

**DIŞ DUVAR ÖZELLİKLERİNİN ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Gökhan KAPLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2012
ANKARA**

Gökhan Kaplan tarafından hazırlanan “DIŞ DUVAR ÖZELLİKLERİNİN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 21/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökhan KAPLAN

DIŞ DUVAR ÖZELLİKLERİNİN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gökhan KAPLAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2012

ÖZET

Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece yüzde 5 kadar artmış olmakla beraber, gelişmekte olan Türkiye’de son 25 yıldaki artış oranı yüzde 100 rakamının üzerindedir. Enerji tüketiminin artması ülke ekonomisine yük getirmesinin yanı sıra çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Sınırlı fosil yakıt kaynakları, enerjinin verimli şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Dış duvarların iç mekân koşullarının belirlenmesine etkisi, dış duvarın yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, dış duvar özelliklerinin ısı performansını deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla dış duvar numunelerinde XPS ve EPS ısı yalıtımı malzemesi ve üç farklı ısı yalıtım kalınlığı kullanılmıştır. Isıl performans deneyi, TS EN ISO 8990 standardına göre sıcak kutu deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Üretilen duvar numunelerine ait U değerleri ısı performans deneyi sonucunda elde edilmiştir. Yalıtımlı dış duvar deney sonuçları, hem birbirleri ile hem de yalıtımsız kontrol duvarları ile karşılaştırılmıştır. Nümerik analiz ve deney sonuçlarına göre, Ankara ili için dış duvarlarda kullanılacak en uygun ısı yalıtım malzemesi 5 cm kalınlığında XPS olarak belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.3.035

Anahtar Kelimeler : Dış duvar, Isıl performans, Sıcak kutu, EPS, XPS

Sayfa Adedi : 111

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE
CHARACTERISTICS OF EXTERNAL WALL
(M.Sc. Thesis)**

Gökhan KAPLAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012**

ABSTRACT

The last 25 years throughout the world per capita energy consumption increased only by 5 percent, although emerging in Turkey is over 100 per cent increase in the last 25 years. Load performance by increasing energy consumption as well as the country's economy leads to environmental pollution. Limited fossil fuel resources required efficient use of the energy. The effect on determining the interior conditions of exterior walls is directly related to the structure of exterior walls. In this study, thermal performance of properties of exterior wall was investigated as experimental. For this purpose, XPS and EPS heat insulation materials and three different thicknesses of heat insulation were used on the exterior wall samples. The test of thermal performance was carried out according to TS EN ISO 8990 standard by hot-box test instrument. U values of produced exterior wall samples were obtained by thermal performance test. The test results of insulated exterior wall were compared both each other and with uninsulated control exterior wall. According to the test results and numerical analysis, the most suitable insulation material using on exterior walls for the province of Ankara was determined as XPS of 5 cm thickness.

Science Code : 714.3.035
Key Words : Exterior wall, Thermal performance, Hot-box, EPS, XPS
Page Number : 111
Adviser : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince danışmanlığımı yapan ve çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen çalışmalarımı ve beni sürekli yönlendiren Sayın Hocam Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a,

Çalışmalarım süresince değerli bilgileri ile bana yardımcı olan hocalarım Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, Yrd. Doç. Dr. A. Burcu GÜLTEKİN'e, Araş. Gör. Mustafa DAYI'ya, deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Tesisat Eğitimi Anabilim Dalı öğrenci asistanlarından ve arkadaşım Halit KAÇMAZ'a

Tez süresince bana yardımcı olan arkadaşlarım Aydın ÇİÇEKÇİ ve Arş. Gör. Rüya KILIÇ'a ve yetişmemde maddi manevi yardımlarını esirgemeyen bugünlerimi borçlu olduğum sevgili AİLEME içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Yapı Kabuğu ve Dış Duvarlar.....	4
2.1.1. Dış duvarlar ve özellikleri	6
2.1.2. Dış duvar sistemlerinde katmanlaşma.....	6
2.1.3. Dış duvar üretim yöntemleri.....	7
2.2. Isı ve Sıcaklık Tanımı.....	9
2.3. Isı Transferinin Esasları.....	10
2.3.1. Kondüksiyonla (iletim) ısı transferi	10
2.3.2. Konveksiyonla (taşınım) ısı transferi	11
2.3.3. Radyasyonla (ışınım) ısı transferi	11
2.4. Isı Yalıtımının Önemi	11
2.5. Isı Yalıtımının Faydaları.....	12
2.5.1. Isı yalıtım prensipleri	13
2.5.2. Isı köprüleri.....	14

Sayfa

2.6. Türkiye’de Isı Yalıtımının Tarihsel Geçmişi	14
2.7. Isı Yalıtımı ile İlgili Mevzuatlar.....	15
2.8. Isı Yalıtım Malzemeleri	18
2.8.1. Isı yalıtım malzemelerinin tanımı	18
2.8.2. Isı yalıtım malzemelerinde aranılan özellikler	18
2.8.3. Isı yalıtım malzemelerinin genel yapısı ve özellikleri	20
2.8.4. Isı yalıtım malzemelerinin içyapısı	20
2.8.5. Isı yalıtım malzemelerinin genel özellikleri	21
2.9. Isı Yalıtımında Kullanılan Malzemeler	22
2.9.1. Petrol esaslı malzemeler	22
2.9.2. Poliüretan köpük	24
2.9.3. Cam yünü.....	25
2.9.4. Taş yünü	26
2.9.5. Odun talaşı levhalar.....	27
2.9.6. Fenol köpüğü	27
2.9.7. Mantar levhalar	28
2.9.8. Cam köpüğü.....	28
2.10. Isı Yalıtım Malzemelerinin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	29
2.11. Isı Yalıtım Uygulamaları	33
2.11.1. Duvarlarda ısı yalıtım uygulamaları.....	33
2.12. Isı Yalıtımı ve Enerji Verimliliği	44
2.13. Isı Yalıtımı ile İlgili Önceki Araştırmalar.....	49
2.13.1. Nümerik ve matematiksel modellemeler ile ilgili çalışmalar	49
2.13.2. Deneysel (Hot Box) olarak yapılan ilgili çalışmalar	52

Sayfa

3. MATERYAL ve METOT	62
3.1. Materyal	62
3.1.1. Tuğla.....	62
3.1.2. Çimento	63
3.1.3. Kireç	63
3.1.4. Kum.....	64
3.1.5. Takviyeli harç	64
3.1.6. Temditli harç.....	64
3.1.7. Isı yalıtım malzemesi	64
3.2. Metot.....	66
3.2.1. Deney iklim şartları.....	66
3.2.2. Harçların üretilmesi.....	66
3.2.3. Duvarların örülmesi.....	66
3.2.4. Isı yalıtımı yapılması.....	67
3.2.5. İç ve dış sıvanın yapılması.....	67
3.2.6. Mahfazalı sıcak kutu (hot box) ve deneyi	68
3.3. Duvarlara ait ısı hesaplamaları.....	71
3.3.2. U değerlerinin hesaplanması.....	72
3.3.3. TS 825'e göre yapılan hesaplamalar	73
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	74
4.1. KD ve XPS Kodlu Duvarlarda Isıl İşlem Kararlılık Süreleri.....	74
4.1.1. KD ve XPS Kodlu Duvarlarda U değerlerinin karşılaştırılması.....	82
4.2. EPS Yalıtımlı Duvarlarda Isıl İşlem Kararlılık Süreleri.....	89
4.2.1. KD ve EPS kodlu duvarların U değerlerinin karşılaştırılması.....	96

	Sayfa
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
5.1. Sonuçlar	103
5.2. Öneriler	104
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	111

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de üretilen bazı ısı yalıtım malzemeleri	32
Çizelge 2.2. İthal edilen bazı ısı yalıtım malzemeleri.....	32
Çizelge 2.3. Tek ve çok katlı yapılarda ısı kayıp yerleri ve oranları.....	33
Çizelge 2.4. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması.....	53
Çizelge 2.5. Farklı malzemelerin sıcak kutu ve literatür açısından karşılaştırılması .	56
Çizelge 2.6. Tuğlaya ait sıcak kutu ve nümerik analiz sonuçları	58
Çizelge 3.1. Duvar örmede kullanılan yatay delikli tuğlanın TS EN 771-1 göre teknik özellikleri	62
Çizelge 3.2. Sıva ve harç uygulamalarında kullanılan PKÇ’nin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	63
Çizelge 3.3. Sıva ve harç uygulamalarında kullanılan kirecin kimyasal kompozisyonu.....	63
Çizelge 3.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan harç karışım oranları (hacimce)	64
Çizelge 3.5. Kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri	65
Çizelge 3.6. EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması	65
Çizelge 3.7. Deneylerde kullanılan duvarlara ait bazı özellikler.....	67
Çizelge 4.1. XPS kodlu yalıtımlı ve KD kodlu kontrol duvarlarının kararlılık süreleri.....	82
Çizelge 4.2. KD ve XPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825’e göre hesaplanan ısı geçirgenlik direnci (U) değerleri.....	83
Çizelge 4.3. TS EN ISO 8990’a göre hesaplanan XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri.	85
Çizelge 4.4. TS 825’e göre hesaplanan XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri.....	86

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.5. EPS yalıtımlı ve kontrol duvarların kararlılık süreleri	94
Çizelge 4.6. KD ve EPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan ısı geçirgenlik direnci (U) değerleri.....	96
Çizelge 4.7. TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri.	99
Çizelge 4.8. TS 825'e göre hesaplanan EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri.....	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Duvarlarda meydana gelen enerji kayıpları.....	45
Şekil 2.2. Konutlarda oluşan toplam ısı enerjisi kaybı	45
Şekil 2.3. Duvarlarda yalıtım kalınlığı.....	46
Şekil 2.4. AB’nde sektörsel enerji tüketiminin dağılımı.....	47
Şekil 2.5. Svendsen ve Rose’nin deneysel çalışmada kullandığı sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	52
Şekil 2.6. Isı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması	54
Şekil 2.7. İsveç Teknik Araştırma Enstitüsü tarafından tasarlanan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	55
Şekil 2.8. Asdrubali tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	55
Şekil 2.9. Ghazi ve Taner tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	57
Şekil 2.10. Mavromatidis vd. tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	59
Şekil 2.11. Deneysel çalışmada kullanılan çok katmanlı yalıtım sisteminin görünümü	60
Şekil 2.12. Ulster Üniversitesi tarafından tasarlanan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	61
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü	69
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan termokuplların duvar yüzeyindeki iz düşümü	70
Şekil 4.1. KD-0 kodlu yalıtımsız ve iç-dış yüzeyleri sıvasız duvarda ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	74
Şekil 4.2. KD-1 kodlu yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı duvarda ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	75

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. KD-2 kodlu yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	77
Şekil 4.4. XPS-3 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi.....	78
Şekil 4.5. XPS-4 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi.....	79
Şekil 4.6. XPS-5 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi.....	81
Şekil 4.7. KD ve XPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinin karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.8. XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990'a göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması	86
Şekil 4.9. XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS 825'e göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.10. XPS yalıtımlı duvarlarda TS 8990 ve TS 825'e göre yalıtım kalınlığı – U değeri ilişkisi	88
Şekil 4.11. XPS yalıtımlı duvarlarda TS 8990 ve TS 825 U değerleri arasındaki ilişki	89
Şekil 4.12. EPS-3 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	90
Şekil 4.13. EPS-4 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	91
Şekil 4.14. EPS-5 yalıtımlı duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi	92
Şekil 4.15. XPS ve EPS kodlu duvarlar ile KD-2 kodlu kontrol duvarı ısıtım kararlılık sürelerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.16. KD ve EPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinin karşılaştırılması	97
Şekil 4.17. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990'a göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması....	99
Şekil 4.18. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS 825'e göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması.....	100
Şekil 4.19. EPS yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre yalıtım kalınlığı- U değeri ilişkisi	101

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.20. EPS yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ve TS 825 U değerleri arasındaki ilişki.....	102
--	-----

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Tuğla ve gaz beton bloklarla oluşturulan dış duvarlar	8
Resim 2.2. Prefabrik dış duvarlar	9
Resim 2.3. Abela'nın deneylerde kullandığı sıcak kutu deney cihazı	54
Resim 2.4. Sala vd. tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının görünümü	58
Resim 3.1. Duvar örmede kullanılan yatay delikli tuğla.....	62
Resim 3.2. Deney duvarlarının ısı yalıtımında kullanılan XPS ve EPS levhaları.....	65
Resim 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak kutu deney cihazı.....	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alan
Al₂O₃	Alüminyum oksit
°C	Santigrad derece
CaO	Kalsiyum oksit
Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit
CFC	Kloroflorokarbon
CO₂	Karbon dioksit
d_n	Yapı elemanı kalınlığı
dk	Dakika
E	Salım faktörü
Fe₂O₃	Demir oksit
HCFC	Hidrokloroflorokarbon
HFC	Hidroflorokarbon
h_r	Radyasyon kat sayısı
K	Kelvin
K₂O	Potasyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Na₂O	Sodyum oksit
R	Isıl geçirgenlik direnci
R_i	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci
R_e	Dış yüzeyin ısı taşınım direnci
SO₃	Kükürt trioksit
SiO₂	Silisyum oksit
T_a	Civar (laboratuvar) sıcaklığı

Simgeler	Açıklama
T_m^3	Ortalama radyant mutlak sıcaklık
T_n	Çevre sıcaklığı
T_{n1}	Sıcak ortama ait çevre sıcaklığı
T_{n2}	Soğuk ortama ait çerçe sıcaklığı
T_r	Deney numunesinde görülen ortalama radyant sıcaklık
T_s	Deney numunesinin yüzey sıcaklığı
U	Isıl iletim faktörü
Φ	Güç
Φ/A	Birim alandan yüzeye geçen ısı akışı
σ	Stefan Boltzman sabiti
λ_h	Isıl iletkenlik hesap değeri
$1/U$	Toplam ısıl geçirgenlik direnci
Kısaltmalar	Açıklama
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
BS	British Standart (İngiliz standardı)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Avrupa standartlar komitesi)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Normu)
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EN	Europa Norm (Avrupa Normu)
EPS	Ekspande polistren köpük
EPS-3	3 cm EPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi
EPS-4	4 cm EPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi
EPS-5	5 cm EPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi
EURIMA	European Insulation Manufacturers Association (Avrupa Yalıtım Malzemeleri Üreticileri Birliği)

Kısaltmalar	Açıklama
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
PKÇ	Portland kompoze çimento
KD-0	İki yüzü sıvasız 13,5 cm kalınlığında tuğla duvar numunesi
KD-1	Tek yüzü (iç yüzey) sıvalı 13,5 cm kalınlığında tuğla duvar numunesi
KD-2	İki yüzü sıvalı (iç-dış yüzey) 13,5 cm kalınlığında tuğla duvar numunesi
TEP	Ton eşdeğer petrol
TS	Türk Standardı
XPS	Ekstrüde polistren köpük
XPS-3	3 cm XPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi
XPS-4	4 cm XPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi
XPS-5	5 cm XPS yalıtım malzemesi kullanılan duvar numunesi

1. GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ile beraber enerji tüketimini hızla arttırmaktadır. Enerji, tüm ülkeler için önemli ve stratejik bir kavramdır. Isı ise, sıcaklık farkından kaynaklanan bir enerji geçiştir [1]. Enerji tüketiminin artması ülke ekonomisine yük getirmesinin yanı sıra çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Sınırlı fosil yakıt kaynakları ile enerji ihtiyacını uzun süre karşılayabilmek için enerjinin verimli şekilde kullanılması gerekmektedir. Türkiye’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, enerji tüketiminin % 31’i konutlarda gerçekleşmektedir. Konutlarda tüketilen enerjinin % 85’ inin ısıtma amaçlı kullanıldığı görülmektedir [2]. 1998’ de yayınlanan TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı, 14 Haziran 2000 tarihinde uygulaması zorunlu olarak yürürlüğe girmiştir. Bu standart ile binalarda ısıtma için kullanılan enerji miktarı sınırlandırılarak enerji tasarrufu sağlanması hedeflenmiştir. Binalarda ısı yalıtımı yapılması, enerji tüketimini azaltıp yakıttan tasarruf sağlamanın yanı sıra, duvar iç yüzey sıcaklığının artması ile ısı konforunun iyileşmesi, duvar iç yüzeylerinde yoğuşma ve küflenme sorunlarının ortadan kalkması gibi faydalar da sağlamaktadır [2]. Binalarda kullanılacak ısı yalıtım malzemelerinin seçiminde, malzemelerin uygulanabilme kolaylığı ile birlikte maliyet de önemli bir faktördür. Yalıtım, binanın ilk yatırım maliyetini arttırmakla birlikte, işletme tasarrufu göz önüne alındığında birey ve ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır. Önemli olan bina için uygun ısı yalıtım malzemesi ve uygun ısı yalıtım kalınlığını belirlemektir [3].

Kış aylarında binaları ısıtmak için kullanılan fosil yakıtların fazlalığı nedeniyle şehirlerde hava kirliliği sorunları yaşanmakta, ısı yalıtımsız yapılarda oturanlar ise ısıtma giderlerinin fazlalığından ve pahalılığından şikâyet etmektedir. Bu konudaki sorunlar; ısı yalıtımı ile enerji tasarrufu sağlanması konusunun henüz anlaşılmamış olması, yapılarda ısı yalıtım kuralları standardına uyulmaması ve gerekli denetimlerin yapılmaması şeklinde sıralanmaktadır [4].

Yapılarda enerji tasarrufu, ancak doğru uygulanmış bir ısı yalıtımı ile sağlanmaktadır. Isı yalıtımına verilen önemin her geçen gün arttığı ülkemizde yalıtım

uygulamaları da çeşitlilik göstermektedir. Bu doğrultuda, en uygun konfor koşullarının sağlanmasında, dış duvar ısı yalıtım sistemlerinin doğru şekilde seçilmesi oldukça önemlidir. Düşük yalıtım kalınlığı, ısıнын içeriden dışarıya ya da dışarıdan içeriye daha fazla geçmesine neden olur ve sonuçta ısı konfor ve enerji tasarrufu üzerinde olumsuz bir etki oluşturur. Binalarda uygun yalıtım kalınlığı ile ısı kaybı dolayısıyla, ısıtma yükü ve yakıt maliyeti azalır. Diğer yandan yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetinin de artması demektir. Yakıt ve yalıtım maliyetinin toplamından oluşan toplam maliyet, belirli bir değere kadar azalır; bu seviyeden sonra artar. Dolayısıyla yalıtım kalınlığı için optimum bir değer söz konusudur. Bu nedenle optimum yalıtım kalınlıklarının tespiti ve konutlarda uygulanması önem arz etmektedir [1].

Yapılarda enerji tasarrufu çalışmaları 1970'li yılların ortasından itibaren yaşanan petrol krizinin etkisi ile bütün dünyada önem kazanmıştır. Bu amaca yönelik olarak başlatılan araştırmalar her ülkede kendi koşullarına uygun olarak bazı yönetmeliklerin ve standartların oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Türkiye'de de enerji tasarrufu hayati bir önem taşıdığından, binalarda enerji tasarrufuna yönelik olarak bu tarihten itibaren çeşitli yönetmelikler, standartlar ve şartnameler yayınlanmıştır. Ancak konuya her seferinde sadece ısı yalıtımı bakış açısıyla yaklaşılmıştır. Yani binalardaki ısı kaybı minimize edilmeye çalışılmıştır. Aslında enerji tasarrufunda ana amaç, binalarda ısıtma amacıyla tüketilen yakıtın azaltılması olmalıdır. Bunun için de yalıtımla birlikte ısıtma tesisatının iyileştirilmesi birlikte ele alınmalıdır [5].

Isı yalıtımının önemi, temel olarak enerji ve çevre olmak üzere iki ana kavrama dayanır. Buna sağlıklı ve konforlu yaşam alanlarını da ekleyebiliriz. Enerji, sadece bizim için değil, diğer ülkeler için de önemli, stratejik, makro bir kavramdır. Türkiye'nin, enerji kaynakları açısından zengin olmadığı bir gerçektir. Enerji ihtiyacının yaklaşık %60-65'lik bir kısmı dışarıdan ithal edilmektedir. Ayrıca bu ihtiyaç her yıl yaklaşık %4,4 gibi bir oranda da artış göstermektedir [6].

Ülkemizin ithal ettiği ve kendi öz kaynaklarından ürettiği enerjinin üçte biri binaların ısıtılması ve soğutulması amacıyla kullanılmaktadır. Yalıtımsızlık nedeniyle israf

edilen enerji, kükürt dioksit, karbon monoksit ve bunun gibi zehirli gazlar hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu da sadece Türkiye açısından değil küresel anlamda büyük ve tehlikeli bir problemidir. Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmaktadır. Ülkemizde konut ve yapı sektörünün, toplam enerjinin yaklaşık yüzde 30-35'ini tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır. Konutlarda ısı yalıtımı yapılması ile enerji tasarrufu, maliyet, güvenlik, sağlık ve çevre problemlerinde de iyileşmeler meydana geleceği düşünülmektedir [6].

Bu çalışmada, iki farklı yalıtım malzemesi ve üç farklı yalıtım kalınlığı kullanılarak elde edilen tuğladan yapılmış dış duvarların ısı performansları deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma, yatay delikli tuğla duvar ve iki petrol esaslı XPS ve EPS ısı yalıtım malzemesi ile sınırlandırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yapı Kabuğu ve Dış Duvarlar

Yapı kabuğu, kullanıcının sağlık, konfor, güvenlik ve ekonomiklik gereksinimlerini karşılamalıdır. Sağlık ve konfor şartlarını sağlamak için de yapı kabuğunda; ısı, su, nem, ses, yangın ve ışık gibi temel kıstaslar dikkate alınır. Bu kıstasların yapı kabuğundaki öncelikleri bulunulan doğal çevreye ve yapının işlevine bakılarak belirlenirken konfor şartlarının sağlanması da göz önünde bulundurulur. Konfor şartları, içinde bulunulan mekânın işlevine göre değişir. Konfor şartlarını sağlamak için "İklimlendirme Sistemleri" seçilirken mekânın kullanım süresi ve kullanım periyodu değerlendirilir [7]. Mekânın işlevi iklimlendirme sisteminin çalışma süresini belirleyerek enerji tasarrufu sağlar. Örneğin konutların büyük çoğunluğu sürekli kullanıldığından günlük belli bir sıcaklık ortalamasına sahip olmalıdır. Binaya verilen ısı kısa sürede yayılmalı ve uzun süre enerji kaybına uğramamalıdır [8]. Bunun için de konfor şartlarını sağlayan; hava sıcaklığı, bağıl nem, hava hızı, malzemelerin ısıl kütle özelliği, difüzyon ve yüzey sıcaklıklarını etkin hale getirmek gerekir [8, 9]. Konfor şartlarından olan hava sıcaklığı, malzemelerin ısıl kütle özelliği ve yüzey sıcaklığı ısı yalıtımı yapılarak ile sağlanabildiği için yapılarda ısı yalıtım sistemleri kullanılmaktadır [10]. Isı yalıtım sistemleri seçilirken yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının ısıl performansları da dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları;

- Duvarlar,
- Çatılar,
- Kapı ve pencereler,
- Zemine oturan döşeme ve yaslanan duvarlar olarak sınıflandırılabilir [9].

Binaların iç mekânlarıyla dış ortamı düşey doğrultuda ayıran yapı elemanları olan dış duvarlar, hem görsel etki yönünden hem de iç mekanların karşılaması beklenen başarımlar yönünden önemlidir. Özellikle ısıtma giderlerinin yüksek olduğu Türkiye

gibi ülkelerde ısıl başarımın istenilen düzeyde sağlanması önem kazanmıştır. Günümüzde malzeme ve yapım teknikleri alanında yaşanan gelişmeler dış duvar sistemi seçeneklerinin ve yapım tekniklerinin çeşitlenmesine sebep olmuştur [11].

Dış duvarların iç mekân koşullarının belirlenmesindeki etkisi, dış duvarın yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Dış duvarlar, çevrelediği iç ortamı dış atmosferik olaylardan yani sıcaktan, soğuktan, yağmur ve kardan, rüzgârdan korumanın yanında, dışarıdan gelebilecek her türlü tehlikeden de korurlar. İnsanların en çok etkilendiği çevre koşullarından biri olan soğuk havaya karşı insanlar, belirli bir sıcaklık ve bağıl nem ortamını arzu ederler. Bu nedenle, özellikle soğuk kış günlerinde, bina içinin belirli bir sıcaklıkta tutulması arzu edilir. Belirlenen veya arzu edilen konfor koşulları, II. dünya savaşından önce yapılan yığma binaların kalın dış duvarları sayesinde kendiliğinden sağlanmaktaydı. Bu duvarlar yeterince ısı tutuculuk sağladığı gibi önemli oranda ısı biriktirerek, bina içinde sıcaklık dalgalanmalarını da önlemekteydi [12]. Yine bu sistemden dolayı pencereler de küçük boyutluydu ve pencerelerden kaçan ısı enerjisi de üzerinde çalışmayı gerektirmeyecek kadar önemsiz görülmekteydi. Özellikle yüksek sıcaklıkta enerji tasarrufu ve güvenlik için düşük sıcaklıkta soğuğun korunması için bazı boşluklu malzemeler kullanılmakta, bunlarla yapılan uygulamaya da ısı izolasyonu veya ısı yalıtımı denilmekteydi. Diğer yandan ısı akışı hiçbir şey engellememekte ise de pratikte bu terim yerleşmiş oldu. II. dünya savaşının ardından daha fazla yeni konutun yapılması gerekliliği üzerine betonarme iskelet yapılar gelişmiştir. İskelet yapılarda yük taşımadığından dolayı dış duvarlar inceltilmiş ve yeni yapı malzemeleri duvarda yer almaya başlamıştır. İnce duvarlarla çevrilmiş hacimlerde daha çabuk soğuma, yakıt giderlerinde artma gibi ekonomik sorunlarla birlikte duvar yüzeyinde ve pencerelerin cam yüzeylerinde nemlenmeler de gözlenmiştir. Duvar yüzeyindeki ıslanmalar, yaz döneminde istenmeyen çiçeklenmelere ve yosunlaşmalara, ahşap yüzeylerde de mantarların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bütün bu problemler inşaat sektöründe yapı fiziği kavramının gelişmesini sağlamıştır [12].

2.1.1. Dış duvarlar ve özellikleri

Dış duvarlar, bir binanın iç ortamı ile dış ortamını düşey doğrultuda ayıran yapı elemanlarıdır. Dış duvarlardan aşağıdaki özellikleri yerine getirmesi beklenmektedir. Bunlar:

1. Durdurmak; Dış ortamın ısı, su, rüzgar ile ilgili vb. istenmeyen etkilerinin iç ortama geçişini durdurması,
2. Kontrol etmek; İç ortamı belirli bir konfor koşuluna getirdikten sonra bu konfor koşulunun devamının sağlanması için kontrol etmek,
3. Binaya düşey ve yatay yönde etkiyen yükleri iletmek; Dış duvarlar binalara gelen rüzgâr yükü gibi yatay yükleri karşılayan ve bu yükleri taşıyıcı sisteme aktaran elemanlardır.
4. Farklı yapı elemanlarıyla bina taşıyıcı sistemi arasında yük alışverişi yapmak; Dış duvarlar hem kendi ağırlıklarını hem de dış duvarlara bağlanan pencere doğramaları gibi elemanların ağırlığını taşıyıcı sisteme iletirler.
5. Binaya estetik bir görünüm kazandırmak; Bir binanın algılanmaya başlandığı ilk noktanın yapının dışı olması nedeniyle dış duvarlardan beklenen görsel etki oldukça önemlidir [13, 14].

2.1.2. Dış duvar sistemlerinde katmanlaşma

Dış duvar; gövde, dış ve iç kaplamalar ile yalıtımlardan meydana gelir. Dış duvar için en önemli bileşen duvar gövdesidir. Dış duvardan beklenen başarımlar, görsel etki, yapılabirlik ve maliyet faktörlerine bağlı olarak, diğer katmanların varlığına, konumuna ve malzemesine karar verilir. Buna göre dış duvarı oluşturan gövde, kaplamalar ve yalıtımlar şu şekilde olabilir:

1. Dış duvar gövdesi: Örme, iskelet, panel veya yerinde dökme yapım sistemleriyle yapılabilir.
2. Kaplamalar: Öncelikli olarak çevresel etmenlere bağlı olarak farklı malzemeler kullanılabilir.

3. Yalıtımlar: Isı, su, nem, ses, hava geçirimsizlik vb dış ortam özelliklerine ilişkin yalıtımlar kullanılabilir [15].

Duvarın yüklendiği görevlere ve kompozisyona giren katmanların dağılımına bağlı olarak duvarlar aşağıdaki şekilde isimlendirirler [16]:

- Duvar gövdesinin iç ve dış yüzey fonksiyonlarını yüklenmemesi halinde; dış kaplama+gövde+iç kaplamadan oluşan duvarlar,
- Duvar gövdesinin dış yüzey işlevlerini yüklenmesi halinde; gövde+iç kaplamadan oluşan duvarlar,
- Duvar gövdesinin iç yüzey işlevlerini yüklenmesi halinde; dış kaplama+gövde'den oluşan duvarlar,
- Duvar gövdesinin hem iç hem de dış yüzey işlevlerini yüklenmesi halinde; sadece gövde'den oluşan duvarlar olarak gruplandırılabilir.

Isı ve rutubet hareketlerini kontrol altına almak gerektiğinde konacak ek katmanlar, iç kaplama ile gövde arasına, gövdenin ortasına veya dış kaplama ile gövde arasına yerleştirilir. Isı tutucu tabakanın bulunduğu yere göre de farklı fiziksel olaylar meydana gelir [16].

2.1.3. Dış duvar üretim yöntemleri

Dış duvar üretim yöntemleri iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlar:

1. Yerinde üretim dış duvarlar
2. Ön üretim (Prefabrik) dış duvarlar

Yerinde üretim dış duvarlar

Duvar yapımında geleneksel olan ve yaygın olarak kullanılan tekniktir. Dış duvarı oluşturan malzemelerin şantiye ortamında duvar örgü kurallarına göre örülmesi

esasına dayanır. Duvar gövdesi genellikle Resim 2.1’de görüldüğü gibi çeşitli malzemelerden imal edilebilen tuğla ve gazbeton bloklarla örülmektedir. Tuğla ve gazbeton bloklar birbirlerine uygun bir yapıştırıcıyla örgü kurallarına uygun olarak yapıştırılarak örülmekte ve yapıştırıcının katılaşması için yeterli bir süre beklenmektedir. Duvar örme işlemi genellikle bir usta ve bir yardımcıdan oluşan bir ekip tarafından yapılmakta ve belirli büyüklükte gövdeler üretilmektedir. Gövde tamamlandıktan sonra başarımlara yönelik katmanların yerleştirilmesi işlemi başlamakta ve bu işlem genellikle gövdeyi oluşturan ekipten farklı bir ekip tarafından yapılmaktadır. Başarıma dönük katmanların daha çok alt katmandan oluşması nedeniyle göreceli olarak daha yüksek standartta ustalık gerektirmektedir. Başarıma yönelik katmanlar yerleştirildikten sonra kaplamalar yapılmaktadır. Genellikle başarıma yönelik katmanların dış kaplaması aynı ekip tarafından yapılmaktadır. Diğer kaplama ise sıva veya plaklarla kaplama şeklinde yapılmaktadır [14].



Resim 2.1. Tuğla ve gaz beton bloklarla oluşturulan dış duvarlar

Ön üretim (Prefabrik) dış duvarlar

Prefabrik duvar uzmanlaşma ve hassas bir kontrol gerektiren duvar yapım tekniğidir. Uygun boyutlardaki dış duvarların şantiye dışında önceden fabrikada veya şantiye içinde ayrı bir yerde üretilmesi esasına dayanır. Duvar üretimi yapılırken nakliye ve montaj aşamaları da düşünülmelidir. Bu nedenle işe projelendirme aşamasında başlanmalıdır. Şantiye dışında yani fabrika veya atölyede, şantiyeden alınan ölçülerle üretim yapıldığından hem şantiyede hem de dış duvarın üretildiği yerde hassas işlemler yapılmak zorundadır. Üretim sürecinin daha karmaşık bir yapıda olması nedeniyle çok yüksek standartta ustalık gerektirmektedir. Bunun yanında üretim

sürecinde görev alan ekibin veya başka bir ekibin montaj da yapması gerekeceğinden ustaların standardı artmaktadır. Bütün bu sözü edilen hususlar maliyetin artmasına neden olmaktadır [14]. Resim 2.2.'de prefabrik dış duvar örnekleri görülmektedir. Diğer taraftan bu konuda farklı görüşlerde bulunmaktadır. Prefabrikasyonda standart ve birbirinin benzeri üretim ve birleştirmeler söz konusu olduğundan ortalama düzeyde eğitim almış montaj elemanları ile şantiyede montaj yapılabilmekte, bunun sonucunda da işçilik maliyeti azalmaktadır [17].



Resim 2.2. Prefabrik dış duvarlar

2.2. Isı ve Sıcaklık Tanımı

Isı, bir sistem ile sistemin çevresi arasındaki sıcaklık farkından dolayı akan bir enerji şeklindedir. Sıcaklık, herhangi bir noktadan ölçülebilen bir değer olup, sıcak veya soğuk hissini pozitif veya negatif bir büyüklük olarak belirler. Buna göre ;

- Kışın konfor şartlarının sağlandığı iç mekanlardan/ortamlardan dış ortamlara doğru,
- Yazın ise sıcak dış ortamdan konfor şartlarının sağlanmaya çalışıldığı iç ortamlara doğru ısı geçişinin olması beklenmektedir [4, 18].

Isı çeşitli yollarla elde edilmektedir. Bunlar;

1. Mekanik enerji: Sürtünme yoluyla ısı enerjisi açığa çıkar. Ör: Matkap ucunun ısınması,

2. Kimyasal reaksiyon: Kömür, odun gibi malzemelerin yanmasıyla ısı enerjisi açığa çıkar,
3. Elektrik enerjisi: Elektrik akımı bir dirençten geçerken ısı enerjisi verir. Ör: Elektrik sobası,
4. Işınım yoluyla: Güneş ışınlarının yer kabuğuna ulaşması sonucu havanın ısınması,
5. Atom enerjisi: Atomların parçalanması sonucu büyük bir ısı enerjisi ortaya çıkar. [19].

2.3. Isı Transferinin Esasları

Isı transferi üç yolla gerçekleşir. Bunlar:

1. Kondüksiyon (İletim)
2. Konveksiyon (Taşınım)
3. Radyasyon (Işınım) [18].

2.3.1. Kondüksiyonla (iletim) ısı transferi

Bir cismi meydana getiren atomların bulundukları konumda gerçekleştirdikleri titreşim hareketleri sırasında birbirleriyle çarpışmaları sonucu gerçekleşen enerji alışverişidir. Sıcak bölgedeki atomların ortalama kinetik enerjileri dolayısıyla titreşim hızları, sıcaklığın daha düşük olduğu bölgelerdeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinden dolayısıyla titreşim hızlarından fazladır. Sonuç olarak sıcaklığın yüksek olduğu bölgedeki atom yüksek titreşim hızıyla komşu atoma çarptığında kendi titreşim hızı biraz azalırken komşu atomun titreşim hızı biraz artar. Art arda gerçekleşen çarpışmalar sonucunda sıcak bölgedeki atomların titreşim hızları dolayısıyla bölgenin sıcaklığı düşerken soğuk bölgedeki atomların titreşim hızları dolayısıyla sıcaklığı artar. Kesit içindeki atomların titreşim hızları eşit olduğunda sıcaklık tüm kütlede aynı değere ulaşır ve enerji iletimi durur. Bu şekildeki ısı iletiminde atomların diziliş sıklığı önemlidir. Bu nedenle malzemeler kondüksiyonla ısı iletkenliğine göre katılar > sıvılar > gazlar şeklinde sıralanır [18].

Eğer ortamda serbest elektron var ise ısı iletkenliği yüksek enerjili (yüksek sıcaklık) elektronların düşük enerjili (düşük sıcaklık) bölgeye hareketi ile gerçekleşir. Serbest elektronu mevcut olan bir maddenin ısı iletkenliği atomların titreşimi ile gerçekleşecek ısı iletkenliğinden 10 veya 100 kat daha yüksek olur. Bu nedenle katılar içinde metallerin ısı iletkenliği en yüksektir [18].

2.3.2. Konveksiyonla (Taşınım) ısı transferi

Atom veya moleküllerin uzun mesafeli hareketleri sonucu gerçekleşen ısı transferidir. Konveksiyonla ısı iletimi akışkan malzemelerde gerçekleşir. Katılarda konveksiyonla ısı iletimi gerçekleşmez. Malzemeler konveksiyonla ısı iletkenliğine göre gazlar > sıvılar şeklinde sıralanır. Akışkanın bulunduğu hacim çok küçülürse konveksiyonla ısı iletimi ihmal edilir. Hacim arttıkça konveksiyonla ısı transferi artar [18].

2.3.3. Radyasyonla (Işınım) ısı transferi

Elektromanyetik dalgalarla gerçekleşen ısı transferidir. Elektromanyetik dalgalar, birbirine dik iki düzlemde sinuzoidal (belli frekanslarla tekrar eden) olarak ilerleyen elektrik ve manyetik alanlar ile bu dalgalara eşlik eden enerji parçacıklarından (foton) oluşur. Bu nedenle farklı sıcaklıklara sahip ve birbirleri arasında engelleyici bir ortam olmadan gören iki malzeme arasında ışıınım ile ısı transferi gerçekleşir. Radyasyonla ısı transferi için arada maddi bir ortam olması gerekmez. Boşlukta da ısı transferi gerçekleşir [18].

2.4. Isı Yalıtımının Önemi

Ülkemizde sanayi ve konut sektörleri başta olmak üzere, enerji tüketimleri her geçen yıl artmaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmı ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Söz konusu bu enerjinin etkin kullanılması, ancak ısı yalıtımı ile sağlanabilir. Yapı bileşenleri üzerinden farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı transferini azaltmak için yapılan işleme *ısı yalıtımı* denir [20, 21].

Günümüzde enerji kullanımından kaynaklanan çevre problemleri tüm dünyayı tehdit etmektedir. Fosil yakıtların sebep olduğu küresel ısınma, asit yağmurları, ozon tabakasındaki incelme, iklim değişiklikleri en önemli çevre sorunlarıdır. Isınma amaçlı tüketilen enerjinin büyüklüğü düşünüldüğünde çevre problemlerinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır [22].

Değişken hava koşulları, mevsimlere göre aşırı sıcaklar, soğuklar ve yağmurlar bina iç sıcaklıklarını etkileyen faktörlerdir. Dış ortamda gerçekleşen sıcaklık değişimleri ile oturlan mekânların sıcaklıklarının değişimi yaşam kalitesini de etkilemektedir. İnsanın sıcaklık açısından sağlıklı bir ortamda yaşaması ısı konforuna bağlıdır. Isıl konfor insanların bedensel ve zihinsel sağlığını etkilemektedir. Bu sıcaklık değişimleri insan fizyolojisi ve yaşam kalitesini, yaşadığı veya çalıştığı ortam sıcaklığından dolayı sağlık sorunları ile karşı karşıya kalması ve bunun sonucu olarak iş verimini de etkilemektedir [23].

Betonarmeye nüfuz eden su ve oluşan nem, içerideki donatının (demirlerin) korozyonuna neden olur ve taşıyıcı elemanların taşıma kapasitesinin düşmesine yol açar. Korozyona uğramış demir zamanla mukavemetini kaydedir. Bunun yanında, korozyon sonucunda oluşan pas, demire göre hacmi fazla olacağından beton içinde gerilme meydana getirecek ve bu gerilme sonucunda betonda zamanla çatlaklar oluşacaktır [24].

2.5. Isı Yalıtımının Faydaları

Isı yalıtımı sayesinde, ısı kayıp ve kazançları azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması, çevrenin korunması, ısı konfor ve gürültü denetiminin sağlanması, yapı elemanlarında ve betonarme yüzeylerde yoğuşmanın önlenmesi ve azaltılması, ısıtma, soğutma ve enerji sistemlerinde işletme verimliliğinin artırılması ve yapı elemanlarının dış etkilerden korunması sağlanmaktadır. Isı yalıtımı sadece enerji kullanımını azaltmakla kalmamakta, doğru yalıtım malzemesinin seçimiyle iklimsel ve işitsel konforun yanı sıra yapılarda yangın güvenliğini de sağlamaktadır [25]. Kısaca ısı yalıtımının faydaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Hava kirliliğini önler.
2. Yönetmeliklere uygun yapılacak ısı yalıtımı, ısınma veya serinleme amacıyla yaptığımız harcamalardan ortalama % 50 tasarruf ederek yazın serin kalmaya kışın daha iyi ısınmaya imkân sağlar.
3. Dengeli oda sıcaklıkları yaratarak konforlu ve sağlıklı mekanlar oluşturur.
4. Yapılarda küflenme, siyah leke ve mantar oluşmasına neden olan yoğuşmayı (terlemeyi) önler.
5. Isıtma ve soğutma uygulamalarında yakıt, elektrik ve işletme giderleri azaltılarak tasarruf sağlanır.
6. Isı yalıtımı ile kayıplar kazanca dönüşür. Bu sayede daha küçük kapasiteli ısıtma ve soğutma cihazları seçilebilir ve yatırım giderleri ciddi ölçüde azaltılır.
7. Sağlayacağı verimlilikle, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltır.
8. Betonun içindeki demirlerin paslanmasını engeller, binanızın depreme karşı dayanıklılığını korur [25].

2.5.1. Isı yalıtım prensipleri

Atomlar arası mesafe ve atom veya moleküllerin hareket alanlarının düzenlenmesiyle kondüksiyonla ısı iletimi azaltılır. Sıcaklık farkının ve ısı akışına dik kalınlığın artması da ısı iletimini azaltacaktır. Fakat ısı iletimi durdurulamaz. Buna en büyük etken radyasyonla ısı iletiminin engellenememesidir. Isı yalıtımının temel prensibini kuru ve hareketsiz gaz oluşturmaktadır. Çeşitli gazlar içinde hava, en ucuz en kolay bulunan ve en çevre dostu madde olması sebebiyle inşaat sektöründeki ısı yalıtımı uygulamalarında büyük ölçüde kullanılır. Isı yalıtımı için küçük kapalı gözenekler içinde hapsedilmiş hava oluşturulması amaçlanır [26].

Isı yalıtım uygulamalarının en önemli diğer bir prensibi de ısı yalıtım malzemesini sürekli bir şekilde uygulanmasıdır. Aynı düzlemde süreklilik sağlanmadığı sürece uygulanan ısı yalıtımından sağlanan verim çok düşer. Bu anlamda, ısı yalıtımının verimini düşüren diğer önemli bir olay ısı köprülerinin meydana gelmesidir [26].

2.5.2. Isı köprüleri

Isı köprüleri, ortalama ısı iletiminden çok daha yüksek ısı iletimine ve sınırlı alana sahip bölgelerdir. Yüksek ısı iletimi, elemanın geometrisinden meydana gelebildiği gibi farklı ısı iletkenliğine sahip malzemelerin yan yana getirilmesiyle de gerçekleşir [23].

Yapı elemanlarının birleşim bölgelerinde (köşe noktalarında) düşük sıcaklığa sahip çizgisel dış yüzey miktarı, yüksek sıcaklıktaki noktasal iç yüzeye oranla çok fazla olduğu için bu bölgelerde fazladan ısı kayıpları gerçekleşir. Bu kayıpları önlemek mümkün değildir, ancak sürekli ısı yalıtımı ile azaltılabilir [20].

İnşaat sektöründe en fazla yapılan hatalardan biri de, farklı ısı iletkenliğine sahip malzemelerin yan yana kullanılmasıdır. Bazen montaj için kaçınılmaz olan bu durum, çoğunlukla bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Isı yalıtım uygulamasının yanlış seçilmesi sonucu, içerden yalıtım uygulamalarında betonarme döşeme tarafından kesilen ısı yalıtımı sebebiyle ısı iletiminde önemli miktarda artış meydana gelmektedir [18].

Isı iletimi zamana bağlı bir olaydır ve zaman içindeki davranışına göre sabit ve değişken rejimlerde meydana gelir. Isı iletiminin rejimine göre iletim ve yalıtım prensipleri değişir [4, 16].

2.6. Türkiye’de Isı Yalıtımının Tarihçesi

Türkiye’de 1970’li yıllardan itibaren yapılarda enerji tasarrufuna yönelik çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Bunlardan ilki, yapılarda ısı yalıtım kurallarının yer aldığı “Binalarda Isı Etkilerinden Korunma Kuralları” adıyla hazırlanan ve yayımlanan TS 825 standardıdır. Yayınlandığı yıllardan itibaren çeşitli düzenlemelerin yapıldığı standardın son revizyonu 22.05.2008 tarihinde yapılarak yürürlüğe girmiştir [26]. 2007 yılında ise, AB (Avrupa Birliği) ye giriş süreci gereği enerji etkinliği ile ilgili olarak “Enerji Verimliliği Yasası” kabul edilmiştir (5627 Sayılı Enerji Verimliliği

Kanunu). Bu yasa çerçevesinde 2009 yılında binaların enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” hazırlanmıştır. Bu yönetmelik doğrultusunda öncelikle yeni yapılan binalara “Enerji Kimlik Belgesi” kazandırılması hedeflenmektedir. Bunların dışında Türkiye, enerji sorunuyla ilgili olarak, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasına yönelik İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne de 2004 yılında taraf olmuştur [23].

2.7. Isı Yalıtımı ile İlgili Mevzuatlar

Sanayileşmiş ve zengin ülkelerin tümünde, 1973-74 yıllarındaki ilk petrol krizini takiben uygulanan kısa vadeli tedbirlerin arkasından; binalarda ısı yalıtımı alanında yürütülen araştırmalarla sağlanan teknik bilgi zenginliğinin yanında gerçekleştirilen hukuki düzenlemelerle, konfor şartlarından taviz vermeden, binaların enerji tüketiminde çok büyük azalmalar elde edilmiştir. Türkiye, ilk yıllardaki kısa vadeli tedbirler aşamasında, uluslararası gelişmeleri takip etmiştir. Fakat daha sonraki uzun vadeli ve sonuca götürücü gelişmeleri ve uygulamaları takip edemediği için; bugün ülkemizdeki bir binanın ısınma amaçlı enerji tüketimi, aynı iklim şartları ve birim alan başına karşılaştırıldığında, İngiltere, Almanya, İsveç gibi daha zengin ülkelere 3 veya 4 kat daha fazla olduğu ifade edilmektedir [27-29]. Bu durum, hem fert bütçesine ve hem de ülke bütçesine 3 veya 4 kat daha fazla yük oluşması demektir. Ayrıca çevrenin de daha fazla kirletilmesi anlamına gelmektedir. Ülkemizin ısınma amaçlı enerji tüketiminde mevcut tasarruf potansiyelini, enerji verimliliği sağlayacak tedbirlerle değerlendirilebilirse:

- 12 milyon TEP/yıl daha az enerji tüketimi
- 6 milyar ABD \$/yıl parasal tasarruf
- 40 milyon ton/yıl CO₂ emisyonunda azalma elde edilebilecektir [31].

TS 825’de bina bir bütün olarak ele alınmaktadır ve yıllık toplam ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_{y1}) sınırlandırılmaktadır [27]. Eski standart yalnızca yapı elemanlarının U-değerlerini sınırlıyor ve meselâ duvarın U-değerini, tüm cepheyi temsil ediyormuş

gibi kabul ediyordu. Bu durumda, cephedeki yalıtımsız betonarme elemanlardan kaynaklanan ısı kayıpları ihmal edilmiş oluyordu. Zaten çok yüksek olan sınır değerlere ilave olarak, ısı kaybının önemli bir bölümü de ihmal edilince; yalıtımsız binalar standarda uygun çıktığı gibi; yalıtım malzemesi ile yapı malzemesi kavramları birbirine karışıyordu. Standardın yeni durumunda, ısı yalıtım malzemesinin kesilmesinden kaynaklanan ısı köprülerinde meydana gelen ısı kayıpları ayrıca hesaplara katılmaktadır. Yalıtımlı duvarlar arasındaki betonarme elemanlar, ısı köprüleri için temel örneklerdir [27, 32].

Yeni TS 825'de ısı köprülerinden kaynaklanan ilave ısı kayıplarının da hesaba katılması sonucu; mimarın ısı köprülerine imkân veren bir ısı yalıtım sistemi seçmesi halinde, toplam ısı kaybı artacağından, standardın verdiği sınır değerleri elde etmek zorlaşacaktır. Bu durumda mimar, bu sistemi kullanmaktan vazgeçecek veya bu farkı kapatabilmek için yalıtım kalınlığını arttıracaktır [32].

Standart da, binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının müsaade edilebilir üst sınır değerleri verilerek, enerji tüketimi ve çevre kirliliği sınırlanmaktadır. Aynı faydayı (Q_y değerini), daha düşük maliyetle sağlamak ise, standart da özel olarak belirtilmemekle birlikte, ilgili kişilerin kendiliğinden yönleneceğinin düşünüldüğü diğer bir hedef olmaktadır [31].

Eski TS 825, ısı kayıplarının hesaplanmasında, pencere ve kapı çerçevelerinden gerçekleşen kontrolsüz hava kaçakları ile, temiz hava ihtiyacı için gerçekleştirilen kontrollü havalandırma sonucu meydana gelen ısı kayıplarını dikkate almıyordu. Yeni standart hem hava kaçakları ve hem havalandırma ile ısı kayıplarını dikkate almaktadır. Kullanılan çerçeve sisteminin kalite belgesi olmaması halinde hava değişim sayısını iki katına çıkararak, hesaplanan ısı kayıplarını önemli miktarda yükseltmektedir [31].

Yeni TS 825, ısıtma enerji ihtiyacı hesaplarında kazançları da dikkate almaktadır. Net ihtiyaç, kayıplardan kazançlar çıkartılarak hesaplanmaktadır. Isı kaybı, özellikle ülkemiz gibi ılıman iklim kuşağındaki binalarda, gece ve gündüz arasındaki büyük

sıcaklık farklarının etkisinde meydana gelmektedir. Hâlbuki standartlardaki hesaplar, sabit sıcaklık farkları etkisinde geçerlidir. Eski standart da olduğu gibi, iklim verilerinin tüm sezonu temsilen ortalama tek bir değer ile belirtilmesi, sonuçların gerçek değerlerden önemli sapmalar göstermesine sebep olmaktadır. Bundan kaçınmak için, ısıtma sezonunun küçük dilimlere ayrılması (gün veya ay) ve iklim verilerinin bu iklimlere ait ortalama değerler olarak girilmesi gerçeğe daha yakın değerlerin elde edilmesini sağlayacaktır. TS 825'in revizyonu sırasında, EIE tarafından günlük ve aylık ortalama iklim verileri ile tekrarlanan hesaplar sonucunda, aylık ortalamalarla yeterli doğruluğun sağlanabildiği görülmüştür. Dolayısı ile yeni TS 825'de bir binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık değerlerin ayrı ayrı hesaplanıp bunların toplanması ile bulunmaktadır. Yeni TS 825'e göre, eleman kesitlerinin ve hesap sonuçlarının standart tablolar halinde verilmesi ve uygulama detaylarının çizilmesi gerekmektedir. Standart, yapı elemanlarında yoğuşma tahkikinin yapılmasını da mecbur tutmaktadır [27].

Yeni TS 825'deki en önemli eksiklik, EK 5'de verilen ve çeşitli yapı malzemelerinin ısı iletkenliği ile su buharı difüzyon direnç faktörünün gösterildiği Tablo'daki değerlerin bazılarının ikna edici olmamasıdır. Ülkemizdeki ölçüm değerlerine dayanmayan bu rakamlar; tam bir tercüme de değildir. Dolayısı ile gerçek durumu yansıtmadığı hususunda haklı eleştiriler almaktadır. Ülkemizde en kısa zamanda bu özellikleri sürekli bir şekilde ve her isteyen için ölçebilecek kapsamlı bir laboratuvarın kamu veya özel sektör kapsamında uluslararası akreditasyonlu olarak kurulması büyük önem taşımaktadır. Standardın diğer önemli bir eksikliği de, yapı elemanlarında yoğuşma tahkiki yapılmasını şart koşmasına rağmen; eğer yoğuşma meydana geliyorsa malzemenin ısı iletkenliğinde ne mertebede bir artış olacağının nasıl hesaplanacağını belirtmemesidir. Bilindiği üzere, malzemelerin rutubet içeriği arttıkça, mertebesi malzemedan malzemeye değişmekle beraber, ısı iletkenliklerinde önemli ölçüde artış meydana gelmektedir. Bu artış uygulanmayınca, yoğuşma tahkikinin çok fazla bir anlamı kalmamaktadır [32].

Uygulamada karşılaşılan önemli hatalardan biri ise, standardın ve yönetmeliğin en önemli özelliğinin binayı bir bütün olarak ele alması ve enerji ihtiyacı ile ilgili

sınırlamaların binanın toplam yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı üzerinde olmasına rağmen; hâlâ standardın yapı elemanlarının U-değerlerinin sınırlandırıldığı bir standart gibi yorumlanmaya çalışılmasıdır. Bu çabalara destek olarak gösterilen standart kapsamındaki tablo, sadece belediye sınırları dışında olan ve ruhsat almasına bile gerek olmayan binalar için verilmiştir. Bu tablonun tüm binalara uygulanması, binalarımızda enerji ve yakıt tasarrufunu engellemekten başka bir getiri sağlamayacaktır [31].

Binanın ısı kaybeden alanları sadece dış duvar, pencere, çatı ve zemin değildir. Isıtılmayan hacimler ile ısıtılan hacimleri ayıran bütün elemanlar ısı kaybı hesaplarında dikkate alınmalıdır. Meselâ, eğer bir binada rüzgârlık hacmi ayrılmış ise, yalıtım yapılması ve ısı kaybı hesaplarında dikkate alınması gereken eleman, rüzgârlık hacminin dış duvarı değil, rüzgârlık hacmi ile ısıtılan hacmi ayıran iç duvardır. Aynı şekilde sığınak, depo vb ısıtılmayan hacimler ile ısıtılan hacimleri ayıran duvar, döşeme vb. elemanlar da yalıtılmalı ve ısı kaybı hesaplarına dahil edilmelidir [32].

2.8. Isı Yalıtım Malzemeleri

2.8.1. Isı yalıtım malzemelerinin tanımı

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı transferini azaltmak için yapılan yalıtımda yalıtımı sağlamak için kullanılan malzemelere ısı yalıtım malzemesi denir. Isı yalıtım malzemelerinin en temel özelliği ısı iletim katsayısıdır. ISO ve CEN'e göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/mK değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanır. Diğer malzemeler ise yapı malzemesi olarak kabul edilir [20].

2.8.2. Isı yalıtım malzemelerinde aranılan özellikler

Isı yalıtım malzemelerinin istenilen performansı karşılayabilmesi için boşluk oranı fazla, yoğunluğu düşük ve su emme oranının az olması gerekir. Sadece ısı iletkenliği

düşünülerek oluşturulan yapı elemanlarının istenen sonuçları vermediği uygulamalarda görülmüştür. Isı iletiminin yanında rutubet akımı ve yoğuşma olayının önemi yalıtım malzemesinde başka nitelikler aramayı gerekli kılmıştır. Malzemede buhar difüzyonu faktörünün yeterli olması buhardan etkilenmeyi azaltmakta, sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmek ve ısı depolamak için de ısınma ısıısının yüksek olması beklenmektedir [18].

Isıl iletkenlik

Yalıtım amaçlı kullanılan malzemeler gözenekli veya gevşek lifli yapıda olmaları nedeniyle ısı iletkenlikleri düşüktür. Şekilsiz yapıdaki katılar kristal yapıdaki katılara göre daha çok gaz boşluklarına sahiptir. Bu nedenle bu tür malzemelerde ısı iletkenlik daha küçüktür [33].

Mekanik dayanım

Genel olarak ısı yalıtımında kullanılan malzemelerin mekanik dayanımları zayıftır. Bu yüzden bazı durumlarda yalıtımın üzeri koruma amaçlı kaplanabilir [33].

Buhar difüzyonu

Isı yalıtımında kullanılan birçok malzemenin sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliğinin artması, nemi absorbe etmesine neden olur. Eğer uygulanan yalıtım nem içeren bir ortamda veya atmosferik şartlarda ise yalıtımın üst tarafı su geçirmez tabaka ile örtülmelidir. Aksi takdirde yalıtım malzemesinin yapısı bozulacaktır [33].

Yangın dayanımı

Isı yalıtımında kullanılacak malzemelerin yanma özelliğinin olmaması gerekmektedir. Yalıtım malzemesi hiçbir zaman maksimum çalışma sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta çalıştırılmamalı ve malzemenin sıcaklığa dayanma limiti maksimum yüzey sıcaklığının daima üstünde olmalıdır [33].

Ekonomiklik

Çalışılan ortama uygun malzeme seçimi ve malzemenin ekonomik yalıtım kalınlığı, yalıtım fiyatını ortaya koyar. Burada esas problem; hangi malzemenin, hangi ortamda, hangi ekonomik kalınlıkta ve uzun ömürlü olarak kullanılabilirliğinin seçiminin yapılmasıdır [33].

2.8.3. Isı yalıtım malzemelerinin genel yapısı ve özellikleri

Sıcak ve soğuk yüzeylerin yalıtılmasında çeşitli malzemeler kullanılır. Bu malzemelerin bazıları doğal, bazıları ise yapay maddelerdir. Fiziksel yapılarına bağlı olarak uygulanan yalıtım şekli bazı farklılıklar gösterebilir. Birçok yalıtım uygulamaları, gevşek dolgu olarak yapılabilir. Bu durumda yalıtım malzemesi yalıtılacak yere dökülür veya püskürtülerek yalıtım işlemi bitirilir. Sıcak ve düzgün olmayan yüzeylere uygulanacak fleksibl bir malzeme, yüzeye fleksibl özellik kazandırarak yalıtımın ömrünü uzatır. Plastik yalıtım malzemelerinin uygulanması farklıdır. Bazı hallerde erimiş durumda olan malzeme, mala ile veya püskürtülerek yalıtım yapılır. Uygulamadan sonra plastik rijit duruma gelir [33].

2.8.4. Isı yalıtım malzemelerinin içyapısı

Isı yalıtımında kullanılan malzemeler yapısal olarak 4 gruba ayrılırlar:

Taneli yapıya sahip ısı yalıtım malzemeleri

Bu gruba giren malzemeler tanecik halinde olup uygulamada malzemeler arasında hava boşlukları bulunmaktadır. Taneciklerin geliş güzel sıralanması nedeniyle tanecikler arasında hava hareketi oldukça yavaştır ve bu nedenle tanecikler arasında taşınım yoluyla ısı transferi az olmaktadır [33].

Lifli yapıya sahip ısı yalıtım malzemeleri

Malzemelerin lifleri arasındaki serbest hava kanallarının genişliği ve sayısı nedeniyle yoğunlukları düşüktür. Lifler arasında oluşan hava filmleri, taşınım yolu ile oluşacak ısı transferine bir direnç oluşturur. Bu nedenle, taşınım yoluyla meydana gelen ısı transferi büyük ölçüde azalır. Lifli yalıtım malzemelerinde serbest hava kanallarının sayısını ve genişliğini azaltmak için dolgu yoğunluğunu artırmak gerekir. Lifler arasında taşınım yolu ile oluşan ısı transferi, iletim yolu ile oluşan ısı transferinden her zaman daha fazladır. Bu tür malzemeler genellikle ses yalıtımında kullanılmaktadır [33].

Hücreli yapıya sahip ısı yalıtım malzemeleri

Hücreli yapıya sahip olan yalıtım malzemelerinde taşınım yoluyla ısı geçişinin minimum olması için, bu hücrelerin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir. Hücreli yapıya sahip malzemeler öncelikle ısı yalıtımında tercih edilmektedir [33].

Reflektif yapıya sahip ısı yalıtım malzemeleri

Bu gruptaki malzemeler düşük yutma katsayısına sahip olmaları nedeniyle ısının büyük bir kısmını yansıtırlar [33].

2.8.5. Isı yalıtım malzemelerinin genel özellikleri

Isı yalıtımında kullanılan malzemelerin genel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir:

- Isı iletim katsayıları küçük olmalıdır.
- Kokusuz olmalıdır.
- Su ve nem absorbe etme özelliği olmamalıdır.
- Bakteri ve mikropların yuva yapmasına uygun olmamalıdır.
- Çürüme ve fermentasyona karşı dayanıklı olmalıdır.

- İlk özelliğini kaybedip toz haline gelmemelidir.
- Yanıcı olmamalıdır.
- Uzun ömürlü ve sağlığa zararlı olmamalıdır.
- Ekonomik ve kolay temin edilebilir olmalıdır.
- Uygulama ve işçiliği kolay olmalıdır.
- Yeterli basınç mukavemetine sahip olmalıdır.
- Birlikte kullanılan malzemelerle reaksiyona girmemelidir.

Bir yalıtım malzemesinde, yukarıda istenen şartların bütününe bir arada bulunması çok zordur. Bu nedenle, yalıtım malzemesini seçerken yalıtılacak ortama uygun ve maksimum ortak şartları sağlayan malzemenin seçilmesi gerekir [33].

2.9. Isı Yalıtımında Kullanılan Malzemeler

2.9.1. Petrol esaslı malzemeler

II. dünya savaşından önce A.B.D. naylonun gelişmesi ile ilgilenirken, Almanya'da Bayer firması, köpüklü plastikler üzerine çalıştı. Köpüklü plastikler hafif olması nedeniyle II. dünya savaşında uçak kanatlarının kuvvetlendirilmesinde kompozit bir malzeme olarak kullanıldı. 1950'den sonra buzdolabı fabrikalarında ve soğuk hava depolarında köpüklü plastiklerin kullanımı büyük önem kazandı. Petrol esaslı malzemelerin fiziksel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Hafiftir.
- Kendini taşır.
- Birlikte kullanılan malzemelerin mukavemetini artırır.
- %95'den fazla kapalı hücrelidir.
- Kapalı hücreli olması nedeniyle nem almaz, ancak kesim yerleri hacminin %2'si oranında nem alabilir.
- Değişken iklim şartlarında fiziksel özellikleri sabit kalır.
- Isı iletim katsayıları 0,025-0,045 W/mK arasında değişmektedir.

Mekanik özellikleri için yoğunluğun, eğilme mukavemetine, ısı iletim katsayısına ve boyutların stabilitesine göre değişimi incelenebilir. Yoğunluk arttıkça eğilme mukavemeti lineer olarak artmaktadır. Yine ısı iletim katsayısı yoğunlukla hızlanan parabolik bir artış gösterir. Yoğunluk 50 kg/m^3 'e kadar, boyutların stabilitesi hızla artan parabolik görünüm vermektedir. Bu değerden sonra boyutların stabilitesi parabolik olarak azalmaktadır [29].

Ekstrude polistren köpük (XPS)

XPS levha, polistren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. XPS'nin avantajlarının kaynağı üretim teknolojisini oluşturan haddeleme işlemi ve bunun sonucunda ortaya çıkan kapalı gözenekli hücre yapısıdır. Malzemenin hammaddesi olan tanecikler halindeki polistren, üretim hattına girdikten sonra eritilir, başka katkı maddeleri eklenip ve köpük yapısının sağlanabilmesi için şişirme gazı ilave edilir. Bu karışım belirli ısı ve basınç koşulları altında bir hat boyunca istenilen kalınlıkta çekilir. Hatta çıkan malzemenin boyunun ve yüzey yapısının ihtiyaçlar doğrultusunda düzenlenmesiyle son ürün elde edilmiş olur. Bu sürecin sonunda bal peteği formunda hücre çeperlerinden oluşmuş, kapalı gözenekli hücre yapısına sahip XPS elde edilir. Sürekli ve düzenli hücre yapısı ve kapalı gözeneklilik XPS'yi suya ve zamana karşı dayanıklı yapar, yalıtım ve mekanik özelliklerinin iyi olmasını sağlar [34].

Polistren termoplastiktir, işlendikten sonra yeniden üretim hattına sokulabilir. Bu nedenle XPS tesisleri genellikle zayıtsız çalışır. Bazı nedenlerle kullanılamayan ve açığa çıkan malzemeler toplanır, gerekli işlemlerin ardından ilk tanecik formuna getirilir ve yeni imalatlarda kullanılır. [34].

XPS üretiminde şişirici gaz olarak HCFC kullanılmaktadır. Üretimde açığa çıkan HCFC ozon tabakasına zarar vermektedir [35]. XPS DIN 4102'ye göre B1 sınıfı zor alev alan malzemeler sınıfındadır. TS 825 Ek 5' te ısı iletkenlik hesap değeri yüzeyi pürüzlü $0,031 \text{ W/mK}$, pürüzsüz iken $0,028 \text{ W/mK}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü 80-250 arasındadır. XPS $25\text{-}45 \text{ kg/m}^3$ arası yoğunluklarda üretilmektedir.

Mekanik dayanımları $10\text{-}50\text{ ton/m}^2$, su emmeleri hacimce $\%0\text{-}0,5$, kullanım sıcaklıkları $-50 / +80\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır [36].

Ekspande polistren köpük (EPS)

EPS (Genleştirilmiş Polistren Köpük), petrolden elde edilen, köpük halinde, termoplastik ve kapalı gözenekli bir ısı yalıtım malzemesidir. Polistren taneciklerinin şişirilmesi ve birbirine kaynaşması ile elde edilen EPS ürünlerde, taneciklerin şişirilmesi ve köpük elde edilmesi için kullanılan gaz pentandır. Pentan tanecikler içinde çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağladıktan sonra, üretim sırasında ve üretimi takiben çok kısa sürede hava ile yer değiştirir. Böylece EPS levhaların bünyesinde bulunan çok sayıdaki (1m EPS’de 3-6 milyar) küçük kapalı gözenekli hücreler içinde durgun hava hapsolür. Malzemenin $\%98$ ’i hareketsiz ve durgun havadır. EPS üretiminde son aşama olan şekil verme (kalıplama) aşamasında, taneciklerin birbiri ile sıkıca kaynaşması sağlanır. EPS blok halinde ve kesilmek sureti ile levha haline getirilir veya levha şeklinde kalıp içinde genleştirilerek üretilir [20, 36].

EPS, DIN 4102’ye göre B1 sınıfı zor alev alan ve B2 sınıfı normal alev alan malzemeler sınıfında yer almaktadır. TS 825 Ek 5’ te ısı iletkenlik hesap değeri $0,040\text{ W/mK}$ ’dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü 20-250 arasındadır. EPS $10\text{-}40\text{ kg/m}^3$ arası yoğunluklarda üretilmektedir. Isı yalıtımında kullanılabilmesi için TS 7316’ya göre EPS yoğunluğu minimum 15 kg/m^3 olmalıdır. Mekanik dayanımları $5\text{-}15\text{ ton/m}^2$, su emmeleri hacimce $\%1,1\text{-}2,5$, kullanım sıcaklıkları $-180 / +75\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır [35].

2.9.2. Poliüretan köpük

Poliüretan, poliöl ve izosiyonat adı verilen iki ayrı kimyasal komponentin bir araya getirilmesi sırasında havanın yardımıyla bu iki maddenin köpürtölerek sertleştirilmesi ile üretilir. Levha, sandviç panel ve püskürtme yöntemiyle kullanılan bir ısı yalıtım malzemesidir. Poliüretan köpük, kapalı gözenekli yapısı sayesinde

suyu bünyesine almaz, fakat birleşim yerlerinden sızarak köpüğün altında birikebilir. Nem, köpükteki izosiyanür ve poliol arasındaki kimyasal reaksiyonu hızlandırarak dayanıklılığı düşük bir malzeme oluşmasını sağlar. Bu durum köpüğün alt katmanlara yapışmasını da engeller. Su buharı difüzyonu, mukavemet, boyutsal stabilite özelliklerinde de zayıflamaya neden olur. Bunu önlemek için sıcak tarafta buhar kesici bir malzeme kullanılmalıdır [37].

Poliüretanın kullanım sıcaklığı $-200/110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isı iletkenlik hesap değeri ortalama $0,035\text{ W/mK}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnci 30-100 arasındadır. Yanma sınıfı B1, B2, B3 sınıfı zor, normal ve kolay alev alan şekillerinde üretilmektedir. Yoğunluğu $30-200\text{ kg/m}^3$ arasında olup basınç dayanımları $10-40\text{ ton/m}^2$ ve su emmeleri hacimce %3-5 arasındadır [35].

Birçok gıda maddelerinin depolanması ve uzun süre saklanması soğuk depolar sayesinde olmaktadır. Özellikle 1920'den sonra Kanada, Norveç, A.B.D., Almanya ve İtalya'da soğuk depoculuk oldukça gelişmiştir. Poliüretan uygulanan soğuk hava depolarında büyük enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Özellikle poliüretan nemden etkilenmediğinden iç kaplama yalıtımları için çok uygundur [33].

Sert poliüretandan 7,5 ile 15 cm kalınlıkta değişen hazır soğuk depo konstrüksiyon panelleri yapılmaktadır. Bu paneller mağaza vitrinlerinde, bürolarda ve birçok değişik yerlerde kullanılmaktadır. Sert köpükle doldurulmuş çelik paneller, İtalya'da okul, restaurant ve hastane konstrüksiyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İtalya Alplerinde uzun yıllardır kullanılan sert poliüretandan yapılmış dağ evleri bulunmaktadır. Dışarıda $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ soğuk varken, 2 Kw'lık bir enerji ile içeride $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık elde edilmiştir [37].

2.9.3. Cam yünü

Cam yünü, silis kumunun $1200-1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilir. Kullanım yerine ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleriyle, şilte, levha, dökme ve boru şeklinde üretilir. Isı ve

ses yalıtımı, akustik düzenlemelerde kullanılır. Cam yünü DIN 4102' ye göre A sınıfı yanmaz malzemeler grubundadır ve kullanım yerlerinde yangın güvenliğini sağlar. Performanslarını koruduğu sürekli azami kullanım sıcaklığı $-50/+250\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. -200 veya $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kullanılan özel cam yünü ürünlerde üretilmektedir [38].

TS 825 Ek 5'te ısı iletkenlik hesap değeri $0,040\text{ W/mK}$, su buharı difüzyon direnç faktörü $n=1$ 'dir. Cam yünü $14-100\text{ kg/m}^3$ arası yoğunluklarda üretilmektedir. Mekanik dayanımları $1,5-6,5\text{ ton/m}^2$ ve su emmeleri hacimce $\%3-10$ arasında değişmektedir [38].

2.9.4. Taş yünü

Taş yünü, bazalt ve diyabaz taşının $1350-1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Kullanım yerine ve amacına göre farklı boyut ve teknik özelliklerde, değişik kaplama malzemeleriyle, şilte, levha, dökme, boru şeklinde üretilir. Isı ve ses yalıtımı, akustik düzenleme ve yangın yalıtımında kullanılır. Yüksek dayanım sıcaklıkları ve DIN 4102' ye göre A sınıfı yanmaz malzemeler grubunda olmaları, kullanım yerlerinde yangın yalıtımı sağlar. Performansını koruduğu sürekli azami kullanım sıcaklığı $-50/+750\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır [38].

TS 825 Ek 5'te ısı iletkenlik hesap değeri $0,040\text{ W/mK}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $n=1$ 'dir. Taş yünü $30-200\text{ kg/m}^3$ arası yoğunluklarda üretilmektedir. Mekanik dayanımları $1,5-6,5\text{ ton/m}^2$ ve su emmeleri hacimce $\%2,5-10$ arasında değişmektedir [39].

Cam yünü ve taş yünü $\%100$ boyutsal kararlılığa sahiptir. Sıcağa ve rutubete maruz kaldığında boyutları değişmez. Fiziksel özelliklerini zamana bağlı olarak kaybetmez, zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz, böcek ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. Higroskopik ve kapiler değildir.

Ergime sıcaklığı $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Kolay kesilmesi ve zayıtsız her parçasının değerlendirilmesi uygulamada fayda sağlar [39].

2.9.5. Odun talaşı levha

Ahşap talaşının manyezit bağlayıcısı ile sıkıştırılmasıyla levha halinde üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir. Basınç ve bükülmeye karşı dayanımı olan bu levhalar, aynı zamanda ses yalıtımı da sağlamaktadır. Güneşin ultraviyole ışınlarından etkilenmez, ancak organik kökenli bir malzeme olması sebebiyle çeşitli böcek ve organizmalardan zarar görebilir [37].

Odun talaşı levhaların kullanım sıcaklığı $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Isı iletkenlik hesap değeri $0,09\text{--}0,15\text{ W/mK}$, su buharı difüzyon direnci $2\text{--}5$ arasındadır. Yanma sınıfı BS 476 standardına göre 1.sınıftır. Yoğunluğu $360\text{--}570\text{ kg/m}^3$ arasında üretilmektedir. Mekanik dayanımları 20 ton/m^2 ve su emmeleri hacimce $\%10$ 'dur [37].

2.9.6. Fenol köpüğü

Fenol köpüğü, fenol-formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddelerin katılmasıyla düşük $30\text{--}60\text{ kg/m}^3$ ve yüksek $80\text{--}120\text{ kg/m}^3$ yoğunlukta olmak üzere iki şekilde elde edilebilen malzemeler olup pano, blok, kabuk veya yerinde döküm olarak kullanılmaktadır. Fenol köpükleri açık gözenekli yapıları nedeniyle su, hava, buhara karşı yalıtımları düşüktür [35].

Fenol köpüklerinin kullanım sıcaklığı $-180/+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Isı iletkenlik hesap değeri $0,036\text{ W/mK}$ 'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $10\text{--}50$ arasındadır. Kolay su alabilen kapiler özelliktedir. Yanma sınıfı BS 476 standardına göre 1.sınıftır. Yoğunluğu $30\text{--}50\text{ kg/m}^3$, basınç dayanımları $10\text{--}15\text{ ton/m}^2$ arasında değişmektedir [35].

2.9.7. Mantar levha

Bilinen en eski bitkisel kökenli yalıtkanlardan biri olan mantar, taneli bir yapıda olup, doğal mantar veya meşe mantarları olarak da bilinmektedir. Heterojen yapılı ve örnekten örneğe değişen ısı iletkenlik katsayısına sahip olan mantar, piyasada kabuk, pano, karo vb. şekillerde bulunmaktadır. Ayrıca mantar, bir bağlayıcı ya da çimento harcına katılarak ısı tutucu katkılı sıva veya şap halinde uygulanmaktadır. Genel özellikleri açısından yapıştırılması, çivilenmesi ve kesilmesi kolaydır. Bu özelliklere ek olarak higroskopik olan, kimyasal maddelere dayanıklı, ancak halojenlere, amonyağa ve eter yağlarına dayanıksız olan mantar, basınç altında bitüm gibi bir bağlayıcı eklenerek daha dayanıklı levha mantarlar elde edilmektedir. Bu tür mantarlar zor yanan ve su emme değerleri düşük olan özelliklere sahiptir. [37].

Mantar levhaların kullanım sıcaklığı $-180/+110$ °C aralığında, ısı iletkenlik hesap değeri $0,040-0,055$ W/mK'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü 10-35 arasındadır. Hidroskobiktir, havanın nemini bünyesine çeker, yanma sınıfı BS 476 standardına göre 3.sınıf olup yoğunluğu $80-500$ kg/m³ arasında değişmektedir [35].

2.9.8. Cam köpüğü

Cam köpüğü, cam tozunun karbon ile birlikte ergitilmesiyle elde edilen ısı yalıtım malzemesidir. İç yapı olarak kapalı cam hücrelerine sahiptir. Kabuk, levha, pano, blok veya kesilmiş parça olarak bulunabilir. Su ve buhar geçirmez, hidroskobik ve kapiler değildir. Kimyasal etkilere karşı dayanıklı olup çürüme ve küflenme yapmaz. Cam köpüğünün kullanım sıcaklığı $-260/+430$ °C aralığında, ısı iletkenlik hesap değeri $+20$ °C'de $0,052$ W/mK'dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü 10.000 olup su emme özelliği yoktur. Yanma sınıfı BS 476 standardına göre yanmaz (Class 0) malzemedir. Yoğunluğu $100-200$ kg/m³, basınç dayanımı $48-880$ ton/m² arasında değişmektedir [35].

2.10. Isı Yalıtım Malzemelerinin Teknik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Türkiye’de yüksek Pazar payına sahip ısı yalıtım malzemeleri polistren esaslı levhalar ve mineral yünlerdir. Taş yünü, EPS ve XPS levha kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalar, yalıtım malzemesinin teknik özelliklerine göre değişen sistem performansları sergilemektedir. Söz konusu üç malzeme de ısı yalıtım malzemesi olmasına rağmen sahip oldukları yoğunluk, ısı iletim katsayısı, yanıcılık sınıfı, boyut stabilitesi, buhar difüzyonu, değerleri gibi temel teknik özellikleri ile farklılık göstermektedir [21].

Isı iletkenlik katsayısı

EPS’nin ısı iletkenliği yoğunluğuna bağlıdır. Yoğunluk arttıkça ısı iletkenliği azalır. EPS’nin ısı iletkenlik hesap değeri, üretim yoğunluğunun 15-45 kg/m³ arasında değerler alması halinde 0,033-0,040 W/mK arasında değer alır. XPS’nin ısı iletkenliği şişirici gaza göre değişmektedir. En düşük ısı iletkenliği ozon’a zarar veren CFC’lerle sağlanmaktadır. Ozon’a daha az zarar veren HCFC’lere geçildikçe ürünün ısı iletkenliği artmakta ve iklim değişikliklerine sebep olan sera etkisi görülmektedir. HCFC’lerin kullanımı yasaklandığı için şişirici gaz olarak HFC’ler veya CO₂ kullanılması gerekir. Bu gazların kullanımı ısı iletkenliğinde artışa neden olmaktadır. XPS’nin ısı iletkenliği hesap değeri şişirici gaza bağlı olarak 0,030-0,045 W/mK arasında değerler alır. Sonuç olarak yalıtım projesinde EPS veya XPS yazılması, ürünün ısı iletkenliğinin tanımlanması için yeterli değildir. EPS için hangi yoğunluğun seçileceği belirtilmeli; XPS için ise, kullanılan şişirici gaz tanımlı olmalıdır. Mineral yünlerin ısı iletkenlik hesap değerleri ise 0,040 W/mK’dir [20].

Basınç dayanımı

Mineral yünlerin %10 deformasyondaki basınç dayanımı EN 13162’de 0,5-500 kPa; EPS için EN 13163’de 30-500 kPa olurken, XPS EN 13164’de 100-1000 kPa yüksek basınç dayanımı ile diğer malzemelerden ayrılmaktadır [20].

Su buharı difüzyon direnci faktörü

Mineral yünlerin su buharı dirençleri çok küçük olup havanın değeri olan 1'e eşittir. EPS' nin buhar direnci geniş bir aralıkta yani 20-250 arasında değişebilir. Dolayısı ile uygulamanın gerektirdiği şartlar malzeme israfına sebep olmadan sağlanabilir. XPS'nin buhar direnci genellikle daha yüksek olup 80-200 arasındadır [20].

Yapı fiziğinin büyük önem kazandığı günümüzde yapı kesitlerinin nefes alabilir şekilde tasarımı öne çıkmaktadır. Buhar difüzyon direnci düşük malzemelerin kullanılması, arzu edilen bu özelliği yapı kabuğuna kazandırmaktadır. Bu nedenle taş yünü levhalar ile yapılan mantolama uygulamaları ile diğer ürünlere oranla daha düşük buhar difüzyon direncine sahip kesitler elde edilebilir [20].

Su emme durumu

Mineral yünler, açık gözenekleri sebebiyle özel olarak tedbir alınmaz ise su emmeleri çok yüksek malzemelerdir. Hacimce su emmeleri cam yünü %3-10, taş yünü %2,5-10' dur. Kapalı gözenekleri sebebiyle EPS ve XPS' in su emmeleri oldukça düşüktür. Hacimce su emmeleri XPS max. %0-0.5, EPS %1,1-2,5'tur [20].

Boyut stabilitesi

Sıva ve şap uygulamalarında kullanılan yalıtım malzemelerinin boyutsal kararlılığı büyük önem taşımaktadır. Özellikle üretim teknolojisinden kaynaklanan sebeplerden dolayı, EPS yalıtım plakalarının boyutsal kararlılığına ulaşması yaklaşık 6-7 haftalık bir dinlendirme süresinin sonunda oluşmaktadır. XPS ısı yalıtım levhaları gözenekli hücre yapısına sahip olmaları nedeni ile ısı değişimleri karşısında boyutsal değişim göstermektedir. Her iki ürünün de lineer uzama katsayıları ve sıcaklık farkındaki boyutsal değişimleri taşıyını mantolama levhalarına oranla çok daha yüksektir [20].

Yanıcılık sınıfı

EPS ve XPS, petrol türevi polistren hammaddesi kullanılarak imal edilen yalıtım malzemeleri olup maksimum kullanım sıcaklıkları olup 75-80 °C'dir. Bu dezavantajları nedeni ile, yurtdışında yangın riskinin yüksek olduğu bitişik nizam veya çok katlı binalarda bu ürünler belli sınırlar dahilinde kullanılmaktadır. Ülkemizde de 2002 yılı sonunda Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Yangından Koruma Yönetmeliği gereğince söz konusu malzemelerin kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Bu malzemeler DIN 4102 standardına göre yanıcı malzemeler sınıfına girmektedir. İmalatları sırasında kullanılan yanma geciktirici malzemeler bu malzemelerin yanıcılık sınıflarını bir miktar iyileştirmekle birlikte yanmaz malzeme haline getirmemektedir. Taş yünü ise DIN 4102 standardına göre A sınıfı yanmaz malzeme olup 750 °C maksimum kullanım sıcaklığı ile yangına karşı üstün bir performans göstermektedir [20].

Çizelge 2.1. Türkiye’de üretilen ve standardı olan bazı ısı yalıtım malzemeleri [4].

Isı Yalıtım Malzemesi	Standart Norm	Isı İletim Katsayısı W/mK	Buhar Dif. Direnci	Kullanım Sıcaklığı °C	Yangın Sınıfı	Mekanik Dayanım t/m ²	Yoğunluk kg/m ³	Su Emme %
<i>Cam Yünü</i>	TS 901 EN 13162	0,040	1	-50/+250	DIN 4102 (A)	1,5-6,5	14-100	3-10
<i>Taş Yünü</i>	TS 901 EN 13162	0,040	1	-50/+750	DIN 4102 (A)	1,5-6,5	30-200	2,5-10
<i>XPS</i>	TS 11989 EN 13164	0,028 0,031	80-250	-50/+80	DIN 4102 (B1)	10-50	25-45	0-0,5
<i>EPS</i>	TS 7316 EN 13163	0,040	20-250	-180/+75	DIN 4102 B1/B2	5-15	10-40	1,1-2,5
<i>O. Talaşı Levhalar</i>	TS 405	0,09-0,15	2-5	Maks. +110	BS 476 Class 1	20	360-570	10
<i>Fenol Köpüğü</i>	TS 2193 EN 13166	0,036	10-50	-180 +150	BS 476 Class 1	10-15	30-50	-
<i>Mantar Levha</i>	TS 304	0,040 0,55	10-35	-180 +110	BS 476 Class 3	-	80-500	Su Emmez
<i>Poliüretan</i>	TS 21931 EN 13165	0,035	30-100	-200 +110	DIN 4102 B1/B2	10-40	30-200	3-5
<i>Cam Köpüğü</i>	EN 13167	0,052	10.000	-260 +430	BS 476 Class 0	48-880	100-200	Su Emmez
<i>Geniş. Perlit</i>	EN 13169	0,057		-250 +1000				

A – Class 0 sınıfı Yanmaz
B1 – Class 1 sınıfı zor alev alan
B2-sınıfı normal alev alan

Çizelge 2.2. İthal edilen bazı ısı yalıtım malzemeleri [4].

Isı Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı W/mK	Buhar Dif. Direnci	Kullanım Sıcaklığı °C	Yoğunluk kg/m ³
Seramik Yünü	0,037	542	0/+800	100
Melamin Köpüğü	0,034	350	-60/+150	-
Poliizosiyonat Köpük	0,026	30	-180/+140	-
PVC Köpük	0,029	1-5	-100/+95	-
Vermikulit	0,067	350	0/+300	-
Elastomerik Kauçuk Köp.	0,037	0,25	-40/+116	60

2.11. Isı Yalıtım Uygulamaları

Konutlarda uygulanan ısı yalıtımının amaçlarından biri, konutun yıllık olarak tükettiği enerji miktarını olabilecek en düşük seviyede tutmaktır. Bunun için birincil ve en önemli uygulama, yapının dış koşullara açık olan tüm yüzeylerinin çatı, duvar ve temel bölümlerinin yalıtılmasıdır. Yapının tek veya çok katlı olmasına göre ısı kayıp oranları değişmektedir. Tek ve çok katlı yapılarda ısı kayıplarının oranları Çizelge 2.3. görülmektedir [4].

Çizelge 2.3. Tek ve çok katlı yapılarda ısı kayıp yerleri ve oranları [4].

%	Duvar	Çatı	Bodrum	Pencere	Hava Kaçağı
Tek Katlı Yapılar	25	22	20	20	13
Çok Katlı Yapılar	40	7	6	30	17

2.11.1. Duvarlarda ısı yalıtım uygulamaları

Duvarlarda ısı yalıtım uygulamaları üç şekilde olmaktadır. Bunlar; dıştan, ortadan ve içten ısı yalıtımıdır.

Dıştan ısı yalıtımı (Mantolama)

Isı yalıtımı, binayı çevreleyen kabuk yani dış duvarın dış yüzeyine uygulanır. Bina dış kabuğunu ısıl gerilimlerden koruyarak bina ömrünü uzatır ve ısıtma sistemi kapatıldıktan sonra özellikle konutlarda konfor şartlarının devamını sağlar [37].

Dıştan uygulamada XPS, duvar yüzeyine reçine katkılı çimento esaslı harçlar ile yapıştırılır. Daha sonra, 1 m² 'ye 6 adet gelecek şekilde plastik çivili yalıtım dübelleri ile mekanik fiksaj-tesbit yapılır. Yapıştırma kullanılan harç ile XPS levha üzerine ince bir sıva yapılır. Bu sıvanın üzerine tüm duvar yüzeyini kaplayacak şekilde alkaliye dayanıklı cam elyafı file tatbik edilir. Daha sonra, üzeri tekrar sıvanır ve sıva kuruduktan sonra boyanarak çalışma bitirilir. Bu uygulamada sıva kalınlığı asgari 5 mm olmalıdır [40].

Havalandırmalı giydirme cephelerde, yanıcı ısı yalıtım malzemeleri kullanılıyorsa, her kat hizasındaki mineral yün yangın bariyerlerine ilave olarak her kat döşemesi hizasında metal yangın kesici bantlar kullanılması faydalı olacaktır. Geçirimsiz dış kaplama ile ısı yalıtım malzemeleri arasında mutlaka havalandırma boşluğu bulunmalı ve muhtemel yoğunlaşma suyu için drenaj imkanı sağlanmalıdır. Yanıcılık sınıfı A1, A2 ve B1 sınıfı ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır. Yangına dirençli tespit elemanları ve her kat hizasında 100 mm'lik bant halinde mineral yün yangın bariyerleri takviye edilmelidir. Yağmur suyu sızmasına karşı, kaplama arkasında bir membran kullanılıyorsa mutlaka buharı dışarı atan, suyu iç tarafa geçirmeyen (nefes alan su yalıtım membranı) bir membran kullanılmalıdır [40].

Oturulmakta olan binalarda dış duvarlara iç taraftan ısı yalıtımı yapılması daha kolay ve ekonomiktir. Bu uygulamalarda mineral yünler ve XPS uygundur. Dış duvarlarda radyatör arkasındaki ısı kayıpları da önemlidir. Radyatör arkalarına yansıtıcı ısı yalıtım levhaları konularak yaklaşık %5 yakıt tasarrufu sağlanabilir [40].

Kiriş ısı yalıtımlı duvar

Duvar gövdesi kendisinin ısı yalıtımı açısından yeterli olması durumunda yalnızca taşıyıcı elemanların dış yüzeyine yalıtım uygulamasıyla yetinmek mümkündür. Duvarın giriş kenarından ısı yalıtımı kadar dışa taşırılmasıyla yapılır. Duvar kaplaması ve taşıyıcı eleman yalıtım malzemesi arasındaki derz üzerinde sıva donatısı kullanılması çatlakların önlenmesi açısından gereklidir [40].

Dış kaplamalı ısı yalıtımlı duvar

Önceki çözümlerden farklı olarak burada ısı yalıtımı dış kaplamaya bitişik ve hava boşluğunun dış tarafında bulunur. Sıcak bölgelerde boşluktaki havanın kaplama yoluyla ısınmasını engelleyerek serinlemeyi sağlama amaçlanır. Dışarıdan yapılacak ısı yalıtımı uygulamalarında, ısı yalıtım levhalarının yapıştırılacağı yüzeyler kir, toz, yağ, kabarmış boya, kalkmış sıva gibi tutunmada/yapışmada

uygunsuzluk yaratacak zararlı etkenlerden arındırılmış ve yapıştırıcı ile yapışmayı sağlayacak pürüzlülüğe sahip olmalıdır. Eski akrilik esaslı malzeme ile kaplı yüzeylerde çimento esaslı yapıştırıcı ile iyi bir yapışma sağlamak için eski yüzey kazınmalı veya yeni akrilik yüzeylere tutunma sağlayabilecek akrilik esaslı ısı yalıtım plakası yapıştırıcısı kullanılmalıdır [40].

Binalarda enerji tasarrufu elde etmek ve binanın özellikle duvar/çatı/zemin ve taşıyıcı sisteminde yoğuşmanın kontrol altına alınması için A1, A2 veya B1 yanıcılık sınıfına uygun ısı yalıtım levhalarının bir sistem bileşeni olarak, sisteme tariflenmiş uygun malzemeler ile (Isı yalıtım levhası, yapıştırıcısı, sıvası, alkali dayanımlı sıva filesi, çeşitli profiller, gerekli ise uygun mekanik sabitleştiriciler ve boya, kaplama malzemeleri ile birlikte) binaların dış cephelerinde gerçekleştirilen yalıtım uygulamalarıdır. Yüksek yapılarda; sistem üreticisinin tavsiyesi doğrultusunda genleşme derzleri oluşturulabilir. Polimer katkılı elastik özellikli veya fiber katkılı sıva kullanılmalıdır. Dış cephede tekstür oluşturacak ve solvent içermeyen dekoratif son kat kaplama ile uygulama bitirilir [40].

Yalıtım levhaları binili ya da düz kenarlı olabilir. Her iki durumda da uygulama esnasında ısı yalıtım levhalarının arasında boşluk kalmamasına, oluşacak boşlukların yalıtım levhasına uygun dolgu köpükleri veya aynı yalıtım levhasından kesilerek elde edilecek uygun kalınlıktaki kamalarla doldurulması gereklidir. Bu şekilde olası kılcal çatlakların ve ısı köprüsü oluşumunun önlenmesi mümkündür. İklim şartları göz önüne alınarak, gerekirse dış cephe muhafaza edilerek uygulama yapılmalıdır. Isı yalıtımı yapılması sonrasında sağlıklı sonuçlar alınması için, yapı kabuğunun tamamen kurumuş olmasına dikkat edilmesi gerekir. Sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde son kat kaplamanın rengi, duvar kesitindeki sıcaklık dağılımını etkiler. Son kat dekoratif kaplamanın rengi, ısı yalıtım malzemesinin bozulmasına müsaade etmeyecek şekilde, üreticilere danışılarak tespit edilmeli, açık renkler tercih edilmelidir [39].

Mineral esaslı malzemeler kuru ve rutubetsiz bir ortamda 0°C'nin üzerinde, kapalı alanda depolanmalı, uygulamalar +5°C'nin altında ve 30°C'nin üzerinde

yapılmamalıdır. Özellikle sıcak havalarda, doğrudan güneş ve rüzgar alan cephelerde uygulama yapılmamalıdır. Sıva dayanımını (çatlak ve darbe etkisine karşı) artırmak için, galvanizli paslanmaz çelik tel sıva filesi kullanılmalıdır. Tüm sıva sistemini taşıyacak olan bu donatı sisteminde;

- Tel kalınlığı: 1,1 mm,
- Çelik sınıfı: DIN 17140,
- Tel yüzey işlemleri: Çinko miktarı 300–400g/m²,
- Kaplama kalınlığı: 50 µm. Olmalıdır [39].

Yüksek yapılarda veya geniş yüzeylerde genleşme derzleri oluşturulmalıdır. Çimento esaslı, püskürtülerek uygulanabilen, hava sürüklemeli sıva kullanılmalıdır. Son kat kaplama olarak çimento veya silikat esaslı boya veya kaplama malzemesi ile bitirilir. Uygulama esnasında ısı yalıtım levhalarının arasında boşluk kalmamasına, oluşacak boşlukların yalıtım levhasından kesilerek elde edilecek uygun kalınlıktaki kamalarla doldurulması gereklidir. Bu şekilde olası kılcal çatlakların ve ısı köprüsü oluşumunun önlenmesi mümkündür. Mineral esaslı sıva, boya ve/veya kaplama malzemeleri uygulandıktan sonra 2 gün boyunca nemli kalmaları sağlanmalıdır [39].

Kalıp içi uygulama ile ısı köprülerinin yalıtımı

Bu tür uygulamalar özellikle yaz aylarında betonun hızla su kaybetmesini önleyerek sağlıklı priz almasını ve ısı yalıtım malzemesi ile beton arasında çok iyi tutunma oluşmasını sağlar. Bu uygulamalarda; iki yüzü pürüzlü ve kanallı %10 deformasyonda basınç dayanımı en az 200 kPa olan ısı yalıtım levhaları kullanılır. Beton dökme işleminden önce, XPS ısı yalıtım levhaları birleşimlerinde boşluk kalmayacak şekilde kalıp iç yüzeyine yerleştirilir. Yerleştirme yaparken, geçici bağlantı elemanları ile kalıba bağlanarak, beton dökümü sırasında ısı yalıtım levhalarının yerinden oynaması engellenmelidir. Plastik ayırıcılar ile yalıtım malzemesinin zarar görmeden donatının gerekli beton kalınlığı ile uygulanması için paspayı bırakılır. Hazırlanan yalıtımlı kalıp içerisine beton dökülerek geleneksel

sıva katına kadar uygulama tamamlanır. Betonla yalıtım malzemesi arasında ilave bir mekanik tespit gerekmez [40].

Toprakaltı dış duvarlarda ve temel uygulamalarında yalıtım

Isı yalıtım levhaları; zemin altında kullanılan hacimlerin ısı yalıtımında ve/veya su yalıtım örtülerinin toprak dolgunun yapılması sırasında mekanik etkilere karşı koruma amaçlı olarak kullanılabilir. Toprak altı dış duvarlarda en az yoğunluğu 30 kg/m³ olan, %10 deformasyonda basınç mukavemeti 300 kPa olan, iki yüzü zırlı, kenarları binili ve difüzyonla su emmesi %3'ün altında olan XPS kullanılır. Toprak altı dış duvarların yüzeyi düzeltilip su yalıtımı yapıldıktan sonra, ısı yalıtım levhaları yapıştırılarak veya serbest olarak temel duvarı üzerine şaşırtmalı olarak ek yerlerinde derz oluşmayacak şekilde yerleştirilir. Isı yalıtım levhalarının su yalıtım örtülerinin üzerine uygulanmasında solvent içermeyen soğuk bitüm esaslı yapıştırıcı veya çift taraflı yapışkanlı bitümlü örtüler kullanılır. Yapıştırma işlemi geçici olarak yalıtım levhalarının tespit edilmesi işlevini görmektedir [40].

Solvent içermeyen bitüm esaslı yapıştırıcı noktasal olarak (en az 2 kg/m² sarfiyat ile) yalıtım levhası üzerine sürülür veya levha başına en az 5 adet 100x150 mm ebatlarında hazırlanmış çift taraflı yapışkan bitümlü örtünün yapıştırılması ve dışa bakan taraftaki polietilen film katmanının kaldırılarak, su yalıtımı yapılmış duvar üzerine, ısı yalıtım levhaları şaşırtmalı olarak yerleştirilir. Isı yalıtımının yapıştırılmasından kısa bir süre sonra kademeli olarak toprak dolgu yapılır ve yalıtım levhalarının toprak basıncı ile duvara montajı sağlanır. Eğer kademeli toprak dolgu işlemi yapılmayacak ise ısı yalıtım levhalarının dış tarafına baskı duvarı örülür. Bu detayda, su yalıtım örtüsünün korunması ve delinmemesi gerekir. Bu nedenle ısı yalıtım levhalarının montajında dübel kullanılmaz [40].

Toprak altı dış duvarlara yapılan uygulamalarda amaç su yalıtım katmanını koruyarak ısı yalıtımı sağlamak olduğundan, uygulama aşamasında su yalıtım membranının zarar görmesi engellenmelidir. Isı yalıtım katmanının kalınlığı; toprak

altı dış duvara sahip hacmin kullanma amacına bağlı olarak TS 825 standardında verilen esaslara göre belirlenmelidir [40]. Dıştan ısı yalıtımının faydaları:

1. Yalıtım kesintisizdir, manto gibi binayı korur.
2. Isı köprüleri azdır, hatta pratik olarak yok kabul edilebilir.
3. Tüm yapı elemanları atmosfer etkilerinden korunur, binanın ömrünü uzatır.
4. Isıtma sisteminin kısa süreli kapatılması halinde (geceleri), iç ortam sıcaklığının düşmesini önler. (Konut, ofis vb sürekli veya kısa aralıklarla sürekli kullanılan binalarda önemlidir.)
5. Yazın aşırı ısınmayı önler.
6. Su buharının kesit içinde yoğunlaşma riski en azdır. (Isı yalıtım malzemesinin buhar direncinin düşük olması tercih edilir.)

Dıştan ısı yalıtımının dezavantajları:

1. Yapı fiziki hasarlarının önemli bir bölümü, dışarıdan ısı yalıtımı uygulamaları ile engellenebileceği gibi mevcut hasarların onarımında da en etkin ve kalıcı uygulama olmaktadır.
2. Uygulama için tüm cepheye iskele kurulması ve kalifiye ekip tarafından uygulanması gerekir.
3. Maliyeti daha yüksektir [39].

Duvarlarda ortadan ısı yalıtımı (Sandviç duvar)

Ortadan ısı yalıtımlı dış duvarlarda, cam yünü, taş yünü, ahşap yünü, koyun yünü, mineral lifli plak ısı yalıtım malzemeleri, EPS ve XPS sert köpük, poliüretan sert köpük vb. plak üreten ısı yalıtım malzemeleri, cam köpüğü ya da genleştirilmiş perlit veya vernikülit, bims vb taneli yalıtkan dolgu malzemeleri ısı yalıtım malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Ancak, taneli dolgu malzemeleri daha çok havalandırmaz dış duvarlar için uygun olan ısı yalıtım malzemesidir [39].

Ortadan ısı yalıtımlı dış duvarlarda, iç ve dış kabuk arasında yapısal bir bağlantı yoktur. Bununla beraber her iki kabuğun mekanik dayanım açısından birlikte çalışması gerekir. Bunun için, iç ve dış masif katman yeterli sıklıkta metal bağlarla birbirine bağlanır. Bağlanma, duvar örülürken, bağların bir ucu dış, diğer ucu iç katmana ve karşılıklı aynı düzlemdeki derzlere veya iç ve dış kabukta boşluklara sokularak bağlanır. Bağlar için en uygun metal, bakır, bronz, galvanizli demir ve paslanmaz çeliktir. Bağlantı için çok değişik boyut ve biçimlerde paslanmaz çelik köşebentler ve özel bağlantı elemanları üretilmektedir [40].

Ortadan ısı yalıtımlı dış duvarlar hem iskelet ve hem de yığma yapılara uygulanmaktadır. İskelet yapılarda kabukların her ikisi ince olabileceği gibi biri kalın (iç kabuk), diğeri ince olabilir. Yığma yapılarda ise statik açıdan daha kalın duvarların yapımı gerektiğinden kabuklardan birisi özellikle iç kabuk diğlerinden daha kalın olarak inşa edilmektedir [40].

Havalandırılmalı çift kabuk dış duvar sistemlerde yer alan katmanında herhangi bir hapsedilmişlik, durgunluk ve nem depolama niteliği olmayıp aksine bir serbestlik, sürekli bir hareket, dolayısıyla da nem taşıyıcılık ve yapıdan aldığı nemi beraberinde yapıdan uzaklaştırıcılık gibi olumlu nitelikler söz konusudur. Burada yapı bileşeni hem konstrüksiyon hem de işlev yönünden hareketli hava katmanı tarafından ikiye bölünmüştür. İyi bir şekilde havalandırılan hava katmanının ısı şartları dış ortamla aynı kabul edilir [40].

Ortadan ısı yalıtımlı ve havalandırılmalı çift kabuk dış duvarlarda dış kabuk en az 9 cm, iç kabuk ise en az 11.5 cm kalınlığında olmalıdır. İki kabuk arası en fazla 15 cm, hava tabakasının en az kalınlığı 4 cm ve ısı yalıtım tabakası en fazla 11 cm kalınlığındadır. Havalandırmasız dış duvarlarda, sistemi oluşturan tüm malzeme katmanlarına ait nem ve ısıl dirençler birbiri arkasından kesintisiz sıralanmaktadır. Bu tür dış duvarlarda rüzgar etkisi altındaki yağmur suyu geçirimli dış kabuk ve derzler yoluyla konstrüksiyona girebilir. Bu su, hem don hasarına ve hem de dış kabuğun iç yüzeyi ile temas halinde olan ısı yalıtım malzemesinin nemlenmesine neden olabilir. ısıl konfor şartları sağlanmış bu duvarlarda soğuk dönemde iç kabuk

sıcak, don bölgesinde bulunan dış kabuk ise soğuktur. İç kabuk yavaş, dış kabuk ise hızla soğur. Çiğ noktası ısı yalıtım tabakasının içindedir. Sıcak dönemde ise dış kabuk çok hızla ısınır. Taşıyıcı nitelikteki iç kabuk dış kabuk tarafından korunduğu için yüksek sıcaklıkların etkisi altında değildir. Sıcak dönemde ısı akımına paralel olarak gelişen buhar akımı sonucu, su buharı ısı yalıtım tabakasında yoğunlaşır, yoğunlaşma genellikle düzlemseldir. Taşıyıcı duvar yıllık sıcaklık farkı nedeni ile çok az genişler. Dış kabuk, yüksek ısı genleşmelerinin etkisi altındadır ve iç kabuğun ısı depolama yeteneği yüksektir [39].

Havalandırılmalı sistemde dış kabuk için kullanılacak masif yapı taşlarının don etkisine dayanıklı olması ve su geçirmez (sıkı) nitelik taşıması, buna karşılık iyi bir kılcal emicilik gücüne sahip olması, yani iyi bir nem depolayıcı olması gerekir. Bu malzemeler, buhar kesicilik özelliği de taşıyabilir. Bu durumda, kapalı ortamdan difüzyon yoluyla gelen su buharı hareketli hava katmanına erişir erişmez buradaki hava akımı ile derhal uzaklaştırılacaktır. Havalandırılmalı dış duvar sistemi, her yerde kolayca kullanılamayan en hassas ısı yalıtım malzemelerinin (örneğin: son derece düşük yoğunluktaki cam yünü vb) istenilen düzeyde ısı iletkenlik değerleri içinde ve sağlıklı olarak kullanılmasına imkan vermektedir. Burada kullanılacak ısı yalıtım malzemesinin tam anlamıyla buhar geçirgen olmasında hiç bir sakınca yoktur. Ancak, bu sistemde cam köpüğü vb difüzyon direnci yüksek ısı yalıtım malzemeleri kullanılacaksa, bunlar açık derzli olarak uygulanmalı ve iç kabuk iç yüzeyine yakın bir bölgede güçlü bir buhar kesici katman ile birlikte yer almalıdır. Ortadan ısı yalıtımlı ve havalandırılmalı dış duvarlarda boşluk tabanında, olası yoğunlaşma ve kabuktan sızabilecek yağmur sularının her iki kabuğa zarar vermeden serbestçe dışarı atılmasını sağlayan bir sızdırmazlık katmanı uygulanmalı ve bu katman, hava giriş delikleri ile optimum düzeyde bağdaştırılmalıdır [40].

Havalandırmasız sistemde genel olarak su buharı difüzyon direnci yüksek yapı taşları dış kabukta kullanılmamalıdır. Isı yalıtım malzemeleri ise su buharı geçirgen özellikte olmalıdır. Bu tür dış duvarlarda, dış kabuk uygun nitelikte malzemeler ile oluşturulmamış ve derzler dahil, dış yüzeyi su geçirimsiz kılacak önlemler alınmamış ve uygulama hataları yapılmışsa rüzgar etkisi altındaki yağmur suyu geçirimli dış

kabuk ve derzler yoluyla konstrüksiyona girebilir. Bu su, hem don hasarına yol açar hem de iç kabuğun iç yüzeyi ile temas halinde olan ısı yalıtım malzemesinin nemlenmesine neden olur. Poliüretan, XPS veya EPS vb. gibi kapalı gözenekli ısı yalıtım malzemeleri kuvvetli yağmur etkisinde derzlerinin dışında pratik olarak bünyesine nem almaz. Taş yünü, cam yünü vb mineral lifli plaklar veya hidrofob genişletilmiş perlit vb gibi açık gözenekli ısı yalıtım malzemeleri ise bünyesine dış kabuğa komşu yüzeylerinden nem alabilir. Isı yalıtım malzemesinin tamamen nemlenmesi durumunda nem bu tabakaya iç yüzünden komşu iç kabuğa da girebilir ve onun da nemlenmesine yol açabilir. Bu açıdan bakıldığında, havalandırmasız dış duvarda, pratik olarak, su emmeyen kapalı gözenekli sert köpükler veya hidrofob (su itici) özelliği ile su emiciliği azaltılmış olan ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır. Her iki durumda da duvar tabanında sağlıklı bir sızdırmazlık katmanı uygulanmalı ve bu katman hava giriş delikleri ile ilişkilendirilmelidir [39].

Ortadan ısı yalıtımlı ve havalandırmasız çift kabuk dış duvarlarda su buharı difüzyonu sonucu genellikle yoğuşma görülür. Isı iletim katsayısı aynı olan ısı yalıtım malzemelerinin yüksek buhar difüzyon direncine sahip olanlar, düşük dirençlilere göre daha az yoğuşma riski taşır. Yoğuşma sonucu oluşan nem miktarı, düşük buhar difüzyon dirençli mineral lifli plakalarda daha fazla, yüksek dirençli yapay sert köpük plaklarda ise daha azdır. Bu açıdan da, ısı yalıtım malzemesi olarak, duvar bünyesinde yoğuşmaya izin verilse bile, kapalı gözenekli sert köpük plaklar kullanılabilir [35].

Plak türünden ısı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı durumlarda atmosferik yüklerden koruyucu dış kabuk için, nispeten düşük difüzyon dirençli bir malzeme (1/2 normal dolu tuğla vb) öngörülürken, ısı yalıtımının dökülerek veya doldurularak uygulandığı duvarlarda masif dış kabuğun difüzyon direnci nispeten yüksek malzemedan (1/2 dolu klinker tuğla vb) seçilmesi gerekir. Isı yalıtım katmanının dolgu malzemesinden oluşması, duvar tabanında sağlıklı bir sızdırmazlık ve sudan arınım sisteminin uygulanmasını zorunlu kılar [35].

Ortadan ısı yalıtımlı ve havalandırılmalı çift kabuk dış duvarlar, yağmur geçişinin önlenmesi ve yapı içindeki su buharının yoğunlaşmaya neden olmadan dışarı atılması yönünden uygun olan konstrüksiyonlardır. Bu sistem ısı geçirgenlik direnci yüksek, buhar geçirgenlik direnci düşük ısı yalıtım malzemeleri ile kullanılmalıdır. Yapım sırasında, hava giriş ve çıkış deliklerinin bırakılmış olması ve duvar diplerinin su geçirmezlik malzemeler ile donatılması gerekir [40].

Yağmur etkisi ve difüzyon tekniği açısından problemli olan ortadan ısı yalıtımlı ve havalandırmasız çift kabuk dış duvarlar pratikte çok ancak, bilinçsizce uygulanan bir detaydır. Bu sistemde yeterli performans ancak bir dizi önlem alınarak sağlanabilir. Hidrofob özellikteki dökme perlitli ısı yalıtım tabakasının kalınlığı en az 5 cm olmalıdır. Mineral lifli, yalıtım malzemeleri kullanılacaksa, konstrüksiyon, uygulama esnasında neme karşı korunmalıdır. Yağmur ve su buharı etkilerine karşı nem emmeyen kapalı gözenekli sert köpük plak veya su itici nitelikteki yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır. Nemsal etkenlere açık dış kabuğun ısı geçirme değerinin hesaplanması ve bunun ısı korunum açısından değerlendirilmesi gerekir [40].

Yağmur suyu etkilerine karşı duvar diplerine sağlıklı bir sudan arınım sistemi oluşturulmalı ve bu bölgeye su geçirimsiz malzeme uygulanmalıdır. Havalandırmasız duvarların farklı iç ve dış kabuk ve farklı ısı yalıtım malzemesi seçenekleri ile difüzyon kontrolü yapılmalı ve alınan sonuçlara bağlı olarak kullanım açısından bir karara varılmalıdır [40].

Duvarlarda içten ısı yalıtımı

Duvarların içten yalıtılması, yoğunlaşma riskinin yüksek olduğu uygulamalar olup yoğunlaşma kontrolü yapılmalıdır. Isı yalıtımının sıcak tarafına buhar kesici uygulanmalıdır. Buhar kesici, tabakanın ek yerlerinde buhar kesici bantlar ile geçirimsizlik sağlanmalı ve tespit elemanları ile delinmemelidir. Isı yalıtım malzemesi sürekli olarak uygulanmalı, ısı köprüsü oluşturacak profil vb tespit elemanlarından kaçınılmalıdır. Kat döşemeleri ile birleşimlerde ısı köprüleri elimine

edilecek şekilde ısı yalıtımı uygulanmalıdır. Duvar bünyesinde bulunan kolon, kiriş, hatıl vb tüm yapı elemanları dıştan ısı yalıtımı ile kaplanmalıdır. Buhar kesici tabakalar mümkünse tavan ve döşemelere döndürülmelidir. Isı yalıtım malzemesinin sıcak tarafında bulunan tabakaların, buhar difüzyon direnç katsayısı (μ) soğuk tarafta bulunanlardan 5 kat daha yüksek olması durumunda yoğuşma önlenabilir ve buhar kesiciye gerek yoktur. Yalıtım tabakası arkasında hava hareketi önlenmelidir. Kompozit yalıtımlı paneller kullanılıyorsa, tavan ve döşeme ile birleşme noktalarında panel arkalarına sürekli yapıştırıcı harç sürülmelidir. Ayrıca panel üzerinde yer alan priz vb. delik çevreleri aynı şekilde kapatılmış olmalıdır. Mutfak ve banyo gibi yüksek buhar üreten hacimlerde yerlerde kaynağa yakın noktada su buharı pasif bir baca veya mekanik havalandırma ile dışarı atılması sağlanmalıdır [40].

İçten ısı yalıtım uygulamalarında, kat yüksekliğindeki XPS (boşluksuz) ısı yalıtım levhaları çimento bazlı yapıştırma harcı ile duvara yapıştırıldıktan sonra ek yerlerine file bant yapıştırılıp üzerine alçı sıva uygulanarak bitirilir. Plastik çivili yalıtım dübelleri ile fiksaj yöntemi, duvar yüzeyinin uygun olmaması veya kat yüksekliğinin 3 m'yi aştığı durumlarda kullanılmalıdır. İçten ısı yalıtım uygulamalarında genellikle bir yoğuşma sorunu yaşanır. Bu açıdan, yoğuşma sorununun çözümlenmesi durumunda uygulanmalıdır. Diğer taraftan, dıştan ısı yalıtım uygulamalarına oranla daha ekonomik olup ısı tutuculuk açısından da dıştan uygulananlara oranla daha düşüktür [39].

Isıtılan bodrum

Isıtılan bodrumlarda, perde, duvar ve döşemede su ve ısı yalıtımları birlikte yapılır. Özellikle soğuk bölgelerde döşemede ısı yalıtımı büyük yarar sağlar [40].

Isıtılmayan bodrum

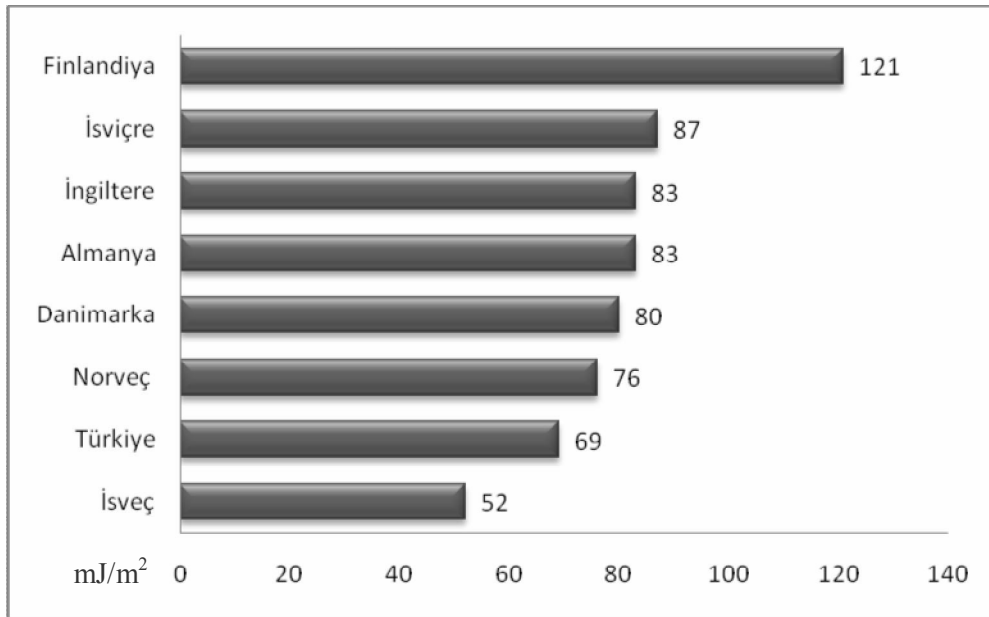
Isıtılmayan bodrumdaki ısı yalıtımı için en etkili konu, dış duvar yalıtımı ile sürekliliğin sağlanabileceği zemin kat döşemesi üst yüzüdür. Yerden ısıtma imkanı da sağlar. Bu konumdaki yüklere karşı yeterli basınç ve darbe dayanımı olmalıdır.

Dış duvardaki yalıtımın en az zemin donma derinliğine kadar indirilmesi gerekir. Isı yalıtımsız bodrumların perde ve döşemelerde yalnızca su yalıtımı yapılır ve drenaj ile desteklenir [40].

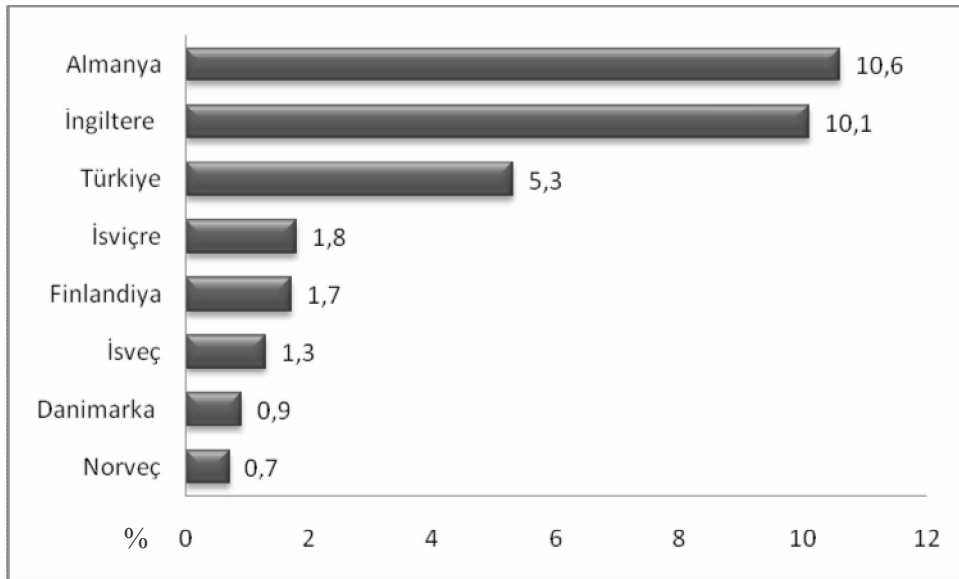
2.12. Isı Yalıtımı ve Enerji Verimliliği

Dünya genelinde enerji tüketimi son 25 yılda kişi başına sadece yüzde 5 kadar artmış olmakla beraber, gelişmekte olan Türkiye’de son 25 yıldaki artış oranı yüzde 100 rakamının üzerindedir. Ülkemizin kendi enerji üretimi 1990 yılında toplam ihtiyacın % 50 kadarını karşılariken günümüzde % 30 civarını karşılamaktadır. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda, hem enerji üretimini arttırmak hem de enerjiyi verimli kullanmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Enerjinin doğru ve verimli olarak kullanımı ile sağlanacak enerji tasarrufu daha ucuza elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Konut sektörü enerji tüketiminin önemli bir payını oluşturduğundan, konut sektöründe enerjinin verimli kullanımına yönelik teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanmasının sağlanması, diğer sektörlerde de bir kazanç olarak yansıyacaktır [41].

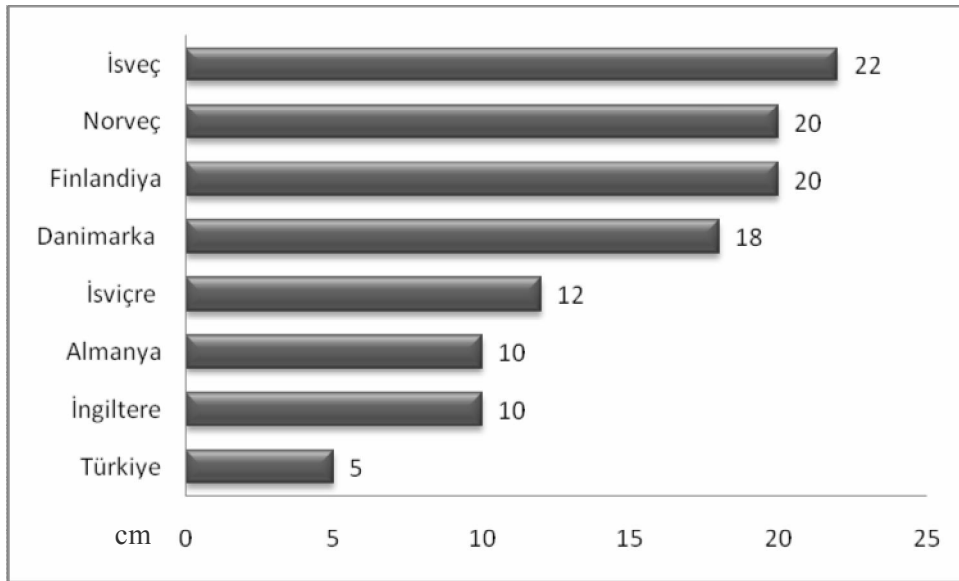
Konutların en önemli işlevlerinden biri iç kısımda ısı konfor koşullarının sağlanmasıdır. Günümüzdeki enerji sorunu göz önünde bulundurulduğunda, bina kabuğunun ısı konforu minimum enerji kullanarak sağlaması büyük bir önem taşımaktadır. Avrupa Yalıtım Üreticileri Kurumu EURIMA (European Insulation Manufacturers Association)’dan alınan 2001 yılı verilerine göre duvarlardan meydana gelen enerji kayıpları, konutlarda oluşan toplam ısı enerji kaybı ve duvarların yalıtım kalınlığı sırasıyla Şekil 2.1’de görülmektedir [42].



Şekil 2.1. Duvarlarda meydana gelen enerji kayıpları (mJ/m²) [42]



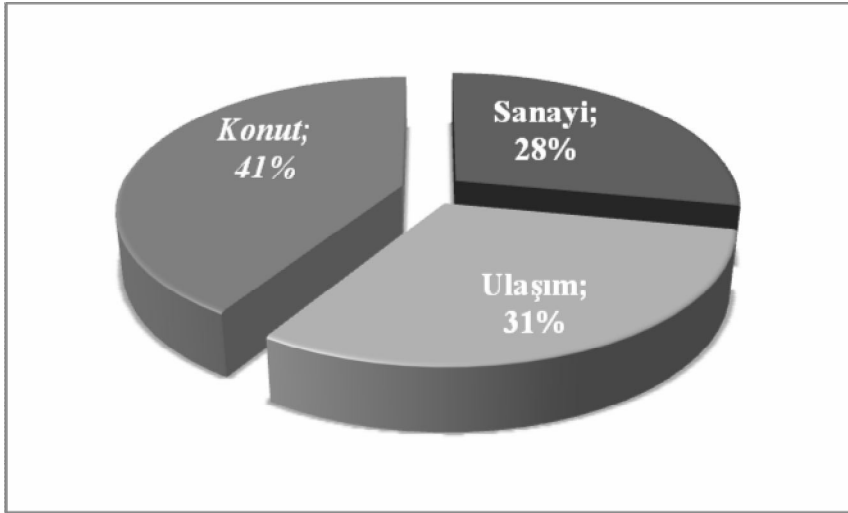
Şekil 2.2. Konutlarda oluşan toplam ısı enerjisi kaybı (%) [42]



Şekil 2.3. Duvarlarda yalıtım kalınlığı (cm) [42]

Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, sanayi, konut, ulaşım başta olmak üzere birçok sektörde enerjinin verimli kullanımını uyguladıkları enerji politikaları ile teşvik etmektedirler. Uygulanan politikalar, mali teşvikler, kontrol ve bilgilendirme hizmetleri ile desteklenmektedir. Gelişmiş ülkelerde, enerji verimliliği yatırımları için devlet ucuz kredi ve vergi muafiyeti gibi mali katkılarda da bulunmaktadır [42].

Isı yalıtımı, tüm dünyada enerji verimliliği kavramına bağlı olarak geliştirilen politikaların en önemli ayağını oluşturmuştur. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, AB’nde konut ve yapı sektörünün toplam enerjinin yaklaşık yüzde 40’ını tüketmesi ve büyük bir tasarruf potansiyeline sahip olması, bu sektöre yönelik ilgiyi artırmıştır. Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenlemeler ağırlıklı yer tutmuştur [41].



Şekil 2.4. AB’nde sektörel enerji tüketiminin dağılımı [41]

EURIMA tarafından yapılan bir araştırma, son 20 yıldır Avrupa’daki yeni konut inşaatlarında uygulanan ısı yalıtımı standartlarının gelişimini kapsamaktadır. Bu araştırma yeni inşaatlarda tavsiye edilen ve uygulanan mineral yünlü yalıtım ürünlerinin kalınlığı üzerine yoğunlaşmıştır. Araştırmaya göre, özellikle orta Avrupa’daki birçok ülkede yalıtım standartlarının sürekli bir gelişim içinde olduğu görülmüştür. EURIMA’nın yaptırdığı bir araştırmada, yalnızca 1974’ten önce yapılan konutların, ısı yalıtımı yenilenmesi durumunda, tüm konut sektörünün ısıtma giderlerinden yaklaşık yüzde 42 tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır [42]. Binalarda uygun ısı yalıtımı kullanımı ve enerji verimliliğinin sağlanmasına ilişkin öneriler;

- Yapısal ve Kurumsal Düzenlemeler
- Yönetmelik ve Standartların Geliştirilmesi
- Mevcut Binaların iyileştirilmesi
- Enerji Etkin Bina Tasarımı
- Ar-Ge ve Eğitim Çalışmaları
- Isı Yalıtım Sistemlerinin Geliştirilmesi

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de sürekli artmakta olan enerji maliyetleri özellikle ısı yalıtımını çok önemli kılmıştır. Ülkemizdeki bazı büyük kent

merkezlerindeki binaların yalıtım durumlarına ilişkin istatistiksel veriler ise şöyledir: 1990 yılında 15.543 binada yapılan araştırmaya göre, yönetmelik yürürlüğe girdikten sonra inşa edilmiş binaların İstanbul 'da %53, Ankara 'da %24, İzmir, Kocaeli ve Bursa 'da %84 'ünde hiç ısı yalıtımı kullanılmamıştır [41].

İsveç'in halen yürürlükte bulunan bina dış kabuğundan bir ısıtma mevsiminde sarf edilecek ortalama ısı tüketimi ülkemiz yönetmelikleri ile karşılaştırıldığında, İstanbul 'da bir binada 2.8, Ankara 'da 3.6, Erzurum 'da 6.0 kat daha fazla yakıt sarf edilerek aynı ısınmanın sağlandığı görülmektedir. Kaynakları son derece kıt olan ülkemiz, bir Avrupa ülkesine göre 6 kat daha fazla yakıtı ısınmak amacıyla harcamaktadır [41].

Binalarda enerji verimliliği kavramının anlamı, gerekli ısı, ışık ve havalandırma konforunun minimum enerji tüketimi, minimum çevre kirliliği ve minimum maliyetle sağlanmasıdır. Türkiye'nin oldukça gerisinde kaldığı uluslararası gelişmelere yaklaşabilmesi ve bu alanda imza koyduğu uluslararası çevre antlaşmalarının yükümlülüklerini yerine getirebilmesi amacı ile "TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardının revizyonu, ilgili uluslararası yönetmeliklerle uyum içinde kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, binalarda enerji verimliliğinin sağlanması için atılacak ilk adımın; binanın kullanım ömrü boyunca özelliklerini yitirmeyecek şekilde, doğru ısı yalıtım tekniklerinin, doğru malzeme ve detaylarla ve doğru bir işçilikle uygulanmasıdır. Hesaplar mümkün olduğunca basit tutulmuş, ısı kaybı ile ilgili sınırlamalar eski standarda göre önemli ölçüde iyileştirilmekle beraber, yukarıda belirtilen ülkelerdeki sınırlamaların düzeyine çekilememiş; ancak binalardaki ısınma amaçlı enerji ihtiyacına bakış ve hesaplama tekniği açısından bir paralellik sağlanmıştır [40]. Enerji verimliliğinde üç temel kavram vardır;

- Daha az enerji tüketimi
- Daha az çevre kirliliği
- Daha düşük maliyet [31].

2.13. Isı Yalıtımı ile İlgili Önceki Araştırmalar

2.13.1. Nümerik ve matematiksel modellemeler ile ilgili çalışmalar

Dombaycı vd., Denizli'deki binalarda, ısıtma için farklı enerji kaynaklarının kullanılması halinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını Derece-Gün değerini esas alarak hesaplamışlardır. Çalışmanın sonucunda optimum yalıtım kalınlığı kullanıldığında, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini sırasıyla 14.09\$/m² ve 1.43 yıl olarak belirlemişlerdir [43].

Bolattürk, Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinden seçilen on altı farklı şehir için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Hesaplama sonucunda, bu değerleri sırasıyla 0.02–0.17 m arasında, %22-%79 arasında ve 1.3–4.5 yıl arasında olarak belirlemiştir [44].

Daouas, yaptığı çalışmada Tunus'ta hem ısıtma hem de soğutma yükleri için farklı duvar yönlerinin maliyetler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma, en ekonomik sonucun güneye yönlendirilmiş duvar için elde edildiğini göstermiştir [45].

Çomaklı ve Yüksel, Türkiye'nin soğuk iklim bölgelerinde bulunan şehirler için yaptıkları çalışmanın sonucunda, yakıt olarak kömür kullanıldığında enerji tasarrufunu 12.133 \$/m² olarak belirlemişlerdir [46].

Hasan, optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesinde life-cycle metodunu kullanmıştır. Sonuçlar polystrene ve taş yünü için enerji tasarrufunu 21\$/m² olarak göstermiştir. Çalışmanın sonucunda geri ödeme süresi taş yünü için 1-1.7 yıl polistren için 1.3-2.3 yıl olarak belirlemiştir [47].

Büyükalaca ve vd., Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri üzerinde temel sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Bununla birlikte enlem, boylam ve deniz seviyesinden yüksekliğine bağlı olarak ısıtma ve soğutma derece gün değerlerinin değişimini araştırmışlardır. Isıtma ve soğutma derece gün değerleri için Türkiye'nin

iç bölgelerinin kuzeydoğusunda ve tüm Türkiye boyunca mevcut büyük dalgalanmalar olduğunu buna bağlı olarak kıyaslamalı şekilde daha fazla ısı enerjisi gereksinimi olduğunu tespit etmişlerdir [48].

Şişman vd., Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesindeki birer şehir için derece gün değerlerini temel alarak yalıtılmış dış duvarlarda yıllık enerji kazancını ömür maliyet analizi ile belirlemişlerdir [49].

Arslan ve Köse, genellikle Kütahya şehrinde mevcut bir bina içinde mevcut farklı referans durumlar için ekserji metodunu kullanmışlardır. Ekserji üzerinde yoğunlaşmış buharın etkisini hesaba katmışlardır. İç sıcaklık 18, 20 ve 22 °C olduğunda, enerji kazancını sırasıyla 74.9%, 76.3% ve 78.8%, optimum yalıtım kalınlıklarını 0.060, 0.065, 0.075 m olarak belirlemişlerdir [50].

Yoon ve vd., Kore'deki değişik iklim bölgelerinde optimum yalıtım kalınlığını bulmak için termal kütleyi hesaba katarak ısı depolama yapılarının toplam soğutma yükü üzerinde değişik yalıtım sistemlerinin etkisini belirlemiştir [51].

Mohsen,, binalarda farklı yalıtım malzemeleri kullanarak, ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplamış ve duvar ve çatı yalıtımında EPS kullanıldığında % 76.8'e varan enerji kazancı elde edilmiştir [52].

Mohammed,, Katar'daki binalar için yalıtım malzemeleri, optimum yalıtım kalınlığı ve güneş radyasyonuna göre enerji hesaplamaları yapmıştır [53].

Aksoy, dıştan ve içten yalıtımlı duvar ile sandviç duvar uygulamalarının, ısıtma enerjisi tüketimiyle ilişkisini yön faktörünü de hesaba katarak araştırmıştır [54].

Gustaffson, İsveç'te yenilenmesi gereken binalarda, iyileştirme ölçütlerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, binanın kullanım süresi enerji

maliyetinin azaltılması, yalıtım uygulaması ve ısıtma sistemlerinin değiştirilmesi gibi parametreleri göz önüne alarak, iyileştirmenin ekonomik boyutunu araştırmıştır [55]. Kaynaklı, Bursa’ daki binaların dış duvarları için 1992’ den 2005’ e kadar dış hava sıcaklık değerlerini dikkate alarak ısıtma mevsimi için derece-saat değerlerini hesaplayarak optimum yalıtım kalınlığını belirlemiştir [6].

Aksoy ve Keleşoğlu, bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma enerjisi üzerindeki etkisini görmek amacıyla, dar cepheleri kuzey-güney, uzun cepheleri doğu-batı yönünde konumlandırılmış penceresiz bir yapıdaki ısıtma enerjisi miktarı, geri dönüşüm süresi ve tasarruf oranlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak yalıtım kalınlığına bağlı olarak %19-%77 arasında değişen enerji tasarrufu elde etmişlerdir [56].

Al-Sanea vd., Riyad’ın iklim şartlarını kullanarak dinamik şartlar altında elektrik tarifesinin bina duvarlarındaki optimum yalıtım kalınlığına olan etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, değişik elektrik tarifeleri için, minimum toplam maliyetin optimum yalıtım kalınlığı ile lineer olarak değiştiğini göstermişlerdir [57].

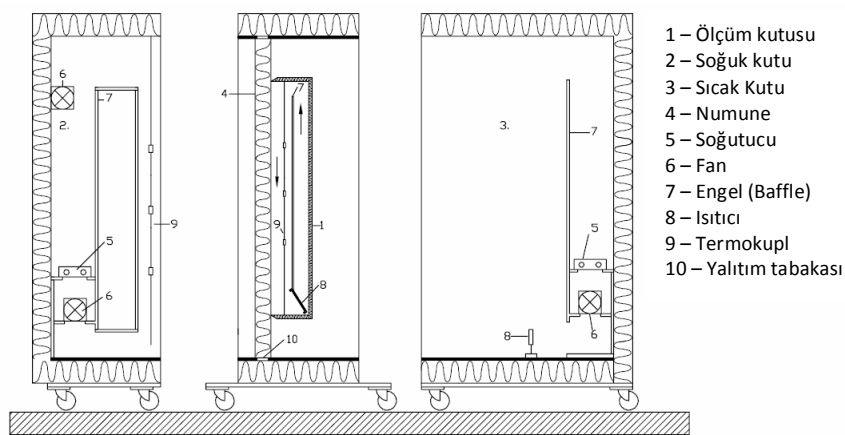
Özel ve Pıhtılı, Adana, Elazığ, Erzurum, İstanbul ve İzmir illerinde dış duvarlar için optimum yalıtım kalınlığını ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini göz önüne alarak hesaplamışlardır [58].

Uçar ve Balo, Türkiye’nin dört iklim bölgesi için dört farklı yalıtım malzemesi ve beş yakıt türü için sandviç duvar optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır [59].

Al-Regib ve M. Zubair, duvarın dış yüzeyinde, iç yüzeyinde ve ortasında yalıtım bulunan üç tip yalıtımlı duvar boyunca ısı transferinin geçici etkilerini araştırmışlardır [60].

2.13.2. Deneysel (Hot Box) olarak yapılan ilgili çalışmalar

Svendsen ve Rose, sayısal hesaplamalar ile mahfazalı sıcak kutuda elde edilen U değerlerini karşılaştırmıştır. EN ISO 8990'a uygun sıcak kutu deney ekipmanları yapılarak duvarlar 285x180 cm boyutundaki alana yapılmış ancak 120x180 cm ölçülerindeki 2.16 m² alanda ölçüm yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak kutu Şekil 2.5'de gösterilmiştir [61].



Şekil 2.5. Svendsen ve Rose'nin deneysel çalışmada kullandığı sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [61]

Mahfazalı sıcak kutu koruma görevi yapan ölçüm kutusu ile çevrilidir. Bunun nedeni kontrollü çevre oluşturarak duvardaki yanal ısı kayıplarını en aza indirmek ve sıcak kutu duvarlarındaki ısı akışını engellemektir. Soğuk kutu sıcaklığı 0 °C olarak belirlenmiş ve kararlı durum elde edildiğinde sıcaklık ortam sıcaklığının % 0,5 sınırı içinde sabit kalmıştır. Sıcak kutu içindeki sıcaklık ise 20 °C olarak ayarlanmış ve iki kutu içinde sıcaklıklar denetleyici termostatlarla sabit tutulmuştur. Soğuk bölüme yüzey direnci oluşturmak için duvar boyunca etkili olan rüzgar hızı kontrol edilebilen bir vantilatör yerleştirilmiştir. Duvarın sıcak kutu tarafındaki yüzey direnci ise ölçüm kutusu içindeki havanın dönüşü (sirkülasyon) sayesinde otomatik olarak gerçekleşmektedir. Yüzey direnci soğuk kutuda yaklaşık olarak 0.04 m²K/W, sıcak kutuda ise 0.13 m²K/W değerleri elde edilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen (ısı iletim katsayısı) U değerlerinin sayısal modele göre %3'den daha az bir sapmayla elde edildiği belirlenmiştir. 9 örnek üzerinde ölçümler yapılarak U

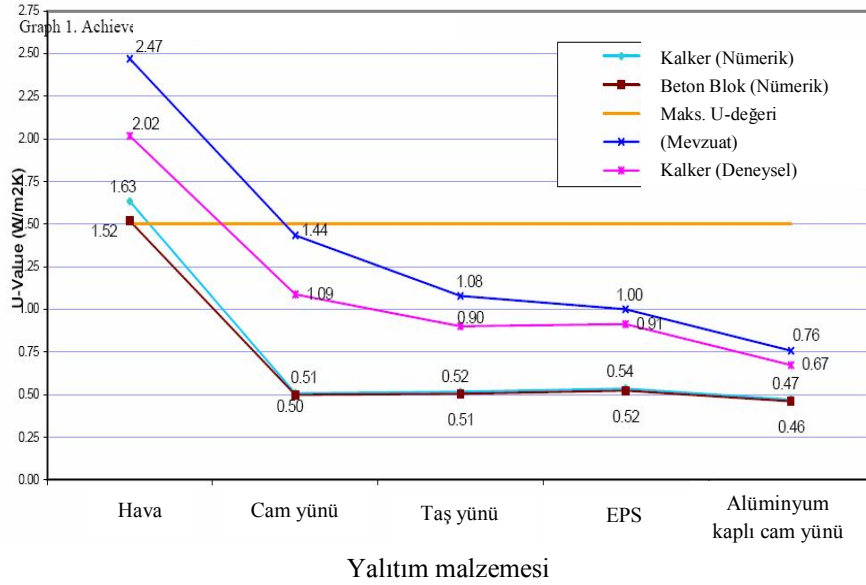
değerleri elde edilmiştir. ilk olarak 2 tabaka 9 mm ve 13 mm kalınlığındaki alçı levha ve 2 tabaka 100 mm kalınlığında mineral yün ile sıcak kutu kalibre edilmiştir. 9 örnek üzerinde elde edilen ve hesaplana U değerleri Çizelge 2.4’de verilmiştir [61].

Çizelge 2.4. Svendsen ve Rose’un deneysel ve nümerik sonuçlarının karşılaştırılması [61]

Numune	Ölçülen U Değeri	Hesaplanan U Değeri
Isı köprüsü bulunmayan	0,167	0,165
Masif 1 mm çelik U saplama	0,241	0,249
Oluklu 1 mm çelik U saplama (Tip:1)	0,194	0,185
3. örnekle aynı (Hatalı yalıtım-1)	0,232	0,228
3. örnekle aynı (Hatalı yalıtım-2)	0,223	0,219
Oluklu 1 mm çelik U saplama (Tip:2)	0,194	0,187
6. örnekle aynı (Hatalı yalıtım-3)	0,197	0,186
Ahşap Kiriş (50x200 mm)	0,180	0,180
Ahşap Kafes İskelet (2x50x100 mm)	0,181	0,174

Yapı fiziğinde mahfazalı sıcak kutu ile belli hassasiyet ile yapılan ölçümlerle örnek üzerinde elde edilen değerlerin oldukça doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yapılan her deney öncelikle ölçüm yapılan numuneye bağlıdır ama aynı zamanda mahfazalı sıcak kutu etrafındaki çevre ısı transferini doğrudan etkilemektedir. Mahfazalı sıcak kutu ile bulunan değerlerdeki %3 hata payının veri toplayıcılardan (data logger) kaynaklandığı belirlenmiştir. Isı köprüsünün bütünlüğünün artması hata payını da artıracaktır [61].

Abela, tipik Malta evlerinde geleneksel yöntemler kullanarak ısı yalıtım malzemelerinin ısı yalıtım performansını araştırmıştır. EPS, taş yünü, cam yünü ve alüminyum kaplı cam yünü (yansıtıcı amaçlı) gibi yalıtım malzemelerini beton blok ve kireçtaşı (kalker) esaslı blok elemanlar içerisinde kullanarak duvarlara ait U değerlerini Resim 2.1’deki sıcak kutu yöntemi ile karşılaştırmıştır. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi en etkili yalıtım malzemesi alüminyum kaplı cam yünü olarak bulunmuştur [62].



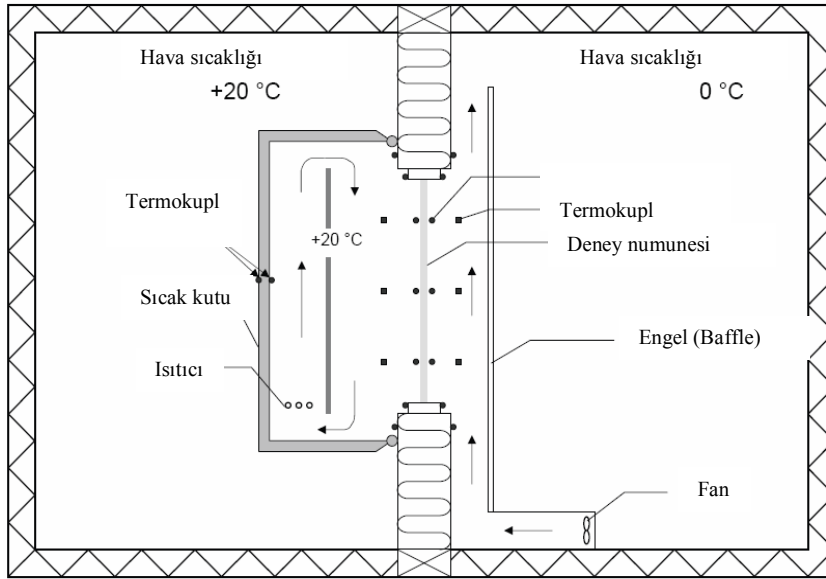
Şekil 2.6. Isı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması [62]



Resim 2.3. Abela'nın deneylerde kullandığı sıcak kutu deney cihazı [62]

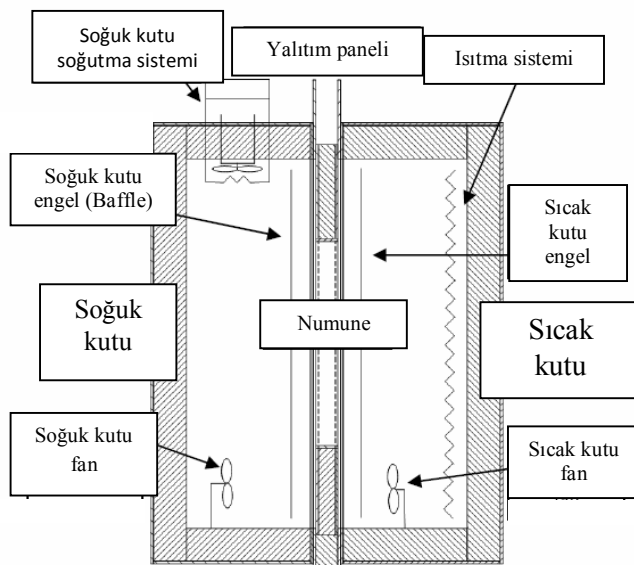
Yalıtımsız mevcut binalarda uygulanan yalıtım tekniklerinin yerel Malta evlerindeki yalıtım performansını arttırdığı gözlenmiştir. Yansıtıcı yüzeye sahip yalıtım malzemelerinin yalıtım performansını artırdığı da belirlenmiştir [62].

İsveç Teknik Araştırma Enstitüsü EN ISO 8990 standardını dikkate alarak İsveç şartlarında yalıtım performansını kontrol etmek amacıyla Şekil 2.7'deki sıcak kutu deney setini tasarlamıştır [63].



Şekil 2.7. İsveç Teknik Araştırma Enstitüsü tarafından tasarlanan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [63]

Asdrubali vd., 15 mm alçıpan, 20 mm kontrplak ve 50 mm EPS gibi malzemelerinin ısı iletkenlik katsayılarını Şekil 2.8’deki sıcak kutu aleti ile belirleyerek literatür değerleriyle karşılaştırmışlardır. Çizelge 2.5’de karşılaştırılan malzemeler gösterilmektedir [64].



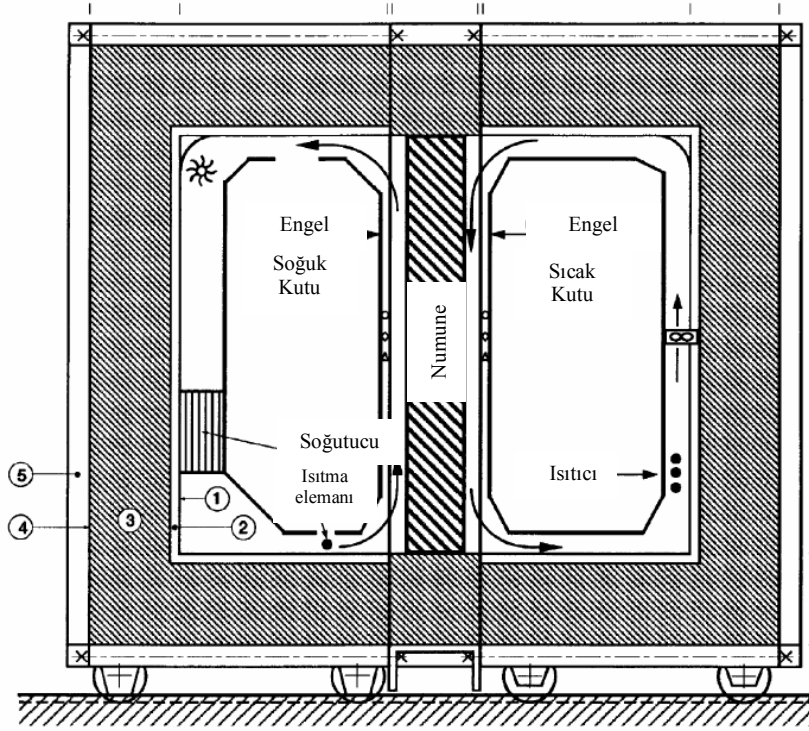
Şekil 2.8. Asdrubali tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [64]

Çizelge 2.5. Farklı malzemelerin sıcak kutu ve literatürün açından karşılaştırılması [64]

Örnek	Sıcak kutu	Literatür
Alçıpan	0.245	0.250
Kontrplak	0.109	0.120
EPS	0.032	0.031

Deneysel çalışmalar sonucunda düşük ısı direncine sahip malzemelerin sıcak kutu gibi sistemlerde doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Metal ve kaya türü yüksek iletkenliğe sahip malzemelerin deneyde kullanılması örnek ve deney arasındaki ara yüzeyde büyük ısı transferlerine neden olduğu için sıcak kutuda elde edilen verilerin güvenilirliğini büyük ölçüde etkilemektedir [64].

Ghazi ve Taner, düşey delikli tuğlalardan yapılan kuru duvarlara ait U değerlerini iki nümerik ve bir deneysel olmak üzere üç yöntemle belirleyerek karşılaştırmıştır. Deneysel yöntemde EN ISO 8990'a uygun Şekil 2.9'daki sıcak kutu kullanılırken nümerik yöntemde tuğlaların yoğunluğuna göre verilen ısı iletkenlik katsayıları kullanılmıştır [65].



Şekil 2.9. Ghazi ve Taner tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [65]

(1) 1 mm kaplı bakır levha; (2) 20 mm çimento lifli levha; (3) 378 mm ekstrüde polistren levha; (4) 1.5 mm alüminyum levha; (5) çelik çerçeve.

Sıcak kutu 22°C ve soğuk kutu -8°C olarak ayarlanarak deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışma ve nümerik sonuçların birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Deneysel ve nümerik sonuçların karşılaştırılması Çizelge 2.6'da verilmiştir. Araştırmacılar tarafından önerilen nümerik metot da düzeltme katsayısı kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Çünkü duvar yapımı esnasında düşey derzlerde kullanılan harcın tuğla içindeki boşlukların içine girerek U değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Nümerik yöntemde bulunan değerler sıcak kutuya göre %3-5 daha fazla çıkmıştır. Duvar yapımında düşey derzlerde harç kullanılmayarak şaşırtmalı (simetrik olmayan) örgü tekniği kullanılması ve deliklerden içeri kaçan harcın U değeri üzerindeki etkisi belirlenmiştir [65].

Çizelge 2.6. Tuğlaya ait sıcak kutu ve nümerik analiz sonuçları [65]

Duvar tipi	Hot Box (λ) (W/mK)	Nümerik-1 (λ) (W/mK)	Nümerik-2 (λ) (W/mK)
Delikli Tuğla (Sıvasız ve Harçsız)	0.115 ± 0.004	0.109 ± 0.002	0.114 ± 0.002
Delikli Tuğla (Sıvalı ve Harçlı) U_{wall} (W/m ² K)	0.128 ± 0.004 0.304 ± 0.010	0.134 ± 0.003 0.317 ± 0.007	0.138 ± 0.003 0.326 ± 0.007

Sala vd., Bilbao'daki bina duvarlarının termal dinamik özelliklerini Resim 2.2'de görülen sıcak kutu deney cihazını kullanarak elde edilen U değerlerini nümerik yöntemlerle karşılaştırmıştır. Sıcak kutu yönteminde kullanılan duvarlarda 10 mm alçı sıva, 40 mm delikli tuğla ve 30 mm yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Deney aşamasında 64 adet termokupl ile yüzeylerden sıcaklık okuması yapılmıştır [66].

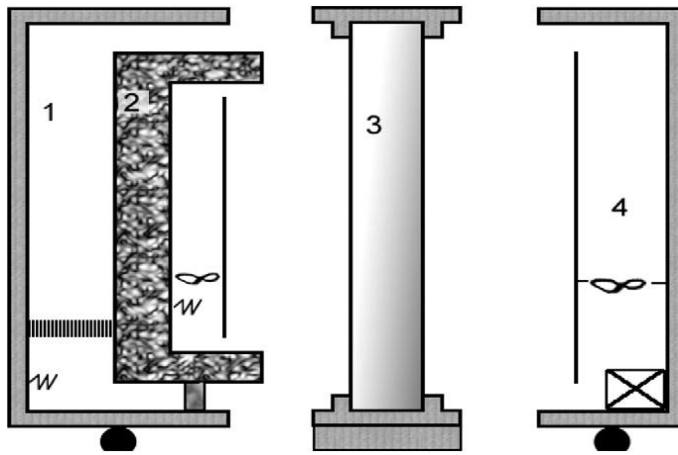


Resim 2.4. Sala vd. tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının görünümü [66]

Duvarlar 2000x2000 mm boyutlarında hazırlanmış ancak ölçümler 1000x1000 mm boyutundaki bir alandan alınmıştır. Nümerik yöntemde duvarların ısı direncini belirlemek için FLUENT version 6.0 yazılımı kullanılmıştır. Tepki faktörünün nümerik hesaplanmasında ise sonlu hacim yöntemi kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda deneysel ve yazılımlarla elde edilen verilerin birbiriyle uygun olduğu görülmüştür. Ancak duvar yüzeylerinde sıcaklık farkının artması

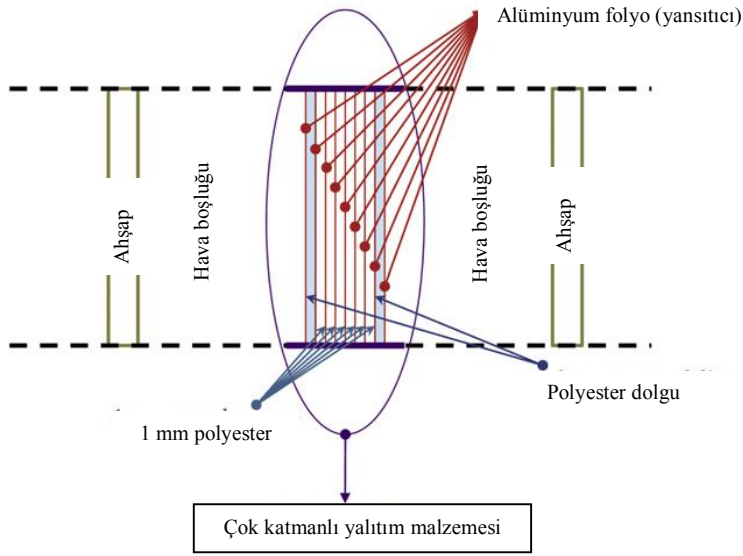
yazılımda farklılıklara neden olmaktadır. Bunun nedeni duvarın heterojen bir malzeme olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir [66].

Mavromatidis vd., iki hava boşluğuna sahip çok katmanlı yalıtım malzemesine sahip kompozit malzemelerin yapıda kullanımının faydalarını araştırmak için nümerik ve deneysel incelemeler yapmıştır. Kompozit duvarın ısı direncinde hava boşluğu kalınlığının etkileri nümerik olarak belirlenip sıcak kutu yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak kutu Şekil 2.10'da verilmiştir. Kullanılan yalıtım sistemi Şekil 2.11'de gösterilmiştir [67].



Şekil 2.10. Mavromatidis vd. tarafından kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [67]

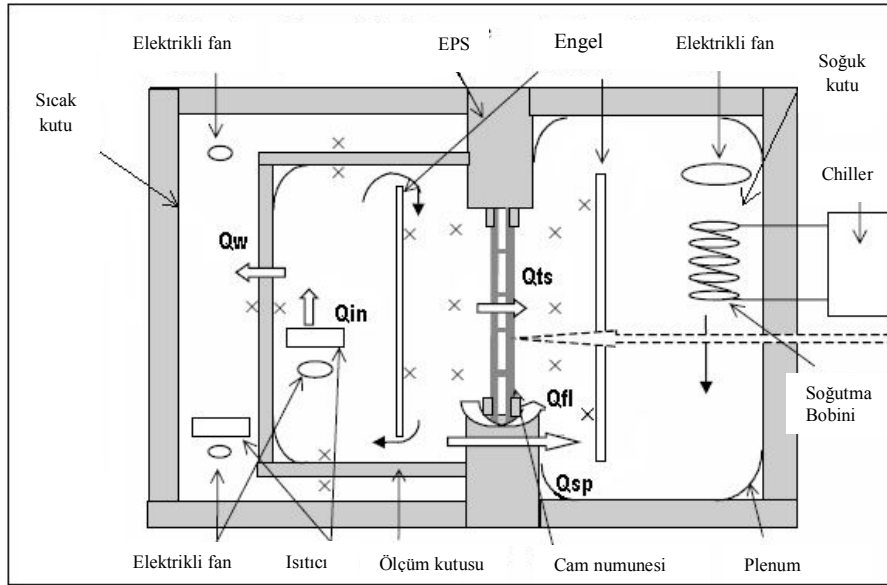
1. Mahfazalı sıcak kutu - 2. Ölçüm kutusu - 3. Numune - 4. Soğuk kutu.



Şekil 2. 11. Deneysel çalışmada kullanılan çok katmanlı yalıtım sisteminin görünümü [67]

Deneysel ve nümerik analiz sonucunda en iyi verim iki yüzeyde 3 cm kalınlığında bırakılan hava boşlukları olan sistemde elde edilmiştir. Sıcak ya da soğuk kısımdaki kalınlığa bağlı ısı direncin azalmasının nedeni hava boşlukları içindeki havanın iletkenliğinin artmasından kaynaklandığı belirlenmiştir [67].

Ulster Üniversitesinde 2006 yılında boşluklu camların (çift cam) yalıtım özelliğini belirlemek için EN ISO 8990'a uygun mahfazalı sıcak kutu tasarımı yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak kutu Şekil 2.12'de görülmektedir. Ölçüm kutusu malzemesi plywood seçilerek 1600x1600 mm ebatlarında 550 mm derinliğinde tasarlanmıştır. Ölçüm kutusu içinde elektrik fanlı ısıtıcı kullanılmıştır. Sıcak ve soğuk kutuda 1100x1100 mm boyutlarında ve 2 mm kalınlığında baffle (engel) kullanılmıştır. Baffle malzemesi bakır olarak seçilmiştir. Sıcak kutu içindeki baffle ısıtıcının arkasına yerleştirilmiştir. Ölçüm kutusunun etrafı hava sızdırmazlığını sağlamak için kauçuk esaslı bir malzeme ile kaplanmıştır [68].



Şekil 2.12. Ulster Üniversitesi tarafından tasarlanan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü [68]

Soğuk kutu içindeki sıcaklık 0-5 °C arasında ayarlanabilmektedir. Bunu sağlamak için 6 m uzunluğunda soğutma bobini kullanılarak chiller ile bağlantı yapılmıştır. Soğutma amaçlı chillerin deposunda kullanılan su içine antifriz ilavesi yapılmıştır. 20 W gücündeki elektrikli fan hava sirkülasyonu için soğutma bobininin üzerine monte edilmiştir. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan tüm termokupllar elektronik data toplayıcıya bağlanmıştır. Sıcak kutu etrafı iç taraftan 300 mm kalınlığında, 0.033 W/m°C değerinde ısıl iletkenliğine sahip ve 28 kg/m³ yoğunluğunda EPS kullanılmıştır [68].

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Duvar malzemesi olarak pişmiş toprak ürünü olan tuğla, duvar örme işleminde harç olarak takviyeli harç, sıva yapımın da ise sıva harcı olarak temditli harç kullanılmıştır. Örölmüş duvarlarda ısı yalıtım malzemesi olarak petrol esaslı ekspande polistren köpük (EPS) ve ekstrüde polistren köpük (XPS) kullanılmıştır.

3.1.1. Tuğla

Duvar yapımında TS EN 771-1 [69] Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (tuğlalar) standardına uygun 19x19x13,5 cm boyutlarında 3000±15 g ağırlığında yük taşımayan yatay delikli tuğlalar kullanılmıştır. Kullanılan tuğlaların teknik özellikleri Çizelge 3.1’de, fiziksel görünümü ise Resim 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Duvar örmede kullanılan yatay delikli tuğlanın TS EN 771-1 göre teknik özellikleri [69].

Özellik	
Boyut (cm)	19 x19x13.5
Duvar kalınlığı (cm)	19 veya 13.5
Sarfiyat (adet/m ²)	35 veya 25
Ağırlık (g)	3000±15
Basınç dayanımı (MPa)	2,5
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	0,32
Hacim ağırlığı (kg/m ³)	600



Resim 3.1. Duvar örmede kullanılan yatay delikli tuğla

3.1.2. Çimento

Duvar örme işleminde ve sıva yapımında bağlayıcı olarak Baştaş çimento fabrikası ürünü TS EN 197-1'e [70] uygun CEM II/A-M 32,5 R Portland kompoze çimento (PKÇ) kullanılmıştır. Kullanılan PKÇ'nin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Sıva ve harç yapımında kullanılan PKÇ'nin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri

Kimyasal kompozisyon	
Bileşen	(%)
SiO ₂	24,11
Fe ₂ O ₃	3,22
Al ₂ O ₃	6,53
CaO	57,36
SO ₃	1,98
MgO	1,42
N ₂ O+K ₂ O	1,26
Kızdırma Kaybı	3,74
Çözünmeyen Kalıntı	10,35
Serbest Kireç	1,18
Fiziksel özellikler	
Priz başı (dk.)	180
Priz sonu (dk.)	275
Yoğunluk (g/cm ³)	2,94
Hacim Genleşmesi (mm)	1,1
2 Günlük Dayanım (MPa)	16,3
28 Günlük Dayanım (MPa)	35,2

3.1.3. Kireç

Duvar örme işleminde ve sıva yapımında bağlayıcı olarak Baştaş kireç fabrikası ürünü sönmüş toz kireç kullanılmıştır. Toz kirecin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Sıva ve harç yapımında kullanılan kirecin özellikleri

Teknik özellikler	(%)
Ca(OH) ₂	86,44
CaO	66,09
Nem	1

3.1.4. Kum

Duvar örme işleminde ve sıva yapımında kullanılan harç içersinde ince agrega olarak TS 706 EN 12620+A1'e [71] uygun kaba sıva için 0-2 mm, ince sıva için 0-1 mm boyutunda dere kumu kullanılmıştır. 0-2 mm kum duvar örme işleminde ve kaba sıva yapımında, 0-1 mm kum ise ince sıva yapımında kullanılmıştır.

3.1.5. Takviyeli harç

Duvar örme işleminde takviyeli harç kullanılmıştır. Takviyeli harç karışımına giren malzeme oranları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

3.1.6. Temditli harç

Sıva yapımında temditli harç kullanılmıştır. Temditli harç karışımına giren malzeme oranları Çizelge 3.4 'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan harç karışım oranları (hacimce)

Harç tipi	Çimento	Sönmüş kireç	Kum	Su
Takviyeli harç (duvar yapımında)	1/5-1/7	1	5	1-2
Temditli harç (sıva yapımında)	1	1/2	4	1-2

3.1.7. Isı yalıtım malzemesi

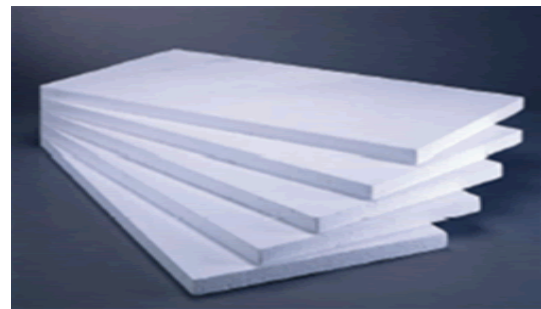
Isı yalıtımı için kullanılan TS 7316 EN 13163 [72] standardına uygun XPS ve EPS'ye ait teknik özellikler Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da, fiziksel görünümü ise Resim 3.2'de gösterilmiştir. Duvar yalıtımında kullanılan XPS levhalar 60x120 cm, EPS levhalar ise 50x100 cm boyutundadır.

Çizelge 3.5. Kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin teknik özellikleri

Teknik Özellikler	EPS	XPS
Isı iletkenlik katsayısı, λ (W/mK)	0,036	0,032
Su buharı difüzyon direnç faktörü, μ	20-100	90-100
Kapiler su emme (%)	<i>Yok</i>	<i>Yok</i>
Basınç dayanımı	-	<i>Yüksek</i>
Asit ve baz türü kimyasallara karşı direnci	-	<i>Var</i>
Baca gazları, metan grubu gazlar, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı direnci	<i>Hassas</i>	-

Çizelge 3.6. EPS ve XPS yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması

Teknik özellik		Standart	Birim	EPS		XPS	
Üretim aralığı			Kg/m ³	10 - 60		25 - 60	
Yoğunluk		DIN 53420	Kg/m ³	20	30	25	32
Basınç dayanımı	%10 deformasyonda	DIN 53121	N/mm ² Kg/cm ²	0,14 1,4	0,22 2,2	0,15 1,5	0,30 3,0
	<%2 deformasyonda devamlı basınç altında		N/mm ² Kg/cm ²	0,028 0,28	0,049 0,49	0,060 0,6	0,11 1,1
Su emme		DIN 53428	% (Hacimce)	4	3.5	0.1	0.1
Buhar difüzyon direnç katsayısı		DIN 52615	1	30/70	40/100	80/150	100/200
Yanıcılık		DIN 4102	B1-B2	B1 ve B2		B1	
B1 – Zor alevlenici (alev kaynağı kaldırıldıktan sonra da yanmayı sürdürür)							
B2 – Normal Alevlenici (yanıcı duman ve zehirli gaz oluşturlar)							



Resim 3.2. Deney duvarlarının ısı yalıtımında kullanılan XPS ve EPS levhaları

3.2. Metot

3.2.1. Deney iklim şartları

Çalışmada, deneye tabi tutulan dış duvarların TS 825 [27] standardına göre 3. bölgede yer alan Ankara ili iklim şartlarına maruz kaldığı kabul edilmiştir. Soğuk ortam hava sıcaklığı olarak Ankara'nın uzun yıllar ortalama dış hava sıcaklığı kullanılmıştır. Dış hava sıcaklığı ve diğer iklim verileri 25 yıllık olarak T.C. Çevre ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Elde edilen verilerle yapılan hesaplama sonucunda Ankara kış mevsimi ortalama hava sıcaklığı - 10 °C olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Harçların üretilmesi

Duvarların örülmesinde ve sıva yapılmasında kullanılan takviyeli ve temditli harçların hazırlanmasında aşağıdaki yol izlenmiştir. İlk olarak takviyeli harç için Çizelge 3.4'de verilen oranlarda kum, çimento ve kireç kuru olarak yaklaşık olarak 2 dakika kürek ile karıştırılmıştır. Ardından karışımın içerisine belirtilen oranda su ilave edilmiş ve yaklaşık olarak 3 dakika süre ile homojen bir karışım elde edilinceye kadar kürek ile karıştırılarak harçlar üretilmiştir.

3.2.3. Duvarların örülmesi

Sıcak kutuya (hot box) uygunluk sağlamak amacıyla duvarların kalınlığı 13.5 cm, maksimum duvar kalınlığı ise 25 cm olarak belirlenmiştir. Bu nedenle yan taraf (dar kenar) üzerine gelecek şekilde 19x19x13,5 cm boyutundaki yatay delikli tuğlalar kullanılarak 13,5 cm kalınlığında duvarlar, 120x120 cm boyutundaki metal çerçeve içerisine takviyeli harç kullanılarak duvar örgü kurallarına göre örülmüştür. Duvarların örülmesinde takviyeli harç kullanılmıştır. Duvarlarda yatay ve düşey derzler 1 cm olacak şekilde yapılmıştır. Duvarın doğruluğu şakul yardımı ile kontrol edilmiştir.

3.2.4. Isı yalıtımı yapılması

Örülen tuğla duvarlarda ısı yalıtımı yapmak amacıyla XPS ve EPS olmak üzere iki farklı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Dış duvarda 3 cm, 4 cm ve 5 cm olmak üzere 3 farklı ısı yalıtım kalınlığı belirlenmiştir. 120x120 cm boyutundaki duvar yüzeyine XPS levhalar 60x120 cm boyutunda olduğundan iki levha halinde, EPS levhalar ise 50x100 cm boyutunda olduğundan üç levha halinde 1 m²'de 4 dübel kullanılarak sabitlenmiştir. Böylece Çizelge 3.7'de ölçü ve özellikleri belirtilen KD-0 kodlu her iki yüzü sıvasız, KD-1 kodlu bir yüzü sıvalı ve KD-2 kodlu her iki yüzü sıvalı olmak üzere 3 farklı yalıtımsız kontrol duvarı, XPS yalıtımlı 3 ve EPS yalıtımlı 3 adet olmak üzere toplam 9 farklı ısı yalıtımı deneyi uygulanan duvar numunesi elde edilmiştir. Sıvalı duvar ifadesi, kaba sıva ve üzerine ince sıva yapılmış duvarı belirtmektedir.

Çizelge 3.7. Deneylerde kullanılan duvarlara ait bazı özellikler

Duvar Kodu	Yalıtım malzemesi	Tuğla kalınlığı (cm)	Duvar kalınlığı (cm)	Sıva kalınlığı (cm)	Isı yalıtım kalınlığı (cm)
EPS-3	EPS	13.5	20.5	2+2*	3
EPS-4	EPS	13.5	21.5	2+2*	4
EPS-5	EPS	13.5	22.5	2+2*	5
XPS-3	XPS	13.5	20.5	2+2*	3
XPS-4	XPS	13.5	21.5	2+2*	4
XPS-5	XPS	13.5	22.5	2+2*	5
KD-0	Yok	13.5	13.5	0+0**	0
KD-1	Yok	13.5	15.5	2+0***	0
KD-2	Yok	13.5	17.5	2+2****	0

Açıklama:
 * İç ve dış yüzeyler sıvalı
 **KD-0 iç ve dış yüzeyleri sıvasız
 *** KD-1 iç yüzeyi sıvalı
 **** KD-2 İç ve dış yüzeyler sıvalı

3.2.5. İç ve dış sıvanın yapılması

İç ve dış sıva yapımında kullanılan harçlar, TS 1262 [73] standardında belirtilen karışım oranlarına göre hazırlanmıştır. Sıvanın duvar yüzeyine uygulanmasında TS 13914-1 [74] ve TS 13914-2 [75] standartlarında belirtilen sıva yapım kuralları dikkate alınarak sıva yapımı gerçekleştirilmiştir. XPS ve EPS yalıtım levhaları

dübeller yardımıyla duvar yüzeyine sabitlenmiştir. EPS yalıtım levhalarının yüzey pürüzlülüğünün az olmasından dolayı sıvanın yalıtım levhası yüzeyine yapışmasını sağlamak amacıyla sıva filesi kullanılmıştır. Sıva filesi EPS levha yüzeyine büyük başlı çiviler yardımıyla sabitlenmiş, ardından yüzeye 1,5 cm kalınlığında kaba sıva yapılmıştır. Kaba sıva üzerine 0,5 cm kalınlığında ince sıva uygulanmıştır. XPS levha kullanılan duvarlarda XPS yüzeyi pürüzlü olduğundan sıva filesi kullanılmadan aynı kalınlıklarda kaba ve ince sıva yapılmıştır.

3.2.6. Mahfazalı sıcak kutu (hot box) ve deneyi

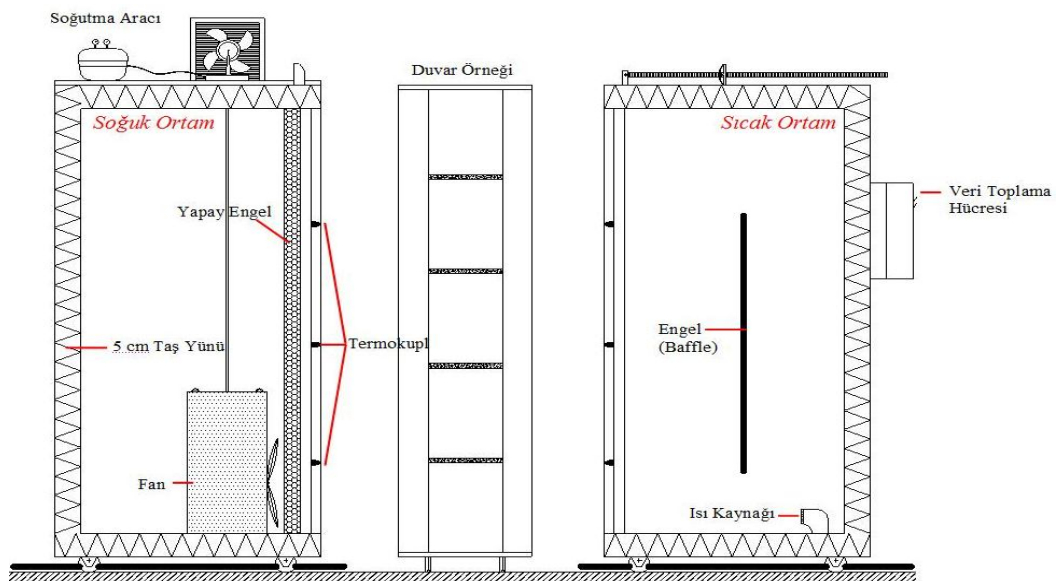
Duvarların U değerlerinin deneysel olarak hesaplanmasında Resim 3.3'de görülen mahfazalı sıcak kutu (hot box) cihazı kullanılmıştır. Duvarlarda ısı yalıtımıyla ilgili olarak yapılan araştırmalarda TS EN ISO 8990 standardına uygun olarak üretilmiş sıcak kutu cihazının kullanıldığı görülmektedir [60-67].

Sıcak ve soğuk kutunun iç yüzeylerinde ısı transferini engellemek amacıyla 5 cm kalınlığında alüminyum folyo kaplı taş yünü levha bulunmaktadır. Yapılan ön deneyler sırasında cihazdaki yalıtım kalınlığının soğuk kutu bölümünde yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Bu durumda mevcut alüminyum folyo kaplı taş yünü üzerine 5 cm kalınlığında XPS levhalar ile ek ısı yalıtımı yapılarak problemin çözülmesine çalışılmıştır. Soğuk kutu bu duruma getirildikten sonra soğutucu fanın duvar yüzeyine çok yakın olmasından dolayı yüzeyde düşük sıcaklıklar ($-15 \sim -20$ °C arası) elde edilmiştir. Duvar yüzeyindeki beklenmeyen bu düşük sıcaklıkların nedeni araştırılmış ve sıcak kutunun içinde hava sirkülasyonunu sağlamak amacıyla kullanılan ve cihazın bir parçası olan engelin (baffle) soğuk kutu bölümünde bulunmadığı tespit edilmiştir. Soğuk kutudaki bu eksiklik, soğutucu fanın önüne 60x120x5 cm boyutunda XPS levhadan yapay bir engel yerleştirilerek giderilmiş ve böylece sıcaklıkların normal olarak beklenen seviyeye gelmesi sağlanmıştır.

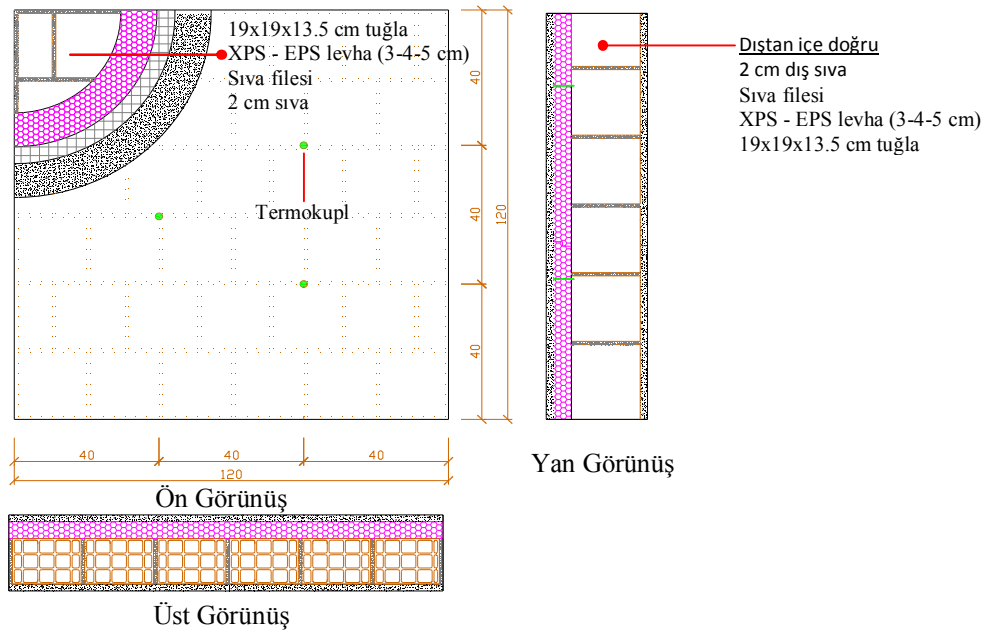


Resim 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak kutu deney cihazı

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterildiği gibi duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin üst, orta ve alt bölgelerindeki sıcaklıkları ölçmek amacıyla 6 adet termokupl kullanılmıştır. Diğer taraftan önceki araştırmalarda metal çerçeve kullanımının dezavantajları görüldüğünden [63] bu durum, metal çerçeve etrafına XPS levhalar uygun şekilde yerleştirilerek ortadan kaldırılmıştır. Deney sırasında sıcak kutu ve soğuk kutudaki ısının dış ortama (çevre/laboratuar) geçişini engellemek amacıyla duvarla birleşim yerlerindeki kauçuk malzemenin dolduramadığı boşluklar cam yünü kullanılarak kapatılmış ve böylece ısı kayıpları engellenmiştir.



Şekil 3. 1. Deneylerde kullanılan sıcak kutu deney cihazının şematik görünümü



Şekil 3. 2. Deneylerde kullanılan termokuplların duvar yüzeyindeki iz düşümü

Mahfazalı sıcak kutu cihazında, deney duvarlarının ısı yalıtımı özellikleri belirlenirken sıcak ve soğuk taraftaki sıcaklıklar manuel olarak ayarlanarak duvar yüzeyi ile cihaz içindeki ortam sıcaklıkları ölçülmektedir. Deney iklim şartları başlığı altında belirtildiği gibi Ankara için kış mevsimi ortalama hava sıcaklığı $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre sıcak kutu deney cihazında ön denemeler yapılmış ancak $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık bazı teknik sorunlar nedeniyle elde edilememiştir. Bu durumda Ankara için dış hava sıcaklığı $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ kabul edilerek yalıtım deneylerine devam edilmiştir.

Deneye başlamadan önce deneye tabi tutulacak duvar numunesi, Resim 3.3'de görüldüğü gibi sıcak ve soğuk kutunun arasına yerleştirilmiştir. Ardından sıcak kutunun üst ve alt bölümlerinde görülmekte olan sıkıştırma aparatı, soğuk kutudaki yuvasına takılmış ve her iki kutuda bulunan toplam 6 adet termokupl duvar yüzeyine temas edinceye kadar sıkılmıştır. Deneye başlamadan önce ısı kayıplarını önlemek için metal çerçeve kenarlarına yerleştirilen cam yünlerinin boşlukları kapatıp kapatmadığı ve soğuk kutuya bağlı soğutma ünitesinin gaz basıncı kontrol edilmiştir. Çalışmanın başlangıcında konfor sıcaklığı $20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında laboratuvar sıcaklığının sabit tutulması sağlanamadığından, sıcak

kutu ile laboratuvar arasında ısı transferi meydana gelmiş ve bu nedenle sıcak kutu içinde hedeflenen konfor sıcaklığı elde edilememiştir. Bu problemi ortadan kaldırarak sıcak kutu deneyi gerçekleştirebilmek için, öncelikle laboratuvar sıcaklığı termometre yardımıyla ölçülmüştür. Ardından ölçülen laboratuvar sıcaklığının +5 °C üzeri sıcak kutu ortam sıcaklığı olarak ayarlanmıştır. Bu işlemi takiben sıcak kutu içindeki ısı kaynağı ile soğuk kutu bölümüne bağlanan soğutma ünitesi aynı anda çalıştırılmıştır. Deneyin başlangıcından itibaren Şekil 4.1’de gösterildiği gibi her 15 dakikada bir sıcak ve soğuk kutu üzerine yerleştirilmiş termokupllar yardımıyla cihazın göstergelerinden duvar yüzeyindeki üç bölgenin (üst-orta-alt bölgeler) ve ortamın (cihaz içi) hava sıcaklıkları ölçülerek kayıt edilmiştir. Ölçülen sıcaklık verileri, deney devam ederken Excel programına aktararak ısıl işlem kararlılık süresi ve sıcaklık ilişkisi grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafikler yardımıyla ortam sıcaklığının kararlı duruma gelip gelmediği kontrol edilmiştir.

3.3. Duvarlara ait ısı hesaplamaları

Nümerik hesaplamaların yapılmasında ve TS EN ISO 8990 [76] standardına göre elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında TS 825 “Binalarda ısı yalıtım kuralları” standardındaki [26] eşitlikler kullanılmıştır.

3.3.1. Çevre sıcaklığının hesaplanması

Çevre sıcaklığının hesaplanmasında TS EN ISO 8990 EK-A’da [76] verilen eşitlikler kullanılmıştır. Çevre sıcaklığı (T_n), yüzeye olan ısı akışının tayini için radyant mutlak sıcaklığı ile hava sıcaklığının uygun biçimde ağırlıklarının alınmasını temsil etmektedir. Radyasyon kat sayısı ve uygun ortalama radyant mutlak sıcaklık (T_m) değerlerinin hesaplanmasında sırasıyla aşağıda verilen Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 kullanılmıştır:

$$h_r = 4\sigma T_m^3 \quad (3.1)$$

Burada,

h_r : Radyasyon kat sayısı, W/m².K

σ : Stefan Boltzman sabiti, [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$]

T_m^3 : Ortalama radyant mutlak sıcaklık, K

$$T_m^3 = \frac{(T_r'^2 + T_s^2)(T_r' + T_s)}{4} \quad \text{veya} \quad T_m = \frac{1}{2} (T_{r1}' + T_{s1}) \quad (3.2)$$

Burada,

T_m^3 : Ortalama radyant mutlak sıcaklık, K

T_r' : Deney numunesinden görülen ortalama radyant sıcaklık, K

T_s : Deney numunesinin yüzey sıcaklığı, K

Çevre (sıcak/soğuk kutu içi ortam) sıcaklığı ise Eş. 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$T_n = \frac{T_a \frac{\Phi}{A} + E h_r (T_a - T_r') T_s}{\frac{\Phi}{A} + E h_r (T_a - T_r')} \quad (3.3)$$

Burada,

T_n : Çevre sıcaklığı, K

Φ : Güç, W

A : Alan, m^2

Φ/A : Birim alandan yüzeye geçen ısı akışıdır, W/m^2

T_a : Cıvardaki sıcaklık, K

E : Salım faktörü

3.3.2. U değerlerinin hesaplanması

U değerleri, deneysel çalışmadan elde edilen sıcaklık verileri kullanılarak TS EN ISO 8990 [76] standardındaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Deney uygulanan duvarların U değerleri, aşağıda verilen Eş. 3.4. kullanılarak bulunmuştur:

$$U = \frac{\Phi}{A (T_{n1} - T_{n2})} \quad (3.4)$$

Burada,

U : Isıl geçirgenlik katsayısı, $[W/(m^2.K)]$

T_{n1} : Sıcak ortama ait çevre sıcaklığı, K

T_{n2} : Soğuk ortama ait çerçe sıcaklığı, K

3.3.3. TS 825'e göre yapılan hesaplamalar

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'na [26] göre deneye tabi tutulan çok tabakalı yapı bileşenlerinin (duvarlar) ısıl geçirgenlik direncinin (R) hesaplanmasında Eş. 3.5 kullanılmıştır:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.5)$$

Burada,

R : Isıl geçirgenlik direnci, $(m^2.K/W)$,

$d_1, d_2, \dots, d_n$: Yapı elemanı kalınlıkları, m

$\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn}$: Isıl iletkenlik hesap değeri, $(W/m.K)$

Laboratuarda deney uygulanan duvarların toplam ısıl geçirgenlik direnci ($1/U$) Eş. 3.6'ya göre hesaplanmıştır:

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (3.6)$$

Burada,

$1/U$: Toplam ısıl geçirgenlik direnci $(m^2.K/W)$,

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci $(m^2.K/W)$,

R_e : Dış yüzeyin ısı taşınım direnci $(m^2.K/W)$ ' dir.

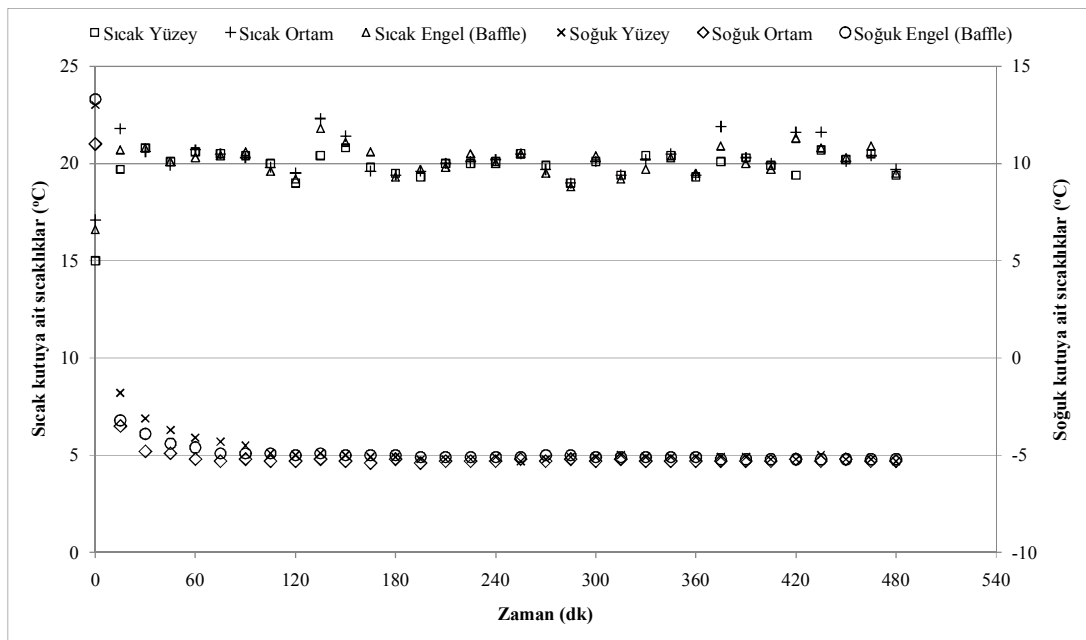
R_i ve R_e değerleri TS 825'de verilen Çizelge 1'de (Hesaplanmış yüzeysel ısıl iletim direnç Değerleri) yer alan dış duvar özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

XPS ve EPS yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlar üzerinde yapılan sıcak kutu deney sonuçları, TS EN ISO 8990 ve TS 825 standart sınır değerleri ile karşılaştırmalı olarak bu bölümde değerlendirilmiştir.

4.1. KD ve XPS Kodlu Duvarlarda Isıl İşlem Kararlılık Süreleri

KD kodlu kontrol ve XPS kodlu yalıtımlı duvarlar üzerinde yapılan sıcak kutu deney sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda değerlendirilmiştir. KD-0 kodlu yalıtımsız ve iç-dış yüzeyleri sıvasız kontrol duvarına ait ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.1’in üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



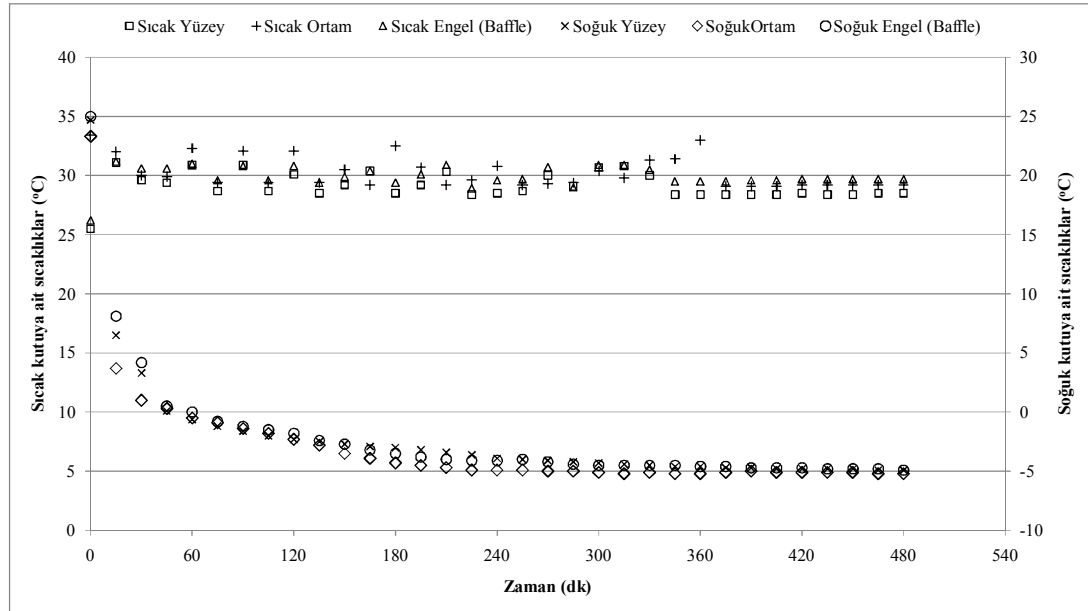
Şekil 4.1. KD-0 kodlu yalıtımsız ve iç-dış yüzeyleri sıvasız duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

KD-0'e ait Şekil 4.1 incelendiğinde, sıcaklığı ~ 16 °C (T_a) olan laboratuarda deney yapıldığında sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin 18-22 °C arasında değiştiği ve 480 dk (8 saat) süreyle deney yapılmasına

rağmen düzgün bir şekilde elde edilemediği başka bir ifadeyle cihazın sıcak bölümünün kararlı duruma gelmediği görülmektedir. Kararlı duruma gelmemesinin nedenleri arasında; 1) duvar örülürken yatay ve düşey derzlerin tam olarak doldurulamaması, 2) duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin sıvanmamış olması dolayısıyla yatay ve düşey derzlerde ısı köprüsü oluşması nedeniyle ısı transferi gerçekleştiğinden sayılan bu iki sebepten dolayı ısı köprülerinin meydana gelmesi sayılabilir.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5°C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~ 100 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. Cihazın soğuk bölümünün kararlı duruma gelmesinin sebebi, soğutucunun kesintisiz veya devamlı olarak çalışmasıdır

KD-1 kodlu yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı kontrol duvarına ait ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.2’nin üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

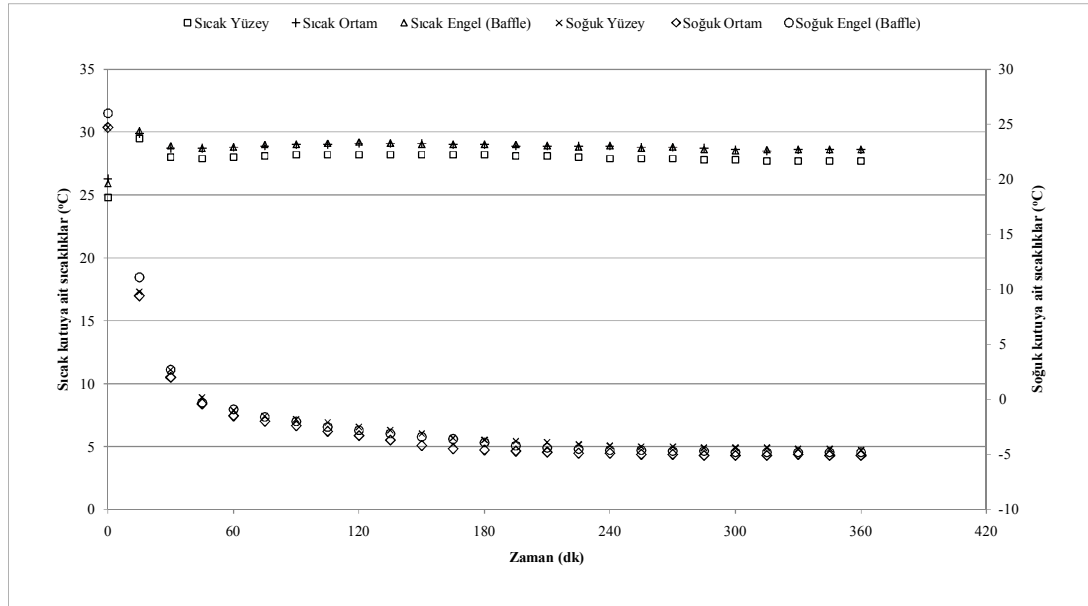


Şekil 4.2. KD-1 kodlu yalıtımsız ve iç yüzeyi sıvalı duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

KD-1 kodlu duvara ait Şekil 4.2 incelendiğinde ise sıcaklığı $\sim 25^{\circ}\text{C}$ (T_a) olan laboratuarda deney yapıldığında sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20°C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin $28\sim 33^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği görülmektedir. Aradaki $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık farkının nedeni şu şekilde açıklanabilir: XPS ve EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların sıcak kutu deneyleri genellikle kış aylarında yapılmıştır. KD-1 kodlu duvarın sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının ortalama 20°C olduğu ilkbahar mevsiminde yapılmış dolayısıyla civardaki sıcaklık diğer adıyla laboratuvar sıcaklığı (T_a) KD-0 deneyinde $\sim 16^{\circ}\text{C}$ iken KD-1 deneyinde $\sim 25^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselmiştir. Dolayısıyla aradaki sıcaklık farkının bundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte cihazın sıcak bölümünün 480 dk süreyle deney yapılmasına rağmen kararlı duruma gelmediği de görülmektedir. Bunun nedenleri arasında Şekil 4.1'de olduğu gibi, 1) duvar örülürken yatay ve düşey derzlerin tam olarak doldurulamaması, 2) duvarın dış yüzeyinin sıvanmamış olması dolayısıyla ısı köprülerinin meydana gelmesi sayılabilir. KD-1 kodlu kontrol duvar numunesinin iç yüzeyinde sıva tabakası (kaba+ince sıvalı) yapılmış olmasına karşılık dış yüzeyde sıva yapılmadığından, iç sıva tabakası yatay ve düşey derzlerde meydana gelen ısı transferini engellemeye yeterli olmamıştır.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5°C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin Şekil 4.1'de gösterilen KD-0 kodlu duvardan farklı olarak ~ 300 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmüştür. KD-0 ile KD-1 kodlu duvarlarda elde edilen ısıtım kararlılık süresi arasındaki 200 dk'lık farkın sebebinin soğuk bölümde kullanılan soğutucu ekipmanı içindeki soğutmayı sağlayan gazın azalması olduğu tespit edilmiştir. Cihazın soğuk bölümünün kararlı duruma gelmesinin sebebi, soğutucunun kesintisiz veya devamlı olarak çalışmasıdır.

KD-2 kodlu yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı kontrol duvarına ait ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.3'ün üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

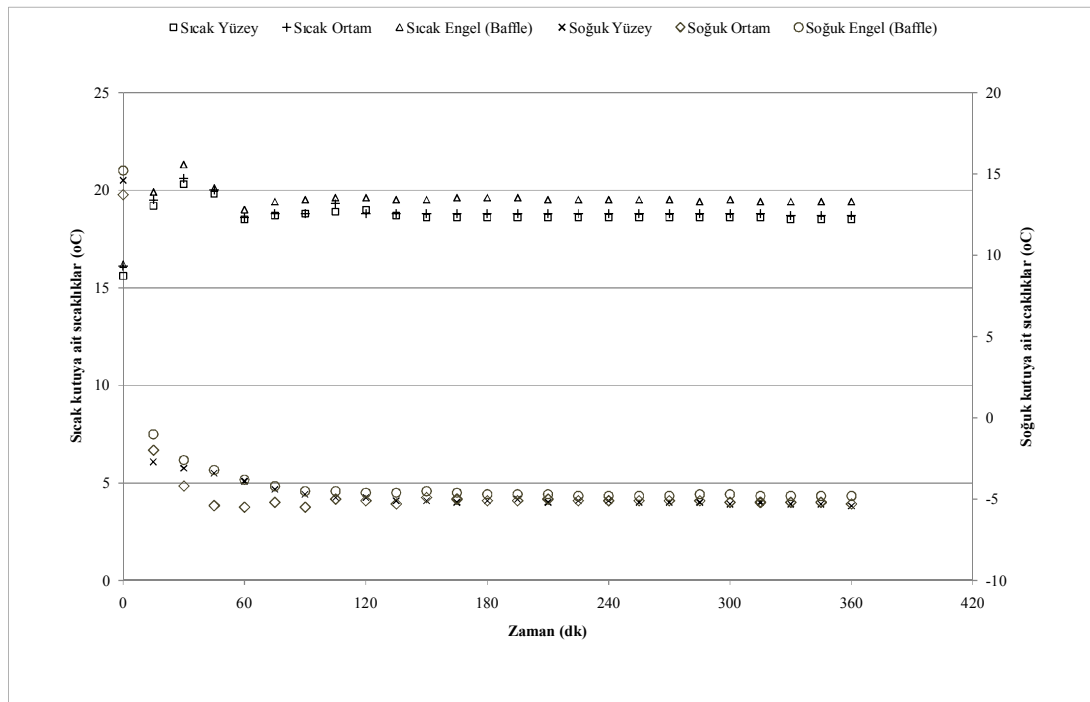


Şekil 4.3. KD-2 kodlu yalıtımsız ve her iki yüzeyi sıvalı duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

Şekil 4.3 incelendiğinde, KD-0 ve KD-1 kodlu kontrol duvarlarına ait Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilen ve kararlı duruma gelmeyen ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi eğrilerinden farklı olarak, KD-2 kodlu duvarda sıcaklığı ~ 23 °C (T_a) olan laboratuvar deney yapıldığında sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~ 28 °C olarak ~ 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği görülmektedir. KD-2 kodlu duvarın sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının ortalama 20 °C olduğu ilkbahar mevsiminde yapılmış dolayısıyla civardaki sıcaklık diğer adıyla laboratuvar sıcaklığı (T_a) KD-0 ve KD-1 deneylerinde sırasıyla ~ 16 °C ve ~ 25 °C iken KD-2 deneyinde ~ 23 °C olarak tespit edilmiştir. KD-2 kodlu duvardaki sıcaklık değerindeki artış yukarıda belirtilen sıcaklık farkı ile açıklanabilir. KD-2 kodlu kontrol duvarının KD-0 ve KD-1 kodlu diğer kontrol duvarlarından farklı olarak kararlı duruma gelmesinin sebebi ise, duvar kalınlığı aynı olmakla birlikte duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin kaba ve ince sıva ile sıvanmış olması dolayısıyla duvar yüzeyindeki boşlukların tamamının sıva tabakası tarafından hemen hemen kapatılarak ısı transferinin azaltılmış olmasıdır.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde -5°C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin Şekil 4.1’de gösterilen KD-0 kodlu duvardan farklı olarak ~ 240 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmüştür. KD-0 ile KD-2 kodlu duvarlarda elde edilen ısıtım kararlılık süresi arasındaki 140 dk’lık farkın sebebinin soğuk bölümde kullanılan soğutucu ekipmanı içindeki soğutmayı sağlayan gazın azalması olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan KD-1 ile KD-2 kodlu duvarlarda elde edilen ısıtım kararlılık süresi arasındaki 20 dk’lık azalmanın sebebinin, KD-1 kodlu duvarın yalnız iç yüzeyi sıvalı iken KD-2 kodlu duvarın hem iç hem de dış yüzeyinin de sıvanmış olmasıdır.

XPS-3 kodlu yalıtımlı duvara ait ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.4’ün üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.4. XPS-3 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

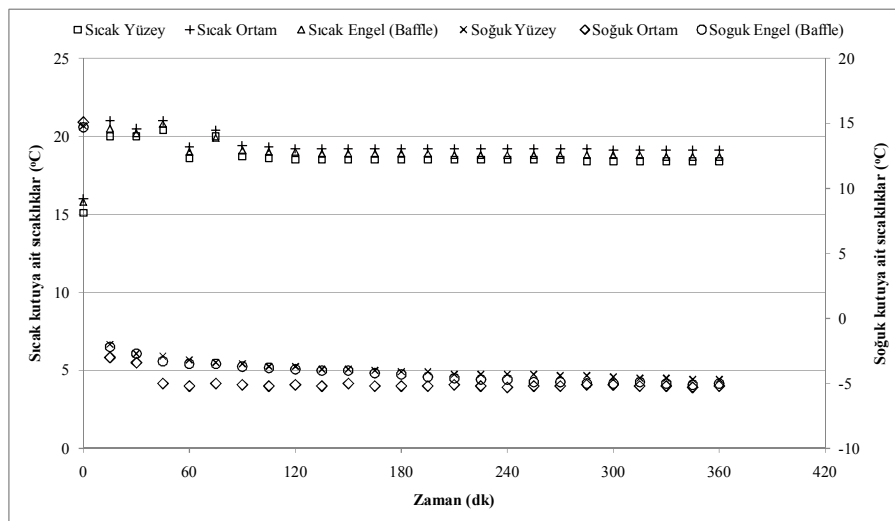
XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarların sıcak kutu deneyi, KD kodlu kontrol duvarlarından farklı olarak dış hava ortalama sıcaklığının $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ arasında olduğu

kış mevsiminde yapılmıştır. Bu yüzden XPS yalıtımlı duvarlarda, sıcak kutu deneyi ilkbahar mevsiminde yapılan KD kodlu kontrol duvarlarında mevsime bağlı sıcaklık artışı nedeniyle elde edilemeyen hedeflenen 20 °C sıcaklık sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde sağlanmıştır.

XPS-3 kodlu duvara ait Şekil 4.4 incelendiğinde, sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~18 °C olarak elde edildiği, başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Cihazın sıcak bölümünün kararlı duruma gelme süresi ~75 dk olarak belirlenmiştir. KD-2 kodlu duvarın 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında aradaki 85 dk'lık farkın 3 cm'lik XPS yalıtımından kaynaklandığı söylenebilir.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~100 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir.

XPS-4 kodlu yalıtımlı duvara ait ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.5'in üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

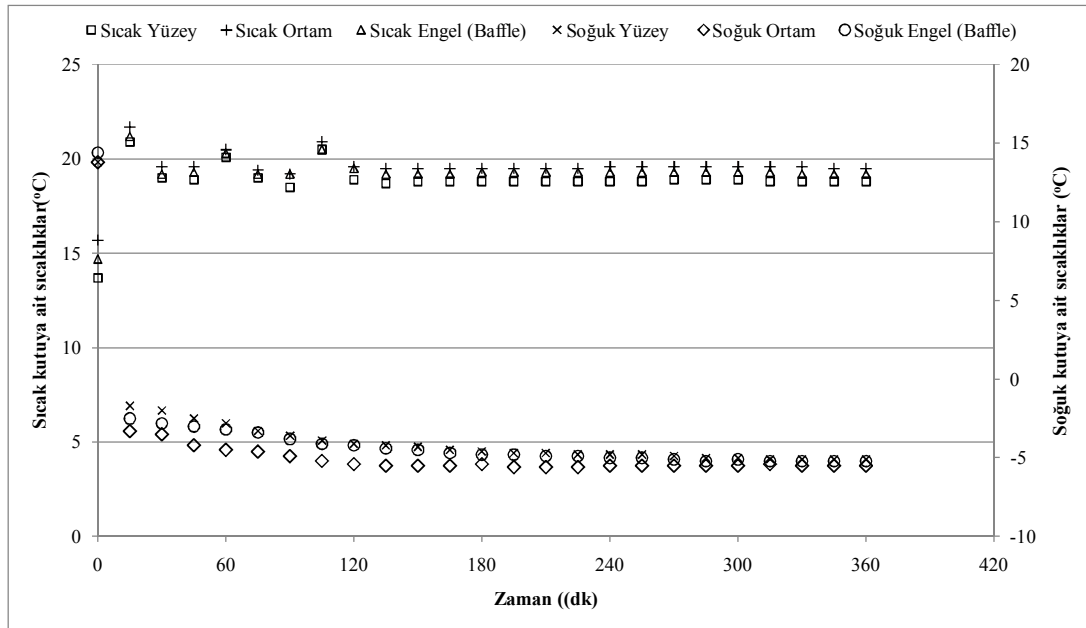


Şekil 4.5. XPS-4 kodlu duvarda ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

XPS-4 kodlu duvara ait Şekil 4.5 incelendiğinde, XPS-3 kodlu duvarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~18 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Eğri üzerinden cihazın sıcak bölümünün ~120 dk sonunda kararlı duruma geldiği tespit edilmiştir. KD-2 kodlu kontrol duvarının 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 40 dk'lık süre farkının ısı yalıtımından ve yalıtım kalınlığının 1 cm artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan XPS yalıtımlı iki duvar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 75 dk sonunda elde edilen kararlı durum, XPS-4 kodlu duvarda ~120 dk sonunda elde edildiğinden aradaki 45 dk'lık süre artışının ısı yalıtımı kalınlığının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~180 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. XPS yalıtımlı iki duvar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 100 dk sonunda kararlı durum elde edildiğinden XPS-4 kodlu duvardaki 80 dk'lık süre artışının yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

XPS-5 kodlu yalıtımlı duvara ait ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.6'nın üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.6. XPS-5 kodlu duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

XPS-5 kodlu duvara ait Şekil 4.6 incelendiğinde, XPS-3 ve XPS-4 kodlu yalıtımlı duvarlarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 20 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~18 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. Yine eğri üzerinden cihazın sıcak bölümünün ~135 dk sonunda kararlı duruma geldiği tespit edilmiştir. KD-2 kodlu kontrol duvarının 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 25 dk'lık süre farkının, ısı yalıtımından ve yalıtım kalınlığının artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan XPS yalıtımlı duvarlar birbiri ile kıyaslandığında, XPS-3 kodlu duvarda ~75 dk, XPS-4 kodlu duvarda ~120 dk sonunda elde edilen kararlı durum, XPS-5 kodlu duvarda ~135 dk sonunda elde edildiğinden, aradaki sırasıyla 60 dk ve 15 dk'lık süre artışlarının ısı yalıtım kalınlığının artmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~260 dk süre sonunda elde edildiği ve cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. XPS yalıtımlı duvarlar birbiri ile kıyaslandığında ise, XPS-3 kodlu duvarda 100 dk ve XPS-4 kodlu duvarda 180 dk sonunda kararlı durum elde

edildiğinden XPS-5 kodlu duvarda elde edilen sırasıyla 160 dk ve 80 dk'lık süre artışlarının yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

XPS kodlu yalıtımlı duvarların tamamının sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının 5-10 °C arasında olduğu kış mevsiminde yapılmış dolayısıyla civardaki sıcaklık diğer adıyla laboratuvar sıcaklığı (T_a) ~15 °C olarak tespit edilmiştir.

Yukarıda Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilen yalnız sıcak bölüme ait ısıtım işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi eğrileri üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Buna göre belirlenen KD kodlu yalıtımsız ve XPS kodlu yalıtımlı duvarların ısıtım işlem kararlılık süreleri toplu bir şekilde Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi deneye tabi tutulan bütün duvarlarda duvar kalınlığı 13.5 cm olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 4.1. XPS kodlu yalıtımlı ve KD kodlu kontrol duvarlarının kararlılık süreleri

Duvar kodu	Duvar kalınlığı (cm)	Kararlılık süresi-sıcak bölüm(dk)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Civar sıcaklığı (°C)
KD-0	13.5	-	0	~16
KD-1	13.5	-	0	~25
KD-2	13.5	~160	0	~23
XPS-3	13.5	~75	3	~15
XPS-4	13.5	~120	4	~15
XPS-5	13.5	~135	5	~15
Açıklama: KD-0: İç ve dış yüzeyler sıvasız, KD-1: İç yüzey sıvalı, KD-2: Her iki yüzey sıvalı				

4.1.1. KD ve XPS Kodlu Duvarlarda U değerlerinin karşılaştırılması

KD kodlu kontrol ve XPS kodlu yalıtımlı duvarlara ait TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

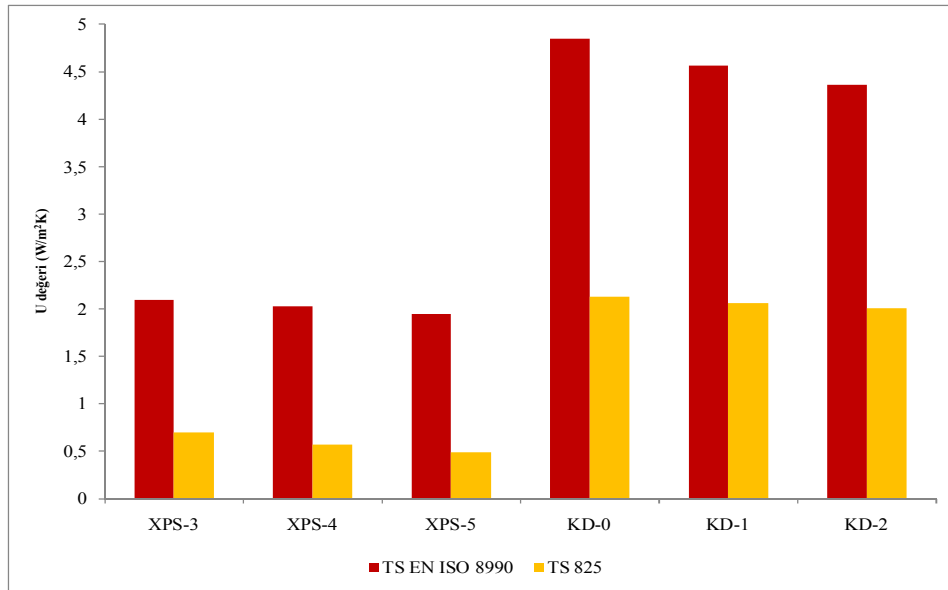
Çizelge 4.2. KD ve XPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan ısı geçirgenlik direnci (U) değerleri

Duvar kodu	Isı geçirgenlik direnci (U) (W/m²K)		
	TS EN ISO 8990	TS 825	Ankara ili sınır değeri
XPS-3	2.096	0,70	0.50
XPS-4	2.029	0,57	
XPS-5	1.943	0,49	
KD-0	4.850	2,13	
KD-1	4.565	2,06	
KD-2	4.364	2,01	
Açıklama: KD-0: İç ve dış yüzeyler sıvasız, KD-1: İç yüzey sıvalı, KD-2: Her iki yüzey sıvalı			

Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi TS 825'e göre duvarlarda ısı yalıtımı malzemesi olarak 3 cm, 4 cm ve 5 cm XPS kullanıldığında duvara ait U değerleri sırasıyla 0.7 W/m²K, 0.57 W/m²K ve 0.49 W/m²K olarak elde edilmiştir.

Sıcak kutu deneyinden elde edilen sıcaklıklar kullanılarak TS EN ISO 8990'a göre duvarlarda ısı yalıtımı malzemesi olarak 3 cm, 4 cm ve 5 cm XPS kullanıldığında duvara ait U değerleri sırasıyla 2.096 W/m²K, 2.029 W/m²K ve 1.943 W/m²K olarak elde edilmiştir.

Diğer taraftan KD kodlu yalıtımsız kontrol duvarları ile XPS kodlu yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ile TS 825'e göre hesaplanarak elde edilen U değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. KD ve XPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerleri arasında en yüksek değerler KD kodlu kontrol duvarlarında ve en düşük değerler XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlarda elde edilmiştir. KD kodlu kontrol duvarları arasında en yüksek ve en düşük U değerleri beklendiği gibi sırasıyla KD-0 ve KD-2 kodlu duvarlar göstermiştir. Kontrol duvarları arasında en düşük U değeri, her iki yüzeyi sıvalı olduğu için KD-2 kodlu duvarda, en yüksek U değeri ise KD-0 kodlu her iki yüzeyi sıvasız duvarda elde edilmiştir.

XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar arasında en yüksek ve en düşük U değerlerini ise beklendiği gibi sırasıyla XPS-3 ve XPS-5 kodlu duvarlar göstermiştir. Isı yalıtımlı duvarlar arasında en düşük U değeri XPS-5 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 5 cm ısı yalıtımlı olan duvarda, en yüksek U değeri ise XPS-3 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 3 cm ısı yalıtımlı olan duvarda elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça U değeri azalmaktadır.

Yine Şekil 4.7'de görüldüğü gibi TS EN ISO 8990'a benzer şekilde TS 825'e göre hesaplanan U değerleri arasında en yüksek ve en düşük değerler yine sırasıyla KD kodlu kontrol duvarları ile XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlarda elde edilmiştir. KD

kodlu kontrol duvarları arasında en yüksek ve en düşük U değerleri beklendiği gibi sırasıyla KD-0 ve KD-2 kodlu duvarlar göstermiştir. Kontrol duvarları arasında en düşük U değeri, her iki yüzeyi sıvalı olduğu için KD-2 kodlu duvarda, en yüksek U değeri ise KD-0 kodlu her iki yüzeyi sıvasız duvarda elde edilmiştir.

XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar arasında en yüksek ve en düşük U değerlerini ise beklendiği gibi sırasıyla XPS-3 ve XPS-5 kodlu duvarlar göstermiştir. Isı yalıtımlı duvarlar arasında en düşük U değeri XPS-5 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 5 cm ısı yalıtımlı olan duvarda, en yüksek U değeri ise XPS-3 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 3 cm ısı yalıtımlı olan duvarda elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça U değerleri azalmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre ısı yalıtımlı duvarların ısı geçirgenlik direncinin düşük olduğu dolayısıyla XPS yalıtımlı duvarlarda ısı yalıtımının göreceli olarak sağlandığı söylenebilir.

3 cm, 4 cm ve 5 cm ısı yalıtımı uygulamasında XPS-5 kodlu ısı yalıtımlı duvarın U değeri 0,49 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi TS 825’e göre Ankara ili için duvarlarda istenen U değeri 0,50’dir. Buna göre XPS-5 kodlu ısı yalıtımlı duvar Ankara iklim şartlarına uygun olarak değerlendirilmiştir.

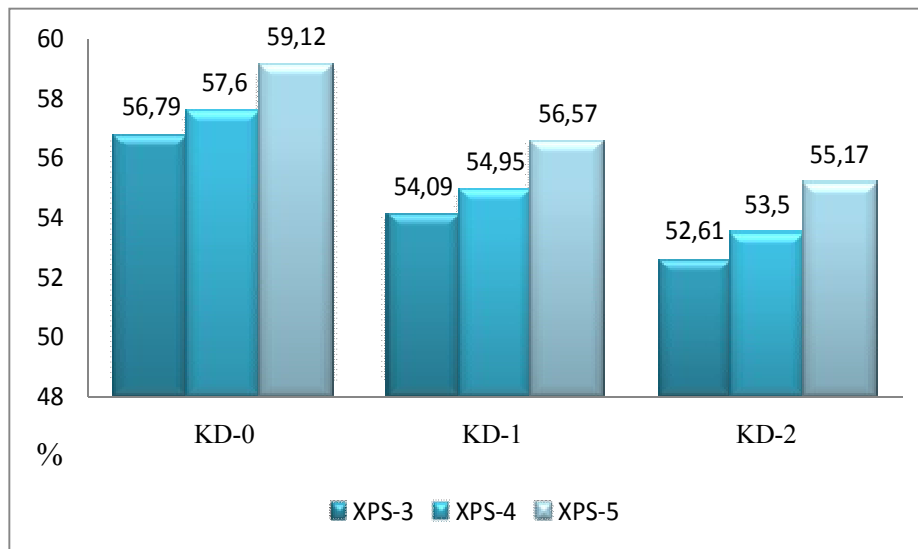
Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8’da XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990 göre hesaplanan U değerleri yüzde cinsinden karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. TS EN ISO 8990’a göre hesaplanan XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri

Duvar kodu	KD-0	KD-1	KD-2
XPS-3 azalma (%)	56,79	54,09	52,61
XPS-4 azalma (%)	57,6	54,95	53,5
XPS-5 azalma (%)	59,12	56,57	55,17

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.8’da görüldüğü gibi KD-0 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve

XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %56,79, %57,6 ve %59,12 azalmıştır. KD-1 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %54,09, %54,95 ve %56,57 azalmıştır. KD-2 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %52,61, %53,5 ve %55,17 azalmıştır. Kontrol duvarları birbirleri ile karşılaştırıldığında KD-0'e göre KD-1 ve KD-2 kodlu duvarlarda sıva uygulaması yapıldığı için U değerlerindeki iyileşme yüzdeleri azalma göstermiştir.



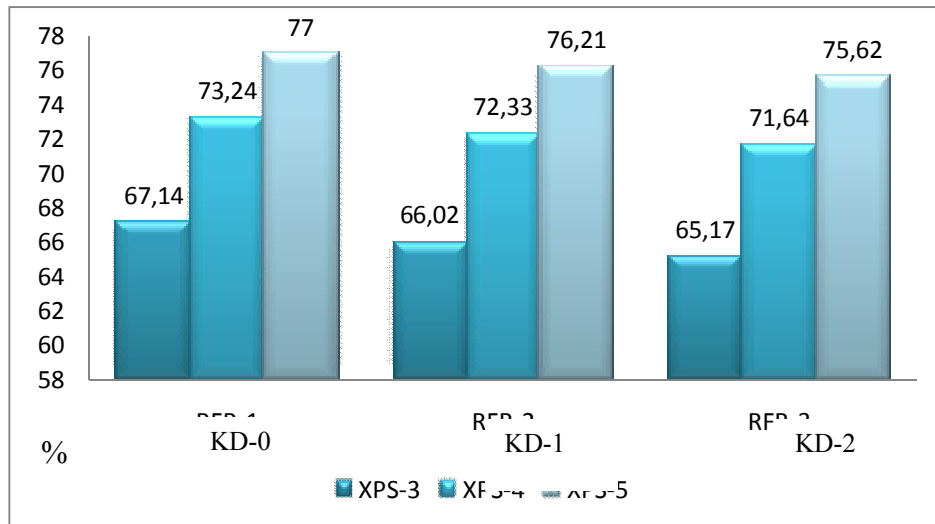
Şekil 4.8. XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990'a göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması

Çizelge 4.4. TS 825'e göre hesaplanan XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri

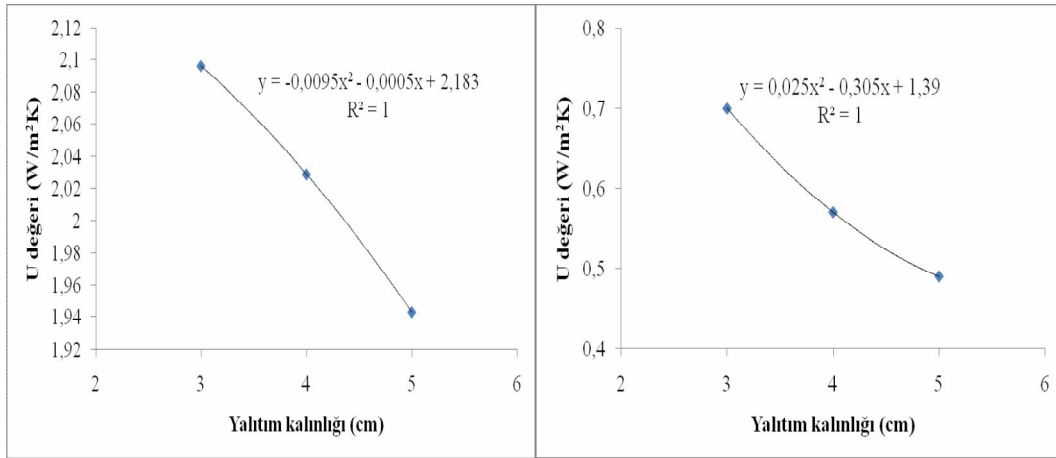
Duvar kodu	KD-0	KD-1	KD-2
XPS-3 azalma (%)	67,14	66,02	65,17
XPS-4 azalma (%)	73,24	72,33	71,64
XPS-5 azalma (%)	77	76,21	75,62

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.9'da görüldüğü gibi KD-0 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve

XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %67,14, %73,24 ve %77 azalmıştır. KD-1 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %66,02, %72,33 ve %76,21 azalmıştır. KD-2 kodlu duvarla XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %65,17, %71,64 ve %75,62 azalmıştır. TS EN ISO8990'da olduğu gibi kontrol duvarları TS 825 açısından da birbirleri ile karşılaştırıldığında KD-0'e göre KD-1 ve KD-2 kodlu duvarlarda sıva uygulaması yapıldığı için U değerlerindeki iyileşme yüzdeleri azalma göstermiştir



Şekil 4.9. XPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS 825'e göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması



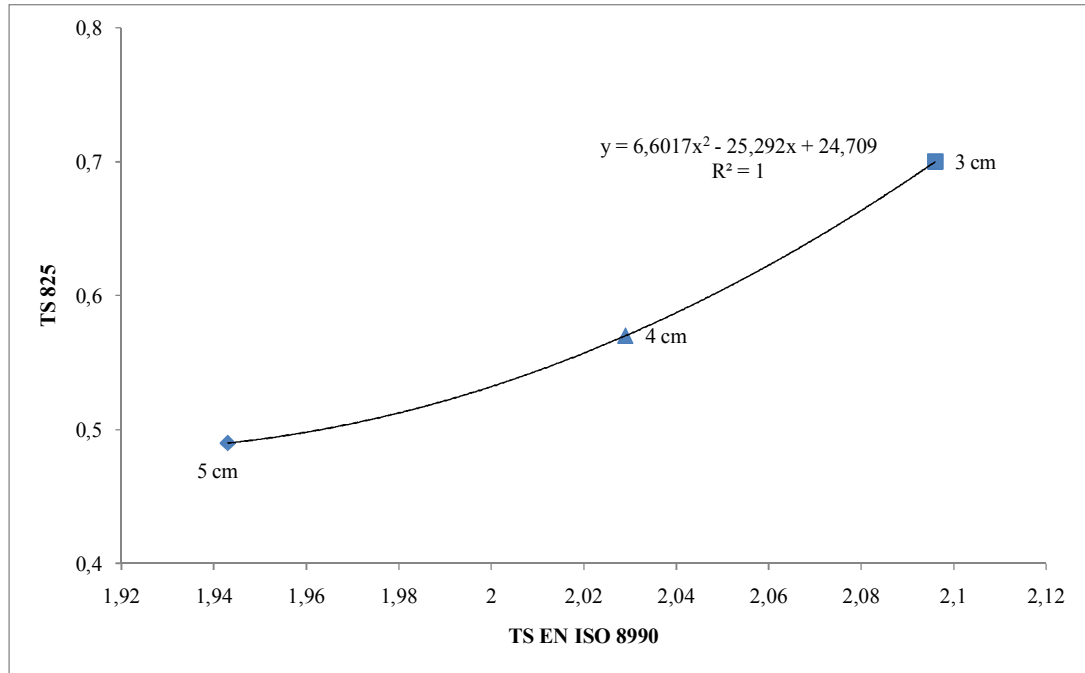
(a) TS EN ISO 8990

(b) TS 825

Şekil 4.10. XPS yalıtımlı duvarlarda TS 8990 ve TS 825'e göre yalıtım kalınlığı – U değeri ilişkisi

Deneysel çalışmada kullanılan XPS ısı yalıtım malzemesi için Şekil 4.10'de görüldüğü gibi duvarlarda U değeri-yalıtım kalınlığı ilişkisini 2. derece polinom regresyon modellemesi ile TS EN ISO 8990 ve TS 825 açısından ifade etmek mümkündür. Şekil 4.10(a)' da TS EN ISO 8990 için $y = -0,0095x^2 - 0,0005x + 2,183$ denklemi elde edilmiştir. Bu denkleme göre dış duvarda 3 cm ile 5 cm arasındaki XPS yalıtım kalınlıkları için U değeri tahmin edilebilmektedir.

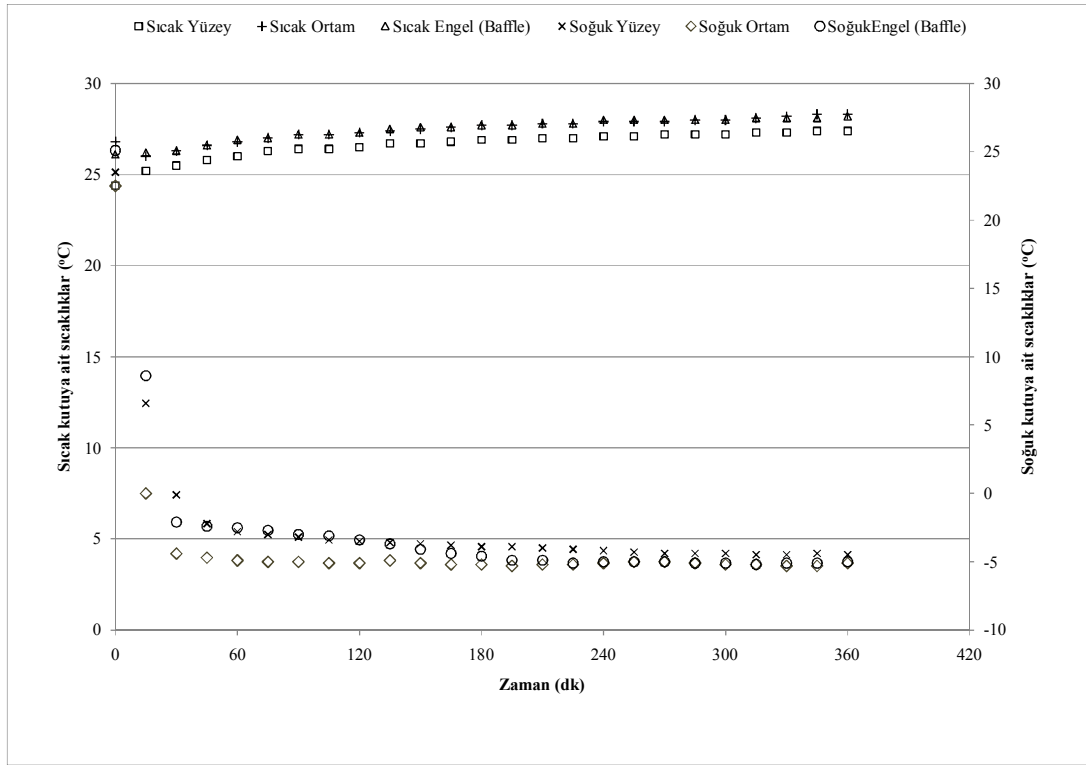
TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerlerinin TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. TS EN ISO 8990'a göre elde edilen U değerlerini TS 825'deki U değerlerine dönüştürmek için SPSS 17.0 programı yardımıyla çoklu regresyon yapılmıştır. Şekil 4.11'de görülen eğri kullanılarak $y = 44,898x^2 - 118,47x + 78,638$ denklemi elde edilmiştir. Elde edilen bu denklem yardımıyla TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerlerini TS 825'e göre hesaplanan U değerlerine dönüştürülebilmek mümkündür.



Şekil 4.11. XPS yalıtımlı duvarlarda TS 8990 ve TS 825 U değerleri arasındaki ilişki

4.2. EPS Yalıtımlı Duvarlarda Isıl İşlem Kararlılık Süreleri

KD kodlu kontrol ve EPS kodlu yalıtımlı duvarlar üzerinde yapılan sıcak kutu deney sonuçları karşılaştırmalı olarak aşağıda değerlendirilmiştir. KD-0 kodlu yalıtımsız ve iç-dış yüzeyleri sıvasız kontrol duvarına ait ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.12’nin üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde ise soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.



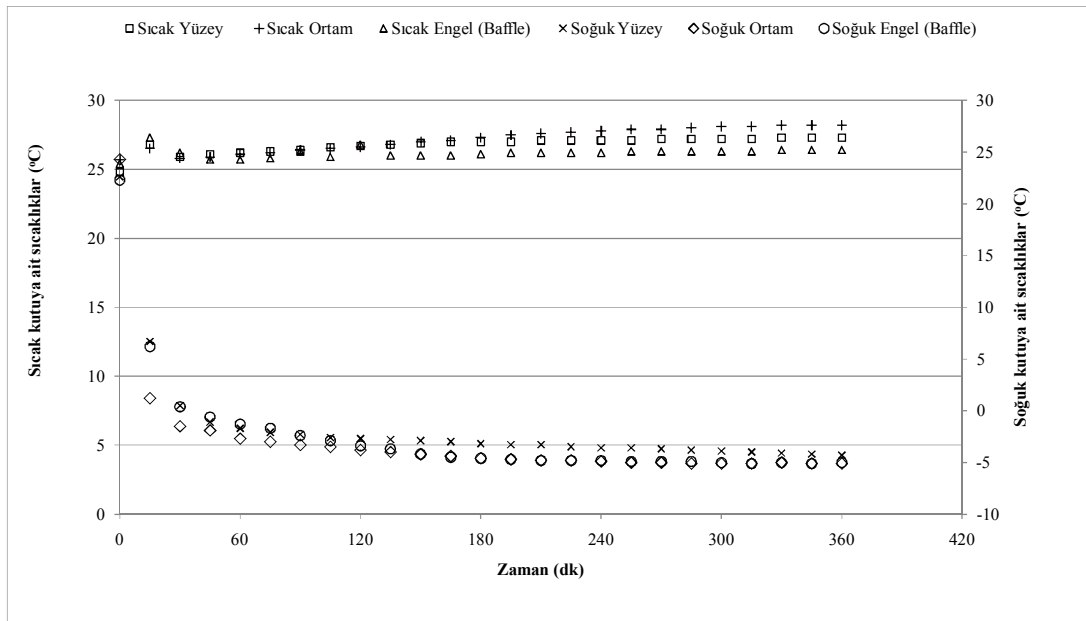
Şekil 4.12. EPS-3 kodlu duvarda ısıtma işlemi kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

EPS-3 kodlu duvara ait Şekil 4.12 incelendiğinde, sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 25 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~27 °C olarak elde edildiği, başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün ~180 dk sonunda kararlı duruma geldiği görülmektedir. KD-2 kodlu duvarın 160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında aradaki 20 dk'lık farkın 3 cm'lik EPS ısı yalıtımından kaynaklandığı ve civar (laboratuvar) sıcaklığı artışının etkili olduğu söylenebilir. Diğer taraftan EPS-3 duvarı ile XPS'li duvarlar birbirleri ile kıyaslandığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla 75 dk, 120 dk ve 135 dk sonunda elde edilen kararlı durumun EPS-3 kodlu duvarda ~180 dk sonunda elde edildiğinden arada sırasıyla 105 dk, 60 dk ve 55 dk'lık farklar oluşmuştur. Bu süre farklarının, EPS levhaların duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden ve yüzeyde üç adet düşey derz ile bir adet yatay derzden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer taraftan cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~270 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı

duruma geldiği belirlenmiştir. EPS-3 kodlu duvar XPS'li duvarlar ile kıyaslandığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlar sırasıyla 100 dk, 180 dk ve 260 dk sonunda kararlı duruma gelmiş ve sırasıyla 170 dk, 90 dk ve 10 dk'lık artış meydana gelmiştir. Bu artışın sebebinin civar sıcaklığı, yalıtım kalınlığı artışı ve EPS levhalarının duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

EPS-4 kodlu duvara ait ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.13'ün üst bölümünde sıcak kutu, alt bölümünde soğuk kutu sıcaklık değerleri yer almaktadır.

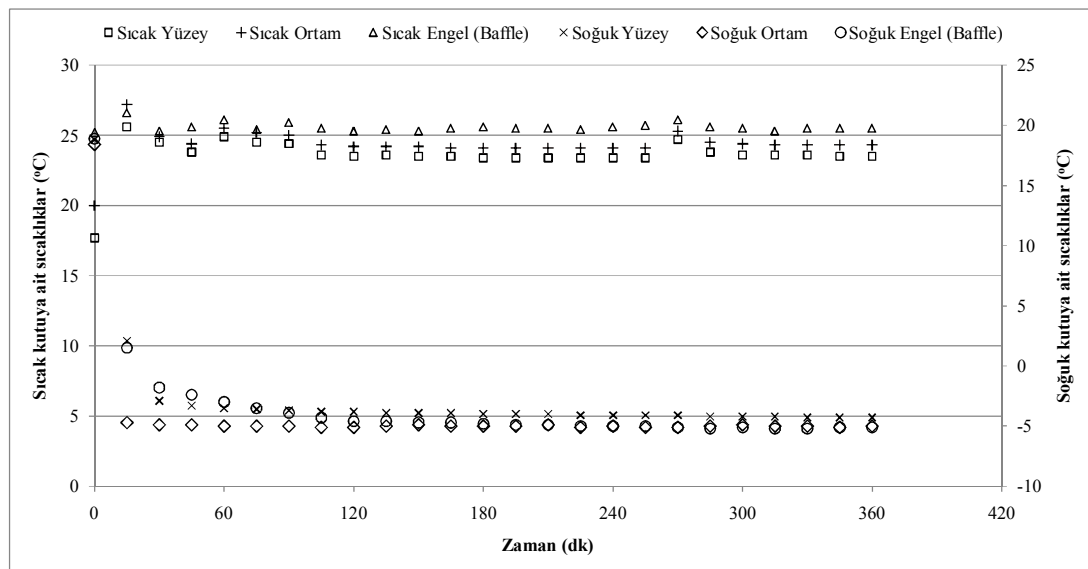


Şekil 4.13. EPS-4 kodlu duvarda ısıtım kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

Şekil 4.13 incelendiğinde, EPS-3 kodlu duvarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 25 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~220 dk sonunda ~28 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. KD-2 kodlu duvarın ~160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 60 dk'lık süre farkının EPS ısı yalıtımından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan EPS'li iki duvar birbiri ile kıyaslandığında ise, EPS-3 kodlu duvarda ~180 dk sonunda elde edilen kararlı durum, EPS-4 kodlu duvarda ~220 dk sonunda elde edildiğinden aradaki 40 dk'lık

farkın yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca EPS-4 duvarı ile XPS'li duvarlar kıyaslandığında ise XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla 75 dk, 120 dk ve 135 dk sonunda elde edilen kararlı durumun, EPS-4 kodlu duvarda ~220 dk sonunda elde edildiğinden arada sırasıyla 145 dk, 100 dk ve 85 dk'lık farklar oluşmuştur. Bu süre farklarının, EPS levhaların duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden ve yüzeyde üç adet düşey derz ile bir adet yatay derzden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~300 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. EPS'li iki duvar birbiri ile kıyaslandığında, EPS-3 kodlu duvarda 270 dk sonunda kararlı durum elde edildiğinden EPS-4 kodlu duvardaki 30 dk'lık süre artışının nedeninin, yalıtım kalınlığı artışı olduğu düşünülmektedir. EPS-4 kodlu duvar XPS'li duvarlar ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlar sırasıyla 100 dk, 180 dk ve 260 dk sonunda kararlı duruma gelmiş ve sırasıyla 200, 120 dk ve 40 dk'lık artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi EPS levhalarının duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.14. EPS-5 yalıtımlı duvarda ısı işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi

Şekil 4.14 incelendiğinde, EPS-3 ve EPS-4 kodlu duvarlarda olduğu gibi sıcak kutu cihazının sıcak bölümünde 25 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ~280 dk sonunda ~25 °C olarak elde edildiği başka bir ifadeyle cihazın bu bölümünün kararlı duruma geldiği görülmektedir. KD-2 kodlu duvarın ~160 dk sonunda kararlı duruma geldiği göz önüne alındığında iki duvar arasındaki 120 dk'lık süre farkının EPS ısı yalıtımından kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan EPS'li duvarlar birbirleri ile kıyaslandığında ise, EPS-3 ve EPS-4 kodlu duvarlarda sırasıyla ~180 dk ve 220 dk sonunda elde edilen kararlı durum, EPS-5 kodlu duvarda ~280 dk sonunda elde edildiğinden aradaki sırasıyla 100 dk ve 60 dk'lık farkın yalıtım kalınlığı artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca EPS-5 duvarı ile XPS'li duvarlar kıyaslandığında ise XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla 75 dk, 120 dk ve 135 dk sonunda elde edilen kararlı durumun, EPS-5 kodlu duvarda ~280 dk sonunda elde edildiğinden arada sırasıyla 205 dk, 160 dk ve 145 dk'lık farklar oluşmuştur. Bu süre farklarının, EPS levhaların duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden ve yüzeyde üç adet düşey derz ile bir adet yatay derzden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Cihazın soğuk bölümünde – 5 °C olarak hedeflenen sıcaklık değerinin ise ~315 dk süre sonunda elde edildiği dolayısıyla cihazın bu bölümünün de kararlı duruma geldiği belirlenmiştir. EPS'li duvarlar birbiri ile kıyaslandığında, EPS-3 ve EPS-4 kodlu duvarlarda sırasıyla 270 dk ve 300 dk sonunda kararlı durum olduğundan EPS-5 kodlu duvarda sırasıyla 45 dk ve 15 dk'lık artış elde edilmiştir. Bu artışın sebebi EPS levhalarının duvar yüzeyine yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde sabitlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. EPS-5 kodlu duvar XPS'li duvarlar ile karşılaştırıldığında XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla 100 dk, 180 dk ve 260 dk sonunda kararlı duruma geldiğinden aradaki sırasıyla 215 dk, 135 dk ve 55 dk'lık azalmanın yalıtım kalınlığı ile ısı iletkenlik katsayısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

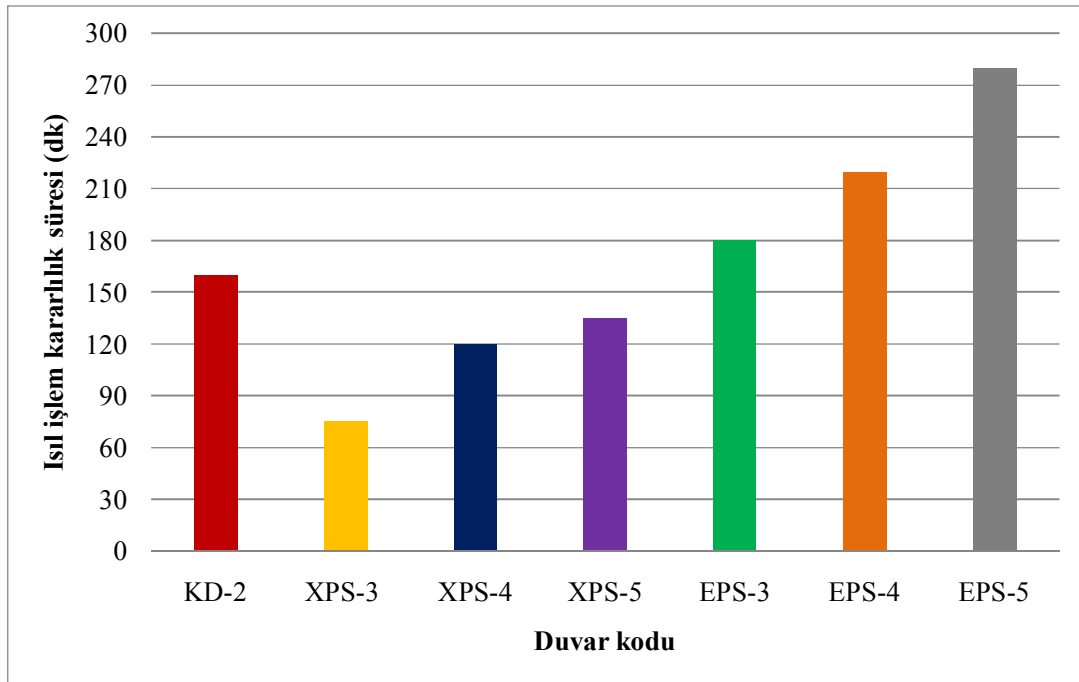
XPS kodlu yalıtımlı duvarların sıcak kutu deneyi, dış hava sıcaklığının 5-10 °C arasında olduğu kış mevsiminde yapılmış dolayısıyla civardaki sıcaklık diğer adıyla laboratuvar sıcaklığı (T_a) ~20 °C olarak tespit edilmiştir. XPS yalıtımlı duvarlarda

civar sıcaklığı ~ 15 °C iken EPS ısı yalıtımlı duvarlarda bu değer ~ 20 °C olmuştur. Bu artışın nedeni, genel bir arıza olması dolayısıyla çalışmayan laboratuvar binası kalorifer tesisatının EPS ısı yalıtımlı duvarların sıcak kutu deneyinin yapıldığı sırada tekrar ve verimli olarak çalışmasıdır.

Yukarıda Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3’de gösterilen KD kodlu duvarlar ile Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilen EPS kodlu duvarların yalnız sıcak bölüme ait ısıl işlem kararlılık süresi-sıcaklık ilişkisi eğrileri üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Buna göre belirlenen KD kodlu yalıtımsız ve EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların ısıl işlem kararlılık süreleri toplu bir şekilde Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi deneye tabi tutulan bütün duvarlarda duvar kalınlığı 13.5 cm olarak sabit tutulmuştur.

Çizelge 4.5. EPS yalıtımlı ve kontrol duvarların kararlılık süreleri

Duvar kodu	Kararlılık süresi-sıcak bölüm (dk)	Yalıtım kalınlığı (cm)	Duvar kalınlığı (cm)	Civar sıcaklığı (°C)
KD-0	-	0	13.5	~ 16
KD-1	-	0	13.5	~ 25
KD-2	~ 160	0	13.5	~ 23
EPS-3	~ 180	3	13.5	~ 20
EPS-4	~ 220	4	13.5	~ 20
EPS-5	~ 280	5	13.5	~ 17
XPS-3	~ 75	3	13.5	~ 15
XPS-4	~ 120	4	13.5	~ 15
XPS-5	~ 135	5	13.5	~ 15
Açıklama: KD-0: İç ve dış yüzeyler sıvasız, KD-1: İç yüzey sıvalı, KD-2: Her iki yüzey sıvalı				



Şekil 4.15. XPS ve EPS kodlu duvarlar ile KD-2 kodlu kontrol duvarı ısıl işlem kararlılık sürelerinin karşılaştırılması

Şekil 4.15’de XPS ve EPS kodlu duvarlar ile KD-2 kodlu kontrol duvarına ait ısıl işlem kararlılık süreleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi KD-2 kodlu yalıtımsız ve iç-dış yüzeyi sıvalı kontrol duvarında ısıl işlem kararlılık süresi ~160 dk sonunda elde edilirken XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla ~75 dk, ~120 dk ve ~135 dk; EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda ise sırasıyla ~180 dk, ~220 dk ve ~280 dk sonunda elde edilmiştir. KD-2 kodlu kontrol duvarına göre XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarların ısıl işlem kararlılık süresi sırasıyla % 53.1, % 25 ve % 15.6 azalırken, EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarların ısıl işlem kararlılık süresi sırasıyla % 12.5, % 37.5 ve % 75 artış göstermiştir. KD-2’ye göre XPS-3, XPS-4 ve XPS-5 kodlu duvarlardaki ısıl işlem kararlılık süresindeki azalma, duvar yapımında kullanılan yatay delikli blok tuğla ile takviyeli harca göre oldukça düşük ısı iletkenliğine sahip olan XPS ısı yalıtım malzemesi kalınlığının artması ile açıklanabilir. KD-2’ye göre EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlardaki ısıl işlem kararlılık süresindeki artış ise, duvar yüzeyine XPS ısı yalıtım levhaları bindirmeli olarak sabitlenirken EPS ısı yalıtım levhalarının yan kenarları birbirine bitişik olacak şekilde ve bindirmesiz olarak duvar yüzeyine sabitlendiğinden levhaların bitişik oldukları yerlerde oluşan ısı transferi/kaçığı ile açıklanabilir.

4.2.1. KD ve EPS kodlu duvarların U değerlerinin karşılaştırılması

KD kodlu kontrol ve EPS kodlu yalıtımlı duvarlara ait TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

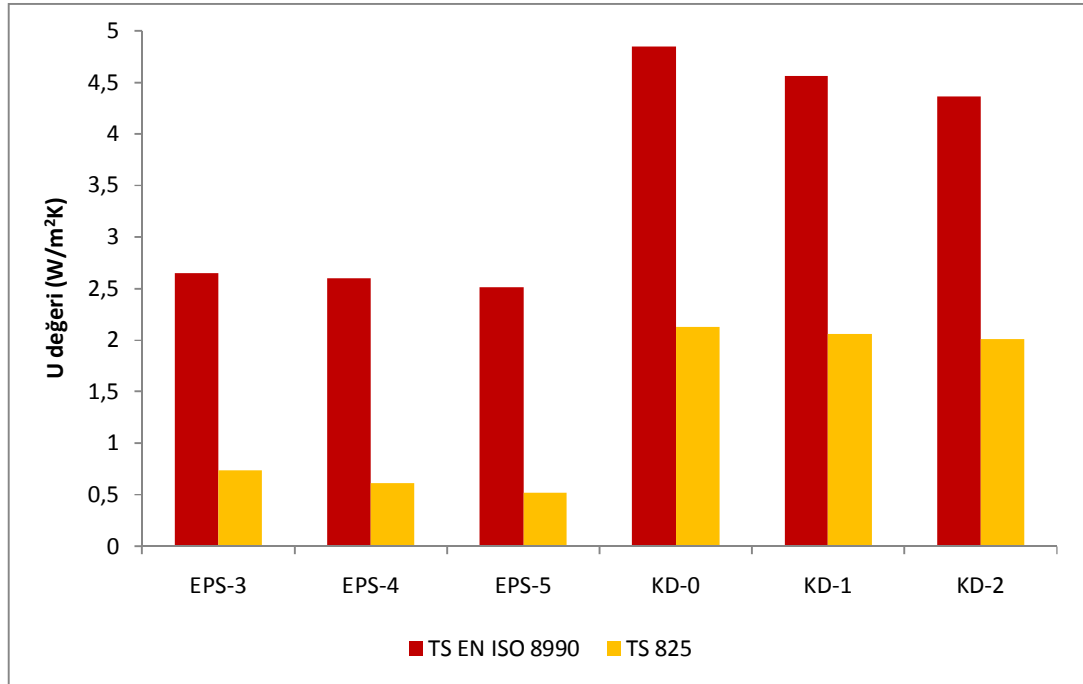
Çizelge 4.6. KD ve EPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan ısı geçirgenlik direnci (U) değerleri

Duvar kodu	Isı geçirgenlik direnci (U) (W/m ² K)		Ankara ili sınır değeri
	TS EN ISO 8990	TS 825	
EPS-3	2.652	0,74	0,50
EPS-4	2.601	0,61	
EPS-5	2.515	0,52	
KD-0	4.850	2,13	
KD-1	4.565	2,06	
KD-2	4.364	2,01	
XPS-3	2.096	0,70	
XPS-4	2.029	0,57	
XPS-5	1.943	0,49	

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi TS 825'e göre duvarlarda ısı yalıtımı malzemesi olarak 3 cm, 4 cm ve 5 cm EPS kullanıldığında duvara ait U değerleri sırasıyla 0.74 W/m²K, 0.61 W/m²K ve 0.52 W/m²K olarak elde edilmiştir.

Sıcak kutu deneyinden elde edilen sıcaklıklar kullanılarak TS EN ISO 8990'a göre duvarlarda ısı yalıtımı malzemesi olarak 3 cm, 4 cm ve 5 cm EPS kullanıldığında duvara ait U değerleri sırasıyla 2.652 W/m²K, 2.601 W/m²K ve 2.515 W/m²K olarak elde edildiği Çizelge 4.6'dan görülmektedir.

Diğer taraftan KD kodlu yalıtımsız kontrol duvarları ile EPS kodlu yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ile TS 825'e göre hesaplanarak elde edilen U değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. KD ve EPS kodlu duvarların TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerleri arasında en yüksek değerler KD kodlu kontrol duvarlarında ve en düşük değerler EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlarda elde edilmiştir. KD kodlu kontrol duvarları arasında en yüksek ve en düşük U değerleri beklendiği gibi sırasıyla KD-0 ve KD-2 kodlu duvarlar göstermiştir. Kontrol duvarları arasında en düşük U değeri, her iki yüzeyi sıvalı olduğu için KD-2 kodlu duvarda, en yüksek U değeri ise KD-0 kodlu her iki yüzeyi sıvasız duvarda elde edilmiştir.

EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar arasında en yüksek ve en düşük U değerlerini ise beklendiği gibi sırasıyla EPS-3 ve EPS-5 kodlu duvarlar göstermiştir. Isı yalıtımlı duvarlar arasında en düşük U değeri EPS-5 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 5 cm ısı yalıtımlı olan duvarda, en yüksek U değeri ise EPS-3 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 3 cm ısı yalıtımlı olan duvarda elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça U değeri azalmaktadır.

Yine Şekil 4.16’da görüldüğü gibi TS EN ISO 8990’a benzer şekilde TS 825’e göre hesaplanan U değerleri arasında en yüksek ve en düşük değerler yine sırasıyla KD kodlu kontrol duvarları ile EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlarda elde edilmiştir. KD kodlu kontrol duvarları arasında en yüksek ve en düşük U değerleri beklendiği gibi sırasıyla KD-0 ve KD-2 kodlu duvarlar göstermiştir. Kontrol duvarları arasında en düşük U değeri, her iki yüzeyi sıvalı olduğu için KD-2 kodlu duvarda, en yüksek U değeri ise KD-0 kodlu her iki yüzeyi sıvasız duvarda elde edilmiştir.

EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar arasında en yüksek ve en düşük U değerlerini ise beklendiği gibi sırasıyla EPS-3 ve EPS-5 kodlu duvarlar göstermiştir. Isı yalıtımlı duvarlar arasında en düşük U değeri EPS-5 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 5 cm ısı yalıtımlı olan duvarda, en yüksek U değeri ise EPS-3 kodlu her iki yüzeyi sıvalı ve 3 cm ısı yalıtımlı olan duvarda elde edilmiştir. Görüldüğü gibi yalıtım kalınlığı arttıkça U değerleri azalmaktadır. Elde edilen bu sonuçlara göre ısı yalıtımlı duvarların ısı geçirgenlik direncinin düşük olduğu dolayısıyla EPS ısı yalıtımlı duvarlarda ısı yalıtımının göreceli olarak sağlandığı söylenebilir.

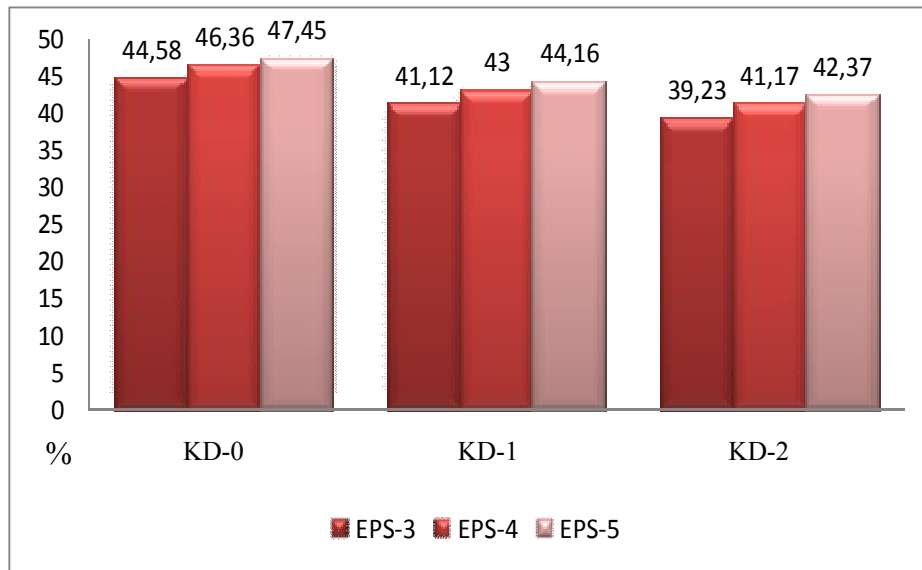
3 cm, 4 cm ve 5 cm ısı yalıtımı uygulamasında EPS-5 kodlu ısı yalıtımlı duvarın U değeri 0,52 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi TS 825’e göre Ankara ili için duvarlarda istenen U değeri 0,50’dir. Buna göre EPS-5 kodlu ısı yalıtımlı duvar Ankara iklim şartlarına uygun olarak değerlendirilememiştir. Bununla birlikte iç ve dış yüzeyde uygulanan sıva tabakası kalınlığının artırılması, yalıtım sıvası kullanımı veya 6 cm kalınlığında EPS kullanılması durumunda U değerinin Ankara ili için uygun şartları sağlayacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.17’de EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990 göre hesaplanan U değerleri yüzde cinsinden karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri

Duvar kodu	KD-0	KD-1	KD-2
EPS-3 azalma (%)	44,58	41,12	39,23
EPS-4 azalma (%)	46,36	43,00	41,17
EPS-5 azalma (%)	47,45	44,16	42,37

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.17'de görüldüğü gibi KD-0 kodlu duvarla EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %44.58, %46.36 ve %47.45 azalmıştır. KD-1 kodlu kontrol duvarı ile EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %41.12, %43 ve %44.16 azalmıştır. KD-2 kodlu duvarla EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ise EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %39.23, %41.17 ve %42.37 azalmıştır. Kontrol duvarları birbirleri ile karşılaştırıldığında KD-0'e göre KD-1 ve KD-2 kodlu duvarlarda sıva uygulaması yapıldığı için U değerlerindeki iyileşme yüzdeleri azalma göstermiştir.

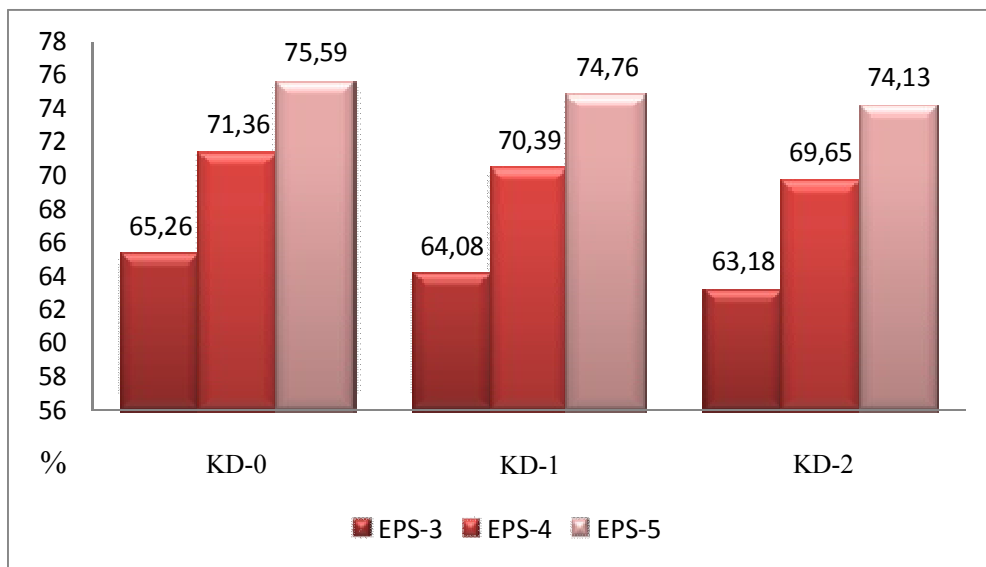


Şekil 4.17. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS EN ISO 8990'a göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması

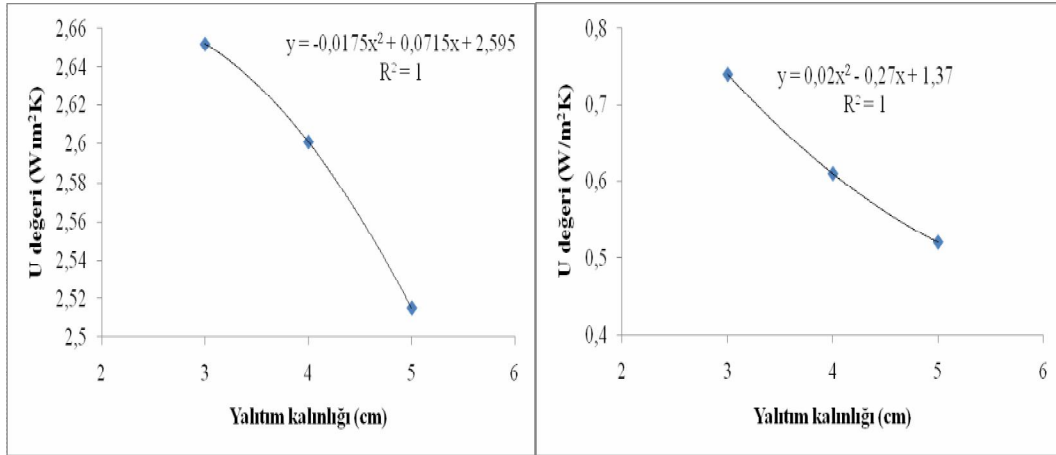
Çizelge 4.8. TS 825'e göre hesaplanan EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarların KD kodlu kontrol duvarlarına göre U değerlerindeki azalma yüzdeleri

Duvar kodu	KD-0	KD-1	KD-2
EPS-3 azalma (%)	65,26	64,08	63,18
EPS-4 azalma (%)	71,36	70,39	69,65
EPS-5 azalma (%)	75,59	74,76	74,13

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.18'de görüldüğü gibi EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD-0 kodlu duvarın U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %65.26, %71.36 ve %75.59 azalmıştır. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD-1 kodlu duvarın U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %64.08, %70.39 ve %74.76 azalmıştır. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD-2 kodlu duvarın U değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ise EPS-3, EPS-4 ve EPS-5 kodlu duvarlarda sırasıyla %63.18, %69.65 ve %74.13 azalmıştır. TS EN ISO 8990'da olduğu gibi kontrol duvarları TS 825 açısından da birbirleri ile karşılaştırıldığında KD-0'e göre KD-1 ve KD-2 kodlu duvarlarda sıva uygulaması yapıldığı için U değerlerindeki iyileşme yüzdeleri azalma göstermiştir.



Şekil 4.18. EPS kodlu ısı yalıtımlı duvarlar ile KD kodlu kontrol duvarlarına ait TS 825'e göre U değerlerinin yüzde cinsinden karşılaştırılması



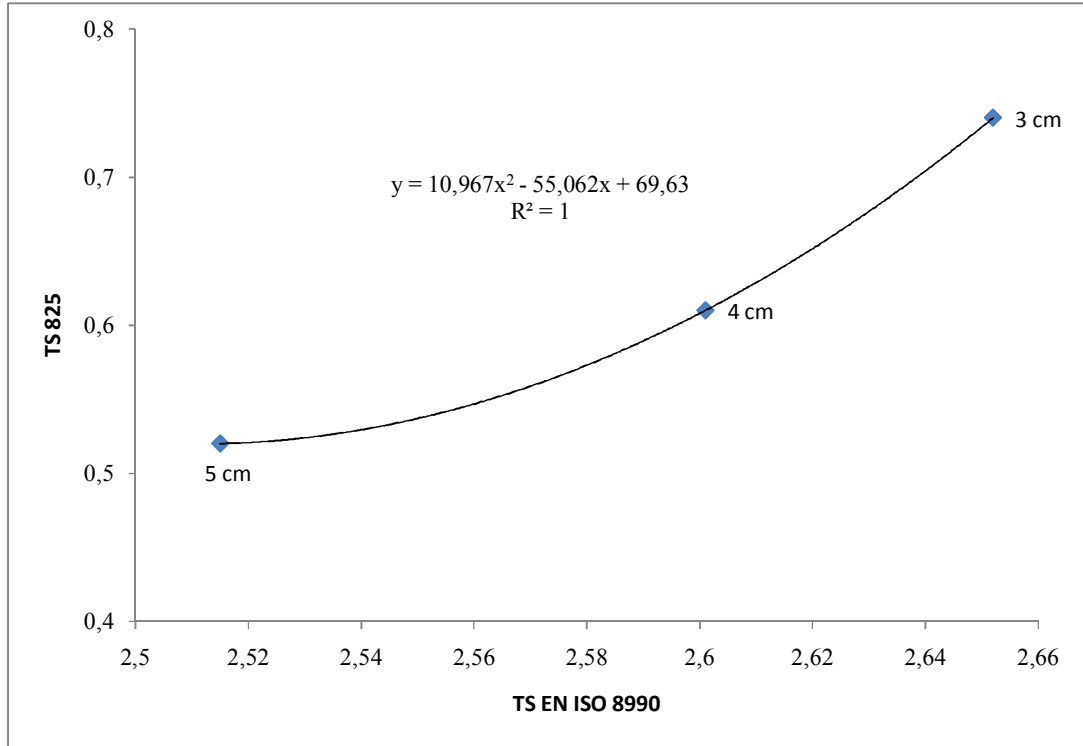
(a) TS EN ISO 8990

(b) TS 825

Şekil 4.19. EPS yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ve TS 825'e göre yalıtım kalınlığı- U değeri ilişkisi

Deneyisel çalışmada kullanılan EPS ısı yalıtım malzemesi için Şekil 4.19'da görüldüğü gibi duvarlarda U değeri-yalıtım kalınlığı ilişkisini 2. derece polinom regresyon modellemesi ile TS EN ISO 8990 ve TS 825 açısından ifade etmek mümkündür. Şekil 4.12(a)'da TS EN ISO 8990 için $y = -0,0175x^2 + 0,0715x + 2,595$ denklemi elde edilmiştir. Bu denkleme göre XPS kullanılan dış duvarlarda olduğu gibi 3 cm ile 5 cm arasındaki EPS yalıtım kalınlıkları için U değeri tahmin edilebilmektedir.

TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerlerinin TS 825'e göre hesaplanan U değerlerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. TS EN ISO 8990'a göre elde edilen U değerlerini TS 825'deki U değerlerine dönüştürmek için SPSS 17.0 programı yardımıyla çoklu regresyon yapılmıştır. Şekil 4.20'de görülen eğri kullanılarak $y = -3,1601x^2 + 13,35x - 13,011$ denklemi elde edilmiştir. Elde edilen bu denklem yardımıyla TS EN ISO 8990'a göre hesaplanan U değerlerini TS 825'e göre hesaplanan U değerlerine dönüştürülebilmek mümkündür.



Şekil 4.20. EPS yalıtımlı duvarlarda TS EN ISO 8990 ve TS 825 U değerleri arasındaki ilişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan deneysel ve nümerik analizler ile Ankara ili kış mevsimi koşulları dikkate alınarak 13,5 cm kalınlığındaki yatay delikli tuğla ile örülen dış duvarlarda meydana gelen ısı kayıplarını engellemek için yapılan ısı yalıtımının performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. XPS kullanılarak dış duvar yüzeyinden yapılan ısı yalıtımında TS 825'e göre 3 cm, 4 cm ve 5 cm yalıtım kalınlığı için U değerleri sırasıyla 0.70, 0.57 ve 0.49 W/m²K değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuca göre en az 5 cm kalınlığında yapılan XPS ısı yalıtımının Ankara ili için uygun olduğu tespit edilmiştir.
2. XPS kullanılarak dış duvar yüzeyinden yapılan ısı yalıtımında TS EN ISO 8990'a göre 3 cm, 4 cm ve 5 cm yalıtım kalınlığı için U değerleri sırasıyla 2.096, 2.029 ve 1.943 W/m²K değerleri elde edilmiştir.
3. EPS kullanılarak dış duvar yüzeyinden yapılan ısı yalıtımında TS 825'e göre 3 cm, 4 cm ve 5 cm yalıtım kalınlığı için U değerleri sırasıyla 0.74, 0.61 ve 0.52 W/m²K değerleri elde edilmiştir. EPS yalıtımlı duvarların tamamının Ankara ili için uygun olmadığı belirlenmiştir. Bu sonuca göre Ankara ili için en az 6 cm kalınlığında EPS kullanılması gerektiği söylenebilir.
4. EPS kullanılarak dış duvar yüzeyinden yapılan ısı yalıtımında TS EN ISO 8990'a göre 3 cm, 4 cm ve 5 cm yalıtım kalınlığı için U değerleri sırasıyla 2.652, 2.601 ve 2.515 W/m²K değerleri elde edilmiştir.
5. Yalıtımsız kontrol duvarlarının U değerleri TS 825'de belirtilen Ankara ili için istenen 0,50 W/m²K değerinden oldukça yüksek olduğu hesaplanmıştır. Buna göre, her iki yüzü sıvasız KD-0 ve yalnız iç yüzeyi sıvalı KD-1 kodlu kontrol duvarlarında ısı yalıtımı sağlanmadığı gibi iç ve dış yüzeyi sıvalı KD-2 kodlu kontrol duvarında da istenilen ısı yalıtımı elde edilememiştir. Bu sonuç, bütün dış duvarlarda ısı yalıtımı yapılması gerektiğini göstermektedir.

6. Nümerik ve deneysel analiz sonuçlarına göre, Ankara ili için dış duvarlarda kullanılacak en uygun ısı yalıtımı malzemesinin XPS olduğu ve kalınlığın en az 5 cm olması gerektiği belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

1. Sıcak kutu deneylerinin standart deney ortamını sağlamak ve civar (laboratuvar) sıcaklığının kontrolü için özel iklimlendirme oda veya kabinleri yapılarak gerçekleştirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.
2. Yapılarda enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip farklı malzemeler kullanılarak örülen duvarların ısı yalıtımı konusunda üniversiteler ile özel sektör arasında ortak projeler üretilerek deneysel çalışmalar yapılması ve elde edilen sonuçların uygulamaya aktarılmasının ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir.
3. Duvar yüzeyindeki sıva kalınlığı teknik sorunlardan dolayı iç ve dış yüzeyde 2 cm seçilmiştir. Sıva kalınlığının her iki yüzeyde 2,5 cm olması ve EPS'nin en az 6 cm kalınlığında kullanılması durumunda Ankara ili için istenen $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerinin sağlanacağı tahmin edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Balo, F, Uçar, A., İnallı, M., “Yapıların dış duvarlarında optimum yalıtım kalınlığının üç farklı metodla tespiti”, **X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İzmir, 21-27 (2011).
2. Erbay, B., Özsarı, Ö., Umut, T., Özdemir, Y., “Sağlık yapılarında ısı, ses, yangın yalıtımı ve ekonomik analizi”, **7. Üniversitelerarası Yalıtım Yarışması**, İstanbul, 78-90 (2007).
3. Özkan, B.D., Onan, C., Erdem, S. “Effect Of insulation material thickness on thermal insulation”, **Journal of Engineering and Natural Sciences**, 27(2): 190-196 (2009).
4. Sözen, A., Özdemir, V., Menlik, T., “Bölgesel Optimum İzolasyon Kalınlığının Tespiti”, **Gazi Üniversitesi Bilimsel araştırma Projesi**, 5-22 (2011).
5. Arısoy, A., Çetegen, E., “Binalarda ısı yalıtımı ve Isıtma sisteminin birlikte Optimizasyonu”, **VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İstanbul, 1-14 (2003).
6. Kaynaklı, O., “A Study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness”, **Renewable Energy**, 36 (6): 1164-1172 (2008).
7. Kahraman, F., “Isı tutucu malzemeler ve yapılarda uygulanma olanaklarının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **I.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 45-47 (1999).
8. Ünalın, H., “Yapı kabuğunda ısı yalıtımının irdelenmesi ve Anadolu Üniversitesi lojmanları iyileştirme projesi örneği”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 99-102 (2003).
9. Ünalın, H. ve Gökaltın, E., Uğurbilek, R., “Yapı kabuğunda ısı kayıplarının azaltılması ve bir iyileştirme projesi örneği”, **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 9 (4): 49-56 (2006).
10. Göksal, T., “Enerji korunurlu binalarda dış duvar kuruluşları”, **III. Ulusal Enerji Sempozyumu**, İstanbul, 233-240 (2000).
11. Yazıcıoğlu, F., “Dış duvarda tasarım – uygulama ilişkisi; Boğaziçi’nde konut restorasyonu örnekleri”, **Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Teknolojiler Sempozyumu**, İstanbul, 68-75 (2005).
12. Gürdal, E., Acun, S., “Dış duvarların tasarımında ısı ve rutubet etkisi”, **Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Teknolojiler Sempozyumu**, İstanbul, 76-85 (2005).

13. Özcan, K. “Yapı”, **Bilim Yayınları**, Ankara, 12-19 (2000).
14. Yazıcıoğlu, F., “İstanbul’da konut binalarının dış duvarları’ndaki sistem ve malzeme seçimleri ile yapım teknikleri”, **Çatı ve Cephe Kaplamalarında Çağdaş Teknolojiler Sempozyumu**, İstanbul, 26-35 (2005).
15. Türkçü, Ç., “Yapım, İlkeler, Malzemeler, Sistemler, Çözümler”, **Birsan Yayınevi**, Ankara, 31-34 (2004).
16. Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., “Yapı elemanı tasarımında malzeme”, **Literatür Yayıncılık**, İstanbul. 45-55 (2000).
17. Aruntaş, H.Y., “Prefabrik Yapı Teknolojileri”, **yayınlanmamış ders notları**, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (2011).
18. Ekinci, C.E., “Yalıtım teknikleri”, **Atlas Yayın Dağıtım**, İstanbul, 45-50 (2003).
19. Ünal, S., “Bina Duvar Isı Yalıtım Sistemleri ve Ekstrude Polistren ile TS 825’e Uygun Bina Yalıtım Çözümleri Üzerine Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 33-39 (2002).
20. İzoder (Isı, su ve Ses İzolasyoncuları Derneği), **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı Denetim Kuruluşları Yalıtım Semineri** (2003).
21. Özer, M., “Yapılarda Isı-Su Yalıtımları”, **Özer Yayınları**, İstanbul, 6-9 (1982).
22. İzocam Tic.San. A.Ş. “Yaşanabilir çevre için yalıtım”, **İzocam Diyalog Dergisi**, 49 (6): 68-70 (2005).
23. Karakoç, H., “Enerji Ekonomisi”, **Demirdöküm Yayınları**, İstanbul, 12-14 (1993).
24. Yalçın, H., Koç, T., “Korozyon ve Katodik Koruma”, **Palme Yayınları**, Ankara, 30-36 (1995).
25. Karagöz, N., Şenkal, Sezer, F., “Betonarme döşemelerde ısı yalıtımı uygulamaları”, **Şantiye Dergisi**, 197 (5): 52-59 (2004).
26. İnternet : Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği “Isı yalıtımı”
<http://www.izoder.org.tr>
27. TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ", Türk Standardları Enstitüsü, Ankara (2008).
28. Dilmaç, Ş. "Binalarda enerji verimliliği", **3e-Enerji Elektrik Elektronik**, 38 (3): 94-99 (1997).

29. Dağsöz, A. K., "Türkiye'de derece-gün sayıları ulusal enerji tasarruf politikası Yapılarda ısı yalıtımı", *Alp Teknik Yayınları*, İstanbul, 22-24 (1995).
30. Wilson, D. L., Schipper, S. T., and Barlett, S. "Policies and programs for promoting energy conservation in the residential sector lessons from five OECD countries", *Lawrence Berkeley Lab. Applied Science Division, Energy Analysis Program*, International Energy Studies Group, Berkeley, (1989).
31. Dilmaç, Ş., Tırıs, M. ve Türe, İ.E., "İstanbul'da dış duvar elemanlarından kaybedilen ısı enerjisi miktarının ölçülmesi ve enerji tasarruf potansiyelinin hesaplanması" *Final Raporu, Gebze*, 56-58 (1996).
32. Dilmaç, Ş., "TS 825'in hazırlanma amacı ve uygulamasında ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi", *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi*, Eskişehir, 23-31 (2001).
33. Altınışik, K., "Isı Yalıtımı", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 44-51 (2006).
34. Güç, A., "Yapılarda Ekstrude Polistren Isı Yalıtımı", *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 52 (2): 30-31 (2008).
35. Ertaş, K., "Isı yalıtım malzemeleri ve ısı yalıtım detayları", *İzolasyon Dünyası Dergisi*, 53 (4): 18-23 (2009).
36. Polistren Üreticileri Derneği, *Isı Yalıtımında Beyaz Güç Kitapçığı*, (2001).
37. Evcil, N., "Isı İzolasyonu ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 21-29 (2000).
38. İzocam Tic.San. A.Ş. "Mineral Yünlerle Yalıtım", *İzocam Diyalog Dergisi*, 47 (6): 2-3 (2003).
39. Dağsöz, A. K., "Yapılarda ısı yalıtımı ve Buhar Geçişi", *Emre Matbaacılık*, İstanbul, 22-25 (1991).
40. İnternet : Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği "Isı yalıtımı" www.izoder.org.tr/Dergi/46/Ozpor_2Htm (2010)
41. Köse, B., Isıkan, O., İnan, A. T., "Isı yalıtım uygulamalarının üç bölge için enerji verimliliği açısından incelenmesi", *Teknolojik Araştırmalar, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 23(3): 1-9 (2006).
42. EURIMA (European Insulation Manufacturers Association), "Sustainable Construction", *Technical Note*, 38-40 (2010).
43. Dombaycı, O. A., Golcu, M., Pancar, Y., "Optimization of insulation thickness for external walls using different energy sources", *Applied Energy*, 83 (5): 921-928 (2006).

44. Bolattürk, A., “Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Thermal Engineering*, 26 (2): 1301-1309 (2006).
45. Daouas, N., “A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads”, *Applied Energy*, 88 (1): 156-164 (2011).
46. Çomaklı, K., Yüksel, B., “Optimum insulation thickness of external walls for energy saving”, *Applied Thermal Engineering*, 23 (5): 473-479 (2003).
47. Hasan, A., “Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost”, *Applied Energy*, 63 (3): 115-124 (1999).
48. Büyükalaca, O., Bulut, H., Yilmaz, T., “Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey”, *Applied Energy*, 69 (4): 269–283 (2001).
49. Şişman, N., Kahya, E., Aras, N., Aras, H., “Determination of optimum insulation thicknesses of the external walls and roof (ceiling) for Turkey’s different degree-day regions”, *Energy Policy*, 35 (2): 5151–5155 (2007).
50. Arslan, O., Kose, R., “Thermoeconomic optimization of insulation thickness considering condensed vapor in buildings”, *Energy and Buildings*, 38 (3): 1400–1408 (2006).
51. Yoon, J., Lee, E., Krarti, M., “Optimization of Korean crop storage insulation systems”, *Energy Conversion and Management*, 44 (8): 1145-1162 (2003).
52. Mohsen, MS., Akash, BA., “Some prospects of energy savings in buildings”, *Energy Conversion and Management*, 42 (5): 1307–1315 (2001).
53. Al-Khawaja, M., “Thermal Resistance of Building Materials”, B.S. Graduation Project, *Birzeit University*, 21-22 (1995).
54. Aksoy, T., İnallı, M., “Bina kabuğundaki yalıtım uygulamalarının ısıtma enerjisine etkisinin sayısal analizi”, *TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 76 (3): 34- 39 (2003).
55. Gustafsson, S., “Optimisation of insulation measures on existing buildings”, *Energy and Buildings*, 33 (2): 49-55 (2000).
56. Aksoy, U. T. ve Keleşoğlu, Ö., “Bina kabuğu yüzey alanı ve yalıtım kalınlığının ısıtma maliyeti üzerinde etkileri” *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22 (1): 103-109 (2007).
57. Al-Sanea, S. A., Zedan, M. F. and Al-Ajlan, S.A., “Effect of electricity tariff on the optimum insulation-thickness in building walls as determined by a dynamic heat-transfer model” *Applied Energy*, 82 (1): 313-330 (2005).

58. Özel, M., Pıhtılı, K., “Determination of optimum insulation thickness by using heating and cooling degree-day values”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 26 (3): 191-197, (2008).
59. Uçar, A., Balo, F., “Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey”, *Applied Energy*, 86 (4): 730- 736 (2009).
60. Al-Regib, E. and Zubair, S.M., “Transient heat transfer through insulated walls”, *Energy*, 20 (7): 687-694 (1995).
61. Rose, J., Svendsen, S., “Validating numerical calculations against guarded hot box measurements”, *Nordic Journal of Building Physics*, 4(1): 22-30 (2004).
62. Abela, A., “Thermal performance of insulation samples: applications for malta”, http://www.bicc.gov.mt/bicc/files_folder/A%20Abela.pdf (2006).
63. SP Technical Research Institute of Sweden, “Thermal transmittance by hot box method”, *Energy Report*, 1-3 (2010).
64. Asdrubali, F., Baldinelli, G., Bianchi, F., Libbra, A., Muscio, A., “Comparative analysis of different methods to evaluate the thermal conductivity of homogenous materials”, *Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems*, Sorrento, 8-12 (2010).
65. Ghazi W.K., Taner, Ch., “U-value of a dried wall made of perforated porous clay bricks Hot box measurement versus numerical analysis”, *Energy and Buildings*, 35 (6): 675–680 (2003).
66. Sala, J.M., Urresti, A., Martí’n, K., Flores, I., Apaolaza A., “Static and dynamic thermal characterisation of a hollow brick wall: Tests and numerical analysis”, *Energy and Buildings*, 40 (5): 1513–1520 (2008).
67. Mavromatidis, E. L., Bykalyuk, A., El Mankibi, M., Michel, P., Santamouris, M., “Numerical estimation of air gaps’ influence on the insulating performance of multilayer thermal insulation”, *Building and Environment*, 49 (2): 227-237 (2012).
68. Frawley, E., “Thermal testing of innovative building insulations”, PhD. Thesis, *Dublin Institute of Technology*, Dublin, 12-26 (2009).
69. TS EN 771-1, “Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara (2000).
70. TS EN 197-1, “ Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara (2002).

71. TS 706 EN 12620+A1, “Beton agregaları”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (2003).
72. TS 7316 EN 13163, “Isı Yalıtım Mamulleri- Binalar İçin- Fabrikasyon Olarak İmal Edilen- Genleştirilmiş Polistiren Köpük- Özellikler”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (2002).
73. TS 1262, “Sıva Yapım Kuralları-Bina İç Yüzeylerinde Kullanılan”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (1988).
74. TS 13914-1, “Dış ve iç sıvaların tasarımı, hazırlanması ve uygulanması – Dış sıva”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (2007).
75. TS EN 13914-2, “Dış ve iç sıvaların tasarımı, hazırlanması ve uygulanması - Bölüm 2: İç sıvalar için tasarım hususları ve temel prensipler”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (2007).
76. TS EN ISO 8990, “Isı yalıtımı - kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini - kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu”, ***Türk Standardları Enstitüsü***, Ankara (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan Kaplan

Doğum Tarihi – Yeri : 13 Ekim 1986 - Ankara

Ünvanı : Yüksek Lisans Öğrencisi

Adres : Anıttepe Mahallesi Gençlik Caddesi Ertürk Apt.
No:45/9 Maltepe/Çankaya/ANKARA

Telefon : 05428135883

Öğrenim Durumu:

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Önlisans	İnşaat	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	2004 - 2006
Lisans	Yapı Eğitimi	Süleyman Demirel Üniversitesi	2006 - 2009
Y.Lisans	Yapı Eğitimi	Gazi Üniversitesi	2009 -.....

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (*Proceedings*) basılan bildiriler :

Kaplan G., Gültekin A.B., “Yapı Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Çevresel ve Toplumsal Etkiler Açısından İncelenmesi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, 59-64 (2010).

Katıldığı Seminer ve Konferanslar:

2011 Günümüzde Tuğla ve Kiremit ile İlgili Mevzuat, Yalıtım ve Uygulama Esasları, Ankara

2011 Binalarda Enerji Verimliliği Konferansı, Ankara

Görev Aldığı Etkinlikler:

Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, Teknik Kurul Üyeliği