

173996

**YAPI KABUĞUNDA ISI YALITIMININ
İRDELENMESİ VE
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ LOJMANLARI
ÖRNEĞİ**

Hakan ÜNALAN
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Mayıs – 2003

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Hakan ÜNALAN'ın "Yapı Kabuğunda Isı Yalıtımının İrdelenmesi ve Anadolu Üniversitesi Lojmanları İyileştirme Projesi Örneği" başlıklı Mimarlık Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 21.05.2003 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Yard. Doç. Emrah GÖKALTUN	
Üye	: Yard. Doç. Türkân GÖKSAL	
Üye	: Yard. Doç. Ramazan UĞURLUBİLEK	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 28.05.2003 tarih ve 11/1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Osman ÖZER
Fen Bilimler Enstitüsü
M 0 d 0 r 9

Anadolu Üniversitesi
Merkez Kütüphane

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAPI KABUĞUNDA ISI YALITIMININ İRDELENMESİ VE ANADOLU ÜNİVERSİTESİ LOJMANLARI İYİLEŞTİRME PROJESİ ÖRNEĞİ

Hakan ÜNALAN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Emrah GÖKALTUN
2003, 63 Sayfa

Isı enerjisi kaynaklarının sağlanması açısından dışa bağımlı olan ülkemizde, ısı enerji tüketimi ve ısı kayıpları fazla olan “Bina”larda “Isı Korunumu” oldukça önemli bir konudur.

Bu bağlamda yapılan çalışmada öncelikle yapı kabuğu elemanlarının ısı konfor şartları ve ısı sorunları ortaya konulmuş ve bu sorunları önleyecek yalıtım malzemeleri ve sistemleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında Anadolu Üniversitesi Lojmanları C1-Bloğu için ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik iyileştirme projesi geliştirilmiş ve yapı kabuğundaki dış duvarların ısı kayıpları analiz edilmiştir. Sonuç olarak örnek projede farklı ısı yalıtım malzemeleri için (EPS, XPS ve taş yünü) optimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplanmış ve bu kalınlıklara göre yapı kabuğunun ısı geçiş katsayıları açısından TS 825'e uygunluğu kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerjinin Etkin Kullanımı ve Korunumu, Yapı Kabuğu ve Elemanları, Isı Yalıtım Malzemeleri, Isıl Konfor ve Performans, Optimum Isı Yalıtım Kalınlıkları

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EXAMINATION OF HEAT INSULATION IN BUILDING ENVELOPE AND AN EXAMPLE OF A PROJECT TO IMPROVE LODGING OF ANADOLU UNIVERSITY LODGINGS

Hakan ÜNALAN

**Anatolia University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architectural Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Emrah GÖKALTUN
2003, 63 Pages**

Protection of heat in the buildings in which high consumption of heat energy and heat loss is a very important issue in Turkey, who imports energy from other countries.

In this study, thermal comfort conditions and heat problems of building envelope elements are put forward and then insulation materials and insulation systems that will prevent these thermal problems are investigated. Also, in the content of the study a project is carried out to decrease the thermal loss in C1-block of Lodging of Anadolu University and heat loss of external walls in building envelope is analysed. Consequently, in the sample project thickness of optimum thermal insulation for different thermal insulation materials (EPS, XPS and rock wool) are calculated and according to these thicknesses its appropriateness to TS 825 is checked from the point of thermal resistance of building envelope.

Keywords: Conservation and Consumption Efficiency of Energy, Building Envelope and Elements, Heat Insulation and Materials, Thermal Comfort and Performance, Thickness of Optimum Heat Insulation

TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca her türlü problemimde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve bu desteği sevgileriyle birleştirerek değerli hale getiren Anne ve Babama, tez çalışmalarım süresince yol gösteren ve tecrübelerini paylaşan değerli danışman hocam Yard. Doç. Dr. Emrah GÖKALTUN'a, tezimin içeriğine katkılarından dolayı Doç. Dr. Türkân GÖKSAL ve Yard. Doç. Dr. Ramazan UĞURLUBİLEK'e, bu çalışmayı gerçekleştirmemde yardımcı olan tüm hocalarıma ve dostlarıma, Ofis Programlarını etkin kullanmayı, hayatta yılmamayı ve azmetmeyi öğreten Bil. Op. Alaaddin AKYOL'a teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç.....	3
1.2. Kapsam.....	4
1.3. Yöntem.....	4
2. YAPI DIŞ KABUĞU VE YAPI DIŞ KABUĞUNDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR.....	5
2.1. Yapı Dış Kabuğunun Genel Özellikleri.....	5
2.2. Yapı Dış Kabuğunu Oluşturan Elemanlar.....	8
2.2.1. Betonarme Elemanlar.....	9
2.2.2. Duvarlar.....	11
2.2.3. Kapı ve Pencereleler.....	12
2.2.4. Çatı.....	13
2.2.5. Toprağa Temas Eden Döşeme ve Duvarlar.....	15
2.3. Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Isıl Sorunlar.....	16
2.3.1. Isı Köprüleri.....	17
2.3.2. Yoğuşma (Kondansasyon).....	18
2.3.3. Hava Hareketi.....	20

3. ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ISI YALITIMI UYGULAMALARI	21
3.1. Isı Yalıtım Malzemeleri ve Sınıflandırılmaları	21
3.1.1. Opak Isı Yalıtımı Malzemeleri.....	23
3.1.2. Saydam Isı Yalıtımı Malzemeleri.....	23
3.2. Binalarda Yapılabilecek Isı Yalıtımı Uygulamaları.....	24
3.2.1. Duvarlardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları.....	24
3.2.1.1.Dıştan Isı Yalıtımı	25
3.2.1.2.İçten Isı Yalıtımı.....	28
3.2.1.3.Isı Yalıtımlı Sandviç Duvar.....	30
3.2.2. Pencerelerdeki Isı Yalıtımı Uygulamaları.....	30
3.2.3. Çatılardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları.....	33
3.2.3.1.Düz (Teras) Çatılar.....	33
3.2.3.2.Eğimli (Kırma) Çatılar	34
3.2.3.3.Çatı Arası Kullanılanlar	34
3.2.3.4.Çatı Arası Kullanılmayanlar.....	34
3.2.4. Toprağa Temas Eden Döşeme ve Duvarlardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları	35
3.2.4.1.Zemine Oturan Döşemeler	35
3.2.4.2.Toprağa Temas Eden Duvarlar.....	35
4. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ LOJMANLARINDA ISI KAYIPLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK İYİLEŞTİRME PROJESİ ÖRNEĞİ.....	36
4.1. Mevcut Durumun Ortaya Konulması.....	36
4.2. Karşılaştırmada Kullanılan Formüller.....	38
4.3. Yalıtım Sistemi ve Yalıtım Malzemeleri Seçimi	42
4.4. Duvarların Mevcut ve İyileştirme Durumlarının Karşılaştırılması	44
4.5. Değerlendirme	52
5. SONUÇ.....	56
KAYNAKÇA	58
EKLER.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1.	Almanya'da ısı tüketimine göre binaların sınıflandırılması	3
2.1.	İç ortamdaki sıcaklık ve bağıl nem ile konfor şartlarının ilişkisi	8
2.2.	Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar.....	9
2.3.	Yapı kabuğunda kolon-duvar birleşim detayları	10
2.4.	Yapı kabuğunda döşeme-duvar birleşim detayları.....	10
2.5.	Pencerelerin yapı kabuğunda bulunabileceği bölgeler.....	13
2.6.	Çatı arası kullanılan ve kullanılmayan çatılarda ısı dönüşü.....	14
2.7.	Yapı kabuğunda zemin tipleri	15
2.8.	Duvar-kolon ve duvar-döşeme birleşimlerinde ısı köprüleri	17
2.9.	Köşelerde oluşan geometrik ısı köprüleri ve geometrik ısı köprülerine alternatif ısı yalıtım detayı	18
2.10.	Yapı kabuğunda yoğuşma olması ya da olmaması	19
2.11.	Çatı tipine göre hava hareketlerinin etkilediği bölgeler	20
3.1.	Duvar-pencere birleşimindeki duvar yanaklarına ısı yalıtımı uygulaması	25
3.2.	Saydam yalıtımlı duvarların ısı akışı ve sıcaklık profili	26
3.3.	Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın katmanlarına göre ısı geçişleri	27
3.4.	Pencerelerde ısı geçiş türleri.....	31
3.5.	Farklı özellikteki camların güneş ışığına gösterdiği tepkiler	32
3.6.	Yapı kabuğunda bulunan farklı çatı türleri	33
3.7.	Geleneksel ve ters çatı uygulama detayları	34
4.1.	Eskişehir Anadolu Üniversitesi C bloklarının vaziyet planı	36
4.2.	C1 bloklarının zemin kat planı	37
4.3.	C1-Blok A-A kesiti	37
4.4.	C1-Blok B-B kesiti.....	38
4.5.	Duvarın yüzey ve katman sıcaklıkları	40
4.6.	C1 blok planı (yalıtım uygulanması durumunda)	42
4.7.	C1-Blok A-A kesiti (yalıtım uygulanması durumunda).....	43
4.8.	C1-Blok B-B kesiti (yalıtım uygulanması durumunda)	43

4.9. C1-Bloğun 29 cm.lik blok tuğla duvarında yalıtımsız durumun ısı akışı ve iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklıkları.....	46
4.10. C1 blok dış duvarlarının yalıtımlı ve yalıtımsız durumlarında iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklıkları karşılaştırması.....	48
4.11. C1-Bloklarında dıştan ısı yalıtımı sisteminde 1 cm yalıtım malzemesi kullanılması durumunda duvar kuruluşu	50
4.12. C1-Bloklarında dıştan ısı yalıtımı sisteminde 2 cm yalıtım malzemesi kullanılması durumunda duvar kuruluşu	51
4.13. C1-Blok dış duvar elemanlarının ısı kayıp yüzdeleri.....	53
4.14. C1-Blok dış duvarlarına ısı yalıtımı yapılması durumunda yapı elemanlarının ısı kayıpları.....	53
4.15. C1-Blok duvarlarında EPS kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı.....	54
4.16. C1-Blok duvarlarında XPS kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı.....	55
4.17. C1-Blok duvarlarında taş yünü kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

1.1. Türkiye, Almanya ve Danimarka'da binalarda ısı yalıtımı kurallarına göre öngörülen ısı geçiş katsayıları (W/m^2K)	2
1.2. Almanya'da ısı tüketimine göre binaların sınıflandırılması.....	3
2.1. İç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark ile ısıl konfor ilişkisi	7
3.1. Dış duvarda dıştan ve içten ısı yalıtımı uygulamalarının karşılaştırılması	29
4.1. EPS, XPS ve taş yünü malzemelerinin özellikleri	44
4.2. C1-Blok dış duvar elemanlarının ısı kayıpları hesaplama tablosu.....	44
4.3. C1-Blok dış duvar yapı elemanlarının ısı kayıpları	45
4.4. C1-Blok dış duvar elemanlarına ısı yalıtımı uygulanması durumunda ısı kayıpları hesaplama tablosu	45
4.5. C1-Blok dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulanması durumunda yapı elemanlarının ısı kayıpları	45
4.6. Duvar elemanlarının ısı iletkenlik katsayıları ve yapı kabuğundaki alanları	46
4.7. C1-Bloklarında farklı yalıtım malzemelerinin optimum ısı yalıtım kalınlıkları ve standartlara uygunluğu.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$1/\Lambda$	Toplam ısı iletkenlik direnci
d	Yapı bileşeninin kalınlığı
λ	Isıl iletkenlik hesap değeri
U	Isı geçirgenlik katsayısı
$1/\alpha_i$	İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci
$1/\alpha_d$	Dış yüzeyin ısı taşınım direnci
A	Yapı bileşenlerinin yapı kabuğundaki toplam alanları
$M_{YALITIM}$	Yalıtım maliyeti
I	İşçilik
a	Yalıtım kalınlığı
$F_{YALITIM}$	Yalıtım birim fiyatı
$M_{RADYATÖR}$	Radyatör dilim maliyeti kazancı
M_{YAKIT}	Yıllık yakıt maliyeti
T	Yıllık ısıtma süresi
H	Günlük ısıtma süresi
q	Isı kaybı
F_{YAKIT}	Yakıt birim fiyatı
η	Yakıt alt ısı değeri
V	Kazan verimi
$K_{RADYATÖR}$	Radyatör kazancı
Q	Mevcut durumun ısı ihtiyacı
Q_{ORT}	Yalıtımlı durumun ısı ihtiyacı
$q_{RADYATÖR}$	Radyatörün bir saatte verdiği ısı
$M_{RADYATÖR}$	Radyatör maliyeti
$K_{RADYATÖR}$	Radyatör kazancı
$F_{RADYATÖR}$	Radyatör fiyatıdır
XPS	Ekstrüde polistren
EPS	Ekspande polistren
PVC	Poli vinil klorid

1. GİRİŞ

İki nesne arasındaki enerji veya madde alışverişini kesmek amacıyla yapılan işlemler olarak tanımlanabilen “yalıtım” a insanlık tarihinin ilk dönemlerinden beri gereksinim duyulmuş ve insanlar yeme, içme, dinlenme ve uyuma gibi eylemlerini gerçekleştirdiği barınağını, yağmur, kar, güneş, rüzgâr, soğuk ve sıcak hava gibi doğal etkenlerden, vahşi hayvanlardan ve düşmanlarından kısacası dış çevreden korumak, ayırmak yani yalıtım zorunda kalmıştır. Bunun ilk örnekleri, yapı kabuğunun dış çevreden hayvan derileriyle ayrılmaya çalışıldığı ilkel barınaklar olmuştur. İnsanoğlunun yerleşik düzene geçmesi ile birlikte yapı üretimi başlamış ve ilk zamanlarda üretilen ve kullanılan yapı malzemeleri ile hem yapı kabuğu oluşumuna hem de bir anlamda her türlü yalıtım ihtiyacına cevap verilmeye çalışılmıştır. Özellikle endüstri devrimi ile birlikte yapıda ısı, nem, su, ses ve yangın gibi etmenlerin neden olabileceği sorunları ortadan kaldıracak özel yalıtım malzemeleri tasarlanıp üretilmeye başlanmış ve bu değişen yapı malzemeleri teknolojisi ile birlikte yapı kabuğunda da önemli gelişmeler yaşanmıştır.

Endüstrileşme sonrası gelişen teknoloji, yapı üretimine de yansarak yapının ve yapı dış kabuğunun üstlenmesi gereken işlevleri arttırmıştır. Böylelikle yaşam standartlarının yükselmesi ve konfor şartlarının iyileşmesi ile birlikte her alanda enerji kullanımı konusunda büyük bir artış görülmüştür.

Ancak aşırı enerji tüketimi doğal ve yapay çevre koşullarını giderek olumsuz etkilemesinin yanında, enerji kaynaklarının da azalmasına neden olmuş ve bunun sonucunda da günümüzde “Enerji” büyük bir önem kazanmıştır. Özellikle 1970’lerden bu yana ısı enerjisi tüketiminde, enerjinin etkin kullanımını ve korunumunu sağlamak amacıyla, ısı yalıtım malzemeleri ve bunların kullanım şekilleri ile uygulama detayları gündeme gelmiş ve geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yapı dış kabuğu, sadece iç ve dış mekanlar arasında ayırıcı bir eleman olmaktan çıkmış ve içinde bulunan coğrafi konuma ve iklim şartlarına göre kullanıcıların konforunu sağlamaya yönelik farklı yapı bileşenleri ve elemanlarından oluşmuştur.

Her ne kadar yapı kabuğunda enerji etkin kullanımı geliştirilmiş olsa da yenilenebilir enerji kaynakları ve çeşitleri de araştırılmaya ve keşfedilmeye çalışılmaktadır. Özellikle Türkiye'nin de içinde bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin bir kısmı, ısı enerjisi ihtiyacını doğalgaz gibi ithal kaynaklarla karşılamaktadır. Bu nedenle ülkemiz için ısı enerjisi kullanımı ve kullanım maliyeti çok daha önemli hale gelmektedir. Bunun içinde yapı kabuğundaki ısı enerjisinin kullanımında ve korunumunda iyileştirme ve bilinçlendirme gerekmektedir. Ayrıca uygulama aşamasında Yapı Yönetmeliklerindeki boşluklardan yararlanılarak pek çok yapı gerekli standartlara sahip olarak üretilmemektedir. Bundan dolayı mevcut yapıların da ideal ısıl konfor ve performans değerlerine yaklaştırılmaları zorunlu hale gelmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için yapılacak en iyi çözüm de ısı yalıtımı uygulamasıdır.

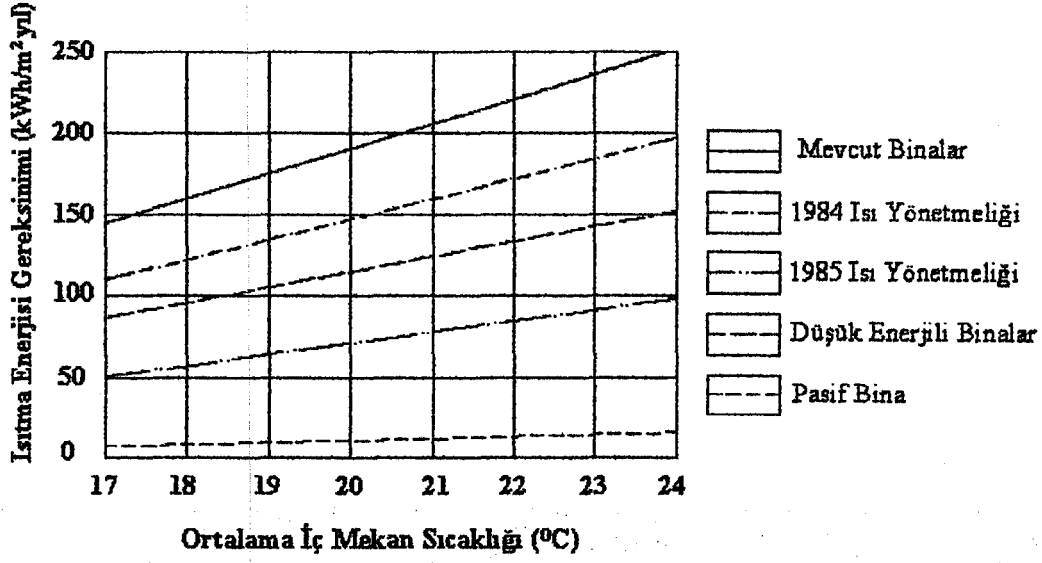
Ülkemizde "Binalarda Isı Yalıtımı" kurallarının açıklandığı ve "Isı Yönetmeliği" olarak kabul edilen TS 825 ideal şartlara yaklaşmaya çalışmasına rağmen ısı geçişleri açısından Avrupa ülkelerindeki standartlardan hala çok yüksek değerlere sahiptir (Çizelge 1.1.). Avrupa ülkeleri ısı yalıtımı standartlarını sürekli revize etmekte ve ısı geçiş katsayılarını daha da aşağıya çekmektedir. Buna göre binalar ısı tüketimi açısından sınıflandırılmıştır (Çizelge 1.2. ve Şekil 1.1.) [1]. Bu sınıflandırmaya göre düşük enerjili binalarda amaç yaşam konforundan kısıtlama yapmadan enerji gereksinimini azaltmak ve çevreyi daha az kirletmektir. Sıfır enerjili binalarda ise yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak binanın kendi enerji gereksinimini karşılaması hedeflenmiştir. Bu amaçla enerji tüketimini daha da azaltmak için Avrupa ülkeleri sıfır enerjili binaların üretimini arttırmaya çalışmaktadırlar [1].

Çizelge 1.1. Türkiye, Almanya ve Danimarka'da binalarda ısı yalıtımı kurallarına göre öngörülen ısı geçiş katsayıları (W/m^2K) [32]

	Türkiye				Almanya	Danimarka
	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge	IV. Bölge		
Dış Duvarlar	0,80	0,60	0,50	0,40	$\leq 0,35$	$\leq 0,20$
Tavan	0,50	0,40	0,30	0,25	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$
Döşeme	0,80	0,60	0,45	0,40	$\leq 0,35$	$\leq 0,15$
Pencereler	2,80	2,80	2,80	2,80	1,80	1,80

Çizelge 1.2. Almanya’da ısı tüketimine göre binaların sınıflandırılması [1]

	Enerji Tüketimi
Sıfır Enerjili Binalar	≤ 5 kWh/m ² yıl
Pasif Binalar	5~15 kWh/m ² yıl
Düşük Enerjili Binalar	15~50 kWh/m ² yıl
Enerji Korunumlu Binalar	50~70 kWh/m ² yıl
Yalıtımlı Binalar	70~180 kWh/m ² yıl



Şekil 1.1. Almanya’da ısı tüketimine göre binaların sınıflandırılması [1]

1.1. Amaç

Yapılan bu çalışmada geleneksel yapım teknikleriyle inşa edilmiş binaların yapı dış kabuğu ve özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca yapı elemanlarının ısı sorunlarına karşı ısı performansını arttıracak ve ısı konforu sağlayacak çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır. Böylelikle ülkemizde uyulması gereken standartların ötesinde, öncelikli olarak yapının;

- Isıl performansını etkileyen yapı elemanları ile bu yapı elemanlarının yapı dış kabuğundaki yerlerini ve biçimlerini irdelemek,
- Duvarlarda optimum ısı yalıtım kalınlığını hesaplayarak yakıt ve yalıtım maliyetlerini minimuma indirmek,
- Isı enerjisinin daha etkin kullanımı ve korunumu ile birlikte Ulusal Enerji Politikası dahilinde bilinçlendirme sağlamak

amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Yapı kabuğunda özellikle duvarlarda ısı performansını etkileyen faktörler incelenerek termodinamik yasaları çerçevesinde; yapı bileşenlerinin içinde ve yüzeyinde en etkili olan iletim ve taşınım ile gerçekleşen ısı kayıpları çalışma kapsamına dahil edilmiştir.

Duvarlarda ısı performansını etkileyen doğal (güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve yönü, yıllık ortalama sıcaklıkları, arazi eğimi vb.) ve yapay (çevrede bulunan komşu yapılar, peyzaj elemanları vb.) çevre etmenleri göz önünde bulundurularak yalıtım malzemeleri ve türleri sınıflandırılıp taşınması gereken özellikler belirtilmiştir. Bununla birlikte uygulanabilecek ısı yalıtımının yapı kabuğu kuruluşundaki konumuna göre konfor ve enerji kullanımına olan etkileri incelenmiştir.

Daha gerçekçi ve uygulanabilir bir çalışma yapmak için Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden elde edilen sıcaklık değerleri yardımıyla; Anadolu Üniversitesi Lojmanları C1-Bloğunun yalıtımlı ve yalıtımsız durumları, ısı konfor ve performans değerleri ile ısı kayıp oranları açısından karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Yapı kabuğu dış yüzeylerindeki sol-air sıcaklıkları; içinde bulunan enleme bağı olarak direkt ve yaygın güneş ışınımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ışınımın ısı açıdan yüzeyleri etkileme değerleri; yüzeyin emiciliğine ve yeryüzü ile yaptığı açıya, çevrede bulunan yüzeylerden ve yerden yansım oranlarına ve gökyüzündeki bulutlanmaya göre, dış ortamdaki havanın taşınımı ise; rüzgârın şiddetine, taşıdığı neme, yöne ve hıza bağı olarak değişmektedir. Bu iki farklı ısı etki; çevredeki doğal olaylardan çok çabuk etkilendiği, ilgili disiplinlerce incelendiği ve toplam ısı kaybında çok küçük değerlere sahip olduğu düşünülerek çalışma sınırları dışında bırakılmıştır.

1.3. Yöntem

Yöntem olarak TS 825'de de yer alan termodinamikteki ampirik formülleri içeren, "matematiksel hesaplama yöntemi" ile duvarların ısı kayıpları hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda uygulanabilir yalıtım sistemleri ve malzemeleri karşılaştırılmıştır. Serbest piyasadaki reel değerler ile BOTAS'tan alınan veriler kullanılarak maliyet analizi yapılmış ve optimum ısı yalıtım kalınlıkları bulunmuştur.

2. YAPI DIŞ KABUĞU VE YAPI DIŞ KABUĞUNDA KARŞILAŞILAN ISIL SORUNLAR

İnsanoğunun temel gereksinimlerini karŐılamak amacıyla ürettiği ilk barınaklardan günümüzün teknolojik yapılarına kadar bütün yapılarda dış çevre ile iç mekan arasında kontrollü bir denetimin sağlanması ile konfor şartlarının iklim şartlarına göre düzenlenmesi ve iyileŐtirilmesi çabası vardır. Yapının bu niteliklere getirilmesi ya da yapıda bu niteliklerin elde edilmesi de çeşitli yapı elemanlarının bir araya gelmesi ile oluşan “Yapı Kabuğu” ile sağlanmaktadır. Ancak yapı kabuğu olarak adlandırılan ve çok farklı malzemelerden üretilen bu elemanların çeşitli etkilere karşı davranıŐları da değişkenlik gösterebilmektedir. Bu amaçla yapı kabuğu elemanlarının davranıŐ biçimlerini daha iyi anlamak ve bir takım sorunları engellemek için yapı kabuğunun genel özelliklerinin bilinmesinde yarar vardır.

2.1. Yapı Dış Kabuğunun Genel Özellikleri

Roma dönemindeki mimar-mühendis Marcus Vitruvius Pollio ve Rönesans dönemindeki mimar Leon Battista Alberti'ye göre yapı; sağlam/dayanıklı, yararlı/kullanıŐlı ve estetik/güzel unsurlarını aynı anda taşımalıdır. Bu bağlamda düşünöldüğünde yapı ve yapı kabuğu;

- İçinde bulunulan atmosferik etmenlere,
- Yapı elemanlarının tek başlarına ve birbirleri arasındaki mekanik davranıŐlarına,
- Kullanılan malzemelerin özelliklerine,
- Yapının kullanıcıya

göre tasarlanmalıdır [2]. Tüm bunlara göre yapı kabuğunun amacı; kullanıcının ve yapı kabuğu fiziksel özelliklerinin (sağlık, konfor, güvenlik ve ekonomiklik) gereksinimine yanıt vermektir. Sağlık ve konfor şartlarını sağlamak için de yapı kabuğunda; ısı, ses, su, nem, yangın ve ışık gibi temel kriterler dikkate alınır. Bu kriterlerin yapı kabuğundaki öncelikleri ise, içinde bulunulan doğal çevreye ve yapının işlevine bakılarak belirlenir.

Konfor şartları, içinde bulunulan mekanın işlevine göre değişir. Konfor şartlarını sağlamak için yapılarda “havalandırma”, “nem”, “soğutma” ve “ısıtma” olarak çeşitlenen “İklimlendirme Sistemleri” kullanılır. Mekanın kullanım süresi ve kullanım periyoduna bakılarak iklimlendirme sistemi seçilir. Mekanın işlevi ise iklimlendirme sisteminin çalışma süresini belirleyerek enerji tasarrufu sağlar. Konutların büyük çoğunluğu sürekli kullanıldığından belli bir sıcaklık ortalamasına sahip olmalıdır. Verilen ısı kısa sürede yayılmalı ve uzun süre enerji kaybına uğramamalıdır. Konutlarda ısı konforu sağlamak için kışın ısıtma sistemleri, yazın da iklimlendirme sistemleri kullanılması gerekir.

Toplumun büyük çoğunluğu için fizyolojik, psikolojik, sosyal ve kültürel rahatsızlıkların minimum olduğu ortam konforlu bir çevre olarak tanımlanabilir. Rasyonel (fizyolojik-termofiziksel) ve irrasyonel (konfor hissi) kavramları içerdiği için, konforun mutlak tanımının yapılması güçtür. Konfor durumu, fizyolojik açıdan insanın çevresine minimum düzeyde enerji harcayarak uyum sağlayabildiği ve psikolojik açıdan çevresinden hoşnut olduğu koşullar takımı olarak kabul edilir. ISO 7730 Standardında konfor şartları yaşayanların en az %80, ASHARE Standart 55’te ise %90’ı tarafından kabul edildiği öngörüsüyle belirlendiği belirtilmektedir [3].

İç hacimlerin konfor durumunun belirlenmesinde iç ortamdaki;

- Hava sıcaklığı,
- Bağıl nem,
- Hava hızı,
- Malzemelerin ısı depo etme yeteneği (ısı kütlesi),
- Yüzey sıcaklıkları

etkili olmaktadır. İç yüzey sıcaklığı konfor ortamının belirlenmesinde önemli bir faktördür. İç yüzey sıcaklıklarının konfor sıcaklıklarında tutulması yakıt tüketimini de azaltır. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması hava akımlarını arttıracığından, iç ortam sıcaklığı normal düzeyde olsa bile konforsuzluk ortaya çıkarabilir [4].

İnsanların içinde buldukları hacimlerin iç hava sıcaklıkları yeterli düzeyde olsa bile o hacmi çevreleyen duvar, döşeme ve tavan gibi yapı elemanlarının ortalama yüzey sıcaklıkları soğuk veya sıcaksa vücut doğrudan radyasyonla ısı kaybederek veya kazanarak soğuk ya da sıcak hisseder [5, 6].

Duvar iç yüzey sıcaklığının ortam sıcaklığından uzaklaşmasının en önemli etkeni duvarın yalıtımsız oluşudur. Konforlu bir mekanda iç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark 3 °C'den fazla olmamalıdır [5]. Çeşitli konfor durumları için iç ortam sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki Çizelge 2.1.'de görülmektedir. İç yüzey ile ortam sıcaklığı arasındaki fark konfor standartlarındaysa mekanın her noktasında homojen bir sıcaklık elde edilir [7]. Konfor şartları aynı zamanda kullanıcıyı tanımlayan eylem türü ve giysilerin ısı direnci gibi niteliklere de bağlıdır. Çünkü tasarlanan yapma çevre, kullanıcılar için optimum ısıtma ve iklimlendirme sistemi olarak işlev görecektir [3].

Konfor ortamını sağlamada, odanın sıcaklık, nem ve hava hızı için;

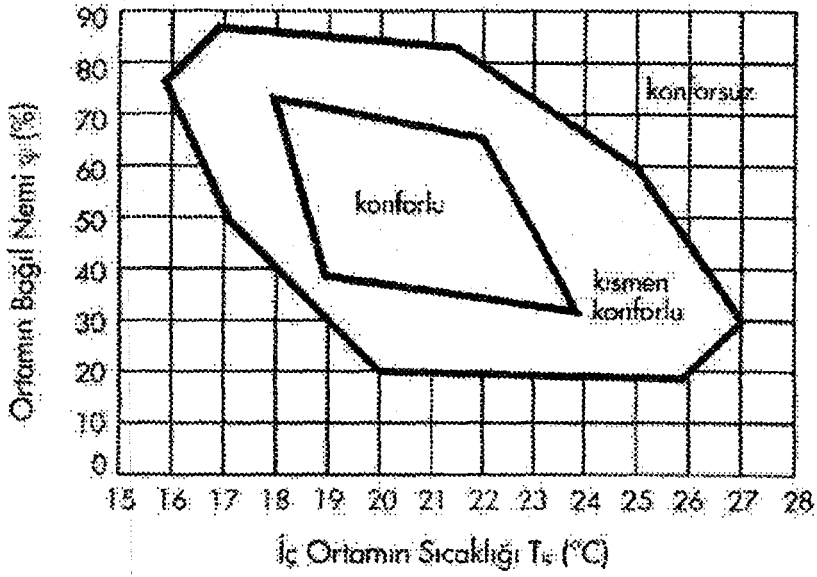
Mekan Sıcaklığı	: 20~22 °C
İç Yüzey Sıcaklığı	: 17~19 °C
Döşeme Sıcaklığı	: 18~20 °C
Tavan döşemesi sıcaklığı	: 18~20 °C
Düşeyde sıcaklık farkı	: ≤ 3 °C
Nem	: 35~70 %
Hava hızı	: ≤ 0,25 m/sn,

yukarıdaki değerler verilmektedir [3, 7].

Isı, tanım gereği yüksek sıcaklıklı ortamdan düşük sıcaklıklı ortama enerji aktarımıdır. Sıcaklık ise ortamdaki moleküllerin ortalama kinetik enerjileri ile orantılı bir kavramdır. Dolayısıyla iç yüzey ve ortam arasında sıcaklık farkı olacaktır. Kış mevsiminde % 30 ile % 70'lik bir bağıl nem normal bir ortam sıcaklığı için konfor hissini verebilmektedir (Şekil 2.1.) [8].

Çizelge 2.1. İç yüzey sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark ile ısı konfor ilişkisi

$t_{\text{iç yüzey}} - t_{\text{iç}}$	Konfor Durumu
2	Çok konforlu
3	Konforlu
4	Az konforlu
6	Konforsuz
8,5	Soğuk
>8,5	Çok soğuk



Şekil 2.1. İç ortamdaki sıcaklık ve bağıl nem ile konfor şartlarının ilişkisi [8]

Yapı elemanlarının birbirleriyle birleşimi ve yapı kabuğu kuruluşu için üretilecek detaylar olası sorunlara çözüm olmalıdır. “Yapı kabuğunun işlevini” belirleyen fiziksel davranışların önceliklerini listelerken doğal etmenlerin tümü dikkate alınmalıdır. Çevresel faktörlerden biri eksik veya yanlış sıralanırsa ya da uygulama aşamasında tasarlanan detaya bağlı kalınmazsa yapı kabuğunun performansı düşer. Bu çevresel faktörler; “fiziksel çevre” (güneş ışınımı, dış hava nemi, dış hava sıcaklığı, rüzgâr) ve “yapma çevre” (bina konumu, binalar arası açıklık, binanın formu, binanın yönelişi, yapı dış kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri) olarak sıralanabilir [9].

2.2. Yapı Dış Kabuğunu Oluşturan Elemanlar

Yapı kabuğunu tek başına oluşturacak ve gereksinim duyulan işlevleri de yerine getirecek yetenekte bir malzeme yoktur. Bu yüzden yapı kabuğunun taşıyıcı, örtücü ve aydınlatıcı gibi işlevlerini farklı yapı elemanları yerine getirmektedir. Yapı kabuğunun sürekliliğini sağlamak için yapı elemanları birleşim noktaları oluşturur. Böylelikle yapı kabuğu bir bütün gibi davranarak kesintisiz hale gelir. Buradaki amaç yapı içi ile yapı dışı arasında kontrollü bir denetim gerçekleştirmek ve bağlantıyı kesmektir.

Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar;

- Betonarme elemanlar,

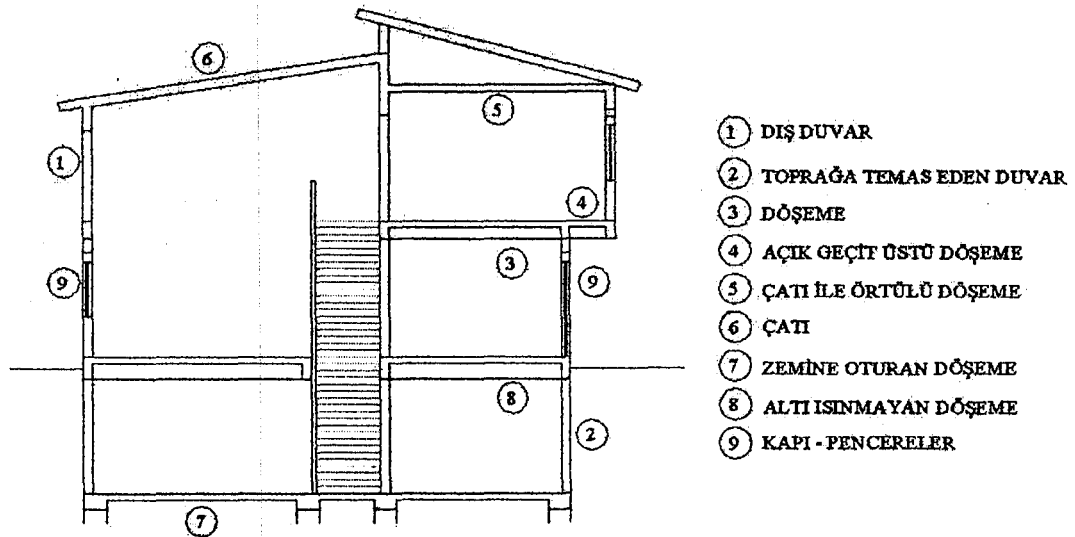
- Duvarlar,
- Kapı ve pencereler,
- Çatılar,
- Toprağa temas eden döşeme veya duvarlar

olmak üzere beş ayrı başlık altında sınıflandırılabilir. Bu yapı elemanları yapının içinde yaşanan mekanları dışarıdan çepeçevre sararak yapının dış yüzeyini oluştururlar (Şekil 2.2.).

2.2.1. Betonarme Elemanlar

Betonarme elemanlar bir çok yapım sisteminde yer almalarına rağmen, iskelet sistemlerde daha yoğun olarak kullanılırlar. Basınca ve çekme kuvvetine direnç göstererek hem kendi yüklerini hem de üzerlerine gelen diğer yapı elemanlarının taşınmasını sağlarlar. Yapıda; kolon, kiriş, temel, döşeme, hatıl, lento olmak üzere altı şekilde bulunurlar.

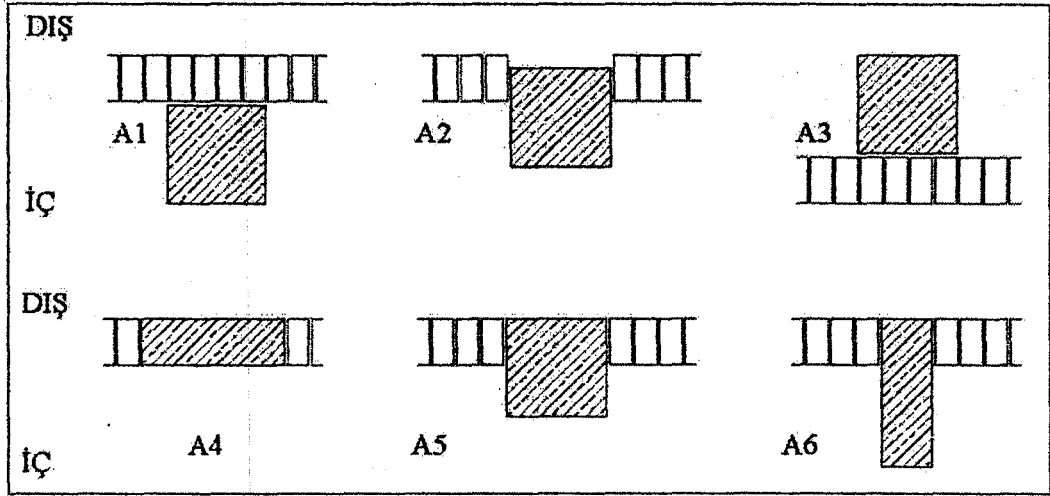
Betonarme yapı elemanlarının yapı kabuğundaki öncelikli görevleri taşıyıcılık olduğu için ısı performans görevleri arka planda kalır. Isı iletkenlikleri yüksek olan betonarme elemanlar ısı kayıplarının en çok olduğu yapı elemanlarıdır. Farklı ısı geçişlerine sahip yapı malzemeleri ile birlikte kullanıldığından "Isı Köprülerini" oluştururlar. Bu yüzden yapıdaki konumlarına göre ısı yalıtımı yapılmalıdır.



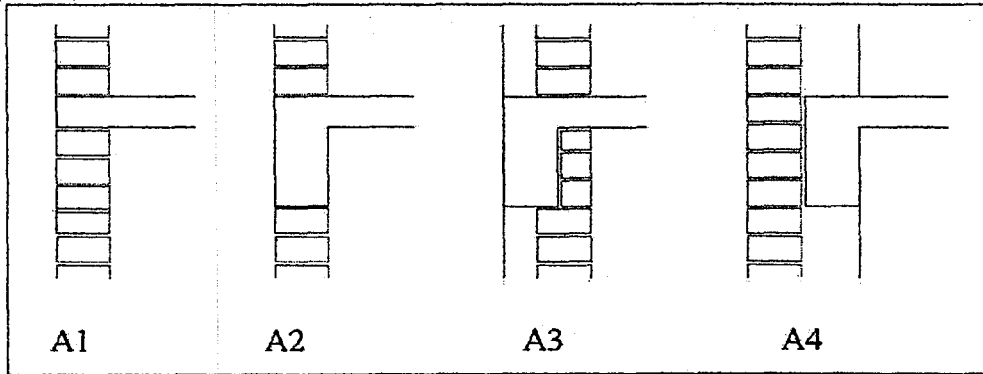
Şekil 2.2. Yapı kabuğunu oluşturan elemanlar

Yapı kabuğu kendi içinde mümkün olduğu kadar homojen olmalıdır. Bunun için duvar ve taşıyıcı sistem bileşenleri dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Bu bağlamda düşünüldüğünde kolon-duvar ve döşeme-duvar birleşimleri oldukça önem kazanmaktadır. Betonarme elemanlar yapı kabuğunda dış duvar konstrüksiyonu içinde yer alacaklarsa minimum alan verecek şekilde, dış duvar konstrüksiyonunda yer almayacaksa iç tarafta kalacak şekilde planlanmalıdırlar (Şekil 2.3.). Tüm bunlara kolonlar açısından bakıldığında en doğru uygulamanın Şekil 2.3.'deki A1 ve A6 detayları olduğu görülür [9].

Benzer şekilde döşeme ve duvar birleşimlerinde de ısı köprüsünü engellemek amacıyla, ısı akışını en aza indirecek döşeme kesiti alanı tasarlanmalıdır. Isıl performans açısından en doğru ve en az kullanılan uygulama Şekil 2.4.'de gösterilen A1 ve A4 detaylarıdır. Deprem Yönetmeliği uygulamalarından dolayı en çok ısı kaybına neden olan ve en sık kullanılan kolon-duvar birleşimi çözümü ise A2 detayıdır [9].



Şekil 2.3. Yapı kabuğunda kolon-duvar birleşim detayları [5]



Şekil 2.4. Yapı kabuğunda döşeme-duvar birleşim detayları [5]

2.2.2. Duvarlar

Duvarlar için; taşıyıcı olan ve olmayan, iç veya dış, tek veya çok tabakalı ya da malzemelerine göre duvarlar gibi farklı sınıflandırmalar yapılabilir. Genel olarak yapı kabuğunda en fazla alana sahip olan duvarlar, ısı konforun öncelikli olarak sağlanması gereken yapı elemanlarıdır. Duvarların ısı performansını etkileyen etmenler;

- Isı akışına optimum derecede direnç göstermek,
- Gereksiz hava sızıntılarını önlemek,
- Nem akışını düzenleyerek yoğuşma kontrolüne yardımcı olmak,
- Rüzgâr ve güneş ışınımının getireceği soğuma ve ısınma kontrolünü sağlayarak ısı konfor etkilerini dengelemek,
- Isıl değişimlerin getireceği gerilme ve bütülmelere olanak vererek çatlama engellemek,
- Toz, gaz ve asit gibi atmosferik kirleticilerden etkilenmemek,
- Bakım ve onarım kolaylığı ile ekonomiklik sergilemek

olarak belirlenebilir. Duvarların optimum ısı direnç göstererek ısıtma tesisatının zorlanıp fazla enerji harcamasını engellemek için malzeme seçimi ve malzeme kalınlığı hesabının doğru yapılması gerekir.

İskelet sistemli yapılarda duvarların görevi iki hacmi birbirinden ayırmaktır. Bunlar bir dış, bir iç veya iki iç hacim olabileceği gibi iki dış hacim de olabilir. Yığma yapılarda ise duvarlar taşıyıcılık görevini de üstlendiğinden “Afet Bölgeleri Yönetmeliği’ne” uygun olmalı ve ısı konforu gerçekleştirecek şekilde detaylandırılmalıdır [10].

Yapı kabuğunda iç-dış sıcaklık farklılıkları yaz ve kış dönemlerinde büyük ısı gerilmeler oluşturur. Oluşan ısı gerilmeler sonucunda yapı elemanlarında hasarlar meydana gelerek emniyet ve konfor şartlarını bozduğu gibi ekonomiklik ve sağlık koşullarını da olumsuz etkiler. Bu bağlamda oluşturulacak duvar katmanlarında konfor şartlarını sağlamak ve gerekli önlemleri almak için duvar kuruluşunun doğru sıralanması gerekir.

2.2.3. Kapı ve Pencereleler

İlk yapılarda kullanıcının ışık alması ve dış mekanla (ısı, hava, görsel vb) bağlantı kurması amacıyla duvarlarda boşluklar oluşturulmuştur. Yaz-kış farkından doğan iç ortamdaki sıcaklık değişimleri kullanıcıları olumsuz etkilediği için açılabilir ve kapanabilir yapı elemanları olarak kapı ve pencereler geliştirilmiştir.

Yapı kabuğunda pencereler; havalandırma, aydınlatma, dışarıyı görme ve yangın çıkışı gibi çeşitli amaçlarla kullanılırken, böcek ve haşere girişi, güvenlik, gürültü ve yangının yayılmasını kolaylaştırma ve estetik kaygılar gibi dezavantajlar taşımaktadır [11, 12]. Söz konusu bu sorunlara karşı çeşitli ülkelerde belirli standartlar geliştirilmişken, ülkemizde kabul edilen bir standart henüz yoktur.

Yapı kabuğunda pencere tasarımı toplam enerji gereksinimi (ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi dahil) göz önünde bulundurulduğunda;

- Uygun kullanım ve kullanıcı koşulları,
- Pencere karakteristiği (doğrama detayları, boyut vs) ve yönü,
- Hava durumu ve güneş ışınımı gibi çevresel faktörlerden oluşan enerji kayıp ve kazançları,
- Isıtma tesisatı seçimi ve işletmesi

açısından pencerelerin, binayı ve yapı dış kabuğunu etkilediği görülür [13].

Yapı kabuğunda opak bileşenlerin arasında yer alarak saydam bileşen olarak literatüre giren pencereler, ısı dirençleri düşük olduğundan (ısı geçirgenlikleri $5,23 \sim 5,82 \text{ W/m}^2\text{K}$), zayıf noktalar oluşturur [12]. Pencerelere gerekli özen gösterilmezse yapı kabuğunun ısıl performansı düşeceğinden;

- Isı akışı,
- Hava sirkülasyonu,
- Nem geçişi,
- Yoğuşma kontrolü,
- Yağmur ve kar etkisi,
- Güneş ve diğer ışınımın kontrolü,
- Hava sızması (enfiltrasyon)

gibi olumsuz faktörler ortaya çıkabilir [11].

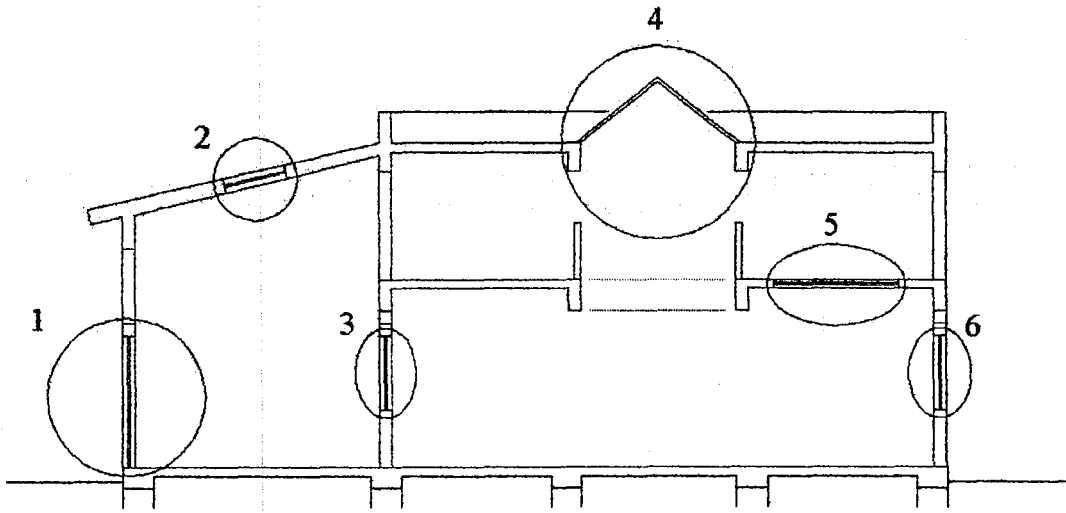
Pencerelerin ve kapıların kullanım amacı dış mekan ile bağlantı sağlamak olduğundan yapı kabuğunda farklı bölgelerde yer alabilirler (Şekil 2.5.). Buldukları coğrafi bölgelere göre pencerelerin performans kriterlerini belirleyen koşullar farklı işlevler olarak yerine getirilmelidir (örneğin Antalya ve Eskişehir için güneş ışınımları ve iklim gibi çevresel faktörler açısından değişkenlik göstererek farklı bölgeler oluştururlar). Çatı pencereleri diğer pencerelerden farklılaşarak; kar yükünü taşıma, yağmur suyunun drenajı, ısınan havanın kaçmasını engelleme vb. gibi hem çatı hem pencere işlevlerini yerine getirmelidir.

2.2.4. Çatı

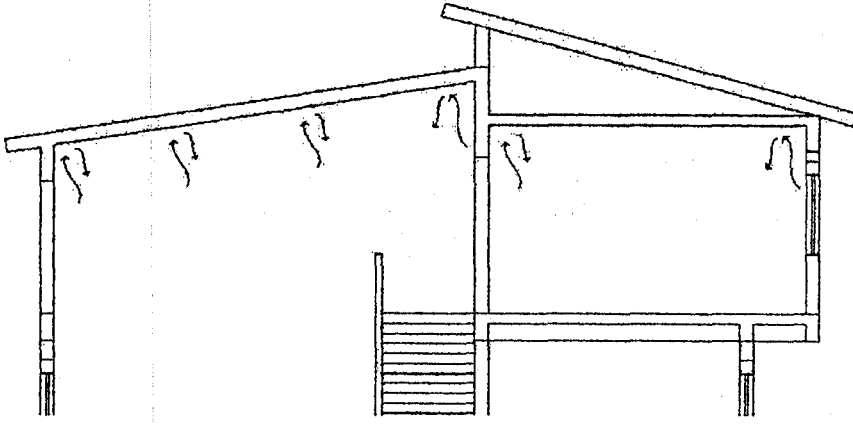
Çatı, yapı kabuğunda binanın üzerinde bulunarak örtücü görevi üstlenir. Diğer yapı elemanları gibi doğa etkilerinden korunma amacıyla oluşturulur. Tüm yüzeyleri ile her zaman doğal etkilere açık olan çatılar ısı yalıtımı açısından da en önemli yapı elemanıdır.

Isınan havanın yükselmesinden dolayı, yapı içindeki döşemeler ve özellikle çatı, daha çok önem kazanmaktadır. Çünkü çatılar ısınan havanın dışarı kaçmasını engelleyerek tekrar yapıya dönmesini sağlayacak tek yapı elemanıdır (Şekil 2.6.). Çatıların ısı performans kriterleri;

- Yağmur, kar, rüzgâr ve güneş ışınları gibi doğadaki bütün dış etkilere karşı koymak,



Şekil 2.5. Pencerelerin yapı kabuğunda bulunabileceği bölgeler



Şekil 2. 6. Çatı arası kullanılan ve kullanılmayan çatılarda ısı dönüşü

- İç ve dış mekanlar arasındaki ısı farklarının oluşturduğu ve farklı genişleme katsayılarına sahip yapı malzemelerinin oluşturduğu genişmelere esneklik göstererek, oluşabilecek yapı hasarlarını önceden engellemek,
- Nem kontrolünü sağlamak ve nem akışına olanak vermek,
- Yoğuşma sorununa daha doğru çözüm getirmek amacıyla doğru ısı yalıtım detayını uygulamak,
- İçinde bulunulan iklim bölgesine göre çığışmeden oluşabilecek yapı hasarlarını engelleme amacıyla hava boşlukları bırakmak,
- Çatı arası kullanılmayan çatılarda, çatı ve döşeme arasında bırakılan durağan havadan ısı yalıtım malzemesi olarak yararlanmak

olarak sıralanabilir [14, 15].

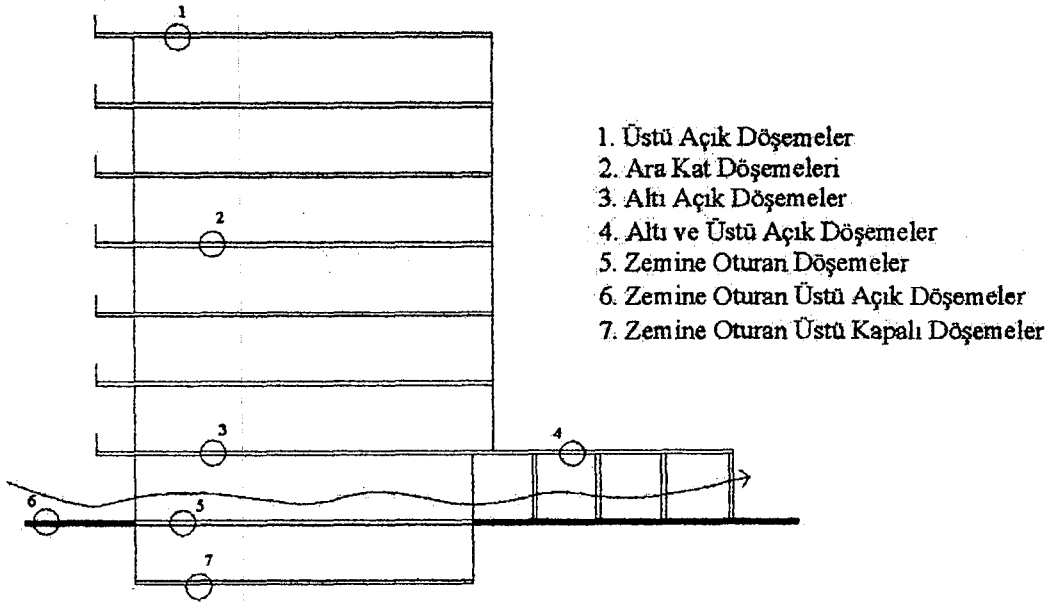
Çatılarda yağmur ve biriken kar suyu tahliye edilirken suyun mümkün olduğu kadar yapıdan uzaklaştırılması gerekir. Aksi takdirde yapı kabuğunda suyun emilmesi ve nemlenme gibi ısı performansını doğrudan etkileyecek olumsuz etmenlere maruz kalınabilir. Örneğin saçak çıkıntısı az iken, ters rüzgâr etkisinde çatının kar suyu daha uzun süre yapı kabuğunu etkileyecek, fazladan statik ve ısı yükleri oluşturacaktır. Bunun için “çörten” ya da yeterli uzunlukta saçak veya daha dik eğimli çatı uygulaması gerekir. Yağmur suyu iniş borularının tıkalı olması suyun taşarak yapıya zarar vermesine neden olacak diğer bir faktördür [14]. Ayrıca uygulanacak yalıtım sadece kışın değil yazın da iç mekanın fazla ısınmasını engelleyecek nitelikte olmalıdır. Isı yalıtımı çatı kuruluşunda tek başına düşünülmemelidir. Çünkü ısı yalıtımı su ve nem gibi faktörlerden etkilenmese bile, diğer yapı elemanlarının etkilenebileceği düşünülmelidir [15].

2.2.5. Toprağa Temas Eden Döşeme ve Duvarlar

Yapı kabuğunun zeminle olan bağlantısını kuran yapı elemanları toprağa temas eden döşemeler ve duvarlardır. Toprağa temas eden döşeme ve duvarlarda da ısı konfor şartlarını sağlamak için ısı performans tek başına yeterli olmayacağı için ısı, su ve nem yalıtımları bir arada düşünülmelidir. Özellikle toprak tarafında kalan yüzeye sonradan müdahale edilemeyeceğinden dikkatle tasarlanmalı ve uygulanmalıdır. Döşemeler yapı kabuğunda farklı şekillerde bulunurlar, ama ısı performans açısından en önemlileri toprağa temas edenlerdir (Şekil 2.7.).

Toprağa temas eden döşeme ve duvarlardaki ısı performans kriterleri;

- Yeterli ısı direnç göstermek,
- Topraktan gelebilecek nemi engellemek,
- Yeraltı ve yağmur sularına karşı direnç göstermek,
- Döşeme altındaki temel duvarından dolayı oluşabilecek ısı köprülerini engellemek,
- Derine inildikçe toprak sıcaklığının artmasından doğabilecek ısı gerilmelere esneklik göstermek,
- Uygulanacak yalıtımların bakım ve onarımlarını gerçekleştirecek detaya sahip olmak olarak sıralanabilir.



Şekil 2.7. Yapı kabuğunda zemin tipleri

2.3. Yapı Kabuğunda Karşılaşılan Isıl Sorunlar

Yapı elemanlarının soğuması ya da soğuk hissedilmesi, yapı kabuğundaki yalıtımsız yapı elemanlarının çeşitliliğinden ve yüzey sıcaklık farklılıklarından doğan Isı Geçişi ile olur. Bu yapı elemanlarını oluşturan yapı malzemelerine göre de ısı iletim katsayıları farklılık gösterir. Isı Geçişi;

- Isı İletimi (Kondüksiyon)
- Isı Taşınımı (Konveksiyon)
- Isı Işınımı (Radyasyon)

olmak üzere üçe ayrılır. Katı cisimler ile hareket etmeyen, sıvı veya gaz ortamlarındaki ısı geçişi “Isı İletimi”, akış halindeki sıvı veya gaz ortamlardaki ısı geçişine “Isı Taşınımı”, dalga boyları ışığınkinden büyük olan elektromanyetik dalgalar halindeki ısı geçişine de “Isı Işınımı” adı verilir [16]. Yapı kabuğu kuruluşu tasarlanırken bu fiziksel olayların etkilerinin de değerlendirilmesi gerekir.

Isı iletimi, taşınımı ve ışınımı ile diğer atmosferik olayların sonucu yapı kabuğunda;

- Isı köprüleri,
- Yoğuşma (kondansasyon),
- Hava sızması (enfiltrasyon ve eksfiltrasyon)

gibi ısı problemler ortaya çıkmaktadır.

Yapı kabuğundaki ısı problemler, karşı koyulması gereken fiziksel olaylar olduğu için bir bütün olarak düşünülmelidir. Çünkü yapı kabuğunda farklı noktalarda bir araya geldiklerinde birbirlerini etkilemekte ve yapı kabuğunun ısıl bütünlüğünü ve sürekliliğini bozarak ısıl performansı düşürmektedirler. Böylelikle ısıtma enerjisi artmakta ve konfor şartları sağlanamamaktadır. Ayrıca kullanıcı açısından sağlık ve estetik sorunlar da ortaya çıkabilmektedir.

Isı, nem ve hava geçişinde etkili olan kriterler iç ve dış iklim elemanlarıdır. Dış iklim elemanları; sıcaklık, güneş ışınımı, bağıl nem oranı, yağış miktarı, rüzgarın hızı, yönü ve bulutluluk oranıdır. Dış iklim elemanları saatlik ya da geniş zaman aralıklarında (7.00, 14.00, 21.00 gibi) ölçülerek belirlenir. İç iklim elemanları ise iç ortamdaki; hava sıcaklığı, iç bağıl nem oranı ve hava hareketi hızı ile sınırlıdır [17].

2.3.1. Isı Köprüleri

Yapı kabuğu, tek bir yapı elemanından ya da yapı bileşeninden oluşmamaktadır. Mekanik olarak birbirine bağlanan yapı elemanları ile yapı bileşenleri farklı ısı dirençlere sahiptir. Bu bağlamda, yapı kabuğunda ortalama ısı direncinin düşmesini ve ısı akımının az ya da çok olmasını etkileyen yapı elemanları (veya yapı bileşenleri) “ısı köprüleri”ni oluştururlar.

Isı köprüleri sadece iletim yoluyla değil taşınım ve ışıınım ya da her üç ısı geçişi yoluyla da gerçekleşebilir (sırlı tuğla ve üzeri boyalı sıva yüzeyleri arasında farklı ısı taşınımı ve güneş ışıınımının oluşturduğu ısı köprüleri örnek olarak verilebilir) [18].

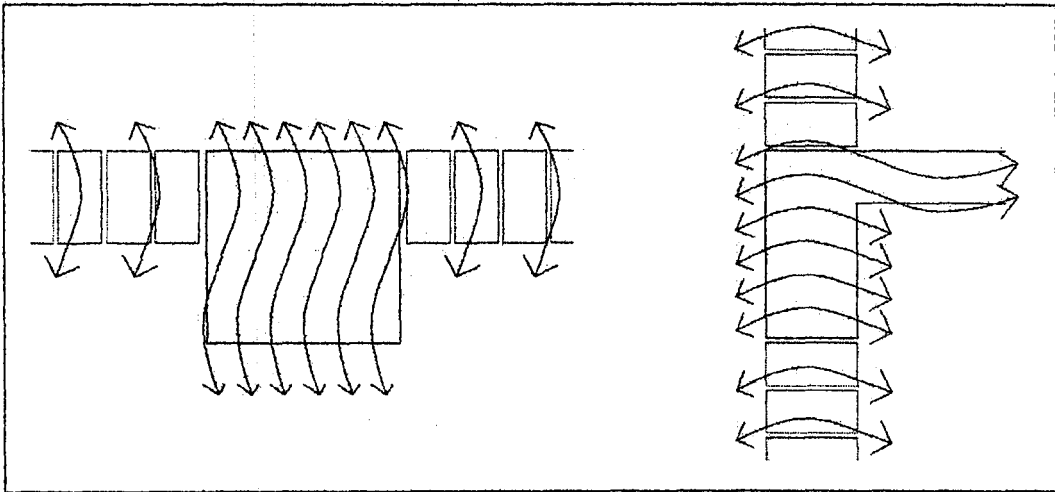
İskelet konstrüksiyonlu binalarda genellikle betonarme elemanlar ısı köprülerini oluştururlar (Şekil 2.8.). Özellikle duvar-kolon ve duvar-döşeme birleşimlerinde, balkon veya döşeme çıkmalarında yoğun olarak karşılaşılr. Zemine oturan döşemelerde ise temel duvarları ısı köprülerini oluşturur.

Yapı kabuğunda tek bir malzeme kullanılsa bile “geometrik ısı köprüleri” oluşabilir. Özellikle dış duvarın iç ya da dış köşe birleşimlerinde görülür (Şekil 2.9.). Geometrik ısı köprülerini engellemek için duvarın iç yüzeyine ek ısı yalıtımı yapılabilir (Şekil 2.9.) [19].

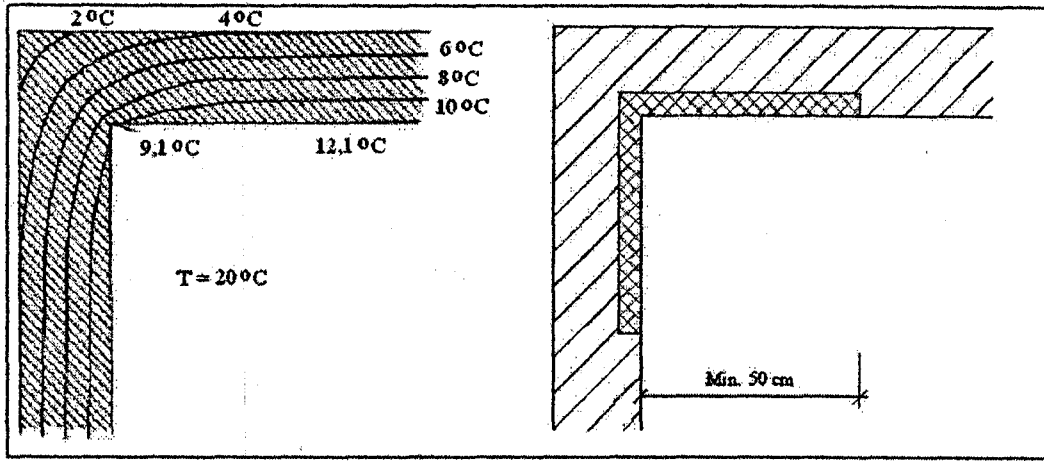
Isı köprüleri;

- Doğrusal ısı köprüleri (kolon, kiriş vb.),
- Noktasal ısı köprüleri (döşeme betonundaki filiz demirleri vb.)

olarak iki sınıfta incelenebilir [20].



Şekil 2. 8. Duvar-kolon ve duvar-döşeme birleşimlerinde ısı köprüleri



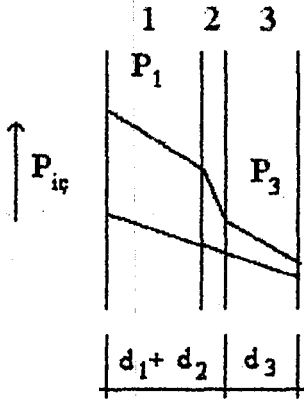
Şekil 2.9. Köşelerde oluşan geometrik ısı köprüleri ve geometrik ısı köprülerine alternatif ısı yalıtım detayı [19]

2.3.2. Yoğuşma (Kondansasyon)

Yapı kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin hemen hepsi az ya da çok gözenekli yapıları nedeniyle, çevredeki nemi bünyelerine alma, depolama, taşınmasını sağlama ve tekrar bünyelerinden atma özelliklerine sahiptir [17]. Gaz veya katı ortamda olsun belli sıcaklıklarda, belli su buharı miktarı veya basıncı taşınabilir. Bu basınca “doymuş su buharı basıncı” denir. Normal koşullarda bir ortamda bu basıncın altında “bağıl nem” denilen bir buhar basıncı vardır. Bağıl nem, mevcut basıncın doymuş buhar basıncına yüzde olarak oranı ile ifade edilir [10]. Yapı elemanlarının iki yüzü arasında, sıcaklıkların ve bağıl nemin farklı olmasından dolayı farklı buhar basınçları meydana gelir ve buhar difüzyonu gerçekleşir. Isıtma periyodunu dikkate aldığımızda, genellikle iç tarafta yüksek buhar basıncı vardır ve iç ortamda gaz halinde bulunan su buharı ısı geçişi ile aynı yönde hareket ederek dış ortama ulaşmaya çalışır [21, 22]. Su buharı, dış ortama ulaşmadan herhangi bir katman yüzey sıcaklığının çığ noktası sıcaklığının altında olmasından dolayı sıvı hale geçerse “yoğuşma” adı verilen olay meydana gelir [23, 24]. Yapı kabuğunda yoğuşma olması ve olmaması durumu ise Şekil 2.10.’de görülmektedir.

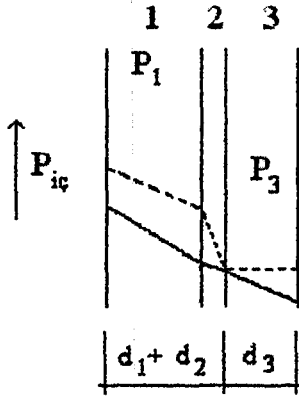
Yoğuşma;

- Görülür yoğuşma (terleme ve renk atması),
 - Gizli yoğuşma (malzemenin iç yüzeylerinde oluşan yoğuşma),
- olarak ikiye ayrılır [25].



Su buharı kısmi basıncı doyma noktasındaki buhar basıncından daha düşük olduğu için yoğuşma olasılığı yoktur.

$P_{dış}$



2-3 katmanlarında su buharı kısmi basıncı doyma noktasına yaklaştığı için yoğuşma görülür.

$P_{dış}$

Şekil 2. 10. Yapı kabuğunda yoğuşma olması ya da olmaması [7]

Yapı kabuğunda yoğuşma sonucunda;

- Yoğuşma suyu nedeniyle yapı kabuğunun ısı iletim katsayısı azalması,
- Yoğuşma suyundan dolayı yapı elemanlarında fiziksel değişimler (donma sonucu dökülmeler), kimyasal değişimler (paslanma) ve biyolojik değişimlerle (küflenme, mantar oluşumu ve çürüme) yapı hasarları görülmesi

gibi çeşitli yapı hasarları meydana gelir [21, 22].

Yoğuşma yapı kabuğu tabakası yüzeyinde değil de malzeme bünyesinde ise yoğuşan su, malzeme nemini artırır. Yoğuşan su miktarı, malzemenin emebileceği doyma noktasından fazla ise serbest kalır ve malzeme içinde hareket ederek ısıl performansı düşürür. Ayrıca suyun veya nemin ısı yalıtım malzemesinin içinde donması ya da yazın buharlaşması yalıtım malzemesini deforme ederek yalıtım özelliğini kaybetmesine neden olur [26].

2.3.3. Hava Hareketi

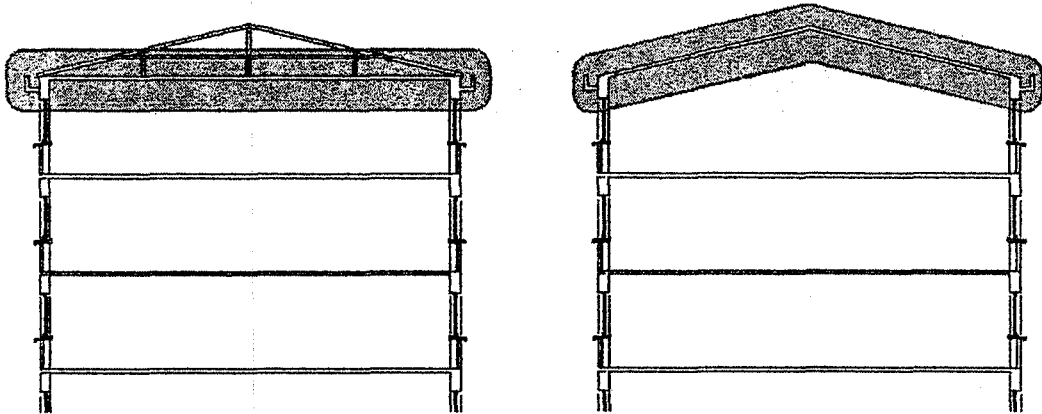
Yapı elemanları her ne kadar bir bütün gibi düşünülse de yapı bileşenleri arasında mutlaka engellenemeyen boşluklar oluşur ve hava, yapı kabuğundaki bu boşluklardan kontrolsüz şekilde geçer. Havanın dış ortamdan iç mekana hareket etmesine “enfiltrasyon”, iç mekandan dış ortama hareket etmesine “eksfiltrasyon”, yapı kabuğunu tümüyle geçmeden yapı kabuğu bünyesine etki etmesine “intrüzyon” denir [18].

Binalarda hava değişimi ise;

- Zorlanmış havalandırma (havalandırma sistemi ile yapıdaki hava değişiminin ve dağılımının kontrolünde etkilidir),
- Doğal havalandırma (bilinçli olarak bırakılan açıklıklardan, rüzgâr ve iç/dış hava sıcaklıkları farkı sonucunda oluşan fiziksel olaydır),
- Hava sızması (istek dışı açıklıklardan; rüzgâra, sıcaklık farkına ve havalandırma sistemlerine bağlı olarak ortaya çıkan basınç farklarının doğurduğu kontrolsüz hava akışıdır)

olmak üzere üç farklı yoldan gerçekleşir [27].

Isınan hava yukarı çıktığından dolayı tavanlar hava sızması ve hava kaçakları açısından oldukça önem kazanmaktadır (Şekil 2.11.). Çatı döşemesindeki hava kaçağı çatı tabanında hava sızması ile ısı kaybına sebep olacağı için yalıtımın performansını düşürür. Çatı arası kullanılan yapılarda tavan yalıtım performansı daha da düşüktür. Pencere ve kapı kaçakları ise; üretim yapan firmalara, kullanılan malzemeye ve kalitesine, tasarım kriterlerine ve uygulama detayına göre birbirlerinden farklılaşmaktadır.



Şekil 2.11. Çatı tipine göre hava hareketlerinin etkilediği bölgeler

3. ISI YALITIM MALZEMELERİ VE ISI YALITIMI UYGULAMALARI

Yapı elemanları farklı şartlarda farklı etkilere maruz kaldığından dolayı, uygulanacak ısı yalıtım malzemeleri ve sistem detayları da büyük değişiklik gösterir. Bu bağlamda yapı elemanlarında en uygun ısı yalıtım malzemelerinin seçilip kullanılabilmesi için ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin bilinmesi gerekir.

3.1. Isı Yalıtımı Malzemeleri ve Sınıflandırılmaları

Isı iletkenliği $0,20 \text{ kcal/mh}^{\circ}\text{C}$ 'ın altında olan ve bu niteliği ile ısı geçirimsizliğinde kullanılan gereçlere "Isı Tutucu Gereç" ya da "Isı Yalıtım Gereci" denilir [28]. Yalıtım malzemeleri yapıda kullanım yeri, içinde bulunan iklim şartları gibi çevresel faktörlerin etken olduğu özelliklere direnç gösterecek nitelikte olmalıdır. Isı yalıtımı malzemeleri seçiminde;

- Yeterli basınç ve çekme mukavemeti göstermesi yanında yeterli esnekliğe sahip olma,
- Zamanla çökme, sünme, yığılma ya da dağılma olmama,
- Buhar difüzyon direnci sağlayarak buhar kesici gerektirmeme, aynı zamanda nefes alma,
- Yapıda uygulama ve işçiliği kolay olma, fire vermeme,
- Hafif olma,
- Yüksek ısı tutuculuk özelliği gösterme, enerji emiciliği yüksek olma ve bünyesine ısı depolayarak ısı kütlesi olarak davranabilme,
- Boyutsal kararlılığı (yapıda kullanılacağı boyutların belirli standartlara uygunluğu) olma,
- İşlenebilir olma,
- Kimyasal dayanıklılığı (birlikte kullanıldığı malzemelerle reaksiyona girmeme ve bozulmama özelliği) gösterme,
- Yanmaz ve alev geçirmez olma,
- Su ve neme dayanımlı olma ve yalıtım değerini bina ömrü boyunca sürdürme,
- Sıva tutma,
- Çürümeme, kimyasal ve fiziksel özelliklerini zamanla kaybetmeme,

- İnsan sağlığına ve çevreye zarar vermeme, kokusuz olma, kaşıntı ve alerji yapmama, kanserojen madde içermeme,
- Ucuz olma,
- Detay retim olanağı verme,
- Kflenmeme,
- Kullanılan sıcaklıkta bozulmama ve
- Çeşitli böcek ve mikroorganizmalar tarafından bozulmama

gibi özellikleri taşımasına dikkat edilmelidir [16].

Bütün ısı, ses ve nem yalıtımlarını aynı anda sağlayacak yetenekte bir malzeme olmadığından çeşitli sorunları eř zamanlı olarak zebilecek malzeme katmanlarının detaylandırılması gerekmektedir. Örneğin bazı ısı yalıtım malzemeleri ıslandıktan sonra performansları dőeđinden suyla temasını kesecek farklı yalıtım malzemeleri ve yalıtım katmanları yalıtım sistemine dahil edilmelidir [29].

Yapı elemanlarındaki konumuna göre;

- Yapı kabuğu etrafında ısı yalıtımı (içten ve dıştan yalıtım ile sandviç duvar),
- Yapı kabuğu bünyesinde ısı yalıtımı (ısı yalıtımlı boyalar, harçlar, betonlar, duvarlar...)

olmak üzere ikiye, doğada varoluş Őekillerine göre;

- Bitkisel kökenli (Organik) ısı yalıtım malzemeleri,
- Hayvansal kökenli (İnorganik) ısı yalıtım malzemeleri,
- Mineral kökenli (Sentetik) ısı yalıtım malzemeleri

olmak üzere e [4], yapılarına göre de;

- Taneli Isı Yalıtım Malzemeleri,
- Lifli Isı Yalıtım Malzemeleri,
- Köpük Şeklindeki Isı Yalıtım Malzemeleri,
- Kompozit (Karmaşık Yapılı) Isı Yalıtım Malzemeleri

olmak üzere dört gurupta toplanırlar [5].

Güneş ıřđı geçirgenliğine göre de yalıtım malzemeleri;

- Opak ısı yalıtım malzemeleri,
- Saydam ısı yalıtım malzemeleri

olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.1.1. Opak Isı Yalıtımı Malzemeleri

Opak yapı elemanları güneş ışığını yutan (absorbe eden) ya da yansıtan yapı bileşenlerinden meydana gelmektedir. Bu bileşenler güneş ışığını geçirmediği gibi arkasında bulunan nesnelere görülmesini de engelleyen yapıdadır. Geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin büyük bir çoğunluğu (cam yünü, taş yünü, polistren köpükler vb.) opak yalıtım malzemeleri sınıfına girer. Opak ısı yalıtım malzemeleri genellikle güneş ışığının çoğunu yutar ve bir kısmını yansıtır.

Yapı kabuğunda buldukları bölgelere göre çeşitlenir ve seçilirler. Yapı kabuğu kuruluşunda içte, dışta ya da yapı kabuğu bünyesinde yer alabilirler. Kullanım amaçları ısı geçişleriyle ısı köprülerinin etkilerini en aza indirmek ve kondansasyonu engellemektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını, başka bir enerji biçimine (örneğin güneş enerjisini, ısı enerjisine dönüştürme gibi) çevirme yetenekleri oldukça düşüktür.

3.1.2. Saydam Isı Yalıtımı Malzemeleri

Saydam yalıtım malzemeleri güneş enerjisini geçiren fakat ısı enerjisini geçirmeyen yapı malzemelerindedir. Isı iletkenlikleri (Λ) 0,20-1,00 W/m²K, optik (ışık) geçirgenlikleri 0,70-0,95 arasında değişir [30]. Saydam yapı elemanları güneş ışığını yutma, yansıtma ve geçirme özelliğine sahiptir. Yarı geçirgenlik özelliği ile arkasındaki nesnelere görme olanağı verir. Kullanılacağı yere göre yutma, yansıtma ve geçirme özelliklerinden herhangi biri ya da birkaçı önem kazanabilir.

Yapı kabuğunda güneşten yararlanabilmek için yapının dış tarafına uygulanırlar. Opak ısı yalıtım malzemeleri gibi görev yapmanın yanı sıra güneş ışınlarını geçirerek yapı elemanlarının güneş toplayıcısı ve depolayıcısı (ısı kütlesi) gibi çalışmasını sağlayarak güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürürler [6]. Belli bir süre sonra (faz farkı ile) bünyelerine depoladıkları ısıyı yapıya yayarlar. Saydam yalıtım malzemeleri geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha iyi bir performans gösterir. Çünkü ısı kaybına engel olurken güneş enerjisini yapı kabuğu yüzeyinde emilmesini sağlayarak ısı enerjisine çevirir ve ısı kazancı sağlarlar [31, 32].

Güneş ışığı geçirgenliklerine göre;

- Optik Geçirgenlikleri Sabit Saydam Yalıtımlar,
- Optik Geçirgenlikleri Değiştirilebilir Saydam Yalıtımlar

olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Optik geçirgenlikleri sabit saydam yalıtımlarda ısı yalıtım özelliği ile çift camın güneş ışınımı geçirgenlik özelliği aynı anda sağlanır. Hareketsiz havanın yalıtım özelliğinden yararlanmak için hava boşluğu, bal peteği ya da kapiler tipte bölmelere ayrılmıştır. İki cam plaka arası cam elyafı ya da “aerojel” adı verilen dağınık-homojen-düşük iletkenlikteki malzeme kullanılarak detaylandırılabilir. Diğer bir seçenekte katmanları emici yüzeye paralel düzenlenen lamine cam ya da plastik esaslı malzemelerdir [6]. İki cam arası ısı iletkenliği zayıf malzeme kullanılan sistemde kalınlık arttıkça ısı iletkenliği düşmeye başlar. Aerojel’in kırılma sayısı, suya karşı dayanıklı olmaması ve güneş ışınlarının bir kısmını emici yüzeyden uzaklaştırması da olumsuz yönlerindedir [30]. Petek dokulu (kapiler) tip, plastik yalıtım malzemesi cam esaslı olan malzemeye karşı daha hafif bir malzeme olup panel şeklinde üretilmektedir [33].

Optik geçirgenlikleri değiştirilebilir saydam yalıtımlar ise uygulanacağı mekandaki kullanım amacına ve işlevine göre güneş ışınımı geçirgenliği ayarlanabilir ve sera etkisi kontrollü olarak değiştirilebilir.

- Elektriksel olarak etkilenenler (elektrokromik malzemeler),
- Işık şiddetinden etkilenenler (fotokromik malzemeler),
- Isıdan etkilenenler (termokromik malzemeler)

olmak üzere üç bölümden oluşurlar [34].

Saydam yalıtım malzemeleri iyileştirme projesi dahilinde çalışma kapsamına alınmadığı için daha fazla ayrıntılı bilgi verilmemiştir.

3.2. Binalarda Yapılabilecek Isı Yalıtımı Uygulamaları

Yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanlarına (dış duvarlar, çatılar, zemine oturan döşeme, pencereler ...) baktığımızda her birindeki uygulamalar farklı fiziksel özelliklerden ve durumlardan etkileneceği için uygulama detayları ve uygulanma biçimleri de farklı olacaktır.

3.2.1. Duvarlardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları

Genel bir değerlendirme yapıldığında yapı kabuğunda en fazla alana sahip olan duvarlar, bu özelliği ile ısı kayıplarının en fazla olduğu yapı elemanlarıdır. Dış duvarların yapı kabuğundaki alanı kat adedi ve bina yüksekliği ile doğru

orantılıdır. Dış duvar denildiğinde ilk olarak duvarı meydana getiren tuğla, gazbeton, briket gibi dolgu elemanları akla gelir. Dış duvar konstrüksiyonu içerisinde yer alan kolon, kiriş, lento ve hatıl ile aydınlatma ve havalandırma elemanları da bu kapsamda değerlendirilir.

Dış duvarlarda ısı yalıtımı;

- Dıştan ısı yalıtımı,
- İçten ısı yalıtımı,
- Sandviç duvar arasına ısı yalıtımı,

olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilir.

3.2.1.1. Dıştan Isı Yalıtımı

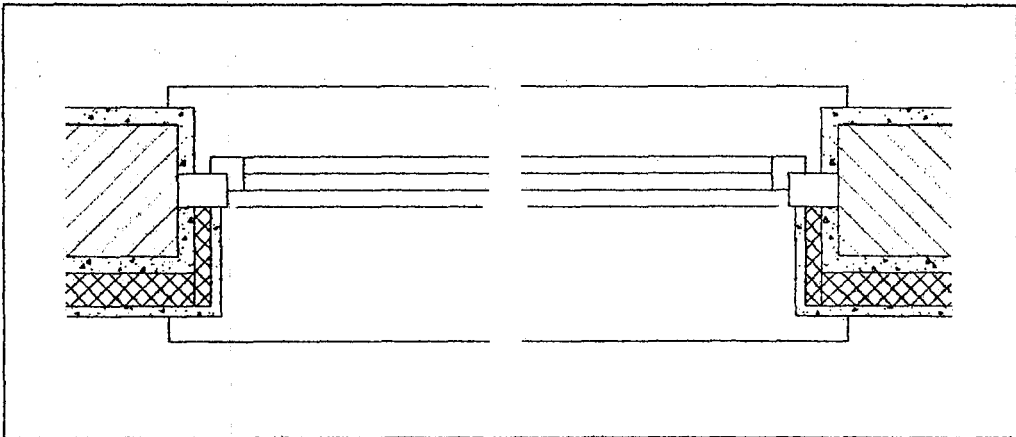
Dıştan ısı yalıtım sistemi kullanılan ısı yalıtım malzemelerine göre;

- Opak yalıtım,
- Saydam yalıtım

olmak üzere iki sınıfta incelenebilir.

- *Opak yalıtım*

Yapı kabuğunun dış yüzeyine yapılan ısı yalıtımıdır. Mevcut binalarda ve yeni yapılacak binalarda uygulanabilir. Yalıtım malzemesinin kalın olduğu durumlarda pencerenin uygulandığı duvarın yanaklarına daha ince kalınlıkta yalıtım uygulanabilir. Denizliklerde ise dış yüzeyde kalan kısımlar yalıtım sistemi içinde kalacağı için yalıtım kalınlığı göz önünde bulundurularak genişletilmelidir (Şekil 3.1.).



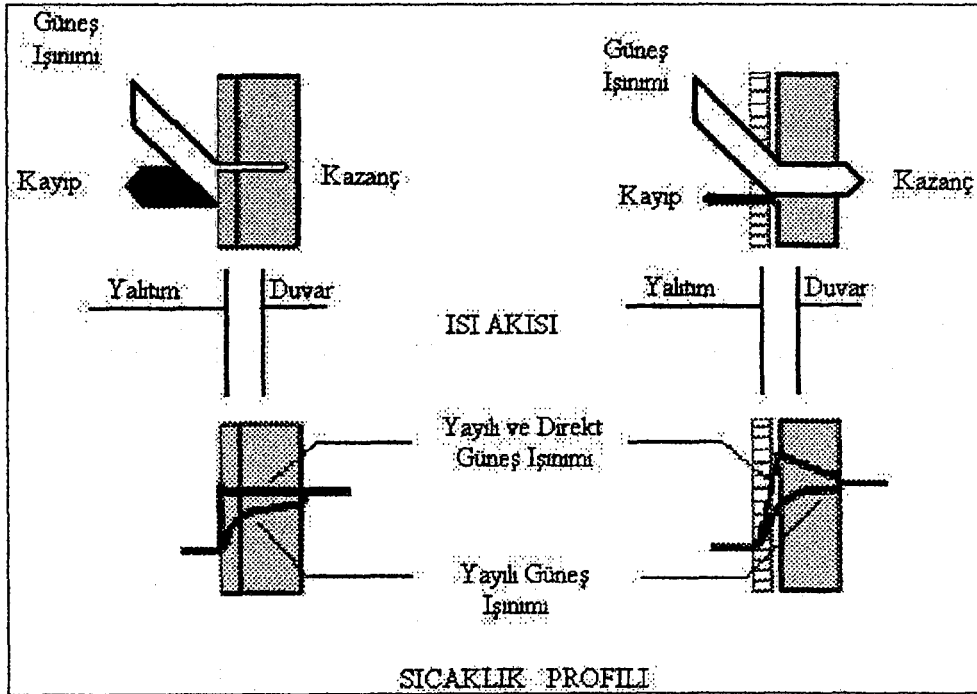
Şekil 3.1. Duvar-pencere birleşimindeki duvar yanaklarına ısı yalıtımı uygulaması

Konsol çalışan döşemelerde detaylar dikkatli çözülmeli ve uygulama aşamasında işçiliklerine özen gösterilmelidir. Dıştan ısı yalıtımında perlit su emme özelliği olduğu için kullanılamaz. Dıştan ısı yalıtımı uygulamalarında yalıtım tabakası; dübel, yapıştırıcı ve taşıyıcı iskelet ile olmak üzere yapı elemanına üç farklı şekilde tespit edilir.

- *Saydam yalıtım*

Şeffaf görümlü olan saydam yalıtım malzemeleri, kısa dalga boylu (ultraviyole ya da görülebilen) güneş ışınlarını arkasına geçirirken uzun dalga boylu (infraret) güneş ışınlarını geçirmezler. Saydam malzemeden içeri süzülen ultraviyole ışınları yapı elemanı (genellikle duvar) tarafından emilir ve yansıyan ışık saydam malzemeden dışarı çıkmadığı için de tekrar yansıyarak yapı ısısını arttırmaya devam eder [32] (Şekil 3.2.). Bu bağlamda güneş ışınlarını içeri aldıkları için pencereler de saydam yalıtım malzemesi olarak kabul edilebilir. Çünkü içeri aldıkları güneş ışınımı odanın iç yüzeylerinde emilir.

Saydam yalıtım malzemeleri iyileştirme projesi kapsamına alınmadığı için uygulama detayları hakkında detaylı bilgi verilmemiştir.

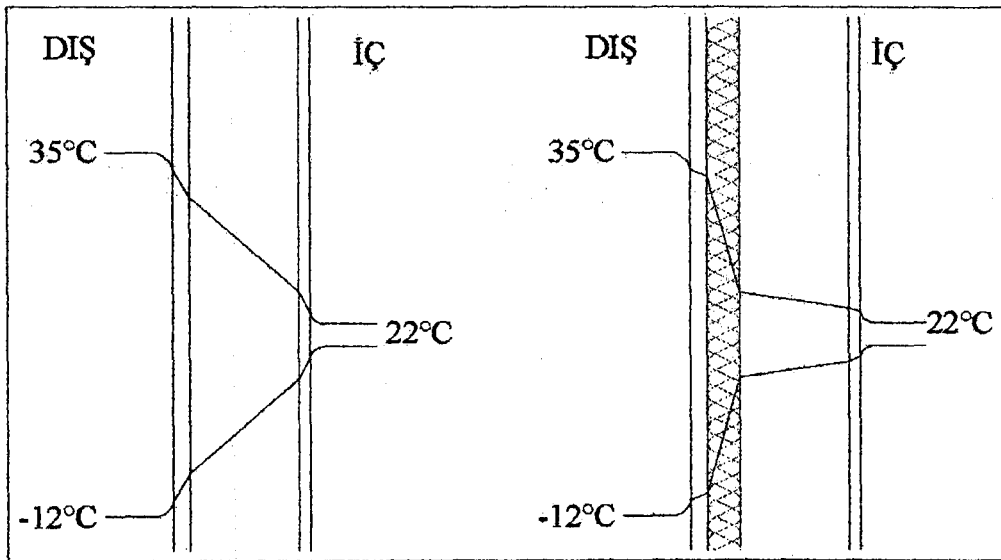


Şekil 3.2. Saydam yalıtımlı duvarların ısı akışı ve sıcaklık profili [34]

Dıştan ısı yalıtım sisteminde yalıtım malzemesi dış atmosfer koşullarından etkilendiği için mimari detay çözümü ve yalıtım malzemelerinin seçiminde; yapının bulunduğu iklim, baktığı yön, etkin hakim rüzgar yönü ve bağıl nem gibi faktörlere dikkat edilmelidir (duruma göre nem kesici malzeme ya da havalandırma amaçlı düşey hava bariyeri bırakılmalıdır).

Dıştan yalıtım sisteminde;

- Duvarlar ısı kütlesi gibi davranarak depoladığı ısıyı uzun süre yapıya aktarır,
- Yapıyı dıştan sardıkları için ısı köprülerinin etkilerini azaltır,
- Yapı elemanlarını dış iklim şartlarından korur,
- Yoğuşma olasılığını azalttığı için yapının ömrünü ve dayanıklılığını artırır [35],
- Yapı elemanları ısıl gerilmelerden daha az etkilenir ve yapının dayanıklılığı ile emniyeti artar,
- ısıl gerilmelerden az etkilendiği için eleman bileşenlerinin iç yapı bozulmaları ve çatlaklar da en aza indirgenir (Şekil 3.3.),
- İç mekanda daralma olmaz,
- Dış sıvada hasar meydana gelmesi durumunda daha kolay onarım imkanına sahiptir.



Şekil 3.3. Yalıtımlı ve yalıtımsız duvarın katmanlarına göre ısı geçişleri

Dıştan yalıtımda;

- Isınma süresinin uzun olması,
- Mevcut binalarda uygulama aşamasında iskele kurulma ihtiyacı,
- Pahalı olması ve amortisman süresinin uzunluğu,
- Binanın dış görünüşünü etkilemesi,
- Yapının dış yüzeyinde kaldığı için iklim şartlarından (yağmur, rüzgar, nem, güneş vb.) kolayca etkilenmesi,
- Sonradan monte edilecek olan kablolar dış yüzeye zarar vermesi

dezavantajlar olarak karşımıza çıkar.

3.2.1.2. İçten Isı Yalıtımı

Yapı kabuğunun iç mekan yüzeyine yapılan ısı yalıtımıdır. Mevcut ve yeni yapılacak binalarda uygulanabilir. Teknik olarak dıştan yalıtım yapılması zor olan yerlerde veya dış görünüşte değişikliğin uygun olmadığı yerlerde tercih edilir. Perlitli sıva yapılması da içten yalıtıma dahil edilebilir.

Yoğuşma ihtimali olduğu için buhar kesici, yoğuşma riskini azaltmak amacıyla ısı yalıtımının sıcak tarafına uygulanmalıdır. Soğuk yüzeye uygulanması durumunda ise ısı yalıtım malzemesi bünyesinde yoğuşma riski oluşur ve ısı performans düşüklüğüne neden olabilir. İçten yalıtımda ısı yalıtım malzemesinin nefes almasını engelleyen bir yapı elemanı (koruyucu tuğla duvar vb.) yoksa kullanılacak olan ısı yalıtım malzemesinin özelliğine, iklimsel şartlara ve difüzyon hesabına göre buhar kesici kullanılmayabilir [19].

Kısa süreli kullanılan (tiyatro, konser salonu gibi) mekanlarda tercih edilir. Dış duvarların ısıtılmamasından dolayı ısıtma sistemi kapatıldığında, iç mekan kısa sürede soğuyacağı için konutlarda zorunlu durumlar dışında kullanılmamalıdır. Uygulanan ısı yalıtımı aynı zamanda ses yalıtımına da yardımcı olur fakat yeterli olmayabilir. Isı yalıtım malzemesi uygulanırken derzlerin sızdırmazlığının sağlanması, yalıtım malzemesinin performansını doğrudan etkileyeceği için oldukça önemlidir [36, 37]. Yaz aylarında ise duvar çabuk ısınacağı için aşırı sıcaklık artışları görülebilir [5].

İçten yalıtım uygulama sistemleri de dıştan yalıtımda olduğu gibi dübel, yapıştırma harcı ve taşıyıcı iskelet ile tespit etme olmak üzere üç şekilde yapılır. İçten ısı yalıtımı sistemi;

- Ekonomiktir,
- İçten çalışılacağı için uygulaması kolaydır,
- İçten yalıtımda ısı yalıtım malzemesinin sıva ile arasında kalan yüzeyine polietilen gerilerek buhar difüzyonunu engellenmelidir [38],
- İç ortam kısa sürede ısınır,
- Yalıtım iç tarafta olduğundan dış iklim şartlarından doğrudan etkilenmez [35],

İçten ısı yalıtımının dezavantajları;

- Yapı bileşenlerinde hasarlar ve çatlaklar oluşması,
- İç mekan boyutlarını azaltması,
- Mevcut yapılarda ısıtma tesisatı yüzünden (radyatör tipi ısıtma gibi) uygulama sorunları çıkarması,
- Isı yalıtımı malzemesini korumak amacıyla iç yüzeye tuğla duvar örülen durumlarda yapıda ek yük artışlarına sebep olması,
- Yapının iç yüzeyinde kaldığı için ısı köprülerine tam engel olamaması,

olarak sıralanabilir. Dış duvarda dıştan ve içten ısı yalıtımı sistemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri Çizelge 3.1.'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Dış duvarda dıştan ve içten ısı yalıtımı uygulamalarının karşılaştırılması

	İÇTEN YALITIM	DIŞTAN YALITIM
SICAKLIK	Isınma çabuk olur	Isınma geç olur
	Seyrek kullanılan mekanlar için uygundur	Uzun süreli kullanılan mekanlar için uygundur
	Isı depolama özelliği yoktur	Isı depolama özelliğinden (ısı kütlesi) yararlanır
ISI KÖPRÜLERİ	Engellenemez	Engellenebilir (konsol şeklindeki elemanlarda da yalıtım gerektirir).
ELEMEN KORUNUMU	Isıl gerilmeler yüksektir	Isıl gerilmeler düşüktür
	Yalıtım malzemesi korunur	Yalıtım malzemesi korunamaz
TESİSAT	Duvarlardaki borular uygulamada sorun çıkarır	İçteki tesisatla bağlantı yoktur
	Dış duvarlarda borulara donabilir	Boruların donma riski yoktur
EKONOMİ	Ucuzdur, kısa sürede kendini amorti eder	Pahalıdır, uzun sürede kendini amorti eder
İŞÇİLİK	Kolaydır	İskele kurulması gerekir
YOĞUŞMA	Yoğuşma olasılığı yüksektir	Yoğuşma olasılığı düşüktür

Radyatör askı demirlerinin arasına konulabilen ısı ışınlı yalıtım levhaları da içten yalıtıma dahil edilebilir [39]. Böylelikle radyatör arkasındaki ısı kayıpları azaltılarak % 3-4 oranında kazanç sağlanabilir [40].

3.2.1.3. Isı Yalıtımlı Sandviç Duvar

İki duvar arasına ısı yalıtım malzemesinin yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Duvarlardan biri taşıyıcı olabileceği gibi, iki duvarda ayırıcı eleman olarak görev yapabilir.

İki masif yapı kabuğu ve bunların arasında yer alan ısı yalıtım katmanının oluşturduğu çift kabuk dış duvar sistemi “ortadan ısı yalıtımlı duvar” olarak adlandırılır. Bu duvarlar;

1. Hava katmanlı çift kabuk dış duvar,
2. Hava katmansız çift kabuk dış duvar,

olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir.

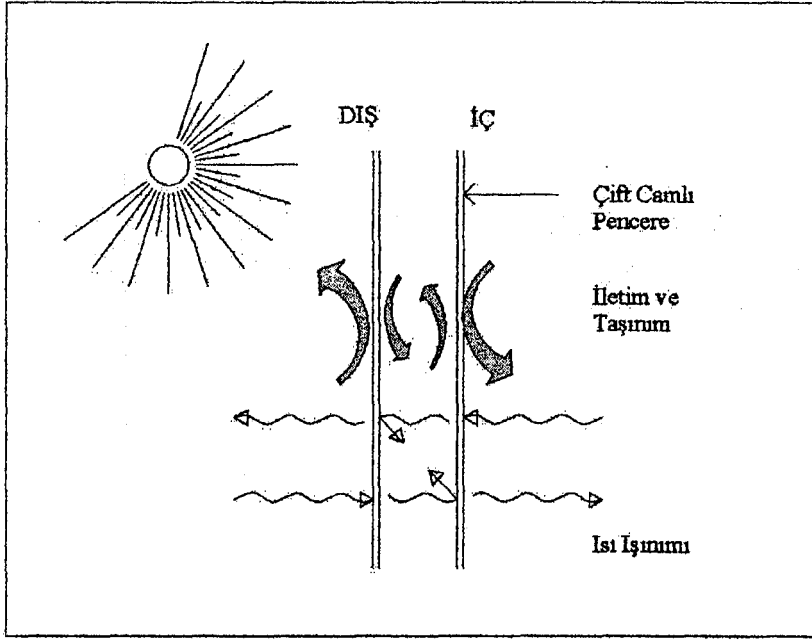
Hava katmanlı çift kabuk dış duvar konstrüksiyonu (havalandırılmalı-soğuk); birbirinden düşey hareketli bir hava katmanıyla ayrılmış iki masif duvar ve ısı yalıtım tabakasından oluşur. Hava katmansız çift kabuk dış duvar konstrüksiyonu (havalandırmaz-sıcak) ise; iki masif duvar ve bu duvarlar arasına yerleştirilen bir ısı yalıtım tabakasından oluşur ve hava boşluğu içermez [36].

Sandviç duvar uygulamasında da içten yalıtım yapılan uygulamalarda olduğu gibi ısı yalıtım malzemelerinin tavan ve döşeme birleşim yüzeylerinde derzlerin sürekliliği sağlanmalıdır. Aksi takdirde sandviç duvarlarda da ısı geçişi olacağından performans düşüklüğü meydana gelebilir.

Yüksek katlı yapılarda sandviç duvarın, rijitliğini sağlamak amacıyla duvar, derz noktalarından ince metal ya da tel ile tespit edilmelidir [5].

3.2.2. Pencerelerdeki Isı Yalıtımı Uygulamaları

Pencerelerde ısı geçiş türlerinin hepsi (iletim, taşınım ve ışınlım) görüldüğünden yapı kabuğundaki diğer yapı elemanlarından farklılaşırlar. İletimle ısı geçişinde duvarlarda olduğu gibi katı malzemelerden ısı iletilirken, taşınım ile ısı geçişinde gaz ya da sıvı hareketiyle ısı iletilir. Işınlımla ısı geçişindeyse diğer ısı geçiş türlerinden bağımsız olmak üzere iç ortama ısı enerjisi (özellikle yansımış ve direkt güneş ışınlımıyla) girer [41] (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Pencereerde ısı geçiş türleri

Yapı kabuğunda pencere tasarımı; ısı geçişi, güneşten olan ısı kazançları, hava sızıntısı (enfiltasyon), gün ışığı olarak yapıyı ve kullanıcıyı etkiler [42].

Yüksek yalıtımlı (filtreli camlar, çift cam, ısı performansı yüksek camlar vs) pencereler üretilene kadar kepenk, panjur ya da kalın perdeler ısı yalıtım gereci olarak kullanılmıştır [41]. Günümüzde ise verimi çok düşük olan camlara ikinci bir cam eklenmesiyle ısı iletkenliği oldukça düşmektedir. Buradaki amaç ölü hava bölgelerinden yararlanarak taşınım ile olan ısı kaybının az olduğu bölgelerin ısı yalıtımı gibi davranmasını sağlamaktır.

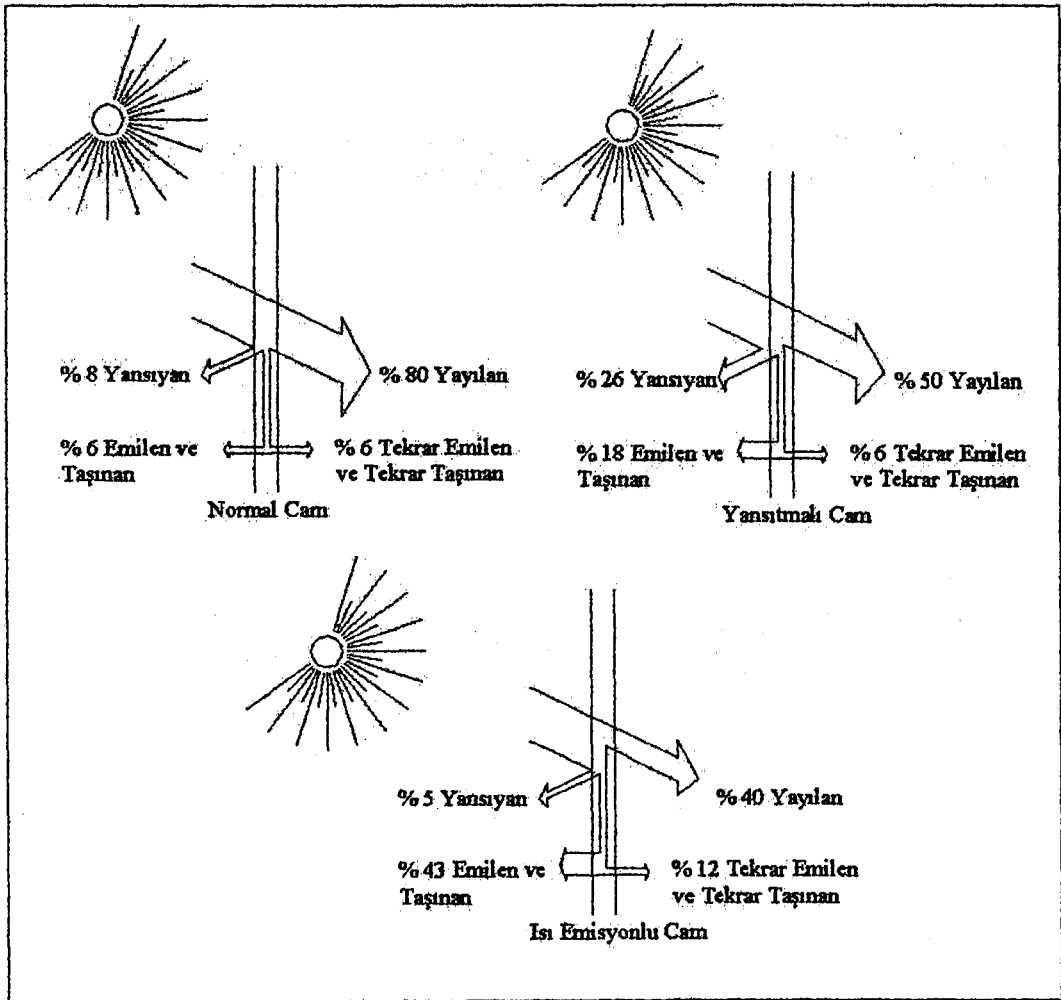
Pencerelerde en önemli ısı kayıpları iç ve dış ortamdaki basınç farklılıklarından dolayı dışarıdan içeriye kontrol edilemeyen sızdırmazlığın (enfiltasyonun) engellenememesinden kaynaklanır [18]. Enfiltasyon kayıpları, iyi detaylandırılmamış kasa-kanat, kasa-duvar ve kasa-cam bağlantı noktalarında meydana gelir [43]. Pencerelerde iyi işçilik ve kaliteli malzeme kullanımı ısı performansını doğrudan etkiler.

Kasa, kanat ve cam arasındaki ısı geçişini azaltmak için sızdırmazlık contaları kullanılmalı ve aynı zamanda kasa ve kanat binilerinde doğru detay çözümü yapılarak soğuk havanın içeri girmesi engellenmelidir. Bu bağlamda ısıtma döneminde kasa-kanat birleşimindeki boşluklardan sızacak hava, cam yüzey sıcaklığını düşürerek kullanıcıların üşmesine, dolayısıyla da iç hava

hızının 0,20 m/sn.den fazla olmasına ve ısıl konforun azalmasına neden olabilir [43].

Pencerelerde yazın güneş ışınımından doğan aşırı ısınma da ısıl konforu etkileyen diğer bir sorundur. Gelişen teknoloji ile camlara ince film halindeki güneş yansıtıcıları yerleştirilerek güneş ışınımının etkileri azaltılmaktadır [43].

Cam her ne kadar ışığı geçirirse de bir kısmını yutar ve yayar. Göze saydam görünen düşük yayma özelliğine sahip kaplamalar, bir cam boşluğundan geçen ısı miktarını önemli ölçüde düşürür [31] (Şekil 3.5.). Camlarda ısı transferinde ışınımın etkisi en aza indirildiğinde iletim ve taşınım etkinleşmeye başlar. Bunların azaltılması için arası düşük iletkenlikli gazlar (argon, kripton ya da kuru nitrojen gibi soygazlar) ile doldurulmuş ya da düşük ısı yayma özelliğine sahip malzemeyle kaplanmış çok tabakalı sistemler kullanılabilir. Ayrıca camların sayısını arttırmak da bir başka çözüm yoludur [18].



Şekil 3.5. Farklı özellikteki camların güneş ışığına gösterdiği tepkiler [31]

3.2.3. Çatılardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları

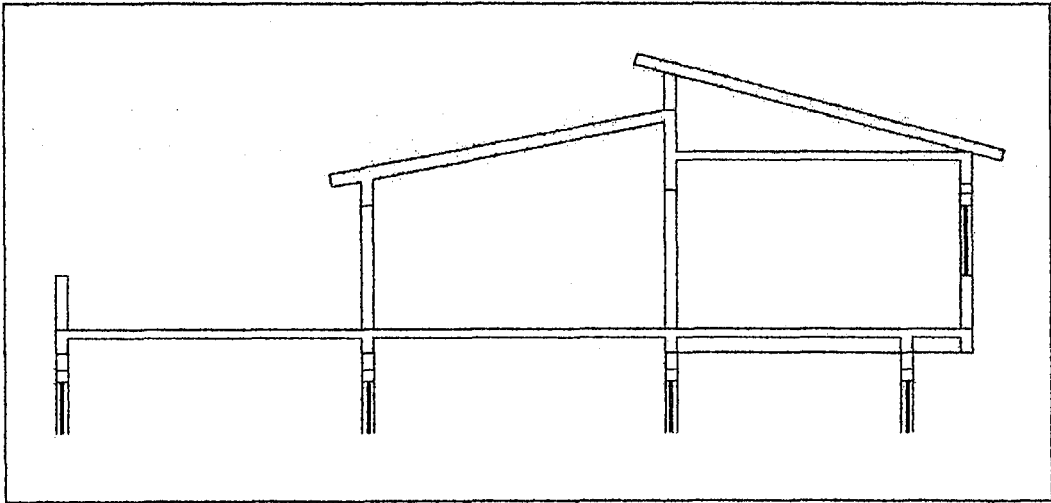
Yapı kabuğundaki diğer yapı elemanları için belirlenen kurallar çatılar için de geçerlidir. Yapıyı daha çok yağmur sularından koruduğu için çatılarda termofiziksel özellikler arka planda kalarak detay çözümleri yapılır.

Isınan havanın kütleli yoğunluğu azaldığı için soğuk hava ile yer değiştirerek yukarı çıkar. Bundan dolayı yapıda tavan döşemelerinin alt yüzeyi ile çatıların (ya da çatı döşemesinin) alt yüzeyi oldukça önem kazanır. Çatılar çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Şekilleri açısından çatılar; düz (teras) çatılar ve eğimli (kırma) çatılar, kullanım açısından ise çatı arası kullanılan (sıcak) ve çatı arası kullanılmayan (soğuk) çatılar olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 3.6.).

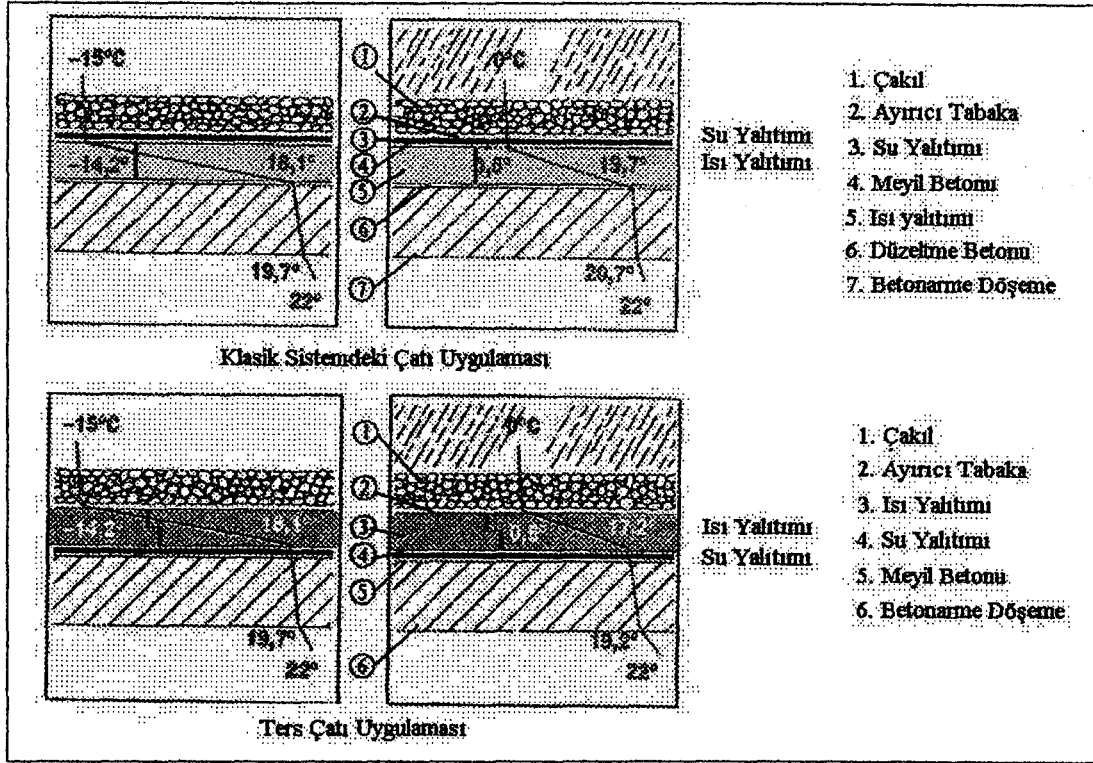
3.2.3.1. Düz (Teras) Çatılar

Düz çatılar, % 0-5 arasında eğime sahip olan çatılar olarak tanımlanabilir. Düz çatılar kullanım amaçlarına, yüzey tabakasını oluşturan malzemelere ve kullanılan ısı yalıtım malzemesinin yük taşıma özelliklerine göre; gezilemeyen, gezilebilen, bahçe ve otopark çatıları olmak üzere dört gruba ayrılır [44, 45].

Bünyesine su emen ısı yalıtım malzemelerinin üstten su yalıtım membranları ile korunması, alttan ise buhar kesici tabakalar ile buhar geçişinin engellenmesi esasına dayalı konvansiyonel sistemler bilinen en eski teras çatı ısı yalıtım çözümleri olmakla birlikte bu sistemde su yalıtım örtüsü, hava sıcaklık değişimlerinden ve kullanımdan doğan mekanik etkilerden dolayı kısa sürede yıpranmakta ve bünyesine su alarak ısı ve su yalıtımının işlevini kaybetmesine neden olmaktadır (Şekil 3.7.) [44, 45].



Şekil 3.6. Yapı kabuğunda bulunan farklı çatı türleri



Şekil 3.7. Geleneksel ve ters çatı uygulama detayları [7]

3.2.3.2. Eğimli (Kırma) Çatılar

Güneye bakan kırma çatı düzlemlerinin, öğle saatlerinde güneş ışınımını dik olarak alması çatının ısıl kütle gibi davranarak aşırı ısı artışlarına sebep olur. Bunu engellemek için de ısıya ve soğuğa karşı direnç gösteren ısı yalıtımı uygulanmalı ya da havalandırma boşlukları bırakılmalıdır.

3.2.3.3. Çatı Arası Kullanılanlar

Çatı arası kullanılan çatılar kullanıcılar tarafından hem çatı hem de döşeme olarak kullanıldıkları ve ısıtıldıkları için diğer çatılardan farklılaşırlar. Yoğuşma kontrolüne göre gerekli durumlarda yalıtımın sıcak yüzeyine nem kesici konulmalıdır. Çatı arası kullanılan çatılarda ısı yalıtımı; mertek üstü, mertek arası ve mertek altı olmak üzere üç şekilde uygulanabilir.

3.2.3.4. Çatı Arası Kullanılmayanlar

Çatı arası kullanılmayan çatılarda kullanım alanıyla çatı örtüsü arasında ısıtılmayan tampon bölge vardır. Bu tip çatılarda bakımın kolay, işçiliğin hızlı ve

rahat olması için ısı yalıtımı (cam yünü, perlit gibi...), tavan döşemesinin üzerinde kalacak şekilde uygulanır. Tercihen üzeri kapatılabilir.

3.2.4. Toprağa Temas Eden Döşeme ve Duvarlardaki Isı Yalıtımı Uygulamaları

Yapıların zemin ile olan birleşimlerinde, ısı yalıtımı açısından gerekli özen gösterilmezse ısıl performans oldukça düşer. Daha sonrasında da (özellikle zemine oturan döşemede) ısı yalıtımı yapmak güçleşir. Bu bakımdan yapı kabuğunun zemin ile temas eden noktaları olan; zemine oturan döşemeleri ile toprağa temas eden duvarları yapının ısıl performansı açısından oldukça önemlidir.

3.2.4.1. Zemine Oturan Döşemeler

Yapı kabuğunun toprağa temas eden yapı elemanıdır. Isı yalıtımının üzerinde yürüneceğinden koruyucu beton dökülerek üzeri kapatılır ya da bakım yapabilmek için söküp kaldırılabilir döşeme elemanları uygulanır. Isı yalıtımının yoğunlaşmadan zarar görmemesi için duvarlarda ve çatılarda olduğu gibi ısı yalıtımının sıcak yüzeyine nem yalıtımı konulur.

3.2.4.2. Toprağa Temas Eden Duvarlar

Bodrumu kullanılan ya da yarım kat kot farkı olan binalardaki yapı kabuğu için söz konusudur. Isı yalıtımının zarar görmemesi için (zemine oturan döşemelerde olduğu gibi) yeraltı su seviyesine dikkat edilmeli ya da sudan etkilenmeyen ısı yalıtım malzemeleri kullanılmalıdır.

4. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ LOJMANLARINDA ISI KAYIPLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK İYİLEŞTİRME PROJESİ ÖRNEĞİ

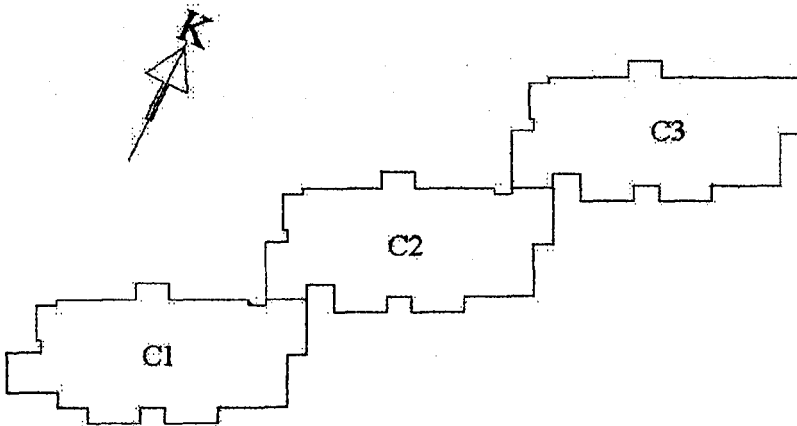
Yapı kabuğundaki ısı problemler ile bunların çözümlerini içeren gerçekçi ve uygulanabilir bir çalışma hazırlamak amacıyla, Anadolu Üniversitesi Lojmanları C1-Bloğu için ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik iyileştirme proje önerisi geliştirilmiştir.

4.1. Mevcut Durumun Ortaya Konulması

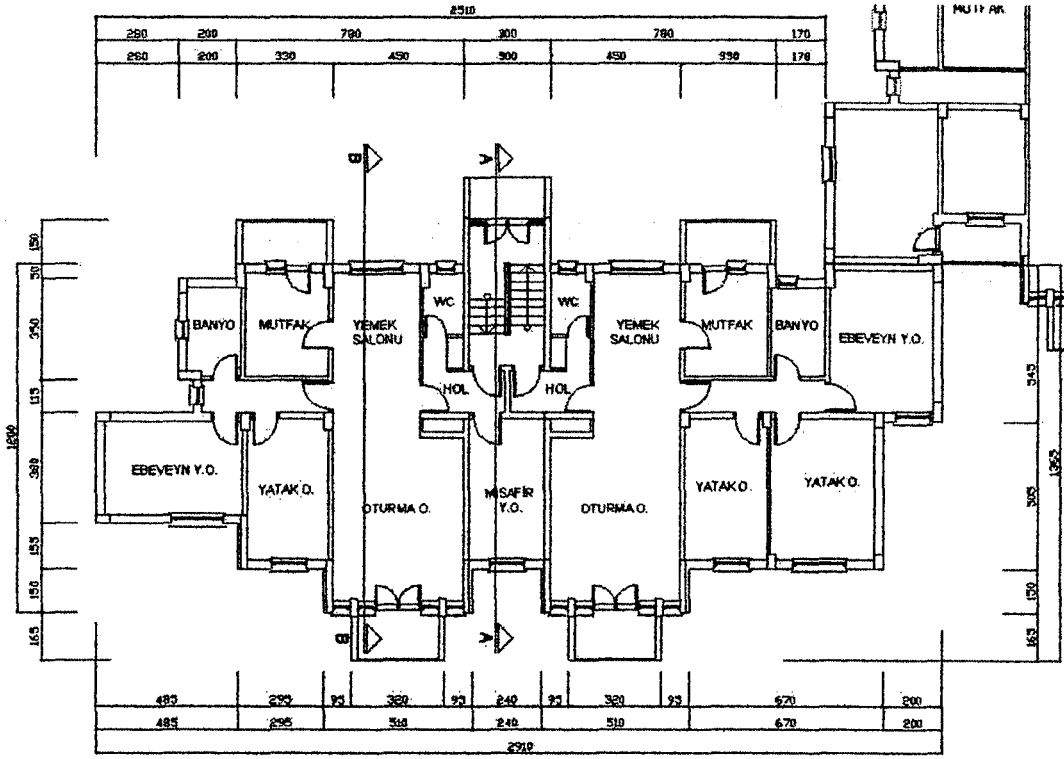
Eskişehir Anadolu Üniversitesi Lojmanları şehir merkezine 3 km uzaklıkta bulunan Yunusemre Kampüsünde yer almaktadır. Üniversite personeline hizmet veren lojmanların B ve C Bloğu 1979 yılında Prof. Orhan BOLAK yürütücülüğünde İ.T.Ü. M.M.F. Bina Bilgisi Kürsüsü tarafından projelendirilerek 1982 yılında tamamlanmıştır.

C bloklarının tamamında daha güvenli bir zemin emniyet gerilmesi sağlamak amacıyla, temelin alt seviyesi daha aşağı kotlara çekilmiş ve proje revizyonu yapılarak, bloklar yarım kat kot farkıyla araziye inşa edilmiştir. Blokların uygulandığı arazi ise düz kabul edilecek kadar az bir eğime sahiptir.

C bloğu; C1, C2 ve C3 olmak üzere toplam üç blokta toplanmakta ve dört kattan oluşmaktadır. C blokları birbirine göre 5 m.lik kayma yaparak arazi üzerine konumlandırılmıştır (Şekil 4.1.). Betonarme taşıyıcı konstrüksiyona sahip C bloklarının iç ve dış duvarlarında 19 ve 29 cm.lik yatay delikli blok tuğla kullanılmıştır. İyileştirme projesi yapılan C1 bloğunun zemin kat planı ise Şekil 4.2.'de görülmektedir.

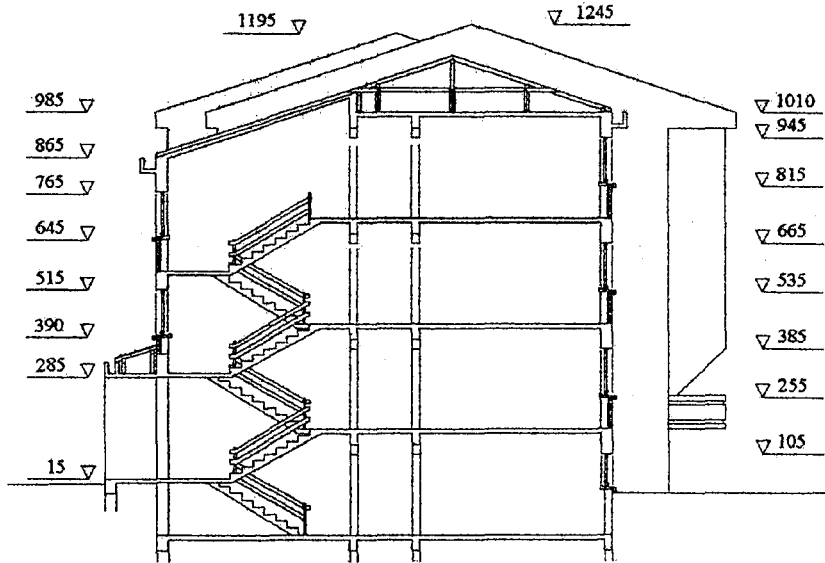


Şekil 4.1. Eskişehir Anadolu Üniversitesi C bloklarının vaziyet planı

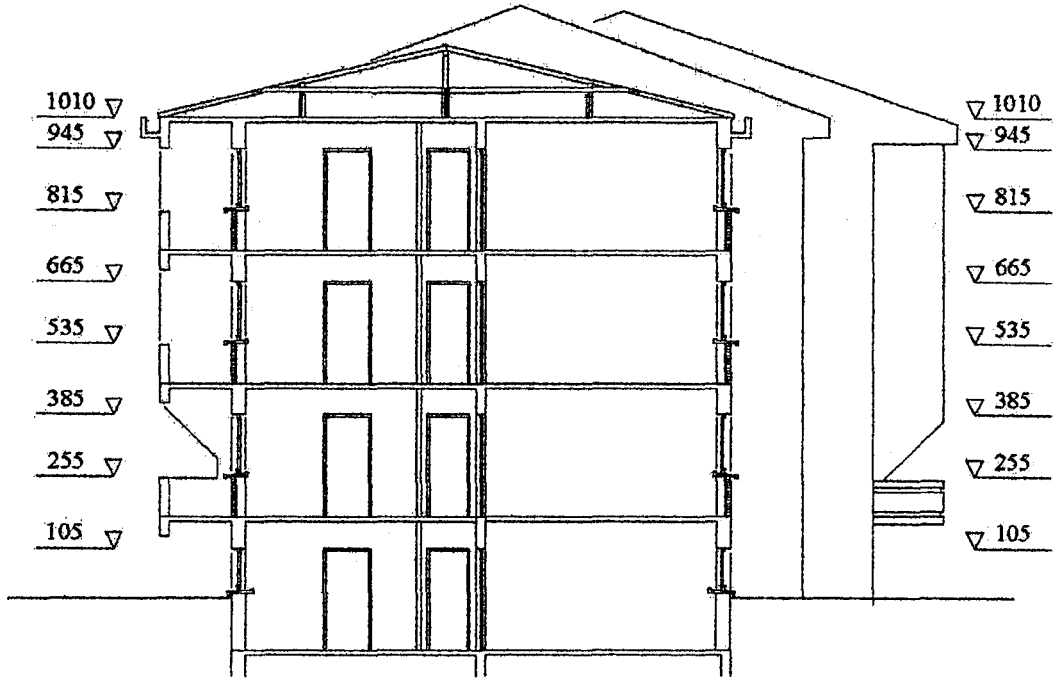


Şekil 4.2. C1 bloklarının zemin kat planı

C1 bloklarında lentolar 30 cm. genişliğinde yapılmıştır. Pencereler tek camlıdır. Bodrum katındaki pencerelerde metal diğer katlarda ahşap doğrama kullanılmıştır. Pencere altındaki duvar 19 cm.lik blok tuğla ve 9 cm.lik dekoratif tuğladan oluşmaktadır (Şekil 4.3-4.). Lojmanların tüm ısı ihtiyacı ise kampüs içinde bulunan ısı merkezinden sağlanmaktadır.



Şekil 4.3. C1-Blok A-A kesiti



Şekil 4.4. C1-Blok B-B kesiti

Yapılan çalışmada ısıtma dönemi Ekim-Nisan ayları (7 ay) , ısıtma süresi günde 12 saat (II. tip işletme sınıfı), iç sıcaklık ise ortalama 22°C kabul edilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri Eskişehir İl Müdürlüğü'nden elde edilen son on yıllık verilerin ortalaması ile dış sıcaklık 4,7°C, toprak sıcaklığı 12,9°C alınmıştır.

4.2. Karşılaştırmada Kullanılan Formüller

Termodinamik kurallarına göre ısı geçişi bilindiği gibi; iletim, taşınım ve ışınm ile olmaktadır. Yapılan iyileştirme projesinde de; yapı kabuğundaki ısı geçişinde daha baskın olan ısı iletimi ve taşınımı göz önünde bulundurulmuştur. Daha önceki bölümlerde incelenen saydam yalıtım malzemeleri henüz araştırma ve geliştirme aşamasında olduğundan, daha gerçekçi bir çalışma yapmak amacıyla iyileştirme projesinde kullanılmamıştır. Yapı kabuğunun yüzey ve sol-air sıcaklıkları, güneş ışınlamından elde edilen ısı enerjileri, yoğuşma kontrolü ve pencerelerden içeri giren güneş ışınlamından doğan ısı taşınımları, ısıl konfora ve ısıl performansa olan etkisinin daha az olmasından dolayı hesaplanmamış ve çalışma sınırları dışında tutulmuştur.

Toplam Isı İletkenlik Direnci (1/Λ) (R); Herhangi bir yapı bileşeninin kalınlığı (d) metre, paralel iki yüzeyin sıcaklıkları farkı 1°C (1K) iken, 1 m²'sinden 1 saatte geçen ısı miktarının geometrik tersidir.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (4-1)$$

burada;

1/Λ : Toplam ısı iletkenlik direnci (m²K/W),

d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),

λ₁, λ₂ ... : Isı iletkenlik hesap değeri (W/mK)'dir.

Isı Geçirgenlik Direnci (1/U); yapısı ve kalınlığı belirli olan bir yapı bileşeninin iki tarafındaki hava sıcaklıklarının farkı 1°C (1K) iken, 1 m²'sinden 1 saatte geçen ısı miktarının geometrik tersidir.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (4-2)$$

burada;

1/U : Isı geçirgenlik direnci (m²K/W),

1/α_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m²K/W),

1/α_d : Dış yüzeyin ısı taşınım direnci (m²K/W)'dir.

Yapı kabuğunun iletim ve taşınım ile olan ortalama ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{ort} = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2 + U_3 A_3 + \dots + U_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (4-3)$$

formülü ile bulunur. Burada;

U₁, U₂, ... : Yapı bileşenlerinin ısı geçirgenlik katsayıları (W/m²K),

A₁, A₂, ... : Yapı bileşenlerinin yapı kabuğundaki toplam alanları (m²)'dir.

Yapı Bileşeninin Isı Kaybı (q); Kararlı durumdaki bir ısı akış yoğunluğu (q), bir dış yapı bileşeninden T_i sıcaklığındaki iç havanın yüzeyle temas halinde bulunduğu iç tarafa ve T_d sıcaklığındaki dış havanın yüzeyle temas halinde olduğu dış tarafa doğru gerçekleşir. Yapı kabuğundaki ısı kaybı için;

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T = U \cdot A \cdot (t_i - t_d) \quad (4-4)$$

formülü kullanılır.

Duvarın iç-dış yüzeyler ile aradaki katmanların yüzey sıcaklıklarını bulmak için (Şekil 4.5.);

$$\Delta t_1 = (t_i - t_1) = q \cdot 1/\alpha_i \quad (4-5)$$

$$\Delta t_2 = (t_1 - t_2) = q \cdot d_1/\lambda_1 \quad (4-6)$$

$$\Delta t_3 = (t_2 - t_3) = q \cdot d_2/\lambda_2 \quad (4-7)$$

$$\Delta t_4 = (t_3 - t_4) = q \cdot d_3/\lambda_3 \quad (4-8)$$

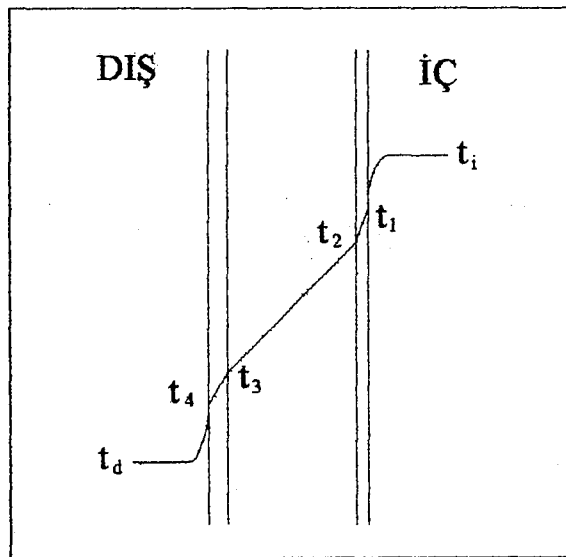
$$\Delta t_5 = (t_4 - t_d) = q \cdot 1/\alpha_d \quad (4-9)$$

formülleri kullanılır.

Birim alana düşen yalıtım maliyetini bulmak için;

$$M_{YALITIM} = I + (a \cdot F_{YALITIM} - M_{RADYATÖR}) \quad (4-10)$$

formülü kullanılır. Bu formülde;



Şekil 4.5. Duvarın yüzey ve katman sıcaklıkları

$M_{YALITIM}$... : Yalıtım maliyeti (TL)

I : İşçilik (TL)

a : Yalıtım kalınlığı (cm)

$F_{YALITIM}$... : Yalıtım birim fiyatı (TL/cm)

$M_{RADYATOR}$: Radyatör dilim maliyeti kazancı (TL)'dir.

Birim alanın yıllık yakıt maliyeti;

$$M_{YAKIT} = T \cdot H \cdot q \cdot F_{YAKIT} / \eta \cdot V \quad (4-11)$$

formülü ile bulunur. Bu formülde;

M_{YAKIT} ... : Yıllık yakıt maliyeti (TL/yıl)

T : Yıllık ısıtma süresi (gün/yıl)

H : Günlük ısıtma süresi (h/gün)

q : Isı kaybı (W/h)

F_{YAKIT} : Yakıt birim fiyatı (TL/m³)

η : Yakıt alt ısı değeri (W/m³)

V : Kazan verimidir.

Yalıtım yapılması durumunda Radyatör kazancı;

$$K_{RADYATOR} = (Q - Q_{ORT [1]}) / q_{RADYATOR} \quad (4-12)$$

formülü ile bulunur. Bu formülde;

$K_{RADYATOR}$... : Radyatör kazancı (dilim)

Q : Mevcut durumun ısı ihtiyacı (W/h)

Q_{ORT} : Yalıtımlı durumun ısı ihtiyacı (W/h)

$q_{RADYATOR}$... : Radyatörün bir saatte verdiği ısıdır (W/h.dilim).

Radyatör maliyeti ise

$$M_{RADYATOR} = K_{RADYATOR} \cdot F_{RADYATOR} \quad (4-13)$$

formülü ile bulunur. Bu formülde;

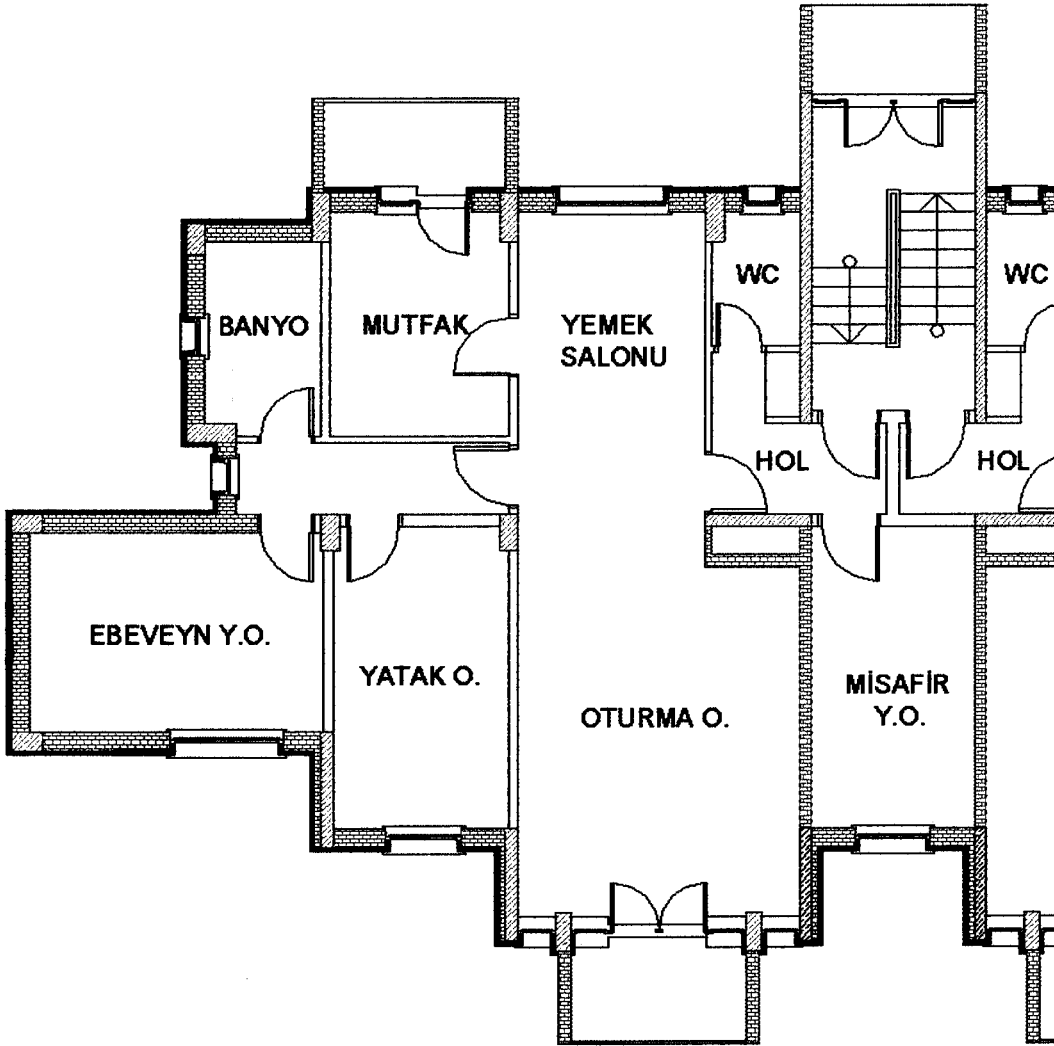
$M_{RADYATOR}$: Radyatör maliyeti (TL)

$K_{RADYATOR}$: Radyatör kazancı (dilim)

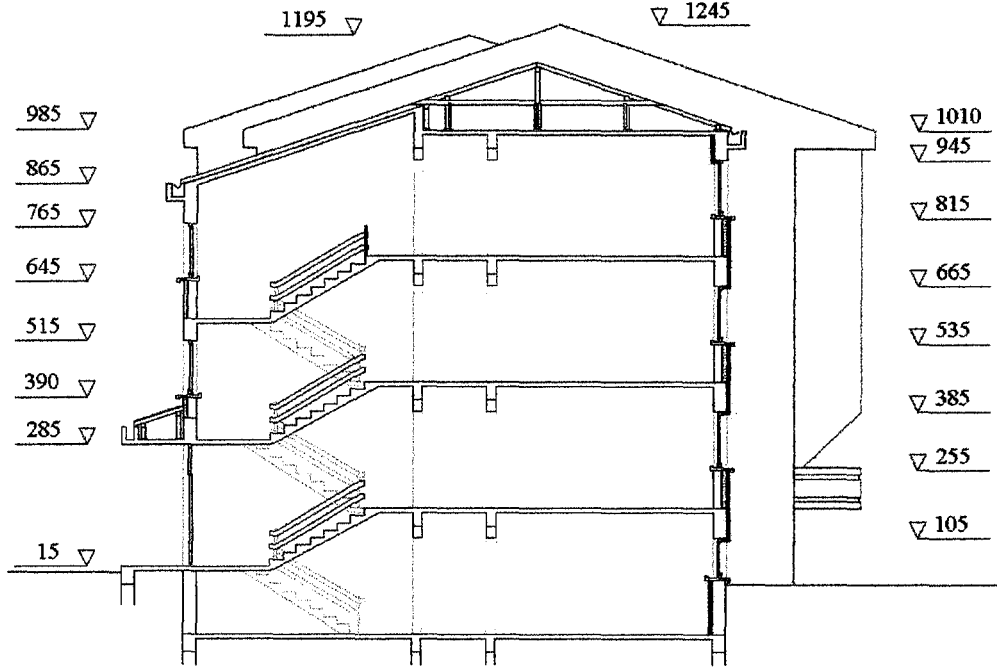
$F_{RADYATOR}$: Radyatör fiyatıdır (TL/dilim).

4.3. Yalıtım Sistemi ve Yalıtım Malzemeleri Seçimi

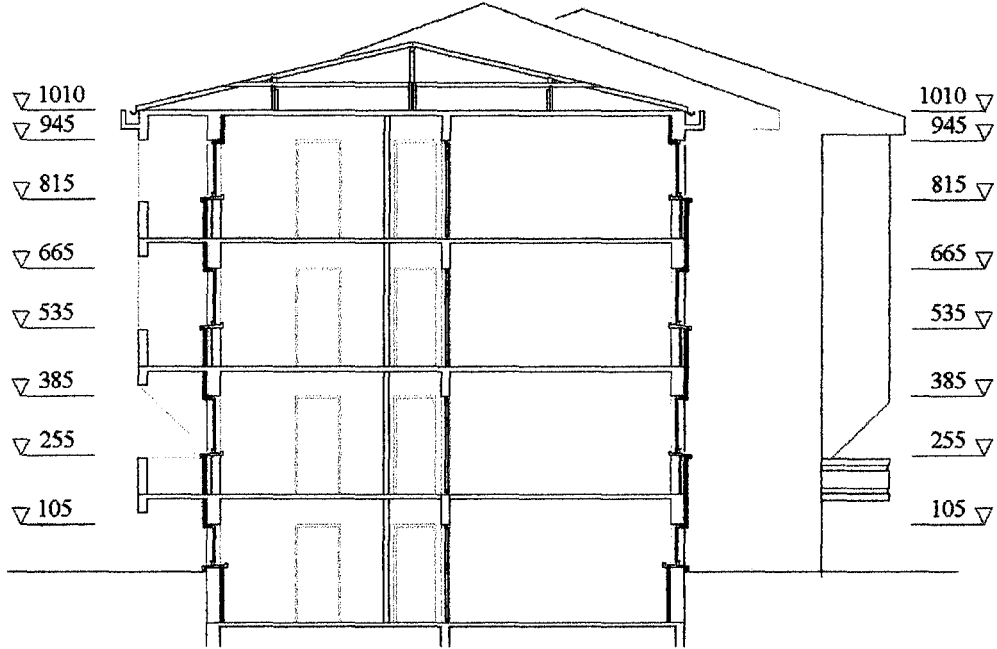
Yapının konut olması ve yapı kabuğunun ısıtma döneminde radyatörler kapatıldığında bünyesine depoladığı ısıyı iç mekanlara vermesi amacıyla dıştan yalıtım yapılması önerilmiştir. Ayrıca dıştan yalıtım yoğunlaşma ile iç ve dış bükey köşelerdeki ısı köprüleri sorunlarına daha doğru çözümler getirmektedir. Dıştan yalıtım sisteminde yalıtım malzemesinin duvara uygulandıktan sonra düşmemesi için dübelle tespit edilmesi yalıtım sistemi açısından daha verimli olacaktır (burada dübelin oluşturacağı ısı köprüleri göz ardı edilebilecek kadar düşüktür). Sadece dördüncü katta kiriş seviyesinde çörlenlerin oluşturduğu ısı köprülerini önlemek için ve toprağa temas eden duvarlarda yapı kabuğu dış yüzeyine müdahale edilemeyeceği için bu bölgelerde içten yalıtım sistemi tercih edilmiştir. C1-Bloğuna dıştan yalıtım uygulandığında plan ve kesitler Şekil 4.6-8.'de görülmektedir.



Şekil 4.6. C1 blok planı (yalıtım uygulanması durumunda)



Şekil 4.7. C1-Blok A-A kesiti (yalıtım uygulanması durumunda)



Şekil 4.8. C1-Blok B-B kesiti (yalıtım uygulanması durumunda)

Dıştan ısı yalıtım sisteminde yalıtım malzemesi olarak EPS, XPS ve taş yünü önerilmiştir. EPS, XPS ve taş yünü malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.1.'de görülmektedir. Yapı kabuğunun göstereceği optimum performans için farklı kalınlıklardaki (1-20 cm) yalıtım malzemelerinin uygulandığı kabul edilmiş ve her iyileştirme çözümü için ısı kayıp hesapları yapılmıştır (Ek-1).

Çizelge 4.1. EPS, XPS ve taş yünü malzemelerinin özellikleri

	EPS	XPS	TAŞ YÜNÜ
	Çevreci gazlarla şişirilir (Pentan)	Ozona zarar veren gazlarla şişirilir (HCFC)	Tamamı doğal malzeme
Isı iletkenliği	0,033~0,040 W/mK	0,030~0,045 W/mK	0,033~0,040 W/mK
Basınç	30~≥500 kPa	100~≥1000 kPa	0.5~500 kPa
Su buharı difüzyonu	20-100	80-200	1
Su emme	Düşük	Düşük	Yüksek
Yangın	B1	B1	A
Fiyat (\$/m³)	35	70	75
Detay üretme olanağı	Var	Var	Yok
Isı iletkenliği	Isı iletkenliği sabit	Isı iletkenliği zamanla artar	Isı iletkenliği sabit
Sıva ile yapışması	Sıva aderansı yüksek	Sıva aderansı yüksek	Sıva aderansı düşük
Yoğunluk ısı iletkenlik oranı	Yoğunluğu arttıkça ısı iletkenliği azalır	Yoğunluğu arttıkça ısı iletkenliği artar	*

4.4. Duvarların Mevcut ve İyileştirme Durumlarının Karşılaştırılması

C1-Bloğu dış duvar elemanlarının mevcut ve ısı yalıtımı uygulanması durumundaki ısı kayıp hesapları Çizelge 4.2-5.'de görülmektedir (Bkz. Ek-1.). Yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri birbirine çok yakın değerlerde olduğu için ortalama olarak aynı değerde alınmıştır ($\lambda_{YALITIM} = 0,035 \text{ W/mK}$).

Çizelge 4.2. C1-Blok dış duvar elemanlarının ısı kayıpları hesaplama tablosu

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		d (m)	λ (W/mK)	d/ λ , 1/ α (m²K/W)	U (W/m²K)	Alan (m²)	q (W/K)
BLOK DUVAR	1/ α iç			0,130			
	İç Sıva	0,02	0,870	0,023			
	Blok Tuğla	0,29	0,450	0,644			
	Dış Sıva	0,03	0,870	0,034			
	1/ α dış			0,040			
TOPLAM				0,872	1,15	248,52	285,02

Çizelge 4.3. C1-Blok dış duvar yapı elemanlarının ısı kayıpları

	U (W/m ² K)	Alan (m ²)	q (W/K)
BLOK DUVAR	1,15	248,52	285,02
BETONARME YÜZEYLER	2,70	261,12	705,10
PENCERE ALTINDAKİ DUVAR	1,34	60,29	80,88
KOLON + DUVAR	1,91	54,36	104,00
TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI	1,90	96,18	182,91

Çizelge 4.4. C1-Blok dış duvar elemanlarına ısı yalıtımı uygulanması durumunda ısı kayıpları hesaplama tablosu

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI		d (m)	λ (W/mK)	d/λ, 1/α (m ² K/W)	U (W/m ² K)	Alan (m ²)	q (W/K)
BLOK DUVAR	1/α _{iç}			0,130			
	İç Sıva	0,02	0,870	0,023			
	Blok Tuğla	0,29	0,450	0,644			
	Dış Sıva	0,03	0,870	0,034			
	Yalıtım Malzemesi	0,01	0,035	0,286			
	Yalıtım Sıvası	0,02	0,870	0,023			
	1/α _{dış}			0,040			
TOPLAM				1,181	0,85	248,52	210,50

Çizelge 4.5. C1-Blok dış duvarlarına ısı yalıtımı uygulanması durumunda yapı elemanlarının ısı kayıpları

	U (W/m ² K)	Alan (m ²)	q (W/K)
BLOK DUVAR	0,87	248,52	216,68
BETONARME YÜZEYLER	0,37	261,12	96,70
PENCERE ALTINDAKİ DUVAR	0,75	60,29	44,94
KOLON + DUVAR	0,52	54,36	28,41
TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI	0,53	96,18	50,58

Yapı kabuğundaki 29 cm.lik yalın duvar iç yüzey sıcaklığı için (dış sıcaklığın minimum olduğu t_{dış} = -12 °C kabul edilerek ve 1 m².lik duvar alanı için) ısı gereksinimi (4-4) formülünden yararlanarak;

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_a}{\lambda_a} + \frac{d_D}{\lambda_D} + \frac{d_i}{\lambda_i} = \frac{0,03}{0,870} + \frac{0,29}{0,450} + \frac{0,02}{0,870} = 0,034 + 0,64 + 0,023 \rightarrow$$

$$1/\Lambda = 0,701 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_d} = 0,130 + 0,701 + 0,040 = 0,871 \rightarrow U = 1,148 \text{ W/m}^2\text{K}$$

1 m² alan için gereksinim duyulan ısı miktarı;

$$q = U \times \Delta t = 1,148 \times (22 - [-12]) = 39,03 \text{ W/m}^2$$

olarak bulunur. İç yüzey sıcaklıkları ise (Şekil 4.9.);

$$\Delta t_1 = (t_i - t_1) = q \cdot 1/\alpha_i \rightarrow \Delta t_1 = 39,03 \times 0,130 = 5,07 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 \text{ (iç sıva yüzey sıcaklığı)} = 22 - 5,07 = 16,93 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = (t_1 - t_2) = q \cdot d_d/\lambda_d \rightarrow \Delta t_2 = 39,03 \times 0,023 = 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 \text{ (iç sıva-blok tuğla birleşimindeki sıcaklığı)} = 16,93 - 0,9 = 16,03 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = (t_2 - t_3) = q \cdot d_D/\lambda_D \rightarrow \Delta t_3 = 39,03 \times 0,64 = 24,99 \text{ }^\circ\text{C}$$

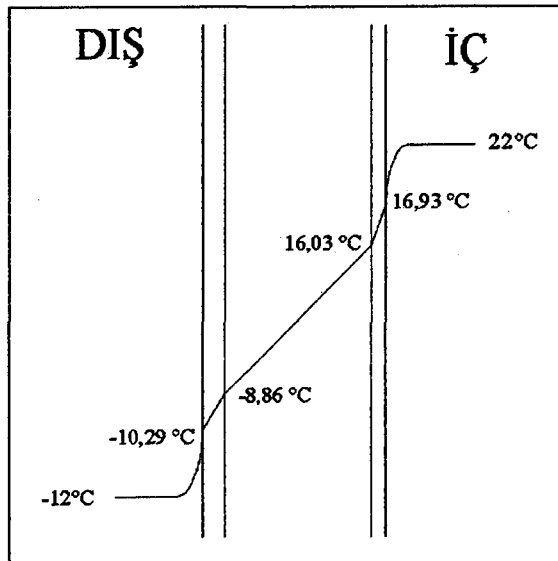
$$t_3 \text{ (blok tuğla-dış sıva birleşimindeki sıcaklık)} = 16,03 - 24,99 = -8,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_4 = (t_3 - t_4) = q \cdot d_i/\lambda_i \rightarrow \Delta t_4 = 39,03 \times 0,034 = 1,33 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_4 \text{ (dış sıva yüzey sıcaklığı)} = -8,86 - 1,33 = -10,29 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_5 = (t_4 - t_d) = q \cdot 1/\alpha_d \rightarrow \Delta t_5 = 39,03 \times 0,040 = 1,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_d \text{ (dış hava sıcaklığı)} = -10,29 - 1,56 \approx -12 \text{ }^\circ\text{C}$$



Şekil 4.9. C1-Bloğun 29 cm.lik blok tuğla duvarında yalıtımsız durumun ısı akışı ve iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklıkları

olarak bulunur. Burada Δt_1 (5,07 °C) iç ortamdaki hava sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir. Bu değer 3°C'den büyük olduğu için radyasyonla ısı kaybına neden olacağı için konforsuzluk yaratır. Mevcut duvara 3 cm.lik yalıtım uygulandığı takdirde;

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_{fis}}{\lambda_{fis}} + \frac{d_Y}{\lambda_Y} + \frac{d_d}{\lambda_d} + \frac{d_D}{\lambda_D} + \frac{d_i}{\lambda_i} = \frac{0,02}{0,870} + \frac{0,03}{0,040} + \frac{0,03}{0,870} + \frac{0,29}{0,450} + \frac{0,02}{0,870} \rightarrow$$

$$1/\Lambda = 1,471 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_d} = 0,130 + 1,471 + 0,040 = 1,641 \rightarrow U = 0,609 \text{ W/m}^2\text{K}$$

1 m² alan için gereksinim duyulan ısı miktarı;

$$q = U \times \Delta t = 0,609 \times (22 - [-12]) = 20,72 \text{ W/m}^2$$

olarak bulunur. İç yüzey sıcaklıkları ise (Şekil 4.10.);

$$\Delta t_1 = (t_i - t_1) = q \cdot 1/\alpha_i \rightarrow \Delta t_1 = 20,72 \times 0,130 = 2,69 \text{ °C}$$

$$t_1 \text{ (iç sıva yüzey sıcaklığı)} = 22 - 2,69 = 19,31 \text{ °C}$$

$$\Delta t_2 = (t_1 - t_2) = q \cdot d_d/\lambda_d \rightarrow \Delta t_2 = 20,72 \times 0,023 = 0,48 \text{ °C}$$

$$t_2 \text{ (iç sıva-blok tuğla birleşimindeki sıcaklığı)} = 19,31 - 0,48 = 18,83 \text{ °C}$$

$$\Delta t_3 = (t_2 - t_3) = q \cdot d_D/\lambda_D \rightarrow \Delta t_3 = 20,72 \times 0,64 = 13,26 \text{ °C}$$

$$t_3 \text{ (blok tuğla-dış sıva birleşimindeki sıcaklık)} = 18,83 - 13,26 = 5,57 \text{ °C}$$

$$\Delta t_4 = (t_3 - t_4) = q \cdot d_i/\lambda_i \rightarrow \Delta t_4 = 20,72 \times 0,034 = 0,70 \text{ °C}$$

$$t_4 \text{ (dış sıva-yalıtım birleşimindeki sıcaklık)} = 5,57 - 0,70 = 4,87 \text{ °C}$$

$$\Delta t_5 = (t_4 - t_5) = q \cdot d_Y/\lambda_Y \rightarrow \Delta t_5 = 20,72 \times 0,75 = 15,54 \text{ °C}$$

$$t_5 \text{ (yalıtım-yalıtım sıvası birleşimindeki sıcaklık)} = 4,87 - 15,54 = -10,67 \text{ °C}$$

$$\Delta t_6 = (t_5 - t_6) = q \cdot d_{fis}/\lambda_{fis} \rightarrow \Delta t_6 = 20,72 \times 0,023 = 0,48 \text{ °C}$$

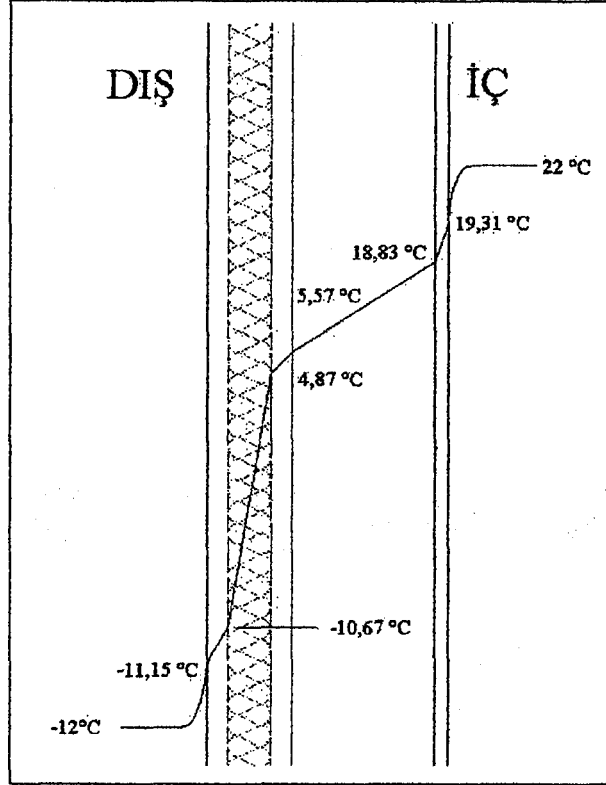
$$t_6 \text{ (yalıtım sıvası yüzey sıcaklığı)} = -10,67 - 0,48 = -11,15 \text{ °C}$$

$$\Delta t_7 = q \cdot 1/\alpha_d = 20,72 \times 0,040 = 0,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_d (\text{dış hava sıcaklığı}) = -11,15 - 0,83 \approx -12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

olarak bulunur. Burada Δt_1 ($2,69 \text{ } ^\circ\text{C}$) $< 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ olduğu için konfor şartlarına uygundur (Şekil 4.10.).

Duvarın ortalama ısı geçirgenlik katsayısı (4-3) formülü kullanılarak Çizelge 4.6.'da verilen değerlerle;



Şekil 4.10. C1-Bloğun 29 cm.lik blok tuğla duvarında yalıtımlı durumun ısı akışı ve iç yüzey sıcaklığı ile iç ortam sıcaklıkları

Çizelge 4.6. Duvar elemanlarının ısı geçirgenlik katsayıları ve yapı kabuğundaki alanları

	U (K) (W/m ² K)	ALAN (A) (m ²)	U x A (W/K)
BLOK DUVAR	1,15	248,52	285,02
BETONARME YÜZEYLER	2,70	261,12	705,10
PENCERE ALTINDAKİ DUVAR	1,34	60,29	80,88
KOLON + DUVAR	1,91	54,36	104,00
TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI	1,90	96,18	182,91

Hava ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{ort} = 1,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Toprak ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_2 = 1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$$

olarak bulunur (duvar elemanlarının toprak ve hava ile temas ettiği ortamlardaki sıcaklıklar birbirinden farklı olduğu için bir arada ortalamaları alınmamalıdır).

Duvar elemanlarının ortalama ısı geçirgenlik dirençlerini bulmak için (4-2) formülü kullanılarak;

Hava ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci;

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda_{ort}} + \frac{1}{\alpha_d} \rightarrow \frac{1}{\Lambda_{ort}} = 0,362 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Toprak ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci (toprakta dış yüzeyin ısı taşınımı yoktur);

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Lambda_2} \rightarrow \frac{1}{\Lambda_2} = 0,395 \text{ m}^2\text{K/W}$$

olarak bulunur. Yalıtım sisteminde yoğunluğu 30 kg/m^3 , ısı iletkenlik değeri (λ) $0,035 \text{ W/mK}$ olan XPS kullanıldığı düşünülmüştür. C1-Blokta kullanılan yakıtın doğalgaz ($\eta = 9525 \text{ W/m}^3$ alt ısıl değeri ve 381.000 TL/m^3 birim fiyatı) ve Eskişehir bölgesi için ısıtma süresinin 210 gün (7 ay 30 gün) olduğu, C1-Bloğun II. işletme sınıfına girdiği için günde 12 saat kazan yakıldığı (kazan verimi %85) ve radyatörün verdiği ısı 120 W/h.dilim (radyatör maliyeti $8.000.000 \text{ TL/dilim}$) olarak kabul edilmiştir. Sabit işçilik giderleri ise serbest piyasadan alınan veriler sonucunda $17.600.000 \text{ TL/m}^2$ olarak bulunmuştur.

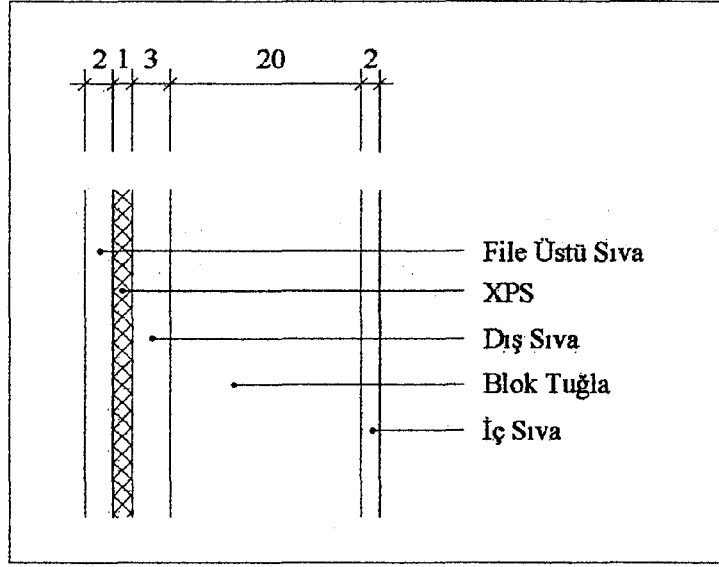
- *Yalıtım kalınlığı 1 cm olduğunda (Şekil 4.11.);*

Hava ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci;

$$\frac{1}{\Lambda_I} = \frac{1}{\Lambda_{ort}} + \frac{d_{YALITIM}}{\lambda_{YALITIM}} + \frac{d_{YALITIMSIVASI}}{\lambda_{YALITIMSIVASI}} = 0,668 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Buradan da (4-2) formülüne göre ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{ort [1]} = 1,193 \text{ W/m}^2\text{K}$$



Şekil 4.11. C1-Bloklarında dıştan ısı yalıtımı sisteminde 1 cm yalıtım malzemesi kullanılması durumunda duvar kuruluşu

İhtiyaç duyulan enerji miktarı ise (4-4) formülü ile (1 m² için);

$$q_I = 1,192 \times (22 - (-12)) = 40,46 \text{ W/h}$$

Toprak ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci;

$$\frac{1}{\Lambda_{II}} = \frac{1}{\Lambda_2} + \frac{d_{YALITIM}}{\lambda_{YALITIM}} + \frac{d_{YALITIMSIVASI}}{\lambda_{YALITIMSIVASI}} = 0,704 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Buradan da (4-2) formülü ile ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{2[II]} = 1,199 \text{ W/m}^2\text{K}$$

İhtiyaç duyulan enerji miktarı ise (4-4) formülü ile (1 m² için);

$$q_{II} = 1,199 \times (22 - 12,9) = 10,91 \text{ W/h}$$

Farklı yapı elemanlarının ortalama ısı ihtiyacı için ise;

$$Q_{ORT} = \frac{(q_1 \times A_1) + (q_2 \times A_2)}{(A_1 + A_2)} = 36,53 \text{ W/K}$$

Yakıt maliyeti (4-11) formülü kullanılarak;

$$M_{YAKIT} = 4.332.000 \text{ TL/yıl}$$

bulunur. Isı kazancı sonunda çıkarılacak radyatör kazancı ve maliyeti

$$K_{RADYATÖR} = (Q - Q_{ORT [1]})/q_{RADYATÖR} = (57,76-36,53)/120 = 0,18 \text{ dilim,}$$

$$M_{RADYATÖR} = K_{RADYATÖR} \cdot F_{RADYATÖR} = 0,18 \times 8.000.000 = 1.440.000 \text{ TL}$$

$$M_{YALITIM} = 17.310.000 \text{ TL.}'dir.$$

- *Yalıtım kalınlığı 2 cm olduğunda (Şekil 4.12.);*

Hava ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci;

$$\frac{1}{\Lambda_I} = \frac{1}{\Lambda_{ort}} + \frac{d_{YALITIM}}{\lambda_{YALITIM}} + \frac{d_{YALITIMSIVASI}}{\lambda_{YALITIMSIVASI}} = 0,965 \text{ m}^2\text{K/W}$$

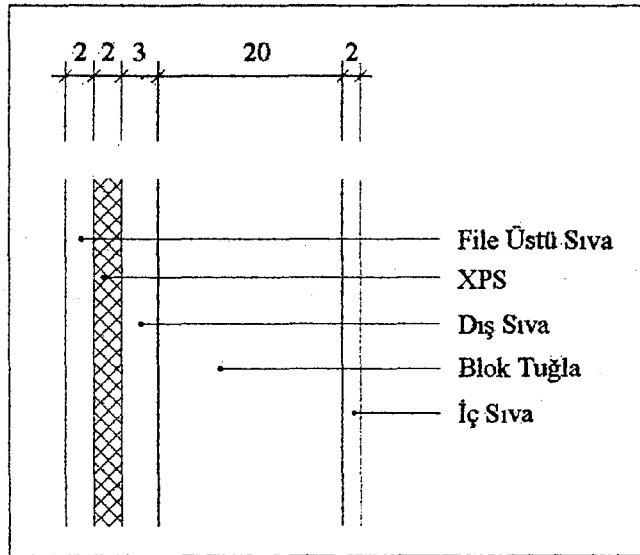
olarak bulunur. Buradan da (4-2) formülü ile ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{ort [1]} = 0,888 \text{ W/m}^2\text{K}$$

hesaplanır. İhtiyaç duyulan enerji miktarı ise (4-4) formülü ile (1 m² için);

$$q_I = 0,888 \times (22 - (-12)) = 30,19 \text{ W/h}$$

olarak bulunur. Toprak ile temas eden duvar elemanlarının toplam ısı iletkenlik direnci;



Şekil 4.12. C1-Bloklarında dıştan ısı yalıtımı sisteminde 2 cm yalıtım malzemesi kullanılması durumunda duvar kuruluşu

$$\frac{1}{\Lambda_{II}} = \frac{1}{\Lambda_2} + \frac{d_{YALITIM}}{\lambda_{YALITIM}} + \frac{d_{YALITIMSIVASI}}{\lambda_{YALITIMSIVASI}} = 0,989 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Buradan da (4-2) formülü ile ısı geçirgenlik katsayısı;

$$U_{2[1]} = 0,894 \text{ W/m}^2\text{K}$$

İhtiyaç duyulan enerji miktarı ise (4-4) formülü ile (1 m² için);

$$q_{II} = 0,894 \times (22 - 12,9) = 8,135 \text{ W/h}$$

Farklı yapı elemanlarının ortalama ısı ihtiyacı için;

$$Q_{ORT} = \frac{(q_1 \times A_1) + (q_2 \times A_2)}{(A_1 + A_2)} = 27,26 \text{ W/K}$$

Yakıt maliyeti (4-11) formülü kullanılarak;

$$M_{YAKIT} = 3.232.000 \text{ TL/yıl}$$

bulunur. Isı kazancı sonunda çıkarılacak radyatör kazancı ve maliyeti ise;

$$K_{RADYATÖR} = (Q - Q_{ORT[1]})/q_{RADYATÖR} = (57,76 - 27,26)/120 = 0,25 \text{ dilim,}$$

$$M_{RADYATÖR} = K_{RADYATÖR} \cdot F_{RADYATÖR} = 0,25 \times 8.000.000 = 2.000.000 \text{ TL}$$

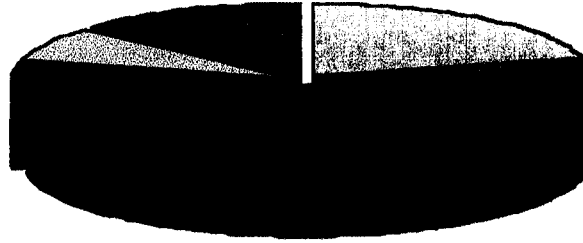
$$M_{YALITIM} = 17.862.000 \text{ TL.}'dir.$$

Önerilen yalıtım malzemeleri için de aynı formüller kullanılarak birim fiyatları değiştirilerek hesaplamalar yapılabilir (Ek-2.).

4.5. Değerlendirme

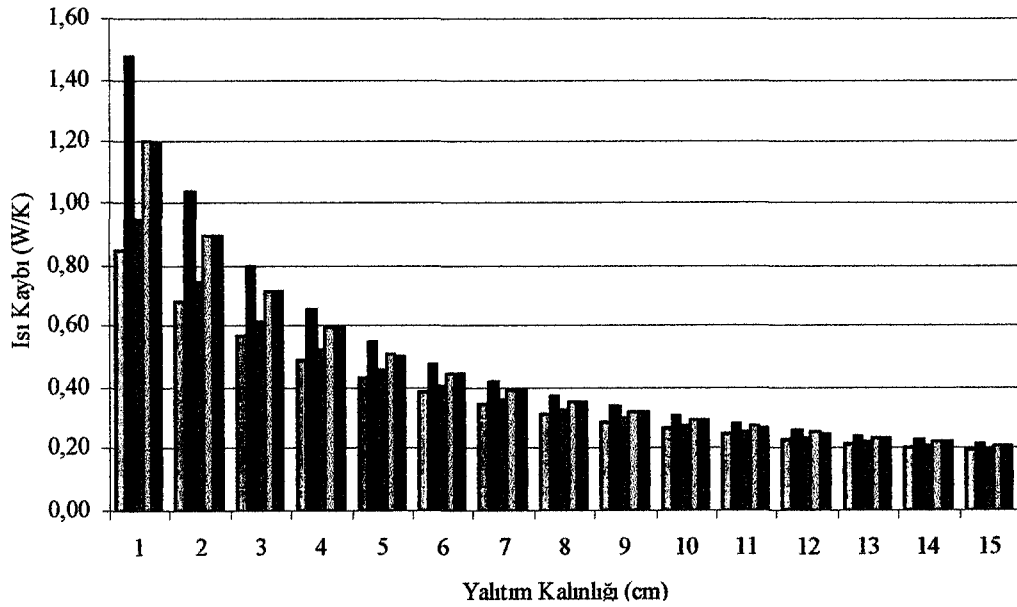
Yapı dış kabuğunu oluşturan elemanlara ısı kayıpları açısından bakıldığında en çok ısı kaybının betonarme elemanlarda olduğu görülmektedir (Şekil 4.13.). Bunun sebebi hem yapı kabuğundaki alanlarının çok fazla olması, hem de ısı iletkenlik katsayısının çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Betonarme elemanlardan sonra en fazla alana sahip olan blok duvarlar ise ısı kayıpları yönünden ikinci sırayı almaktadır. Toprağa temas eden perde duvarlarsa toprak sıcaklığının dış hava sıcaklığından yüksek olmasından dolayı (12,9°C >

-12°C) ısı kayıpları açısından “pencere altındaki duvarlar” ve “perde kolon ve duvarlar” ile birbirine yakın değerlerdedir (toprağa temas eden perde duvarların alanları “pencere altındaki duvarlar” ve “perde kolon ve duvarlardan” fazladır, bkz Çizelge 4.6.). Yapılan hesaplamalar sonucunda; yalıtım kalınlığı doğrusal olarak arttıkça yapı elemanlarındaki ısı kayıplarının eğrisel olarak azaldığı görülmektedir (Şekil 4.14.).



- BLOK DUVAR (%21)
- BETONARME YÜZEYLER (%52)
- PENCERE ALTINDAKİ DUVAR (%6)
- PERDE KOLON ve DUVAR (%8)
- TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI (%13)

Şekil 4.13. C1-Blok dış duvar elemanlarının ısı kayıp yüzdeleri



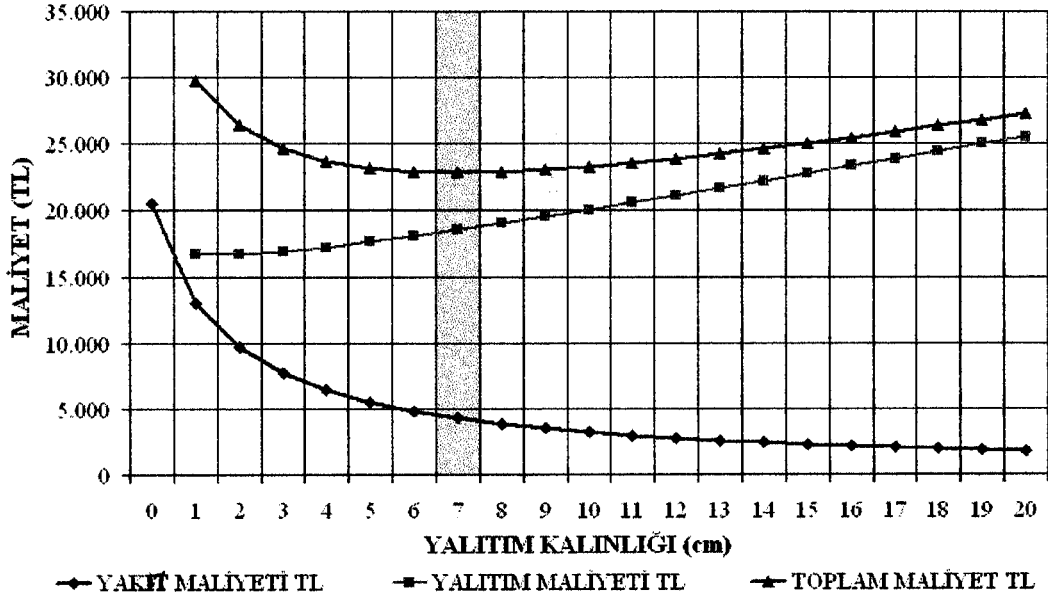
- BLOK DUVAR
- BETONARME YÜZEYLER
- PENCERE ALTINDAKİ DUVAR
- PERDE KOLON ve DUVAR
- TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI

Şekil 4.14. C1-Blok dış duvarlarına ısı yalıtımı yapılması durumunda yapı elemanlarının ısı kayıpları

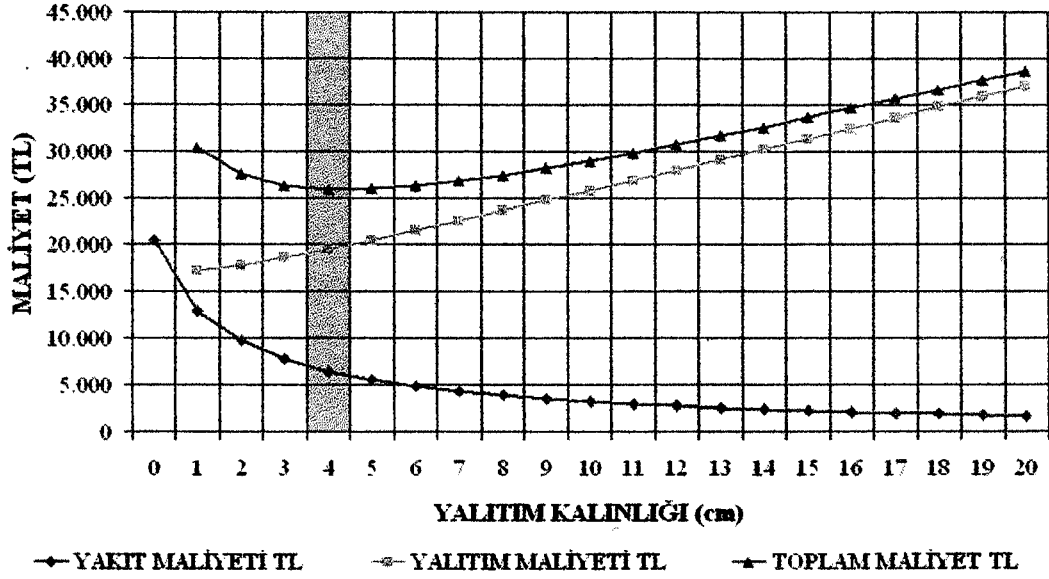
Yapı kabuğunda yakıt ve yalıtım maliyetleri toplamının minimum olduğu nokta optimum ısı yalıtım kalınlığını belirler. Alternatif ısı yalıtım malzemeleri için optimum ısı yalıtım kalınlıkları yalıtım malzemelerinin birim fiyatına göre değişir (Bkz. Ek-2.). Yatırım süresi 3 yıl olarak kabul edildiğinde farklı ısı yalıtım malzemeleri kullanılması durumunda C1-Blok duvarlarında optimum ısı yalıtım kalınlıkları EPS’de 7cm., XPS ve taş yününde 4cm. olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7. ve Şekil 4.15-17.).

Çizelge 4.7. C1-Bloklarında farklı yalıtım malzemelerinin optimum ısı yalıtım kalınlıkları ve standartlara uygunluğu

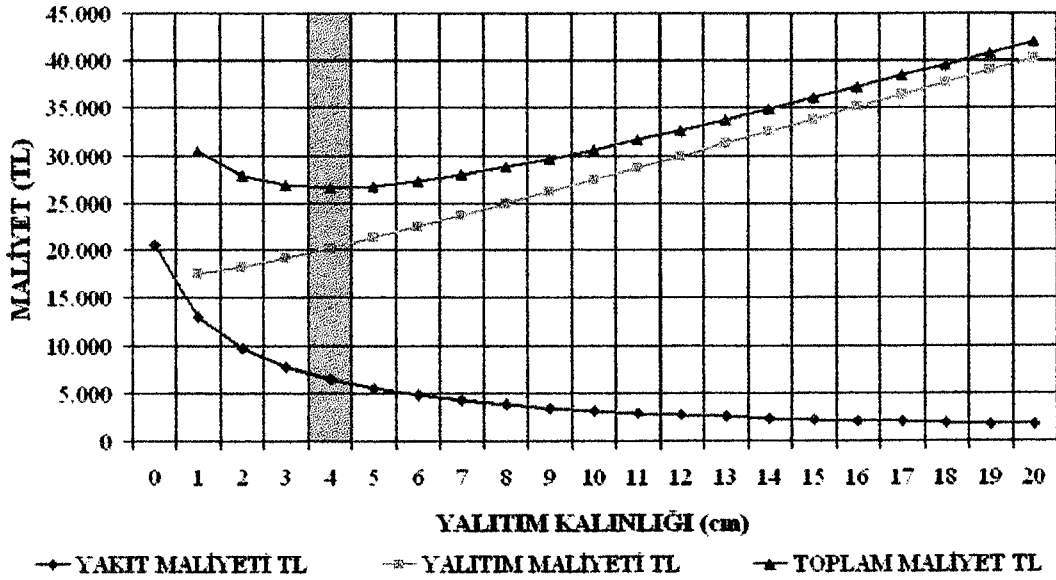
	Optimum Isı Yalıtım Kalınlığı	U (W/m ² K)	TS 825	Almanya Standardı
EPS	7 cm	0,50	Uygun	8 cm
XPS	4 cm	0,59	Uygun değil	
Taş Yünü	4 cm	0,59	Uygun değil	



Şekil 4.15. C1-Blok duvarlarında EPS kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı



Şekil 4.16. C1-Blok duvarlarında XPS kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı



Şekil 4.17. C1-Blok duvarlarında taş yünü kullanıldığında optimum ısı yalıtım kalınlığı

5. SONUÇ

Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketim oranları konut ve sanayide yoğunlaşmakta, ısıtma dönemlerinde ise konutlardaki ısı enerjisi harcamaları daha da artmaktadır. Mekan konforunu sağlamak için, sınırlı olan fosil yakıtların kullanılmasıyla ekolojik dengelerin bozulması ve çevre kirliliğinin artması enerjinin etkin kullanımını ve korunumunu gündeme getirmektedir.

Binalarda enerjinin etkin kullanımı ve korunumu açısından yapı kabuğunun üstlendiği görev oldukça önemlidir. Çünkü yapı kabuğu ve yapı kabuğunda en fazla alana sahip olan duvarlar; sürekli değişen dış atmosfer koşullarından olumsuz etkilenmekte ve gün içinde farklılaşan dış sıcaklığa bağlı olarak farklı ısı geçişleri ile karşılaşmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın ilk bölümünde yapı kabuğundaki ısı konfor şartları ortaya konularak yapı kabuğu elemanları ve özellikleri incelenmiştir. Kullanıcının ısı konforunu doğrudan etkileyen dış duvarlarda; iç yüzey sıcaklığı ile iç ortamdaki hava sıcaklık farkını azaltmak amacıyla ısı yalıtımı yapılmasının uygun olacağı bilinmektedir. Dolayısıyla Çalışmanın ikinci bölümünde de yapılması gereken ısı yalıtımı için yalıtım malzemeleri ve özellikleri ile yapı kabuğu elemanlarındaki ısı yalıtımı uygulamaları ve bu uygulamaların avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir.

Bu değerlendirmelere göre ısı yalıtımının uygulanacağı binalarda;

- Yapı kabuğu tasarımı,
- Yapı kabuğu elemanları ve yapı elemanlarının alanları ,
- Yapı kabuğu kuruluşu,
- Yapı bileşenleri ve termofiziksel özellikleri,
- Yapı bileşen kalınlıkları

büyük önem kazanmakta, buna bağlı olarak da ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik hazırlanan iyileştirme projelerinde ısı yalıtımı uygulanmadan önce;

- Isı yalıtım sistemi ve yalıtım malzemelerinin seçilmesi,
- Yalıtım kalınlık alternatiflerinin ortaya konulması,
- Yapı kabuğunun toplam ısı kayıp ve kazanç oranlarına göre maliyet analizi yapılması,

- Amortisman süreleri göz önünde bulundurularak optimum ısı yalıtım kalınlıklarının önerilmesi

kullanıcının ısı konforu ile enerjinin etkin kullanımı ve korunumu açısından oldukça önemli kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan bu araştırmalar doğrultusunda tezin son bölümünde Anadolu Üniversitesi Lojmanları C1-Bloğu'nun dış duvarlarında ısı konforu sağlamak için ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik iyileştirme projesi hazırlanmış ve yapı kabuğunda meydana gelen ısı kayıpları (dış sıcaklık -12°C kabul edilerek) analiz edilmiştir (iskelet konstrüksiyona sahip C1-Bloğu dış duvarlarında 29cm.lik yatay delikli blok tuğla ve pencere altındaki duvarlarda 19cm.lik yatay delikli blok tuğla ile 9cm.lik dekoratif tuğla kullanılmıştır). İyileştirme projesinde ısı köprüleri sorunlarına daha doğru çözümler getiren dıştan yalıtım sistemi seçilmiştir. Fakat dördüncü katta giriş seviyesinde çörlenlerin oluşturduğu ısı köprülerini önlemek için ve toprağa temas eden duvarlarda yapı kabuğu dış yüzeyine müdahale edilemeyeceği için bu bölgelerde içten yalıtım sistemi tercih edilmiştir. Laboratuvar şartlarında elde edilen teknik özellikler (basınca dayanım, yangın, ısı iletkenlik ve su buharı difüzyon direnci vs) göz önüne alınarak, expande (EPS) ile extrude (XPS) polistren sert köpükleri ve taş yünü, ısı yalıtım malzemeleri olarak önerilmiştir. Önerilen ısı yalıtım malzemelerinin farklı kalınlıklarda uygulanması durumunda yapı kabuğunda meydana gelecek ısı kayıp ve kazanç oranları hesaplanarak, maliyet analizleri yapılmıştır (önerilen ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değeri aynı kabul edilerek ($0,035 \text{ W/mK}$) yalıtım kalınlığı 5cm. olduğunda, III. bölgede bulunan C1-Bloğu'nun dış duvarları $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'lik ısı geçirgenlik katsayısı ile TS 825'e uygunluk göstermektedir). Ortaya çıkan maliyet analizlerine göre de amortisman süresi 3 yıl kabul edilerek optimum ısı yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, iyileştirme projesinde önerilen EPS, XPS ve taş yünü ısı yalıtım malzemelerinin birim fiyatları birbirinden farklı olduğu için, maliyet grafiklerinde toplam maliyetin minimum olduğu noktalar değişiklik göstermiş ve optimum ısı yalıtım kalınlıkları EPS'de 7 cm., XPS ve taş yününde 4 cm. olarak bulunmuştur. Ayrıca yakıt maliyeti kazancına bağlı olarak XPS ve taş yününe göre daha ucuz olan EPS kullanılması durumunda yatırımın geri ödeme süresinde belirli bir oranda azalma olacağı da görülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1]. GÖKSAL, T., *Ekomimari öncüsü bir kent., Freiburg, Arredamento Dergisi*, 11, 125-130 (1999)
- [2]. TOYDEMİR, N., GÜRDAL, E. ve TANAÇAN L., *Yapı Elemanları Tasarımında Malzeme*, Literatür Yayıncılık, İstanbul (2000)
- [3]. GÖKSAL, T. ve ÜLGEN, K., *Güneş ve Mimari Bağlamında Enerji Korunumlu Cephe Kuruluşlarında Isıl Davranışların Deneysel Araştırılması*, Anadolu Üniversitesi Araştırma Projesi, Proje No: 980 207 34, 39-45, 55, Eskişehir (2000)
- [4]. KAHRAMAN, F., *Isı Tutucu Malzemeler ve Yapılarda Uygulanma Olanaklarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1999)
- [5]. EVCİL, N., *Isı İzolasyonu ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1999)
- [6]. GÖKSAL, T., *Enerji Korunumlu Binalarda Dış Duvar Kuruluşları*, III. Ulusal Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt 1, 233-240, İstanbul (2000)
- [7]. KARAKOÇ, H., BİNYILDIZ, E. ve TURAN, O., *Binalarda ve Tesisatta Isı Yalıtımı*, ODE Teknik Yayınları No; G20, 78-79, İstanbul (1999)
- [8]. KARAKOÇ, H., *Enerji Ekonomisi*, Demirdöküm Teknik Yayınları, İstanbul (1997)
- [9]. YILDIZ, A., *Konut Dış Duvarlarında Isı Yalıtımı Sürekliliğinin Sağlanması Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1998)
- [10]. YÜCESOY, L., *Temeller, Duvarlar, Döşemeler*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul (2000)
- [11]. ROUSSEAU, M.Z., National Research Council of Canada, Building Science Insight, *Windows: Overview of Issues*, http://www.nrc.ca/irc/bsi/88-1_E.html (2001)

- [12]. BROWN, W.C. ve RUBERG, K., National Research Council of Canada , Building Science Insight, *Window Performance Factors*, http://www.nrc.ca/irc/bsi/88-2_E.html (2001)
- [13]. SEZEN, Y. ve GENCELİ, O. F. *Ashare Pencere Tasarımı*, 20-22, Cem Ofset (1998)
- [14]. TÜRKÇÜ, Ç., Yapım, Birsen Yayınevi (2000)
- [15]. HEDLİN, C., National Research Council of Canada, Building Science Insight, *Performance of Roofing Components and Systems*, http://www.nrc.ca/irc/bsi/89-1_E.html (2001)
- [16]. ÇÖLHAN, N. A., *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın Eski Isı Yalıtımı Yönetmeliği'nde Önerdiği Tip Döşeme Kesitlerinin Değerlendirilmesi, Yeni Yönetmelik ve TS 825'e Göre Yeniden Önerilmeler*, Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2001)
- [17]. ALTUN, M. C., *Yoğuşma Kontrolü İçin TS 825'te Önerilen Yöntemin Değerlendirilmesi*, İzolasyon Dünyası Isı, Ses, Su ve Yangın İzolasyonu Dergisi, **24**, 8-18, İstanbul (2000)
- [18]. ODE Mühendislik Çalışmaları 6, *Bina Kabukları* (1997)
- [19]. ÖZER, M., Yapılarda Isı-Su Yalıtımları 1, *Yapı Fiziksel Tanım Hesaplama Esasları*, Özer Yayınları 3 (1982)
- [20]. PARMAKSIZOĞLU, C., *Konutlarda ve Sanayide Isı Yalıtımı ve Enerji Tasarrufu*, İYEM (İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi) ISI-A Eğitim Semineri Kitapçığı, İzmit (2002)
- [21]. ERTAŞ, K., *Yapı Bileşenlerinde Buhar Difüzyonu Hesap Metodu*, İzolasyon Dünyası Isı, Ses, Su ve Yangın İzolasyonu Dergisi, **24**, 40-47 (2000)
- [22]. ÖZGÜÇ, F. ve GENCELİ O. F., *Ashrae Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler-Esasları Temel El Kitabı*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları 2, 16-22, İstanbul (2000)
- [23]. BİLGE, D., BİLGE M., HEPERKAN H. A., *Yapı Malzemelerinde Buhar Difüzyonu Prosesinin İrdelenmesi*, IV. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilim ve Teknoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 149-161, İstanbul (2000)

- [24]. PEHLEVAN, A., *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının Yoğuşma ve Buharlaşma Süreleri Açısından Değerlendirilmesi*, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 443-457, Makine Mühendisleri Odası Yayını, İzmir (2001)
- [25]. ÖZGÜÇ, F. ve GENCELİ O. F., *Ashrae Isı Yalıtımı ve Buhar Kesiciler-Uygulamaları Temel El Kitabı*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları 2, 1-3, İstanbul (1998)
- [26]. HEPERKAN, A. Ç., BİRCAN M. M. ve SEVİNDİR M. K., *Yapı Malzemelerinde Buhar Difüzyonu ve Yoğuşma*, Yalıtım Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi, 35, 50-55, İstanbul (2002)
- [27]. URALCAN, Y. ve GENCELİ O. F., *Ashrae Hava Sızması ve Havalandırması Temel El Kitabı*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları 2, 13-19, İstanbul (1999)
- [28]. HASOL, D., *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul (1993)
- [29]. REMAN, O., *Isı, Su İzolasyon Malzemelerinin Sınıflandırılması, Özellikleri, Soru ve Seçim Kriterleri*, Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi, 23, 41-50, İstanbul (2001)
- [30]. DİLMAÇ, Ş. TEPEHAN, F. ve EĞRİCAN, N., *Saydam Yalıtım Malzemelerinin Enerji Tasarrufuna Katkıları*, 21. Yüzyılda Her Yönüyle Enerji Sempozyumu, 771-780, İstanbul (1994)
- [31]. ROAF, S. ve HANCOCK, M., *Energy Efficient Building, A Design Guide*, Blackwell Scientific Publications, Oxford (1992)
- [32]. SOLF, K.D. ve WIEL, B.V.D., *Transparent Insulation, Grade 10/1998 Project Model Transparent Materials*,
<http://www.fis.edu/gr10/grade10/gr10proj98/Bazmodel/essay2.htm> (2001)
- [33]. GÖKSAL, T., *Mimaride Saydam Yalıtım Uygulamaları Düşük Enerjili Binalardan Örnekler*, XII. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 315-320, Sakarya (2000)
- [34]. ELMAHDY, A. H. ve COMICK, S. M., National Research Council of Canada, Building Science Insight, *New Technology in The Window Industry*,
http://www.nrc.ca/irc/bsi/88-5_E.html (2001)

- [35]. DAĞSÖZ, A. K. *Türkiye'de Yapıların Yalıtımı ve Yalıtım Sanayinin Durumu*, İstanbul Ticaret Odası Yayını, İstanbul (1999)
- [36]. PEHLEVAN, A., *Difüzyon Tekniği Açısından Ortadan Isı Yalıtımlı Dış Duvarlar*, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir Makine Mühendisleri Odası, İzmir (2001)
- [37]. PERREAULT, J.C., National Research Council of Canada , Building Science Insight, *Air Barrier Systems: Construction Applications*, http://www.nrc.ca/irc/bsi/86-4_E.html (2001)
- [38]. DAĞSÖZ, A. K., *Türkiye'de Derece-Gün Sayıları Ulusal Enerji Tasarrufu Politikası ve Yapılarda Isı Yalıtımı Kitabı*, Çelik Ofset, İstanbul (1995)
- [39]. İZOCAM Tesisat Yalıtımı CD'si, *Cam Yünü Ürünler*, İzopan Levha Hakkında Bilgi
- [40]. DAĞSÖZ, A. K., *Enerji Darboğazını Atlatmak İçin Enerji Tasarrufu Önlemleri Kitabı*, İ.T.Ü., İstanbul (2001)
- [41]. CARMODY, J. SELKOWITZ, S., HESCHONG, L., *Residential Windows*, W.W. Norton Company, New York, London (1996)
- [42]. SEZEN, Y. ve GENCELİ, O. F. *Pencere Tasarımı Ashrae Temel El Kitabı*, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları 2, İstanbul (Ekim 1998)
- [43]. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (Ankara), *Binalarda Isı Kayıplarının Azaltılması, Binalarda Enerji Tasarrufu Serisi 3*, Ankara (Ağustos 1992)
- [44]. KORKMAZ, G., *Çatılarda Isı Yalıtımı*, İzolasyon Dünyası Dergisi, Sayfa 36-39 (Temmuz-Ağustos 2000),
- [45]. KORKMAZ, G., *Çatılarda Isı Yalıtımı, Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi*, Sayı 33, Sayfa 42-43, İstanbul (Kasım-Aralık 2001)

**EK-1 C1 Bloğu Dış Duvarlarının Mevcut ve Isı Yalıtımı Uygulanması
Durumundaki Isı Kayıpları**

	Mevcut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BLOK DUVAR	0,872	0,847	0,682	0,571	0,491	0,430	0,383	0,345	0,314	0,288	0,267
BETONARME YÜZEYLER	0,370	1,473	1,037	0,800	0,651	0,549	0,474	0,418	0,373	0,337	0,308
PENCERE ALTINDAKİ DUVAR	0,745	0,949	0,746	0,615	0,523	0,455	0,403	0,361	0,327	0,299	0,276
PERDE KOLON ve DUVAR	0,523	1,203	0,895	0,713	0,592	0,507	0,442	0,393	0,353	0,321	0,294
TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI	0,526	1,198	0,893	0,711	0,591	0,506	0,442	0,392	0,353	0,320	0,294

	Mevcut	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BLOK DUVAR	0,872	0,248	0,231	0,217	0,204	0,193	0,183	0,174	0,166	0,158	0,151
BETONARME YÜZEYLER	0,370	0,283	0,262	0,243	0,228	0,214	0,201	0,190	0,181	0,172	0,164
PENCERE ALTINDAKİ DUVAR	0,745	0,256	0,238	0,223	0,210	0,198	0,187	0,178	0,169	0,161	0,154
PERDE KOLON ve DUVAR	0,523	0,271	0,252	0,235	0,220	0,207	0,195	0,185	0,176	0,167	0,160
TOP. TEMAS EDEN BODRUM DUVARI	0,526	0,271	0,251	0,235	0,220	0,207	0,195	0,185	0,176	0,167	0,160

EK-2 C1 Bloğu Dış Duvar Elemanlarında EPS, XPS ve Taş Yünü Kullanılması Durumunda Yakıt ve Yalıtım Maliyetleri

EPS	Yalıtım Kalınlığı (cm)	Mevcut	1	2	3	4	5	6	7
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	20.549	12.995	9.696	7.733	6.431	5.504	4.811	4.273
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)		16.758	16.714	16.920	17.250	17.651	18.095	18.568
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)		29.754	26.411	24.654	23.682	23.155	22.906	22.841
	Yalıtım Kalınlığı (cm)	8	9	10	11	12	13	14	15
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	3.843	3.492	3.199	2.952	2.740	2.557	2.396	2.255
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)	19.061	19.570	20.089	20.616	21.151	21.690	22.234	22.782
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)	22.904	23.061	23.288	23.568	23.891	24.247	24.631	25.037

XPS	Yalıtım Kalınlığı (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	20.549	12.995	9.696	7.733	6.431	5.504	4.811	4.273
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)		17.332	17.862	18.642	19.546	20.521	21.539	22.586
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)		30.328	27.559	26.376	25.978	26.025	26.350	26.859
	Yalıtım Kalınlığı (cm)	8	9	10	11	12	13	14	15
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	3.843	3.492	3.199	2.952	2.740	2.557	2.396	2.255
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)	23.653	24.736	25.829	26.930	28.039	29.152	30.270	31.392
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)	27.496	28.227	29.028	29.882	30.779	31.709	32.667	33.647

Taş Yünü	Yalıtım Kalınlığı (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	20.549	12.995	9.696	7.733	6.431	5.504	4.811	4.273
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)		17.496	18.190	19.134	20.202	21.341	22.523	23.734
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)		30.492	27.887	26.868	26.634	26.845	27.334	28.007
	Yalıtım Kalınlığı (cm)	8	9	10	11	12	13	14	15
	YAKIT MALİYETİ (TL/m ²)	3.843	3.492	3.199	2.952	2.740	2.557	2.396	2.255
	YALITIM MALİYETİ (TL/m ²)	24.965	26.212	27.469	28.734	30.007	31.284	32.566	33.852
	TOPLAM MALİYET (TL/m ²)	28.808	29.703	30.668	31.686	32.747	33.841	34.963	36.107