İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KORUNUMU AÇISINDAN DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Behiye Burcu YEŞİLDAL

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : FİZİKSEL ÇEVRE KONTROLÜ

MAYIS 2002

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ KORUNUMU AÇISINDAN DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMININ İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Behiye Burcu YEŞİLDAL
(502001505)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : **Doç.Dr.Gül KOÇLAR ORAL**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr.Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü.)**
Yrd.Doç.Dr. Leyla TANAÇAN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ısıtma ve soğutma enerjisi korunumu açısından dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımının irdelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarıyla bana yön veren ve destekleyen, değerli hocam, Doç. Dr. Gül KOÇLAR ORAL'a ve son kontroller aşamasında bana yardımcı olan Araş. Gör. Ş. Filiz AKŞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her konuda beni destekleyen, güven veren ve daima yanımda olan sevgili ağabeyim Tolga YEŞİLDAL'a, çalışmalarım boyunca yanımda olamasalar da yokluklarını hissettirmeyen sevgili anne ve babam Nesrin ve Kazım YEŞİLDAL'a ve bana destek olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Mayıs, 2002 B. Burcu YEŞİLDAL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ viii
SEMBOL LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
SUMMARY xvi

1. GİRİŞ 1

2. DIŞ DUVARLARDA ENERJİ KORUNUMU 3

3. DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMI 7

3.1. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Tanımlanması 8

3.2. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması 10

3.2.1. Optik Özellikleri Değişken Saydam Yalıtım Malzemeleri 10
3.2.1.1. Elektrokromik Malzemeler 11
3.2.1.2. Fotokromik Malzemeler 11
3.2.1.3. Termokromik Malzemeler 11
3.2.2. Optik Özellikleri Sabit Saydam Yalıtım Malzemeleri 11
3.2.2.1. Emici Yüzeye Paralel Düzenlenen Malzemeler 12
3.2.2.2. Emici Yüzeye Dik Düzenlenen Malzemeler 13
3.2.2.3. Hücresel Yapıda Malzemeler 16
3.2.2.4. Yarı Homojen Malzemeler 17

3.3. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Uygulama Alanları 23

3.3.1. Pasif Sistem Olarak İşlev Gören Bina Cepheleri 23
3.3.2. Gün Işığı Elemanları 24
3.3.3. Binaların Enerji Etkin Yenilenmesi 28
3.3.4. Hava Taşıyıcılı Kollektörler 30

3.4. Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Malzemelerinin Kullanımı 31

4. ENERJİ KORUNUMU AÇISINDAN DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMININ İRDELENMESİ İÇİN ELE ALINAN YAKLAŞIM 41

4.1. Yaklaşımın Amacı 41

4.2. Yaklaşımın Adımları **41**

4.2.1. Tasarımın Dayandırıldığı Karakteristik Günlerin Belirlenmesi 41
4.2.2. Tasarımın Dayandırıldığı Dış Koşulların Belirlenmesi 41
4.2.3. Tasarımın Dayandırıldığı İç Koşullarının Belirlenmesi 41
4.2.4. Dış Duvar Tasarımında Rol Oynayan Diğer Yapma Çevreye İlişkin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi 42
4.2.5. Dış Duvar Katmanlaşma Alternatiflerinin Belirlenmesi 43
4.2.6. Dış Duvar Alternatiflerinin Toplam Isı Geçirme Katsayılarının Hesaplanması 43
4.2.7. Belirlenen Dış duvar Alternatifleri İçin Isıtmanın İstendiği Dönem Süresince Kaybedilen ve Soğutmanın İstendiği Dönem Süresince Kazanılan Isı Miktarlarının Hesaplanması 44
4.2.8. Belirlenen Dış Duvar Alternatiflerinin Kaybedilen ve Kazanılan Isı Miktarları Açısından Karşılaştırılması 46

5. ELE ALINAN YAKLAŞIMIN İSTANBUL YÖRESİNE UYGULANMASI 47

5.1. Uygulama Çalışmasının Amacı **47**

5.2. Uygulama Çalışmasının Adımları **47**

5.2.1. Tasarımın Dayandırıldığı Karakteristik Günlerin Belirlenmesi 47
5.2.2. Tasarımın Dayandırıldığı Dış Koşulların Belirlenmesi 47
5.2.3. Tasarımın Dayandırıldığı İç Koşullarının Belirlenmesi 48
5.2.4. Dış Duvar Tasarımında Rol Oynayan Diğer Yapma Çevreye İlişkin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi 48
5.2.5. Dış Duvar Katmanlaşma Alternatiflerinin Belirlenmesi 50
5.2.6. Dış Duvar Alternatiflerinin Toplam Isı Geçirme Katsayılarının Hesaplanması 51
5.2.7.Belirlenen Dış Duvar Alternatifleri İçin Isıtmanın İstendiği Dönem Süresince Kaybedilen ve Soğutmanın İstendiği Dönem Süresince Kazanılan Isı Miktarlarının Hesaplanması 51
5.2.8.Belirlenen Dış Duvar Alternatiflerinin Kaybedilen ve Kazanılan Isı Miktarları Açısından Karşılaştırılması 51

6. BULGULAR **52**

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **58**

KAYNAKLAR **60**

EKLER **63**

Ek A **64**
Ek B **72**

ÖZGEÇMİŞ **109**

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinin özellikleri..... 15
Tablo 3.2. Saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanlarının özellikleri…….. 26
Tablo 3.3. Saydam yalıtım malzemeleri kullanılan gün ışığı elemanlarının optik ve termofiziksel özellikleri…….. 27
Tablo 5.1 Döşemenin katmanlaşma detayı…….. 50
Tablo 5.2. İç duvarın katmanlaşma detayı……. 50
Tablo 6.1. Isıtmanın istendiği dönemde, önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı kayıplarının karşılaştırılması (21 Ocak)……. 53
Tablo 6.2. Soğutmanın istendiği dönemde, önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı kazançlarının karşılaştırılması (21 Temmuz)……. 54
Tablo 6.3. Saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatiflere göre ısıtma enerjisine katkılarının karşılaştırılması (21 Ocak)…… 55
Tablo 6.4. Saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatiflere göre soğutma enerjisine katkılarının karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 56
Tablo A.1. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri…… 64
Tablo A.2. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri…… 65
Tablo A.3. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri…… 66
Tablo A.4. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri…… 67
Tablo A.5. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri…… 68
Tablo A.6. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri……. 69
Tablo A.7. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri……. 70
Tablo A.8. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri……. 71
Tablo B.1. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 73
Tablo B.2. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 73
Tablo B.3. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 74

Tablo B.4. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 74
Tablo B.5. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 75
Tablo B.6. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…… 75
Tablo B.7. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….… 76
Tablo B.8. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 76
Tablo B.9. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)……. 77
Tablo B.10. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…….. 77
Tablo B.11. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)……. 78
Tablo B.12. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)…… 78
Tablo B.13. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)……. 79
Tablo B.14. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 79
Tablo B.15. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 80
Tablo B.16. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…….. 80
Tablo B.17. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)……. 81
Tablo B.18. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…….. 81
Tablo B.19. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)……. 82

Tablo B.20. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 82
Tablo B.21. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 83
Tablo B.22. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 83
Tablo B.23. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)…… 84
Tablo B.24. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz) …… 84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. **:** Optik özellikleri sabit saydam yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması..... 12
Şekil 3.2. **:** Polimetilmetakrilat esaslı kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi..... 14
Şekil 3.3. **:** Kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinde üretim düzensizlikleri……. 15
Şekil 3.4. **:** Hücresel yapıda saydam yalıtım malzemeleri..……... 16
Şekil 3.5. **:** Cam elyafı.....17
Şekil 3.6. **:** Silika aerojelin gözenekli yapısı……. 18
Şekil 3.7. **:** Silika aerojel……... 19
Şekil 3.8. **:** Silika aerojelin ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluk değişimi değerleri……... 20
Şekil 3.9. **:** Monolitik silika aerojelin güneş ışınımı geçirgenliği……. 21
Şekil 3.10. **:** Granül silika aerojel dolgulu camın şematik gösterimi…….. 22
Şekil 3.11. **:** Saydam yalıtım camlarının güneş ışınımı geçirgenliği…….. 22
Şekil 3.12. **:** Kapiler veya balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanı……... 25
Şekil 3.13. **:** Granül silika aerojel dolgulu camların performansı……. 28
Şekil 3.14. **:** Hava taşıyıcılı kollektör…….. 30
Şekil 3.15. **:** Opak ve saydam yalıtımın çalışma prensipleri……... 31
Şekil 3.16. **:** Trombe duvarı…… 32
Şekil 3.17. **:** Saydam yalıtılımış pasif ısı depolama duvarının temel prensibi…… 33
Şekil 3.18. **:** Düşük enerjili bina cephesi, Freiburg……. 35
Şekil 3.19. **:** Kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi uygulanan bina cephesi.. 35
Şekil 3.20. **:** Villa Tannheim, ISES Genel Merkezi Binası, Freiburg, Almanya… 36
Şekil 3.21. **:** Villa Tannheim binasının saydam yalıtılmış duvar yüzeyi…… 36
Şekil 3.22. **:** Saydam yalıtım malzemesi uygulanan büro binası cephesi……... 37
Şekil 3.23. **:** Balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılarak üretilen saydam yalıtım camları……. 38
Şekil 3.24. **:** Kripton gaz dolgu ve düşük yayınımlı (low-e) kaplama kullanılan saydam yalıtım camı..... 38
Şekil 3.25. **:** Akrilik kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi……. 39
Şekil 3.26. **:** Saydam yalıtım camının şematik kesiti…….. 39
Şekil 3.27. **:** Saydam yalıtım malzemesinin dış duvara uygulanması…… 40
Şekil 5.1. **:** Ataşehir 64 no'lu yapı adasında bulunan A-2 Blok'daki bir dairenin yaşama hacminin plan ve kesiti…… 49
Şekil B.1. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 73

Şekil B.2. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 73
Şekil B.3. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 74
Şekil B.4. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 74
Şekil B.5. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…….. 75
Şekil B.6. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 75
Şekil B.7. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 76
Şekil B.8. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 76
Şekil B.9. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 77
Şekil B.10. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 77
Şekil B.11. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…….. 78
Şekil B.12. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)…… 78
Şekil B.13. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 79

Şekil B.14. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 79
Şekil B.15. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 80
Şekil B.16. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)……... 80
Şekil B.17. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…… 81
Şekil B.18. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 81
Şekil B.19. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 82
Şekil B.20. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…… 82
Şekil B.21. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 83
Şekil B.22. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)……..83
Şekil B.23. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 84
Şekil B.24. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)…….. 84
Şekil B.25. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 85

Şekil B.26. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 86
Şekil B.27. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 87
Şekil B.28. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kaybedilen ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 88
Şekil B.29. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kaybedilen ısı miktarlarının saatlere göre değişimi……. 89
Şekil B.30. **:** Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumundadış duvardan kaybedilen ısı miktarlarının saatlere göre değişimi……. 90
Şekil B.31. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 91
Şekil B.32. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 92
Şekil B.33. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 93
Şekil B.34. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 94
Şekil B.35. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 95
Şekil B.36. **:** Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/ kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…… 96
Şekil B.37. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 97
Şekil B.38. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….. 98
Şekil B.39. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi……. 99
Şekil B.40. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….100
Şekil B.41. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….101

Şekil B.42. **:** Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/ kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi……...102
Şekil B.43. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….103
Şekil B.44. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….104
Şekil B.45. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….105
Şekil B.46. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….106
Şekil B.47. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….107
Şekil B.48. **:** Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi…….108

SEMBOL LİSTESİ

r : Dış duvarın yansıtıcılık katsayısı
U_o : Dış duvarın toplam ısı geçirme katsayısı
λ : Isı iletkenlik katsayısı
ρ : Yoğunluk
c : Özgül ısı
f : Genlik küçültme faktörü
t_{oim} : Dış duvarın maksimum iç yüzey sıcaklığı
t_{oio} : Dış duvarın iç yüzey sıcaklıklarının günlük ortalama değeri
t_{odm} : Dış duvarın maksimum dış yüzey sıcaklığı
t_{odo} : Dış duvarın dış yüzey sıcaklıklarının günlük ortalama değeri
Λ : Isı geçirgenliği
τ : Saydam yalıtım malzemesinin güneş ışınımı geçirgenliği
g : Toplam enerji geçirgenliği
t_{iyo} : Kabuk elemanı iç yüzey sıcaklığının iklimsel konfor açısından izin verilebilir sınır değeri
t_i : İç hava sıcaklığı konfor değeri
α_i : İç yüzeysel ısı iletim katsayısı
α_d : Dış yüzeysel ısı iletim katsayısı
$1/\Lambda$: Isı geçirgenlik direnci
q : Kabuk elemanının birim alanından geçen ısı miktarı
t_{oi} : Dış duvarın ele alınan saatteki iç yüzey sıcaklığı
x : Saydamlık oranı
t_{ci} : Saydam bileşenin iç yüzey sıcaklığı
a_1 : Dış duvarın iç yüzeyindeki malzemenin ısıl yayınım katsayısı
b : Dış duvarın iç yüzeyinin hacmin saydam bileşenlerinden geçen güneş ışınımını yutuculuk katsayısı
S_i : Hacimdeki tüm saydam bileşenlerden geçen güneş ışınımının, ele alınan kabuk elemanının iç yüzeyini etkileyen yeğinliği
t_2 : Dış duvarın içerisinde duvarın iç yüzeyinden (Δx) m kadar içerideki noktanın ($T-\Delta T$) anındaki sıcaklığı
U_c : Saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı
t_{ec} : Saydam bileşeni ele alındığı anda etkileyen sol-air sıcaklık
I_d : Saydam bileşeni ele alındığı anda etkileyen direkt güneş ışınımı yeğinliği
I_Y : Saydam bileşeni ele alındığı anda etkileyen yaygın güneş ışınımı yeğinliği
F_s : Camın diğer tarafından gölgelenmiş alanın tüm cam alanına oranı
Q_{duv} : Dış duvardan geçen günlük toplam ısı miktarı
Q_{top} : Dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından geçen günlük toplam ısı miktarı
τ_D : Camın direkt güneş ışınımı geçirgenliği
τ_Y : Camın yaygın güneş ışınımı geçirgenliği

ÖZET

Bina dışı çevresel iklim koşulları zamana bağlı olarak değiştiğinden, yıl boyunca, iklimsel konfor koşullarının tamamının doğal olarak karşılanması olanaksızdır ve yılın belirli dönemlerinde ek yapma ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarına gereksinim vardır. Yapma ısıtmada ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarının yetersiz oluşu, enerji ekonomisinin zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır.

Ayrıca, kullanılan yapma enerji kaynaklarının neden olduğu insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşan kirliliğin önlenmesi için önerilen önlemlerin pahalı olması da iklimsel konforun sağlanması için minimum yapma enerji kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Binalarda kullanılan yapma ısıtma ve soğutma sistemlerinin beraberinde getirdiği enerji harcamalarını minimuma indirebilmek için, dış duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanının mümkün olabildiğince pasif sistemler olarak çalışması sağlanmalıdır.

Dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının pasif sistem olarak gösterdiği performansın arttırılmasında dış duvarlarda kullanılan yalıtımın önemi bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışma, ısıtma ve soğutma enerjisi korunumu açısından, bina dış duvarlarında saydam yalıtım kullanımının irdelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bir binanın yaşama hacminin dış duvarına farklı kalınlıklarda saydam yalıtım uygulanarak dış duvarın ısıl performansı incelenmiştir. Isıtmanın istendiği dönemdeki (21 Ocak) ısı kayıpları ve soğutmanın istendiği dönemdeki (21 Temmuz) ısı kazançları hesaplanarak sonuçlar tablo ve şekiller aracılığı ile karşılaştırılmıştır.

Bu amaca uygun olarak ele alınan yaklaşım, İstanbul Ataşehir 64 no'lu yapı adasında yer alan bir konutun yaşama hacmi için uygulanmıştır. Çalışma, 7 ana bölüm ve ekler bölümünden oluşmaktadır.

Bölüm 1'de genel olarak saydam yalıtımın kullanımının önemi vurgulanmıştır.

Bölüm 2'de, enerji ekonomisinin gerekliliği açıklanarak dış duvarlarda enerji korunumundan bahsedilmiştir.

Bölüm 3'de, saydam yalıtımın uygulama alanları, sınıflandırılması ve özelliklerine değinilerek dış duvarda saydam yalıtım kullanımı üzerinde durulmuştur.

Bölüm 4'de, enerji korunumu açısından dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımının irdelenmesinde ele alınan yaklaşımın adımları açıklanmıştır.

Bölüm 5'de, ele alınan bu yaklaşımın İstanbul yöresi için uygulanması ve bu uygulamanın adımları anlatılmıştır.

Bölüm 6'da, yaklaşımın uygulanması sonucu ortaya çıkan bulgular açıklanmıştır.

Bölüm 7'de ise enerji korunumu açısından dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımı konusunda yapılan çalışmaya ilişkin sonuç ve öneriler geliştirilmiştir.

Ekler bölümünde, dış duvar katmanlaşma alternatifleri detayları ve bu alternatiflerin ısı geçişine ilişkin fiziksel özelliklerini gösteren tablolar yer almaktadır. Çalışmada kullanılan yaklaşımın uygulanması sonucu ortaya çıkan bulgulara ait değerlendirme tablo ve şekilleri de bu bölümde yer almaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda, ileri teknoloji ürünü olan saydam yalıtım malzemelerinin, binanın ısısal performansı üzerinde çok olumlu bir etkisi olduğu görülmektedir. Yurt dışında enerji korunumu amacıyla dış duvarlarda saydam yalıtım uygulamalarının artmasına rağmen ülkemizde henüz yaygın kullanılmamaktadır. Ülkemizin bu gelişime uyum sağlaması ve enerji korunumlu binaların yapımına gereken önemin verilmesi ile ekolojik dengelerin korunduğu yaşanabilir bir çevre oluşturulması mümkün olmaktadır.

AN ANALYZE FOR APPLICATION OF TRANSPARENT INSULATION MATERIALS ON EXTERNAL WALLS FROM THE ENERGY CONSERVATION VIEWPOINT

SUMMARY

Bioclimatic comfort conditions can not be achieved by means of passive systems. Because, outdoor environmental climate conditions change according to time. For this reason, energy sources which are used for supplementary heating and cooling systems are required. Insufficient energy sources which are used at supplementary heating and cooling consumption expose the necessity of energy economy.

Supplementary energy sources cause environmental pollution which threatens human health. The preventive measures, which proposed for preventing environmental pollution, are very expensive. For this reason, minimum supplementary energy usage is necessary to achieve bioclimatic comfort. To minimize the supplementary mechanical energy demand, building envelope which composed of external wall and transparent component should be designed as a passive system.

It is known that, applying insulation materials on external walls is important to increase the performance of building envelope. For this reason, this study is done to analyze the application of transparent insulation materials on external walls of buildings to achieve heating and cooling energy conservation.. By application of different thicknesses of transparent insulation materials on an external wall of a living space of a selected building, thermal performance of the external wall is analyzed. Heat losses for heating period (21 January) and heat gains for cooling period (21 July) are calculated, the results are compared by tables and figures.

The study comprises seven main chapters.

In chapter 1, importance of using transperent insulation is emphsized in general.

In chapter 2, necessity of energy economy and energy conservation on the external walls is explained.

In chapter 3, usage of transparent insulation materials on external walls, application areas and properties of this materials is discussed.

In chapter 4, steps of the approach which is used for analyzing usage of transparent insulation materials on external walls to provide heating and cooling energy conservation are explained.

In chapter 5, application of this approach for the İstanbul region is explained.

In chapter 6, results of the application are discussed.

In chapter 7, results of the study related to usage of transparent insulation materials on external walls and proposals are explained.

As a result of this study, transparent insulation materials have positive effects on the thermal performance of the building. Although, applications of transparent insulation

materials on external walls to achieve energy conservation increase at the other countries, these materials have not been used in our country yet. Adaptation to this development should be achieved to maintain echological balance in our country. The importance should be given to energy conservation in buildings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çevresel sorunların dünya gündemindeki yerini ve önemini koruması, 21. yüzyılda bina ve yerleşim birimleri tasarım konusunun, günümüzde olduğu gibi gelecekte de büyüyerek karşımıza çıkacağının bir işaretidir. Enerji kaynaklarının sınırlı olması, binalarda enerji korunumunu sağlamak ve binanın enerji korunumu açısından performansını arttırmakla birlikte, enerji kaynaklarının seçiminde tükenebilir enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi gerektirmektedir [1].

Çevre kirliliğinin alabildiğince hızlandığı ve dolayısıyla, çevreyi korumanın giderek artan bir endişe konusu haline geldiği ülkemizde, binaların enerji kullanımını sınırlandırmak yaşamsal bir önem taşımaktadır. Son yıllarda belirmeye başlayan çevreye uyumlu bina tasarımını ele alan mimarlığın hedefi, olabildiğince az enerji tüketen, çevrenin kirlenmesine dolaylı ve doğrudan olabildiğince az katkıda bulunan, yani sürdürülebilir bir çevreye olanak tanıyan tasarımlar ortaya koymaktır.

Geçmişte bina tasarımında önceliği olan işlevsellik, sağlamlık ve estetik gerekliliklere karşın günümüzde işletilmesi ucuz, enerji tüketimi düşük olma gibi nitelikler ön plana çıkmaktadır. İşlevsel ve strüktürel gereklilikler yanında enerji kayıplarının en aza indirgenmesi, bitimsiz ve atık bırakmayan enerji kaynağı olan güneş enerjisinden pasif ve aktif yararlanma olanaklarının tasarım aşamasında dikkate alınmasının önemi gün geçtikçe anlaşılmaktadır.

Güneşten pasif anlamda yararlanmanın tarihçesi 2500 yıl öncesine dayanmaktadır. Son zamanlarda bilinçli ve enerji korunumlu tasarımlar güneşin pasif kullanımına öncü olmaktadır. Pasif yararlanmada temel prensip, binaların ısıtılmasında ve soğutulmasında doğal enerji kaynaklarından enerji potansiyelinin yaratılmasıdır. Pasif kullanımda, bilinçli tasarım ile bina ve bina elemanları güneş kollektörü işlevi görerek, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmektedir.

Gelişen teknolojiler paralelinde, saydam yalıtım uygulaması ile masif duvarların ısıl kütle olarak çalışması bina cephelerini enerji kaybedilen alanlar olmaktan çıkarıp,

kendi enerji gereksinimini karşılayabilen binalara dönüştürmektedir. Yaşanabilir bir çevre açısından, saydam yalıtım uygulamaları büyük önem taşımaktadır [2].

Saydam yalıtım malzemeleri, onbeş yıldan fazla bir süredir bilimsel çalışmaların araştırma konusu olmaktadır. Gelecek vaat eden deneysel sonuçlara ulaşılarak birçok geliştirme projeleri gerçekleştirilmektedir. Şu anda bina sektöründe kullanımlarının çok yaygın olmamasına rağmen saydam yalıtım malzemelerinin bina sektöründeki kullanımı giderek artmaktadır. Enerji gereksiniminin karşılanmasında yüksek oranda dışa bağımlı olan ülkemizde, dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımının enerji korunumu açısından önemli katkılar sağlayacağı açık olarak görülmektedir [3].

Bu açıdan bu çalışmada, Türkiye'de dış duvarlarda saydam yalıtım kullanılabilirliği ele alınmıştır.

BÖLÜM 2. DIŞ DUVARLARDA ENERJİ KORUNUMU

Dış duvarlar, bina içi çevre ile bina dışı çevreyi birbirinden ayıran en önemli bina elemanlarıdır. Dış duvarların çevresel fiziksel etkenler karşısında temel biyolojik kullanıcı gereksinmelerini karşılamaya yönelik olan başlıca işlevleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Bina dışı çevredeki ışınım, hava sıcaklığı, nem ve rüzgar gibi iklim elemanlarınının etkilerini kontrol altına alarak, hacim içerisindeki iklimsel konforun gerçekleştirilmesi
- Bina dışı çevredeki doğal ışık kaynaklarının etkilerine bağlı olarak, hacim içerisindeki görsel konforun gerçekleştirilmesi
- Bina dışı çevredeki ses kaynaklarından çıkan gürültünün kontrol altına alınarak hacim içerisinde işitsel konforun gerçekleştirilmesi

Günümüzün enerji sorunu da dikkate alındığında, dış duvarların söz konusu bu işlevleri arasında en önemlisinin, hacimde iklimsel konforun gerçekleştirilmesi olduğu söylenebilmektedir.

Hızlı nüfus artışı ve kullanıcıların iklimsel ve görsel konfor durumunda bulunmalarının performans ve iş verimini arttırdığının anlaşılması nedenleriyle ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi ihtiyacında saptanan artışa rağmen,

- yapma ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarının hızla azalması ve buna bağlı olarak da bu tür kaynakların maliyetlerinin artması,
- yapma ısıtma ve soğutmada kullanılan enerji kaynaklarının süreç sonunda, ürettikleri kirli atıkların dış çevreye ve havaya atılması ve bunların da insan sağlığını bozan düzeylere ulaşması,
- hava kirliliğini azaltıcı tedbirlerin kullanıcılara yükleyeceği maliyet ve
- elektrik enerjisi üretim maliyetinin ulaştığı boyutlar

yapma ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının minimum düzeye indirgenmesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu zorunluluk karşısında, çevreyi kirletmeyen ve üretim maliyeti düşük düzeyde olan enerji kaynaklarının kullanımı tercih edilmektedir [4].

Dış duvarların yüklendiği işlevlerden biri de pasif ısıtma ve soğutma işlevidir. Bu tür bir işlev yüklenmesi nedeniyle, pasif ısıtma ve soğutma sistemi olma niteliğini de kazanmaktadır. Bu işlevini optimal düzeyde yerine getiren bir dış duvar, diğer iklimsel elemanların etkilerinin kontrolünde optimal performans göstermenin yanısıra, güneş ışınımının ısıtıcı etkisinin optimizasyonunu da gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, güneş ve diğer enerji kaynaklarına dayanan aktif yapma ısıtma ve soğutma sistemlerine minimum düzeyde destekleyici görev yüklenmesiyle, istenen iç iklimsel koşullar sağlanmaktadır [5].

Dış duvarların pasif ısıtma ve soğutma sistemi olarak tanımlanması optik ve termofiziksel özellikleri aracılığı ile yapılmaktadır.

Pasif ısıtma ve soğutma işlevi açısından dış duvarların tanımı, duvarın;

- yutuculuk (a),
- geçirgenlik (τ),
- yansıtıcılık (r)

gibi optik ve

- toplam ısı geçirme katsayısı (U),
- saydamlık oranı (x),
- zaman geciktirmesi,
- genlik küçültme faktörü

gibi ana termofiziksel özellikleri ile yapılmaktadır [6].

Yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık katsayıları sırasıyla, dış duvar tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışınımı miktarlarının duvarın dış yüzeyine gelen toplam güneş ışınımına oranlarıdır.

Dış duvarın yüzeyindeki güneş ışınımı, duvarın optik özelliklerine bağlı olarak, güneş ısısı kazancına dönüşmektedir.

Toplam ısı geçirme katsayısı (U), dış duvarın iki tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1°C iken, 1m² alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Saydamlık oranı ise, duvar ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanlarına ilişkin bir özellik olup, saydam bileşen alanının cephe alanına oranıdır [7].

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü gibi termofiziksel özellikler, ısı depolama niteliklerinden ötürü, dış duvarlar için bahsedilmektedir. Bu özellikler, duvarı oluşturan katmanların ısı iletkenlik katsayıları (λ, kcal/mh°C, W/mK), kalınlıkları (d, m), yoğunlukları (ρ, kg/m³), özgül ısıları (c, kcal/kg°C, kJ/kg°C) ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin fonksiyonudur.

Dış duvarın, dış yüzeyindeki sıcaklığın maksimum olduğu an ile, iç yüzeyindeki sıcaklığın maksimum olduğu an arasındaki zaman farkı, zaman geciktirmesi olarak tanımlanmaktadır. Genlik küçültme faktörü ise, dış duvarın iç yüzeyindeki sıcaklık değişiminin genliğinin, dış yüzeydekine oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır [8].

$$f = \frac{t_{oim} - t_{oio}}{t_{odm} - t_{odo}} \qquad (2.1)$$

t_{oio}, t_{odo} : dış duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıklarının günlük ortalama değerleri, °C

t_{oim}, t_{odm} : dış duvarın iç ve dış yüzeylerindeki maksimum sıcaklık değerleri, °C

Dış duvarın birim alanından kaybedilen veya kazanılan ısı miktarları ve de dolayısıyla iç iklim elemanları olan iç yüzey ve iç hava sıcaklıkları, sözkonusu termofiziksel özelliklere bağlı olarak değişim göstermektedir [6].

Dış duvarlardan iklim kontrolü açısından istenen performansın elde edilmesinde, duvar katmanlaşmasını oluşturan malzemelerin optik ve termofiziksel özellikleri önem taşımaktadır. Optik ve termofiziksel özellikler, dış duvarın birim alanından, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle, kazanılan ve kaybedilen ısı miktarlarının belirleyicileri olmaktadır.

İç çevre iklimsel durumu ve yapma ısıtma ve soğutma yükleri, dış duvarlardan kaybedilen ve kazanılan toplam ısı miktarlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Dolayısıyla dış duvarların optik ve termofiziksel özellikleri aynı zamanda gerek iç iklim durumunun gerekse yapma ısıtma ve soğutma yüklerinin belirleyicileri olmaktadır [4].

Dış iklimsel koşullar, yöresel veriler ve iklimsel konfor koşulları, insana ilişkin iç çevresel veriler olarak ele alındığında, iç iklimsel konfor durumunun gerçekleştirilmesi sürecinde mimarın kontrolünde kalan değişkenler yalnızca dış duvara ilişkin optik ve termofiziksel özelliklerdir.

Görüldüğü gibi dış duvarlar, sahip oldukları optik ve termofiziksel özelliklere bağlı olarak, iç çevrede dış çevredekinden farklı bir iklimsel durum oluşturmaktadır. İstenen, iç çevrede iklimsel konfor durumunun sürekli olarak gerçekleştirilmesidir [4].

Yukarıdaki özelliklere bağlı olarak tanımlanan dış duvarlar, iç ve dış çevreyi birbirinden ayırması sebebiyle enerji korunumunda en etkin pasif sistem öğeleridir. Dış duvarlarda enerji korunumunun gerçekleştirilmesinde tasarımcının malzeme seçiminde göstereceği titizlik önem taşımaktadır.

Son yıllarda diğer ülkelerde enerji korunumu amacıyla dış duvarlarda saydam yalıtım uygulamalarının artmasına rağmen ülkemizde henüz yaygın kullanılmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, enerji korunumu açısından dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımı ele alınmaktadır. Bölüm 3'de dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımı ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

BÖLÜM 3. DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMI

Bölüm 1'de açıklandığı gibi, enerji kaynaklarının sınırlı olması ve artan çevre kirliliği sonucunda enerji kaynaklarının seçiminde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmede artış olmaktadır. Tükenebilir enerji kaynakları yerine, bitimsiz ve atık bırakmayan güneş enerjisinden pasif anlamda ısı kazancı sağlamanın en etkin yollarından biri, ısıl kütle olarak çalışan duvar sistemidir.

Bu anlamda, bina dış duvarlarında kullanılan malzeme ve konstrüksiyon türleri genellikle opak ve saydam malzemelerin performansına bağlıdır. Bina dış duvarları genelde opak malzemeden üretilmekte olup, ısı yalıtımı uygulamalarında amaç ısı kayıplarının azaltılmasına yöneliktir. Ancak son zamanlarda bina cephelerinde saydamlık ön plana çıkmış ve saydamlığı arttırmak için saydam yalıtım malzemeleri uygulanmaya başlanmıştır [1].

Saydam yalıtım malzemeleri güneş enerjisinden maksimum yararlanmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu amaçla ilk kullanılan malzeme camdır. Cam, Mısır'da yaklaşık M.Ö. 1500 yılında keşfedilmiştir ve binalarda kullanılmadan önce kuyumculukta kullanılmıştır. 60'lı yılların başında Giovanni Francia, camdan üretilmiş balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesini güneş kollektörlerindeki verimliliği arttırmak amacıyla kullanmıştır. Aynı zamanda Felix Trombe, mimar Jacjues Michael ile "Trombe duvarı" kavramını geliştirmiştir [9,10].

Adolf Goetzberger (Fraunhofer Institute, Germany), 80'li yılların başında cam yerine plastik kullanılarak üretilen balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerini binalara uygulamıştır. Daha yüksek oranda saydamlık ve ısı geçişinin azaltılması fizikçiler için devam eden araştırma konularıdır.

Saydam yalıtım malzemeleri, farklı şekillerde (pencereler, seralar ve trombe duvarlarında) farklı amaçlar için (gün ışığı, pasif mekan ısıtması vb.) kullanılmaktadır.

Saydam yalıtım kavramı bilimin mimarlığa bir katkısıdır. Amaç, arttırarak net ısı kazançlarını maksimuma ulaştırmak ve ısı kayıplarını azaltmaktır [9].

3.1. Saydam Yalıtımın Malzemelerinin Tanımlanması

Saydam yalıtım malzemeleri, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) yolu ile meydana gelen ısı kayıplarını azaltırken aynı zamanda ısı kazançlarını da artıran saydam veya yarı saydam malzemeler olarak adlandırılmaktadır.

Saydam yalıtım malzemelerinin bütün çeşitleri havayı, belirli ölçüleri ve şekilleri olan hücreler ile çevrelemek esasına dayanmaktadır. Bu hücrelerin içinde, sıcaklık yolu ile oluşan hava hareketi minimuma düşürülmektedir [11].

Bu malzemeler, ısı kazançlarının yanında nemli iklimlerde nem problemlerinin de azaltılmasını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, güneye bakan cephelerden kaynaklanan ısı kayıplarındaki net azaltımın %75 oranında olduğunu göstermektedir [9,12].

Saydam yalıtım malzemeleri, toplam güneş ışınımı spektrumu (ultraviyoleden kızılötesinin yakınlarına kadar) için yüksek geçirgenlik ve iyi yalıtım özelliklerine sahiptir. Saydam yalıtım sisteminin ilk ve en basit uygulaması koyu renkli (siyah) bir duvarın önüne cam tabakası koymaktır (Trombe duvarı). Bu sayede, güneş ışınımı emilip ısıya dönüştürülmekte ve taşınım sebebiyle oluşan ana kayıplar azaltılmış olmaktadır [13].

Günümüzde güneş enerjisi kullanımına artan ilgi, saydam yalıtım uygulamalarında görülmektedir. Son on yılda yapılan saydam yalıtım uygulamalarında, ilk pilot projelerin laboratuvar deneylerinden uygulama aşamalarına kadar büyük gelişmeler gerçekleştirilmiştir [14,15].

Saydam yalıtım malzemelerinin en bilinen örnekleri ofis binaları ve kütüphanelerdeki kullanımlarıdır. Mekan ısıtma sistemleri için çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Cam alanlar oluşturmak en basit sistemdir ancak ısı kazançlarının depolanması gerekmektedir.

Saydam yalıtım malzemeleri bina cephelerinde kullanıldığı gibi, ışınım yoluyla oluşan ısı kayıplarını azaltmak için seralarda (kış bahçesi) da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, saydam yalıtım malzemesi kullanılan seralarda yazın aşırı ısınmadan kaçınmak amacıyla yeterli havalandırmayı sağlayacak açıklıklar olmalıdır [9].

Güneş ışınımından kış döneminde de etkin olarak yararlanmak mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, güneye yönlendirilmiş bir dış duvara uygulanmış saydam yalıtım malzemesinin ısıtmanın istendiği dönemde metrekare başına 200 kWh değerine varan ısıtma enerjisi kazancı sağladığı örneklere rastlanmaktadır [3].

Binalarda saydam yalıtım malzemeleri kullanıldığında, oluşan ısı kayıpları güneş ışınımı kazançları ile telafi edilebilmektedir. Elde edilen ısı kazançları binaların ısıtılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu, saydam yalıtımın temel prensibidir. Geleneksel yalıtımda ise ısı geçiş kayıplarının azaltılması temel prensiptir.

Saydam yalıtım malzemelerinin iki temel özelliği vardır [16].

- Isı korunumunda etkili olması (toplam ısı geçirme katsayısının, U, olabildiğince düşük değerini sağlaması)
- Güneş ışınımı geçirgenliğinde etkili olması (enerji geçirgenlik değerinin, g, olabildiğince yüksek değerini sağlaması)

- **Saydam Yalıtım Malzemelerinin Bina Sektöründeki Gelişimi**

Saydam yalıtım malzemeleri onbeş yıldan fazla süredir araştırma ve geliştirme çalışmalarının konusu olmuştur. Gelecek vaat eden deneysel sonuçlara ve geliştirme projelerine rağmen, şu anda bina sektöründe çok yaygın kullanılmamaktadır. Biten her geliştirme projesi ile saydam yalıtım malzemelerinin bina sektöründeki kullanımı yavaş ama sağlam bir şekilde artmaktadır. İlk yıllarda sponsorlu projeler bu teknolojinin gelişmesini sağlamıştır.

Saydam yalıtım malzemelerinin bina sektöründe küçük bir yere sahip olmasından dolayı maliyetleri çok yüksektir. Bilinmeyen yeni bir teknolojinin kullanımı bazı durumlarda ekstra maliyet yaratmaktadır. Örneğin, güneş ışınımından hareketli korunma sistemleri gibi [15].

Saydam yalıtım malzemelerinin üretim maliyeti, konut gibi maliyetin önemli olduğu endüstriler için çok fazladır. Bu problemi çözmek için, araştırma çalışmaları dünya çapında birçok önemli kurumlarda yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Bu çalışmaların amacı, malzemenin yalıtım performansını artırmak ve üretim maliyetlerini düşürmektir [17].

3.2. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

Saydam yalıtım malzemeleri iki grup halinde gelişmektedir. Birinci grupta optik özellikler çeşitli etkiler ile istenilen düzeyde değiştirilebilmektedir. Bu grup malzemeler ile sera etkisinin kontrollü olarak kullanımına ve aynı zamanda ısı kayıplarının önlenmesine imkan sağlayan bir mekanizma oluşturulmaktadır. İkinci grupta ise optik özellikler sabittir ve cam elyafına eşdeğer ısı yalıtım özelliği, çift cam ünitesine eşdeğer güneş ışınımı geçirgenlik özelliği ile birlikte sağlanmaktadır. Binalarda daha çok optik özellikleri sabit olan saydam yalıtım malzemeleri kullanılmakta ise de optik özellikleri değişken olanlar da hızlı bir şekilde kullanılmaya başlanmaktadır [2].

Saydam yalıtım malzemeleri başlıca aşağıdaki gruplar altında toplanmaktadır.

- Optik özellikleri değişken saydam yalıtım malzemeleri
    - Elektrokromik malzemeler
    - Fotokromik malzemeler
    - Termokromik malzemeler
- Optik özellikleri sabit saydam yalıtım malzemeleri
    - Emici yüzeye paralel düzenlenen malzemeler
    - Emici yüzeye dik düzenlenen malzemeler
    - Hücresel yapıda malzemeler
    - Yarı homojen malzemeler

3.2.1. Optik Özellikleri Değişken Saydam Yalıtım Malzemeleri

Optik özelliklerin değişimi sonucu, güneş ışınımı spektrumunun tümü veya belli bir bölümü için yüksek geçirgenlik, kısmen yansıtıcılık ve hatta emici olma özellikleri aynı elemanda görülebilmektedir.

Optik özelliklerin değişimine sebep olan etkenler elektriksel alan, ışık şiddeti ve ısıdır. Buna bağlı olarak optik özellikleri değişken saydam yalıtım malzemeleri üç grupta toplanmaktadır [2].

- Elektriksel olarak etkilenenler (Elektrokromik)
- Işık şiddetinden etkilenenler (Fotokromik)
- Isıdan etkilenenler (Termokromik)

3.2.1.1. Elektrokromik Malzemeler (Electrochromic Coatings)

Elektriksel alan etkisinde optik özelliklerini değiştiren ve elektriksel alan kaldırıldığında optik özelliklerin de eski haline döndüğü saydam yalıtım malzemelerine elektrokromik malzemeler adı verilmektedir [3].

Elektrokromik malzemelerin laboratuvar çalışmaları halen devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda en fazla araştırılan elektrokromik malzemeler, amorf veya kristal WO_3, MoO_3, IrO_x, ve NiO_x filmleridir. Sistem en az üç tabakadan oluşmaktadır. Bunlar saydam iletkenler, eloktrolit (iyon iletkeni) ve elektrokromik tabakadır [2].

3.2.1.2. Fotokromik Malzemeler (Photochromic Coatings)

Işık şiddetinden etkilenen saydam yalıtım malzemeleri fotokromik camlar olarak adlandırılmaktadır. Fotokromik malzemeler genellikle enerji emen malzemelerdir. Fotokromik camlar bugün için binalarda kullanılabilecek kadar büyük boyutlarda üretilememektedir. Bu camların kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı iyi olmakla birlikte maliyeti oldukça yüksektir [2].

3.2.1.3. Termokromik Malzemeler (Thermochromic Coatings)

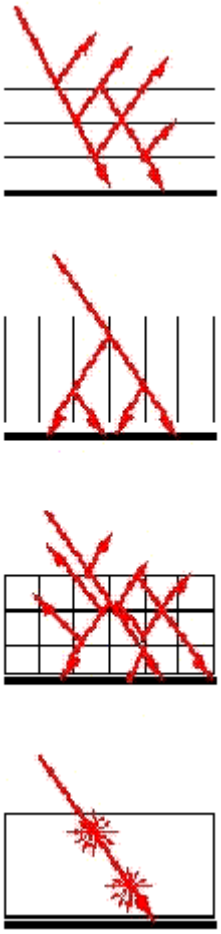
Isıdan etkilenen saydam yalıtım malzemeleri termokromik malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Sıcaklık değişimleri sonucunda, ısıl olarak etkilenen kimyasal reaksiyonlar veya faz değişimleri sebebiyle optik özelliklerinde büyük değişim meydana gelmektedir. Termokromik malzemelerin araştırmaları devam etmektedir[2].

3.2.2. Optik Özellikleri Sabit Saydam Yalıtım Malzemeleri

Optik özellikleri sabit saydam yalıtım malzemeleri, yalıtım özelliklerinin yanında güneş enerjisinin kullanımına da imkan tanıdıkları için opak yalıtıma göre çok daha fazla enerji tasarrufu potansiyeline sahiptir.

Bu malzemelerin binalarda kullanımı ısıtmanın istendiği dönem için idealdir ancak ısıtmanın istenmediği dönemde binanın aşırı ısınmasına sebep olabilmektedir. Aşırı ısınma problemine, saydam yalıtım malzemesinin önüne konan hareketli gölgeleme elemanları ile çözüm getirilebilmektedir [2].

Optik özellikleri sabit saydam yalıtım malzemeleri, Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi geometrik yapılarına bağlı olarak dört grupta sınıflandırılmaktadır [18].



Emici yüzeye paralel
- Çift camlar
- Plastik filmler

Emici yüzeye dik
- Kapiler yapı
- Balpeteği yapı

Hücresel yapıda
- Çok hücreli plakalar
- Saydam köpük

Yarı homojen
- Cam elyafı
- Aerojel

Şekil 3.1. Optik özellikleri sabit saydam yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması

3.2.2.1. Emici Yüzeye Paralel Düzenlenen Malzemeler

Emici yüzeye paralel düzenlenen lamine camlar iki veya daha fazla katmandan oluşmakta ve yapay folyolar, örneğin polivinil butiral (Polyvinyl Butyral - PVB), ile birbirlerine bağlanmaktadır. Enerji kazanımı dışında güvenlik camı olarak da yaygın kullanılmaktadır. Çünkü PVB-folyo, camın dağılmasını önlemektedir. Lamine camlarda dayanımları nedeniyle kısmi ya da tümüyle temperlenmiş cam tercih edilmektedir [1].

Enerji korunumlu dış duvarda, emici yüzeye paralel düzenlenen cam veya lamine plastik tabakalar ile toplam ısı geçirme katsayısı 0,7 $W/m^{2o}C$'nin altındadır. Sistemin yalıtım değeri tabaka sayısının çoğaltılması ile artırılabilmektedir.

Ancak bu durumda güneş ışınımı geçirgenliğinin azalması söz konusu olmaktadır. Bu tür bir seçenekte, güneş ışınımının bir kısmının tabakalardan geri yansıması sistemin olumsuz yönü olarak gösterilebilmektedir.

Çok tabakalı seçeneklerde tabaka sayısı iki veya daha fazla olabilmektedir. Camların arasındaki boşluk 8-20mm. arasındadır ve bu boşluğun kuru hava, argon, kripton ve zenon gazları doldurulması ile yalıtım değeri artırılmaktadır. Söz konusu seçeneklerde sıcaklığın yüksek olduğu taraftan düşük tarafa doğru ısı geçişi karşılıklı cam yüzeylerden ışınım, ara boşluktaki taşınım ve çerçeve konstrüksiyonu ve camdan iletim yolu ile gerçekleşmektedir.

Isı kayıplarının azaltılmasında düşük yayınımlı (low-e) kaplama ve gaz dolgu etkin rol oynamaktadır. 12mm. boşluklu bir çift cam seçeneği, düşük yayınımlı kaplama olmaksızın 3,0 $W/m^{2o}C$ gibi bir U değerine sahip iken, düşük yayınımlı kaplama ile U değeri 2,0 $W/m^{2o}C$'nin altına çekilebilmektedir.

Soygaz dolgu kullanılan seçeneklerde ise taşınım yolu ile ısı kayıpları azalmaktadır. Çünkü toplam ısı iletkenlik katsayıları düşüktür. Argon gazı dolgulu çift camlı bir seçeneğin U değeri 1,1 $W/m^{2o}C$ iken, kripton dolgulu bir seçenekte U değeri 0,8 $W/m^{2o}C$'dir. Toplam ısı geçirme katsayısının aşağı çekilmesi, üçüncü tabaka düzenlenmesi yerine düşük yayınımlı kaplama sayısının arttırılması ile mümkün olmaktadır. Böylece üçüncü cam tabakanın ağırlığından tasarruf edilmektedir. Dolgu malzemesi olarak kripton kullanıldığında etkili olmakla birlikte radyoaktif madde içermesi nedeni ile kullanımı tartışma konusu olmaktadır. Bu nedenle, ısı geçirme katsayısı daha yüksek olmasına karşın argon gazı tercih edilmektedir [1].

3.2.2.2. Emici Yüzeye Dik Düzenlenen Malzemeler

Emici yüzeye dik düzenlenen saydam yalıtım malzemeleri kapiler veya balpeteği hücrelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin en önemli avantajı, yansımanın daima emici yüzeye doğru olmasıdır. Güneş ışınımının, geri yansımadan duvar yüzeyine ulaşması sağlanmaktadır. Güneşin konumuna bağlı olarak yaz aylarında düşeyle dar açı yaparak gelen güneş ışınımı hücrelerin içine girememekte, kış aylarında ise güneş ışınımının yataya yakın bir konumda gelmesi sonucu hücrelerin çeperlerinden yansıyarak emici yüzeye ve depolayıcı duvara ulaşmaktadır [1,2].

Kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinin üretiminde ağırlıklı olarak polimetilmetakrilat (PMMA) ve polikarbonat (PC) kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak camın kullanılması da araştırılmaktadır. Ancak camın ısı iletkenlik katsayısının büyük olması ve hücrelerde yeterince küçük çaplar yapılamaması sebebiyle cam tercih edilmemektedir .

Camın ısı iletkenlik katsayısı 0,8 W/m^{o}C, plastiklerin ısı iletkenlik katsayısı ise 0,3 W/m^{o}C'dir. İletkenliğin azaltılabilmesi için cam hücrelerde çeper kalınlığının 70-100 μm ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bu nedenle camın kırılganlık özelliği titiz bir üretimi zorunlu kılmaktadır. Kapiler veya balpeteği yapıda plastik esaslı saydam yalıtım malzemeleri, cam esaslı malzemeye karşın daha hafif olup, taşıma ve uygulama kolaylığı açısından çerçeve konstrüksiyonlu olarak kullanıma sunulmaktadır [1].

Kapiler yapıda saydam yalıtım malzemeleri, çapları 1-3mm. arasında olabilen içi boş silindirik hücrelerden oluşmaktadır (Şekil 3.2.). Malzeme, optik liflerin çeşidine göre güneş ışınımını geçirmektedir. Bu durum, yüksek güneş ışınımı geçirgenliğinin kalınlıkla ilgili olmadığını göstermektedir. Malzemenin kalınlığın arttırılması ile U değeri düşürülebilmektedir [2, 16].



Şekil 3.2. Polimetilmetakrilat esaslı kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi [16]

Balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemeleri yaklaşık kare kesitli milimetrik duvar kalınlıkları olan hücrelerin meydana getirdiği çoklu kanallardan oluşmaktadır. Her iki yapıdaki saydam yalıtım malzemesinde 150mm.'den daha kalın elemanlar üretmek mümkündür. Ancak, 150mm. pratik olarak üst sınır sayılmaktadır [2,13].

Tablo 3.1.'de kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinin, uygulamada kullanılması gereken ilave cam örtü olmaksızın, koyu renkli duvar yüzeyine uygulandıkları durumda, farklı kalınlık ve malzemelere göre güneş ışınımı geçirgenliği ve ısı geçirgenliği değerleri görülmektedir [3].

Tablo 3.1. Kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinin özellikleri

	Balpeteği	Balpeteği	Kapiler	Kapiler
Kalınlık	5cm.	10cm.	10cm.	10cm.
Malzeme	PC	PC	PC	PMMA
τ	0,85	0,75	0,69	0,76
Λ(W/m^2 ^{o}C)	1,81	1,07	0,92	0,89

PC : polikarbonat

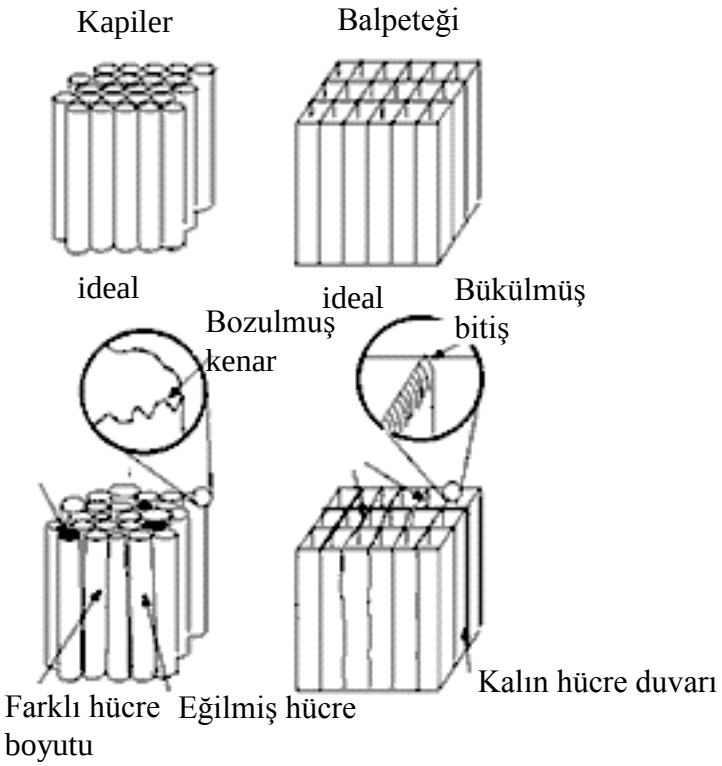
PMMA: polimetilmetakrilat

τ : güneş ışınımı geçirgenliği, boyutsuz

Λ : ısı geçirgenliği, W/m^2 ^{o}C

Bazı durumlarda, birbirine benzer özellikteki kapiler ve balpeteği hücrelerin üretiminde problemler oluşabilmektedir.

Şekil 3.3.'de oluşabilecek problemli alanlar şematik olarak gösterilmektedir.

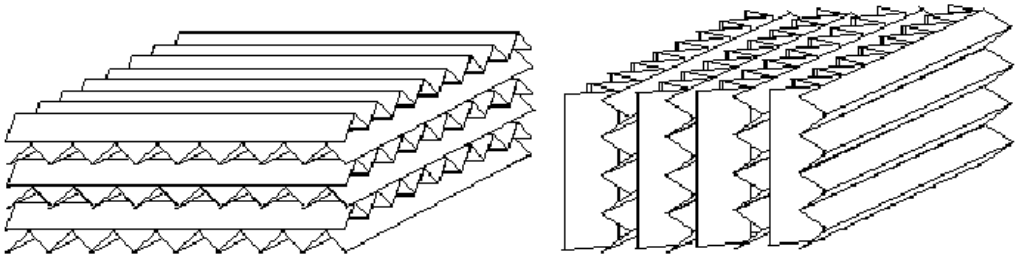


Şekil 3.3. Kapiler ve balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinin üretim düzensizlikleri [12]

3.2.2.3. Hücresel Yapıda Malzemeler

Hücresel yapıda ve emici yüzeye dik düzenlenen saydam yalıtım malzemeleri, büyük yansıma kayıpları ve U değerleri açısından birbirleri ile karşılaştırıldıklarında hücresel yapıda malzemelerin daha az geçirgen olduğu görülmektedir. Hücresel yapıda saydam yalıtım malzemelerinin üretim maliyetlerinin düşük olması nedeniyle, bu malzemeler ticari bir alternatif olarak diğer optik özellikleri değişken saydam yalıtım malzemelerine göre tercih edilmektedir.

Selüloz filmlerinden yarı saydam olarak üretilen hücresel yapıda saydam yalıtım malzemelerinde, filmler V şeklinde katlandıktan sonra katmanların her biri 90^o açı ile döndürülerek bir araya getirilmektedir (Şekil 3.4.). Bir çok katmandan oluşan plakalar hücresel yapıda saydam yalıtım malzemesini oluşturmaktadır. Katmanların sayısına bağlı olarak malzemenin kalınlığı 20-60mm. olabilmektedir. İki cam tabakası arasına yerleştirilen 60mm. kalınlığındaki katman ile sistem 0,9 $W/m^{2o}C$ gibi bir U değerine sahip olabilmektedir.



Şekil 3.4. Hücresel yapıda saydam yalıtım malzemeleri

Bir başka hücresel yapıda saydam yalıtım malzemesinde ise, ortalama kabarcık boyutu 3-5mm. olan akrilik yarı saydam köpük kullanılmaktadır. İki cam tabakası arasına sıkıştırılmış, 20mm. kalınlığındaki katman ile sistemin U değeri, yaklaşık %55 enerji geçirgenliği (g) ile, camın özelliğine ve kalınlığına bağlı olarak 1,7 $W/m^{2o}C$ değerine ulaşmaktadır. Kalınlığın artırılması veya cam tabakalar yerine çift hücreli plastik tabakaların eklenmesi, hücresel yapının ağırlığını azaltmaktadır. Saydamlıkta çok fazla azalma olmaksızın sistemin U değeri 1,0 $W/m^{2o}C$'ye düşürülebilmektedir.

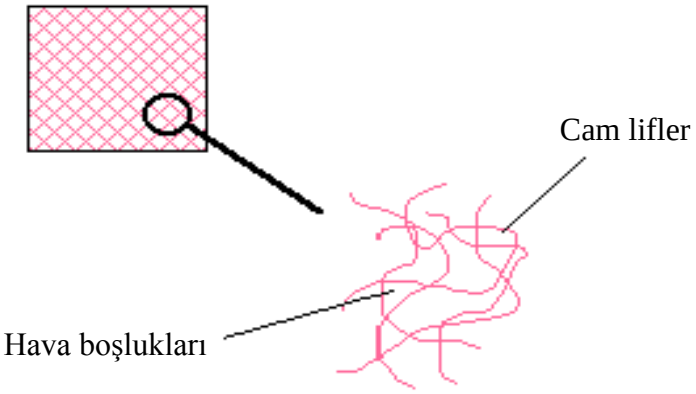
Hücresel yapıda saydam yalıtım malzemeleri, yukarıda açıklanan şekilde kullanılabilmekte ve daha düşük verimlilik daha düşük maliyet ile karşılanabilmektedir [18].

3.2.2.4. Yarı Homojen Malzemeler

Yarı homojen yapıda saydam yalıtım malzemeleri uygulamalarında, iki cam plaka arasındaki hava boşluğuna iletkenliği zayıf homojen bir madde doldurulmaktadır. Homojen ara madde olarak cam elyafı ve silika aerojel kullanılmaktadır [19].

- **Cam Elyafı**

Cam elyafı kullanımının amacı, duvarlarda oluşan ısı hareketini yavaşlatmaktır. Cam elyafı, çok ince cam liflerin bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Cam liflerin arasında çok küçük hava boşlukları bulunmaktadır (Şekil 3.5.). Cam lifler tek başlarına çok zayıf ısı iletkenidir ve ısının bu lifler boyunca geçirilmesi için, hava boşlukları boyunca taşınması gerekmektedir. Fakat cam liflerin gelişigüzel bir araya gelmesinden dolayı ısı akısı direkt bir yol bulamamakta bu yüzden ısınan hava duvar boyunca dolaylı bir yol çizmektedir. Cam elyafın yalıtım özellikleri bu yola bağlıdır. Eğer sıkıştırılmış ise, yol kısalmakta ve ısı akısı daha hızlı ulaşmaktadır [20].



Şekil 3.5. Cam elyafı

- **Silika Aerojel**

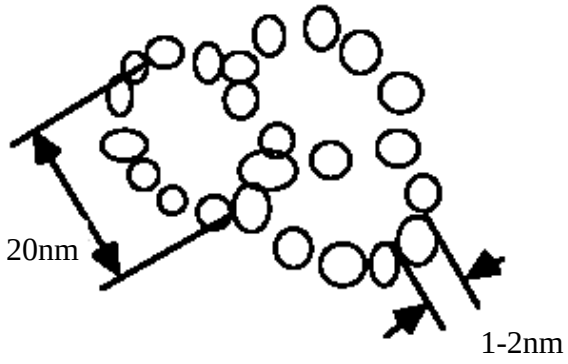
Kırılabilir, ultra-gözenekli ve yüksek yalıtım özelliklerine sahip olan silika aerojel, ilk olarak 1931 yılında American Stanford Üniversitesi'nde üretilmiştir. İsveç Teknik Üniversitesi'nde silika aerojel ile ilgili birçok geliştirme projeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucunda, 1980'lerin ortalarına doğru silika aerojelin saydam yalıtım malzemesi olarak kullanımına ilgi artmaya başlamıştır.

Bir çok araştırma ve geliştirme enstitüsü silika aerojelin üretimiyle ilgilenmiştir. Silika aerojel bazlı güneş kollektörlerinin yapıldığı yer olan Danimarka Teknik Üniversitesi'ndeki Isı Yalıtım Laboratuvarı, Danimarka Teknoloji Enstitüsü'ne bağlı olan Enerji Teknolojisi ve Yapı Teknikleri Bölümü ile beraber çalışarak 55 x 55 cm^2 prototip pencere plakasını geliştirmiştir.

Silika aerojelin en önemli dezavantajı, kırılgan oluşu ve suya karşı dayanıksızlığıdır. Ayrıca, yansıyan ışınların bir bölümünün emici yüzeyden uzaklaşması da başka bir dezavantajıdır. Silika aerojelin kullanışlı bir formda üretilmesi zordur, biraz daha geliştirilmesi gerekmektedir [1,19].

Silika aerojelin görsel saydamlığı hala normal pencere camı ile kıyaslanamamaktadır. Her yerde eşit kalınlıkta olmayan silika aerojel görsel açıdan karışıklığa sebep olmaktadır. Bunun nedeni olarak gözenek ve parçacık ölçülerindeki çeşitliliklerin belirli bir ışık saçılmasına yol açması gösterilebilmektedir (Şekil 3.6.) [19].

-O-Si-O zinciri



Şekil 3.6. Silika aerojelin gözenekli yapısı [12]

- **Silika Aerojelin Özellikleri**

Silika aerojelin ısıl ve kimyasal özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

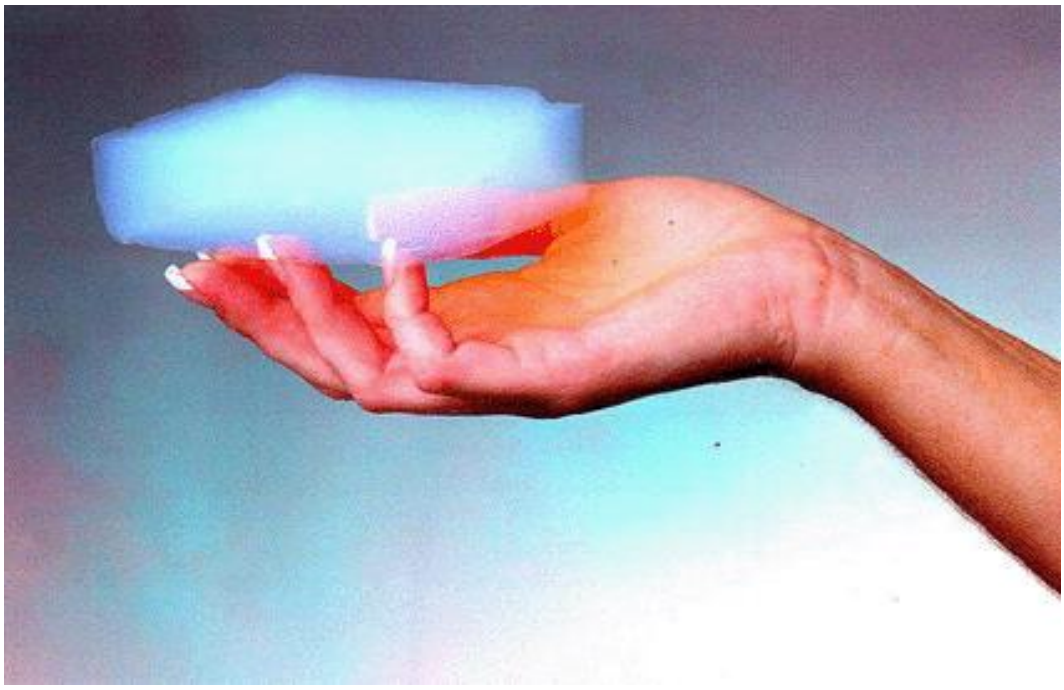
- **Isıl Özellikleri**

Silika aerojel, son yıllardaki modern teknolojinin bir ürünü sanılmaktadır. Oysa ilk silika aerojel, 1931 yılında Steven S. Kistler tarafından hazırlanmıştır. İlk silika aerojelin hazırlanmasından sonra, Kistler silika aerojeli tamamiyle nitelendirebilmek için çalışmalarını sürdürmüştür. Bu çalışmalarda, silika aerojelin çok düşük ısı

iletkenlik katsayısına sahip olduğunu bulmuştur. Kistler, ısı iletkenlik katsayısının vakum altında bile düştüğünü bulmasına rağmen, 1930'larda silika aerojelin ısı yalıtımında önemli bir yeri olmamış ve yalıtım sistemlerinde silika aerojel çalışmaları ile ilgilenilmemiştir.

1980'lerdeki silika aerojel teknolojisinin gelişimi, enerji etkinliği konusunda ve kloroflorokarbonların (CFC'lerin) çevresel etkileri konusunda bir artış olduğu dönem ile aynı zamana denk gelmektedir. Bundan sonra silika aerojeller, yüksek yalıtım değerlerinden ve çevre dostu üretim yöntemlerinden dolayı geleneksel yalıtıma karşı çekici bir alternatif oluşturmuştur.

Silika aerojelin yalıtım uygulamalarında kullanılmasının avantajı, pencerelerde ve çatı ışıklıklarında kullanımına olanak veren görülebilir saydamlıklarıdır (Şekil 3.7.). Bununla birlikte, silika aerojel kızılötesi ışınımda orta derecede saydamdır (özellikle 3-5 micron arasında) [21].



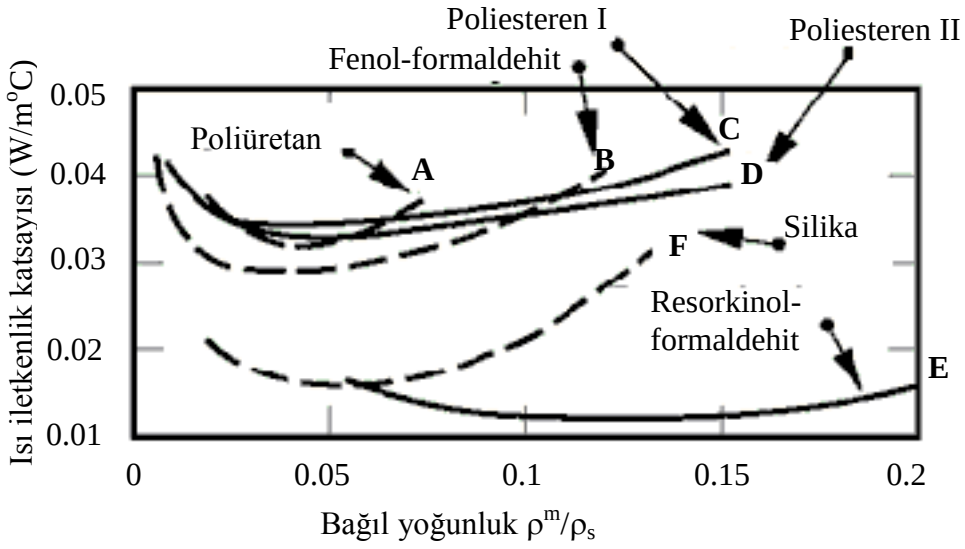
Şekil 3.7. Silika aerojel [22]

Silika aerojelin katı kısmı boyunca gerçekleşen ısı iletimi, iletim yolunu oluşturan parçacıklar arasındaki küçük bağlantılarla sınırlandırılmaktadır. Radyoaktif iletim düşüktür çünkü silika aerojeller küçük kütleli parçalara ve büyük yüzey alanına sahip olmalarına rağmen iletkenlikleri sıcaklıkla artmaktadır.

Silika aerojelin bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [17].

- Silika aerojelin 1 atm ve 300 ^{o}C sıcaklıktaki ısı iletkenlik katsayısı en düşük 0,020 W/m^{o}C olarak ölçülmüştür.
- Organik aerojeller, 0,012 W/m^{o}C ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.
- Karbon parçacıkları yüklenmiş silika aerojel, 0,013 W/m^{o}C ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.

Şekil 3.8.'de silika aerojelin ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluk değişim değerleri gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Silika aerojelin ısı iletkenlik katsayısı ve yoğunluk değişim değerleri [17]

- **Kimyasal Özellikleri**

Silika aerojelin kimyasal açıdan temel prensibi sıradan bir cam ile aynı olup, deniz kumunun ana bileşeni olan silikondioksitdir. Üretimin kaynağı sıvı alkol ve silikondioksit parçacıklarıdır. Hacmin büyük çoğunluğu havadır. Hacmin küçük bir parçasını oluşturan katı malzeme, saf silikondioksit parçacıklarından oluşmaktadır [19].

Silika aerojelin çapı çok küçüktür. Malzemede mikro düzeyde boşluklar vardır ve boşluk çaplarının güneş ışığı dalga boyundan daha küçük olması sonucu, yansıma oranı düşük olup ışınımın %90'ı geçebilmektedir. Yalıtım değerinin yüksek olması hava boşluk boyutuna bağlıdır.

Silika aerojel hafiftir ve yanmaz. Zehirli değildir ve ısıl dayanıklıklıkları 650 ^{o}C'dir [1,21].

- **Silika Aerojelin Çeşitleri**

Silika aerojelin pencerelerde ve dış duvarlarda kullanımı yaklaşık on yıl önce başlamıştır. Silika aerojel, bugüne kadar küçük ölçekteki testler için iki farklı formda elde edilmektedir. Bunlar;

- monolitik silika aerojel (MSA) ve

- granül silika aerojel (GSA)'dir.

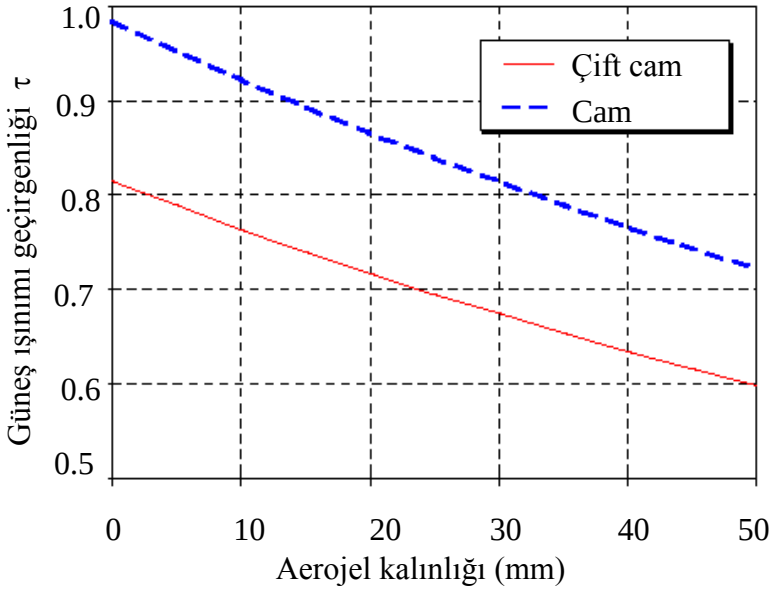
- **Monolitik Silika Aerojel (MSA)**

Monolitik yapıdaki silika aerojel faklı özelliklere sahip, yoğunlukları 3 ve 500 kg/m^3 arasında değişen bir malzemedir.

Optik olarak malzeme şeffaftır. Bununla birlikte, küçük gözeneklerdeki dağılma malzemeye geçirgenlikte kırmızımsı, yansımada mavimsi bir renk tonu vermektedir. Bu durum kimyasal reaksiyon işlemi tarafından etkilenebilmekte ve çok sayıdaki farklı laboratuvar işlemleri ile optimize edilebilmektedir.

Monolitik silika aerojelin güneş ışınımı geçirgenliği çok yüksektir ve son yıllarda önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu malzemenin oda sıcaklığındaki ısı iletkenlik katsayısı 16-19.10^{-3} W/m^{o}C'dir.

Şekil 3.9.'da monolitik silika aerojelin farklı kalınlıklardaki güneş ışınımı geçirgenlik değerleri gösterilmektedir [18].

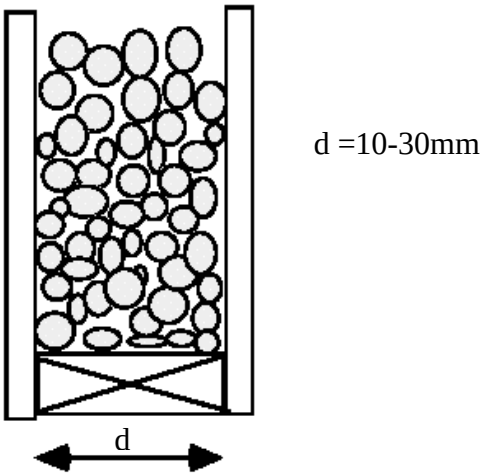


Şekil 3.9. Monolitik silika aerojelin güneş ışınımı geçirgenliği [18]

- **Granül Silika Aerojel (GSA)**

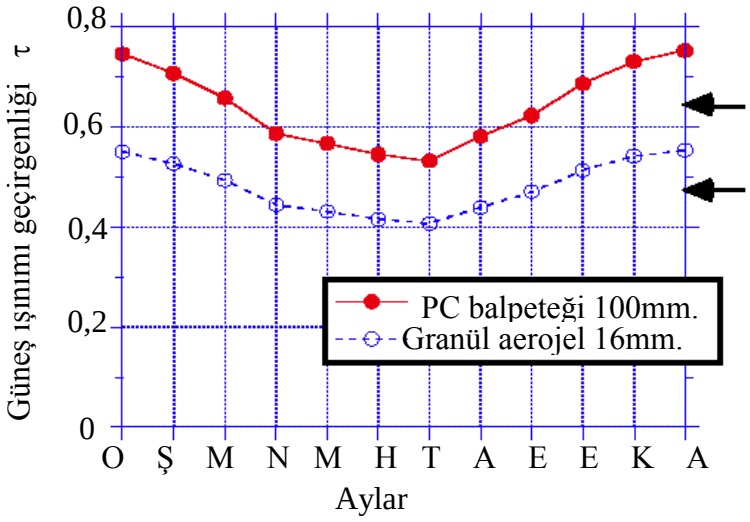
Granül silika aerojel, kütle ürünü olarak üretilebilmektedir. Granül çapı 10mm.'e kadar çıkabilmektedir. Granül ölçüleri, ısı taşınımını ve optik özellikleri etkilemektedir. Granül aerojelin ısı iletkenlik katsayısı, boşluklardan dolayı monolitik silika aerojelin ısı iletkenlik katsayısından fazladır. Granül silika aerojelin oda sıcaklığındaki ısı iletkenlik katsayısı 21-24.10^{-3} W/m ^{o}C'dir [18].

Granül silika aerojel dolgulu cam elemanlar, gün ışığı uygulamalarında ve pasif sistem olarak işlev gören saydam yalıtılmış dış duvarlarda kullanılmaktadır (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Granül silika aerojel dolgulu camın şematik gösterimi [12]

Granül silika aerojel, güçlü ışık dağıtma özelliği olan bir malzemedir. Şekil 3.11.'de balpeteği ve granül silika aerojel kullanılan camların aylara göre güneş ışınımı geçirgenlikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.11. Saydam yalıtım camlarının güneş ışınımı geçirgenliği [12]

3.3. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Uygulama Alanları

Günümüzde başlıca enerji tüketimi talepleri mekanların ısıtılmasına ilişkindir. Bugüne kadar bu talepler çevreye zarar veren yakıtlar ile karşılanmıştır. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilgi artmıştır.

Güneş enerjisine dayalı ısıtma sistemleri mevsimsel depolama üzerine kurulmaktadır. Bu sistemler, yaz aylarında elde edilen güneş enerjisinin büyük bir kısmını depolamaktadır. Elde edilen veriler, saydam yalıtım malzemelerinin yüksek sıcaklık veya depolama sistemleri için yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Gelecekte daha fazla gelişmeler olacağı gözlemlenmektedir [3].

Saydam yalıtım malzemeleri pasif sistem olarak işlev gören bina cephelerinde, gün ışığı uygulamalarında, binaların enerji etkin yenilenmesinde ve hava taşıyıcılı kollektörlerde kullanılmaktadır [23].

Saydam yalıtım malzemelerinin başlıca uygulama alanları aşağıda özetlenmektedir.

3.3.1. Pasif Sistem Olarak İşlev Gören Bina Cepheleri

Aralık 1982'de saydam yalıtılmış dış duvarlar ile ilgili ilk deneyler Freiburg'de bulunan Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (FhG-ISE) tarafından yapılmıştır. O yıllarda, saydam yalıtım malzemeleri olarak 16mm. kalınlığındaki polimetilmetakrilat köpüğü tabakaları kullanılmıştır. İki tabaka 16mm. kalınlığındaki hava boşluğu ile beraber basit bir saydam yalıtım sistemi oluşturmuştur.

Daha geliştirilmiş saydam yalıtım sistemi, 1983 yılında Freiburg kentinde ayrık nizam bir evin batıya yönlendirilmiş cephesine gölgeleme elemanları ile birlikte uygulanmıştır. Ölçülen sıcaklıklar kaydedilmiştir. Bu ilk ölçümler kış aylarında saydam yalıtılmış duvardan direkt enerji kazancının elde edildiğini kanıtlamıştır. Duvarın aylık enerji dengesi pozitiftir. Buradan, duvarın konutu ısıtabildiği sonucuna varılmıştır [3].

Pasif sistemlerin aktif sistemlere göre avantajı vardır. Pasif sistemlerde güneş enerjisi, herhangi bir destekleyici enerji ve hareketli kısımların yardımı olmadan direkt olarak yüzeye ulaşmaktadır. Çok az bir miktar güneş ışınımı bile ısı kayıplarında azalmaya sebep olmakta ve pasif sistemler kış aylarında da verimlilik sağlayabilmektedir [13,16].

Saydam yalıtılmış bina dış duvarı, geleneksel yalıtımın ve güneş kollektörünün birleşimi olarak kabul edilmektedir ve pencereden gelen direkt güneş enerjisi kazançları ile birleştirilebilmektedir. Gün boyunca sürekli bir şekilde güneş enerjisi kazancı elde edilmektedir.

Saydam yalıtılmış bir dış duvarda 10cm. kalınlığında kapiler veya balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılmaktadır. Güneş ışınımı saydam yalıtım malzemesi boyunca geçirilmekte ve koyu renkli duvar yüzeyi tarafından emilmektedir. Saydam yalıtım malzemesinin kalitesine bağlı olarak, enerjinin büyük bölümü binanın içine duvar vasıtasıyla iletilmektedir.

Saydam yalıtılmış dış duvarlar, güneş enerjisi kazançlarını kontrol etmek için gölgelenmelidir. Gölgeleme elemanı güneş ışınımı akışını kontrol ederek duvarı aşırı ısınmaya karşı korumaktadır [3].

Yaz aylarında gölgelenmemiş ve saydam yalıtılmış büyük yüzey, arkasındaki odaların aşırı ısınmasına sebep olabilmektedir. Bu durumda gölgeleme elemanları kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Gölgeleme elemanları (stor perde veya jaluzi), saydam yalıtım malzemesi ile en dıştaki cam tabakasının arasındaki boşluğa konulabilmektedir ve otomatik kontrol ile, ısıtmanın istendiği dönemde ilave yalıtım olarak kullanılmaktadır. Böylece, sistemin verimliliği artmaktadır. Alternatif olarak, güneye yönlendirilmiş balkon veya manual olarak kontrol edilebilen örtüler kullanılabilmektedir [13].

3.3.2. Gün Işığı Elemanları

Yapılan araştırmalar, ticari binalarda yapma aydınlatma için harcanan elektrik enerjisinin toplam enerji harcamalarında önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir.

Yapay ışığın yerine gün ışığı kullanımın soğutma enerjisi harcamaları açısından en önemli avantajı, aydınlatma aygıtları tarafından meydana getirilen ısının azaltılmasıdır. Bu nedenle yaz aylarında gün ışığı kullanmak, soğutma için harcanan enerji miktarını azaltmaktadır. Pencerelerde saydam yalıtım malzemeleri kullanımı ile gün ışığı bu malzemeler tarafından geçirilerek dağıtılmaktadır. Böylece, odanın derinliklerinde aydınlanma seviyesi artış göstermektedir [3].

Normal pencereli ofis binalarında, yüksek ışınım ve çok yüksek aydınlanma sebebiyle perde kullanılmaktadır. Bu yüzden, odanın geride kalan bölümlerinde

yapma aydınlatma kullanmak gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı, geleneksel tipteki binaların soğutma sistemi için ilave gereksinmelere ihtiyaç duyulmaktadır ve yaz aylarında soğutma sistemi için gereken enerji miktarı, kış aylarında ısıtma için gereken enerji miktarından daha fazla olmaktadır.

Saydam yalıtımın malzemelerinin kullanılması ile yapay ışık korunabilmekte ve soğutma sistemi için gerekli olan enerji azaltılabilmektedir. Ayrıca, yaz aylarında iyi bir planlama ile soğutma sistemi için gerekli olan enerji miktarı yok edilebilmekte, kış aylarında ise ışık ve ısı ihtiyacı güneş enerjisi yolu ile sağlanabilmektedir [13].

Gelecekte, gün ışığı uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilecek saydam yalıtım malzemeleri, kapiler veya balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemeleri ile dolgulu pencerelerdir. Kapiler veya balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemeleri, iki cam tabakası arasına yerleştirilmektedir (Şekil 3.12.). Bu malzemeler aracılığı ile, oluşan tüm yansımalar çift camlarda olduğu gibi kaybedilmemekte ve ileriye yönlendirilmektedir.



Şekil 3.12. Kapiler veya balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanı [16]

Saydam yalıtım malzemeleri kullanılarak oluşturulan gün ışığı elemanlarının U değerinin 1 $W/m^{2o}C$'den küçük ve enerji geçirgenliğinin %50'den daha büyük olması bu malzemeleri en iyi şekilde tanımlamaktadır. Bu fiziksel özellikler ile, saydam yalıtım malzemeleri kullanılan gün ışığı elemanları geleneksel cam sistemlerine göre daha az ısı kaybı sağladığından enerji korunumu açısından daha

etkindir. Saydam yalıtım malzemeleri kullanılan gün ışığı elemanları, standart çift camlar ile karşılaştırıldığında, saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanın ısı kayıpları standart çift camlara göre 1/3 oranındadır. Bu durum, toplam U değerini aynı değerde koruyarak kuzeye bakan alanların arttırılmasına olanak vermektedir.

Tablo 3.2.'de saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanlarının bazı özelliklerinin standart çift cam ile karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.2. Saydam yalıtım malzemesi kullanılan gün ışığı elemanlarının özellikleri

Tipi	Saydam Yalıtım Malzemesinin Kalınlığı (mm)	U değeri ($W/m^{2o}C$)	g değeri	τ
G-HC-G	50	1,01	0,78	0,80
G-HC-G	70	0,85	0,78	0,79
G-SA-G	20	0,96	0,49	0,40
G-G	-	2,93	0,49	0,82

G : cam

HC: balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi

SA : silika aerojel

U : toplam ısı geçirme katsayısı, $W/m^2\,^oC$

g : toplam enerji geçirgenliği, boyutsuz

τ : güneş ışınımı geçirgenliği, boyutsuz

U değerini geliştirmenin ilk olanağı, cam veya film tabakalarının sayılarını artırmaktır. Ancak tabaka sayısının artırılması güneş ışınımının geçişini de azaltmaktadır. Çünkü her tabaka güneş ışınımının bir kısmını yansıtmaktadır. Cam tabakalarında düşük yayınımlı kaplamalar (low-e) kullanılarak U değeri zorlayıcı bir şekilde azaltılmakta, bunun yanısıra güneş ışınımı geçişi de azaltılmış olmaktadır [3].

Gün ışığı uygulamaları için silika aerojelin avantajları iyi seviyede güneş ışınımı iletimi, düşük ısı iletimi ve kabul edilebilir görsel saydamlıktır. Silika aerojel dolgulu pencereler, kısmen boşaltılmış çift camın arasına yerleştirilen silika aerojel granülleri içermektedir.

Daha kalın silika aerojel kullanarak gerekli olduğu kadar düşük U değeri elde etmek mümkündür. Buna rağmen, daha kalın silika aerojel kullanmak aynı zamanda, geçen

ışık ve ısı miktarını azaltmaktadır. Oluşabilecek ısı köprüleri pencerenin U değerini bozabilmektedir dolayısıyla pencere çerçevesine gereken önem verilmelidir[3,16,19].

Tablo 3.3.'de gün ışığı elemanlarında yaygın olarak kullanılan saydam yalıtım malzemelerinin optik ve termofiziksel özellikleri verilmektedir [3].

Tablo 3.3. Saydam yalıtım malzemeleri kullanılan gün ışığı elemanlarının optik ve termofiziksel özellikleri

Malzemeler	d (mm)	U ($W/m^2\,^oC$)	τ	g
Hava dolgulu çift camlı pencere	0	2,9	0,63	0,67
Argon gazı dolgulu ve düşük yayınımlı (low-e) kaplamalı çift camlı pencere	4-16-9	1,3	0,42	0,53
Kripton dolgulu ve düşük yayınımlı (low-e) kaplamalı üç camlı pencere	4-8-4-8-4	0,7	0,28	0,35
Granül silika aerojel dolgulu çift camlı pencere	4-24-4	0,8	0,45	0,50
Vakumlu pencere	9	(0,3-)0,6	0,32-0,36	0,35-0,40
PC balpeteği dolgulu çift camlı pencere	4-50-4 4-100-4	1,3-1,4 0,8-0,9	0,65 0,57	0,67 0,64

d : cam tabakalarının ve boşlukların kalınlıkları, mm

U : toplam ısı geçirme katsayısı, $W/m^2\,^oC$

τ : güneş ışınımı geçirgenliği, boyutsuz

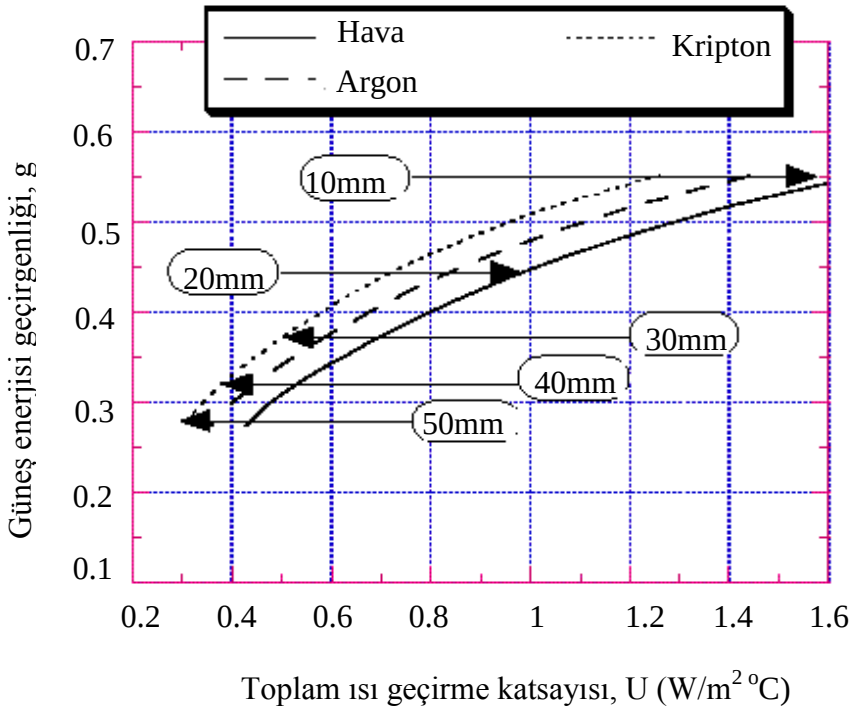
g : toplam enerji geçirgenliği, boyutsuz

Granül silika aerojel ile doldurulmuş çift camlar iyi yalıtım özelliklerinin yanısıra direkt kamaşma azaltımı, ilave ışık kazancı, değişen çevre şartlarına rağmen daha sabit ışık dağılımı sağlamaktadır

Granül silika aerojelin yeterli kalınlığı 10-15mm.'dir. Ekonomik açıdan en düşük kalınlık 10mm.'dir. Teknik açıdan 15mm. kalınlığındaki silika aerojel prototip üretim için seçilmiştir. Prototipin U değeri 0,7 $W/m^{2o}C$'den daha düşüktür. Bu değer bina sektöründeki en iyi ısı pencerelerinden iki kat, geleneksel çift camlı pencerelerden de dört kat daha iyidir [19].

Gün ışığının gerekli olduğu ve ısı geçişinin kontrolünün zorunlu olduğu durumlarda granül silika aerojel kullanışlı seçenekler sunmaktadır. Granül silika aerojel

kullanılan pencerelerin ısıl performansı, gaz dolgulu camlar ile karşılaştırıldığında büyük oranda geliştirilmiştir ve enerji kazançlarında önemli bir artış sağlamaktadır. [3,19,24]. Şekil 3.13.'de farklı soygaz dolgulu ve farklı kalınlıklarda granül silika aerojel dolgulu camların U değerleri ve enerji geçirgenlik değerleri verilmektedir.



Şekil 3.13. Granül silika aerojel dolgulu camların performansı [12]

3.3.3. Binaların Enerji Etkin Yenilenmesi

Saydam yalıtım malzemeleri, pasif yaklaşımları kullanarak bilinçli bina tasarımı konusunda mimarlara geniş bir seçim yelpazesi sunmaktadır. Bu seçme serbestliği yeni binalarda test edilmektedir. Fakat enerji kazanımı konusunda önemli sonuçları başarmak ve yenileme sektörü en önemli konulardır. Bu nedenle, saydam yalıtım malzemeleri ile gerçekleştirilen enerji etkin yenilemelerdeki pratik uygulamalar, son altı yılda gerçekleştirilen projeler ile genişlemektedir [25].

Bozulmuş veya yetersiz yalıtılmış bir cepheyi enerji kazanımı açısından güçlendirmek için uygulanabilecek geleneksel yöntemler, yeni bir giydirme uygulamak ve opak yalıtım ilave etmektir. Bu uygulamanın sebebi, duvar iyi yalıtılmış olursa ısı kayıplarının azalacağı düşüncesinden kaynaklanmaktadır.

Bununla beraber, uygulanan yalıtım güneş ışınımının olduğu dönemlerde güneş enerjisi kazançlarını binanın ısıtma ihtiyacına katkıda bulunması için depolanmasına olanak sağlamaktadır.

Son zamanlarda binaların enerji etkin olarak yenilenemesinde, yalıtım malzemesi olarak saydam yalıtım malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel dış cephe yalıtım sistemleri gibi pasif sistem olarak işlev gören dış duvarlarda, kabuk elemanını güçlendirmek, eski cepheyi değiştirmek veya korumak, mekan ısıtması için gerekli olan ısı ihtiyacını azaltmak için bu malzemeler kullanılmaktadır. Saydam yalıtım malzemeleri, cephedeki toplam ısı geçirme katsayısını düşürmekle birlikte güneş ışınımından oluşan ısı kazancını da artırmaktadır.

Saydam yalıtım malzemeleri çoğunlukla masif tuğla duvarlarda veya yetersiz yalıtılmış beton duvarlarda etkindir. Dış duvarlarda saydam yalıtım malzemesi kullanıldığı zaman, malzemeyi korumak için cam örtü kullanılması gerekmektedir [26].

Kaplama teknolojisindeki ilerlemeler sebebiyle, binalardaki ısı yalıtımı ve iklimsel konforun artan taleplerini karşılamak için çeşitli cam ürünler bulunmaktadır (Ag veya SnO_2 bazlı kaplamalar, çift veya üçlü camlar vb.). Bu cam çeşitleri enerji etkin bina yenilemesi için uygundur. Kaplamalar genellikle yüksek gün ışığı geçirgenliğine göre ayarlanmaktadır. Tüm güneş ışınımı spektrumu için geçirgenlikleri düşüktür. Eğer görsel saydamlık önemli değil ise (çatı pencereleri, çatı ışıklıkları ve saydam yalıtılmış duvarlar) saydam yalıtım malzemesi ile, güneş ışınımı geçirgenliği açısından daha iyi özellikler elde edilebilmektedir [25].

Tasarım aşamasının başında dikkat edilmesi gereken konuların başında yoğuşma ve kamaşma gelmektedir. Bunlara ilave olarak, bir takım gölgeleme elemanları (hareketli veya sabit jaluziler) bahar ve yaz aylarında istenmeyen ısı kazançlarından korunmak için kullanılmaktadır .

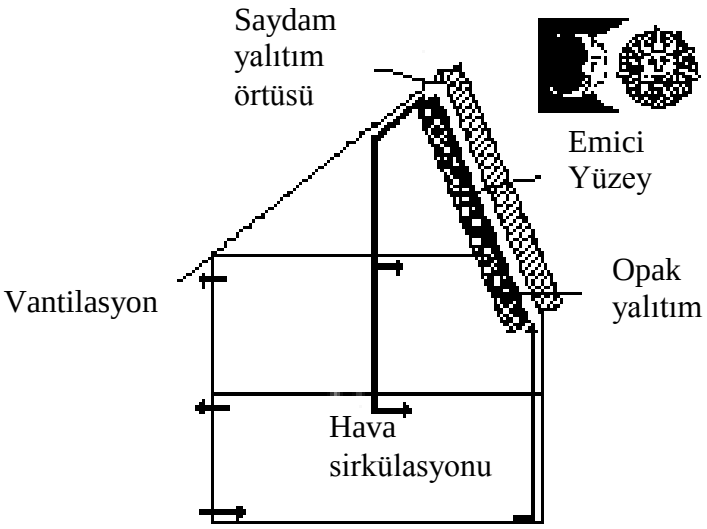
Almanya'da geliştirilen yeni bir saydam yalıtım malzemesi uygulama yönteminde, saydam yalıtım malzemesi mevcut duvara direkt olarak uygulanmaktadır. Bu malzemeler, geleneksel dış cephe yalıtım sistemleri ile benzer bir görünüm oluşturmaktadır ve mevcut taş cephelere kolayca uygulanabilmektedir.

Bu yeni saydam yalıtım malzemeleri, tarihi yapıları karakterlerini bozmadan yenilemeye olanak vermektedir. Saydam yalıtım malzemelerinin bu şekilde gelişmesiyle, yeni ve ilginç mimari tasarımlar yapılabilecektir [26].

Gelecek yıllarda enerji etkin yenileme, bina sektöründe hızla büyüyen bir sektör olarak yerini alacaktır. Binaların enerji taleplerini azaltmak için önerilen çözümler özel talepleri de karşılamaktadır. Çalışmalar ve gerçekleştirilen projeler, saydam yalıtımın yenileme sektöründeki taleplere cevap verdiğini göstermektedir [25].

3.3.4. Hava Taşıyıcılı Kollektörler

Saydam yalıtım malzemeleri, aktif güneş enerjisi ısıtma sistemleri için akışkan olarak hava kullanılan kollektörlerde kullanılmaktadır (Şekil 3.14).



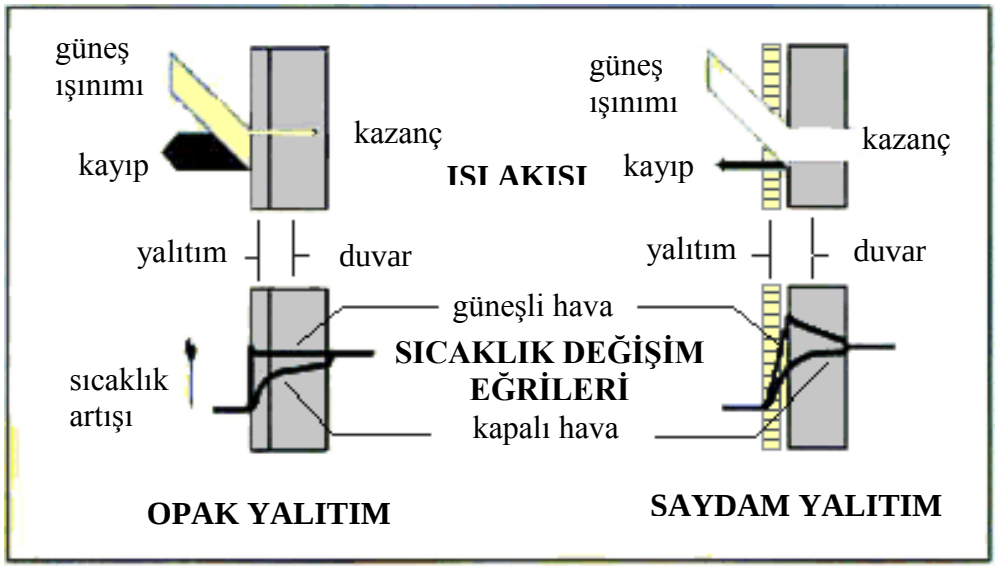
Şekil 3.14. Hava taşıyıcılı kollektör [9]

Saydam örtü, 5cm. kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi veya 16mm. üç katmanlı polikarbonat plakalarla çatıda hava taşıyıcılı kollektörü oluşturmaktadır. Ilık hava, kontrollü fanlar tarafından konutun içine doğru yayılmaktadır. Eğer kollektör sıcaklığı ile konuttaki sıcaklık arasında ilave 5 ^{o}C fark var ise kontrol sistemi havanın akmasına izin vermektedir. İç sıcaklık aşırı yükselirse termostat fanı kapatmaktadır. Yaz aylarında fan kapalıdır ve kollektör açıklıklar ile havalandırılmaktadır. Opak yalıtım (16cm. kaya yünü), kollektörün altındaki odaları aşırı ısınmaya karşı korumaktadır [9].

3.4. Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Malzemelerinin Kullanımı

Saydam yalıtım malzemelerinin enerji korunumu açısından gelecek vaat eden uygulamaları, depolama duvarı ile beraber kullanımları şeklindedir. Böyle bir duvar, binanın ısıtılmasına yardım etmektedir [3].

Güneş ışınımının odayı ısıtmak için yeterli olmadığı zamanlarda saydam yalıtım malzemesi, duvarın dış yüzey sıcaklığını arttırarak ısı kayıplarının azalmasını sağlamaktadır. Yalnız yaygın ışınımın bulunduğu tamamen bulutlu havada ise saydam yalıtımın davranışı opak yalıtıma benzemeye başlamaktadır (Şekil 3.15.) [2].



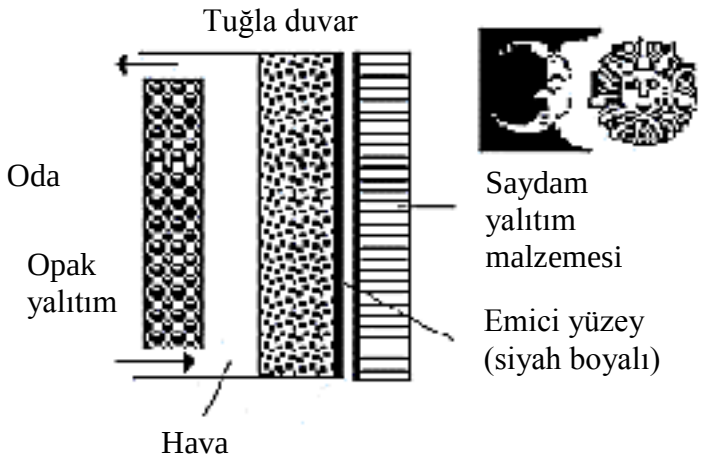
Şekil 3.15. Opak ve saydam yalıtımın çalışma prensipleri [27]

Güneş ışınımının bulunmadığı gece saatlerinde saydam yalıtım ile opak yalıtım benzer davranış göstermektedir ve sadece yalıtım özellikleri ile binanın ısı kayıplarını azaltmaktadır. Ancak saydam yalıtılmış duvarlar, gün boyunca güneş ışınımından kazandığı ve dış duvarda depoladığı enerjiyi gece saatlerinde iç ortama aktararak ısıl konfora katkıda bulunmaktadır

Geleneksel dış duvarların aksine, saydam yalıtılmış dış duvarlarda duvarın iç yüzeyi oda sıcaklığından daha yüksektir ve dış duvarlar iç ortam için bir ısı kaynağı olarak çalışmaktadır. Diğer bir deyişle, saydam yalıtılmış dış duvarlar, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürücü olarak çalışmaktadır [2].

Bir evin güney cephesindeki Trombe duvarında saydam yalıtım malzemesi kullanılmıştır (Şekil 3.16.). En dıştaki saydam örtü güneş ışınımının içeri girmesini sağlamaktadır. Tuğla duvar 11cm. kalınlığındadır ve dış yüzeyi emici yüzey olarak çalışması için siyaha boyanmıştır. Tuğla duvar gündüz saatlerinde ısıyı depolamaktadır ve belirli bir zaman geciktirmesi ile ısıyı duvar ile opak yalıtım arasındaki hava tabakasına iletmektedir. Isınarak yükselen hava odaya doğru sirkülasyon yapmaktadır.

Kış mevsiminde hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda havalandırma kanalları açıktır. Yaz aylarında ise bu havalandırma kanalları kullanıcılar tarafından kapatılmaktadır. İç kısımdaki opak yalıtım tabakası, havalandırma kanalları kapalı ve hava sirkülasyonu durduğu zaman, mekanı aşırı ısınmaya karşı korumaktadır [9].



Şekil 3.16. Trombe duvarı [9]

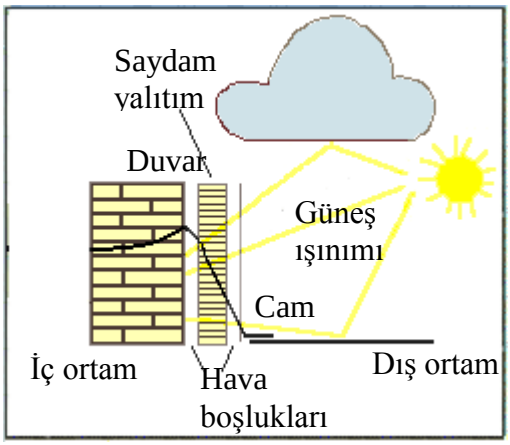
Pasif ısı depolama duvarı başlıca beş bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.17.) [3].

Bu bileşenler,

- dış cam tabakası,
- gölgeleme elemanı,
- saydam yalıtım malzemesi,
- iç plastik film veya ince cam tabakası ve
- masif duvardır.

Dış cam tabakası, saydam yalıtım malzemesinin dış hava şartlarından etkilenmemesi için kullanılmaktadır. Bu cam tabakası, kırılmayan camdan üretilmektedir ve pürüzlü iç yüzeyi direkt yansımaları azaltmaktadır. Düşük demir içeren camlar, güneş ışınımı geçirgenliğini arttırmak için avantajlıdır.

Saydam yalıtım malzemesi ile en dıştaki cam tabakası arasında bir boşluk bulunmaktadır. Bu boşluk, şiddetli hava koşullarında yoğuşma suyunun kapiler veya balpeteği yapıda saydam malzemesinin içine girmesini engellemek ve gölgeleme elemanlarını yerleştirmek için gereklidir [13].



Şekil 3.17. Saydam yalıtılımış pasif ısı depolama duvarının temel prensibi [27]

Gölgeleme elemanları aşırı ısınmayı önlemek ve geçiş dönemlerinde enerji kazançlarını düzenlemek için gereklidir. Stor perdeler bu amaçla sık kullanılan gölgeleme elemanlarıdır.

Verimliliği yüksek saydam yalıtım malzemeleri, güneş ışınımını %100 yansıtan gölgeleme elemanları ile yaz aylarında aşırı ısınmaya karşı etkin bir koruma sağlamaktadır. Gölgeleme elemanlarının kapalı tutulduğu durumlarda, eğer elemanın yüzeyi kızılötesi ışınımı yansıtabilecek özellikte ise gece boyunca oluşan ısı kayıpları azaltılmaktadır. Cam tabakası ile saydam yalıtım malzemesi arasında yer alan düşük yayınımlı (low-e) kaplamalı yüzeyler iki malzeme arasındaki ışınım değişimini azaltmaktadır.

İki cam tabakasından oluşan, genellikle prefabrike olan ve bir çerçeve ile bir arada tutulan modüler saydam yalıtım malzemeleri, duvar yüzeyine monte edilebildiği gibi duvar yüzeyi ile saydam yalıtım malzemesi arasında hava boşluğu bırakılarak da uygulanabilmektedir. Saydam yalıtım malzemesinin çerçeve malzemesi düşük ısı iletim değerine sahip olmalıdır ve güneş ışınımı kazancını maksimize etmek için çerçeve kalınlığı küçük olmalıdır. Bu çerçeve özel bir yapı ile suda çözünen siyah boya ile boyanmış duvar yüzeyine sabitlenmektedir. İkinci bir alternatifde ise, çerçeveli cam ile beraber saydam yalıtım malzemesinin pürüzsüz duvara direkt olarak preslenmekte veya yapıştırılmaktadır.

İç plastik film veya cam örtü, saydam yalıtım malzemesinin yüzeyine direkt olarak dokunmaktadır. Bu durum, emici hava boşluğundan cam örtünün hava boşluğuna doğru oluşabilecek konvektif hava değişiminden sakınmak için gereklidir [15].

Saydam yalıtım malzemesi boyunca geçirilen enerjinin verimini artırmak için depolama duvarının dış yüzeyine bir aktif kollektör kurulabilmektedir. Bu sayede enerjinin bir kısmı binanın diğer bölümlerine aktarılmaktadır. Çok az direkt güneş enerjisi kazancı olan kuzeyli yönlerde enerjinin depolanması örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu gibi sistemlerin yararları malzeme, kurma ve bakım maliyetleri ile dikkatlice karşılaştırılmalıdır [3].

Saydam yalıtılmış dış duvarlardaki iç yüzey sıcaklığı opak yalıtılmış dış duvarlara göre daha yüksektir. Gelen güneş ışınımının mekanı ısıtmak için yeterli olmadığı durumlarda bile saydam yalıtım malzemeleri, duvarın iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını azaltarak ısı kayıplarının düşürülmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, iklimsel konfor için sıcaklıklar düşürülmelidir [13].

Güneş enerjisi kazançları, iklime ve saydam yalıtım malzemesinin yönlendiriliş durumuna bağlı olmaktadır. Saydam yalıtım uygulamaları, güneş ışınımı kazancı yüksek soğuk iklim bölgelerinde önem kazanmaktadır. Güneydoğudan güneybatıya kadar olan yönlendiriliş durumları uygun görülmektedir. Çünkü doğu ve batı yönleri, güneş ışınımı açısından ısıtmanın istendiği dönem olan kış aylarında ikinci derecede etkindir ve yaz aylarında oluşan doğu ve batı yönlerinde sırasıyla sabah ve öğleden sonra saatlerinde aşırı ısınma problemi olmaktadır.

Güneşli bölgelerde doğru ölçülendirme ve saydam yalıtım malzemelerinin iyi uygulanması ile ısıtmanın istendiği dönemde 100-150 kW/m^2 değerlerine ulaşan güneş enerjisi kazançları sağlanabilmektedir [13,23].

Saydam yalıtım malzemeleri, enerji tasarrufu sağlamaya yönelik düşük enerjili binalarda uygulama alanı bulmaktadır.
Bu alanda yapılan uygulamalara, Almanya'nın Freiburg kentinde 1992 yılında inşa edilen düşük enerjili bina örnek olarak gösterilebilmektedir (Şekil 3.18.). Binanın ısıtma ihtiyacı, güney cephesine uygulanan kapiler yapıda saydam yalıtım malzemeleri ile sağlanmaktadır [28].



Şekil 3.18. Düşük enerjili bina cephesi, Freiburg [28]

Bu konuda yapılan uygulamalara ikinci bir örnek olarak, Avusturya'da inşa edilmiş bir konutun (Terrace House) güney cephesi Şekil 3.19.'da verilmektedir. Konutun güney cephesindeki dış duvarlarında kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılmıştır [16].



Şekil 3.19. Kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi uygulanan bina cephesi [16]

Bir başka örnek ise Villa Tannheim'dır (Şekil 3.20.). Bu bina, 1994 yılından bu yana Uluslararası Güneş Enerjisi Kuruluşu'nun (International Solar Energy Society - ISES) merkezi olarak kulanılmaktadır. Binanın batı cephesinde $50m^2$'lik dış duvar alanı saydam yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır (Şekil 3.21.). [27,29]



Şekil 3.20. Villa Tannheim, ISES Genel Merkezi Binası, Freiburg, Almanya [29]



Şekil 3.21. Villa Tannheim binasının saydam yalıtılmış duvar yüzeyi [30]

Şekil 3.22.'de 1995 yılında inşa edilen bir büro binasının saydam yalıtılmış güney cephesi görülmektedir. Binanın güney cephesinde $20m^2$'lik dış duvar alanı saydam yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır [31].



Şekil 3.22. Saydam yalıtım malzemesi uygulanan büro binası cephesi [31]

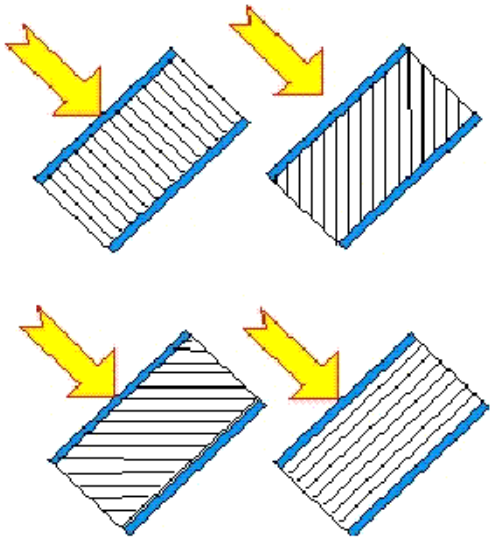
- **Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Uygulamaları için Kullanılan Örnek Ürünler**

Yurt dışında bir çok firma çeşitli yapıda saydam yalıtım malzemesi üretmektedir. Bu malzemeler, hem pasif sistem olarak işlev gören duvar uygulamalarında hem de gün ışığı uygulamalarında kullanılmaktadır. Her iki durumda da camlar bir çerçeve sistemi ile birleştirilmektedir.

Aşağıda, Almanya'da geliştirilen örnek ürünler açıklanmaktadır.

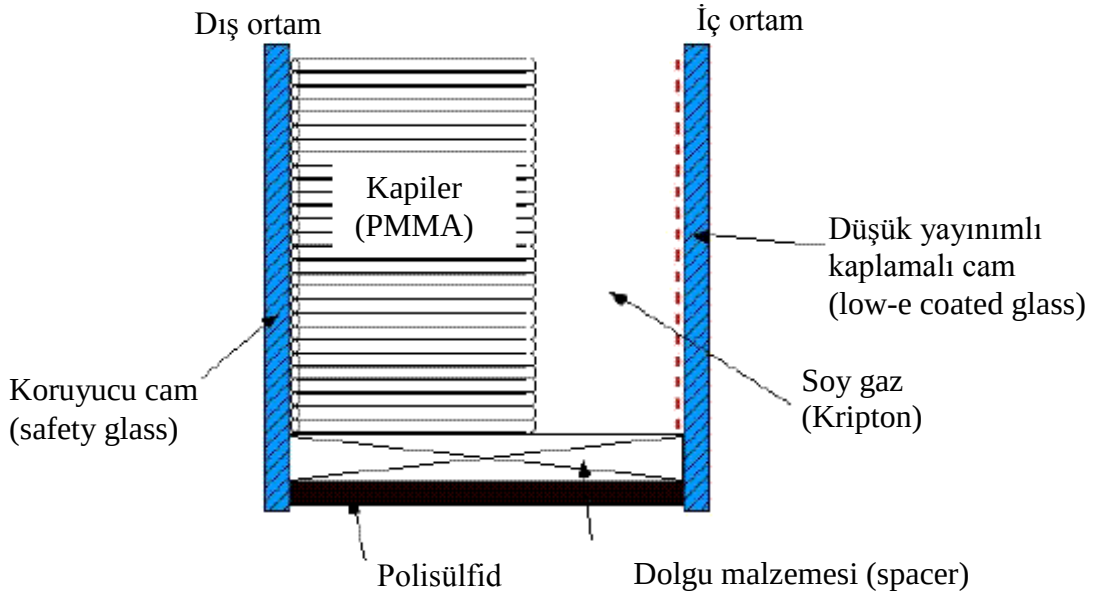
Şekil 3.23.'de görülmekte olan saydam yalıtım camları, polikarbonat esaslı, balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemelerinden oluşmaktadır. Malzemelerin cam yüzeylere dik olma zorunlulukları yoktur ama eğimli olabilmektedirler. Eğim açısı genellikle 45^o olmaktadır. Cam yüzeylere paralel balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemeleri de kullanılmaktadır.

Balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesinin kalınlığı gün ışığı uygulamaları için 12-50mm.'dir. Pasif ısı depolama duvarı uygulamaları için, yüzeye dik düzenlenen, daha kalın balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemeleri bulunmaktadır [18].



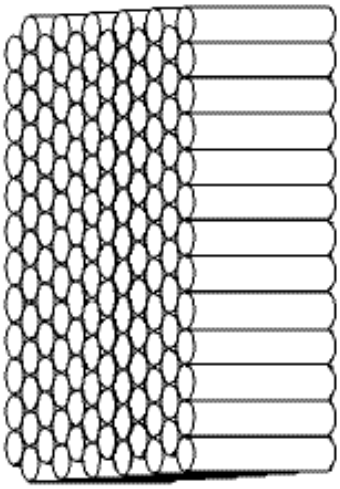
Şekil 3.23. Balpeteği yapıda saydam yalıtım malzemesi kullanılarak üretilen saydam yalıtım camları [18]

Almanya'da üretilen bir başka saydam yalıtım camı, iki düz cam tabakası arasına kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi ve soygaz doldurulmuş bir elemandır (Şekil 3.24.). Saydam yalıtım malzemesi ile dış cam tabakası arasında 6-8mm. kalınlığında bir havalandırma boşluğu bulunmaktadır. Cam tabakaları için düşük demir içeren cam önerilmiştir. Çeşitli standart kalınlıklar bulunmaktadır [32].



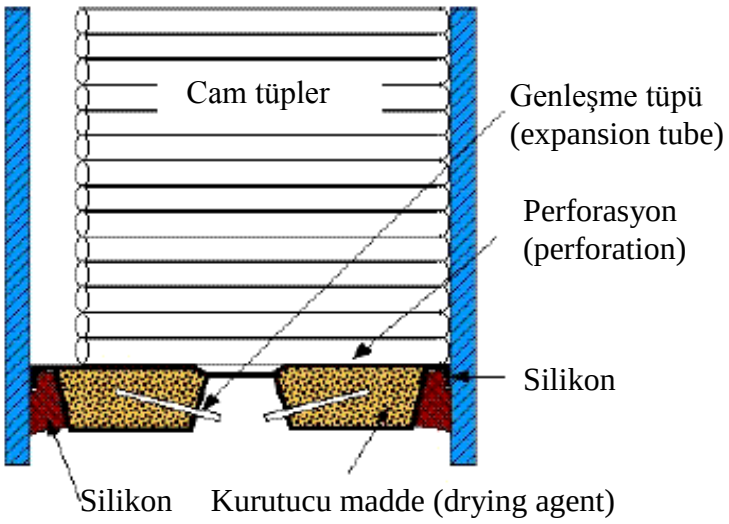
Şekil 3.24. Kripton gaz dolgu ve düşük yayınımlı (low-e) kaplama kullanılan saydam yalıtım camı [18]

Saydam yalıtım camlarında kullanılan kapiler yapıda saydam yalıtım malzemeleri, cam yüzeylere 90^o lik bir açı ile balpeteği şeklinde düzenlenmiş akrilik tüplerden oluşmaktadır (Şekil 3.25.). Güneş ışınımının maksimum iletimi ve maksimum ısı yalıtımı sağlanması için optimum çapları 3-4mm.'dir [32,33].



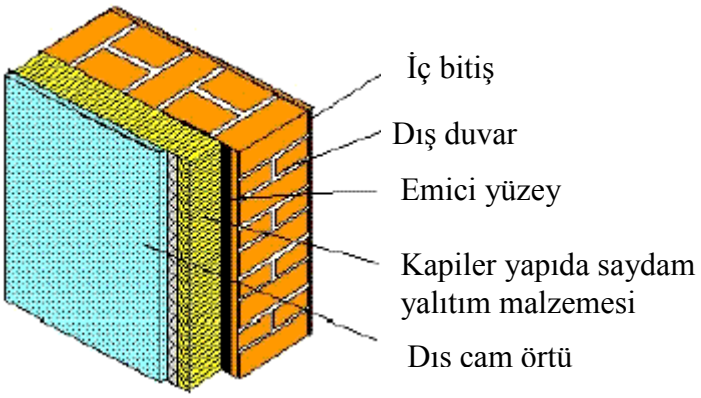
Şekil 3.25. Akrilik kapiler yapıda saydam yalıtım malzemesi [18]

90'lı yılların sonunda, cam tüplerden saydam yalıtım camları üretme teknolojisinde ileriye dönük olarak büyük bir adım atılmıştır. 7-10mm. çapında ve duvar kalınlığı yaklaşık 100μm olan cam tüpler için yeni kesme ve dolgu teknikleri geliştirilmiştir (Şekil 3.26.). Bu saydam yalıtım camı, çok yüksek optik niteliklere sahiptir ve pasif ısı depolama duvarları ve gün ışığı uygulamaları için kullanılmaktadır [18,34].



Şekil 3.26. Saydam yalıtım camının şematik kesiti [18]

Şekil 3.27.'de bileşenleri gösterilen pasif ısı depolama duvarında, saydam yalıtım malzemesi siyah emici yapıştırıcının yardımı ile yüzeye sabitlenmektedir. Temiz ve hızlı montaj sağlanabilmektedir [18].



Şekil 3.27. Saydam yalıtım malzemesinin dış duvara uygulanması [18]

BÖLÜM 4. ENERJİ KORUNUMU AÇISINDAN DIŞ DUVARLARDA SAYDAM YALITIM KULLANIMININ İRDELENMESİ İÇİN ELE ALINAN YAKLAŞIM

4.1. Yaklaşımın Amacı

Bu çalışmanın amacı; ısıtmanın istendiği dönemde kaybedilen, soğutmanın istendiği dönemde kazanılan ısı miktarlarının belirlenip karşılaştırma yoluyla, yapma çevreyi çevreleyen dış duvarda saydam yalıtım malzemeleri kullanıldığı zaman gösterdiği ısıl performansının irdelenmesidir. Çalışmada yapma çevre, hacim ölçeğinde ele alınmaktadır.

4.2. Yaklaşımın Adımları

Açıklanan amaca uygun olarak gerçekleştirilen çalışmada ele alınan yaklaşımın adımları aşağıda özetlenmektedir.

4.2.1. Tasarımın Dayandırıldığı Karakteristik Günlerin Belirlenmesi

Isıtmanın ve soğutmanın istendiği dönemlere ait tasarımın dayandırıldığı karakteristik günler belirlenerek, hesaplamalar bu günlere ait meteorolojik verilere dayandırılmaktadır [7].

4.2.2. Tasarımın Dayandırıldığı Dış Koşulların Belirlenmesi

Tasarımın dayandırıldığı karakteristik günler için, güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı gibi iklim elemanlarına ait değerler gerçek atmosfer koşullarına göre belirlenmektedir. Gerçek atmosfer koşulları, atmosferin yöresel bileşimini ve yöresel bulutluluk koşullarını göz önüne alarak tanımlanan atmosfer koşullarıdır [7].

4.2.3. Tasarımın Dayandırıldığı İç Koşullarının Belirlenmesi

Hacim içerisinde iç hava sıcaklığının ve dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının iç yüzey sıcaklığının iklimsel konfor açısından belirli değerlere sahip olması gerektiği bilinmektedir.

Isıtmanın istendiği dönem için dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanı iç yüzey sıcaklığının iklimsel konfor açısından izin verilebilir sınır değeri;

$$t_{iyo} = t_i - ™ \quad (4.1)$$

Soğutmanın istendiği dönem için dış duvar ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanı iç yüzey sıcaklığının iklimsel konfor açısından izin verilebilir sınır değeri ise,

$$t_{iyo} = t_i + ™ \quad (4.2)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır [7].

t_{iyo} : ısıtmanın ve soğutmanın istendiği dönemler için dış duvar ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanı iç yüzey sıcaklığının iklimsel konfor açısından izin verilebilir sınır değeri, °C

t_i : iç hava sıcaklığı (kuru termometre sıcaklığı) konfor değeri, °C

™ : iklimsel konfor açısından dış duvar ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanı iç yüzey sıcaklığı ile iç hava sıcaklığı arasındaki izin verilebilir fark değeri, 3°C.

4.2.4. Dış Duvar Tasarımında Rol Oynayan Diğer Yapma Çevreye İlişkin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Ele alınan hacme ilişkin yapma çevre parametrelerine ait değerler ısı geçişi hesaplamalarında kullanılmak üzere belirlenmektedir. Bu parametreler aşağıda sıralanmaktadır.

- **Hacmin Konumunun Belirlenmesi**

Hacmin konumu, hacimdeki dış duvar sayısını ve dolayısıyla dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanları aracılığıyla kazanılan ve kaybedilen toplam ısı miktarını etkilediğinden pasif sistem öğesi olarak ele alınması gerekmektedir [8].

- **Hacme İlişkin Boyutların ve Hacmin Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi**

Hacmin boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. Güneş ışınımından kazanılan ısı miktarı yönlere göre farklılık gösterdiğinden, hacme ait dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının baktırıldığı yönler belirlenmelidir.

- **Dış Duvarın Dış Yüzeyinin Güneş Işınımına Karşı Yutuculuk Katsayılarının Belirlenmesi**

Dış duvarların dış yüzeylerinin güneş ışınımına karşı yutuculuk katsayıları, cephenin açık veya koyu renklere boyanmış olmasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle cephenin rengi, dolayısıyla duvarın dış yüzeyinin güneş ışınımına karşı yutuculuk katsayısı belirlenmelidir.

- **Saydamlık Oranının Belirlenmesi**

Hacmi çevreleyen saydam ve dış duvar alanlarına bağlı olarak, saydam alanların toplam alana oranlanması ile saydamlık oranı belirlenmektedir.

- **Pencere Doğraması ve Cam Türünün Belirlenmesi**

Saydam bileşeni oluşturan pencere doğramasının türü (plastik veya ahşap doğrama) ve camın türü (tek veya çift cam) belirlenmektedir.

4.2.5. Dış Duvar Katmanlaşma Alternatiflerinin Belirlenmesi

Farklı duvar ana malzemelerine farklı kalınlıklarda saydam yalıtım malzemesi uygulanarak oluşturulan dış duvar katmanlaşma alternatifleri, ek bir ısıtma veya soğutma sisteminin çalıştırılıp çalıştırılmaması durumlarına göre ısıl performanslarının değerlendirilmesi amacı ile belirlenmektedir.

4.2.6. Dış Duvar Alternatiflerinin Toplam Isı Geçirme Katsayılarının Hesaplanması

Dış duvarın toplam ısı geçirme katsayısı (U_o), duvarın her iki tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark 1°C iken, 1m² alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Toplam ısı geçirme katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır [35].

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_1} \cdots \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha d}} \tag{4.3}$$

U_o : toplam ısı geçirme katsayısı, W/m²°C

d_1, d_2 : dış duvar katmanlaşmasını gerçekleştiren malzemelerin kalınlıkları, m

λ_1, λ_2 : malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları, W/m °C

α_i : iç yüzeysel ısı iletkenlik katsayısı, W/m² °C

α_d : dış yüzeysel ısı iletkenlik katsayısı, W/m² °C

Dış duvarın ısı geçirgenlik direnci aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{d_n}{\lambda_n} \tag{4.4}$$

$\frac{1}{\Lambda}$: dış duvarın ısı geçirgenlik direnci, m²°C /W

4.2.7. Belirlenen Dış Duvar Alternatifleri İçin Isıtmanın İstendiği Dönem Süresince Kaybedilen ve Soğutmanın İstendiği Dönem Süresince Kazanılan Isı Miktarlarının Hesaplanması

Dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımının sahip oldukları büyüklüklere bağlı olarak, yıl süresince belirli dönemlerde hacim içerisinde iklimsel konforun sağlanabilmesi için ek yapma enerji sistemlerine gereksinim duyulmaktadır. Bu koşullarda, dış duvar ve saydam bileşenlerden oluşan kabuk elemanları aracılığı ile hacmin kazandığı veya kaybettiği ısı miktarları hesaplanarak yapma enerji miktarını etkilemektedir. Bunun yanısıra, iç hava sıcaklığı bir yapma enerji sistemi ile sabit olarak tutulsa bile dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının ısı geçişini etkileyen özelliklerine bağlı olarak iç yüzey sıcaklığı değiştiği için, iklimsel konforu etkileyen ortalama ışınımsal sıcaklık değişim göstermektedir [8].

Dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının birim alanından kaybedilen ve kazanılan saatlik ısı miktarları, elemanın termofiziksel özelliklerinin belirlenmiş değerlerine (cephe elemanının baktığı yöne göre farklı dış duvar toplam ısı geçirme katsayısı, ısı geçişi ve ısı depolama özelliklerine bağlı olarak, zaman geciktirme ve genlik küçültme faktörü ve farklı saydamlık oranı bileşimlerine) bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Isı geçişinin zamana bağlı incelenmesi durumunda, gerçek atmosfer koşulları için, ısıtmanın ve soğutmanın istendiği dönemde kabuk elemanının birim alanından kaybedilen ve kazanılan saatlik ısı miktarları, aşağıdaki bağıntı aracılığıyla hesaplanmaktadır [7].

$$q = \alpha_i (t_{oi} - t_i) (1 - x) + \alpha_i (t_{ci} - t_i) x \quad (4.5)$$

q : dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının birim alanından kaybedilen veya kazanılan saatlik ısı miktarları, W/m^2

α_i : iç yüzeysel iletim katsayısı, $W/m^{2o}C$

t_{oi} : ele alınan saatte dış duvarın iç yüzey sıcaklığı, ^oC

t_i : iç hava sıcaklığı konfor değeri, ^oC

x : saydamlık oranı

t_{ci} : saydam bileşenin iç yüzey sıcaklığı, ^oC

Yukarıdaki formülde (4.5) ele alınan saatteki dış duvarın iç yüzey sıcaklığının değeri, saydam bileşenlerden geçen güneş ışınımının iç yüzeyler tarafından yutulan oranı hesaba katılarak aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır [8].

$$t_{oi}^* = \frac{a_1 \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2}\left(\frac{2 \cdot \Delta x}{\lambda_1} \cdot b \cdot S_i + 2 \cdot \frac{\alpha_i \cdot \Delta x}{\lambda_1} \cdot t_i + 2 \cdot t_2 + t_{oi}\left(\frac{(\Delta x)^2}{a_1 \cdot \Delta T} - \frac{2 \cdot \Delta x \cdot \alpha_i}{\lambda_1} - 2\right)\right) \quad (4.6)$$

t_{oi}^* : dış duvar iç yüzey sıcaklığının herhangi bir T anındaki değeri, ^oC

a_1 : dış duvarın iç yüzeyindeki malzemenin ısıl yayınım katsayısı, m^2/s

λ_1 : dış duvarın iç yüzeyindeki malzemenin ısı iletkenliği, $W/m°C$

b : dış duvarın iç yüzeyinin hacmin saydam bileşenlerinden geçen güneş ışınımını yutuculuk katsayısı

S_i : hacimdeki tüm saydam bileşenlerden geçen güneş ışınımının, ele alınan kabuk elemanının iç yüzeyini etkileyen yeğinliği, W/m^2

α_i : iç yüzeysel ısı iletkenlik katsayısı, $W/m^2°C$

t_i : iç hava sıcaklığı konfor değeri, ^oC

t_2 : dış duvarın içerisinde, duvarın iç yüzeyinden (Δx) m kadar içerideki noktanın (T-ΔT) anındaki sıcaklığı, ^oC

Cam ve doğrama türüne bağlı olarak saydam bileşenlerin iç yüzey sıcaklıkları ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [8].

$$t_{ci} = \frac{U_c (t_{ec} - t_i) - (F_s I_D \tau_D + I_Y \tau_y) + \alpha_i t_i}{\alpha_i} \quad (4.7)$$

t_{ci} : saydam bileşenin herhangi bir andaki iç yüzey sıcaklığı, ^oC

U_c : saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı, $W/m^{2\,o}C$

t_{ec} : saydam bileşeni ele alındığı anda etkileyen sol-air sıcaklık, ^{o}C

I_D, I_Y : saydam bileşeni ele alındığı anda etkileyen direkt ve yaygın güneş ışınımı yeğinlikleri, W/m^2

τ_D, τ_Y : camın direkt ve yaygın güneş ışınımına karşı geçirgenliği, boyutsuz

F_s : camın diğer tarafından gölgelenmiş alanın tüm cam alanına oranı

α_I : iç yüzeysel iletkenlik katsayısı, $W/m^2\,^{o}C$

t_i : iç hava sıcaklığı konfor değeri, ^{o}C

4.2.8. Belirlenen Dış Duvar Alternatiflerinin Kaybedilen ve Kazanılan Isı Miktarları Açısından Karşılaştırılması

Belirlenen dış duvar alternatiflerinden ısıtmanın istendiği dönemde kaybedilen ve soğutmanın istendiği dönemde kazanılan ısı miktarları hesaplanmaktadır. Hesaplama sonuçları grafik ve tablolar şeklinde derlenmektedir.

Belirlenen dış duvar alternatifleri, dış duvarda saydam yalıtım kullanılması ve yalıtım kullanılmaması durumları için karşılaştırılmaktadır. Farklı alternatifler arasında, ısıtmanın istendiği dönemde en az ısı kaybına, soğutmanın istendiği dönemde ise en az ısı kazancına sahip olan alternatif, enerji korunumu açısından en uygun dış duvar alternatifi olarak belirlenmektedir.

BÖLÜM 5. ELE ALINAN YAKLAŞIMIN İSTANBUL YÖRESİNE UYGULANMASI

5.1. Uygulama Çalışmasının Amacı

Bu çalışmada, Bölüm 4'de açıklanan yaklaşım ile İstanbul Ataşehir toplu konut yerleşmesinin 64 no'lu yapı adasında bulunan A-2 numaralı binadaki bir dairenin güney yönüne bakan yaşama hacminin dış duvarının değerlendirilmesi ve bu dış duvarın farklı kalınlıklarda saydam yalıtım malzemesi ve farklı duvar ana malzemesi kullanılarak oluşturulduğu kabul edilerek, saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerinin yalıtım kullanılmayan alternatifleri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir.

5.2. Uygulama Çalışmasının Adımları

Çalışmada kullanılmak üzere incelenen hacim örneğine ilişkin seçilen hesap değerleri ve yaklaşımın uygulanmasında izlenen yol aşağıda açıklanmaktadır.

5.2.1. Tasarımın Dayandırıldığı Karakteristik Günlerin Belirlenmesi

Isıtmanın istendiği dönemi karakterize eden 21 Ocak ve soğutmanın istendiği dönemi karakterize eden günün 21 Temmuz olduğu kabul edilmektedir.

5.2.2. Tasarımın Dayandırıldığı Dış Koşulların Belirlenmesi

Uygulama çalışmasında tüm hesaplar, gerçek atmosfer koşullarına göre meteorolojik veriler ve kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak yapılmaktadır.

Hesaplamalarda kullanılan güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığı gibi dış çevre iklim elemanlarının günlük ve saatlik ortalama değerleri, 21 Ocak ve 21 Temmuz günleri için son on yılda yapılan meteorolojik ölçümlerden elde edilmiştir. Hesaplamalar güneş saatine göre yapılmıştır.

5.2.3. Tasarımın Dayandırıldığı İç Koşullarının Belirlenmesi

Seçilen yaşama hacminde sağlanması istenen iç hava sıcaklığı konfor değeri, ısıtmanın istendiği dönem için 00:00 – 07:00 saatleri arasında 15 ^{o}C ve 07:00 – 24:00 saatleri arasında 19 ^{o}C, soğutmanın istendiği dönem için 00:00 – 06:00 saatleri arasında ise soğutma sistemi kullanılmayarak iç hava sıcaklığı konfor değeri serbest bırakılmış ve 06:00 – 24:00 saatleri arasında 25 ^{o}C ve olarak kabul edilmiştir.

Hesaplamalar dört durum için yapılmaktadır.

A: Isıtma sistemi devrede
B: Isıtma sistemi devrede değil
C: Soğutma sistemi devrede
D: Soğutma sistemi devrede değil

5.2.4. Dış Duvarın Tasarımında Rol Oynayan Diğer Yapma Çevreye İlişkin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Ele alınan hacme ilişkin yapma çevre parametrelerine ait değerler bu adımda belirlenmektedir. Bu parametreler aşağıda sıralanmaktadır.

- **Hacmin Konumunun Belirlenmesi**

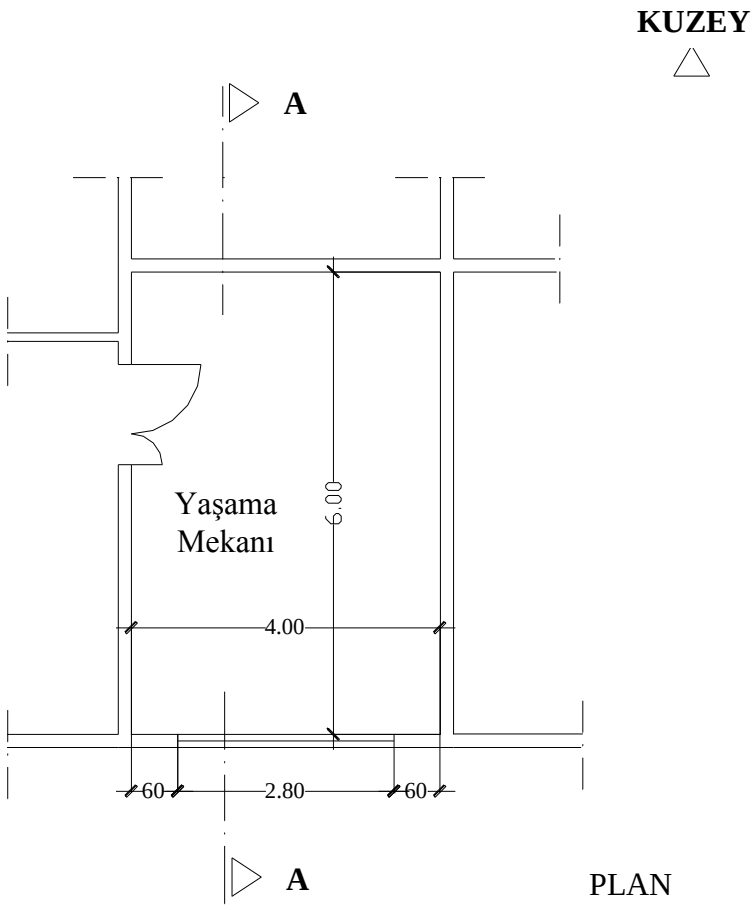
Ele alınan hacmin bulunduğu binanın, İstanbul'da düz bir arazide yer aldığı ve diğer binalar tarafından gölgelenmediği varsayılmıştır. Hacmin normal katta bulunan bir daireye ait olduğu kabul edilmiştir.

- **Hacme İlişkin Boyutların ve Hacmin Yönlendiriliş Durumunun Belirlenmesi**

Ele alınan hacme ilişkin boyutlar ve yönlendirme biçimi, hacme ait plan ve kesitte Şekil 5.1.'deki gibi ifade edilmektedir. Seçilen hacim güney yönüne bakmaktadır.

- **Dış Duvarın Dış Yüzeyinin Güneş Işınımına Karşı Yutuculuk Katsayılarının Belirlenmesi**

Dış duvarın dış yüzeyinin güneş ışınımına karşı yutuculuk katsayıları, cephenin rengine göre değişkenlik göstermektedir. Cephe koyu renkli olduğu için opak bileşenin yutuculuk katsayısı (a_o) 0,7 olarak alınmıştır.



Şekil 5.1. Ataşehir 64 no'lu yapı adasında bulunan A-2 Blok'daki bir dairenin yaşama hacminin plan ve kesiti

- **Saydamlık Oranının Belirlenmesi**

Hacmi çevreleyen dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanının saydamlık oranı, saydam alanın toplam alana oranlanması ile %35 olarak belirlenmiştir.

- **Pencere Doğraması ve Cam Türünün Belirlenmesi**

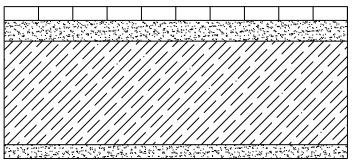
Pencere türü, yalıtımlı plastik doğramalı çift camlı penceredir (ara boşluk 9mm.) ve ısı geçirme katsayısı U_c = 2,70 W/ m²°C olarak alınmıştır [36].

5.2.5. Dış duvarın Katmanlaşma Alternatiflerinin Belirlenmesi

Ele alınan hacme ait döşeme ve iç duvar katmanlaşma detayları Tablo 5.1. ve Tablo 5.2.'de ifade edilmektedir.

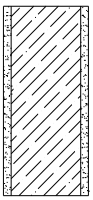
Tablo 5.1. Döşemenin katmanlaşma detayı

1
2
3
4



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	ahşap kaplama	0,02	0,210
2	çimento harçlı şap	0,03	1,392
3	donatılı beton	0,15	2,088
4	kireç harçlı sıva	0,02	0,870

Tablo 5.2. İç duvarın katmanlaşma detayı



1 2 3

No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,01	0,348
2	donatılı beton	0,09	2,088
3	alçı sıva	0,01	0,348

Önerilen dış duvar alternatifleri, farklı kalınlıklardaki saydam yalıtım malzemesinin farklı duvar ana malzemelerine uygulanması ile yolu ile oluşturulmuştur (Tablo A.1. – A.5.). Kullanılan saydam yalıtım malzemesinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri Türkiye'de üretilmemesi sebebi ile yurt dışındaki bir firmanın katoloğundan alınmıştır [33]. Diğer malzemelerin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri ise TS 825 Standardından alınmıştır [36].

5.2.6. Dış Duvar Alternatiflerinin Toplam Isı Geçirme Katsayılarının Hesaplanması

Dış duvarı oluşturan malzemelerin kalınlıklarına, ısı iletkenlik katsayılarına, iç ve dış yüzeysel ısı iletkenlik katsayılarına bağlı olarak duvarın toplam ısı geçirme katsayısı Bölüm 4.2.6.'da açıklanan bağıntı aracılığı ile hesaplanmış ve malzemelerin diğer özellikleri ile birlikte Tablo A.6. – A.8.'de verilmiştir.

5.2.7. Belirlenen Dış Duvar Alternatifleri İçin Isıtmanın İstendiği Dönem Süresince Kaybedilen ve Soğutmanın İstendiği Dönem Süresince Kazanılan Isı Miktarlarının Hesaplanması

Isıtmanın istendiği dönem süresince kaybedilen ve soğutmanın istendiği dönem süresince kazanılan ısı miktarlarının hesaplanmasında ISINEM adlı bir bilgisayar programından yararlanılmıştır [8].

Hacim içerisinde herhangi bir ısıtma ve soğutma sisteminin olmadığı durumda yapılan hesaplamalarla, hacmin dış duvarda saydam yalıtım kullanıldığı ve yalıtım kullanılmadığı durumlarda pasif ısıtma ve soğutma sistemi olarak gösterdiği performansın değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

5.2.8. Belirlenen Dış Duvar Alternatiflerinin Kaybedilen ve Kazanılan Isı Miktarları Açısından Karşılaştırılması

"Isıtmanın istendiği dönemde en az ısı kaybı ve soğutmanın istendiği dönemde en az ısı kazancı sağlayan alternatif enerji korunumu açısından en uygun alternatiftir" kriteri esas alınarak yapılan karşılaştırma tablo ve şekillerde görülmektedir (Tablo B.1. – B.24. ve Şekil B.1. – B.24.). Karşılaştırmalar, dış duvarda saydam yalıtım kullanılması ve yalıtım kullanılmaması durumları için yapılmıştır. Her dış duvar alternatifi için hesaplanan ısı kayıp ve kazançlarının 21 Ocak ve 21 Temmuz'daki saatlik değişimleri şekillerle ifade edilmiştir (Şekil B.25. – B.48.).

Uygulama çalışmasının sonuçları Bölüm 6'da açıklanmıştır.

BÖLÜM 6. BULGULAR

Yıl içinde minimum ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi (minimum ısı kaybı ve minimum ısı kazancı), dolayısıyla minimum enerji maliyetini sağlayan dış duvar alternatifi enerji ekonomisi açısından en uygun alternatiftir.

Bölüm 4'de açıklanan yaklaşımın uygulama çalışmasında, ısıtmanın istendiği döneme (21 Ocak) ve soğutmanın istendiği döneme (21 Temmuz) ait tasarımın dayandırıldığı dış koşullara göre belirlenen dış duvar alternatiflerinin hem ısıtma enerjisi korunumu hem de soğutma enerjisi korunumu açısından, bu dış duvar alternatiflerine ilişkin ısıtmanın istendiği dönem için hesaplanan günlük toplam ısı kaybı değerleri ile soğutmanın istendiği dönem için hesaplanan günlük toplam ısı kazancı değerleri belirlenmiştir.

Bu değerler, dış duvardan kaybedilen / kazanılan (Q_{duv}) ve duvar ve saydam bileşenden oluşan dış kabuk elemanından kaybedilen / kazanılan (Q_{top}) günlük toplam ısı miktarları başlıkları altında incelenmiştir.

Belirlenen günlük ısı kayıp ve kazanç değerleri, dış duvarda saydam yalıtım kullanılması ve yalıtım kullanılmaması durumları için incelenmiştir.

Dış duvarda saydam yalıtım kullanılması durumunda, duvarın dış yüzeyine sırasıyla 0,040m.- 0,062m.- 0,090m.- 0,122m. kalınlıklarında polimetil metakrilat (PMMA) esaslı saydam yalıtım malzemesi uygulanmıştır.

Isıtmanın ve soğutmanın istendiği dönemlerde, ısıtma ve soğutma sistemlerinin çalışma koşullarına (A-B-C-D) bağlı olarak, dış duvardan kaybedilen / kazanılan ısı miktarı (Q_{duv}) ve dış duvar ve saydam bileşenden oluşan kabuk elemanından kaybedilen / kazanılan ısı miktarı (Q_{top}) değerleri Tablo 6.1. ve Tablo 6.2.'de görülmektedir.

Tablo 6.1. Isıtmanın istendiği dönemde, önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı kayıplarının karşılaştırılması (21 Ocak)

Sistemin Çalışma Durumu	Alternatif No	Dış Duvar Ana Malzemesi	Yalıtım Kalınlığı (m)	Q_{duv} (W)	Q_{top} (W)
(A) Isıtma sistemi devrede	A.1.1.	donatılı beton	-	351,4	999,4
	A.2.1.1.		0,040	271,0	919,3
	A.2.1.2.		0,062	249,5	900,7
	A.2.1.3.		0,090	230,7	878,7
	A.2.1.4.		0,122	198,9	846,9
	A.1.2.	delikli tuğla	-	347,6	995,6
	A.2.2.1.		0,040	266,7	914,8
	A.2.2.2.		0,062	245,3	893,3
	A.2.2.3.		0,090	226,5	874,5
	A.2.2.4.		0,122	194,7	842,7
	A.1.3.	gaz beton	-	342,8	990,8
	A.2.3.1.		0,040	262,4	910,5
	A.2.3.2.		0,062	241,1	889,1
	A.2.3.3.		0,090	222,4	870,4
	A.2.3.4.		0,122	190,8	838,8
(B) Isıtma sistemi devrede değil	B.1.1.	donatılı beton	-	43,39	151,1
	B.2.1.1.		0,040	25,26	134,9
	B.2.1.2.		0,062	20,35	130,6
	B.2.1.3.		0,090	15,93	126,8
	B.2.1.4.		0,122	8,39	120,3
	B.1.2.	delikli tuğla	-	41,76	150,4
	B.2.2.1.		0,040	22,77	133,6
	B.2.2.2.		0,062	17,51	129
	B.2.2.3.		0,090	12,82	124,8
	B.2.2.4.		0,122	4,83	117,7
	B.1.3.	gaz beton	-	37,63	149
	B.2.3.1.		0,040	15,67	129,3
	B.2.3.2.		0,062	9,35	124,5
	B.2.3.3.		0,090	3,51	119,2
	B.2.3.4.		0,122	-6,85	110,4

Tablo 6.2. Soğutma istenen dönemde, önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı kazançlarının karşılaştırılması (21 Temmuz)

Sistemin Çalışma Durumu	Alternatif No	Dış Duvar Ana Malzemesi	Yalıtım Kalınlığı (m)	Q_{duv} (W)	Q_{top} (W)
(C) Soğutma sistemi devrede	C.1.1.	donatılı beton	-	124,62	282,84
	C.2.1.1.		0,040	113,27	271,01
	C.2.1.2.		0,062	110,28	267,99
	C.2.1.3.		0,090	107,58	265,19
	C.2.1.4.		0,122	98,64	255,41
	C.1.2.	delikli tuğla	-	125,27	280,49
	C.2.2.1.		0,040	114,03	268,93
	C.2.2.2.		0,062	110,96	265,8
	C.2.2.3.		0,090	108,31	263,08
	C.2.2.4.		0,122	103,67	258,38
	C.1.3.	gaz beton	-	125,95	278,14
	C.2.3.1.		0,040	114,37	266,51
	C.2.3.2.		0,062	110,82	262,97
	C.2.3.3.		0,090	107,91	260,09
	C.2.3.4.		0,122	103,00	255,19
(D) Soğutma sistemi devrede değil	D.1.1.	donatılı beton	-	89,92	184,5
	D.2.1.1.		0,040	86,96	182,1
	D.2.1.2.		0,062	86,10	181,4
	D.2.1.3.		0,090	85,31	180,8
	D.2.1.4.		0,122	83,00	179,1
	D.1.2.	delikli tuğla	-	92,92	187,5
	D.2.2.1.		0,040	89,17	184,3
	D.2.2.2.		0,062	88,02	183,5
	D.2.2.3.		0,090	86,97	182,6
	D.2.2.4.		0,122	85,04	180,9
	D.1.3.	gaz beton	-	94,20	188,74
	D.2.3.1.		0,040	88,23	184,2
	D.2.3.2.		0,062	86,38	182,0
	D.2.3.3.		0,090	84,75	181,3
	D.2.3.4.		0,122	81,72	178,7

Karşılaştırmalar, saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerinin, yalıtım kullanılmayan dış duvar alternatiflerine göre enerji korunumuna katkısı belirlenerek, bu katkının yüzde (%) olarak ifade edilmesi şeklinde yapılmıştır (Tablo 6.3. – 6.4.). Amaç, ısıtma ve soğutma enerjisi korunumu açısından dış duvar alternatiflerinin karşılaştırılarak en uygun dış duvar alternatifinin belirlenmesidir.

Tablo 6.3. Saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatiflere göre ısıtma enerjisine katkılarının karşılaştırılması (21 Ocak)

Sistemin Çalışma Durumu	Alternatif No	Dış Duvar Ana Malzemesi	Saydam Yalıtım Kalınlığı (m)	Dış Duvarın Isıtma Enerjisine Katkısı (%)	Kabuk Elemanının Isıtma Enerjisine Katkısı (%)
(A) Isıtma Sistemi Devrede	A.2.1.1.	donatılı beton	0,040	23%	8%
	A.2.1.2.		0,062	29%	10%
	A.2.1.3.		0,090	34%	12%
	A.2.1.4.		0,122	43%	15%
	A.2.2.1.	delikli tuğla	0,040	23%	8%
	A.2.2.2.		0,062	29%	10%
	A.2.2.3.		0,090	35%	12%
	A.2.2.4.		0,122	44%	15%
	A.2.3.1.	gaz beton	0,040	23%	8%
	A.2.3.2.		0,062	30%	10%
	A.2.3.3.		0,090	35%	12%
	A.2.3.4.		0,122	44%	15%
(B) Isıtma Sistemi Devrede Değil	B.2.1.1.	donatılı beton	0,040	42%	11%
	B.2.1.2.		0,062	53%	14%
	B.2.1.3.		0,090	63%	16%
	B.2.1.4.		0,122	81%	20%
	B.2.2.1.	delikli tuğla	0,040	45%	11%
	B.2.2.2.		0,062	58%	14%
	B.2.2.3.		0,090	69%	17%
	B.2.2.4.		0,122	88%	22%
	B.2.3.1.	gaz beton	0,040	58%	13%
	B.2.3.2.		0,062	75%	16%
	B.2.3.3.		0,090	91%	20%
	B.2.3.4.		0,122	118%	26%

Tablo 6.4. Saydam yalıtım kullanılan dış duvar alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alternatiflere göre soğutma enerjisine katkılarının karşılaştırılması (21 Temmuz)

Sistemin Çalışma Durumu	Alternatif No	Dış Duvar Ana Malzemesi	Saydam Yalıtım Kalınlığı (m)	Dış Duvarın Soğutma Enerjisine Katkısı (%)	Kabuk Elemanının Soğutma Enerjisine Katkısı (%)
(C) Soğutma Sistemi Devrede	C.2.1.1.	donatılı beton	0,040	9%	4%
	C.2.1.2.		0,062	12%	5%
	C.2.1.3.		0,090	14%	6%
	C.2.1.4.		0,122	21%	10%
	C.2.2.1.	delikli tuğla	0,040	9%	4%
	C.2.2.2.		0,062	11%	5%
	C.2.2.3.		0,090	14%	6%
	C.2.2.4.		0,122	17%	8%
	C.2.3.1.	gaz beton	0,040	9%	4%
	C.2.3.2.		0,062	12%	5%
	C.2.3.3.		0,090	14%	6%
	C.2.3.4.		0,122	18%	8%
(D) Soğutma Sistemi Devrede Değil	D.2.1.1.	donatılı beton	0,040	3%	1%
	D.2.1.2.		0,062	4%	2%
	D.2.1.3.		0,090	5%	2%
	D.2.1.4.		0,122	8%	3%
	D.2.2.1.	delikli tuğla	0,040	4%	2%
	D.2.2.2.		0,062	5%	2%
	D.2.2.3.		0,090	6%	3%
	D.2.2.4.		0,122	8%	4%
	D.2.3.1.	gaz beton	0,040	6%	2%
	D.2.3.2.		0,062	8%	4%
	D.2.3.3.		0,090	10%	4%
	D.2.3.4.		0,122	13%	5%

Tablo 6.3.'de görüldüğü gibi;

- A.2.1.4. alternatifi A.1.1. alternatifine göre dış duvarda %43, kabuk elemanında %15,
- A.2.2.4. alternatifi A.1.2. alternatifine göre dış duvarda %44, kabuk elemanında %15,
- A.2.3.4. alternatifi A.1.3. alternatifine göre dış duvarda %44, kabuk elemanında %15,
- B.2.1.4. alternatifi B.1.1. alternatifine göre dış duvarda %81, kabuk elemanında %20,
- B.2.2.4. alternatifi B.1.2. alternatifine göre dış duvarda %88, kabuk elemanında %22,
- B.2.3.4. alternatifi B.1.3. alternatifine göre dış duvarda %118, kabuk elemanında %26

oranında ısıtma enerjisine katkıda bulunmaktadır.

Tablo 6.4.'de görüldüğü gibi;

- C.2.1.4. alternatifi C.1.1. alternatifine göre dış duvarda %21, kabuk elemanında %10,
- C.2.2.4. alternatifi C.1.2. alternatifine göre dış duvarda %17, kabuk elemanında %8,
- C.2.3.4. alternatifi C1.3. alternatifine göre dış duvarda %18 kabuk elemanında %8,
- D.2.1.4. alternatifi D.1.1. alternatifine göre dış duvarda %8, kabuk elemanında %3,
- D.2.2.4. alternatifi D.1.2. alternatifine göre dış duvarda %8, kabuk elemanında %4,
- D.2.3.4. alternatifi D.1.3. alternatifine göre dış duvarda %13, kabuk elemanında %5

oranında soğutma enerjisine katkıda bulunmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ele alınan yaklaşım aracılığı ile dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımının İstanbul yöresi için değerlendirilmesi yapılarak ısıtma ve soğutma enerjisi korunumu açısından uygun dış duvar alternatifleri belirlenmiştir.

Pasif sistem olarak işlev gören saydam yalıtılmış duvarlar güneş mimarisinde yeni bir bileşendir ve ısıtma yüklerini azaltan yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Güneye yönlendirilen saydam yalıtılmış dış duvarın alanı artırılarak ısıtma yükleri düşürülmektedir. Bu çalışmada, ısı akımları Bölüm 4'de açıklandığı gibi zamana bağlı rejimde mevcut yöntemler çerçevesinde hesaplanmıştır. Bundan sonra, bu konuda yapılacak çalışmaların deneysel çalışmalarla desteklenerek saydam yalıtım malzemelerinden akan ısı miktarlarının hesaplanmasında daha duyarlı hesaplama metotlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Saydam yalıtım malzemeleri, onbeş yıldan fazla bir süredir bilimsel çalışmaların araştırma konusu olmuştur. Yurt dışında gelecek vaat eden sonuçlara ulaşılarak birçok proje gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda diğer ülkelerde enerji korunumu amacıyla dış duvarlarda saydam yalıtım uygulamalarının artmasına rağmen ülkemizde henüz yaygın kullanılmamaktadır. Ülkemizde yeterince tanıtılmaları ve uygun bir maliyetle üretilmeleri halinde, saydam yalıtım malzemelerinin çok geniş bir sektöre sahip olmaları kaçınılmazdır. Gelecek yıllarda saydam yalıtım malzemelerinin, ülkemizde hızla büyüyen bir sektör olarak yerini alacağı söylenebilmektedir.

Masif elemanların dış yüzeylerinin saydam yalıtım malzemeleri ile kaplanması halinde, dış duvarlar ısı kaybeden elemanlar olmaktan çıkıp dış ortamdan iç ortama ısı enerjisi aktaran elemanlar haline gelmektedir. Bu sistemlerde, direkt güneş ışınımı olduğu saatlerde masif elemanlarda depolanan enerji gece ve güneş ışınımının yetersiz olduğu saatlerde kullanılmaktadır. Yapılan uygulama çalışmasında, saydam yalıtım kullanımı ile ısıtmanın istendiği dönemde %118'lere varan enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür. Sınırlı seçeneklerle yapılan uygulama çalışmasında varılan bu sonuç, güneş enerjisi kazancı açısından zengin olan ülkemizde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayacağının göstergesidir.

Literatür araştırmasında da görüldüğü üzere, ileri teknoloji ürünü olan saydam yalıtım malzemelerinin, binanın ısısal performansı üzerinde çok olumlu bir etkisi olmaktadır. Ülkemizin bu gelişime uyum sağlaması, enerji korunumlu ve yaşam kalitesini artıran binalar yapılması, ekolojik dengelerin korunduğu yaşanabilir bir gelecek açısından önemlidir.

Bu irdelemeler ışığında bu tez çalışması, gelecek yıllarda saydam yalıtım malzemelerinin dış duvarda kullanımları konusunda gerçekleştirilecek olan yeni çalışmalar için bir başlangıç adımı oluşturmaktadır.

60

KAYNAKLAR

[1] **Göksal, T.**, 2000. Mimarlık ve Enerji Korunumu, Enerji Etkin Tasarım, Arredomento Mimarlık, 5, 146-153.

[2] **Dilmaç, Ş., Tepehan, F. ve Eğrican, N.**, 1994. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Enerji Tasarrufuna Katkıları, 21. Yüzyılda Enerji Korunumu Sempozyumu, İstanbul.

[3] **Marko, A., Braun, P.O.**, 1995. Thermal Use of Solar Energy in Buildings, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (FHG-ISE), Germany.

[4] **Zeren, L. ve diğerleri,** 1987. Türkiye'de Yeni Yerleşmeler ve Binalarda Enerji Tasarrufu Amacıyla Bir Mevzuat Modeli'ne İlişkin Çalışma, Araştırma raporu, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[5] **Berköz, E.,** 1983. Güneş Işınımı ve Yapı Dizaynı, Profesörlük Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[6] **Kocaaslan, G.,** 1991. Hacimlerin Pasif Isıtma Sistemleri Olarak Değerlendirilmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[7] **Berköz, E. ve diğerleri**, 1995. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK, Proje No: İntag 201, İstanbul.

[8] **Yılmaz, Z.,** 1983. İklimsel Konfor Sağlanması ve Yoğuşma Kontrolunda Optimum Performans Gösteren ve Yapı Kabuğunun Hacim Konumuna ve Boyutlarına Bağlı Olarak Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

[9] **Peuportier, B.**, 1993. Transparent Insulation for Solar and Green Buildings, Centre for Energy studies, Paris.

http://www.cenerg.ensmp.fr/english/themes/cycle/html/16.html

[10] ---, 2001. Building a Better Trombe Wall, National Renewable Energy Laboratory (NREL).

http://www.nrel.gov

[11] **Matuska, T.**, 2000. Solar Energy Transmittance of Transparent Insulations, CVUT STC, Prague.

http://www.fsid.cvut.cz/ascii/en/U216/matuska.htm

[12] ---, 1996. Advanced Glazings and Transparent Insulation, Education of Architects in Solar Energy and Environment, Section 3.1.

http://www-cenerg.ensmp.fr/ease/tech_main.html

[13] **Hausner, R.**, 1996. Transparent Insulation and Areas of Application, Society for Renewable Energy, Austria.

http://www.aee.at/verz/english/tin.html

[14] **Matuska, T.**, 2000. A Simple Trombe Wall: Comparison of Different Glazings, Proceedings of ISES Congress EuroSun 2000, Copenhagen, Denmark.

http://www.fsid.cvut.cz/ascii/en/U216/matuska.htm

[15] **Platzer, W.J.**, 1998. Professionalization and Diversification, Advances and Problems of Transparent Insulation in The Market, EuroSun 98.

http://www.fvtwd.de/pdf/papers/ti9_platzer_market.pdf

[16] ---, 2001. Transparent Thermal Insulation (TWD), Society for Renewable Energy, Austria.

http://www.energytech.at/(en)/solar/portrait_kapitel-5.html

[17] ---, 2002. Highly Efficient, Lightweight, and Transparent Insulating Materials, Aerogel for Thermal Insulation, Lawrence Livermore National Laboratory, Berkeley University.

http://www.llnl.gov/IpandC/op96/07/7d-aer.html

[18] **Platzer, W.J.**, 2001. Transparent Insulation Materials and Products: A Review, Advances in Solar Energy, Vol 14, ISBN 0-89553-257-3.

[19] **Andersen, N.B. and Olsen, L.**, Super Insulated Windows with Silica Aerogel, Department of Energy Technology and Department of Building Technology, Danish Technological Institute, Taastrup, Denmark.

[20] ---,1998. Fiberglass Insulation.

http://composite.about.com/library/weekly/aa980630.htm

[21] ---, 2002. Properties of Silica Aerogels, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

http://eande.lbl.gov/ECS/aerogels/satoc.htm

[22] ---, 2001. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, California.

http://www.jpl.nasa.gov/technology/features/aerogel.html

[23] **Saxhof, B.**, 1997. Transparent Insulation, Innovative Technologies, Solar Energy Houses, International Energy Agency (IEA), London, UK.

[24] ---, 1999. Aerogels, Technologies and Techniques, University of Sheffield, UK.

http://www.shef.ac.uk/uni/academic/A-C/archhst/eei/infopack/tech.html

[25] **Voss, K., Braun, P.O. and Russ, C.**, 1996. Transparent Insulation in Building Renovation, German Contribution to IEA-SHCP Task 20, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, Eurosun 1996.

http://www.iris.ba.cnr.it/Sustain/sbr_pdf/Transparent%20insulation.pdf

[26] **Elmroth, A. and Kjellsson, E.**, 1995. Solar Energy in Building Renovation, Department of Building Physics, Lund University, Sweeden.

http://www.iris.cnr.it/Sustain/sbr_pdf/Solar%20energy%20in%20building%20renovation.pdf

[27] ---, 1998. Description of Transparent Insulation, Frankfurt International School, Germany.

http://www.fis.edu/gr10/grade10/gr10proj98/Bazmodel/Essay2.htm

[28] ---, 2002. The Self-Sufficient Solar House, The International Solar Energy Society (ISES), Freiburg, Germany.

http://www.Ise.fhg.de/Projects/ES/ES_english.html

[29] ---, 2002. Villa Tannheim, International Headquarters, The International Solar Energy Society (ISES), Freiburg, Germany.

http://wire.ises.org/entry.nsf/E?Open&imagelib&1274CFA006463C13C1256767003A0337

[30] ---, 2002. Villa Tannheim, International Headquarters, The International Solar Energy Society (ISES), Freiburg, Germany.

http://www.ises.org/ISES.nsf/f3e5b699aa79d0cfc12568b3002334da/1547d60c66bf5031c12568b30029a3ee

[31] ---, 2001. Solar Thermal Energy, Society for Renewable Energy and Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology, Austria.

http://energytech.at/solar/results.html?id=361

[32] **Kumpers, R. and Link, A.,** 1994. Capillary Structured Transparent Insulation for Passive Solar Energy Gain, Ref. No:006987 SCNER Technical Information Service, European Directory Energy Efficient Buildings, Bangkonk, Thailand.

[33] ---, 2001. Kapilux-H Technical Brochure, Transparent Insulation, Okalux Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld, Germany.

http://www.okalux.de

[34] ---, 2001. Helioran TWD-Isolerglaselement, Transparente Warmedammung, Glaswerke Arnold, Merkendorf, Germany.

http://www.glaswerke-arnold.de

[35] **Yılmaz, Z.,** 1986. Isıtma Havalandırma Ders Notları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

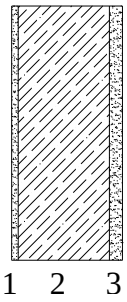
[36] **Anonim**, 1998. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

EKLER

EK A

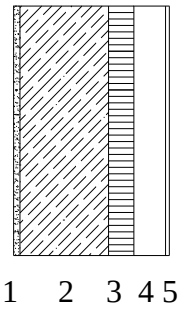
Tablo A.1. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri

Alternatif No: A.1.1.



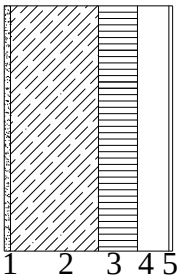
No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	donatılı beton	0,140	2,088
3	kireç harçlı sıva	0,020	0,870

Alternatif No: A.2.1.1.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	donatılı beton	0,140	2,088
3	saydam yalıtım malzemesi	0,040	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

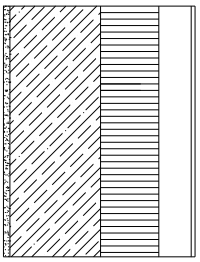
Alternatif No: A.2.1.2.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	donatılı beton	0,140	2,088
3	saydam yalıtım malzemesi	0,062	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

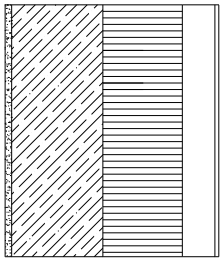
Tablo A.2 Dış duvar katmanlaşma alternatifleri

Alternatif No: A.2.1.3.



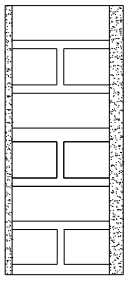
No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	donatılı beton	0,140	2,088
3	saydam yalıtım malzemesi	0,090	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Alternatif No: A. 2.1.4.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	donatılı beton	0,140	2,088
3	saydam yalıtım malzemesi	0,122	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

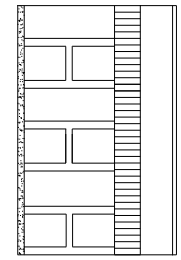
Alternatif No: A.1.2.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	delikli tuğla	0,140	0,452
3	kireç harçlı sıva	0,020	0,870

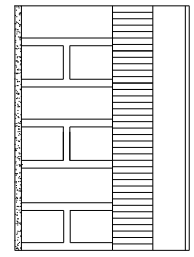
Tablo A.3. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri

Alternatif No: A.2.2.1.



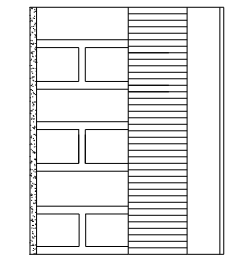
No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	delikli tuğla	0,140	0,452
3	saydam yalıtım malzemesi	0,040	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Alternatif No: A.2.2.2.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	delikli tuğla	0,140	0,452
3	saydam yalıtım malzemesi	0,062	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

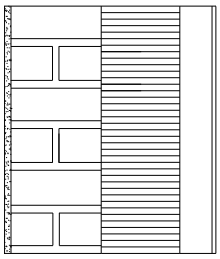
Alternatif No: A.2.2.3.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	delikli tuğla	0,140	0,452
3	saydam yalıtım malzemesi	0,090	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

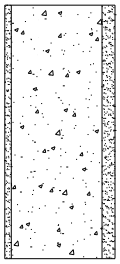
Tablo A.4. Dış duvar katmanlaşma alterantifleri

Alternatif No: A.2.2.4.



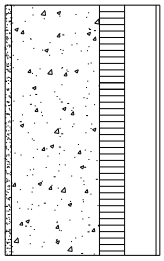
No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	delikli tuğla	0,140	0,452
3	saydam yalıtım malzemesi	0,122	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Alternatif No: A.1.3.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	kireç harçlı sıva	0,020	0,870
2	gazbeton	0,140	0,116
3	alçı sıva	0,010	0,348

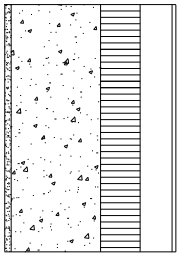
Alternatif No: A.2.3.1.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	gazbeton	0,140	0,116
3	saydam yalıtım malzemesi	0,040	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

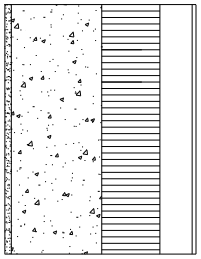
Tablo A.5. Dış duvar katmanlaşma alternatifleri

Alternatif No: A.2.3.2.



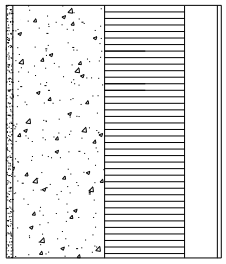
No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	gazbeton	0,140	0,116
3	saydam yalıtım malzemesi	0,062	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Alternatif No: A.2.3.3.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	gazbeton	0,140	0,116
3	saydam yalıtım malzemesi	0,090	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Alternatif No: A.2.3.4.



No	Malzeme ismi	d (m)	λ (W/m^{o}C)
1	alçı sıva	0,010	0,348
2	gazbeton	0,140	0,116
3	saydam yalıtım malzemesi	0,122	0,200
4	hava boşluğu	0,050	0,024
5	cam	0,010	0,800

Tablo A.6. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri

Alternatif No	d (m)	Malzeme İsmi	λ W /m^{o}C	ρ kg/m^{3}	a m^{2}/s	U_o W/m^{2o}C
A.1.1.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	3,48
	0,14	donatılı beton	2,088	2400	0,90 x 10^{-6}	
	0,02	kireç harçlı sıva	0,870	1800	0,46 x 10^{-6}	
A.2.1.1.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,25
	0,14	donatılı beton	2,088	2400	0,90 x 10^{-6}	
	0,04	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.1.2.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,24
	0,14	donatılı beton	2,088	2400	0,90 x 10^{-6}	
	0,062	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.1.3.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,23
	0,14	donatılı beton	2,088	2400	0,90 x 10^{-6}	
	0,09	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.1.4.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,22
	0,14	donatılı beton	2,088	2400	0,90 x 10^{-6}	
	0,122	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	

Tablo A.7. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri

Alternatif No	d (m)	Malzeme İsmi	λ W/m^{o}C	ρ kg/m^3	a m^2/s	U_o W/m^{2o}C
A.1.2.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	1,89
	0,14	delikli tuğla	0,452	1000	0,49 x 10^{-6}	
	0,02	kireç harçlı sıva	0,870	1800	0,46 x 10^{-6}	
A.2.2.1.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,23
	0,14	delikli tuğla	0,452	1000	0,49 x 10^{-6}	
	0,04	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.2.2.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,23
	0,14	delikli tuğla	0,452	1000	0,49 x 10^{-6}	
	0,062	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.2.3.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,22
	0,14	delikli tuğla	0,452	1000	0,49 x 10^{-6}	
	0,09	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.2.4.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,20
	0,14	delikli tuğla	0,452	1000	0,49 x 10^{-6}	
	0,122	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	

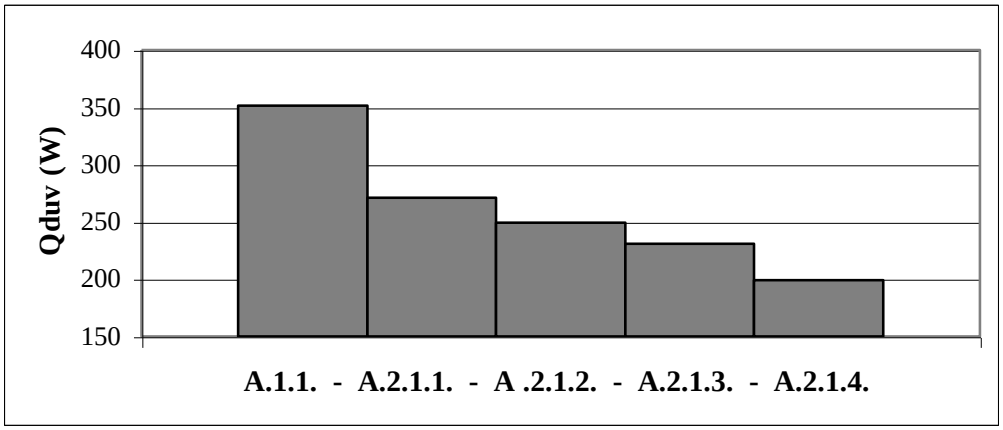
Tablo A.8. Önerilen dış duvar alternatiflerinin ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri

Alternatif No	d (m)	Malzeme İsmi	λ W/m ^oC	ρ kg/m^3	a m^2/s	U_o W/$m^{2o}C$
A.1.3.	0,02	kireç harçlı sıva	0,870	1800	0,46 x 10^{-6}	0,69
	0,14	gaz beton	0,116	400	0,28 x 10^{-6}	
	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	
A.2.3.1.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,19
	0,14	gaz beton	0,116	400	0,28 x 10^{-6}	
	0,04	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.3.2.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,18
	0,14	gaz beton	0,116	400	0,28 x 10^{-6}	
	0,062	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.3.3.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,18
	0,14	gaz beton	0,116	400	0,28 x 10^{-6}	
	0,09	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	
A.2.3.4.	0,01	alçı sıva	0,348	1700	0,20 x 10^{-6}	0,17
	0,14	gaz beton	0,116	400	0,28 x 10^{-6}	
	0,122	saydam yalıtım malzemesi (PMMA)	0,200	30	4,40 x 10^{-6}	
	0,05	hava boşluğu	0,024	1,2	0,02 x 10^{-3}	
	0,01	cam	0,800	2300	0,42 x 10^{-6}	

EK B

Tablo B.1. Isıtma sistemi devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

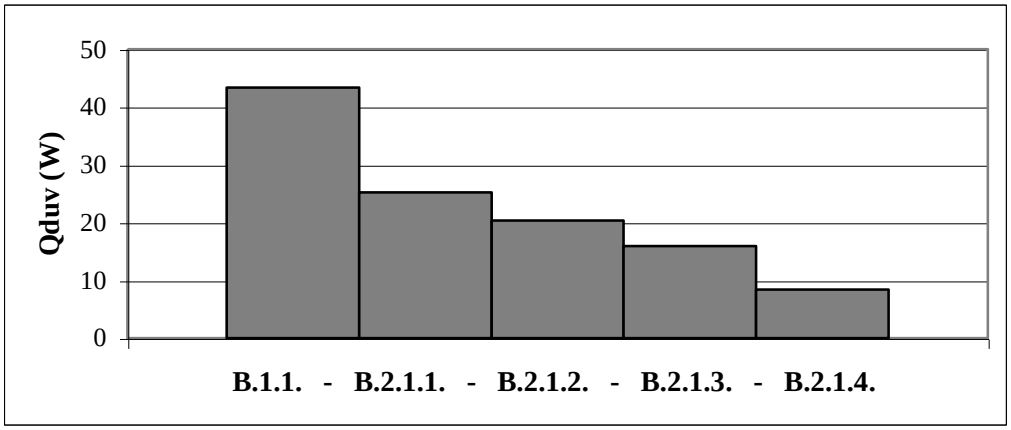
Sist.çalışma durumu	(A) Isıtma sistemi devrede				
Alternatif no	A.1.1.	A.2.1.1.	A.2.1.2.	A.2.1.3.	A.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,040	0,062	0,900	0,122
Q_{duv} (W)	351,4	271	249,5	230,7	198,9



Şekil B.1. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.2. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

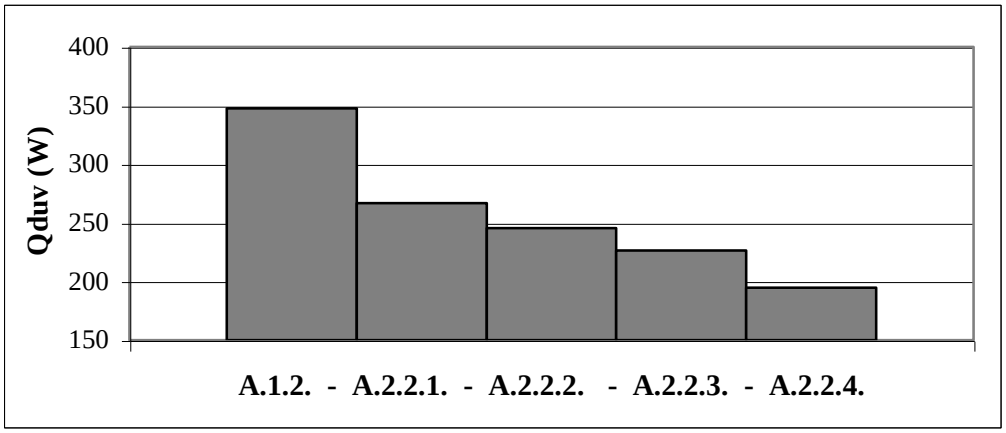
Sist.çalışma durumu	(B) Isıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.1.	B.2.1.1.	B.2.1.2.	B.2.1.3.	B.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,040	0,062	0,900	0,122
Q_{duv} (W)	43,39	25,26	20,35	15,93	8,39



Şekil B.2. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.3. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

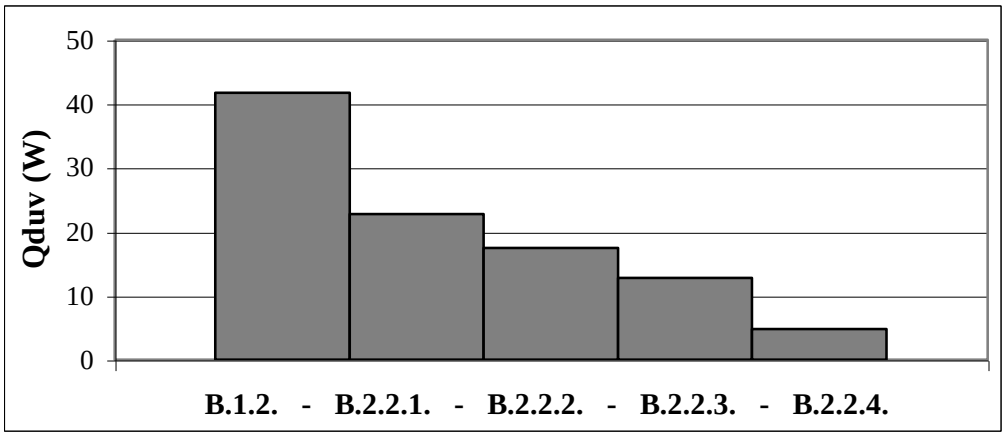
Sist.çalışma durumu	(A) ısıtma sistemi devrede				
Alternatif no	A.1.2.	A.2.2.1.	A.2.2.2.	A.2.2.3.	A.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	347,6	266,7	245,3	226,5	194,7



Şekil B.3. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.4. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

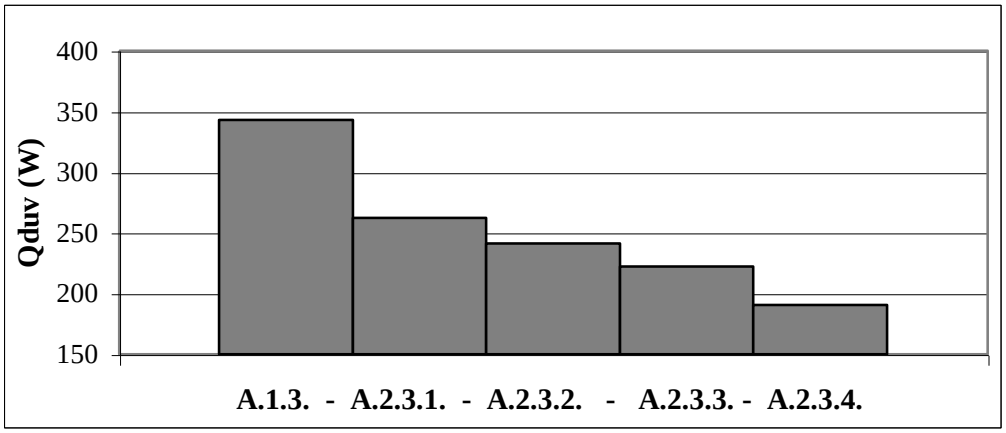
Sist.çalışma durumu	(B) ısıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.2.	B.2.2.1.	B.2.2.2.	B.2.2.3.	B.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	41,76	22,77	17,51	12,82	4,83



Şekil B.4. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.5. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

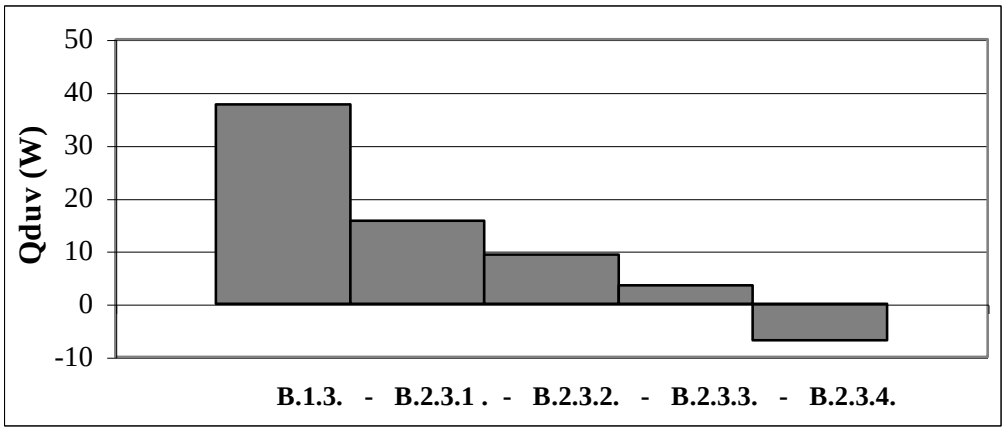
Sist.çalışma durumu	(A) ısıtma sistemi devrede				
Alternatif no	A.1.3.	A.2.3.1.	A.2.3.2.	A.2.3.3.	A.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	342,8	262,4	241,1	222,4	190,8



Şekil B.5. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.6. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, dış duvardan kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

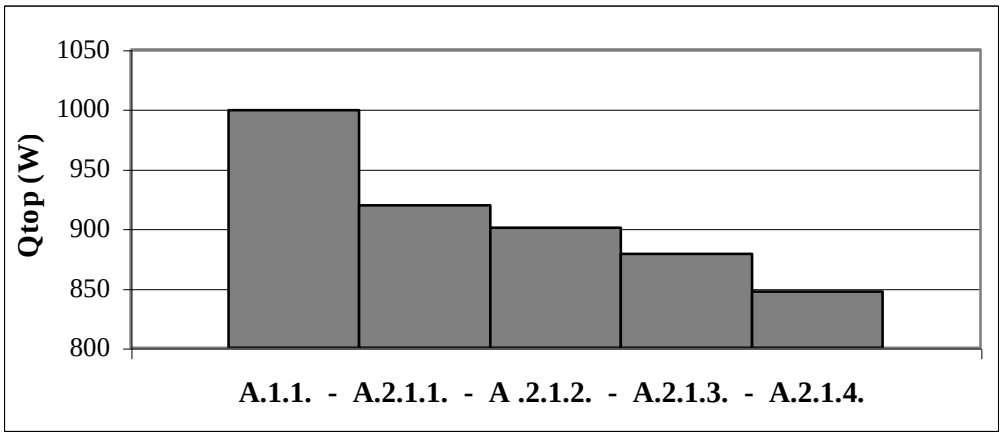
Sist.çalışma durumu	(B) ısıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.3.	B.2.3.1.	B.2.3.2.	B.2.3.3.	B.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	37,63	15,67	9,35	3,51	-6,85



Şekil B.6. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.7. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

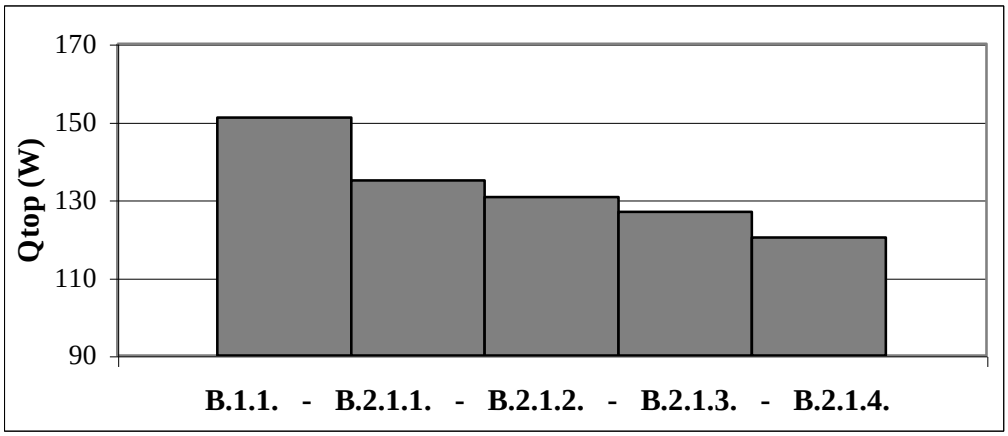
Sist.çalışma durumu	(A - ısıtma sistemi devrede)				
Alternatif no	A.1.1.	A.2.1.1.	A.2.1.2.	A.2.1.3.	A.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	999,4	919,3	900,7	878,7	846,9



Şekil B.7. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.8. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

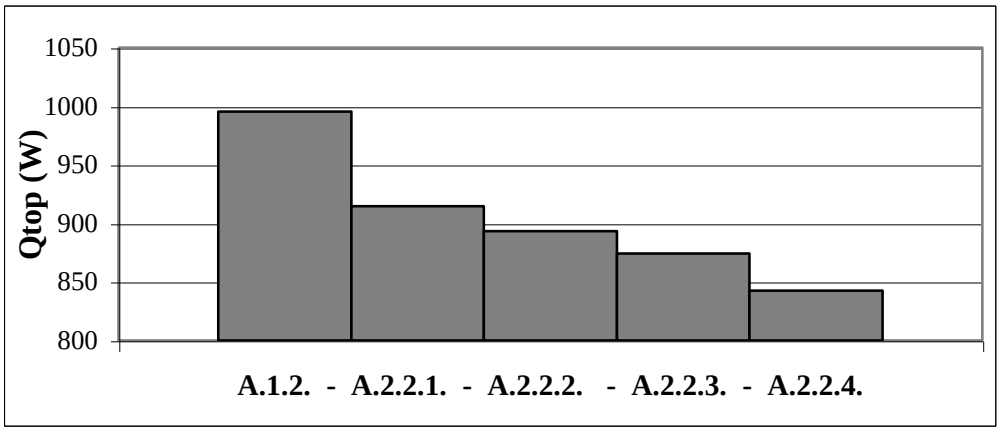
Sist.çalışma durumu	(B) ısıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.1.	B.2.1.1.	B.2.1.2.	B.2.1.3.	B.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	151,1	134,9	130,6	126,8	120,3



Şekil B.8. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.9. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

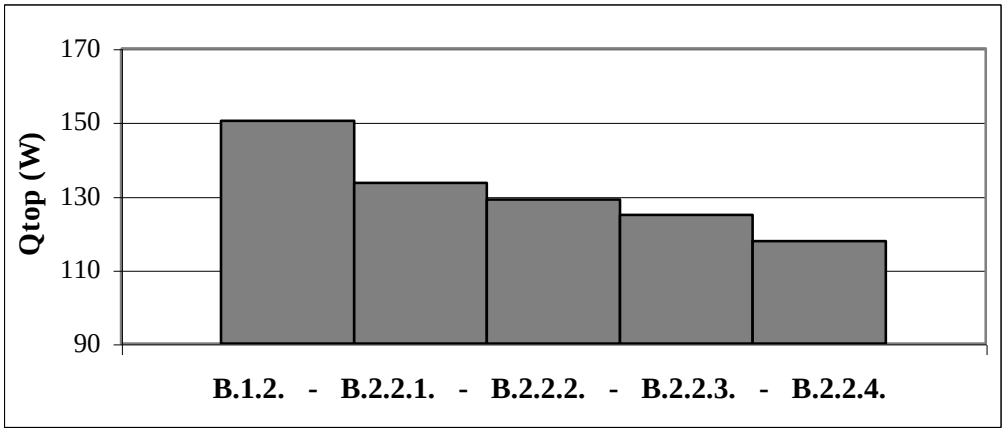
Sist.çalışma durumu	(A) ısıtma sistemi devrede				
Alternatif no	A.1.2.	A.2.2.1.	A.2.2.2.	A.2.2.3.	A.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	995,6	914,8	893,3	874,5	842,7



Şekil B.9. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.10. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

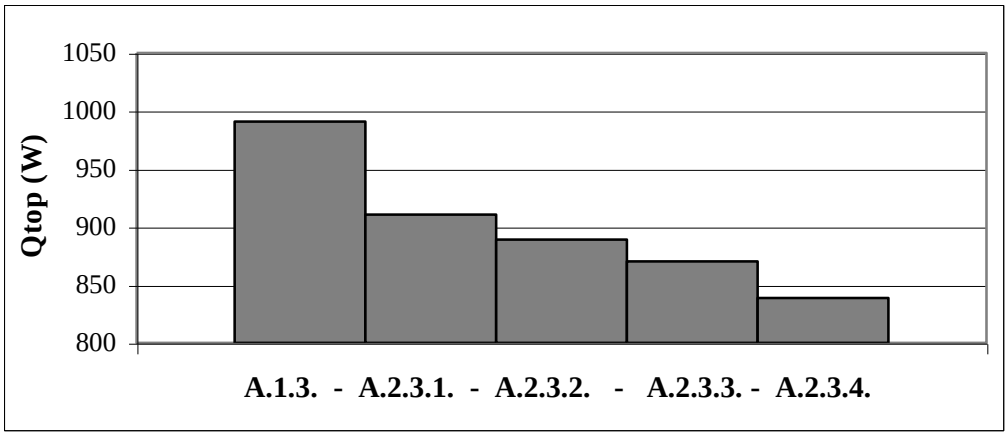
Sist.çalışma durumu	(B) ısıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.2.	B.2.2.1.	B.2.2.2.	B.2.2.3.	B.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	150,4	133,6	129	124,8	117,7



Şekil B.10. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.11. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

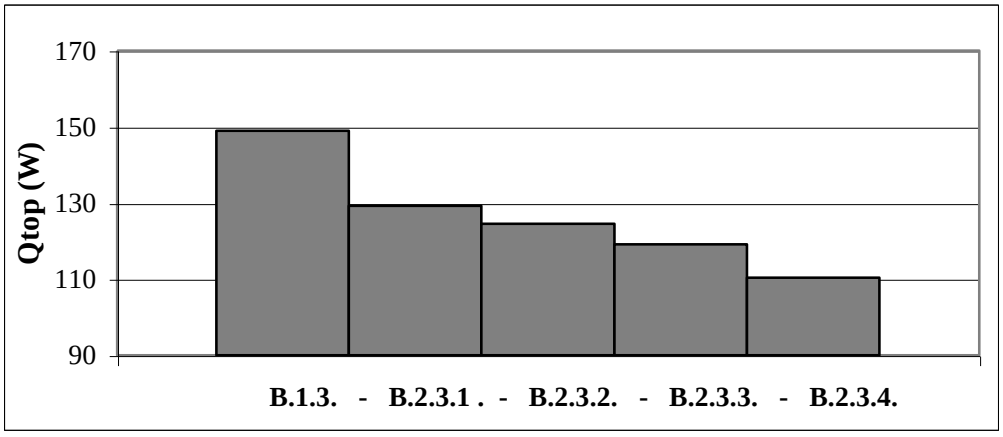
Sist.çalışma durumu	(A) ısıtma sistemi devrede				
Alternatif no	A.1.3.	A.2.3.1.	A.2.3.2.	A.2.3.3.	A.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	990,8	910,5	889,1	870,4	838,8



Şekil B.11. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.12. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarları (21 Ocak)

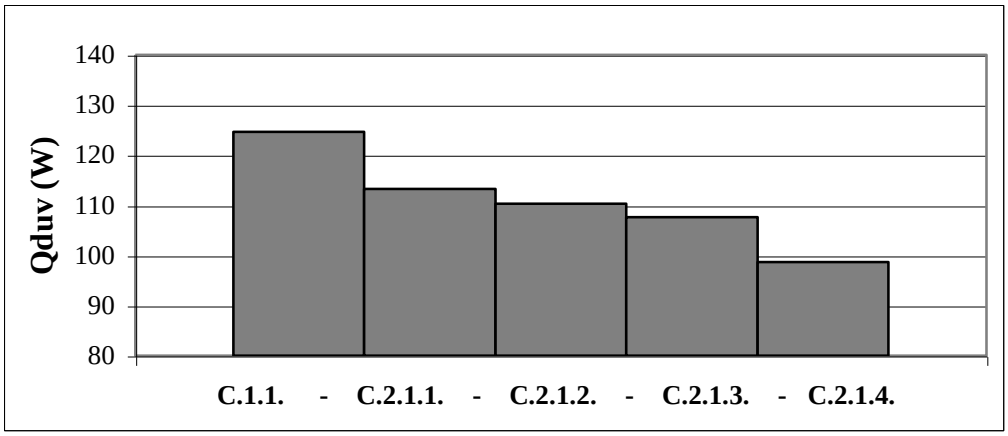
Sist.çalışma durumu	(B) ısıtma sistemi devrede değil				
Alternatif no	B.1.3.	B.2.3.1.	B.2.3.2.	B.2.3.3.	B.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	149	129,3	124,5	119,2	110,4



Şekil B.12. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kayıpları açısından karşılaştırılması (21 Ocak)

Tablo B.13. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

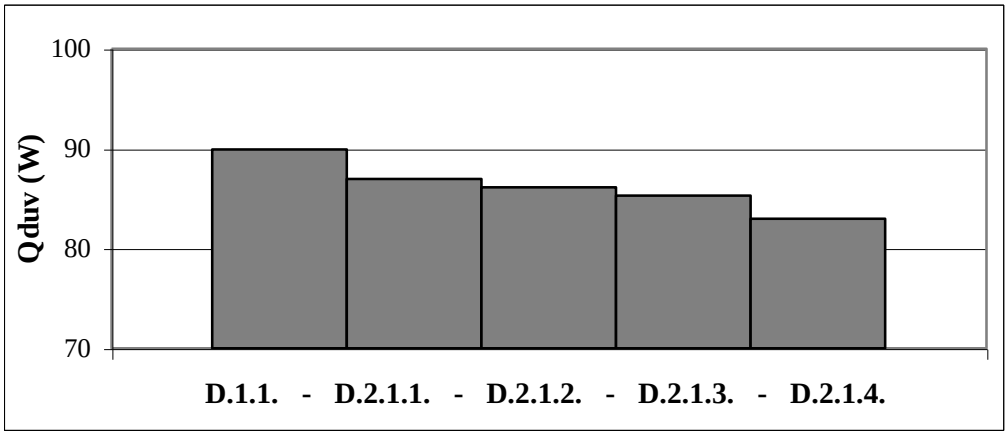
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.1.	C.2.1.1.	C.2.1.2.	C.2.1.3.	C.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	124,62	113,27	110,28	107,58	98,64



Şekil B.13. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.14. . Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

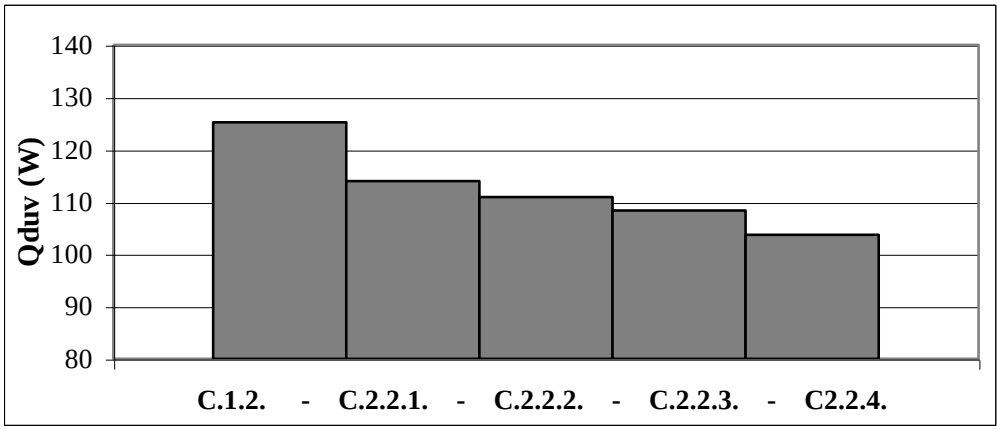
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.1.	D.2.1.1.	D.2.1.2.	D.2.1.3.	D.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	89,92	86,96	86,1	85,31	83



Şekil B.14. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.15. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

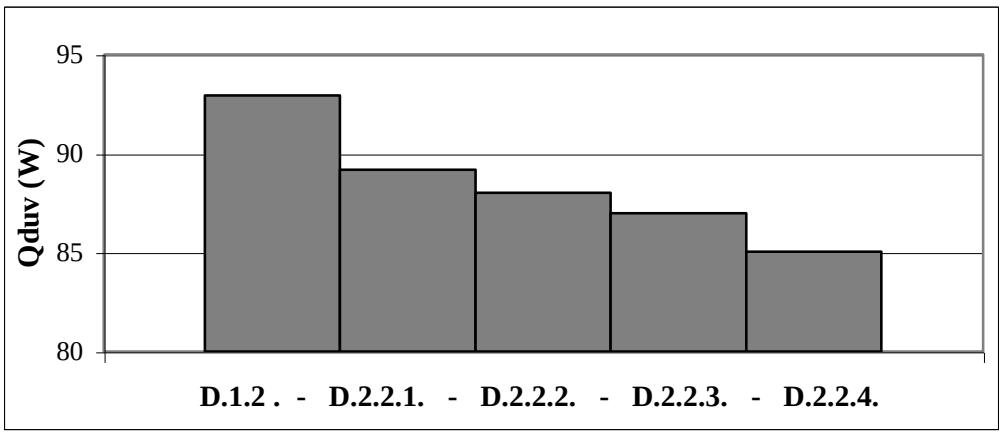
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.2.	C.2.2.1.	C.2.2.2.	C.2.2.3.	C.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	125,27	114,03	110,96	108,31	103,67



Şekil B.15. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.16. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

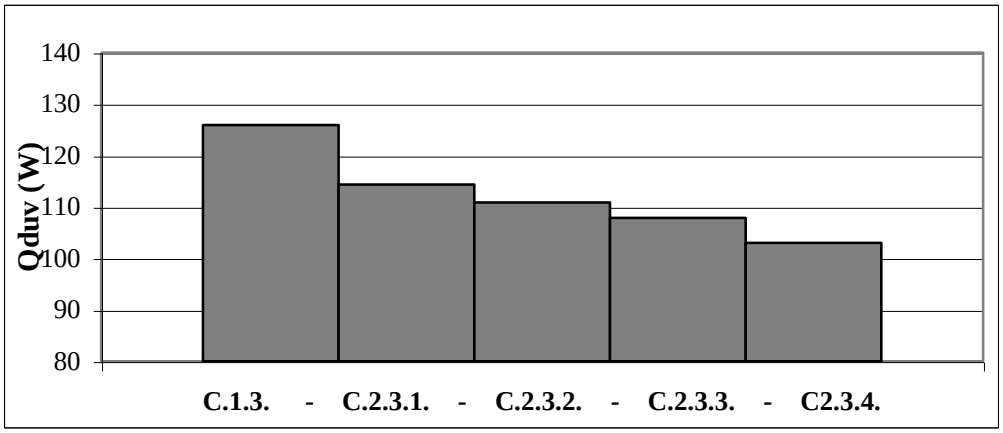
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.2.	D.2.2.1.	D.2.2.2.	D.2.2.3.	D.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	92,92	89,17	88,02	86,97	85,04



Şekil B.16. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.17. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

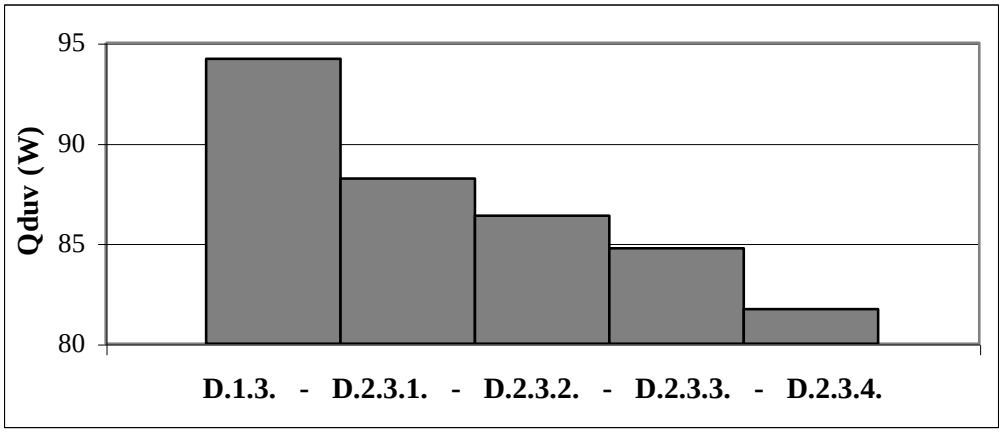
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.3.	C.2.3.1.	C.2.3.2.	C.2.3.3.	C.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	125,95	114,37	110,82	107,91	103



Şekil B.17. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.18. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda dış duvardan kazanılan ısı miktarları (21 Temmuz)

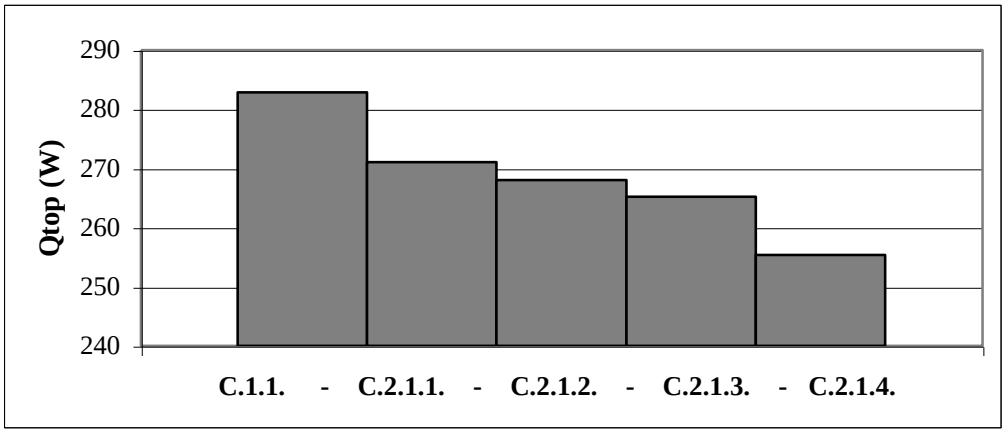
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.3.	D.2.3.1.	D.2.3.2.	D.2.3.3.	D.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{duv} (W)	94,2	88,23	86,38	84,75	81,72



Şekil B.18. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması(21 Temmuz)

Tablo B.19. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

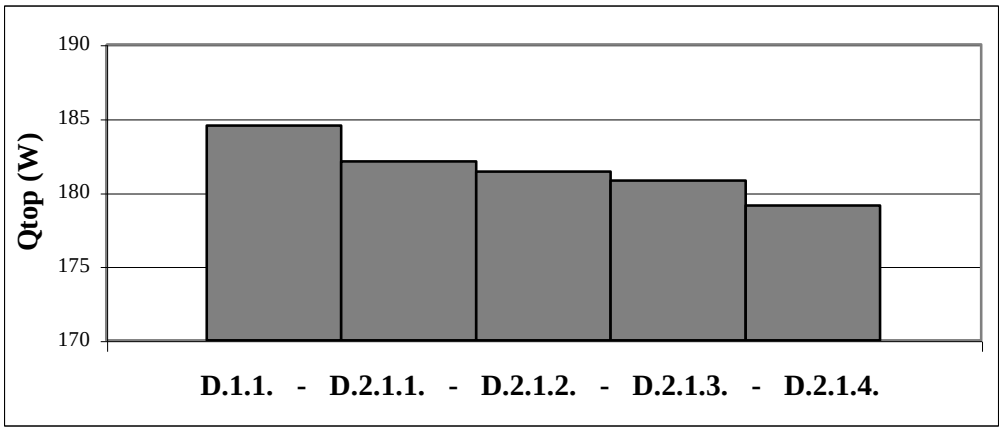
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.1.	C.2.1.1.	C.2.1.2.	C.2.1.3.	C.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	282,84	271,01	267,99	265,19	255,41



Şekil B.19. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.20. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

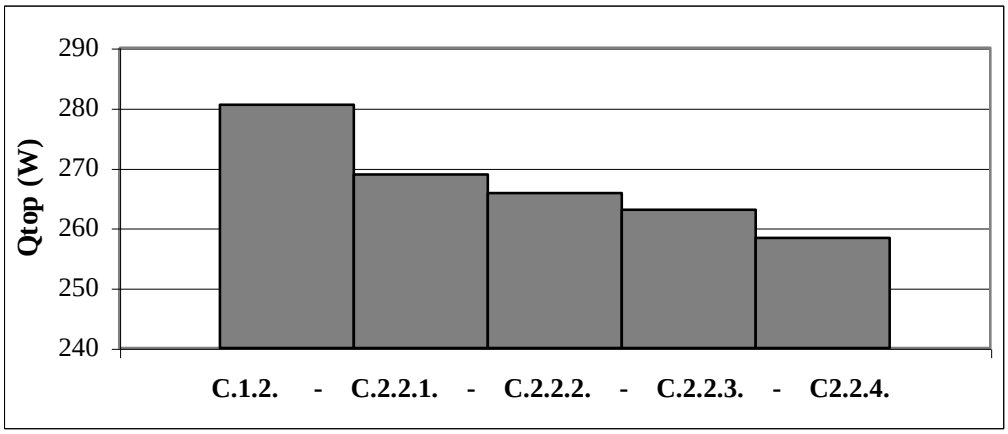
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.1.	D.2.1.1.	D.2.1.2.	D.2.1.3.	D.2.1.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	184,5	182,1	181,4	180,8	179,1



Şekil B.20. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin donatılı beton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.21. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

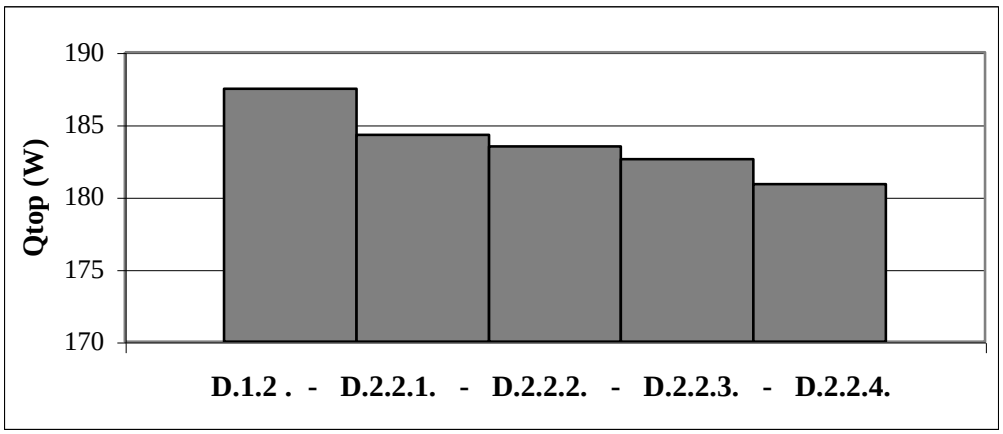
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.2.	C.2.2.1.	C.2.2.2.	C.2.2.3.	C.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	280,49	268,93	265,8	263,08	258,38



Şekil B.21. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.22. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

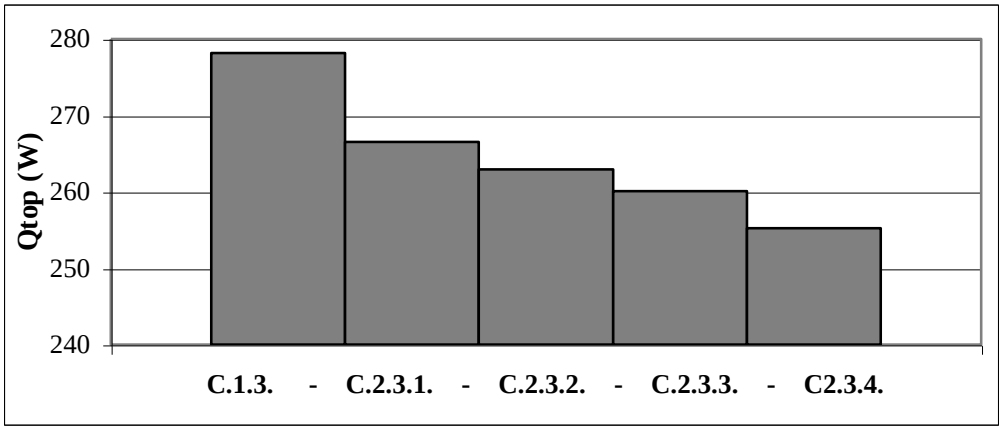
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.2.	D.2.2.1.	D.2.2.2.	D.2.2.3.	D.2.2.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	187,5	184,3	183,5	182,6	180,9



Şekil B.22. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin delikli tuğla olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.23. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

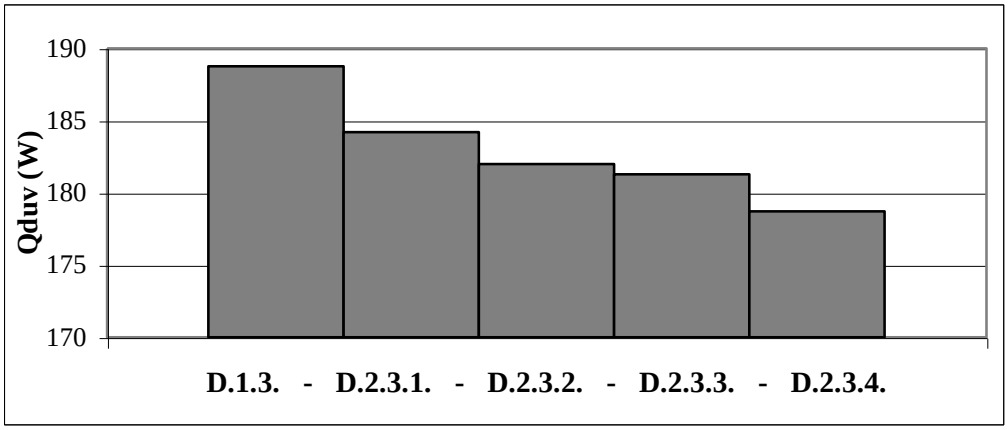
Sist.çalışma durumu	(C) soğutma sistemi devrede				
Alternatif no	C.1.3.	C.2.3.1.	C.2.3.2.	C.2.3.3.	C.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	278,14	266,51	262,97	260,09	255,19



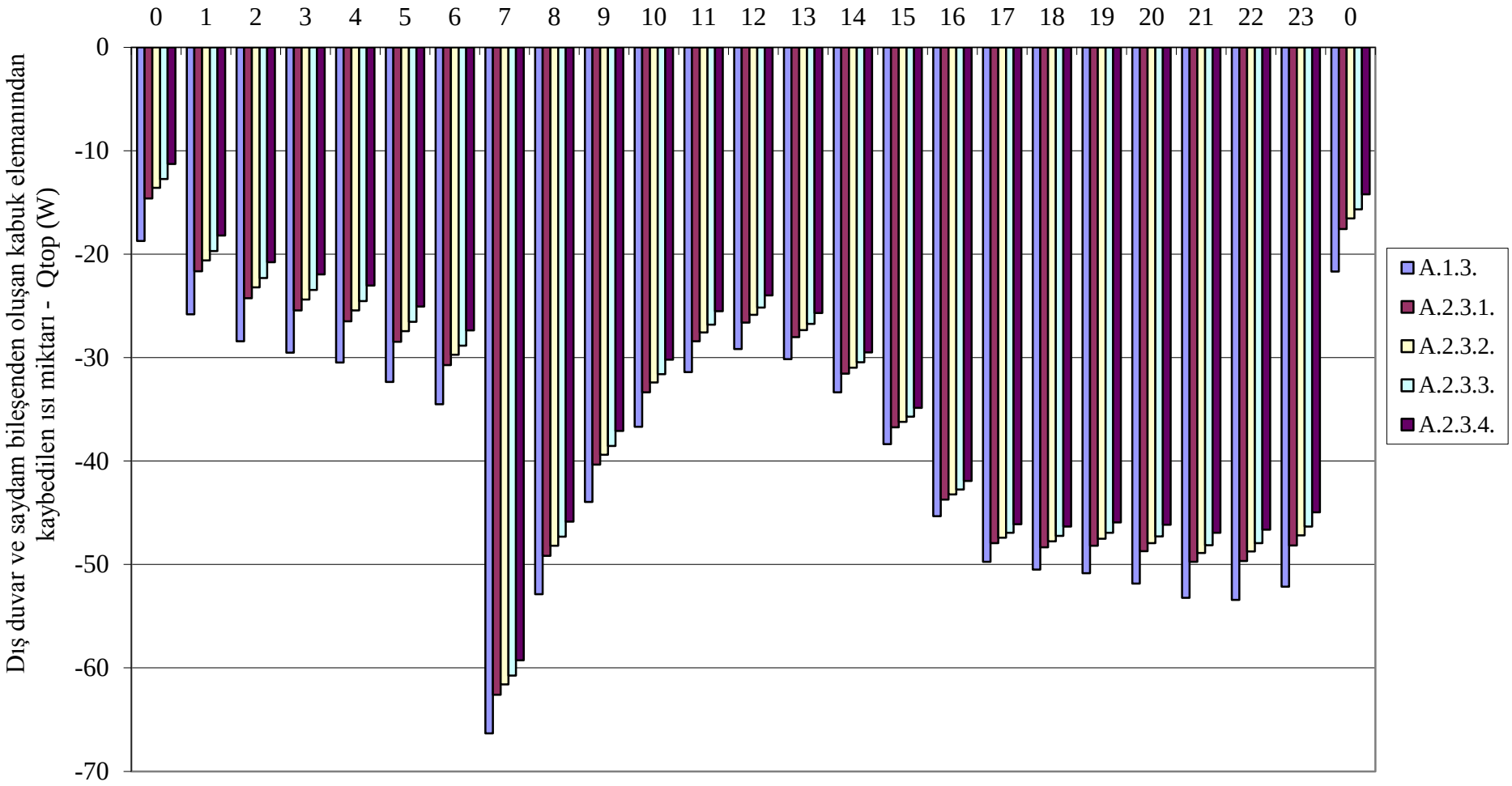
Şekil B.23. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)

Tablo B.24. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda duvar ve saydam bileşenden oluşmuş kabuk elemanından kazanılan ısı miktarları(21 Temmuz)

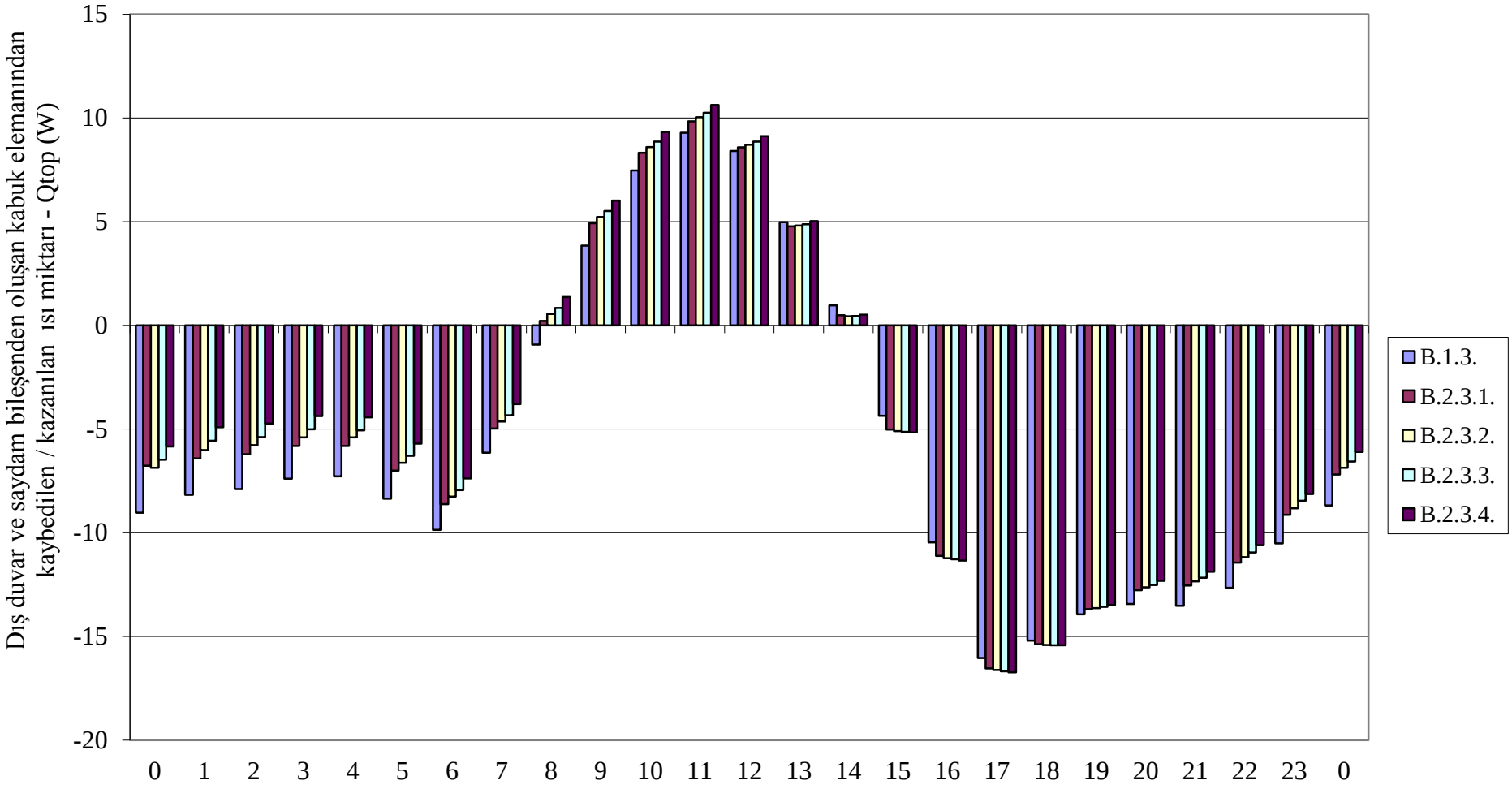
Sist.çalışma durumu	(D) soğutma sistemi devrede değil				
Alternatif no	D.1.3.	D.2.3.1.	D.2.3.2.	D.2.3.3.	D.2.3.4.
Yalıtım kalınlığı (m)	-	0,04	0,062	0,90	0,122
Q_{top} (W)	188,74	184,2	182	181,3	178,7



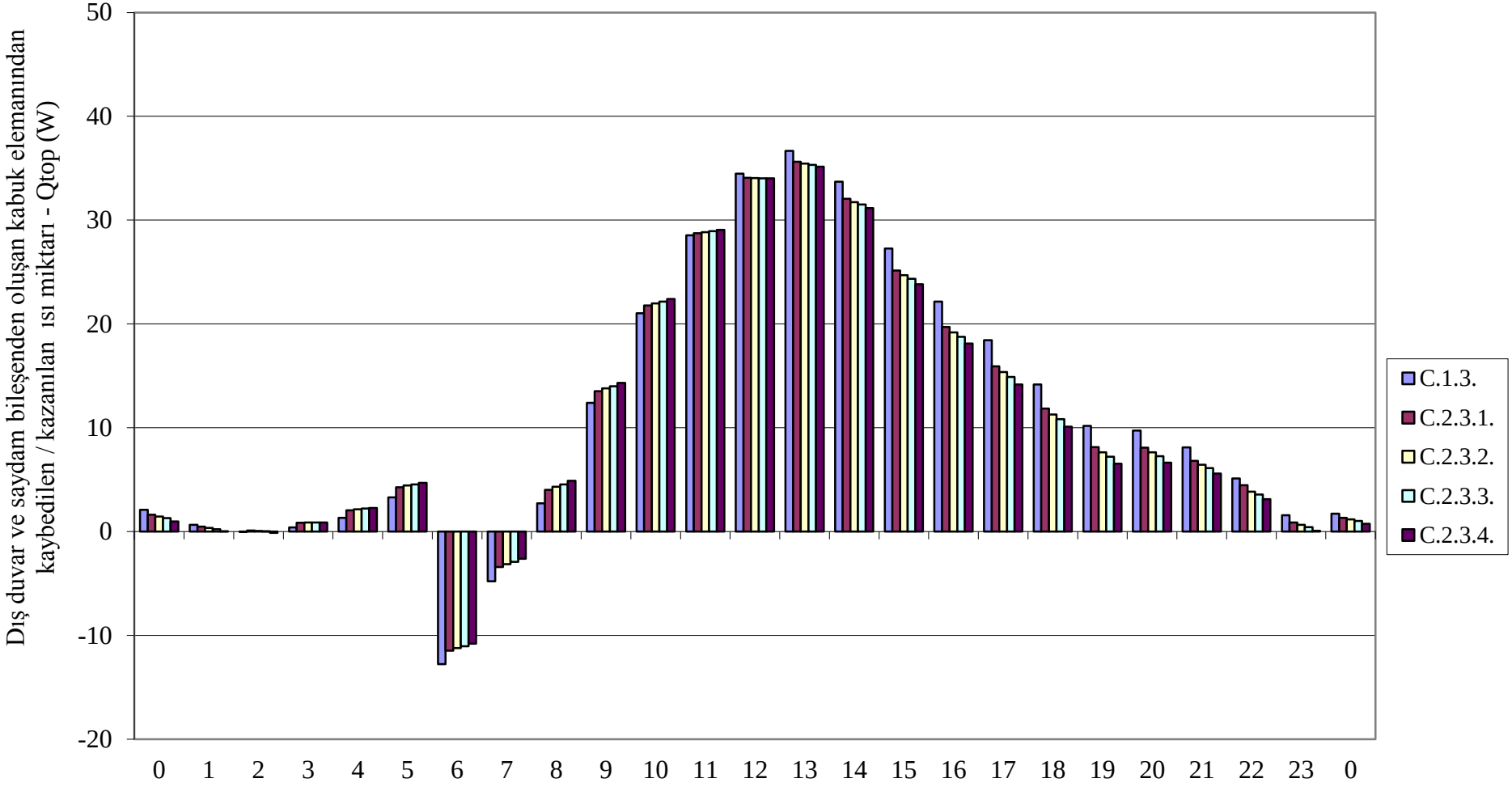
Şekil B.24. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda saydam yalıtım kullanılan alternatiflerin yalıtım kullanılmayan alterantife göre ısı kazançları açısından karşılaştırılması (21 Temmuz)



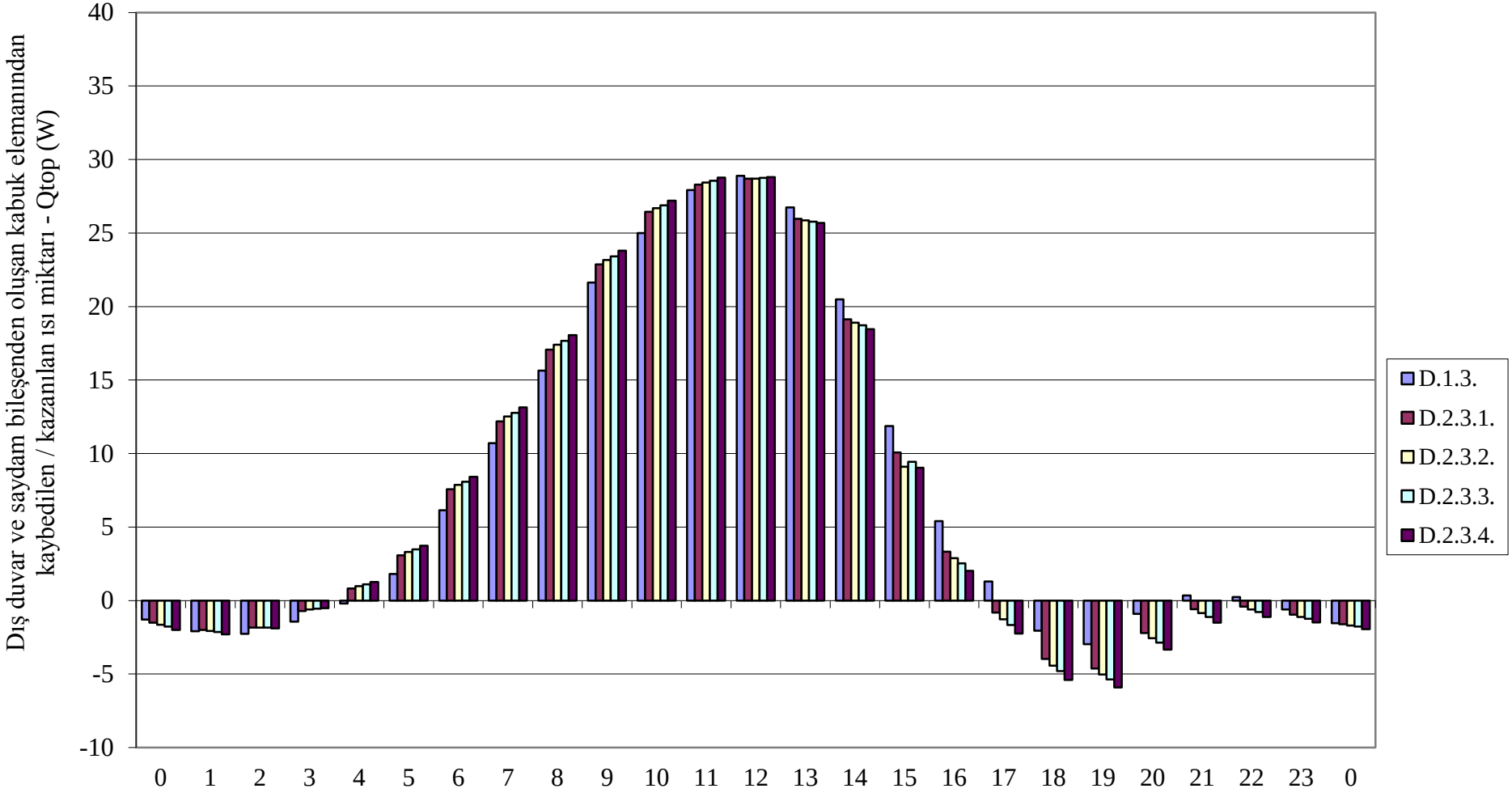
Şekil B.30. Isıtma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, kabuk elemanından kaybedilen ısı miktarlarının saatlik değişimi



Şekil B.36. Isıtma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi



Şekil B.42. Soğutma sisteminin devrede ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi



Şekil B.48. Soğutma sisteminin devrede olmaması ve dış duvar ana malzemesinin gazbeton olması durumunda, kabuk elemanından kaybedilen/kazanılan ısı miktarlarının saatlere göre değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Behiye Burcu Yeşildal 24 Haziran 1978'de Edirne'de doğdu. 1996 yılında Çorlu Mehmet Akif Ersoy Anadolu Lisesi'ni bitirdi. Aynı yıl başladığı İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nden 2000 yılında altıncılıkla mezun oldu. 2000 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Fiziksel Çevre Kontrolü Programı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.