SAĞ YAN CEPHE Ö:1/50

EK-7: 6 cm XPS için hesaplar (Tuğla Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kaza nç kulla nım faktö rü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kaza ncı	Güne ş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2096	19,3	40447	7937	3323	11260	0,28	0,97	76.527.919
Şubat		18,9	39609		4097	12034	0,30	0,96	72.721.903
Mart		14,9	31226		4704	12640	0,40	0,92	50.794.393
Nisan		8,9	18652		5263	13200	0,71	0,76	22.342.663
Mayıs		4,6	9640		5785	13722	1,42	0,51	6.848.431
Haziran		0,5	1048		6027	13964	13,33	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3772		4933	12870	3,41	0,25	0
Ekim		7,4	15508		4126	12062	0,78	0,72	17.685.590
Kasım		13,4	28082		3180	11117	0,40	0,92	46.279.030
Aralık		17,7	37093		2917	10854	0,29	0,97	68.857.668

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 362.057.597 \text{ kJ}$$

1k J = 0,278 x 10⁻³ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 362.057.597 \text{ (kJ)} = 100.652 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{yıl} / V_{brüt} = 20,29 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{top}/V_{brüt} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q' = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q'$ ($20,29 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-8: 6 cm XPS için hesaplar (Gazbeton Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazanç kullanı m faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2070	19,3	39946	7937	3323	11260	0,28	0,97	75.229.604
Şubat		18,9	39118		4097	12033	0,31	0,96	71.450.497
Mart		14,9	30839		4704	12640	0,41	0,91	50.119.706
Nisan		8,9	18421		5263	13200	0,72	0,75	22.086.094
Mayıs		4,6	9521		5785	13722	1,44	0,50	6.894.652
Haziran		0,5	1035		6027	13964	13,49	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3726		4933	12870	3,45	0,25	0
Ekim		7,4	15316		4126	12062	0,79	0,72	17.187.791
Kasım		13,4	27734		3180	11117	0,40	0,92	45.377.609
Aralık		17,7	36634		2917	10854	0,30	0,96	67.948.317

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 356.294.270 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 356.294.270 \text{ (kJ)} = 99.050 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 19,97 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q' = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q' = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q'$ ($19,97 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-9: 7 cm EPS için hesaplar (Tuğla Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazanç kullanım faktörü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazanç	Güneş enerjisi kazanç	Toplam			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2089	19,3	40322	7937	3323	11260	0,28	0,97	76.204.753
Şubat		18,9	39486		4097	12034	0,30	0,96	72.405.435
Mart		14,9	31129		4704	12640	0,41	0,91	50.872.541
Nisan		8,9	18594		5263	13200	0,71	0,76	22.193.638
Mayıs		4,6	9610		5785	13721	1,43	0,50	7.127.071
Haziran		0,5	1045		6027	13964	13,37	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3761		4933	12870	3,42	0,25	0
Ekim		7,4	15460		4126	12062	0,78	0,72	17.561.682
Kasım		13,4	27996		3180	11117	0,40	0,92	46.054.656
Aralık		17,7	36979		2917	10854	0,29	0,97	68.561.294

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 360.981.071 \text{ kJ}$$

1k J = 0,278 x 10⁻³ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 360.981.071 \text{ (kJ)} = 100.353 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,23 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,23 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-10: 6 cm EPS için hesaplar (Gazbeton Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazan ç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerjis i kazan cı	Toplam			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2109	19,3	40699	7937	3323	11260	0,28	0,97	77.181.90 3
Şubat		18,9	39856		4097	12033	0,30	0,96	73.362.33 4
Mart		14,9	31421		4704	12640	0,40	0,92	51.299.28 3
Nisan		8,9	18768		5263	13200	0,70	0,76	22.644.24 1
Mayıs		4,6	9700		5785	13722	1,41	0,51	7.004.303
Haziran		0,5	1054		6027	13964	13,2 4	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3796		4933	12870	3,39	0,26	0
Ekim		7,4	15605		4126	12062	0,77	0,73	17.623.68 3
Kasım		13,4	28257		3180	11117	0,39	0,92	46.733.09 2
Aralık		17,7	37325		2917	10854	0,29	0,97	69.457.43 6

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 365.306.275 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 365.306.275 \text{ (kJ)} = 101.555 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,47 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,47 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-11: 8 cm cam yünü için hesaplar (Tuğla Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazan ç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2118	19,3	40874	7937	3323	11260	0,28	0,97	77.635.986
Şubat		18,9	40027		4097	12033	0,30	0,96	73.807.005
Mart		14,9	31556		4704	12640	0,40	0,92	51.649.844
Nisan		8,9	18849		5263	13200	0,70	0,76	22.853.637
Mayıs		4,6	9742		5785	13722	1,41	0,51	7.112.530
Haziran		0,5	1059		6027	13964	13,19	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3812		4933	12870	3,38	0,26	0
Ekim		7,4	15672		4126	12062	0,77	0,73	17.797.787
Kasım		13,4	28379		3180	11117	0,39	0,92	47.048.361
Aralık		17,7	37486		2917	10854	0,29	0,97	69.873.875

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 367.779.024 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,278 \times 10^{-3} \text{ kWh olduğuna göre}$$

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 367.779.024 \text{ (kJ)} = 102.243 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,61 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,61 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-12: 8 cm cam yünü için hesaplar (Gazbeton Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazan ç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2090	19,3	40329	7937	3323	11260	0,28	0,97	76.222.763
Şubat		18,9	39493		4097	12034	0,30	0,96	72.423.071
Mart		14,9	31135		4704	12640	0,41	0,91	50.886.445
Nisan		8,9	18597		5263	13200	0,71	0,76	22.201.943
Mayıs		4,6	9612		5785	13722	1,43	0,50	7.131.364
Haziran		0,5	1045		6027	13964	13,37	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3761		4933	12870	3,42	0,25	0
Ekim		7,4	15463		4126	12062	0,78	0,72	17.568.587
Kasım		13,4	28000		3180	11117	0,40	0,92	46.067.160
Aralık		17,7	36986		2917	10854	0,29	0,97	68.577.810

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 361.079.142 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 361.079.142 \text{ (kJ)} = 100.380 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,24 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,24 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-13: 8 cm taş yünü için hesaplar (Tuğla Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazan ç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kayıpları	İç ısı kazan cı	Güneş enerjisi kazan cı	Toplam			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2084	19,3	40228	7937	3323	11260	0,28	0,97	75.959.778
Şubat		18,9	39394		4097	12034	0,31	0,96	72.165.537
Mart		14,9	31057		4704	12640	0,41	0,91	50.683.415
Nisan		8,9	18551		5263	13200	0,71	0,76	22.080.670
Mayıs		4,6	9588		5785	13722	1,43	0,50	7.068.683
Haziran		0,5	1042		6027	13964	13,40	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3752		4933	12870	3,43	0,25	0
Ekim		7,4	15424		4126	12062	0,78	0,72	17.467.754
Kasım		13,4	27930		3180	11117	0,40	0,92	45.884.569
Aralık		17,7	36893		2917	10854	0,29	0,97	68.336.627

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \Sigma Q_{ay} = 359.647.034 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 359.647.034 \text{ (kJ)} = 99.982 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,16 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,16 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-14: 7 cm taş yünü için hesaplar (Gazbeton Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kaza nç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgöl ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	20978	19,3	40489	7937	3323	11260	0,28	0,97	76.637.9 25
Şubat		18,9	39650		4097	12034	0,30	0,96	72.829.6 29
Mart		14,9	31259		4704	12640	0,40	0,92	50.879.3 20
Nisan		8,9	18671		5263	13200	0,71	0,76	22.393.3 91
Mayıs		4,6	9650		5785	13722	1,42	0,51	6.874.65 0
Haziran		0,5	1049		6027	13964	13,3 1	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3776		4933	12870	3,41	0,25	0
Ekim		7,4	15524		4126	12062	0,78	0,72	17.727.7 69
Kasım		13,4	28112		3180	11117	0,40	0,92	46.355.4 07
Aralık		17,7	37133		2917	10854	0,29	0,97	68.958.5 55

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 362.656.647 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 362.656.647 \text{ (kJ)} = 100.819 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,32 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,32 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-15: 5 cm PUR için hesaplar (Tuğla Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kazan ç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H(\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2105	19,3	40619	7937	3323	11260	0,28	0,97	76.975.548
Şubat		18,9	39778		4097	12034	0,30	0,96	73.160.255
Mart		14,9	31359		4704	12640	0,40	0,92	51.139.972
Nisan		8,9	18731		5263	13200	0,70	0,76	22.549.082
Mayıs		4,6	9681		5785	13722	1,42	0,51	6.955.120
Haziran		0,5	1052		6027	13964	13,27	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3788		4933	12870	3,40	0,25	0
Ekim		7,4	15574		4126	12062	0,77	0,73	17.544.562
Kasım		13,4	28202		3180	11117	0,39	0,92	46.589.819
Aralık		17,7	37252		2917	10854	0,29	0,97	69.268.188

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - \eta(\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 364.182.546 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 364.182.546 \text{ (kJ)} = 101.243 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,41 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,41 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-16: 5 cm PUR için hesaplar (Gazbeton Duvar).

Aylar	Isı kaybı			Isı kazançları			KK O	Kaza nç kullan ım faktör ü	Isıtma enerjisi ihtiyacı
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklı k farkı	Isı kayıpla rı	İç ısı kazan cı	Güneş enerji si kazan cı	Topla m			
	$H=H_T+H_v$ (W/K)	$\theta_i - \theta_e$ (K, °C)	$H (\theta_i - \theta_e)$ (W)	ϕ_i (W)	ϕ_s (W)	$\phi_T = \phi_i + \phi_s$ (W)			
Ocak	2078	19,3	40101	7937	3323	11260	0,28	0,97	75.630.860
Şubat		18,9	39270		4097	12034	0,31	0,96	71.843.436
Mart		14,9	30959		4704	12640	0,41	0,91	50.429.483
Nisan		8,9	18492		5263	13200	0,71	0,76	21.928.993
Mayıs		4,6	9558		5785	13722	1,44	0,50	6.990.288
Haziran		0,5	1039		6027	13964	13,44	0,07	0
Temmuz		0,0	0		5889	13826	0,00	0,00	0
Ağustos		0,0	0		5616	13553	0,00	0,00	0
Eylül		1,8	3740		4933	12870	3,44	0,25	0
Ekim		7,4	15375		4126	12062	0,78	0,72	17.341.640
Kasım		13,4	27842		3180	11117	0,40	0,92	45.656.201
Aralık		17,7	36776		2917	10854	0,30	0,96	68.316.308

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay})] \cdot t \text{ (J)}$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 358.137.209 \text{ kJ}$$

1k J = $0,278 \times 10^{-3}$ kWh olduğuna göre

$$Q_{yıl} = 0,278 \times 10^{-3} \times 358.137.209 \text{ (kJ)} = 99.562 \text{ kWh}$$

$$A_{top} = 1813,63 \text{ m}^2$$

$$V_{brüt} = 4960,41 \text{ m}^3$$

Örnek binadaki birim hacim başına düşen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı;

$$Q = Q_{\text{yıl}} / V_{\text{brüt}} = 20,07 \text{ kWh/m}^3$$

$A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}} = 0,3656 \text{ m}^{-1}$ oranı 3. Bölge için Tablo 18'den alınan $Q^1 = 24,4 \times A/V + 11,7$ eşitliğinde yerine konulduğunda örnek bina için olması gereken en büyük ısı kaybı $Q^1 = 20,62 \text{ kWh/m}^3$ bulunur.

$Q < Q^1$ ($20,07 < 20,62$) olduğundan bu bina için hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının olması gereken en büyük değerin altında olduğu görülmektedir. O halde bu proje, bu standardda verilen hesap metoduna göre uygundur.

EK-17: Hesaplanmış Yüzeysel Isıl İletim (Taşınım) Direnç Değerleri

Sıra No	Yapı bileşeni tipi ³⁾	Yüzeysel ısı iletim direnci ¹⁾ 2)	
		R _i (m ² K / W)	R _e (m ² K / W)
1	Dış duvar (Sıra no 2 ‘de verilenin dışındaki dış duvarlar)	0,13	0,04
2	Arkadan havalandırılan giydirme cepheli ⁴⁾ dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar		5)
4	Toprak temaslı dış duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması hâlinde	0,13	5)
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması hâlinde	0,17	
8	Bodrum tavanı	0,17	5)
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları		0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0

1) Basitleştirmek amacıyla bütün durumlarda R_i =0, 13 m²K/W ve 4 ve 10’uncu sıradaki durumlar hariç olmak üzere R_e = 0, 04 m²K/W değerleri hesaplamalarda kullanılabilir.

2) Yapı elemanlarından buhar geçişinin tahkiki ve sınırlandırılması ile ilgili hesaplamalarda kullanılacak olan iç ve dış yüzeysel ısı iletim direnci için Madde 2.4.6’ya bakınız.

3) Yapı bileşenlerinin bina üzerindeki konumları için Şekil 1 ‘e bakınız.

4) Hava boşluklu sandviç duvarlarda Sıra no 1 ‘de verilen değerler kullanılır.

5) Yapı bileşeninin iç mekânda yer alması durumunda; hesaplamalarda iç ve dış yüzey ısı iletim direnç değerleri aynı kabul edilmelidir.

EK-18: Farklı Amaçlarla Kullanılan Binalar İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Aylık Ortalama İç Sıcaklık Değerleri [θ_i (°C)]

	Isıtılacak binanın adı	Sıcaklığı (°C)
1	Konutlar	19
2	Yönetim binaları	
3	İş ve hizmet binaları	
4	Otel, motel ve lokantalar	20
5	Öğretim binaları	
6	Tiyatro ve konser salonları	
7	Kışlalar	
8	Ceza ve tutuk evleri	
9	Müze ve galeriler	
10	Hava limanları	
11	Hastaneler	22
12	Yüzme havuzları	26
13	İmalat ve atölye mahalleri	16

EK-19: Farklı Derece Gün (DG) Bölgeleri İçin Isı Kaybı ve Yoğuşma Hesaplamalarında Kullanılacak Aylık Ortalama Dış Sıcaklık Değerleri [θ_e (°C)]

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
OCAK	8,4	2,9	-0,3	-5,4
ŞUBAT	9,0	4,4	0,1	-4,7
MART	11,6	7,3	4,1	0,3
NİSAN	15,8	12,8	10,1	7,9
MAYIS	21,2	18,0	14,4	12,8
HAZİRAN	26,3	22,5	18,5	17,3
TEMMUZ	28,7	24,9	21,7	21,4
AĞUSTOS	27,6	24,3	21,2	21,1
EYLÜL	23,5	19,9	17,2	16,5
EKİM	18,5	14,1	11,6	10,3
KASIM	13,0	8,5	5,6	3,1
ARALIK	9,3	3,8	1,3	-2,8

EK-20: Bütün Derece Gün Bölgeleri İçin Hesaplamalarda Kullanılacak Olan Ortalama Aylık Güneş Işınımı Şiddeti Değerleri [W/m^2]

	Oca k	Şuba t	Mar t	Nisa n	Mayı s	Hazira n	Temmu z	Ağusto s	Eylü l	Eki m	Kası m	Aralı k
I güney	72	84	87	90	92	95	93	93	89	82	67	64
I kuzey	26	37	52	66	79	83	81	73	57	40	27	22
I batı/doğ u	43	57	77	90	114	122	118	106	81	59	41	37

EK-21: İllere Göre Derece Gün Bölgeleri**1. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ**

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)	KÖYCEĞİZ (Muğla)	MİLAS (Muğla)
GÖKOVA (Muğla)			

2. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ

SAKARYA	ÇANAKKALE	KAHRAMAN MARAŞ	RİZE	
TRABZON				
ADİYAMAN	DENİZLİ	KİLİS	SAMSUN	
YALOVA				
AMASYA	DİYARBAKIR	KOCAELİ	SİİRT	
ZONGULDAK				
BALIKESİR	EDİRNE	MANİSA	SİNOP	DÜZCE
BARTIN	GAZİ ANTEP	MARDİN	ŞANLI URFA	
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)	CİDE (Kastamonu)	DOĞANYURT (Kastamonu)

3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ

AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KIRŞEHİR	TUNCELİ
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

TOSYA (Kastamonu)

4. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ

AĞRI	ERZURUM	KAYSERİ
ARDAHAN	GÜMÜŞHANE	MUŞ
BAYBURT	HAKKÂRİ	SİVAS
BİTLİS	KARS	VAN
ERZİNCAN	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)

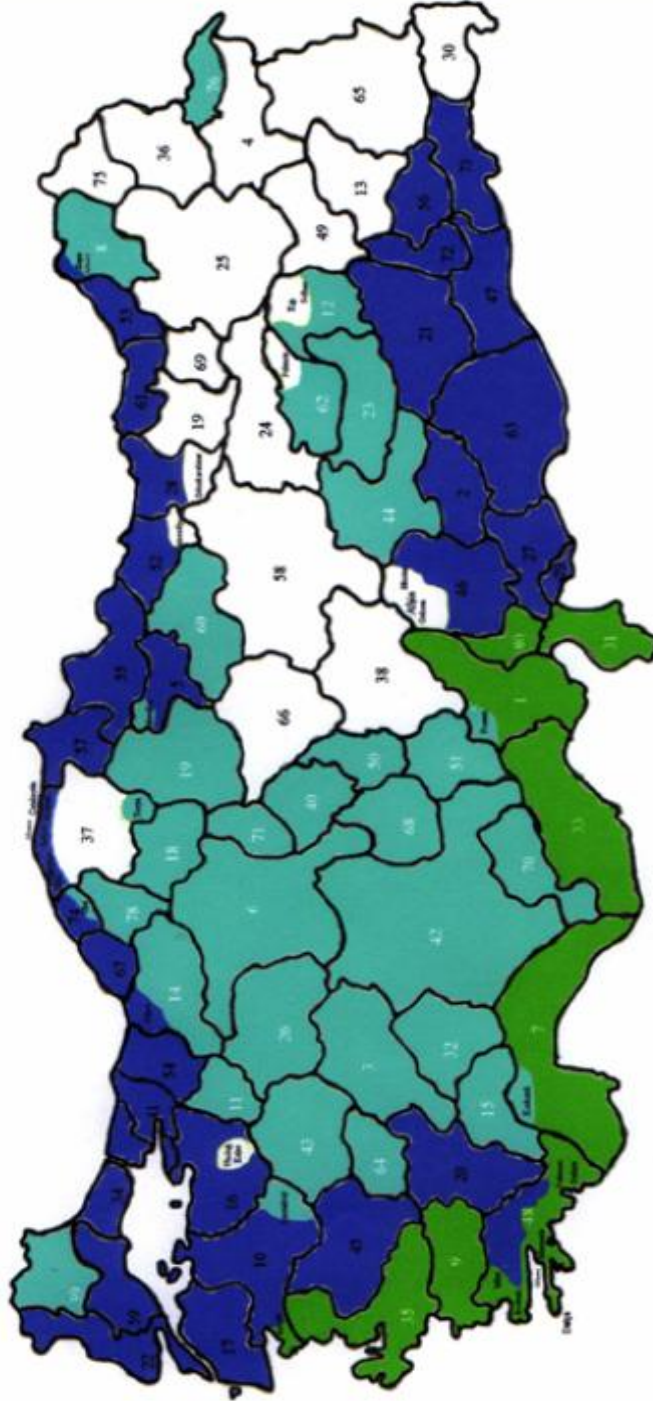
İli 3. Bölgede olup da kendisi 4.Bölgede olan belediyeler

KIĞI (Bingöl) PÜLÜMÜR (Tunceli) SOLHAN (Bingöl)

Not - Ek'te adı bulunmayan yerleşim birimleri, bağlı bulundukları belediyenin bölgesinde sayılır.

EK-22: Derece Gün Bölgelerine Göre İllerimiz

Derece gün bölgelerine göre illerimiz



1. Bölge 2. Bölge 3. Bölge 4. Bölge

01-ADANA	10-BALIKESİR	13-ÇORUM	28-GİRESUN	37-KASTAMONU	46-K.MARAŞ	55-SAMSUN	64-UŞAK	73-ŞIRNAK
02-ADYAMAN	11-BİLECİK	20-DENİZLİ	29-GÜMÜŞHANE	38-KAYSERİ	47-MARDİN	56-SİRT	65-VAN	74-BARTIN
03-AFYON	12-BİNGÖL	21-DIYARBAKIR	30-HAKKARİ	39-KIRKLARELİ	48-MUĞLA	57-SİNOP	66-YOZGAT	75-ARDAHAN
04-AGRI	13-BİTLİS	22-EDİRNE	31-HATAY	40-KIRŞEHİR	49-MUŞ	58-SIVAS	67-ZONGULDAK	76-İGDIR
05-AMASYA	14-BOLU	23-ELAZIG	32-İSPARTA	41-KOCAELİ	50-NEVŞEHİR	59-TEKİRDAĞ	68-AKSARAY	77-YALOVA
06-ANKARA	15-BURDUR	24-ERZINCAN	33-İÇEL	42-KONYA	51-NİĞDE	60-TOKAT	69-BAYBURT	78-KARABÜK
07-ANTALYA	16-BURSA	25-ERZURUM	34-İSTANBUL	43-KÜTAHYA	52-ORDU	61-TRABZON	70-KARAMAN	79-KİLİS
08-ARTVİN	17-ÇANAKKALE	26-ESKİŞEHİR	35-İZMİR	44-MALATYA	53-RİZE	62-TUNCELİ	71-KIRIKKALE	80-OSMANIYE
09-AYDIN	18-ÇANKIRI	27-GAZİANTEP	36-KARS	45-MANİSA	54-SAKARYA	63-ŞANLIURFA	72-BATMAN	81-DÜZCE

EK-23: Bazı Pencere Sistemlerinin U_p Değerleri

Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısı geçirgenlik (U_p) katsayıları W/m^2K		TEK CAMLI PENCERE	ÇİFT CAMLI PENCERE (kaplamasız cam)				ÇİFT CAMLI LOW-E KAPLAMALI PENCERE			
			ARA BOŞLUK (mm)				ARA BOŞLUK (mm)			
			6	9	12	16	6	9	12	16
	DOĞRAMASIZ	5,7	3,3	3,0	2,9	2,7	2,6	2,1	1,8	1,6
D O Ğ R A M A T İ P İ	AHŞAP DOĞRAMA (meşe, dişbudak/sert ağaçlar)	5,1	3,3	3,1	3,0	2,8	2,8	2,3	2,2	2,0
	AHŞAP DOĞRAMA (iğne yapraklı yumuşak ağaçlar)	4,9	3,1	2,9	2,8	2,6	2,6	2,2	2,0	1,8
	PLASTİK DOĞRAMA (2 odacıklı)	5,2	3,4	3,2	3,0	2,9	2,9	2,4	2,3	2,1
	PLASTİK DOĞRAMA (3 odacıklı)	5,0	3,2	3,0	2,8	2,7	2,7	2,2	2,1	1,9
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA	5,9	4,0	3,9	3,7	3,6	3,6	3,1	3,0	2,8
	ALÜMİNYUM DOĞRAMA (yalıtım köprülü)	5,2	3,4	3,2	3,0	2,9	2,9	2,4	2,3	2,1

EK-24: Kapı Sistemlerinin U_k Değerleri

Kapı Türü	U_k değerleri
Ağaç, plastik (dış)	3,5 W/m ² K
Metal-Isı yalıtımlı (dış)	4 W/m ² K
Metal-Isı yalıtımsız (dış)	5,5 W/m ² K
Isıtılmayan iç ortama açılan	2 W/m ² K

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Veli BEKTAŞ
Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri/Sarız/18.09.1990

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İletişim

Adres : Etimesgut/ANKARA
E-Posta Adresi : veli_bektass@hotmail.com

Akademik Çalışmaları

Bektaş, V., Çerçevik, A.E. ve Kandemir, S.Y., “Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi”, **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 4 (1), Bilecik (2017). (derleme makale)

Bektaş, V., Kandemir, S.Y. ve Açıklalp, E., “Determination of Optimum Insulation Thickness According to Different Insulation Materials for Bilecik”, **International Congress On Engineering And Life Science**, Kastamonu (2018). (sözlü sunum)

Bektaş, V. ve Kandemir, S.Y., “Assessment of Thermal Insulation Materials in the Buildings”, **International Congress On Engineering And Life Science**, Kastamonu (2018). (poster sunumu)

Bektaş, V., Kandemir, S.Y. ve Açıklalp, E., “Dıştan Yalıtım Uygulamalarında Farklı Duvar Modelleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi ve Ekonomik Analizler”, **DÜMF Mühendislik Dergisi**, (2018). (yayın aşamasında)

Yabancı Dil Bilgisi

YÖKDİL (05.03.2017) : 90
YDS (02.04.2017) : 76,25