

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

**ÇORUM İLİNDEKİ BİNALARDA KULLANILAN
FARKLI TÜRDEKİ ISI YALITIM MALZEMELERİNİN
OPTİMUM KALINLIĞININ HESAPLANMASI**

Volkan Ramis KARAKOÇ

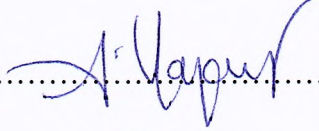
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Nihal TÜZÜN**

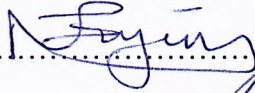
**MAYIS 2015
ÇORUM**

Volkan Ramis KARAKOÇ tarafından hazırlanan “Çorum İlindeki Binalarda Kullanılan Farklı Türdeki Isı Yalıtım Malzemelerinin Optimum Kalınlığının Hesaplanması” adlı tez çalışması 09/06/2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sinan YAPICI

.....


Doç. Dr. F. Nihal TÜZÜN

.....


Yrd. Doç. Dr. Serap FINDIK

.....


Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 10./06./2015 tarih ve 2015./108.. sayılı kararı ile Volkan Ramis KARAKOÇ’un Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

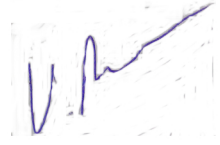


Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Vekili

TEZ BEYANI

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

Volkan Ramis KARAKOÇ



**ÇORUM İLİNDEKİ BİNALARDA KULLANILAN FARKLI TÜRDEKİ ISI
YALITIM MALZEMELERİNİN OPTİMUM KALINLIĞININ
HESAPLANMASI**

VOLKAN RAMİS KARAKOÇ

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2015

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Çorum şehrinde farklı yalıtım malzemesi türleri ve duvar tipleri kullanarak son yıllarda izole edilen yedi binanın optimum yalıtım kalınlığını incelemektir. Yakıt olarak doğalgaz ve yalıtım malzemesi olarak da termal iletkenlik katsayıları farklı olan taş yünü, Neopor ve standart EPS'yi içeren genişletilmiş polistiren kullanıldı. Yıllık ısıtma gereksinimi altı yıl ortalamasına göre ısıtma derece-gün (HDD) sayısına dayanmaktadır. Buna ek olarak, optimum izolasyon kalınlığının saptanmasında kullanılan malzemelerinin maliyeti ve enerji verimi, izolasyon ömrü, enflasyon ve iskonto oranları değerlendirildi. İzolasyon kalınlıkları 3 cm ile 6 cm arasında değişen ve doğalgazı yakıt olarak kullanan yedi binanın optimum izolasyon kalınlıkları taş yünü, Neopor ve standart EPS için duvar yapısı ve yalıtım maliyetine bağlı olarak yaklaşık 7-12 cm arasında değiştiği bulunmuştur. Bu binalarda iki farklı kompozit duvar yapısı olduğu görülmüştür. Yedi binadan biri örnek bina olarak seçildi; EPS ($k_{Neopor} = 0,033 \text{ W/m.K}$), haddelenmiş polistren (XPS) ve taş yünü doğalgazı yakıt olarak kullanan örnek binaya uygulanması ile optimum yalıtım kalınlıkları sırasıyla 10,61 cm, 7,88 cm ve 7,15 cm bulundu.

Anahtar Kelimeler: Optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım malzemeleri, yakıt, enerji tasarrufu

**DETERMINATION OF OPTIMUM INSULATION THICKNESS IN
BUILDINGS WITH USING DIFFERENT TYPES OF INSULATION
MATERIALS IN ÇORUM CITY**

VOLKAN RAMİS KARAKOÇ

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2015

ABSTRACT

The aim of the study is to investigate the optimum insulation thickness of the seven buildings insulated in recent years with using different types of insulation materials and wall types in Çorum city. Stone wool, expanded polystyrene (EPS) including Neopor and standard EPS with having different thermal conductivities were carried out as insulation materials, while natural gas was used as fuel. The annual heating requirement was based on heating degree-days (HDD) by considering the average of six years. In addition to, the costs of the insulation materials used and efficiency of the energy, the lifetime, the current inflation and discount rates were evaluated in the determination of optimum insulation thickness. It was found that optimum insulation thickness of seven buildings insulated with thickness of among 3 *cm* and 6 *cm* varied around 7-12 *cm* depending on the wall structure and insulation cost for stone wool, Neopor and standard EPS with the usage of natural gas. Two different types of composite wall structure appeared in these buildings. One of the seven buildings was chosen as sample building and application of EPS ($k_{Neopor}= 0,033 \text{ W/m.K}$), XPS and stone wool to sample building gave optimum insulation thicknesses 10,61 *cm*, 7,88 *cm* and 7,15 *cm* with using natural gas as fuel respectively.

Keywords: optimum insulation thickness, insulation materials, fuel, energy saving

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini benden esirgemeyen ve kıymetli tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Doç. Dr. F. Nihal TÜZÜN'e, yaptığım her işte yanımda olan ve beni destekleyen annem Aynur KARAKOÇ, babam Adnan KARAKOÇ ve kız kardeşim M. Gamze KARAKOÇ'a, değerli dostum Hüseyin TEMİZEL'e, çalışmalarımda yardımcı olan Handan KULDAL'a, örnek bina ve proje seçimlerinde teknik desteklerinden dolayı A-Plus Mimarlık & Yalıtım sahibi Emre ALTUNAN'a, Yiğit TURP, Ali SALTİK ve Feyzullah BULUT ile birlikte içinde bulunduğum Grup KANTİN ekibine, sahne arkasında Özgür YÜCE, Fatih BAŞBUDAK, Seda Nur UZUN ve Tansu DURAN'a, okulumuzdaki her imkanı bizim için seferber eden Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanı Halil AYKUL hocama ve Grup KANTİN sevenlerine teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ISI YALITIMI.....	3
2.1. Isı ve Sıcaklık Tanımı	3
2.2. Isı Transferlerinin Esasları	4
2.3. Isı Yalıtımı, Önemi ve Faydaları.....	5
2.4. Türkiye’de ve Dünyada Isı Yalıtım Bilinci ve Malzemenin Kullanım Oranı.....	13
3. ISI YALITIM MALZEMELERİ	16
3.1. Isı Yalıtım Malzemelerinin Tanımı.....	16
3.2. Isı Yalıtım Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri	16
3.2.1. Gözenekli (Poroz) malzemeler için yoğunluk kavramı (ρ)	16
3.2.2. Özgül ısı (Cp) ve nem.....	17
3.2.3. Isı iletim katsayısı (k)	18
3.3. Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Özellikler	20
3.4. Isı Yalıtım Malzemeleri	21
3.4.1. Cam yünü.....	21
3.4.2. Taş yünü.....	25

3.4.3. Genleşen polistren köpük (EPS)	27
3.4.4. Haddelenmiş polistren köpük (XPS)	31
3.4.5. Odun lifi levhalar	33
3.4.6. Fenol köpüğü	34
3.4.7 Mantar levhalar	35
3.4.8. Poliüretan köpük	35
3.4.9. Cam köpüğü	37
4. LİTERATÜR TARAMASI	39
5. ISI YALITIM HESAPLAMALARI VE ÖRNEK BİNA ÜZERİNDE UYGULANMASI İLE YOĞUŞMA KONTROLÜ	47
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	59
6.1.Çorum İlinde Binalarda Kullanılan Farklı Türdeki Isı Yalıtım Malzemelerinin Optimum Kalınlığının Hesaplanması, Örnek Bir Bina İçin Isı Kayıpları ve Gerekli Isınma Enerjisinin Belirlenmesi İle Yoğuşma Kontrolü	59
7. SONUÇLAR	84
KAYNAKLAR	86
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Örnek Binanın Yalıtımlı ve Yalıtımsız Durumda Tüketebilecek Yıllık Yaklaşık Yakıt Miktarı ve Maliyeti	7
Çizelge 2.2. Örnek Binanın Yalıtımlı ve Yalıtımsız Durumda Olası Hava Kirletici Atık Miktarları	7
Çizelge 2.3. Yalıtım Derecelerine Göre Isı İhtiyacı.....	8
Çizelge 2.4. Isı yalıtımının enerji tasarrufu sağlamadaki önemi.....	13
Çizelge 2.5. Kişi Başına Düşen Enerji Yalıtım Malzemesi	14
Çizelge 3.1. Değişik Yoğunluktaki Organik ve Anorganik Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Değişik Gözenekli Yoğunluklarda Hacimsel Olarak İçerdikleri Gözenek Yüzdeleri	17
Çizelge 3.2. Değişik Malzemelerin Farklı Sıcaklık Aralıklarındaki Özgül Isıları....	14
Çizelge 3.3. Nemin Yalıtım Malzemelerinin Özgül Isılarına Etkisi.....	18
Çizelge 3.4. Organik Yalıtım Malzemelerinin 0 °C Sıcaklıkta Değişik Yoğunluklardaki Isı İletim Katsayıları	18
Çizelge 3.5. 24 °C Tahtanın Liflerine Dik Konumda Isı Geçişi Haline Göre Isı İletim Katsayılarının Değişik Yoğunlukta Değişimi	19
Çizelge 3.6. Isı Yalıtım Malzemelerinin Isı İletim Katsayıları ve Isı İletkenlik Sınıfı.....	19
Çizelge 3.7. Bakalitli Camyününün Sıcaklık ve Yoğunluğa Göre Termal İletim Katsayılarının Değişimi	22
Çizelge 3.8. Bakalitsiz Camyününün Sıcaklık ve Yoğunluğa Göre Termal İletim Katsayılarının Değişimi	22
Çizelge 3.9. Düşük Yoğunluklu Taş yününün Sıcaklığa ve Yoğunluğa Bağlı Termal İletim Katsayıları.....	26
Çizelge 3.10. Yüksek Yoğunluklu Taş yününün Sıcaklığa ve Yoğunluğa Bağlı Termal İletim Katsayıları.....	27
Çizelge 3.11. EPS'nin Yoğunluğa Göre Buhar Geçirimsizliği.....	29
Çizelge 3.12. Polistrenin Karakteristik Özellikleri	30
Çizelge 3.13. XPS 'lerin Yoğunluğa Bağlı Olarak Termal İletkenlik Katsayıları.....	32
Çizelge 3.14. XPS ve EPS'nin Karşılaştırılması.....	33

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.15. Tahta Lifli Yapı Levhalarının Termal İletim Katsayıları ($k= W/m.K$).....	34
Çizelge 5.1. Parametreler ve örnek binanın yer aldığı yedi binanın hesaplamalarında kullanılan duvar yapıları	48
Çizelge 5.2. Aylık ortalama güneş radyasyonunun şiddet değerleri.....	54
Çizelge 5.3. Üçüncü bölgede yer alan Çorum ilinde ısı kayıpları ve yoğunlaşma için aylık ortalama dış sıcaklıklar ve bağıl rutubet(TS 825).....	58
Çizelge 6.1. Yedi binada kullanılan izolasyon malzemeleri ve duvar yapıları	59
Çizelge 6.2. Yedi bina için yapılan hesaplamalar	60
Çizelge 6.3. Örnek binada değişik izolasyon malzemeleri için yapılan hesaplamaların karşılaştırması	62
Çizelge 6.4. İzolasyonsuz haldeki örnek binada özgül ısı kayıpları	67
Çizelge 6.5. Örnek binanın izolasyonsuz halde yıllık ısıtma gereksinimi	68
Çizelge 6.6. 6 cm izolasyon kullanımı ile örnek binadaki özgül ısı kaybı.....	69
Çizelge 6.7. 6 cm izolasyon kullanımı ile örnek binadaki yıllık ısıtma gereksinimi	70
Çizelge 6.8. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığının kullanımı ile örnek binadaki özgül ısı kaybı	71
Çizelge 6.9. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığı kullanımı ile örnek binadaki yıllık ısıtma gereksinimi	72
Çizelge 6.10. Kullanılan parametreler ve delikli tuğla duvar yapısı kullanımı ile elde edilen sonuçlar	74
Çizelge 6.11. Kullanılan parametreler ve bims duvar yapısı kullanımı ile elde edilen sonuçlar	74
Çizelge 6.12. Üçüncü bölgede önerilen maksimum tüm ısı transfer katsayıları.....	75
Çizelge 6.13. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığı kullanarak dış duvarları ile tavan ve taban kısmı izole edilen örnek binanın özgül ısı kaybı	76
Çizelge 6.14. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığı kullanımı ile dış duvarları, tavan ve taban kısımlarından izole edilen örnek binanın yıllık ısıtma gereksinimi.....	77
Çizelge 6.15. Kasım ayında yoğunlaşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler	78
Çizelge 6.16. Aralık ayında yoğunlaşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler	79

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.17. Ocak ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler	79
Çizelge 6.18. Şubat ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler	79
Çizelge 6.19. Mart ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler	80
Çizelge 6.20. Yapı elemanlarında yoğuşan ve buharlaşan su buharı miktarı	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye’de Birinci Enerji Kaynakları Toplam Üretim ve Tüketimi.....	8
Şekil 2.2. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO ₂ emisyonları	9
Şekil 2.3. Konutlarda Yıllık Enerji Kaybı.....	10
Şekil 2.4. Duvarlarda Enerji Kaybı	10
Şekil 3.1. Cam yünü termal iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi	23
Şekil 3.2. EPS’nin Yoğunluğa Göre Isı İletkenliği	28
Şekil 3.3. EPS’nin Yoğunluklarına Göre Su Alma Yüzdeleri	29
Şekil 6.1. Neopor termal iletkenlik katsayısı ile optimum izolasyon kalınlığının değişimi	64
Şekil 6.2. Neopor izolasyon maliyeti ile optimum izolasyon kalınlığının değişimi ..	64
Şekil 6.3. Neopor izolasyon maliyeti ile enerji tasarruf yüzdesinin değişimi.....	65
Şekil 6.4. Neopor termal iletkenlik katsayısı ile enerji tasarrufunun değişimi	65
Şekil 6.5. Gözenekli tuğlada izolasyon, ısıtma ve toplam maliyetin izolasyon kalınlığına göre değişimi.....	73
Şekil 6.6. Bims’de izolasyon, ısıtma ve toplam maliyetin izolasyon kalınlığına göre değişimi	73
Şekil 6.7. Kasım ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü	80
Şekil 6.8. Aralık ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü.	81
Şekil 6.9. Ocak ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü ..	81
Şekil 6.10. Şubat ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü	82
Şekil 6.11. Mart ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü .	82

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1 Enerji dönüşüm diyagramı	4
Resim 2.2. Sektörlere Göre Enerji Tüketimi.....	6
Resim 2.3. Binalarda Isı Kayıpları	12
Resim 2.4. Yalıtımsız Bir Binada Isı Kayıpları	12
Resim 3.1. Cam Yünü	25
Resim 3.2. Camtülü Kaplı Taş yünü Levha ve Bağlayıcısız Taş yünü Elyafı	26
Resim 3.3. EPS'nin Uygulama Şekli	31
Resim 3.4. Levhalar Halinde Üretilmiş XPS Ürünler.....	32
Resim 3.5. Odun Lifi Levhaları	34
Resim 3.6. Mantar Isı Yalıtım Levhaları	35
Resim 3.7. Köpük ve Levha Halinde Üretilmiş Poliüretan Ürünler	36
Resim 3.8. Aerosol Şeklinde Poliüretan Köpükler	36
Resim 3.9. Poliüretan Köpüğünün Dış Çeperlerinin Kaplanması	37
Resim 3.10. Cam Köpüğü	38
Resim 5.1. Çorum ilinde kullanılan binaların kompozit duvar yapısı	49
Resim 5.2. Kompozit duvar tabakalarının görünümü	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simge	Açıklama
U	Tüm ısı transfer katsayısı
A	Isı kaybeden yüzey alan
T	Sıcaklık
T_b	İç sıcaklık
T_o	Ortalama günlük sıcaklık
HDD	Isıtma derece-gün sayısı
q_A	Isı kaybı
η	Isıtma sisteminin verimi
E_A	Yıllık enerji ihtiyacı
R	Tüm ısı transfer direnci
h_i	İç hava ısı transfer katsayısı
h_o	Dış hava ısı transfer katsayısı
R_w	Kompozit duvar malzemelerinin termal direnci
R_{ins}	İzolasyon tabakasının termal direnci
x	İzolasyon malzemesinin kalınlığı
k	Termal iletkenlik katsayısı

Simge	Açıklama
R_{tw}	Kompozit duvar direnci
C_A	Isıtma enerjisinin yıllık maliyeti
C_f	Doğal gaz fiyatı
LHV	Yakıtın alt ısı değeri
PWF	Günümüz değer faktörü
i	Enflasyon hızı
g	İndirim hızı
r	Enflasyon hızı
N	İzolasyon malzemesinin ömrü
LT	İzolasyonun ömrü
C_{ins}	İzolasyon maliyeti
C_l	İzolasyon malzemesinin birim fiyatı
C_t	Toplam maliyet
ES	Enerji tasarrufu
C_{to}	Binanın izolasyonsuz ısıtma maliyeti
C_{tins}	Binanın izolasyonlu ısıtma maliyeti
C_{ad}	İzolasyonun işçilik maliyeti
$Q_{yıllık}$	Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı
$Q_{aylık}$	Aylık enerji ihtiyacı

Simge	Açıklama
H	Özgül ısı kaybı
$\eta_{aylık}$	Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü
t	Zaman
$\Phi_{i,ay}$	Aylık ortalama iç kazanç
$\Phi_{s,ay}$	Aylık ortalama güneş enerji kazancı
H_T	Kondüksiyon ve konveksiyondan gelen ısı kayıpları
H_V	Havalandırmadan gelen ısı kaybı
A_D	Dış duvar alanı
A_p	Pencere alanı
A_k	Dış kapının alanı
A_T	Tavan alanı
A_t	Taban alanı
A_d	Dış hava ile temasta olan taban alanı
A_{ds}	İç ortam ile temasta bulunan yapı elemanlarının alanı
U_o	Dış duvarın tüm ısı transfer katsayısı
U_p	Pencerenin tüm ısı transfer katsayısı
U_k	Dış kapının tüm ısı transfer katsayısı
U_T	Tavanın tüm ısı transfer katsayısı

Simge	Açıklama
U_t	Tabanın tüm ısı transfer katsayısı
U_d	Dış hava ile temasta olan tabanın tüm ısı transfer katsayısı
U_{ds}	İç ortam ile temasta olan yapı elemanlarının tüm ısı transfer katsayısı
I	Isı köprüsünün uzunluğu
U_I	Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliği
ρ_{hava}	Havanın yoğunluğu
C_p	Havanın ısı kapasitesi
V'	Havanın hacimsel debisi
η_H	Havanın değişim oranı
V_H	Havalandırılan hacim
A_n	Bina kullanım alanı
V_{gr}	Binanın ısıtılan brüt hacmi
HGL_{ay}	Isı kazanç/kayıp oranı
C_A	Isıtma enerjisinin yıllık maliyeti
ΔP	Kısmi su buharı basıncı farkı
δ_o	Gözenekli malzemenin su buharı geçirgenliği
S_d	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı
μ	Su buharı difüzyon direnci katsayısı

Simge**Açıklama***d*

Tabaka kalınlığı

Kısaltmalar**Açıklama****EPS**

Genleştirilmiş polistiren köpük

XPS

Haddelenmiş polistiren köpük

HCFC

Hidrokloroflorokarbon

CFC

Kloroflorokarbon

1.GİRİŞ

İnsanoğlu kendisi için en iyiyi ve en verimliyi bulmaya, geliştirmeye ve araştırmaya çalışmıştır. Elde ettiği bilgileri ilk olarak kendi üzerinde uygulamış, bedenini dış etkilerden korumak ve yalıtım için giyinmeyi öğrenmiştir. Daha sonra bu bilgiden yola çıkarak insanlar zamanla değişen şartlara göre; yaşamlarını sürdürdükleri mağaralarda, çadırlarda, evlerde ve daha büyük binalarda uygulamaya başlamıştır.

Dünyadaki insan sayısının artışı, sanayinin ve kentleşmenin gelişmesi, enerji tüketimini ve ihtiyacını çok hızlı arttıran etkenlerdir. Ülkemizdeki enerji tüketim oranı, diğer gelişmiş bazı ölkelere göre fazladır. Enerjinin verimli kullanılmaması, bir taraftan boşa harcanan enerjiye ve ithalata, diğer taraftan da çevre kirliliğine yol açmaktadır. 2007 yılında kabul edilen 5627 sayılı Enerji verimliliği kanununun amacı enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır. Enerji verimliliği kanunu ve bu kanuna bağlı olarak çıkartılan Binalarda Enerji Performansı yönetmeliğine göre 10 Ocak 2011 tarihi itibariyle 50 m² üzeri inşaat alanına sahip tüm binalarda Enerji Kimlik Belgesi çıkarılması zorunlu hale getirilmiştir. Enerji kimlik belgesi çıkartılmaması da yeni birçok yaptırım beraberinde getirerek, ısı yalıtımını zorunlu hale getirmiştir. Enerji korunmasında yalıtım, etkin ve ekonomik tedbirlerin başında gelmektedir.

Yalıtım işleminin, yapılarda;

- Isı Yalıtımı
- Su Yalıtımı
- Ses Yalıtımı
- Yangın Yalıtımı
- Deprem Yalıtımı

gibi çeşitleri vardır. Örneğin, yağmurla gelen su damlalarının binaya girmesinin engellenmesi, sıcaklık farklarından oluşan ısı kayıplarının engellenmesi, yüksek ses kapsamındaki seslerin engellenmesi, bu kapsamda ele alınabilir. Yapıya uygulanan bu yalıtım çeşitlerinden bazılarını uygulayarak yalıtım malzemesinin çeşidine ve uygulama tekniğine göre diğer yalıtımlara da katkı sağlanabilir. Örneğin ısı yalıtımı yaptırıldığında yapının sese karşı yalıtılması konusunda da yardımcı olur. Yapılan yalıtım işleminin amacına uygunluğu, en iyi verimi elde etmek için işlemin yapılacak ortamın ve kullanılacak malzemelerin iyi seçilip analiz edilmesi gerekir.

Enerji kullanımında sanayi ve ulaşımdan sonra en çok günlük hayatımızın büyük bir bölümünü geçirdiğimiz konutlar gelir. Binalarda kullanılan enerji bölgenin yapısı, iklimsel özelliklerine göre değişmektedir. Soğuk bölgelerde enerji tüketimi daha çok ısınma amacı ile yapılmaktadır. Isınma için kullanılan yakıtlar, yanması sonucu çıkan zehirli gazları ile küresel ısınmayı artırırken beraberinde çevre kirliliğini de getirmektedir.

Binalarda ısı yalıtımı uygulanması ile enerji kullanımında verimlilik, güvenlik, sağlık konularındaki iyileşmeler ile birlikte çevresel problemlerde de azalma olacaktır.

Binalarda uygulanan yalıtım sistemlerinin performansları, malzeme seçimine ve uygulama şekliyle doğrudan ilgilidir. Ülkemizde, ısı yalıtımının doğru yapılabilmesi, yapılan işlerden verim alınabilmesi ve bir standarda uygun olması için TS 825 Isı Yalıtım Standartları revize edilmiştir. Standardın amacı, binaların ısıtılmasında enerjiyi verimli kullanarak enerji tasarrufu sağlamak ve binalarda doğacak enerji ihtiyacının hesap metodunu belirlemektir. Bu standarda uygun yapılmayan bina grupları ülkedeki enerji tüketiminde büyük çaplı kayıplara yol açmaktadırlar.

2.ISI YALITIMI

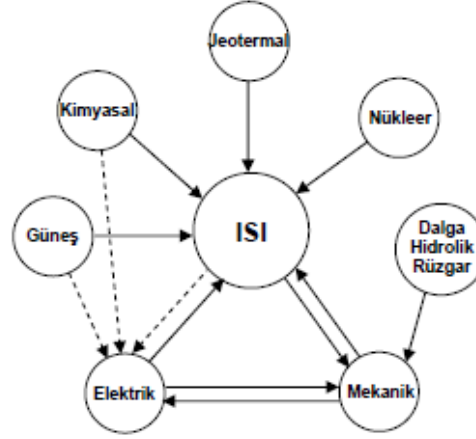
2.1. Isı ve Sıcaklık Tanımı

Isı, belirli sıcaklıktaki bir sistemin sınırlarından, daha düşük sıcaklıktaki bir sisteme, sıcaklık farkı nedeniyle transfer edilen enerjidir. Bir cismin içindeki ısı miktarı o cismin sıcaklığı ile orantılıdır. Sıcaklık ise herhangi bir noktadan ölçülebilen pozitif ya da negatif bir değerdir. Bir maddenin ısıl durumunu belirten bir ifade olan sıcaklık, ısı geçişine neden olan etken olarak da tanımlanmaktadır. Ancak sıcaklık artmaksızın da ısı geçişi olabileceği (hâl değişimleri esnası) hatırd tutulmalıdır. Bu sebeple;

- Soğuk havalarda bina içinde sağlamaya çalıştığımız daha sıcak iç mekandan dış ortamlara doğru,
- Sıcak havalarda ise tam tersi olarak sıcak dış ortamdan bina içinde sağlamaya çalıştığımız iç mekanlara doğru ısı geçişi olmaktadır (Ekinci, 2003).

Isı farklı şekillerde elde edilebilmektedir;

- Mekanik enerjiden elde edilen ısı: Sürtünme yoluyla yani mekanik olarak bir ısı enerjisi açığa çıkar. Örnek olarak matkap ucunun dönmesi sırasında delmeye çalıştığı ortamla olan sürtünmesinden kaynaklı ısınması verilebilir.
- Kimyasal reaksiyondan elde edilen ısı: Petrol, kömür, odun gibi ürünlerin kimyasal olarak yanması sonucu ısı enerjisi çıkar.
- Elektrik enerjisinden elde edilen ısı: Bir devrede elektrik akımı bir dirençten geçerken, ısı enerjisi açığa çıkartır. Örnek olarak evlerde, işyerlerinde vb. yerlerde kullanılan elektrik sobası verilebilir.
- Işınım yoluyla elde edilen ısı: Güneş ışınları yer kabuğu tarafından tutulmakta ve ısınma başlamaktadır.
- Atom enerjisinden elde edilen ısı: Atomun kendisinden daha küçük alt birimlerine parçalanmasıyla parçacıklar, büyük bir enerji açığa çıkarırlar (Ünal, 2002).



Resim 2.1. Enerji dönüşüm diyagramı

2.2. Isı Transferlerinin Esasları

Isı transferi üçe ayrılmaktadır;

Isı iletimi (Kondüksiyon): Katı cisimlerden ısı geçişine denilmektedir. Yapılan kabullere göre, hareketsiz haldeki gaz ve sıvılardaki ısı geçiş şeklinin de ısı iletimi verileriyle bulunabilmektedir. Isı iletim katsayısı (k), birbirine paralel duran iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda birim zamanda (1 saat) birim alan (1 m^2) ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan (1 m) geçen ısı miktarıdır. Birimi $\text{kcal/mh }^{\circ}\text{C} = 1,163\text{ W/m.K}$ 'dır.

Isı Taşınımı (Konveksiyon): Hareketli durumdaki gaz veya sıvı ortamlardan ısı geçişine denir. Sıvı ve gaz maddelerde ısı, bağlı olduğu kütle parçacıklarının pozisyonlarını değiştirmeleriyle aktarılır. Isı aktarım katsayısı (h) taşınım türüne, akışkanın cinsine, termal ve fiziksel özellikleri ile akış geometrisi ve akış hızına bağlı olarak değişmektedir.

Isı Işınımı (Radyasyon): Elektromagnetik dalgalar halindeki ısı geçiş şekline denir. Gazlarda konveksiyon ve radyasyonla ısı geçişi karmaşık şekilde olur (Ekinci, 2003).

2.3. Isı Yalıtımı, Önemi ve Faydaları

Ülkemizde gerek sanayi gerek de binalarda kullanılan enerji miktarları her geçen gün daha da artmaktadır. Sanayide kullanılan enerji üretim amaçlı kullanılırken binalarda daha çok ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Söz konusu kullanılan bu enerjinin daha verimli kullanılabilmesi için binalara yapılacak ısı yalıtım ile sağlanabilir. Buradaki yapı bileşenleri arasındaki sıcaklık farkını azaltmak amacıyla yapılan işleme ise ısı yalıtımı denir.

Ülkemizde ve dünyada çevre problemlerinin başında enerji kullanımından kaynaklanan sorunlar dünyayı tehdit etmektedir. Günümüzdeki çevre sorunlarından küresel ısınma, asit yağmurları, ozon tabakasındaki incelme ve iklim değişiklikleri fosil yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır (Anonim, 2005a).

Binalarda ısı yalıtımı, enerjiden tasarruf etmek, hava kirliliğini azaltmak, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkının azalmasının sağlanması ve ısı kayıplarının bina üzerinde yol açacağı olumsuz fiziksel sorunların yaşanmaması için yapılması gereken bir uygulamadır. Binalardaki bu ısı kayıplarının olması gereken seviyeleri Türk Standartları Enstitüsü yönetmeliklerle (TS 825, Bayındırlık Bakanlığı Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği) belirlenmiş ve bu seviyelere uymak yasal bir zorunluluk sayılmıştır (Rubacı, 2006).

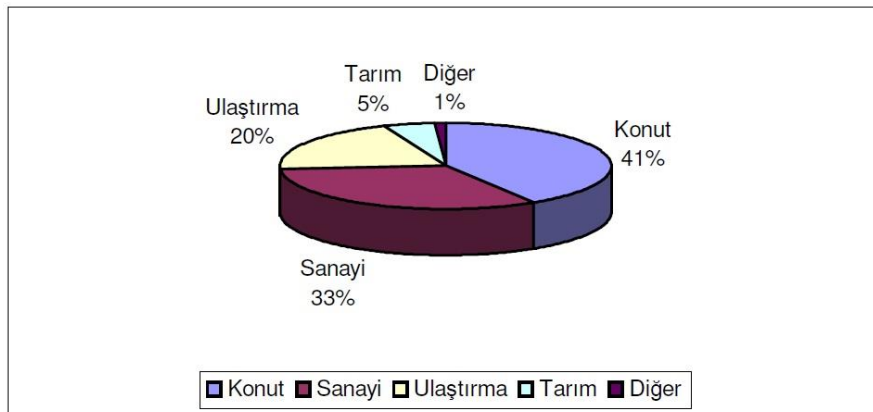
Binalarda yağın yağmurla nüfuz eden su ve oluşturduğu nem, betonarmenin içinde bulunan demirlerin paslanmasına ve demirin beton taşıma kapasitesinin düşmesine yol açar. Su ve nem, betonun içindeki demirin korozyonuna neden olur. Korozyona uğramış demir dayanımını kaybeder. Bununla birlikte, korozyon sonucunda oluşan pas, demire göre hacmi fazla olacağından betonda çatlamlar meydana gelecektir (Yalçın ve ark., 1995).

Isı yalıtımının amacı; kışın ısıtma, yazın soğutmada kullanılan enerjiden tasarruf sağlayarak ekonomiye katkıda bulunmaktır (Anonim, 2005a).

Günümüzde kullanılan enerji sorunu düşünüldüğünde, bina konforunun minimum enerji kullanarak sağlanması önemlidir. Çünkü dünya üzerindeki ülkelerin enerji

ihtiyaçları gelişen teknoloji ve büyüyen sanayiye bağlı olarak artmaktadır fakat, enerji kaynaklarımız ve buna bağlı olarak enerji üretimimiz azalmaktadır. Ülkemizde üretilen toplam enerjinin hangi alanlarda kullanıldığı aşağıdaki grafikte verilmiştir.

Resim 2.2’de görüldüğü gibi enerji tüketimine bakıldığında % 41 ile konut ve bina ısıtması ve soğutması birinci sırayı alır. İkinci sırada % 33 ile sanayi sektörü onu izler. Isı yalıtımı, uygulandığı yerlere bağlı olarak, % 85 oranında enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir (Ünal, 2002). Bina ısıtması, soğutması ve sanayi alanları toplam % 74 ’lük enerji tüketimi ile ısı yalıtımı yaparak ülkeye en fazla enerji tasarrufunu sağlayabilirler. Enerji tüketiminin en fazla olduğu bu iki alandan sağlanacak enerji tasarrufu yüksek rakamlara tekabül eder. Ve bu konuda yapılan birçok çalışmada, ısı yalıtımsız (mevcut) ve ısı yalıtımlı durumlardaki sonuçları değerlendirilmiştir (Anonim, 2006).



Resim 2.2. Sektörlere göre enerji tüketimi

Isı yalıtımı sonucu sağlanan yakıt tasarrufu ve hava kirlenici atıklardaki azalma miktarı hesaplandığında Çizelge 2.1 ve 2.2 ‘deki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 2.1 ve 2.2 verilerine göre; 2006 yılında bir yılda yaklaşık % 70 yakıt tasarrufu yapılmakta, ısı yalıtımına yapılan yatırım İstanbul 'da 1.5 yılda Elazığ 'da ise 1 yılda kendini amorti edebilmektedir. Hava kirliliğindeki azalma ise % 75 mertebesindedir (Koçu ve ark., 2005). Çizelge 2.1 'de verilen % 70 kazanç, hem enerjisi büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemiz, hem de bina kullanıcıları için küçümsenemeyecek bir rakamdır. Yalıtım için yapılan yatırımlar ise, sağlanan bu tasarrufun yanında

önemsiz kalmaktadır. Bu nedenle, ısı yalıtımının öneminin ve getirdiği kazançların, toplumun her kesimine çok iyi anlatılması ve bu konuda bilinçli bir toplumun oluşturulmasına çalışılmalıdır.

Çizelge 2.1. Örnek binanın yalıtımlı ve yalıtımsız durumda tüketebilecek yıllık yaklaşık yakıt miktarı ve maliyeti

	Yalıtımsız		Isı Yalıtımlı		Bir Yıldaki Muhtemel Tasarruf	
	İSTANBUL	ELAZIĞ	İSTANBUL	ELAZIĞ	İSTANBUL	ELAZIĞ
Miktar (ton)	3,70	5,60	1,00	1,40	2,70	4,20
Maliyet (YTL/Yıl)	5500	8400	1500	2100	4050	6300

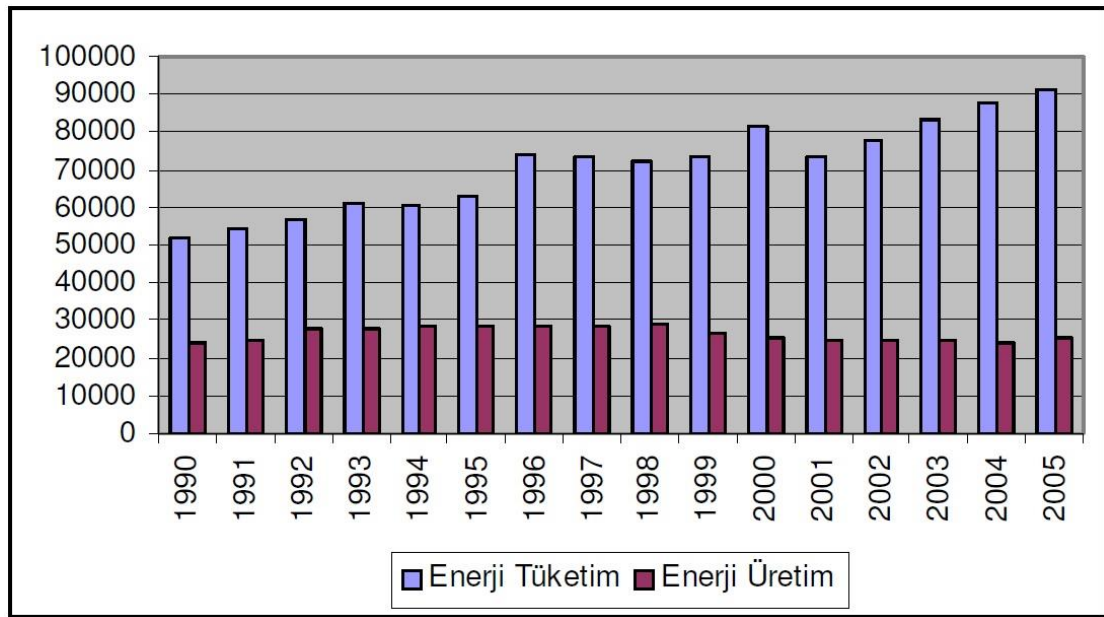
Çizelge 2.2. Örnek binanın yalıtımlı ve yalıtımsız durumda olası hava kirletici atık miktarları

Zararlı Maddeler	Yalıtımsız		Isı Yalıtımlı	
	İstanbul	Elazığ	İstanbul	Elazığ
CO ₂ Ton/Yıl	11	16,6	2,9	4,1
SO ₂ Kg/Yıl	1,8	2,8	0,5	0,7
NO _x Kg/Yıl	21	31,9	5,7	7,9
CO Kg/Yıl	7,2	10,9	1,9	2,7
C _x H _y Kg/Yıl	1,5	2,4	0,4	0,6
Partikül Kg/Yıl	5,3	8	1,4	2

Bu konuda yapılan hesaplara göre, iyi bir ısı yalıtımı uygulaması sayesinde enerji kullanımında % 70-80 tasarruf sağlamak mümkün görünmektedir. Basit bir ısı yalıtımı uygulamasında ise bu kazanç yaklaşık % 50 düzeyindedir. Yine iyi bir ısı yalıtım uygulaması ve enerji yönetimiyle yaklaşık 150 kWh/Yıl olan enerji kullanım miktarı 70 kWh/Yıl 'a düşürülebilir. Bu durum Çizelge 2.3' de yalıtım derecelerine göre belirtilmiştir. Çizelge 2.3'e bakıldığında binanın yalıtım derecesinin "yetersiz" seviyesinden "iyi" seviyesine getirilmesiyle ısı ihtiyacında % 74,7 gibi önemli seviyede bir azalma görünmektedir. Yani, yalıtım seviyesini yükselttikçe enerji tüketimi azaltılmaktadır ve yaklaşık % 75 gibi bir seviyede enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Rubacı, 2006). Şekil 2.1'de yıllara bağlı olarak Türkiye'deki birincil enerji kaynakları toplam üretim ve tüketimini vermektedir. Grafikte görüldüğü gibi yıllara göre enerji üretimi azalırken, enerji tüketimi hızla artmaktadır, tüketilen enerjiyi karşılamak için üretilen enerji yetersiz kalmaktadır.

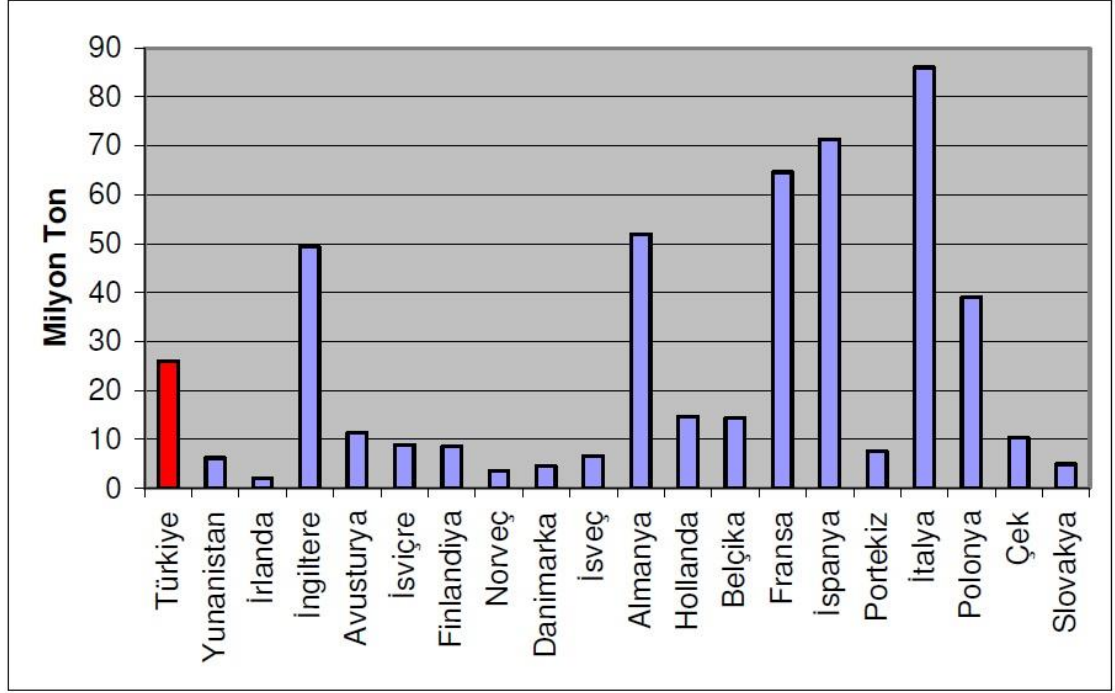
Çizelge 2.3. Yalıtım derecelerine göre ısı ihtiyacı

Yalıtım Derecesi	Dış Kapılar ve Pencereleler	Çatı	Dış Duvar	Döşeme	Isı İhtiyacı <i>kWh/Yıl</i>
Yetersiz	Çift Cam	18 cm Beton	30 cm Delikli Tuğla	18 cm Beton	34,79
Orta	Çift Cam	+5 cm Yalıtım	+5 cm Yalıtım	+5 cm Yalıtım	15,28
İyi	Üç Cam	15 cm Yalıtım	12 cm Yalıtım	10 cm Yalıtım	8,79

**Şekil 2.1.** Türkiye'de birinci enerji kaynakları toplam üretim ve tüketimi

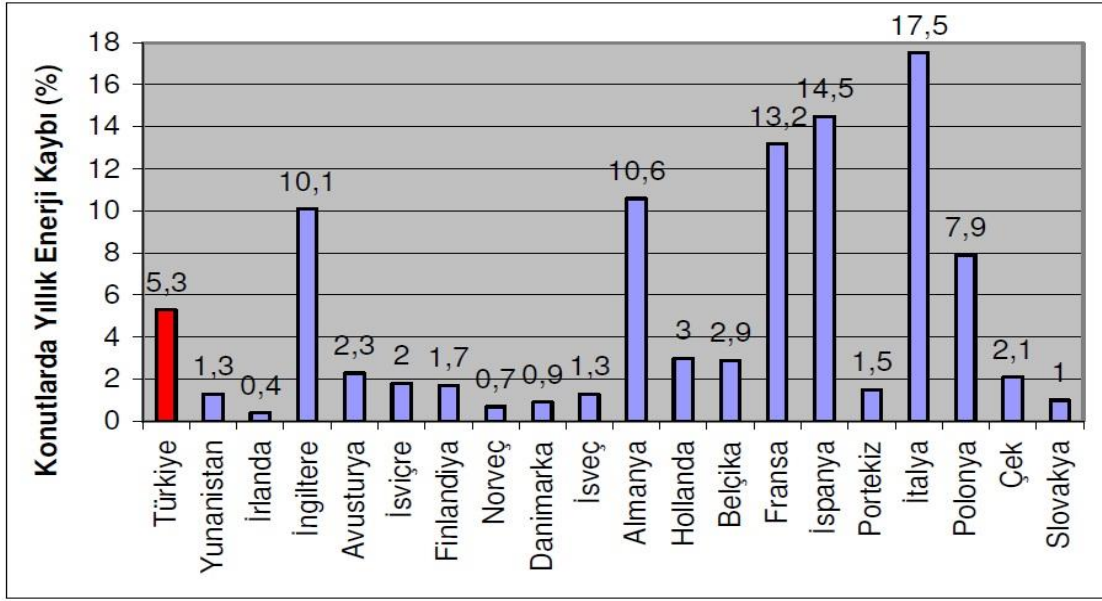
Enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte binalarda kullanılan enerji kaynaklarının azalması, binalarda enerjinin korunması ve yalıtımı mecbur kılmaktadır. Aksi takdirde karşılaştığımız olası sorunlar; binaların ömürlerinin azalması, havaya yayılan SO₂, NO_x ve CO₂ gibi zehirli gazlar ve diğer emisyonlara bağlı olarak insan sağlığının bozulması ve bunlara bağlı olarak küresel ısınma, ısı kayıplarına bağlı olarak harcanan yakıt giderlerinin artması gibi sorunlar oluşmaktadır. Bunlardan hava kirliliği ile ilgili 'Avrupa Mineral Yün Yalıtım Malzemeleri Üreticileri Birliği' EURIMA tarafından araştırmalar yapılmış ve binalardan çıkan yıl bazında toplam CO₂ emisyonlarının miktarları tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 2.2). Ülkemizde toplumun küresel ısınma ve iklim değişikliği ya da binalarda ısı yalıtımının çevre için taşıdığı önemi konusunda yeterli bilgisi olmadığı görülmektedir. İnsanların, binalarda

yalıtımı geliştirme konusunda gösterecekleri kişisel çabaların CO₂ emisyonlarını azaltmak açısından taşıyacağı önemin farkında olmadıkları açıkça ortadadır. Bu nedenle binalarda yalıtım standartlarının yükseltilmesi için yoğun bir çaba gösterilmesi gerekmektedir (Anonim, 2005a).

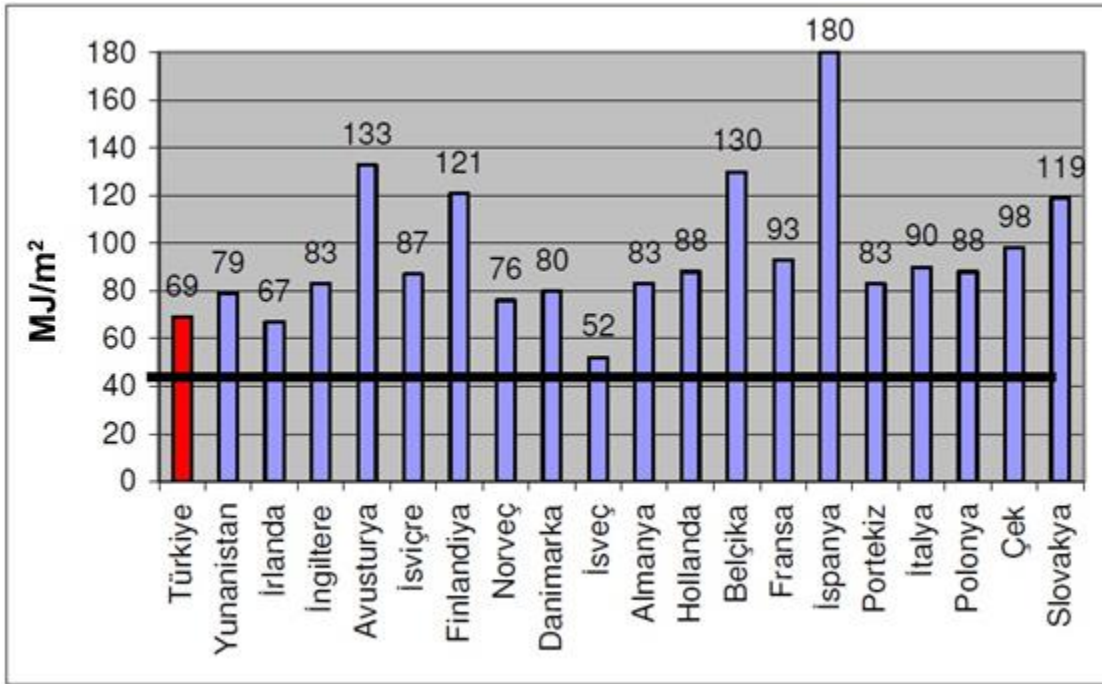


Şekil 2.2. Konutlardan çıkan yıl bazında toplam CO₂ emisyonları

Şekil 2.3’de EURIMA’dan alınan, ülkelerdeki bina başına düşen yıllık enerji kaybı, Şekil 2.4 ise ülkelerdeki kullanılan binaların duvarlarından meydana gelen enerji kaybını vermektedir.



Şekil 2.3. Konutlarda yıllık enerji kaybı



■ Tavsiye edilen azami enerji tüketimi

Şekil 2.4. Duvarlarda enerji kaybı

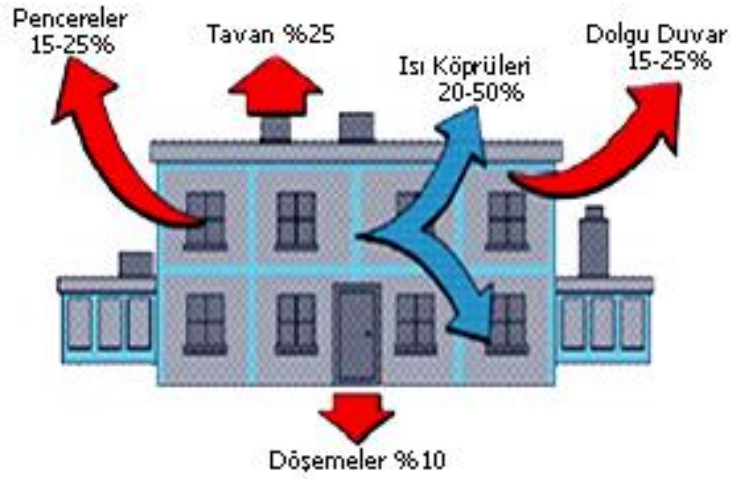
Binaların ısıtılma ihtiyaçları insana bağılı olduğu gibi coğrafi yapı ve iklim koşullarına da bağılıdır. Buna göre aşağıda Türkiye'deki bazı illerin ve diğere ÷lkelerin genel olarak bir ısıtma mevsiminde harcadıkları ortalama yıllık ısı miktarları verilmiştir.

- İsveç'te yerleşim birimleri arasında; 20.000–30.000 $Kcal / m^2.yıl$
- İngiltere'de yerleşim birimleri arasında; 20.000–40.000 $Kcal / m^2.yıl$
- Almanya'da yerleşim birimleri arasında; 40.000–60.000 $Kcal / m^2.yıl$

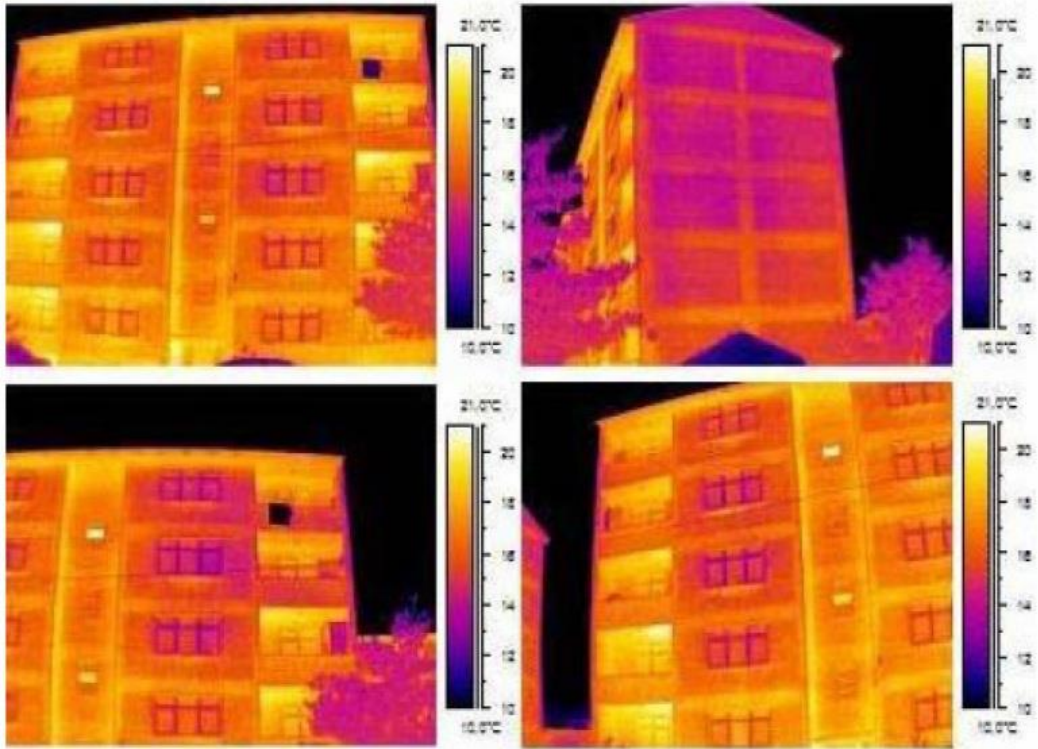
Türkiye'deki bazı illerde;

- Alanya'da 20.475 $Kcal / m^2.yıl$
- İzmir'de 61.425 $Kcal / m^2.yıl$
- İstanbul'da 70.200 $Kcal / m^2.yıl$
- Ankara'da 91.425 $Kcal / m^2.yıl$
- Kars'ta 165.200 $Kcal / m^2.yıl$ 'dır.

Bilindiğı gibi binalarda; yapısal olarak birçok bölgesinden ısı kaybetmekte ve bu yüzden binaların yakıt tüketimi yükselmektedir. Yapılarda genel olarak toplam ısı kayıplarının; % 10'u bina döşemelerinde (bina temelleri), % 15-25'i pencerelerde, % 25'i tavanlarda, % 15-25'i dolgu duvarlarda, % 20-50'si ısı köprülerinde oluşmaktadır (Resim 2.3) (Anonim, 2014c).



Resim 2.3. Binalarda ısı kayıpları



Resim 2.4. Yalıtımsız bir binada ısı kayıpları

Isı yalıtımının yararlarından dolayı gelişmiş ülkelerde ısı yalıtımı yaptırmak devlet bünyesi tarafından teşvik edilmekte, standart ve yönetmeliklerle uygulama sağlanmaktadır. Örneğin Almanya'da, İngiltere'de, Fransa'da ve İsveç'te ısı yalıtımı

yaptıracak kişiler, ister kendi evi olsun, ister kiracı olsun ısı yalıtımı malzemesi alımı için kredi desteği verilmekte ve uzun vadeler tanınmaktadır. Bu sayede; ülkenin döviz ile alınan enerji ithali azalmakta, kişilerin yakıt masrafı düşmekte ve hava kirliliği de o oranda azalmaktadır (Rubacı, 2006).

2.4. Türkiye’de ve Dünyada Isı Yalıtım Bilinci ve Malzemenin Kullanım Oranı

1970’den günümüze kadar ısı yalıtımı ve korunumuyla ilgili olarak yapılan çalışmalar ve bunlara göre çıkarılmış olan ve yürürlükte bulunan çeşitli yönetmelikler mevcuttur. Bu konudaki ilk öncü çalışma TSE tarafından 1970’de çıkarılmış TS 825 ‘‘Binalarda Isı Yalıtım Kuralları’’ standardıdır.

Bu standartta Türk Standartları Enstitüsü 1998 yılında kapsamlı bir revizyon yapmış ve bu TS 825 Standardını zorunlu standart olarak Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’na sunmuştur. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı da teklifi kabul ederek uygulama kararını 1999 yılında Resmi Gazete’de yayımlamış ve uygulamayı başlatmıştır. Böylece 2000 yılından beri yeni ruhsat alınan ve yapılan binalarda bu standart uygulanmaktadır (Rubacı, 2006). Bu standardın onayından sonra yapılan yeni binalardan elde edilen enerji tasarrufunun yıllık parasal değeri yaklaşık olarak aşağıdaki Çizelge 2.4 ‘de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Isı yalıtımının enerji tasarrufu sağlamadaki önemi

Yıllar	Bina Sayıları	Parasal Tasarruf (\$)
2002 (son 6 ay)	49 000	140 000 000
2003	125 000	340 000 000
2004	170 000	470 000 000
2005	220 000	625 000 000
2006 (ilk 6 ay)	250 000	720 000 000

Türkiye’deki bina yalıtımıyla ilgili durumunu gösteren kapsamlı araştırmalar ve çalışmalar yoktur. Fakat, ısı yalıtımı konusunda ülkemizin çok gerilerde olduğu fikrini destekleyecek çok sayıda veri vardır. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre, ülkemizde yaklaşık 8 milyon bina vardır ve bu binaların yaklaşık % 60’ı ruhsatsız olarak yapılan binalardan oluşmaktadır. Bu binaların % 95’inin son

güncellenen standartlara göre yalıtılmadığı düşünülmektedir. Yine 2000 yılından sonra yapılan yapılarda tespit edilen standartlarla ısı yalıtımı zorunlu hale getirilmesine rağmen, bu tarihten itibaren yapılan binaların sadece %8’inde kurallara uygun ısı yalıtımı yapıldığı tahmin edilmektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü verilerine göre binaların çatı yalıtımı sistemine yalnızca % 10’u ve çift cam uygulamasına ise yalnızca % 9’u sahiptir (Özeren, 2005).

Çizelge 2.5. Kişi başına düşen enerji yalıtım malzemesi

Bölge	Ülke	Enerji Tüketimi (*KEP/Kişi)	Isı Yalıtım Malzemesi Tüketimi (m^3 /kişi)
Kuzey Avrupa	Finlandiya	3985	0,66
	İsveç	3503	0,35
	Danimarka	3742	0,63
	Norveç	4748	0,84
Kuzey Amerika	Kanada	6941	0,78
	ABD	6679	0,49
Orta Avrupa	Almanya	3936	0,40
	İsviçre	2656	0,31
	Fransa	2604	0,29
	Avusturya	2813	0,37
	Hollanda	5084	0,24
	Belçika	3892	0,24
	İngiltere	3575	0,18
Akdeniz Ülkeleri	İtalya	2499	0,06
	İspanya	1474	0,06
	Yunanistan	1716	0,05
	Türkiye	782	0,04
Tropik Bölgeler	Avustralya	4792	0,17
	Kuveyt	6434	0,12
	Arjantin	1338	0,02
	Güney Afrika	1971	0,019
	Brezilya	537	0,008

*KEP: Kilogram Petrol Eşdeğeri

Avrupa’daki ülkelerle yapılan karşılaştırmalar, Türkiye’nin ısı yalıtımı konusundaki vahim durumunu göstermek açısından faydalıdır. Fransa’daki ısı yalıtım ürünleri pazarının büyüklüğü 30 milyon m^3 , Türkiye’de ise bu rakam 2,5–3 milyon m^3 ’te kalmaktadır. Pazarın parasal büyüklüğü 300 milyon \$; kişi başına yalıtım tüketimi ise 0,04 m^3 ’tür. Avrupa’da kişi başına yalıtım malzemeleri tüketimi 0,4 m^3 ’tür.

Amerika'da ise 1 m^3 seviyesindedir. Kişi başına ısı yalıtım ürünleri bakımından yapılan karşılaştırmada; Almanya'nın Türkiye'ye göre 10 kat, Fransa'nın ise 7 kat daha fazla olduğu görölür (Çizelge 2.5) (Sen, 2006).

Enerji alanında önemli bir yere sahip olan konutlar için harcanan enerjinin korunması yani ısı yalıtım konusunda daha yapılması gereken çok iş olduğu görölmektedir. Binalarımızda kullandığımız ısı yalıtım sistemlerini Avrupa standartlarına yükseltmekle ve bunu TS 825 standardımızdaki kurallara uyarak uygulamak ısıtma giderlerinden ve devlet bütçesinden %50 tasarruf sağlamak, hava kirliliğinde de iyileşme sağlamak mümkün görünmektedir.

3. ISI YALITIM MALZEMELERİ

3.1. Isı Yalıtım Malzemelerinin Tanımı

Farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı alışveriş miktarını azaltmak için yapılan işlem sırasında, yalıtımı sağlamak için kullanılan malzemelere ısı yalıtım malzemesi denir. ISO (Uluslararası Standartlar Örgütü) ve CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi) 'nin tanımına göre ısı iletim katsayısı 0,065 W/m.K değerinden küçük olan malzemelere ısı yalıtım malzemesi denir (Anonim, 2005a). Diğer malzemeler yapı malzemesi olarak kabul edilir.

Isı yalıtımının amacına ulaşması ve en iyi verimin alınması için kullanılan malzemelerin ve bu malzemelerin uygulamalarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Isı yalıtım malzemeleri, yalıtım işleminin yapılacağı bölgenin özelliklerine göre seçilir ve üretilir. Artık yalıtım işleminin konutlardan, denizaltılarına, uçaklara, gökdelenlere, uzay araçlarına kadar birçok farklı alanda uygulandığını düşünürsek bu malzemelerin tasarımı, üretimi ve uygulamasında çok dikkat edilmesi gerekliliği karşımıza çıkar.

3.2. Isı Yalıtım Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri

3.2.1. Gözenekli (Poroz) malzemeler için yoğunluk kavramı (ρ)

Isı yalıtım malzemelerinin gözenekli yoğunlukları (ρ) 10-1000 kg/m^3 arasında değişmektedir. Çünkü yalıtımı yapan esas etmen malzeme içinde bulunan hava boşluklarıdır (Reman, 2000) Çizelge 3.1'de değişik yoğunluktaki organik ve anorganik esaslı yalıtım malzemelerinin değişik yoğunluklarda hacimsel olarak içerdikleri gözenek yüzdeleri gösterilmiştir (Anonim, 2015c).

Çizelge 3.1. Değişik yoğunluktaki organik ve anorganik esaslı yalıtım malzemelerinin değişik gözenekli yoğunluklarda hacimsel olarak içerdikleri gözenek yüzdeleri

Gözenekli Yoğunluk (kg/m^3)	Organik Malzeme 1500 kg/m^3	Anorganik Malzeme 2600 kg/m^3
	Hacimsel Olarak %'de Gözenek	
10	99,5	99,7
100	93,5	96
300	80	88,5
500	67	81
1000	33	61,3
1500	-	42,5
2000	-	23

3.2.2. Özgül ısı (C_p) ve nem

Özgül ısı sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir ve sıcaklık arttıkça artar. Ayrıca yalıtım malzemesinin içerdiği nem miktarı da özgül ısının yükselmesine sebep olur. Değişik malzemeler için özgül ısı değerleri aşağıda Çizelge 3.2'de ve nemin özgül ısısına etkisi Çizelge 3.3 'de verilmiştir (Anonim, 2005a).

Çizelge 3.2. Değişik malzemelerin farklı sıcaklık aralıklarındaki özgül ısıları

Malzeme	Özgül Isı ($kcal/kg\ ^\circ C$)			
	$0\ ^\circ C - 100\ ^\circ C$	$100\ ^\circ C - 300\ ^\circ C$	$300\ ^\circ C - 600\ ^\circ C$	$600\ ^\circ C - 900\ ^\circ C$
Alçı	0,2	0,21		
Asbest	0,2			
Asfalt	0,22			
Beton	0,304			
Bitüm	0,41-0,46			
Cüruf	0,18			
Cam Yünü	0,19-0,2	0,22	0,25	0,27
Ham İpek	0,33			
Jüt	0,32			
Kizelgur	0,21	0,22-0,26		
Kuvarz	0,19			
Şekillendirilmiş Kizelgur	0,2		0,226	0,238
Kaolin, Kil	0,22			
Kum	0,19-0,22			
Porselen	0,19	0,21	0,233	
Tuğla	0,18-0,22			

Çizelge 3.3. Nemin yalıtım malzemelerinin özgül ısılarına etkisi

Ağırlıkça Nem Yüzdesi	Özgül Isı (<i>kcal/kg °C</i>)	
	Anorganik	Tahta ve Benzeri
0	0,21	0,32
1	0,22	0,33
5	0,25	0,36
10	0,28	0,39
20	0,34	0,44
50	-	0,55

3.2.3. Isı iletim katsayısı (k)

Isı iletim katsayısı sıcaklık ve yoğunluğa göre değişmektedir. Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de organik ısı yalıtım malzemelerinin değişik yoğunluklardaki ısı iletim katsayıları görülmektedir. Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısı sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Malzemelerin içyapı şekline bağlı olarak liflerin enine veya boyuna olmasına göre ısı iletim katsayısı değişmektedir. Çizelge 3.6’da farklı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ve ısı iletkenlik sınıfları verilmiştir (Anonim, 2005a).

Çizelge 3.4. Organik yalıtım malzemelerinin 0 °C sıcaklıkta değişik yoğunluklardaki ısı iletim katsayıları

Yoğunluk (<i>kg/m³</i>)	Isı İletim Katsayısı (<i>W/m.K</i>)				
	Mantar Levha	Mineraliz Ağaç	Organik Lifli	Organik Lifli Şilte	Lifsiz
20					0,051
50	0,050			0,051	0,055
100	0,055			0,051	0,056
200	0,069	0,086	0,065	0,065	0,070
300	0,082	0,096	0,069		
400	0,094	0,112	0,075		
500	0,102	0,143	0,086		
600		0,182	0,103		

Çizelge 3.6. (Devam) Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve ısı iletkenlik sınıfı

Fenol Reçineden Sert Köpük		Δ	0	0	0		0						
Lifli Yalıtım Malzemeleri				0	0		0	0					
Cam Köpüğü					Δ		0	0	0	0			
Kalsiyum Silikat Levhalar											Δ		
Perlitli Yalıtım Levhaları									Δ	Δ			
Genleştirilmiş Perlit									Δ	Δ			
Selüloz Lifli Yalıtım Malzemeleri					Δ		Δ						
0 DIN 4108 Bölüm 4 (Kasım 91)'e Göre Isı İletim Katsayısı kWh													
Δ Alman Malzeme Kullanabilirlik Belgesine Göre Isı İletim Katsayısı kWh													

3.3. Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Özellikler

Tek bir malzemenin tüm istenen özelliklere sahip olması mümkün değildir. Çeşitli kullanım alanlarına göre, iyi bir ısı yalıtım malzemesinden beklenen genel özellikler şunlardır:

- Düşük ısı iletkenlik katsayısı,
- İstenen basınç mukavemetine sahip olması, zamanla çökme yapıp deforme olmaması,
- İstenen çekme mukavemetine sahip olması,
- Bulunduğu ortam sıcaklığında bozulmaması,
- Özelliklerini zamanla kaybetmemesi ve çürümemesi,
- Birlikte kullanılan malzemelerle reaksiyona girmemesi ve bozulmaması (Kimyasal kararlılık ve dayanıklılık),
- Yanmazlık, alev geçirmezlik ve alev yürümezlik,
- Yeterli buhar difüzyon direnci,

- Suya ve neme karşı yüksek dayanım,
- Uygulama ve işçilik kolaylığı,
- Boyutsal kararlılık,
- Kokusuz olması,
- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermemesi, kaşıntı ve alerji yapmaması,
- Ekonomik olması,
- Hafiflik,
- Çeşitli böcek ve mikroorganizmalar tarafından bozulmaması,
- Küf tutmaması (Evcil, 1999).

3.4. Isı Yalıtım Malzemeleri

3.4.1. Cam yünü

Cam; yüksek sıcaklıkta değişik malzemelerin bir arada erimesi ve aralarında kimyasal bir bağ bulunmaması esasına dayanır. Hammadde olarak değişik cinsleri için SiO_2 (kuvarz kumu), Na_2CO_3 (soda), K_2CO_3 (potas), Na_2SO_4 , CaCO_3 , MgCO_3 (dolomit) CaO , MgO , PbO , Pb_3O_4 , metal oksitleri, fosfat, çinko oksit, arsenik değişik oranlarda kullanılır.

Alkaliler (Na, K gibi) ile PbO erime noktasını düşürür, camın mukavemet ve sertliğini azaltır. % 71 SiO_2 , % 5,4 H_3BO_3 (bor asidi), % 18 Na_2CO_3 , % 9 K_2CO_3 , % 14,5 CaCO_3 , % 6 $\text{Al}(\text{OH})_3$ olursa 1450°C ' de eriyen cam elde edilir. Renksiz camda % 70 SiO_2 , % 10 Na_2O , % 5 K_2O , % 8 CaO , % 4 Al_2O_3 , % 3 B_2O_3 bulunur. Ayrıca Ca_2O_3 mavi, Cu_2O kırmızı, Se (selen) kırmızı, MnO_2 menekşe rengi verirler (Anonim, 2015e).

Cam, yalıtım malzemesi olarak; çapları 3-5 mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Camyünü lifli yapıda olduğundan dolayı kapiler emicilikleri yüksektir. Temelde bakalitli (sarı) ve bakalitsiz (beyaz) olmak üzere iki tipi vardır

(Çizelge 3.7 – 3.8). Bakalitsiz olanları genellikle kümes teline veya oluklu mukavva gibi malzemelere tel ile dikilerek şilte halinde kullanılır. Bakalitsiz camyünleri piyasaya 5-25 mm kalınlıklarda sunulurken bakalitli camyünleri ise 20 - 150 mm kalınlıklarında sunulur (Anonim, 2005b). Camyünü elde edilmesi için hammadde oranları yukarıda verilenlerden farklı olup, ortalama olarak % 54 SiO₂, % 15,7 Al₂(OH)₃, % 0,5 Fe₂O₃, % 16 CaO, % 3,8 MgO, % 8 borosit alınır (Anonim, 2015a).

Özel formülüne göre bir araya getirilerek oluşturulan karışım 1400 °C'de özel fırında ergitilir. Ergimiş cam, platin bir çubuktan akarak hızla dönen ve kenarında küçük delikler bulunan platin bir sepete çarpar ve bu arada tazyikli hava verilir. Bu suretle merkezkaç kuvvetle çok ince lif haline gelen camyünü, bakalitsiz olup renksizdir. Cam yününün belirli bir kalınlıkta tutulabilmesi maksadıyla malzemeye yapıştırıcılık ve elastikiyet kazandırmak için bakalit ilave edilmektedir. Bunun için camyününe sıvı bakalit püskürtülür ve bakalitlenmiş malzeme etüvde kurutulur. Bakalitlenmiş cam yünü koyu sarı renktedir (Anonim, 2015b).

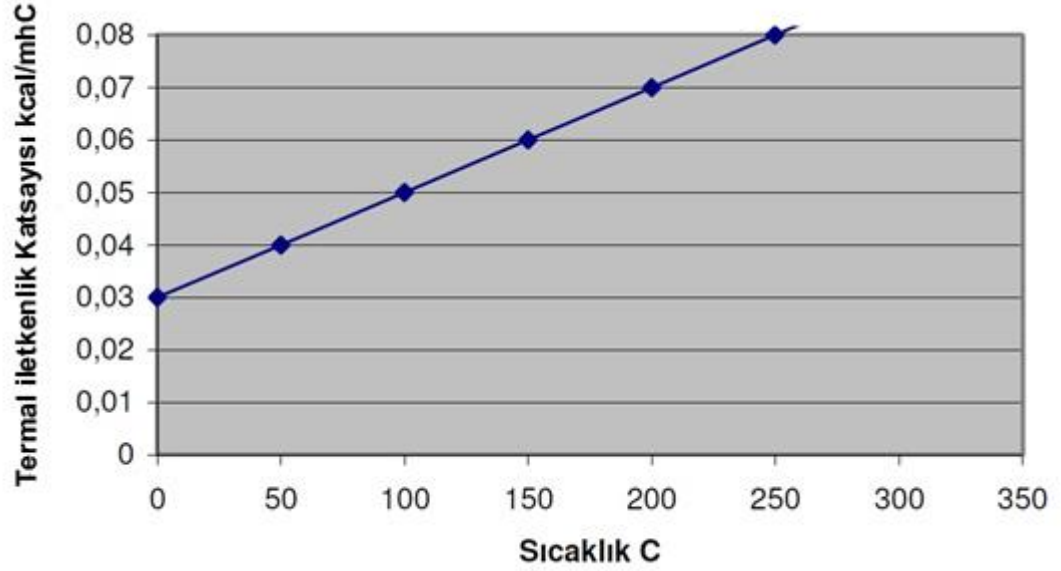
Çizelge 3.7. Bakalitli camyününün sıcaklık ve yoğunluğa göre termal iletim katsayılarının değişimi

Ortalama Sıcaklık (°C)	Yoğunluğa Göre Termal İletkenlik Katsayıları (W/m.K)		
	16 kg / m ³	48 kg / m ³	80 kg / m ³
-20	0,031	0,028	0,028
10	0,037	0,030	0,031
20	0,040	0,032	0,032
50	0,047	0,035	0,035
100	0,065	0,044	0,042

Çizelge 3.8. Bakalitsiz camyününün sıcaklık ve yoğunluğa göre termal iletim katsayılarının değişimi

Ortalama Sıcaklık (°C)	Yoğunluğa Göre Termal İletkenlik Katsayıları (W/m.K)
	130 kg / m ³
0	0,035
50	0,045
100	0,056
250	0,073
350	0,096
500	0,141

İmal usulüne bağılı olarak takriben 3-40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup 500 °C gibi yüksek sıcaklıklara kadar kullanılır. Özel olarak imal edilip 700 °C sıcaklığa kadar kullanılan cinsleri de mevcuttur. Daha yüksek sıcaklıklar için arada ya hava boşluğu bırakılır ya da kizelgur gibi daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemeler araya yerleştirilir. Camyününde kullanılan bakalit, ‘fenol-formaldehit’ bakalitidir. Yoğunluğu 15-200 kg/m^3 arasında değişip optimum yoğunluk değeri 60-65 kg/m^3 dür. Isı iletim katsayıları (k) 0 °C sıcaklıkta 0,048 $W/m.K$ değerinden 450 °C sıcaklıkta 0,193 $W/m.K$ değerine kadar artar (Şekil 3.1). Özgül ısı 0,18 $kcal / kg$ °C gibi çok küçük değerde olduğundan aralıklı çalışmalar için uygundur (Reman, 2000).



Şekil 3.1. Cam yünü termal iletkenlik katsayısının sıcaklıkla değişimi

Cam yünü aşağıdaki gibi farklı şekillerde elde edilir.

- Çubuk çekme
- Hazne tambur
- Meme çekme
- Meme üfleme

- Savurma

- Kombine savurma ve uzatma

Cam yünü şilte ekonomik olması ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle özellikle kullanılmayan çatı arası döşeme üzerinde tercih edilmektedir.

Diğer yalıtım malzemelerine göre oldukça geniş kullanma sahası bulunan cam yünü aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Yanıcı değildir.

- Dış kuvvetler ile kolayca deformasyona uğrar.

- Higroskopik değildir.

- Kimyasal olarak nötrdür.

- Atmosferik şartlara dayanıklıdır.

- Asitlere karşı (hidroklorik asit hariç) dayanıklıdır.

- Küf tutmaz

- Haşerelerin yuvası olmaz.

- Bıçakla kolayca istenilen şekilde kesilebilir.

- İşçiliği kolaydır.

- Vana gibi çok girintili parçaların yalıtımlarına uygundur.

- Deri ile temas edince kaşıntıdır, bu sebeple eldiven kullanılması tavsiye edilir.

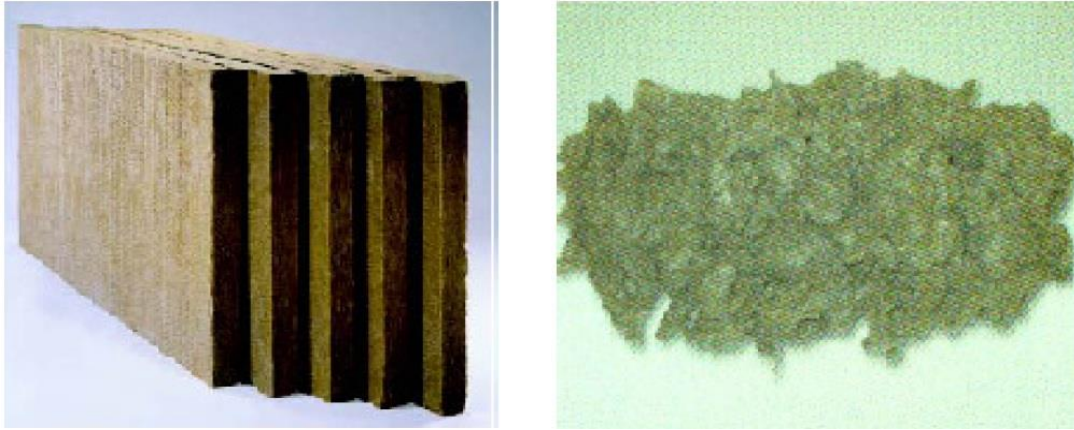
- Sarsıntı ve ufalanmaya karşı dayanıklıdır (Anonim, 2005b).



Resim 3.1. Cam yünü

3.4.2. Taş yünü

Bazalt veya diabaz taşının yüksek sıcaklıklarda ergitilerek elyaf haline getirilmesi ile elde edilen bir ısı yalıtım malzemesidir. İlk defa 1897'de Amerika'da yapılmış, yalıtım amacı ile 1927'de kullanılmaya başlanmıştır (Anonim, 2015a). Elyaf haline getirme işleminde hammadde, kireç taşı ile karıştırılır ve 1600 °C'de ergitilir. Eriyik kaya çok hızlı dönen bir diskin üzerine damlatılır. Buradan çok uzun iplikler halinde çıkar. İplikler toplandıktan sonra yapıştırıcı özellikteki sentetik reçine ve yağ ilavesi ile kaya yünü malzemeleri şilte haline getirilir. Rengi koyu gri renkli olup şiltelerin özellikleri şekillerine bağlı olarak değişmektedir (Resim 3.2). Taş yünü; düşük yoğunluklu olanları rulo halinde, yüksek yoğunluklu olanları ise şilte halinde piyasaya sürülür. Kükürt esaslı ve kalsiyum esaslı olmak üzere iki çeşittir. 10 °C'de ki ısı iletkenliği 0,033-0,032 $W/m.K$ 'dir. En iyi ısı iletim performansı 100-120 kg/m^3 yoğunluk değerinde elde edilir. Yoğunluğu 30-200 kg/m^3 arasındadır. Taş yünü ıslandığı zaman yalıtım özelliği kaybolur.



Resim 3.2. Camtülü kaplı taş yünü levha ve bağlayıcısız taş yünü elyafı

Bu nedenle bazı taş yünü tiplerinde malzemenin içine su itici silikon sıkılır. Taş yünü piyasada düşük ($20 - 100 \text{ kg} / \text{m}^3$) ve yüksek yoğunluklu ($100 - 200 \text{ kg} / \text{m}^3$) olarak bulunur (Çizelge 3.9, Çizelge 3.10). Düşük yoğunluklu taş yünü piyasaya 20-120 mm kalınlıklarında, yüksek yoğunluklu taş yünü ise piyasaya 20-150 mm kalınlıklarında sunulur (Sen, 2006)

Çizelge 3.9. Düşük yoğunluklu taş yününün sıcaklığa ve yoğunluğa bağlı termal iletim katsayıları

Ortalama Sıcaklık (°C)	Yoğunluğa Göre Termal İletim Katsayıları (W/mK)				
	23 kg/m ³	33 kg/m ³	45 kg/m ³	60 kg/m ³	80 kg/m ³
10	0,037	0,035	0,033	0,033	0,033
50	-	0,043	0,039	0,038	0,038
100	-	0,055	0,047	0,045	0,045
200	-	-	0,07	0,066	0,066
300	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-

Çizelge 3.10. Yüksek yoğunluklu taş yününün sıcaklığa ve yoğunluğa bağlı termal iletim katsayıları

Ortalama Sıcaklık (°C)	Yoğunluğa Göre Termal İletim Katsayıları (W/m.K)		
	100 kg/m ³	140 kg/m ³	200 kg/m ³
10	0,033	0,033	0,034
50	0,037	0,037	0,038
100	0,044	0,044	0,043
200	0,064	0,060	0,059
300	0,088	0,081	0,079
400	0,112	0,106	0,100

3.4.3. Genleşen polistren köpük (EPS)

Polistren sert köpük, yapay organik bir ısı yalıtım malzemesi olup, ilk kez 1952 yılında Alman BASF firması tarafından üretilmiş ve ‘Styropor’ adı altında dünyaya yayılmıştır. Zamanla Shell, Höchst, CdF Chemie gibi diğer firmalar tarafından da üretilerek değişik marka adları almasına karşılık Türkiye’deki adı Styropor olarak kalmıştır.

Günümüzde piyasada çeşitli tür Styropor grupları mevcuttur. Her bir grupta bulunan tipler tane büyüklüğü, işlenme özellikleri ve kullanma maksatlarına göre değişiklik gösterir. Bunlar;

- Styropor P : Standart köpük maddesi için,
- Styropor F : Zor alev alan köpük maddesi için,
- Styropor H : Doymuş karbonhidratlara dayanıklı köpük maddesi için,
- Styropor G : Renkli köpük maddesi elde etmek için,

EPS ’nin başlıca tercih edilme nedenleri şunlardır;

- Yüksek ısı yalıtımı sağlar. ($k_{lab}=0,030 W/m.K$, $k_{hesap}=0,058 W/m.K$)
- En ekonomik yalıtım malzemesidir.
- Üstün teknik özelliklere sahiptir.

- Basınca çok dayanıklıdır. Yoğunluk arttıkça basınç dayanımı artar.
- Kapalı gözenekli olduğu için pratik olarak ıslanmaz, yalıtımı sürekli yapar. Kapiler ve higroskopik değildir.
- Kalınlığı zamanla incelmez, sabit kalır.
- Çevre dostu bir malzemedir. İçinde ozon tabakasına zarar verici CFC (kloroflorokarbon) yoktur. Geri dönüşümlü bir malzeme olup, üretim sonrası çevreyi kirletecek atık çıkarmaz.
- Sonsuz ömürlüdür. Bina durdukça yalıtım görevine devam eder.
- Çok hafiftir, kolay taşınır, kolay uygulanır.
- Buhar geçirimsizliği yüksektir. Yoğunluk arttıkça buhar geçirimsizliği de artar (Anonim,2015).

EPS'lerin diğer bir özelliği de imalinde kullanılan şişirici gaz (pentan) ozon tabakasına zarar vermez, iklim değişikliğine neden olmaz (Sen,2006).

Yoğunlukları $10-40 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Ancak istenirse yoğunluk 60 kg/m^3 'lük değerlere çıkarılabilir. Yapı sektöründe genellikle $16-32 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olanları kullanılır. Yoğunluğun artmasıyla basınç dayanımı, buhar geçirimsizliği ve fiyatı da artar. EPS'lerin en önemli özelliği ısı iletkenliklerinin düşük olmasıdır. EPS'ler için ortalama ısı iletim katsayısı $0,035 \text{ W/m.K}$ 'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. EPS'nin yoğunluğa göre ısı iletkenliği

Yoğunluk arttıkça küreler birbirine daha sıkı yapışacağından su alma oranı gittikçe azalır. Bir yıl süreyle tamamen su içerisine batırılmış EPS'nin hacimsel su alma yüzdeleri Şekil 3.3 'de verilmiştir. EPS'lerin yoğunluğa göre buhar geçirimsizlikleri aşağıdaki Çizelge 3.11'de verilmiştir (Anonim, 2015c).



Şekil 3.3. EPS'nin yoğunluklarına göre su alma yüzdeleri

Çizelge 3.11. EPS'nin yoğunluğa göre buhar geçirimsizliği

Yoğunluk (kg/m^3)	Buhar Geçirimsizliği (μ)
10	15-30
15	20-50
20	30-70
30	40-100

Prensip olarak basınç gelmeyen yerlerde daha düşük yoğunluklu EPS kullanılabilirken, basınç gelen yerlerde yüksek yoğunluklu olanları kullanılmaktadır (Çizelge 3.12). Yalıtım malzemelerinin yalıtım fiyatlarını karşılaştırabilmek için, malzemelerin k_{hesap} değerlerine göre bulunacak eşdeğer kalınlıklar dikkate alınmalıdır (Anonim, 2005a).

Çizelge 3.12. Polistrenin karakteristik özellikleri

Yoğunluk	13-40 kg/m^3
Termal iletkenlik katsayısı	0,035 $W/m.K$
Basınç gerilimi	0,1-0,4 N/mm^2
Bükülme dayanımı	0,16-0,50 N/mm^2
Su absorpsiyon (1 yıl)	% 5,0-3,5 (hacimce)
Su buharı difüzyon direnci (μ)	20/50-40/100
Kullanılabilir ısı sınır değeri	-180 °C ,+100 °C arası

EPS'nin kullanım yerleri,

- Soğuk hava depoları
- Ticari buzdolapları
- Soğutma sistemli araçlar
- Prefabrik beton elemanlar
- Teras çatılar
- İki duvar arası
- Dış duvarın içten yalıtımı
- Dıştan duvarların yalıtımı (Resim 3.3) olarak sayılabilir.



Resim 3.3. EPS'nin uygulama şekli

3.4.4. Haddelenmiş polistren köpük (XPS)

Haddelenmiş polistren köpük (XPS), polistren hammaddesinin ekstrüzyonla levha halinde çekilmesiyle üretilen bir ısı yalıtım malzemesidir.

Bu malzemelerin hücre yapıları ve dağılımı homojendir. Isıl iletkenlik katsayıları EPS'lere göre daha düşüktür. Levhaların kapalı hücre yapılarının şekilleri itibariyle su alma durumları daha da azdır. Yoğunlukları $25-45 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. En önemli özelliklerinden biri basınca karşı olan mukavemetinin fazla olmasıdır. Ayrıca su buharı direnç faktörleri de yüksektir. Isıl iletkenlikleri bakımından; 33 kg/m^3 yoğunluğundaki XPS için $k_{\text{hesap}} = 0,026 \text{ W/m.K}$ alınmalıdır. Yoğunluğun artması ile bu değer de değişir (Çizelge 3.13).



Resim 3.4. Levhalar halinde üretilmiş xps ürünler

Çizelge 3.13. XPS 'lerin yoğunluğa bağlı olarak termal iletkenlik katsayıları

Ortalama Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Yoğunluğa Göre Termal İletkenlik Katsayıları ($W/m.K$)			
	$28 kg/m^3$	$32 kg/m^3$	$38 kg/m^3$	$45 kg/m^3$
10	0,025	0,026	0,027	0,028

XPS'lerin mekanik dayanımları yoğunluğa göre değişmekle birlikte şu şekilde özetlenebilir;

- $25 kg/m^3$ için $0,15 N/mm^2$
- $35 kg/m^3$ için $0,30 N/mm^2$
- $38 kg/m^3$ için $0,50 N/mm^2$

Malzeme çok sıkı kapalı gözenekli bir yapıya sahip olduğundan dolayı su alma durumu fevkalade düşüktür. Tüm yoğunluklar için su alma yüzdesi hacminin % 1'i kadardır. Bu nedenle teras çatı sistemleri için iyi bir yalıtım malzemesidir. Malzeme higroskopik veya kapiler değildir (Anonim, 2005b).

XPS üretiminde şişirici gaz olarak HCFC kullanılmaktadır. Üretimde açığa çıkan HCFC ozon tabakasına zarar vermektedir (Anonim, 2005b).

Aşağıdaki Çizelge 3.14’de XPS ve EPS ‘nin karşılaştırılması gösterilmiştir (Anonim, 2005b).

Çizelge 3.14. XPS ve EPS’nin karşılaştırılması

Teknik Özellik	İlgili Standart	Birim	EPS		XPS	
Yoğunluk	DIN53420	Kg/m^3	25	32	25	32
Isı İletkenlik	DIN 4108	$W/m.K$	Lab:0,034	Lab:0,034	Lab:0,028	Lab:0,027
	DIN 52612		Hes:0,040	Hes:0,040	Hes:0,032	Hes:0,032
	TS 7316	$Kcal/mhC$	Lab:0,029	Lab:0,027	Lab:0,024	Lab:0,023
	TS 825		Hes:0,034	Hes:0,034	Hes:0,027	Hes:0,027
Basınç Dayanımı %10 deformasyonda	DIN 53121	N/mm^2 kg/cm^2	Ortalama 0,14-1,4	Ortalama 0,22-2,2	0,15-1,5	0,3-3
Basınç Dayanımı <%2 deformasyonda devamlı basınç altında		N/mm^2 kg/cm^2	Ortalama 0,028-0,28	Ortalama 0,049-0,49	0,06-0,6	0,11-1,1
Su alma durumu (1 yıl süre ile suya daldırılmış örnekte)	DIN 53428	Hacim %si	4	3,5	0,1	0,1
Buhar difüzyon direnç katsayısı (kalınlığa göre değişir)	DIN 52615		30-70	40-100	80-150	100-200
Yanıcılık	DIN 4102	B1 zor alev alır B2 normal alev alır	B2 ve B1	B2 ve B1	B1	B1

XPS sadece B1=Zor alev alıcı özelliğine sahiptir. EPS 'in ise hem B1 hem de B2 normal alev alıcı tipleri mevcuttur.

Karşılaştırılan malzemeler arasında teknik özellik farklılıklarının çok az olmasına karşın EPS, XPS’den daha ekonomiktir (Yılmaz, 2006).

3.4.5. Odun lifi levhalar

Odun lifi levhaları, odunlaşmış liflerin katkı maddeli veya katkı maddesiz bir mamulüdür. Odunlaşmış lifler, bitkilerin odunlaşmış kısımlarından mekanik veya kimyasal olarak elde edilmiş selülozlu lifler veya lif gruplarıdır (Resim 3.5).

Lifler su ile fenol reçinesi uygun bir oranda karıştırılarak merdaneler arasından geçirilip belli bir kalınlıkta levha halinde elde edilirler. Kalınlıkları 6 ile 13 *mm* arasında olup, ısı iletim katsayısı ile neme bağlı olarak değişir ve Çizelge 3.15’de verilen değerleri alır. Binaların iç dekorasyonunda kullanımları uygundur.



Resim 3.5. Odun lifi levhaları

Çizelge 3.15. Tahta lifli yapı levhalarının termal iletkenlik katsayıları ($k= W/m.K$)

Ortalama Sıcaklık °C	0	10	20	30
Ağırlıkça %7,6 Nem	0,060	0,067	0,075	0,086
Kuru	0,053	0,060	0,068	0,075

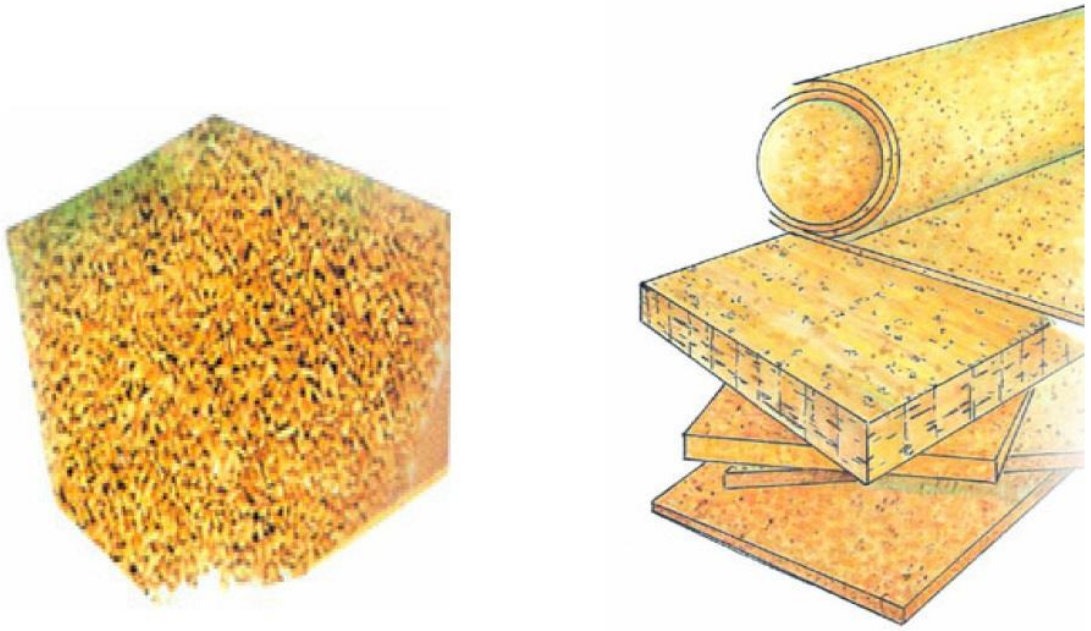
3.4.6. Fenol köpüğü

Fenol köpüğü, fenol-formaldehit bakalitine anorganik şişirici ve sertleştirici maddeler katılarak elde edilir. Fenol köpüğü levhaları çeşitli yoğunlukta dırlar ve sert fakat kırılğan, küçük gözenekli, yüzeyi sürtünme ile tozlaşan bir yapıdır.

Isı iletkenlik hesap değeri ortalama 0,036 $W/m.K$ ‘dır. Su buharı difüzyon direnç faktörü 10-50 arasındadır. Kolay su alabilen, kapiler özelliktedirler. Yanma sınıfı BS 476 standardına göre Class 1 ‘dir. Yoğunluğu 30-50 kg/m^3 , basınç dayanımları 10-15 ton/m^2 aralığındadır (Anonim, 2009).

3.4.7. Mantar levhalar

Kuzey Afrika kıyıları ile Sicilya, Korsika, Sardunya Adalarında yetişen ağacın kabuklarından elde edilir. Eskiden yalıtım amacıyla kullanılırken bugün daha ziyade dekorasyon amacı ile ve şişe mantarı olarak kullanılmaktadır. Ham mantarın yoğunluğu $120-190 \text{ kg} / \text{m}^3$ arasındadır. Isıl iletkenliği $0,040 \text{ W/m.K}$ olup, homojen gözenekli bir yapıya sahiptir (Resim 3.6) (Anonim, 2005b).



Resim 3.6. Mantar ısı yalıtım levhaları

3.4.8. Poliüretan köpük

İzosiyanat bileşiğin alkol ile reaksiyonu sonucu alkolün hidrojen atomu izosiyanata kayarak poliüretan elde edilir. Diziisyanatın ve reaksiyonu kolaylaştıran OH gruplu uygun polialkolün kullanılmasıyla da yüksek moleküllü poliüretan meydana gelir. Poliüretanlar, kapalı gözenekli gevrek ve açık gözenekli yumuşak elastik olmak üzere iki tipte yapılırlar. Ana hammadde olarak (desmodur) poliizosiyanat ile OH grupları ihtiva eden (desmofen) polialkol kullanılır. Kimyasal yoldan elde

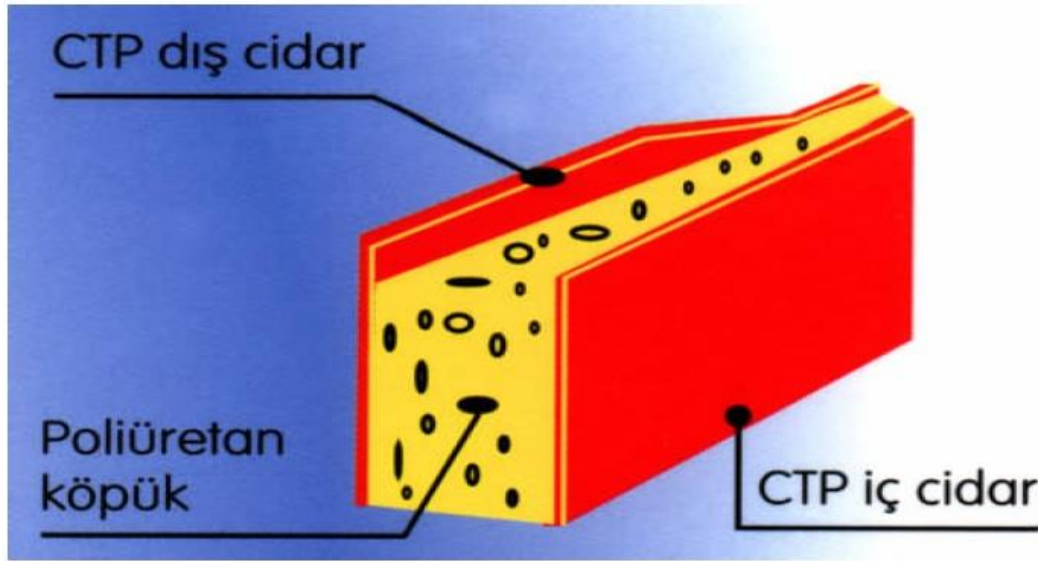
edilmelerinde su ile izosiyanat reaksiyonu sonucunda açığa çıkan CO₂ köpürmeyi sağlar. Fiziksel yoldan elde edilmelerinde ise düşük sıcaklıkta buharlaşan Freon 11 köpük hammaddesine ilave olunarak ekzotermik reaksiyonla sıcaklığın yükselmesi sonucu buharlaşması ile köpürme meydana gelir. Genellikle levha halinde bulunmakla birlikte, prefabrik boru gibi şekil verilmiş formlarda da bulunabilirler (Resim 3.7). Ayrıca dar ve ulaşılması güç noktalarda yerinde imalat yöntemi prensibi gereği aerosol kutusu içinde imal edilen çeşitleri de vardır (Resim 3.8). Levhaların tek taraflı ısınması halinde şekil deformasyonu görülür. Bu yüzden her iki yüzünün de başka bir malzeme ile (kağıt, bitümlü kağıt, PVC, alüminyum folyo vb.) kaplanması gerekmektedir (Resim 3.9). Poliüretanın ısı iletkenliği çok düşüktür. Hatta bazı üreticiler 0,012-0,013 W/m.K gibi ısı iletkenlik değerleri vermektedir.



Resim 3.7. Köpük ve levha halinde üretilmiş poliüretan ürünler



Resim 3.8. Aerosol şeklinde poliüretan köpükler



Resim 3.9. Poliüretan köpüğünün dış çeperlerinin kaplanması

Malzemenin bünyesine su alma durumu az olmakla birlikte EPS ile kıyaslandığında ondan daha fazladır. Buhar difüzyonu yolu ile ıslanma durumu söz konusu olduğunda ($\mu=40-50$), levhalar ya buhar sızdırmaz şekilde kaplanmalı veya muhtemel gerilmelere karşı önceden önlem alınmalıdır. Yerinde püskürtme köpüklerinde $\mu=3-8$ 'dir.

Poliüretan köpük hafif asitlere, benzine, mazota, alkalilere ve deniz suyuna karşı dayanıklıdır. Poliüretan köpüğün eskime ve çürümeye karşı dayanıklılığı oldukça fazladır (Anonim, 2005a).

Poliüretan köpükler salt yalıtım malzemesi olarak diğer yalıtım malzemelerine oranla ucuz sayılmasa dahi hazır prefabrik elemanlar olarak (metal kaplı sandviç paneller vb.) işçilikten ve zamandan çok kazandırır (Anonim, 2005a).

3.4.9. Cam köpüğü

Cam köpüğü, borlu silis camdan üretilir. Cam pulvarize edilip toz haline getirilir. Karbonla karıştırıldıktan sonra kalıplarda $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a kadar ısıtılır. Bu işlem sırasında karbon oksijen ile birleşip gaz kabarcıkları oluşur. Cam eriği böylece orijinal hacminin 20 katı kadar büyütülerek köpük haline dönüştürülmüş olur ve katı halde daha sıkı yapı elde etmek için soğutulabilir (Resim 3.10) (Anonim, 2005a).

Elde edilen malzemenin gözenek yüzdesi % 93-94 civarındadır. Soğutma işleminden sonra bloklar, tabakalar ve levhalar halinde kesilir. Cam köpüğü ezilmeye karşı dayanıklı olan güçlü ve sert bir malzemedir. Cam köpüğü kolay kırılabilir sürtünmeye dayanıksızdır ve yüzeyi sürtünmeye karşı kolay tozlaşabilir. Su sızıntılarına ve korozyona karşı da dirençlidir. Su emme özelliği olmadığından dolayı su absorpsiyon yüzdesi % 0'dır. Yoğunlukları $100-500 \text{ kg} / \text{m}^3$ arasında değişim göstermekte olup termal iletkenlikleri ise $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de $0,045-0,060 \text{ W/m.K}$ arasındadır. Kullanım sıcaklıkları -260 ile $+430 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır. Sıcaklık karşısında lineer genişleme katsayısı $8,5 \times 10^{-6}$ dır (Anonim, 2005b).



Resim 3.10. Cam köpüğü

4. LİTERATÜR TARAMASI

Enerji ihtiyacı dünyada nüfus artışı ile birlikte artmaktadır (Bahadori ve ark., 2010). Enerji tüketimi sınırlı enerji kaynakları nedeni ile minimuma indirilmelidir ve enerji tasarrufu ülkelerin en önemli stratejisi olmalıdır (Dombaycı ve ark., 2006). Endüstrileşmiş ülkelerde yaşam standardını sağlamak ve geliştirmekte olan ülkelerin durumunu iyileştirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının paylaşımı ile daha etkin enerji tasarrufu yapılabilir (Uçar, 2009).

Enerji tüketimi genellikle endüstri, binalar, taşımacılık ve tarımı içeren dört sektörde dikkate alınmalıdır (Koçu ve ark., 2005). Bir binanın ısıtılması ve soğutulmasında gereken enerji ihtiyacı binalarda tüketilen toplam enerjinin yaklaşık olarak %60'ına karşılık gelmektedir (Bolattürk, 2006). Bu nedenle, binalarda enerji verimini sağlamak enerji tasarrufu oldukça önemlidir (Bolattürk, 2006).

Bina enerji verimi aktif ve pasif enerji verim stratejileri olarak ayrılabilir. Aktif stratejiler ısıtma, havalandırma, klima sistemleri ve elektrikle aydınlanmada yapılan gelişmeleri, pasif stratejiler ise bina yapısında bulunan elemanlarla ilgili gelişmeleri içermektedir (Bolattürk, 2006).

Bir bina yapısı; binanın iç ve dış çevresini ayırır. Duvarlar, pencere düzeni, çatı ve termal izolasyon bir binanın önemli parçalarını içermektedir (Bolattürk, 2006).

Duvarlar, bir bina yapısının önemli bir kısmını oluşturur ve binanın estetik görünüşünde herhangi bir bozulma yaratmaksızın, termal ve akustik konforu sağlaması istenmektedir. Duvarın termal direnci (R-değeri) binanın enerji tüketimini büyük ölçüde etkiler. Ortam havasının bağıl rutubeti % 80'den fazla olduğu zaman, termal izolasyona sahip duvarlarda konveksiyon ve radyasyonla olan ısı aktarım katsayılarını küçülten yüzey yoğuşmasının oluşma ihtimali yüksektir. Rutubet seviyeleri yüksek olduğunda, yüzey yoğuşması kış ayları boyunca ve soğuk iklim bölgelerinde çok güçlüdür. Binanın dış duvarlarında rutubet yoğuşması nedeniyle duvar ömrü azalır ve binada istenmeyen durumlar görülür.

Pencere sistemi öncelikle bir bina yapısındaki camlar ve kapılardan oluşan açıklıkları belirtmektedir. Pencere sistemi bina tasarımına estetik katmanın yanısıra bir binada termal konforu ve optimum aydınlatma seviyesini sağlamaktadır. Son yıllarda, cam teknolojilerinde büyük gelişmeler olmaktadır. Bu teknolojiler güneş kontrol camları, izolasyon cam üniteleri, düşük geçirgenliğe sahip kaplamalar ve aerojelleri içermektedir.

Bina yapıları oturanlar için, iç konfor koşullarını etkileyen çatılar tarafından etkilenen güneş radyasyonu ve diğer çevresel değişimlere karşı son derece duyarlıdır. Çatılar, özellikle de spor kompleksleri ve gösteri salonları gibi büyük çatılara sahip binalarda büyük miktarlarda ısı kazanç/kayıp yoludur. Çatılarda, güneş radyasyonunun etkisini azaltmak ve ısı kayıplarını önlemek için çatı mimarisinde değişim, çatı gölgeleme ve çatı kaplama gibi alınan bir takım tedbirler vardır (Bolattürk, 2006).

Bir binanın enerji verimi yapının termal izolasyonunu geliştirerek sağlanabilir. Yüksek termal dirence sahip termal izolasyon malzemeleri binanın içine veya dışına olan ısı akışını (kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon) geciktirir. Termal izolasyon malzemeleri öncelikli olarak genellikle $0,1 \text{ W/m.K}$ 'den düşük olan termal iletkenlik katsayılarından dolayı ısı akışına direnç sağlamak için kullanılırlar (Çengel, 1998). En iyi performans, termal izolasyonu bina yapısının yüzeyine en yakın yere yerleştirilerek elde edilir (Abdou ve ark., 2005). 1880'de Amerika'da bir binanın izolasyonu ilk kez mineral yün kullanılarak yapıldı. Bazı izolasyon malzemeleri 1970'lerden beri araştırılmaktadır. İnorganik elyaf malzemeler, cam yünü, taş yünü ve organik köpüklü malzemeler, genleşen ve ekztrüzyon işlemi yapılmış polistiren ile belli miktarda poliüretan Avrupa piyasasında ve Türkiye'de günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Termal izolasyon malzemelerinin değişimi malzemenin yapısına ve etkilendiği sıcaklık aralığına bağlıdır (Al-Homoud, 2005). İzolasyon kalınlığı da bina tipi, fonksiyonu, şekli, imalat malzemeleri, iklim koşulları, izolasyon malzemesi ve maliyeti ile enerji tipi ve maliyetine bağlıdır (Kaynaklı, 2012).

Türk Termal İzolasyon Standardı binalardaki enerji tüketimini azaltmak için 1999'da basıldı (Anonim, 1999). Standarda göre, Türkiye dört ısıtma derece-gün bölgesine ayrılmıştır ve ısıtma gereksinimleri kömür ve artan bir şekilde de doğalgaz tarafından sağlanmaktadır.

Binalara uygulanan termal izolasyon kalınlıkları izolasyon maliyetindeki artışla beraber arttıkça ısı kazanç ve kayıpları da dikkate değer ölçüde azalmaktadır. Optimum izolasyon kalınlığı ekonomik parametrelerden etkilenmektedir. Bu durumda, optimum izolasyon kalınlığı maliyet analizi yaparak saptanmalıdır. Yıllık ısıtma ve soğutma yükleri iklimsel bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Bunun sonucu olarak, optimum izolasyon kalınlıkları ile ilgili hesaplamalar yapıldığında, ısıtma veya soğutma yüküne bağlı bir temel önceden seçilmiş olmalıdır (Bolattürk, 2008).

Bütün metodlar arasında yıllık enerji tüketimini tahmin etmenin en basit ve mantıksal yolu derece-saat metodudur. Bu metod, ısıtma sezonu boyunca dışarıdaki sıcaklığın değişimi ile içerideki sıcaklığın ve ısıtma ekipmanlarının veriminin sabit olarak tutulması varsayımına dayandırılmaktadır (Çengel, 1998). Toplam derece-gün sayısı içerideki sıcaklık ve ortalama dış sıcaklık arasındaki farkı vermektedir. İçerideki sıcaklık iklim koşulları (sıcaklık, rutubet, rüzgar), bina karakteristikleri (termal izolasyon, hava kaçakları, güneş kazançları) ve kişisel tercihler gibi çeşitli parametrelerden etkilenmektedir (Kadioğlu ve ark. 2001).

Bazı araştırmacılar, statik koşullar altında uygulanan derece-zaman metoduna göre (derece-gün veya derece-saat) ısıtma enerjisi gereksinimleri üzerine yoğunlaşmışlardır (Uçar ve ark., 2010).

Isıtma yükünü hesaplamak için kullanılan ısıtma iç sıcaklık değerleri çoğu çalışmada farklı olarak alınmıştır. Isıtma iç sıcaklığı genellikle 18 °C olarak seçilebilmesine rağmen, Büyükalaca ve arkadaşları (2001), Türkiye'deki bütün şehirler için ısıtma yüklerini farklı iç sıcaklıklarda araştırdılar ve yıllık ısıtma derece-gün hesabında 14, 16, 18, 20 ve 22 °C olmak üzere beş farklı iç sıcaklıkta değerlendirme yaptılar. İçerideki hava sıcaklığı için kullanılan sıcaklık aralığı enerji krizi ve hava kirliliği

nedeni ile gözden geçirildi. Bunun sonucunda, farklı ülkeler koşullarına göre farklı iç sıcaklık değerleri önerdiler. İç sıcaklık bölgeden bölgeye ve ülkeden ülkeye değişmesine rağmen, çalışmalarda genellikle $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmaktadır. $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ iç sıcaklık için en yüksek yıllık ısıtma derece-gün ve en düşük yıllık ısıtma derece-gün değerleri Erzurum için 4827 ve İskenderun için 690 olarak bulundu (Bolattürk, 2006).

Bazı araştırmacılar ısıtma derece-saat değerlerini kullanarak Türkiye'nin en sıcak bölgesinde yer alan yedi şehir için optimum izolasyon kalınlıklarının araştırması üzerine yoğunlaştılar. Isıtma derece-saat değerleri için polistirenin izolasyon kalınlığının $1,6\text{-}2,7\text{ cm}$ arasında değiştiğini buldular (Bolatturk, 2006).

Türkiye'nin bazı şehirlerinde yakıt tipine bağlı olarak optimum izolasyon kalınlığını hesaplamak için Aytaç ve Aksoy (2006) ile Bolattürk (2006) tarafından yapılan araştırmalar ısınmak için doğalgaz ve kömürün diğer yakıtlara göre çok daha fazla tercih edildiğini göstermiştir (Kaynaklı, 2012).

Kaynaklı (2008) Türkiye'nin Bursa şehrinde prototip bir binanın optimum izolasyon kalınlığını araştırdı (Koçu ve ark., 2005). Bursa için ısıtmada kullanılan yakıt tipine göre optimum izolasyon kalınlıklarının $5,3\text{ cm}$ ile $12,4\text{ cm}$ arasında değiştiği bulundu (Kaynaklı, 2013).

Çomaklı ve Yüksel (2003) Türkiye'nin en soğuk bölgesinde yer alan Erzurum, Kars ve Erzincan şehirleri için kömürle ısıtmada optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla $10,4\text{ cm}$, $10,7\text{ cm}$ ve $8,5\text{ cm}$ olarak buldular (Kaynaklı, 2013).

Yu ve arkadaşları (2009) tipik bir bina duvarı için değişik duvar oryantasyonlarını ve yüzey renklerini dikkate alarak ısıtma ve soğutma derece-gün metodu ile beş izolasyon malzemesinin (genleşen polistiren, ekstruzyon işlemi ile elde edilmiş polistiren, köpüklü poliüretan, perlit ve köpüklü polivinilklorür) optimum kalınlıklarını hesapladılar. Optimum izolasyon kalınlıkları $5,3\text{ cm}$ - $23,6\text{ cm}$ arasında değişti, geri ödeme süresi de 20 yıllık kullanım ömrüne göre 1,9 - 4,7 yıl civarına yaklaştı (Bolatturk,2006). Sonuç olarak, genleşen polistiren Çin'de en ekonomik izolasyon malzemesi olarak bulundu (Kaynaklı, 2013).

İzolasyon malzemeleri enerji ve maliyetin korunmasına yardımcı olmanın yanı sıra çevre ve hava kirliliğini de azaltmada önemli bir rol oynarlar. Çomaklı ve Yüksel (2004), Dombaycı (2007), Uçar (2010) optimum izolasyon kalınlıklarının yanında CO₂ ve benzeri gazlar gibi emisyonların azaltılması ile ilgili çalışmalar yaptılar (Kaynaklı, 2013).

Türkiye'nin en soğuk bölgesinde yer alan ısıtmada yakıt olarak fuel-oil kullanan Erzurum şehrindeki binaların dış duvarlarına optimum izolasyon kalınlığının uygulanmasının sonucunda Çomaklı ve Yüksel (2004) CO₂ emisyonunun % 50 azaldığını saptadı. Dombaycı (2007), yakıt olarak kömür kullanan Denizli şehrinde binaların dış duvarlarına optimum izolasyon kalınlığında genleşen polistiren uygulandığında CO₂ ve SO₂ emisyonlarının % 42 azaldığını saptadı. Uçar (2010), Antalya, İstanbul, Elazığ ve Erzurum illeri için optimum izolasyon kalınlıklarını sırasıyla 3,8 cm, 4,6 cm, 5,7 cm ve 7,4 cm olarak hesapladı. Bunun yanında, Erzurum'daki binalara optimum izolasyon kalınlığının uygulanması ile CO₂ ve SO₂ emisyonları % 70 azaltıldı (Kaynaklı, 2013).

Enerji korunumu ile ilgili çalışmalar Kaynak (Bolattürk, 2006)'de verilmektedir.

Hasan (1999), optimum izolasyon kalınlığını hesaplamak için derece-gün ve ömür çevrimli maliyet analizini birlikte kullandı. Duvar alanında on yıl için iki farklı izolasyon malzemesinin kullanımı ile 21 \$ /m² üzerinde enerji tasarrufu elde edildi. Geri ödeme süresi ise polistiren ve taş yünü için sırasıyla 1-1,7 yıl ve 1,3-2,3 yıl olarak hesaplandı (Bolattürk, 2006).

Mohsen ve Akash (2001) polistiren, taş yünü ve hava boşluğunun izolasyon malzemesi olarak kullanımı ile enerji tasarrufunu araştırdılar. Polistiren, taş yünü ve hava boşluğu için enerji tasarrufunu sırasıyla %36, %34 ve %5,4 olarak elde ettiler (Bolattürk, 2006).

Daouas ve arkadaşları (2010), ömre dayalı maliyet analizi kullanarak iki farklı duvar ve izolasyon malzemesi için Tunus'daki binaların optimum izolasyon kalınlığı üzerine yoğunlaştılar. En iyi sonuçlar sandviç tip duvar yapısında ve genleşen polistiren izolasyon malzemesinde elde edildi. Optimum izolasyon kalınlığı, enerji

tasarrufu ve geri ödeme süresi 5,7 *cm*, %58 ve 3,11 yıl olarak hesaplandı (Bolattürk, 2006).

Çomaklı ve Yüksel (2003), Türkiye'nin en soğuk şehirleri Erzurum, Kars ve Erzincan için derece-gün metodunu kullanarak optimum izolasyon kalınlıklarını araştırdılar. Polistiren izolasyon malzemesi ve yakıt olarak kömürü kullanan Erzurum, Kars ve Erzincan illeri için enerji tasarrufları 12,13 \$ /*m*², 12,72 \$ /*m*² ve 7,99 \$ /*m*² olarak hesaplanırken, optimum izolasyon kalınlıkları yaklaşık olarak 10 *cm*, 10 *cm* ve 8 *cm* olarak bulundu (Bolattürk, 2006).

Bolattürk (2006), Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden on altı şehir ve beş farklı yakıt tipi için polistiren malzemenin optimum izolasyon kalınlığını hesapladılar. Sonuçlar, optimum izolasyon kalınlıklarının 2 *cm* ile 17 *cm* arasında değiştiğini, enerji tasarrufunun % 22-79, geri ödeme süresinin de 1,3-4,5 yıla yaklaştığını gösterdi (Bolattürk, 2006).

Ayrıca, izolasyon malzemeleri sıcaklık değişimlerini azalttığı için, yoğuşma ve korozyonu önlemede, boru ve depolama tanklarını soğuktan ve alevden korumada ve gürültü ile titreşimi azalttığı için kişisel konfor amacı ile de kullanılmaktadır (Cabeza ve ark. 2010).

Bir duvardaki izolasyonun optimum yerleşim ve dağılımı çeşitli duvar oryantasyonları için zaman gecikmesini dikkate alarak Özel ve Pıhtılı (2007) tarafından araştırılmıştır. Pek çok araştırmacı numerik olarak bütün dünyada kullanılan elyaf izolasyonların termal performansını çalışmıştır. Yapılan çalışmaların pek çoğu değişik ısı transfer mekanizmaları ile alakalıdır. Bazı araştırmacılar ısı transfer modellemesini araştırdılar (Tong ve ark., 1985). Termal iletkenlik ve termal yayırlıklı (Kaynaklı, 2012) ilgili bağlantılar elde etmek için de bazı özel çalışmalar yapıldı.

Termal iletkenlik ve malzemenin optimum kalınlığı arasındaki bağıntı Mahlia ve arkadaşları tarafından geliştirildi (Mahlia ve ark., 2007).

Enerji ile ilgili termal izolasyon çözümleri için bir değerlendirme aracı ekonomik ve çevresel açıdan gözden geçirilerek Anastaselos ve arkadaşları tarafından sunuldu (Anastaselos ve ark., 2009).

Budaiwi ve arkadaşları (2002) ve Abdou ile Budaiwi (2005) çeşitli izolasyon malzemelerinin termal iletkenliği ve sıcaklık arasındaki bağıntıyı araştırdılar.

Bina yapısı için detaylı bir ısı transfer modeli Price ve arkadaşları tarafından geliştirildi (Price, 1995).

Çok tabakalı bina yapılarının davranışı sınırlı sayıda analitik teknik uygulayarak analiz edildi (Zedan ve ark., 1993)

Maliyete ek olarak, izolasyonun seçimini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar; termal iletkenlik, faydanın maliyete olan oranı, çevresel ve sağlık faktörleri olarak bilinmektedir (Abdou ve ark., 2005).

Binalardaki ısıtma yüklerini hesaplamak için ASHRAE tarafından bazı metodlar geliştirilmiştir (Anonim, 2009).

Bu çalışmanın amacı, Çorum ilinde yakın zamanda kalınlıkları 3 *cm* ile 6 *cm* arasında değişen farklı izolasyon malzemeleri ve duvar tipleri kullanarak izole edilen yedi binanın optimum izolasyon kalınlıklarını araştırmaktır. Binalarda izolasyon malzemesi olarak taş yünü, farklı termal iletkenlik katsayılarına sahip Neopor ve Standard EPS içeren genişleyen polistiren (EPS), yakıt olarak da doğalgaz kullanılmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada, Çorum ilinin Türkiye'nin soğuk bölgesinde yer almasından dolayı ısıtma yüküne göre binadaki optimum izolasyon kalınlığının saptanması için bina yapısındaki ısı kayıpları ve kazançlarının belirlenmesi ile ilgili hesaplamalar yapılacaktır. Çorum ili Türkiye'de basılan Termal İzolasyon Standard'ına göre üçüncü derece-gün bölgesinde yer almaktadır ve bu nedenle soğutma yükü dikkate alınmamıştır (Anonim, 1999). Çorum ilinde seçilen örnek bina yapısı üzerinde bütün ısıtma kayıpları ve ısıtma kazançları belirlenerek, bunun yanında, izolasyon malzemesi olarak Standard EPS ve yakıt olarak doğalgaz kullanılan örnek binada dış duvarlardan olan ısı kayıplarını önlemek için optimum

izolasyon kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi dikkate alınacaktır. Buna ilave olarak, örnek binanın kompozit duvar tabakaları arasındaki su buharının difüzyonundan kaynaklanan yoğuşma, yüzey ve ara faz sıcaklıkları ile su buharının doygunluk ve kısmi basınçları değerlendirilerek saptanacaktır.

5. ISI YALITIM HESAPLAMALARI VE ÖRNEK BİNA ÜZERİNDE UYGULANMASI İLE YOĞUŞMA KONTROLÜ

Bu çalışmada, ortalama ısıtma derece-gün değerleri altı yıllık ortalama meteorolojik değerler dikkate alınarak hesaplandı, ancak, soğutma derece-gün değerleri dikkate alınmadı (Kaynaklı, 2013). Bu metod, literatürde en yaygın olarak kullanılan ve en basit metotlardan biridir. İç ortam sıcaklığının sabit tutulup, dış hava sıcaklığındaki değişimlerin değerlendirilmesi esasına dayanır. Çorum şehri Türk Termal İzolasyon Standardına göre Türkiye'nin soğuk şehirlerinin bulunduğu üçüncü bölgede yer almaktadır ve yaz aylarında soğutmaya ihtiyaç duyulmamaktadır. İzolasyon kalınlıkları 3 cm ile 6 cm arasında değişen ve doğalgazı yakıt olarak kullanan yedi binanın optimum izolasyon kalınlıklarını saptamak için hesaplamalar yapıldı. İzolasyon malzemesi olarak altı binada genleştirilmiş polistiren (Neopor, Standard EPS), bir binada ise taşıyıcı kullanılmıştı. Yedi bina arasında optimum izolasyon kalınlıklarının saptanmasında delikli tuğla ve bims olmak üzere iki değişik tip duvar değerlendirildi. Ardından, yedi binadan birisi örnek bina olarak seçildi ve hesaplamalar bu binanın optimum izolasyon kalınlığını bulmak için tekrarlandı. Hesaplamalar esnasında Çorum ilinde yaygın bir şekilde kullanılan izolasyon malzemeleri genleşen polistiren (termal iletkenlik katsayısı $0,033 \text{ W/m.K}$ olan Neopor), ekstruzyon işlemi görmüş polistiren ve taşıyıcı seçildi ve yakıt olarak yine yaygın olan doğalgaz kullanıldı.

Parametreler ve örnek binanın yer aldığı yedi binanın hesaplamalarında kullanılan duvar yapıları da Çizelge 5.1'de verilmektedir.

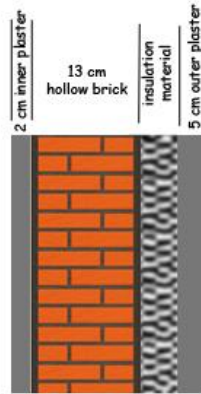
Çizelge 5.1. Parametreler ve örnek binanın yer aldığı yedi binanın hesaplamalarında kullanılan duvar yapıları

Parametre	Değer
Duvar yapısı	
x cm izolasyon malzemesi	$k = 0,032-0,04 \text{ W/m.K}$
2 cm iç sıva	$k = 0,87 \text{ W/m.K}$
13 cm delikli tuğla	$k = 0,45 \text{ W/m.K}$
10 cm bims	$k = 0,18 \text{ W/m.K}$
5 cm dış sıva	$k = 1,4 \text{ W/m.K}$
iç ısı transfer katsayısı (Anastaselos ve ark., 2009)	$h_i = 7,69 \text{ W/m}^2.K$
dış ısı transfer katsayısı (Anastaselos ve ark., 2009)	$h_o = 25 \text{ W/m}^2.K$
izolasyon Neopor (EPS) (16 kg/m^3) (Anonim, 2015d)	
iletkenlik	$k = 0,033 \text{ W/m.K}$
malzeme maliyeti	$C_{ins} = 88,51 \text{ USD/m}^3$
İşçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD/m}^2$
İzolasyon malzemesinin ömrü,LT	15 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	11,725
izolasyon Neopor (EPS) (22 kg/m^3) (Anonim, 2015d)	
iletkenlik	$k=0,031 \text{ W/m.K}$
malzeme maliyeti	$C_{ins} = 119,61 \text{ USD/m}^3$
İşçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD/m}^2$
İzolasyon malzemesinin ömrü,LT	15 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	11,725
izolasyon Standard(EPS) (16 kg/m^3) (Anonim, 2015d)	
iletkenlik	$k=0,036 \text{ W/m.K}$
malzeme maliyeti	$C_{ins} = 76,55 \text{ USD/m}^3$
İşçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD/m}^2$
İzolasyon malzemesinin ömrü,LT	15 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	11,725
izolasyon (XPS) (20 kg/m^3) (Anonim, 2015d)	
iletkenlik	$k= 0,032 \text{ W/m.K}$
malzeme maliyeti	$C_{ins} = 103,66 \text{ USD/m}^3$
İşçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD/m}^2$
İzolasyon malzemesinin ömrü,LT	10 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	8,504
izolasyon (Taş yünü) (150 kg/m^3) (Anonim, 2015d)	
iletkenlik	$k= 0,04 \text{ W/m.K}$
malzeme maliyeti	$C_{ins} = 143,54 \text{ USD/m}^3$
İşçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD/m}^2$
İzolasyon malzemesinin ömrü,LT	10 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	8,504
Yakıt (doğalgaz) (Anonim, 2014b)	
Fiyat, Cf	$0,485 \text{ USD/m}^3$
Yakıtın alt ısı değeri, LHV	$34,51\text{E}+06$

Çizelge 5.1. (Devamı) Parametreler ve örnek binanın yer aldığı yedi binanın hesaplamalarında kullanılan duvar yapıları

Isıtma sisteminin verimi, η	0,93
Ekonomik Parametreler (Anonim, 2014a)	
Enflasyon hızı, i	4,5 %
İndirim hızı, g	7,88 %

Yedi binada iki değişik tip kompozit duvar yapısı görünmektedir, bunlardan birisi iç sıva, delikli tuğla, izolasyon malzemesi ve dış sıvadan oluşmakta, diğeri ise iç sıva, bims, izolasyon malzemesi ve dış sıva içermektedir. Bu yapı Resim 5.1’de verilmektedir.



Resim 5.1. Çorum ilinde kullanılan binaların kompozit duvar yapısı

Duvarın her bir birim alanındaki ısı kaybı (Ekici ve ark., 2012) Eş. 5.1’de verilmektedir.

$$q = U \times (T_b - T_o) \quad (5.1)$$

U ; tüm ısı transfer katsayısını, T_b ; bu çalışmada $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak alınan iç sıcaklığı, T_o ; ortalama günlük sıcaklığı vermektedir (Büyükalaca, 2001).

Her bir birim alandaki yıllık ısı kaybı derece-gün metoduna göre (Ekici ve ark., 2012) Eş. 5.2’den hesaplanabilir.

$$q_A = 86400 \times HDD \times U \quad (5.2)$$

HDD; ısıtma derece-gün değeridir. Yıllık enerji gereksinimi Eş. 5.2'nin sistemin ısıtma verimi (η)'ne bölünmesiyle elde edilebilir.

$$E_A = \frac{86400 \times HDD \times U}{\eta} \quad (5.3)$$

Duvar izolasyonunu da içeren tüm ısı transfer katsayısı U_{ins} aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U_{ins} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_w + R_{ins} + \frac{1}{h_o}} \quad (5.4)$$

Burada, h_i ve h_o sırasıyla iç ve dış hava ısı transfer katsayılarını, R_w ; kompozit duvar malzemelerinin termal direncini ve R_{ins} ; ise Eş. 5.5'de verilen izolasyon tabakasının termal direncini göstermektedir.

$$R_{ins} = \frac{x}{k} \quad (5.5)$$

x ve k sırasıyla izolasyon malzemesinin kalınlığı ve termal iletkenlik katsayısıdır (Bolattürk, 2008).

Sonuç olarak, yıllık ısıtma yükü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$E_A = \frac{86400 \times HDD}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \times \eta} \quad (5.6)$$

R_{tw} ; kompozit duvar direnci ile iç ve dış hava film dirençlerini içeren toplam duvar direncidir.

Isıtma enerjisinin yıllık maliyeti (Kaynaklı, 2013) Eş. 5.7'deki gibi hesaplanabilir.

$$C_A = \frac{86400 \times HDD \times C_f}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \times \eta \times LHV} \quad (5.7)$$

C_f ve LHV sırasıyla $\$/m^3$ olarak yakıt maliyeti ve yakıtın alt ısı değerini göstermektedir.

Bir binanın toplam ısıtma maliyeti belli bir zaman aralığında günümüz değer faktörü (PWF)'nden etkilenmektedir. PWF değerleri aynı zamanda faiz hızı (i), enflasyon hızı (r) ve indirim hızı (g) gibi ekonomik değişkenlere de bağlıdır. Bu değişkenler arasındaki bağlntılar aşağıda verilmektedir (Ekici ve ark., 2012).

Eğer $i > g$ ise

$$r = \frac{i - g}{i + g} \quad (5.8)$$

Eğer $i < g$ ise

$$r = \frac{g - i}{1 + i} \quad (5.9)$$

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} \quad (5.10)$$

Bu çalışmada, i ve g sırasıyla kaynak (Anonim, 2014a)'a göre 0,045 ve 0,0788 olarak alınmaktadır. N ; yıl olarak izolasyon malzemesinin ömrüdür, bu değer EPS için 15, XPS ve taş yünü için de 10 yıl olarak alınmaktadır.

Eğer $i = g$ ise

$$PWF = \frac{LT}{1 + g} \quad (5.11)$$

Her bir metrekare başına izolasyon maliyeti Eş. 5.12 tarafından verilmektedir.

$$C_{ins} = C_l \times x \quad (5.12)$$

C_l ; $\$/m^3$ cinsinden izolasyon malzemesinin birim fiyatını, x ise m cinsinden izolasyon malzemesinin kalınlığını vermektedir (Ekici ve ark., 2012). Sonuç olarak, toplam yıllık ısıtma maliyeti aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$C_t = C_A \times PWF + C_l \times x \quad (5.13)$$

ve

$$C_t = \frac{86400 \times HDD \times C_f \times PWF}{\left(R_{tw} + \frac{x}{k}\right) \times \eta \times LHV} + C_l \times x \quad (5.14)$$

Optimum izolasyon kalınlığı C_t 'nin x 'e göre türevini alarak ve eşitliği sıfıra eşitleyerek elde edilir (Kaynaklı, 2013), ardından optimum izolasyon kalınlığı (X_{opt}) Eş. 5.15'deki gibi yazılabilir.

$$X_{opt} = \left(\frac{86400 \times HDD \times C_f \times PWF \times k}{C_l \times \eta \times LHV} \right)^{1/2} - k \times R_{tw} \quad (5.15)$$

İzolasyon malzemesinin ömrüne bağlı olarak (Yıldız ve ark., 2008) hesaplanan enerji tasarrufu ($\$/m^2$) Eş. 5.16'daki gibi verilebilir.

$$ES = C_{to} - C_{ins} \quad (5.16)$$

C_{to} ve C_{ins} ; sırasıyla binanın izolasyonsuz ve izolasyonlu olarak toplam ısıtma maliyetidir (Yıldız ve ark.,2008).

Enerji tasarrufu (Yıldız ve ark.,2008), (%) olarak Eş. 5.17 tarafından hesaplanabilir.

$$\frac{ES}{C_{to}} \times 100 \quad (5.17)$$

Geri ödeme süresi malzeme ve işçilik maliyetini (C_{ad}) içeren toplam izolasyon maliyetini enerji tasarrufu ve izolasyon malzemesinin ömrüne bölerek hesaplanabilir (Kaynaklı, 2013).

$$GeriÖdemeSüresi = \frac{C_{ins} \times X_{opt} + C_{ad}}{ES/LT} \quad (5.18)$$

Binalar için yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Q_{yillik}) Eş. 5.19'daki gibi hesaplanmaktadır (Anonim, 1999).

$$Q_{YILLIK} = \sum Q_{AYLIK} \quad (5.19)$$

$Q_{aylık}$; binaların aylık enerji ihtiyacını göstermektedir ve Eş. 5.20'den hesaplanabilir.

$$Q_{AYLIK} = [H(T_i - T_o) - \eta_{AYLIK}(\phi_{i,ay} - \phi_{s,ay})] \times t \quad (5.20)$$

H ; binanın özgül ısı kaybını göstermektedir, $\eta_{aylık}$; kazançlar için aylık ortalama kullanım faktörünü, t ; ise zamanı vermektedir, $\Phi_{i,ay}$; ve $\Phi_{s,ay}$; aylık ortalama iç kazançları ve aylık ortalama güneş enerji kazancını göstermekte, T_i ve T_o ise aylık ortalama iç sıcaklık ve aylık ortalama dış sıcaklığı açıklamaktadır (Anonim, 1999).

$$H = H_T + H_V \quad (5.21)$$

H_T ; kondüksiyon ve konveksiyondan gelen ısı kayıplarını, H_V ; ise havalandırmadan gelen ısı kaybını açıklamaktadır.

$$H_T = \sum AU + IU_I \quad (5.22)$$

$$\sum AU = A_D U_D + A_P U_P + A_k U_k + 0,8 A_T U_T + 0,5 A_t U_t + A_d U_d + 0,5 A_{ds} U_{ds} \quad (5.23)$$

A_D , A_p , A_k , A_T , A_b , A_d ve A_{ds} sırasıyla dış duvar alanını, pencere alanını, dış kapının alanını, tavan alanını, taban alanını, dış hava ile temasta olan taban alanını ve düşük sıcaklıklarda iç ortam ile temasta bulunan yapı elemanlarının alanını vermektedir.

U_o , U_p , U_k , U_T , U_b , U_d ve U_{ds} ise sırasıyla dış duvarın tüm ısı transfer katsayısını, pencerenin tüm ısı transfer katsayısını, dış kapının tüm ısı transfer katsayısını, tavanın tüm ısı transfer katsayısını, tabanın tüm ısı transfer katsayısını, dış hava ile temasta olan tabanın tüm ısı transfer katsayısını ve düşük sıcaklıklarda iç ortam ile temasta olan yapı elemanlarının tüm ısı transfer katsayısını göstermektedir (Anonim, 1999).

I ; ısı köprüsünün uzunluğunu ve U_I ; ise ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini açıklamaktadır. Bu çalışmada, ısı köprüsünün etkisi ihmal edilebilir ve örnek binada doğal havalandırma mevcuttur.

$$Hv = \rho_{hava} \times Cp_{hava} \times V' = Cp_{hava} \times \eta_H \times V_H = 0,33 \times \eta_H \times V_H \quad (5.24)$$

ρ ; havanın yoğunluğunu ve C_p ise havanın ısı kapasitesini açıklamakta, V' ; havanın hacimsel debisini, η_H ; havanın değişim oranı ve V_H ; havalandırılan hacimi göstermektedir. Havanın ρ ve C_p değerleri 20 °C sıcaklık ve 100 KPa basınçta değerlendirilmektedir ve binalardaki ortalama hava değişim oranını gösteren η_H ise 0,8 h^{-1} olarak alınmaktadır (Anonim, 1999).

Aylık ortalama iç kazançlar ($\Phi_{i,ay}$) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n \quad (5.25) \quad \text{ve} \quad A_n = 0,32 \times V_{gr} \quad (5.26)$$

A_n ; bina kullanım alanı ve V_{gr} ; binanın ısıtılan brüt hacmini vermektedir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı ($\Phi_{s,ay}$) Eş. 5.27'den hesaplanabilir.

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (5.27)$$

$r_{i,ay}$; "i" yönünde geçirgen yüzeyler için aylık ortalama gölgeleme faktörünü ve $g_{i,ay}$; "i" yönündeki geçirgen elemanların güneş enerjisi geçirgenlik faktörünü göstermektedir. $I_{i,ay}$; "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş radyasyonunun şiddetini ve A_i ; de "i" yönündeki toplam pencere alanını vermektedir. $r_{i,ay}$; 0,6 olarak alınabilir ve $I_{i,ay}$; ise Çizelge 5.2 (Anonim, 1999)'den değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.2. Aylık ortalama güneş radyasyonunun şiddet değerleri

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

$$g_{i,ay} = F_w \times g_i \quad (5.28)$$

F_w ; camlar için düzeltme faktörünü göstermekte ve 0,8 olarak düşünülebilmektedir, g_i ; ise yüzeye dik gelen güneş enerjisi radyasyonu için geçirgenlik faktörüdür ve 0,75 olarak alınır (Anonim, 1999).

Camlardan güneş enerjisine maruz kalan örnek binanın bütün yönleri hesaplamalarda göz önünde bulundurulmaktadır (Anonim, 1999).

Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü Eş. 5.29'dan hesaplanabilir.

$$\eta_{AYLIK} = 1 - e^{\left(\frac{-1}{HGL_{ay}}\right)} \quad (5.29)$$

HGL_{ay} ; ısı kazanç/kayıp oranını göstermektedir ve Eş. 5.30'daki gibi yazılabilir.

$$HGL_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) / H(T_{i,ay} - T_{o,ay}) \quad (5.30)$$

HGL_{ay} oranı 2.5 ve üzerinde olduğu zaman o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilebilir.

$T_{i,ay}$; 19 °C olarak alınır ve $T_{o,ay}$; ise Çizelge 5.2'den hesaplanabilir (Anonim, 1999).

Örnek bina yapısındaki bütün ısı kayıpları detaylı bir şekilde belirlenen alanlara göre hesaplandıktan sonra, 6 cm kalınlığında standard EPS ile izole edilen örnek bina dikkate alındı ve optimum izolasyon kalınlığı derece-gün metodunu kullanarak ve yıllık ısıtma maliyeti, izolasyon maliyeti, toplam maliyet, enerji tasarruf yüzdesi ve geri ödeme süresini değerlendirerek hesaplandı.

Derece-gün metoduna göre birim alan için yıllık ısı kaybı (Ekici ve ark., 2012) Eş 5.2'den hesaplanabilir.

Isıtma enerjisinin yıllık maliyeti (Kaynaklı, 2013) Eş. 5.31'den hesaplanabilir.

$$C_A = \frac{86400 \times HDD \times C_f \times U}{\eta \times LHV} \quad (5.31)$$

η ; ısıtma sisteminin verimi, C_f ; $\$/m^3$ olarak yakıt maliyeti ve LHV ; J/m^3 olarak yakıtın alt ısı değeridir.

Her bir metre kare başına izolasyon maliyeti Eş. 5.12’de verilmektedir. Sonuç olarak, toplam ısıtma maliyeti Eş. 5.13 ve 5.14’den hesaplanabilir. PWF ; belli bir zaman aralığı için günümüz değer faktörüdür. Optimum izolasyon kalınlığı (X_{opt}) ise Eş. 5.15’den hesaplanabilir.

Enerji tasarrufu ($\$/m^2$) izolasyon malzemesinin ömrüne bağlı olarak (Yu ve ark., 2009) Eş. 5.16’dan hesaplandı. Enerji tasarrufu (Yu ve ark., 2009) (%) olarak Eş. 5.17 tarafından hesaplanabilir:

Geri ödeme süresi; malzeme ve montaj maliyetlerini (C_{ad}) de içeren toplam izolasyon maliyetini enerji tasarrufu ve malzeme ömrüne bölerek Eş. 5.18’den hesaplanabilir (Kaynaklı, 2013).

İzolasyon malzemesi binalara uygulandığında, su buharının difüzyonu da dikkate alınmalıdır. Çünkü, su buharının difüzyonu sonucunda bina duvarlarında oluşan yoğuşma yapı malzemeleri üzerinde ters etkilere sahiptir, bunun yanında ısı transferinin de artmasına neden olur. Bina yapısını oluşturan yapı elemanları için rutubetin saptanmasında hesaplama metodu olarak Glaser metodu kullanılmıştır (Bolattürk, 2006).

Su buharı normalde küçük miktarlarda havada ve bina malzemelerinde difüzyonla hareket eder. Difüzyon, iç kısımda yüksek kısmi su buharı basıncının gerekli olduğu endüstriyel uygulamalarda önemli olabilir. Havayı sızdırmayan yapıların artmasıyla difüzyon kontrolü de daha önem kazanmaktadır (Anonim, 2009).

İkili bir sistemde (su buharı ve kuru hava) çok seyreltik bir gazın (su buharı) difüzyonu için Fick’in yasasına dayandırılmıştır (Anonim, 2009):

$$m_v = \delta_o \cdot \frac{\Delta P}{S_d} \quad (5.32)$$

ΔP : kısmi su buharı basıncı farkı, Pa

δ_o : gözenekli malzemenin su buharı geçirgenliği, $kg/(Pa.s.m)$

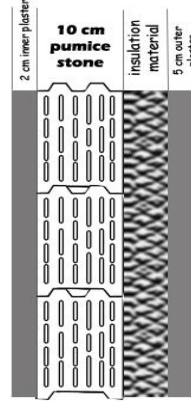
S_d : difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı (m)

$$S_d = \mu \cdot d \quad (5.33)$$

μ : su buharı difüzyon direnci katsayısı

d : tabaka kalınlığı (m)

Eş. 5.32'ye göre, difüzyonla olan su buharı akısı kondüksiyonla ısı akısı için kullanılan Fourier eşitliği ile yakın bir şekilde paralellik göstermektedir (Anonim, 2009). Kompozit duvar tabakalarının görünümü Resim 5.2 'de verilmektedir ve yüzey sıcaklıkları Eş. 5.34 ve 5.35'deki gibi hesaplanabilir.



Resim 5.2. Kompozit duvar tabakalarının görünümü

$$T_{is} - T_i = \frac{q}{h_i} \quad (5.34)$$

$$T_{os} = T_o + \frac{q}{h_o} \quad (5.35)$$

T_{is} , T_{os} , T_i ve T_o sırasıyla iç yüzey sıcaklığı, dış yüzey sıcaklığı, iç sıcaklık ve dış sıcaklığı vermekte, q , h_i ve h_o ise yine sırasıyla ısı akısı, iç havanın ısı transfer katsayısı ve dış havanın ısı transfer katsayısını açıklamaktadır. Bu çalışmada, yoğunlaşma için iç sıcaklık (T_i) 20 °C, bağıl rutubet %65 olarak sabit olarak alındı

(Anonim, 1999) ve dış sıcaklıklar ile bağıl rutubet değişimi aylara göre Çizelge 5.3'den gözlenmektedir.

Çizelge 5.3. Üçüncü bölgede yer alan Çorum ilinde ısı kayıpları ve yoğuşma için aylık ortalama dış sıcaklıklar ve bağıl rutubet(TS 825)

Aylar	Bağıl Rutubet(%)	Üçüncü Bölge($^{\circ}C$)
Ocak	78	-0,3
Şubat	73	0,1
Mart	68	4,1
Nisan	67	10,1
Mayıs	67	14,4
Haziran	64	18,5
Temmuz	61	21,7
Ağustos	62	21,2
Eylül	63	17,2
Ekim	69	11,6
Kasım	75	5,6
Aralık	79	1,3

Ara faz sıcaklıkları da Eş. 5.36'daki gibi hesaplandı.

$$T_n = T_{n-1} - q \frac{L_n}{k_n} \quad (5.36)$$

T_n , T_{n-1} , L_n ve k_n sırasıyla, n. tabakanın ara faz sıcaklığını, (n-1). tabakanın ara faz sıcaklığını, n. tabakanın kalınlığını ve n. tabakanın termal iletkenlik katsayısını göstermektedir.

Yoğuşma kontrolünde, kompozit duvar tabakaları arasındaki herhangi bir bölgede su buharı doygunluk basınç^cı su buharı kısmi basıncının altında olmamalıdır. Aksi takdirde, yoğuşma görülür (Bolattürk, 2006).

6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Çorum İlinde Binalarda Kullanılan Farklı Türdeki Isı Yalıtım Malzemelerinin Optimum Kalınlığının Hesaplanması, Örnek Bir Bina İçin Isı Kayıpları ve Gerekli Isınma Enerjisinin Belirlenmesi İle Yoğuşma Kontrolü

Yakın zamanda Çorum ilinde EPS'nin bir çeşidi olan Neopor, standard EPS (beyaz) ve taş yünü kullanarak izole edilen yedi bina ile ilgili veriler Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1. Yedi binada kullanılan izolasyon malzemeleri ve duvar yapıları

Bina	İzolasyon Malzemesi			Bina malzemesi			Sıva	
Tip	Tip	İzolasyon kalınlığı(m)	$k(W/m.K)$	Yoğunluk(kg/m^3)	Tip	Kalınlık(m)	İç sıva kalınlığı(m)	Dış sıva kalınlığı(m)
1	Neopor	0,06	0,033	16	Delikli tuğla	0,13	0,02	0,05
2	Taş yünü	0,05	0,04	150	Delikli tuğla	0,13	0,02	0,05
3	Standard EPS	0,06	0,036	16	Delikli tuğla	0,13	0,02	0,05
4	Neopor	0,05	0,033	16	Bims	0,1	0,02	0,05
5	Standard EPS	0,03	0,036	16	Bims	0,1	0,02	0,05
6	Neopor	0,05	0,033	16	Delikli tuğla	0,13	0,02	0,05
7	Neopor	0,05	0,031	22	Delikli tuğla	0,13	0,02	0,05

Neopor 4 binada, standard EPS 2 binada, taş yünü ise yalnızca bir binada uygulanmıştır. Görüldüğü üzere, bu binaların izolasyon kalınlıkları optimum izolasyon kalınlığı için gerekli hesaplamaların yapılmamasından dolayı 3 ile 6 cm arasında değişmektedir. Ancak, bu çalışmada binaların optimum izolasyon kalınlıkları yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, izolasyon maliyeti, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi dikkate alınarak saptanmıştır. Microsoft Excel programını kullanarak yedi bina için yapılan bu hesaplamalar Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yedi bina için yapılan hesaplamalar

Bina tipi	İzolasyon malzemesi	Ortalama HDD ($^{\circ}C\text{-gün}$)	Yıllık ısıtma maliyeti ($\$/m^2$)	Toplam maliyet ($\$/m^2$)	ES(%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum izolasyon kalınlığı (m)	İzolasyon maliyeti ($\$/m^2$)	Düşük izolasyon kalınlığından ötürü enerji kaybı (%)
1	Neopor	2753,67	0,946	20,681	74,5	5,91	0,1082	9,578	11,46
2	Taş yünü	2753,67	1,585	23,53	60,13	6,87	0,07	10,05	3,84
3	Standard EPS	2753,67	0,919	20,139	75,26	5,80	0,1221	9,352	15,73
4	Neopor	2753,67	0,946	19,860	62,36	10,53	0,099	8,763	12,29
5	Standard EPS	2753,67	0,919	19,356	63,31	10,29	0,112	8,574	31,17
6	Neopor	2753,67	0,946	20,681	74,5	5,91	0,1082	9,584	17,80
7	Neopor	2753,67	1,066	23,085	71,63	6,41	0,088	10,57	10,39

İlk binada termal iletkenlik katsayısı $0,033 W/m.K$ ve yoğunluğu $16 kg/m^3$ olan küçük siyah grafit boncuklarından oluşan Neopor termal izolasyon için $6 cm$ kalınlığında kullanılmıştı. Neoporun ömrünü 15 yıl olarak bu binanın optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla $10,82 cm$, $0,946 \$/m^2$, $20,681 \$/m^2$, 5,91 yıl ve %74,5 olarak hesaplandı. İlk binada kullanılan Neopor $5 cm$ kalınlığında altıncı binanın da dış duvarlarına uygulanmıştı. İlk binada elde edilen sonuçların aynısı altıncı binada da aynı izolasyon malzemesi ve duvar yapısı kullanılmasından dolayı elde edildi. Ancak, birinci ve altıncı binada kullanılan $6 ve 5 cm$ izolasyon kalınlıkları enerjide sırasıyla %11,46 ve %17,80 civarında bir kayba neden oldu. İlk binada kullanılan Neopor dördüncü binanın duvarlarına da $5 cm$ kalınlıkta uygulanmıştı, sonuç olarak, optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla $9,9 cm$, $0,946 \$/m^2$, $19,860 \$/m^2$, 10,53 yıl ve %62,36 olarak bulundu. Bu farklılık dördüncü binada delikli tuğladan oluşan duvar yapısı yerine bims içeren duvar yapısı kullanılmasına bağlı olarak açıklanabilir. Çünkü, bims Çizelge 6.1'den de görüldüğü gibi delikli tuğla duvar

yapısından daha düşük termal iletkenlik değerine sahiptir. Bimsin termal iletkenlik katsayısı düştükçe, duvar direnci düştü, sonuç olarak, enerji tasarruf yüzdesi, optimum izolasyon kalınlığı ve toplam yıllık maliyet azaldı, yıllık ısıtma maliyetinde herhangi bir değişiklik gözlenmezken, geri ödeme süresi dördüncü binada arttı. Buna ilaveten, 5 cm izolasyon kalınlığı dördüncü binada yıllık olarak % 12,29 civarında bir enerji kaybına neden oldu. Yedinci binada, termal iletkenlik katsayısı 0,031 $W/m.K$ ve yoğunluğu 22 kg/m^3 olan Neopor 5 cm izolasyon kalınlığında kullanılmıştı ve optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla 8,8 cm, 1,066 $\$/m^2$, 23,085 $\$/m^2$, 6,41 yıl ve % 71,63 olarak hesaplandı. Bu sonuç, yüksek yoğunluk değerinden dolayı Neoporun yüksek izolasyon maliyetine sahip olması ile açıklanabilir. İzolasyon malzemesinin maliyeti arttıkça, toplam maliyet enerji tasarruf yüzdesi arttı, optimum izolasyon kalınlığı ve geri ödeme süresi ise düştü. Optimum izolasyon kalınlığının düşmesi de izolasyon direncini azalttı, tüm ısı transfer katsayısı ile yıllık ısıtma maliyetini artırdı. Eğer yedinci binaya 5 cm izolasyon kalınlığı yerine optimum izolasyon kalınlığı uygulansaydı, yıllık olarak % 10,39 civarında bir enerji kaybı engellenmiş olacaktı.

Üçüncü binada, termal iletkenlik katsayısı 0,036 $W/m.K$ ve yoğunluğu 16 kg/m^3 olan standard EPS izolasyon için 6 cm kalınlığında uygulanmıştı ve optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla 12,21 cm, 0,919 $\$/m^2$, 20,139 $\$/m^2$, 5,8 yıl ve % 75,26 olarak saptandı. Aynı standard EPS beşinci binanın dış duvarlarına 3 cm kalınlığında uygulanmış olmasına rağmen, optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla 11,20 cm, 0,919 $\$/m^2$, 19,356 $\$/m^2$, 10,29 yıl ve % 63,31 olarak saptandı. Bu düşüş, beşinci binada bimsli duvar yapısı kullanılmasına dayandırılabilir. Çünkü, bimsin termal iletkenlik katsayısı delikli tuğladan daha düşüktür ve bimsin termal iletkenlik katsayısı düşünce, duvar direnci arttı ve optimum izolasyon kalınlığı azaldı. Sonuçta, optimum izolasyon kalınlığındaki azalmadan dolayı izolasyon direncindeki azalmaya rağmen, izolasyon maliyeti ile yıllık ısıtma maliyeti sabit kalırken, toplam maliyet ile enerji tasarruf yüzdesi azaldı ve geri ödeme süresi arttı. Yıllık enerji kayıpları 6 cm

ve 3 cm izolasyon kalınlıklarından dolayı üçüncü ve beşinci binalar için sırasıyla %15,73 ve %31,17 olarak hesaplandı.

Termal iletkenlik katsayısı 0,04 $W/m.K$ ve yoğunluğu $150 kg/m^3$ olan taş yünü ikinci binada 5 cm izolasyon kalınlığında kullanılmıştı ve optimum izolasyon kalınlığı, yıllık ısıtma maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve enerji tasarruf yüzdesi (% ES) sırasıyla 7 cm, $1,585 \$/m^2$, $23,53 \$/m^2$, 6,87 yıl ve % 60,13 olarak saptandı. Bu sonucun Neopor ve standard EPS hesaplarından elde edilen diğer sonuçlarla karşılaştırılması taş yününün izolasyon kalınlığının düştüğünü gösterdi, bu durumda taş yününün en yüksek izolasyon maliyetine ve termal iletkenlik değerine sahip olması ile açıklanabilir. Taş yününün termal iletkenlik katsayısı arttıkça, izolasyon direnci düştü, tüm ısı aktarım katsayısı ve yıllık ısıtma maliyeti arttı, sonuçta, taş yününün daha kısa olan kullanım ömründen dolayı geri ödeme süresi düştü, optimum izolasyon kalınlığı, enerji tasarruf yüzdesi azaldı ve toplam yıllık maliyet taş yününün yüksek izolasyon maliyeti nedeni ile arttı. Eğer izolasyon kalınlığını 5 cm'den optimum kalınlık olan 7 cm'e artırmış olsaydık, % 3,84 civarında bir enerji kaybı önlenmiş olacaktı.

Çizelge 6.1'de verilen birinci bina örnek bina olarak seçildi ve optimum izolasyon kalınlıkları örnek binanın dış duvarlarına EPS (termal iletkenlik katsayısı 0,033 $W/m.K$ olan Neopor), XPS ve taş yünü uygulayarak ve izolasyon maliyeti, yıllık ısıtma maliyeti ve toplam maliyetin değerlendirilmesiyle hesaplandı. Microsoft Excel programının kullanımı ile örnek binada farklı izolasyon malzemeleri için yapılan hesaplamaların karşılaştırılması Çizelge 6.3'de gösterilmektedir.

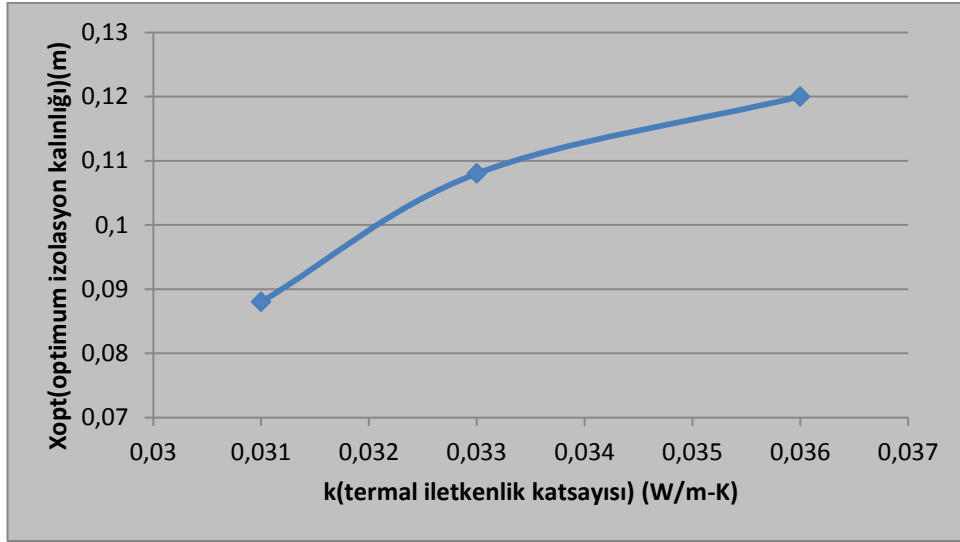
Çizelge 6.3. Örnek binada değişik izolasyon malzemeleri için yapılan hesaplamaların karşılaştırması

	EPS (termal iletkenlik katsayısı 0,033 $W/m.K$ olan Neopor)	XPS	Taş yünü
Yıllık ısıtma maliyeti ($\$/m^2$)	0,962	1,204	1,557
Toplam maliyet ($\$/m^2$)	21,011	18,719	23,521
Enerji tasarrufu(%)	74,17	68,29	60,14
Geri ödeme süresi (yıl)	5,98	5,66	6,93
Optimum izolasyon kalınlığı (m)	0,1061	0,0788	0,0715
İzolasyon maliyeti ($\$/m^2$)	9,722	8,467	10,27

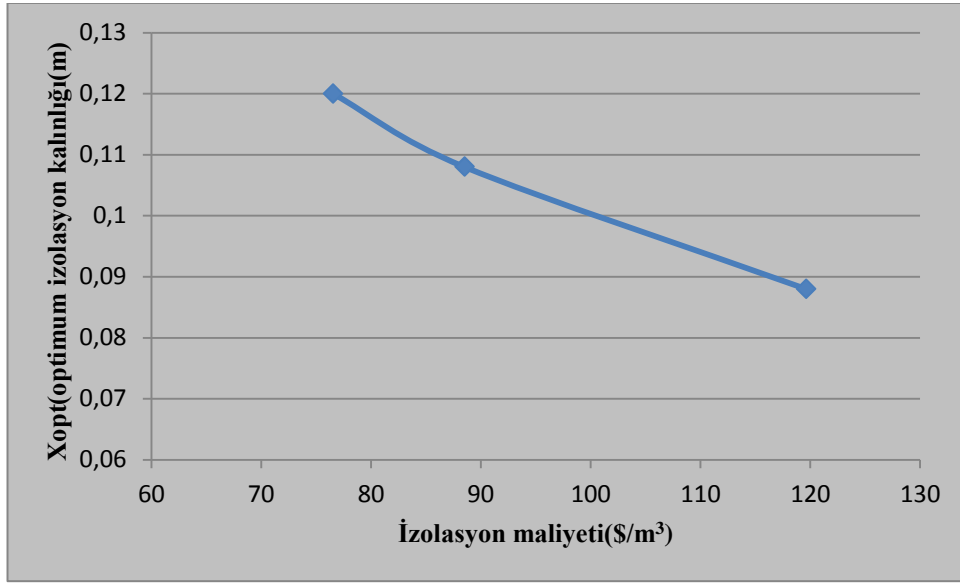
EPS en düşük yıllık ısıtma maliyetine sahip olmasına rağmen, XPS diğer izolasyon malzemelerine göre en düşük toplam maliyeti verdi. Bu sonuç, XPS'in kısa kullanım ömrü ve günümüz değer faktörü (PWF) değerine bağlı olarak açıklanabilir. Çünkü, EPS XPS'den daha yüksek termal iletkenlik katsayısı ve optimum izolasyon kalınlık değerlerine sahiptir. Bu da, yüksek izolasyon direnci ve düşük ısı aktarım katsayısı ile yıllık ısıtma maliyeti verdi. Ancak, EPS'nin yıllık toplam maliyeti izolasyon maliyetinin düşük olmasına rağmen, XPS'den daha uzun kullanım ömrü ve PWF değerine sahip olması nedeni ile arttı. Örnek binada, 6 cm kalınlığında Neopor yerine 7,15 cm optimum kalınlıkta taş yünü kullanılması toplam maliyeti % 0,68 artırdı. Ancak, 6 cm kalınlıkta Neopor yerine 7,8 cm optimum kalınlıkta XPS ve 10,61 cm optimum kalınlıkta EPS'nin uygulanması toplam maliyeti sırasıyla %19,90 ve % 10,05 olmak üzere azalttı.

Sonuçlar binanın kompozit duvar yapısında bimsin kullanımının optimum izolasyon kalınlığını ve duvar direncindeki artıştan dolayı toplam maliyeti azalttığını gösterdi. Ayrıca, geri ödeme süresinde artışa neden olmasından dolayı, enerji tasarruf yüzdesinin azaldığı bulundu. Bu da, bimsin gözenekli yapıya sahip olmasına ve izolasyon malzemesi gibi davranmasına dayandırılabilir.

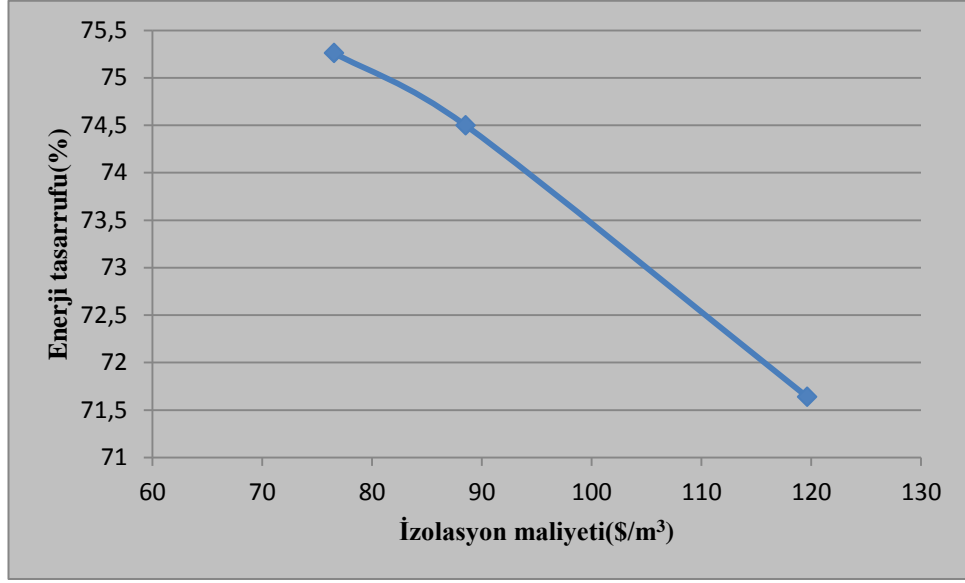
Diğer bir sonuç termal iletkenlik katsayısının azalması ve izolasyon maliyetinin artmasından elde edildi. EPS (Neopor ve Standard)'yi izolasyon malzemesi olarak kullanan dört bina dikkate alındığında, termal iletkenlik katsayısındaki düşüşle optimum izolasyon kalınlığının düştüğü Şekil 6.1'den gözlenmektedir.



Şekil 6.1. Neopor termal iletkenlik katsayısı ile optimum izolasyon kalınlığının değişimi

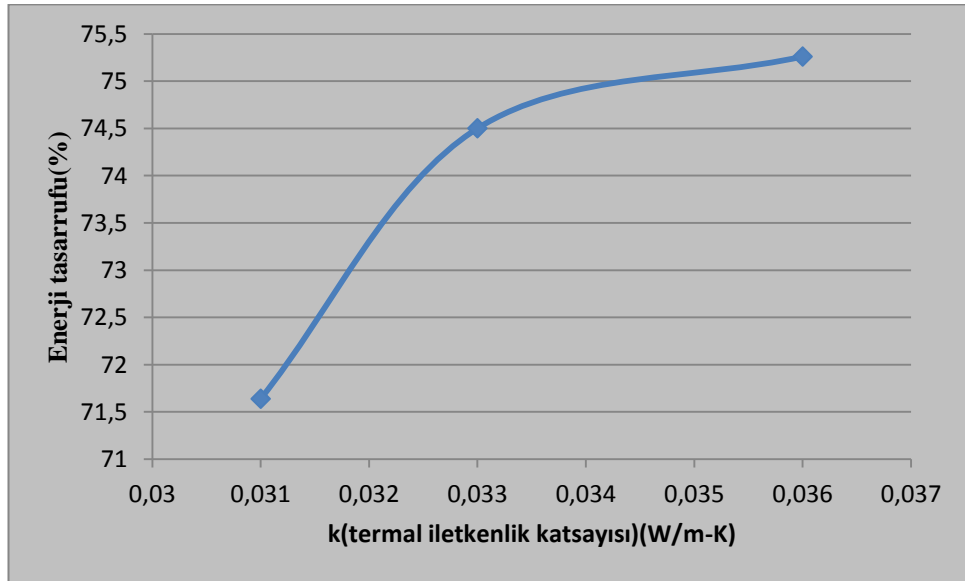


Şekil 6.2. Neopor izolasyon maliyeti ile optimum izolasyon kalınlığının değişimi



Şekil 6.3. Neopor izolasyon maliyeti ile enerji tasarruf yüzdesinin değişimi

Şekil 6.2, 6.3 ve Çizelge 6.2’de izolasyon maliyetindeki artışla optimum izolasyon kalınlığı ve enerji tasarruf yüzdesinin azaldığını, toplam maliyetin ise arttığını göstermektedir. Şekil 6.4’den görüldüğü gibi, termal iletkenlik katsayısındaki artışla enerji tasarruf yüzdesi arttı ve optimum izolasyon kalınlığındaki azalma düşük izolasyon direncine ve yüksek ısı transfer katsayısı ile yıllık ısıtma maliyetine neden oldu.



Şekil 6.4. Neopor termal iletkenlik katsayısı ile enerji tasarrufunun değişimi

Taş yünü, yedi binada kullanılan Neopor ve standard EPS'ye göre en düşük optimum izolasyon kalınlığı ve en yüksek termal iletkenlik katsayısı ile toplam maliyeti düşük PWF değerine rağmen verdi. Bunun sonucunda, enerji tasarruf yüzdesi azaldı ve taş yününün düşük kullanım ömründen dolayı geri ödeme süresi arttı. En yüksek termal iletkenlik değeri ve en düşük optimum izolasyon kalınlığına sahip taşıyünü en yüksek tüm ısı transfer katsayısı ile yıllık ısıtma maliyetini gösterdi.

Örnek bina olarak seçilen ilk binanın dış duvarlarına EPS (termal iletkenlik katsayısı 0.033W/mK olan Neopor), XPS ve taş yününün uygulanması sonucunda hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı ve EPS'nin en düşük yıllık ısıtma maliyetine sahip olduğu ve XPS'in de en düşük toplam yıllık maliyeti verdiği sonucuna varıldı. Bu sebepten, en yüksek enerji tasarruf yüzdesi ve optimum izolasyon kalınlığı tüm ısı aktarım katsayısı ve yıllık ısıtma maliyetindeki azalma ile EPS'de elde edildi. Ancak, XPS'in kısa kullanım ömrü ve PWF değeri en düşük toplam maliyete neden oldu. XPS'le aynı kullanım ömrü ve PWF değerine sahip olan taş yünü de en yüksek termal iletkenlik katsayısı ve en düşük optimum izolasyon kalınlığı gösterdi.

Örnek bina için üç izolasyon malzemesi kullanarak yapılan izolasyon sonucunda EPS, XPS ve taş yünü için optimum izolasyon kalınlıkları sırayla 10,61 cm, 7,88 cm ve 7,15 cm olarak bulundu. EPS'nin optimum izolasyon kalınlığı termal iletkenlik katsayısının XPS'e göre daha yüksek olması nedeniyle daha yüksek bulundu. Taş yünü ise optimum izolasyon kalınlığı en düşük izolasyon malzemesi olmasına rağmen maliyet analizi yapıldığında; izolasyon maliyeti, yıllık ısıtma maliyeti ve toplam maliyet açısından en yüksek maliyetli olarak değerlendirildi. Kullanım ömrü EPS'ye göre daha kısa olmasına rağmen, termal iletkenlik katsayısı, optimum izolasyon kalınlığı ile izolasyon maliyeti ve toplam maliyetin düşük olması nedeniyle XPS Çorum ili için daha uygun bir izolasyon malzemesi olarak görülmektedir.

Yedi binadan elde edilen sonuçlar ve örnek binadan elde edilen değerlendirmelere göre, izolasyon kalınlıkları 3 ile 6 cm aralığında değişen binaların, izolasyon kalınlığının optimum değerlerine artırılması % 3,84-31,17 arasında değişen düşük

Çizelge 6.5. Örnek binanın izolasyonsuz halde yıllık ısıtma gereksinimi

Aylar	Isı kaybı			Isı kazancı			HGL	Kullanım faktörü	Isıtma enerjisi gereksinimi
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kaybı	İç ısı kazancı	Güneş ışığından gelen ısı kazancı	Toplam			
	$H=HT+HV$ (W/K)	$T_i - T_o$ (K, °C)	$H(T_i - T_o)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_s$ (W)	γ	η_{ay}	Q_{ay} (KJ)
Ocak	3772	19,3	72797	6744	3345	10088,57	0,138	0,999	$16,2 \times 10^7$
Şubat		18,9	71288		4208,63	10952,2	0,153	0,998	$15,6 \times 10^7$
Mart		14,9	56201		5091,62	11845,09	0,210	0,991	$11,5 \times 10^7$
Nisan		8,9	33570		5770,25	12513,82	0,372	0,931	$5,67 \times 10^7$
Mayıs		4,6	17351		6697,97	13441,54	0,774	0,724	$1,97 \times 10^7$
Haziran		0,5	1886		7056,63	13800,2	7,318	0,127	$3,19 \times 10^5$
Temmuz		Çok yüksek	0		6865,37	13608,94	0	0	$1,28 \times 10^7$
Ağustos		Çok yüksek	0		6397,26	13140,83	0	0	$8,47 \times 10^6$
Eylül		1,8	6789		5339,09	12082,66	1,779	0,429	$4,13 \times 10^6$
Ekim		7,4	27912		4270,17	11013,74	0,394	0,920	$4,60 \times 10^7$
Kasım		13,4	50543		3191,43	9935	0,196	0,993	$10,53 \times 10^7$
Aralık		17,7	66762		2920,10	9663,67	0,144	0,998	$14,8 \times 10^7$
								$\sum Q_{y\tilde{u}ll\tilde{u}k} = 226366,1$ KWh	

Çizelge 6.7. 6 cm izolasyon kullanımı ile örnek binadaki yıllık ısıtma gereksinimi

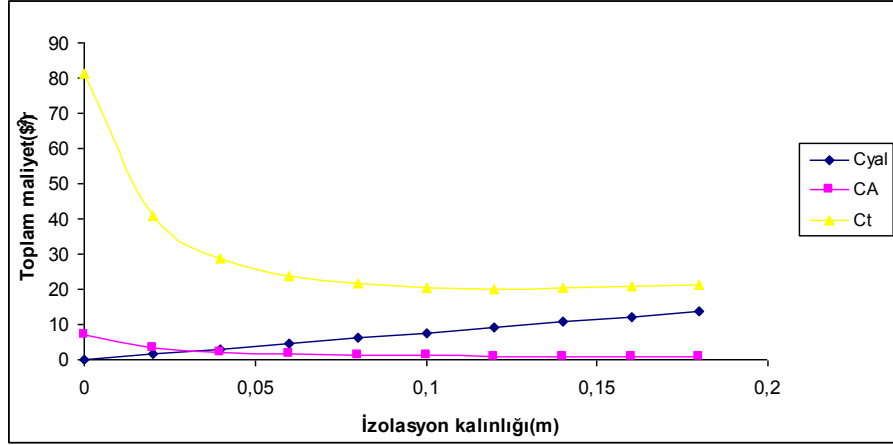
Aylar	Isı kaybı			Isı kazancı			HGL	Kullanım faktörü	Isıtma enerjisi gereksinimi
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kaybı	İç ısı kazancı	Güneş ışığından gelen ısı kazancı	Toplam			
	$H=HT+HV$ (W/K)	$T_i - T_o$ (K, °C)	$H(T_i - T_o)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_s$ (W)	γ	η_{ay}	Q_{ay} (KJ)
Ocak	2458	19,3	47440	6743,57	3345	10089	0,212	0,990	$9,7 \times 10^7$
Şubat		18,9	46457		420863	10952	0,235	0,985	$9,24 \times 10^7$
Mart		14,9	36625		5091,62	11845	0,323	0,954	$6,56 \times 10^7$
Nisan		8,9	21876		5770,25	12514	0,572	0,825	$2,99 \times 10^7$
Mayıs		4,6	11307		6697,97	13442	1,188	0,568	$9,49 \times 10^6$
Haziran		0,5	1229		7056,63	13800	11,228	0,085	$1,37 \times 10^5$
Temmuz		Çok yüksek	0		6865,37	13608,94	0	0	4968330,81
Ağustos		Çok yüksek	0		6397,26	13140,83	0	0	$3,32 \times 10^6$
Eylül		1,8	4424		5339,09	12082,66	2,730	0,306	1865277,18
Ekim		7,4	18189		4270,17	11013,74	0,605	0,808	$2,40 \times 10^7$
Kasım		13,4	32938		3191,43	9935	0,301	0,963	$6,05 \times 10^7$
Aralık		17,7	43507		2920,10	9663,67	0,222	0,988	$8,80 \times 10^7$
								$\sum Q_{yillik}=129873,1$ KWh	

Dış duvarlarına 6 cm kalınlığında Standard EPS uygulanan örnek binanın ısıtma kayıpları ve ısıtma enerjisi gereksinimi, örnek binanın duvarlarına herhangi bir izolasyon malzemesi kaplanmadan önceki ısıtma kayıpları ve ısıtma enerjisi gereksinimi ile karşılaştırıldı. Çizelge 6.4'den Çizelge 6.7'ye kadar gözlendiği gibi

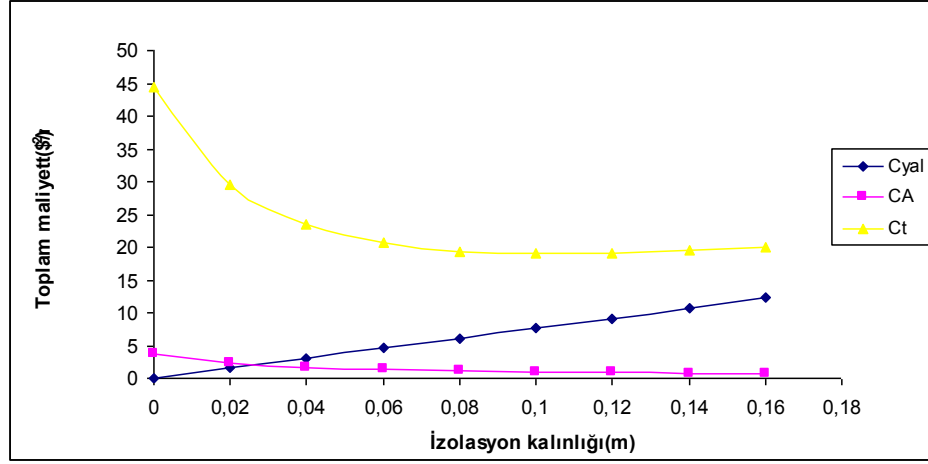
Çizelge 6.9. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığı kullanımı ile örnek binadaki yıllık ısıtma gereksinimi

Aylar	Isı kaybı			Isı kazancı			HGL	Kullanım faktörü	Isıtma enerjisi gereksinimi
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kaybı	İç ısı kazancı	Güneş ışığından gelen ısı kazancı	Toplam			
	$H=HT+HV$ (W/K)	$T_i - T_o$ (K, °C)	$H(T_i - T_o)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_T = \Phi_i + \Phi_s$ (W)	γ	η_{ay}	Q_{ay} (KJ)
Ocak	2277,24	19,3	43951	6743,57	3345	10088,57	0,229	0,987	8,81 x10 ⁷
Şubat		18,9	43040		4208,63	10952,2	0,265	0,976	7,91 x10 ⁷
Mart		14,9	33931		5091,62	11845,09	0,373	0,931	5,34 x10 ⁷
Nisan		8,9	20267		5770,25	12513,82	0,582	0,820	2,61 x10 ⁷
Mayıs		4,6	10475		6697,97	13441,54	1,439	0,500	6,75 x10 ⁶
Haziran		0,5	1139		7056,63	13800,2	12,120	0,079	1,18 x10 ⁵
Temmuz		Çok yüksek	0		6865,37	13608,94	0	0	2,71 x10 ⁶
Ağustos		Çok yüksek	0		6397,26	13140,83	0	0	2,30 x10 ⁶
Eylül		1,8	4099		5339,09	12082,66	2,652	0,314	1,96 x10 ⁶
Ekim		7,4	16852		4270,17	11013,74	0,671	0,774	2,03 x10 ⁷
Kasım		13,4	30515		3191,43	9935	0,333	0,950	5,28 x10 ⁷
Aralık		17,7	40307		2920,10	9663,67	0,246	0,982	7,69 x10 ⁷
								$\sum Q_{y, iltak} =$ 112258 KWh	

Bu çalışmada kullanılan örnek binanın kompozit duvar yapısı iç sıva, delikli tuğla, izolasyon malzemesi ve dış sıvadan oluşmaktadır. Duvarın optimum izolasyon kalınlığı üzerinde duvar yapısının etkisi araştırıldı. Duvar yapısında delikli tuğla yerine aynı kalınlıkta bims kullanıldığında, optimum izolasyon kalınlığı 12,21 cm'den 10,7 cm'e düştü. Bunun nedeni, bimsin düşük termal iletkenlik katsayısı ve yüksek termal direncine bağlı olarak açıklanabilir. Çünkü, bims gözenekli yapısından dolayı izolasyon malzemesi gibi davrandı. Bu sonuç, Şekil 6.5 ve 6.6'dan görüldüğü gibi, izolasyon maliyetinde 9,34 \$/m² 'den 8,15 \$/m²'ye olan düşüşten dolayı, toplam maliyette 20,12 \$/m² den 18,93 \$/m²'ye azalmaya neden oldu.



Şekil 6.5. Gözenekli tuğlada izolasyon, ısıtma ve toplam maliyetin izolasyon kalınlığına göre değişimi



Şekil 6.6. Bims'de izolasyon, ısıtma ve toplam maliyetin izolasyon kalınlığına göre değişimi

Duvar yapısında kullanılan parametreler ve optimum izolasyon kalınlığı ile 6 cm izolasyon kalınlığı kullanılması sonucunda elde edilen alakalı sonuçlar Çizelge 6.10 ve 6.11'de verilmektedir.

Çizelge 6.10. Kullanılan parametreler ve delikli tuğla duvar yapısı kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Parametreler	6 cm izolasyon malzemesi	12,21 cm kalınlığında optimum izolasyon malzemesi
Tüm ısı transfer katsayısı, U	0,457	0,255
Tüm ısı transfer direnci, R	2,184	3,909
İzolasyon maliyeti	$C_{ins} = 4,59 \text{ USD}/m^2$	$C_{ins} = 9,34 \text{ USD}/m^2$
İzolasyonun işçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD}/m^2$	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD}/m^2$
İzolasyonun ömrü, LT	15 yıl	15 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	11,725	11,725
Doğal gaz fiyatı, C_f	$0,485 \text{ USD}/m^3$	$0,485 \text{ USD}/m^3$
Yakıtın alt ısı değeri, LHV	$34,51E+06 \text{ J}/m^3$	$34,51E+06 \text{ J}/m^3$
Isıtma sisteminin verimi, η	0,93	0,93
Enflasyon hızı, i	4,5 %	4,5 %
İndirim hızı, g	7,88 %	7,88 %
Isıtma derece-gün (HDD)	2753,66	2753,66
Yıllık ısıtma maliyeti	$1,645 \text{ USD}/m^2$	$0,919 \text{ USD}/m^2$
Toplam maliyet	$23,88 \text{ USD}/m^2$	$20,12 \text{ USD}/m^2$
Enerji tasarrufu, %	70,64	75,26
Geri ödeme süresi	4,94 yıl	5,80 yıl

Çizelge 6.11. Kullanılan parametreler ve bims duvar yapısı kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Parametreler	6 cm izolasyon malzemesi	10,7 cm kalınlığında optimum izolasyon malzemesi
Tüm ısı transfer katsayısı, U	0,383	0,255
Tüm ısı transfer direnci, R	2,61	3,92
İzolasyon maliyeti	$C_{ins} = 4,59 \text{ USD}/m^2$	$C_{ins} = 8,15 \text{ USD}/m^2$
İzolasyonun işçilik maliyeti	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD}/m^2$	$C_{ad} = 14,35 \text{ USD}/m^2$
İzolasyonun ömrü, LT	15 yıl	15 yıl
Günümüz değer faktörü, PWF	11,725	11,725
Doğal gaz fiyatı, C_f	$0,485 \text{ USD}/m^3$	$0,485 \text{ USD}/m^3$
Yakıtın alt ısı değeri, LHV	$34,51E+06 \text{ J}/m^3$	$34,51E+06 \text{ J}/m^3$
Isıtma sisteminin verimi, η	0,93	0,93
Enflasyon hızı, i	4,5 %	4,5 %
İndirim hızı, g	7,88 %	7,88 %
Isıtma derece-gün (HDD)	2753,66	2753,66
Yıllık ısıtma maliyeti	$1,373 \text{ USD}/m^2$	$0,916 \text{ USD}/m^2$
Toplam maliyet	$20,69 \text{ USD}/m^2$	$18,93 \text{ USD}/m^2$
Enerji tasarrufu, %	53,29	57,27
Geri ödeme süresi	12 yıl	13,3 yıl

6 cm izolasyon kalınlığına sahip duvarda gözenekli tuğla kullanıldığında izolasyon maliyetinde 4,59 $\$/m^2$ artışla yıllık ısıtma maliyeti 5,29 $\$/m^2$ 'ye ve toplam maliyet de 57,47 $\$/m^2$ 'ye düşerken, %70,64 enerji tasarrufu ve yaklaşık 5 yıllık geri ödeme süresi 15 yıl ömre sahip standard EPS için sağlandı. Ancak, bims duvar yapının uygulanması ile izolasyon maliyetindeki 4,59 $\$/m^2$ 'lik artışla, yıllık ısıtma maliyeti 2,40 $\$/m^2$ 'ye ve toplam maliyet ise 23,61 $\$/m^2$ 'ye azalarak, % 53,29 enerji tasarrufu yaklaşık 12 yıllık geri ödeme süresi ile elde edildi. Sonuçlar 6 cm kalınlığında standard EPS'nin uygulanması ile delikli tuğla duvar yapısının bims duvar yapısına göre daha yüksek enerji tasarruf yüzdesi ve daha düşük geri ödeme süresi verdiğini gösterdi. Çünkü, dış duvarlarda herhangi bir izolasyon uygulanmaksızın bimsin yapısında havayı tutma özelliğinden dolayı, delikli tuğla duvar yapısı 6,93 $\$/m^2$ yıllık ısıtma maliyeti verirken bims duvar yapısı 3,77 $\$/m^2$ yıllık ısıtma maliyeti gösterdi. Delikli tuğla duvar yapısında 12,21 cm optimum kalınlık yerine 6 cm kalınlıkta standard EPS kullanıldığında % 15,72 enerji kaybı olurken, bims duvar yapısında 10,7 cm optimum kalınlık yerine 6 cm kalınlıkta standard EPS kullanıldığında % 8,50 enerji kaybı olmaktadır.

Dış duvarların izolasyonu ile ısı kayıplarının önemli bir kısmı azaltılmasına rağmen, yapılan gelişmeler bütün ısı kayıplarını yok etmek için yeterli değildi. Çizelge 6.12'den görüldüğü gibi (Anonim, 1999), üçüncü bölgede çatı için tüm ısı transfer katsayısı maksimum 0,3 $W/m^2.K$ ve taban için de 0,45 $W/m^2.K$ olmalıdır. Ancak, örnek binadaki hesaplamalar çatı için 0,76 $W/m^2.K$ tüm ısı transfer katsayısı ve taban için 2,25 $W/m^2.K$ tüm ısı transfer katsayısı vermektedir.

Çizelge 6.12. Üçüncü bölgede önerilen maksimum tüm ısı transfer katsayıları

	Dış duvar için tüm ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)	Tavan için tüm ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)	Taban kısmı için tüm ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)	Pencere için tüm ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
Üçüncü bölge	0.5	0.3	0.45	2.4

Binadaki ısı kayıplarının çoğu çatı ve tabandan kaynaklanmaktadır. Çatıya uygulanmış olan 5 cm kalınlığındaki cam yününün kalınlığını 15 cm'ye artırarak ve

Çizelge 6.14. 12,21 cm optimum izolasyon kalınlığı kullanımı ile dış duvarları, tavan ve taban kısımlarından izole edilen örnek binanın yıllık ısıtma gereksinimi

Aylar	Isı kaybı			Isı kazancı			HGL	Kullanım faktörü	Isıtma enerjisi gereksinimi
	Özgül ısı kaybı	Sıcaklık farkı	Isı kaybı	İç ısı kazancı	Güneş ışığından gelen ısı kazancı	Toplam			
	$H=HT+HV$ (W/K)	$T_r - T_o$ (K, °C)	$H(T_r - T_o)$ (W)	Φ_i (W)	Φ_s (W)	$\Phi_r = \Phi_i + \Phi_s$ (W)	γ	η_{ay}	Q_{ay} (KJ)
Ocak	1878,6	19,3	36257	6743,6	3345	10088,57	0,278	0,972	$6,85 \times 10^7$
Şubat		18,9	35505		4208,63	10952,2	0,322	0,955	$6,10 \times 10^7$
Mart		14,9	27991		5091,62	11845,09	0,453	0,889	$4,03 \times 10^7$
Nisan		8,9	16719		5770,25	12513,82	0,706	0,757	$1,92 \times 10^7$
Mayıs		4,6	8641		6697,97	13441,54	1,745	0,436	$4,76 \times 10^6$
Haziran		0,5	939		7056,63	13800,2	14,692	0,065	$8,10 \times 10^4$
Temmuz		Çok yüksek	0		6865,37	13608,94	0	0	$1,80 \times 10^6$
Ağustos		Çok yüksek	0		6397,26	13140,83	0	0	$1,53 \times 10^6$
Eylül		1,8	3381		5339,09	12082,66	3,215	0,267	$1,36 \times 10^6$
Ekim		7,4	13901		4270,17	11013,74	0,814	0,707	$1,48 \times 10^7$
Kasım		13,4	25173		3191,43	9935	0,403	0,916	$4,01 \times 10^7$
Aralık		17,7	33251		2920,10	9663,67	0,299	0,964	$5,95 \times 10^7$
									$\Sigma Q_{yillik} = 85798,51$ KWh

Örnek binada ısı kaybının olduğu toplam yüzey alan (A_{toplam}) $1759,16 m^2$ ve brüt hacim (V_{gr}) $4214,73 m^3$ olarak hesaplandı. Örnek binanın her bir hacmi için yıllık ısıtma gereksinimi Eş. 6.1'den bulunmaktadır.

$$Q = \frac{Q_{YILLIK}}{V_{gr}} \quad (6.1)$$

$\frac{A_{toplam}}{V_{gr}}$ oranının hesaplaması 0,417 sonucunu verdi. Çorum ilinde yer alan örnek binanın en yüksek ısı kaybı üçüncü bölge için hacim bazında $KWh/m^3_{,yil}$ olarak verilen aşağıdaki eşitliği dikkate alarak değerlendirildi (Anonim, 1999).

$$Q' = 24,4 \times \frac{A_{toplam}}{V_{gr}} + 11,7 \quad (6.2)$$

Q değeri, ısı kayıplarını önlemek için örnek binanın dış duvarlarına, taban ve çatısına uygulanan gerekli iyileştirmeler sayesinde Eş. 6.1'den $20,35 \text{ KWh/m}^3_{,yıl}$ olarak hesaplandı ve Q' değeri de Eş. 6.2'den $21,88 \text{ KWh/m}^3_{,yıl}$ olarak bulundu. Sonuçta, $Q < Q'$ olması örnek binanın dış duvarları, taban ve çatısına izolasyon uygulanmasının ısı kayıpları ve ısıtma enerjisi gereksinimlerini binalar için hazırlanan Türk Termal İzolasyon Gereksinimlerine göre istenen seviyelere azalttığını göstermektedir.

Su buharının örnek binanın içinden dışına difüzyonu yapı elemanları yardımı ile saptandı ve yoğuşma kontrolü, sıcaklıkları, ara fazdaki doyunluk basınçlarını ve binanın yapı elemanlarının yüzeyindeki kısmi basınçları dikkate alarak on iki ay için yapıldı. Çizelge 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19'da verildiği gibi yoğuşma Kasım ayından Mart ayına kadar gözlemlendi

Çizelge 6.15. Kasım ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler

Tabaka numarası	Tabakalar	Tabaka kalınlığı d (m)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Termal iletkenlik katsayısı k (W/m.K)	Termal direnç ($m^2.K/W$)	Sıcaklık T ($^{\circ}C$)	Doygun su buharı basıncı (Pa)	Kısmi basınç (Pa)
	$1/h_i$	-	-	-	-	0,25	18,35	2102	1366,3
1	İç sıva	0,02	15	0,3	0,87	0,023	18,20	2089	
2	Delikli tuğla	0,13	0,5	0,065	0,45	0,289	16,30	1852	
3	İzolasyon malzemesi (EPS)	0,06	35	2,1	0,036	1,666	5,33	890	
4	Dış sıva	0,05	0,42	0,021	1,4	0,036	5,86	922	691,5
	$1/h_o$				-	0,04	5,6	909	681,75
				$\sum S_d=2,486$					

Çizelge 6.16. Aralık ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler

Tabaka numarası	Tabakalar	Tabaka kalınlığı d (m)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Termal iletkenlik katsayısı k (W/m.K)	Termal direnç ($m^2.K/W$)	Sıcaklık T (°C)	Doymun su buharı basıncı (Pa)	Kısmi basınç (Pa)
	$1/h_i$	-	-	-	-	0,25	17,86	2037	1324,05
1	İç sıva	0,02	15	0,3	0,87	0,023	17,66	2012	
2	Delikli tuğla	0,13	0,5	0,065	0,45	0,289	15,2	1726	
3	İzolasyon malzemesi (EPS)	0,06	35	2,1	0,036	1,666	0,96	656	
4	Dış sıva	0,05	0,42	0,021	1,4	0,036	1,641	685	541,15
	$1/h_o$				-	0,04	1,3	671	530,09
				$\sum S_d=2,486$					

Çizelge 6.17. Ocak ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler

Tabaka numarası	Tabakalar	Tabaka kalınlığı d (m)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Termal iletkenlik katsayısı k (W/m.K)	Termal direnç ($m^2.K/W$)	Sıcaklık T (°C)	Doymun su buharı basıncı (Pa)	Kısmi basınç (Pa)
	$1/h_i$	-	-	-	-	0,25	17,68	2012	1307,8
1	İç sıva	0,02	15	0,3	0,87	0,023	17,46	1986	
2	Delikli tuğla	0,13	0,5	0,065	0,45	0,289	14,78	1672	
3	İzolasyon malzemesi (EPS)	0,06	35	2,1	0,036	1,666	-0,68	641	
4	Dış sıva	0,05	0,42	0,021	1,4	0,036	0,071	611	476,58
	$1/h_o$				-	0,04	-0,3	595,68	464,63
				$\sum S_d=2,486$					

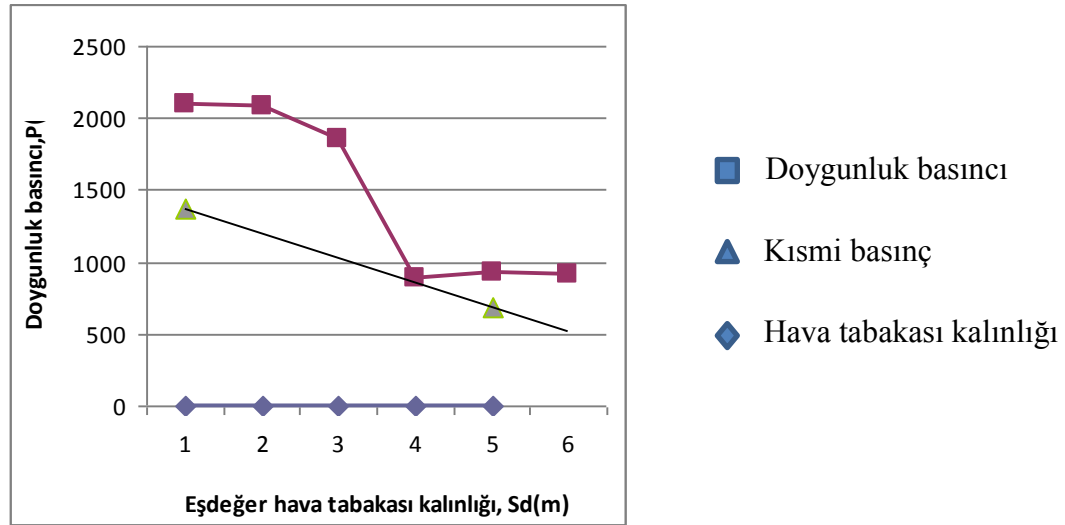
Çizelge 6.18. Şubat ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler

Tabaka sayısı	Tabakalar	Tabaka kalınlığı d (m)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Termal iletkenlik katsayısı k (W/m.K)	Termal direnç ($m^2.K/W$)	Sıcaklık T (°C)	Doymun su buharı basıncı (Pa)	Kısmi basınç (Pa)
	$1/h_i$	-	-	-	-	0,25	17,72	2024	1315,6
1	İç sıva	0,02	15	0,3	0,87	0,023	17,51	1999	
2	Delikli tuğla	0,13	0,5	0,065	0,45	0,289	14,88	1683	
3	İzolasyon malzemesi (EPS)	0,06	35	2,1	0,036	1,666	-0,27	621	
4	Dış sıva	0,05	0,42	0,021	1,4	0,036	0,46	629	459,17
	$1/h_o$				-	0,04	0,1	616	449,68
				$\sum S_d=2,486$					

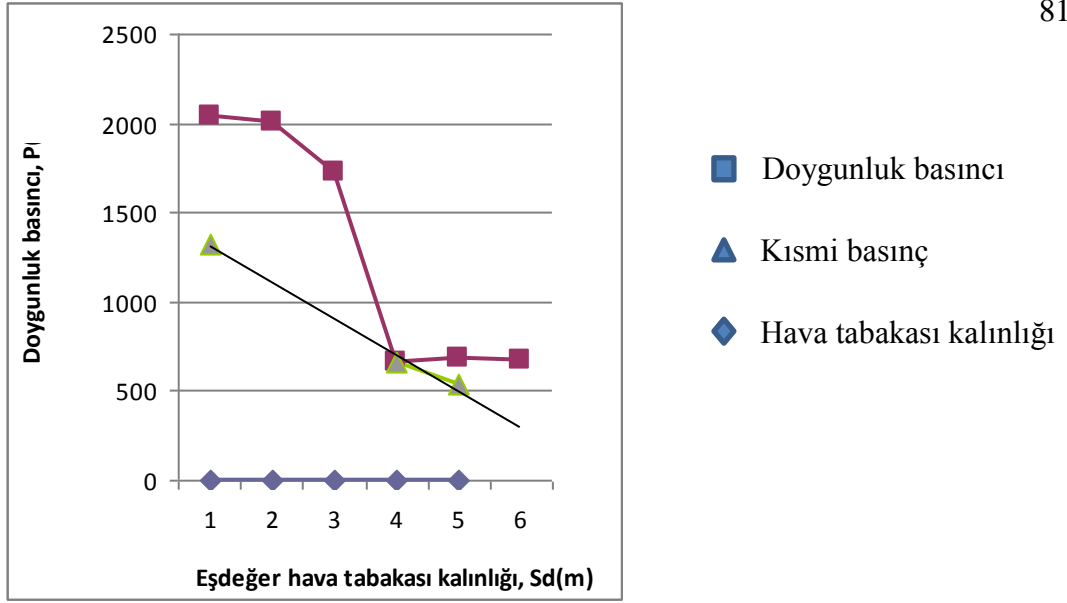
Çizelge 6.19. Mart ayında yoğuşma kontrolünün saptanmasında su buharının difüzyonu için elde edilen veriler

Tabaka numarası	Tabakalar	Tabaka kalınlığı d (m)	Su buharı difüzyon direnci katsayısı (μ)	Difüzyon eşdeğer hava tabakası kalınlığı S_d (m)	Termal iletkenlik katsayısı k (W/m.K)	Termal direnç ($m^2.K/W$)	Sıcaklık T ($^{\circ}C$)	Doymun su buharı basıncı (Pa)	Kısmi basınç (Pa)
	$1/h_i$	-	-	-	-	0,25	18,18	2089	1357,85
1	İç sıva	0,02	15	0,3	0,87	0,023	18,01	2063	
2	Delikli tuğla	0,13	0,5	0,065	0,45	0,289	15,91	1806	
3	İzolasyon malzemesi (EPS)	0,06	35	2,1	0,036	1,666	3,80	801	
4	Dış sıva	0,05	0,42	0,021	1,4	0,036	4,39	836	568,48
	$1/h_o$				-	0,04	4,1	819	556,92
				$\sum S_d=2,486$					

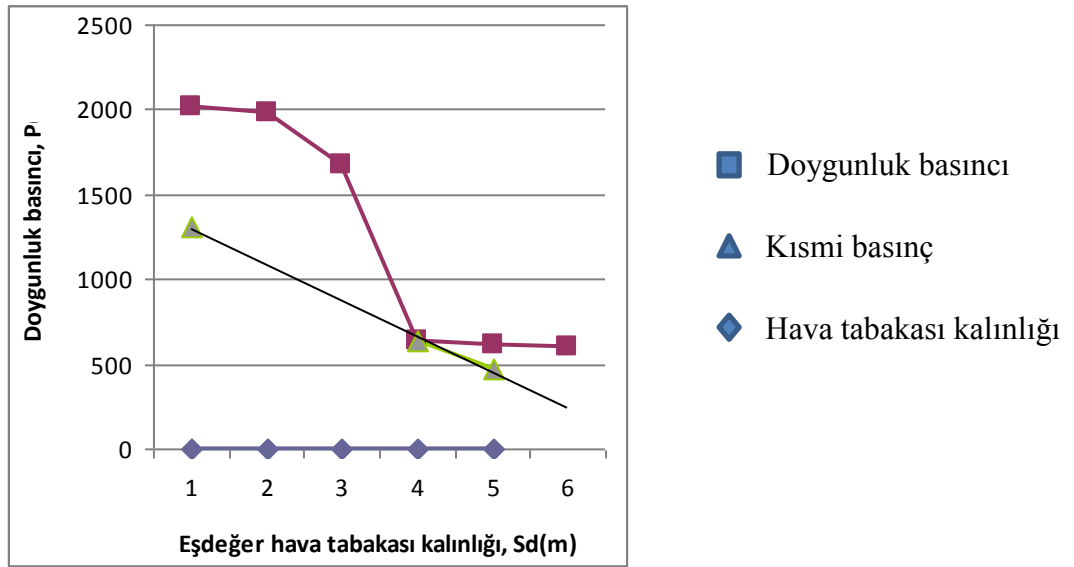
ve yoğuşma kontrolü de Şekil 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11’de gösterildi.



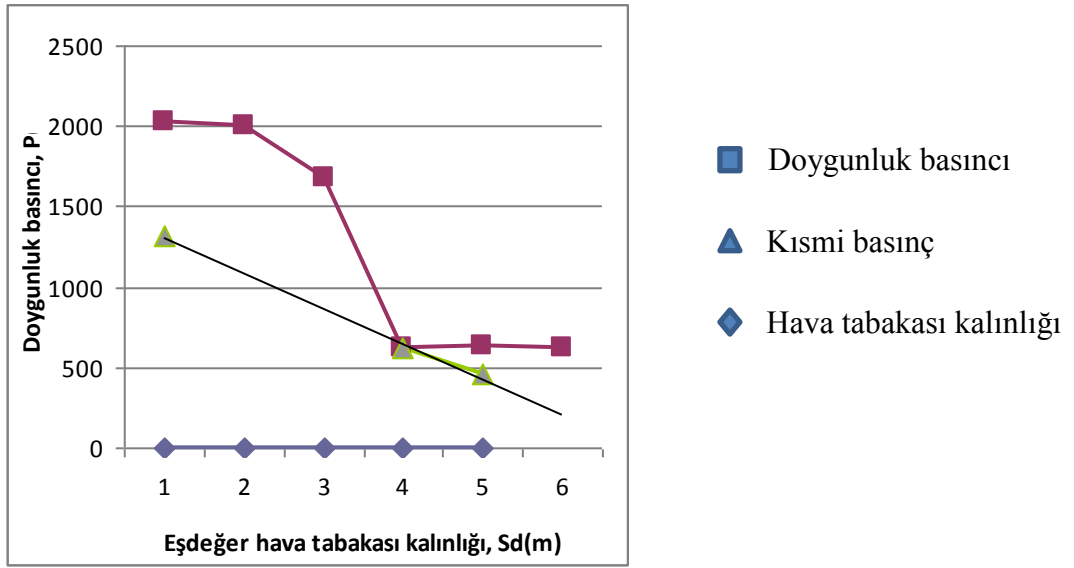
Şekil 6.7. Kasım ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü



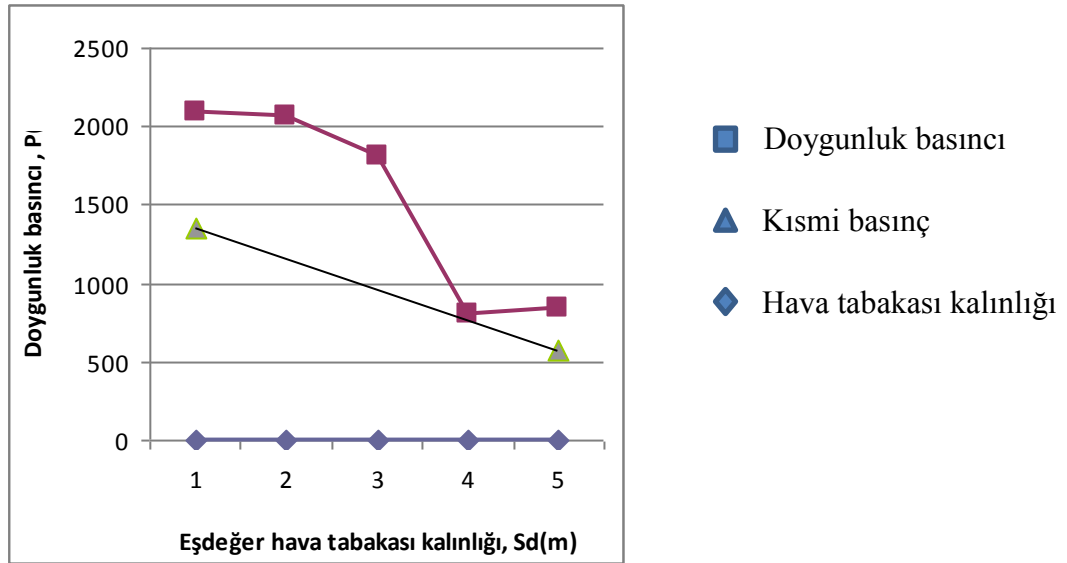
Şekil 6.8. Aralık ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü



Şekil 6.9. Ocak ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü



Şekil 6.10. Şubat ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü



Şekil 6.11. Mart ayında eşdeğer hava tabakası kalınlığına bağlı yoğuşma kontrolü

Şekil 6.7'den Şekil 6.11'e kadar kasım ayı ile mart ayı arasında su buharının yalnızca izolasyon malzemesi ile dış sıva arasında yoğuştuğu gözlenmiştir. Bu şekillerin üst kısmındaki çizgi tabakalar arasındaki sıcaklıklara karşılık gelen doymuş su buharı basınçlarını, alt kısımdaki çizgi ise bağıl rutubet değerlerine bağlı olarak iç ve dış

yüzev sıcaklıklarına karşılık gelen kısmi basınçları göstermektedir. Şekil 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11'den görüldüğü üzere, su buharının yoğuşması kesişimin olmasından dolayı yapı malzemelerinin yalnızca bir ara fazında saptandı. Ardından, Çizelge 6.20'de verildiği gibi, yapı malzemelerinde yoğuşan ve buharlaşan su buharı miktarı hesaplandı.

Çizelge 6.20. Yapı elemanlarında yoğuşan ve buharlaşan su buharı miktarı

Aylar	Su buharı miktarı (kg/m^2)	Biriken su buharı miktarı (kg/m^2)
Ocak	0,055	0,055
Şubat	0,1259	0,1809
Mart	0,048	0,2289
Nisan	0,1099	0,3388
Mayıs	-0,091	0,2478
Haziran	-0,034	0,2138
Temmuz	-0,235	0
Ağustos	-0,0972	0
Eylül	-0,0564	0
Ekim	-0,138	0
Kasım	0,0433	0,0433
Aralık	0,057	0,1003

Sonuçlar, Kasım ayından Mart ayına kadar beş ay boyunca $0,439 kg/m^2$ su buharının yoğuştuğunu gösterdi. $1 kg/m^2$ 'nin altında kalan bu değer Kaynak (Anonim, 1999)'e göre kabul edilebilir sınırlarda kalmaktadır. Nisan ayı ve Haziran ayı arasında yoğuşma gözlenmemesine rağmen, yapı elemanlarında su buharı bulundu ve bütün su buharı Temmuz ayından Ekim ayına kadar dört ay boyunca yapı elemanlarından buharlaştı. Ancak, örnek bina için Mart ayı ve Kasım ayı arasında yapı elemanlarının her ara faz noktasında su buharının doymuluk basınçları yapı elemanlarının yüzeylerindeki su buharının kısmi basınçlarının üzerindeydi.

7. SONUÇLAR

Binaların kompozit duvar yapısında kullanılan bims izolasyon kullanılmaksızın duvar direncini artırdı ve tüm ısı aktarım katsayısını azalttı, izolasyon uygulanması durumunda da delikli tuğlaya göre optimum izolasyon kalınlığını düşürdü. Bimsin havayı tutan gözenekli yapısı ve düşük termal iletkenlik katsayısından dolayı izolasyon malzemesi gibi davrandığı kabul edilebilir.

Binalara uygulanan EPS (Neopor ve Standard)'nin optimum izolasyon kalınlığı ve enerji tasarruf yüzdesi termal iletkenlik katsayısındaki artış ve izolasyon maliyetindeki azalma ile arttı.

EPS (termal iletkenlik katsayısı $0,033 \text{ W/m.K}$ olan Neopor), XPS ve taş yününün kıyaslanması EPS'nin en yüksek optimum izolasyon kalınlığı ve enerji tasarruf yüzdesi ile en düşük yıllık ısıtma maliyetine sahip olduğunu gösterdi. Ancak, Çorum ili için kullanım ömrü EPS'ye göre daha kısa olmasına rağmen termal iletkenlik katsayısı, optimum izolasyon kalınlığı ile izolasyon maliyeti ve toplam maliyetin düşük olması XPS'i izolasyon malzemesi olarak daha avantajlı bir duruma getirmektedir.

İzole edilmiş binaların izolasyon kalınlığını optimum kalınlığa artırmanın düşük enerji tasarruf yüzdesi, yüksek izolasyon maliyeti, kısa kullanım ömrü ve uzun geri ödeme süresi nedeni ile karlı olmadığı gözlemlendi.

Türk Termal İzolasyon Standard'ına göre üçüncü bölgede bulunan Çorum ilindeki örnek binanın optimum izolasyon kalınlığı duvar yapısına göre değişti. Duvar yapısında delikli tuğla yerine bimsin kullanılması bimsin düşük termal iletkenliği ve yüksek termal direncinden dolayı doğalgazı yakıt olarak kullanan örnek binanın dış duvarlarına izolasyon malzemesi olarak uygulanan standard EPS'nin optimum izolasyon kalınlığını $12,21 \text{ cm}$ 'den $10,7 \text{ cm}$ 'e düşürdü.

Örnek binanın ısı kayıpları ve yıllık ısıtma enerjisi gereksinimi dış duvarlara $12,21 \text{ cm}$ optimum izolasyon kalınlığında standard EPS'nin, çatıya 15 cm kalınlığında cam yününün ve tabana 55 cm kalınlığında bims bloklarının uygulanması sonucunda tüm

ısı transfer katsayılarının azalmasıyla Türk Termal İzolasyon Standard'ına göre istenen seviyeye azaltıldı.

Yoğuşma kontrolü Çorum ilinde Kasım ayından Mart ayına kadar beş ay boyunca yoğuşma gözlemlendiğini gösterdi ve yoğuşma miktarının kabul edilebilir sınırlarda olduğu bulundu.

KAYNAKLAR

- Abdou, A.A., Budaiwi, I.M., 2005. Comparison of thermal conductivity measurements of building insulation materials under various operating temperatures. *Journal of Building Physics*, 29(2), 85-171.
- Al-Homoud, M.S., 2005. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 40, 353-366.
- Anastaselos, D., Giama, E., Papadopoulos, A.M., 2009. An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. *Energy and Buildings*, 41, 1165-1171.
- Anonim, 1999. TS 825 Thermal insulation in building. Turkish Standards Institution, Ankara, 72 s.
- Anonim, 2005a. Yalıtım. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 104 s.
- Anonim, 2005b. Yaşanabilir Çevre İçin Yalıtım, İzocam Diyalog Dergisi, Nisan-Mayıs-Haziran, 10-13.
- Anonim, 2006. Terratherm-Manto Dış Cephe Isı Yalıtım Sistemleri Ürün Kataloğu. Arge İnşaat Mühendislik Yapı ve İzolasyon Malz. LTD. ŞTİ., Sakarya, 67 s.
- Anonim, 2009. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 926 p.
- Anonim, 2014a, Enflasyon Raporu 2014, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TCMB+TR/TCMB+TR/Main+Menu/Yayinlar/Raporlar/Enflasyon+Raporu/2014> (22.08.2014).
- Anonim, 2014b. Yakıt Fiyatlarının Karşılaştırılması, <http://www.igdas.com.tr/YakitKarsilastirmasi/Index/181?lang=tr&sc=2&ay=4&yil=2014> (02.04.2014).
- Anonim, 2014c. Yalıtım Uygulamalarının Önemi ve Faydaları, <http://www.isiyalitim.com/isi-yalitimi-ses-izolasyonu.html> (16.08.2014).
- Anonim, 2015a. Seramik Yünü Nedir, <http://mantolama.world.edu/2012/09/20> (05.04.2015).
- Anonim, 2015b. Duvarlarda Isı Yalıtımı, http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/duvarlardaisiyalitimi.pdf (05.04.2015).
- Anonim, 2015c. EPS Su Alma Durumu, <http://orcanambalaj.com/default.asp?iId=JIFJL> (05.04.2015).

- Anonim, 2015d. Isı Yalıtımı, http://www.izoder.org.tr/tr/dokumanlar/isi_yalitimi/giris.pdf (05.04.2015).
- Anonim, 2015e. Isı Yalıtım Malzemeleri, <http://www.kimyamuhendisi.com/index.php/dokumanlar/projeler-tezler/207-is-yal-t-m-malzemeleri> (09.01.2015).
- Aytaç, A., Aksoy, U.T., 2006. The relation between optimum insulation thickness and heating cost on external walls for energy saving, *Journal of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(4), 753-758.
- Bahadori, A., Vuthaluru, H.B., 2010. A simple method for the estimation of thermal insulation thickness. *Applied Energy*, 87, 613-619.
- Bolattürk, A., 2006. Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26, 1301-1309.
- Bolattürk, A., 2008. Optimum insulation thicknesses for building walls with to cooling and heating degree-hours in the warmest zone of Turkey. *Energy and Buildings*, 43, 1055-1064.
- Budaiwi, I., Abdou, A., Al-Homoud, M., 2002. Variations of thermal conductivity of insulation materials under different operating temperatures: impact on envelope-induced cooling load. *Journal of Architectural Engineering*, 8(4), 125-132.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., Yılmaz, T., 2001. Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, *Applied Energy*, 69, 269-283.
- Cabeza, L.F., Castell, A., Medrano, M., Martorell, I., Perez, G., Fernandez, I., 2010. Experimental study on the performance of insulation materials in Mediterranean construction. *Energy and Buildings*, 42, 630-636
- Çengel, Y.A., 1998. *Heat Transfer A Practical Approach*. McGraw-Hill, New york, 1024 p.
- Çomaklı, K., Yüksel, B., 2003. Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 23, 473-479.
- Çomaklı, K., Yüksel, B., 2004. Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings. *Applied Thermal Engineering*, 24(2), 933-940.
- Dombaycı, Ö.A., Gölcü, M., Pancar, Y., 2006. Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 83, 921-928.

- Dombaycı, Ö.A., 2007. The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings. *Building and Environment*, 42(11), 3855-3859.
- Ekici, B.B., Gülten, A.A., Aksoy, U.T., 2012. A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey. *Applied Energy*, 92, 211-217.
- Ekinci, C.E., 2003. *Yalıtım Teknikleri*. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 366 s.
- Evcil, N., 1999. *Yapı Kabuğunda Isı Yalıtım Değerlerinin Yapı Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi İçin Bir Yöntem Önerisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kadıoğlu, M., Şen, Z., Gültekin L.M., 2001. Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days. *Climatic Change*, 49, 209-223.
- Kaynaklı, Ö., 2008. A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*, 33, 1164-1172.
- Kaynaklı, Ö., 2012. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 415-425.
- Kaynaklı, Ö., 2013. Optimum thermal insulation thicknesses and payback periods for building walls in Turkey. *Journal of Thermal Science and Technology*, 33(2), 45-55.
- Koçu, N., Korkmaz Z.S., 2005. *Konya Çevresindeki Yapılarda Isı Yalıtım Uygulamalarının TS 825' e Göre Değerlendirilmesi ve Çevre Kirliliğine Etkisi*. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi. Konya.
- Mahlia, T.M.I., Taufiq, B.N.I., Masjuki, H.H., 2007. Correlation between thermal conductivity and the thickness of selected insulation materials for building wall. *Energy and Buildings*, 39, 182-187.
- Mohsen, M.S., Akash, B.A., 2001. Some prospects of energy saving in buildings. *Energy Conversion & Management*, 42, 1307-1315.
- Özel, M., Pıhtılı, K., 2007. Optimum location and distribution of insulation layer son building walls with various orientations. *Building and Environment*, 42(8), 3051-3059.
- Özeren, Y., 2005. Para kazandıran konfor. *İnşaat&Malzeme Dergisi*, 10, 10-15.
- Price, B.A., Smith, T.F., 1995. Thermal response of composite building envelopes accounting for thermal radiation. *Energy Conversion and Management*, 36(1), 23-33.

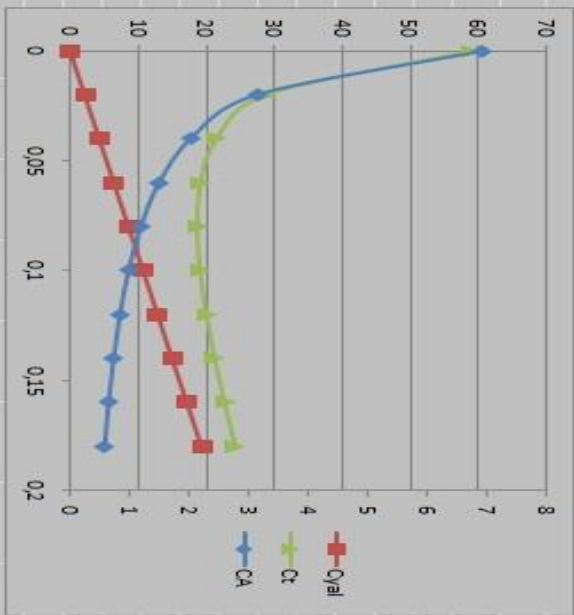
- Reman, O., 2000. Isı-Su İzolasyon Malzemelerinin Sınıflandırılması, Özellikleri, Soru ve Seçim Kriterleri. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Balıkesir.
- Rubacı, E., 2006. Yaşanan Konutlarda Enerji Tasarrufu. Mardav Yalıtım A.Ş, Ankara, 36 s.
- Sen, A.O., 2006. Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye'de Yalıtım. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Tong, T.W., McElroy, D.L., Yarbrough, D.W., 1985. Transient conduction and radiation heat transfer in porous thermal insulations. *Journal of Building Physics*, 9(1), 13-29.
- Uçar, A., Balo, F., 2009. Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey. *Applied Energy*, 86, 730-736.
- Uçar, A., Balo, F., 2010. Determination of the energy savings and the optimum insulation thickness in the four different insulated exterior walls. *Renewable Energy*, 35(1), 88-94.
- Ünal, S., 2002. Bina Duvar Isı Yalıtım Sistemleri ve Ekstrüde Polistren İle TS825 'e Uygun Bina Yalıtım Çözümleri Üzerine Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yalçın, H., Koç, T., 1995. Korozyon ve Katodik Koruma, Ankara, 356 s.
- Yıldız, A., Gürlek, G., Erkek, M., Özbalta, N., 2008. Economical and environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Journal of Thermal Science and Technology*, 28(2), 25-34.
- Yılmaz, R., 2006. Betonarme Karkas Yapılarda Kolon ve Kirişlerdeki Isı Kayıplarının Önlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yu, J., Yang, C., Tian, L., Liao, D., 2009. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86, 2520-2529.
- Zedan, M.F., Mujahid, A.M., 1993. An efficient solution for heat transfers in composite walls with periodic ambient temperature and solar radiation. *International Journal of Ambient Energy*, 14(2), 83-98.

EKLER

EK-2 Optimum kalınlık hesaplaması excel görünümü

Çizelge E2.1.Örnek bina için XPS kalınlık hesaplaması excel görünümü

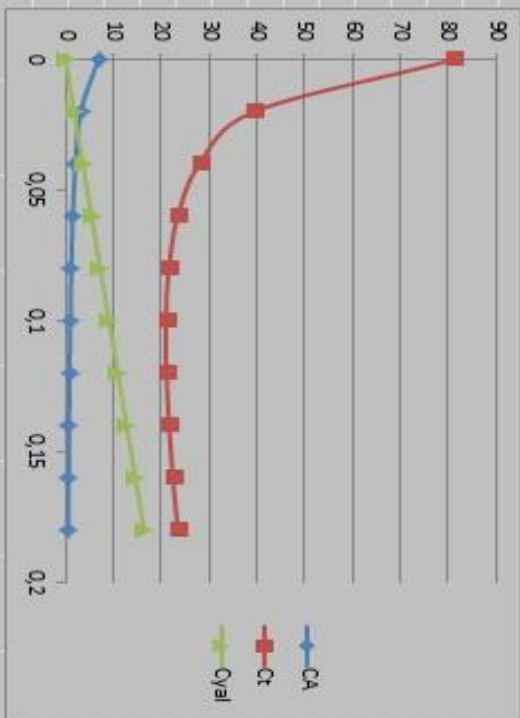
U	ΔT	q	q_a	DG	R_i	R_o	R_{in}	R_y	$R_{y,ext}$	$R_{g,ext}$	$R_{o,ext}$	x	k	R_{int}	Qalitim
0,3351663	30	10,05499	85743760	2753,667	0,13	0,04	0,348	2,465594	0,023	0,289	0,036	0,078899	0,032	0,518	8,4667
Uyalıtımsız															
1,990501931															
C_i	$C_{i,USD/m^3}$	PWF	i	g	N	$C_{d,i}$	IDG	C_{USD/m^3}	CAyalıtımsız	H_u	η			Cost USD/m ²	
18,71189	107,31	8,504	0,045	0,0788	10	1,20475	2753,667	0,485	6,939187	34518000	0,93			14,35	
Çto yalıtımsız			X_{opt}		Payback	ECS	ECS/LT	ECS %							
59,01084315			0,078899		5,66183	40,2989573	4,029896	68,291							
					X	CA	Qyal	Ct							
					0	6,939	0	59,01							
					0,02	3,144	2,146	28,889							
					0,04	2,033	4,292	21,581							
					0,06	1,502	6,439	19,212							
					0,08	1,191	8,585	18,713							
					0,1	0,986	10,73	19,121							
					0,12	0,842	12,88	20,039							
					0,14	0,734	15,02	21,27							
					0,16	0,651	17,17	22,709							
					0,18	0,585	19,32	24,291							



EK-3 Optimum kalınlık hesaplaması excel görünümü

Çizelge E3.1.Örnek bina için EPS kalınlık hesaplaması excel görünümü

U	ΔT	q	q_a	DG	R_i	R_0	R_m	R_r	$R_{g,vars}$	$R_{g,s}$	$R_{g,vars}$	X	k	R_{int}	Cyaltim
0,26787	30	8,03611	6,9E+07	2753,67	0,13	0,04	0,348	3,215151515	0,023	0,289	0,036	0,1061	0,033	0,518	9,7219
Uyalıtımsız															
1,9305															
C_q	C_{USD/m^2}	PWF	i	g	N	$C_{a,i}$	IDG	CF USD/m ³	CAyaltımsız	H_u	η	Cad USD/m ²			
21,011	91,63	11,725	0,045	0,0788	15	0,96629	2753,67	0,485	6,93919	3,5E+07	0,93	14,35			
Croyaltımsız															
81,362			X_{ort}			Payback	ECS	ECS/LT	ES %						
			0,10611			5,9832	60,3505	4,02337	74,17532033						
X															
CA															
Ct															
Cyalt															
0															
6,939															
81,36															
0															
0,02															
3,198															
39,33															
1,8326															
0,04															
2,078															
28,03															
3,6652															
0,06															
1,539															
23,54															
5,4978															
0,08															
1,222															
21,65															
7,33															
0,1															
1,013															
21,04															
9,163															
0,12															
0,865															
21,14															
10,995															
0,14															
0,755															
21,68															
12,828															
0,16															
0,67															
22,51															
14,66															
0,18															
0,602															
23,55															
16,493															



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KARAKOÇ, Volkan Ramis

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 01.08.1987 - Samsun

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (362) 440 20 15

e-mail : volkanramis@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği Bölümü	2010
Lise	Samsun Namık Kemal Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2012	Yılmaz Madencilik	Kimya Mühendisi
2012-2013	Deniz Yalıtım	Kimya Mühendisi
2013-2014	Yılmaz Madencilik	Kimya Mühendisi
2014-...	Aşçelik Döküm İşleme	Dökümhane Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce