



**ERZURUM İLİNDE ISI YALITIM
KALINLIKLARININ ENERJİ, EKONOMİK
VE ÇEVRESEL ANALİZİ**

Mehmet Ali SAPAN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Bilim Dalı

Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

2017

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ERZURUM İLİNDE ISI YALITIM KALINLIKLARININ
ENERJİ, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ**

Mehmet Ali SAPAN

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**ERZURUM İLİNDE ISI YALITIM KALINLIKLARININ
ENERJİ, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ**

Prof. Dr. Kadir BAKIRCI 'nın danışmanlığında Mehmet Ali SAPAN tarafından hazırlanan bu çalışma 12/04/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı – Enerji Bilim Dalı 'nda Yüksek lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kenan YAKUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 27.....04.....2017 tarih ve 17.../.../11..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

**Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü**

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ERZURUM İLİNDE ISI YALITIM KALINLIKLARININ ENERJİ, EKONOMİK VE ÇEVRESEL ANALİZİ

Mehmet Ali SAPAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

Ülkemizde enerji tüketimi hem gelişim düzeyine hem de nüfusa bağlı artış göstermektedir. Ülke ekonomisinin dinamiklerinden biri olan enerji sektöründe doğal gaz, petrol ve kömür gibi karbon içeren yakıtların büyük bir kısmı ithal edildiğinden dolayı ülkemiz enerji sektöründe dışa bağımlı hale gelmiştir. Bu nedenle yakıt tüketiminin ülke ekonomisi üzerinde etkisi ve karbon kökenli yakıtların çevreye verdiği zarar dikkate alındığında yalıtımın önemi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada ısı yalıtım sistemlerinde kullanılan yalıtım malzemelerinin kalınlıklarının etkileri incelenmiştir. Erzurum ili şartlarında örnek bir bina için TS 825 Standardı 2008 yılı revizyonuna göre yapılan hesaplamada, üç farklı (XPS, EPS ve cam yünü) yalıtım malzemesi için sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm asgari yalıtım kalınlıkları elde edilmiştir. Bu değerler Erzurum’da uygulanan 5 cm ısı yalıtım kalınlığı ile kıyaslandığı zaman, yıllık ısıtma enerjisi ve CO₂ salınımı açısından %35-38 daha düşük değerler elde edilmiştir. Ayrıca net tasarruf açısından 5 cm yalıtım kalınlığı yerine asgari yalıtım kalınlıkları kullanıldığında yaklaşık %7,2 daha fazla tasarruf elde edildiği görülmüştür.

2017, 94 sayfa

Anahtar Kelimeler: Isı yalıtımı, ısı yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, karbondioksit emisyon miktarı

ABSTRACT

Master Thesis

THERMAL INSULATION THICKNESS OF ENERGY, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS IN PROVINCE OF ERZURUM

Mehmet Ali SAPAN

Atatürk University
Faculty of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Department of Energy

Supervisor: Prof. Dr. Kadir BAKIRCI

In our country, energy consumption has been increasing due to developmental state and population. Our country has become dependent on outside financial sources in energy sector which is one of the dynamics of economics because carbon-containing fuel such as natural gas, petrol and coal are imported. Therefore, importance of insulation emerges when the impact of fuel consumption on the country's economy and environmental damage caused by carbon-based fuels are taken into account.

In this study, thickness of insulating material which is used in insulating systems has been examined. After a calculation in accordance with TS 825-2008 revision, for a building in Erzurum conditions the thickness of 13,8 cm, 14,6 cm and 15,8 cm have been obtained respectively for three different insulation materials XPS, EPS and glass wool. In comparison to the 5 cm thermal insulation material which is used in Erzurum, 35-38% lower values have been obtained in terms of yearly heating energy and CO₂ emission. It has also been observed that, in terms of net savings more than 7,2% savings can be achieved by using minimum insulation thicknesses instead of 5 cm insulation thicknesses.

2017, 94 pages

Keywords: Thermal insulation, heat insulation thickness, energy-saving, carbon dioxide emission amount

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimi süresince ve bu tez çalışmamda bana her konuda yardımcı olan, beni yönlendiren, çalışmalar sırasında ilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Kadir BAKIRCI'ya en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez jürimde yer alan Sayın Prof. Dr. Kenan YAKUT'a ve Sayın Prof. Dr. Bayram ŞAHİN'e katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen dostlarım Arş. Gör. Ahmet Numan ÖZAKIN'na, Şefik BOZTEPE'ye ve Mehmet Akif AKSAKAL'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak hayatım boyunca her an yanımda olan, bana karşı desteklerini esirgemeyen ve çalışma azmi kazandıran sevgili aileme ve çalışmalarım süresince desteğini sürekli hissettiğim sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Ali SAPAN

Nisan, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Araştırmaları.....	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. Isı ve Sıcaklık Tanımları	10
2.2. Isı Transferi ve Türleri	10
2.3. Termal (Isıl) Konfor Şartları	11
2.4. Isı Yalıtımı.....	12
2.4.1. Isı yalıtımının önemi	12
2.4.2. Isı yalıtımının enerji tüketimine etkisi.....	14
2.4.3. Isı yalıtımının çevresel etkileri	14
2.5. Isı Yalıtımı İle İlgili Yasal Düzenlemeler	16
2.5.1. TS 825 standardının oluşum süreci	16
2.5.2. TS 825 standardının amacı	20
2.5.3. TS 825 genel açıklamalar ve esasları	20
2.5.4. TS 825 standardında hesaplamalar	22
2.5.4.a. Bina özgül ısı kaybı hesabı	23
2.5.4.b. Bina yıllık ısıtma enerji ihtiyacı hesabı	25
2.6. Isı Yalıtım Malzemeleri.....	28
2.6.1. Isı yalıtım malzemelerinin genel özellikleri	29
2.6.1.a. Düşük ısı iletim katsayısı.....	29
2.6.1.b. Malzemenin yoğunluğu	30
2.6.1.c. Boyutsal kararlılık	30
2.6.1.d. Mekanik dayanım	30

2.6.1.e. Buhar difüzyonuna karşı dirençli olması.....	30
2.6.1.f. Kimyasal etkilere karşı dayanım.....	31
2.6.1.g. Sıcaklık dayanımı	31
2.6.1.h. Yanmazlık	31
2.6.1.i. İşlenebilirlik	32
2.6.1.j. Sıva tutuculuk.....	32
2.6.1.k. Çürümeye karşı dayanımlı.....	32
2.6.1.l. Parazitlere karşı dayanıklı	33
2.6.1.m. Uzun ömürlü olması	33
2.6.1.n. Koku vermemeli	33
2.6.1.o. Hesaplı olması	33
2.6.1.ö. İnsan sağlığını tehdit etmemeli.....	34
2.6.2. Isı yalıtım malzemelerin sınıflandırılması.....	34
2.6.3. Isı yalıtım uygulamalarında kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri	35
2.6.3.a. Cam yünü.....	35
2.6.3.b. Taş yünü	36
2.6.3.c. Ekspande polistren köpük (EPS-Genleştirilmiş polistren köpük)	36
2.6.3.d. Ekstrüde polistren köpük (XPS).....	37
2.6.3.e. Poliüretan köpüğü (PU)	38
2.6.3.f. Fenol köpüğü (PF)	38
2.7. Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri	39
2.7.1. Dış duvarlarda ısı yalıtım sistemleri.....	39
2.7.1.a. Dıştan yalıtılmış dış duvar sistemi.....	39
2.7.1.b. İçten yalıtılmış dış duvar sistemi.....	40
2.7.1.c. İki duvar arasına uygulanan (sandviç duvar) ısı yalıtım sistemi	41
2.7.2. Çatı bölgelerinde ısı yalıtım sistemleri.....	42
2.7.3. Döşemelerde ısı yalıtımı.....	43
2.8. Maliyet Hesaplamaları ve Geri Ödem Süresi.....	45
2.8.1. Optimum Yalıtım Kalınlığı Tayini.....	46
2.9. CO ₂ Salınım Miktarı Hesabı.....	47
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	48
3.1. Örnek Bina Özgül Isı Kaybı (XPS 5cm)	49

3.2. Örnek Bina Yıllık Isıtma Enerji İhtiyacı (XPS 5 cm)	50
3.3. Örnek Bina Yıllık Enerji Maliyeti Hesabı (XPS 5 cm) ve Optimum Yalıtım Kalınlığı	52
3.4. Örnek Bina Yıllık CO ₂ Salınım Miktarı Hesabı (XPS 5 cm).....	54
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	57
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	69
5.1. Sonuçlar.....	69
5.2. Öneriler.....	73
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	77
EK 1.....	77
EK 2.....	78
EK 3.....	79
EK 4.....	80
EK 5.....	81
EK 6.....	82
EK 7.....	83
EK 8.....	84
EK 9.....	85
EK 10.....	86
EK 11.....	87
EK 12.....	88
EK 13.....	89
EK 14.....	90
EK 15.....	91
EK 16.....	92
EK 17.....	93
EK 18.....	94
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\alpha_{iç}$	İç ortam taşınım ile ısı geçişi katsayısı [$W/(m^2K)$]
$\alpha_{dış}$	Dış ortam taşınım ile ısı geçişi katsayısı [$W/(m^2K)$]
η	Yakıt verimi [Birimsiz]
$\Phi_{g,ay}$	Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları [W]
$\Phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç ısı kazançları [W]
η_{ay}	Aylık kazanç kullanım faktörü [Birimsiz]
ρ	Havanın birim hacim kütlesi [kg/m^3]
μ	Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı [Birimsiz]
λ	Isı iletkenlik hesap değeri [$W/(mK)$]
λ_{ya}	Yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik hesap değeri [$W/(mK)$]
ΔT	Sıcaklık farkı [$^{\circ}C$]
A_d	Dış ortam hava ile temas eden tabanın alanı [m^2]
A_D	Dış duvar alanı [m^2]
A_{dsic}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanı [m^2]
A_i	i yönündeki toplam pencere alanı [m^2]
A_n	Bina kullanım alanı [m^2]
A_{net}	Yalıtım yapılan alan [m^2]
A_p	Pencere alanı [m^2]
A_t	Taban alanı [m^2]
A_T	Tavan alanı [m^2]
A_{top}	Binanın ısı kaybeden yüzeylerinin toplam alanı [m^2]
c	Havanın özgül ısı [$J/(kgK)$]
C_0	Yatırım maliyeti [TL]
C_n	n. yıldaki tasarruf miktarı [TL]
d	Kalınlık [m]
d_{opt}	Optimum yalıtım kalınlığı [m]

g	Enflasyon oranı [Birimsiz]
g_i	i doğrultusunda şeffaf elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü [Birimsiz]
g_n	Araştırmalar sonucu ölçülen yüzeye dik olarak gelen ışının güneş enerjisi geçirebilme faktörü [Birimsiz]
h	Entalpi [kJ/kg]
H	Bina özgül ısı kaybı [W/K]
H_h	Havalandırma ile gerçekleşen ısı transferi [W/K]
H_i	İletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı transferi [W/K]
I	Metre cinsinden ısı köprüsü uzunluğunu [m]
I_i	i yönünde dik yüzeylere gelen güneş ışınımı şiddeti [W/m^2]
i	Faiz oranı [Birimsiz]
M_i	İşçilik maliyeti [TL/m^2]
M_{Mlz}	Yalıtım malzemesi birim fiyatı [TL/m^2]
M_{Ya}	Yalıtım maliyeti [TL]
M_{Ykt}	Kullanılan yakıtın birim fiyatı [TL]
N	Yatırım süresi [Yıl]
n_h	Hava değişim sayısı [h^{-1}]
Q^l	Sınırlandırılmış yıllık ısıtma enerjisi miktarı [J]
Q_{ay}	Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı [J]
$Q_{yıl}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı [J]
r	Gerçek faiz oranı [Birimsiz]
r_i	i doğrultusunda şeffaf yüzeylerin ortalama gölgelenme faktörü [Birimsiz]
R	Isıl iletim direnci [$(m^2K)/W$]
R_D	Duvar ısıl iletim direnci [$(m^2K)/W$]
$\$DF$	Şimdiki değer faktörü [Birimsiz]
T_i	İç ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_d	Dış ortam sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_{net}	Yıllık net tasarruf miktarı [TL]
U	Isıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
U_d	Dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
U_D	Dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]

U_{dsic}	Düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
U_i	Isı köprüsünün doğrusal şekilde geçirgenliği [$W/(mK)$]
U_p	Pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
U_t	Tabanın ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
U_T	Tavanın ısıl geçirgenlik katsayısı [$W/(m^2K)$]
V'	Hacimsel hava değişimi debisi [m^3/h]
$V_{brüt}$	Bina brüt hacmi [m^3]
V_h	Havalandırılan hacim [m^3]
Y_0	Yıllık yalıtımsız yakıt maliyeti [TL]
Y_{ya}	Yıllık yalıtımlı yakıt maliyeti [TL]

Kısaltmalar

BBR	İsveç Yapı Kodu
DG	Derece Gün
DIN	Alman Standardizasyon Enstitüsü
EN	Avrupa Standardı
EPS	Ekspande Polistren Köpük
GÖS	Geri Ödeme Süresi
ISO	Uluslararası Standartlık Örgütü
KKO	Kazanç Kullanım Oranı
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NBD	Net Bugünkü Değer
PF	Fenol Köpüğü
PMV	Beklenen Ortalama Karar
PPD	Beklenen Ortalama Memnuniyetsizlik
PU	Poliüretan Köpük
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standart Enstitüsü
XPS	Ekstrüde Polistren Köpük

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yapılarda ısı yalıtımının uygulandığı bölümler.....	12
Şekil 2.2. Yalıtımsız bir binada gerçekleşen ortalama ısı kayıpları.....	13
Şekil 2.3. Derece gün bölge haritası	18
Şekil 2.4. Isı yalıtım malzemesinin üzerine uygulanan sıva çalışması	32
Şekil 2.5. Cam yünü malzemesi.....	35
Şekil 2.6. Taş yünü malzemesi	36
Şekil 2.7. EPS malzemesi	37
Şekil 2.8. XPS malzemesi.....	37
Şekil 2.9. Poliüretan köpüğün oluşum şekli	38
Şekil 2.10. Fenol Köpüğü malzemesi	39
Şekil 2.11. Dış duvar dıştan yalıtım sistemi	40
Şekil 2.12. Dış duvar içten yalıtım sistemi	41
Şekil 2.13. Sandviç duvarda ısı yalıtım sistemi	41
Şekil 2.14. Çatı arası olarak kullanılan çatılarda ısı yalıtım sistemi.....	42
Şekil 2.15. Betonarme döşemenin altına uygulanan ısı yalıtım sistemi	43
Şekil 2.16. Ara kat döşemelerinde ısı yalıtım uygulaması.....	44
Şekil 2.17. Isıtılmayan hacimlerin tavanına uygulanan ısı yalıtım sistemi.....	44
Şekil 4.1. XPS malzemesinin farklı kalınlıklarına göre yıllık ısıtma ihtiyacının karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.2. Doğal gaz kullanıldığında farklı kalınlıklardaki XPS için ortama salınan CO ₂ miktarı.....	59
Şekil 4.3. Doğal gaz kullanıldığında XPS malzemesinin farklı kalınlıkları için yıllık net tasarruf miktarı ve yalıtımlı ısıtma maliyeti karşılaştırması	60
Şekil 4.4. Farklı kalınlıktaki XPS için yıllık yakıt maliyeti karşılaştırması	61
Şekil 4.5. Farklı yalıtım malzemelerinin sınırlandırılmış yıllık ısıtmaya göre asgari yalıtım kalınlıkları ve buna bağlı hesaplanan yıllık ısıtma ihtiyacı.....	62
Şekil 4.6. Erzurum’da doğal gaz için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı a) XPS, b) EPS, c) Cam yünü.....	65
Şekil 4.7. Erzurum’da kömür için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı a) XPS, b) EPS, c) Cam yünü.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Isıl duyum skalası	11
Çizelge 2.2. Bölgelere göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri [°C]	18
Çizelge 2.3. İllere göre derece gün bölgeleri	19
Çizelge 2.4. Bölgelere göre U değerleri.....	20
Çizelge 2.5. Ortalama aylık güneş ışıınımı şiddeti değerleri [W/m ²]	27
Çizelge 2.6. Bazı malzemelerin ısı iletim değerleri	29
Çizelge 2.7. Bazı malzemelerin kullanım sıcaklıkları	31
Çizelge 3.1. Örnek binanın ısı kaybeden yüzey alanları ve brüt hacmi hesap değerleri	48
Çizelge 3.2. Örnek bina dış duvar için tasarlanmış dıştan yalıtım sistemi	49
Çizelge 3.3. Örnek bina tavan için tasarlanmış yalıtım sistemi	49
Çizelge 3.4. Örnek bina döşeme için tasarlanmış yalıtım sistemi	49
Çizelge 3.5. Hesaplamalarda kullanılan yakıtlar	52
Çizelge 3.6. Hesaplama da kullanılan yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 3.7. NBD yöntemi ile GÖS belirlenmesi	53
Çizelge 3.8. Doğal gaz veya kömür kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü için maliyet analiz değerleri ve GÖS	54
Çizelge 3.9. Doğal gaz veya kömür kullanıldığında optimum yalıtıma göre XPS, EPS ve cam yünü için maliyet analiz değerleri ve GÖS.....	54
Çizelge 3.10. Hesaplama da kullanılacak olan kömürün yanma sonucu açığa çıkardığı gaz miktarları.....	55
Çizelge 3.11. Hesaplama da kullanılacak olan doğal gazın yanma sonucu açığa çıkardığı gaz miktarları.....	55
Çizelge 3.12. XPS 5 cm için kömür ve doğal gaza göre açığa çıkan CO ₂ salınım miktarlarının hesabı	56
Çizelge 3.13. XPS, EPS ve cam yünü için kömür ve doğal gaza göre açığa çıkan CO ₂ salınım miktarları.....	56
Çizelge 4.1. Farklı kalınlıklardaki XPS için yapılan hesaplamaların standarda uygunluğu	57

Çizelge 4.2. Doğal gaz kullanıldığında farklı kalınlıktaki XPS malzemesi için yıllık doğal gaz tüketimi ve CO ₂ salınım miktarı.....	59
Çizelge 4.3. XPS malzemesinin farklı kalınlıklara göre doğal gaz kullanımı durumunda maliyet analizi ve GÖS.....	60
Çizelge 4.4. Farklı kalınlıktaki XPS için doğal gaz ve kömür tüketiminin yıllık maliyeti	61
Çizelge 4.5. Farklı yalıtım malzemeleri için TS 825 Standardına göre hesaplanan asgari yalıtım kalınlığı değerleri	62
Çizelge 4.6. Farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri için elde edilen CO ₂ salınım miktarı ve maliyet analizi.....	64
Çizelge 4.7. Farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı (d_{opt}), yıllık net tasarruf miktarı (T_{net}) ve geri ödeme süresi (GÖS)	64

1. GİRİŞ

Genel anlamda birden fazla objeler arasındaki enerji veya kütle transferini önlemek amacıyla uygulanan işlemlere yalıtım denilmektedir. İnsanoğlunun daima ihtiyaç duyduğu yalıtım; geçmişte yaşadıkları yuvalarında onları güneş, yağmur, rüzgâr, kar, sıcak ve soğuk hava gibi etkilerden, düşman ve tehlikeli hayvanlardan kısaca dış ortamdaki korunmayı sağlamıştır. Zamanla insanoğlu gelişen kabiliyetleri doğrultusunda hayat şartlarını ve refah düzeyini iyileştirdi. Özellikle yerleşik düzene geçilmesiyle yapı unsuru meydana gelmiştir. Yapıyı oluşturan çeşitli yapı malzemeleri ile yalıtım gerçekleştirilmiştir. Enerji kavramının hayatımıza girmesiyle de yalıtımı sağlayan bu yapı malzemelerinin önemi artmıştır.

Artan nüfusa ve gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde enerji, insan için her anlamda ihtiyaç duyduğu ve tasarruflu kullanması gerektiğini düşündüğü bir kavramdır. Enerji ihtiyacını karşılamak için bilim insanları uzun yıllar enerji verimliliği üzerine yoğunlaşmışlardır. Ayrıca bilim insanları çeşitli enerji kaynakları arayışına yönelmişler ve alternatif enerji kaynaklarını keşfetmişlerdir.

Güneş, rüzgâr, yer altı kaynakları gibi pek çok enerji türleri elde edilmesine rağmen son yıllarda enerjinin arz talep dengesini sağlamak ve enerjinin verimliliğini artırmanın yanı sıra, tartışılan ve araştırılan konu enerjinin korunumudur. Tüketilen yer altı zenginliklerinin bir gün son bulacağı düşüncesi, atmosfere salınan zararlı gazların sera etkisi ile dünya iklimlerine verdiği zararın fark edilmesi, yakıt tüketimini azaltarak ekonomiye katkı sağlaması gibi pek çok nedenden dolayı enerjinin etkin kullanımı ve korunumu için yapılan çalışmalardan biri ısı yalıtımı uygulamalarıdır.

Ülkemizde ısı yalıtımı uygulamalarına genellikle yapılarda karşılaşmamız mümkündür. Yapılarda özellikle dış duvar bölümlerinde bulunan ısı yalıtımı malzemeleri aynı zamanda çeşitli bölümlerde de uygulanabilmektedir. Bu yalıtım sayesinde dış yaşam şartlarına karşı yapı içerisinde uygun konfor şartları sağlandığı gibi yakıt tüketimini

azaltarak hem bireysel hem de milli ekonomiye katkı sağlar, dahası çevreye atılan zararlı gazların emisyon miktarını azaltır.

Ayrıca ülkemizde yapılarda ısı yalıtımı uygulamaları ile ilgili kurallar ‘‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’’ adı altında Türk Standartları (TS) 825 standardı ile tatbik edilmektedir. TS 825 bize bu bağlamda binalarda kullanılan enerjinin korunumu için uygulanması gereken ideal şartlar neticesinde yapılan çalışmanın uygunluğunu hesaplamayı sağlar.

1.1. Literatür Araştırmaları

Anadolu Üniversitesi Lojmanları C1 Blok için ısı yalıtımı üzerine yapılan bir çalışmada farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan yalıtım malzemeleri kalınlıkları EPS (Ekspande polistren köpük) için 7 cm, XPS (Ekstrüde polistren köpük) ve taş yünü için 4 cm olarak bulunmuştur (Ünalın 2003).

İki farklı tip dış duvar modeli (dıştan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar) ve beş farklı yakıt (kömür, doğal gaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) üzerinde iki farklı yalıtım malzemesi (EPS ve taş yünü) için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi ve bu durumun ekonomik analizi incelenmiştir. Elazığ ilinde yapılan bu çalışmada en iyi sonuçlar her iki duvar modelinde de yakıt olarak kömür ve yalıtım malzemesi olarak EPS kullanıldığında elde edilmiştir. Yalıtım malzemesi genleştirilmiş polistren ve yakıt olarak kömür kullanıldığında dıştan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar için sırasıyla optimum yalıtım kalınlığı 0,045 m ve 0,047 m hesaplanmıştır. Sırasıyla geri dönüşüm süresi 4,6 yıl ve 4,1 yıl ve son olarak enerji maliyet tasarrufu 16,359 \$/m²-yıl ile 20,188 \$/m²-yıl olarak hesaplanmıştır. Eğer yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılırsa hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı daha az olmaktadır ancak genel toplam maliyet açısından dezavantajını sürdürmektedir. Yalıtım uygulamalarının enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinde azalma sağlayabileceği vurgulanmıştır (Aytaç ve Aksoy 2006).

Enerji tüketimi dış kaynaklara bağılı olan ülkelerde enerjinin verimli kullanılması giderek büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple Denizli’de ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisinin yaşam maliyet analizi (life cycle cost analysis) incelenmiştir. Çalışma kapsamında 2 cm iç sıva, 8,5 cm yatay delikli tuğla, yalıtım malzemesi (taş yünü), 8,5 cm yatay delikli tuğla ve 3 cm dış sıva düzenine sahip sandviç duvar ve yakıt olarak ithal kömür ile fuel-oil kullanılmıştır. Sonuçlara göre ithal kömür ve fuel-oil için taş yünü yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji tasarrufu sırasıyla 0,048 m ile 0,082 m, 2,4 yıl ile 1,6 yıl ve 12 TL/m² ile 38,91 TL/m² değerleri bulunmuştur (Gölcü vd 2006).

Özenç (2007) tüketicilerin ısı yalıtım uygulamaları ve ısı yalıtım malzemeleri konusunda yeterli bilgiye sahip olmadığını ifade etmiştir. Bu konuda halkın bilinçlendirilmesi ve bu işin uzman bir ekip tarafından gerçekleştirilmesini vurgulamıştır. Edirne’de yapılardaki ısı yalıtımı uygulamaları hakkında bir çalışma yapmıştır. Isı yalıtım malzemelerinin kullanıldıkları yerlere göre en fazla çatılarda çeşitlilik gösterdiğini ifade etmiştir.

Isı yalıtımı uygulamalarında temel amaçlardan biri de maliyeti azaltmaktır. Bu konu hakkında yapılan bir çalışma; 5 metre eninde, 5 metre uzunluğunda ve 2,6 metre yüksekliğinde olan bir binanın, dört farklı ısı bölgeleri için gerekli olan yıllık ısıtma enerji miktarını sağlayan minimum ısı yalıtım malzemesi kalınlığını bulmaktır. Ayrıca I. Bölge (İzmir ili) için ısı yalıtım malzemesi olan taş yünü, EPS, XPS ve gaz beton arasında 2009 yılına ait maliyet analizi yapılmıştır. Maliyeti en fazla olan sırasıyla taş yünü, XPS, EPS ve gaz beton olarak belirtilmiştir (Kiper Yılmaz 2009).

Farklı enerji türleri için hem dışardan hem içerden hem de ortadan (sandviç duvar) yalıtımlı duvar modelleri ile optimum yalıtım kalınlığını araştıran bir çalışmada yakıt olarak kömür, doğal gaz, fuel oil ve elektrik, yalıtım malzemesi olarak XPS, EPS ve taş yünü kullanılmıştır. Sonuç olarak en iyi bulguların enerji türünde kömür, yalıtım malzemesinde EPS olduğu tespit edilmiştir (Aksöz 2009).

İşbilir (2009) İzmir ilinde konut ve işyeri olarak kullanılan binalar için yıllık ısıtma enerji ihtiyaçlarını hesaplamıştır. Bu hesaplama neticesinde konut olan bina için yalıtımsız halde iken $28,23 \text{ kWh/m}^3$, yalıtımlı halde iken $11,03 \text{ kWh/m}^3$ değerlerini bulmuştur. İşyeri olan bina için yalıtımsız halde iken $32,50 \text{ kWh/m}^3$, yalıtımlı halde iken $12,85 \text{ kWh/m}^3$ değerlerini bulmuştur. Yapılan hesaplamalara göre 2,5 kata kadar enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Erdabak (2010) Sivas'taki bazı binaların iç ve dış mahallerinden termal kamera çekimleri yapmıştır. Yapılardaki düzlem duvar, ısı köprüsü, lokal ve radyatör arkası yalıtımın, dolgu malzemesinin, pencerenin sıcaklık dağılımına etkisini sayısal olarak incelemiştir. FLUENT programı ile iç ortam ve dış ortam sıcaklıkları sırasıyla 20°C ve -20°C ayrıca iç ortam ve dış ortam ısı taşınım katsayıları $8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ve $25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ kabul etmiştir. Yalıtımsız düzlem duvar için sıcaklık dağılımını elde etmiştir. Aynı sınır koşulları için farklı yalıtım kalınlıklarının sıcaklık dağılımı üzerine etkilerinin incelendiğini ifade etmiştir.

Değişik cephe kaplama durumları için ısı iletim değerlerini inceleyen bir çalışmada; standart bir duvar için ısı geçirgenlik değeri $0,93 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Giydirme cephede $0,39 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, mantolamada $0,72 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, hava boşluklu çift cidar duvarda $0,78 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, ısı cam durumunda $0,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ve çift cidarlı cephe için $0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ olarak hesaplanmıştır. Kademeli hava boşluklarının yalıtım görevi yaptığı belirlenmiştir (Doğruel 2010).

Sakarya ilinde dış duvarda uygulanan ısı yalıtım malzemeleri ile ilgili bir anket çalışması yapılmıştır. Bu anket neticesinde en çok tercih edilen dolgu duvar malzemesi ve ısı yalıtım malzemesi tespit edilmiştir. Dolgu duvar malzemesi olarak 20 cm tuğla, ısı yalıtım malzemesi olarak 5 cm EPS belirlenmiştir. Cephe kaplaması için çimento harcı kullanılmıştır. Ankete göre ortaya çıkan bu cephe sisteminin TS 825 Isı Yalıtımı Kurallarına göre ısı geçirgenlik direncinin (U) uygunluğu incelenmiştir. TS 825 Isı Yalıtımı Kurallarına göre Sakarya ilinin U değeri $0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ değerinden fazla olmamalıdır. Hesaplama U değeri $0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ olarak bulunmuştur. Anket

sonucunda tercih edilen malzemelerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir (Çıkrıkçıoğlu 2011).

Çin ülkesindeki beş farklı iklim bölgesi için yapılan bir çalışmada, birer şehir seçilmiştir. Bu şehirler için örnek dış duvar mimarisi 20 mm iç sıva, 200 mm beton blok, yalıtım malzemesi ve 20 mm dış sıva olarak belirlenmiş ve iklim bölgelerindeki ısıtma ile soğutma periyotları dikkate alınarak EPS ile XPS için optimum kalınlıklar hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre Urumqi, Beijing, Shanghai, Guangzhou ve Kunming şehirleri için yalıtım malzemesi EPS kullanıldığında sırasıyla 175 mm, 216 mm, 205 mm, 116 mm ve 163 mm bulunmuştur. Yalıtım malzemesi XPS olduğu zaman bu değerler sırasıyla 103 mm, 128 mm, 121 mm, 68 mm ve 96 mm olarak bulunmuştur. Aynı kalınlıktaki iki malzemenin yıllık maliyet miktarı incelendiğinde XPS'nin EPS'ye göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu araştırmalar ısıtma ve soğutma dönemleri için yapıldığından dolayı geçiş mevsimleri dâhil edilmemiştir. Geçiş mevsimleri dikkate alındığında sonuçları tekrar gözden geçirmek gerekir (Zhu *et al.* 2011).

Düzce ilinde bulunan bir bina dış duvarı için yapı malzemesi olarak yatay delikli tuğla ve gaz beton kullanıldığı durumlarda optimum ısı yalıtım malzemesi kalınlığının belirlenmesi ve bu durumun enerji tasarrufuna katkısı incelenmiştir. Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır ve beş farklı yakıt (kömür, doğal gaz, fuel-oil, LPG ve elektrik) üzerinde hesaplama yapılmıştır. Dış duvar yapı malzemesi yatay delikli tuğla kullanıldığı zaman en iyi sonuçlar yalıtım kalınlığı 0,07 m (yakıt olarak kömür), geri ödeme süresi 1,31 yıl (yakıt olarak LPG) ve enerji tasarrufu %76 (yakıt olarak LPG) olarak bulunmuştur. Eğer dış duvar malzemesi gaz beton kullanılırsa yalıtım kalınlığı 0,05 m (yakıt olarak doğal gaz), geri ödeme süresi 1,6 yıl (yakıt olarak LPG) ve enerji tasarrufu %63 (yakıt olarak LPG) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yalıtım kalınlığının belirlenmesi maliyet ve yakıt tüketimi bakımından önemlidir (Çay 2011).

Yılmaz (2012)'a göre Erzincan'da bulunan 7 apartman için ısı yalıtımı uygulandığında yıllık ısıtma ihtiyacı yaklaşık 104,56 kWh/m² iken yalıtımsız hali için bu değer 292

kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Konya ve Erzincan'daki toplam 10 adet bina için yalıtımlı ve yalıtımsız hallerde yıllık ısıtma ihtiyaçları hesaplanmıştır. Binalar yalıtıldığı takdirde %32 ile %74 arasında enerji verimi elde edildiği tespit edilmiştir.

Çetinel (2012) İzmir ili için 10×10×6 metre ebatlarında tek hacimli, dış duvarları tuğla duvar olan bir yapı üzerinde aylık ısıtma enerji hesabı yapmıştır. Ocak ayı için TS 825'e göre çeşitli dış cephe kaplama malzemelerinin ısı yalıtımına katkıları incelenmiştir.

Özutku (2012) Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının ısıtma enerjisi ihtiyacını TS 825'e göre uygunluğunu ve toplam soğutma yükünü hesaplamıştır. Bina mevcut haliyle yalıtımlıdır. Hesaplamalarını binanın yalıtımlı, yalıtımsız ve binadaki cam kaplamanın %25 artırımı, %25 azaltılmış, %50 azaltılmış durumları için yapmıştır. Isıtma enerjisi ihtiyacı hesabında yalıtımsız 155,569 kWh, mevcut yalıtımlı 135,235 kWh, %25 artırımı cam (yalıtımlı hali için) 128,176 kWh, %25 azaltılmış cam (yalıtımlı hali için) 131,203 kWh ve %50 azaltılmış cam (yalıtımlı hali için) 141,823 kWh değerleri bulunmuştur. Soğutma yükü hesabında yalıtımsız 53,523 kWh, mevcut yalıtımlı 44,550 kWh, %25 artırımı cam (yalıtımlı hali için) 52,374 kWh, %25 azaltılmış cam (yalıtımlı hali için) 42,069 kWh ve %50 azaltılmış cam (yalıtımlı hali için) 33,753 kWh değerleri bulunmuştur.

Kocagül (2013) Elazığ ilindeki bir çalışmada aynı güçte soğutulmuş dört benzer deney odası hazırlamıştır. Bunların birini XPS, diğerini EPS, bir diğerini taş yünü ile kaplamıştır ve tekini de yalıtımsız olarak kullanmıştır. Isıl çiftler kullanarak iç ortam, iç ortam iç yüzey, dış ortam, dış ortam dış yüzey sıcaklıklarını ve güneş ışınım şiddetini, rüzgâr hızını, nem miktarını ölçmüştür. Bu ölçümler sonucunda ölçülen değerlerde yalıtımsız şartlar ile yalıtımlı şartlar kıyaslandığında iç ortam ve duvar sıcaklıklarının taş yünü malzemesi için 9-12°C, XPS yalıtım malzemesi için 13-15°C ve EPS yalıtım malzemesi için ise 15-17°C olarak incelemiştir. Yalıtımsız deney odası için ise iç ortam ve duvarlardaki sıcaklık 26-29°C olarak ölçüldüğünü ifade etmiştir.

Müstakil ev sektöründe enerji tüketiminin azalması için akıllı ev duvar sisteminin gelişmesi gereklidir. Günümüzdeki bina duvar sistemleri ile yapı malzemeleri ve yöntemleriyle termal verimliliği artırmak zordur. Müstakil ev duvarları üzerinde yapılan bir çalışmada, Avustralya'daki iklim şartları için duvar sistemlerinin ısıtma ve soğutma hallerinde termal verimliliği incelenmiştir. Avustralya'daki örnek müstakil evlerin duvar sistemi; tuğla kaplama evler için 110 mm tuğla, 40 mm hava boşluğu, 5 mm yalıtım folyo, 90 mm kalas çerçeve ve 10 mm iç sıva, ahşap kaplama evler için 22 mm ahşap kaplama, 90 mm kalas çerçeve ve 10 mm iç sıva şeklindedir. Gerçekte var olan bu duvar uygulamaları için dört farklı duvar sistemi tasarlanmış ve incelenmiştir. Duvar 1 sistemi 10 mm dış sıva, 75 mm beton, 59 mm polistren, 75 mm beton ve 10 mm iç sıvadan oluşur ve Duvar 2 aynı sisteme sahip olmakla birlikte yalıtım malzemesi polistren kalınlığı iki kat kullanılmıştır. Duvar 3 ve Duvar 4 aynı sisteme sahipler ancak yalıtım malzemesi olarak poliüretan kullanılmıştır. Duvar 3 için 42 mm poliüretan ve Duvar 4 için iki katı kalınlık kullanılmıştır. Duvar sistemleri Avustralya'nın bazı şehirleri için hesaplanmıştır. Örneğin Hobart şehrinde yapı için gerekli enerji miktarı tuğla kaplama, ahşap kaplama, Duvar 1, Duvar 2, Duvar 3 ve Duvar 4 için sırasıyla $186,9 \text{ MJ/m}^2$, $191,3 \text{ MJ/m}^2$, $170,2 \text{ MJ/m}^2$, $156,6 \text{ MJ/m}^2$, $173,5 \text{ MJ/m}^2$ ve $157,2 \text{ MJ/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Kullanılan her iki yalıtım malzemesi ve tüm tasarımlar enerji performansına olumlu katkı sağlamıştır (Aldawi *et al.*2013).

İsveç'in güneyinde bulunan bir bina üzerinde farklı enerji verimliliği standartları için farklı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarını tespit eden bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmadaki bina taş yünü ile yalıtılmış gerçekte var olan bir yapıdır. Hesaplamalara yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve EPS dâhil edilmiştir. Enerji verimliliği olarak üç durum ele alınmıştır; İsveç bina kodu (BBR) 1994, BBR 2012 ve Passivhus 2012. BBR 1994 standardı ahşap çerçeveli eski yapı binalarda uygulanmıştır. BBR 2012 ve Passivus 2012 standartları bulunduğu iklim bölgesine göre enerjiyi daha verimli kullanılmasını sağlayan güncel uygulamalardır. Hesaplamalara göre Passivus 2012 standardı için taş yünü kullanıldığında 61 kWh/m^2 , cam yünü ve EPS için sırasıyla 62 kWh/m^2 ve 74 kWh/m^2 bulunmuştur. Diğer standartlar için yapılan hesaplamalar

sonucunda taş yünü EPS'ye göre yaklaşık %17 daha iyi performans sergilediği ve cam yünü ile aralarında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir (Tettey *et al.* 2014).

Karayığit (2015) Kahramanmaraş ilinde bulunan bazı apartman daireleri ve müstakil daireler için ısı yalıtımıyla ilgili yapmış olduğu bir çalışmada; ısı yalıtımı yapılan müstakil ve apartman daireleri için yalıtımsız durumlarına göre daha az yakıt kullanıldığını ifade etmiştir. Ayrıca maliyet açısından %80'in üzerinde tasarruf yapıldığını ve çevreye bırakılan atık gaz miktarında azalma olduğunu belirtmiştir.

Çin'de yapılan bir çalışmada, beş farklı iklim bölgesi için beş şehirde (Harbin, Xi'an, Shanghai, Kunming ve Guangzhou) optimum dış duvar yalıtım kalınlıklarının ekonomik ve enerji tasarrufu analizi yapılmıştır. Çalışmada eni 4,5 m, uzunluğu zeminden üst katlara doğru sırasıyla 45,5 m, 40,9 m ve 30,9 m son olarak yüksekliği zeminden üst katlara doğru 5 m, 4,5 m ve 3,9 m belirlenmiş üç katlı bir bina kullanılmıştır. Her şehir için yalıtımsız halde ve 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm, 100 mm kalınlıklarında polistren malzeme ile yalıtılmış halde hesaplama yapılmıştır. Sonuç olarak hesaplamada kullanılan örnek ticari binanın optimum yalıtım kalınlıkları Harbin, Xi'an, Shanghai, Kunming ve Guangzhoud şehirleri için sırayla 80 mm, 60 mm, 40 mm, 40 mm ve 20 mm olarak bulunmuştur (Lianying *et al.* 2015).

Rusya'nın Saint-Petersburg şehrindeki tarihi eserlerin yalıtımıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Tarihi binalara yalıtım uygulaması gerçekleştirilirken, dış duvarın dıştan yalıtım montaj işleminin yapının tarihi dokusuna zarar verdiği gerekçesiyle yalıtımın içten yapılması gerektiği belirtilmiştir. Sınır şartları yerel bölgenin standartlarına göre belirlenmiş ve hem yalıtımsız hem yalıtımlı durumlar için hesaplamalar yapılmıştır. Yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Yapılan hesaplarda yalıtımsız duvarda yoğuşmanın gerçekleştiği ve yalıtımlı duvarda yoğuşmanın gerçekleşmediği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalarda verilen şartlar altında su buharı geçirgenliği en az 12 (m²hPa)/mg olan malzemeler yoğuşmayı engellemektedir (Murgul and Pukhkal 2015).

Bir çalışmada Çin’de bulunan üç şehir için yaşam maliyet analizi yöntemi ile optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi için XPS ve EPS kullanılmıştır. Sonuçlara göre yalıtım kalınlığı XPS için 0,053 ile 0,069 m ve EPS için 0,081 ile 0,105 m arasındadır. Ayrıca enerji tasarrufu 16,60 ile 28,50 \$/m² ve ödeme süresi 1,89 ile 2,56 yıl arasındadır. Yapılan hesaplama göre EPS malzemesi XPS’den daha hesaplı olduğu tespit edilmiştir (Liu *et al.* 2015).

Kürekçi (2016) Türkiye’nin enerji tüketiminde dört ana sektöre ayrıldığını belirtmiştir; endüstri, konut, taşıma ve tarım. Konut sektörünün enerji tüketiminin %33’nü teşkil ettiğini ve binaların yalıtımsız hali ile yetersiz yalıtımın dış kaynaklı yakıtlara bizi bağımlı hale getirdiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda Türkiye’nin 81 il merkezi için dört farklı yakıt (doğal gaz, kömür, fuel-oil ve LPG) ve beş farklı yalıtım malzemesi (XPS, EPS, cam yünü, taş yünü ve poliüretan) kullanarak optimum yalıtım kalınlıklarını hesaplamıştır. Bu hesaplamalarını yapılarıdaki üç farklı durum; sadece ısıtma, sadece soğutma ve ısıtma ile soğutmanın birlikte olduğu haller için yapmıştır. Ayrıca İzmir, İstanbul, Ankara, Sivas ve Erzurum illeri için derece gün değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıklarını, toplam net tasarruf miktarını ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Ankara ili için sadece ısıtma durumunda yalıtım malzemesi EPS kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığını; doğal gaz için 0,076 m, kömür için 0,092 m, fuel-oil için 0,112 m ve LPG için 0,168 m hesapladığını belirtmiştir.

Literatürdeki mevcut çalışmalar genel olarak bir yapının bulunduğu iklim şartları altında farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlığı ve buna bağlı olarak ekonomik hesaplamaların yapıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada ise bir bina üzerinde Erzurum ili şartlarında farklı ısı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları ile farklı yakıt türleri ele alınmıştır. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları 2008 revizyonu hesaplama yöntemiyle elde edilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre yakıt tüketim miktarı, yakıt giderleri ve atmosfere salınan zararlı emisyonlar açısından analiz yapılmıştır. Ayrıca Erzurum’da uygulanan yalıtım kalınlıkları ile bu çalışmada elde edilen değerlerin mukayesesi yapılarak enerji, ekonomik ve çevresel etkileri incelenmiştir. Bu sayede Erzurum’da uygulanan ısı yalıtım projelerinin uygun olup olmadığı araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Isı ve Sıcaklık Tanımları

Isı ve sıcaklık birbirinden farklı kavramlar olmasına rağmen tanım olarak birbirleriyle karıştırılabiliyor. Isı bir cismin şekil değiştirmesine, hal değiştirmesine sebep olan ve bir işin meydana gelmesine etki eden enerji olarak tanımlanır. Birimi kaloridir ve bir gram suyun bir °C yükseltilmesi için gerekli olan ısı enerji olarak tanımlanır. Sıcaklık ortam veya nesnenin duyularımıza göre sıcak ya da soğuk hissinin büyüklüğünü algılamamıza yarayan, araç veya cihazla ölçülerek kabul edilen ölçü birimleriyle anlamlı hale gelen bir kavramdır. Isı enerjisi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru hareket eder. Farklı sıcaklıktaki iki nesne temas halinde olursa sıcaklıkları eşit oluncaya kadar aralarında ısı transferi devam eder.

2.2. Isı Transferi ve Türleri

Termodinamiğin ikinci yasasına göre ısı akışı yüksek sıcaklıktaki ortam veya nesneden düşük sıcaklıktaki ortam veya nesneye doğru gerçekleşir. Aynı sıcaklıktaki ortamlar veya nesneler arasında ısı transferi gerçekleşmez. Isı transferi için sıcaklık farkı gerekir ve üç farklı yöntemle gerçekleşebilir. Bunlar; iletim yoluyla ısı transferi, taşınım yoluyla ısı transferi ve ışıyım yoluyla ısı transferidir.

İletim yoluyla ısı transferi, sıcaklıkları farklı iki cismin birbirine teması ile veya bir cismin sahip olduğu sıcaklık dağılımına göre atomlarının elde ettikleri enerjileri birbirine temas ederek yüksekten alçağa doğru gerçekleştirdiği enerji akışıdır. Bu yöntemde ortam ile yüzey özellikleri ve sıcaklık farkı etkin rol oynar.

Taşınım yoluyla ısı transferi, iletim yöntemini içerir ve ayrıca sisteme hareket halinde akışkan dâhil edilir. Akışkanın temas ettiği yüzey veya ortam ile gerçekleştirdiği ısı

transferidir. Akışkanın sahip olduğu fiziksel özellikler ve sıcaklık farkı etkin rol oynar. Akışkan hızı ile taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi doğru orantılıdır.

Işınım yoluyla ısı transferi, yüksek sıcaklıklara ulaşan maddelerin içyapılarında meydana gelen elektromanyetik dalgalar ile gerçekleştirdiği ısı transferidir. Cisimlere çarpan elektromanyetik dalgalar enerjilerinin bir kısmını çarptıkları yüzeye bırakarak ısı transferini gerçekleştirir. Elektromanyetik dalgaların sahip olduğu enerji ve yüzeylerin bu enerjiyi soğurma özellikleri etkin rol oynamaktadır.

2.3. Termal (Isıl) Konfor Şartları

İnsanın bulunduğu mekânda kendisini beden ve ruhen memnun hissetmesini sağlayan şartlara termal konfor şartları denir. İnsanlara göre değişkenlik arz eden bu durum için hem Avrupa’da hem de Amerika’da standart oluşturulmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Avrupa için ISO 7730 ve Amerika için ASHRAE Standart 55 kabul görüyor. Bu standartlar PMV (Beklenen Ortalama Karar) ve PPD (Beklenen Ortalama Memnuniyetsizlik) değerleri ile bizlere ortam şartları hakkında bilgi edinmemizi sağlıyor. Çizelge 2.1. ile bu değerlerin ortaya koyduğu bazı anlam ve ifadelere yer verilmiştir.

Çizelge 2.1. Isıl duyum skalası (Ekici 2013)

PMV Değeri	Anlam	Yorum
3	Aşırı sıcak	Bunaltıcı ve tolere edilemez.
2	Sıcak	Çok sıcak.
1	Hafif sıcak	Tolere edilebilir, sıcak.
0	Nötr	Konforlu.
-1	Hafif serin	Tolere edilebilir, serin.
-2	Serin	Çok serin.
-3	Aşırı serin	Tolere edilemez, soğuk.

olduğu yapı fiziği ile alakalıdır. Binalarda Şekil 2.2’de görüldüğü gibi ısı kayıpları gerçekleşmektedir. Bu kayıplar tüketicilere harcamalarında artışa sebep olmaktadır.



Şekil 2.2. Yalıtımsız bir binada gerçekleşen ortalama ısı kayıpları (Anonim 2016b)

Isı yalıtımlı konutlarda ise yapıya bağlı olarak ısı kayıpları en az değerlere indirildiğinde %70'lere kadar enerji tasarrufu elde edilebilmektedir. Bu sebeple ısı yalıtımı ülkemize büyük bir yük olan enerjideki dışa bağımlılığı azaltarak hem bireysel hem de milli ekonomiye katkı sağlar.

Ayrıca ısı yalıtımı insan sağlığı için de büyük önem taşımaktadır. Özellikle yaşadığımız evlerde iç ortam ile dış ortam sıcaklık farkından dolayı uygun şartlar altında oda duvarlarında küf oluşmaktadır. Yaşam alanlarımızdaki bu durum sağlığımızı olumsuz yönde etkilemektedir. Isı yalıtımı sayesinde dış ortam şartlarına göre yaşadığımız mahallerin içerisinde küf, aşırı sıcak ya da aşırı soğuk gibi olumsuz etkilerin meydana gelmesini engelleriz.

Binaların kolon, kiriş gibi yapı elemanlarında sıcaklık farkından dolayı termal gerilmeler meydana gelebilir ve bunlar bina için risk oluşturur. Ülkemizin belirli

bölgeleri deprem kuşağında olduğundan termal gerilmeleri göz ardı etmek mümkün değildir. Isı yalıtım uygulamaları bina yapı elemanlarında meydana gelebilecek termal gerilmelerin oluşmasını engellemektedir. Bu sayede yapıda termal gerilmelerden dolayı olası çatlaklar meydana gelmemektedir.

2.4.2. Isı yalıtımının enerji tüketimine etkisi

Dünya genelindeki nüfus artışı ile orantılı olarak dünyadaki enerji tüketimi de artmaktadır. Bu durum özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomileri için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Bilhassa enerji ihtiyaçlarını milli kaynaklarından tedarik edemeyen ve bu sebeple dış ülkelere bağlı olan ülkeler enerji tüketimi konusunda çeşitli tedbirler almaktadırlar. Yeni enerji kaynakları arayışları içinde oldukları kadar enerjinin korunması ve tasarruflu kullanılması için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu sebeple enerjinin az tüketimi ve kullanılan enerjinin etkin ve tasarruflu kullanılabilmesi için yalıtım uygulamaları geliştirilmektedir.

Enerjinin kullanımı farklı sektörlerde yayılım göstermektedir. Bu sektörler içerisinde enerjinin en çok tüketimi sanayi sektöründedir ve onu konut sektörü takip etmektedir. Konutlarda harcanan enerji miktarının büyük bir kısmı termal şartları sağlamak amacıyla ısıtma ve soğutma sistemlerinde harcanmaktadır. Bundan dolayı, kış döneminde ısı enerjisi kayıplarının yaz döneminde de istenilmeyen ısı enerjisi kazançlarının azaltılması için gerekli yöntem binanın ve binayı oluşturan bileşenlerin yalıtılması işlemidir (Özel ve Şengür 2012).

2.4.3. Isı yalıtımının çevresel etkileri

Enerji ihtiyacımızı gidermek için pek çok yakıt türü ve enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bunları yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlar olarak ayırabiliriz. Petrol, doğal gaz, kömür ve linyit gibi fosil yakıtlar yanma etkisiyle reaksiyona girerek ısı enerjisi ve zararlı gazlar açığa çıkarır. Özellikle endüstri sektörünün ve artan nüfusun ısı enerjisi

ihtiyacına olan talebi yüksek enerji açığı çıkaran fosil yakıtların tüketimini artırmıştır. Açığa çıkan zararlı gazlar insan hayatını tehdit ettiği gibi diğer canlılara ve doğaya da zarar vermektedir. Bu gazlar neticesinde küresel ısınma, asit yağmurları, ozon tabakasında incelme ve iklim değişiklikleri gibi sorunlar meydana gelmektedir. Bu sebeple son yıllarda böylesi zararlı gazlar salan yakıtların tüketilmesine ilişkin önlemler alınmaktadır. Fosil yakıtların az kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve elde edilen enerjinin etkin, tasarruflu kullanılması için ısı yalıtım uygulamalarının yapılması gibi tedbirler alınmaktadır.

Günümüzde alternatif enerji kaynakları henüz enerji ihtiyacını tek başına karşılayamamaktadır. Üstelik ilk yatırım maliyetleri bazen oldukça yüksek maliyetli olabiliyor. Aksine fosil yakıtlar ise ısı değerleri oldukça yüksek ve ilk yatırım maliyetleri daha uygun olabilmektedir. Ancak fosil yakıtlar yanma sonucu yüksek ısı enerjisi ile birlikte zararlı gazlar salmaktadır ve bu durum göz ardı edilemez boyutlara ulaşmıştır. Bu sebeple bu yakıtlardan çıkan ısı enerjisinin etkin ve fosil yakıtların daha az tüketimi için ısı yalıtım sistemleri uygulanmaktadır. Isı yalıtımı sayesinde ısı kayıpları en aza indirilerek daha fazla yakıt tüketimini engeller ve böylelikle yalıtımsız duruma göre atmosfere daha az zararlı gaz salınır.

Yaşam alanındaki teknolojik gelişmelerin getirdiği tüketim hacmiyle birlikte rekabet anlayışıyla üreten ve ihtiyacından fazla tüketen insan nüfusunun giderek artması neticesinde enerji kaynakları hızla tüketilmektedir. Bu gidişatın sonunu düşünen sorumluluk sahibi insanlar ihtiyaç duyulan enerji miktarını etkin ve verimli hale getirerek enerji tüketimini kontrollü olarak azaltma çalışmaları yapmaktadırlar.

Ülkemizde aşırı fosil tüketimini, yanma sonucu salınan zararlı gazların olumsuz etkilerini ve milli ekonomiye yük olan dışa bağımlılığı azaltmak ve ayrıca bilinçli tüketim anlayışını, çevremize karşı duyarlı olmayı amaçlayan çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Konut sektörünü ele aldığımız zaman pek çok ülkede 1970’li yıllarda bina standartları hakkında çalışmalar ortaya çıkmıştır. Ülkemizde 1970’ten

günümüze çeşitli revizyonlar geçirmiş, Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) oluşturduğu TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı adı altında yasal bir yönetmelik mevcuttur.

2.5. Isı Yalıtımı İle İlgili Yasal Düzenlemeler

2.5.1. TS 825 standardının oluşum süreci

1968 yılında ısı yalıtımı hakkında İmar ve İskân Bakanlığı tarafından Yapıda Isı Tesirlerinden Korunma adı altında Halk Konutları Standardı bulunmaktadır. Bu çalışmada yapı ve yapı sakinleri için ısı zararlarından korunmakla alakalı bazı tavsiyeler verilmektedir. TS 825 standardı TSE tarafından hazırlanmış ve 1970 yılında yayınlanmıştır. Bu standart, yapıların ısı kayıpları ve kazançları hakkında alınması gereken tedbirler ve bu sebeple yapıyı oluşturan elemanların özelliklerini belirlemektedir. TS 825 standart yönetmeliğinin giriş bölümünde ısı hakkında tanımlar, ısı etkilerinden korunma hakkında uygulamalar, hava katmanlarının ve çeşitli yapı bileşenlerinin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu çalışmada Türkiye iklim türü açısından bir harita ile 3 bölgeye ayrılmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 1972 yılında bir yönetmelik yayınlanmıştır. Konutlarda ısıtma amaçlı yakıt tüketiminin neden olduğu hava kirliliğinin azaltılması, milli ekonomiye katkı sağlayacak yakıt ekonomisinin oluşturulması ve ithal kaynakların azaltılması hakkında alınması gereken önlemler içermektedir. Yönetmelikte çatı altı tavanlarının izolasyonuna mecburiyet getirilmiştir (Hinginar 1993).

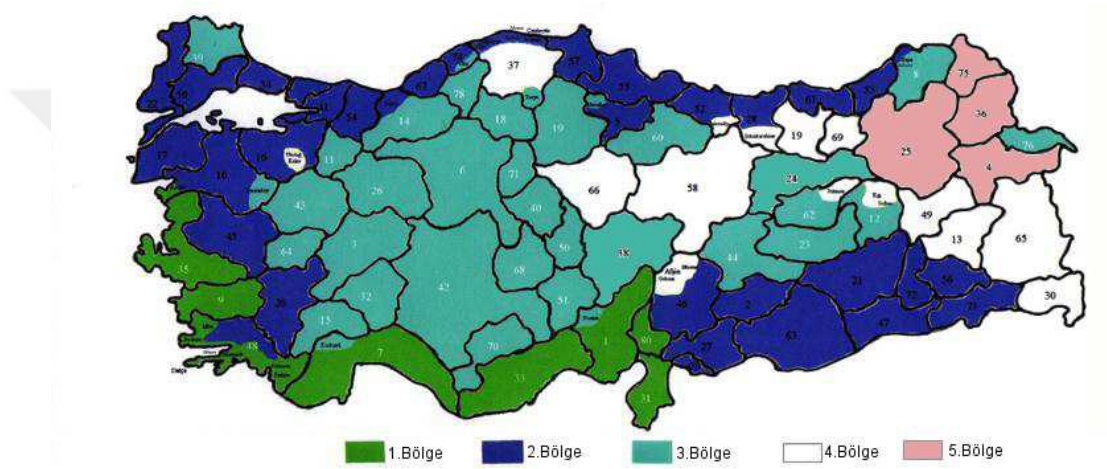
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 1977'te bir yönetmelik çıkarılmıştır. Bu yönetmelikte Alman standardı olan Alman Standartlaştırma Enstitüsü (DIN) 4138 standardından faydalanılmıştır. Yönetmelik yakıt sarfiyatında tasarrufu ve insan sağlığını tehdit eden çevre kirliliğini azaltmayı hedeflemektedir. Yönetmelik gereği yapılarda ısı yalıtımı ile ilgili alınması gereken tedbirler uygulamalarda ihtiva etmemesi durumunda ilgili projelerin belediyelerce onaylanmaması ve inşaat izni verilmemesi belirtilmiştir. Fakat yönetmelik imar mevzuatına girmediği için istenilen

neticeler elde edilememiştir. Bir sonraki yönetmelik İmar ve İskân Bakanlığı tarafından 1981 yılında yayınlanan bazı belediyelerin imar yönetmeliklerinde bir takım değişikliklere yer verilen yeni bir yönetmeliktir. Yönetmelikte öngörülen maddeler ile ilgili hükümler belediye imar yönetmeliklerine dâhil edilmiştir. Böylece hem inşaat ruhsatı alınması hem de yapı kullanım izin belgelerinin düzenlenmesi için yapıda ısı yalıtım uygulama şartı aranması getirilmiştir. 1985 yılında 1981 yılındaki yönetmelik üzerinde bazı değişiklikler yapılmıştır. Binalarda ısı yalıtımı iç ortam hacimlerinde dış ortam farklı sıcaklıktaki hacimler arasında ısı geçişini azaltan bütün tedbirlerdir şeklinde belirtilmiştir. Bu standart iç ortam sıcaklık değeri 18°C'nin üzerinde olan bütün yapılarda insan sağlığının ve binaların ısı etkilerine karşı tedbir alınması ve yakıt sarfiyatından tasarruf sağlanması hakkında gerekli kuralları içermektedir (Hinginar 1993).

1998 yılında TS 825 Standardı ile alakalı sektör temsilcilerin katılımlarıyla Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın mevcut ısı yalıtım yönetmeliği üzerinde revizyona gitmesiyle günümüzdeki halini almaya başlamıştır. Revizyon kapsamlı araştırmaların ardından Avrupa Standardı EN 832 ile Dünya Standardı ISO 9264 ve Alman Standardı DIN 4108 standartlarından yararlanmıştır. Bu çalışmalar ülkemizin iklim koşullarına uygunluk göstermiş olup 29 Nisan 1998'de kabul edilmiştir. TS 825 Standardı TSE tarafından 22 Mayıs 2008 tarihinde yayımlanmıştır.

Tüm yapılarda 14 Haziran 2000 tarihinden itibaren uygulanması zorunlu hale getirilen TS 825 standardı bugüne kadar farklı zamanlarda revizyonlardan geçirilmiş ve son halini 2013 Aralık ayında yapılan revizyon ile oluşturmuştur. Yapılan değişiklikleri incelediğimizde enerji tasarrufuna yönelik iyileştirmelerin olduğunu söyleyebiliriz. Bu standartta yapı bileşenlerinin birçoğunda ısı geçirgenlik katsayı (U) değerleri azaltılmıştır. Standartta yapılan bazı değişikliklere değinilmek gerekirse dikkatimizi çekenlerden biri Çizelge 2.3 ve Şekil 2.3 bize illere göre derece gün bölge sayısının 4'ten 5'e çıkarılmış olması ve bazı illerin bulunduğu bölgelerden yerlerinin değiştirilmiş olduğunu göstermektedir. Diğer bir değişiklik bölgeler için kabul edilebilir ısı geçirgenlik değerlerinin Çizelge 2.4'te gösterildiği gibi daha düşük seviyelere

çekilmesidir. Çizelge 2.2. bölgelere göre aylık ortalama dış sıcaklık değerlerindeki son hali ifade etmektedir. Yine bir başka çok katlı yapılarda bağımsız ara döşemeleri ile komşu duvarları, ısıtılmayan iç hacimlere bitişik taban ve duvarların R (direnç) değeri eski standartta $R=0,8 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ iken yeni standartta $R=0,7 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ olarak değiştirilmiş (Anonim 2014a). Bu güncellemeler henüz Resmi Gazete’de yayınlanmadığı için yürürlüğe girmemiştir.



Şekil 2.3. Derece gün bölge haritası (TSE 2013b)

Çizelge 2.2. Bölgelere göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri [$^{\circ}\text{C}$] (TSE 2013d)

Aylar	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
Ocak	8,4	2,9	-0,3	-5,4	-10,5
Şubat	9,0	4,4	0,1	-4,7	-9,1
Mart	11,6	7,3	4,1	0,3	-2,9
Nisan	15,8	12,8	10,1	7,9	5,3
Mayıs	21,2	18,0	14,4	12,8	10,6
Haziran	26,3	22,5	18,5	17,3	14,6
Temmuz	28,7	24,9	21,7	21,4	18,6
Ağustos	27,6	24,3	21,2	21,1	18,6
Eylül	23,5	19,9	17,2	16,5	14,1
Ekim	18,5	14,1	11,6	10,3	7,8
Kasım	13,0	8,5	5,6	3,1	0,6
Aralık	9,3	3,8	1,3	-2,8	-6,7

Çizelge 2.3. İllere göre derece gün bölgeleri (TSE 2013a)

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

Çizelge 2.4. Bölgelere göre U değerleri (TSE 2013c)

	U_D [W/(m ² K)]	U_T [W/(m ² K)]	U_t [W/(m ² K)]	U_p [W/(m ² K)]
1. Bölge	0,66	0,43	0,66	1,8
2. Bölge	0,57	0,38	0,57	1,8
3. Bölge	0,48	0,28	0,43	1,8
4. Bölge	0,38	0,23	0,38	1,8
5. Bölge	0,36	0,21	0,36	1,8

2.5.2. TS 825 standardının amacı

Bu standardın amacı, ülkemizdeki konut sektöründe tüketilen ısı enerjisi miktarının kontrol altına alınmasını, bu vesileyle enerji tasarrufunda artış sağlamayı ve konutlardaki gerekli enerji miktarının hesaplanmasındaki standart hesap metodunu belirlemektir.

İnşa edilecek bir binada, standartta açıklanan hesap metodu kullanılarak, bina için ideal enerji performansını elde edecek tasarımı, yapıların net ısı enerjisi tüketimlerini, binalarda enerji tasarrufu nitelikli tadilatlar uygulanmadan önce bu tedbirlerin sağlayacağı tasarruf miktarlarını belirlemek TS 825'in amaçları arasında sayılabilir. Ayrıca konut sektöründen elde edilecek veriler ile milli ekonomiye katkıları tahmin etmek gibi bazı amaçlar için de kullanılabilir.

2.5.3. TS 825 genel açıklamalar ve esasları

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, binaları bir bütün hacim şeklinde ele alarak hesaplamaya dâhil eder. Standartta kullanılan hesaplama yönteminde ısıtılan mahallin sınırlarını, bu mahalli dış ortamdan ayıran duvar, döşeme, çatı, kapı ve pencere gibi yapı elemanları oluşturmaktadır.

Yeni yapılan binaların ısıtma enerjisi ihtiyacı TS 825'te birim alan veya birim hacim hesabına göre tespit edilmektedir. TS 825'te binanın ısıtılması için gerekli enerjiyi

belirleyen etkenler; binanın fiziki özellikleri, ısıtmada kullanılan sistemin özellikleri, iç ortam ve dış ortam koşulları, iç ortamdaki ısı kazançlar ve güneş enerjisi olarak belirtilmiştir. İletim yoluyla ve havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kayıplar ile iç ortamdaki ısı kazançlar ve güneşten kazanılan ısı enerji hesaba katılarak binalar ve yapılar için gerekli ısıtma enerjisi miktarının tespit edilebildiği bir hesaplama yöntemi belirlenmiştir. Hesaplama sonucu elde edilen değerin, standartta daha önceden belirlenen sınırlandırılmış enerji ihtiyacından daha az olmasını sağlayacak biçimde malzeme türünün seçimi, eleman boyutlandırılması ve yalıtım sisteminin ayrıntılarına ait çözümlerin projelendirilmesi ve raporlanması gerekmektedir.

Standartta tanımlanan hesaplama metodunda, ısıtılacak mahaller için gerekli olan yıllık ısı enerji miktarı belirlenir ve bu miktar, toplam ısı kayıplarından güneşten ve iç ortamdan kazanılan ısı kazançların çıkartılmasıyla elde edilmektedir.

Yapılarda sıcaklığın olumsuz etkilerine karşı sağlığını yeteri kadar korunmak ve uygun iç iklim ortamını sağlamak esas alınmıştır. Bir yapının gerek duyduğu ısı ihtiyaç ve bunu sağlamak için yapılan ısıtma sistemleri, yapıyı oluşturan elemanların ısı özelliklerine bağlıdır.

Eğer sıcaklığın olumsuz etkileri yeteri kadar önlenirse, yapıyı oluşturan elemanların yüzeylerinde su buharının meydana gelmesi de önlenmiş olur. Yapı elemanlarında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşebilecek bu olay yalıtım ile engellenerek hem yakıt giderlerini azaltır hem de binada olası küf, çürüme gibi olumsuz durumların ortaya çıkmasını önleyerek bakım ve onarım gerektiren masrafların ortaya çıkmasına engel olur.

Binaların proje hazırlık aşamalarında alınacak tedbirlerle ısı enerji ihtiyacına katkı sağlanabilir. Projelendirilen binanın konumu rüzgârlı bir alanda ise yapıda ısı kaybı, etrafı komşu binalar, bitkiler ve ağaçlarla korunmuş olanlara oranla daha çoktur. Bina dış yüzeylerinin boyutlandırılması da ısı kaybını etkileyen unsurlar arasında ele

alınmalıdır ayrıca ayırık nizamlı bir binada ısı kaybı, aynı biçiminde yapılan bitişik nizamlı başka bir binaya göre daha fazladır.

Bir bina içindeki ısıtılan alanların birbiri ile olan ilişkisi (örneğin ısıtılan hacimlerin yan yana sıralı veya alt alta ya da üst üste yerleştirilmesi) büyük önem taşır. Ayrıca ısı kaybını azaltmak için bina giriş kapılarına ilaveten rüzgârlık sistemi olan ikinci bir kapı yapılmalıdır.

Büyük pencere yüzeyleri ısı kaybını artırır. Çift yöne bakan odalarda, pencerelerin odanın dış duvarlarından sadece birinde olması, ısı kaybını azaltıcı olduğundan daha doğrudur. Yakıt etkinliğini artırmak, baca gazlarının soğumasını engellemek, baca kurum tutmasını ve tesisat borularının donmasını önlemek için baca ve tesisat boruları dış duvarlar üzerinde bulunmamalıdır.

Kışın yapıda ısıtılan mahallerin çabuk soğumasını yazın ise mahallerin fazla ısınmasını engellemek için duvar ve döşemelerin ısı depo edebilme özellikleri büyük önem taşır. Isı depo etme yeteneği, yapı elemanlarının kütlesi ve yapıldığı malzemenin özgül ısısı ile doğru orantılıdır.

2.5.4. TS 825 standardında hesaplamalar

TS 825 Standardı bina içerisindeki oda yüksekliğinin 2,60 metreden yüksek veya küçük olması durumunu dikkate alan bir hesaplama içermektedir. Bu şarta göre binanın kullanım alanı miktarına ($Q_{yıl}/A_n$) ya da bina brüt hacminin miktarına ($Q_{yıl}/V_{brüt}$) göre ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanır. Oda yüksekliği şartı 2,60 metre ya da daha küçük bir değer ise A_n ifadesi kullanılır. Eğer oda yüksekliği 2,60'dan büyük ise $V_{brüt}$ ifadesi kullanılır. A_n ile $V_{brüt}$ arasındaki ilişki Eşitlik 2.1 ile gösterilmiştir.

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (2.1)$$

Öncelikle binanın ısı kaybı gerçekleşen yüzeylerinin toplam alanını binanın brüt hacmine ($A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}}$) oranlarız. Bu oran $0,2 < (A_{\text{top}}/V_{\text{brüt}}) < 1,05$ arasında bir değer alması halinde farklı derece gün bölgeleri için gerekli ısıtma ihtiyacı miktarı A_n ve $V_{\text{brüt}}$ 'e göre **EK 1A**'daki gibi standartta belirtilmiştir. Bu aralıkta olmayan değerler için **EK 1B**'den faydalanılmaktadır. Bina için hesaplanan $Q_{\text{yıl}}/A_n$ veya $Q_{\text{yıl}}/V_{\text{brüt}}$ değerleri bu standarttaki olması gereken değer in üstünde olmamalıdır. Hesaplama temel olarak böyle bir kontrol aşamasından geçmektedir.

2.5.4.a. Bina özgül ısı kaybı hesabı

Yapının özgül ısı kaybı (H), hem iletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı transferi (H_i) hem de havalandırma ile gerçekleşen ısı transferinin (H_h) Eşitlik 2.2'deki gibi toplamıyla elde edilir.

$$H = H_i + H_h \quad (2.2)$$

İletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı kaybı binayı oluşturan tavan, taban, dış duvar, pencere gibi yapı elemanlarından ve varsa ısı köprülerinden gerçekleşmekte olup Eşitlik 2.3 ile hesaplanmaktadır.

$$H_i = \sum AU + IU_i \quad (2.3)$$

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_t A_t + U_d A_d + 0,5 U_{\text{dsic}} A_{\text{dsic}} \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4'teki terimler sırasıyla U_D bina dış duvarının ısı geçirgenlik katsayı değeri $W/(m^2K)$, U_P pencere ısı geçirgenlik katsayı değeri, U_T tavan ısı geçirgenlik katsayı değeri, U_t zemindeki döşemenin ısı geçirgenlik katsayı değeri, U_d dış ortama temas eden tabanın ısı geçirgenlik katsayı değeridir. Son olarak U_{dsic} alçak sıcaklık değerlerdeki iç mahaller ile temas halindeki bina elemanlarının ısı geçirgenlik katsayı değeridir.

A_D bina dış duvarının alanı (m^2), A_P pencerelerin alanı, A_T tavanın alanı, A_t zemindeki döşemenin alanı, A_d dış ortama temas eden tabanın alanı ve son olarak A_{dsic} alçak sıcaklık değerlerdeki iç mahallerle temas halindeki bina elemanlarının alanı şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca Eşitlik 2.3'deki I ısı köprüsü uzunluğunu metre cinsinden ve U_i ısı köprüsünün doğrusal şekilde geçirgenliğini $W/(mK)$ ifade eder.

Eğer binanın çatı döşemesi dış ortama direk temas ediyorsa Eşitlik 2.4'teki U_T 'nin önündeki katsayı değeri 1 olacak şekilde değiştirilir. Ayrıca burada standarda göre önerilen U değerleri **EK 1C**'de belirtilmiştir ve U_P için bazı farklı malzeme ve farklı yapıdaki pencerelerin U değerleri **EK 2**'de verilmiştir.

Havalandırma yöntemiyle gerçekleştirilen ısı kaybı iki çeşittir. Bunlardan birisi doğal havalandırma diğeri mekanik havalandırma şeklindedir. Hesaplamalar için sadece doğal havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybına yer verildi. Doğal havalandırmayla gerçekleştirilen ısı kaybı Eşitlik 2.5'te belirtilmiştir.

$$H_h = \rho \times c \times V^l = \rho \times c \times n_h \times V_h = 0,33 \times n_h \times V_h \quad (2.5)$$

$$V_h = 0,8 \times V_{brüt} \quad (2.6)$$

ρ birim hacimdeki havanın kütlesi (kg/m^3), c havanın özgül ısısı [$J/(kgK)$], V^l hacimsel hava değişimi debisi (m^3/h), n_h hava değişim sayısı (h^{-1}) ve V_h havalandırılan bina hacmi (m^3) şeklinde tanımlanmaktadır. Tüm hesaplamalarda n_h değeri 0,8 olarak kullanılmıştır.

Buradaki hesaplamalar **EK 5**'de bir çizelgede toplanmıştır. Çizelge hesaplamaya yardımcı olması sebebiyle hazırlanmıştır. Çizelgenin her bir sütunu hesaplamada kullanılmak için bir değeri ifade etmektedir. **EK 5**'teki 1 numaralı sütunda metre cinsinden yapı elemanının kalınlığı girilmektedir. 2 numaralı sütunda yapı elemanının ısı iletkenlik değeri $W/(mK)$ biriminde yazılmaktadır. 3 numaralı sütunda d/λ , $1/\alpha$ değerleri (m^2K)/ W cinsinden kullanılmaktadır. 4 numaralı sütundaki ısı geçirgenlik

katsayısı, Eşitlik 2.7'den hesaplanır, eşitlikteki d malzeme kalınlığı ve λ ısı iletkenlik hesap değeri ifade eder. Burada hesaplamalarda $1/\alpha_{iç}$ 0,130 (m²K)/W ve $1/\alpha_{dış}$ 0,040 (m²K)/W yüzeysel ısı iletim direnci değeri kabul edilmiştir. 5 numaralı sütunda hesaplanan yapı malzemelerinin yüzey alanları yazılır. 6 numaralı sütunda ısı geçirgenlik katsayısı değeri ile ısı taşıyan malzeme yüzeylerinin alanları çarpımı hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_{iç}} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{dış}} \quad (2.7)$$

2.5.4.b. Bina yıllık ısıtma enerji ihtiyacı hesabı

Uygun şekilde yalıtımı yapılan bir binada hem güneş enerjisinden hem de iç ortamdan kazanılan ısı enerjileri mevcuttur. Bu sayede iç ortamın istenilen koşullarda bir sıcaklığa ulaştırılması için gerekli enerjinin bir kısmı sağlanmış olur. Geri kalan gerekli enerji ihtiyacı ısıtma sistemi tarafından sağlanır. Toplam ısı kayıplarından güneş enerjisi kazançları ve iç kazançlar çıkartılarak hesaplanan gerekli ısıtma enerjisi yıllık ısıtma enerji ihtiyacı olarak tanımlanır.

Eşitlik 2.8 ile bina için her ay gerçekleşen ısı kayıp değeri W cinsinden hesaplanır. Bina içinde faydalı ısı kazançları ve güneş enerjisinden elde edilen ısı kazancı toplanır ve bu değer kazanç kullanım faktörüyle çarpılır. Tüm aylar için hesaplanan ısı kayıplarından kazanç kullanım faktörü ile çarpılmış olan ısı kazançları çıkarılır. Bu değer aylık zaman birimi ile çarpılarak aylık ısınma ihtiyacı bulunur. Aylık olarak bulunan bu değerler toplandığında yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı bulunmuş olur.

$$Q = A \times U \times \Delta T = H \times \Delta T \quad (2.8)$$

Bu hesaplama yönteminde kolaylık sağlaması için **EK 6**'daki çizelge oluşturulmuştur. Bu çizelgenin her bir sütunu hesaplamada kullanılacak bir değeri ifade etmektedir. **EK 6**'daki 1 numaralı sütuna **EK 5**'de hesaplanan bina özgül ısı kaybı değeri yazılır. 2

numaralı sütuna her bir ayın iç ortam ve dış ortam sıcaklık değerlerinin farkları yazılır. Burada T_i iç ortam sıcaklığı konutlar için **EK 3A**'dan 19 °C olarak alınır. T_d dış sıcaklık değerleri de bölgelere göre ayrılmış TS 825 Standardında bulunan **EK 3B**'den alınır. 4 numaralı sütuna her ay için iç ısı kazanç değerleri yazılır. Konut, okul ve büro gibi binalarda Eşitlik 2.9 veya içerisinde yüksek enerji tüketimi ve üretimi mevcut fabrika gibi yapılarda Eşitlik 2.10 kullanılır.

$$\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n \quad (2.9)$$

$$\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n \quad (2.10)$$

EK 6'daki 5 numaralı sütunda aylık ortalama güneş enerjisi kazançları $\phi_{g,ay}$ yazılır. Bu hesaplama Eşitlik 2.11'de gösterilmiştir.

$$\phi_{g,ay} = \sum (r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i) \quad (2.11)$$

Eşitlikteki ifadelerin tanımları şöyledir; $r_{i,ay}$ i doğrultusunda şeffaf yüzeylerin her ay için ortalama gölgelenme faktörü, $g_{i,ay}$ i doğrultusunda şeffaf elemanların güneş enerjisi geçirme faktörüdür. $I_{i,ay}$ i doğrultusunda dik yüzeylere gelen her ay için ortalama güneş ışınlama şiddeti (W/m^2) ve son olarak A_i i doğrultusunda toplam pencere alanı (m^2) olarak tanımlanmaktadır.

$r_{i,ay}$ değeri için hesaplanmış değerler yoksa hazırda bazı değerler mevcuttur. Etrafı açık olan binalar, yakınlarında üç kata kadar olan az katlı ve ayırık binalar bulunuyorsa $r_{i,ay} = 0,8$ kabul edilir. Bina çevresi ağaç gibi nesnelerden dolayı gölgede kalıyorsa $r_{i,ay} = 0,6$ kabul edilir. Bina civarında bitişik şekilde yapı varsa ve çok katlı binalar bulunuyorsa $r_{i,ay} = 0,5$ kabul edilir. $g_{i,ay}$ değeri ise Eşitlik 2.12 ile hesaplanır.

$$g_{i,ay} = 0,80 \times g_n \quad (2.12)$$

g_n değeri araştırmalar sonucu ölçülen yüzeye dik olarak gelen ışının güneş enerjisi geçirebilme faktörüdür. Bu değer için bazı belirli değerler mevcuttur eğer g_n için hesaplanmış değer yoksa bunlar kullanılabilir. Tek cam için $g_n=0,85$ eşitliği, çok katlı cam için $g_n=0,75$ eşitliği ve ısı geçirgenliği $\leq 2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ yalıtım sistemleri için $g_n=0,50$ eşitliği kullanılabilir. $I_{i,ay}$ değeri herhangi bir ay için Çizelge 2.5.'ten alınır.

Çizelge 2.5. Ortalama aylık güneş ışıınımı şiddeti değerleri [W/m^2] (TSE 2008)

Aylar	$I_{güney}$	I_{kuzey}	$I_{batı/doğu}$
Ocak	72	26	43
Şubat	84	37	57
Mart	87	52	77
Nisan	90	66	90
Mayıs	92	79	114
Haziran	95	83	122
Temmuz	93	81	118
Ağustos	93	73	106
Eylül	89	57	81
Ekim	82	40	59
Kasım	67	27	41
Aralık	64	22	37

EK 6'daki 6 numaralı sütunda ϕ_i ile ϕ_g değerlerinden elde edilen toplam ısı kazancı hesaplanır. 7 numaralı sütunda her ay için kazanç kullanım oranı (KKO) hesaplanır. KKO değeri Eşitlik 2.13 ile hesaplanır. Yapılan hesaplamada KKO 2,5 ya da daha fazla bulunursa o ay için ısı kaybı gerçekleşmediği düşünülür.

$$KKO_{ay}=(\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})/[H \times (T_{i,ay} - T_{d,ay})] \quad (2.13)$$

EK 6'daki 8 numaralı sütunda kazanç kullanım faktörü için Eşitlik 2.14 kullanılır. Burada elde edilen sonuç 6 numaralı sütun değeri ile çarpılır. Bunun sebebi ısı kazançlarını etkin bir şekilde kullanamadığımız durumların mevcut olmasından kaynaklanır.

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KK O_{ay})} \quad (2.14)$$

Son olarak **EK 6**'daki 9 numaralı sütunda bina için hesaplanan ısı kaybı değerlerinden 6 ve 8 numaralı sütunların çarpımı ile elde edilen ısı kazanım değerleri çıkartılır. Çıkan sonuç zaman birimi ile düzeltilerek aylık ısıtma enerji ihtiyacı Eşitlik 2.15 ile bulunmuş olur. Zaman birimi için t (86400×30 saniye) ifadesi bir ayın saniye cinsinden değeri olarak yazılır. Eşitlik 2.16 aylık değerlerin toplam halini, binanın yıllık ısıtma enerji ihtiyacını verir.

$$Q_{ay} = [H \times (T_i - T_d) - \eta_{ay} \times (\phi_{i,ay} + \phi_{g,ay})] \times t \quad (2.15)$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (2.16)$$

2.6. Isı Yalıtım Malzemeleri

Isı yalıtım malzemesini, binayı oluşturan yapı elemanlarının sahip olduğu ısı iletim direnci değerlerine ilave değer eklenmesini sağlayan ve sonuç olarak binadaki ısı kayıplarını azaltmaya yarayan, nem ve küf oluşumunu engellemeyi ve yapıdaki termal gerilmelerin meydana gelmesini önlemeyi sağlayan malzemeler olarak tanımlayabiliriz.

Teknik olarak ısı yalıtımında kullanılan malzemeler; ısı kayıplar ve istenilmeyen ısı kazanımların azaltılmasında ya da kontrol altına alınmasında kullanılan yüksek ısı dirence sahip özel üretim teknikleri ile elde edilen veya doğada hazır bulunan malzemelerdir. Avrupa standartlarına göre bir malzemenin ısı iletkenlik değerleri 0,06-0,10 W/(mK) aralığında ise o malzeme ısı yalıtım malzemesi olarak tanımlanmaktadır (Anonim 2016c).

2.6.1. Isı yalıtım malzemelerinin genel özellikleri

Isı iletiminin azaltılmasını veya kontrol altına alınmasını amaçlayan ısı yalıtım malzemeleri, ayrıca bir binadaki iç ortam ve dış ortam şartlarından doğabilecek çeşitli sorunlara cevap verebilmesi ve kendisinde istenilen özelliklere sahip olması gerekir. Optimum ısı yalıtım sistemini oluşturmak için ısı yalıtım malzemelerinden istenilen özellikler alt başlıklarla açıklanmıştır.

2.6.1.a. Düşük ısı iletim katsayısı

1 metre kalınlığındaki bir malzemenin 1 m² alana sahip iki yüzeyinin arasından sıcaklık farkını 1°C değiştiren birim zamanda geçen ısı miktarı, ısı iletim katsayısı olarak tanımlanır. Bir malzemede ısı iletkenlik katsayısı ne kadar düşük olursa o kadar ısı yalıtım direncinin yüksek olduğu anlamına gelir. Binalardaki yapı elemanlarından duvarı ele alalım, duvarın bir yüzeyi iç ortam sıcaklığında diğer yüzeyi dış ortam sıcaklığında bulunmaktadır. Sıcaklık farkından dolayı bir ısı akışı gerçekleşmektedir. Duvarın sahip olduğu ısı iletim katsayısı beklentileri karşılayamadığı takdirde ısı iletim katsayısı düşük bir ısı yalıtım malzemesi sayesinde ısı akışını azaltabiliriz. TS 825 standardında tanımlı bazı malzemelerin ısı iletim değerleri Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Bazı malzemelerin ısı iletim değerleri (Anonim 2014b)

Malzeme	Isı iletim değeri [W/(mK)]
Metaller	35,00 - 384,000
Donatılı Beton	2,20 - 2,500
Donatısız Beton	1,65 - 2,100
Tuğla	0,19 - 1,400
Gaz beton	0,11 - 0,290
EPS, XPS gibi ısı yalıtım malzemeleri	0,02 - 0,045

2.6.1.b. Malzemenin yoğunluğu

Bir maddenin birim hacimdeki kütlesine yoğunluk denir. Isı yalıtım malzemesinin yoğunluğu malzemenin mekanik dayanım ve stabilitesi ile alakalıdır. Seçim kriteri olarak ısı yalıtım malzemesi için en uygun dayanım ve mukavemeti gösteren yoğunluktaki malzeme kullanılmalıdır.

2.6.1.c. Boyutsal kararlılık

Sıcaklık farkından dolayı malzemeler termal gerilmelere maruz kalmaktadırlar. Bunun neticesinde sıcaklık ya da basınç etkisiyle malzemede şekil değişimi görülebilmektedir. Malzemede hacim veya şekil değişiminin olmaması istenir. Bu sebeple ısı yalıtım malzemelerinin boyutsal kararlılığı bu değişimlerden en az şekilde etkilenmelidir.

2.6.1.d. Mekanik dayanım

Malzeme dâhil edileceği yapı elemanından kaynaklanacak basma, çekme veya eğilme gibi deformasyona ya da şekil değiştirmeye zorlanacak etkilere karşı mukavim olmalıdır. Bu etkilere göstereceği mukavemet sürekli yalıtım yapabilmesi için oldukça önemlidir. Genelde ısı yalıtım malzemeleri mekanik dayanım açısından zayıf kalabilirler bu sebeple üzerlerine koruyucu bir sac levha örtülür.

2.6.1.e. Buhar difüzyonuna karşı dirençli olması

Buhar difüzyonu su buhar basıncı ile alakalıdır. Su buharı yüksek su basıncından alçak su basıncına doğru hareket eder. Bazı şartlarda su buharının sınırlandırılması gerekebilir bunun için malzemenin buhar difüzyon direnci belirleyici faktördür. Özellikle iç ortamlarda oluşan su buharı yapı elemanlarının gözeneklerinden geçerek dış ortama ulaşmaya çalışır bu esnada doyma sıcaklığındaki veya daha düşük sıcaklıktaki yüzeylere temas etmesiyle yoğunlaşarak su haline gelir. Bu durum yapı elemanında küf gibi kimyasal

ve kabarma gibi fiziksel etkiler oluşumuna sebep olabilir ve hem yapıya hem sağlığınıza olumsuz etki edebilir. Buhar difüzyon direnci yükseldikçe malzemeden geçen su buharı miktarı azaldığı için malzeme seçiminde önemli bir rol almaktadır.

2.6.1.f. Kimyasal etkilere karşı dayanım

Isı yalıtım malzemeleri çeşitli malzemelerden üretilmekte ve farklı ortam şartlarında kullanılmaktadır. Tüm bunlara rağmen malzemenin yapısını bozmaya yönelik olası tüm kimyasal etkilere karşı dayanımlı olması tercih edilmektedir.

2.6.1.g. Sıcaklık dayanımı

Malzemeler kullanılmadan önce uygulanacağı yerde maruz kalacağı sıcaklık belirlenmeli ve daha sonra uygun seçim yapılmalıdır. Her malzemenin karakteristik özelliklerinin bozulmaya başladığı bir sıcaklığı vardır. Bazı malzemelerin kullanım sıcaklıkları Çizelge 2.7 ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Bazı malzemelerin kullanım sıcaklıkları

Malzeme	Maksimum kullanım sıcaklığı [°C]
Seramik yünü	1800
Taş yünü	750
Cam köpüğü	430
Poliüretan	110
EPS	75-80
XPS	75-80

2.6.1.h. Yanmazlık

Isı yalıtım malzemesinin ısı dayanımı çalışma sıcaklığının altında olmamalı ve yanma özelliğinin olmaması gerekir. Isı yalıtım malzemeleri değişik ürünlerden elde edilebilir ve bunlar yanmaz ya da yanıcı madde içerebilmektedir. Yanmaz malzemeleri tercih etmek daha doğru ve uygun olanıdır.

2.6.1.i. İşlenebilirlik

Çeşitli aletlerle kesme, delme, oyma gibi işlemler ısı yalıtım malzemesi üzerinde uygulanacağı alanda ihtiyaca göre rahatça yapılabilmelidir. İşlenmesinde zorluk çıkaran malzemeler işçilik masrafını artırmaktadır

2.6.1.j. Sıva tutuculuk

Isı yalıtım malzemesi uygulandığı bölgelere göre üzerinde çeşitli mekanik etkilere maruz kalabilmektedir. Bu nedenle bu etkilere karşı koruyucu amaçlı üzerlerine sıva gibi ek malzemeler takviye edilmektedir. Isı yalıtım malzemesi ile bu gibi koruyucu malzemeler arasındaki uyum yeteri düzeyde olması gerekir. Son yıllardaki gelişmelerle bu konuda ilerleme kaydedilmiştir ve artık gevşek ya da yumuşak malzemelerin üzerlerine de sıva uygulama olanağı mevcuttur. Örnek bir sıva uygulaması Şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Isı yalıtım malzemesinin üzerine uygulanan sıva çalışması

2.6.1.k. Çürümeye karşı dayanımlı

Isı yalıtım malzemesi çalışma süresince görevini ifa ederek yıpranma ve çürüme gibi fiziksel ya da kimyasal çözünmelere karşı direnç göstermelidir. Böylece hem ısı yalıtım

sisteminin sürekliliği devam edecek hem de yeni malzeme kullanımı gibi masrafların ortaya çıkması önleneyecek.

2.6.1.l. Parazitlere karşı dayanıklı

Isı yalıtım malzemelerinin üretim şekillerine göre yapılarında bulundurduğu maddelerden dolayı çeşitli haşere, böcek gibi parazitleri barındırmamalıdır. Isı yalıtım malzemesinin içyapısı malzemenin performansını olumsuz yönde etkileyecek bu tür parazitler için uygun yaşam ortamı sağlamamalıdır.

2.6.1.m. Uzun ömürlü olması

Binalardaki ısı yalıtımının etkisi bina var olduğu sürede devam etmelidir. Isı yalıtım malzemesinin binanın ömrünü uzattığı gibi ısı yalıtım performansının etkisini de sürdürmesi istenilir. Böylece enerjiden tasarrufun ve sağlıklı binaların devamlılığından söz edilebilir.

2.6.1.n. Koku vermemeli

Kullanılan yalıtım malzemesini etrafına rahatsız edici koku vermemesi tercih edilir. Hem uygulamanın çalışma esnasında çalışan açısından hem de uygulama bitiminde kullanıcılar açısından ortaya çıkabilecek kokular insan sağlığına olumsuz etkiler bulunabilir. Konfor şartlarının bozulmasına sebebiyet verebilir.

2.6.1.o. Hesaplı olması

Binadaki enerji tüketiminin azaltılmasını amaçlayan ısı yalıtımı dolaylı olarak bütçemize de katkı sağlamış olmaktadır. Binanın ilk yatırım maliyetleri arasında gösterilen ısı yalıtım malzemesinin fiyatı toplam maliyeti etkilemektedir. Dolayısıyla

bina için gerekli şartları taşıyan uygun fiyatlı ısı yalıtım malzemesinin tercih edilmesi en doğrusu olacaktır.

Isı yalıtım malzemesinin kalınlığının artmasıyla ısı geçişi azalmaktadır ve istenmeyen ısı kayıpları önlenerek yakıttan tasarruf edilmektedir. Fakat malzeme kalınlığının artışı malzeme için ödenecek ücreti de beraberinde artırır. Üzerinde düşünülmesi gereken durum malzeme için optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasıdır.

2.6.1.ö. İnsan sağlığını tehdit etmemeli

Isı yalıtım malzemeleri gerek olası bir yangıda yanması sonucu ortama zararlı gazlar salmamalı gerekse uygulama esnasında çalışanlar için dokunma yoluyla ya da solunmayla vücutlarına zarar vermemelidir. Malzemelerin içyapıları insanlar için alerjik ya da kanserojen maddeler içermemelidir. Ayrıca ısı yalıtım malzemelerine karşı uygulamada çalışanlar kesme, elle tutarak taşıma gibi işlemler esnasında her türlü tedbirleri almalıdır.

2.6.2. Isı yalıtım malzemelerin sınıflandırılması

Isı yalıtım malzemeleri genel olarak biçimlerine, kökenlerine ve yapılarına göre olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmadaki kategorilerin içerdiği malzemeler sırasıyla şöyledir:

Biçimlerine göre ısı yalıtım malzemeleri sekiz gruba ayrılmaktadır. Bunlar; levha yapıda, şilte yapıda, gevşek dolgu, yerinde püskürtme, yerinde köpürtülen, blok halinde örülerek kullanılan, yansıtıcı, gazların ısı transferini engellemek amacıyla hapsedilmesiyle oluşturulan ısı yalıtım malzemeleridir.

Kökenine göre yani var oluşlarına göre ısı yalıtım malzemeleri üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; organik (hayvansal ve bitkisel yapılar içerir), anorganik (mineraller) ve sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleridir.

Yapılarına göre ısı yalıtım malzemeleri beş gruba ayrılmaktadır. Bunlar; taneli, lifli, hücreli, kompozit ve yansıtıcı özellikli ısı yalıtım malzemeleridir.

2.6.3. Isı yalıtım uygulamalarında kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri

2.6.3.a. Cam yünü

Hammadde olarak silis kumunun yüksek basınç ve yaklaşık 1200 ile 1250 °C aralığında ergitilerek, elyaf şekline getirilmesiyle oluşan açık gözenekli yapıya sahip malzemedir. Farklı yoğunlukları bulunan (14 ile 100 kg/m³) çeşitli kaplama malzemeli halinde ya da şilte, levha veya boru gibi farklı formlarda üretimi yapılmaktadır. Kullanım sıcaklığı -50 ile 250°C aralığındadır. Bazı özel üretimlerde bu değer -200 ila 450°C derece olabilmektedir. A sınıfına dâhil yanmaz malzemelerdendir. Isı iletim değeri 0,035 ile 0,050 W/(mK) aralığındadır. Su buharı geçirgenlik direnç katsayısı (μ) 1'dir. Hacimsel su emme kabiliyeti %3 ile 10 aralığında bulunur. Güneşten gelen mor ötesi ışınlardan etkilenmez. Zamanla bozulmaya çürümeye, küf tutmaya, korozyona ve paslanmaya karşı dayanıklıdır. Böcekler ve mikro organizmalar tarafından yıpratılmaz. Şekil 2.5 cam yünü malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.5. Cam yünü malzemesi

2.6.3.b. Taş yünü

Hammaddesi inorganik olan bazı bazalt ile diabaz taşlarının 1350 ile 1400 °C civarlarında, elyaf haline getirilmesiyle oluşan açık gözenekli yapı sahip malzemedir. Farklı yoğunlukları bulunan (30 ile 200 kg/m³) şilte, levha boru veya dökme gibi çeşitli kaplama ürün modelleri şeklinde üretilme imkânı vardır. Kullanım sıcaklığı –50 ile 650 °C aralığındadır. A sınıfına dâhil yanmaz bir malzemedir. Isı iletim değeri 0,035 ile 0,050 W/mK aralığındadır. Su buharı geçirgenlik direnç değeri 1'dir. Hacimsel su emme kabiliyeti %2,5 ile 10 aralığındadır. Güneşten gelen mor ötesi ışınlardan etkilenmez. Şekil 2.6. taş yünü malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.6. Taş yünü malzemesi

2.6.3.c. Ekspande polistren köpük (EPS-Genleştirilmiş polistren köpük)

Polistren hammaddesinin su buharının teması neticesinde malzemenin içindeki granüllerin yani pentan gazının genişmesiyle büyük bloklar halinde şişerek ve sıcak tel ile kesilerek üretilir. Polistren taneciklerinin şişirilmesinde ve birbirine kaynaşmasında kullanılan şişirici gaz pentan'dır. Kalıp yöntemiyle levhalar halinde üretilebilir. Uygulamalarda EPS için yoğunluk olarak 15-30 kg/m³ arası değerler tercih edilmektedir. Kullanım sıcaklığı –50-75°C aralığındadır. Isı iletim değeri 0,035-0,040 W/(mK) aralığındadır. Su buharı difüzyon direnç katsayısı yoğunluğa bağlı olarak 20-100 arasında değer almaktadır. Hacimsel su emme değeri %1-5 aralığındadır. Güneşten gelen mor ötesi ışınlara ve bazı baca gazları, metan grubu gazları, benzin

grubu, eter, ester ve amin grubu gibi kimyasallara karşı hassastır. Şekil 2.7 EPS malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.7. EPS malzemesi

2.6.3.d. Ekstrüde polistren köpük (XPS)

Polistren hammaddesinin ekstrüzyon yani haddeleme yöntemi ile üretilmesiyle elde edilir. Pürüzlü ve pürüzsüz şekilde yüzey çeşitleri olmaktadır. Farklı yoğunluklarda 25 kg/m^3 ve üzerinde levha ve boru formlarında üretimi mevcuttur. Kullanım sıcaklığı -50 ile 75°C aralığındadır. Isı iletim değeri $0,030$ ile $0,040 \text{ W/(mK)}$ değerleri arasındadır. Su buharı difüzyon direnç değeri $80-250$ ve hacimsel su emme değeri $\%0-0,5$ aralığındadır. Güneşin mor ötesi ışınlarına karşı hassastır. Şekil 2.8. XPS malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.8. XPS malzemesi

2.6.3.e. Poliüretan köpüğü (PU)

İçerisinde hidroksil grubu bulunan poliollerle karışıma girdiğinde ekzotermik tepkime gerçekleştiren izosiyanatlar neticesinde poliüretan oluşmaktadır. Bu malzemeyi kalıplara koyarak şekil verilebilmektedir. İçerisinde çeşitli bağlar içermektedir ve bu sebeple değişken yapıda polimerler ortaya çıkmaktadır. Ortam sıcaklığı ve yoğunluğa göre ısı iletim değeri 0,025 ile 0,040 W/(mK) arasında değişmektedir. Kullanım sıcaklık -180 ile 110°C aralığındadır. Hacimsel su emme yaklaşık %3'tür. Su buharı difüzyon direnci 30-100 aralığında bulunmaktadır. Şekil 2.9. PU malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.9. Poliüretan köpüğün oluşum şekli

2.6.3.f. Fenol köpüğü (PF)

Bu malzeme fenol formaldehit bakalitine anorganik türden şişirici ve sertleştirici maddeler eklenerek meydana gelir. PF levhaları çeşitli yoğunluklara bağlı olarak sert, kırılgan, ufak gözenekli ve aşınma ile toz halinde parçalanabilen yapılar içerir. Kullanım sıcaklığı -180 ile 120°C aralığındadır. Isı iletim değeri 0,030 ile 0,045 W/(mK) ve su buharı geçirgenlik direnci 10 ile 50 aralığındadır. Küflenmeye, birçok kimyasal maddeye dayanımlı ama güçlü asitlere karşı dayanıklı değil ve metal malzemeleri korozyona uğratabilir. Şekil 2.10 PF malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.10. Fenol Köpüğü malzemesi

2.7. Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemleri

Bir binayı oluşturan yapı elemanları genel olarak duvar, döşeme, çatı, kolon, kiriş ve ısıtılmayan hacimler şeklinde tanımlayabiliriz. Isı yalıtımının amacı binalarda kullanılan ısı enerjisinin etkin kullanımını artırmak için binadaki ısı kayıplarını engellemektir. TS 825 standardı bu amaç doğrultusunda binayı oluşturan her bir elemanı ayrı ayrı ele alarak ısı yalıtım sistemleri oluşturmuştur. Bu sistemlerden bazılarına değinilmiştir.

2.7.1. Dış duvarlarda ısı yalıtım sistemleri

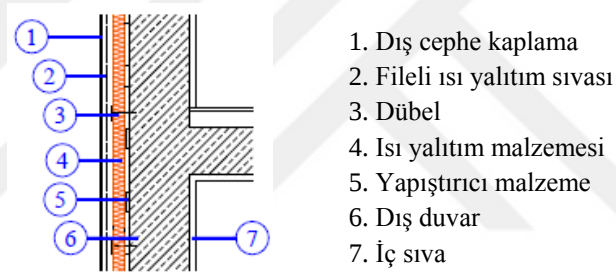
Bina yapı elemanlarından biri olan dış duvarlar, binadaki iç ortamları dış ortam şartlarından korumaktadır. Binalarda en fazla ısı kaybı binanın dış kabuğunu oluşturan dış duvarlardan gerçekleşir. Hem binanın yüzey alanı açısından çok yer kaplaması hem de bazı yüksek binalarda yükseklikten dolayı gerçekleşen hava koşullarından dolayı dış duvarlar ısı kaybına oldukça fazla maruz kalır. Dış duvarlarda gerçekleşen bu ısı kaybı için bazı ısı yalıtım sistemleri geliştirilmiştir.

2.7.1.a. Dıştan yalıtılmış dış duvar sistemi

Bu sistemde ısı yalıtım malzemesi bina yapı elemanı olan dış duvarın dış ortama bakan yüzeyi tarafına uygulanır. İnşa aşamasında ve mevcut binalara uygulanabilmektedir. Duvarların dış yüzeylerine ulaşabilecek uygun iskele yardımı ile tüm dış duvar

yüzeylerine bu tip ısı yalıtım sistemi rahatlıkla uygulanabilir. Dıştan yalıtım sayesinde bina dış duvarlarında olası ısı köprüleri, termal gerilmeler ve çatlaklar oluşmamaktadır.

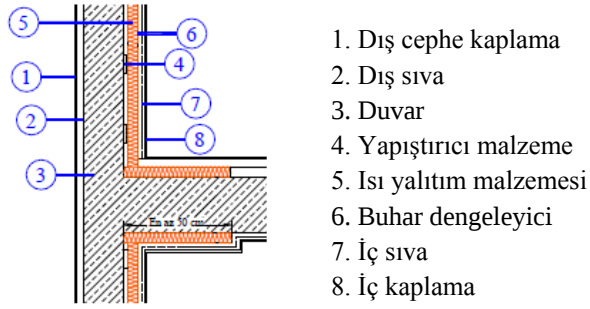
Bu uygulama ülkemizde oldukça tercih edilmekle birlikte dıştan ısı yalıtım sistemi sayesinde binanın bakım ve onarım masrafları azalmakta, binanın kullanım süresi uzamaktadır. Buna karşılık sistemin ilk yatırım maliyeti yüksek olabilmektedir. Ayrıca yağmur ve rüzgâr gibi dış hava şartlarına karşı dayanımlı olması gerekmekte ve iskele sisteminin kurulması ihtiyacı gibi dış yüzeyden duvarın yalıtılması uygulamasında bu durumlar dezavantaj olarak gösterilebilir. Dıştan ısı yalıtım sistemi teknik olarak Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Dış duvar dıştan yalıtım sistemi (İzoder 2013)

2.7.1.b. İçten yalıtılmış dış duvar sistemi

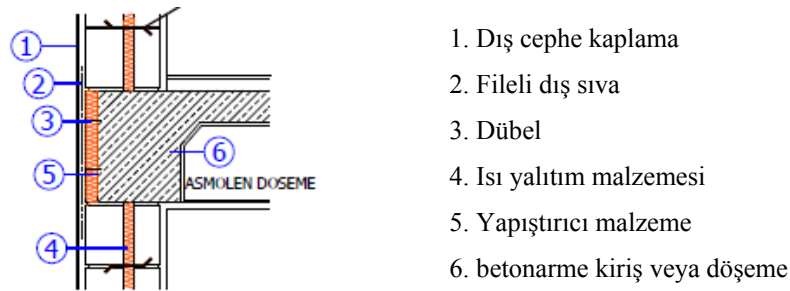
Genellikle kısa süreli ısıtma ihtiyacı duyulan ortamlarda daha iyi neticeler veren bu ısı yalıtım sisteminde ısı yalıtım malzemesi duvarın iç ortama bakan yüzeyine yapıştırılarak uygulanır. Yalıtım malzemesi içten uygulandığı için binanın dış duvar dış yüzeyi iç ortama göre farklı sıcaklıkta olmaktadır ve bu sebeple iç ortamda meydana gelen ısı enerjisi dışa akmak isteyecektir. Ayrıca bina dış duvarına doğru ilerleyen iç ortamdaki buhar difüzyonu sebebiyle yoğuşma meydana gelebilmektedir. Bunu engellemek için su baharı tutucu malzemeler kullanılmalıdır. Döşeme ve tavan gibi yapı elemanlarında ısı köprüleri oluşabilmektedir ve buna karşı önlem alınmalıdır. Dış duvar dıştan yalıtım sistemine karşın içten yalıtım sistemi uygulama açısından maliyeti daha hesaplıdır. Dış duvar içten ısı yalıtım sistemi teknik olarak Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Dış duvar içten yalıtım sistemi (İzoder 2013)

2.7.1.c. İki duvar arasına uygulanan (sandviç duvar) ısı yalıtım sistemi

Bu tür sistemlerde ısı yalıtım malzemesi iki duvarın yüzeyleri arasında bulunmaktadır. Bu uygulamada ısı yalıtım malzemeleri tüm cepheye homojen uygulanamadığı için ısı köprüleri oluşmaktadır. Bu nedenle yalıtım katmanını geçen su buharının, boşluklu uygulamalarda iki duvar arasındaki boşlukta veya boşluksuz uygulamalarda ise yalıtım malzemesi ile dış duvarın dış yüzeyi arasında yoğunlaşma meydana gelme riski mevcuttur. Bunu engellemek için ısı köprüsü oluşumuna ve yoğunlaşmaya karşı tedbir alınmalı ve ısı köprüsünün meydana gelebilecek tüm yapı elemanlarının ısı yalıtım malzemesi ile kaplanması gerekmektedir. İki duvar arası ısı yalıtım sistemi teknik olarak Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

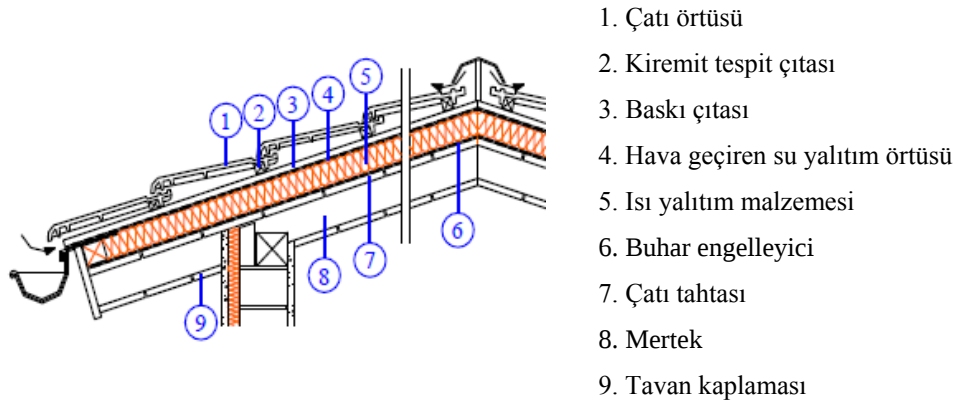


Şekil 2.13. Sandviç duvarda ısı yalıtım sistemi (İzoder 2013)

2.7.2. Çatı bölgelerinde ısı yalıtım sistemleri

Binalardaki çatı bölgeleri yağmur ve kar gibi dış ortam şartları, iç yüzey ortamı ile dış yüzey ortamı sıcaklık farkından dolayı ısı geçişi ve buhar difüzyonu gibi faktörlerin etkisi altında kalmaktadır. Bu nedenle çatılarda havalandırma önlemleri dikkate alınarak, ısı ve su yalıtımı sistemleri birlikte ele alınmalıdır. Çatıya uygulanacak sistemler sayesinde iç yüzey ortamı ile dış yüzey ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferi miktarı düşürülmesi, dış ortama atılan buharın çıkışının yeterince kolaylaştırılması buna karşın yağmur ve kar gibi yağışlardan kaynaklanan suyun yapının içerisine doğru geçmesinin engellenmesi sağlanmalıdır.

Çatı bölgelerinde uygulanan ısı yalıtım sistemleri çatının kullanım amacına göre değişmektedir. Konut olarak kullanıldığı takdirde farklı, çatı arası olarak kullanıldığında farklı yöntemler uygulanır. Ayrıca çatının yapısına göre de uygulama yöntemi değişiklik gösterebilir. Çatı arası ısı yalıtım sistemi teknik olarak Şekil 2.14’de gösterilmiştir.

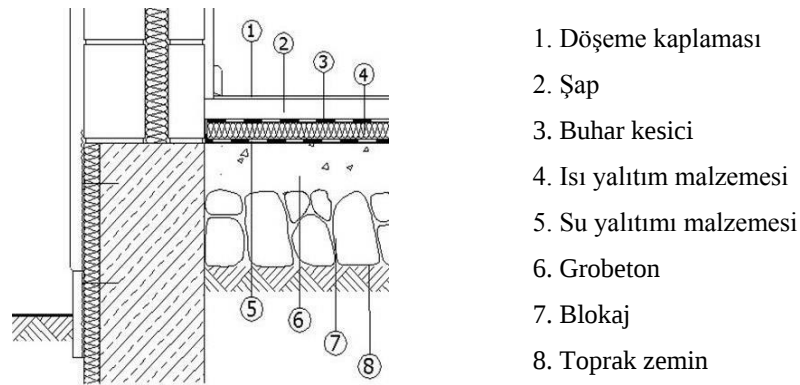


Şekil 2.14. Çatı arası olarak kullanılan çatılarda ısı yalıtım sistemi (İzoder 2013)

2.7.3. Döşemelerde ısı yalıtımı

Döşeme binanın ısı kaybına maruz kaldığı bir başka yapı elemanıdır. Döşemeler hem katlar arası hem de bodrum kat gibi bazı durumlarda ısıtılmayan hacimler arasında bulunmaktadır.

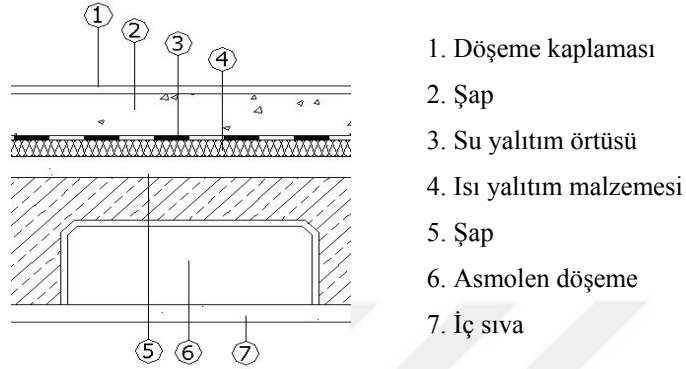
Toprak ile temas eden döşeme yüzeyleri yeraltı sularından kaynaklanan iç ortam ile zemin arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısı kaybı ve su buharı difüzyonu gerçekleşmektedir. Toprağın içerisinde tuttuğu bağıl nem miktarı çok yüksek olduğu için su buharı tutma kabiliyeti oldukça düşüktür. Bu sebeple bina iç ortamında oluşan su buharı binayı terk ederek toprağa ulaştığı zaman yoğunlaşma gerçekleşecektir. Döşemelerin toprakta bulunan nemden ve yeraltı sularından kaynaklanan zararlı etkilerden korunması için binanın temeli yapım aşamasında ısı yalıtım uygulaması ile korunmalıdır. Toprak ile temas halindeki döşemelerde ısı yalıtımı uygulamaları betonarme zeminin alt yüzeyine veya üst yüzeyine uygulanabilir. Döşeme betonu altından yapılan ısı yalıtım sistemi teknik olarak Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Betonarme döşemenin altına uygulanan ısı yalıtım sistemi (İzoder 2013)

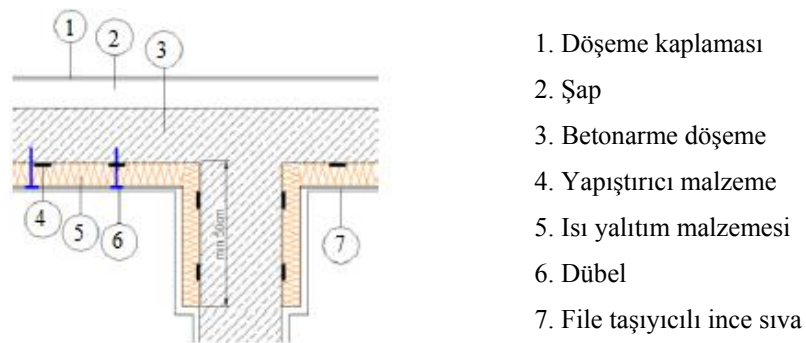
Ara katlarda bulunan döşemeler ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmadığı zaman ısıtılan iç ortama göre soğuk kalmaktadır. Dolayısıyla içeride olası su buharı bu soğuk zemin ile temas ettiğinde yoğunlaşma meydana gelecektir ve bu durum istenilmeyen bir olaydır. Bu

sebeple ara kat döşemeleri ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmalı ve su buharı difüzyonuna dirençli hale getirilmelidir. Bu uygulama Şekil 2.16’da gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Ara kat döşemelerinde ısı yalıtım uygulaması (İzoder 2013)

Ayrıca ara kat döşemesi ve toprağa temas eden döşeme haricinde ele alınması gereken bir konu da ısıtılmayan hacimlerdeki tavan yüzeyidir. Isıtılmayan hacimlerin tavanına ısı yalıtım uygulaması Şekil 2.17’deki gibi yapılır. Bu sayede döşemde uygun sıcaklığın elde edileceği ve yüzeylerde yoğuşmanın oluşmayacağı düşünülse bile yalıtımın sürekliliğini bozan kolon ya da kiriş birleşimlerine dikkat edilmelidir. Isı köprülerine neden olan bu riskli yapı bölgelerinde ısı yalıtım uygulamasının en az 50 cm kolon boyunca devam ederek uygulanması gerekmektedir.



Şekil 2.17. Isıtılmayan hacimlerin tavanına uygulanan ısı yalıtım sistemi (İzoder 2013)

2.8. Maliyet Hesaplamaları ve Geri Ödem Süresi

Yıllık maliyetin hesaplanması kişiye yapının ekonomikliğı hakkında temel bir bilgi kaynağı oluşturur. Bu hesap sayesinde enerjiden elde edilecek tasarrufu yorumlayabilme imkânı doğar.

Yalıtım maliyeti hesabı (M_{Ya}) Eşitlik 2.17 ile belirlenir ve birimi TL'dir. Burada M_{Mlz} yalıtım malzemesi için belirlenen birim fiyat, d yalıtım malzemesi kalınlığı, M_i işçilik bedeli ve A_{net} yalıtım uygulanan alan olarak tanımlanır.

$$M_{Ya} = (M_{Mlz} \times d + M_i) \times A_{net} \quad (2.17)$$

Yıllık yakıt maliyeti hesabı (Y_0) Eşitlik 2.18 ile belirlenir ve birim TL'dir. Burada M_{Ykt} yakıtın birim fiyatı, H_u yakıtın alt ısı değeri, η yakıtın verimi ve $Q_{yıl}$ ısıtılan binanın yıllık ısıtma enerjisi olarak tanımlanır.

$$Y_0 = [Q_{yıl} / (H_u \times \eta)] \times M_{Ykt} \quad (2.18)$$

Yıllık net tasarruf miktarı hesabı (T_{net}) Eşitlik 2.19 ile belirlenir ve birim TL'dir. Yıllık yalıtımsız yakıt maliyetinden (Y_0) yıllık yalıtımlı yakıt maliyetinin farkı bize yıllık net tasarruf miktarını verir.

$$T_{net} = Y_0 - Y_{ya} \quad (2.19)$$

Geri ödeme süresi (GÖS) basit haliyle Eşitlik 2.20'ye göre ilk yatırım maliyetinin yıllık net tasarruf miktarına bölünmesi ile elde edilir. Birimi yıl şeklinde belirlenir. Ancak paranın zaman faktörü (faiz oranı) dikkate alınarak net bugünkü değer (NBD) yöntemiyle yıllık net tasarruf miktarları daha gerçekçi hesaplanır. NBD sayesinde net tasarruf miktarlarının yatırım maliyetinin sıfırladığı anda GÖS elde edilmiş olur. NBD

Eşitlik 2.21 ile hesaplanır. Burada C_0 yatırım maliyeti, C_n n. yıldaki tasarruf miktarı ve i faiz oranını ifade eder.

$$GÖS = \frac{M_{Ya}}{T_{net}} \quad (2.20)$$

$$NBD = C_0 + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (2.21)$$

2.8.1. Optimum Yalıtım Kalınlığı Tayini

Yalıtım sisteminde ekonomik sonuçlar elde etmek için en uygun yalıtım kalınlığı, maliyetin en düşük ve yıllık kazancın en fazla olduğu durumdur. Bu durum literatürde mevcut olan Eşitlik 2.22 ile hesaplanır. Burada R_D ifadesi duvarın toplam ısı direncini, DG ısıtma için derece gün değerini belirtmektedir. Ayrıca bu değerlerin güncel olabilmesi adına şimdiki değer faktörü ($\$DF$) denilen sayısal bir parametre kullanılmaktadır.

$$d_{opt} = 293,94 \times \left(\frac{DG \times M_{Ykt} \times \$DF \times \lambda_{Ya}}{\eta \times H_u \times M_{Mlz}} \right)^{1/2} - \lambda_{Ya} \times R_D \quad (2.22)$$

$$r = \frac{i-g}{1+g} \quad (2.23)$$

Eşitlik 2.23'deki r gerçek faiz oranını, i faiz oranını ve g enflasyon oranını ifade etmektedir. Şimdiki değer faktörü hesabı Eşitlik 2.24 ile yapılır. Eşitlikte geçen N yıl cinsinden yatırımın ekonomik ömrünü ifade eder.

$$\$DF = \frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N} \quad (2.24)$$

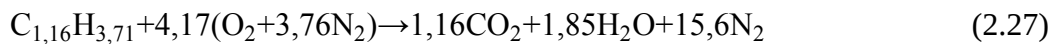
2.9. CO₂ Salınım Miktarı Hesabı

Fosil yakıtlardan olan kömürün, içinde ihtiva eden C oranına göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. İçinde %85 oranında C bulunan kömür için yaklaşık formül ve yanma reaksiyonu Eşitlik 2.25 ile gösterilmiştir. Buna göre 1 kmol C₁₃₅H₉₆O₉NS (kömür) yanması sonucu 135 kmol CO₂ ile 1 kmol NO₂ ve 1 kmol SO₂ açığa çıkmaktadır. Bir maddenin kütlesini (m) ifade ederken, mol kütlesi ile mol (n) miktarının çarpımını veren Eşitlik 2.26'dan faydalanılır.



$$m = n \times M \quad (2.26)$$

Doğal gazı oluşturan bileşenlerin çoğunluğunu (%70 ile 90) metan gazı (CH₄) adı verilen hidrokarbon bileşiği oluşturur. Diğer mevcut bileşenler ise etan, propan ve bütan gazlarıdır. Doğal gazın bileşimini metan (CH₄) minimum %85, etan (C₂H₆) maksimum %7, propan (C₃H₈) maksimum %3, bütan (C₄H₁₀) maksimum %2 olarak kabul edersek hacimsel olarak yaklaşık kapalı formülünü tespit edebiliriz. CH₄= 0,85 nm³/ nm³, C₂H₆= 0,07 nm³/ nm³, C₃H₈= 0,03 nm³/ nm³, C₄H₁₀= 0,02 nm³/ nm³ buna göre C ve H oranları yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanır. C=1×0,85+2×0,07+3×0,03+4×0,02=1,16; H=4×0,85+2×0,07+3×0,03+4×0,02=3,71. Böylece doğal gazın yaklaşık kapalı formülü Eşitlik 2.27 ile C_{1,16}H_{3,71} olarak elde edilir. Doğal gazın yanması için belirli oranda hava ile karışması gerekir. Hava içerisinde oksijen (%21) ve azot (%78) miktarı diğer bileşenlere oranla daha fazladır. 1 kmol doğal gazı yalnızca metan olarak ele alırsak yanma reaksiyonu Eşitlik 2.28 ile ifade edilir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada Erzurum ili iklim şartları altında olduğu kabul edilen örnek bir müstakil yapı için hesaplamalarda kullanılacak veriler belirlenmiştir. Hesaplamalarda ısı köprüsü ve yoğunlaşma gerçekleşmeyecek şekilde önlem alındığı kabul edilmiştir.

Binanın ebatları dıştan dışa ölçümlere göre yüksekliği 3,5 metre, eni 5 metre ve boyu 10 metredir. Ayrıca sahip olduğu dış duvar, tavan, döşeme ve pencere gibi dış ortam ile temas halinde olan yapı elemanlarının alanları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örnek binanın ısı kaybeden yüzey alanları ve brüt hacmi hesap değerleri

Toplam pencere alanı	$A_p = 15 \text{ m}^2$
Toplam kapı alanı	$A_k = 0,9 \times 2,4 = 2,16 \text{ m}^2$
Toplam dış duvar alanı	$A_D = (3,5 \times 5 \times 2 + 3,5 \times 10 \times 2) - (A_p + A_k) = 87,84 \text{ m}^2$
Tavan alanı	$A_T = 5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$
Döşeme alanı	$A_t = 5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$
Bina ısı kaybeden toplam yüzey alanı	$A_{top} = 205 \text{ m}^2$
Binanın toplam brüt hacmi	$V_{brüt} = 3,5 \times 5 \times 10 = 175 \text{ m}^3$

Bina oda yüksekliği 2,6 m seçilmiştir ve bu sebeple hesaplamada A_n değeri dikkate alınacaktır. Pencere sistemi olarak U_p için **EK 2**’den plastik doğrama (3 odacıklı) çift camlı ara boşluk 12 mm olan 2,8 değeri alınmıştır. Dış kapı U değeri 4 olacak şekilde TS 2164’ten alınmıştır. Bina konut olarak kullanıldığı için T_i değeri **EK 3A**’dan 19°C alınmıştır. Erzurum ili **EK 4**’e göre 4. Bölgede yer almakta ve bu sebeple T_d değerleri **EK 3B**’deki 4. Bölge değerleri kullanılacaktır.

Bina için duvarlarda dıştan ısı yalıtım sistemi kullanılmıştır. Duvarda kullanılan ısı yalıtım sistemi Çizelge 3.2 ile açıklanmıştır. Tavanda kullanılan ısı yalıtım sistemi Çizelge 3.3 ile açıklanmıştır. Döşemede kullanılan ısı yalıtım sistemi Çizelge 3.4 ile açıklanmıştır. Bu çalışmada tasarımda kullanılan ısı yalıtım malzemesinin cinsi ve kalınlığı değiştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnek bina dış duvar için tasarlanmış dıştan yalıtım sistemi

Malzeme Adı	Isı iletkenlik değeri λ_h [W/(mK)]	Yapı bileşeni kalınlığı [m]
Kireç -çimento harcı	1	0,02
Tuğla duvar	0,5	0,19
Isı Yalıtım malzemesi	-	-
Kireç -çimento harcı	1	0,03

Çizelge 3.3. Örnek bina tavan için tasarlanmış yalıtım sistemi

Malzeme Adı	Isı iletkenlik değeri λ_h [W/(mK)]	Yapı bileşeni kalınlığı [m]
Kireç -çimento harcı	1	0,02
Donatısız Beton	1,65	0,15
PVC örtü	0,19	0,003
Isı Yalıtım malzemesi	-	-
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,19	0,003
Donatısız Beton	1,65	0,03

Çizelge 3.4. Örnek bina döşeme için tasarlanmış yalıtım sistemi

Malzeme Adı	Isı iletkenlik değeri λ_h [W/(mK)]	Yapı bileşeni kalınlığı [m]
Sentetik kaplama	0,23	0,02
Çimento harçlı şap	1,4	0,03
Isı Yalıtım malzemesi	-	-
Polimer bitümlü su yalıtım örtüleri	0,19	0,003
Çimento harçlı şap	1,4	0,05
Gözeneksiz agregalar beton	0,81	0,10

3.1. Örnek Bina Özgül Isı Kaybı (XPS 5cm)

Isı yalıtım malzemesi olarak XPS ve yalıtım kalınlığı 5 cm seçilmiştir. Bu duruma göre hesaplama yapılmıştır. Burada XPS için ısı iletkenlik değeri 0,035 W/(mK) olarak alınmıştır.

Eşitlik 2.7 ile her yapı elemanının U değerleri elde edilir. U_D , U_T , U_t için sırasıyla 0,493 W/(m²K), 0,568 W/(m²K) ve 0,530 W/(m²K) değerleri hesaplanmıştır. U_P ve U_K için standart olarak sırasıyla 2,8 W/m²K ve 4 W/(m²K) değerleri alınmıştır. Çizelge 3.1'deki alan değerleri ve hesaplanan U değerleri Eşitlik 2.4'te yerine yazıldığında $\sum AU = 129,96$ (W/K) elde edilir ve bu değer Eşitlik 2.3'te yerine yazıldığında iletim ve taşınım yoluyla meydana gelen ısı kaybı $H_i = 129,96$ (W/K) değeri elde edilir.

Binada doğal havalandırma yapılmaktadır bu sebeple havalandırmadan kaynaklı ısı kaybı hesabı için Eşitlik 2.5 kullanılır. Burada öncelikle V_h değeri Eşitlik 2.6 ile hesaplanır. Bunun için $V_{brüt}$ değeri Çizelge 3.1'den alınır ve tüm veriler eşitliklere yazıldığında havalandırılan hacim $V_h=140$ (m³) ile havalandırmadan kaynaklı ısı kaybı $H_h= 36,96$ (W/K) sonuçları elde edilir.

Binanın toplam özgül ısı kaybı değeri için elde edilen H_i ve H_h değerleri Eşitlik 2.2'de yerine yazılır ve bina toplam özgül ısı kaybı değeri $H = 166,92$ (W/K) olarak elde edilir.

Binanın XPS için 5 cm özgül ısı kaybı değeri **EK 5**'deki örnek çizelgeye göre yapılan hesaplamalar doğrultusunda doldurulmuştur ve **EK 7**'deki çizelge elde edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak olan farklı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları ele alındığında, XPS için 8 cm ve 13,8 cm, EPS için 14,6 cm ve cam yünü için 15,8 cm yalıtım kalınlıklarına göre hesaplanan bina özgül ısı kaybı değerleri çizelgeler halinde sırasıyla **EK 9**, **EK 11**, **EK 13** ve **EK 15** olarak verilmiştir. Ayrıca binanın yalıtımsız halinin özgül ısı kaybı değeri hesabı **EK 17** olarak verilmiştir.

3.2. Örnek Bina Yıllık Isıtma Enerji İhtiyacı (XPS 5 cm)

Bina konut olarak kullanıldığı için iç ortam sıcaklık (T_i) değeri **EK 3 A**'dan 19°C olarak alınır. Erzurum ili **EK 4**'e göre 4. Bölgede yer almakta ve bu sebeple ortalama dış sıcaklık (T_d) değerleri **EK 3 B**'deki 4. Bölge değerleri kullanılacaktır. Bina konut amaçlı kullanıldığı için iç ısı kazancı hesabı Eşitlik 2.9'a göre yapılır. Burada Eşitlik

2.1'den $A_n = 56 \text{ (m}^2\text{)}$ değeri elde edilir ve Eşitlik 2.9'da A_n yerine yazılarak iç ısı kazancı $\phi_{i,ay} = 280 \text{ (W)}$ elde edilir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları Eşitlik 2.11 ile hesaplanır. Denklem içinde bulunan parametre değerleri, yakınlarında üç kata kadar olan az katlı ve ayırık binalar bulunuyorsa şartına göre verilmiş olan $r_{i,ay}$ için 0,8 değeri seçilmiştir. Eşitlik 2.12'de kullanılacak olan çok katlı cam g_n parametresi için 0,75 değeri seçilmiştir ve $g_{i,ay} = 0,6$ olarak hesaplanmıştır. $I_{i,ay}$ değeri herhangi bir ay için Çizelge 2.5.'ten alınır. A_i değerleri için veriler $A_{güney}$, A_{kuzey} , $A_{batı}$ ve $A_{doğu}$ pencere alanları sırasıyla 8, 2, 2 ve 3 m^2 olacak şekildedir. Eşitlik 2.11 ile ocak ayı için ortalama güneş enerjisi kazancı $\phi_{g,ocak} = 404,64 \text{ (W)}$ olarak hesaplanmıştır.

Sıradaki işlemde KKO değeri Eşitlik 2.13 ile $KKO_{ocak} = 0,17$ değeri elde edilmiştir. Kazanç kullanım faktörü değeri Eşitlik 2.14 ile $\eta_{ocak} = 0,997$ olarak hesaplanmıştır.

Buraya kadar elde edilen veriler Eşitlik 2.15'te yerine yazıldığı zaman ocak ayı için ısıtma enerjisi miktarı $Q_{ocak} = 8\,787\,042 \text{ (kJ)}$ hesaplanmıştır. Bu işlemler her ay için teker teker uygulanarak Eşitlik 2.16'daki yıllık ısıtma enerji miktarı $Q_{yıl} = \sum Q_{ay} = 42\,065\,463 \text{ (kJ)} = 11\,694,2 \text{ (kWh)}$ olarak elde edilir.

Bina için kullanım alanı (A_n) başına düşen yıllık ısıtma enerjisi miktarı, $Q = Q_{yıl} / A_n = 208,8 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$ 'dir. Oda yüksekli 2,6 m olduğu için hesaplamalar A_n ile ilişkilidir. Binanın $A_{top} / V_{brüt}$ değeri 1,17 olduğu için gereken ısı miktarı (Q') **EK1 B**'ye göre $Q' = 137,6 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$ olarak tespit edilir. $Q < Q'$ şartını sağlamadığından kullanılan yalıtım malzemesi yetersiz bulunmuştur ve bu ısı yalıtım sistemi standarda uygun yapılmamıştır.

Tüm aylar için yapılan bu işlemler **EK 6**'daki örnek çizelgeye göre doldurulup XPS 5 cm için **EK 8**'deki çizelge oluşturulmuştur. Hesaplamalarda kullanılacak olan farklı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları ele alındığında, XPS için 8 cm ve 13,8 cm, EPS için

14,6 cm ve cam yünü için 15,8 cm yalıtım kalınlıklarına göre hesaplanan yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı çizelgeler halinde sırasıyla **EK 10**, **EK 12**, **EK 14** ve **EK 16** olarak verilmiştir. Ayrıca binanın yalıtımsız halinin yıllık ısıtma enerjisi hesabı **EK 18** olarak verilmiştir.

3.3. Örnek Bina Yıllık Enerji Maliyeti Hesabı (XPS 5 cm) ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Binanın dış duvar yalıtımsız halinin ısıl direnci için TS 825 hesap metodu sonucu **EK 5**'de 3 numaralı sütunda bulunan $R_D = 0,6 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ değeri elde edilmiştir. Derece gün değeri Erzurum için 4 870 olarak alınmıştır (Bakırcı vd 2008). Faiz oranı (i) değeri %8,75 ve enflasyon oranı (g) %8,53 değerindedir. Yatırım ömrü için 10 yıl kabul edilmiştir. Ayrıca hesaplamada kullanılacak yakıt türlerinin hesaplama verileri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Farklı yalıtım malzemelerinin birim fiyatları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hesaplamalarda kullanılan yakıtlar (Anonim 2016e)

Yakıt türü	Alt ısıl değeri	Verimi	Birim fiyatı
Doğal gaz	34 518 000 [J/m ³]	0,90	0,932924 [TL/m ³]
İthal Kömür	25 104 000 [J/kg]	0,65	0,762712 [TL/kg]

Çizelge 3.6. Hesaplama kullanılan yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması

Yalıtım malzemesi	Isı iletim katsayı değeri [W/(mK)]	Birim fiyatı [TL/m ³]
XPS	0,035	150
EPS	0,037	135
Cam Yünü	0,040	130

Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'daki değerlerden yararlanarak XPS 5 cm için yalıtım maliyeti, Eşitlik 2.17'ye göre işçilik bedeli (M_i) 20 TL/m² kabul edilerek 5 165,6 TL olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 2.18'e göre yıllık yakıt maliyeti doğal gaz kullanılırsa 1 263 TL, kömür kullanıldığında 1 966 TL değerleri elde edilmektedir. Bu değerler

yalıtımsız bina için doğal gaz kullanıldığında 3 720 TL ve kömür kullanıldığında 5 790 TL olmaktadır. Bu durumda XPS 5 cm yalıtım uygulaması Eşitlik 2.19'a göre yakıt olarak doğal gaz tercihinde 2 457 TL ve kömür tercihinde 3 824 TL yakıt maliyetinden tasarruf etmektedir. NBD yöntemine göre Eşitlik 2.21 ile XPS 5 cm için elde edilen tasarruf miktarları düzenlendiğinde, faiz oranı da %8,75 kabul edildiğinde GÖS doğal gaz kullanımında 2,43 yıl ve kömür kullanımında 1,51 yıl olarak tespit edilmiştir. Yani tasarruf miktarlarının NBD'leri hesaplandıktan sonra bu değerlerin toplamalarının yatırım maliyetine denk geldiği süre GÖS'ü ifade etmektedir. Bu işlem Çizelge 3.7. ile gösterilmiştir. Burada doğal gaz kullanıldığında 3 yıl ve kömür kullanıldığında 2 yıl içinde tasarruf miktarının NBD toplamı yatırım maliyetini geri ödediği görülmektedir.

Çizelge 3.7. NBD yöntemi ile GÖS belirlenmesi

Yıl	Yatırım maliyeti [TL]	Doğal gaz			Kömür		
		Tasarruf miktarı [TL]	Faiz oranı	NBD [TL]	Tasarruf miktarı [TL]	Faiz oranı	NBD [TL]
0	-5 165,6	-			-		
1	-	2 457	0,0875	2 259,3	3 824	0,0875	3 516,3
2	-	2 457	0,0875	2 077,5	3 824	0,0875	3 233,4
3	-	2 457	0,0875	1 910,3			
	-5 165,6			6 247,1			6 749,7
				1 081,5			1 584,1

Yalıtımsız bina ve XPS için 5 cm ile 8 cm kalınlıklara göre, ayrıca TS 825 ile elde edilen XPS, EPS ve cam yünü için asgari yalıtım kalınlıklarına göre hesaplanan maliyet analiz sonuçları ve geri ödeme süreleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Doğal gaz veya kömür kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü için maliyet analiz değerleri ve GÖS

Yalıtım kalınlıkları	Yalıtım maliyeti [TL]	Doğal gaz			Kömür		
		Yakıt maliyeti [TL]	Net tasarruf [TL]	GÖS [yıl]	Yakıt maliyeti [TL]	Net tasarruf [TL]	GÖS [yıl]
Yalıtımsız	-	3 720	-	-	5 790	-	-
XPS (5 cm)	5 165,6	1 263	2 457	2,43	1 966	3 824	1,51
XPS (8 cm)	6 010,8	1 026	2 694	2,60	1 597	4 193	1,61
XPS (13,8 cm)	7 645,0	831	2 889	3,14	1 294	4 496	1,92
EPS (14,6 cm)	7 459,0	831	2 889	3,05	1 294	4 496	1,88
Cam yünü (15,8 cm)	7 615,0	831	2 889	3,13	1 294	4 496	1,91

Eşitlik 2.24 ile $\text{ŞDF}=8,53$ olarak hesaplanmıştır. XPS yalıtım malzemesi için Eşitlik 2.22 ile doğal gaz kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı $d_{\text{opt}} = 0,137$ m ve kömür kullanıldığında $d_{\text{opt}} = 0,176$ m değerleri elde edilmiştir. EPS ve cam yünü için optimum yalıtım kalınlıkları ve bunlara bağlı maliyet hesaplamaları ile GÖS değerleri Çizelge 3.9. ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. Doğal gaz veya kömür kullanıldığında optimum yalıtıma göre XPS, EPS ve cam yünü için maliyet analiz değerleri ve GÖS

Yalıtım malzemesi	Doğal gaz					Kömür				
	Yalıtım maliyeti [TL]	Optimum yalıtım kalınlığı [m]	Yakıt maliyeti [TL]	Net tasarruf [TL]	GÖS [yıl]	Yalıtım maliyeti [TL]	Optimum yalıtım kalınlığı [m]	Yakıt maliyeti [TL]	Net tasarruf [TL]	GÖS [yıl]
XPS	7 616,9	0,137	834	2 886	3,13	8 715,7	0,176	1 196,8	4 593,2	2,17
EPS	7 535,2	0,149	825	2 895	3,08	8 625,6	0,192	1 185,5	4 604,5	2,14
Cam yünü	7 615,0	0,158	831	2 889	3,13	8 713,9	0,203	1 193,5	4 596,5	2,16

3.4. Örnek Bina Yıllık CO₂ Salınım Miktarı Hesabı (XPS 5 cm)

Yakıt olarak kömür kullanıldığında Eşitlik 2.25'e göre açığa çıkan gazları oluşturan elementlerin molekül ağırlıkları (M) C=12, O=16, N=14 ve S=32 kg/kmol olarak kabul edildiği zaman, bileşimlerin molekül ağırlıkları Eşitlik 2.26 ile CO₂=44, NO₂=46 ve SO₂=64 kg/kmol olarak hesaplanır. Bu sayede 1 kmol kömürün yanması sonucu açığa çıkan gazların kütle cinsinden değerleri CO₂=5 940, NO₂=46 ve SO₂=64 kg olarak

hesaplanmıştır. Ayrıca 1 kg kömür tam yandığı zaman İGDAŞ verilerine göre 25 104 kJ enerji açığa çıkmaktadır. Hesaplamalarda kullanılacak olan kömürün yanma verimi %65 olduğu için açığa çıkacak olan CO₂ miktarı hesabı Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Hesaplamada kullanılacak olan kömürün yanma sonucu açığa çıkardığı gaz miktarları

Kömür yanma verimi	0,65	Birimsiz
Kömür alt ısı değeri	25 104	kJ/kg
1 kmol kömürden açığa çıkan CO ₂ miktarı	5 940	kg
1 kg kömürden açığa çıkan CO ₂ miktarı	3,11	kg
1 kmol kömürden açığa çıkan NO ₂ miktarı	46	kg
1 kmol kömürden açığa çıkan SO ₂ miktarı	64	kg

Eşitlik 2.28'e göre 1 kmol metanın yanması sonucu 1 kmol CO₂ açığa çıkmaktadır ve bunu kütle cinsinden ifade ettiğimiz zaman 44 kg CO₂ ortaya çıktığı hesaplanmıştır. Eğer doğal gazı Eşitlik 2.27'deki hacimsel karşım olarak ele alırsak 1,16 kmol CO₂ yani 51,04 kg CO₂ ortaya çıkmaktadır. Doğal gazın tam yanması ile bu değerler ortaya çıkmaktadır. Ancak doğal gaz yaklaşık olarak %90 verim ile yanar. Buna göre elde edilen hesaplama değerleri Çizelge 3.11.'de belirtilmiştir. Ayrıca 1 kmol doğal gaz yaklaşık olarak 22,4 m³ doğal gaza tekabül etmektedir. 1 m³ doğal gazın yanması sonucu açığa çıkan alt ısı değeri yaklaşık olarak İGDAŞ verilerine göre 34 518 kJ/m³'dür.

Çizelge 3.11. Hesaplamada kullanılacak olan doğal gazın yanma sonucu açığa çıkardığı gaz miktarları

Doğal gaz yanma verimi	0,90	Birimsiz
Doğal gaz alt ısı değeri	34 518	kJ/m ³
1 kmol doğal gazdan açığa çıkan CO ₂ miktarı	(CH ₄) 44 - (C _{1,16} H _{3,71}) 51,04	kg
1 m ³ doğal gazdan açığa çıkan CO ₂ miktarı	(CH ₄) 1,96 - (C _{1,16} H _{3,71}) 2,27	kg

Bu hesaplamalara göre yalıtım malzemesi XPS için 5 cm kalınlık kullanıldığı zaman, yakıt olarak kömür veya doğal gaz kullanıldığında, binanın yıllık ısıtma ihtiyacına göre açığa çıkan CO₂ salınım miktarı Çizelge 3.12'de gösterilmiştir. Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını kömürün kg başına açığa çıkardığı enerjiye ya da doğal gazın m³ başına çıkardığı enerjiye bölerek yıllık kömür veya doğal gaz tüketimleri elde edilir. Bu

değerler kömür ve doğal gaz için sırasıyla kg ve m³ başına çıkardıkları CO₂ salınım miktarlarıyla çarpıldığında, XPS (5 cm) için kömür ve doğal gaza göre CO₂ salınım miktarları elde edilir.

Çizelge 3.12. XPS 5 cm için kömür ve doğal gaza göre açığa çıkan CO₂ salınım miktarlarının hesabı

XPS (5 cm) yıllık ısıtma ihtiyacı [kJ-yıl]	1 m ³ doğal gazın açığa çıkardığı enerji [kJ/m ³]	Yıllık doğal gaz tüketimi [m ³ /yıl]	1 m ³ doğal gazın açığa çıkardığı CO ₂ miktarı [kg/m ³]	CO ₂ salınım miktarı [kg/yıl]
42 065 463	0,90×34 518=31 066,2	1 354,05	1,96 (CH ₄)	2 653,94
	1 kg kömürün açığa çıkardığı enerji [kJ/kg]	Yıllık kömür tüketimi [kg/yıl]	1 kg kömürün açığa çıkardığı CO ₂ miktarı [kg CO ₂ /kg kömür]	CO ₂ salınım miktarı [kg/yıl]
	0,65×25 104=16 317,6	2 577,92	3,11	8 017,33

Bu hesaplama XPS, EPS ve cam yünü için farklı kalınlıklara uygulandığında elde edilen sonuçlar Çizelge 3.13’de toplanmıştır. Böylece farklı yalıtım malzemeleri için farklı kalınlıklara ve farklı yakıtlara göre açığa çıkan CO₂ miktarları tespit edilmiştir.

Çizelge 3.13. XPS, EPS ve cam yünü için kömür ve doğal gaza göre açığa çıkan CO₂ salınım miktarları

Yalıtım Malzemesi	Kömür kullanıldığında açığa çıkan CO ₂ miktarı [kg CO ₂ /kg kömür]	Doğal gaz kullanıldığında açığa çıkan CO ₂ miktarı [kg/m ³]
Yalıtımsız	23 609,1	7 815,2
XPS (5 cm)	8 017,3	2 653,9
XPS (8 cm)	6 512,7	2 155,9
XPS (13,8 cm)	5 279,8	1 747,7
EPS (14,6 cm)	5 278,3	1 747,3
Cam yünü (15,8 cm)	5 276,5	1 746,6

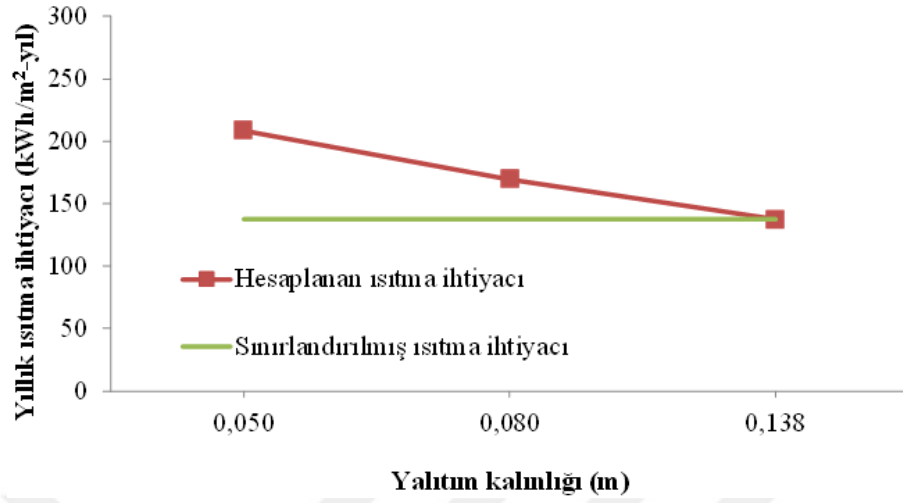
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan hesaplama metoduna göre XPS malzemesi için 5 cm, 8 cm ve 13,8 cm yalıtım kalınlıkları için hesaplamalar sırasıyla **EK 7, EK 8, EK 9, EK 10, EK 11** ve **EK 12**'de bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1. ile gösterilmiştir. Şekil 4.1'de yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak bina yıllık ısıtma enerji ihtiyacının azaldığı görülmektedir. Buradan çıkarılan sonuca göre yalıtım malzemesi XPS 8 cm kullanıldığında 5 cm kalınlığa göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı %19 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Eğer yalıtım kalınlığı XPS için 13,8 cm kullanılırsa yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 5 cm kalınlığa göre %35,8 cm kalınlığa göre %19 daha az olduğu anlaşılmaktadır.

Erzurum ilinde bulunan örnek bina için TS 825 Standardı 2008 revizyonu hesap yöntemine göre bu binanın sınırlandırılmış ısıtma kaybı miktarı 137,6 (kWh)/m²-yıl'dır. Yalıtım malzemesi XPS için 0,138 m kalınlık kullanıldığı zaman bina için hesaplanan yıllık ısıtma ihtiyacı değeri, standardın sınırlandırmış olduğu değer altındadır. Bu sebeple bu değer TS 825 Standardına göre uygun bir projedir. Ayrıca sınırlandırılmış değere oldukça yakın bir sonuç çıkması XPS için bu kalınlığın asgari yalıtım kalınlığı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Farklı kalınlıklardaki XPS için yapılan hesaplamaların standarda uygunluğu

XPS kalınlığı [m]	Hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh/m ² -yıl]	Sınırlandırılan ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh/m ² -yıl]	Yalıtım sistemi
0,050	208,80	<137,6	Uygun değil
0,080	169,64		Uygun değil
0,138	137,52		Uygun

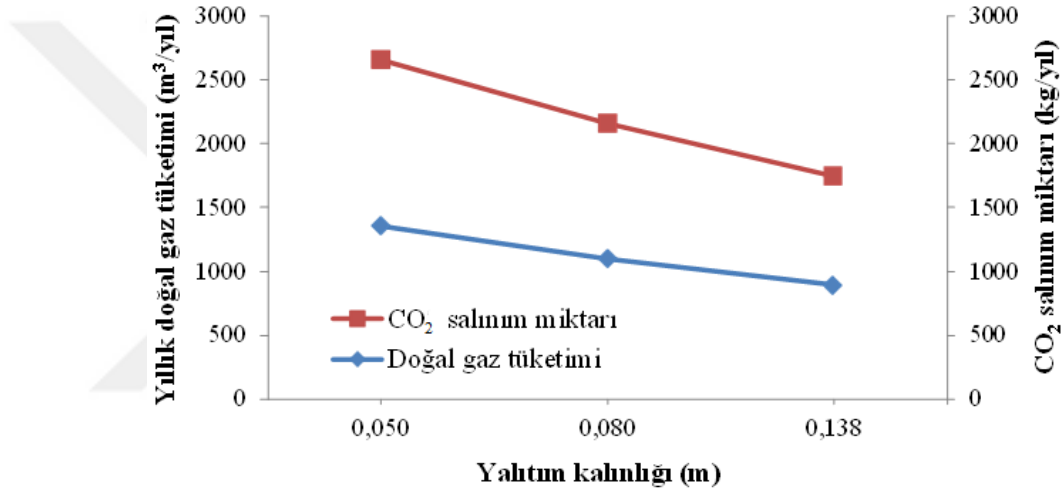


Şekil 4.1. XPS malzemesinin farklı kalınlıklarına göre yıllık ısıtma ihtiyacının karşılaştırılması

Farklı kalınlıktaki XPS malzemesi için yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında açığa çıkan CO₂ miktarları Çizelge 4.2’de belirtilmiştir. Çizelge 2.9’dan doğal gaz için belirtilen CO₂ salınım miktarının her yalıtım kalınlığı için hesaplanan yıllık doğal gaz tüketim miktarı ile çarpımı bize yıllık CO₂ salınım miktarlarını verecektir. Şekil 4.2. yalıtım kalınlığının artışına bağlı olarak yıllık doğal gaz tüketim miktarının azaldığını ayrıca yakıt tüketim miktarı azaldığından dolayı yıllık CO₂ salınım miktarının da azaldığını ifade etmektedir. Buradan şu anlaşılmaktadır ki, ısı yalıtım sistemlerindeki yalıtım kalınlığı ile yakıt tüketimini kontrol altına alabiliriz. Dolayısıyla hem yakıttan hem maliyetten tasarruf edilir hem de çevreye atılan zararlı gazların miktarında düşüş sağlanmış olunur. Bu durumu en uygun şartlar altına alabilmek için optimum yalıtım kalınlığı uygulanmalıdır. Binanın yalıtımsız durumuna göre XPS için 0,138 m asgari yalıtım kalınlığı kullanıldığı zaman CO₂ salınım miktarı 8 cm XPS’ye göre %19 ve 5 cm XPS’ye göre %35 oranında azalmaktadır. Bu sayede zararlı gazların sebep olduğu olumsuz çevresel etkileri daha düşük seviyelere çekmiş oluruz.

Çizelge 4.2. Doğal gaz kullanıldığında farklı kalınlıktaki XPS malzemesi için yıllık doğal gaz tüketimi ve CO₂ salınım miktarı

XPS kalınlığı [m]	Hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı [kJ/yıl]	1 m ³ doğal gazın açığa çıkardığı enerji [kJ/m ³]	Yıllık doğal gaz tüketimi [m ³ /yıl]	Doğal gazın açığa çıkardığı CO ₂ miktarı [kg/m ³]	CO ₂ salınım miktarı [kg/yıl]
0,050	42 065 463	0,90×34 518=31 066,2	1 354,05	1,96 (CH ₄)	2 653,94
0,080	34 171 176		1 099,94		2 155,89
0,138	27 702 198		891,72		1 747,77



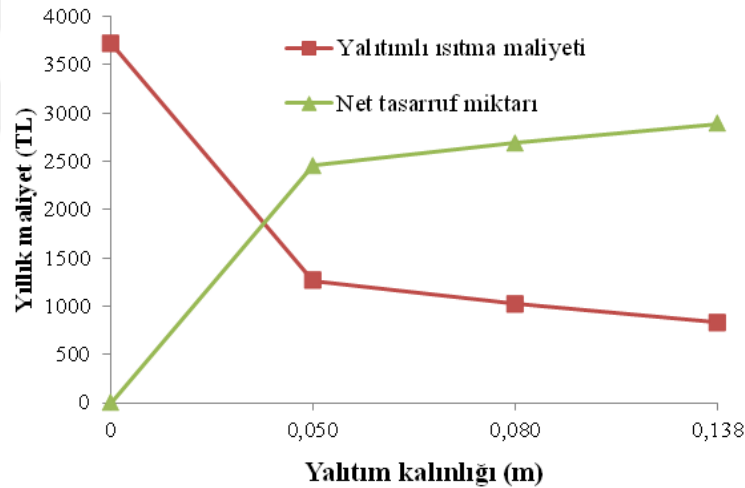
Şekil 4.2. Doğal gaz kullanıldığında farklı kalınlıklardaki XPS için ortama salınan CO₂ miktarı

Farklı XPS yalıtım kalınlıklarına göre ve yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında yıllık maliyet hesapları ve geri ödeme süreleri Çizelge 4.3'te belirtilmiştir. Yalıtım kalınlığının artması ilk yatırım maliyetinde artışa sebep olur ama yakıttan kazanç sağladığı için yakıt maliyeti yalıtımsız duruma göre daha düşüktür. Şekil 4.3. yalıtım kalınlığına bağlı olarak yıllık yakıt maliyeti ve net tasarruf üzerindeki değişimi ifade etmektedir. Yalıtım kalınlığının artması ile yıllık yakıt maliyeti azalır. Bu durum yalıtımsız maliyet ile kıyaslandığında yıllık net tasarruf miktarında artış olduğunu göstermektedir. Belirli bir yalıtım kalınlığından sonra yıllık net tasarruf grafiğindeki artış seviyesi durağan hale gelir ve daha sonra azalmaya başlar. Çünkü yalıtım kalınlığının artması yalıtım maliyetini dolayısıyla genel maliyeti arttırır. Bu dengeyi

optimum yalıtım kalınlığı en uygun seviyeye getirmektedir. Isı yalıtım sistemi için optimum yalıtım kalınlığı maliyetin en düşük ve yıllık kazancın en fazla olduğu durumdur. TS 825 Standart hesap metoduna göre hesaplanan asgari yalıtım kalınlığı XPS için 0,138 m uygulandığında yıllık net tasarruf 2 889 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3. XPS malzemesinin farklı kalınlıklara göre doğal gaz kullanımı durumunda maliyet analizi ve GÖS

XPS kalınlığı [m]	Yalıtımsız yıllık ısıtma maliyeti [TL]	Yalıtım maliyeti [TL]	Yalıtımlı ısıtma maliyeti [TL]	Yıllık net tasarruf miktarı [TL]	GÖS [yıl]
0,050	3 720	5 165,60	1 263	2 457	2,43
0,080		6 010,88	1 026	2 694	2,60
0,138		7 645,00	831	2 889	3,14



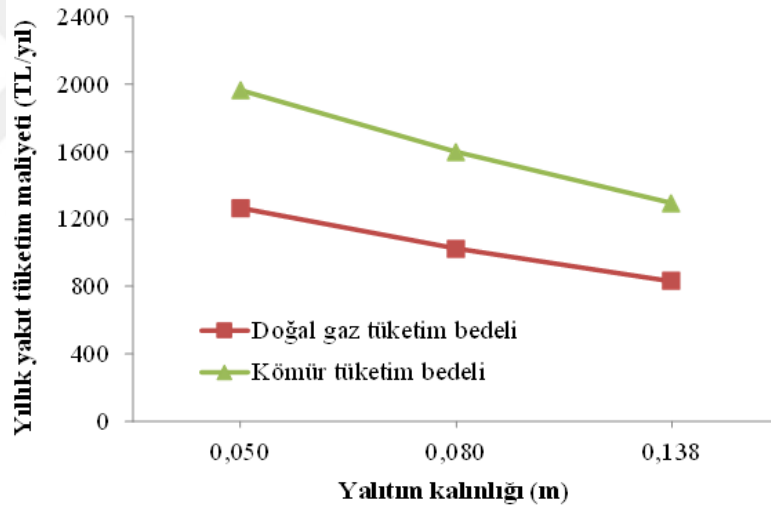
Şekil 4.3. Doğal gaz kullanıldığında XPS malzemesinin farklı kalınlıkları için yıllık net tasarruf miktarı ve yalıtımlı ısıtma maliyeti karşılaştırması

XPS malzemesinin farklı kalınlıklarda kullanımı için doğal gaz ve kömür tüketiminin yıllık maliyet hesaplamaları Çizelge 4.4'te belirtilmiştir. Şekil 4.4 yalıtım kalınlığı artışına bağlı olarak yıllık yakıt maliyetinin azaldığını ifade etmektedir. Yalıtım kalınlığının artışı ilk yatırım maliyetini artırıcı bir etkiye sahip olmakla birlikte aynı zamanda yakıt tüketimini azaltmaktadır. Hesaplama kullanılan yakıtlar karşılaştırıldığı zaman, doğal gazın birim fiyatının kömüre göre yüksek olmasına rağmen doğal gazın yıllık tüketim bedeli kömüre göre daha hesaplı çıkmıştır. Bunun

sebebi doğal gazın hem yanma veriminin hem de alt ısı değerinin kömüre göre daha yüksek olmasıdır. Bu sayede doğal gazı birim miktar açısından kömüre göre daha az kullanılmasına rağmen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacını sağlayabilmektedir.

Çizelge 4.4. Farklı kalınlıktaki XPS için doğal gaz ve kömür tüketiminin yıllık maliyeti

XPS Kalınlığı [m]	Doğal gaz birim fiyatı [TL/m ³]	Kömür birim fiyatı [TL/kg]	Doğal gaz alt ısı değeri [kJ/m ³]	Kömür alt ısı değeri [kJ/kg]	Yıllık ısıtma için gerekli enerji Q _{yıl} [kJ/yıl]	Yıllık doğal gaz kullanım maliyeti [TL/yıl]	Yıllık kömür kullanım maliyeti [TL/yıl]
0,050	0,932924	0,762712	0,9×34 518	0,65×25 104	42 065 463	1 263,2	1 966,2
0,080					34 171 176	1 026,2	1 597,2
0,138					27 702 198	831,9	1 294,8



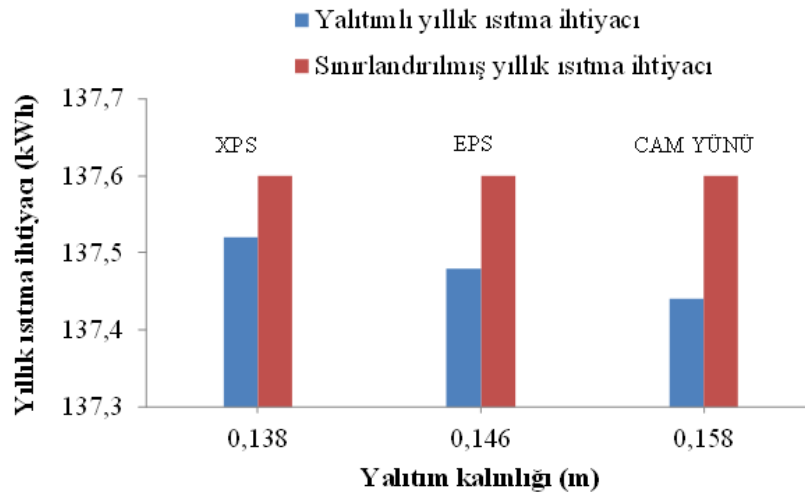
Şekil 4.4. Farklı kalınlıktaki XPS için yıllık yakıt maliyeti karşılaştırması

Isı yalıtımının temel amaçlarından biri, binanın ısıtma enerjisi ihtiyacını TS 825'e göre sınırlandırılmış ısıtma enerjisi ihtiyacının altında bir değer de tutabilmektir. TS 825 Standardı 2008 revizyonuna göre hesaplamalarda kullanılan yalıtım malzemesi XPS, EPS ve cam yünü için hesaplanan uygun yalıtım kalınlıkları Çizelge 4.5'te belirtilmiştir. Bu hesaplamalar sırasıyla **EK 11**, **EK 12**, **EK 13**, **EK 14**, **EK 15** ve **EK 16** olarak verilmiştir. Şekil 4.5 ile Erzurum ilinde bulunan binanın TS 825 Standardında sınırlandırılmış yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına göre XPS, EPS ve cam yünü için sırasıyla 0,138 m, 0,146 m ve 0,158 m asgari yalıtım kalınlıkları ve bu kalınlıklara göre

elde edilen yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı gösterilmiştir. Hemen hemen aynı performansı sergileyen yalıtım malzemeleri arasında, XPS daha az kalınlığa sahiptir bunun sebebi ise ısı iletkenlik değerinin diğer malzemelere göre daha düşük olmasıdır. Yalıtım malzemesinde kalınlığın azalması yalıtım maliyetinin de azalması anlamına gelir. Bu durumda XPS yalıtım kalınlığı açısından diğerlerine göre daha hesaplı görünmektedir ancak yalıtım maliyetini etkileyen diğer bir etkinin de yalıtım malzemesi birim fiyatı olduğu unutulmamalıdır. Her iki parametreyi ele alarak uygun yalıtım maliyeti elde edilmelidir.

Çizelge 4.5. Farklı yalıtım malzemeleri için TS 825 Standardına göre hesaplanan asgari yalıtım kalınlığı değerleri

Yalıtım malzemesi	TS 825 Standardına göre		
	Uygun yalıtım kalınlığı [m]	Hesaplanan ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh/m ² -yıl]	Sınırlandırılan ısıtma enerjisi ihtiyacı [kWh/m ² -yıl]
XPS	0,138	137,52	<137,6
EPS	0,146	137,48	
Cam yünü	0,158	137,44	



Şekil 4.5. Farklı yalıtım malzemelerinin sınırlandırılmış yıllık ısıtmaya göre asgari yalıtım kalınlıkları ve buna bağlı hesaplanan yıllık ısıtma ihtiyacı

XPS, EPS ve cam yünü malzemeleri için kullanılan farklı kalınlıklar ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabında birbirine yakın yalıtım performansı sergilemektedir. Dolayısıyla her

yalıtım malzemesinde kullanılan kalınlık değerleri, ısıtma enerjisi ihtiyacı açısından TS 825'e göre sınırlandırılmış yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacına yakın değerler elde ettiği için bu kalınlıklara asgari yalııtım kalınlığıdır denilebilir. Tıpkı yalııtım malzemesi ve kalınlığı gibi kullanılan yakıt türü de CO₂ salınım miktarına ve yakıt maliyetine etki etmektedir. Çizelge 4.6 doğal gaz ve kömür kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü için asgari yalııtım kalınlığına göre maliyet ve CO₂ salınım miktarını ifade etmektedir. TS 825 hesabına göre benzer yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı performansından dolayı farklı kalınlıklardaki farklı yalııtım malzemelerinin CO₂ salınım miktarları ve yıllık yakıt maliyetlerinde de benzerlik olduğu görülmektedir. Aynı performansı göstermelerine rağmen yalııtım malzemelerinin kalınlıklarının farklı olmasındaki etki ısıl iletkenlik değerindeki farklılıktır. XPS malzemesinin diğerlerine göre daha az kalınlıkta olmasına rağmen aynı etkiyi gösterebilmesi, XPS malzemesinin ısıl iletkenlik değerinin diğerlerine göre daha düşük olmasından kaynaklanır. Bu durumda ısıl iletkenlik değeri az olan malzemelerin, ısı yalııtım projelerinde daha ince kalınlıklarda kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Ayrıca izelge 4.6'da doğal gazın kömüre göre hem maliyet hem de CO₂ salınımı açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bina yalııtlı halde iken yıllık yakıt maliyete göre doğal gaz kullanımı kömürden yaklaşık %36 daha ekonomiktir. Doğal gaz ve kömürün ithal edildiği gerçeğini göz ardı etmezsek, tüketim bedeli daha düşük olduğu için doğal gaz kullanımının tercih edilmesinin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. Dahası yalııtlı binaya göre doğal gazın CO₂ salınım miktarının kömürden yaklaşık %67 daha az olduğu görülmektedir. Bu durum doğal gazın kömüre göre daha temiz bir yakıt olduğunu gösterir. CO₂ gibi zararlı gazların olumsuz etkileri dünyada küresel boyutlara ulaştığı ve bu etkilerin hali hazırda çeşitli antlaşmalar ve bilimsel çalışmalar ile azaltılmaya abalandığı bir gerçektir. Dolayısıyla küresel ısınma, asit yağmurları ve iklim değişiklikleri gibi küresel tehditlere karşı tedbir almak için kömürden ziyade doğal gazın tüketilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. Farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri için elde edilen CO₂ salınım miktarı ve maliyet analizi

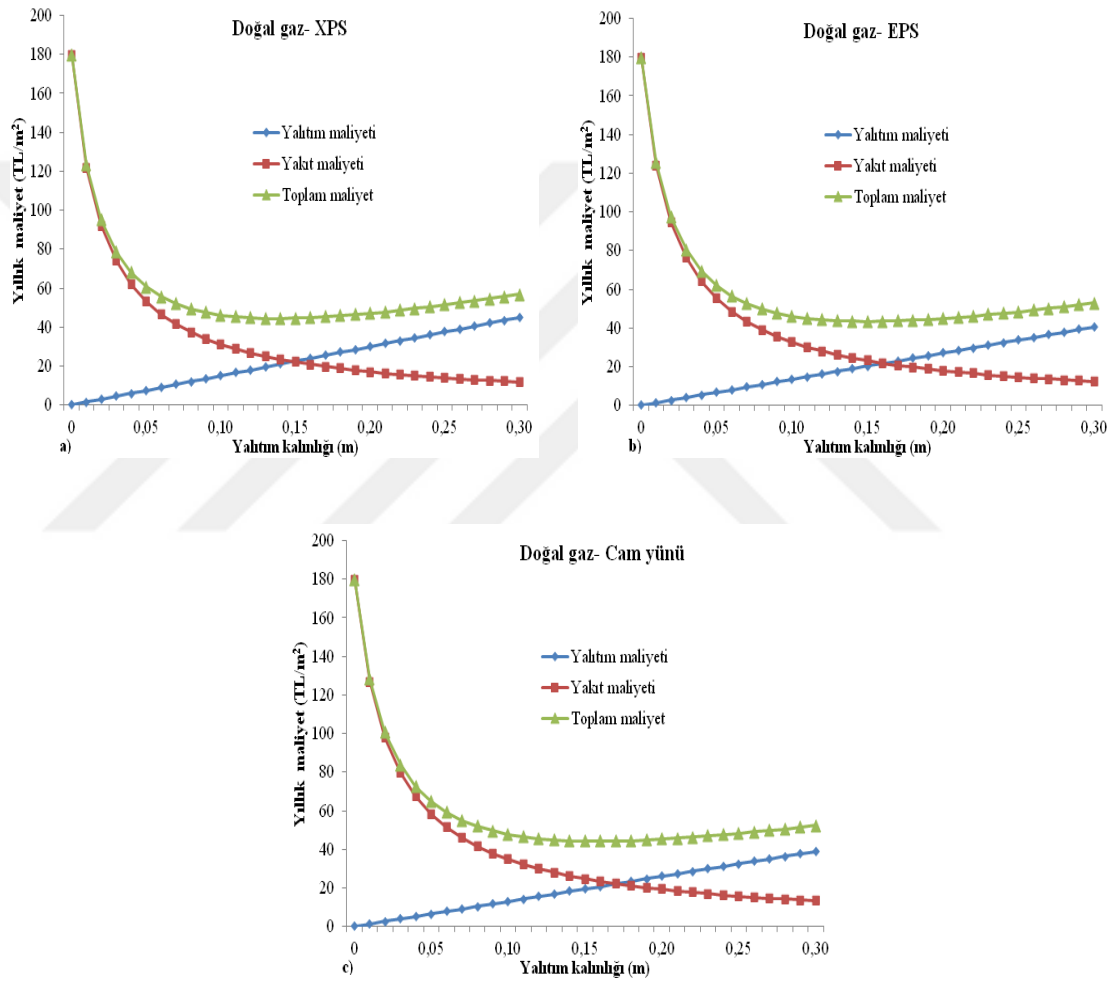
Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı [m]	Hesaplanan yıllık ısıtma [kJ-yıl]	DOĞAL GAZ (CH ₄)		KÖMÜR	
			CO ₂ Salınım miktarı [kg-yıl]	Tüketim bedeli [TL-yıl]	CO ₂ Salınım miktarı [kg-yıl]	Tüketim bedeli [TL-Yıl]
Yalıtımsız	0	123 872 436	7 815,20	3 719,9	23 609,1	5 790
XPS	0,138	27 702 198	1 747,77	831,9	5 279,81	1 294,8
EPS	0,146	27 694 742	1 747,30	831,6	5 278,38	1 294,4
Cam yünü	0,158	27 684 973	1 746,67	831,4	5 276,53	1 294,0

Optimum yalıtım kalınlığı, maliyetin en düşük ve yıllık kazancın en fazla olduğu durumdur. Eşitlik 2.23'e göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı değeri XPS, EPS ve cam yünü için Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Yakıt olarak doğal gaz tercih edilirse yapılan hesaplamalara göre elde edilen optimum yalıtım kalınlıkları TS 825 Standardı hesap yöntemine göre elde edilen asgari yalıtım kalınlıkları ile örtüşmektedir. Yakıt olarak kömür tercih edilirse maliyet analizine göre elde edilen yalıtım kalınlığı değerleri daha yüksek çıkmaktadır. Kömür için elde edilen bu değerler TS 825'e göre uygundur. Fakat bu kalınlıklardan daha düşük değerlerdeki kalınlıkların da uygun olduğu anlaşılmaktadır. Ancak optimum yalıtım kalınlığının maliyet açısından asgari kalınlığa göre uzun vadede daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca TS 825'e göre kömür için asgari yalıtım kalınlığı değeri, maliyet analizine göre hesaplanan değerden daha düşük bir değer olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.7. Farklı yakıt türleri ve farklı yalıtım malzemeleri için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı (d_{opt}), yıllık net tasarruf miktarı (T_{net}) ve geri ödeme süresi (GÖS)

Yakıt	XPS			EPS			Cam yünü		
	d_{opt} [m]	T_{net} [TL]	GÖS [yıl]	d_{opt} [m]	T_{net} [TL]	GÖS [yıl]	d_{opt} [m]	T_{net} [TL]	GÖS [yıl]
Doğal gaz	0,137	2 886	3,13	0,149	2 895	3,08	0,158	2 889	3,13
Kömür	0,176	4 593,2	2,17	0,192	4 604,5	2,14	0,203	4 596,5	2,16

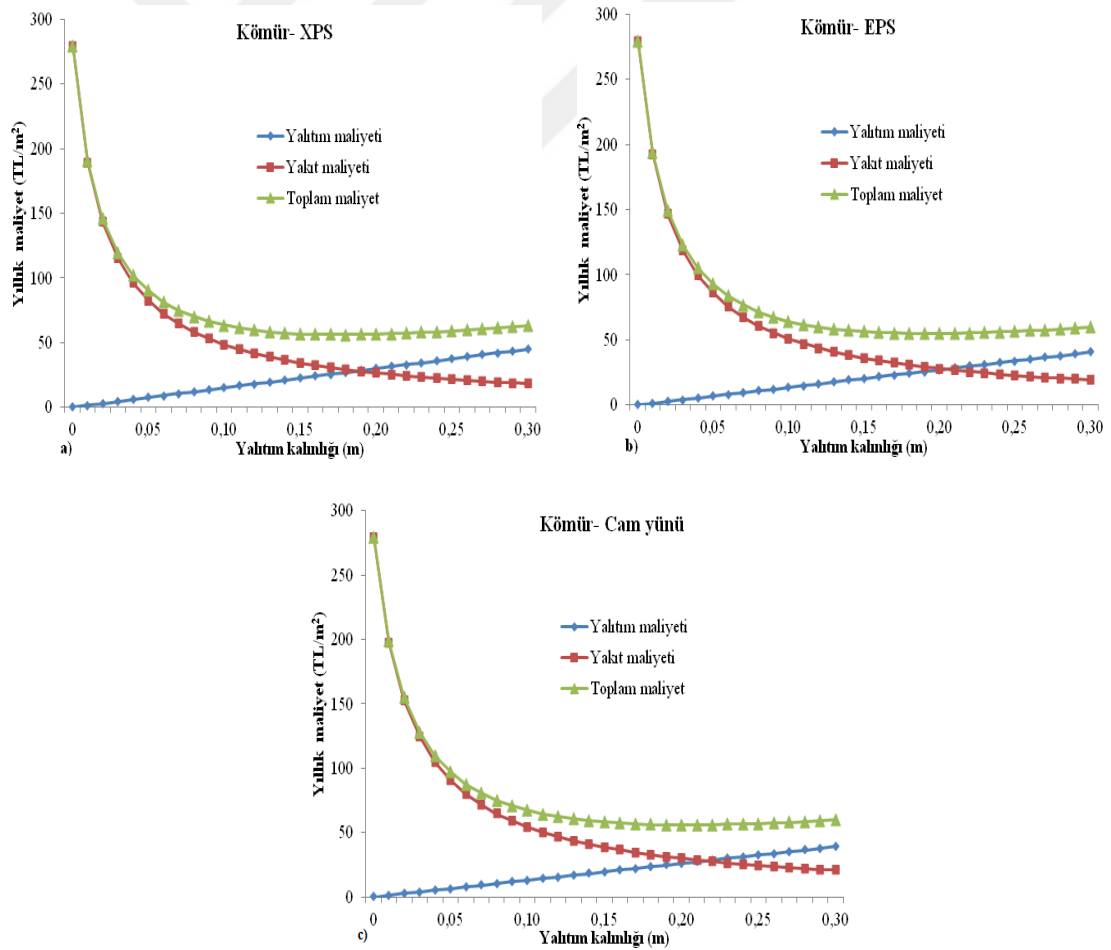
Türkiye'nin tüm illeri için yapılan bir çalışmada doğal gaz kullanımında XPS, EPS ve cam yünü için sırasıyla 0,13 m, 0,10 m ve 0,16 m ayrıca kömür kullanımında bu değerler sırasıyla 0,15 m, 0,12 m ve 0,19 m olarak hesaplanmıştır (Kürekçi vd 2012). Bu tür hesaplamalar güncel fiyatlardan dolayı ve malzemelerin sahip olduğu özelliklere göre değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 4.6. Erzurum'da doğal gaz için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı
a) XPS, b) EPS, c) Cam yünü

Şekil 4.6 hesaplamalar sonucunda Erzurum'da bulunan örnek bina için yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında üç farklı yalıtım malzemesine göre optimum yalıtım kalınlığını gösteren grafiği ifade etmektedir. Burada her yalıtım malzemesi için yalıtım maliyeti yalıtım kalınlığına bağlı olarak lineer bir grafik ortaya koymaktadır. Yalıtım kalınlığı arttıkça yıllık ısıtma miktarı azalır, dolayısıyla yakıt tüketimi de azalır. Böylece

yalıtım kalınlığına bağılı olarak yakıt maliyeti azalmaktadır. Yalıtım kalınlığı artarsa yalıtım maliyeti artar fakat bununla beraber yakıt maliyeti azalır. Yalıtım maliyeti ve yakıt maliyeti toplam maliyeti teşkil eder. Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi toplam maliyet yalıtım kalınlığına bağılı olarak bir azalış göstermektedir. Ancak belirli bir kalınlıktan sonra yakıt maliyetindeki azalışa rağmen yalıtım maliyetindeki artışın etkisiyle toplam maliyet azalış halinden artış haline geçer. O halde bu durum için ideal yalıtım kalınlığı, yalıtım maliyeti ile yakıt maliyetinin kesişimin noktasını gösteren yalıtım kalınlığıdır. Çünkü bu kesişim noktasındaki toplam maliyet, en düşük değerdedir. Doğal gaz kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla Şekil 4.6'da a, b ve c grafiklerinde gösterilmektedir. Benzer şekilde yakıt olarak kömür kullanıldığında zaman elde edilen veriler Şekil 4.7 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Erzurum'da kömür için maliyet bakımından optimum yalıtım kalınlığı
a) XPS, b) EPS, c) Cam yünü

XPS Isı Yalıtımı Sanayicileri Derneği Başkanına göre, ülkemizde uygulanan yalıtım kalınlıkları iklim şartlarına göre farklılık göstermektedir. Mesela İstanbul'da hali hazırda uygulanan yalıtım kalınlığı 5 cm fakat daha verimli ısı yalıtımı için kalınlığın 10 cm'ye çıkması gerekmektedir. Aynı çelişkiyi tüm bölgelerde gözlemlemek mümkündür. Ankara'da uygulanması gereken ideal yalıtım kalınlığı 12 cm iken halen yürürlükte olan yönetmeliklerde 6 cm kullanılmaktadır. Antalya ve İzmir'de ideal yalıtım kalınlığı yaklaşık 8 cm olması gerekirken mevcut yönetmeliklerde 4 cm uygulanmaktadır. Gaziantep'te ideal yalıtım kalınlığının 10 cm olması gerekirken mevcut yönetmeliklerde 5 cm, Erzurum'da ideal kalınlığın 16 cm olması gerekirken mevcut yönetmeliklerde 8 cm, Bursa ve Trabzon'da ideal kalınlığın 10 cm olması gerekirken mevcut yönetmeliklerde 5 cm seviyesinde kalmaktadır. Avrupa ülkelerinde bu değerler ise 15–20 cm kalınlığına kadar çıkabilmektedir. Isı yalıtımı konusunda Avrupa ülkelerinin çok gerisinde kaldık. Isınmak için Avrupa ülkelerinin yaklaşık 10 katı kadar enerji tüketmekteyiz. Ülkemizde ısı yalıtımı yapılmamış binaların yıllık enerji tüketimi $300-350 \text{ kWh/m}^2$ arasında, yalıtımlı binalarda ise bu değer 120 kWh/m^2 civarında. Hatta Avrupa ülkelerinde 2020'ye kadar tüm binaların Pasif Ev, yani yıllık enerji tüketimi 15 kWh/m^2 'in altında olan binalar haline dönüşmesi hedefleri yasalaşmaktadır (Anonim 2016f).

Değişen yönetmelikler ile binalardaki ısı kayıplarının diğer bir değiş ile yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının azaltılması hedeflenmektedir. Bunun anlamı yıllık yakıt tüketimini azaltmak demektir. Bunu da ısı yalıtım malzemelerinin kalınlıklarını artırarak ya da ısı iletkenlik değeri daha düşük olan malzemeler kullanarak sağlayabiliriz. Günümüzde uygulanan ısı yalıtım kalınlıklarının en uygun hale getirilmesi ve bunun gerçek uygulamalarda tam olarak gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği tartışma konusudur. Nitekim bu çalışmadaki kullanılan ısı yalıtım malzemeleri XPS, EPS ve cam yünü yalıtım kalınlıkları TS 825 Standardı 2008 revizyonu hesap metoduna göre sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm olarak bulunmuştur. Ancak bu malzemeler Erzurum'da ısı yalıtımı için ortalama 5 cm kalınlıkta kullanılmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen veriler ile Erzurum'da uygulanan 5 cm ısı yalıtım kalınlığıyla kıyaslandığı zaman; XPS malzemesi için yalıtım kalınlığı 5 cm yerine 13,8 cm olarak

kullanılırsa yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve CO₂ salınım miktarı yaklaşık %35 azalmaktadır. Bu durum EPS 14,6 cm ve cam yünü 15,8 cm kalınlıkları için sırasıyla yaklaşık %36 ve %38 azalmaktadır. Ayrıca maliyet tasarrufu açısından 8 cm yalıtım kalınlığı yerine elde edilen kalınlık değerleri kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü yaklaşık olarak %7,2 daha fazla tasarruf etmektedir. Bu durum yakıt tüketimi, toplam maliyet ve çevresel etkiler açısından oldukça önem arz etmektedir. Binalarda uygulanan yalıtım kalınlıklarının, optimum yalıtım kalınlığı olup olmadığı ve TS 825'e göre hesaplanan yalıtım kalınlık değerlerinin uygulama esnasında kullanılıp kullanılmadığı büyük bir tartışma konusudur.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Ülkemiz enerji tüketiminde dışa bağımlı bir ülke olduğu için enerjinin tasarruflu kullanılması gerekmektedir. Özellikle konut alanında enerjiden tasarruf edilmesi için ısı yalıtım projeleri geliştirilmektedir. Bu bağlamda, tüketilen enerjinin yanı sıra tüketilen yakıt miktarının azaltılması sebebiyle atmosfere atılan zararlı gaz miktarı da düşürülmektedir. Böylece hem ülke ekonomisine hem de doğaya karşı bir katkı sağlanabilmektedir. Bu çalışmada Erzurum ilinde bulunan örnek bir bina üzerinde üç farklı yalıtım malzemesinin ve iki farklı yakıt türünün etkileri incelenmiştir ve elde edilen verilerin ekonomik, çevresel ve enerji analizi yapılmıştır.

Hesaplamalarda TS 825 Standardı hesap yöntemi kullanılmıştır. Buna göre 4. derece gün bölgesinde bulunan Erzurum ili için örnek binanın sınırlandırılmış yıllık ısı kaybı $137,6 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Isı yalıtım sistemlerinin amacı, yalıtım malzemesinin kalınlığına göre hesaplanan bina yıllık ısı kaybı miktarının standartta belirtilen sınırlandırılmış yıllık ısı kaybı miktarından fazla olmamasıdır. Bu maksatla örnek bina için hesaplamada kullanılan XPS malzemesinin farklı kalınlıklarına göre şu değerler elde edilmiştir:

a) Yalıtımsız bina;

- Bina yıllık ısıtma ihtiyacı $614,94 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$
- Doğal gaz kullanıldığı zaman yıllık CO_2 salınım miktarları $7\,815,2 \text{ kg/yıl}$
- Kömür kullanıldığı zaman yıllık CO_2 salınım miktarları $23\,609,1 \text{ kg/yıl}$
- Yıllık doğal gaz tüketim bedeli $3\,720 \text{ TL/yıl}$
- Yıllık kömür tüketim bedeli $5\,790 \text{ TL/yıl}$

b) XPS için 5 cm kalınlık kullanıldığı zaman;

- Bina yıllık ısıtma ihtiyacı 208,80 kWh/m²-yıl
- Doğal gaz kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 2 653,9 kg/yıl
- Kömür kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 8 017,3 kg/yıl
- Yıllık doğal gaz tüketim bedeli 1 263 TL/yıl
- Yıllık kömür tüketim bedeli 1 966 TL/yıl
- Yıllık net tasarruf miktarı (doğal gaz kullanıldığında) 2 457 TL/yıl
- Yıllık net tasarruf miktarı (kömür kullanıldığında) 3 824 TL/yıl
- Geri ödeme süresi (doğal gaz kullanıldığında) 2,43 yıl
- Geri ödeme süresi (kömür kullanıldığında) 1,51 yıl

c) XPS için 8 cm kalınlık kullanıldığı zaman;

- Bina yıllık ısıtma ihtiyacı 169,64 kWh/m²-yıl
- Doğal gaz kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 2 155,9 kg/yıl
- Kömür kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 6 512,7 kg/yıl
- Yıllık doğal gaz tüketim bedeli 1 026 TL/yıl
- Yıllık kömür tüketim bedeli 1 597 TL/yıl
- Yıllık net tasarruf miktarı (doğal gaz kullanıldığında) 2 694 TL/yıl
- Yıllık net tasarruf miktarı (kömür kullanıldığında) 4 193 TL/yıl
- Geri ödeme süresi (doğal gaz kullanıldığında) 2,60 yıl
- Geri ödeme süresi (kömür kullanıldığında) 1,61 yıl

d) XPS için 13,8 cm kalınlık kullanıldığı zaman;

- Bina yıllık ısıtma ihtiyacı 137,52 kWh/m²-yıl
- Doğal gaz kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 1 747,77 kg/yıl
- Kömür kullanıldığı zaman yıllık CO₂ salınım miktarları 1 294,8 kg/yıl
- Yıllık doğal gaz tüketim bedeli 831 TL/yıl
- Yıllık kömür tüketim bedeli 1 294 TL/yıl
- Yıllık net tasarruf miktarı (doğal gaz kullanıldığında) 2 889 TL/-yıl

- Yıllık net tasarruf miktarı (kömür kullanıldığında) 4 496 TL/yıl
- Geri ödeme süresi (doğal gaz kullanıldığında) 3,14 yıl
- Geri ödeme süresi (kömür kullanıldığında) 1,92 yıl

Yalıtım kalınlığı XPS 5 cm olarak kullanılırsa, yalıtımsız binaya göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık CO₂ salınım miktarı değerleri %66 azalmaktadır. Yalıtım malzemesi XPS 8 cm kullanıldığında 5 cm kalınlığına göre yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık CO₂ salınım miktarı %19 ve yalıtımsız duruma göre %72 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Yalıtım kalınlığı XPS için 13,8 cm kullanılması durumunda ise yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve yıllık CO₂ salınım miktarı binanın yalıtımsız haline göre %77, XPS 5 cm yalıtım kalınlığına göre %35 ve 8 cm yalıtım kalınlığına göre %19 daha az olduğu anlaşılmaktadır. Net tasarruf bakımından 13,8 cm XPS malzemesi kullanıldığında 5 cm XPS ve 8 cm XPS'ye göre sırasıyla %17,5 ve %7 daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.8).

Ayrıca bu çalışmada farklı yalıtım malzemelerin etkilerini incelemek için XPS, EPS ve cam yünü gibi yalıtım malzemeleri ve yakıt olarak da doğal gaz ve kömür kullanılmıştır. TS 825 Standardına göre XPS, EPS ve cam yünü için elde edilen asgari yalıtım değerleri sırasıyla 13,8 cm, 14,6 cm ve 15,8 cm hesaplanmıştır. Bu değerlere göre yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında CO₂ salınım miktarı ortalama 1 747 kg/yıl ve tüketim bedeli yaklaşık olarak 831 TL/yıl hesaplanmıştır. Kömür kullanıldığında ise CO₂ salınım miktarı ortalama 5 278 kg/yıl ve tüketim bedeli yaklaşık olarak 1 294 TL/yıl olarak hesaplanmıştır. Doğal gaz kullanımı kömüre göre yıllık yakıt maliyeti açısından yaklaşık %35,7 daha tasarrufludur. Yine doğal gaz kullanımı kömüre göre yıllık CO₂ salınım miktarı açısından yaklaşık %67 daha az salınım yapmaktadır. Doğal gaz kullanımının kömüre göre hem maliyet hem de CO₂ salınımı açısından daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

Ülkemizde yerli kaynakların enerji ihtiyacını karşılayamamasından dolayı, tüketilen doğal gaz ve kömürün büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Doğal gaz ve kömür ülke enerjisinin büyük bir kısmını (yaklaşık %60'ını) karşıladığından, bu durum enerjide dışa

bağımlılığı artırmaktadır. Bu sebeple ülke ekonomisine katkı sağlamak amacıyla yakıt tüketim miktarını daha aza indirmeli ve ekonomik yakıtları tercih etmeliyiz. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, doğal gaz maliyetinin kömüre göre yaklaşık olarak %35,7 daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.8).

Ayrıca doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan atık gazların çevreyi kirlettiği bilinmektedir. Günümüzde bu tür yakıtların yoğun kullanımına bağlı olarak atmosfere salınan CO₂ ve diğer zararlı emisyonlar hava kirliliğine, küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Doğal gaz kullanımı, kömüre göre CO₂ salınımı bakımından %33 daha azdır. Üstelik kömürün yanması sonucu açığa çıkan NO₂ ve SO₂ gazları doğal gazın yanma ürünleri arasında mevcut değildir. Ayrıca, doğal gaz kömüre göre daha düşük zararlı emisyon yayılımına sebep olduğundan, çevreye daha az zarar vermektedir.

Maliyet analizine göre hesaplanan optimum yalıtım kalınlığı değerleri XPS, EPS ve cam yünü için yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında sırasıyla 13,7 cm, 14,9 cm ve 15,8 cm olarak hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanıldığında bu değerler XPS, EPS ve cam yünü için sırasıyla 17,6 cm, 19,2 cm ve 20,3 cm olarak bulunmuştur. Maliyet analizine göre yapılan optimum yalıtım kalınlığı hesaplamaları ile TS 825 standardına göre hesaplanan asgari kalınlıklar doğal gaz kullanımında örtüşmektedir. Ama yakıt olarak kömür kullanıldığında maliyet analizine göre yalıtım kalınlıklarında artış olmuştur. Tüm bu değerler TS 825 Standardına göre uygun kalınlıklardır ve bina için sınırlandırılan yıllık ısı kaybı değerinin altındadır. Fakat yalıtım malzemesinin kalınlığının artması ilk yatırım maliyetinin artmasına sebep olur. Binanın yıllık ısıtma ihtiyacını karşılayabilen en az kalınlıkta ısı yalıtım malzemesi kullanmak, ergonomik bir yalıtım projesi ortaya koyar. Fakat uzun vadede optimum yalıtım kalınlıklarının daha ekonomik olduğu anlaşılmaktadır.

Erzurum'da ısı yalıtım kalınlıkları yaklaşık olarak 5 cm kullanılmaktadır. Halbuki tez çalışmasına göre Erzurum için farklı yalıtım malzemeleri kullanıldığında optimum yalıtım kalınlıkları 13-20 cm arasında değişmektedir. Bu çalışmada elde edilen veriler

ile Erzurum’da uygulanan 5 cm ısı yalıtım kalınlığıyla kıyaslandığı zaman; XPS malzemesi için yalıtım kalınlığı 5 cm yerine 13,8 cm olarak kullanılırsa yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı ve CO₂ salınım miktarı yaklaşık %35 azalmaktadır. Bu durum, 14,6 cm EPS ve 15,8 cm cam yünü için sırasıyla yaklaşık olarak %36 ve %38 azalmaktadır. Ayrıca maliyet tasarrufu açısından 8 cm yalıtım kalınlığı yerine elde edilen kalınlık değerleri kullanıldığında XPS, EPS ve cam yünü yaklaşık olarak %7,2 daha fazla tasarruf etmektedir. Bunun anlamı, yıllık yakıt tüketim miktarında azalma olması ve ülke ekonomisine katkı sağlaması demektir. Ayrıca tüketilen yakıt miktarındaki azalma, yanma sonucu açığa çıkan zararlı gazların azalması anlamına gelmektedir. Böylece asit yağmurları, dünyadaki ortalama sıcaklığın artışı, iklim değişiklikleri ve buzullardaki hızlı erime gibi olaylarda azalma olabilecektir.

5.2. Öneriler

Enerji insanoğlu için vazgeçilmez hale gelmiştir. Fosil kökenli enerji kaynaklarının tüketimine bağlı olarak gelişen problemler sebebiyle, bilim insanlarını ve çevreye saygılı olan insanları enerji tüketiminde daha dikkatli olamaya ve çevre dostu yakıtları (yenilenebilir enerji kaynaklarını) kullanmaya sevk etmesi için gerekli teşvikler sağlanmalıdır. Günümüzde, çeşitli ekonomik ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi, düşük ısı iletim değerlerine sahip malzemelerin kullanılması, ayrıca ısı yalıtım uygulamalarının kontrol edilmesi ile ısı kayıpları konusunda etkin mücadele edilebilir.

KAYNAKLAR

- Aksöz, H., 2009. Betonarme Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Amaçlı Duvar Elemanlarının Isıl Ve Ekonomik Yönden Analizi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Aldawi, F., Alam F., Khan I. and Alghamdi M., 2013. Effect of climates and building materials on house wall thermal performance. *Procedia Engineering*, 56 (2013), 661-666.
- Anonim, 2014a. http://www.mmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=37936&tipi=2&sube=11#.WDAiztKLTiU (19/11/2016)
- Anonim, 2014b. <http://www.izoder.org.tr/dosyalar/isi-yalitimi-giris.pdf> (20/11/2016)
- Anonim, 2016a. <http://cankanmuhendislik.com/izolasyon.htm> (17/11/2016)
- Anonim, 2016b. <http://www.stroton.com.tr/isi-yalitimi-hakkinda/binalarda-isi-ve-isi-kayiplari> (17/01/2016)
- Anonim, 2016c. <http://www.izoder.org.tr/sayfa/31/genel-bilgi-almak-istiyorum> (21/11/2016)
- Anonim, 2016d. <http://www.mantolama.biz/mantolama-nasil-yapilir-2.html> (23/11/2016)
- Anonim, 2016e. <http://www.igdas.istanbul/YakitKarsilastirmasi?lang=tr> (4/1/2017)
- Anonim, 2016f. <http://www.sabah.com.tr/emlak/2014/02/26/turkiye-isi-yalitim-kalinliginda-avrupa-birliginin-gerisinde> (10/1/2017)
- Aytaç, A. ve Aksoy U. T., 2006. Enerji tasarrufu için dış duvarlarda optimum yalıtım kalınlığı ve ısıtma maliyeti ilişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 753-758.
- Bakırcı, K., Özyurt Ö., Karagöz Ş. Ve Erdoğan S., 2008. Variable-base degree-day analysis for provinces of the Eastern Anatolia in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 26 (2), 11-132.
- Çay, Y., 2011. Farklı yapı malzemeleri kullanımında ısı yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkileri. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1), 47-56.
- Çetinel, E., 2012. Tarihsel Süreç İçinde Dış Cephe Kaplama Malzemelerinin Isı Yalıtımı Açısından İrdelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çıkrıkçıoğlu, N., 2011. Deprem Sonrası Sakarya'da İnşa Edilen Konutlarda Isı İzolasyonu Uygulama Oranları, Yöntemleri Ve Malzeme Profili. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Doğruel, N., 2010. Binalarda Cephe Kaplamalarının Isı Yalıtımına Etkisi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Ekici, C., 2013. PMV metodu ile ısı konfor ölçümü ve hesaplanması. VIII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Kocaeli.
- Erdabak, M., 2010. Binalarda Isı Yalıtımındaki Eksikliklerin Enerji Tasarrufuna Olan Etkilerinin Uygulamalı Olarak Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Gölcü, M., Dombaycı Ö. A. ve Abalı S., 2006. Denizli için optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufuna etkisi ve sonuçları. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4), 639-644.

- Hinginar, F., 1993. Türkiye'deki ısı yalıtım yönetmelikleri, standartlar ve denetim. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 1 (2), 38.
- İşbilir, D., 2009. Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamaları ve Sorunlarının Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İzoder, 2013. İnşaat teknolojisi ısı yalıtım. Isı, Su, Ses Ve Yangın Yalıtımcıları Derneği.
- Karayiğit, S., 2015. Enerji Yönetmeliğine Göre Konutların Farklı Isı Yalıtım Malzemeleri İle Yalıtılmasının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Araştırma: Kahramanmaraş Örneği. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kiper-Yılmaz, G.H., 2009. Binalarda Dış Duvarlarda Kullanılan Isı Yalıtım Kaplamalarının Enerji Korunum Performansları Açısından İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kocagül, M., 2013. Isı Yalıtımında İdeal Yalıtım Malzemesi Kullanılmasının Deneysel Araştırılması. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kürekçi, N. A., 2016. Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey's provincial centers. Energy and Buildings, 118 (2016), 197-213.
- Kürekçi, A., Bardakçı A.T., Çubuk H. ve Emanet Ö., 2012. Türkiye'nin tüm illeri için optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği, 131, 5-21.
- Lianying, Z., Yuan W., Jiyuan Z., Xing L. and Linhua Z., 2015. Numerical study of effects of wall's insulation thickness on energy performance for different climatic regions of China. Energy Procedia, 75 (2015), 1290-1298.
- Liu, X., Chen Y., Ge H., Fazio P. and Chen G., 2015. Determination of optimum insulation thickness of exterior wall with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. Procedia Engineering, 121 (2015), 1008-1015.
- Murgul, V. and Pukhkal V., 2015. Saving the architectural appearance of the historical buildings due to heat insulation of their external walls. Procedia Engineering, 117 (2015), 891-899.
- Özel, M. ve Şengür S., 2012. Farklı yakıt türü ve yalıtım malzemelerine göre optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. Tesisat Mühendisliği, 132, 5-11.
- Özenç, A., 2007. Edirne'deki Isı Yalıtım Uygulamaları. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Özutku, O., 2012. Binalarda Isı Yalıtımı Yoluyla Enerji Tasarrufu MKÜ Mühendislik Fakültesi Binası Örneği. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Tetty, U. Y. A., Dadoo A. and Gustavsson L., 2014. Primary energy implications of different wall insulation materials for buildings in a cold climate. Energy Procedia, 61 (2014), 1204-1207.
- TSE., 2008. TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları, Mayıs.
- TSE., 2013. TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları, Aralık.
- Ünal, H., 2003. Yapı Kabuğunda Isı Yalıtımının İrdelenmesi ve Anadolu Üniversitesi Lojmanları Örneği. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yılmaz, A., 2012. Apartmanların Dış Kabuğuna Uygulanan Isı Yalıtımının Bina Enerji Performansına Etkisi (Konya Ve Erzincan Örneği). Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Zhu, P., Huckemann V. and Fisch M.N., 2011. The optimum thickness and energy saving potential of external wall insulation in different climate zones of China. *Procedia Engineering*, 21 (2011), 608–616.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ali SAPAN 1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü tamamladıktan sonra İstanbul'da özel bir firmada makine tasarımı ve üretimi üzerine çalıştı. Son olarak Bayburt'ta bir Yapı Denetimi firmasında Makine Mühendisi Kontrol Elemanı olarak çalışmaktadır.