

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**SAYDAM YALITIMLI YAPI DIŞ KABUĞU ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Yüksek Mimar Esra LAKOT ALEMDAĞ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (MİMARLIK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 28.06.2013

Tezin Savunma Tarihi : 16.09.2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Ana Bilim Dalında
Esra LAKOT ALEMDAĞ Tarafından Hazırlanan

SAYDAM YALITIMLI YAPI DIŞ KABUĞU ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09 / 07 / 2013 gün ve 1513 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

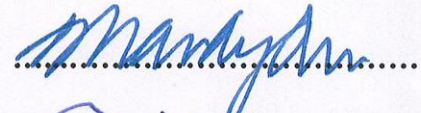
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

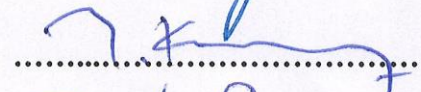
Başkan : Prof. Dr.Türkan GÖKSAL ÖZBALTA



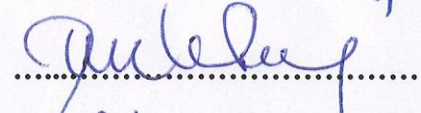
Üye : Prof. Dr.Orhan AYDIN



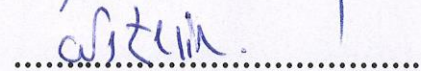
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL



Üye : Yrd. Doç. Dr. Nihan ENGİN



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Saydam Yalıtımlı Yapı Dış Kabuğu Isıl Performansının Deneysel İncelenmesi adlı bu çalışma, KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) fonu tarafından desteklenen 2010.120.001.4 kod nolu proje kapsamında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı tüm KTÜ Rektörlüğü'ne ve KTÜ BAP Birimine saygılarımla teşekkür ederim. Doktora tez çalışmamın başlangıcında danışmanlığımı yapan fakat daha sonra Gazi Üniversitesi'ne geçiş yapan sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Figen BEYHAN' a, sonrasında danışmanlığımı üstlenen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ' a tezime sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederim. Çalışmanın tüm aşamalarında bana yol gösteren, kıymetli zamanını bana ayırarak sabırla sorularımı yanıtlayan, bilgi ve tecrübesinden her zaman yararlandığım değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Mete AVCI' ya teşekkür ederim. Tez izleme jürimde yer alan ve çalışmama katkı sağlayan değerli hocalarım, Sayın Prof. Dr. Orhan AYDIN ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL' a, ihtiyaç duyduğum her konuda destek sağlayan KTÜ Mimarlık Bölümü ailesine ve tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Birlikte pek çok çalışma yaptığım, her konuda desteğini gördüğüm sevgili arkadaşım Öğr. Gör. Dr. Özlem AYDIN' a, tez çalışmamın farklı evrelerinde destek sağlayan Sayın Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA' ya, Sayın Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN' e, Dr. Fikret OKUTUCU' ya, Dr. Cemalettin AYGÜN' e, Cemalettin ŞİMŞEK' e ve Cenk ALBAYRAK' a teşekkür ederim.

Hayat boyu maddi ve manevi her türlü destekleriyle yanımda olan, sınırsız özveride bulunan annem Türkan LAKOT' a, babam Alican LAKOT' a, kardeşlerim Esin LAKOT ve Çağatay LAKOT' a, tüm destekleri için eşim Mehmet ALEMDAĞ ve ailesine sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca sabırla ve dört gözle çalışmamı bitirmemi bekleyen, son zamanlarda fazla vakit ayıramadığım canım kızım Öykü ALEMDAĞ' a ve çalışmamın son aşamalarında bana eşlik eden bebeğime özür ve teşekkürü bir borç bilirim.

Esra LAKOT ALEMDAĞ

Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum ‘Saydam Yalıtımlı Yapı Dış Kabuğu Isıl Performansının Deneysel İncelenmesi’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28 / 06 /2013

Esra LAKOT ALEMDAĞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar (ÇİZELGELER DİZİNİ).....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş ve Konuya Yaklaşım	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Literatür Araştırması.....	4
1.4. Güneş Enerjisi	10
1.4.1. Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınlmaları.....	14
1.4.1.1. Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım.....	14
1.4.1.2. Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım.....	15
1.4.1.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınlmalar	16
1.4.1.3.1. Yatay Düzleme Gelen Anlık Toplam Işınım	16
1.4.1.3.2. Yatay Düzleme Gelen Anlık Yaygın Işınım.....	16
1.4.1.3.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Direkt Işınım	17
1.4.2. Eğimli Düzleme Gelen Güneş Işınlmaları	17
1.4.2.1. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Direkt Işınım.....	17
1.4.2.2. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Yaygın Işınım	18
1.4.2.1. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Yansıyan Işınım.....	18
1.5. Saydam Yalıtım Malzemeleri.....	19
1.5.1. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması.....	20
1.5.2. Saydam Yalıtım Malzemelerde Kullanılan Maddeler	22
1.5.2. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Uygulama Alanları	23
1.6. Isıl Konfor	29
1.6. Pasif Isıtma Sistemleri ve Isıl Konfor İlişkisi.....	32

1.6.1.	Yaşam Hacimlerinde Isıl Konforu Etkileyen Tasarım Parametreleri.....	33
1.6.1.1.	Hacmin Yapı İçerisindeki Konumu.....	33
1.6.1.2.	Hacmin Boyutları ve Biçim Faktörü	34
1.6.1.3.	Hacmin Yönlendiriliş Durumu	34
1.6.1.4.	Hacmi Çevreleyen Yapı Kabuğunun Özellikleri.....	35
1.6.1.4.1.	Yapı Kabuğu Optik Özellikleri.....	35
1.6.1.4.2.	Yapı Kabuğu Termofiziksel Özellikleri	36
1.6.1.4.2.1.	Isı Depolama Kapasitesi	37
1.6.1.4.2.2.	Isı Yayınım Katsayısı	37
1.6.1.4.2.3.	Isı Geçirme Katsayısı	38
1.6.1.4.2.4.	Dış Yüzey Rengi.....	39
1.6.1.4.2.5.	Faz Farkı ve Sönüm Oranı.....	40
1.6.1.5.	Hacim İçerisindeki Ögelere ve Yüzeyle İlişkin Özellikler.....	42
1.7.	Yapı Kabuğundan Isı Geçişi.....	43
1.7.1.	Isı Geçiş Türleri	43
1.7.2.	Isı Geçiş Hesaplarında Kullanılan Büyüklüklerin Tanımı	43
1.7.2.1.	Isı İletim Katsayısı (λ)	44
1.7.2.2.	Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı (h).....	44
1.7.2.3.	Yüzeysel Isı Taşınım Direnci (1/h)	44
1.7.2.4.	Isı Geçirgenlik Değeri (Λ)	45
1.7.2.5.	Isı Geçirgenlik Direnci (1/ Λ)	46
1.7.2.6.	Isı Geçirme Katsayısı (U).....	46
1.7.2.7.	Isı Geçirme Direnci (1/U).....	46
1.7.2.8.	Isı Geçişi Rejimleri.....	46
1.7.3.	İletim İle Isı Geçişi	47
1.7.4.	Taşınım İle Isı Geçişi	49
1.7.5.	Işınım İle Isı Geçişi.....	50
1.7.6.	Katmanlı Düzlem Duvarlarda Isı Geçişi	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	56
2.1.	Deney Düzeneği	56
2.1.1.	Deney Düzeneğinin Şematik Plan ve Kesitleri.....	62
2.2.	Deney Düzeneğinin Çalışma Prensibi	68
2.3.	Deneysel Ölçümler	70
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	74

3.1.	Ölçüm Sonuçları	74
3.1.1.	Şubat Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları	75
3.1.1.1.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Şubat Ayı)	75
3.1.1.2.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Şubat Ayı)	81
3.1.2.	Mayıs Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları	87
3.1.2.1.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Mayıs Ayı)	88
3.1.2.2.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Mayıs Ayı)	93
3.1.3.	Temmuz Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları	98
3.1.3.1.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Temmuz Ayı)	98
3.1.3.2.	Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Temmuz Ayı)	104
3.2.	DeneySEL Hesap Metodu	108
3.2.1.	Model 1 (Oda 1, Opak Yalıtımlı) İçin Hesap Metodu	109
3.2.2.	Model 2 (Oda 2-5, Saydam Yalıtımlı Havalandırmaz) İçin Hesap Metodu	111
3.2.3.	Model 3 (Oda 3-4, Saydam Yalıtımlı Havalandırmalı) İçin Hesap Metodu	112
3.2.3.1.	Model 3 İçin Kapaklar Kapalıyken Hesap Metodu (Yaz Durumu)	113
3.2.3.2.	Model 3 İçin Kapaklar Açıkken Hesap Metodu (Kış Durumu)	114
3.3.	Şubat, Mayıs ve Temmuz Ayları İçin Seçilmiş Günlere Ait Hesap Sonuçları	115
3.3.1.	Şubat Ayına Ait Hesap Sonuçları	116
3.3.2.	Mayıs Ayına Ait Hesap Sonuçları	120
3.3.3.	Temmuz Ayına Ait Hesap Sonuçları	124
3.4.	Aylık ve Yıllık Ortalama Isı Kayıp ve Kazançları	128
3.5.	Duvar Kuruluşlarının Yıllık Isıl Verimleri	133
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	135
5.	KAYNAKLAR	139
6.	EKLER	148
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

SAYDAM YALITIMLI YAPI DIŞ KABUĞU ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL
İNCELENMESİ

Esra LAKOT ALEMDAĞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

2013, 147 Sayfa, 28 Sayfa Ek

Yalıtım amaçlı duvar iç ya da dış yüzeyine uygulanan opak malzemeler kışın iç mekândan dışa ısı kayıplarını engellemekte ancak güneş ışınım geçirgenlikleri olmadığı için kış güneşinden pasif yöntemle faydalanmada çok fazla katkı sağlamamaktadırlar. Bu nedenle, enerji etkin yapı kabuğu kuruluşlarında yüksek güneş ışınım geçirgenliğine sahip saydam yalıtım malzemeleri kullanımı, güneşten ek ısı kazancı sağlaması nedeniyle avantajlıdır.

Çalışmada Trabzon ilinde dış yüzeyine saydam ve opak yalıtım uygulanmış, farklı optik ve termofiziksel özelliklere sahip duvar kuruluşlarının atmosferik koşullar etkisindeki ısıl davranışları deneysel olarak incelenmiştir. İlk bölümde çalışmanın konusu, kapsamı ve amacı hakkında bilgi verilmiştir. Ardından saydam yalıtım malzemesi ve uygulamalarıyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalara kısaca değinilerek, çalışmanın alt yapısını oluşturacak literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar bölümünde, deney düzeneğinin kurulduğu arsanın fiziksel ve iklimsel özellikleri, deney odalarının plan ve kesitleri, kullanılan malzemelerin teknik özellikleri, ölçüm sistemi ve kullanılan aletler detaylı olarak anlatılmıştır. Bulgular ve irdelemeler bölümünde, bir yıllık ölçüm periyodunda seçilmiş aylar ve günlere ait ölçüm sonuçları grafikler halinde sunulmuştur. Farklı tiplerde düzenlenen opak ve saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarındaki ısı geçişi ise günlük ve saatlik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ısıtmanın istendiği ve istenmediği dönemlerde ısı kayıp ve kazançları hesaplanarak aylık ortalamalar halinde değerlendirilmiştir. Ardından her bir duvar tipi için aylık ısıl verimler hesaplanarak duvarlar arası karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar bölümünde ise yapı dış kabuğunda saydam yalıtım uygulaması ile güneş enerjisinden elde edilen ısı kazançlarının yapının enerji etkinliğine ve iç ortam ısıl konforuna etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Saydam yalıtım, Yapı dış kabuğu, Güneş enerjisi, Isı kazancı, Isıl konfor

PhD. Thesis

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF BUILDING'S
EXTERNAL SKIN WITH TRANSPARENT INSULATION

Esra LAKOT ALEMDAĞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architecture Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa KAVRAZ
2013, 147 Pages, 28 Pages Appendix

The opaque materials applied to the interior or exterior surface of the insulation barrier has minor contribution in passive method utilization of the winter sun while preventing the heat loss from the interior space to the exterior, as they don't have any radiation permeability. For this reason, the energy-efficient building skin is advantageous as it provides an additional heat gain out of sun because of the use of transparent insulation materials holding high solar radiation permeability in their constructions. In this study, the thermal behaviours of the wall constructions in Trabzon province of which transparent and opaque insulation was applied to the exterior having different optical and thermo physical features under the effect of atmospheric circumstances were experimentally researched. In the first part, some information was given on the topic, the scope, and the purpose of the study. Later, the literature review which is going to set up a substructure of the study was done by briefly touching the earlier studies on the transparent insulation materials and their applications. In the part of 'studies done', the physical and climatic features of the terrain where the test mechanism was set up, the plans and sections of the test rooms, the technical features of the materials used, the measuring system and the tools used were explained in detail. In the 'probes and findings' part, the results of the measurements of the days and months selected in a one-year measurement period were provided with graphics. However, the heat transmission in the transparently and opaquely insulated wall constructions prepared in different types was calculated daily and hourly. Moreover, by being calculated, the heat losses and heat gains were evaluated in monthly pars in the terms when heat was requested or unrequested. Later, by calculating the thermic performance for every single wall type, an inter-wall comparison was made. In the 'results' part, the effects of the heat gains obtained from solar energy on the energy activation of the building and the thermal comfort of the interior space was evaluated with the application of transparent insulation of the building's exterior skin.

Key Words: Transparent insulation, Building's external skin, Solar energy, Heat gain, Thermal comfort

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Güneşle ilgili açılar.....	13
Şekil 2. Yazın ve kışın öğle saatinde θ_z , δ ve \emptyset açısı arasındaki ilişki.....	14
Şekil 3. Opak ve saydam yalıtımlı duvarlarda ısı kayıp ve kazançları.....	20
Şekil 4. Sıydam yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması.....	21
Şekil 5. Petek dokulu (a), kapiler (b) ve silika arojel (c) yapıda sıydam yalıtım malzemeleri.....	22
Şekil 6. Farklı tiplerde düzenlenmiş sıydam yalıtımlı düz yüzeyle güneş kolektörleri.....	23
Şekil 7. Petek dokulu sıydam yalıtımlı çatı kaplama sisteminin şematik gösterimi.....	24
Şekil 8. Konutlarda sıcak su temini için tasarlanan bütünleşik depolama sistemli kolektörün şematik kesiti.....	24
Şekil 9. Sıydam yalıtım malzemesinin dış duvara uygulanması.....	25
Şekil 10. Sıydam yalıtım uygulamalarında gölgeleme elemanlarının kullanımı...	26
Şekil 11. Freiburg sıfır enerjili bina cephesi.....	26
Şekil 12. Sıydam yalıtım uygulanan bina cephesi, Sonnenäckerweg, Freiburg....	27
Şekil 13. Sıydam yalıtımlı öğrenci yurdu binası plan ve kesiti.....	27
Şekil 14. Gün ışığı elemanı olarak kullanılan sıydam yalıtım malzemeleri.....	28
Şekil 15. Operatif sıcaklık ve ortamın bağıl nemine bağılı olarak konfor bölgesi..	32
Şekil 16. Faz farkı (Φ) ve sönüm oranının (f) şematik gösterimi.....	41
Şekil 17. Isı geçiş rejimleri.....	47
Şekil 18. İletimle bir boyutlu ısı geçişi.....	47
Şekil 19. Sıcaklık değişim hızına bağılı olarak ısı geçiş yönleri.....	48
Şekil 20. Taşınım ile ısı geçişi.....	49
Şekil 21. Katmanlı Düzlem Duvarlarda Isı geçişi.....	51
Şekil 22. Deney düzeneğinin genel görünümü (güney cephesi).....	58
Şekil 23. Deney düzeneğinin genel görünümü (kuzey cephesi).....	58
Şekil 24. Sıydam yalıtım malzemesi uygulanmasından önce boyanan siyah yüzeyler ve duvarda açılan havalandırma boşlukları.....	60
Şekil 25. Deney düzeneğinde kullanılan sıydam yalıtım malzemesi (Kapipane).....	60
Şekil 26. Sıydam yalıtımlı havalandırmasız odaların güney duvarlarının yaz ve kış dönemi ısıl davranışı.....	68

Şekil 27.	Saydam yalıtımlı havalandırılmalı odaların güney duvarlarının yaz ve kış dönemi ısı davranışı.....	69
Şekil 28.	Dış ortama yerleştirilen kayıt sistemi ve duvar yüzeyindeki silikon pıranometre.....	71
Şekil 29.	Saydam yalıtımlı havalandırmasız ve havalandırılmalı duvarlarda sıcaklık ve hava hızı ölçüm noktaları.....	71
Şekil 30.	Saydam yalıtımlı havalandırılmalı odalarda (3-4 nolu) açık-kapalı konumdaki havalandırma boşlukları ve ölçüm aletleri.....	72
Şekil 31.	Saydam ve opak yalıtımlı havalandırmasız (1-2-5 nolu) odaların güney duvar iç yüzeyi sıcaklık ölçüm yerleri.....	73
Şekil 32.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 7 Şubat 2013).....	76
Şekil 33.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 7 Şubat 2013).....	77
Şekil 34.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 7 Şubat 2013).....	74
Şekil 35.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 7 Şubat 2013).....	79
Şekil 36.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 7 Şubat 2013).....	79
Şekil 37.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (7 Şubat 2013).....	81
Şekil 38.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 16 Şubat 2013).....	82
Şekil 39.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 16 Şubat 2013).....	83
Şekil 40.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 16 Şubat 2013).....	83
Şekil 41.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 16 Şubat 2013).....	84
Şekil 42.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 16 Şubat 2013).....	85
Şekil 43.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (16 Şubat 2013).....	86
Şekil 44.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 2 Mayıs 2012).....	88
Şekil 45.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 2 Mayıs 2012).....	89
Şekil 46.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 2 Mayıs 2012).....	90
Şekil 47.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 2 Mayıs 2012).....	91
Şekil 48.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 2 Mayıs 2012).....	92
Şekil 49.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (2 Mayıs 2012).....	92
Şekil 50.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 21 Mayıs 2012).....	94

Şekil 51.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 21 Mayıs 2012).....	94
Şekil 52.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 21 Mayıs 2012).....	95
Şekil 53.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 21 Mayıs 2012).....	96
Şekil 54.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 21 Mayıs 2012).....	96
Şekil 55.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (21 Mayıs 2012).....	97
Şekil 56.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 25 Temmuz 2012).....	99
Şekil 57.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 25 Temmuz 2012).....	100
Şekil 58.	47. Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 25 Temmuz 2012).....	100
Şekil 59.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 25 Temmuz 2012).....	101
Şekil 60.	Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 25 Temmuz 2012).....	102
Şekil 61.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (25 Temmuz 2012).....	103
Şekil 62.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 6 Temmuz 2012).....	104
Şekil 63.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 6 Temmuz 2012).....	105
Şekil 64.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 6 Temmuz 2012).....	106
Şekil 65.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 6 Temmuz 2012).....	106
Şekil 66.	Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 6 Temmuz 2012).....	107
Şekil 67.	Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (6 Temmuz 2012).....	108
Şekil 68.	Çalışmadaki duvar modelleri.....	109
Şekil 69.	Model 1 enerji dengesi.....	109
Şekil 70.	Model 2 enerji dengesi.....	112
Şekil 71.	Model 3 enerji dengesi (kapaklar kapalı).....	113
Şekil 72.	Model 3 enerji dengesi (kapaklar açık).....	114
Şekil 73.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 7 Şubat 2013)	116
Şekil 74.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 7 Şubat 2013).....	116
Şekil 75.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 7 Şubat 2013).....	117
Şekil 76.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 7 Şubat 2013).....	117

Şekil 77.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 7 Şubat 2013).....	117
Şekil 78.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 16 Şubat 2013).....	118
Şekil 79.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 16 Şubat 2013).....	118
Şekil 80.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 16 Şubat 2013).....	118
Şekil 81.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 16 Şubat 2013).....	119
Şekil 82.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 16 Şubat 2013)	119
Şekil 83.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 2 Mayıs 2013).....	120
Şekil 84.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 2 Mayıs 2012).....	120
Şekil 85.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 2 Mayıs 2012)	121
Şekil 86.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 2 Mayıs 2012).....	121
Şekil 87.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 2 Mayıs 2012).....	121
Şekil 88.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 21 Mayıs 2012).....	122
Şekil 89.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 21 Mayıs 2012).....	122
Şekil 90.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 21 Mayıs 2012).....	122
Şekil 91.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 21 Mayıs 2012).....	123
Şekil 92.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 21 Mayıs 2012).....	123
Şekil 93.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 25 Temmuz 2012).....	124
Şekil 94.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 25 Temmuz 2012).....	124
Şekil 95.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 25 Temmuz 2012).....	125
Şekil 96.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 25 Temmuz 2012).....	125
Şekil 97.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 25 Temmuz 2012).....	125
Şekil 98.	Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 6 Temmuz 2012).....	126
Şekil 99.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 6 Temmuz 2012).....	126
Şekil 100.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 6 Temmuz 2012).....	126

Şekil 101.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 6 Temmuz 2012).....	127
Şekil 102.	Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 6 Temmuz 2012).....	127
Şekil 103.	Opak yalıtımlı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (1.oda).....	128
Şekil 104.	Saydam yalıtımlı havalandırmasız duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (2.oda).....	129
Şekil 105.	Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (3.Oda).....	130
Şekil 106.	Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (4.oda).....	130
Şekil 107.	Saydam yalıtımlı havalandırmasız duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (5.oda).....	131
Şekil 108.	Isıtmanın istendiği dönemde odaların güneş ışınımından yararlanma miktarları.....	132
Şekil 109.	Isıtmanın istenmediği dönemde odaların güneş ışınımından yararlanma miktarları.....	133
Şekil 110.	Tüm odalar için yıllık verim oranları.....	134

TABLolar (ÇİZELGELER) DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye'deki coğrafi bölgelere göre yıllık ortalama güneş ışınım şiddetleri ve güneşlenme süreleri.....	11
Tablo 2. Fonksiyon parametreleri.....	15
Tablo 3. Bazı malzemelerin yutma katsayısı.....	40
Tablo 4. Yüzeysel ısı taşınım direnç değerleri.....	45
Tablo 5. Uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama iklimsel değerler (1960-2012).....	57
Tablo 6. Deney odalarının güney duvar kuruluşları.....	57
Tablo 7. Bazı dış duvar malzemelerinin yoğunluk değerleri (TSE 825).....	59
Tablo 8. Saydam yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri.....	61
Tablo 9. 1. Odanın plan, kesit ve detayları.....	62
Tablo 10. 2. Odanın plan, kesit ve detayları.....	63
Tablo 11. 3. Odanın plan, kesit ve detayları.....	64
Tablo 12. 4. Odanın plan, kesit ve detayları.....	65
Tablo 13. 5. Odanın plan, kesit ve detayları.....	66
Tablo 14. Odaların dış duvar kuruluşlarının ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri.....	67
Tablo 15. Ölçüm sonuçları verilen aylar için seçilmiş günler.....	75
Tablo 16. Şubat ayını temsil eden günlere ait iklim verileri.....	75
Tablo 17. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarlardaki kapaklarda hava giriş-çıkış sıcaklıkları (3. ve 4. Oda - 7 Şubat).....	78
Tablo 18. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (7 Şubat).....	80
Tablo 19. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (7 Şubat).....	81
Tablo 20. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (16 Şubat).....	85
Tablo 21. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (16 Şubat).....	86
Tablo 22. Saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarının faz farkı, sönüm oranı ve ısı depolama kapasiteleri değerleri (7 Şubat- 16 Şubat).....	87
Tablo 23. Mayıs ayını temsil eden günlere ait iklim verileri.....	87
Tablo 24. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarlardaki kapaklarda hava giriş-çıkış sıcaklıkları (3. ve 4. Oda - 2 Mayıs).....	90
Tablo 25. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (2 Mayıs).....	92

Tablo 26.	Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (2 Mayıs).....	93
Tablo 27.	Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (21 Mayıs).....	97
Tablo 28.	Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (21 Mayıs).....	98
Tablo 29.	Temmuz ayını temsil eden günlere ait iklim verileri.....	98
Tablo 30.	Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (25 Temmuz).....	102
Tablo 31.	Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (25 Temmuz).....	103
Tablo 32.	Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (6 Temmuz).....	107
Tablo 33.	Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (6 Temmuz).....	108
Tablo 34.	Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarında ısı kayıpları ve kazançları (W).....	131
Tablo 35.	Deney düzeneğindeki odaların aylık ortalama iç ortam sıcaklıkları.....	136

SEMBOLLER DİZİNİ

\emptyset	: Enlem açısı
θ_z	: Zenit açısı
ω	: Saat açısı
α_s	: Güneş yükseklik açısı
γ	: Yüzey azimut açısı
δ	: Deklinasyon açısı
γ_s	: Güneş azimut açısı
S	: Eğim açısı
θ	: Güneş geliş açısı
I	: Toplam ışıınım
FGI	: Işıınım fonksiyon genliği
FKI	: Işıınım fonksiyon faz kayması
B	: Berraklık indeksi
I_o	: Atmosfer dışı ışıınımı
I_s	: Güneş sabiti
e	: Enlem açısı
d	: Deklinasyon açısı
ws	: Gün doğuş saat açısı
f	: Güneş sabitini düzeltme faktörü
I_{ts}	: Yatay düzleme gelen anlık toplam ışıınım
A_{ts}	: Anlık toplam ışıınım için fonksiyon genliği
t_{gi}	: İmajiner gün uzunluğu
t_g	: Gün uzunluğu
I_{ys}	: Yatay düzleme gelen anlık yaygın ışıınım
A_{ys}	: Anlık yaygın ışıınım için fonksiyon genliği
I_{ds}	: Yatay düzleme gelen anlık direkt ışıınım
I_{de}	: Eğik yüzeye gelen anlık direkt ışıınım
R_d	: Direkt ışıınım dönüşüm katsayısı
I_{ye}	: Eğik yüzeye gelen anlık yaygın ışıınım
R_y	: Yaygın ışıınım dönüşüm katsayısı

s	: Yüzeyin eğimi
p	: Çevre yansıtma oranı
I_{ya}	: Eğik yüzeye gelen anlık yansıyan ışınım
I_t	: Eğimli yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı
ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği
clo	: Clothing-kıyafet birimi
OIS	: Ortalama ışınım sıcaklığı
r	: Güneş ışınım yansıma katsayısı
α	: Güneş ışınım yutma katsayısı
τ	: Güneş ışınım geçirme katsayısı
c	: Özgül ısı
ρ	: Yoğunluk
(ρc_p)_{eq}	: Eşdeğer ısı depolama kapasitesi
d_i	: Yapı malzemesinin kalınlığı, m
L	: Yapı bileşeninin toplam kalınlığı
a	: Isı yayılım katsayısı (m^2s^{-1})
λ	: Isı iletim katsayısı, W/mK
U	: Isı geçirgenlik katsayısı, W/m ² K'dir.
K	: Isı geçirgenlik katsayısı, kcal/m ² h°C
I_t	: Duvar yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı
α_g	: Duvarın yutma katsayısı
Φ	: Faz farkı
f	: Sönüm oranı
Q	: Kabuk elemanının birim alanından geçengünlük toplam ısı miktarı, W/m ²
T	: Sıcaklık, °C, K
h	: Isı taşınım katsayısı, W/m ² K
Λ	: Isı Geçirgenlik Değeri, W/m ² K
q''	: Birim zamanda geçen ısı akısı, W/m ²
T_s	: Yüzey sıcaklığı, K veya °C
T_∞	: Akışkan sıcaklığı
Q_s	: Siyah cismin ışınım enerjisi
σ	: Stefan – Boltzmann sabiti
U_{tc}	: Saydam bileşenin tek camlı durumunda toplam ısı geçirme katsayısı, W/m ² K

$U_{\text{çc}}$: Saydam bileşenin çift camlı olması durumunda toplam ısı geçirme katsayısı, W/m^2K
h_d	: Dış yüzeysel ısı taşınım katsayısı, W/m^2K
h_s	: Çift cam tabaka arasındaki havanın taşınım katsayısı, W/m^2K
α_d	: Tek cam tabakasının direkt güneş ışınımına karşı yutuculuğu
α_y	: Tek cam tabakasının yaygın güneş ışınımına karşı yutuculuğu
τ_d	: Tek cam tabakasının direkt güneş ışınımına karşı geçirgenliği
τ_y	: Tek cam tabakasının yaygın güneş ışınımına karşı geçirgenliği
$\tau_{\text{çcd}}$: Çift cam tabakasının direkt güneş ışınımına karşı geçirgenliği
$\tau_{\text{çcy}}$: Çift cam tabakasının yaygın güneş ışınımına karşı geçirgenliği
α_{dd}	: Çift tabakalı camda, dıştaki tabakanın direkt
TSE 825	: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı
A	: Duvar dış yüzey alanı, m^2
m	: Kütleli debi, kg/s
V_h	: Havanın hızı, m/sn

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Konuya Yaklaşım

21. yüzyılın en tartışmalı meselelerinden biri olan küresel ısınma, ülkemizin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Burada karşılaşılan sorun, küresel ısınmanın bilimsel bir konu olmakla kalmayıp ekonomiyi, sosyolojiyi, jeopolitiği, yerel siyasetleri ve bireylerin yaşam tarzı seçimlerini de ilgilendirmesidir. Küresel ısınmanın nedeni, fosil yakıt tüketimi ve ormansızlaşma sonucunda atmosferde CO₂ (karbondioksit gazı) gibi sera gazlarının oranının çok fazla yükselmesidir. Bilim adamlarına göre bu durum, Yerküre'nin en azından son binyıldır herhangi bir zamanda olduğundan daha hızlı ısınmasına yol açmaktadır. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) son raporunda, 20. Yüzyılda küresel sıcaklıklarda 0,6 °C, deniz seviyesinde 20 cm düzeyinde bir yükselme görüldüğü yönünde kesin kanıtlar bulunduğu belirtilmektedir. IPCC'nin sentez çalışmasında ayrıca, 2100 yılına gelindiğinde küresel sıcaklıklarda 1,4°C ila 5,8°C, deniz seviyesindeyse 20 cm ila 88 cm arasında bir yükselme yaşanabileceği öngörülmektedir (Maslin, 2004).

Atmosferde genel olarak küresel ısınma ve dolayısıyla iklim değişikliğine yol açacak olan sera gazları oranlarının artması, elde edilen bilimsel verilere göre insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan başta CO₂ (karbondioksit gazı) olmak üzere sera gazlarından kaynaklanmaktadır. İnsan faaliyetlerine dayanan sera gazı salınımlarında enerji üretimi %60'ın üzerinde bir değerle en büyük payı almaktadır. Burada kastedilen enerji; elektrik enerjisi, ısı enerjisi, ulaşım, sanayi, vb. yerlerde kullanılan toplam enerjidir. Dolayısıyla enerji üretiminde sağlanacak dönüşümler büyük miktarda sera gazı salınımını önleyecek düzeydedir (Uzmen, 2007).

Dünya genelindeki kaynak tüketiminin en az üçte biri inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır. Üretilen enerjinin yaklaşık yüzde 25-40'ı, toplam karbondioksit salınımlarının hemen hemen yüzde 30-40'ını oluşturan bina inşaatı ve işletilmesi süreçlerinde kullanılmaktadır. Katı atıkların yüzde 30-40'ı da inşaatlardan oluşmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında bu sektör gayrisafi dünya hasılasının yaklaşık %10'unu üretmekte, ayrıca binalar kamusal ve özel varlıkların çok büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Dünya daha şimdiden kırsaldan ziyade kentsel ağırlıkta görünmektedir.

Mevcut kentleşme oranına göre, 2030' da yaklaşık 1,4 milyar daha fazla insanın kentlerde yaşayacağı ve bunların 1,3 milyarının gelişmekte olan ülkelerde bulunacağı öngörülmektedir. Tüm bu insanların da evlere, hizmetlere, çalışacak yerlere, yani yeni binalara ihtiyaç duyacakları açıktır. Bu nedenle önümüzdeki yıllarda dünyada çok fazla miktarda inşaatın yapılacağı ve bütün bu binaların uzun vadeli etkilerinin olacağı kaçınılmaz bir gerçektir (Anonim, 2012).

Binalarda enerji tüketimini azaltmak ve düşük enerjili bina uygulamalarını olanaklı kılmak amacıyla; bina kabuğunda çeşitli pasif güneş teknolojileri uygulanmaktadır. Pasif güneş teknolojileri, tasarım aşamasında binalarda alınan mimari ve yapısal önlemlerle yenilenebilir enerjileri kullanarak mekânların doğrudan ısıtılması prensibine dayanmaktadır. Pasif ısıtma sistemleri, yapının genelde güneşe yönlendirilmiş duvar, çatı vb. elemanları tarafından güneş enerjisinin toplanması, bina kütlelerinde veya özel depolama elemanlarında depolanması, depolanan enerjinin iletim, taşınım ve ışınım yollarından bir veya birkaçı kullanılarak dağıtılması ve enerji geçişinin doğal yollarla kontrol edilmesi olgularını içermektedir.

Pasif ısıtma sistemlerinin uygulanacağı binalarda dış duvar katmanlaşmasını oluşturan malzemelerin optik ve termofiziksel özellikleri, binanın ısı performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun nedeni optik ve termofiziksel özelliklerin dış duvar birim alanından, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle kazanılan ve kaybedilen ısı miktarlarının belirleyicileri olmalarıdır. Dış duvarlarda pasif yöntemi esas alarak yapılan ısı depolama çalışmalarında dikkat edilmesi gereken diğer bir parametre ise duvar yüzeyinden dış mekâna olan ısı kayıplarının engellenmesidir. Yalıtım amaçlı duvar iç ya da dış yüzeyine uygulanan opak malzemeler kışın iç mekândan dışa ısı kayıplarını engellemekte ancak kış güneşinden pasif yöntemle faydalanmada hiçbir katkı sağlamamaktadırlar. Bu nedenle ısı kütle olarak çalışan duvar sistemlerinde opak yalıtım malzemesi yerine yüksek güneş ışınım geçirgenliğine sahip saydam yalıtım malzemeleri kullanmak daha avantajlıdır. Bu malzemeler hem ısı yalıtımı hem de güneş enerjisinden daha fazla katkı sağlanmasına olanak vermektedirler.

Mekânların ısıtma gereksinmelerinin yapı kabuğunun ısıtıcı olarak tasarlanmasıyla mekanik sistemlere en az görev yükleyerek karşılanması, gerek enerji giderlerini gerekse çevre kirliliğini azaltarak, ısısal konfor açısından daha sağlıklı bir iç ortamın oluşumuna katkıda bulunacaktır. Bu bağlamda çalışmanın ana konusu; kış dönemlerindeki güneşli günlerde saydam yalıtım malzemesi kullanımı ile yapı kabuğunun ısı depolayıcı eleman

haline dönüştürülmesi, iç mekândaki ısı konforun iyileştirilmesi ve bu sayede enerji tüketiminin azaltılmasıdır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Güneş enerjisi son yıllarda dünyada, enerji ve iklim değişikliği ile ilgili sorunlar açısından dikkatlerin yöneltildiği en önemli kaynak durumuna gelmiştir ve bütün dünyada en kapsamlı Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı bir sanayi dalı durumundadır. Ülkemizde tükenmekte olan fosil yakıtların ağırlıklı olarak yapı sektörü tarafından tüketildiği göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini kullanarak yapılarda ısı kazançlarının artırılması büyük önem kazanmaktadır. Bu noktada, gelişen bina teknolojisinin olanaklarından yararlanarak günümüz mimarisinde, özellikle statik ve etkisiz bir yapı elemanı olarak görülen yapı kabuğunun, binanın enerji performansının artırılmasına katkı sağlayacak bir sistem haline dönüştürülmesi çalışmanın genel amacını oluşturmaktadır.

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin ısıtma amaçlı kullanımında yardımcı sistemlerden biri olan saydam yalıtım malzemesi kullanımı araştırılmaktadır. Bu malzemeler hem yalıtım özellikleri hem de yüksek güneş ışınım geçirgenlikleri nedeniyle yapı dış kabuğunda ısı kayıplarını en aza indirmekte, ayrıca güneş ışınlarının masif duvara iletilerek duvarın ısı kütle olarak çalışmasını olanaklı kılmaktadırlar. Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmada Trabzon ilinde 5 deney odası inşa edilmiştir. Eşit boyutlarda düzenlenen deney odalarında, güney duvar kuruluşundaki malzemeler ve saydam yalıtım malzemesinin konumu değişken parametrelerdir. Farklı malzemelerle oluşturulmuş her bir duvar kuruluşunun içerisine yerleştirilen termoeleman çiftleriyle gerekli sıcaklıklar ölçülerek dış duvarlardan iç ortama aktarılan ısı miktarı zaman bağımlı olarak belirlenmiştir. Malzemelerin duvar içinde yerleştiriliş düzenlerinin etkileri, duvar dış yüzeyindeki sıcaklık değişimleri ile duvar iç yüzeyindeki sıcaklık değişimleri arasındaki ilişki faz farkı ve sönüm oranı dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada bir yıllık ölçüm periyodunda (1 Mayıs 2012 – 1 Mayıs 2013) ısıtmanın istendiği ve istenmediği dönemler için, örnek duvar kuruluşlarındaki ısı kayıp - kazançları ve aylık ısı verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Çalışmanın temel hedefleri şu şekilde özetlenebilir:

- Önerilen yeni sistem ile kış dönemlerindeki güneşli günlerde, yapı kabuğunun ısı depolayıcı özelliği sayesinde önemli derecede ısı kazancı sağlanması ve ısıtma için gerekli olan enerji miktarında fosil enerji kaynaklarına olan ihtiyacın azaltılması,
- İç mekân ısı konfor koşullarının iyileştirilmesi,
- Yapı dış kabuğunda uygulanacak saydam yalıtım malzemesi ile hem güneş enerjisini en etkin şekilde kullanmak hem de iç ortamdan dış ortama olan ısı kayıplarının en aza indirgenmesini sağlamak,
- Trabzon ili iklim koşulları altında tasarlanan binalarda enerji verimi sağlayacak yapı elemanı tasarımı için veri elde etmek,
- Mimari ve yapı sektöründe konuyla ilgili çalışmalara katkıda bulunmak.

Türkiye coğrafi olarak güneş kuşağında yer almasına karşın, binalardaki fosil yakıt tüketimi daha soğuk iklim kuşağındaki birçok Avrupa ülkesinden daha fazladır. Bu durum mimari tasarımda güneş enerjisinin dikkate alınmaması, yaygın olarak verimsiz bireysel sistemlerin kullanılması, binaların çoğunda (mevcut binalarda %90'dan fazla) yalıtım bulunmamasından kaynaklanmaktadır (Çakmanus ve Özbalta, 2008). Türkiye'de, güneş mimarisi ile ilgili uygulamaların teşvik edilebilmesi için böyle bir çalışmanın yapılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yurt dışında uzun yıllardır uygulanan saydam yalıtım malzemelerinin, Türkiye'de yapı kabuğunda güneş enerjisinden kazanç sağlamak amacıyla gerçek ortam şartlarında uygulamasıyla ilgili çok az sayıda çalışma mevcuttur. İlgili eksikliğin giderilmesi çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

1.3. Literatür Araştırması

Saydam yalıtım malzemesinin optik özellikleri, yapı dış kabuğunda saydam yalıtım malzemesi kullanımı ve enerji korunumu ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalar aşağıda özet halinde verilmektedir.

Goetzberger vd. (1984) çalışmalarında; saydam yalıtım uygulanmış bir duvar kuruluşunda enerji dengesini kurmuşlardır. Isıtma dönemi için aylık ortalama ısı yükleri, yalıtımlı, yalıtımsız ve saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarında doğu, batı, kuzey, güney yönleri için elde edilmiştir. Saydam yalıtım aralarında hava boşluğu olacak şekilde iki tabaka halinde uygulanmıştır. İki yıl süren çalışmada, Ocak ayında güneşli günlerde 9

W/m^2 , tüm ısıtma dönemini kapsayacak şekilde değerlendirildiğinde ise $16 W/m^2$ ısı akısı ölçülmüştür.

Braun vd. (1992) çalışmalarında; dıştan içe sırasıyla koruyucu örtü, gölgeleme elemanı, saydam yalıtım, yutucu yüzey ve duvardan oluşan bir sistem geliştirip kararlı hal koşullarının olduğunu kabul ederek enerji dengesini oluşturmuşlardır. Ayrıca matematiksel model çalışmasına paralel olarak deneysel çalışma da gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla PMMA (Polymetilmetakrilat) esaslı saydam yalıtımı, güney duvarında aralarında 16 mm boşluk bırakarak iki tabaka halinde duvara uygulanmışlardır. Deneyler saydam yalıtımlı ve yalıtımsız duvarlarda ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda saydam yalıtımlı duvarın etkinliğinin, duvar toplam ısı transfer katsayısındaki artışla iyileştiğini, saydam yalıtımlı güney duvarında güneş enerjisinin dönüştürülme oranının %30 düzeyinde gerçekleştiği ifade edilmiştir.

Platzer (1992a) çalışmasında; hücre kalınlığı 15-70 μm arasında değişen kare ve dairesel kesitli PC (polikarbonat), PMMA, TPX (polietilen), HFL (Politetrafloretilen) esaslı saydam yalıtım malzemelerinin güneş ışınım geçirgenliğini laboratuvar koşullarında ölçmüştür. Teorik ve deneysel olarak hesaplanan sonuçlar farklı tipteki saydam yalıtım malzemeleri için geliş açısının fonksiyonu olarak verilmiştir. Çalışmada türetilen eşitliklerin bina kabuğu, pencere ve toplayıcılar için kurulacak örneklerde kolaylıkla uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Platzer (1992b) çalışmasında; 11 farklı tipte kare ve dairesel kesitli saydam yalıtım malzemesinde ısı geçişini incelemiştir. Hesaplamalarda iletim ve ışınım göz önünde bulundurulmuş, taşınım ile ısı geçişi ihmal edilmiştir. Çalışma sonucunda bal peteği yapısındaki saydam yalıtım malzemesi için ısı geçişi tanımlamasında, hücre duvarının hacmi, ısıl iletkenliği, efektif kızıl ötesi ışınım sönüm oranı parametrelerinin yeterli olduğu belirtilmiştir.

Sick ve Kummer (1992) çalışmalarında; pasif yöntemlerle bina enerji gereksiniminin karşılanmasında saydam yalıtımın sağlayacağı katkının ölçülebilmesi için bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Programda saydam yalıtım, opak katman ve gölgeleme ürünlerine ait verilerde değerlendirilmektedir. TRNSYS simülasyon programı alt yapısıyla hazırlanan programda, saydam yalıtım optik özelliklerini basit denklemlerle ifade etmişlerdir. Bu yaklaşım ile sonuçlar yeterli duyarlılıkta elde edilmiştir.

Dilmaç, Tepehan ve Eğrican (1994) çalışmalarında; saydam yalıtım malzemesi kullanımı ile enerji tasarrufuna sağlanacak katkıları irdelemişlerdir. Çalışmada ısı transfer

katsayısı ve güneş ışınım geçirgenliği farklı saydam yalıtım malzemelerinin yapı dış kabuğuna uygulanması ile elde edilecek ısı kazançları hesaplanmıştır. Ayrıca saydam yalıtım malzemesinin ısı iletkenliğinin kalınlığa bağılı, ışınım geçirgenliğinin ise kalınlık ve ışınım geliş açısına bağılı değişimlerini incelemişlerdir.

Arulanantham ve Kaushika (1994) alışmalarında; leksan, cam ve akrilik esaslı saydam yalıtım malzemelerinin güneş ışınım geçirgenliklerini incelemişlerdir. Hesaplamalarda parametre değeri olarak direkt ışınımın eşdeğer geliş açısı ve saydam yalıtımın farklı boyut oranları dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçların oldukça yakın olduğu belirtilmiştir.

Peuportier ve Michel (1995) alışmalarında; iklimle uyumlu yapı tasarımıında saydam yalıtım malzemesinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, ikisi hava ısıtmalı toplayıcı içeren aktif sistemden, dördü de pasif sistemden oluşan altı binada araştırma yapmışlardır. Çalışmada iki farklı saydam yalıtım (kapiler yapıda ve polikarbonat levha şeklinde) test edilmiştir. Deneysel çalışmada farklı kalınlıkta beton ve tuğla duvar kuruluşlarının ısı davranışları, değişik dış yüzey renkleriyle incelenmiştir. Bir yıllık periyodu kapsayan çalışma sonucunda saydam yalıtımın hava ısıtmalı toplayıcının etkinliğini, diğer örtü malzemelerine göre % 25, trombe duvarın ısı kazancını da iki kat arttırdığı ifade edilmiştir.

Kaushika ve arkadaşları (1996) saydam yalıtım malzemesi ve uygulamaları hakkında bilgi verdikleri çalışmalarında; ayrıca farklı hücre çap ve uzunluğunda saydam yalıtım malzemelerinin güneş ışınımının geliş açılara bağılı optik ve ısı özelliklerini kararlı halde enerji dengesi kurarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak, bal peteği yapısındaki saydam yalıtım malzemesinin etkinliğinde maksimum güneş ışınım geçirgenliği ve minimum ısı kaybının önemli iki parametre olduğunu belirtmişlerdir.

Arulanantham ve arkadaşları (1996), kare kesitli saydam yalıtım malzemesinde ısı transferini incelemişlerdir. Çalışmada ısı geçişi, bir boyutlu ısı iletim koşullarının olduğu varsayılarak hesaplanmıştır. Siyah-siyah, seçici-siyah, seçici-seçici sınırlar için saydam yalıtım malzemesinden ışıma, iletim ve toplam ısı transferi için sonuçlar elde edilmiştir.

Rockendorf ve arkadaşları (1996), saydam yalıtım uygulaması olan pasif sistemlerdeki aşırı ısınma problemi için, mekanik gölgeleme yerine hibrid gölgeleme sistemini araştırmışlardır. Sistemde duvar kuruluşunun ön tarafına içinden akışkan (su) geçirilen boru yerleştirmişlerdir. Saydam yalıtımlı hibrid duvar kuruluşu olarak isimlendirdikleri bu sistemde 1m² olan hibrid duvar kuruluşunun ısı davranışını incelemişlerdir. Güneşli

günlerde yutulmuş enerjisinin önemli bir kısmının akışkana aktarıldığını, böylece hem sıcak su elde edildiğini hem de duvar iç yüzey sıcaklığının fazla yükselmediğini vurgulamışlardır.

Ramadan ve Athienitis (1998), atmosferik koşullar altında saydam yalıtımlı bir duvarın ısı performansının değerlendirilmesi için sayısal benzeşim modeli geliştirmişlerdir. Model çalışmasında gölgeleme elemanları da kullanılan test odasının ısı davranışı sonlu farklar yöntemiyle hesaplanmıştır. Çalışmada uygun gölgeleme elemanları kullanılarak aşırı ısınma problemine çözüm bulunduğu ve önemli oranda enerji korunumu sağlanabileceği vurgulanmıştır.

Arulanantham ve arkadaşları (1998), PMMA esaslı saydam yalıtım malzemesinin uygulamasını hava boşluklu ve boşluksuz olarak iki farklı şekilde incelemişlerdir. Hesaplamalarda ısı geçişinin bir boyutlu olduğu kabul edilerek saydam yalıtım içinde radyasyon emisyonu ihmal edilmiştir. Saydam yalıtımın ışınım geçirgenliği ile ilgili sonuçlar geliş açısının ve malzemenin kalınlığının fonksiyonu olarak verilmiştir. Saydam yalıtım geçirgenliğinin, geliş açısına bağlı değiştiği vurgulanarak, 45° açı değerine kadar geçirgenliğin sabit kaldığı, daha büyük geliş açılarında azaldığı belirtilmiştir.

Athienitis ve Ramadan (1999), dış iklimsel koşullarda 3m x 3m x 3m boyutlarında, güney duvarı saydam yalıtımlı bir test odasının sayısal modelini oluşturmuşlardır. Güney duvarı 20 cm kalınlığında betonarme olarak tasarlanmıştır. Saydam yalıtımlı duvardan ısı geçişini açık sonlu farklar yöntemiyle çözümlenmiştir. Çalışma sonucuna göre, soğuk güneşli bir günde yardımcı bir ısıtma sistemine gereksinim duyulmadığı ve sistemin önemli ölçüde enerji tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Ancak mekânın aşırı ısınmasının önüne geçilebilmesi ve konfor koşullarının sağlanabilmesi için kontrol stratejilerine gereksinim duyulduğunu belirtmişlerdir.

Yang vd. (2000), kuzey Çin iklim koşullarında pasif güneş enerjili binalarda saydam yalıtımın uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada bir pencere ve bir kapısı olan 4m x 4m x 2,4m boyutunda bir oda tasarlanmıştır. İncelenen odada tek ve çift cam alternatifleri denenmiştir. Her pencere tipi içinde; saydam yalıtımsız ısı kütle, 4 cm ve 10 cm saydam yalıtımlı ısı kütle olmak üzere üç ayrı seçenek araştırılmıştır. Çalışmanın yapıldığı iklim koşullarına göre, deney odasının altı farklı durumu için aylık ortalama ısı yükleri ve güneş kazançları hesaplanmıştır. Güney duvarındaki 4 cm saydam yalıtımın güneş kazancını %17, 10 cm saydam yalıtımın ise güneş kazancını %39 arttırdığını belirtmişlerdir.

Gross ve arkadaşları (2000), Almanya’da yaptıkları model çalışmasında saydam yalıtım malzemesinin ısı kazancı etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada mekanik gölgeleme elemanları yerine inci parlaklığındaki pigmentlerle yapılmış yalıtım örtüsü önerilmiştir. Sonuç olarak bu yalıtım örtüsünün enerji kazancının yüksek olmasının yanında aşırı ısınmayı da önlediği belirtilmiştir.

Platzer ve Goerd (2000), ise Freiburg’da yaptıkları deneysel çalışmada, iki farklı soğurucu malzeme içeren saydam yalıtım modüllerini test etmişlerdir. Tip A, havalandırma olanağı olmayan bir modüldür. Tip B’de kullanılan seçici yüzeyli kaplama yüzünden saydam yalıtım ve soğurucu arasına havalandırma boşluğu koyulmuştur. 60 mm hava boşluğu bırakılarak oluşturulan Tip B için yapılan ölçümlerde modülün yarı geçirgenlik katsayısı değerine göre daha düşük olduğundan duvara olan ısı transfer kapasitesi de azalmıştır. Bu yüzden soğurucunun sıcaklığı Tip B de daha yüksektir. Çalışmada ayrıca havalandırma giriş ve çıkış yerlerinin konstrüksiyonun çok önemli olduğu ve yazın aşırı ısı kazançlarının havalandırma sayesinde oldukça azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Göksal ve Özbalt (2001) çalışmalarında; Eskişehir iklim koşulları için dış sıva, tuğla ve iç sıva; dış sıva, opak yalıtım, tuğla, iç sıva; cam, saydam yalıtım, sıva, tuğla ve iç sıvadan oluşan üç ayrı duvar kuruluşunu incelemişlerdir. Ocak ve Temmuz aylarında yapılan hesaplamalarda, duvar üzerine gelen güneş ışınım şiddeti de dikkate alınmış, her duvar kuruluşunda iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile iç yüzeyindeki ısı akılarının saatlik değişimleri detaylı olarak irdelenmiştir. Ocak ayı koşullarında saydam yalıtımlı duvardan günlük ısı kaybı $2,35 \text{ MJ/m}^2$, opak yalıtımlı duvarda ise $4,25 \text{ MJ/m}^2$ gün olarak hesaplanmıştır.

Lida (2002) çalışmasında; İzmir iklim koşulları altında tuğla duvar kuruluşunun ısıl davranışlarına saydam yalıtım malzemesinin etkisini araştırmıştır. Çalışmada, iç ortam özelliklerinin modellendiği ünitenin dış boyutları $1,1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ ’dir. Ünitenin 4 mm cam, 4 cm saydam yalıtım, 3 cm dış sıva, 19 cm tuğla, 2 cm iç sıvadan oluşan güneş duvarı haricinde diğer duvarları yalıtılmıştır. Duvar içinde bir boyutlu ısı iletim koşulları gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince, güneş ışınımı, iç-dış ortam sıcaklıkları, duvar iç-dış yüzey ve katman sıcaklıkları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları değerlendirilerek, saydam yalıtımlı duvar kuruluşundaki zaman gecikmesi, sönüm oranı, duvarda depolanan enerji miktarları elde edilmiştir. Sonuç olarak, saydam yalıtımın opak yalıtım gibi ısı yalıtımı sağladığı, ayrıca güneş ışınımı geçirgenliği nedeniyle güneş enerjisinden daha fazla katkı sağladığı vurgulanmıştır.

Yeşildal (2002) çalışmasında; bir binanın yaşama hacminin dış duvarına farklı kalınlıklarda saydam yalıtım malzemesi uygulayarak, dış duvarın ısı performansını mevcut bilgisayar programı yardımıyla sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada, ısıtmanın istendiği dönemdeki (21 Ocak) ısı kayıpları ve soğutmanın istendiği dönemdeki (21 Temmuz) ısı kazançları hesaplanmıştır. Sonuç olarak ısıtmanın istendiği dönemde %118'lere varan enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmiştir.

Kaushika ve Sumathy (2003) çalışmalarında; saydam yalıtım malzemeleriyle ilgili daha önce yapılmış tüm çalışmaları inceleyerek, malzemenin fiziksel ve diğer özellikleri, uygulamaları, üretim teknikleri, maliyetleri hakkında bilgiler vermişlerdir.

Göksal Özbaltı ve arkadaşları (2008) çalışmalarında; TSE 825'e göre farklı iklim bölgelerinde yer alan dört il için, saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarından elde edilen enerji kazançlarını hesaplamışlardır. Tuğla, betonarme ve gaz beton esaslı farklı malzemelerden oluşan opak yalıtımlı, saydam yalıtımlı ve yalıtımsız duvar kuruluşlarında ısıtma gereksinimi duyulan dönem için ve yıllık ısı kayıpları hesaplanmıştır. Sonuç olarak opak yalıtım kullanımı betonarme ve tuğla duvarda, ısı kayıplarını yalın duvardaki ısı kayıplarına göre oldukça azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca saydam yalıtım kullanılması halinde ise duvarların güneş enerjili toplayıcı gibi çalıştığı vurgulanmıştır.

Kartal (2009) çalışmasında; Türkiye'nin farklı derece gün bölgelerinde güneş enerjisinin mekânlarda ısıtma amaçlı kullanımına yönelik olarak, bina kabuğunda alınan önlemlerin uygulanabilirliğine dikkat çekmek amacıyla pasif sistemlerden kış bahçesi, Trombe duvar ve saydam yalıtım uygulamalarının enerji kazancına olan etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak saydam yalıtımlı duvar aracılığı ile güneş enerjisinin yararlı ısıya dönüştürülme oranları Antalya için 0,37, Edirne için 0,28, Eskişehir için 0,26, Erzurum için 0,28 olarak elde edilmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde de vurgulandığı üzere, saydam yalıtım malzemeleri opak yalıtım malzemeleri gibi ısı yalıtımı sağlamakta, ayrıca opak yalıtımın aksine, yüksek güneş ışınım geçirgenlikleri nedeniyle güneş enerjisinden daha fazla katkı sağlanmasına olanak vermektedirler. Mevcut literatür detaylı olarak incelendiğinde, Doğu Karadeniz Bölgesi iklim koşulları altında farklı malzemelerin kullanıldığı (tuğla, beton) duvar kuruluşlarında saydam yalıtım malzemesi kullanımını deneysel olarak inceleyen detaylı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmada hem güney duvarının ısı davranışı incelenmiş hem de saydam yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan bir hacmin yaz ve kış döneminde ısı konfor düzeyi belirlenmiştir. Ayrıca deney odalarında yazın meydana

gelebilecek aşırı ısı kazançlarını engellemek için de duvar kuruluşunda pasif havalandırma sistemi tasarlanmıştır.

1.4. Güneş Enerjisi

Yeryüzüne gelen güneş radyasyonu önemli bir enerji kaynağıdır. Gerek yapı, gerekse yerleşme ölçeğinde güneş enerjisinden yararlanılarak, aktif ya da pasif sistemler aracılığı ile yapıların iklimlendirilmesi, elektrik ihtiyacının karşılanması ve kullanım suyunun ısıtılması mümkün olmaktadır. Pasif ve aktif güneş enerjisi sistemlerinde, güneş enerjisinin tutulması, tutulan enerjinin depolanması ve bu enerjinin sistemin gerektirdiği biçimde kullanımı söz konusudur.

Pasif güneş mimarisi güneş radyasyonunun kontrol yöntemlerini sunduğu için, çevreye duyarlı mimarlar tarafından tercih edilen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda önemli olan, yöresel iklimsel özellikler dikkate alınarak özellikle güneşten pasif anlamda ısı elde eden sistemlerin kullanılması, bu sistemlerin yetersiz kaldığı iklimsel şartlarda destek olarak fosil yakıtları kullanan aktif sistemlerin devreye girerek enerji maliyetlerinin minimuma indirilmesidir (Sev, 2009). Güneş enerjisi, yakıt masrafının olmaması, işletme maliyetinin düşük olması, enerji kaynağının tükenmez oluşu ve en önemlisi çevreyi kirletmemesi dolayısıyla diğer enerji kaynaklarına göre oldukça avantajlıdır. Dezavantajları ise; ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, bazı uygulamalarda geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması, kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olmasıdır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için gerekli teknolojiler üzerinde bilimsel çalışmalar devam etmektedir.

Türkiye güneş kuşağı adı verilen 40° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin yüksek olmasına karşılık düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Sanayinin toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinden yalnızca % 0,1 oranında faydalanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları ağırlıklı olarak, güneş toplayıcıları vasıtasıyla düşük sıcaklıkta sıcak su ve sıcak hava üretimi ile sınırlı kalmıştır (URL-1, 2011).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Tablo-1' de verilmiştir. Ancak, bu değerlerin, Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu, daha sonra yapılan çalışmalar ile anlaşılmıştır. 1992 yılından bu yana EİE ve DMİ, güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri almaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir (URL-2, 2011).

Tablo 1. Türkiye'deki coğrafi bölgelere göre yıllık ortalama güneş ışınım şiddetleri ve güneşlenme süreleri (URL-2, 2011)

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Güneş enerjisi uygulamalarında, sistem tasarımı ve projelendirilmesinde o bölgeye ait güneş ışınım verileri ve bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak güneş ışınım ölçüm elemanlarının maliyeti, bakımı ve belirli periyotlarda kalibre gereksinimlerinden dolayı ışınım ölçümleri birçok yerde yapılamamaktadır. Güneş ışınım verilerinin ölçülmediği yerlerde uygun korelasyonlar oluşturularak, bu veriler belirlenebilmektedir. Güneş ışınım miktarını belirlemek için birçok deneysel model geliştirilmiştir. Bu modeller, güneşlenme süresi, bulutluluk ve çevre sıcaklığı gibi çeşitli parametreler kullanılarak elde edilmiştir (Bakırcı, 2009)

Sabit veya hareketli herhangi bir düzlem yüzeyine gelen güneş ışımalarının değeri, düzlemin bulunduğu yerleşim yerinin coğrafi konumuyla, o güne ait olan tarih ve gün içindeki zaman dilimiyle değişiklik gösterir. Güneş ışınları ile dünya üzerindeki yüzeyler arasında belirli açılar vardır. Güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanılabilmek ve güneş ışınımı hesaplarını yapabilmek için bu açılar hakkında bilgi edinmek gerekmektedir. Bilinmesi gereken bazı güneş açıları şunlardır (Şenpınar, 2006; Howell vd. 1982; Duffie ve Beckman, 1991);

- Enlem açısı (\emptyset): Ekvatorun kuzeyinde ya da güneyinde, ekvator merkezine göre oluşan açı değeridir. Ekvatorun kuzeyi pozitif, güneyi negatif kabul edilir. Enlem açısı, $-90^\circ \leq \emptyset \leq 90^\circ$ arasında değişmektedir.
- Zenit açısı (θ_z): Güneşin doğrultusu ile dikey eksen arasındaki açı miktarıdır. Yatay düzlemde, güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı 90° ve öğle saatinde (12:00) ise zenit açısı 0° 'dir. Güneş öğle saatinde havada en yüksek noktada bulunur. Zenit açısı şöyle hesaplanmaktadır:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\emptyset \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\emptyset \quad (1.1)$$

Burada ω , saat açısıdır. Aynı zamanda zenit açısı, güneş yükseklik açısını 90° 'ye tamamlanmaktadır.

- Saat açısı (ω): Saat 12'de $\omega = 0^\circ$ olur. Bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden önce açı (-) değer, öğleden sonra ise (+) değer almaktadır.
- Güneş Yükseklik açısı (α_s): Güneşin doğrultusu ile yatayın oluşturduğu açı miktarıdır. Zenit açısını 90° 'ye tamamladığı için, buradan güneş yükseklik açısı; $\alpha_s = 90^\circ - \theta_z$ olur.
- Yüzey azimut açısı (γ): Yüzeyin dikeyinin, yerel boylama göre, sapmasını gösteren açıdır. -180° ile 180° arasında değişebilir. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde ise eksi değer alır. Güneye yönlendirilmiş yüzeyler için ; $\gamma = 0^\circ$ dır.
- Deklinasyon açısı (δ): Dünya-güneş doğrultusunun yerin ekvator düzlemi yaptığı açıdır. Kuzey yarım küre için artı değerlidir. Deklinasyon açısı $-23,45^\circ$ (21 Aralık kış gündönümünde) ile $+23,45^\circ$ (21 Haziran yaz gündönümünde) arasında değişir. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) ve sonbahar ekinoksunda (21 Eylül) deklinasyon açısı sıfır olur. 1 Ocaktan itibaren gün sayısı n olmak üzere;

$$\delta = 23,45 \sin [360 ((284 + n) / 365)] \quad (1.2)$$

ampirik Cooper formülü ile bulunabilir.

- Güneş azimut açısı (γ_s): Güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. Örneğin saat 12.00 de 180° dir. Bu açı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

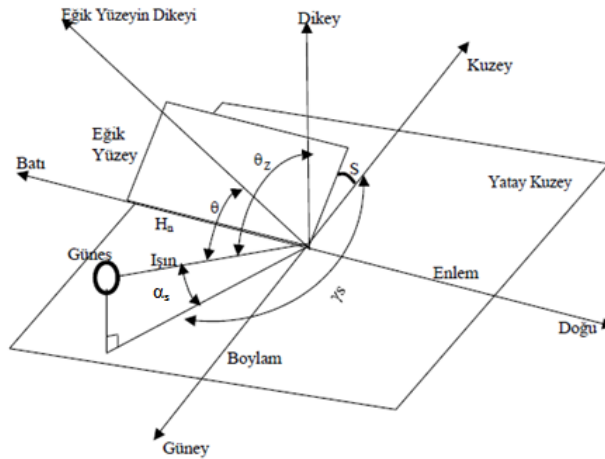
$$\gamma_s = \cos^{-1} \left(\frac{[\sin(\alpha_s) \sin(\phi)] - \sin(\delta)}{\cos(\alpha_s) \cos(\phi)} \right) \quad (1.3)$$

- Eğim Açısı (S) : Yüzey ile yatay arasındaki açıdır. Ekvatora yönelen yüzey için artı değer alır. Yatay ile verilen yüzey düzleminin oluşturduğu açı miktarıdır. Kuzey yarım kürede güneye eğimli düşünülür. Eğim açısı, $0^\circ \leq S \leq 180^\circ$ arasında değişmektedir. Açının değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

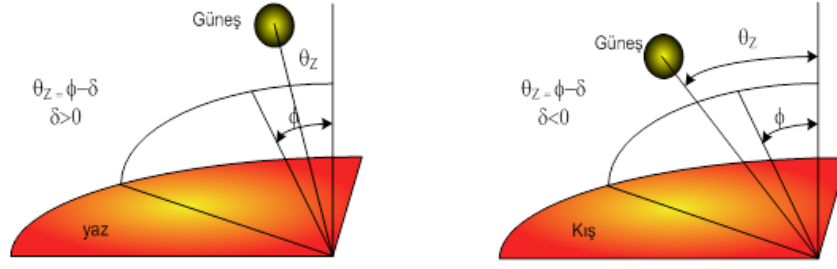
$$\tan S = \tan \theta_z |\cos \gamma_s| \quad (1.4)$$

- Güneş Geliş açısı (θ): Bir yüzeye direkt gelen ışıkla o yüzeyin normali arasındaki açı miktarıdır. Güneşin geliş açısını temsil eder. Bu açı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cdot \cos S + \sin \theta_z \cdot \sin S \cdot \cos(\gamma_s - \gamma) \quad (1.5)$$



Şekil 1. Güneşle İlgili Açılar (Deriş, 1979)



Şekil 2. Yazın ve kışın öğle saatinde θ_z , δ ve ϕ açısı arasındaki ilişki (Messenger, Ventre, 2000)

Yatay düzleme gelen güneş ışınımının ölçülmesine ve kolaylıkla bu değerlere ulaşılmasına rağmen, eğik yüzeye gelen güneş ışınımı deneysel amaçlar dışında doğrudan ölçülmemektedir ve yerleşim yerleri için bu değerler çoğunlukla mevcut değildir. Sadece bazı özel çalışmalarda eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı ölçülmektedir. Genellikle eğimli yüzeye gelen güneş ışınımı, yatay düzleme gelen ölçüm değerleri veya modellerden tahmin edilen güneş ışınım değerleri kullanılarak, farklı güneş ışınım modelleri yardımı ile tespit edilmektedir (Bulut, 2008).

1.4.1. Yatay Düzleme Gelen Güneş Işınımaları

1.4.1.1. Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım

Yıl boyunca istenen herhangi bir gün için yatay bir düzleme gelen toplam ışınım,

$$I = I_{ort} - FGI \cos [2\pi / 365 (n + FKI)] \quad (1.6)$$

eşitliği ile hesaplanır (Ünal, Tanes ve Onur, 1986). Bu eşitlikte I_{ort} ; günlük toplam ışınımın yıllık ortalaması, FGI; ışınım fonksiyon genliği, FKI; ışınım fonksiyon faz kayması ve n de 1 Ocaktan itibaren yılın günlerini göstermektedir. Tablo 2'de Türkiye'deki bazı şehirler için bu parametrelerin değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Fonksiyon parametreleri (Ünal, Tanes ve Onur, 1986)

Şehir	I_{ort} MJ/m ² .gün	FGI MJ/m ² .gün	FKI	Enlem
Adana	12.6	6.58	-1.52	36.59
Ankara	14.3	8.81	1.78	39.57
Bursa	11.0	6.95	1.12	40.11
Çanakkale	12.7	8.12	4.26	40.08
Diyarbakır	13.4	7.74	6.12	37.55
Elazığ	13.4	8.29	2.35	38.40
Erzincan	12.3	6.90	2.46	39.44
Gaziantep	14.3	7.79	2.13	37.05
Hakkari	15.8	7.52	6.95	37.50
İstanbul	12.0	7.84	5.67	40.58
İzmir	11.4	6.48	3.50	38.24
Kars	13.2	6.47	8.52	40.36
Kastamonu	11.2	7.01	5.37	41.22
Konya	13.1	7.36	4.72	37.52
Muğla	13.6	7.35	1.37	37.12
Samsun	10.3	6.73	5.94	41.17
Tokat	12.5	7.76	6.19	40.00
Trabzon	9.85	5.47	13.2	41.00
Şanlıurfa	18.5	9.00	4.0	37.08
Uşak	11.5	6.15	3.15	38.40
Van	16.4	7.98	5.48	38.28

1.4.1.2. Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım

Yatay düzleme gelen günlük toplam yaygın ışınım,

$$I_y = I (1-B)^2 (1+3B^2) \quad (1.7)$$

eşitliğinden bulunur. B; Berraklık indeksi olup,

$$B = I / I_0 \quad (1.8)$$

eşitliğiyle hesaplanır. I_0 ; atmosfer dışı ışınımı olup,

$$I_o = 24 / \pi I_s [\text{Cos}(e) \text{Cos}(d) \text{Sin}(ws) + ws \text{Sin}(e) \text{Sin}(d)] f \quad (1.9)$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte I_s ; güneş sabiti ($I_s = 1353 \text{ W/m}^2$)'dir. 'e'; enlem açısı, 'd'; deklinasyon açısıdır. 'ws'; gün doğuş saat açısı ve 'f'; güneş sabitini düzeltme faktörü olup aşağıdaki eşitliklerden belirlenmektedir (Duffie ve Beckman, 1991).

$$Ws = \text{ArcCos} [-\tan(e) \tan(d)] \quad (1.10)$$

$$f = 1 + 0,033 \text{Cos} (360n / 365) \quad (1.11)$$

1.4.1.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınlamalar

1.4.1.3.1. Yatay Düzleme Gelen Anlık Toplam Işınlama

Yatay düzleme gelen anlık toplam ışınlama (I_{ts}) aşağıdaki bağıntıdan bulunmaktadır.

$$I_{ts} = A_{ts} \text{Cos} [\pi / t_{gi} (t - 12)] \quad (1.12)$$

Burada A_{ts} fonksiyon genliği ve t_{gi} imajiner gün uzunluğu olup,

$$A_{ts} = \pi I / 2 t_{gi} \quad (1.13)$$

$$t_{gi} = 1,25 t_g^{0,875} \quad (1.14)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. t_g ; gün uzunluğu olup, aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (Yılmaz, Bulut ve Özgören, 1996).

$$t_g = 2/15 \text{ArcCos} [-\tan(e) \tan(d)] \quad (1.15)$$

1.4.1.3.2. Yatay Düzleme Gelen Anlık Yayınlama

Yatay düzleme gelen anlık yayınlama (I_{ys}),

$$I_{ys} = A_{ys} \text{Cos} [\pi / t_g (t - 12)] \quad (1.16)$$

eşitliği ile hesaplanır. A_{ys} fonksiyon genliği olup, aşağıdaki gibi hesaplanır (Ünal ve Tanes, 1983).

$$A_{ys} = \pi I_y / 2 t_g \quad (1.17)$$

1.4.1.3.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Direkt Işınım

Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım (I_{ds}),

$$I_{ds} = I_{ts} - I_{ys} \quad (1.18)$$

bağıntısından belirlenir (Duffie ve Beckman, 1991).

1.4.2. Eğimli Düzleme Gelen Güneş Işınımları

Yeryüzündeki herhangi bir yüzeye gelen toplam güneş ışınımı, direkt, yaygın ve yansıyan ışınımlardan oluşur. Direkt güneş ışınım bileşeni doğrudan güneş enerjisinden yüzeye gelir. Yaygın (Difüz) güneş ışınımı ise, güneşten gelen ışınımın atmosferden geçtikten sonra bulut ve tozlar tarafından yutulan ve tekrar buradan yüzeylere gelen bileşenidir. Yansıyan güneş ışınımı ise, yeryüzüne düşen güneş ışınımının yüzeyin etrafındaki çevreden yüzeye gelen bileşenidir. Toplam güneş ışınımı piranometre, aktinograf veya solarimetre gibi cihazlarla ölçülmektedir. Direkt güneş ışınım şiddeti ise pirheliometre cihazı ile yaygın güneş ışınım şiddeti ise gölge topları veya bantları kullanılarak piranometre cihazları ile ölçülmektedir (Bulut, 2009 ve Öztürk, 2008a).

1.4.2.1. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Direkt Işınım

Eğik yüzeye gelen anlık direkt ışınım (I_{de}),

$$I_{de} = R_d I_{ds} \quad (1.19)$$

eşitliği ile hesaplanır. R_d ; direkt ışınım dönüşüm katsayısı olup dik yüzeyler için;

$$R_d = \frac{\cos(d)\sin(e)\cos(\gamma)\cos(w) + \cos(d)\sin(\gamma)\sin(w) - \sin(d)\cos(e)\cos(\gamma)}{\cos(e)\cos(d)\cos(w) + \sin(d)\sin(e)} \quad (1.20)$$

eşitliği ile hesaplanır. γ ; yüzey azimut açısı, w ; saat açısıdır. Saat açısı,

$$w = (t - 12) 15 \quad (1.21)$$

eşitliği ile hesaplanır (Yılmaz, Bulut ve Özgören, 1996). t ; saati belirtmektedir.

1.4.2.2. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Yaygın Işınım

Eğik yüzeye gelen anlık yaygın ışınım (I_{ye}),

$$I_{ye} = R_y I_{ys} \quad (1.22)$$

eşitliği ile hesaplanır. R_y ; yaygın ışınım dönüşüm katsayısı olup,

$$R_y = [1 + \cos(s)] / 2 \quad (1.23)$$

eşitliği ile hesaplanır. s ; yüzeyin eğimi olup dik yüzey ($s = 90^\circ$) için $R_y = 0,5$ 'tir.

1.4.2.3. Eğimli Düzleme Gelen Anlık Yansıyan Işınım

Eğik yüzeye gelen anlık yansıyan ışınım (I_{ya}),

$$I_{ya} = I_{ts} p [(1 - \cos(s)) / 2] \quad (1.24)$$

eşitliği ile hesaplanır. p ; çevre yansıtma oranı olup ortalama değer olarak 0,2 alınabilir. Dik yüzey için ($s = 90^\circ$),

$$I_{ya} = 0,1 I_{ts} \quad (1.25)$$

olarak yazılabilir (Bulut ve Durmaz, 2008)

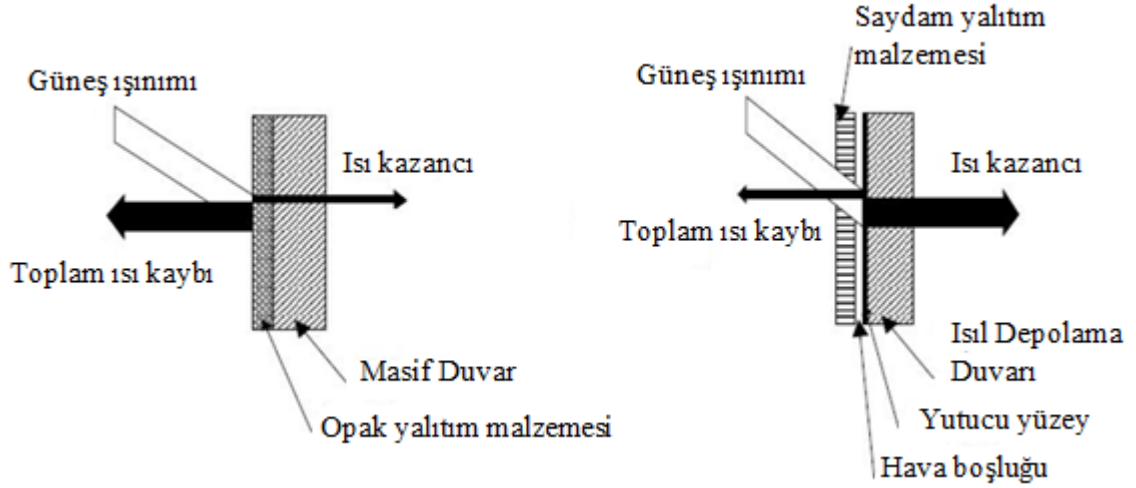
Eğimli yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı; eğimli yüzeye gelen anlık direkt, yaygın ve yansıyan ışınımın toplamıyla hesaplanır. Eğimli yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı (I_t) aşağıdaki denklem ile belirlenir (Duffie ve Beckman, 1991);

$$I_t = I_{de} + I_{ye} + I_{ya} \quad (1.26)$$

1.5. Saydam Yalıtım Malzemeleri

Güneş ışınımı yapı kabuğunu iki yönde etkilemektedir. Saydam yüzeylerden iç ortama giren kısa dalga boylu güneş ışınımı, yapı içindeki yüzeyler tarafından yutulmuş uzun dalga boylu ısı ışınımına dönüşür. Yapı kabuğunun opak yüzeylerine gelen güneş ışınımının bir bölümü yansıtılır, geriye kalan ise yutulur. Masif kütlede depolanan enerji, iletim, taşınım ve ışıma yoluyla iç ortama aktarılır (Zürcher, 1998). Masif kütle olarak tasarlanan duvar kuruluşunun ısı kapasitesi, duvar malzemesinin özgül ısısı ve kütlesi dolayısıyla yoğunluğu ve toplam hacmi ile ilgilidir. Isı depolama işlevini yerine getirecek elemanın etkinliği, enerjinin yutulma hızı ve bu enerjinin iç ortama iletilme hızı ile ilişkilidir. Isı depolama özelliği yüksek olan malzemeler yüzeylerine gelen enerjinin büyük bölümünü yutarlar. Dış yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı arttıkça sistemin ısı kazancı da artar (Duffie ve Beckman, 1991). Bu bağlamda enerji korunumlu yapı kabuğu kuruluşlarında uygulanan "saydam yalıtım" malzemeleri fiziksel özelliklerine bağlı olarak yapı kabuğunda ısı kayıplarının en aza indirgenmesine, ayrıca güneş ışınlarının masif duvara iletilmesi ile duvarın ısı kütlesi olarak çalışmasına yardımcı olmaktadır. Bu malzemeler, farklı şekillerde (pencereler, seralar, trombe duvarları vb.) farklı amaçlar için (gün ışığı, pasif mekân ısıtması vb.) kullanılmaktadır.

Optik olarak yarı saydam olan, ancak saydam yalıtım olarak anılan bu malzemeleri opak yalıtım malzemelerinden ayıran en önemli fark, ısı yalıtımı sağlamalarının yanı sıra güneş ışınımı geçirgenlikleridir. Günümüzdeki yapılarda sıklıkla kullanılan opak yalıtım malzemelerinin güneş ışınımı geçirgenliği saydam yalıtım malzemelerine göre oldukça azdır (Şekil 3).



Şekil 3. Opak ve saydam yalıtımlı duvarlarda ısı kayıp ve kazançları

Saydam yalıtım malzemelerinin güneş ışınım geçirgenliği, ışınımın geliş açısına bağlı olarak 0,70 ile 0,90, ısı iletkenlikleri ise 0,20-1,00 W/m²K arasında değişir (Platzer, 1992a). Saydam yalıtımlı duvar kuruluşları aracılığı ile güneş enerji kazançları, iklime ve saydam yalıtım malzemesinin yönlendiriliş durumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu malzemeler genelde soğuk iklimli ve güneş ışınım şiddeti yüksek bölgelerde ısıtma gereksinimini daha verimli şekilde karşılamaktadır. Güneydoğudan güneybatıya kadar olan yönlendiriliş durumları bu malzemelerin uygulanması için uygun görülmektedir (Dilmaç ve Eğrican, 1994).

1.5.1. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Sınıflandırılması

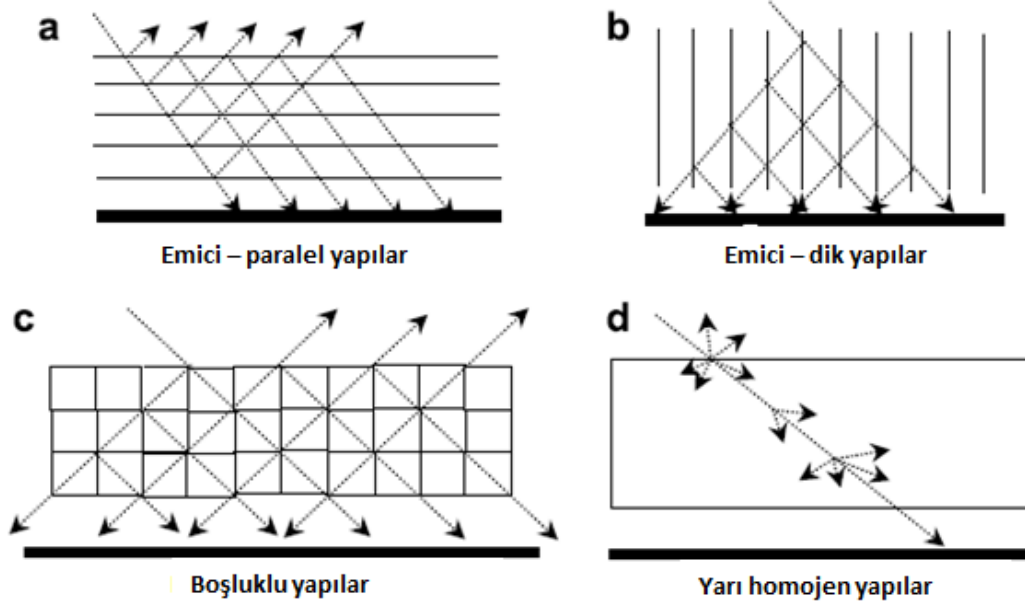
Saydam yalıtım malzemelerinin bütün çeşitleri havayı, belirli ölçüleri ve şekilleri olan hücreler ile çevrelemek esasına dayanır. Bu hücrelerin içinde, sıcaklık yolu ile oluşan hava hareketi minimuma düşürülmektedir (Matuska, 2000). Saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarında sistemin etkinliği yalıtım malzemesinin strüktürel yapısına ve düzenleme yönüne bağlı olarak değişmektedir (Göksal Özbalta, 2011).

Saydam yalıtım malzemeleri, geometrik düzenlemelerine bağlı olarak dört genel tipte sınıflandırılmaktadır (Goetzberger, 1991; Platzer, 2001) (Şekil 4).

- Emici – paralel yapıda saydam yalıtım malzemeleri: Bu malzemeler, emici yüzeye paralel düzenlenen çift camlar ya da saydam plastik filmlerden oluşan bir tabakadan meydana gelmektedir. Bu tabakanın sayısı ısı kayıplarını azaltmak için

arttırılabilir. Ancak bu durum optik yansımayı artırarak güneş ışınımı geçirgenliğini azaltmaktadır.

- Emici – dik yapıda saydam yalıtım malzemeleri: Bu malzemeler, emici yüzeye dik düzenlenen kapiler ya da petek dokulu hücrelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin en önemli avantajı, güneş ışınımının hücre içinde absorbe yüzeye doğru kırılarak yansımadır. Böylece güneş ışınımının geri yansımadan duvara ulaşması sağlanmaktadır. Yaygın olarak çeşitli saydam yalıtım uygulamalarında ve özellikle güneş kolektörlerinde kullanılmaktadırlar.
- Boşluklu yapıda saydam yalıtım malzemeleri: Bu malzemeler, emici yüzeye paralel ve dik düzenlenen hücresel yapıların birleştirilmesiyle oluşmaktadır. Kanallı plakalar ya da birden fazla plastik filminden oluşan bu yapılar, diğer yapılara göre yaklaşık olarak aynı ışınım geçirgenliğini sağlarken, taşınım ile gerçekleşen ısı kaybını azaltmaktadır.
- Yarı homojen yapıda saydam yalıtım malzemeleri: Bu malzemeler, cam elyafı ya da silika arojelden oluşan saydam yalıtım malzemeleridir. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalar için tercih edilmektedirler.



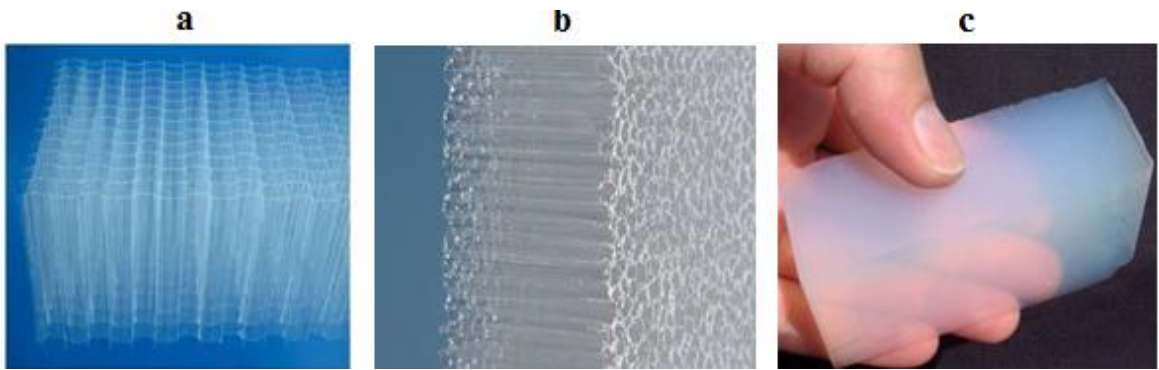
Şekil 4. Saydam yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması

1.5.2. Saydam Yalıtım Malzemelerinde Kullanılan Maddeler

Son otuz yılda, saydam yalıtım malzemesi üretiminde plastik, cam ve silika aerojel gibi farklı tipte maddeler kullanılmaktadır. Küçük hücreli kapiler ve petek dokulu yapıların üretiminde yaygın olarak çeşitli tipte plastikler kullanılmaktadır. Bu plastik çeşitleri; PMMA (Polimetilmetakrilat), TPX (Polietilen), HFL (Politetrafloretillen), APEC (polyesterkarbonat), PES (polietersülfon), FEPT (FEP teflon) ve PC (Polikarbonat) olarak literatürde yer almaktadır (Platzer, 2001; Kaushika ve Sumathy, 2003).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kapiler ya da petek dokulu yapıda saydam yalıtım malzemelerinin üretiminde ağırlıklı olarak PMMA ve PC kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak da güneş kolektörlerinde yüksek çalışma sıcaklığı olanağı veren camın kullanımı da görülmektedir. Ancak camın kırılğan yapısı ve ısı iletkenlik katsayısının büyük olması dezavantaj yaratmaktadır (Goetzberger, 1991; Platzer, 2001).

Silika aerojeller ise hem monolitik (MSA) hem de granül (GSA) formda elde edilmektedir. Optik olarak şeffaf olan bu malzemeler, yüksek güneş ışınım geçirgenliğine ve düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip hafif malzemelerdir. Pencerelelerin ve çift camlı kolektörlelerin arasındaki boşlukta homojen ara madde olarak kullanılmaktadırlar. Silika aerojel dolgulu camlar, hem gün ışığı uygulamaları için hem de yalıtım amaçlı dış duvarlarda saydam yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. En önemli dezavantajları ise kırılğan ve suya karşı dayanıksız olmalarıdır (Goetzberger, 1991; Platzer, 2001).

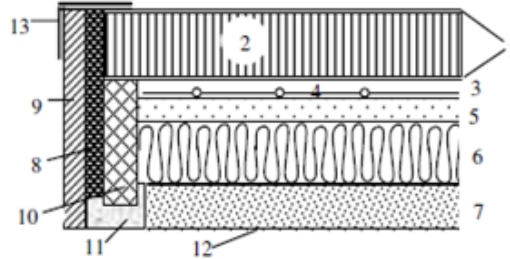
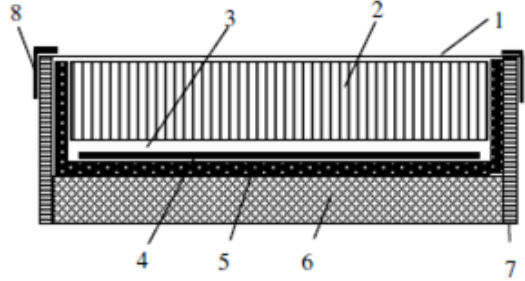
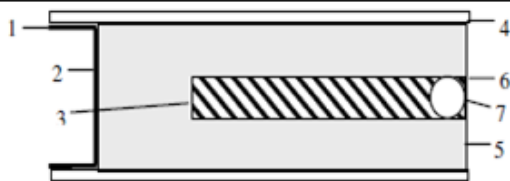
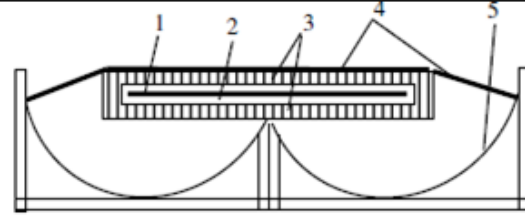


Şekil 5. Petek dokulu (a), kapiler (b) ve silika aerojel (c) yapıda saydam yalıtım malzemeleri

1.5.3. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Uygulama Alanları

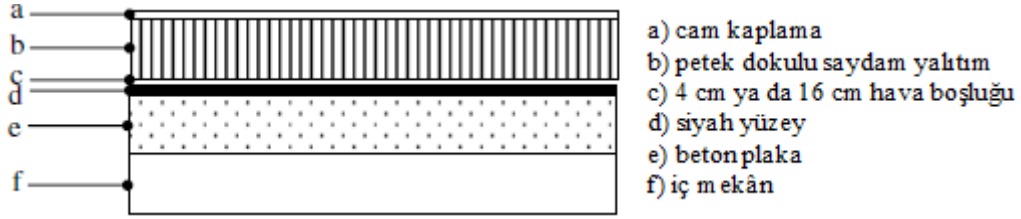
Saydam yalıtım malzemeleri, araştırılmaya başlandığı ilk yıllardan itibaren düz yüzeyli güneş kolektörlerinde, petek dokuda saydam yalıtımlı çatı kaplama sistemlerinde, konutlarda kullanılan sıcak su için bütünlük depolama sistemli kolektörlerde, pasif ısıtma ve gün ışığı elemanı olarak da binalarda kullanılmaktadırlar.

Saydam yalıtım malzemelerinin bina cephelerinde uygulanmaya başlanmasından önce, kapiler ve petek dokulu hücrelerin optik ve termal özellikleri, düz yüzeyli güneş kolektörleri üzerinde teorik ve deneysel çalışmalarla incelenmiştir (Platzer, 1992a, b). Şekil 6'da çeşitli çalışmalarda PC ya da cam olan petek dokulu ve kapiler yapıdaki saydam yalıtım malzemelerinin, güneş kolektörü uygulamaları için geleneksel cam kaplama levhaları yerine kullanımı görülmektedir.

<p>Cam kapiler düz yüzeyli güneş kolektörü (Rommel ve Wagner, 1992)</p>  <p>1) düşük demirli cam 2) 80mm ya da 100mm cam kapiler 3) 20mm hava boşluğu; 4) emici yüzey; 5) 20mm yalıtım malzemesi 6) 100mm mineral yün; 7) 60mm poliüretan köpük; 8) 22mm ahşap çerçeve; 9) 20mm mineral yün; 10) 30mm cam köpüğü; 11) ahşap destek çerçevesi; 12) alüminyum koruyucu plaka; 13) alüminyum çerçeve</p>	<p>Polikarbonat petek düz yüzeyli güneş kolektörü (Rommel ve Wagner, 1992)</p>  <p>1) 4mm düşük demir cam kapak, 2) 50mm veya 100mm PC petekler, 3) 20 mm hava boşluğu 4) emici yüzey ($\alpha: 0.95$), 5) 1.5cm ısı yalıtım malzemesi, 6) 60mm poliüretan köpük, 7) 15mm ahşap çerçeve; 8) alüminyum çerçeve</p>
<p>Monolitik silika aerojel düz yüzeyli güneş kolektörü (Nordgaard ve Beckman, 1992)</p>  <p>1) paslanmaz çelik conta, 2) çelik çerçeve, 3) bakır folyo 4) 4mm düşük demir cam kapak, 5) 20mm monolitik silika aerojel; 6) bakır folyo, 7) bakır boru</p>	<p>Polikarbonat petek iki yüzeyli emici güneş kolektörü (Goetzberger vd., 1992)</p>  <p>1) emici levha ($\alpha: 0.95$), 2) 24mm hava boşluğu, 3) 50mm PC petek, 4) 4mm düşük demir cam kapak, 5) yan silindirik aynalar</p>

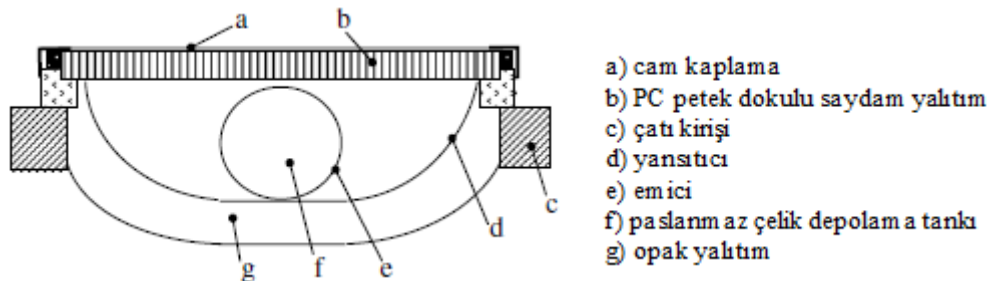
Şekil 6. Farklı tiplerde düzenlenmiş saydam yalıtımlı düz yüzeyli güneş kolektörleri

Kaushika vd. (1992) çalışmalarında, Amerika'da bulunan bir binanın beton çatısı üzerine kış sezonu için pasif ısıtma sistemi olarak petek dokulu saydam yalıtım malzemesi uygulamışlardır (Şekil 7). Çalışmaları sonucunda çatı kaplamasında kullanılan petek dokulu saydam yalıtım tabakasının optimum kalınlığının 10-15 cm olması gerektiğini vurgulamışlardır.



Şekil 7. Petek dokulu saydam yalıtımlı çatı kaplama sisteminin şematik gösterimi

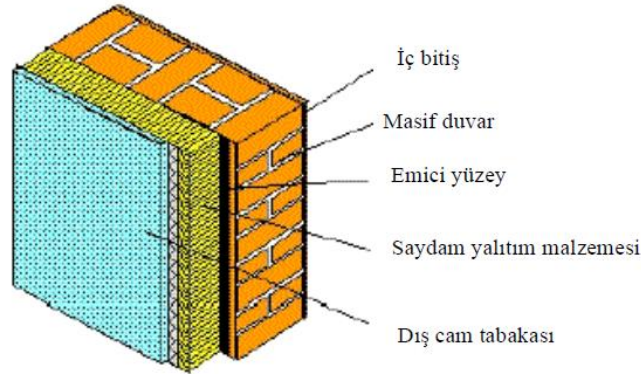
PC petek dokuda saydam yalıtımlı bütünleşik depolama sistemli kolektörler (ICS), konutlar için sıcak su sağlamak amacıyla geliştirilmişler ve birçok çalışmada incelenmişlerdir (Goetzberger, 1991; Schmidt vd., 1988; Rommel ve Wagner, 1992; Kaushika ve Reddy, 1999). Şekil 8'de, Freiburg'da bulunan Fraunhofer Güneş Enerji Sistemleri Enstitüsü'nde (FISES) kurulan ve test edilen silindirik şekilde çelik depolama tankına sahip, bütünleşik kolektör depolama sisteminin şematik kesiti görülmektedir. Avrupa'da test edilen bu kolektör sistemi, PC petek dokulu saydam yalıtım malzemesi sayesinde kış sezonundaki buzlanma olaylarına karşı da korunmaktadır. Çalışmada $2,8 \text{ m}^2$ emici yüzeye sahip bu sistemin veriminin, geleneksel sıcak su depolamalı kolektörlere göre yaklaşık 2 kat arttığı belirtilmiştir (Goetzberger vd., 1992; Rommel ve Wagner, 1992).



Şekil 8. Konutlarda sıcak su temini için tasarlanan bütünleşik depolama sistemli kolektörün şematik kesiti

Saydam yalıtım malzemeleri, yurt dışındaki binaların dış duvarlarında hem opak yalıtım hem de güneş kolektörü işlevi görerek yirmi yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. 1983 yılında Alman hükümeti tarafından 'saydam yalıtım araştırma programı' adı altında bir çalışma başlatılmıştır. Bu çalışma, çeşitli araştırma enstitüleri ve şirketlerin binalardaki uygulamalar için saydam yalıtım malzemesi üretip pazarlamasına önderlik etmiştir. Daha sonraki yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından geliştirilen 'Güneş Enerjili Isıtma ve Soğutma Programı TASK 20' kapsamında mevcut binalarda duvarlardaki ısı performansın artırılması ve gün ışığı uygulamaları için saydam yalıtım malzemeleri kullanılmıştır (IEA, 1997). O tarihlerden beri Avrupa genelinde yirmiden fazla projede (az katlı ve geleneksel konutlar), 5000 m²'nin üzerinde saydam yalıtımlı duvar kullanılmıştır.

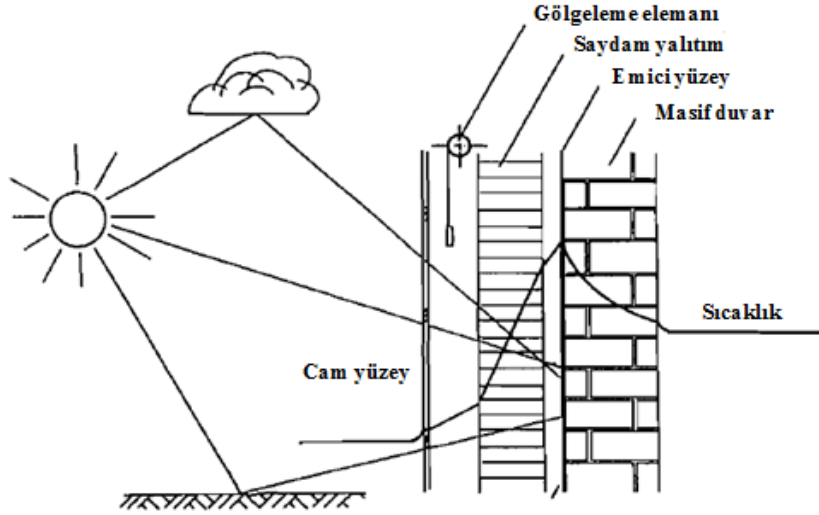
Şekil 9'da saydam yalıtım malzemesinin dış duvara uygulanmasını gösteren şematik bir kesit görülmektedir. Saydam yalıtım malzemesi masif duvarın önüne, bir cam tabakası ile birlikte uygulanmaktadır. Güneşli günlerde saydam yalıtımın yüksek güneş ışınım geçirgenliği sayesinde duvar dış yüzey sıcaklığı belli saatlerde iç yüzey sıcaklığından daha yüksek olmaktadır. Duvar emici yüzeyinde yutulan güneş ışınları duvar bünyesinde ısı enerjisine dönüşerek iç mekâna belli bir faz farkı ve sönüm oranıyla aktarılmaktadır. Ayrıca yüksek iç yüzey sıcaklığı dış duvarlarda oluşabilecek yoğuşma sorunlarını da ortadan kaldırmaktadır. Düşük demir içeren dış cam tabakası, saydam yalıtım malzemesinin dış hava şartlarından etkilenmemesi için kullanılmaktadır (Platzer, 2001).



Şekil 9. Saydam yalıtım malzemesinin dış duvara uygulanması

Saydam yalıtım malzemesi ile en dıştaki cam tabakası arasında hava boşluğu (2 – 10 cm) bırakılmaktadır. Bu boşluk, saydam yalıtım malzemesi ile dış duvar arasında oluşabilecek yoğuşmayı engellemek ve/veya gölgeleme elemanını yerleştirmek için

kullanılmaktadır (Platzer, 2001). Mekanik ya da manuel olarak kontrol edilen gölgeleme elemanları (stor perde, jalûzi vb.) yaz dönemlerinde meydana gelebilecek aşırı ısınmayı önlemek için uygulanmaktadır (Wittwer, 1992) (Şekil 10).



Şekil 10. Saydam yalıtım uygulamalarında gölgeleme elemanlarının kullanımı

Freiburg'da 1992 yılında inşa edilen, üç yıl boyunca sürekli ölçümlerin alındığı bir laboratuvar ve konut olarak kullanılan Freiburg Sıfır Enerjili Binası'nın cephesinde hem saydam yalıtım malzemesi (kapiler yapıda), hem de çok tabakalı cam uygulanmıştır (Şekil 11). Binanın herhangi bir enerji şebekesi ile bağlantısı olmayıp, ısıtma enerjisi gereksinimi güney cepheye entegre edilen saydam yalıtım gereci ve saydam yüzeyler ile sağlanmaktadır (Stahl vd., 1994).



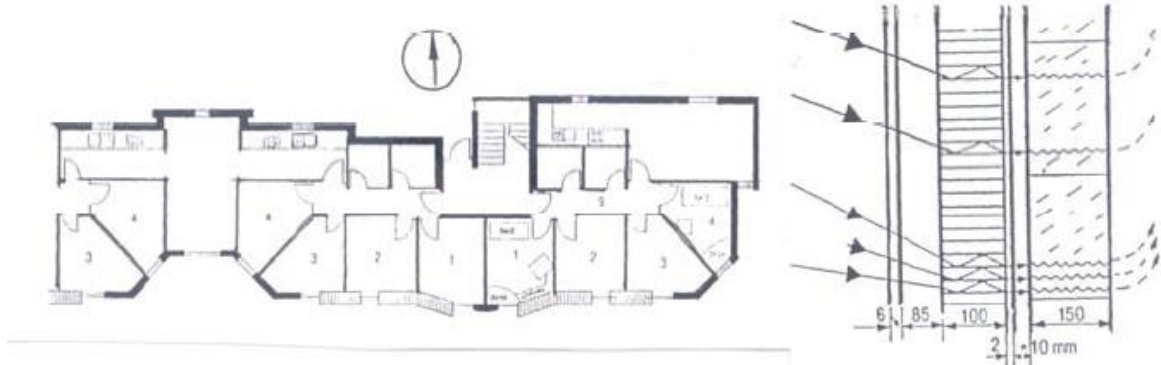
Şekil 11. Freiburg sıfır enerjili bina cephesi

Şekil 12’de Freiburg’da enerji etkin yenileme çalışmaları kapsamında güney cephesine saydam yalıtım malzemesi uygulanan iki katlı konut bloğu görülmektedir. Güney cephesinde saydam yalıtım, kuzey cephesinde opak yalıtım uygulanan bu binada yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacında 1/5 oranında azalma sağlanmıştır (URL-3, 2013).



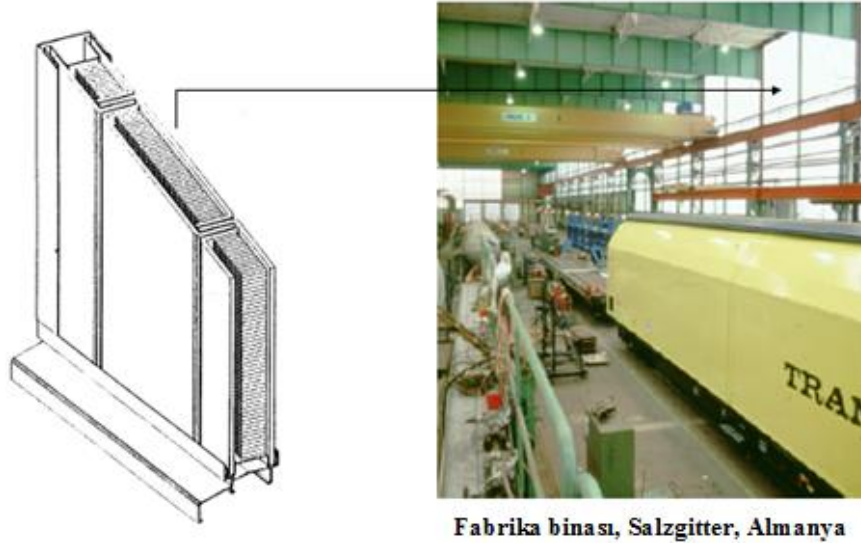
Şekil 12. Saydam yalıtım uygulanan bina cephesi, Sonnenäckerweg, Freiburg

Saydam yalıtımın uygulandığı bir diğer örnek ise 1990 yılında Glasgow’da inşa edilen beş katlı öğrenci yurdu binasıdır (Şekil 13). Binanın güney cephesinde 10 cm kalınlığında, PC esaslı saydam yalıtım malzemesi masif duvarın önünde düzenlenmiştir. Söz konusu binanın enerji tüketiminin aynı yalıtım değerlerine sahip olan diğer binalarla karşılaştırıldığında % 40 oranında azaldığı saptanmıştır. Ayrıca kış döneminde ısıtma enerjisinin % 20’sinin saydam yüzeylerinden sağlandığı ve yaz döneminde aşırı ısınma gibi bir sorunun olmadığı bildirilmektedir (Treberspurg, 1994).



Şekil 13. Saydam yalıtımlı öğrenci yurdu binası plan ve kesiti

İki cam tabakası arasına yerleştirilen, genellikle prefabrike olan ve bir çerçeve ile bir arada tutulan modüler saydam yalıtım malzemeleri binalarda gün ışığı elemanları olarak da kullanılmaktadır (Şekil 14). Saydam yalıtım malzemeli gün ışığı elemanları ile ofis, fabrika, müze vb. yapılarda yapay aydınlatma için gerekli olan enerji ihtiyacında azalma sağlanmaktadır. Pencerelerden gerçekleşen ısı kayıplarında ise kullanılan saydam yalıtım malzemesinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak, geleneksel çift camlara göre 1/3 oranında azalma sağlanmaktadır (URL-3, 2013).



Şekil 14. Gün ışığı elemanı olarak kullanılan saydam yalıtım malzemeleri

Saydam yalıtım malzemelerinin ısı yalıtımı sağlamaları ve yüksek güneş ışınım geçirgenliğine sahip olmaları gibi avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları vardır. Örneğin; düşük erime sıcaklığına (~ 80 °C) sahip plastik saydam yalıtım malzemeleri, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için sorun teşkil edebilir ve kullanımında gerekli yangın yalıtımının yapılması önerilmektedir. Cam saydam yalıtım malzemeleri ise yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalar için kullanılabilirken, kırılma ve hassas yapıları nedeniyle kırılma tehlikesine sahiptirler. Ayrıca saydam yalıtım malzemelerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve binaların cephelerindeki uygulamalarda yaz aylarında meydana gelen aşırı ısınma problemleri de bu malzemelerin en belirgin dezavantajlarından bazılarıdır.

1.6. Isıl Konfor

Isıl konfor ile ilgili uluslararası standartlardan olan ASHRAE 55-92R (ASHRAE, 2004) ve EN ISO 7730 (ISO, 2005) ısı konforu, 'kişinin ısı çevresinden memnun olduğu koşullar' olarak tanımlamaktadır.

Günümüz teknolojisinde, hemen hemen her dâhili ortamın iklimlendirilmesi mümkündür. İnsan kullanımı için oluşturulan yapay iklimli ortamlarda amaç, her bireyin ısı konfora sahip olacağı bir ısı ortamının oluşturulmasıdır. İnsanların zihinsel, fiziksel ve algısal performansları, ısı konforda bulduklarında genelde en üst seviyededir. Günümüze dek yapılan ısı konfor araştırmalarının en önemli isimlerinden biri olan Fanger, ısı konforu etkileyen parametreleri, fiziksel ve çevresel parametreler olmak üzere iki ana başlıkta değerlendirmiştir. Fiziksel parametreleri; Aktivite Seviyesi (Metabolik Oran), Giysi Isıl Direnci olarak, Çevresel parametreleri ise; Hava Sıcaklığı, Ortalama Işınım Sıcaklığı, Hava Hızı ve Bağıl Nem olarak sınıflandırmıştır (Fanger, 1970).

Aktivite seviyesi: Günlük hayatta farkında olmasak da bulunduğumuz ortamdaki herhangi bir aktivitemiz ısı konfor üzerinde etki göstermektedir. İnsan vücudu metabolizması tarafından yayılan toplam ısı, söz konusu kişinin aktivite seviyesine bağlıdır. Aktivite seviyesi genellikle 'met' birimiyle ifade edilir. 1 met dinlenen veya oturan bir insanın metabolizmal ısı üretimine eşittir (ISO, 2005). ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$).

Giysi ısı direnci: Üzerimize giydiğimiz giysiler de bulunduğumuz ortamda ısı konforumuzu etkileyen olgulardan biridir. Vücudumuzdan gerçekleşen ısı transferi giyilen giysilerin cinsinden ve dolayısıyla ısı dirençlerinden etkilenir. Giysilerin ısı geçiş direnci 'clo' (clothing) birimi ile ifade edilir. $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Aktivite veya giysi yalıtımı arttıkça ısı konforun sağlandığı ortam sıcaklığı azalmaktadır. Aktivitenin artması durumunda vücudun ürettiği ısı fazlalaştığından, giysi yalıtımının artması durumunda ise üretilen ısı kolayca çevreye atılmadığında ortam sıcaklığının azaltılması gerekmektedir (Kaynaklı ve Akdeniz, 2003).

Hava sıcaklığı: Isıl konforu etkileyen en önemli fiziksel parametre hava sıcaklığıdır. Hava sıcaklığı, insanları çevreleyen havanın ortalama sıcaklık değeridir. Bu değer yer ve zamana göre farklılık gösterir (ASHRAE 2004). Hava sıcaklığı, insanın çevresiyle konveksiyon (taşıma) yoluyla yaptığı ısı alışverişi miktarını belirleyen en önemli parametredir. İnsan ile çevresi arasındaki ısı taşınımı, vücut yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı dengeleninceye kadar devam eder. $^\circ\text{C}$ ile ifade edilir.

Ortalama ışıınım sıcaklığı: Güncel ısııl konfor göstergelerinde “Hava Sıcaklığı” yerine, ısııl konfor üzerinde daha çok etkili olan “Ortalama Işıınım Sıcaklığı” (OIS) girdi olarak kullanılır (Özdeniz vd., 2002). Ortalama Işıınım Sıcaklığı; farklı yüzey sıcaklıkları olan gerçek bir mekânda, iç yüzey sıcaklıklarına bağılı olarak meydana gelen ısııl ışıınım sıcaklığıdır (ASHRAE, 2004). °C’ ile ifade edilir.

Hava hızı: İnsan ve çevre arasındaki ısıı alışverişlerini ve dengesini belirleyen faktörlerden birisi de, hava hareketleridir. Havanın hareket hızı arttıkça insanın üşümesi artar. Hava hareketlerinin artması insanın çevresindeki hareketsiz hava tabakasının azalmasına neden olur, bu da üşüme hissini oluşturur. Hava hareketlerinin artması halinde iç ortam, esintili ve rahatsız edici olabilmektedir. Yüksek hava hızlarında ısıı kayıpları artmakta ve ısııl konforu olumsuz etkilemektedir. Düşük hava hızlarında ise ortamdaki havanın hareketi azaldığından ortamda ikamet eden bireyler için havasız bir ortam oluşur (Yiğit ve Horuz 1995). Hava hızı, m/sn birimi ile ifade edilir. Szokolay (2004), hava hızındaki artışın insan üzerindeki etkilerini aşağıdaki gibi değerlendirmiştir.

<0,1 m/sn: havasız

0,2 m/sn : fark edilmeyen

0,5 m/sn : makbul değer

1 m/sn : fark edilen

1,5 m/sn : cereyanlı (hava akımlı)

>1,5 m/sn : rahatsız edici

Bağılı nem: Havadaki gerçek su miktarı ile hava sıcaklığında tutulabilen havanın su buharının maksimum miktarı arasındaki orandır. % olarak ifade edilir. Szokolay’ a göre ortalama bağılı nem oranı (% 30 - % 70) insanların ısııl konfor durumu üzerine fazla bir etkisi olmayıp kabul edilebilir bir değer aralığıdır. Bağılı nem üzerine yapılan çoğu çalışmada ise %50 bağılı nem oranı konfor durumu için en çok kabul edilen değerdir. Bağılı nem miktarı %75’in üzerine çıktığında yapılarda yoğuşma yanında mantar, küf gibi bakterilerin üremesi hızlanır. Düşük bağılı nem ortamlarında ise solunum problemleri başlar (Szokolay, 2004).

Yapı içinde yaşıyan insanın sağlığı fizyolojik bir olay olmakla birlikte, konut içerisinde ısııl konforun sağlanması, konutlarda kullanılan malzemelerin fiziksel karakteristiği ve uygun malzeme seğimine bağılıdır. Isıl konfor açısından yapı kabuğunu oluşturan elemanların iç yüzey sıcaklıklarının ve iç ortam hava sıcaklığının belirli değerlerde olması gerekmektedir.

Yapı kabuğunun iç yüzey sıcaklığı, yapı içi ısısal konforu etkileyen en önemli öğelerden biridir. Çünkü kişi ile yapı kabuğunun iç yüzeyi arasında ışınım yoluyla sürekli ısı alışverişi söz konusudur. İç yüzey sıcaklıklarının konfor sınırlarında olması yapı kabuğunun ısı geçirmezlik açısından da uygun olduğunu gösterir. Yapılan araştırmalara göre, hacmin kuru termometre sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklıkları ayrımı $< \pm 3^{\circ}\text{C}$ olduğu zaman ışımsal sıcaklık açısından konfor oluşur (Zorer, G., 2001). Isıl konforu sağlamak için ortam sıcaklığı ile duvar iç yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı düşürülmelidir. Bu fark ne kadar yüksek olursa konfor da o kadar düşük olacaktır. İç yüzey sıcaklıklarının düşük olması durumunda, ısının ortam içinde soğuk yüzeylere doğru hareketi, istenmeyen hava akımları oluşturur. Bu hava akımları da konforu azaltarak hastalıklara neden olur.

Ülkemizde yürürlükte olan TS EN ISO 13788 standardına göre; küf oluşumunun başlamaması ve konfor şartlarının bozulmaması için; en düşük iç yüzey sıcaklığı, kabul edilen iç ortam sıcaklık değerlerinden (çatı, duvar vb. bütün yüzeyler için) en fazla 3°C düşük olacak şekilde tasarlanmalıdır (TS EN ISO 13788, 2004). İç yüzey sıcaklığının iç ortam ısısal konfor koşullarına olan etkisi, ISO 7730 ve ASHRAE 55 standartlarında iç ortam ısısal konfor düzeyini belirlemek için aranan şartlarla da ilişkilendirilebilir. Her iki standartta da; bir iç ortamın ısısal konfor düzeyinin tespitinde, belirli bir değer aralığını sağlaması gereken “operatif sıcaklık” değeri önemlidir. Operatif sıcaklık değeri, iç ortam havasıyla, onu sınırlayan bina elemanlarının iç yüzey sıcaklıklarının ortalamasıdır. Bu nedenle, doğrudan iç yüzey sıcaklıklarıyla ilişkilidir. Bu standartlarda söz konusu iç ortam için belirtilen hava hareketi hızı da ortam sıcaklığıyla ilgili olduğundan, iç yüzey sıcaklığından etkilenmektedir (ASHRAE, 2004 ve ISO, 2005).

ISO 7730’ da ısısal konfor için gerekli ortam şartları hafif ve çoğunlukla oturularak yapılan aktiviteler için ısıtma ve soğutma periyodları durumunda ayrı ayrı önerilmektedir. Bu önerilerde yaz periyodu için giysi yalıtımı 0,5 clo, kış periyodu için giysi yalıtımı 1 clo kabul edilmiştir.

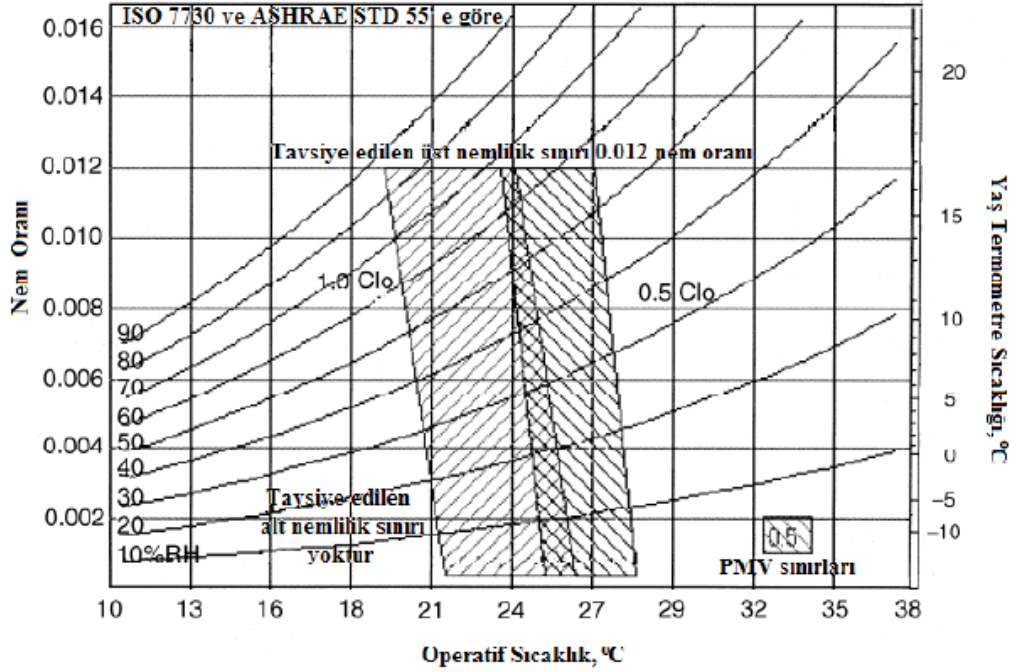
Yaz şartları yani soğutma periyodu için;

- Operatif sıcaklık $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$,
- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,
- Zeminden 0,1 m ve 1,1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3°C den az olması önerilmektedir.

Kış şartları yani ısıtma periyodu için ise;

- Operatif sıcaklık $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,

- Bağıl nem %30 ile %70 aralığında,
- Zeminden 0,1 m ve 1,1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3 °C den az olması önerilmektedir (Atmaca ve Yiğit, 2009). Şekil 15’de operatif sıcaklık ile ortamın bağıl nemine bağlı olarak konfor bölgesi görülmektedir.



Şekil 15. Operatif sıcaklık ve ortamın bağıl nemine bağlı olarak konfor bölgesi (Olesen ve Brager, 2004)

1.6. Pasif Isıtma Sistemleri ve Isıl Konfor İlişkisi

Isıl konfor, bir insanın sağlıklı ve üretken olabileceği ısıl parametrelerin sağlanması olarak tanımlanmaktadır. İç mekânda ısıl konfor sağlanamadığında aktif ısıtma ve havalandırma sistemleri ile tüketilen yakıt binayı değil atmosferi ısıtmakta, dolayısıyla gereğinden fazla yakıt tüketilmektedir. Örneğin oda sıcaklığını +1 °C arttırmak için ortalama %10 daha fazla yakıt tüketilmesi gerekir. Tüketilen yakıtın fazla olması binanın enerji kullanım maliyetini yükseltirken aynı zamanda yakıtların atmosfere verdikleri zararlı gazlar dolayısıyla da çevre kirliliği artmaktadır.

Enerji harcamalarını minimum düzeyde tutmak için binaların yerleşme birimlerinin enerji etkin olarak (pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemleri olarak) planlanması gerekmektedir. Bu tür bir planlamada, her yöreye göre değişim gösteren dış iklim

elemanları (dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği, rüzgâr, güneş ışınımı) denetiminin yanında birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden büyük ölçüde yararlanılmalıdır. Güneş enerjisinden yararlanma oranı, yapının bulunduğu bölgenin güneşlenme durumuna bağlıdır. Ayrıca elde edilen enerjinin etkin kullanımı ve korunumu da, planlama aşamasında dikkat edilmesi gereken konulardan biridir.

Genelde yapı kabuğunun pasif ısıtma işlevi açısından göstereceği performans;

- Kabuğun opak yüzeylerine gelen toplam güneş ışınımı değerleri ve saydam yüzeylerin güneş ışınımını yansıtma, geçirme ve yutma oranları,
- Kabuğun opak yüzeyinin iç yüzey sıcaklığı,
- Kabuğun opak ve saydam yüzeylerinde hesaplanan ısı kayıp-kazancı ile değerlendirilmektedir (Aksoy, İnallı ve Tuğal, 2004).

Çalışmanın konusu dış duvarlarda pasif ısıtma sistemlerinin etkinliğini ve iç mekândaki ısı konforuna etkisini araştırmaya yönelik olduğundan pasif ısıtma iklimlendirme sistemleri hacim ölçeğinde ele alınmıştır. İş yerleri ve diğer yaşam hacimlerinin ısıtılmasının ve iklimlendirilmesinin amacı, bu hacimlerde insanların sağlıklarını ve üretkenliklerini etkilemeyen iklim koşullarının yaratılmasıdır. Bu hacimlerde, çeşitli nedenlerle sınırlı periyotlarda kabul dışı konfor şartları söz konusu olabilir. Ancak bu koşullar da insanların sağlığını etkilememelidir. Dış iklim koşullarına uygun planlama, çalışma ve yaşam hacimlerinde istenen konfor koşullarının sağlanmasında en önemli koşuldur. Yapıların iç iklim koşullarının oluşumunda, dış iklim koşulları yani güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemi ve yağış, dış hava hareketi hızı ve atmosferik koşullar etkilidir (Roaf ve Hancock, 1992). Dış iklimsel koşulların denetimi ve bu koşullardan yararlanma yoluyla hacim içerisindeki ısı konforunun gerçekleşmesinde etkili olan öğeler; hacmin yapı içerisindeki konumu, hacmin boyutları ve biçim faktörü, hacmin yönlendiriliş durumu, hacmi çevreleyen yapı kabuğunun özellikleri, hacim içerisindeki öğelere ve yüzeylere ilişkin özellikler olarak sıralanabilir (Zorer, G., 1995).

1.6.1. Yaşam Hacimlerinde Isıl Konforu Etkileyen Tasarım Parametreleri

1.6.1.1. Hacmin Yapı İçerisindeki Konumu

Bir mekân içerisinde insan ısı açısından kendini çevreleyen bir kabuk ve bu kabuğun sınırladığı hava ile ilişkidir. Burada kabuğun iç yüzey sıcaklığı, havanın sıcaklığı ve

nemi, hava hareketleri kişinin ısı alışverişini dolayısıyla ısı konforunu etkilemektedir (Şerefhanoglu, 1983). Bir mekânı çevreleyen yüzeylerden dış çevreye açık olanların (dış duvarların) yüzey sıcaklıkları öteki yüzeylerden farklıdır. Dış duvarların yüzey sıcaklıkları, mekândaki iç hava sıcaklığı herhangi bir ısıtma sistemi ile sabit tutulsa bile yüzeylerdeki dolu ve saydam alanlardan geçen ısıya bağlı olarak değişir. Ayrıca dış duvarların yüzey alanlarının büyüklüğü, kapalı bir mekândaki ısısal konforu etkileyen ortalama ışımsal sıcaklık, iç yüzey sıcaklığı gibi öğelerle ilişkilidir (Zorer, G., 1995).

Hacmin dışa bakan yüzey alanının büyüklüğü, hacmin yapı içindeki konumuna bağlıdır. Hacmin dış ve iç kabuk eleman sayısı bu elemanlar vasıtasıyla kazanılan ve kaybedilen toplam ısı miktarını etkiler. Bu nedenle bir ya da daha fazla yüzü dışa bakan hacimler ile çatı katta, zemin katta ya da ara katta yer alan hacimlerin ısı konfor koşulları birbirinden farklıdır (Yılmaz, 1989).

1.6.1.2. Hacmin Boyutları ve Biçim Faktörü

Hacmin boyutları (eni, boyu, yüksekliği) ve biçim faktörü (planda eninin boyuna oranı) dış kabuk elemanlarının yüzey alanlarını belirleyen elemanlardır (Zorer, G., 1995). Herhangi bir yaşama alanını örten ve onu dış çevreden ayıran yapı kabuğunun formuna bağlı olarak, hacmin toplam dış yüzey alanı, farklı yönlere bakan ve farklı eğimlerdeki dış kabuk yüzey alanı ve dış yüzeyler arasındaki oranlar farklılık gösterir (Berköz vd., 1995). Dış kabuk elemanlarının yüzey alanı, mekân içindeki ısı kayıplarıyla doğrudan ilişkilidir. Aynı hacmi kaplayan en basit geometrik şekillerde ısı kaybı en az iken, yüzey/hacim (Y/H) oranı arttığında ısı kayıpları da artmaktadır.

1.6.1.3. Hacmin Yönlendiriliş Durumu

Güneş ışınımı ve rüzgâr gibi dış iklim elemanları yöne göre değişim gösterirler. Bu durum hacmi çevreleyen kabuk elemanının dış yüzeyindeki opak ve saydam alanlardan geçen güneş ışınımı şiddeti ve ısı miktarı, ısı konfor durumunu etkilemektedir. Hacmin yönlendiriliş durumuna göre güneş ışınımının ısıtıcı ve rüzgârın serinletici etkisinden iç mekânlarda istenilen oranlarda yararlanmak mümkündür.

1.6.1.4. Hacmi Çevreleyen Yapı Kabuğunun Özellikleri

Yapı dış kabuğu opak ve saydam olmak üzere fiziksel özellikleri ve ısı geçişine karşı davranışları birbirinden farklı iki bileşenden oluşmaktadır. Bu kabuk, optik ve termofiziksel özelliklerine bağlı olarak dış çevre koşullarını değiştirerek iç çevreye aktaran ve böylece iç çevre koşullarının oluşumunda rol oynayan en önemli tasarım parametresidir (Yılmaz, 2005). Yapı kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri, yapı kabuğunun birim alanından dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileriyle kazanılan ve kaybedilen ısı miktarının ve dolayısıyla iç iklim durumunun ve yapma ısıtma iklimlendirme yüklerinin de belirleyicileridirler. 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 yapı kabuğuna ilişkin optik ve termofiziksel özelliklerdir (Berköz vd., 1995). Bu nedenle mimarlar enerji kaynaklarını etkin kullanmaya yönelik tasarımlarında yapı kabuğunun, minimum yapma ısıtma ve iklimlendirme takviyesine ihtiyaç duyan optimal pasif sistem ögesi olarak işlevini yerine getirmesini sağlamalıdır.

1.6.1.4.1. Yapı Kabuğu Optik Özellikleri

Yapı yüzeyine gelen ışınımın bir kısmı geri yansır, bir kısmı yapı bileşeni tarafından soğurulur ve geri kalan kısmı ise yüzeyden geçer. Yüzeyi geçen ışınım çok kısa bir kalınlıkta yutulur. Yutulan ışınım iç enerjiye dönüşürse böyle yüzeyler opak yüzey adını alırlar. Yutulan enerji, iletim, taşınım ve ışınım yoluyla iç ortama aktarılır. Opak yüzeyler arasındaki ışınım 'yüzey ışınımı' adı verilir. Yüzeye gelen ışınımın yansıyan kısmı (reflektiviti) 'yansıma katsayısı' (r), yutulan kısmı (absorbktiviti) 'yutma katsayısı' (α) ve geçen kısmı (transmissiviti) 'geçirme katsayısı' (τ) ile ifade edilir (Altınışık, 2006, Tunç, 2000). Yapı kabuğunda yer alan saydam yüzeyler, üzerine gelen ışınımı yansıtır, yutar ve geçirirler. Bu yüzeylerden geçen kısa dalga boylu ışınım, bina içindeki yüzeyler tarafından yutularak uzun dalga boylu ısı ışınımına dönüşür. Yapı bileşeninin dış yüzeyindeki güneş ışınımı, bileşenin optik özelliklerine bağlı olarak güneş ısı kazancına dönüşür. Isı kazancının verimi, kabuğun dış yüzeylerindeki opak alanlar ile saydam alanların yutuculuk ve geçirgenlik katsayılarına göre değişkenlik gösterir.

Gelen ışınım bir birim ise, opak yapı yüzeyleri için;

$$r + \alpha = 1 \quad (1.27)$$

saydam yapı yüzeyleri için;

$$r + \alpha + \tau = 1 \text{ 'dir.} \quad (1.28)$$

Opak cisimler için $\tau = 0$ 'dır (Berköz vd., 1995).

Doğrudan ışınımına karşı saydam bileşenlerin optik özellikleri güneş ışınımının geliş açısına bağlı olarak değişir. Opak bileşenler için ise geçirgenlik söz konusu olmayıp, yutuculuk ve yansıtıcılığın doğrudan ve yaygın ışınım için farklı olmaksızın yüzeyin rengine bağlı olarak değiştiği varsayılır (Yılmaz, 2005).

Yapı kabuğundan ısı geçişini etkilen bir diğer faktör ise opak kabuk bileşeni içindeki nem miktarıdır. Yapı kabuğunda yoğuşma nedeniyle oluşabilecek hasarları önlemek için opak kısımlarda yıl boyunca yoğuşan nemin izin verilebilir sınır değerleri aşmaması gerekir. Opak bileşen içinde yıl boyunca yoğuşan nem miktarı; yatay bileşenler için maksimum 0,05 kg/m², düşey bileşenler için 0,5 kg/m² olmalıdır (Berköz vd., 1995).

1.6.1.4.2. Yapı Kabuğu Termofiziksel Özellikleri

Binaların dış kabukları çevre sıcaklığı, güneş ışınımı gibi dış iklimsel koşulların etkisi altındadır. Dış iklimsel koşullar gün boyunca sürekli olarak değişim gösterirler. Bir hacmin opak duvarının dış yüzeyi güneş ışınımı etkisinde kaldığında mevcut koşullarda yeni bir denge oluşana kadar duvar kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımında değişiklik gözlenir. Denge oluşana kadar geçen süreç zamana bağlıdır. Sıcaklık dağılımının eğimi ve sınır koşulları, iç hacim ve çevre arasındaki sıcaklık farkı ile duvarın termofiziksel özelliklerine bağlıdır (Göksal ve Özbalta, 2002). Isı depolama kapasitesi, ısı yayılım katsayısı, ısı geçirme katsayısı, dış yüzey rengi, faz farkı ve sönüm oranı yapı kabuğu termofiziksel özelliklerini ifade etmektedir.

1.6.1.4.2.1. Isı Depolama Kapasitesi

Bir yapı bileşenine ait sıcaklığın 1°C (1K) arttırılabilmesi için gerekli ısı miktarına malzemenin ısı kapasitesi denir (İlgaz, 1979). Isı kapasite olarak adlandırılan, özgül ısı (c) ve yoğunluk (ρ) çarpımı, malzemenin ısı enerji depolama yeteneğinin ölçütüdür. Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır (Tsilingiris, 2002).

$$(\rho c_p)_{eq} = (1/L) \sum_{i=1}^n (\rho_i c_{pi} d_i) \quad (1.29)$$

Bu ifade de;

$(\rho c_p)_{eq}$: Eşdeğer ısı depolama kapasitesi

ρ_i : Yapı malzemesinin yoğunluğu (kg/m^3)

c_{pi} : Yapı malzemesinin özgül ısısı (J/kgK)

d_i : Yapı malzemesinin kalınlığı

L : Yapı bileşeninin toplam kalınlığıdır.

Malzeme içinde depolanan enerji miktarını belirlemek için literatürde ısı depolama kapasitesi olarak adlandırılan, malzemenin ısı iletim katsayısının, yoğunluğunun ve özgül ısısının bir fonksiyonu olarak ifade edilen aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Ülgen, 1999).

$$S = \sqrt{\lambda \rho c} \quad (\text{Ws}^{1/2}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}) \quad (1.30)$$

Isı depolama özelliği yüksek olan malzemeler üzerine gelen enerjinin bir kısmını yüzey özelliklerine bağlı olarak yansıtırken, büyük bir kısmını da yutarlar. Yutulan enerjinin büyük bir kısmını bünyelerinde depolarken, depolanan enerjinin az bir bölümünü kendi termofiziksel özelliklerine bağlı olarak diğer yüzeylerine aktarırlar.

1.6.1.4.2.2. Isı Yayınım Katsayısı

Malzemelerin önemli bir termofiziksel özelliği olan ısı yayınım katsayısı zamana bağlı ısı iletiminin incelenmesinde etken bir parametredir.

a: iletilen ısı enerjisi/depolanan ısı enerjisi

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (\text{m}^2\text{s}^{-1}) \quad (1.31)$$

Burada λ , ısı iletim katsayısı olup malzemenin ısı iletim özelliğinin göstergesidir. Isı yayılım katsayısı, iletimle transfer edilen enerjinin malzemenin birim hacminde depolanan enerjiye oranı olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin ısı iletim katsayısı (λ) büyük ve/veya ısı kapasite (ρc) küçük ise ısı yayılım katsayısı büyük olur. Böyle bir malzemede iletimle transfer edilen enerji, depolanan enerjiye göre daha fazladır. Buna karşın ısı yayılım katsayısı küçük olan malzemelerde ise ısının önemli bir bölümü malzeme tarafından yutulur ve küçük bir bölümü de iletimle transfer edilir (Göksal ve Özbalta, 2002).

Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı yayılım katsayısı;

$$(a)_{\text{eq}} = \frac{\lambda_{\text{eq}}}{(\rho c)_{\text{eq}}} \quad (1.32)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Çok katmanlı duvarın eşdeğer ısı iletim katsayısı ise;

$$\lambda_{\text{eq}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (1.33)$$

denklemleri ile hesaplanır (Tsilingiris, 2002).

1.6.1.4.2.3. Isı Geçirme Katsayısı

Yapısı ve kalınlığı belirli olan bir yapı bileşeninin iki tarafındaki hava sıcaklıklarının farkı 1°C (1K) iken, 1 metrekaresinden 1 saatte geçen ısı miktarına ısı geçirme katsayısı denir. Simgesi U ve birimi $\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Uygulamalarda ısı geçirme katsayısı için K

sembolü ve kcal/m²h°C birimi de kullanılmaktadır. Yapı bileşenlerinin ısı geçirme katsayısı (U) aşağıdaki formül ile hesaplanır (Öztürk, 2008b).

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_d} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (1.34)$$

Formüldeki yapı bileşenlerini oluşturan farklı özellikteki tabakaların ısı geçirgenlik dirençlerinin toplamı yapı bileşeninin ısı geçirgenlik direncidir.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (1.35)$$

O halde;

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{h_d} \quad \text{m}^2\text{K/W} \quad (1.36)$$

şeklinde yazılabilir. Birden fazla katmandan meydana gelen elemanın toplam ısı geçirme katsayısı;

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_d}} \quad \text{W/ m}^2\text{K} \quad (1.37)$$

şeklinde yazılabilir.

1.6.1.4.2.4. Dış Yüzey Rengi

Yapıları oluşturan dış kabuk, sürekli olarak değişen çevre sıcaklığı ve güneş ışınımı ile etkileşim halindedir. Bu etkileşim sonucu dış kabuk yüzey sıcaklığı ve bu yüzeyden transfer edilen ısı akısı zamana bağlı olarak sürekli değişir. Bu değişim, iç ortam şartlarını önemli ölçüde etkiler.

Yapı dış yüzey rengi, güneş ışınımının emilmesi/yutulması oranını etkiler. Beyaz ve beyaza yakın renkler ışınımı yansıtırken siyah ve siyaha yakın renklere önemli ölçüde

yutarlar. Yüzeyin yutma oranı arttıkça sistemin ısı kazancı da artar (Göksu, 1992). Duvar yüzey renginin bir ifadesi olan ve renk koyulaştıkça değeri artan (gerçek siyah cisimde maksimum değer 1'dir, $\alpha = 1$) yutma katsayısının ısı kazançları üzerine doğrudan etkisi vardır (Oğulata, 1996).

Herhangi bir renge sahip duvarın güneş ışınımından aldığı ısı miktarı, duvar yüzeyine gelen toplam ışınım miktarı (I_t) ve duvarın yutma katsayısının (α_g) çarpımıyla hesaplanır (Duffie ve Beckman 1991). Opak bileşenlerde geçirgenlik söz konusu değildir. Tablo 3' de bazı yapı malzemelerinin renklerine göre yutuculuk katsayıları verilmektedir.

$$q = \alpha_g I_t \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.38)$$

Tablo 3. Bazı malzemelerin yutma katsayısı (Özışık, 1985).

	Koyu renk	Doğal renk	Açık renk
Donatılı beton	0.91	0.65	0.30
Tuğla	0.91	0.70	0.30
Gaz beton	0.91	0.55	0.30

1.6.1.4.2.5. Faz Farkı ve Sönüm Oranı

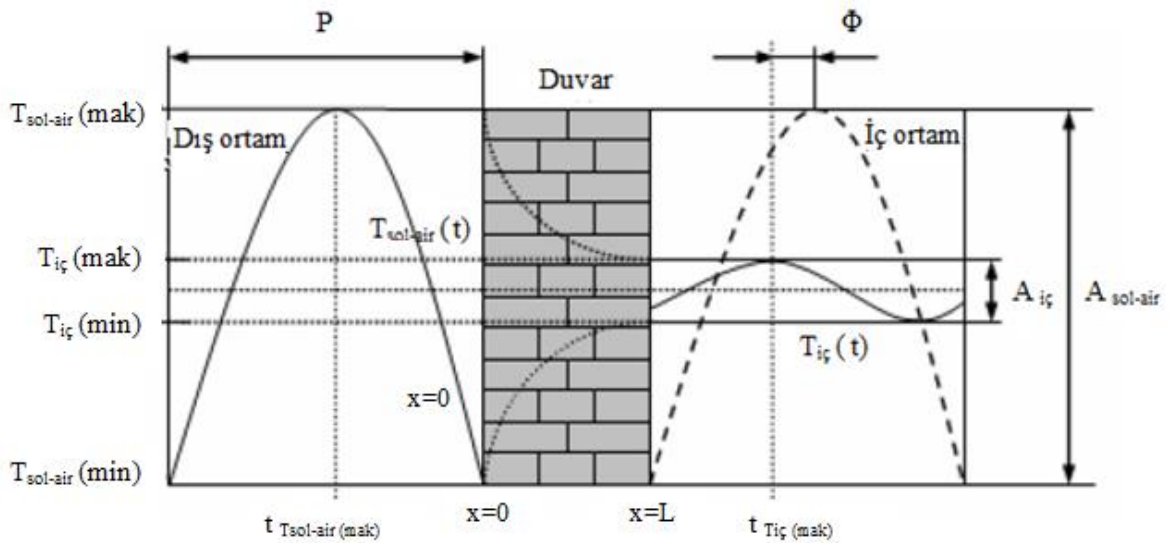
Sürekli değişen iklimsel koşullar altında kalan dış duvarlar, ısı kütlesi olarak ısıtma/soğutma yükünün azaltılmasında rol oynarlar. Duvar malzemesinin özelliklerine bağlı olarak güneş enerjisinden ve iç ortam ısısından depolama aracılığı ile kazanç sağlanarak, depolanan enerjinin iç mekâna aktarılması olanaklıdır. Dış duvarlarda opak ve saydam yüzeylerden elde edilen enerjinin belirlenmesinde maksimum ısı kazancı ve zamanı önemlidir. Ayrıca duvarı oluşturan katmanların termofiziksel özellikleri, bu katmanların konumu ve kalınlıkları binanın ısı performansının belirlenmesinde önemli parametrelerdir. Bu bağlamda faz farkı ve sönüm oranı, binanın ısı enerji depolamasında belirleyici rol oynar. Günlük sıcaklık değişimlerinin büyük olduğu bölgelerde, faz farkı ve sönüm oranının belirlenmesi, enerji etkin bina tasarımında ısıtma yükünün azaltılması için önemlidir (Göksal Özbalta ve Özbalta, 2012).

Bir hacme bitişik herhangi bir opak duvarın kalınlığı içinde, bir günlük periyod süresince herhangi bir anda, hacim ile çevre sıcaklıklarının farkına ve duvarın ısı özelliklerine bağlı olarak; sınır değerleri ve şekli buna göre yapılmış bir sıcaklık profili oluşur. Bu andan itibaren 24 saat sonra profil tekrar aynı konuma gelene kadar geçen

süreçte, dış opak duvar yüzeyinden gerçekleşen güneş emilimine bağlı olarak yeni sıcaklık dağılımları ve profiller oluşur (Ülgen, 1999).

Bu geçici durum süresince sıcaklık duvar içerisinde sinüzoidal olarak hareket etmekte ve bu hareketin genliği sıcaklık şiddetini, değişim süresi ise zamanı simgelemektedir. Sinüzoidal hareketin, opak duvarın dış yüzeyinde, güneş ışınımına ve dış ortam ile olan taşınımına bağlı olarak oluşan sıcaklığın (sol-air sıcaklık) şiddetine göre oluşmuş bir genliği vardır (Özel ve Pıhtılı 1997). Sinüzoidal sıcaklık değişimi duvarın kalınlığı boyunca ilerlerken genliği, malzemenin termofiziksel özelliklerine bağlı olarak gittikçe azalmakta ve duvarın iç yüzeyine başlangıçtaki değerinden küçülmüş olarak ulaşmaktadır (Asan ve Sancaktar, 1997).

Yapı elemanını oluşturan malzemelerin ısı depolama özelliklerini veya yalıtım kapasitelerini ifade eden bu iki ısıl özellik Şekil 16'da tanımlanmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi sinüzoidal sıcaklık dalgası, dış yüzeyden iç yüzeye ulaşana kadar geçen zaman, yani sol-air sıcaklığın en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark, faz farkı (Φ) olarak adlandırılır. Bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı, başka bir ifadeyle iç yüzey sıcaklığının genliğinin sol-air sıcaklığın genliğine oranı da, sönüm oranı (f) olarak adlandırılmaktadır. Bu iki özellik, yapıların ısıl depolama kapasitelerini hesaplamak için çok önemli karakteristiklerdir (Asan, 1998; Özel ve Pıhtılı 2005).



Şekil 16. Faz farkı (Φ) ve sönüm oranının (f) şematik gösterimi.

Faz farkı,

$$\Phi \begin{cases} t_{T_{i\check{c}}(\text{mak})} > t_{T_{\text{sol-air}}(\text{mak})} & \implies t_{T_{i\check{c}}(\text{mak})} - t_{T_{\text{sol-air}}(\text{mak})} \\ t_{T_{i\check{c}}(\text{mak})} < t_{T_{\text{sol-air}}(\text{mak})} & \implies t_{T_{i\check{c}}(\text{mak})} - t_{T_{\text{sol-air}}(\text{mak})} + P \\ t_{T_{i\check{c}}(\text{mak})} = t_{T_{\text{sol-air}}(\text{mak})} & \implies P \end{cases}$$

Burada, $T_{i\check{c}}(\text{mak})$ t ve $T_{\text{sol-air}}(\text{mak})$ t (saat); bir periyotluk süre içerisinde sırasıyla iç yüzey sıcaklığı ve sol-air sıcaklığın en yüksek değerine ulaştığı zamanı simgelemektedir. P (24 h); dalganın periyodudur. Sönüm oranı ise matematiksel olarak genliklerin biri birine oranı olup;

$$f = \frac{A_{i\check{c}}}{A_{\text{sol-air}}} = \frac{T_{i\check{c}}(\text{mak}) - T_{i\check{c}}(\text{min})}{T_{\text{sol-air}}(\text{mak}) - T_{\text{sol-air}}(\text{min})} \quad (1.39)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Özel ve Pıhtılı 2005).

Saydam bileşenler için ısı kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan faz farkı ve sönüm oranı yok varsayılabilir (Yılmaz, 2005).

1.6.1.5. Hacim İçerisindeki Öğelere ve Yüzelere İlişkin Özellikler

Hacim içerisindeki yüzeyler (bölme elemanlarını ve öteki nesnelerin yüzeyleri), saydam alanlardan hacme giren güneş ışınımının yutma çarpanı, iç hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığının değişimine etki etmektedir. Hacim içerisindeki nesnelerin (bölücü elemanlar ve öteki nesnelere) ısı iletkenlikleri, kalınlıkları, yoğunlukları ve özgül ısıları, iç hava sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı değişiminde etkili olmaktadır. Ayrıca hacim içerisindeki insanların metabolik yolla ürettiği ısı ve aydınlatma elemanlarından kazanılan ısı da hacmin toplam ısı kazancını ve dolayısıyla ısı konfor durumunu etkilemektedir (Zorer, G., 1995).

1.7. Yapı Kabuğundan Isı Geçişi

1.7.1. Isı Geçiş Türleri

Isı bir enerji türüdür ve ısı geçişi (transferi) ancak iki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında sıcaklık farkı bulunduğu zaman gerçekleşir. Q ile gösterilir ve birimi J (Joule)'dür. Bir maddenin iç enerjisindeki değişim miktarı o maddenin aldığı veya verdiği ısı enerjisi kadardır. Isı ile sıcaklık birbiriyle ilişkili iki kavramdır. Isı, sıcaklık farkından dolayı alınıp verilen enerjyken sıcaklık, bir molekülün ya da bir atomun ortalama kinetik enerjisiyle orantılı bir büyüklüktür. Maddenin moleküllerinin hızı artarsa sıcaklığı artar, yavaşlarsa sıcaklığı azalır. Sıcaklığın değişmesi için ısı alışverişi olmalıdır. Sıcaklık, farklı ısı enerjisinin hareketini sağlayan bir potansiyel fark ya da bir cismin ısınma durumunu gösteren bir büyüklüktür. Genellikle ısı geçişinde T ile gösterilir ve birimi de $^{\circ}C$ veya K ile gösterilir.

Termodinamiğin 2. yasasına göre, eğer iki ortam arasında sıcaklık farkı var ise, ısı yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama geçer. Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortamın ve yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle, ısı geçişi mekanizmasını birbirinden farklı üç temel başlık altında incelemek gerekir. Bunlar; İletim (kondüksiyon), Taşınım (konveksiyon), Işınım (radyasyon) şeklindedir (Altınışık, 2006).

Herhangi bir ısı geçişi olayı; belirtilenlerden sadece birisi ile herhangi ikisi ile ya da üçü ile birlikte meydana gelebilir. Genel olarak katı cisimlerde, ısı enerjisinin serbest elektron hareketiyle bir molekülden ya da atomdan diğerine geçmesi ile meydana gelen ısı geçişine 'ısı iletimi', sıvı ve gazlarda ısı enerjisinin, moleküllerin hareketleri sonucu nakledilmesiyle oluşan ısı geçişine 'ısı taşınımı' ve katıların, sıvıların ve gazların ısı enerjisini elektro manyetik dalgalar şeklinde yayınladıkları veya yuttukları ısı geçiş şekline de 'ısı ışınımı' denir (Halıcı ve Gündüz, 2007).

1.7.2. Isı Geçiş Hesaplarında Kullanılan Büyüklüklerin Tanımı

Isı geçiş türlerinin açıklanmasından önce ısı geçiş hesaplamalarında kullanılan bazı büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır.

1.7.2.1. Isı İletim Katsayısı (λ)

Isı iletim katsayısı (λ); birim kalınlıktaki bir cismin, iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının 1°C olması halinde, cismin birim yüzeyinden birim zamanda geçen ısı miktarıdır. Isı iletim katsayısı her madde için farklı değerlerde olup, malzemenin bileşimine, gözenekli olup olmamasına, malzeme içindeki nem miktarına, ısının geçtiği yöne vb. fiziksel ve metalürjik etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Literatürde (k) olarak da gösterilen ısı iletim katsayısının birimi SI birim sisteminde W/mK 'dir. Uygulamalarda ($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$) birimi de kullanılmaktadır. $1 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C} = 1,163 \text{ W/mK}$ 'dir.

1.7.2.2. Yüzeysel Isı Taşınım Katsayısı (h)

Herhangi bir yapı bileşeninin yüzeyi ile yanındaki hava arasındaki sıcaklık farkı 1°C (1 K) iken, yapı bileşeninin 1 metrekaresinden geçen ısı miktarına ısı taşınım katsayısı denir. Isı taşınım katsayısı h , akışkanın özellikleri olan viskozite, yoğunluk, ısı iletim katsayısı, akışın şekli, akış geometrisi, akışkanın hızına, yüzeyin pürüzlülüğüne ve konumuna bağlıdır. Bu nedenle bir yapı bileşeninin iç ve dış tarafındaki ısı taşınım katsayılarının değeri farklıdır. Literatürde (α) olarak da gösterilen ısı taşınım katsayısının boyutu SI birim sisteminde $\text{W/m}^2\text{K}$ 'dir. Uygulamalarda $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ birimi de kullanılmaktadır.

1.7.2.3. Yüzeysel Isı Taşınım Direnci ($1/h$)

Isı taşınım direnci ısı taşınım katsayısının aritmetik tersi olup, $1/h$ şeklinde gösterilir ve birimi $\text{m}^2\text{K/W}$ 'dir. Uygulamalarda $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ birimi de kullanılmaktadır (Halıcı ve Gündüz, 2007). Tablo 4'de çeşitli yapı bileşenlerinin hava ile temasta olan iç ve dış tarafındaki yüzeysel ısı taşınım direnç katsayıları verilmektedir.

Tablo 4. Yüzeysel ısı taşınım direnç değerleri (Eriç, 2002)

Sıra No.	Yapı Bileşeni Tipi	Yüzeysel Isı Taşınım Direnci	
		$1/h_i$ (m^2K/W)	$1/h_d$ (m^2K/W)
1	Dış duvar (Sıra No 2’de verilenin dışındaki dış duvarlar)	0,13	0,04
2	Arkadan havalandırılan giydirme cephe** dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvarlar		***
4	Tabana bitişik duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,078
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1.	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması halinde	0,13	***
7.2.	Yukarıya aşağıya ısı akışı olması halinde	0,17	
8	Bodrum tavanı	0,17	***
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları		0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0
<p>* Basitleştirmek amacıyla bütün durumlarda $1/h_i = 0,13 m^2K/W$ ve 4 ve 10. sıradaki durumlar hariç olmak üzere $1/h_d = 0,04 m^2K/W$ değerleri hesaplamalarda kullanılabilir.</p> <p>** Hava boşluklu sandviç duvarlarda Sıra No 1’de verilen değerler kullanılır.</p> <p>*** Yapı bileşeninin iç mekânda yer alması durumunda, hesaplamalarda iç ve dış yüzey ısı taşınım direnç değerleri aynı kabul edilmelidir.</p>			

1.7.2.4. Isı Geçirgenlik Değeri (Λ)

Herhangi bir yapı bileşeninin kalınlığı d metre, paralel iki yüzeyin sıcaklıkları farkı $1^\circ C$ ($1K$) iken, 1 metrekaresinden 1 saatte geçen ısı miktarına o bileşenin iki yüzeyi arasındaki ısı geçirgenliği denir. Simgesi Λ , birimi W/m^2K 'dir. Uygulamalarda $kcal/m^2h^\circ C$ birimi de kullanılmaktadır.

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d} \text{ W/m}^2\text{K} \quad (1.40)$$

1.7.2.5. Isı Geçirgenlik Direnci ($1/\Lambda$)

Isı geçirgenlik direnci ısı geçirgenliğinin aritmetik tersi olup, $1/\Lambda$ şeklinde gösterilir ve birimi $\text{m}^2\text{K/W}$ 'dir. Uygulamalarda $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ birimi de kullanılmaktadır. Literatürde (R) olarak ta ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{\Lambda} = \frac{d}{\lambda} \text{ m}^2\text{K/W} \quad (1.41)$$

1.7.2.6. Isı Geçirme Katsayısı (U)

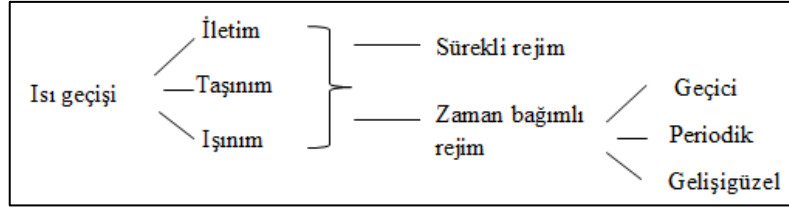
Bölüm 1.6.2.3 de detaylı olarak tanımlanmıştır.

1.7.2.7. Isı Geçirme Direnci ($1/U$)

Isı geçirme katsayısının aritmetik tersi olup, $1/U$ şeklinde gösterilir ve birimi $\text{m}^2\text{K/W}$ 'dir. Uygulamalarda $\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ birimi de kullanılmaktadır.

1.7.2.8. Isı Geçişi Rejimleri

Isı geçişi sürekli rejim halinde veya zaman bağılı olabilir. Bir sistem içerisinde sıcaklık zamanla sabit kalıyorsa iç enerji değişimi sıfırdır ve sürekli rejim ısı geçişinden bahsedilir. Eğer sistem içinde herhangi bir noktada sıcaklık zamanın fonksiyonu ise ısı geçişi zamana bağılıdır denir. Zaman bağılı ısı geçişinde eğer kâfi derecede bekletildikten sonra sistem sürekli rejim haline gelebiliyorsa geçici rejim ısı geçişi, herhangi bir noktadaki sıcaklık periodik olarak değişiyorsa periodik rejim ısı geçişi, zamanın gelişigüzel bir fonksiyonu ise kısaca zamana bağılı ısı geçişi olarak adlandırılır. Bu durumlar şematik olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir (Kakaç, 1998).



Şekil 17. Isı geçiş rejimleri

1.7.3. İletim ile Isı Geçişi

İletimle geçen ısı enerjisini ilk ifade eden Fransız bilim adamı J. B. Fourier (1822) olduğundan, bu ifadeye 'Fourier Isı İletim Kanunu' denir. Bu kanuna göre, Şekil 18'de görülen ve $T(x)$ sıcaklık dağılımına sahip, bir boyutlu düz duvar için ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$q'' = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (1.42)$$

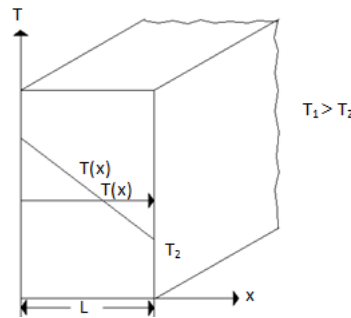
Bu ifade de;

q'' : Birim zamanda geçen ısı akısı, (W/m^2)

λ : Isı iletim katsayısı (W/mK)

$\frac{dT}{dx}$: Isı geçişi yönündeki sıcaklık gradyanı, (K/m)

(1.42) eşitliği ısı akısını, yani birim yüzeyden, birim zamanda geçen ısıyı vermektedir. Yüzey alanı A olan düz bir duvardan birim zamanda geçen ısı miktarı Q (W) ise, ısı akısı ile alanın çarpımına eşittir (Incropera ve Dewitt, 2001).



Şekil 18. İletimle bir boyutlu ısı geçişi

$$Q = q'' \cdot A \quad (1.43)$$

$$Q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \cdot A \quad (1.44)$$

Şekil 1.'de gösterildiği gibi, sıcaklık dağılımının doğrusal olduğu bir duvarda, sıcaklık gradyanı,

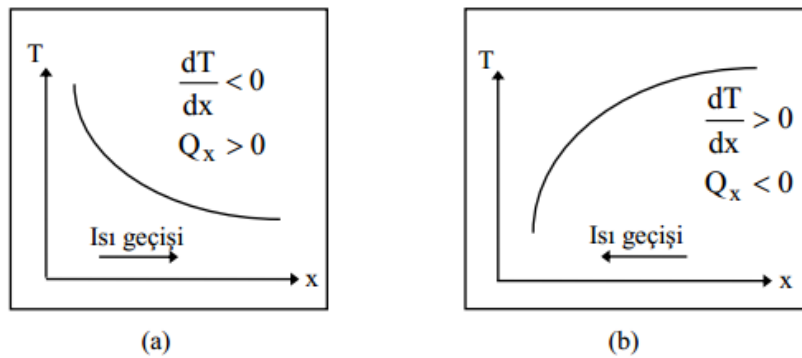
$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (1.45)$$

olarak ifade edilir ve birim zamanda geçen ısı miktarı da;

$$Q = -\lambda \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} \cdot A \quad (1.46)$$

olarak yazılır.

Eşitlik 1.46'daki (-) işareti ısı geçiş yönünü belirler. Şekil 19a'da görüldüğü gibi eğer sıcaklık x yönünde azalıyor ise dT/dx negatiftir ve ısı geçişi pozitif x yönünde olmalıdır. Şekil 19b'de görüldüğü gibi eğer dT/dx pozitifse q negatif olur ve bu durumda ısı akışı negatif x yönündedir (URL - 4, 2012).



Şekil 19. Sıcaklık değişim hızına bağlı olarak ısı geçiş yönleri

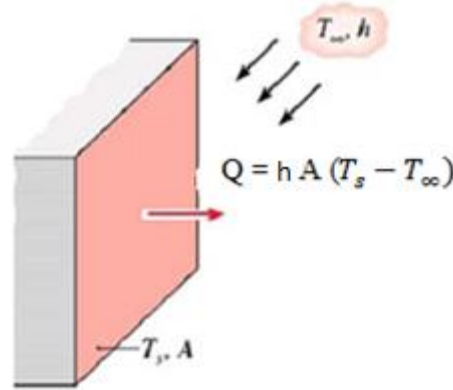
1.7.4. Taşınım İle Isı Geçişi

Isı taşınımı, sıcaklıkları farklı hareketli bir ortam ile bu ortamı çevreleyen yüzey arasında gerçekleşir. Taşınım ile ısı geçişi akışkan özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlıdır (Altınışik, 2006). Akış, bir fan, bir pompa veya atmosferik rüzgârlar gibi bir dış etki ile oluşuyorsa, zorlanmış taşınım söz konusudur. Buna karşın, doğal (veya serbest) taşınım da akış, akışkan içindeki sıcaklık değişimlerinin neden olduğu yoğunluk farklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri ile ilişkilidir (Incropera ve Dewitt, 2001).

T_s sıcaklığındaki yüzey ile temasta bulunan T_∞ sıcaklığındaki akışkan arasındaki ısı geçişi için kullanılan denklem,

$$Q = h A (T_s - T_\infty) \quad (1.47)$$

şeklindedir (Halıcı, Gündüz, 2007).



Şekil 20. Taşınım ile ısı geçişi

Bu bağıntı 1701 yılında Newton tarafından elde edilmiştir. Newton'un Soğutma Kanunu olarak adlandırılan bu bağıntı da;

Q : Birim zamanda geçen ısı miktarı, (W/m^2)

h : Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)

T_s : Yüzey sıcaklığı (K veya $^{\circ}C$)

T_∞ : Akışkan sıcaklığı

1.7.5. Işınım İle Isı Geçişi

Isıl ışınım, sonlu sıcaklığa sahip bir cismin yaydığı enerjidir. Işınım yayma, cismin yapısından bağımsız olarak, cismi oluşturan atomların ve moleküllerin elektron düzenlerindeki değişmelere yorumlanabilir. Işınım alanının enerjisi elektromagnetik dalgalar (veya fotonlar) ile aktarılır. İletim ve taşınım ile enerji aktarımı, bir maddi ortamın varlığını şart kılarken, ışınım için bu şart yoktur. Hatta ışınım ile aktarım, boşlukta daha etkin olarak gerçekleşir (Incropera ve Dewitt, 2001).

Siyah cisimden yayılan ısı ışınımı bağıntısını 1879'da Stefan ampirik olarak bulmuştur. 1884'de Boltzmann tarafından teorik olarak elde edilen bu bağıntı Stefan – Boltzmann ısı ışınımı kanunu olarak adlandırılır. Bu bağıntı,

$$Q_s = \sigma A T_y^4 \quad (1.48)$$

şeklinde verilir. Görüldüğü gibi ısı ışınımı ile yayılan ısı enerjisi, alanla doğru orantılı, mutlak sıcaklığının (K) ise dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Bağıntıda, Q_s ; siyah cismin ışınım enerjisi, σ ; Stefan – Boltzmann sabiti, A ; ısı ışınımı yapan yüzeyin alanı, T_y ; yüzeyin mutlak sıcaklığı (K)'dir. SI birim sisteminde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ şeklindedir. Yukarıdaki ifade sadece siyah cisimler için geçerlidir. Eğer siyah cisim başka bir siyah cisim ile çevrili ise, içteki cisimden dıştaki cisme net ısı ışınımı;

$$Q = \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (1.49)$$

şeklinde hesaplanır. Burada, A_1 ; içteki cismin yüzey alanı, T_1 ; içteki cismin ve T_2 , dıştaki cismin sıcaklıklarıdır. Siyah olmayan yani gerçek cisimlerde, ısı ışınımı ideal siyah cismin yaydığı ışınım enerjisinden daha azdır. Gerçek cismin yaydığı ısı ışınımı,

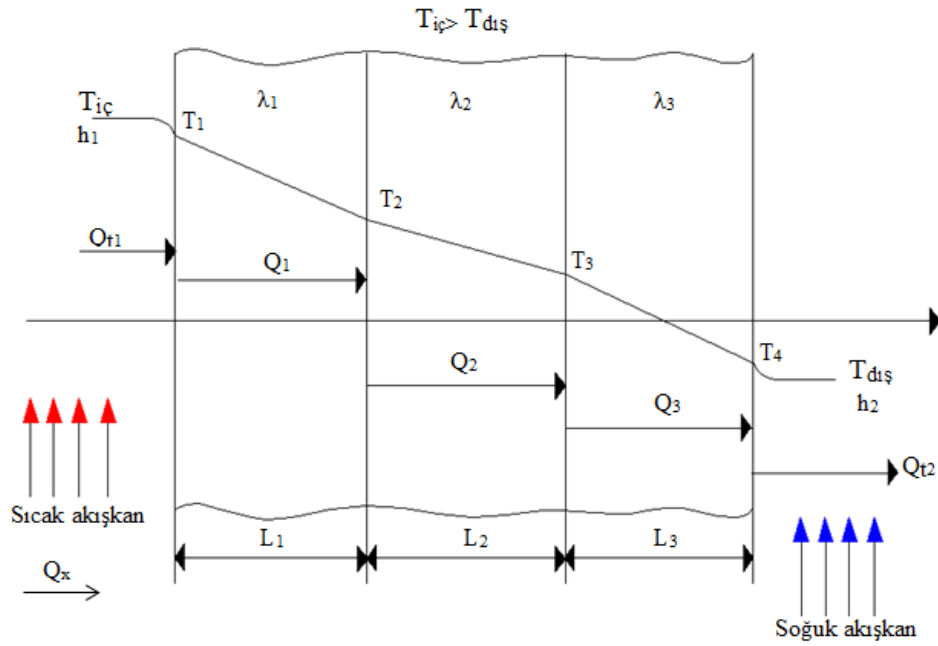
$$Q = \epsilon \sigma A T_y^4 \quad (1.50)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, ϵ ; gerçek cismin ışınım yayma katsayısı (ya da emissivite) olarak adlandırılır. $0 \leq \epsilon \leq 1$ aralığında değerler alan bu özellik, bir yüzeyin, siyah cisme göre ne denli etkin enerji yaydığıнын bir ölçüsüdür. Siyah cismin ışınım yayma katsayısı 1 olarak kabul edilir (Halıcı ve Gündüz, 2007).

1.7.6. Katmanlı Düzlem Duvarlarda Isı Geçişi

Konut, soğuk hava deposu, fırın vb. hacimlerin duvarları, ısı iletim katsayıları farklı olan birden fazla yapı elemanının, düzlem katmanlar şeklinde paralel olarak birleşmesinden meydana gelmiştir. Bu duvarlardaki ısı geçişi, iç hacimdeki akışkan ile dış hacimdeki akışkan arasında olmaktadır. Katmanlı düzlem duvarlardaki ısı geçişi Şekil 21'de gösterilmiştir. İç taraftaki akışkan sıcaklığı $T_{iç}$, dış taraftaki akışkan sıcaklığı $T_{dış}$ ve $T_{iç} > T_{dış}$, iç taraftaki ısı taşınım katsayısı h_1 , dış taraftaki h_2 ve duvarların ısı iletim katsayıları sırasıyla λ_1 , λ_2 ve λ_3 olarak gösterilmiştir.

Duvarlardan x yönünde, sürekli rejim halinde ve duvarlar içerisinde ısı üretimi olmaması ve termofiziksel özelliklerin sabit olması halinde termodinamiğin birinci kanununa göre her bir duvardan geçen ısılar birbirine eşit olur (Halıcı ve Gündüz, 2007).



Şekil 21. Katmanlı Düzlem Duvarlarda Isı geçişi

Bu sistemde her bir düzlem duvardan geçen ısılar aşağıdaki gibi yazılabilir.

Sıcak akışkan ile T_1 yüzeyi arasında taşınım ile geçen ısı miktarı; $Q_{t1} = h_1 A (T_{iç} - T_1)$,

1. katmandan iletimle geçen ısı miktarı; $Q_1 = \frac{\lambda_1 A}{L_1} (T_1 - T_2)$,

2. katmandan iletimle geçen ısı miktarı; $Q_2 = \frac{\lambda_2 A}{L_2} (T_2 - T_3)$,

3. katmandan iletimle geçen ısı miktarı; $Q_3 = \frac{\lambda_3 A}{L_3} (T_3 - T_4)$,

T_4 yüzeyi ile soğuk akışkan arasında taşınım ile geçen ısı miktarı; $Q_{t2} = h_2 A (T_4 - T_{dış})$,

Yukardaki 5 denklem taraf tarafa toplanıp aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$\frac{Q_{t1}}{h_1 A} + \frac{Q_1 L_1}{\lambda_1 A} + \frac{Q_2 L_2}{\lambda_2 A} + \frac{Q_3 L_3}{\lambda_3 A} + \frac{Q_{t2}}{h_2 A} = (T_{iç} - T_{dış}) \quad (1.51)$$

Yukarıda yapılan kabuller altında, termodinamiğin birinci kanununa göre her bir duvardan x yönünde geçen ısı miktarları birbirlerine eşit olacağından,

$$Q_{t1} = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{t2} = Q_x \quad (1.52)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (1.51) ve (1.52) den x yönünde birleşik düzlem duvarlardan geçen ısı miktarı için,

$$Q_x = \frac{T_{iç} - T_{dış}}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{\lambda_1 A} + \frac{L_2}{\lambda_2 A} + \frac{L_3}{\lambda_3 A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (1.53)$$

bağlantısı elde edilir. Eğer paralel duvar sayısı 1'den n'ye kadar ise ısı geçişi,

$$Q_x = \frac{T_{iç} - T_{dış}}{\frac{1}{h_1 A} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\lambda_i A} + \frac{1}{h_2 A}} \quad (1.54)$$

Katmanlı düzlem duvarlarda ısı geçişi hesaplarında kolaylık sağlaması açısından Newton soğutma kanunu ifadesine benzer bir biçimde tanımlanan, toplam ısı geçirme katsayısı U ile hesap yapma yoluna gidilebilir. Bu yaklaşımla,

$$Q_x = U A \Delta T \quad (1.55)$$

olup, ΔT toplam sıcaklık farkıdır. ΔT yerine $(T_{i\text{ç}} - T_{dış})$ de yazılabilir. Buradan,

$$Q_x = U A (T_{i\text{ç}} - T_{dış}) \quad (1.56)$$

bağlantısı elde edilir (Halıcı ve Gündüz, 2007).

Binayı etkileyen sıcaklık, sadece bina dışı çevre kuru termometre sıcaklığı değildir. Genellikle gündüz saatleri için söz konusu olabilecek, hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileri, dış sıcaklık olarak sol-air sıcaklıkların kullanılmasıyla birleşik olarak ele alınmaktadır. Sol-air sıcaklıkların değerleri, ayrıca kabuk bileşeninin optik özelliklerine ve bileşenin saydam olması durumunda toplam ısı geçirme katsayısına da bağlıdır. Güneş ışınımı miktarının yöne göre değişim göstermesi nedeniyle, kabuk bileşenlerini etkileyen sol-air sıcaklıklar da, bileşenin yönlendiriliş durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Oral Koçlar ve Akşit, 2001). Sol-air sıcaklık, literatürde eşdeğer çevre sıcaklığı olarak da ifade edilmektedir.

- Opak Bileşenleri Etkileyen Sol-Air Sıcaklıkların Hesaplanması:

Opak bileşenin yüzeyini, güneş ışınımı yutuculuk katsayısına ve yönlendiriliş durumuna bağlı olarak, herhangi bir anda etkileyen sol-air sıcaklık aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (Çengel, 1998).

$$T_{\text{sol-air}} = T_{dış} + \frac{\alpha I}{h_{dış}} - \frac{\varepsilon \sigma (T_{dış}^4 - T_y^4)}{h_{dış}} \quad (1.57)$$

$$h_{dış} = h_t + h_1 \quad (1.58)$$

Bu ifadeler de;

$h_{dış}$: Duvar dış yüzey toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)

h_t : Duvar dış yüzey ısı taşınım katsayısı

h_1 : Duvar dış yüzey ısı ışınım katsayısı

$T_{dış}$: Dış ortam kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}C$)

α : Duvar dış yüzey yutma katsayısı (boyutsuz, -)

I : Duvar yüzeyine gelen toplam güneş ışınım şiddeti (W/m^2K)

$\frac{\varepsilon \sigma (T_{dış}^4 - T_y^4)}{h_{dış}}$: Uzun dalga ışıınım için düzeltme faktörü olup yatay yüzeyler için 4°C, dik yüzeyler için 0°C alınır. Bu durumda dik yüzeyler için sol-air sıcaklık değeri;

$$T_{sol-air} = T_{dış} + \frac{\alpha I}{h_{dış}} \quad (1.59)$$

ifadesiyle hesaplanır.

Toplam güneş ışıınım şiddeti, direkt ve yaygın ışıınım şiddetlerinin toplamına eşittir. Bileşenin gölgede olduğu durumlar için ise, direkt ışıınımın değeri sıfır olarak alınır.

Günlük ortalama sol-air sıcaklık ise aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır (ASHRAE, 1977).

$$T_{sol-air \text{ ort}} = \sum_{i=1}^{24} (T_{sol-air})_i / 24 \quad (1.60)$$

- Saydam Bileşenleri Etkileyen Sol-Air Sıcaklıkların Hesaplanması:

Saydam bileşenin tek cam veya çift cam tabakasından oluşması durumuna göre, herhangi bir anda etkili olan sol-air sıcaklık aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilir (Berköz, vd., 1995; Mackey ve Wright 1944).

$$T_{sol-air \text{ tc}} = T_{dış} + I_d (\alpha_d / h_d + \tau_d / U_{tc}) + I_y (\alpha_y / h_d + \tau_y / U_{çc}) \quad (1.61)$$

$$T_{sol-air \text{ çc}} = T_{dış} + I_d [\tau_{çcd} / U_{çc} + \alpha_{dd} / h_d + \alpha_{id} (1/ h_d + 1/ h_s)] + [\tau_{çcy} / U_{çc} + \alpha_{dy} / h_d + \alpha_{iy} (1/ h_d + 1/ h_s)] \quad (1.62)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

$T_{sol-air \text{ tc}}$: Tek cam tabakalı saydam bileşenleri herhangi bir anda etkileyen sol-air sıcaklıklar, °C

$T_{sol-air \text{ çc}}$: Çift cam tabakalı saydam bileşenleri herhangi bir anda etkileyen sol-air sıcaklıklar, °C

$T_{dış}$: Dış hava sıcaklığı

I_d, I_y : Saydam bileşeni ele alınan anda etkileyen direkt ve toplam yaygın (yaygın gök yerden yansımış) ışıınım şiddetleri, W/m²

Bileşenin gölgede olması durumunda direkt ışıınım şiddetinin değeri sıfır olarak alınır.

U_{tc}, U_{cc} : Saydam bileşenin sırasıyla tek camlı ve çift camlı olması durumlarında toplam ısı geçirme katsayısı, W/m^2K

h_d : Dış yüzeysel ısı taşınım katsayısı, W/m^2K

h_s : Çift cam tabaka arasındaki havanın taşınım katsayısı, W/m^2K

α_d, α_y : Tek cam tabakasının direkt ve yaygın güneş ışınımına karşı yutuculuğu, boyutsuz

τ_d : Tek cam tabakasının direkt güneş ışınımına karşı geçirgenliği, boyutsuz

τ_y : Tek cam tabakasının yaygın güneş ışınımına karşı geçirgenliği, boyutsuz

τ_{cd} : Çift cam tabakasının direkt güneş ışınımına karşı geçirgenliği, boyutsuz

τ_{cy} : Çift cam tabakasının yaygın güneş ışınımına karşı geçirgenliği, boyutsuz

α_{dd} : Çift tabakalı camda, dıştaki tabakanın direkt ışınımına karşı yutuculuklarının içteki tabakadan etkilenecek aldıkları değerler, boyutsuz

α_{dy} : Çift tabakalı camda, dıştaki tabakanın yaygın ışınımına karşı yutuculuklarının içteki tabakadan etkilenecek aldıkları değerler, boyutsuz

α_{id} : Çift tabakalı camda, içteki tabakanın direkt ışınımına karşı yutuculuklarının dıştaki tabakadan etkilenecek aldıkları değerler, boyutsuz

α_{iy} : Çift tabakalı camda, içteki tabakanın yaygın ışınımına karşı yutuculuklarının dıştaki tabakadan etkilenecek aldıkları değerler, boyutsuz

Sol-air sıcaklık değerlerini düşük tutmak için dış yüzeyler en ideali beyaz olmak üzere açık renklere boyanmalı ve olabildiğince pürüzlü yapılmalıdır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma 3 aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşamada; çalışma amacı doğrultusunda hazırlanan deney düzeneği, yapım sistemi ve düzende kullanılan malzemelere ait detaylar verilmiştir. Daha sonra düzeneğin çalışma prensibi anlatılarak, deneysel çalışmada kullanılan ölçüm sistemi ve ölçüm aletleri tanıtılmıştır. İkinci aşamada; örnek duvar kuruluşlarının ısı performansını incelemek amacıyla kullanılan hesap yöntemi açıklanmıştır. Üçüncü aşamada ise; deneysel ölçümlerin sonuçları grafiksel ve sayısal yöntemlerle değerlendirilmiştir.

2.1. Deney Düzeneği

Çalışmada farklı optik ve termofiziksel özelliklere sahip duvar kuruluşlarının dış yüzeylerine opak ve saydam yalıtım malzemeleri uygulanmıştır. Daha sonra bu duvarların yaz ve kış aylarında atmosferik koşullar etkisindeki ısı davranışlarının belirlenmesi amacıyla deneysel ölçümler yapılmıştır. Ölçümler, iç mekânlarda ek ısıtmanın istendiği dönemi (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) ve istenmediği dönemi temsil eden aylarda (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül), toplamda 1 yıllık dönemi kapsamaktadır.

KTÜ Bilimsel Araştırma Projesi Fonu tarafından desteklenen bu çalışmada kurulan deney düzeneği;

- iç ortam konfor koşullarının incelendiği odalar (5 adet),
- örnek duvar kuruluşları,
- ölçüm sistemi,
- kayıt sistemi

olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır.

Bu düzener, Trabzon'da KTÜ Kampüsü içinde bir arsaya kurulmuştur. Deneysel çalışmanın yapılacağı bu arsanın seçilmesinin nedeni, tamamen boş olması ve üzerinde deney düzeneğine gölge oluşturacak hiçbir (yapı vb.) engel bulunmamasıdır. Çalışmanın yapılacağı Trabzon ili, Doğu Karadeniz Bölgesinde olup, deniz etkisinde kalan ılıman

nemli bir iklime sahiptir. Trabzon'un iklimsel verilerinin uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerleri Tablo 5. de gösterilmektedir.

Tablo 5. Uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama iklimsel değerler (1960-2012)

Aylar	ocak	subat	mart	nisan	mayıs	haziran	temmuz	agustos	eylül	ekim	kasım	aralık
Ort. Sıcaklık (°C)	7.4	7.3	8.5	11.8	15.9	20.4	23.2	23.3	20.3	16.5	12.7	9.6
Ort. En Yüksek Sıc. (°C)	10.9	10.9	12.2	15.6	19.1	23.5	26.2	26.7	23.9	20.1	16.4	13.2
Ort. En Düşük Sıc. (°C)	4.6	4.3	5.5	8.7	12.9	17.1	20	20.4	17.3	13.6	9.6	6.6
Ort. Güneşlen. Süresi (saat)	2.7	3.3	3.5	4.3	5.6	7.1	5.9	5.5	5	4.5	3.7	2.7
Ort. Güneşlen. Şiddeti (W(m2))	136.0	182.7	227.5	292.5	311.5	298.1	261.9	215.0	152.3	115.2	90.1	8.0
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	13.2	12.5	14	14.9	13.5	11.4	8.3	9.7	11.7	13.5	12.5	13

Deney düzeneğinde yaşama hacmini örnekleyen odalar beş adet olup, birbirinden ayrıık inşa edilmişlerdir (Şekil 11, 12). Mekân ölçüleri eşit olan deney odalarının güney duvar kuruluşlarında farklı düzenlemelerle (havalandırmalı, havalandırmaz) farklı yapı malzemeleri ve yalıtım malzemeleri kullanılmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Deney odalarının güney duvar kuruluşları

1. ODA	2. ODA	3. ODA	4. ODA	5. ODA
Opak yalıtımlı, Havalandırmaz (tuğla)	Saydam yalıtımlı, Havalandırmaz (betonarme)	Saydam yalıtımlı, Havalandırmalı (tuğla)	Saydam yalıtımlı, Havalandırmalı (betonarme)	Saydam yalıtımlı, Havalandırmaz (tuğla)

Odaların iç hacmi 4,5 m², dış boyutları ise 1,8m x 2,5m x 3,0m dir. Mevcut literatür incelendiğinde saydam yalıtımın yapı kabuğuna uygulanması ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların çoğunun laboratuvar koşullarında, simülasyon programları kullanılarak tek bir duvar kuruluşu üzerinde gerçekleştirildiği görülmüştür. Atmosferik koşullar altında yapılan sınırlı sayıda çalışmada ise saydam yalıtım malzemesi, farklı iklim bölgelerinde, farklı tip ve boyutlarda, farklı ölçeklerde tasarlanan hacimlerde veya mevcut binaların cephelerinde uygulanmıştır (Lida, 2002; Platzer ve Goerd, 2000; Voss, 2000; Yang vd., 2000; Ramadan and Athienitis, 1998; IEA, 1997; Dalenback, 1996; Voss vd., 1996; Peupartier ve Michel, 1995; Braun vd., 1992). Ve bu çalışmalar, saydam yalıtım malzemesinin optimum tasarım parametrelerinde henüz bir standart geliştirilmesinde yeterli değildir. Bu nedenle çalışmada inşa edilen odaların boyutları, kullanılan saydam

yalıtımın birim boyutları dikkate alınarak ve ılımlı nemli iklim bölgesi için önerilen formlardan olan dikdörtgen form tercih edilerek belirlenmiştir. Odaların biçim faktörü (planda genişliğin derinliğe oranı) 1/1.4'tür.

Deney odalardan ilki (1. oda) referans oda olarak tasarlanmış, hiçbir yüzeyine saydam yalıtım malzemesi uygulanmamıştır. 1. odanın tüm duvarları tuğla ile örülüp, dıştan opak yalıtım uygulanmıştır. Diğer dört odanın güney cephelerini oluşturan duvarların dış yüzeylerine bir çerçeve içinde saydam yalıtım malzemesi uygulanmıştır (Şekil 22, 23). Bu dört odanın diğer duvarları da, 1.oda gibi tuğla ile örülüp, dıştan opak yalıtım uygulanmıştır.



Şekil 22. Deney düzeneğinin genel görünümü (güney cephesi)



Şekil 23. Deney düzeneğinin genel görünümü (kuzey cephesi)

Odaları oluşturan duvarlarda, Türkiye'deki konutlarda günümüzde yaygın olarak kullanılan duvar kuruluşlarından olan tuğla ve betonarme perde duvar kullanılmıştır. Betonarme perde duvar kuruluşları son dönemde ülkemizde TOKİ (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı) tarafından yaptırılan konutlarda oldukça fazla tercih edilmektedir. Aynı zamanda bu malzemeler, duvar kuruluşlarında kullanılan diğer malzemelere göre yüksek ısı depolama özelliklerine sahip olmalarından dolayı da tercih edilmiştir (Tablo 7). Odaların sadece güney duvarları örnek duvar kuruluşu olarak incelenmiştir. Diğer duvarlar, zemine oturan döşemeler ve tavan yüzeyleri ısı transferlerini engellemek amacıyla opak yalıtım malzemesi ile dıştan yalıtılmıştır. Tüm odaların güney duvarları hariç tavan ve döşemelerinde aynı özellikte ve kalınlıkta (TSE 825 standardına göre Trabzon'un dâhil olduğu 2. iklim bölgesi için uygun ısı iletkenlik değerini, $U_d=0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ sağlayan) malzemeler kullanılmıştır.

Tablo 7. Bazı dış duvar malzemelerinin yoğunluk değerleri (TSE 825)

	Beton (donatılı)	Tuğla (yatay delikli)	Bims blok	Gaz beton blok
Yoğunluk (kg/m^3)	2400	1000	550	400

Deney odalarının dış duvarlarına saydam yalıtım malzemesi uygulamadan önce duvar yüzeyleri siyah boya ile boyanmıştır. Dış yüzeyin renginin koyulaştırılması, güneş ışınımı yutma oranını yükselterek sistemin güneş kazancını da arttırmaktadır.

Saydam yalıtımlı havalandırmasız güney duvar kuruluşuna sahip 2. ve 5. odalarda, yoğunlaşmayı önlemek amacıyla saydam yalıtım malzemesi ile duvar dış yüzeyi arasında 2 cm boşluk bırakılmıştır. Bu boşluk boyutu, saydam yalıtım malzemesinin üretici firmasının tavsiye ettiği boyut dikkate alınarak belirlenmiştir (URL-5, 2011).

Saydam yalıtımlı havalandırılmalı 3. ve 4. odalarda güney duvar kuruluşu, Trombe duvar çalışma prensibine göre tasarlanmıştır. Bu odaların güney duvarlarında saydam yalıtım malzemesi ile duvar dış yüzeyi arasında, oda yüksekliği ve ısı akışı arasındaki ilişki dikkate alınarak 10 cm hava boşluğu bırakılmıştır. Duvarların alt ve üst kısmına da diğer odalardan farklı olarak 25x50 cm boyutlarında havalandırma boşlukları bırakılmıştır (Şekil 24).

3. ve 4. odaların güney duvarlarındaki tüm havalandırma boşluklarının boyutları, daha önce literatürde Trombe duvarla ilgili yapılan çalışmalar değerlendirilerek belirlenmiştir

(Chel vd., 2008; Stazi vd., 2008; Shen vd., 2007; Chen vd., 2006; Onbaşıoğlu ve Eğrican, 2002; Gan, 1998). Deney düzeneğindeki tüm odalara ait planlar, kesitler ve detaylar bir sonraki bölümde tablolar halinde verilmiştir (Tablo 9, 10, 11, 12, 13).



Şekil 24. Saydam yalıtım malzemesi uygulanmasından önce boyanan siyah yüzeyler ve duvarda açılan havalandırma boşlukları

Duvar kuruluşlarında kullanılan PMMA esaslı saydam yalıtım malzemesi Türkiye’de üretilmediği için Almanya’dan getirilmiştir. ‘Kapipane’ olarak da adlandırılan saydam yalıtım malzemesini oluşturan borucuklar, yaklaşık 2,5 mm çapında dairesel kesitli olup, duvar yüzeyine dik gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Saydam yalıtımı atmosferik koşullardan korumak için dış yüzeyine 5 mm kalınlığında temperli cam yerleştirilmiştir. Cam ve çerçeve arasından ısı kaybını önlemek için cam etrafına hem fitil yerleştirilmiş hem de silikon uygulanmıştır.



Şekil 25. Deney düzeneğinde kullanılan saydam yalıtım malzemesi (Kapipane)

Özel üretimle satışa sunulan malzemenin kullanılabilen maksimum kalınlığı 16 cm'dir. Üretilen maksimum boyutlar ise 140x100 cm'dir. Malzeme çok hassas ve kırılabilir bir yapıda olduğundan taşıma ve uygulamada oluşabilecek kırılma vb. sorunlarına karşı üretim boyutları sınırlı tutulmaktadır. Bu nedenle düşey uygulamalarda 100 cm'den sonra desteklenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu malzeme maksimum 80 °C sıcaklığa kadar dayanıklılık göstermektedir (URL-5, 2011).

Çalışmada ölçüm yapılan odaların kat yüksekliği, günümüzdeki konutlarda standart kat yüksekliğine benzer olması amacıyla döşemeden döşemeye 250 cm olarak bırakılmıştır. Güney cephesinde kullanılan saydam yalıtım malzemesinin birim adet boyutları ise üretim boyutları ve oda boyutları göz önünde bulundurularak 100x100 cm olarak seçilmiştir. Bu malzemeler güney cephesindeki duvar dış yüzeyine, düşeyde iki tanesi üst üste koyularak uygulanmıştır.


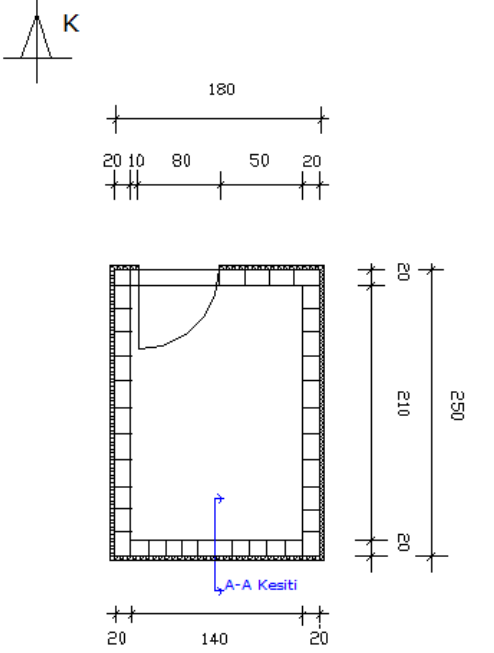
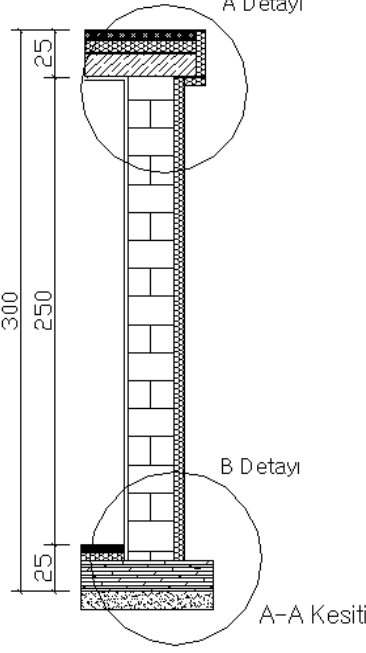
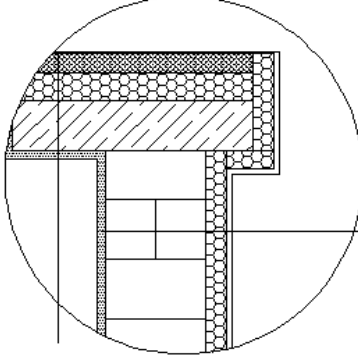
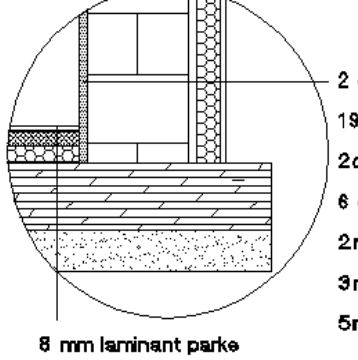
Saydam yalıtım malzemesinin kalınlığı arttıkça U değeri azalmaktadır. Bu nedenle çalışmada odaların duvar boyutları ve kalınlıkları dikkate alınarak 8 cm saydam yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Malzemenin yaklaşık yoğunluğu 30 kg/m³, U değeri ise 0,9 W/m²K'dir (Tablo 8).

Tablo 8. Saydam yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri (URL-5, 2011)

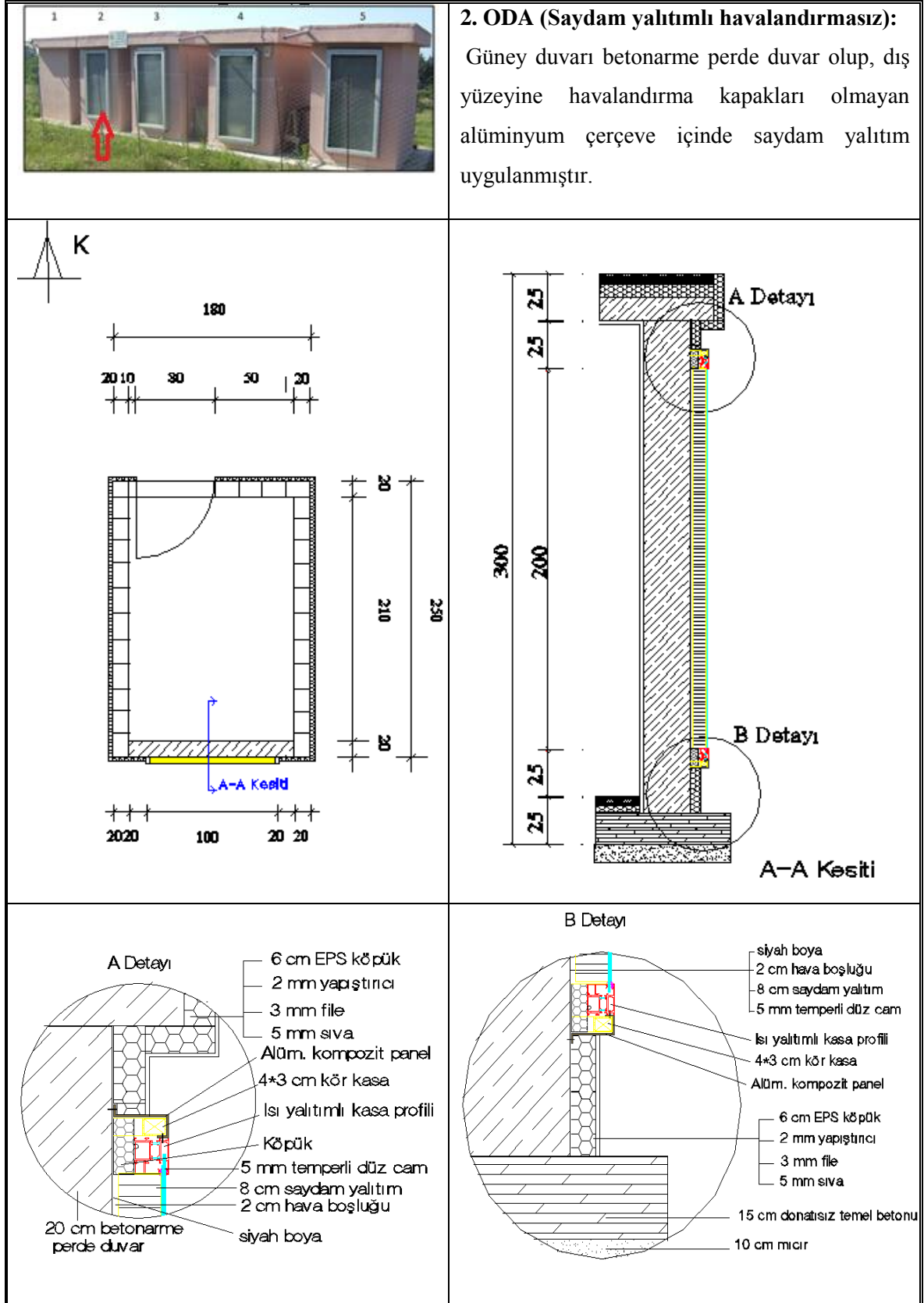
Kalınlık	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	120 mm
U (W/m ² K)	2.0	1.6	1.4	1.1	0.9	0.7
Tv (ışık iletimi)	%91	% 90	% 90	% 89	% 89	% 88
TSET (Toplam güneş enerjisi geçirgenliği)	%91	% 91	% 91	% 90	% 90	% 88

2.1.1. DeneY Düzeneğinin Şematik Plan ve Kesitleri

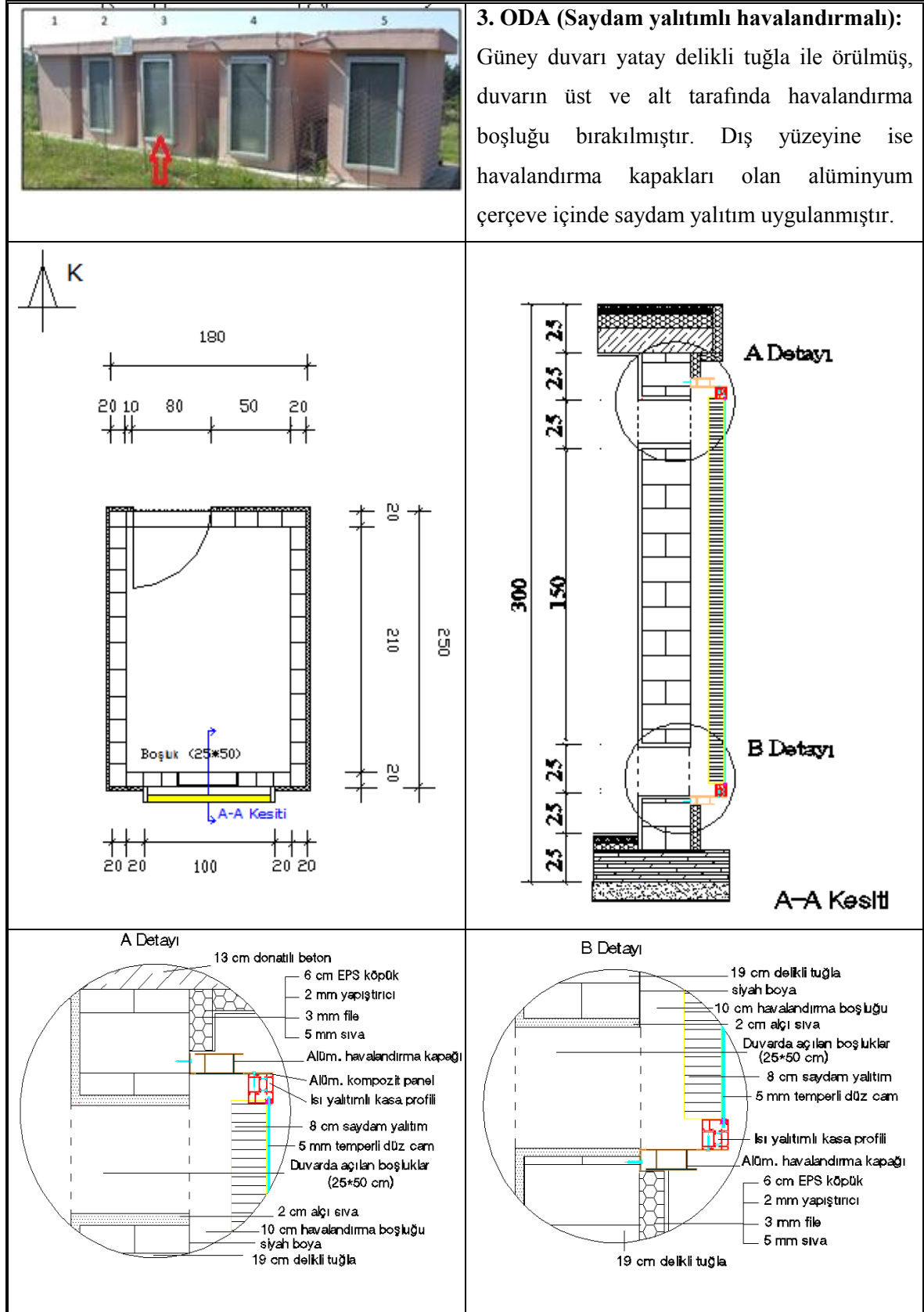
Tablo 9. 1. Odanın Plan, Kesit ve Detayları

	<p>1. ODA (Opak yalıtımlı): Güney duvarı yatay delikli tuğla ile örölmüş olup, dış yüzeyine tamamen opak yalıtım uygulanmıştır.</p>
 <p>Plan view showing dimensions: 180 cm total width, 250 cm total height. Section lines K and A-A are indicated.</p>	 <p>Section A-A showing wall and floor details. Dimensions: 25 cm top layer, 300 cm wall height, 250 cm wall thickness, 25 cm bottom layer.</p>
<p>A Detayı</p>  <ul style="list-style-type: none"> 2 cm alçı sıva 19 cm delikli tuğla 2 cm kaba sıva 6 cm XPS köpük 2 mm yapıştırıcı 3 mm file 5 mm sıva <ul style="list-style-type: none"> 3 mm keğeli membran 5 cm çimento harçlı şap 8 cm XPS köpük 13 cm donatılı beton 2 cm alçı sıva 	<p>B Detayı</p>  <ul style="list-style-type: none"> 2 cm alçı sıva 19 cm delikli tuğla 2 cm kaba sıva 6 cm EPS köpük 2 mm yapıştırıcı 3 mm file 5 mm sıva <ul style="list-style-type: none"> 8 mm laminant parke 2 mm polietilen şilte 5 cm çimento harçlı şap 6 cm EPS köpük 3 mm keğeli membran 15 cm donatsız temel betonu 10 cm mıcır

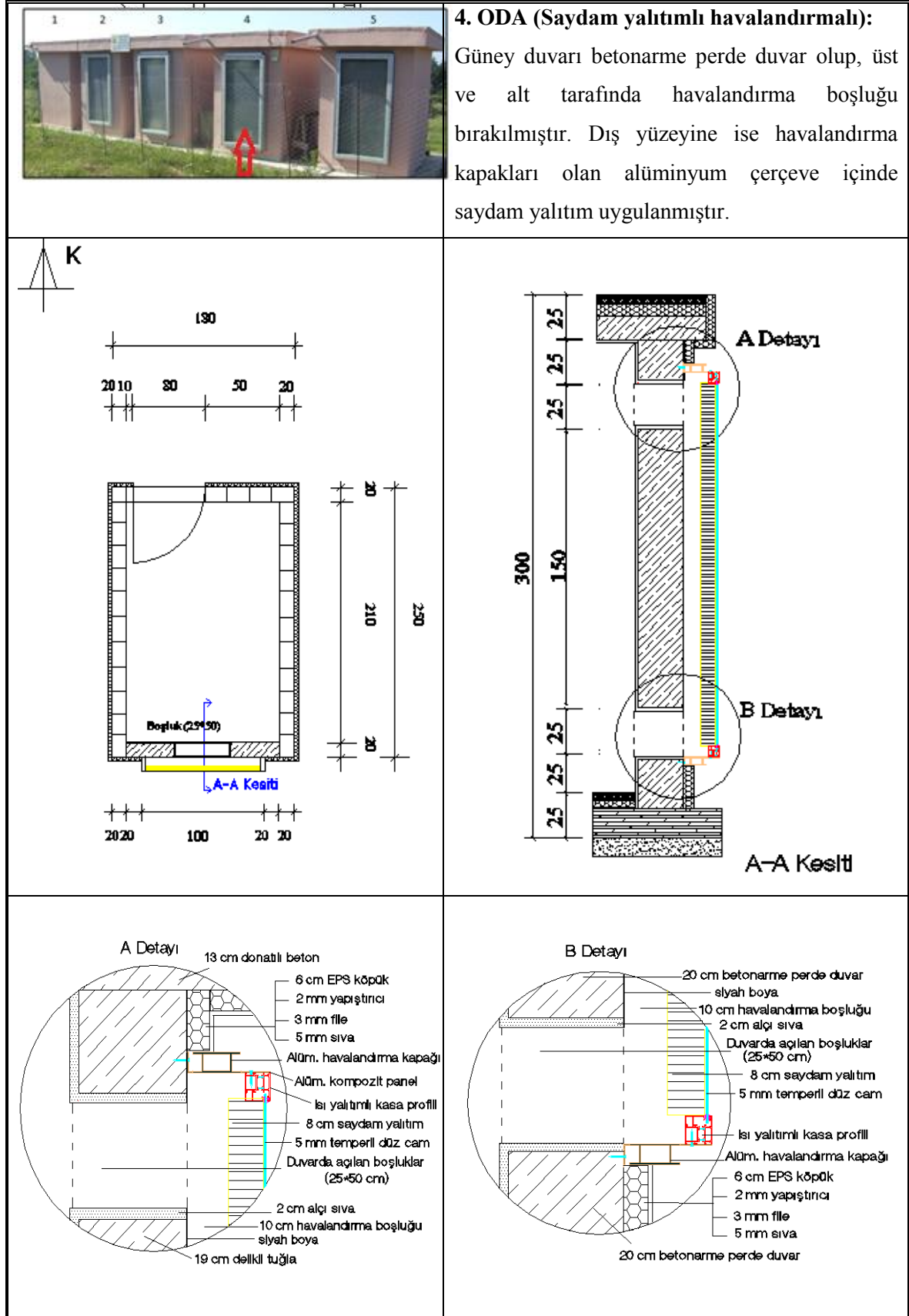
Tablo 10. 2. Odanın Plan, Kesit ve Detayları




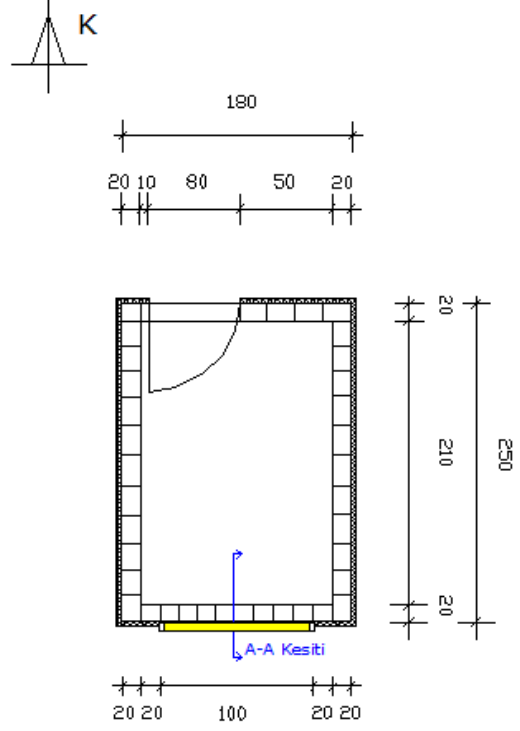
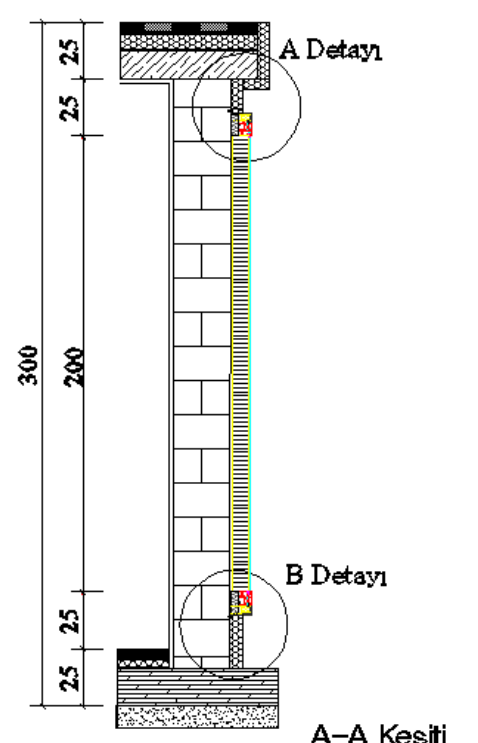
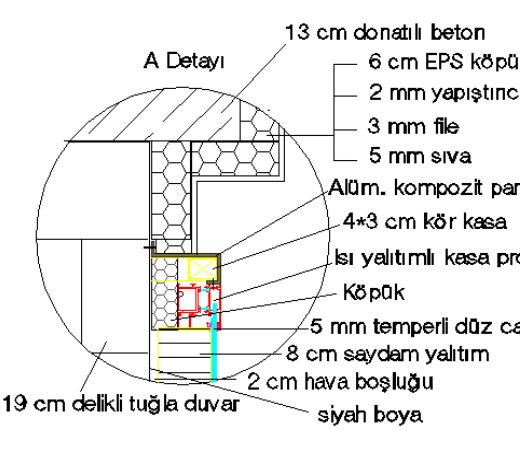
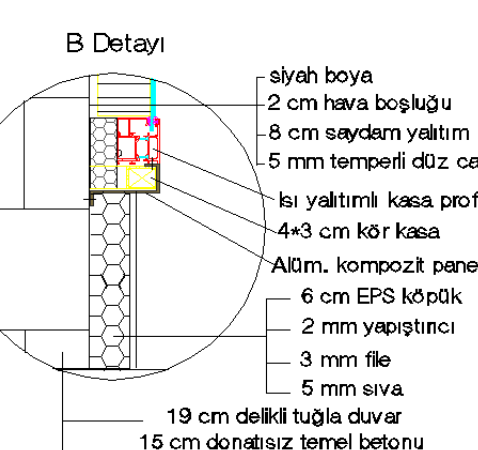
Tablo 11. 3. Odanın Plan, Kesit ve Detayları



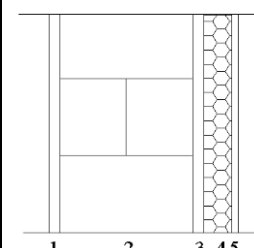
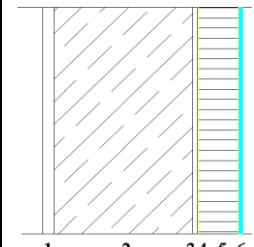
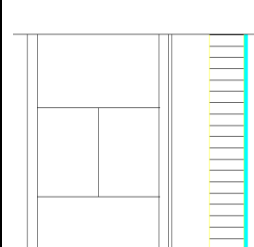
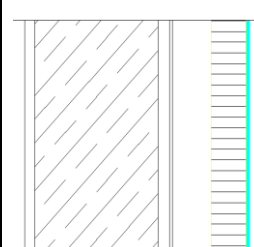
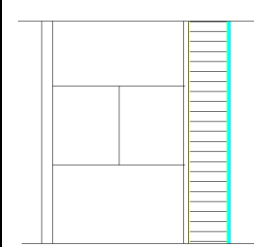
Tablo 12. 4. Odanın Plan, Kesit ve Detayları



Tablo 13. 5. Odanın Plan, Kesit ve Detayları

	<p>5. ODA (Saydam yalıtımlı havalandırmasız): Güney duvarı yatay delikli tuğla ile örülmüş olup, dış yüzeyine havalandırma kapakları olmayan alüminyum çerçeve içinde saydam yalıtım uygulanmıştır.</p>
 <p>Plan view showing dimensions: 180 cm width, 250 cm depth. Section line A-A is indicated at the bottom.</p>	 <p>Section A-A showing wall construction details and dimensions: 300 cm total height, 200 cm wall height, 25 cm top and bottom layers.</p>
 <p>A Detayı</p> <ul style="list-style-type: none"> 13 cm donatılı beton 6 cm EPS köpük 2 mm yapıştırıcı 3 mm file 5 mm sıva Alüm. kompozit panel 4*3 cm kör kasa Isı yalıtımlı kasa profili Köpük 5 mm temperli düz cam 8 cm saydam yalıtım 2 cm hava boşluğu 19 cm delikli tuğla duvar siyah boya 	 <p>B Detayı</p> <ul style="list-style-type: none"> siyah boya 2 cm hava boşluğu 8 cm saydam yalıtım 5 mm temperli düz cam Isı yalıtımlı kasa profili 4*3 cm kör kasa Alüm. kompozit panel 6 cm EPS köpük 2 mm yapıştırıcı 3 mm file 5 mm sıva 19 cm delikli tuğla duvar 15 cm donatısız temel betonu

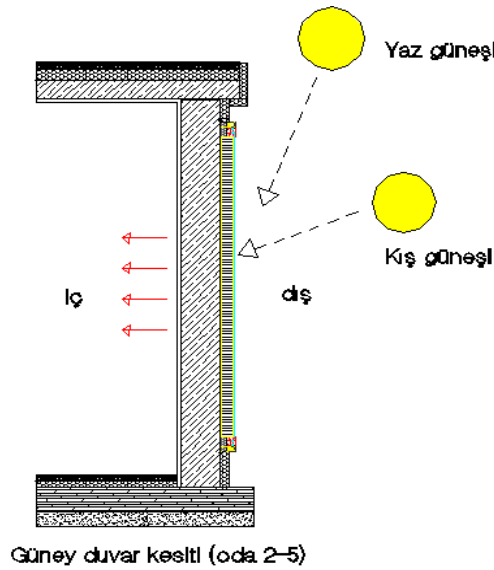
Tablo 14. Odaların dış duvar kuruluşlarının (kesitler) ısı geçişine ilişkin fiziksel özellikleri (TSE 825 Standardı, Eriç, 2002, * hesaplamalarda dikkate alınmamıştır)

DUVAR KURULUŞLARI		No	d (m)	Malzeme ismi	λ (W/m K)	ρ (kg/m ³)	$a * 10^6$ (m ² /s)	c (kJ/K gK)	
ODA 1 (Opak yalıtımlı)		1	0,02	Alçı sıva	0,34	1700	0,20	0,92	
		2	0,14	Yatay delikli tuğla	0,45	1000	0,49	0,92	
		3	0,02	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
		4	0,06	XPS Köpük	0,03	30	0,91	1,38	
		5	0,01	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
ODA 2 (Saydam yalıtımlı havalandırmasız)		1	0,02	Alçı sıva	0,34	1700	0,20	0,92	
		2	0,20	Betonarme perde d.	2,5	2400	0,90	0,96	
		3	0,02	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
		4	*	Siyah boya					
		5	0,08	Saydam yalıtım	0,2	30	4,40	1,51	
		6	0,005	Temperli cam	0,81	2500	0,38	0,84	
ODA 3 (Saydam yalıtımlı havalandırmalı)		1	0,02	Alçı sıva	0,34	1700	0,20	0,92	
		2	0,14	Yatay delikli tuğla	0,45	1000	0,49	0,92	
		3	0,02	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
		4	*	Siyah boya					
		5	0,10	Hava boşluğu	0,02	1,2	0,02	1,05	
		6	0,08	Saydam yalıtım	0,2	30	4,40	1,51	
		7	0,005	Temperli cam	0,81	2500	0,38	0,84	
ODA 4 (Saydam yalıtımlı havalandırmalı)		1	0,02	Alçı sıva	0,34	1700	0,20	0,92	
		2	0,20	Betonarme perde d.	2,5	2400	0,90	0,96	
		3	0,02	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
		4	*	Siyah boya					
		5	0,10	Hava boşluğu	0,02	1,2	0,02	1,05	
		6	0,08	Saydam yalıtım	0,2	30	4,40	1,51	
		7	0,005	Temperli cam	0,81	2500	0,38	0,84	
ODA 5 (Saydam yalıtımlı havalandırmasız)		1	0,02	Alçı sıva	0,34	1700	0,20	0,92	
		2	0,14	Yatay delikli tuğla	0,45	1000	0,49	0,92	
		3	0,02	Çimento har. sıva	1,0	1800	0,51	1,05	
		4	*	Siyah boya					
		5	0,08	Saydam yalıtım	0,2	30	4,40	1,51	
		6	0,005	Temperli cam	0,81	2500	0,38	0,84	

2.2. Deneý Düzeneyinin Çalıřma Prensipleri

Deneý düzeneyindeki odaların (2, 3, 4 ve 5. odalar) güney duvarları, güneş toplayıcı işlevi görerek yüzeylerine gelen güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren pasif sistemler olarak tasarlanmıştır. 1. odanın güney duvarı ise diğer odalarla karşılaştırma yapmak amacıyla günümüzdeki konutlarda çok sık kullanılan, ‘mantolama’ denilen dış cephede ısı yalıtım sistemi (Duvar dış yüzeyi + yapıştırma harcı + ısı yalıtım levhası + sıva + sıva donatısı file + sıva + dış cephede boyası) ile kaplanmıştır. Bu sistemler yazın iç ortamın fazla ısınmamasını, kışın da geç soğumasını sağlamaktadır ancak yapıları gereği güneş enerjisinden faydalanmamaktadırlar. Kış ve yaz ayları için tüm odaların içlerinde ek bir ısıtma ya da soğutma sistemi düzenlenmemiştir. Ayrıca her odanın kuzey cephesine havalandırma amaçlı kapılar yerleştirilmiştir.

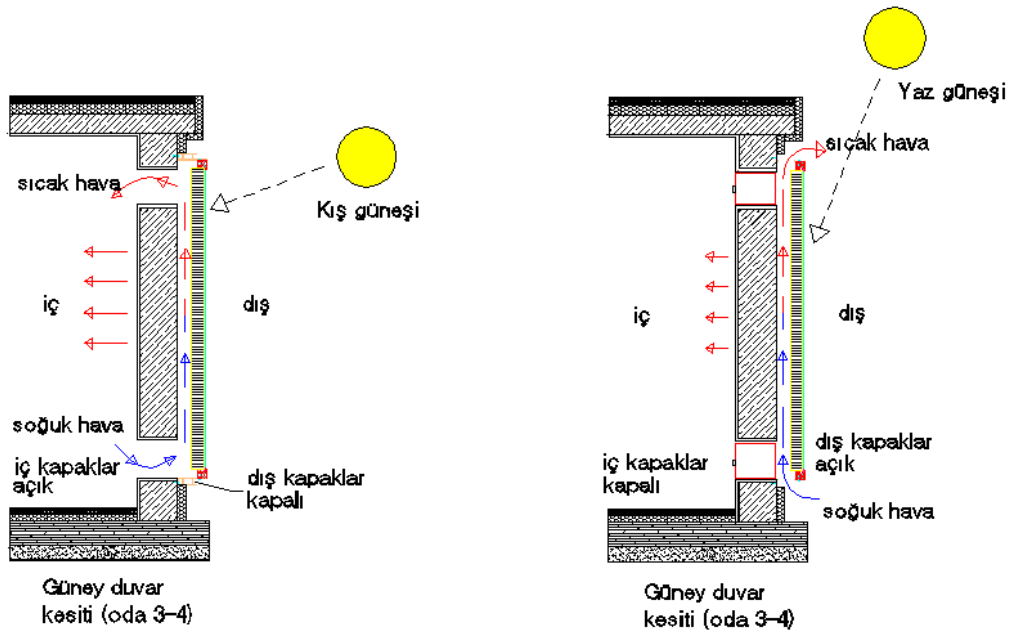
2. ve 5. odaların güney duvarlarına gelen güneş ışınları en dışta bulunan cam yüzeyden geçerek saydam yalıtım malzemesine ulaşmaktadır. Yüksek güneş ışınım geçirgenliğine ve aynı zamanda iyi bir yalıtım özelliğine sahip saydam yalıtım malzemesinden geçen güneş ışınları, siyaha boyanmış duvar dış yüzeyi tarafından emilmektedir. Güney duvarının termal depolama kapasitesine bağlı olarak duvar bünyesinde depolanan güneş enerjisi, belli bir zaman gecikmesiyle iletim ve ışınım yoluyla iç mekâna ısı olarak aktarılmaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. Saydam yalıtımlı havalandırmasız odaların güney duvarlarının yaz ve kış dönemi ısıl davranışı

2. ve 5. odalara uygulanan saydam yalıtım malzemesi ve duvar yüzeyi arasında 2cm hava boşluğu bırakılmıştır. Bu boşluk şiddetli hava koşullarında yoğuşma suyunun kapiler yapıdaki saydam malzemenin içine girmesini engellemektedir. 3. ve 4. odaların duvar kuruluşları Trombe duvar gibi tasarlanmıştır. Saydam yalıtım malzemesi ile duvar dış yüzeyi arasında 10 cm boşluk bırakılmıştır. Dış duvar üzerinde de aynı boyutlarda altta ve üstte havalandırma boşluğu açılmıştır. Bu boşlukları gerektiğinde kapatmak için içleri yalıtım malzemesiyle doldurulmuş kutular hazırlanmıştır (Şekil 27). Kış aylarındaki güneşli günlerde bu boşluklar sabah 8.00'da açılmış, akşam 17.00'da kutular yerine koyularak kapatılmıştır.

Sistemin kış ve yaz aylarındaki çalışma prensibi Şekil 27'de görülmektedir. Kış aylarında güneşli günlerde güney duvarına gelen güneş ışınları cam yüzey ve saydam yalıtım malzemesinden geçip siyaha boyanmış duvar dış yüzeyi tarafından emilerek ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Bu ısı duvar bünyesinde depolanmaktadır. Gün içerisinde iç mekândaki soğuk hava, duvar üzerinde açılan alt boşluklardan geçerek ısınmakta ve yükselip duvar yüzeyindeki üst boşluktan iç mekâna taşınım yoluyla aktarılmaktadır. Duvardaki boşluklar açık kaldığı sürece gün içinde sürekli bir hava dolaşımı gerçekleşmekte ve iç ortam ısısı artmaktadır. Gece ise duvar üzerindeki boşluklar kapatıldıktan sonra gün boyu duvar bünyesinde depolanan ısı, iletimle ve ışınlama ile iç mekâna aktarılmaktadır.



Şekil 27. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı odaların güney duvarlarının yaz-kış dönemi ısıl davranışı

Saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarında ortaya çıkan en büyük problem malzemenin termofiziksel özelliklerinden dolayı, yazın aşırı ısınmaya yol açmasıdır. Bu sorunu azaltmak için literatürde yazın duvar dış yüzeyine jaluzi, perde, gölgelik vs. koymak gibi çeşitli yollar denenmiştir. Yapılan çalışmada ise saydam yalıtımı tutan alüminyum çerçevenin üst ve alt kısmına havalandırma kapakları konulmuştur. Yazın bu kapaklar gece ve gündüz sürekli açık bırakılarak sistem içindeki boşlukta ısınan hava dış ortama verilmektedir. Böylece gündüz duvarın aşırı ısınması engellenmiş olmaktadır. Gece ise duvar dış yüzeyinden dışarıya doğru ısı akışı sağlanarak soğutma yapılmaktadır (Şekil 27).

2.3. Deneysel Ölçümler

Deney düzeneğinin kurulum aşamasından sonra deneysel çalışma 1 Mayıs 2012 – 1 Mayıs 2013 tarihleri arasında yapılmıştır. 1 yıl boyunca her gün 1 dakikalık aralıklarla ölçümler alınmıştır. Deney düzeneği, duvar kuruluşlarının ısı dengeye ulaşması için ölçümlere başlamadan önce bir hafta boyunca mevcut iklimsel koşullar altında bekletilmiştir. Çalışmada, güneş ışınım şiddeti, dış-ıç ortam sıcaklıkları, güney duvarları iç-dış yüzey sıcaklıkları, 3. ve 4. odalardaki saydam yalıtım ile dış duvar arasında bırakılan boşluktaki sıcaklık ve hava hızı sürekli olarak ölçülmüştür.

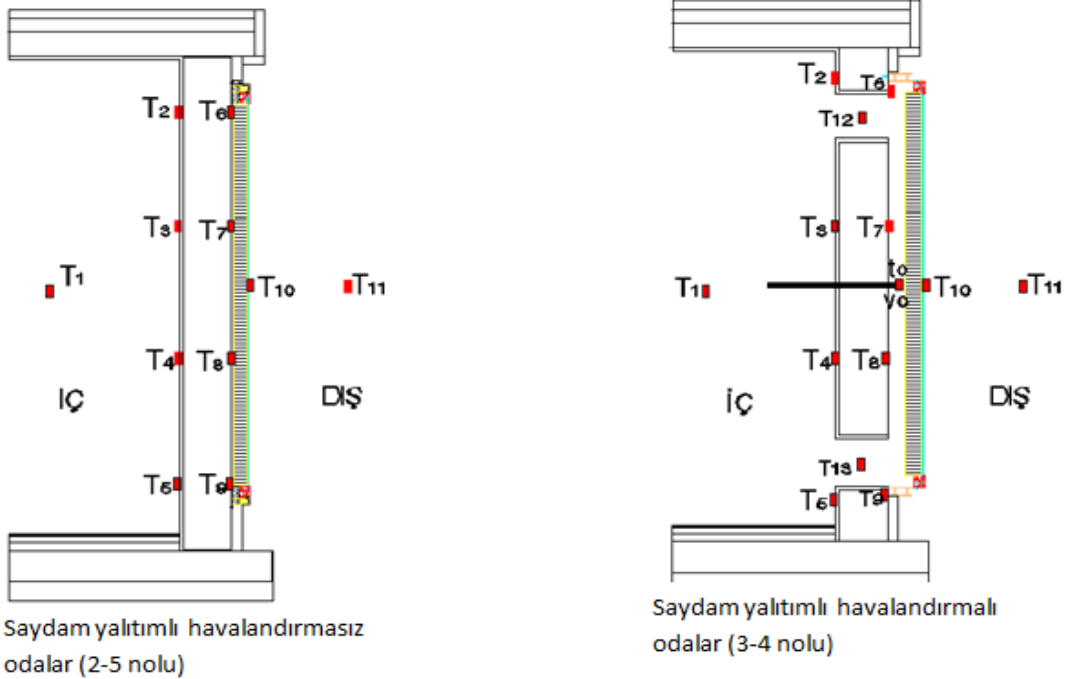
Ölçüm değerleri veri aktarım kartları aracılığı ile dış ortamda yer alan ve sürekli kayıt yapan bir bilgisayara aktarılmıştır. Çalışmanın ilk altı ayında odaların güney duvarlarının dış yüzeylerine gelen düşey yöndeki güneş ışınım şiddeti değerlerini ölçen alet temin edilemediğinden ilgili veriler Trabzon Meteoroloji Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Deney düzeneğine çok yakın bir istasyonda ölçüm yapan Trabzon Meteoroloji Müdürlüğü, yatay düzleme gelen güneş ışınım şiddetini ölçmektedir.

Çalışmada, meteorolojiden alınan bu veriler Bölüm 1.4.2'de anlatılan hesap yöntemini kullanan bir bilgisayar programı yardımıyla düşey yöndeki verilere çevrilmiştir. Çalışmanın son 6 ayında ise APOGEE marka SP-110 silikon piranometre temin edilmiş ve düşey yöndeki güneş ışınım şiddeti değerleri, 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Veriler ise oda içinde bulunan dataloggerda kaydedilmiştir (Şekil 28).



Şekil 28. Dış ortama yerleştirilen kayıt sistemi ve duvar yüzeyindeki silikon piranometre

Sıcaklık ölçümleri ünitelerin içinde ve dışında T-tipi termoelemanlar ve bunlara bağlı veri aktarım kartları ile gerçekleştirilmiştir. Veri aktarım kartlarının her biri 16 girişli olup odaların içine ayrı ayrı yerleştirilmiştir. Opak yalıtımlı 1. odanın güney duvar yüzeyi üzerine içte ve dışta eşit aralıklarla termoelemanlar yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı ve havalandırılmasız odaların güney duvarlarına yerleştirilen termoelemanlar ise Şekil 29’da şematik olarak gösterilmektedir.

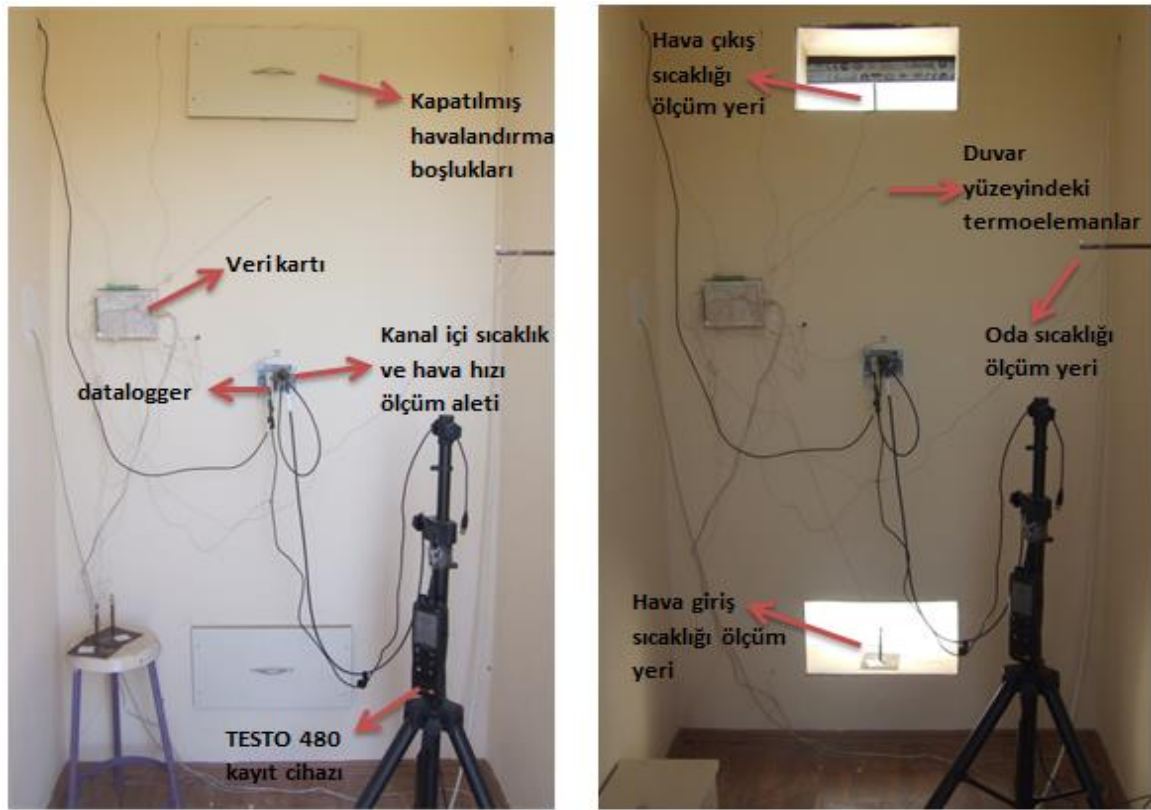


Şekil 29. Saydam yalıtımlı havalandırılmasız ve havalandırılmalı duvarlarda sıcaklık ve hava hızı ölçüm noktaları

2. ve 5. odalarda sıcaklık ölçüm yerleri, her bir odanın güney duvarının iç yüzeyinde (T_2 , T_3 , T_4 , T_5) ve dış yüzeyinde (T_6 , T_7 , T_8 , T_9) dörder tane, saydam yalıtım dışındaki camın üzerinde bir tane (T_{10}) ve dış mekânda bir tane (T_{11}) olacak şekilde belirlenmiştir.

Hesaplamalarda duvarın dış ve iç yüzeyde ölçülen sıcaklıkların ortalaması alınıp değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm odaların içinde ısıl konfor seviyesini belirlemek amacıyla odaların orta noktasına gelecek şekilde termoeleman (T_1) yerleştirilip kuru termometre sıcaklığı ölçülmüştür.

3. ve 4. odalarda ise güney duvar yüzeyinde bulunan boşlukların ortalarına birer tane (T_{12} , T_{13}) termoeleman yerleştirilip sıcaklıklar ölçülmüştür. Saydam yalıtımla duvar arasında kalan hava boşluğundaki sıcaklık (t_0) ve hava hızı (v_0) ölçümü için TESTO 480 markalı ölçüm cihazı ve cihaza bağlı uygun proplar kullanılmıştır.



Şekil 30. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı odalarda (3-4 nolu) açık-kapalı konumdaki havalandırma boşlukları ve ölçüm aletleri



Şekil 31. Saydam ve opak yalıtımlı havalandırmasız (1-2-5 nolu) odaların güney duvar iç yüzeyi sıcaklık ölçüm yerleri

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Binaların dış duvar kuruluşlarında saydam yalıtım malzemesi kullanımının etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, mekânlarda ek ısıtmanın istendiği dönemi (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan) ve istenmediği dönemi temsil eden aylarda (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül), toplamda 1 yıllık dönemi (1 Mayıs 2012 – 1 Mayıs 2013) kapsayan deneyler yapılmıştır. Deney çalışmasının sonuçları üç bölümde değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, deneyin yapıldığı yıl boyunca günlük güneş ışınım miktarı ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak belirlenen en soğuk, en sıcak ve ılıman aylar ve bu ayları temsilen seçilen günler için aşağıda belirtilen ölçüm sonuçları grafikler halinde verilmiştir.

- Duvar iç ve dış yüzeyinde ölçülen sıcaklıklar
- İç ve dış ortama ait sıcaklıklar
- Güneş ışınım şiddeti

Ayrıca seçilen aylarda belirlenen günler için duvar kuruluşlarının her biri, faz kayması, sönüm oranı ve ısıl depolama kapasitesi açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. İkinci bölümde, yine seçilen aynı ay ve günlerdeki ölçüm sonuçlarına göre duvarlarda kaybedilen ve kazanılan ısı miktarları ayrı ayrı hesaplanarak, grafikler halinde verilmiştir. Üçüncü bölümde ise, deney düzeneğinde incelenen tüm duvar kuruluşları için hesaplanan ısı miktarları, aylık ve yıllık ortalamalar üzerinden değerlendirilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan saydam yalıtım malzemesinin odaların iç mekân ısıl konforunu nasıl etkilediği de iç ortam sıcaklıkları üzerinden değerlendirilmiştir. Son olarak bu bölümde tüm duvar kuruluşlarının 1 yıl boyunca yaz ve kış dönemindeki ısıl verimleri de aylık ortalamalar üzerinden irdelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında detaylı olarak sunulmayan diğer aylara ait tüm ölçüm sonuçları, 'Ekler' kısmında grafikler halinde verilmiştir.

3.1. Ölçüm Sonuçları

Binalarda iç ortam konfor koşullarını sağlamak amacıyla ek ısıtmanın istendiği ve istenmediği döneme ait aylarda günlük 24 saatlik deneyler yapılmıştır. Seçilen aylara ait deneysel çalışmanın sonuçlarını sunmak için belirlenen günler Tablo 15'de

gösterilmektedir. Bu tarihler, günlük ortalama ışıınım miktarının en fazla ve en az olduğu güne göre seçilmiştir.

Tablo 15. Ölçüm sonuçları verilen aylar için seçilmiş günler

AYLAR	En soğuk ay	En ılıman ay	En sıcak ay
	Şubat	Mayıs	Temmuz
Günlük ort. ışıınım miktarının en fazla olduğu gün	7 Şubat 2013	2 Mayıs 2012	25 Temmuz 2012
Günlük ort. ışıınım miktarının en az olduğu gün	16 Şubat 2013	21 Mayıs 2012	6 Temmuz 2012

3.1.1. Şubat Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları

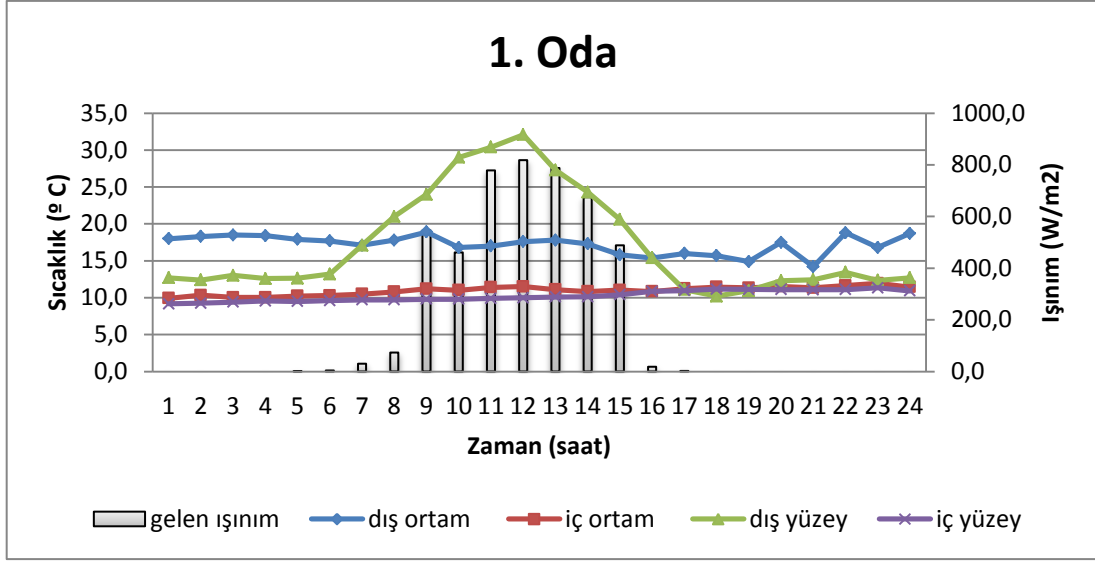
Şubat ayını temsil eden günlere ait iklim verileri Tablo 16’da gösterilmektedir.

Tablo 16. Şubat ayını temsil eden günlere ait iklim verileri

Tarih	Günlük ort. sıcaklık (°C)	Mak. sıcaklık (°C)	Min. sıcaklık (°C)	Bağıl nem miktarı (%)	Düşey yüzeye gelen günlük ort. ışıınım miktarı (Watt/m ²)
07.02.2013	17,2	18,9	14,2	35	390
16.02.2013	8,4	11,4	6,5	81	12,2

3.1.1.1. Günlük Ortalama ışıınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Şubat Ayı)

Günlük ortalama ışıınım miktarının en fazla olduğu 7 Şubat günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 32’de yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 12.15’de 32,1 °C, en düşük sıcaklık ise saat 17.45’de 10,2 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı 17,3 °C olarak kaydedilmiştir. 7 Şubat günü, günlük ort. dış ortam kuru termometre sıcaklığı ise 17,2 °C’dir.

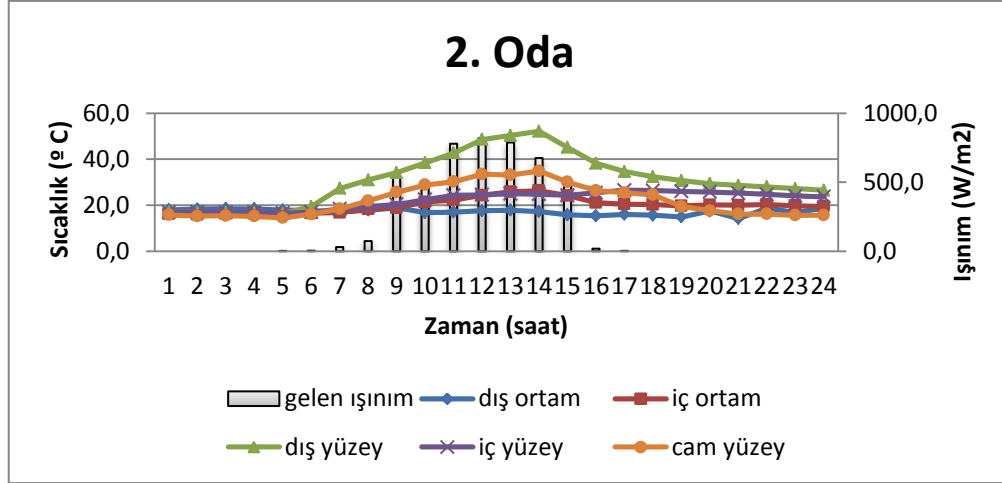


Şekil 32. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 7 Şubat 2013)

Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 18.08'de 11,2 °C, en düşük sıcaklık ise saat 01.17'de 9,2 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 10,2 °C olarak kaydedilmiştir.

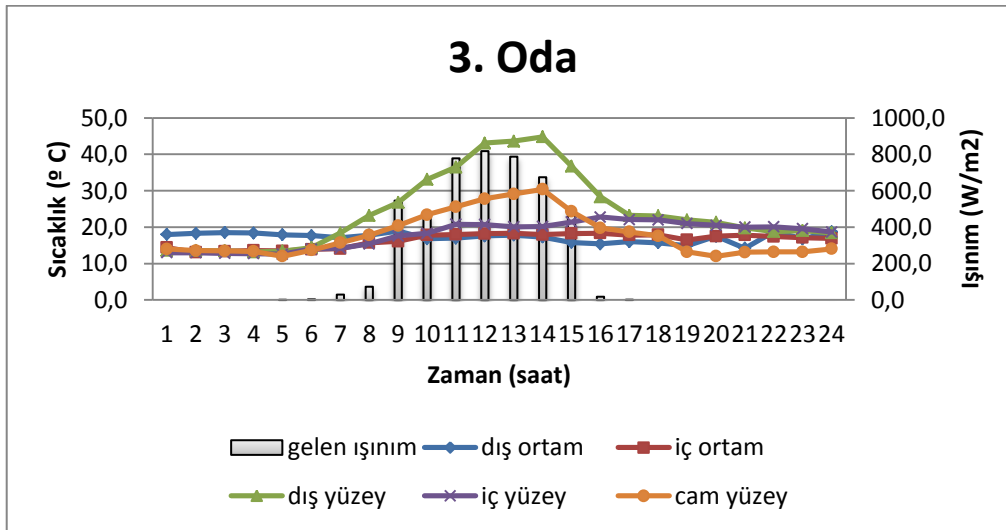
Şekil 32'deki grafikten de görüldüğü üzere, 1. odanın güney duvarı üzerine gelen günlük ışınım miktarında ve dış yüzey sıcaklığındaki belirgin değişime karşın iç ortamda ve duvar iç yüzeyinde önemli bir sıcaklık değişimi görülmemiştir. Bunun nedeni opak yalıtımlı duvarda yüzeye gelen güneş enerjisinin duvar yüzeyinde soğurulamaması ve duvarda depolanamamasıdır.

7 Şubat günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 33'de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 13.50'de 52,1 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.04'de 16,3 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 31,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 18.18'de 26,5 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.37'de 16,6 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 22,2 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarda gündüz saatlerinde yüzeye gelen güneş enerjisinin soğurularak duvarda depolanması nedeniyle dış yüzey sıcaklığında ve buna paralel olarak iç yüzey sıcaklığında da artış gözlenmiştir.



Şekil 33. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 7 Şubat 2013)

3. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimi Şekil 34’de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 14.10’da 44,8 °C, en düşük sıcaklık saat 05.04’de 13,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 24,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 16.30’da 22,8 °C, en düşük sıcaklık saat 05.20’de 12,6 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 18,1 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 34. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 7 Şubat 2013)

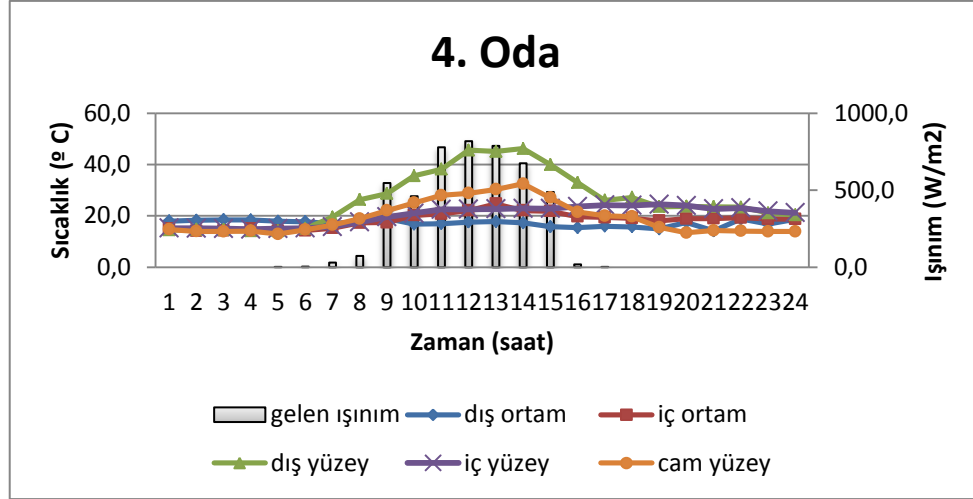
3. odanın ve 4. odanın saydam yalıtımlı duvarında bulunan kapaklar sabah saat 08.00'de açılmış, 17.00'de kapatılmıştır. Bu süre içinde alt kapaktaki hava giriş sıcaklıkları ile üst kapaktaki hava çıkış sıcaklıkları Tablo 17'de yer almaktadır. Bu sıcaklıklar incelendiğinde 3. odadaki giriş ve çıkış sıcaklıklarının 4. odaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 3. odanın güney duvarı tuğla duvar, 4. odanın güney duvarı ise betonarme perde duvardır. Delikli tuğla malzemesi bünyesindeki hava boşlukları nedeniyle duvar dış yüzeyindeki sıcaklığı iç yüzeye daha geç ilettiği için 3. odanın güney duvarındaki saydam yalıtım malzemesi ile duvar dış yüzeyi arasındaki boşlukta daha yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Bu nedenle kapaklardaki giriş ve çıkış sıcaklıkları artmaktadır.

Tablo 17. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarlardaki kapaklarda hava giriş-çıkış sıcaklıkları (3. ve 4. Oda - 7 Şubat)

7 Şubat günü duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Saat	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
8.00	15.9	19.1	14.6	17.8
9.00	16.6	20.4	16.0	18.5
10.00	16.8	21.0	16.1	20.3
11.00	17.0	21.7	16.0	20.0
12.00	24.8	32.1	23.2	31.2
13.00	25.3	34.4	24.0	33.4
14.00	26.1	36.3	22.0	29.9
15.00	21.5	32.4	18.6	26.7
16.00	18.6	26.4	17.3	22.3
17.00	18.0	24.8	16.6	21.1

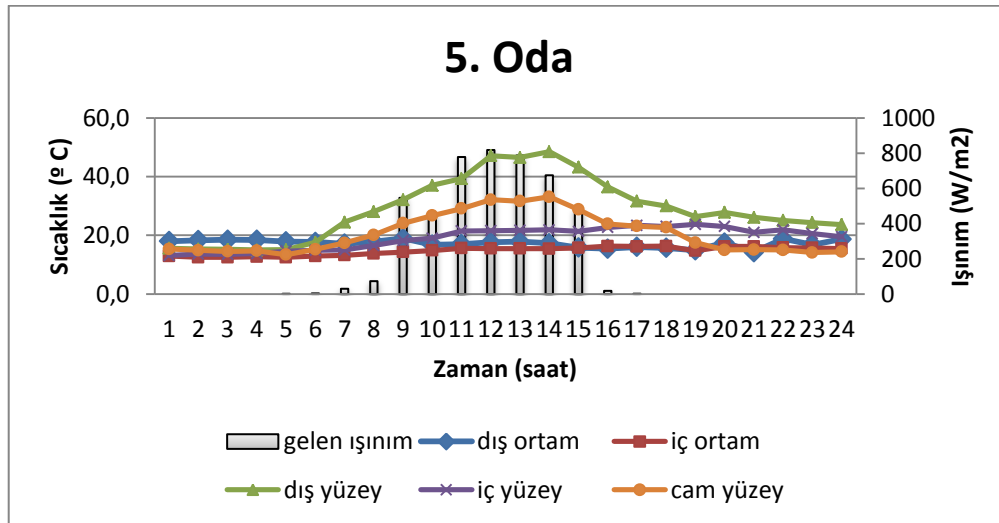
4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 35'de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 13.55'de 46,2 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.20'de 14,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı 26,4 °C olarak kaydedilmiştir.

4. odanın saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 17.12'de 24,5 °C, en düşük sıcaklık saat 04.20'de 14,8 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 20,3 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 35. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 7 Şubat 2013)

7 Şubat günü 5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 36'da yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 14.05'de 48,5 °C, en düşük sıcaklık saat 05.00'de 15 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 28,8 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 17.00'de 23,7 °C, en düşük sıcaklık saat 04.15'de 13,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 19,1 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 36. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 7 Şubat 2013)

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 7 Şubat günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 52,1 °C olarak 2. odada görülmektedir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 32,1 °C olarak 1. odada görülmektedir (Tablo 18).

Tablo 18. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (7 Şubat)

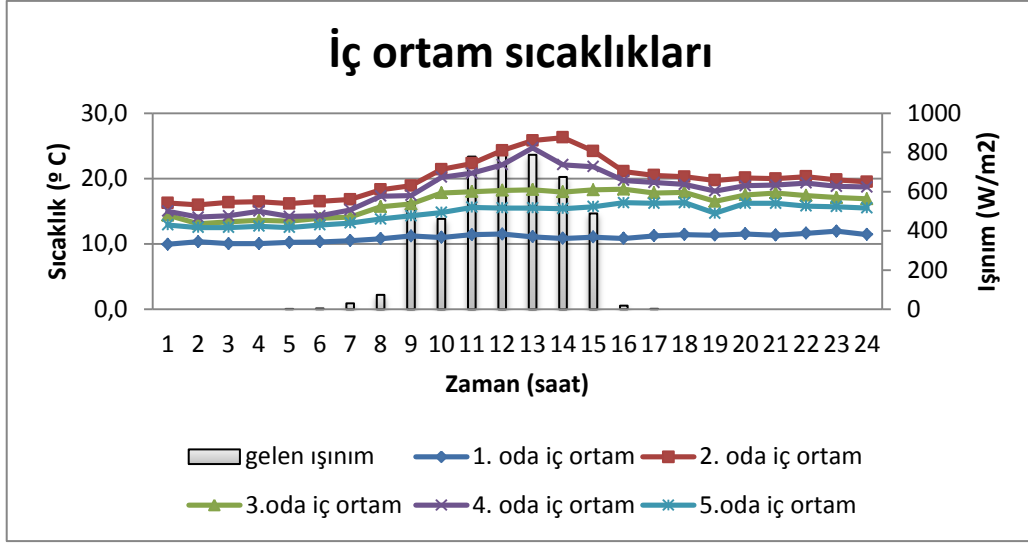
	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	32,1	52,1	44,8	46,2	48,5
İç yüzey sıcaklığı (°C)	11,2	26,5	22,8	24,5	23,7

2. odanın saydam yalıtımlı güney duvarı betonarme perde duvar olup, duvar ile saydam yalıtım arasında havalandırma boşluğu bulunmamaktadır. Saydam yalıtım malzemesinin güneş ışınımı geçirgenliği ve yalıtım özelliğinin olması ayrıca 2. odanın güney duvarının tuğlaya göre ısı depolama özelliğinin yüksek olması ve havalandırma boşluğu olmadığı için ısı kayıplarının az oluşu nedeniyle, duvar dış yüzey sıcaklığı opak yalıtımlı duvara (1. oda) ve diğer odalardaki duvarlara göre yüksek değerde ölçülmüştür.

2. odadan sonra duvar dış yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu oda, 5. odadır. Bu odanın güney duvarı delikli tuğla ile inşa edilmiştir. Ancak bu odada da duvar ile saydam yalıtım arasında havalandırma boşluğu bulunmadığı için betonarme perde duvarlı 4. odaya göre dış yüzey sıcaklığı biraz daha yüksek çıkmıştır.

Duvar iç yüzey sıcaklıkları da dış yüzey sıcaklıklarına paralel bir şekilde artış göstermektedir. Yalnızca 4. odadaki güney duvarının betonarme oluşu ve ısı depolama kapasitesinin daha yüksek olması nedeniyle 5. odadan biraz daha yüksek iç yüzey sıcaklığına sahiptir. 1. odanın dış duvarı ise opak yalıtımın etkisiyle güneş ışınlarını bünyesine geçirmemiş ve dolayısıyla iç yüzey sıcaklığı da en düşük değerde ölçülmüştür.

Şekil 37' de deney odalarının 7 Şubat günü saatlik iç ortam sıcaklıkları yer almaktadır. Odalardaki iç ortam sıcaklıkları incelendiğinde azalan yönde sıralama, 2-3-4-5-1 şeklinde olmuştur. Normalde iç yüzey sıcaklıklarıyla iç ortam sıcaklıklarının paralel bir artış göstermesi beklenmektedir. Ancak 3. ve 4. odanın iç ortam sıcaklığı, 7 Şubat günü duvardaki kapakların açılmasıyla birlikte artış göstermektedir.



Şekil 37. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (7 Şubat 2013)

Günlük ortalama ışınım miktarının en fazla olduğu 7 Şubat günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 19’ da yer almaktadır.

Tablo 19. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (7 Şubat)

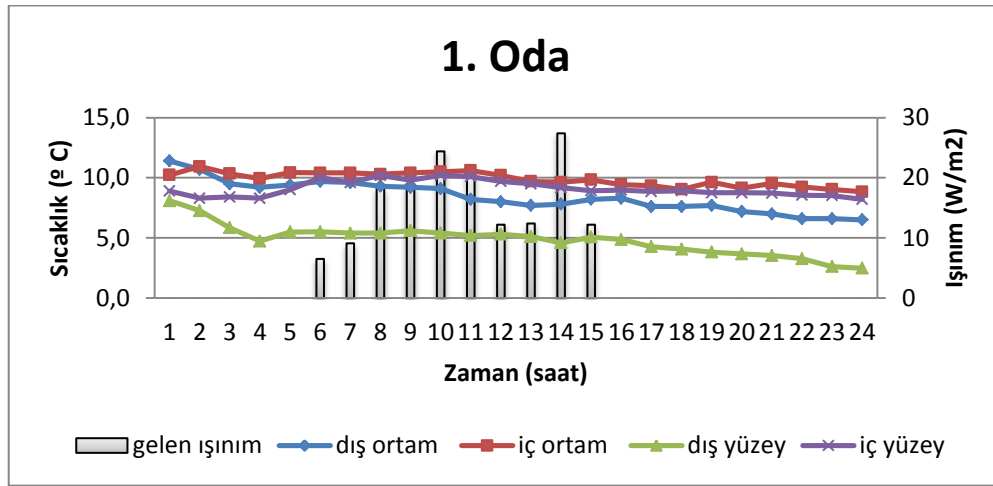
	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	17,3	31,2	24,2	26,4	28,8
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	10,2	22,2	18,1	20,3	19,1
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	11,0	19,9	16,4	18,3	14,7

Tablo 19’a göre genel bir değerlendirme yapıldığında azalan yönde sıralama; duvar dış yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1, iç yüzey sıcaklıklarında 2-4-5-3-1 ve iç ortam sıcaklıklarında 2-4-3-5-1 şeklindedir.

3.1.1.2. Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Şubat Ayı)

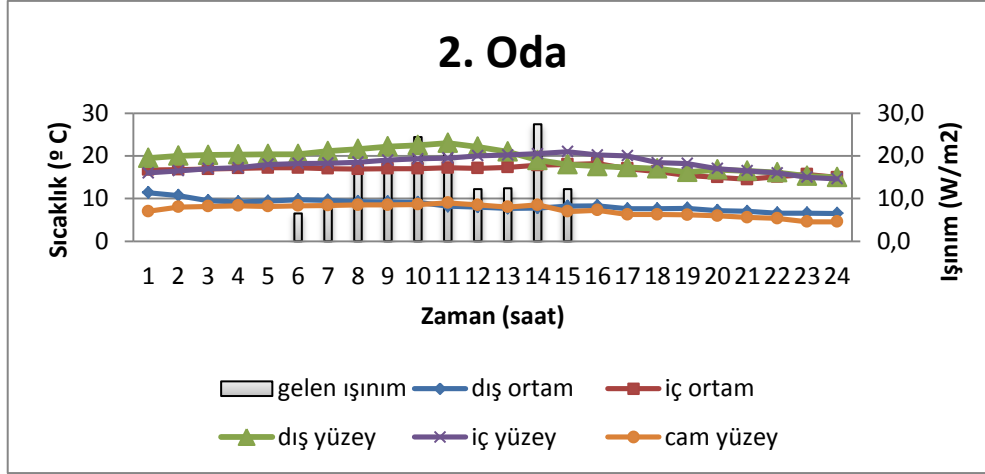
Günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 16 Şubat günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 38’de yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 10.30’da 5,6 °C, en

düşük sıcaklık saat 23.25’de 2,5 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 4,9 °C olarak kaydedilmiştir. 16 Şubat günü, dış ortam kuru termometre sıcaklık ortalaması 8,4 °C’dir. Tüm gün boyunca gelen ışınım miktarı çok az olduğu için duvar dış yüzey sıcaklığı akşam saatlerinden itibaren azalmaya başlamıştır. Aynı şekilde duvar iç yüzey sıcaklığında da akşam saatlerinden itibaren düşüş görülmektedir. Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 10.40’da 10,2 °C, en düşük sıcaklık saat 23.40’da 8,1 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 9,1 °C olarak kaydedilmiştir.



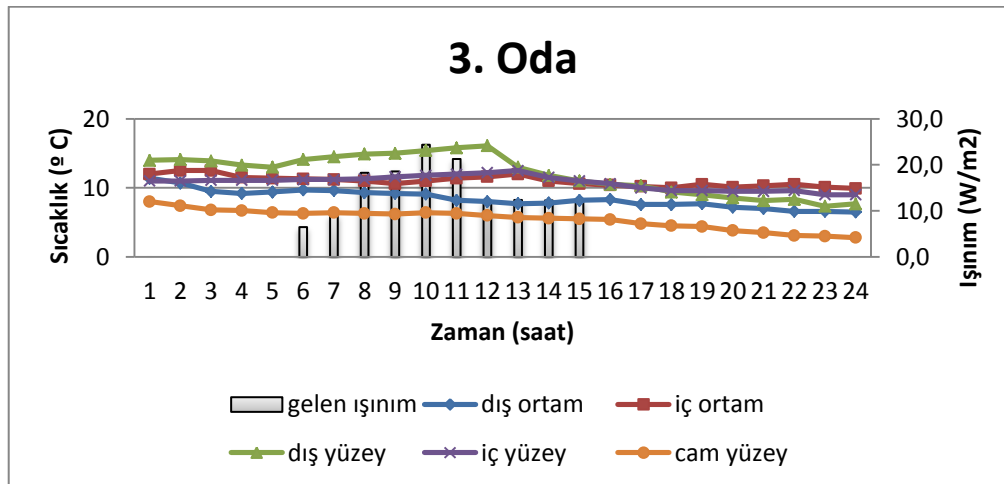
Şekil 38. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 16 Şubat 2013)

Şekil 39’da 16 Şubat günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 10.56’da 23 °C, en düşük sıcaklık saat 23.20’de 15,3 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 19,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 15.15’de 21 °C, en düşük sıcaklık saat 24.00’de 14,6 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 18,1 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odanın güney duvarında en dış katman olan cam yüzey ile dış ortam sıcaklığı gün boyunca yakın değerlerde ölçülmüştür.



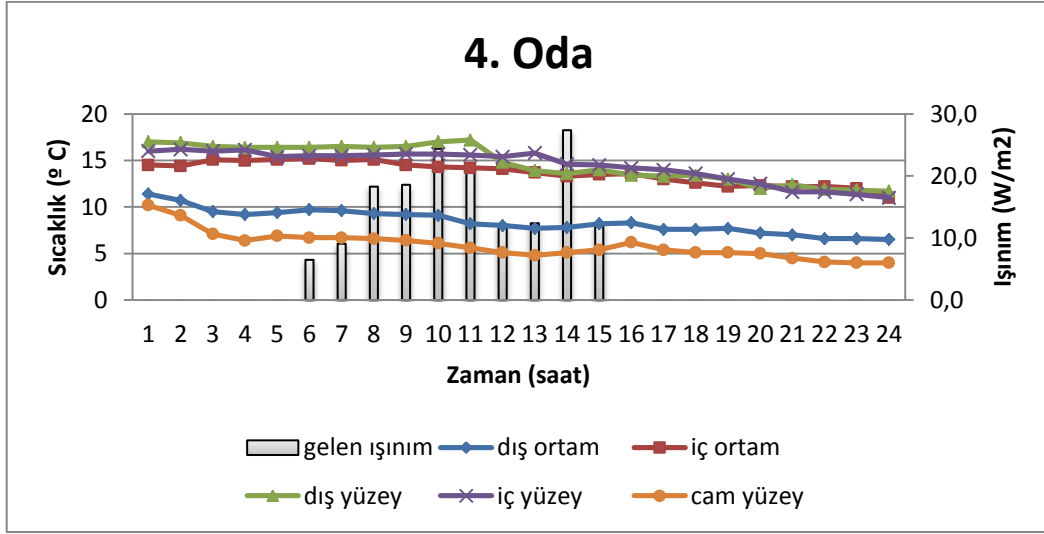
Şekil 39. Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 16 Şubat 2013)

16 Şubat günü günlük ortalama ışınım miktarı çok az olduğu için 3. ve 4. odanın güney duvarındaki kapaklar gün boyunca kapalı tutulmuştur. 3. odanın saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 12.35’de 16,1 °C, en düşük sıcaklık saat 23.42’de 7,3 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 12 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 13.30’da 12,5 °C, en düşük sıcaklık saat 23.02’de 9 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 10,8 °C olarak kaydedilmiştir. Güneş ışınım miktarının azda olsa artış gösterdiği gündüz saatlerinde duvar dış ve iç yüzey sıcaklığında da artış görülmektedir (Şekil 40).



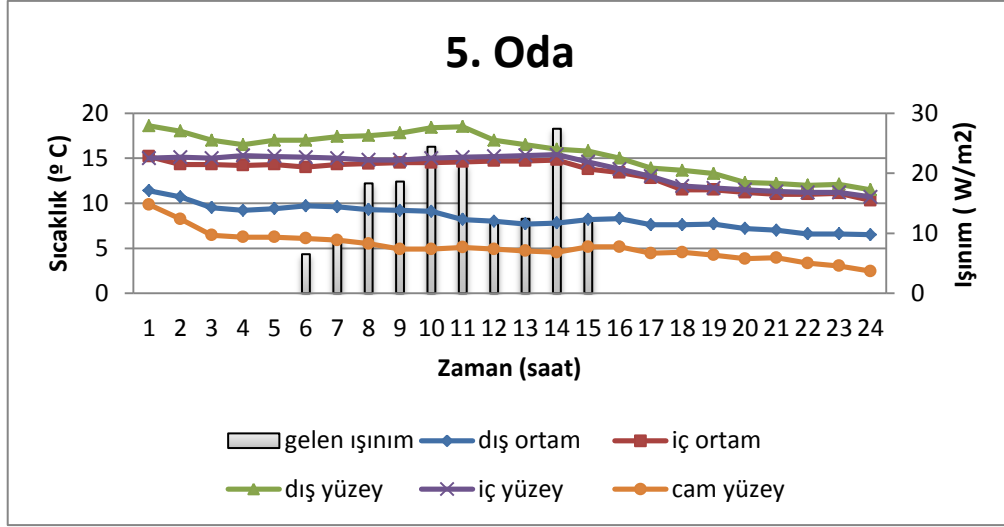
Şekil 40. Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 16 Şubat 2013)

4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 11.14'de 17,2 °C, en düşük sıcaklık saat 23.38'de 11 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 14,7 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 13.00'da 15,8 °C, en düşük sıcaklık saat 23.05'de 11 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 14,4 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 41).



Şekil 41. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 16 Şubat 2013)

5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 11.05'de 18,5 °C, en düşük sıcaklık saat 23.10'da 11,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 15,6 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık saat 14.05'de 15,4 °C, en düşük sıcaklık saat 23.39'da 10,7 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 13,8 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 42).



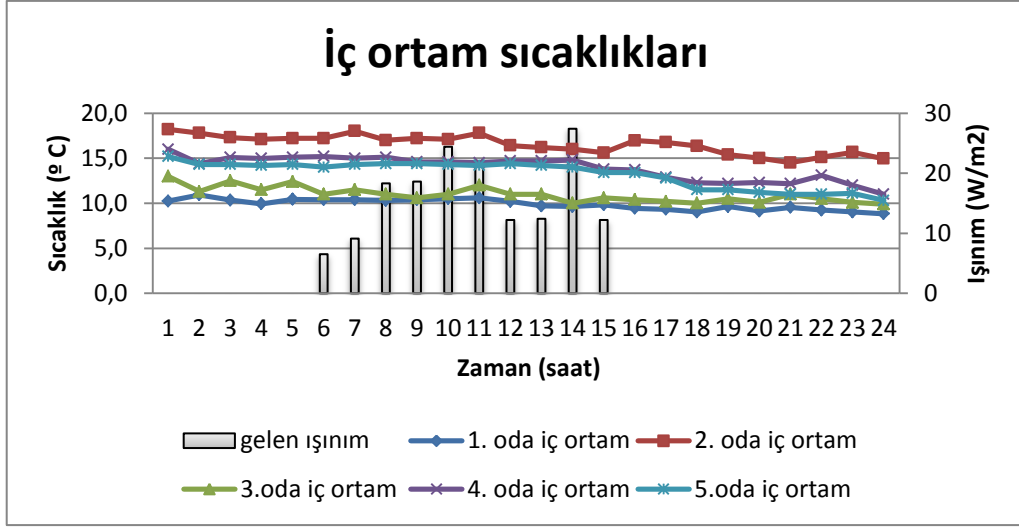
Şekil 42. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 16 Şubat 2013)

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 16 Şubat günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 23 °C olarak 2. odada elde edilmiştir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 5,6 °C olarak 1. odada görülmektedir (Tablo 20). Saydam yalıtım malzemesinin güneş ışınımı geçirgenliği ve yalıtım özelliği nedeniyle duvar dış yüzey sıcaklıkları saydam yalıtımlı odalarda opak yalıtımlı 1. odaya göre oldukça yüksek ölçülmüştür. Duvar iç yüzey sıcaklıklarında da 2. oda en iyi performansı göstermektedir. 1. odanın dış duvarı opak yalıtımın etkisiyle güneş ışınlarını bünyesine geçirmemekte ve dolayısıyla iç yüzey sıcaklığı da en düşük değerde ölçülmüştür.

Tablo 20. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (16 Şubat)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	5,6	23	16,1	17,2	18,5
İç yüzey sıcaklığı (°C)	10,2	21	12,5	15,8	15,4

Şekil 43' de deney odalarının 16 Şubat günü saatlik iç ortam sıcaklıkları yer almaktadır. Odalardaki iç ortam sıcaklıkları incelendiğinde azalan yönde sıralama 7 Şubattan farklı olarak, 2-4-5-3-1 şeklinde olmuştur. Bunun nedeni 16 Şubat günü 3. ve 4. odaların duvarlarındaki kapakların açılmaması ve dolayısıyla iç ortam sıcaklıklarının iç yüzey sıcaklıklarıyla paralel bir artış göstermiş olmasıdır.



Şekil 43. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (16 Şubat 2013)

Günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 16 Şubat günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 21’ de yer almaktadır.

Tablo 21. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (16 Şubat)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	4,9	19,1	12	14,7	15,6
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	9,1	18,1	10,8	14,4	13,8
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	9,9	16,6	11	13,9	13,2

Tablo 21’e göre genel bir değerlendirme yapıldığında azalan yönde sıralama; duvar dış yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1, iç yüzey sıcaklıklarında 2-4-5-3-1 ve iç ortam sıcaklıklarında 2-4-5-3-1 şeklindedir.

Deneysel düzenekteki odaların 7 Şubat ve 16 Şubat günü için güney duvar kuruluşlarındaki faz farkı, sönüm oranı ve ısıl depolama kapasitesi değerleri; deneysel ölçüm sonuçları ve teorik hesaplamalar yardımıyla oluşturulmuş ve Tablo 22’ de sunulmuştur. 1. odanın güney duvarı dıştan opak yalıtımlı olduğundan yüzeyine gelen güneş ışınımını bünyesine oldukça az oranda geçirmektedir. Bu nedenle çalışmada 1. oda için faz farkı ve sönüm oranı değerleri dikkate alınmamıştır.

Duvar dış yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman ile iç yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu zaman arasındaki fark faz kayması ve bu işlem boyunca onun genliğinde meydana gelen küçülme miktarı ise sönüm oranı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 22. Saydam yalıtımlı duvar kuruluşlarının faz farkı, sönüm oranı ve ısı depolama kapasiteleri değerleri (7 Şubat- 16 Şubat)

	7 Şubat 2013			16 Şubat 2013		
	Faz farkı (φ, saat)	Sönüm oranı (f, -)	Isı depolama kapasitesi (W $s^{1/2}/m^2K$)	Faz farkı (φ, saat)	Sönüm oranı (f, -)	Isı depolama kapasitesi (W $s^{1/2}/m^2K$)
2.oda	4.28	0.27	2400	4.19	0.4	2400
3.oda	2.20	0.32	643.4	1	0.6	643.4
4.oda	3.17	0.30	2400	1.46	0.8	2400
5.oda	2.55	0.31	643.4	3	0.7	643.4

Tablo 22' de görülen değerlere göre faz farkı ve sönüm oranı açısından en yüksek performansı (maksimum faz kayması, minimum sönüm oranı) 2. odanın güney duvar kuruluşu, en düşük performansı ise 3. odanın güney duvar kuruluşu vermiştir. Saydam yalıtım uygulanmış duvar kuruluşlarının performanslarında, ısı depolama kapasitesi, kalınlıkları ve duvarların termofiziksel özellikleri etkili olmaktadır. Isı depolama kapasitesi tuğla duvara (3-5. odalar) göre yüksek olan betonarme perde duvarlar (2-4. odalar), faz kayması ve sönüm oranı açısından daha iyi performans sergilemişlerdir. Tablo 22' de verilen sonuçlar deneysel ölçüm periyodundaki diğer aylarla benzerlik gösterdiğinden faz farkı ve sönüm oranı değerleri sadece Şubat ayındaki seçilmiş günler için verilmiştir.

3.1.2. Mayıs Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları

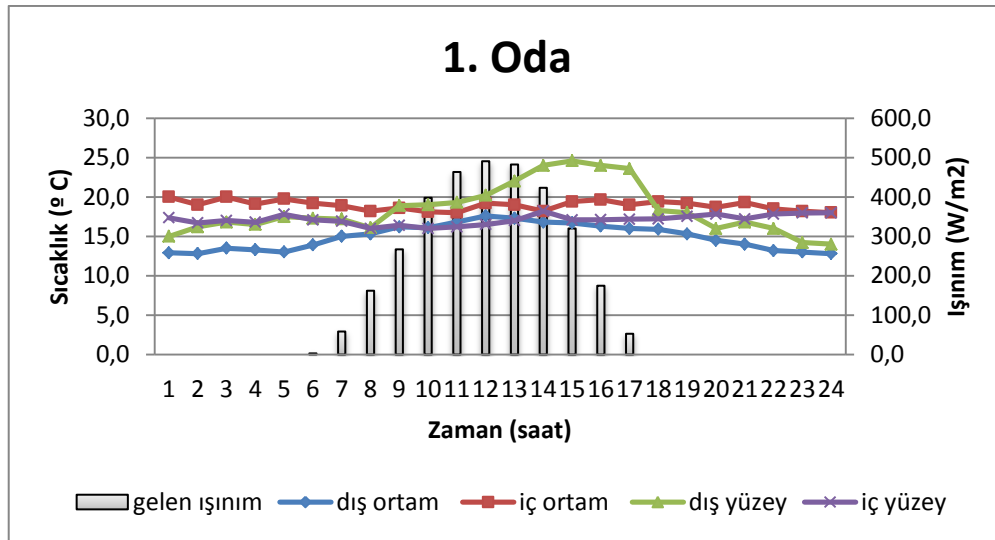
Mayıs ayını temsil eden günlere ait iklim verileri aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 23. Mayıs ayını temsil eden günlere ait iklim verileri

Tarih	Günlük ort. sıcaklık (°C)	Mak. sıcaklık (°C)	Min. sıcaklık (°C)	Bağıl nem miktarı (%)	Düşey yüzeye gelen günlük ort. ışıma miktarı (Watt/m ²)
02.05.2012	15	17.3	13	84.3	274.6
21.05.2012	17.4	18	16	87.7	105

3.1.2.1. Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Mayıs Ayı)

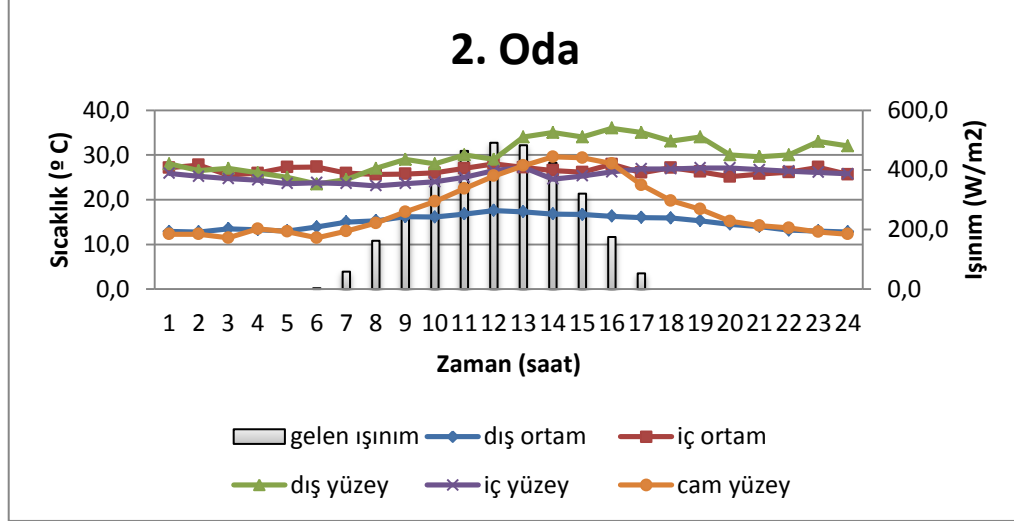
Günlük ortalama ışınım miktarının en fazla olduğu 2 Mayıs günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 44’de yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 24,6 °C, en düşük sıcaklık 14 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı 18,4 °C olarak kaydedilmiştir. 7 Şubat günü, günlük ort. dış ortam kuru termometre sıcaklığı ise 14,9 °C’dir. Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 18,2 °C, en düşük sıcaklık 16 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 17,1 °C olarak kaydedilmiştir. Şekil 33’deki grafikten de görüldüğü üzere, Şubat ayına benzer şekilde 1. odanın güney duvarı üzerine gelen günlük ışınım miktarında ve dış yüzey sıcaklığındaki belirgin değişime karşın iç ortamda ve duvar iç yüzeyinde önemli bir sıcaklık değişimi görülmemiştir.



Şekil 44. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 2 Mayıs 2012)

2 Mayıs günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 45’de görülmektedir. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 36 °C, en düşük sıcaklık 23,5 °C

olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 30 °C olarak kaydedilmiştir.

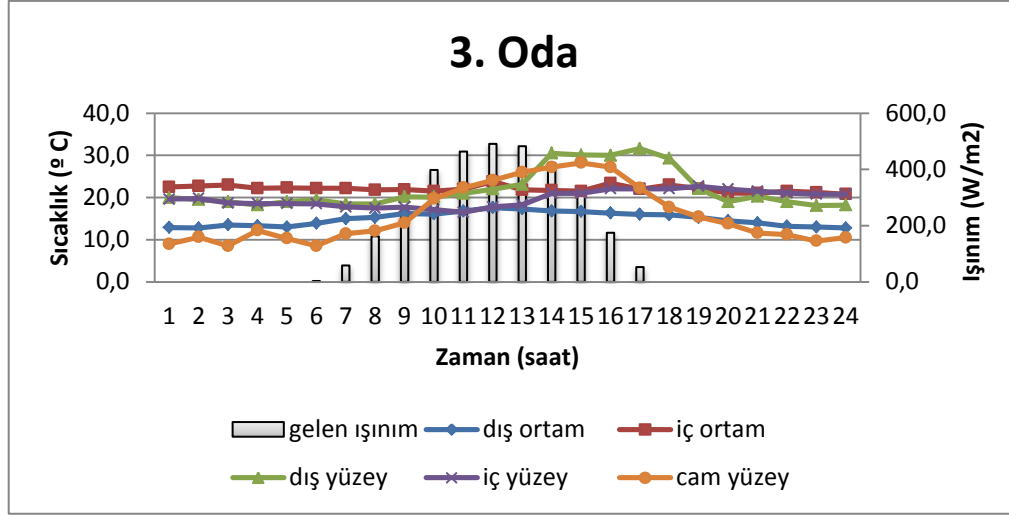


Şekil 45. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 2 Mayıs 2012)

Saydam yalıtımlı 2. odanın güney duvarı iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 27,2 °C, en düşük sıcaklık 23,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 25,4 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odaya ait saydam yalıtımlı betonarme perde duvarda gündüz saatlerinde yüzeye gelen güneş enerjisinin soğurularak duvarda depolanması nedeniyle dış yüzey sıcaklığında ve buna paralel olarak iç yüzey sıcaklığında da artış gözlenmiştir.

3. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ve odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 46'da görülmektedir. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 31 °C, en düşük sıcaklık ise 18,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 22 °C olarak kaydedilmiştir.

Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 22,7 °C, en düşük sıcaklık ise 16,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 19,7 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 46. Saydam yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 2 Mayıs 2012)

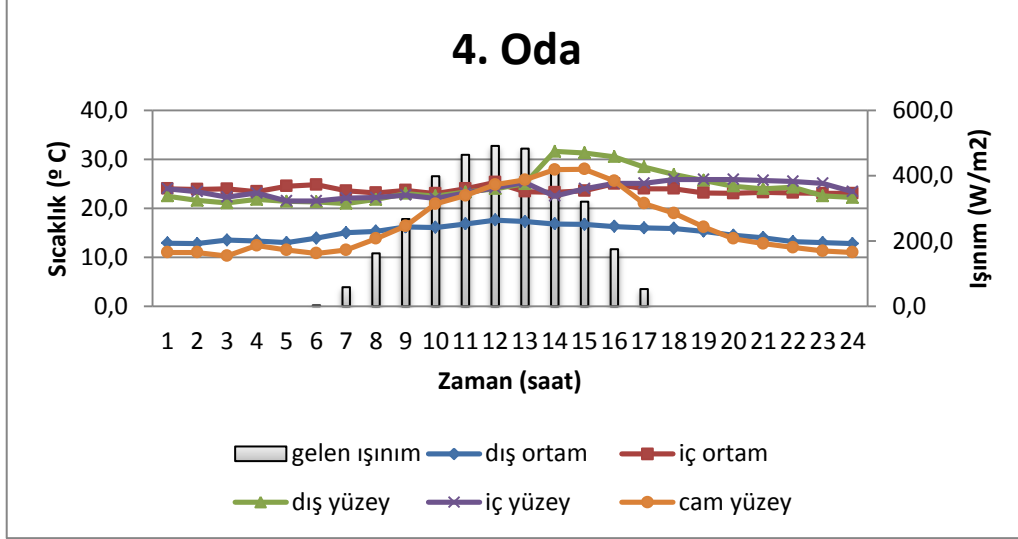
3. odanın ve 4. odanın saydam yalıtımlı duvarında bulunan kapaklar 2 Mayıs günü sabah saat 08.00'da açılmış, 17.00'da kapatılmıştır. Bu süre içinde alt kapaktaki hava giriş sıcaklığı, üst kapaktaki hava çıkış sıcaklığı ile saydam yalıtım malzemesi - duvar dış yüzeyi arasındaki boşluktaki sıcaklık dağılımları Tablo 24.'de yer almaktadır.

Bu sıcaklıklar incelendiğinde 3. odadaki giriş ve çıkış sıcaklıklarının 4. odaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Şubat ayına benzer olarak aynı sebeplerle gerçekleşmiştir.

Tablo 24. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarlardaki kapaklarda hava giriş-çıkış sıcaklıkları (3. ve 4. Oda - 2 Mayıs)

2 Mayıs günü duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Saat	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
8.00	18.3	24.0	17.6	23.0
9.00	19.0	24.3	18.5	23.3
10.00	20.0	25.8	19.4	24.9
11.00	22.0	26.7	20.3	25.2
12.00	22.3	27.5	21.0	26.4
13.00	23.0	28.7	21.4	27.0
14.00	24.0	29.2	22.0	27.5
15.00	22.4	28.6	21.0	26.4
16.00	21.8	27.2	20.0	25.0
17.00	20.0	25.7	19.0	23.8

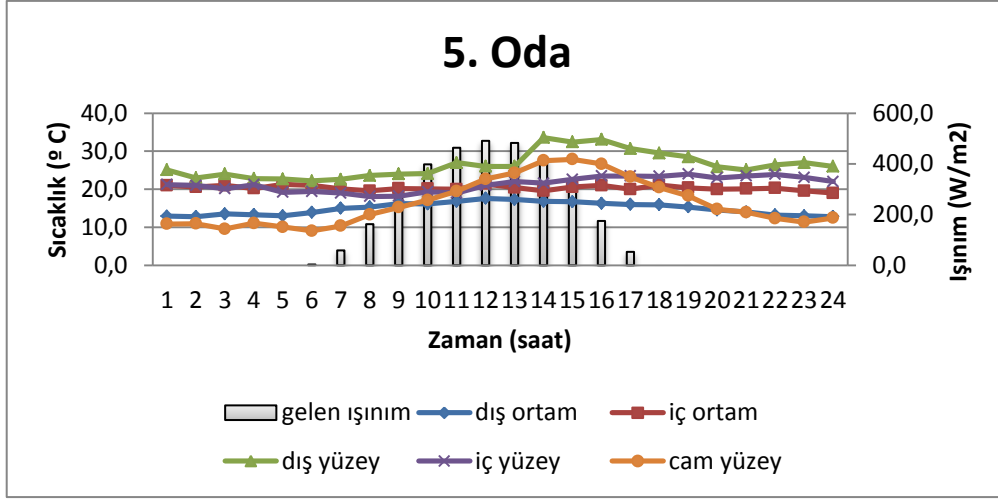
4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ve odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 47’de yer almaktadır.



Şekil 47. Saydam yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 2 Mayıs 2012)

4. odaya ait saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde 2 Mayıs günü ölçülen en yüksek sıcaklık 32 °C, en düşük sıcaklık 21 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 24,3 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 25,9 °C, en düşük sıcaklık 21,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 21,4 °C olarak kaydedilmiştir.

7 Şubat günü 5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 48’de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 33,6 °C, en düşük sıcaklık 22,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 26,3 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 24 °C, en düşük sıcaklık 18,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 23,8 °C olarak kaydedilmiştir.

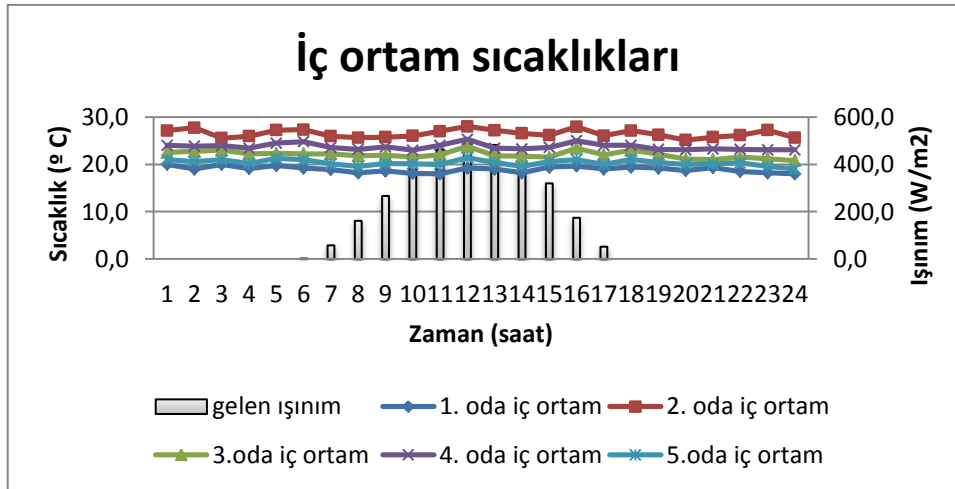


Şekil 48. Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 2 Mayıs 2012)

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 2 Mayıs günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 36 °C olarak 2. odada görülmektedir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 24,6 °C olarak 1. odada görülmektedir. Tablo 25’de görülen odaların dış ve iç yüzey sıcaklıklarındaki sıralama, 7 Şubat günündeki sıralamayla benzerlik göstermektedir.

Tablo 25. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (2 Mayıs)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	24,6	36	31	32	33,6
İç yüzey sıcaklığı (°C)	18,2	27,2	22,7	25,9	24



Şekil 49. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (2 Mayıs 2012)

3. ve 4. odanın iç ortam sıcaklığı ise 2 Mayıs günü duvardaki kapakların açılmasıyla birlikte artış göstermektedir (Şekil 49).

Günlük ortalama ışınım miktarının en fazla olduğu 2 Mayıs günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 26' da görülmektedir.

Tablo 26. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (2 Mayıs)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	18,4	30	22	24,3	26,3
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	17,1	25,4	19,7	23,8	21,4
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	18,9	26,5	22,1	23,7	20,3

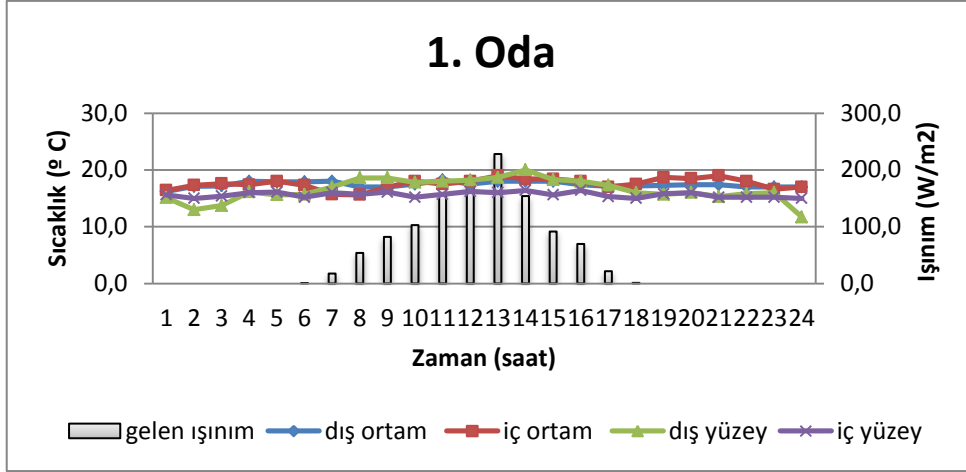
Tablo 26'ya göre genel bir değerlendirme yapıldığında azalan yönde sıralama; 7 Şubat'a benzer şekilde duvar dış yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1, iç yüzey sıcaklıklarında 2-4-5-3-1 ve iç ortam sıcaklıklarında 2-4-3-5-1 şeklindedir.

3.1.2.2. Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Mayıs Ayı)

Günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 21 Mayıs günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 50'de yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık 20 °C, en düşük sıcaklık 11,7 °C olarak kaydedilmiştir.

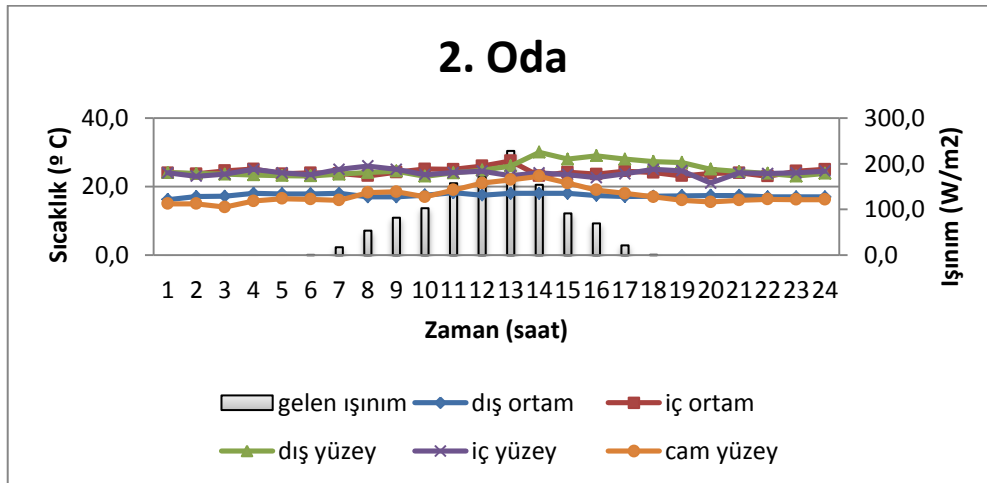
Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 16,5 °C olarak kaydedilmiştir. 21 Mayıs günü, dış ortam kuru termometre sıcaklığı 17,4 °C'dir. Tüm gün boyunca gelen ışınım miktarı çok az olduğu için duvar dış yüzey sıcaklığı akşam saatlerinden itibaren giderek azalmıştır. Aynı şekilde duvar iç yüzey sıcaklığında da düşüş görülmektedir.

Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık 16,4 °C, en düşük sıcaklık 15 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 15,6 °C olarak kaydedilmiştir.



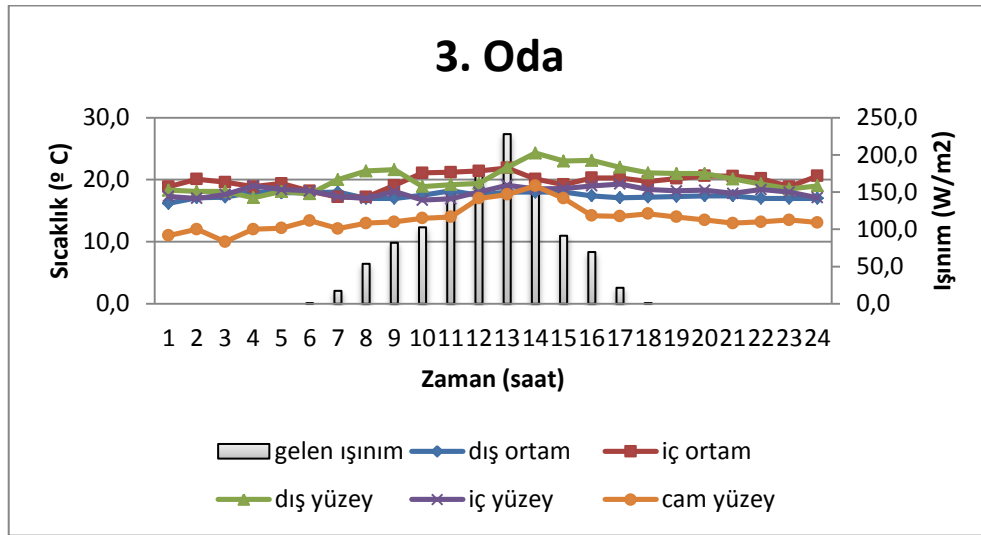
Şekil 50. Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 21 Mayıs 2012)

Şekil 51’de 21 Mayıs günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 30 °C, en düşük sıcaklık 23,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 25 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 26 °C, en düşük sıcaklık 21 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 24 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odanın güney duvarında en dış katman olan cam yüzeyde öğle saatlerinde güneş ışınımıyla paralel değerde artış göstermektedir.



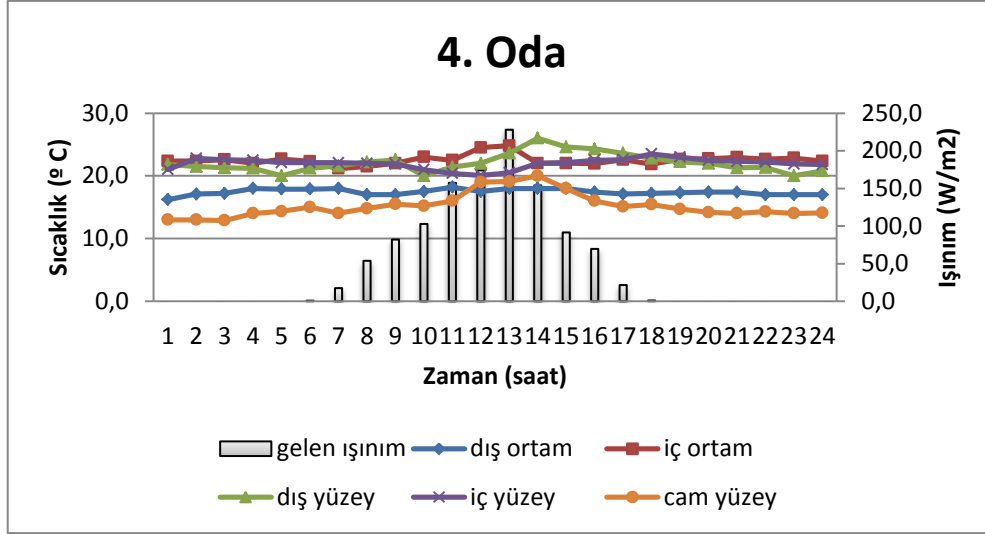
Şekil 51. Opak yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 21 Mayıs 2012)

21 Mayıs günü günlük ortalama ışınım miktarı çok az olduğu için 3. ve 4. odanın güney duvarındaki kapaklar gün boyunca kapalı tutulmuştur. 3. odanın saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 24,3 °C, en düşük sıcaklık 17,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 20 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 20 °C, en düşük sıcaklık ise 17 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı 18 °C olarak kaydedilmiştir. Güneş ışınım miktarının azda olsa artış gösterdiği gündüz saatlerinde duvar dış ve iç yüzey sıcaklığında da artış görülmektedir (Şekil 52).



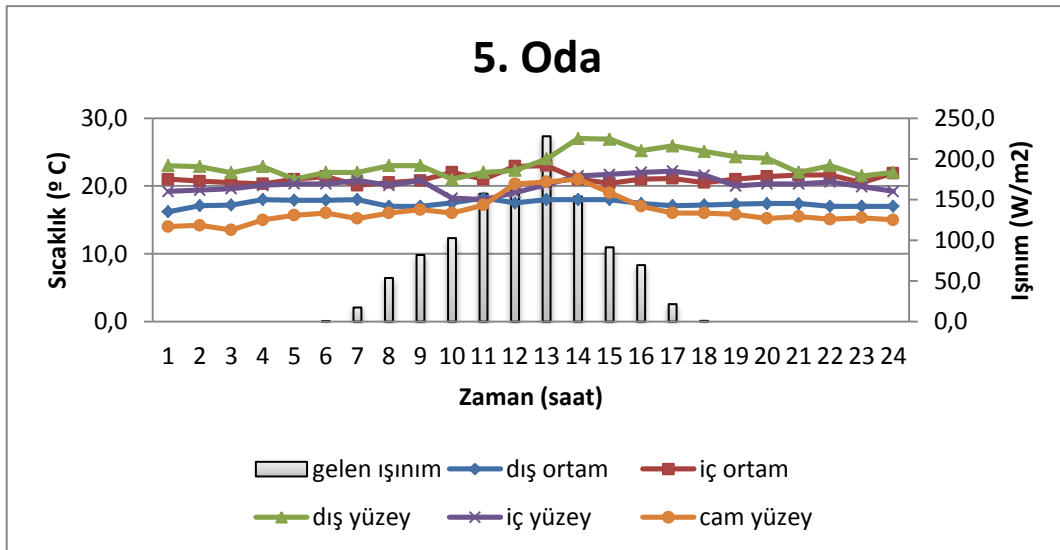
Şekil 52. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 21 Mayıs 2012)

4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 26 °C, en düşük sıcaklık 20 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 22 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 23,5 °C, en düşük sıcaklık 21 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 21,6 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 53).



Şekil 53. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 21 Mayıs 2012)

5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 27 °C, en düşük sıcaklık 21 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 23,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 22,2 °C, en düşük sıcaklık 19,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 20,2 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 54).



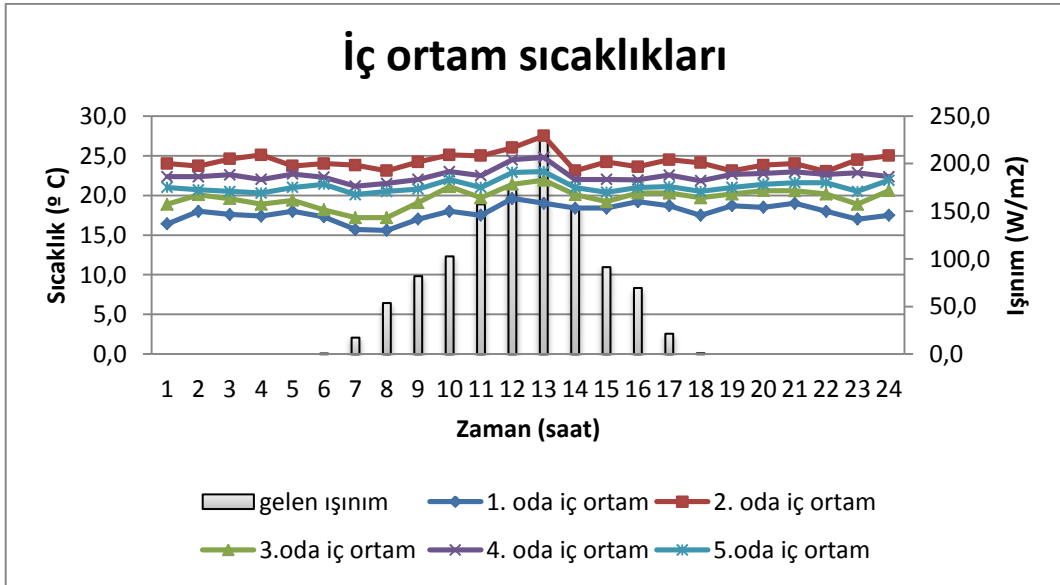
Şekil 54. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 21 Mayıs 2012)

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 21 Mayıs günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 30 °C olarak 2. odada görülmektedir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 20 °C olarak 1. odada görülmektedir. Saydam yalıtım malzemesinin güneş ışınımı geçirgenliği ve yalıtım özelliği nedeniyle duvar dış yüzey sıcaklıkları saydam yalıtımlı odalarda opak yalıtımlı 1. odaya göre oldukça yüksek olmaktadır. 1. odanın dış duvarı opak yalıtımın etkisiyle güneş ışınlarını bünyesine geçirmemekte ve dolayısıyla iç yüzey sıcaklığı da en düşük değerde ölçülmektedir (Tablo 27).

Tablo 27. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (21 Mayıs)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	20	30	24,3	26	27
İç yüzey sıcaklığı (°C)	16,4	26	20	23,5	22,2

21 Mayıs günü odaların iç ortam sıcaklıklarındaki değişim Şekil 55’de yer almaktadır.



Şekil 55. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (21 Mayıs 2012)

Günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 21 Mayıs günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 28’de yer almaktadır.

Tablo 28. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (21 Mayıs)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	16,5	25	20	22	23,2
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	15,6	24	18	21,6	20,2
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	17,6	24,3	19,7	22,5	21,1

3.1.3. Temmuz Ayı İçin Seçilmiş Günlere Ait Ölçüm Sonuçları

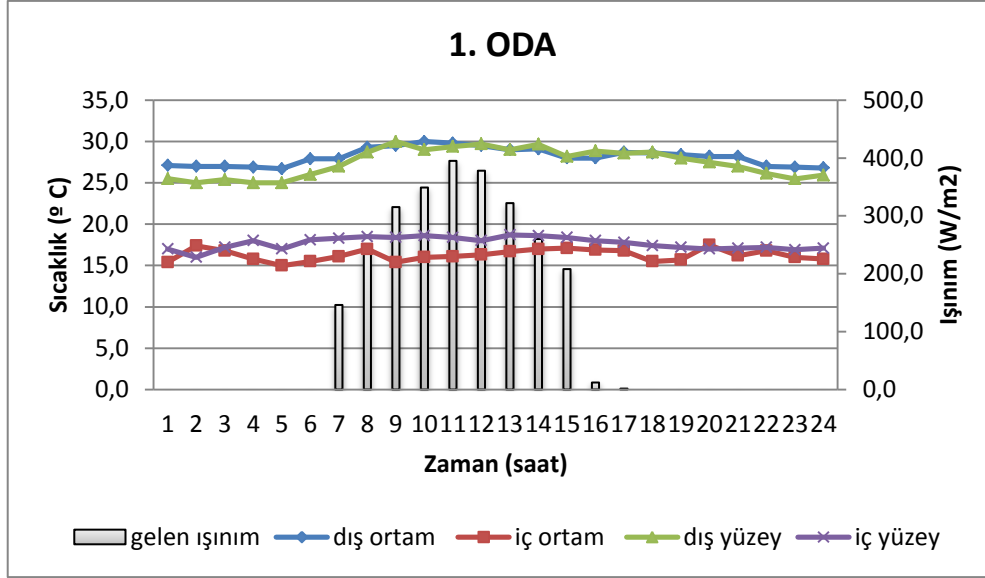
Temmuz ayını temsil eden günlere ait iklim verileri Tablo 29’da yer almaktadır.

Tablo 29. Temmuz ayını temsil eden günlere ait iklim verileri

Tarih	Günlük ort. sıcaklık (°C)	Mak. sıcaklık (°C)	Min. sıcaklık (°C)	Bağıl nem miktarı (%)	Düşey yüzeye gelen günlük ort. ışıınım miktarı (Watt/m2)
25.07.2012	28.1	30	26.8	75.7	238
06.07.2012	23	25.1	20	66.3	100

3.1.3.1. Günlük Ortalama Işıınım Miktarının En Fazla Olduğu Güne Ait Ölçümler (Temmuz Ayı)

Günlük ortalama ışıınım miktarının en fazla olduğu 25 Temmuz günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 56’da yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 30 °C, en düşük sıcaklık 25 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 27,4 °C olarak kaydedilmiştir. 25 Temmuz günü, günlük ort. dış ortam kuru termometre sıcaklığı 28,1 °C’dir.

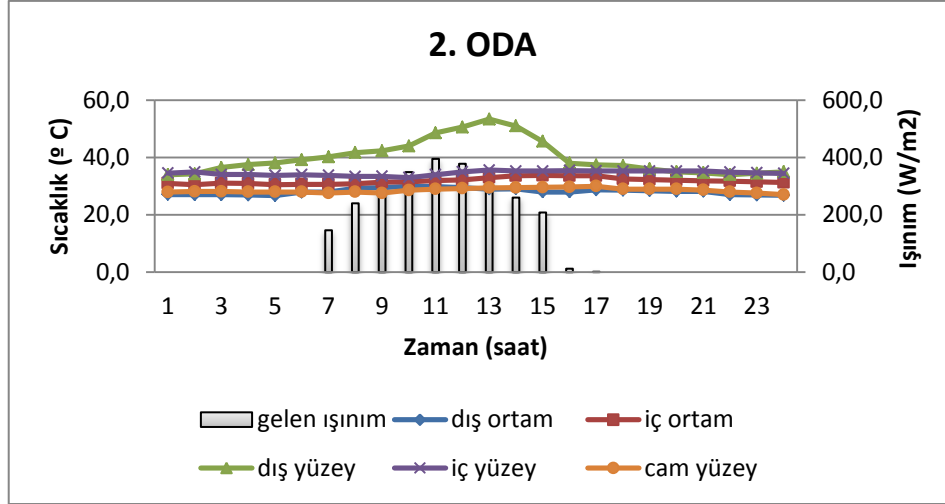


Şekil 56. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 25 Temmuz 2012)

Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 18,7 °C, en düşük sıcaklık 16 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 17,7 °C olarak kaydedilmiştir.

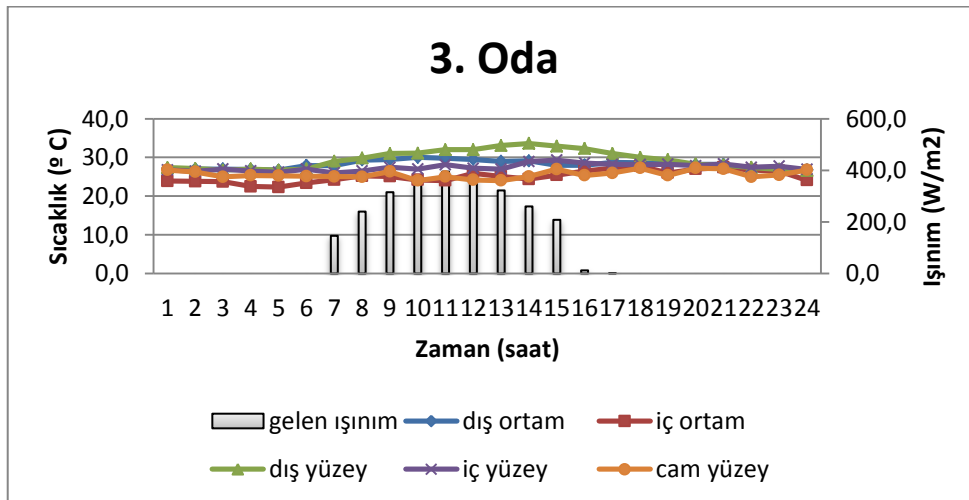
Şekil 56'daki grafikten de görüldüğü üzere, 1. odanın güney duvarı üzerine gelen günlük ışınım miktarında ve dış yüzey sıcaklığındaki değişime karşın iç ortamda ve iç yüzeyde önemli bir sıcaklık değişimi görülmemiştir.

25 Temmuz günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 57'de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 53,4 °C, en düşük sıcaklık 34 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 40 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 35,6 °C, en düşük sıcaklık 33 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 34,6 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarda gündüz saatlerinde yüzeye gelen güneş enerjisinin soğurularak duvarda depolanması nedeniyle dış yüzey sıcaklığında ve buna paralel olarak iç yüzey sıcaklığında da artış gözlenmektedir.



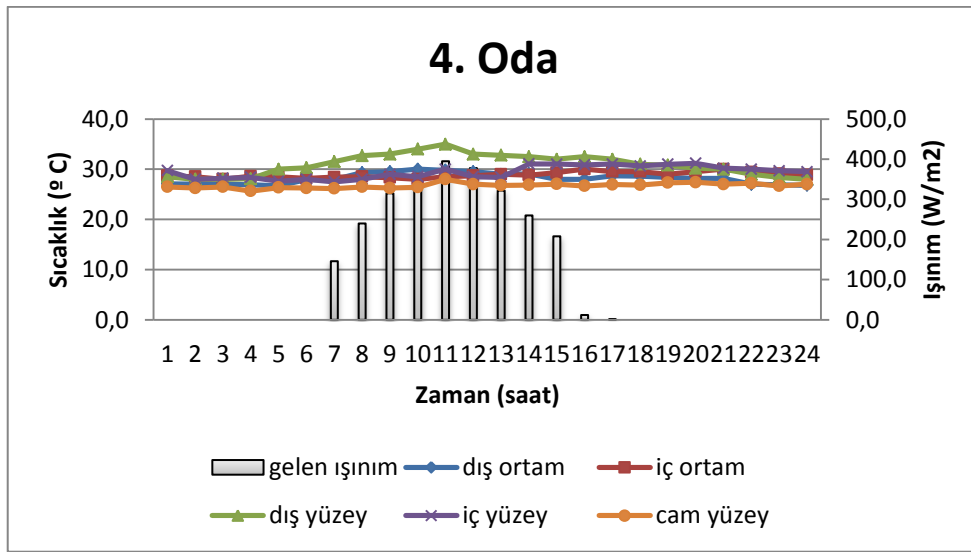
Şekil 57. Saydam yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 25 Temmuz 2012)

3. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları, odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri ile duvarda yer alan kapaklardaki giriş ve çıkış sıcaklıkları Şekil 58’de yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 33,6 °C, en düşük sıcaklık 26,6 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 29,4 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 29,3 °C, en düşük sıcaklık 26 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 27,5 °C olarak kaydedilmiştir.



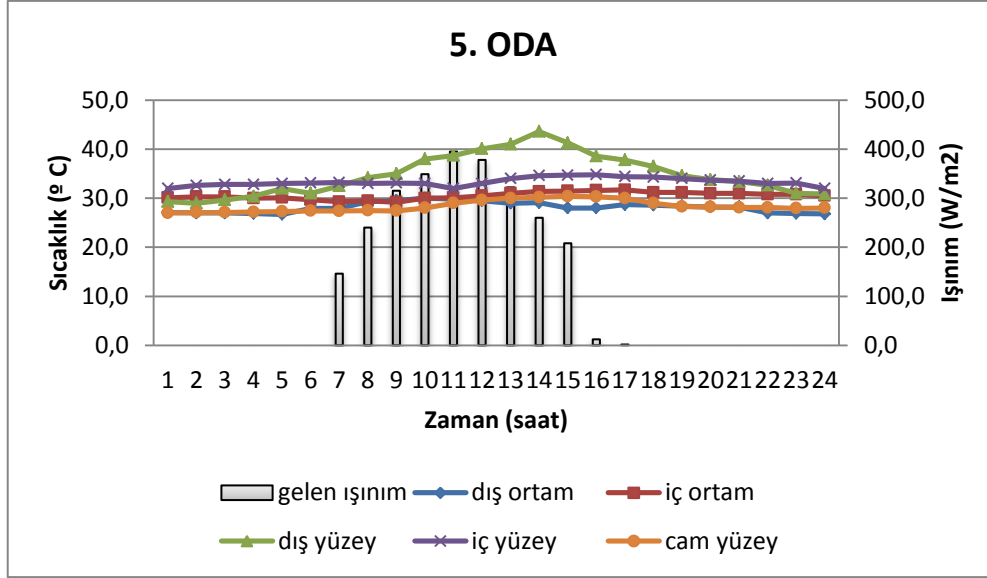
Şekil 58. Saydam yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 25 Temmuz 2012)

4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları, odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri ile duvarda yer alan kapaklardaki giriş ve çıkış sıcaklıkları Şekil 59'da yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 35 °C, en düşük sıcaklık 28 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 30,9 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 31,1 °C, en düşük sıcaklık 27,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 29,4 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 59. Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 25 Temmuz 2012)

25 Temmuz günü 5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 60'da yer almaktadır. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 43,6 °C, en düşük sıcaklık 29 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 34,8 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 32 °C, en düşük sıcaklık 29 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 30,4 °C olarak kaydedilmiştir.



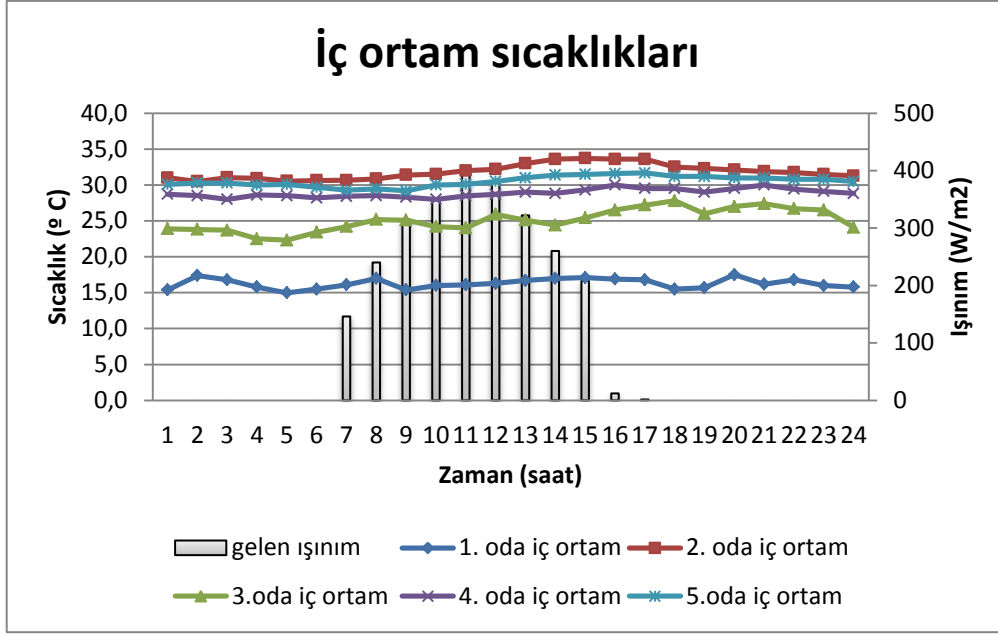
Şekil 60. Saydam yalıtımlı duvarın ısı davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 25 Temmuz 2012)

Tablo 30. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (25 Temmuz)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	30	53,4	33,6	35	43,6
İç yüzey sıcaklığı (°C)	18,7	35,6	29,3	30,9	32

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 25 Temmuz günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 53,4 °C olarak 2. odada görülmektedir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 30 °C olarak 1. odada görülmektedir (Tablo 30).

Şubat ve Mayıs aylarına benzer olarak saydam yalıtım malzemesinin güneş ışınımı geçirgenliği ve yalıtım özelliği nedeniyle duvar dış yüzey sıcaklığı opak yalıtımlı duvara (1. Oda) göre oldukça yüksek olmaktadır. Duvar iç yüzey sıcaklıkları da dış yüzey sıcaklıklarına paralel bir şekilde artış göstermektedir. 1. odanın dış duvarı opak yalıtımın etkisiyle güneş ışınlarını bünyesine geçirmemekte ve dolayısıyla iç yüzey sıcaklığı da en düşük değerde ölçülmektedir.



Şekil 61. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (25 Temmuz 2012)

Günlük ortalama ışınım miktarının en fazla olduğu 25 Temmuz günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 31’ de yer almaktadır.

Tablo 31. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (25 Temmuz)

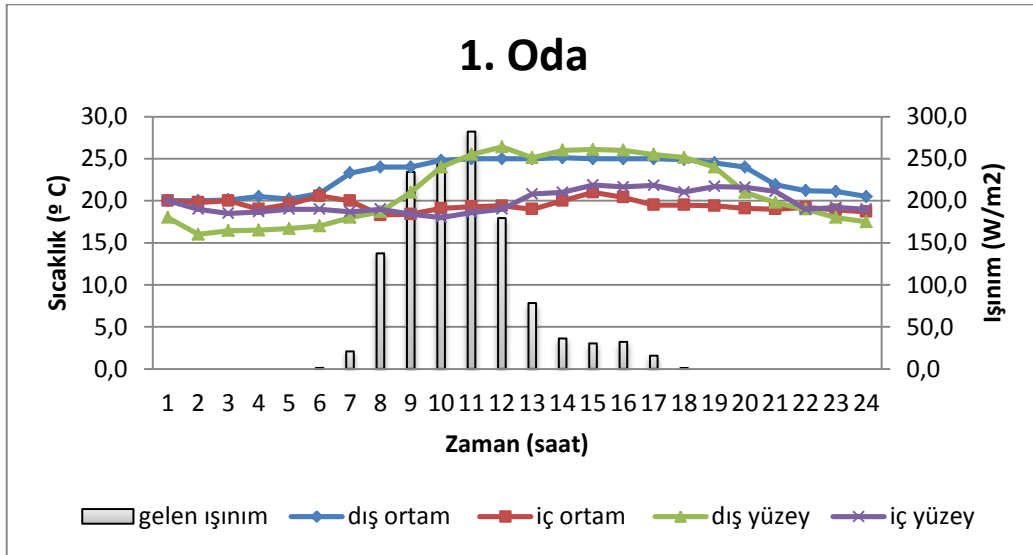
	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	27,4	40	29,4	30,9	34,8
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	25,6	34,6	27,5	29,4	30,4
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	16,3	31,8	25,1	28,9	30,5

Tablo 31’e göre genel bir değerlendirme yapıldığında azalan yönde sıralama; duvar dış yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1, iç yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1 ve iç ortam sıcaklıklarında 2-5-4-3-1 şeklindedir. Temmuz ayında 3. ve 4. odalarda saydam yalıtımı tutan alüminyum çerçevenin üst ve alt kısmındaki havalandırma kapakları, gece ve gündüz sürekli açık bırakılarak sistem içindeki boşlukta ısınan hava dış ortama verilmektedir. Gece boyunca da duvar dış yüzeyinden dışarıya doğru ısı akışı sağlanarak sistemin soğuması sağlanmıştır. Bu nedenle 3. ve 4. odanın dış yüzey ortalama sıcaklığı, saydam yalıtımlı diğer odalara göre daha düşük elde edilmiştir. İç ortam sıcaklıklarındaki sıralama da iç yüzey sıcaklıklarıyla paralellik göstermiştir.

3.1.3.2. Günlük Ortalama Işınım Miktarının En Az Olduğu Güne Ait Ölçümler (Temmuz Ayı)

Temmuz ayı ortalamalarına göre günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 6 Temmuz günü 1. odaya ait opak yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri Şekil 62’de yer almaktadır. Opak yalıtımlı duvar dış yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık 26,4°C, en düşük sıcaklık 16 °C olarak kaydedilmiştir.

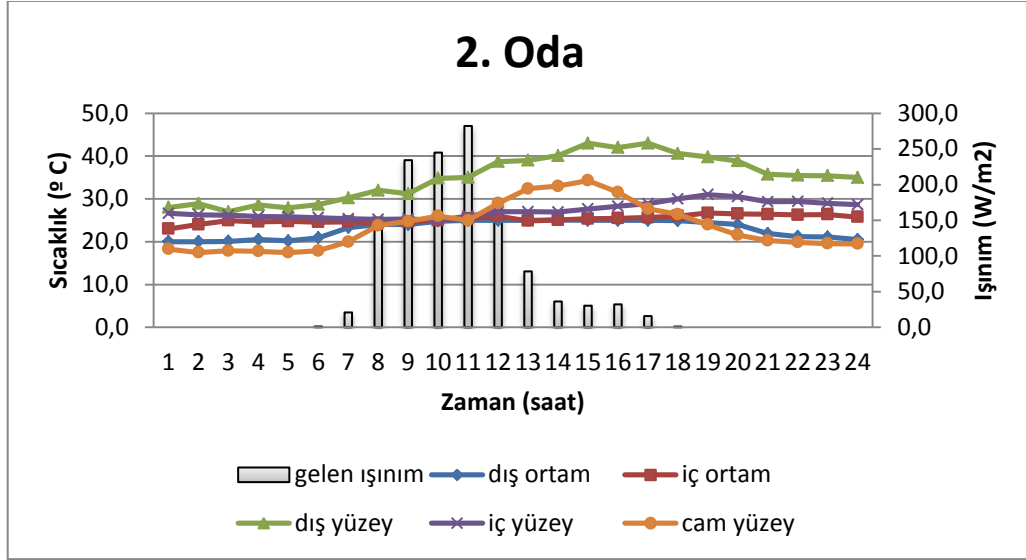
Opak yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 21,1 °C olarak kaydedilmiştir. 16 Şubat günü, dış ortam kuru termometre sıcaklığı 23 °C’dir. Tüm gün boyunca gelen ışınım miktarı çok fazla olduğu için duvar dış yüzey sıcaklığı da öğle saatlerinden itibaren artış göstermiştir.



Şekil 62. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (1. Oda, 6 Temmuz 2012)

Opak yalıtımlı duvar iç yüzeyinde güneş ışınımının olduğu gündüz saatlerinde ölçülen en yüksek sıcaklık 21,9 °C, en düşük sıcaklık 18 °C olarak kaydedilmiştir. Opak yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 19,8 °C olarak kaydedilmiştir. Şekil 63’de 6 Temmuz günü 2. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile odanın iç ortam sıcaklığının saatlik değişimleri görülmektedir. Saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 43 °C, en düşük sıcaklık 27 °C olarak kaydedilmiştir.

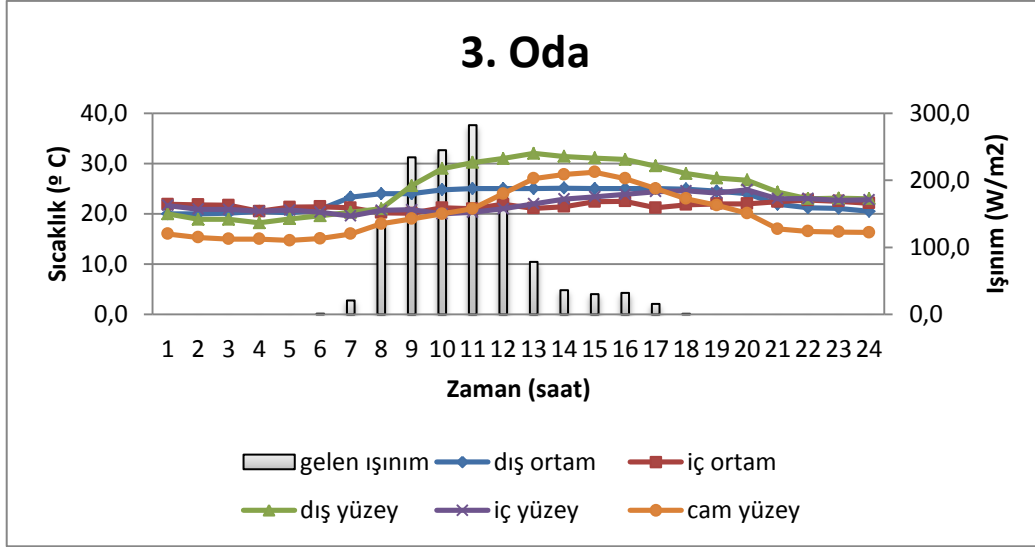
Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 35 °C olarak kaydedilmiştir.



Şekil 63. Opak yalıtımlı duvarın ısısal davranışının saatlik değişimi (2. Oda, 6 Temmuz 2012)

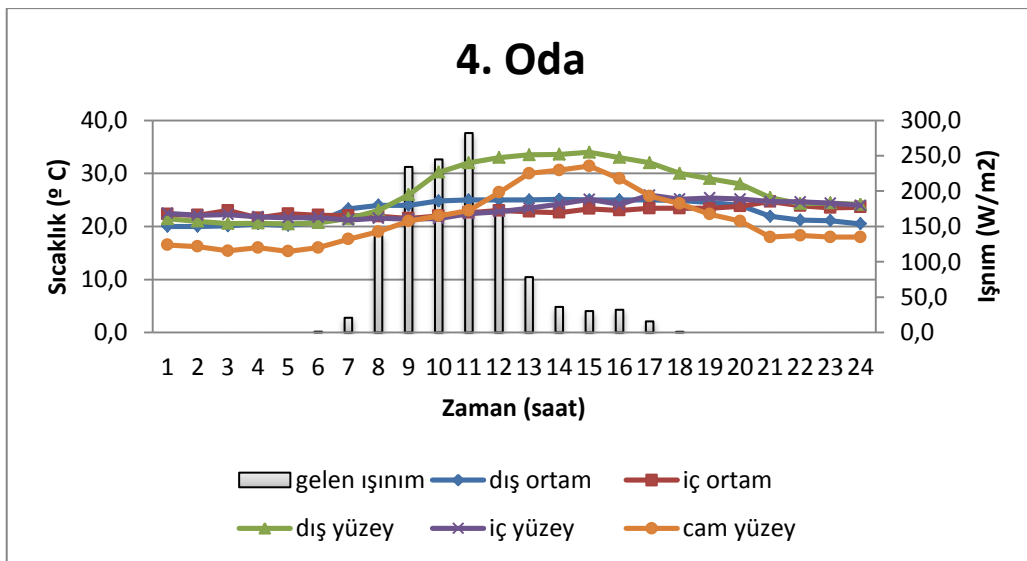
Saydam yalıtımlı 2. odanın güney duvarının iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 31 °C, en düşük sıcaklık 25 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 27,4 °C olarak kaydedilmiştir. 2. odanın güney duvarındaki cam yüzey sıcaklığı da öğle saatlerinden itibaren artış göstermektedir.

6 Temmuz ve 25 Temmuz günü günlük ortalama ışınım miktarı çok fazla olduğu için 3. ve 4. odanın güney duvarındaki kapaklar, iç ortam sıcaklığını daha da fazla arttırmamak için gün boyunca kapalı tutulmuştur. 3. odanın saydam yalıtımlı duvar dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık öğle saatlerinde 32 °C, en düşük sıcaklık ise gece saatlerinde 18,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 25,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 24,8 °C, en düşük sıcaklık 20 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 22 °C olarak kaydedilmiştir. Güneş ışınım miktarının artış gösterdiği gündüz saatlerinde duvar dış ve iç yüzey sıcaklığında da artış görülmektedir (Şekil 64).



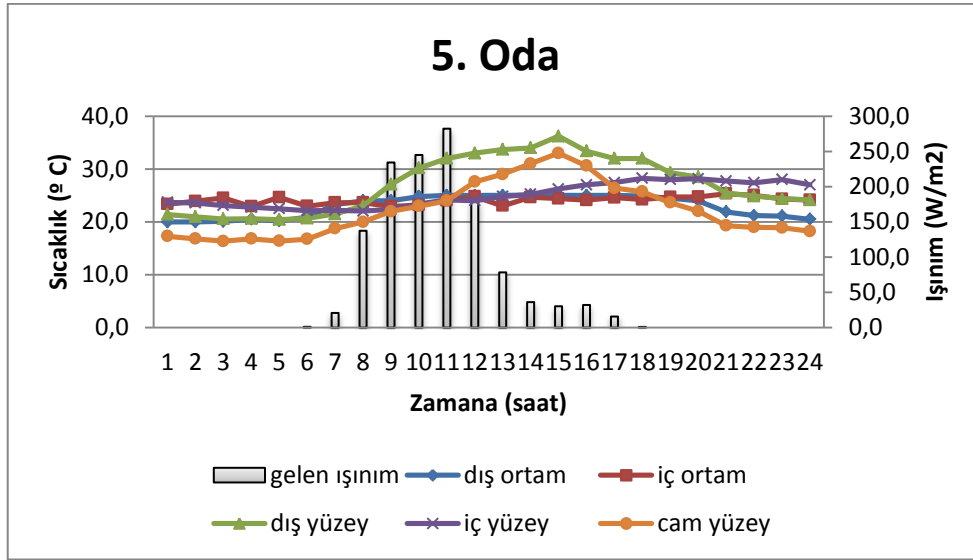
Şekil 64. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (3. Oda, 6 Temmuz 2012)

4. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 34 °C, en düşük sıcaklık 20,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 26,7 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 25,9 °C, en düşük sıcaklık 21,2 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 23,3 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 65).



Şekil 65. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (4. Oda, 6 Temmuz 2012)

5. odaya ait saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 36,2 °C, en düşük sıcaklık 20,5 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın dış yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 27,1 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvar iç yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık 28,2 °C, en düşük sıcaklık 22 °C olarak kaydedilmiştir. Saydam yalıtımlı duvarın iç yüzeyinin günlük ort. sıcaklığı ise 25,1 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 66).



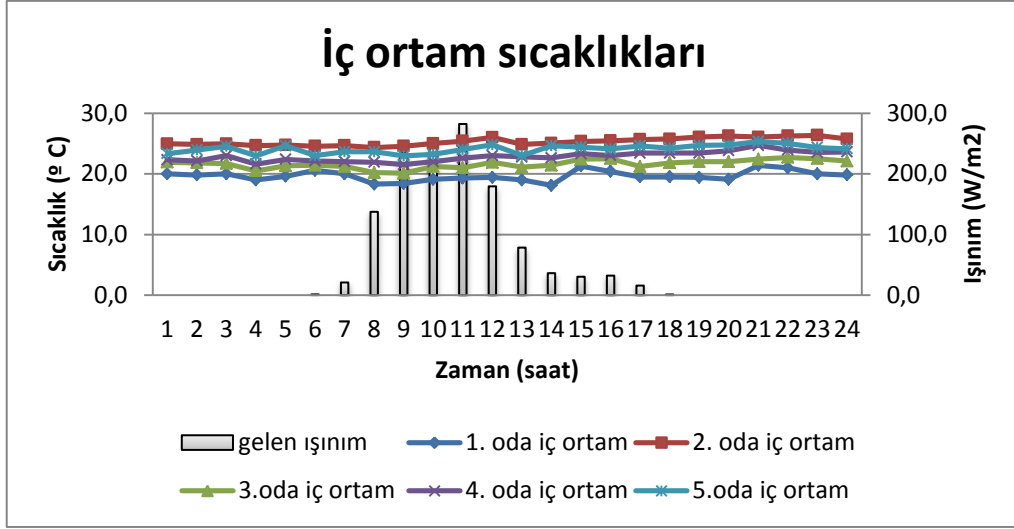
Şekil 66. Opak yalıtımlı duvarın ısıl davranışının saatlik değişimi (5. Oda, 6 Temmuz 2012)

Odaların dış yüzey sıcaklıkları incelendiğinde 6 Temmuz günü maksimum dış yüzey sıcaklığı 43 °C olarak 2. odada görülmektedir. Minimum dış yüzey sıcaklığı ise 26,4 °C olarak 1. odada görülmektedir (Tablo 32). Bu tablodaki değerlerin performans sıralaması, 25 Temmuzdaki değerlerle benzerlik göstermektedir.

Tablo 32. Duvarların maksimum dış ve iç yüzey sıcaklıkları (6 Temmuz)

	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey sıcaklığı (°C)	26,4	43	32	34	36,2
İç yüzey sıcaklığı (°C)	21,9	31	24,8	25,9	28,2

Saydam yalıtımlı odaların 6 Temmuz günü iç ortam sıcaklıklarının ortalamaları da Şekil 67'de yer almaktadır.



Şekil 67. Deney odalarının iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması (6 Temmuz 2012)

Temmuz ayı ortalamalarına göre günlük ortalama ışınım miktarının en az olduğu 6 Temmuz günü odaların güney duvarlarının dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamalarının karşılaştırmalı değerlendirmesi Tablo 33' de yer almaktadır.

Tablo 33. Duvarların dış yüzey, iç yüzey ve iç ortam sıcaklık ortalamaları (6 Temmuz)

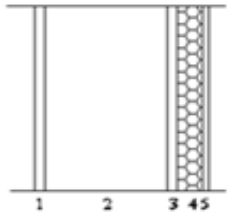
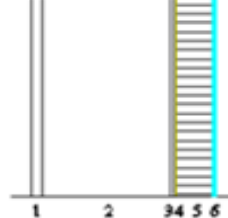
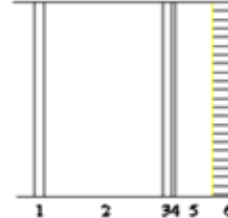
	1.oda	2.oda	3.oda	4.oda	5.oda
Dış yüzey ort. sıcaklığı (°C)	21,1	35	25,1	26,7	27,1
İç yüzey ort. sıcaklığı (°C)	19,8	27,4	22	23,3	25,1
İç ortam ort. Sıcaklığı (°C)	19,5	25,3	21,6	22,8	24,1

Tablo 33'e göre genel bir değerlendirme yapıldığında azalan yönde sıralama; duvar dış yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1, iç yüzey sıcaklıklarında 2-5-4-3-1 ve iç ortam sıcaklıklarında 2-5-4-3-1 şeklindedir.

3.2. Deneysel Hesap Metodu

Çalışmada 1 yıllık dönemde (1 Mayıs 2012 - 1 Mayıs 2013) yaz ve kış iklim şartlarında farklı termofiziksel özelliklere sahip duvar kuruluşlarının ısı davranışları incelenmiştir. İncelenen duvar modelleri; opak yalıtımlı, saydam yalıtımlı havalandırılmalı (tuğla-betonarme) ve saydam yalıtımlı havalandırmasız (tuğla, betonarme) olmak üzere farklı düzenlemelere sahiptir (Şekil 68). Çalışmanın bu bölümünde deney düzeneğinde yer alan

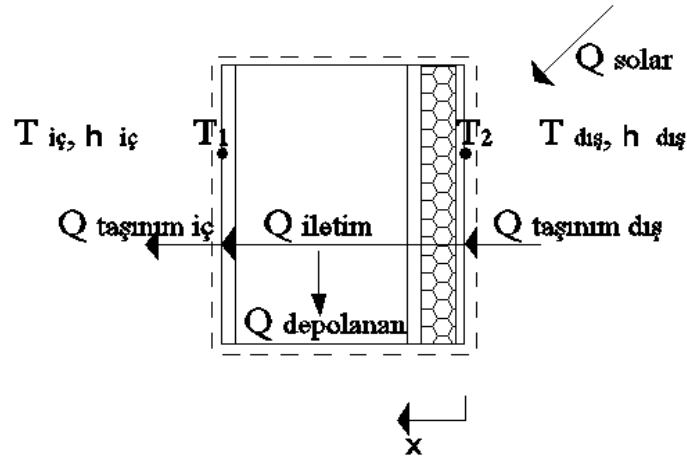
her duvar kuruluşu için güneş enerjisinden elde edilen ısı miktarı, sistemde depolanan ısı miktarı ve iç ortama aktarılan ısı miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar, 1 yıllık dönemde seçilen aylar ve günler için grafikler halinde değerlendirilmiştir.

Model 1 (Oda 1)	Model 2 (Oda 2-5)	Model 3 (Oda 3-4)
Opak yalıtımlı duvar	Saydam yalıtımlı havalandırmasız duvar	Saydam yalıtımlı havalandırmalı duvar
		
1. İç sıva 2. Duvar (tuğla) 3. Kaba dış sıva 4. Opak yalıtım (XPS Köpük) 5. İnce dış sıva	1. İç sıva 2. Duvar (tuğla, betonarme) 3. Dış sıva 4. Saydam yalıtım (Kapipane) 5. Temperli cam	1. İç sıva 2. Duvar (tuğla, betonarme) 3. Dış sıva 4. Hava boşluğu 5. Saydam yalıtım (Kapipane) 6. Temperli cam

Şekil 68. Çalışmadaki duvar modelleri

3.2.1. Model 1 (Oda 1, Opak Yalıtımlı) İçin Hesap Metodu

Model 1’de, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılmış, iç yüzeyinde de değişken sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan katmanlı bir duvar yapısı görülmektedir. Duvar dış yüzeyinde güneş ışınımından etkilenmeyen opak yalıtım malzemesi kullanılmıştır (Şekil 69).



Şekil 69. Model 1 enerji dengesi

Bu duvarda x yönündeki ısı geçişi için;

- Sürekli rejim,
- 1 boyutlu ısı iletimi (x yönünde),
- Duvar içinde ısı üretimi yok,
- Duvar kuruluşlarındaki malzemelerin termofiziksel özellikleri sabit,

kabulleri altında enerji dengesi (3.1) eşitliğindeki gibi yazılabilir;

$$\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}} = \dot{E}_{\text{depolanan}} \quad (3.1)$$

Bu ifade de;

$$\dot{E}_{\text{giren}} = Q_{\text{taşınım dış}} + Q_{\text{solar}}$$

$$\dot{E}_{\text{çıkan}} = Q_{\text{taşınım iç}}$$

$$\dot{E}_{\text{depolanan}} = Q_{\text{depolanan}} \text{ olarak hesaplanır.}$$

$Q_{\text{depolanan}}$, duvar dış yüzeyinden iç yüzeyine kadar olan mesafede depolanan enerji miktarını, Q_{solar} ; duvar dış yüzeyinde yutulan güneş ışınım miktarını, $Q_{\text{taşınım dış}}$; duvar dış yüzeyinde taşınım yoluyla elde edilen enerji miktarını ve $Q_{\text{taşınım iç}}$ ise; duvar iç yüzeyinden taşınım ile elde edilen enerji miktarını ifade etmektedir. Çalışmada duvar iç ve dış yüzeylerindeki ısı akısı ve duvarda depolanan ısı akısı dikkate alındığından, duvardan iletimle geçen ısı akısı hesaplanmamıştır.

$$Q_{\text{solar}} = \alpha I A \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{taşınım dış}} = h_{\text{dış}} A (T_{\text{dış}} - T_2) \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{taşınım iç}} = h_{\text{iç}} A (T_1 - T_{\text{iç}}) \quad (3.4)$$

$$Q_{\text{depolanan}} = Q_{\text{solar}} + Q_{\text{taşınım dış}} - Q_{\text{taşınım iç}} \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu ifadelerde;

α : Dış yüzey yutma katsayısı (0,3 olarak alınmıştır)

I : Duvar yüzeyine (dik yüzey) gelen güneş ışınım miktarı (W/m^2)

$h_{dış}$: Dış yüzey ısı taşınım katsayısı (25 W/m²K olarak alınmıştır)

$h_{iç}$: İç yüzey ısı taşınım katsayısı (7,6 W/m²K olarak alınmıştır)

A : Duvar dış yüzey alanı (m²)

$T_{dış}$: Dış ortam sıcaklığı (°C, $T_{sol-air}$ sıcaklığı olarak alınmıştır)

$T_{iç}$: İç ortam sıcaklığı (°C)

T_1 : Duvar iç yüzey sıcaklığı (°C, iç yüzeyde ölçülen sıcaklıkların ort. değeri olarak alınmıştır)

T_2 : Duvar dış yüzey sıcaklığı (°C, dış yüzeyde ölçülen sıcaklıkların ort. değeri olarak alınmıştır) olarak ifade edilmektedir.

Model 1’de enerji dengesi güneş ışınımı da dikkate alınarak oluşturulursa, duvar dış yüzeyindeki toplam ısı akısı sadece (3.9) eşitliği kullanılarak da hesaplanabilir (Çengel, 1998).

$$Q_{yüzey} = Q_{taşınım} + Q_{solar} \quad (3.6)$$

$$Q_{yüzey} = h_{dış} A (T_{dış} - T_2) + \alpha A I \quad (3.7)$$

(3.7) eşitliğinde $T_{dış}$ sıcaklığı yerine $T_{sol-air}$ sıcaklığı kullanılmıştır.

$$T_{sol-air} = T_{dış} + \frac{\alpha I}{h_o} \quad (3.8)$$

(3.8) eşitliği, (3.7) eşitliğinde yerine koyulduğunda;

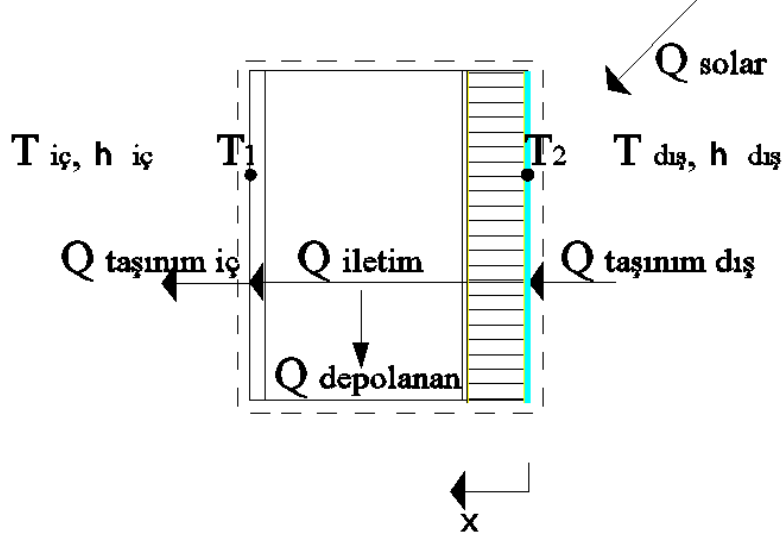
$$Q_{yüzey} = h_{dış} A (T_{sol-air} - T_2) \quad (3.9)$$

eşitliği elde edilir.

1.2.2. Model 2 (Oda 2-5, Saydam Yalıtımlı Havalandırmasız) İçin Hesap Metodu

Model 2’de de, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılmış, iç yüzeyinde de değişken sıcaklıktaki oda havası ile temasta

olan katmanlı bir duvar yapısı görülmektedir. Duvar dış yüzeyinde güneş ışınımını yüksek oranda geçiren saydam yalıtım malzemesi kullanılmıştır (Şekil 70).



Şekil 70. Model 2 enerji dengesi

Bu duvar modeli içinde Model 1'deki gibi x yönündeki ısı geçişi için;

- Sürekli rejim,
- 1 boyutlu ısı iletimi (x yönünde),
- Duvar içinde ısı üretimi yok,
- Duvar kuruluşlarındaki malzemelerin termofiziksel özellikleri sabit,

kabulleri altında enerji dengesi (3.1) eşitliğindeki gibi yazılabilir.

Model 2'de de enerji dengesi güneş ışınımı da dikkate alınarak oluşturulursa, duvar dış yüzeyindeki toplam ısı akısı sadece (3.9) eşitliği kullanılarak da hesaplanabilir.

1.2.3. Model 3 (Oda 3-4, Saydam Yalıtımlı Havalandırılmalı) İçin Hesap Metodu

Model 3'de de, dış yüzeyinde periyodik olarak değişen güneş ışınımına ve dış ortam sıcaklığına maruz bırakılmış, iç yüzeyinde de değişken sıcaklıktaki oda havası ile temasta olan katmanlı bir duvar yapısı görülmektedir. Duvar dış yüzeyinde güneş ışınımını yüksek oranda geçiren saydam yalıtım malzemesi kullanılmıştır.

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, bu duvar kuruluşunda Model 2'deki duvar kuruluşundan farklı olarak bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bunlardan ilki saydam

yalıtım malzemesi ile duvar dış yüzeyi arasında 10 cm havalandırma boşluğunun bırakılmasıdır. İkincisi ise duvar yüzeyi üzerinde iç ortama açılan havalandırma boşluklarının yer almasıdır. Bu boşluklara yerleştirilen kapaklar kışın güneşli günlerde saat 08.00-17.00 arası açık bırakılmıştır. Yazın güneşli günlerde iç ortamın aşırı ısınmasını engellemek için gün boyunca hiç açılmamıştır. Kışın soğuk günlerde ise iç ortamdan dış ortama ısı kaybını engellemek için yine kapalı tutulmuştur.

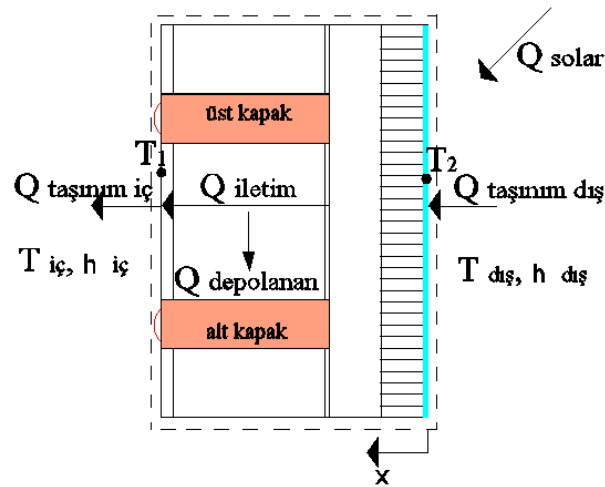
Model 3 için enerji dengesi duvar yüzeyi üzerindeki kapaklar açık ve kapalı durumda olmak üzere iki farklı şekilde yazılmıştır.

1.2.3.1. Model 3 İçin Kapaklar Kapalıyken Hesap Metodu (Yaz Durumu)

Model 3’de kapaklar kapalı durumdayken, kapakların olduğu yerden iç ortama ısı transferi olmadığı kabul edilmiştir (Şekil 71). Bu duvar modeli içinde Model 1 ve Model 2’deki gibi x yönündeki ısı geçişi için;

- Sürekli rejim,
- 1 boyutlu ısı iletimi (x yönünde),
- Duvar içinde ısı üretimi yok,
- Duvar kuruluşlarındaki malzemelerin termofiziksel özellikleri sabit,

kabulleri altında enerji dengesi (3.1) eşitliğindeki gibi yazılabilir. Model 3’de de enerji dengesi güneş ışınımı da dikkate alınarak oluşturulursa, duvar dış yüzeyindeki toplam ısı akısı sadece (3.9) eşitliği kullanılarak da hesaplanabilir.

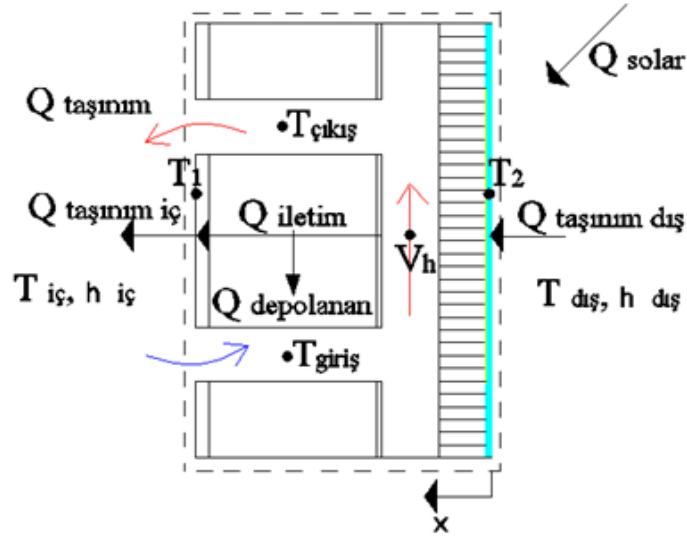


Şekil 71. Model 3 enerji dengesi (kapaklar kapalı)

Model 3 ve 2’de, Model 1’den farklı olarak duvar dış yüzeyinde temperli cam bulunmaktadır. Bu nedenle hesaplamalarda dış yüzey yutma katsayısı (α) yerine, saydam yüzeyler için kullanılan ($\tau\alpha$) yutma geçirme çarpımı kullanılmıştır. Bu değer temperli cam için 0,87 alınmıştır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

3.2.3.2. Model 3 İçin Kapaklar Açıkken Hesap Metodu (Kış Durumu)

Model 3’de kapakların açık olduğu zaman diliminde, kapakların olduğu yerden iç ortama taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir (Şekil 72).



Şekil 72. Model 3 enerji dengesi (kapaklar açık)

Bu duvar modelinde x yönündeki ısı geçişi için;

- Sürekli rejim
- 1 boyutlu ısı iletimi (x yönünde)
- Duvar içinde ısı üretimi yok
- Duvar kuruluşlarındaki malzemelerin termofiziksel özellikleri sabit

kabulleri altında enerji dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \dot{E}_{depolanan} \quad (3.1)$$

Bu ifadede;

$$\dot{E}_{\text{giren}} = Q_{\text{taşınım dış}} + Q_{\text{solar}}$$

$$\dot{E}_{\text{çıkan}} = Q_{\text{taşınım iç}} + Q_{\text{taşınım}}$$

$\dot{E}_{\text{depolanan}} = Q_{\text{depolanan}}$ olarak hesaplanır.

$$Q_{\text{depolanan}} = Q_{\text{taşınım dış}} + Q_{\text{solar}} - (Q_{\text{taşınım iç}} + Q_{\text{taşınım}}) \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliğindeki $Q_{\text{taşınım}}$; dış duvar yüzeyinde bulunan üst kapak açıkken boşluktan iç ortama doğru gerçekleşen taşınım ile ısı transferini ifade etmektedir ve (3.11) eşitliği ile hesaplanır (Onbaşıoğlu ve Eğrican, 2002).

$$Q_{\text{taşınım}} = m c_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{taşınım}} = \rho V_h A c_p (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (3.12)$$

Bu ifadelerde;

m : Sirküle eden havanın kütleli debisi (kg/s)

c_p : Havanın özgül ısısı (J/kg K)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m³)

V_h : Sirküle eden havanın hızı (m/sn, kanal içinde sürekli olarak ölçülmüştür)

A : Kapakların yerleştirildiği boşluğun kesit alanı (m², 25x50cm)

$T_{\text{çıkış}}$: Üst kapağın bulunduğu boşluktan çıkan havanın sıcaklığı (K veya °C)

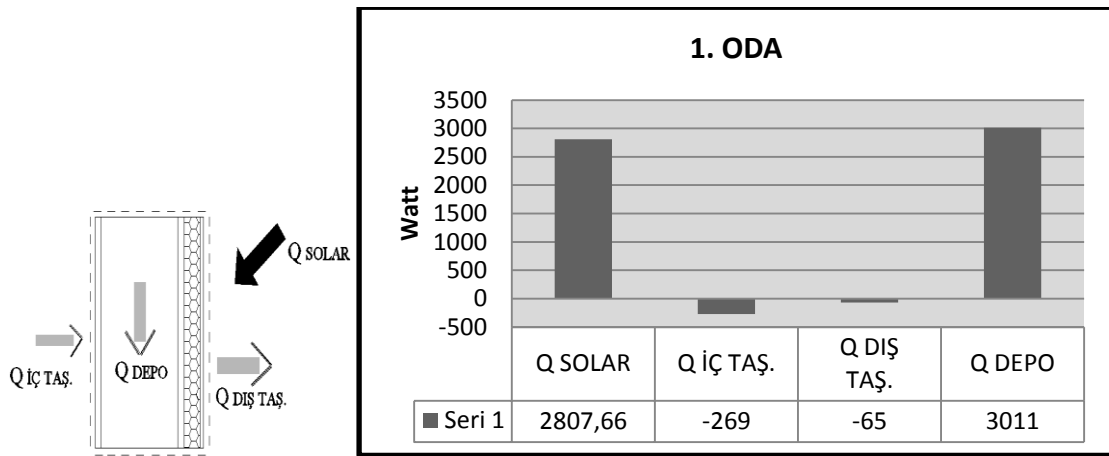
$T_{\text{giriş}}$: Alt kapağın bulunduğu boşluktan giren havanın sıcaklığını (K veya °C) belirtmektedir.

1.3. Şubat, Mayıs ve Temmuz Ayları İçin Seçilmiş Günlere Ait Hesap Sonuçları

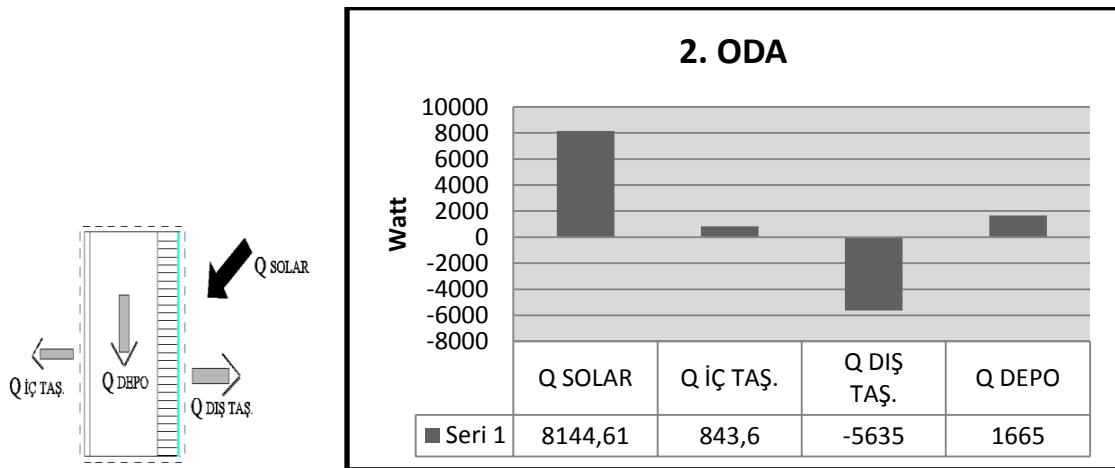
Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarındaki seçilmiş günlerde (7 Şubat, 16 Şubat, 2 Mayıs, 21 Mayıs, 6 Temmuz, 25 Temmuz) sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5. odaların güney duvarlarında hesaplanan günlük ortalama ısı miktarları, ayrı ayrı grafikler halinde verilmiştir. Grafiklerin sol tarafında yer alan duvar kesitleri üzerinde, çıkan sonuçlara bağlı olarak ısı geçiş yönleri şematik olarak ifade edilmiştir.

3. ve 4. odaya ait saydam yalıtımlı güney duvarları yüzeyinde bulunan kapaklar, güneş ışınımının fazla olduğu soğuk günlerde (7 Şubat, 2 Mayıs) gündüz saatleri (08.00-17.00) boyunca açık tutulmuştur. Bu süre zarfında kapakların olduğu boşluktan iç ortama taşınım yoluyla ısı geçişi olmuştur. Gece saatlerinde ise kapaklar kapatıldığı için bu boşluklardan iç ortama ısı alışverişi engellenmiştir. Bu kapaklar, güneş ışınımının düşük olduğu soğuk günlerde hiç açılmamıştır.

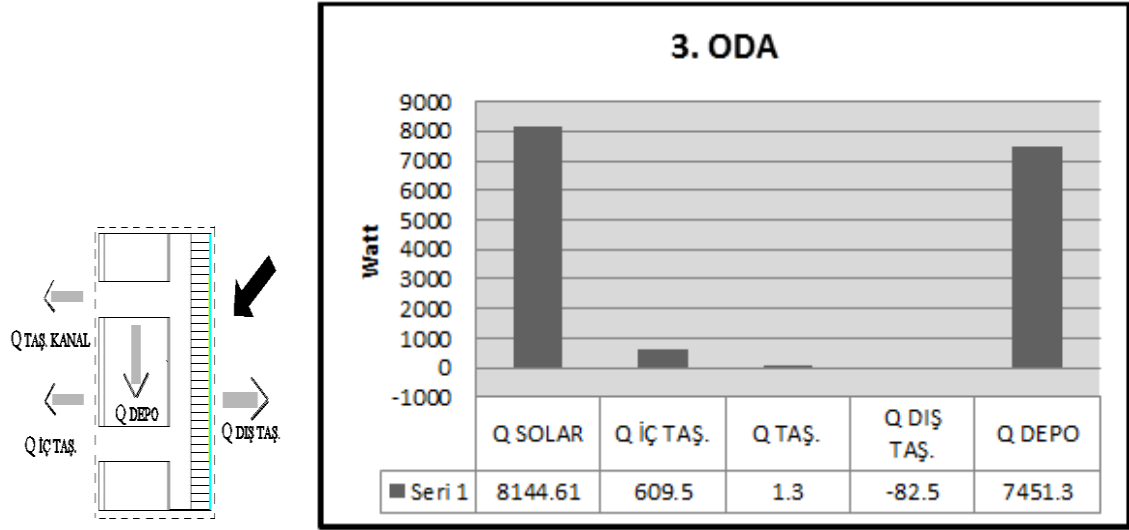
3.3.1. Şubat Ayına Ait Hesap Sonuçları



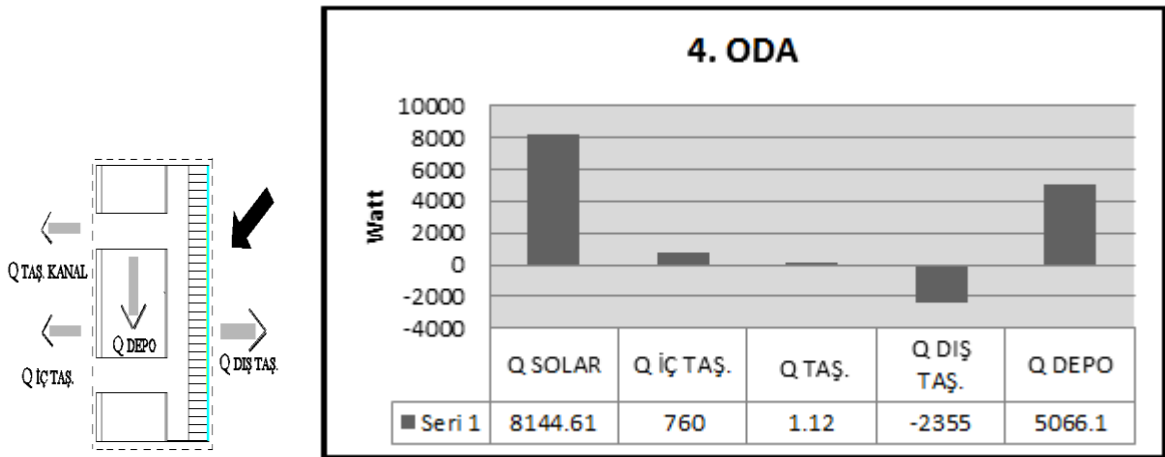
Şekil 73. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 7 Şubat 2013)



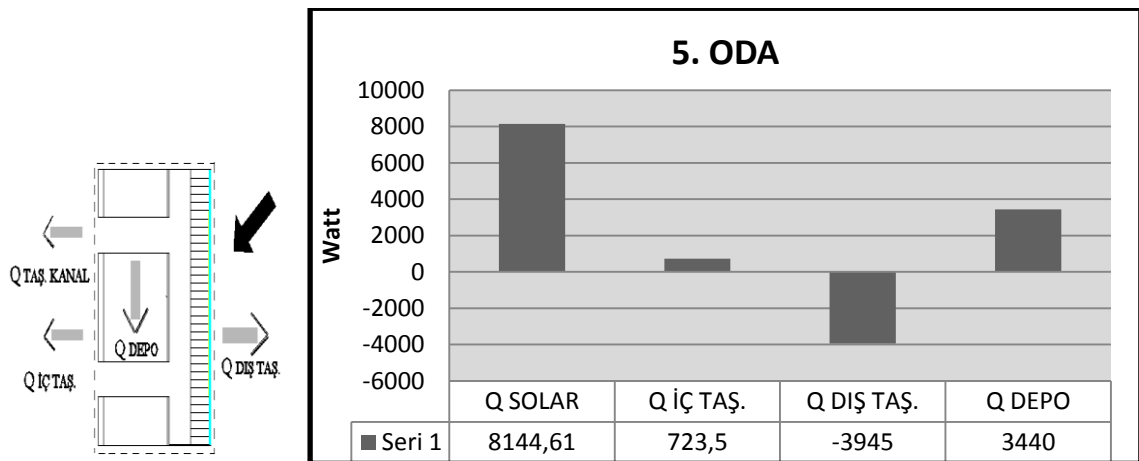
Şekil 74. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 7 Şubat 2013)



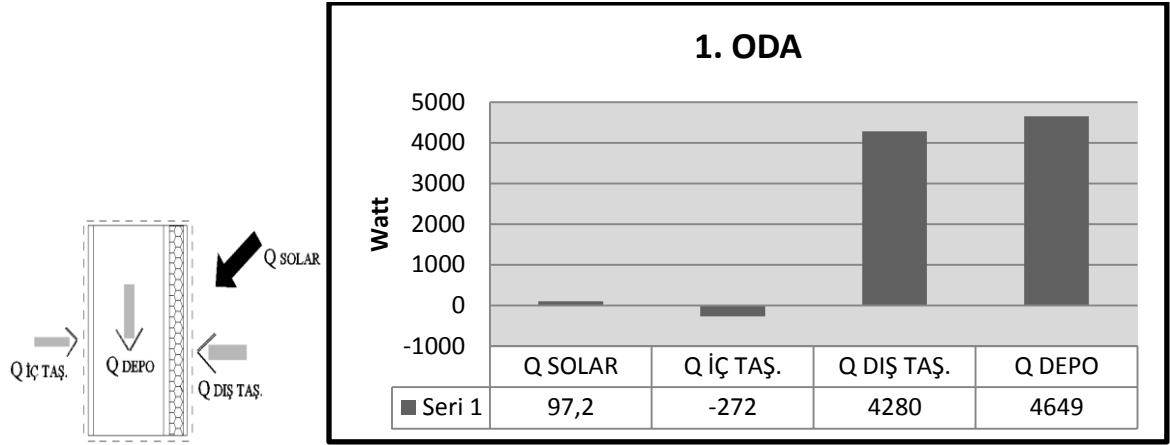
Şekil 75. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 7 Şubat 2013)



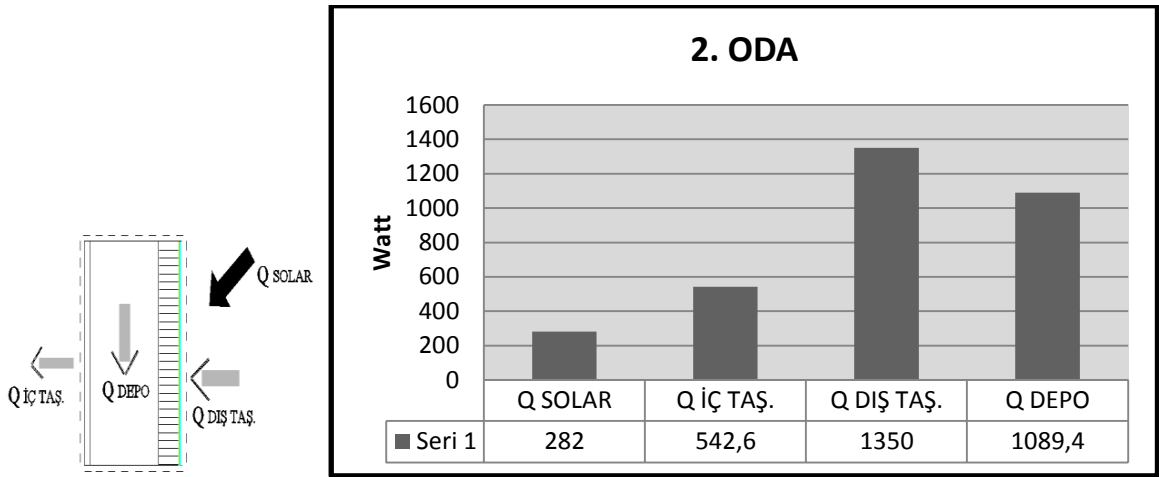
Şekil 76. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 7 Şubat 2013)



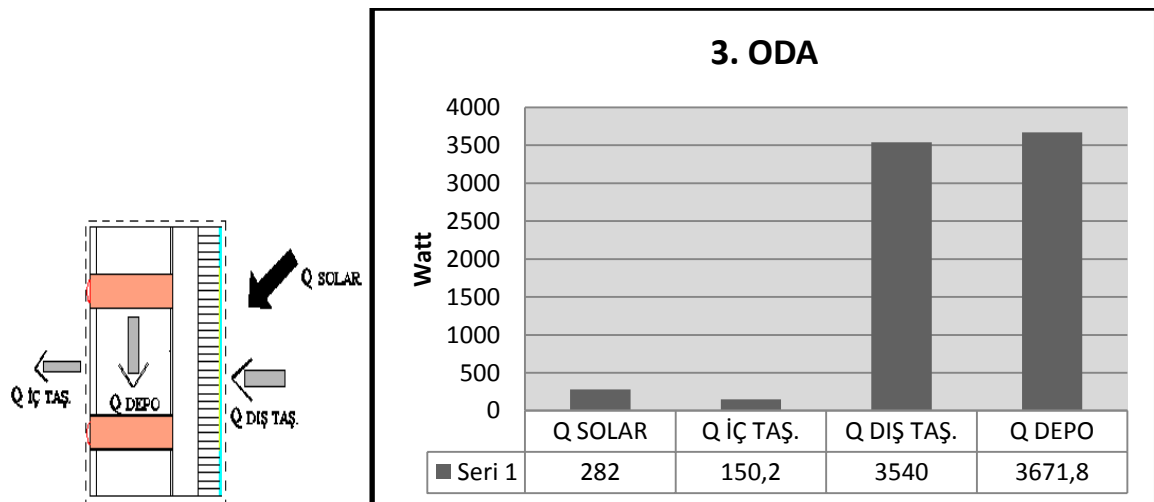
Şekil 77. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 7 Şubat 2013)



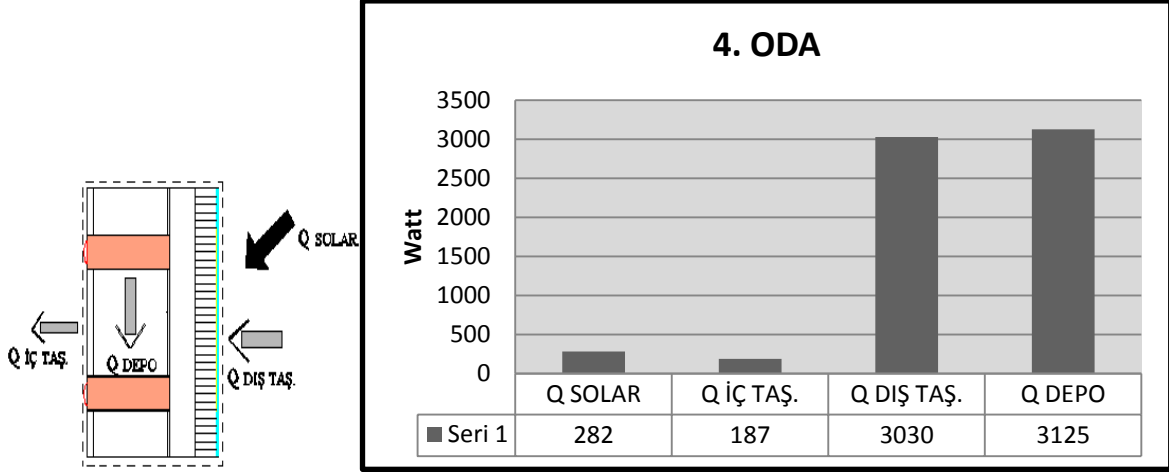
Şekil 78. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 16 Şubat 2013)



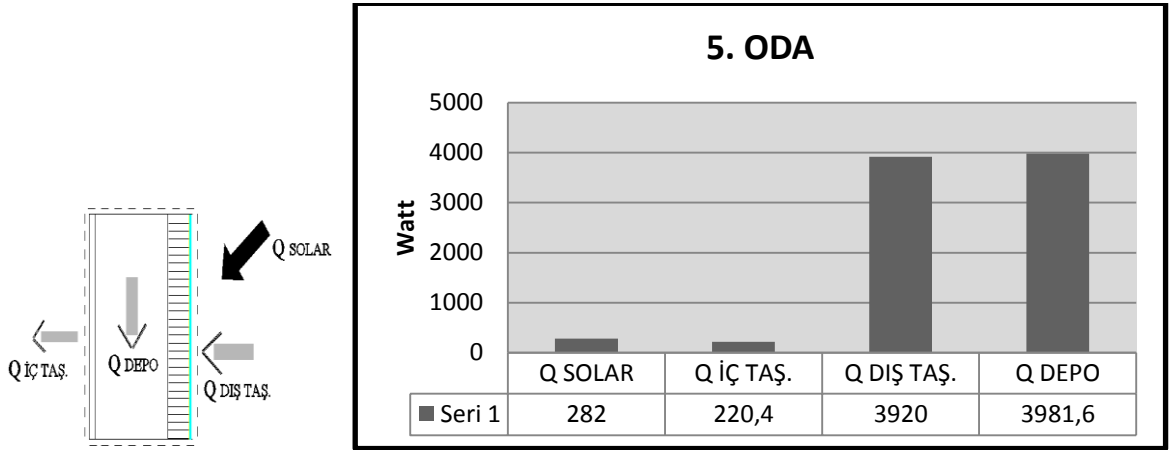
Şekil 79. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 16 Şubat 2013)



Şekil 80. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 16 Şubat 2013)



Şekil 81. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 16 Şubat 2013)



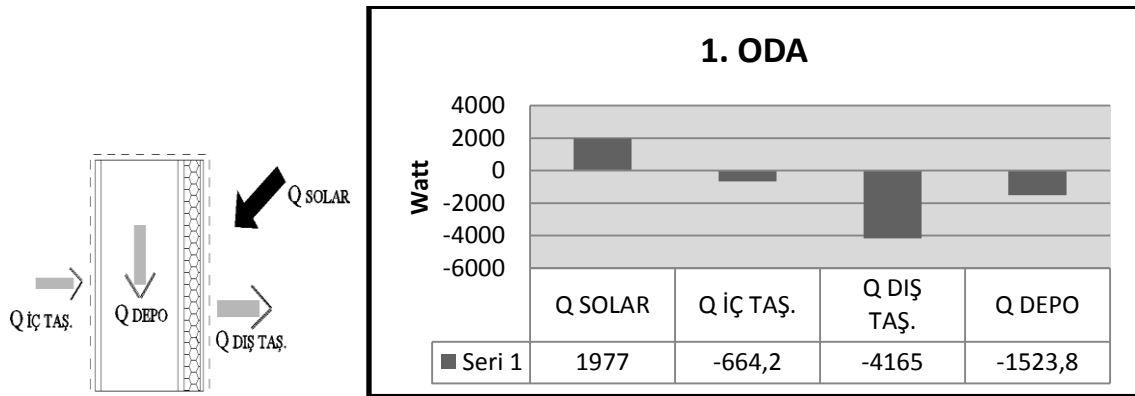
Şekil 82. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 16 Şubat 2013)

Şubat ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en fazla olduğu 7 Şubat günü, odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları; opak yalıtımlı (1) ve saydam yalıtımlı havalandırmasız odalar için (2-5) $Q_{iç\ taş.}$, saydam yalıtımlı havalandırmalı odalar için (3-4) $Q_{iç\ taş.} + Q_{taşınım}$ dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, 1. oda için -269 W, 2. oda için 843,6 W, 3. oda için 609,5 W, 4. oda için 760 W, 5. oda için 723,5 W olarak elde edilmiştir.

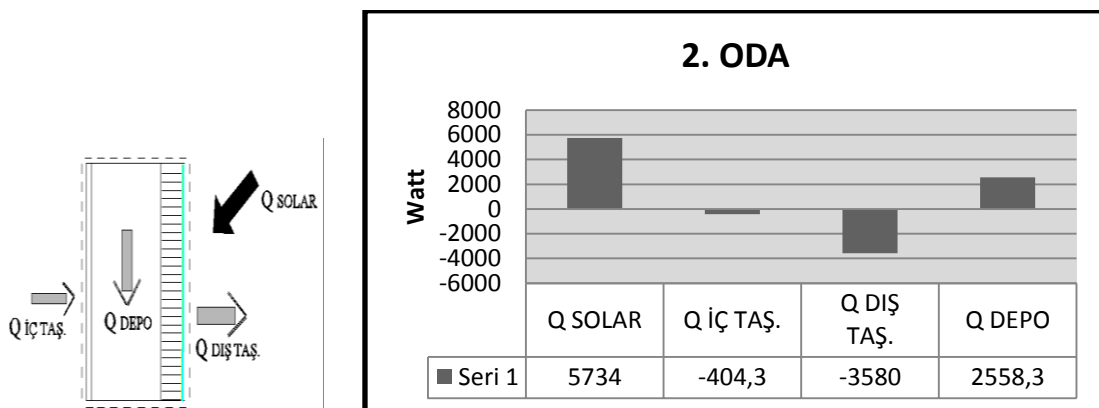
Şubat ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en az olduğu 16 Şubat günü tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları; $Q_{iç\ taş.}$ dikkate alınarak hesaplanmış ve 1. oda için -272 W, 2. oda için 542,6 W, 3. oda için 150,2 W, 4. oda için 187 W, 5. oda için 220,4 W değerleri elde edilmiştir. $Q_{iç\ taş.}$ 'in (-) değerinde

çıkması, ters yöne doğru yani iç ortamdaki katmanlı duvara ve dış ortama doğru ısı geçişi olduğunu göstermektedir. 7 Şubat günü, tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları karşılaştırıldığında, havalandırmasız saydam yalıtımlı betonarme duvarda (2) en yüksek değer elde edilirken, opak yalıtımlı duvarda (1) en düşük değer elde edilmiştir. Bu sıralama, 7 Şubat günü duvarların iç yüzey sıralamalarıyla benzerlik göstermektedir. 16 Şubat günü, tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları karşılaştırıldığında, havalandırmasız saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvarlarda (2-5) en yüksek değer elde edilmiştir. Havalandırmalı saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvar kuruluşları (4-3) bunları izlerken, en düşük değer opak yalıtımlı duvardan (1) elde edilmiştir. Bu sıralama, 16 Şubat günü tüm duvarların iç yüzey sıcaklık sıralamalarıyla benzerlik göstermektedir.

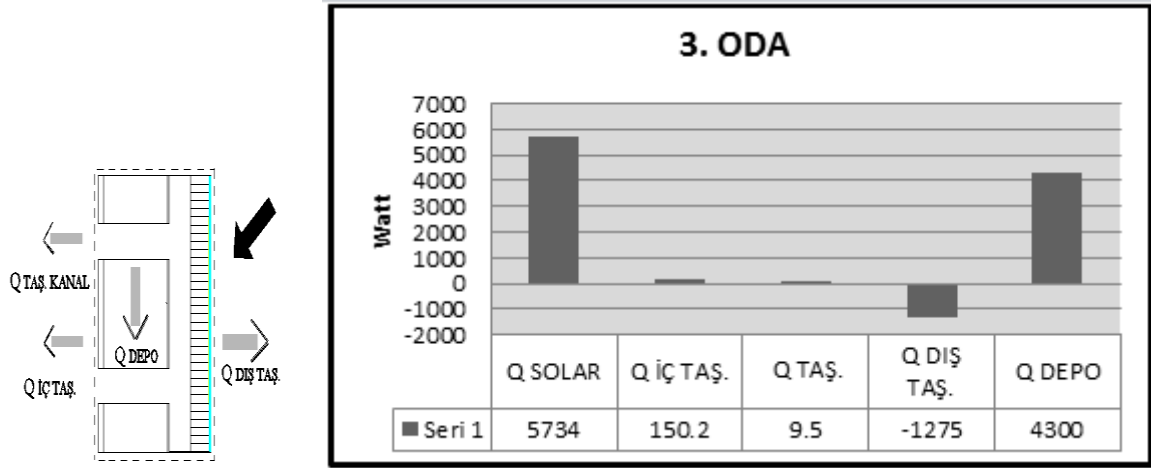
3.3.2. Mayıs Ayına Ait Hesap Sonuçları



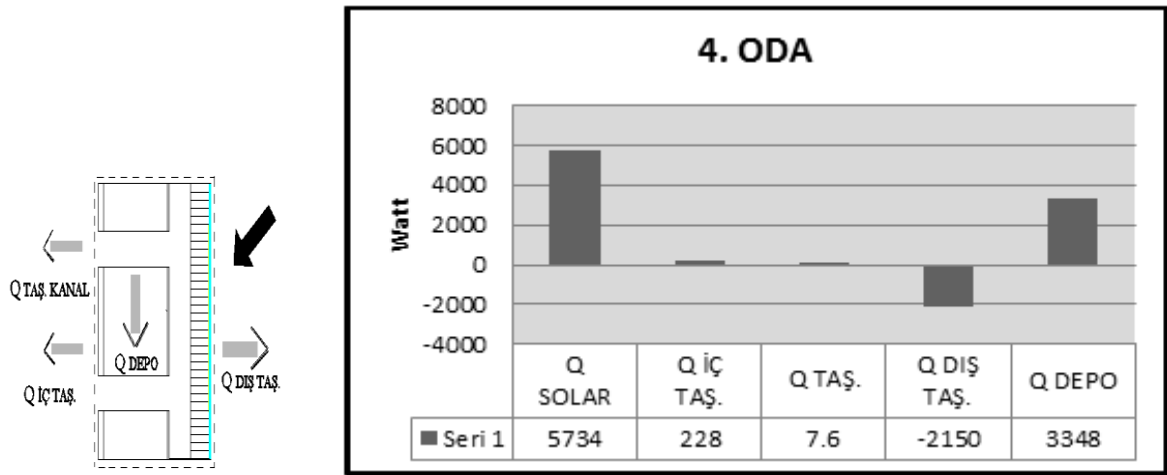
Şekil 83. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 2 Mayıs 2012)



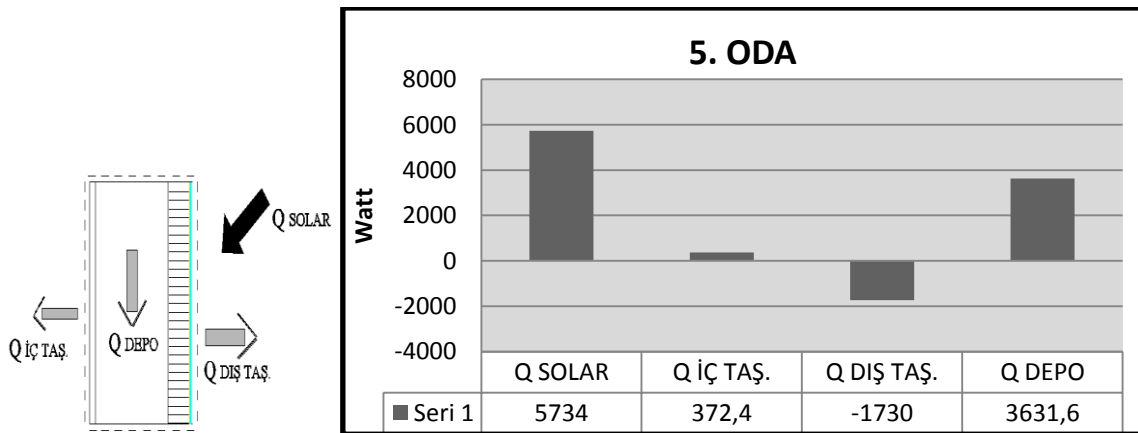
Şekil 84. Sırdam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 2 Mayıs 2012)



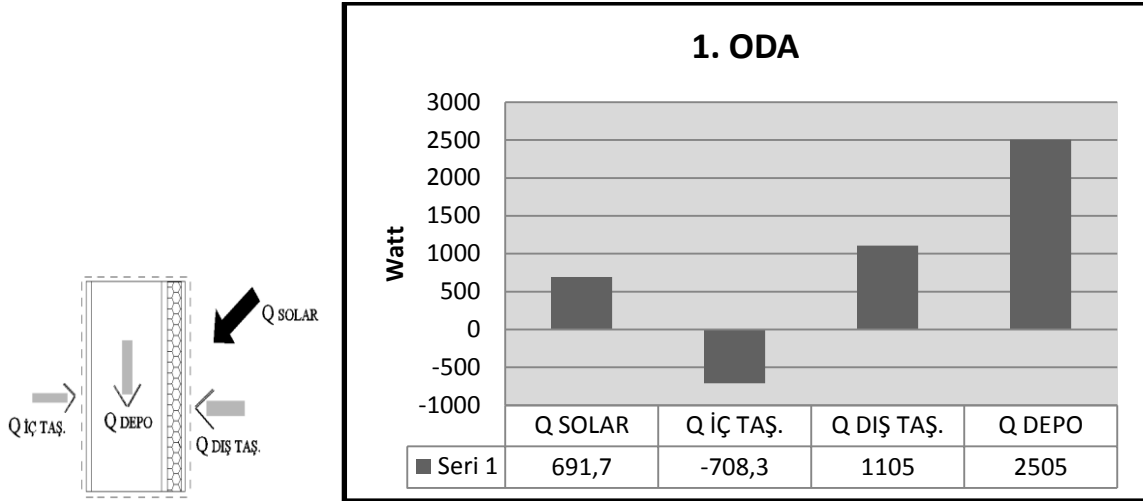
Şekil 85. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 2 Mayıs 2012)



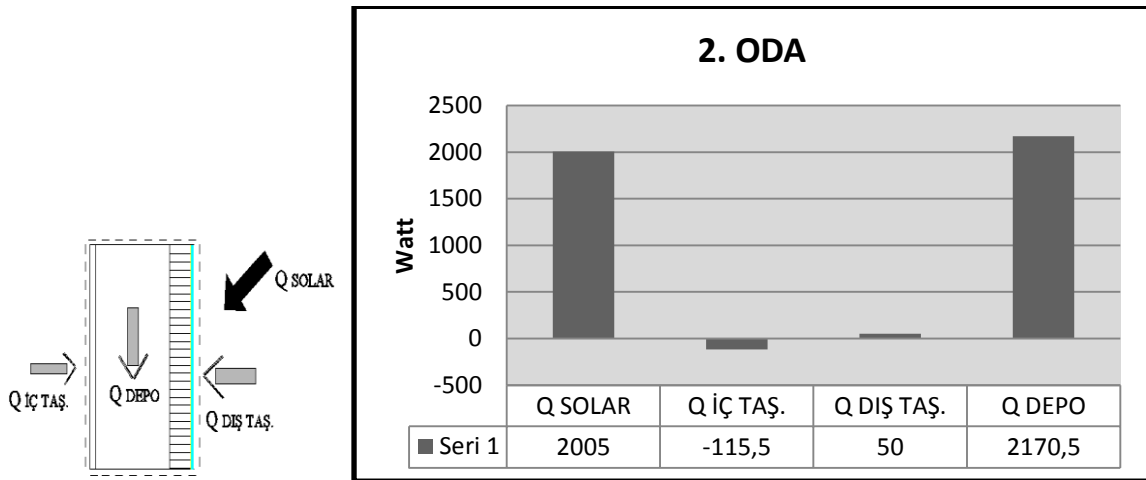
Şekil 86. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 2 Mayıs 2012)



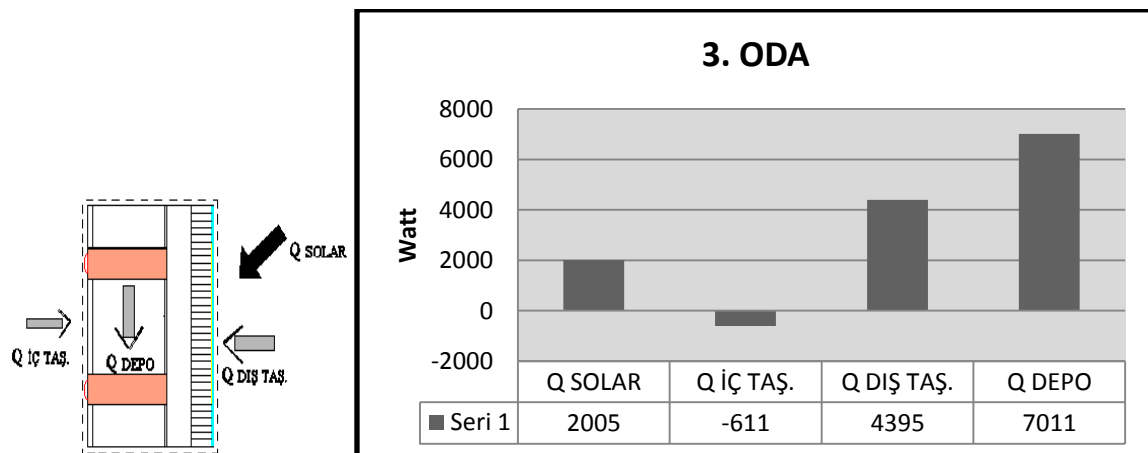
Şekil 87. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 2 Mayıs 2012)



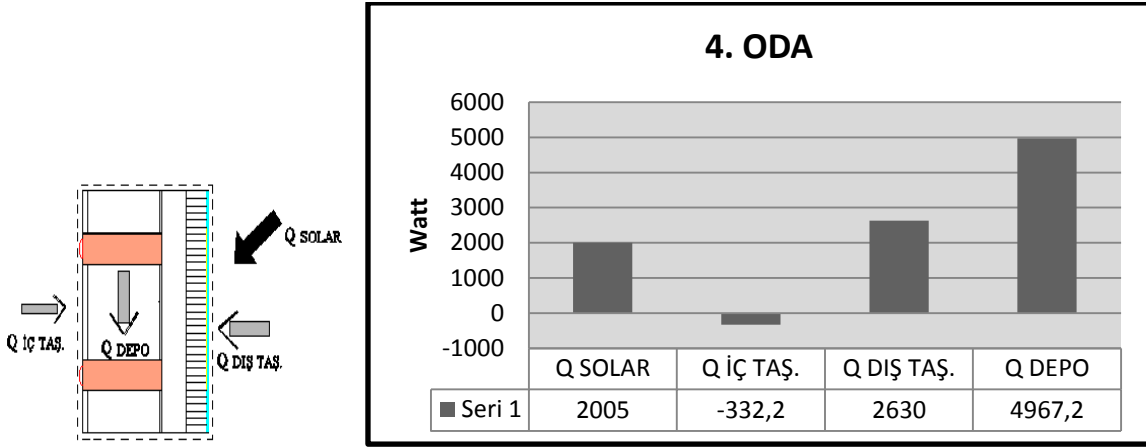
Şekil 88. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 21 Mayıs 2012)



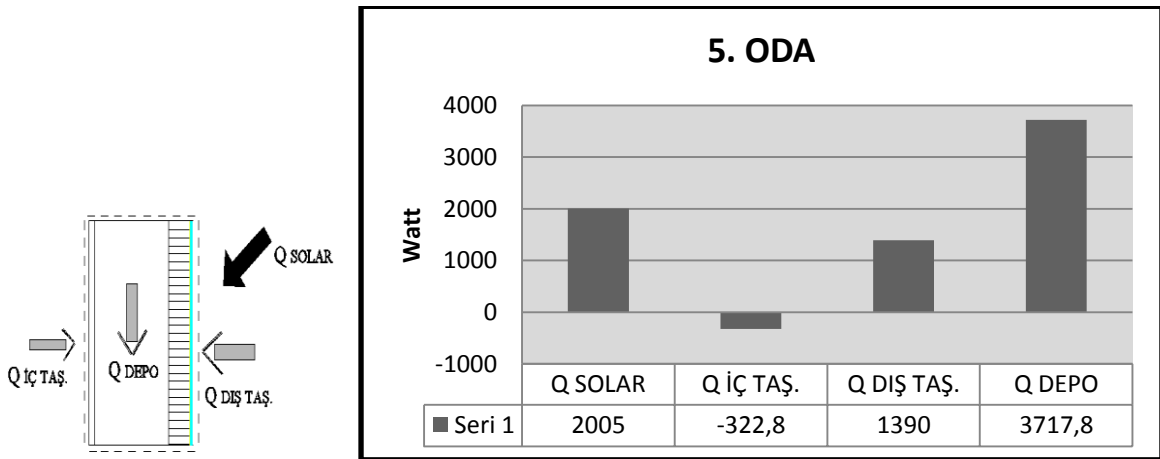
Şekil 89. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 21 Mayıs 2012)



Şekil 90. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 21 Mayıs 2012)



Şekil 91. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 21 Mayıs 2012)



Şekil 92. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 21 Mayıs 2012)

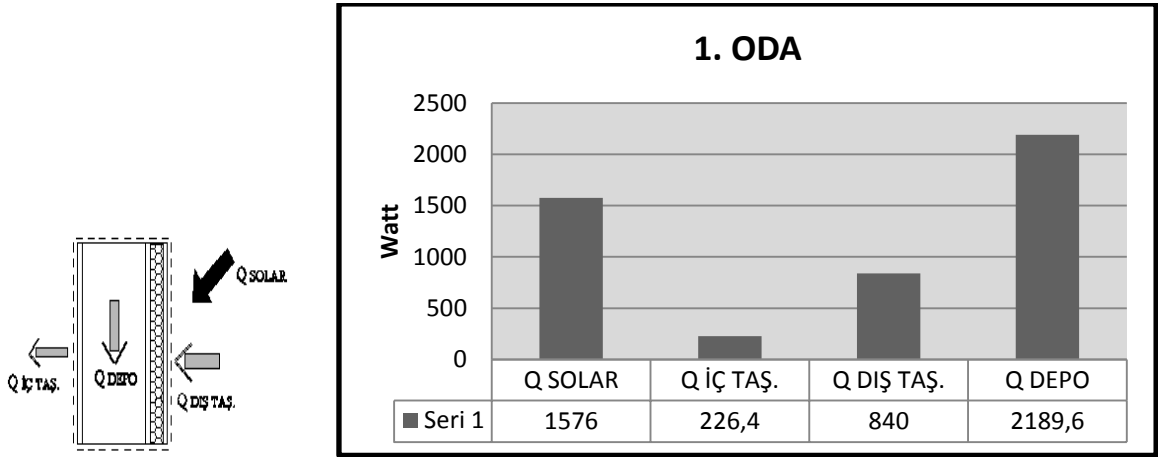
Mayıs ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en fazla olduğu 2 Mayıs günü, odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları; opak yalıtımlı (1) ve saydam yalıtımlı havalandırmasız odalar için (2-5) $Q_{iç\ taş.}$, saydam yalıtımlı havalandırmalı odalar için (3-4) $Q_{iç\ taş.} + Q_{taşınım}$ dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, 1. oda için -664,2 W, 2. oda için 404,3 W, 3. oda için 150,2 W, 4. oda için 228 W, 5. oda için 372,4 W olarak elde edilmiştir.

Mayıs ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en az olduğu 21 Mayıs günü tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları ise $Q_{iç\ taş.}$ dikkate alınarak hesaplanmış ve 1. oda için -708,3 W, 2. oda için -115,5 W, 3. oda için -611 W, 4. oda için -332,2 W, 5. oda için 322,8 W değerleri elde edilmiştir.

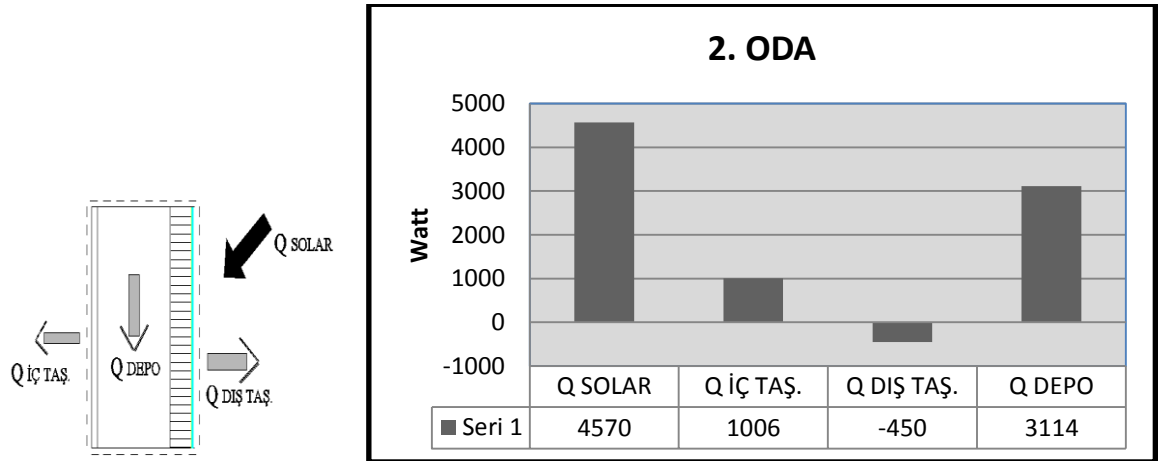
2 Mayıs günü, tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları karşılaştırıldığında, havalandırmazsız saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvarlarda (2-5) en yüksek değer elde edilmiştir. Havalandırmalı saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvar kuruluşları (4-3) bunları izlerken, en düşük değer opak yalıtımlı duvardan (1) elde edilmiştir. Bu sıralama, aynı günler için duvarların iç - dış yüzey sıcaklıkları sıralamalarıyla benzerlik göstermektedir.

21 Mayıs günü, tüm odaların iç ortamlarından duvar kuruluşuna ve dış ortama doğru ısı iletimi gerçekleşmiştir. İç ortamdan en az ısı kaybı saydam yalıtımlı havalandırmazsız 2. odada, en fazla ısı kaybı ise opak yalıtımlı 1. odada görülmüştür.

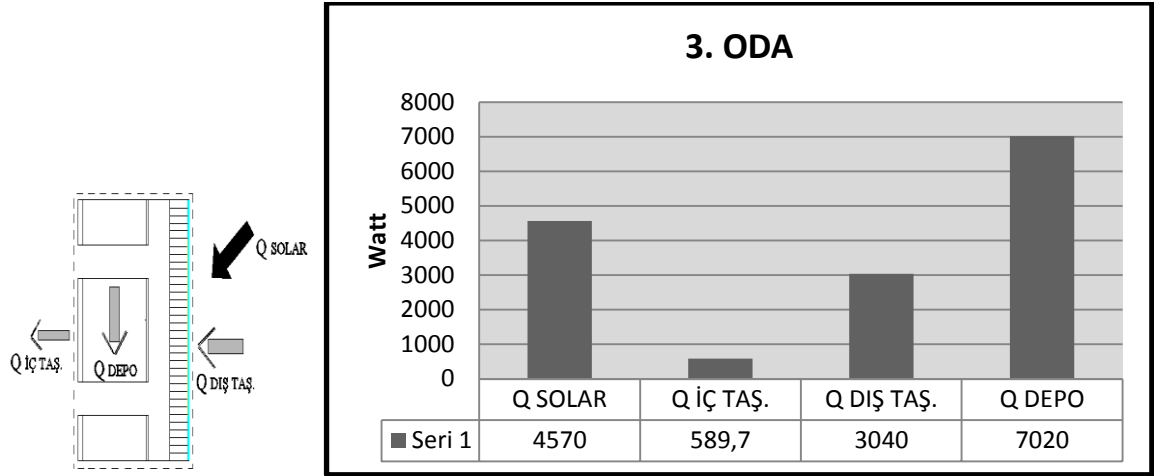
3.3.3. Temmuz Ayına Ait Hesap Sonuçları



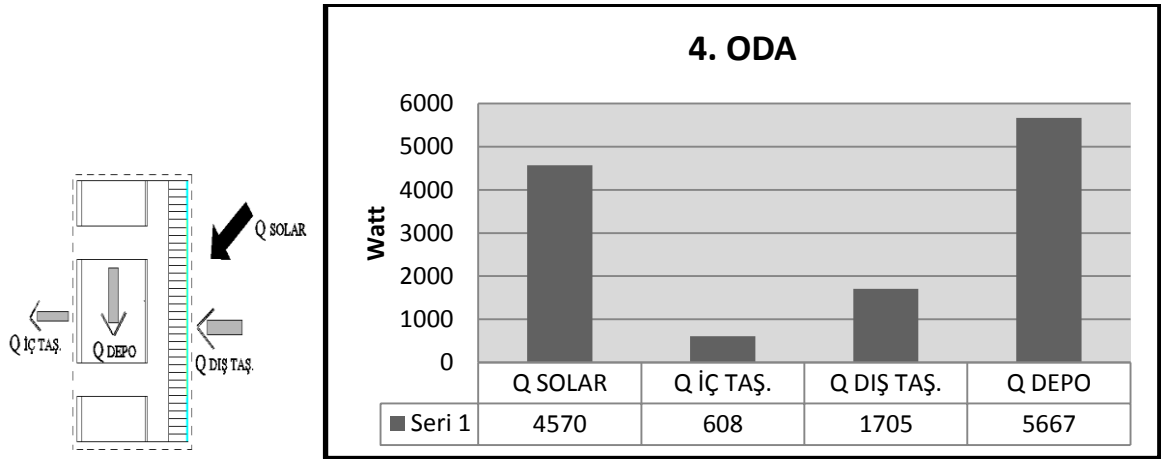
Şekil 93. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 25 Temmuz 2012)



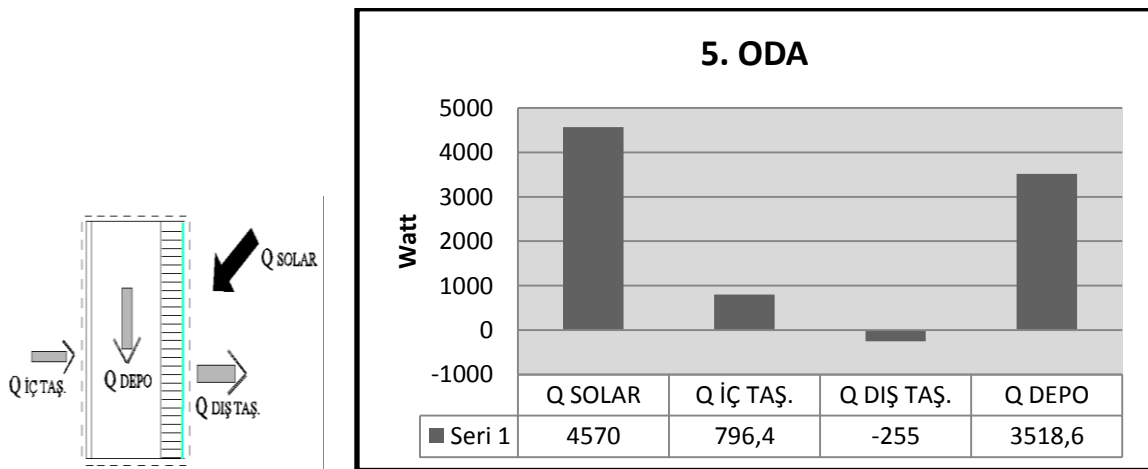
Şekil 94. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 25 Temmuz 2012)



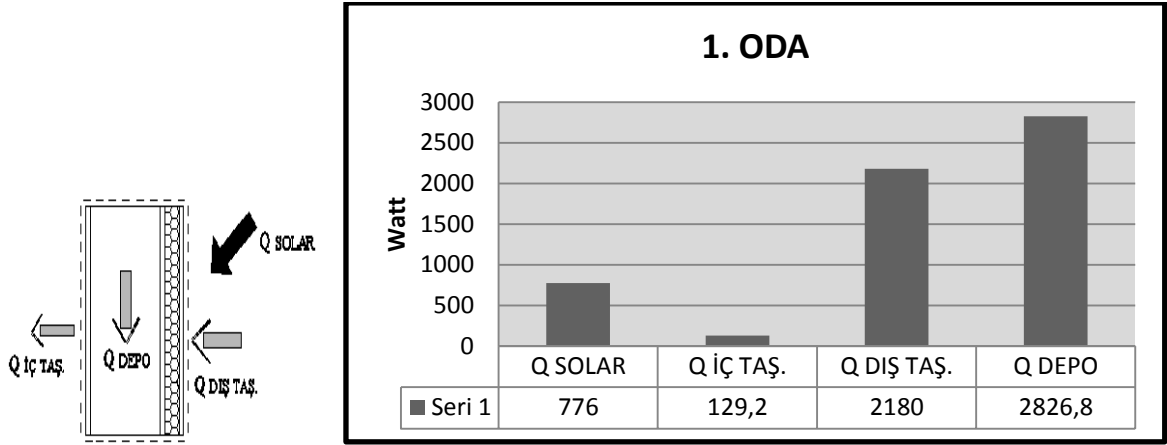
Şekil 95. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 25 Temmuz 2012)



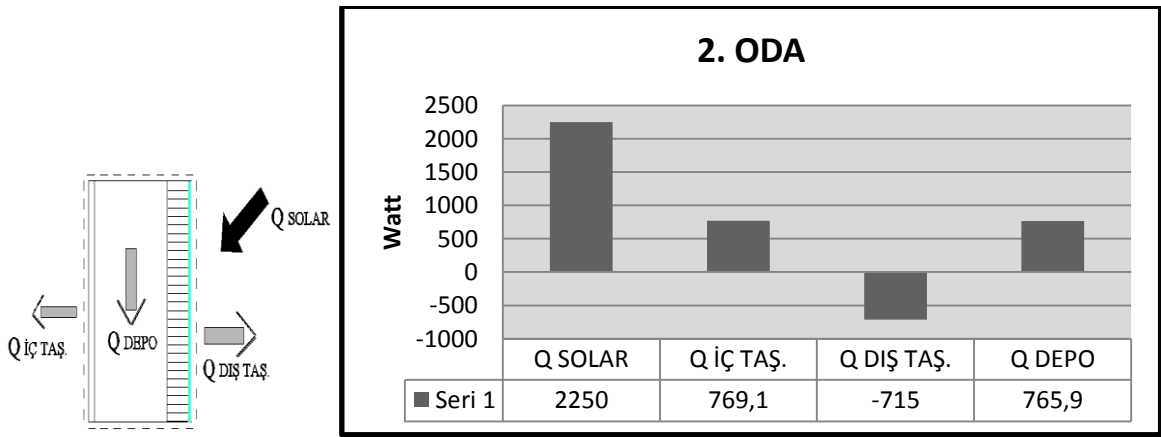
Şekil 96. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 25 Temmuz 2012)



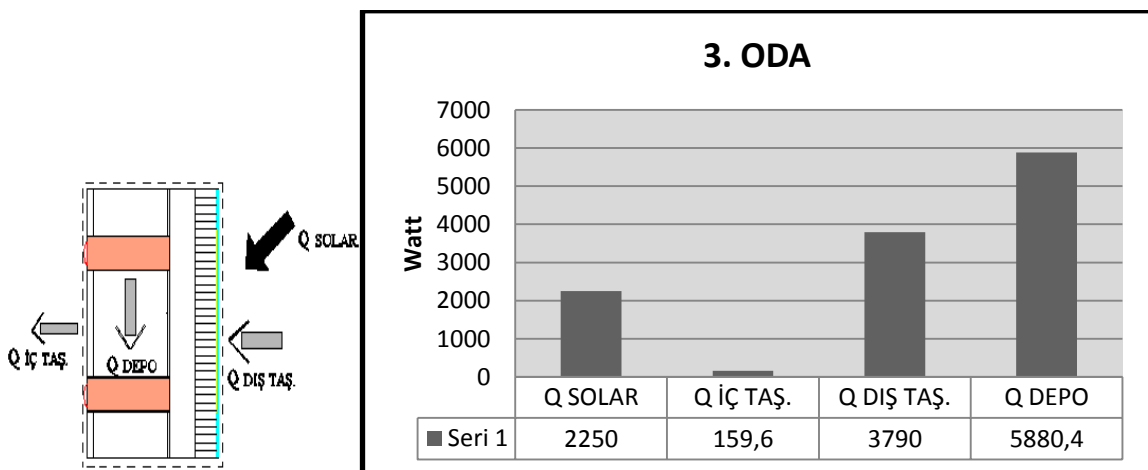
Şekil 97. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 25 Temmuz 2012)



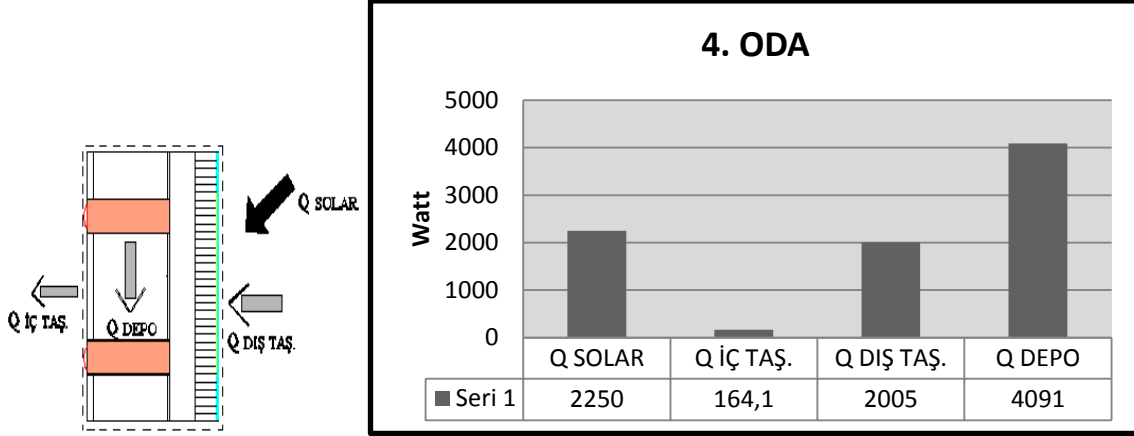
Şekil 98. Opak yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (1.oda, 6 Temmuz 2012)



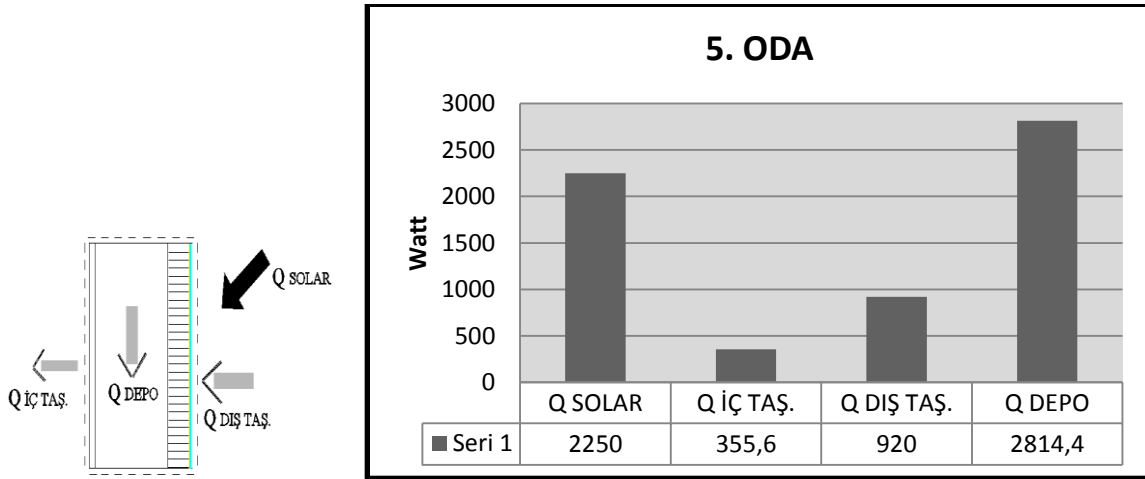
Şekil 99. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (2.oda, 6 Temmuz 2012)



Şekil 100. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (3.oda, 6 Temmuz 2012)



Şekil 101. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (4.oda, 6 Temmuz 2012)



Şekil 102. Saydam yalıtımlı duvarda hesaplanan ısı miktarları (5.oda, 6 Temmuz 2012)

Temmuz ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en fazla olduğu 25 Temmuz günü, odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları, $Q_{iç\ taş.}$ dikkate alınarak hesaplanmış ve 1. oda için 226,4 W, 2. oda için 1006 W, 3. oda için 589 W, 4. oda için 608 W, 5. oda için 796,4 W değerleri elde edilmiştir.

Temmuz ayında günlük ortalama güneş ışınım miktarının en az olduğu 6 Temmuz günü tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları da $Q_{iç\ taş.}$ dikkate alınarak hesaplanmış ve 1. oda için 129,2 W, 2. oda için 769,1 W, 3. oda için 159,6 W, 4. oda için 164,1 W, 5. oda için 355,6 W değerleri elde edilmiştir.

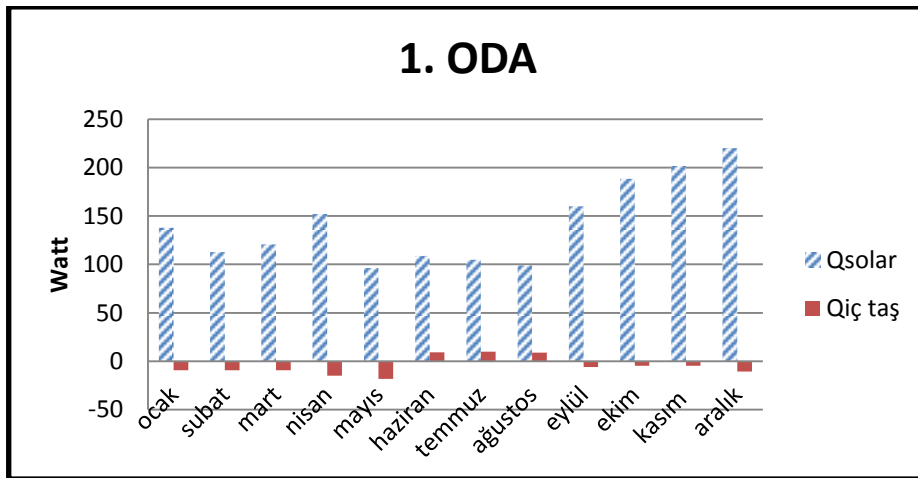
25 Temmuz ve 6 Temmuz günlerinin ikisinde de, tüm odaların güney duvarlarından iç ortama aktarılan birim zamandaki ısı miktarları karşılaştırıldığında, havalandırmasız saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvarlarda (2-5) en yüksek değer elde edilmiştir.

Havalandırmalı saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvar kuruluşları (4-3) bunları izlerken, en düşük değer opak yalıtımlı duvardan (1) elde edilmiştir. Bu sıralama, aynı günler için duvarların iç - dış yüzey sıcaklıkları ve iç ortam sıcaklıkları sıralamalarıyla benzerlik göstermektedir.

3.4. Aylık ve Yıllık Ortalama Isı Kayıp ve Kazançları

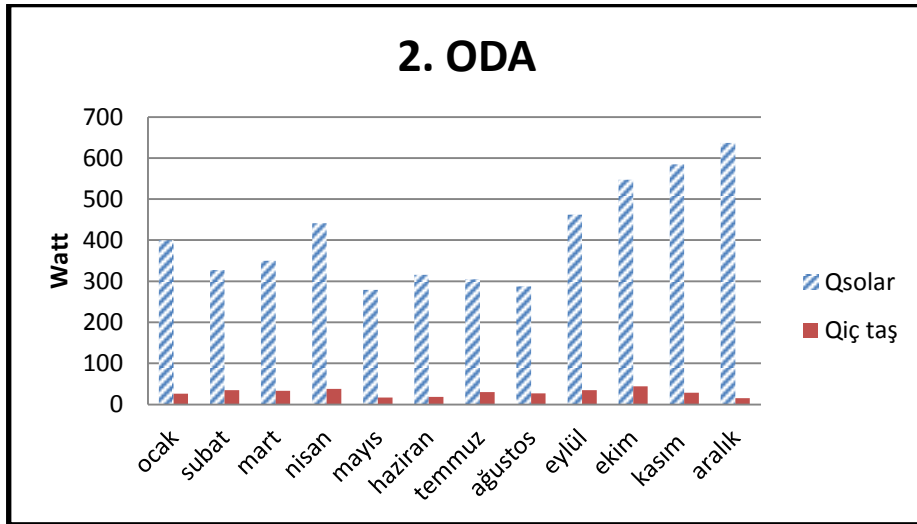
Çalışmada incelenen saydam ve opak yalıtımlı duvar kuruluşlarının aylık ısı kayıp ve kazançları her bir oda için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak yıl boyunca gerçekleşen ısı kayıp ve kazançları elde edilmiştir. Hesaplamalarda iç ortama aktarılan ısı miktarları ‘kazanç’ olarak, iç ortamdan katmanlı duvara ve dış ortama aktarılan ısı miktarları da ‘kayıp’ olarak değerlendirilmiştir. İlgili grafiklerde, Q_{solar} ; her ay için duvar düşey yüzeyine gelen ve yutulan güneş ışınım miktarını, $Q_{iç\ taşımım}$ ise; duvar kuruluşu aracılığı ile kazanılan ya da kaybedilen ısı miktarını ifade etmektedir.

1. oda için opak yalıtım aracılığı ile elde edilen aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları Şekil 103’de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre 1. odanın opak yalıtımlı güney duvarından (tuğla); Ocak ayında ortalama -9,2 W, Şubat ayında ortalama -9 W, Mart ayında ortalama -9,1 W, Nisan ayında ortalama -14,8 W, Mayıs ayında ortalama -18,2 W, Eylül ayında ortalama -6 W, Ekim ayında ortalama -4,5 W, Kasım ayında ortalama -5 W ve Aralık ayında ortalama -10,6 W ısı kaybı gerçekleşmiştir. Haziran ayında ortalama 9,12 W, Temmuz ayında ortalama 10 W, Ağustos ayında ortalama 9 W ısı kazancı gerçekleşmiştir.



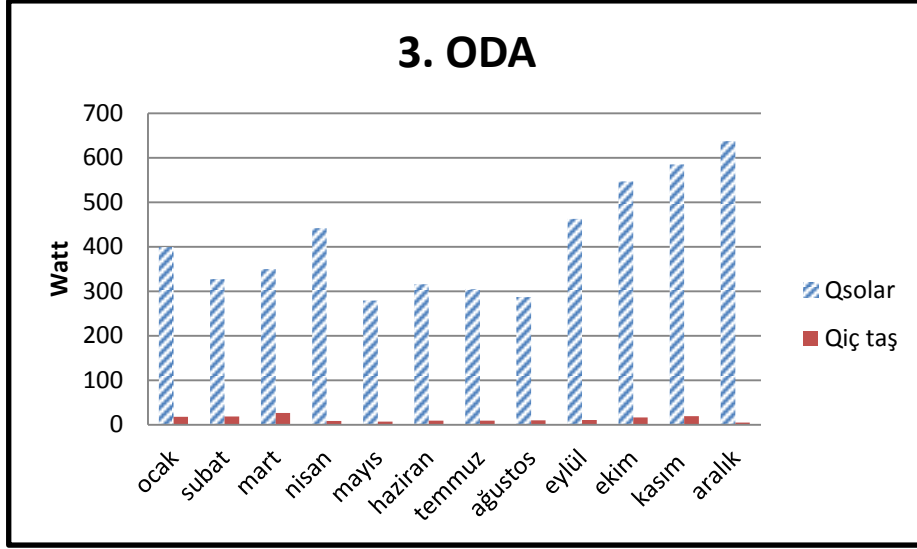
Şekil 103. Opak yalıtımlı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (1.oda)

2. oda için saydam yalıtım aracılığı ile elde edilen aylık ortalama ısı kazançları Şekil 104'de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 2. odanın saydam yalıtımlı havalandırmasız güney duvarından (betonarme); Ocak ayında ortalama 26 W, Şubat ayında ortalama 35 W, Mart ayında ortalama 33,4 W, Nisan ayında ortalama 38 W, Mayıs ayında ortalama 17 W, Haziran ayında ortalama 18,2 W, Temmuz ayında ortalama 30 W, Ağustos ayında ortalama 27,3 W, Eylül ayında ortalama 35 W, Ekim ayında ortalama 44 W, Kasım ayında ortalama 28,8 W ve Aralık ayında ortalama 15,2 W ısı kazancı elde edilmiştir.



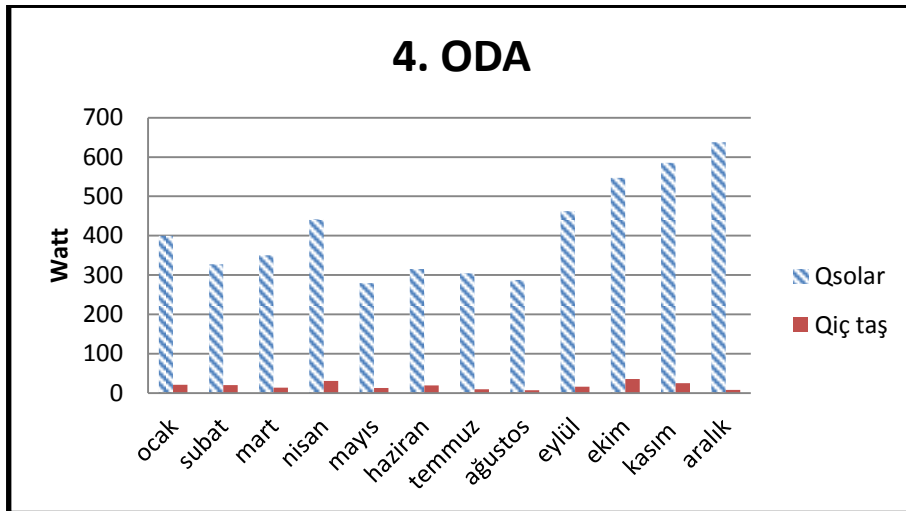
Şekil 104. Saydam yalıtımlı havalandırmasız duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (2.oda)

3. oda için saydam yalıtım aracılığı ile elde edilen aylık ortalama ısı kazançları Şekil 105'de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 3. odanın saydam yalıtımlı havalandırılmalı güney duvarından (tuğla); Ocak ayında ortalama 17,5 W, Şubat ayında ortalama 18,6 W, Mart ayında ortalama 26,5 W, Nisan ayında ortalama 8,5 W, Mayıs ayında ortalama 6,9 W, Haziran ayında ortalama 9,1 W, Temmuz ayında ortalama 9,1 W, Ağustos ayında ortalama 10 W, Eylül ayında ortalama 10,6 W, Ekim ayında ortalama 16,1 W, Kasım ayında ortalama 19 W ve Aralık ayında ortalama 4,5 W ısı kazancı elde edilmiştir.



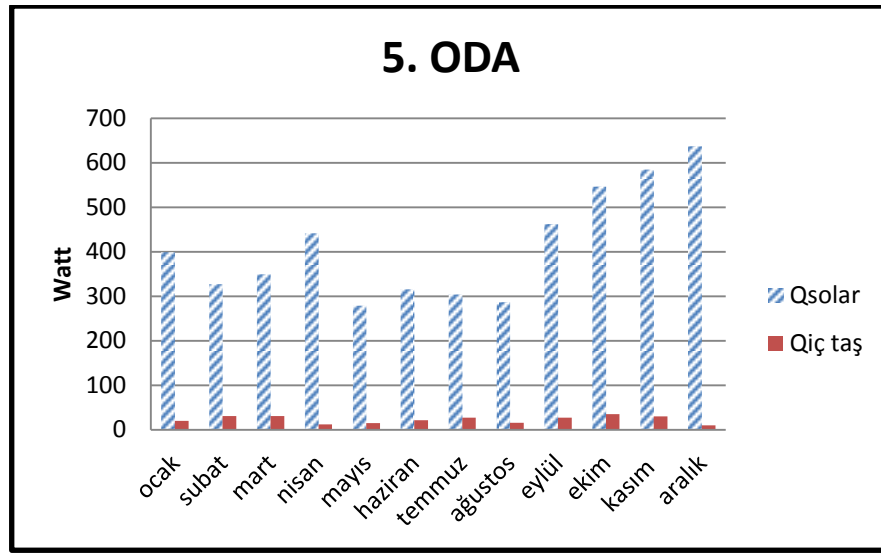
Şekil 105. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (3.Oda)

4. oda için saydam yalıtım aracılığı ile elde edilen aylık ortalama ısı kazançları Şekil 106'da gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 4. odanın saydam yalıtımlı havalandırılmalı güney duvarından (betonarme); Ocak ayında ortalama 21 W, Şubat ayında ortalama 20 W, Mart ayında ortalama 14,1 W, Nisan ayında ortalama 31,1 W, Mayıs ayında ortalama 13 W, Haziran ayında ortalama 19,7 W, Temmuz ayında ortalama 10 W, Ağustos ayında ortalama 7 W, Eylül ayında ortalama 16,7 W, Ekim ayında ortalama 35,8 W, Kasım ayında ortalama 25 W ve Aralık ayında ortalama 8,2 W ısı kazancı elde edilmiştir.



Şekil 106. Saydam yalıtımlı havalandırılmalı duvarın aylık ortalama ısı kayıp ve kazançları (4.oda)

5. oda için saydam yalıtım aracılığı ile elde edilen aylık ortalama ısı kazançları Şekil 107’de gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 5. odanın saydam yalıtımlı havalandırmasız güney duvarından (tuğla); Ocak ayında ortalama 20 W, Şubat ayında ortalama 30,4 W, Mart ayında ortalama 30,4 W, Nisan ayında ortalama 12,1 W, Mayıs ayında ortalama 15 W, Haziran ayında ortalama 21,2 W, Temmuz ayında ortalama 27,3 W, Ağustos ayında ortalama 15,2 W, Eylül ayında ortalama 27,3 W, Ekim ayında ortalama 35 W, Kasım ayında ortalama 30 W ve Aralık ayında ortalama 10 W ısı kazancı elde edilmiştir.



Şekil 107. Saydam yalıtımlı havalandırmasız duvarın aylık ortalama ısı kaybı ve kazançları (5.oda)

Çalışmada detaylı olarak incelenen en soğuk, ılımlı ve en sıcak aylarda tüm odaların güney duvarlarındaki ısı kaybı ve kazançları Tablo 34’de yer almaktadır.

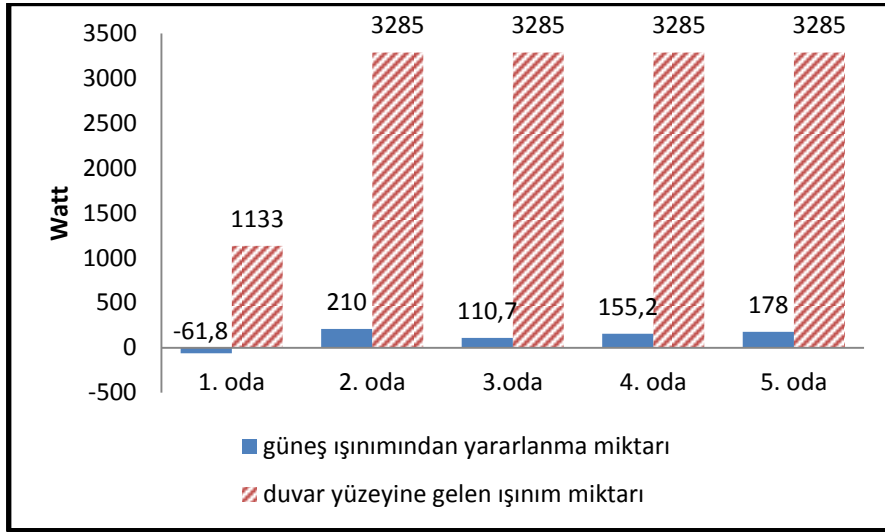
Tablo 34. Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarında ısı kayıpları ve kazançları (W)

Aylar	1. ODA (Opak yalıtım)	2. ODA (Saydam yalıtım havalandırmasız- betonarme)	3. ODA (Saydam yalıtım havalandırması- tuğla)	4. ODA (Saydam yalıtım havalandırması- betonarme)	5. ODA (Saydam yalıtım havalandırmasız- tuğla)
Şubat	-9,12	35	18,6	20	30,4
Mayıs	-18,12	17	6,9	13	15
Temmuz	10	30	9,1	10	27,3

Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarının hepsinde ısı kazançları açısından en yüksek değer sırasıyla 2-5-4-3-1. odalardan elde edilmiştir. Bu sıralama, odalardaki güney duvarlarının dış yüzey sıcaklıklarında da aynı şekildedir.

Saydam ve opak yalıtım uygulaması ile elde edilen güneş enerjisi kazancı yıllık ortalama değerleri, ısıtmanın istendiği ve istenmediği dönemlerde ayrı ayrı hesaplanmıştır (Şekil 108, Şekil 109). Isıtmanın istendiği aylarda (Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık) opak yalıtımlı 1. odanın güney duvar yüzeyine gelen ve yutulan ışınım miktarı toplamda 1133 W olarak hesaplanmıştır. Saydam yalıtımlı diğer tüm odalarda güney duvar dış yüzeyleri aynı özellikte olup hepsinde duvar yüzeyine gelen ve yutulan ışınım miktarları toplamda 3285 W olarak hesaplanmıştır.

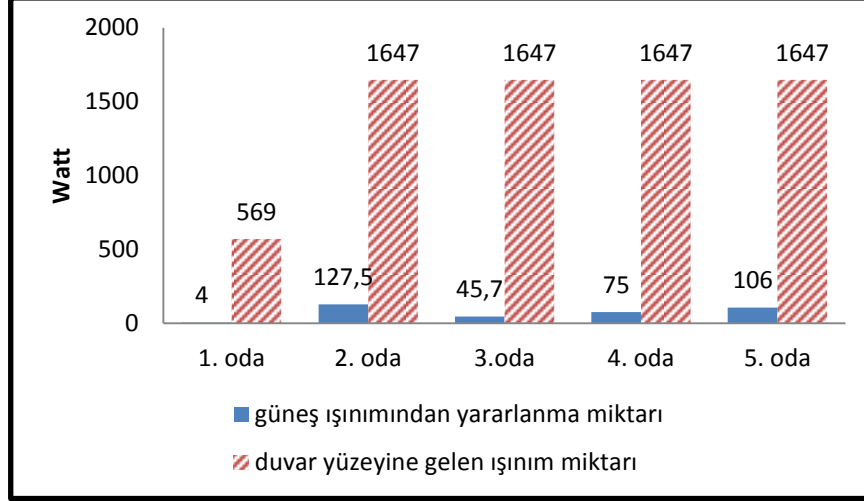
Isıtmanın istendiği aylarda, saydam yalıtımlı güney duvar kuruluşlarından elde edilen güneş enerjisi kazancı; 2. oda için 210 W, 3. oda için 110,7 W, 4. oda için 155,2 W, 5. oda için 178 W olarak hesaplanmıştır. Opak yalıtımlı 1. odada ise -61,8 W değerinde ısı kaybı hesaplanmıştır (Şekil 108).



Şekil 108. Isıtmanın istendiği dönemde tüm odalarda güneş ışınımından elde edilen kazançlar

Isıtmanın istenmediği aylarda (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) opak yalıtımlı 1. odanın güney duvar yüzeyine gelen ve yutulan ışınım miktarı toplamda 569 W olarak hesaplanmıştır. Saydam yalıtımlı diğer odalarda güney duvar dış yüzeylerine gelen ve yutulan ışınım miktarları ise toplamda 1647 W olarak hesaplanmıştır. Isıtmanın istenmediği aylarda, güney duvar kuruluşlarından elde edilen güneş enerjisi kazancı; 1. oda

için 4 W, 2. oda için 127,5 W, 3. oda için 45,7 W, 4. oda için 75 W, 5. oda için 106 W olarak hesaplanmıştır (Şekil 109).



Şekil 109. Isıtmanın istenmediği dönemde tüm odalarda güneş ışınımından elde edilen kazançlar

Saydam yalıtım uygulaması yapılan odalarda (2-3-4-5. odalar) güney duvarlarının güneş enerjili toplayıcı gibi çalıştığı görülmektedir. Bu nedenle beklenildiği gibi saydam yalıtımlı havalandırılmalı ve havalandırmasız odalarda, opak yalıtımlı odaya göre ısı kazançları oldukça artmıştır. Ancak bu durum ısıtmanın istenmediği aylarda dezavantaj haline dönüşerek saydam yalıtımlı odalarda iç ortam konfor koşullarını olumsuz etkilemiştir. Saydam yalıtımlı 3. ve 4. odalardaki havalandırma sistemi, yaz aylarında bu odalardaki dış duvar yüzeylerinin diğer odalara göre daha az ısınmasını sağlamıştır.

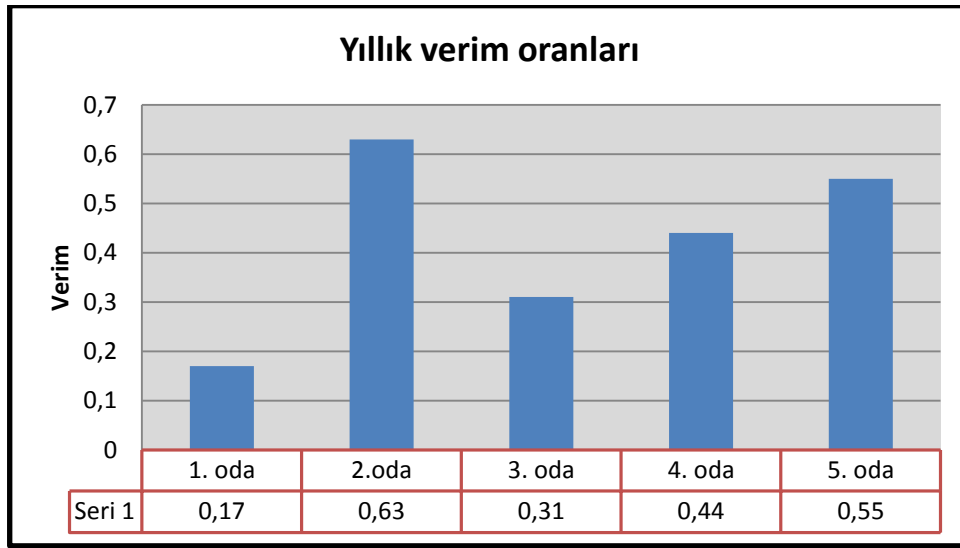
Çalışma süreci boyunca tüm odaların yıllık ısı kazançları değerlendirildiğinde en yüksek katkı odalarda sırasıyla, 2-5-4-3-1 şeklinde elde edilmiştir.

3.5. Duvar Kuruluşlarının Yıllık Isıl Verimleri

1 yıllık deneysel çalışma periyodu (1 Mayıs 2012 – 1 Mayıs 2013) sonunda, opak ve saydam yalıtımlı odaların güney duvar kuruluşları performanslarının karşılaştırmasında ‘ısı verim’ kavramından faydalanılmıştır. İncelenen her bir odada güney duvarları aracılığı ile iç ortama aktarılan yararlı ısının, duvarların dış yüzeyine gelen güneş ışınım miktarına oranı ‘ısı verim’ olarak değerlendirilmiştir.

Tüm odalar için güney duvarlarının yıllık ısı verimleri Şekil 110'da gösterilmektedir. Güney duvarları aracılığıyla birim alandan iç mekâna aktarılan ısı miktarının, birim alana gelen güneş ışınım miktarına oranı; opak yalıtımlı 1. odada 0,17, saydam yalıtımlı havalandırmasız odalardan 2. odada 0,63, 5. odada 0,55, saydam yalıtımlı havalandırmalı odalardan 3. odada 0,31, 4. odada 0,44 olarak bulunmuştur.

Çıkan sonuçlara göre Trabzon ili için saydam yalıtım uygulamasının, opak yalıtım uygulamasına göre duvarların ısı verimini yaklaşık 2 ile 4 kat oranında arttırdığı görülmüştür.



Şekil 110. Tüm odaların yıllık verim oranlarının karşılaştırılması

Yıllık ısı verim açısından en iyi performans, güney duvarı betonarme perde duvar olan saydam yalıtımlı havalandırmasız 2. odada görülmüştür. Sonuç olarak saydam yalıtım malzemesi, güneş ışınım geçirgenlikleri ve aynı zamanda yalıtım özellikleri nedeniyle duvar kuruluşlarının gün boyunca ortalama sıcaklığını yükselterek enerji depolama kapasitelerinin artmasını sağlamıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yaşamın sürekliliği ve yaşam konforu açısından önemli olan enerjinin yoğun olarak tüketildiği alanlardan biri de mimari uygulamalardır. Mimari yapıların kullanım sürecinde enerji giderlerini azaltacak ekonomik ve kolay uygulanabilir çözümlerden biride, güneş enerjisinden yararlanarak ısı kazançlarının artırılmasıdır. Bu bağlamda çalışmada, opak ve saydam yalıtımlı, farklı optik ve termofiziksel özelliklerde duvar kuruluşlarının bulunduğu deney odalarında güneş enerjisinden elde edilen ısı kazançları araştırılmıştır.

Yaz ve kış aylarında yapılan deneyler süresince incelenen duvar kuruluşlarına gelen güneş ışınımı, iç ve dış ortam sıcaklıkları, bağıl nem oranı, duvar iç ve dış yüzey sıcaklıkları ile katmanlar arasındaki sıcaklıklar devamlı ölçülmüştür. Ölçümlerden elde edilen veriler ile her bir odanın güney duvarlarından iç ortama aktarılan ısı miktarları, iç ortamdan duvar katmanına ve dış ortama aktarılan ısı miktarları, duvarlarda depolanan ısı miktarları ve duvarların yıllık ısı verimleri hesaplanmıştır.

Çalışmada; opak yalıtımlı tuğla duvar (1. Oda), saydam yalıtımlı havalandırmasız tuğla ve betonarme duvarlar (2. ve 5. oda), saydam yalıtımlı havalandırılmalı tuğla ve betonarme duvarlar (3. ve 4. oda) için yapılan ölçümler ve hesaplamalara göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çalışma süreci boyunca ek ısıtmanın istendiği aylarda tüm odaların ısı kazançları değerlendirildiğinde havalandırmasız saydam yalıtımlı betonarme ve tuğla duvarlardan en yüksek verim elde edilmiştir. Havalandırılmalı saydam yalıtımlı duvar kuruluşları (betonarme ve tuğla) bunları izlerken, en düşük verim opak yalıtımlı duvardan elde edilmiştir. Saydam yalıtımlı odalardaki ısı kazançlarının opak yalıtımlı odaya göre oldukça artması, ısıtmanın istenmediği aylarda dezavantaj haline dönüşmüş ve opak yalıtımlı odaya göre bu odaların iç ortam konfor koşullarını olumsuz etkilemiştir.

- Yapılan hesaplamalarda Trabzon ili için saydam yalıtım uygulamasının, opak yalıtım uygulamasına göre duvarların yıllık ısı verimini yaklaşık 2 ile 4 kat oranında arttırdığı saptanmıştır. İncelenen duvarların yıllık ısı verim açısından performans sıralaması 2-5-4-3-1 nolu odalar şeklindedir.

Tüm bu sonuçlara göre saydam yalıtımlı havalandırmasız 2. odanın güney duvarının betonarme perde duvar olması, ısı depolama kapasitesini, enerjinin yutulma ve iç mekâna iletilme hızını da arttırdığı için bu duvardan elde edilen ısı kazancı da daha büyük

olmuştur. Ayrıca betonarme perde duvarın ısı yayılım katsayısının da yüksek oluşu bu duvarda iletimle transfer edilen ısı miktarının, depolanan ısı miktarına göre daha büyük olmasını sağlamıştır. Saydam yalıtımlı havalandırmasız 5. odanın güney duvarı, betonarme duvara göre daha düşük ısı depolama kapasitesine sahip tuğla duvardır. Buna rağmen, bu odada saydam yalıtımla duvar arasında havalandırma boşluğunun olmaması nedeniyle, havalandırılmalı ve perde duvar olan 4. odaya göre daha yüksek performans sergilemiştir.

Çalışma sürecinde saydam ve opak yalıtımlı odaların ısı konfor açısından değerlendirilmesi için odaların iç ortam sıcaklıkları aylık ortalamalar şeklinde incelenmiştir (Tablo 35). Çıkan sonuçlara göre güney duvarına saydam yalıtım uygulanmış odaların (2-3-4-5. odalar) aylık iç ortam sıcaklıkları, her yüzeyi opak yalıtımlı odanın (1. oda) aylık iç ortam sıcaklıklarından yüksek değerlerdedir.

Tablo 35. Deney düzeneğindeki odaların aylık ortalama iç ortam sıcaklıkları

Aylar	Aylık Ortalama İç Ortam Sıcaklıkları (°C)				
	1. Oda	2. Oda	3. Oda	4. Oda	5. Oda
Ocak	6.6	12.0	9.2	10.4	9.5
Şubat	8.8	15.1	12.1	13.5	12.4
Mart	9.7	15.3	12.4	14.1	12.9
Nisan	15.8	19.7	16.8	18.9	17.8
Mayıs	19.2	25.1	20.6	22.1	23.5
Haziran	22.4	27.8	23.4	24.3	25.3
Temmuz	17.6	32.6	25.3	26.4	28.0
Ağustos	20.6	28.3	24.1	25.2	27.2
Eylül	22.1	27.0	23.4	24.3	25.3
Ekim	19.1	25.7	20.9	23.5	21.9
Kasım	14.0	20.0	17.0	19.4	17.3
Aralık	9.2	14.5	11.6	13.6	11.9

Yıl genelini değerlendirdiğimizde ısıtmanın istendiği dönemde (Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım, Aralık ayları) opak yalıtımlı 1. odaya göre, saydam yalıtımlı diğer odaların ortalama iç ortam sıcaklıklarında 2. odada %47, 3. odada %20, 4. odada %36, 5. odada %25 oranında artış görülmektedir. Bu durum saydam yalıtım uygulamasının iç ortam ısı konfor düzeyinde önemli oranda iyileşme sağladığının ve buna paralel olarak ısıtma enerjisi ihtiyacında azalma sağladığının bir göstergesidir. Isıtmanın istendiği dönemde ısı konfor düzeyi için en iyi performansı 2. oda göstermiştir.

Isıtmanın istenmediği yaz aylarında ise havalandırmasız saydam yalıtım uygulaması yapılan 2. ve 5. odaların iç ortamlarında görülen yüksek sıcaklıklar, optimum ısı konfor

düzeyini olumsuz etkilemekte ve ek soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın başlangıcında saydam yalıtımlı odalarda yazın aşırı ısınma öngörülerek, bazı odalara pasif havalandırma sistemi düzenlenmiştir. Bu düzenleme sayesinde saydam yalıtımlı ve havalandırma sistemli 3. ve 4. odalarda, havalandırmasız saydam yalıtımlı odalara (2. ve 5. oda) göre % 6, ile % 22, oranında daha düşük iç ortam sıcaklıkları görülmüştür. Böylece, çalışmada önerilen pasif havalandırma sisteminin, yaz ayları sıcak geçen bölgelerdeki saydam yalıtım uygulamaları için kullanılabilirliği olumlu yönde kanıtlanmıştır.

Yapı dış kabuğunda saydam yalıtım malzemesi kullanımının, enerji etkinlik ve ısı konfor açısından incelendiği bu çalışma, daha sonra yapılacak araştırmalara veri olması açısından değerlendirildiğinde verilebilecek öneriler aşağıdaki gibidir.

- Çalışma, 2. Derece iklim bölgesinde yer alan Trabzon ilinde yapılmıştır. Ülkemizdeki farklı iklim bölgelerinde farklı duvar yüzeylerinde, örnek uygulamalar ve incelemelerin yapılmasıyla saydam yalıtım malzemelerinin enerji etkinlik açısından ne derece tasarruf sağlayacağı araştırılabilir.
- Deneysel çalışmada saydam yalıtım uygulanmış duvar yüzeylerinde ve buna bağlı olarak odaların iç ortam sıcaklıklarında yaz aylarında büyük oranda artış görülmüştür. Bu durumu engellemek için duvar dış yüzeylerinde doğal havalandırma sağlayacak boşluklar bırakılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda aşırı ısınmayı daha da azaltacak doğal ya da yapay yeni havalandırma sistemleri denenebilir.
- Isıl performans açısından incelenen odalarda saydam yalıtım malzemesi uygulaması, güney duvarlarının dış yüzeylerine monte edilen alüminyum çerçeveler yardımıyla yapılmıştır. Bu sistem, günümüzde dış cephelerde sıklıkla uygulanan opak yalıtım uygulamasına göre yüksek maliyet ve işçilik açısından uygulanabilir gözükmemektedir. Dolayısıyla ileride yapılacak çalışmalarda bu durumu iyileştirebilecek uygulama sistemleri geliştirilebilir.
- Çalışmada 8 cm kalınlığında saydam yalıtım malzemesi duvar yüzeylerine uygulanmış ve incelenmiştir. Bu malzemenin kalınlığı arttıkça ısı performansını da arttırmaktadır. İklim bölgeleri ve güneşlenme durumları göz önünde bulundurularak farklı illerde farklı kalınlıklarda saydam yalıtım malzemesi uygulanması denenebilir.

- Saydam yalıtım malzemesi Türkiye’de üretilmemektedir. Yurt dışından ithal edilen bu malzeme diğer yalıtım malzemelerine oranla oldukça pahalıdır. Bu malzemelerin ticari kullanımının artması ve desteklenmesi için ülkemizde gerekli araştırmalar yapıp, malzemenin daha ucuz eşdeğeri üretilebilir. Bu çalışmaların yapılabilmesi için devletten ve özel sektörden destek alınabilir.

Doğu Karadeniz bölgesinde simülasyon programları dışında gerçek ortam koşulları altında saydam yalıtım malzemesi kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar yok denecek kadar azdır. Bu çalışma ile Trabzon ili iklim koşulları için elde edilen deney sonuçlarının yapılacak diğer çalışmalara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Binaların ısı performansını üzerinde olumlu bir etkiye sahip saydam yalıtım malzemeleri yurt dışında uzun yıllardır kullanılmasına rağmen güneş enerjisi kazancı açısından zengin olan ülkemizde henüz kullanılmamaktadır. Gelecek yıllar için saydam yalıtım malzemelerinin yeterince tanıtılmaları ve uygun bir maliyetle üretilmeleri halinde ülkemizde de hızla büyüyen bir sektöre sahip olmaları kaçınılmazdır. Bu çalışmadan elde edilecek sonuçların ülkemizdeki konuyla ilgili sektörlerin gelişimine yol vererek katma değer yaratacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aksoy, U., T., İnallı M. ve Tuğal, N., 2004. Kompozit Bir Duvarda Mevsimlik Isı Kayıp-Kazancı ve Yön İlişkisinin Belirlenmesi, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16, 1, 115-125.
- Altınışık, K., 2006. Isı Yalıtımı, Nobel Yayın Dağıtımı, Ankara, 1.
- Anonim, 1997. Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları, 12. Baskı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No 84, 15.
- Anonim, 1998. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim, 2012. Dünyanın Durumu 2012 Sürdürülebilir Refaha Doğru, Worldwatch Enstitüsü, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul, 217.
- Arulanantham M. ve Kaushika N., D., 1994. Global Radiation Transmittance of Transparent Insulation Materials, Solar Energy, 53, 4, 323-328.
- Arulanantham M. ve Kaushika N., D., 1996. Coupled Radiative and Conductive Thermal Transfers Across Transparent Honeycomb Insulation Materials, Applied Thermal Engineering, 16, 3, 209-217.
- Arulanantham M., Reddy, K., S. ve Kaushika N., D., 1998. Solar Gain Characteristics of Absorber-Parallel Transparent Insulation Materials, Energy Conservation and Management, 39, 15, 1519-1527.
- Asan, H. ve Sancaktar Y., S., 1997. Duvarların Termofiziksel Özelliklerinin Faz Kayması ve Sönüm Oranına Etkisinin İncelenmesi, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül, Edirne, Bildiriler Kitabı: 105-111.
- Asan, H., 1998. Effects of Wall's Insulation Thickness and Position on Time Lag and Decrement Factor, Energy and Buildings, 28, 299-305.
- Ashrae, 1977. Handbook of Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, 25.
- Ashrae, 2004. Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Ashrae Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society Of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Athienitis, A. ve Ramadan, H., 1999. Numerical Model of a Building With Transparent Insulation, Solar Energy, 67, 1-3, 101-109.

- Atmaca, İ. ve Yiğit, A., 2009. Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Mayıs, İzmir, Bildiriler Kitabı: 543-555.
- Bakırcı, K., 2009. Yatay Yüzeğe Gelen Anlık Global Güneş Işınımının Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29, 2, 53-58.
- Berköz, E., vd., 1995. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı, TÜBİTAK Projesi, İntag 201, İstanbul, 16-18.
- Bulut, H., 2008. Adana İlinde Eğik Yüzeğe Gelen Güneş Işınım Miktarının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 30.Yıl Sempozyumu, Ekim, Adana, Bildiriler Kitabı.
- Bulut, H. ve Durmaz, A., F., 2008. Türkiye İçin Pencerelerden Geçen Güneş Işınımının Analizi, UGHEK 2008: II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Haziran, Eskişehir, Bildiriler Kitabı: 85-95.
- Bulut, H., 2009. Bina Enerji Analizi ve Güneş Enerji Sistemleri İçin Eğimli Yüzeğe Gelen Toplam Güneş Işınım Şiddeti Değerlerinin Hesaplanması, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Mayıs, İzmir, Bildiriler Kitabı: 435-448.
- Braun, P., O., Goetzberger, A., Schmid, J. ve Stahl, W., 1992. Transparent Insulation of Building Facades-Steps From Research to Commercial Application, Solar Energy, 49, 5, 413-427.
- Chel, A., vd., 2008. Energy Conservation in Honey Storage Building Using Trombe Wall, Energy and Buildings, 40, 1643-1650.
- Chen, B., vd., 2006. Shading Effects on the Winter Thermal Performance of the Trombe Wall Air Gap: An Experimental Study in Dalian, Renewable Energy, 31, 1961-1971.
- Çakmanus, İ. ve Göksal Özbalta, T., 2008. Binalarda Sürdürülebilirlik: Ömür Boyu Maliyete İlişkin Yaklaşımlar, Doğa Sektörel Yayın Grubu, İstanbul, 36.
- Çengel, Y., 1998. Heat Transfer a Practical Approach, WBC/Mc Graw – Hill, International Edition, New Jersey.
- Deriş N., 1979. Güneş Enerjisi, Sermet Matbaası, İstanbul.
- Dilmaç, Ş. ve Eğrican, N., 1994. Binalarda Isı Konforu Amaçlı Enerji Tüketimi Üzerine Malzeme Seçiminin Etkisi, Energy With All Aspects in 21st. Century Symposium, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 674-682.

- Dilmaç, Ş., Tepehan, F. ve Eğrican, N., 1994. Saydam Yalıtım Malzemelerinin Enerji Tasarrufuna Katkıları, *Energy With All Aspects in 21st. Century Symposium*, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 771-780.
- Dalenback, J., O., 1996. Solar Energy in Building Renovation, *Energy and Buildings*, 24, 1, 39-50.
- Duffie, J., A. ve Beckman, W., A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Second Edition, John Wiley and Sons, New York.
- Eriç, M. 2002. *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, 2. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 67.
- Fanger, P., O., 1970. *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*, Copenhagen: Danish Technical Press.
- Gan, G., 1998. A Parametric Study Of Trombe Walls For Passive Cooling of Buildings, *Energy and Building*, 27, 37-43.
- Goetzberger, A., Schmid, J. ve Wittwer, V., 1984. Transparent Insulation System for Passive Solar Energy Utilization in Building, *Solar Energy*, 2, 289-308.
- Goetzberger, A., 1991. Transparent Insulation Technology for Solar Energy Conversion, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg.
- Goetzberger, A., vd., 1992. A New Transparently Insulated, Bifacially Irradiated Solar Flat-plate Collector, *Solar Energy*, 49, 5, 403-411.
- Göksal Özbalta T., 2011. Mimaride Güneş Enerjisinden Yararlanma, Güneş Enerjisi ile Isıtma/Yardımcı Isıtma Kurs Notları, X. Ulusal Tesisat Kongresi, Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı: 1-22.
- Göksal, T. ve Özbalta, N., 2001. Güneş Enerjisinden Edilgen Yararlanmada Saydam Yalıtım Uygulaması, Yenilenebilir Enerji Kaynakların Sempozyumu ve Sergisi, Ekim, Kayseri, Bildiriler Kitabı: 13-22.
- Göksal, T. ve Özbalta, N., 2002. Enerji Korunumunda Düşük Enerjili Bina Tasarımları, *Mühendis ve Makine*, 506, 26-32.
- Göksal Özbalta, T., Kartal, S. ve Özbalta, N., 2008. Farklı Derece-Gün Bölgelerinde Saydam Yalıtım ile Güneş Enerjisi Kazancının Hesaplanması, 8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu, Mayıs, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 115-124.
- Göksal Özbalta, T., Kartal, S. ve Özbalta, N., 2012. Dış Duvarda Isıl Davranışların Mekân Konforuna Etkisi, *Tesisat Mühendisliği*, 127, 1-2, 36-46.

- Göksu, Ç., 1992. Güneş Kent, Göksu Yayınları, Ankara, 71.
- Gross, O., F., Beck, A., Weismann, S., Steudel, E., Schank, C. ve Fricke, J., 2000. Pearl Luster Pigments as Overheating Protection in Transparently Insulated Solar Facades, Solar Energy, 67, 4-6, 205-214.
- Halıcı, F. ve Gündüz, M., 2007. Örneklerle Isı Geçişi Isı Transferi, 3. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 22.
- Howell, J., R., Bannerot, R., B. ve Vliet G., C., 1982. Solar- Thermal Energy Systems Analysis and Design, McGraw-Hill Inc., New York.
- IEA, 1997. IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 20: Solar Energy in Building Renovation, James and James Ltd., London.
- İlgaz, T., 1979. Yapı Düşey Dış Kabuklarının Isı Etkilerinden Korunması, Araştırma Raporu, Trabzon.
- Incropera, F., P. ve Dewitt, D., P., 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, 4. Baskı Çeviri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 3-7.
- ISO 7730, 2005. Ergonomics of The Thermal Environment-Assessment of The Influence of The Thermal Environment Using Subjective Judgment Scales, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland.
- Kakaç, S., 1998. Isı Transferine Giriş-I, 6. Baskı, Tıp Teknik Yayınevi, Ankara, 26.
- Kaushika, N., D., vd., 1992. Solar Thermal Analysis of Honeycomb Roof Cover System for Energy Conservation in an Air Conditioned Building, Energy and Buildings, 18, 1, 45-49.
- Kaushika N., D, Arulanantham, M. ve Avanti, P., 1996. Transparent Insulation Technology and Its Applications, Proceedings of The First Trabzon International Energy and Environment Symposium, Temmuz, Trabzon, Bildiriler Kitabı: 999-1004.
- Kaushika, N., D. ve Reddy, K., S., 1999. Performance of Transparently Insulated Solar Passive Hot Water Systems, ISES 1999, Solar World Congress, Temmuz, Israel, Bildiriler Kitabı: 4-9.
- Kaushika N., D. ve Sumathy, K., 2003. Solar Transparent Insulation Materials: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 7, 317-351.
- Kartal, S., 2009. Güneş Mimarisi Elemanlarının Isıl Verimlerinin Türkiye İklim Şartları ve Yapı Konstrüksiyonları İçin Hesaplanması, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Kaynaklı, Ö. ve Akdeniz, R., 2003. Isıl Konfor İçin Gerekli Vücut Sıcaklıkları ve Ortam Şartları, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 16, 2, 327-338.
- Lida, E., V., 2002. Binalarda Güneş Enerjisinden Yararlanmada Saydam Yalıtım Malzemeleri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Mackey, C., O. ve Wright, L., T., 1944. Periodic Heat Flow-Homogeneous Walls or Roofs, ASHVE Transaction, 50, 293.
- Maslin, M., 2004. Global Warming, Oxford University Press, Oxford, England, 9.
- Matuska, T. Solar Energy Transmittance of Transparent Insulations, CVUT STC, Prague, <http://www.fsid.cvut.cz/ascii/en/U216/matuska.htm>, 12 Mayıs 2012.
- Messenger R. ve Ventre J., 2000. Photovoltaic Systems Engineering, CRC Pres LLC, Florida, 385.
- Nordgaard, A. ve Beckman, W., A., 1992. Modelling of Flat-plate Collectors Based on Monolithic Silica Aerogel, Solar Energy, 49, 5, 387-402.
- Oğulata, T., 1996. Yapı Elemanları Özelliklerinin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi, Türkiye 7. Enerji Kongresi, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 127-138.
- Olesen, W., B. ve Brager, G., S., 2004. A Better Way to Predict Comfort: The New ASHRAE Standard 55-2004, ASHRAE Journal, Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 46, 8, 20-28.
- Onbaşıoğlu, H. ve Eğrican, A., N., 2002. Experimental Approach to The Thermal Response of Passive Systems, Energy Conversion and Management, 43, 2053-2065.
- Oral K., G. ve Akşit, F., 2001. TS 825 Isı Yalıtım Yönetmeliği'nin Konutlarda Isı Korunumu Açısından Değerlendirilmesi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, Mart, Eskişehir, Bildiriler Kitabı: 140-144.
- Özdeniz, M., B., Numan, İ. ve Hançer, P., 2002. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde Çatıların Isıl Davranışları, TÜBİTAK Proje No: INTAG-237.
- Özel, M. ve Pıhtılı, K., 1997. Yüzeylerinde Periyodik Sıcaklık Değişimi Olan Yapılarda Yönlendirmenin Yaz Kliması Isı Kazancına Etkisi, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül, Edirne, Bildiriler Kitabı: 1002-1010.
- Özel, M. ve Pıhtılı, K., 2005. Farklı Yönlerde Bakan Duvarlarda Yalıtım Kalınlığının Faz Kayması ve Sönüm Oranına Olan Etkisinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 2, 287-298.

- Özışık, N., 1985. Heat Transfer: A Basic Approach, McGraw Hill Book Company, New York.
- Öztürk, H., H., 2008a. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 22-23.
- Öztürk, H., H., 2008b. Isı Depolama Tekniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 7.
- Peuportier, B. ve Michel, J., 1995. Comparative Analysis of Active and Passive Solar Heating Systems With Transparent Insulation, Solar Energy, 54, 1, 13-18.
- Platzer W., J., 1992a. Directional-Hemi Spherical Solar Transmittance Data for Plastic Honeycomb-Type Structures, Solar Energy, 49, 5, 359-369.
- Platzer W., J., 1992b. Total Heat Transport Data for Plastic Honeycomb-Type Structures, Solar Energy, 49, 5, 351-358.
- Platzer W., J. ve Goerdts W., 2000. Solar Walls With Ventilated Transparent Insulation Performance, Properties, Problems and Prospects, ISES-Europe Solar Congress, Haziran, Copenhagen, Denmark, Bildiriler Kitabı: 22.
- Platzer, W., J., 2001. Transparent Insulation Materials and Products: A Review, Advances in Solar Energy, 14, 33-65.
- Ramadan, H., H. ve Athienitis, A., K., 1998. Numerical Simulation of a Building With One Transparently Insulated Wall, Renewable Energy, 15, 387-390.
- Roaf, S. ve Hancock, M., 1992. Energy Efficient Building, Blackwell Scientific Publications Ltd., London.
- Rockendorf, G., Janssen, S. ve Felten, H., 1996. Transparently Insulated Hybrid Wall, Solar Energy, 58, 1-3, 33-38.
- Rommel, M., Wagner, A., 1992. Application of Transparent Insulation Materials in Improved Flat-plate Collectors and Integrated Collector Storages, Solar Energy, 49, 5, 371-380.
- Schmidt, C., vd., 1988. Test Results and Evaluation of Integrated Collector Storage Systems With Transparent Insulation, Solar Energy, 41, 5, 487-494.
- Sev, A., 2009. Sürdürülebilir Mimarlık, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, 40 s.
- Shen, J., vd. 2007. Numerical Study on Thermal Behavior of Classical or Composite Trombe Solar Walls, Energy and Buildings, 39, 962-974.

- Sick, F. ve Kummer, J., P., 1992. Simulation of Transparently Insulated Buildings, Solar Energy, 49, 5, 429-434.
- Stahl, W., vd., 1994. The Self-Sufficient Solar House in Freiburg, Solar Energy, 52, 1, 111-125.
- Stazi, F., vd., 2008. The Solar Wall in The Italian Climates, Proceedings of World Academy of Science Engineering and Technology, 27, 31-39.
- Szokolay, S., V., 2004. Introduction to Architectural Science, Elsevier, Great Britain.
- Şenpınar, A., 2006. Bağımsız Güneş Pili Sistemlerinin Bilgisayar İle Kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Şerefhanoglu, M., 1983. Soğuk Hava Koşullarında Yapıların Dış Duvar İç Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi, Isısal Konfor Yönünden Değerlendirilmesi, Y.Ü. Basımevi, İstanbul.
- Treberspurğ, M., 1994. Neues Bauen Mit Der Sonne, Springer-Verlag Wien, New York.
- TS EN ISO 13788, 2004. Bina Bileşenlerinin ve Bina Elemanlarının Nemli Ortamda Isıl Performansı – Kritik Yüzey Nemini ve Bina Bileşenlerinin İçindeki Yoğuşmayı Önlemek İçin İç Yüzey Sıcaklığı – Hesaplama Metotları, TSE, Ankara.
- Tsilingiris, P., T., 2002. On The Transient Thermal Behaviour of Structural Walls-The Combined Effect of Time Varying Solar Radiation and Ambient Temperature, Renewable Energy, 27, 319-336.
- Tunç, M., 2000. Isı Transferi, Doğa Yayıncılık, İstanbul, 172.
- URL 1- <http://www.kimyamuhendisi.com/>, 18 Kasım 2011.
- URL 2- <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>, 25 Kasım 2011.
- URL 3- http://www.cenerg.ensmp.fr/ease/glazing_overheads.pdf, Advanced Glazing, Education of Architects in Solar Energy and Environment, 3 Mayıs 2012.
- URL 4- <http://makina.ktu.edu.tr/dosyalar/lisans/laboratuvarfoyleri/lab2.pdf>, Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi Deneyi, 25 Aralık 2012.
- URL 5- <http://www.okalux.de/en/downloads/products/kapilux.html>, Infotext Kapipane PMMA pdf, 13 Mayıs 2011.
- Uzmen, R., 2007. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği İnsanlığı Bekleyen Büyük Felaket mi?, Bilge Sanat Yapım Yayıncılık, İstanbul, 157.

- Ülgen, K., 1999. Güneş Enerjisi Etkisi Altındaki Opak Duvar Malzemelerinin Termofiziksel Davranışları, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ünal, A. ve Tanes, Y., 1983. Yatay Düzleme Gelen Saatlik Ortalama Güneş ışınımının Hesaplanması, Isı Bilimi ve Tekniği 4. Kongresi, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı: 233-245.
- Ünal, A., Tanes, Y. ve Onur, H., Ş., 1986. Günlük Ortalama Güneş Işınımı ve Sıcaklık Değerlerinin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi, Fonksiyon Parametrelerinin Türkiye'deki Dağılımı, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 8, 4, 37-45.
- Voss, K., vd., 1996. Transparent Insulation in Building Renovation: German Contribution to IEA-SHCP Task 20, EuroSun 96, Eylül, Freiburg, Bildiriler Kitabı: 1808–1812.
- Voss, K., 2000. Solar Energy in Building Renovation – Results and Experience of International Demonstration Buildings, Energy and Buildings, 32, 3, 291–302.
- Wittwer, V., 1992. Transparent Insulation Materials and Their Application in Active and Passive Systems, International Journal of Solar Energy, 11, 1-2, 117-134.
- Yang, H., Zhu, Z., ve Burnett, J., 2000. Simulation of The Behaviour of Transparent Insulation Materials in Buildings in Northern China, Applied Energy, 67, 293-306.
- Yeşildal B., B., 2002. Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Kullanımının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, Z., 1989. Kullanıcı Konforu ve Enerji Tasarrufu Açısından Binaların Isısal Performanslarının Değerlendirilmesi, TU Müh. ve Çev. D.C., Doğa, 13,1, 105-106.
- Yılmaz, Z., 2005. Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji, Tasarım, 157, 100-104.
- Yılmaz, T., Bulut, H. ve Özgören, M., 1996. Isı Kazancı Olarak Camdan Geçen Toplam Güneş Radyasyonunun Hesaplanması, Çukurova Mühendislik Mimarlık Dergisi, 11, 2.
- Yiğit, A. ve Horuz İ., 1995. Hava Hızı ve Hareketlerinin Isıl Konfor Şartlarına Etkisi, 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Eylül, Ankara, Bildiriler Kitabı: 603-612.
- Zorer, G., G., 1995. Dersliklerde Edilgen Sistemle Isıl konforun Sağlanmasında Tasar Ölçütü Olarak Bir Değerlendirme Yönteminin Oluşturulması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zorer, G., G., 2001. Hazır Dış Duvar Elemanlarının Isısal Konfor Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi, Mart, Eskişehir, Bildiriler Kitabı.

Zürcher, F., C., 1998. Bauphysik-Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, B.G, Teubner, Stuttgart.

7. EKLER

Ek 1. Ocak Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 2. Şubat Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 3. Mart Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 4. Nisan Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 5. Mayıs Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 6. Haziran Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 7. Temmuz Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 8. Ağustos Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 9. Eylül Ayına Ait Ortalama Veriler

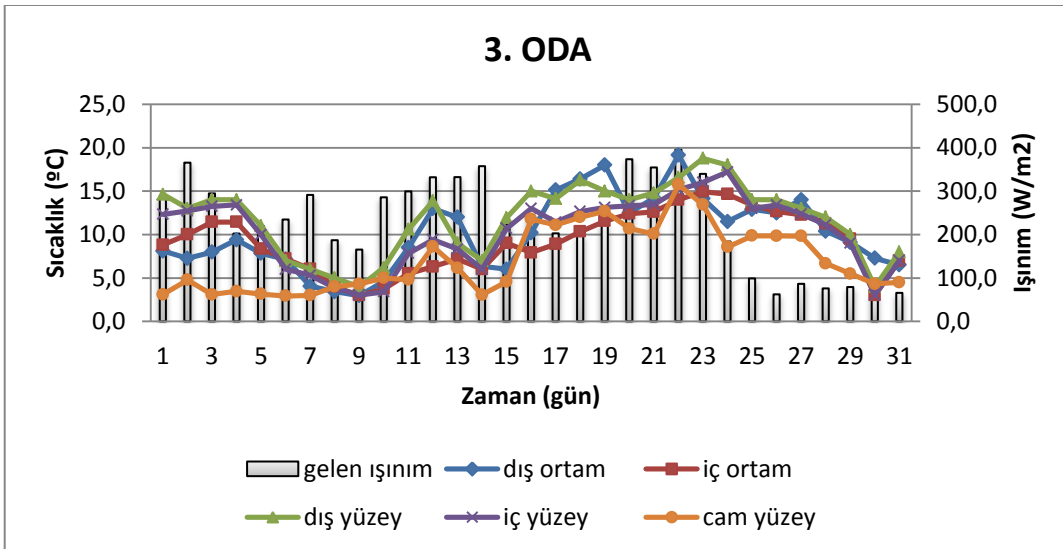
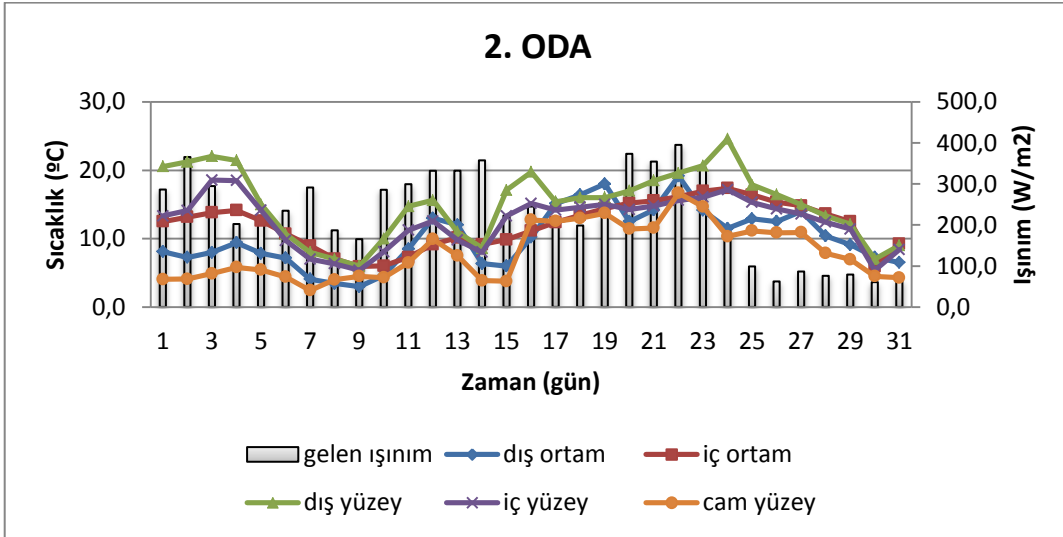
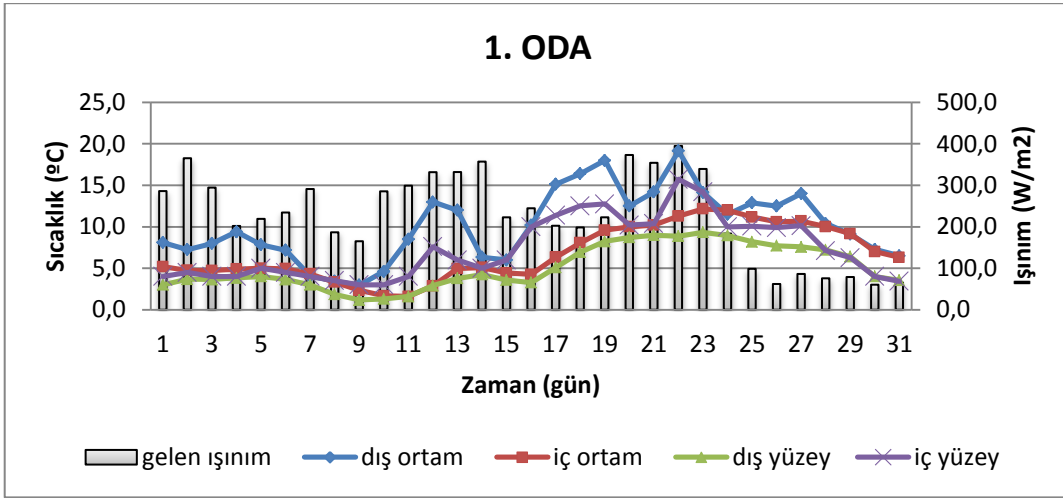
Ek 10. Ekim Ayına Ait Ortalama Veriler

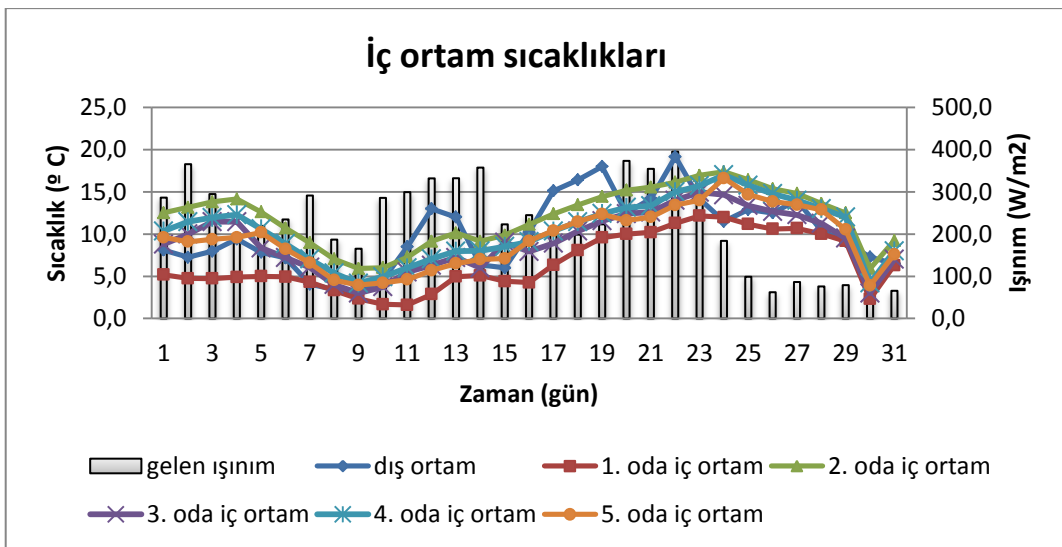
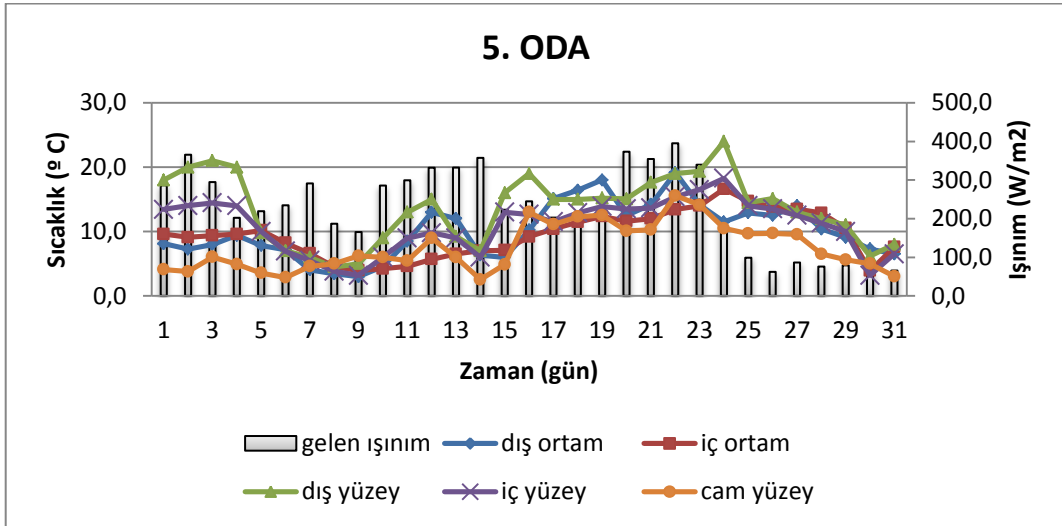
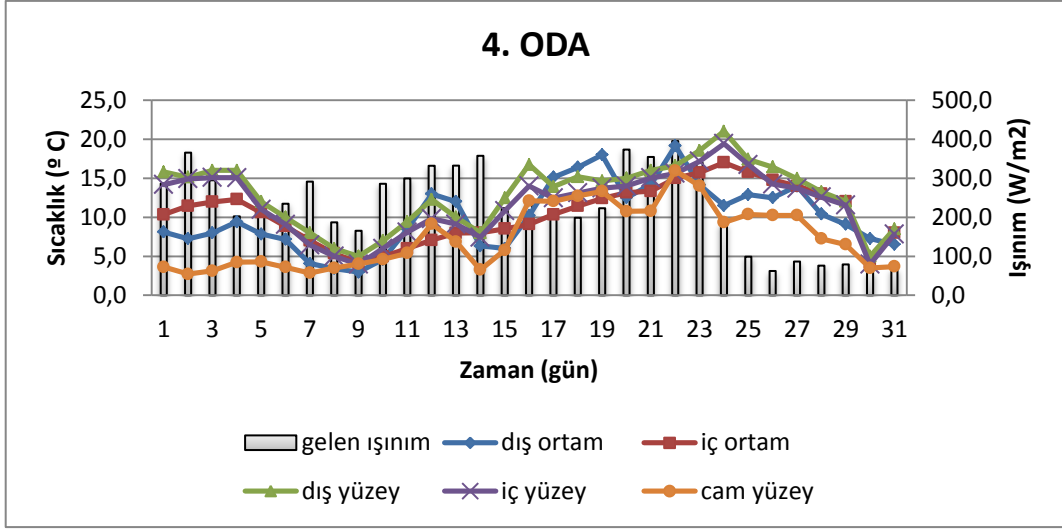
Ek 11. Kasım Ayına Ait Ortalama Veriler

Ek 12. Aralık Ayına Ait Ortalama Veriler

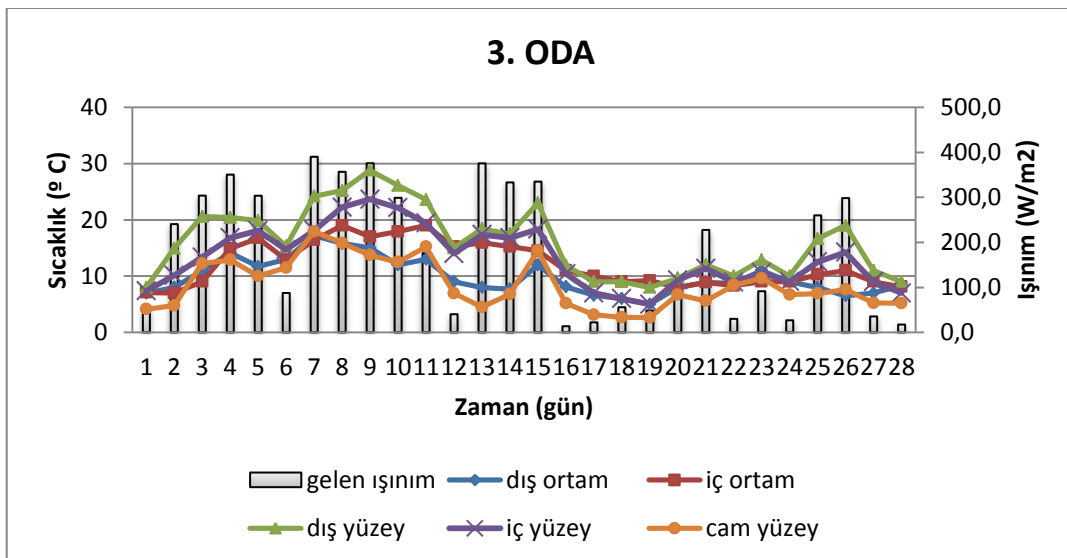
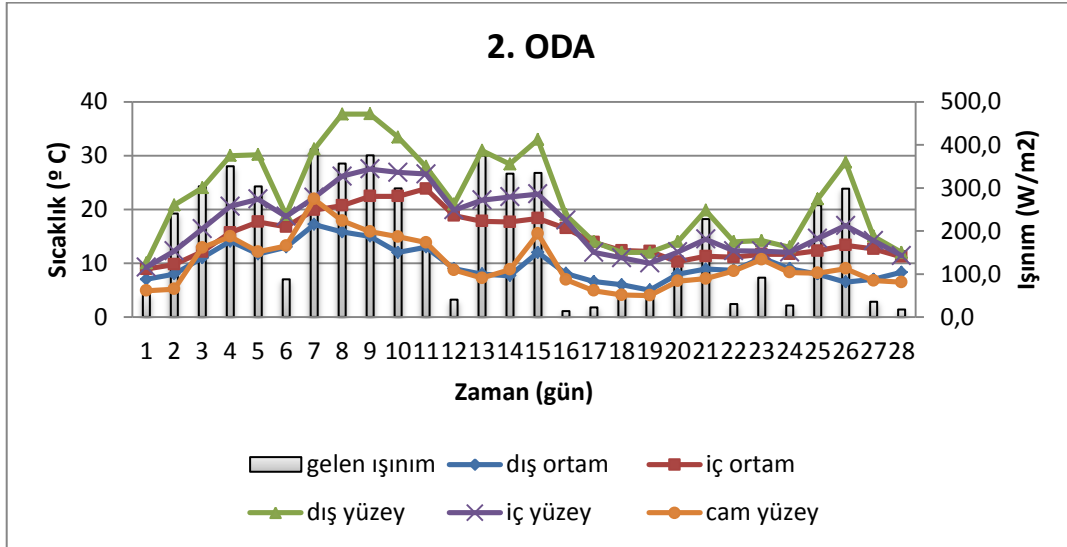
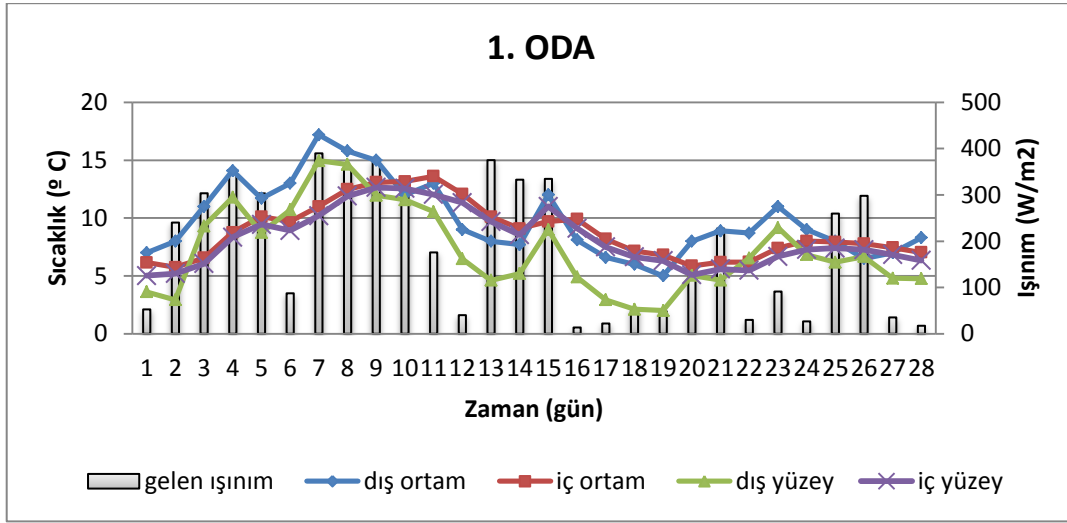
**Ek 13. Güney Duvar Yüzeyindeki Kapakların Açık Olduğu Günlerdeki Sıcaklıklar
(3. ve 4. Oda)**

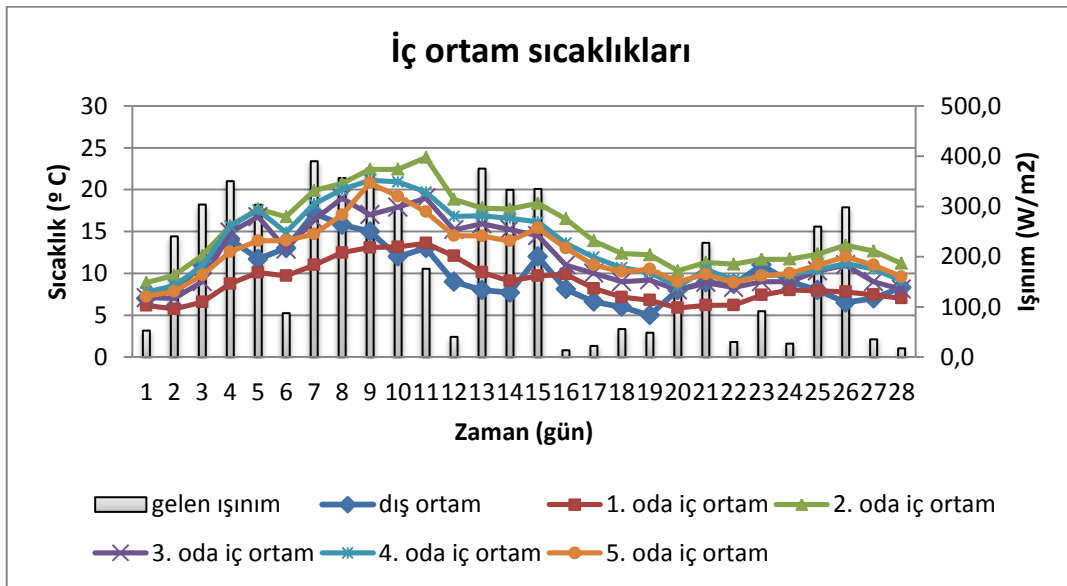
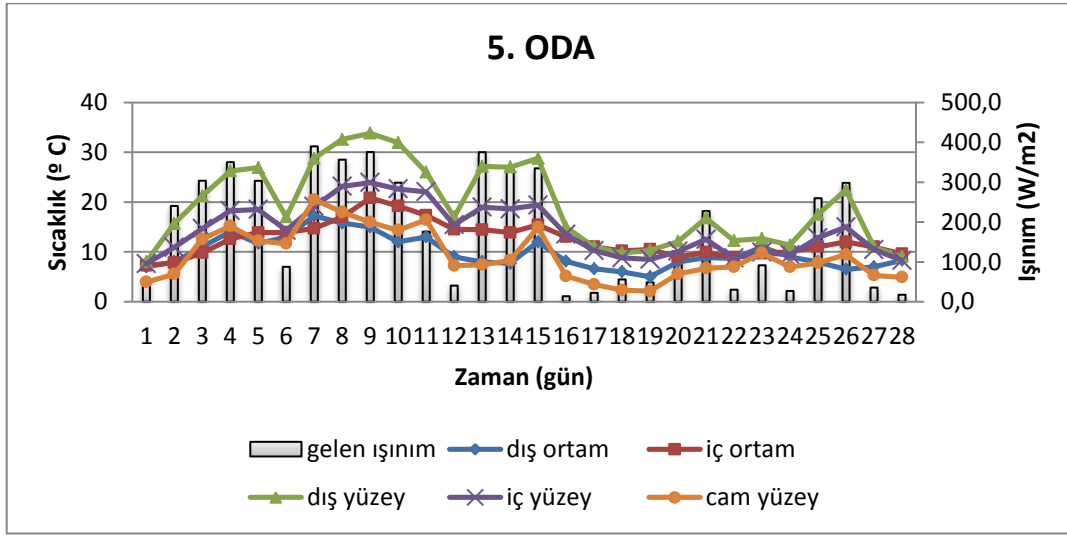
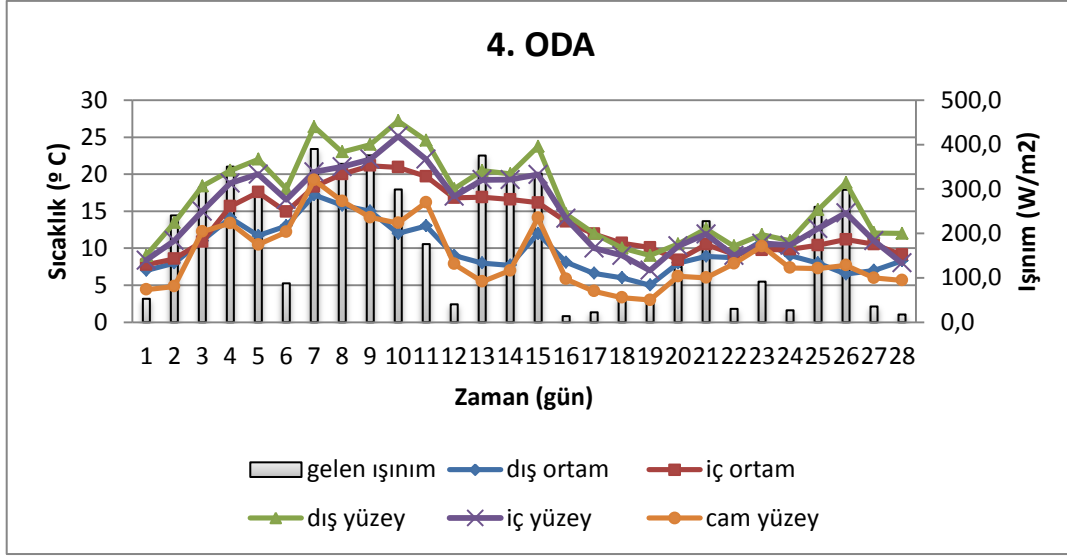
Ek 1. Ocak Ayına Ait Ortalama Veriler



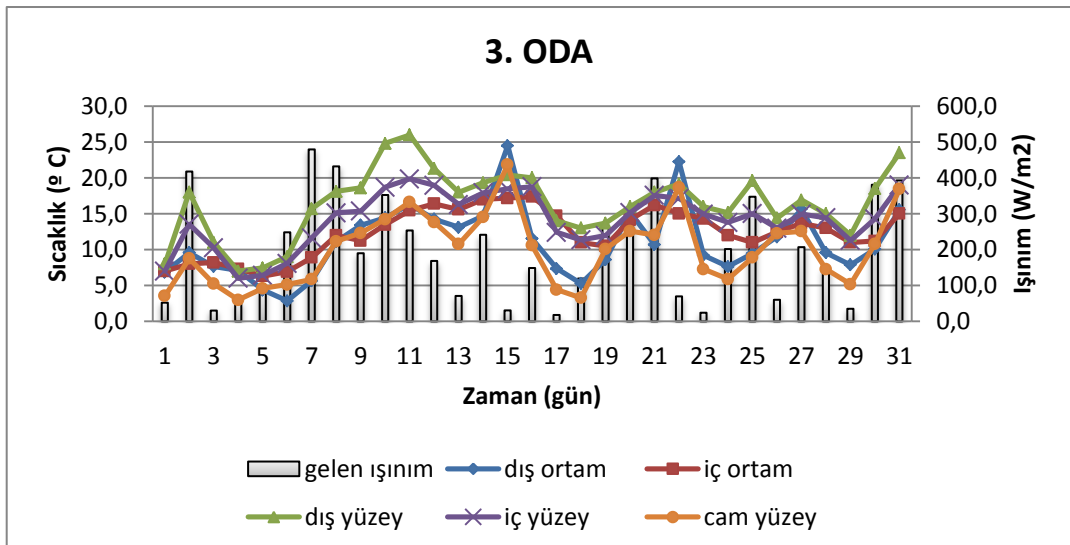
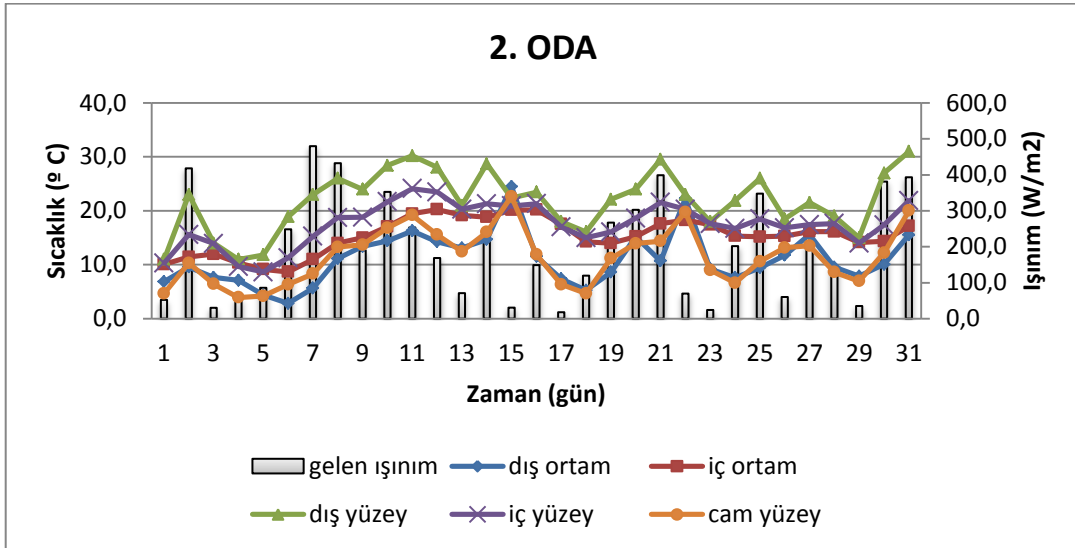
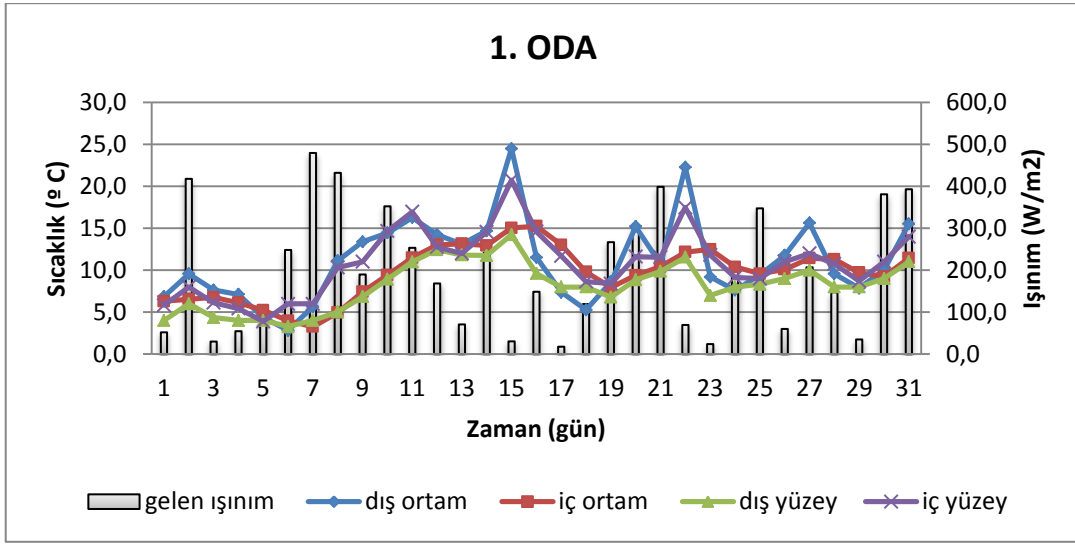


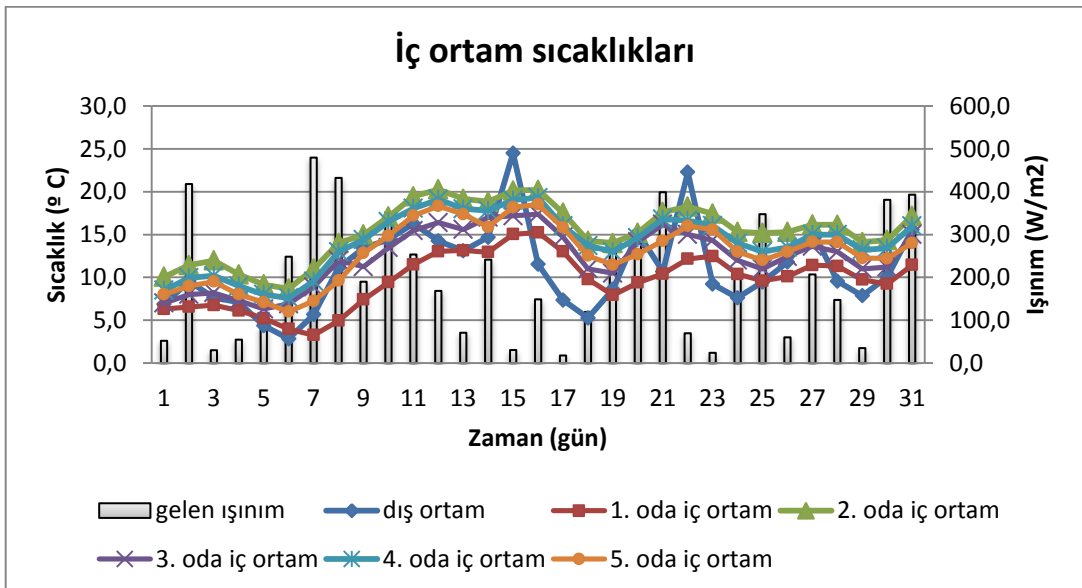
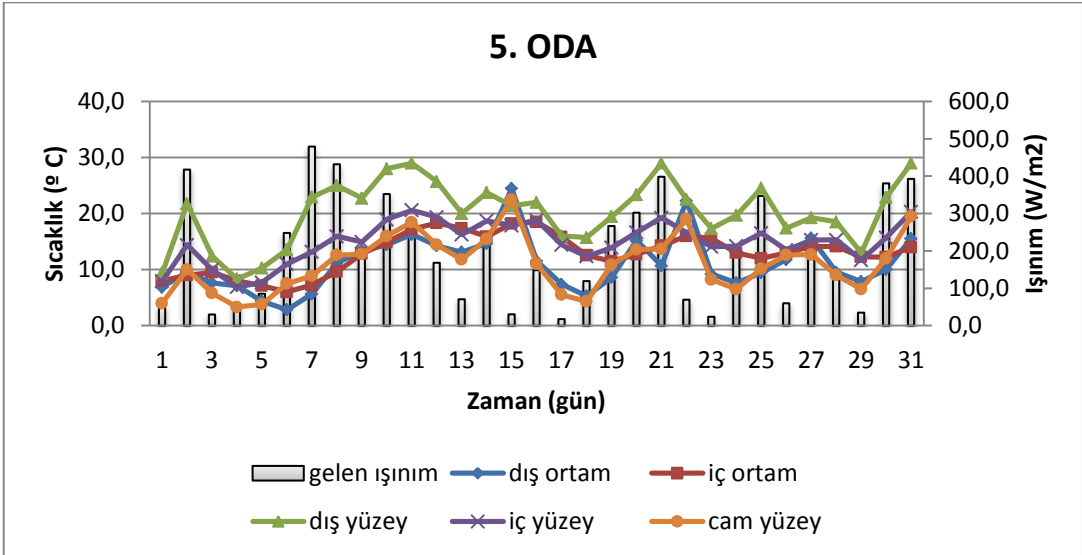
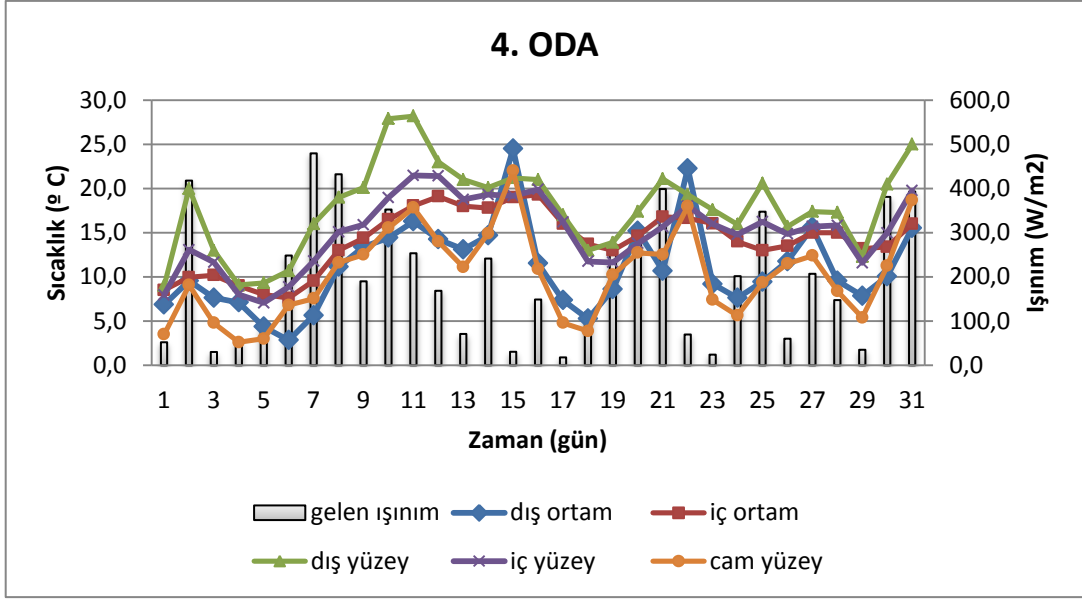
Ek 2. Şubat Ayına Ait Ortalama Veriler



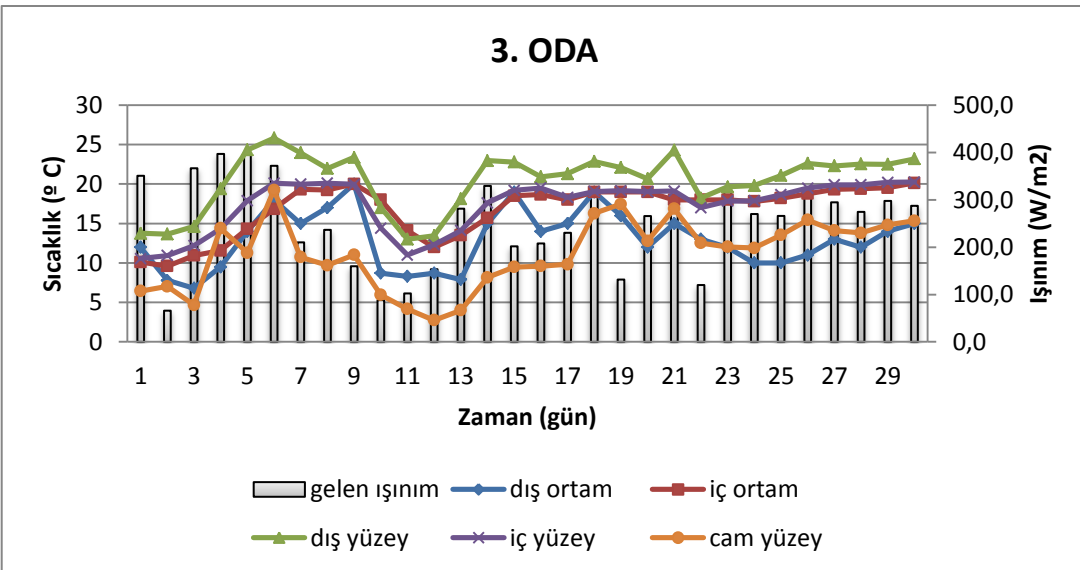
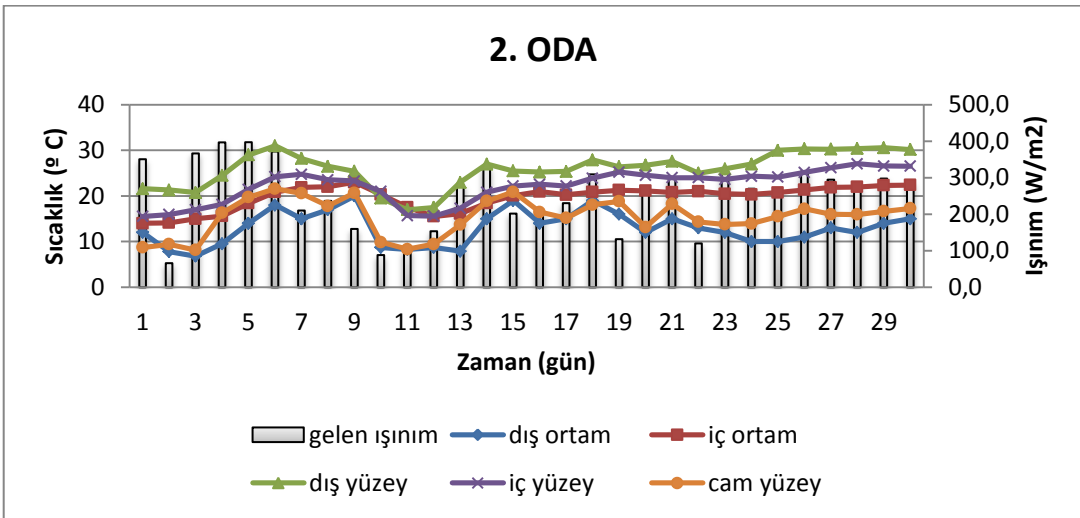
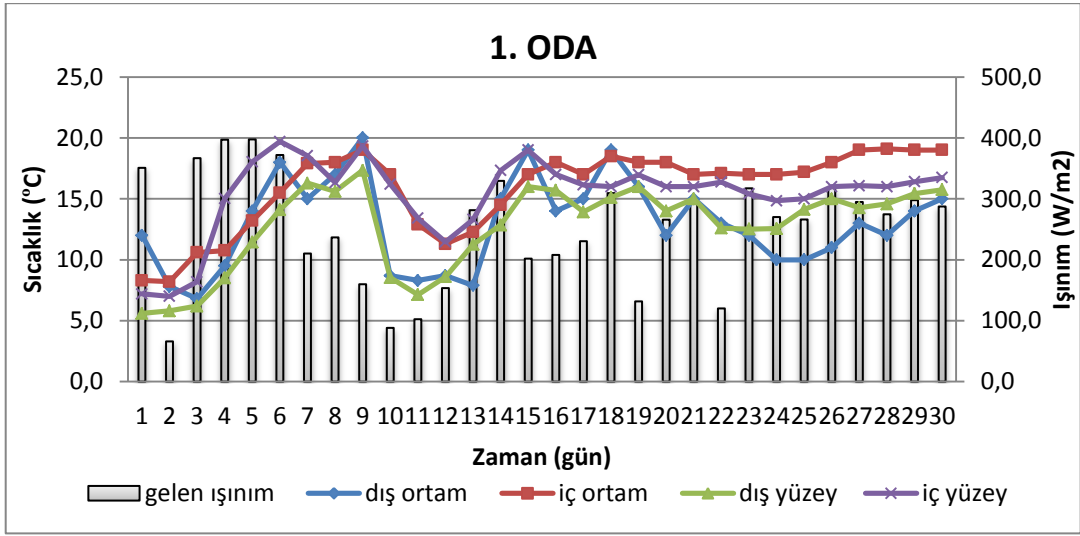


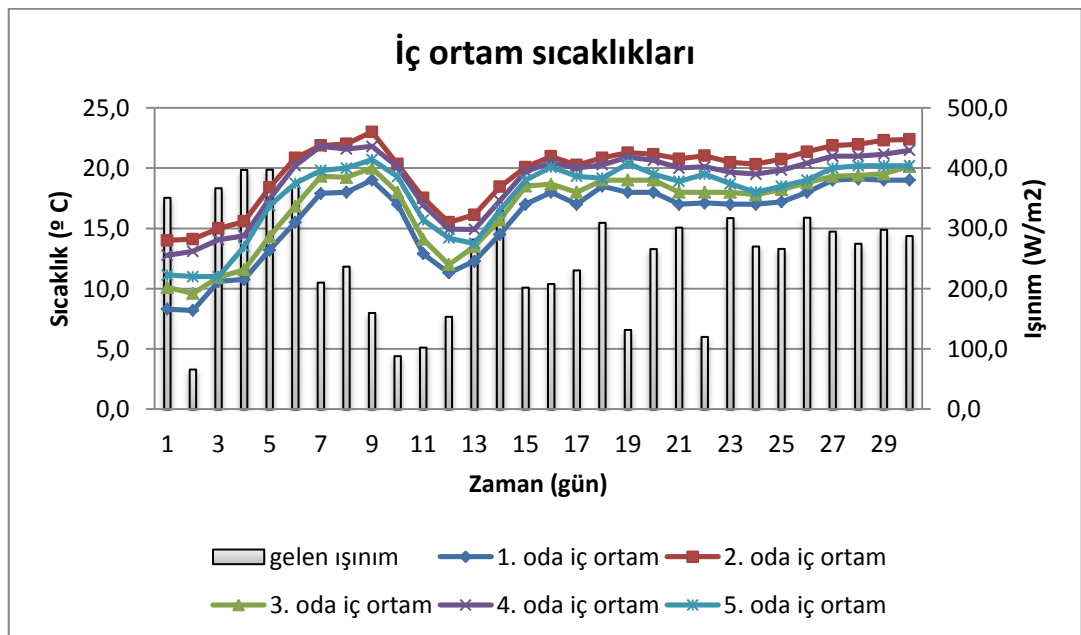
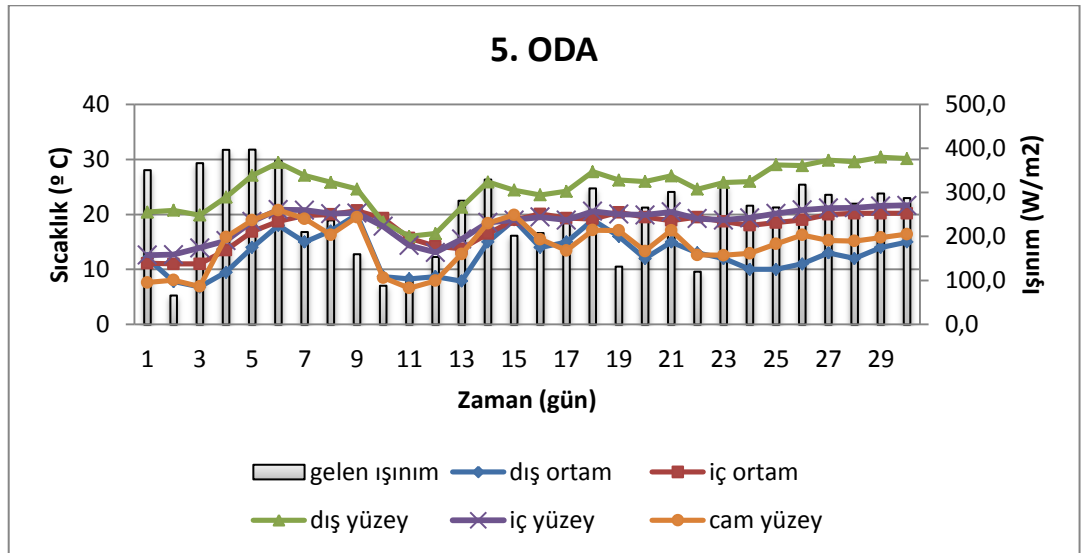
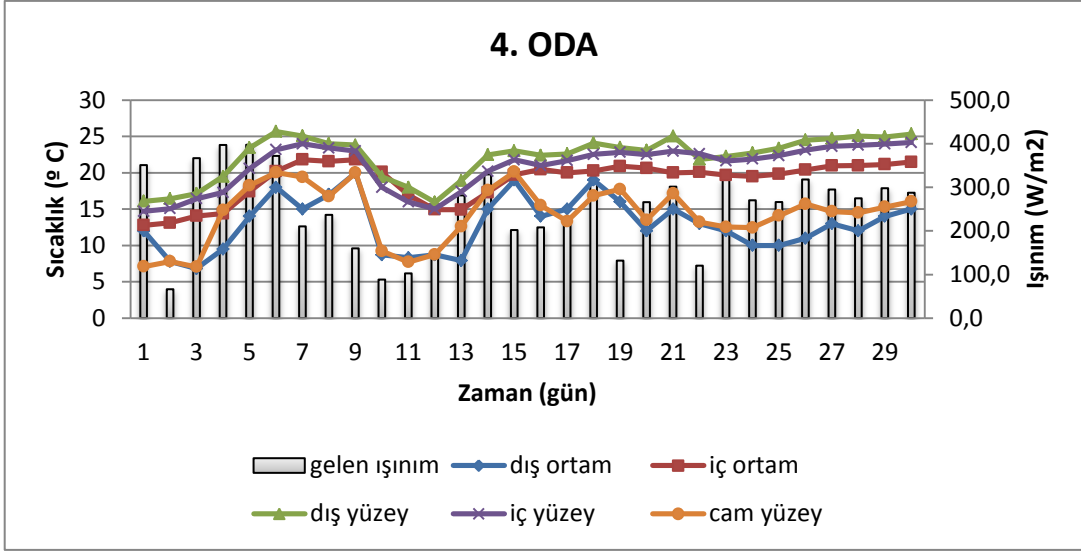
Ek 3. Mart Ayına Ait Ortalama Veriler



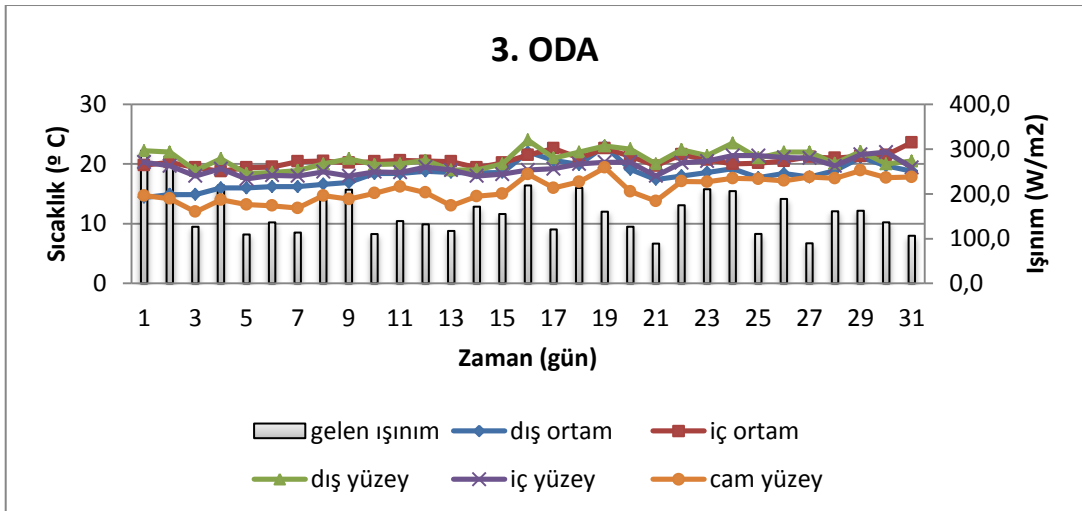
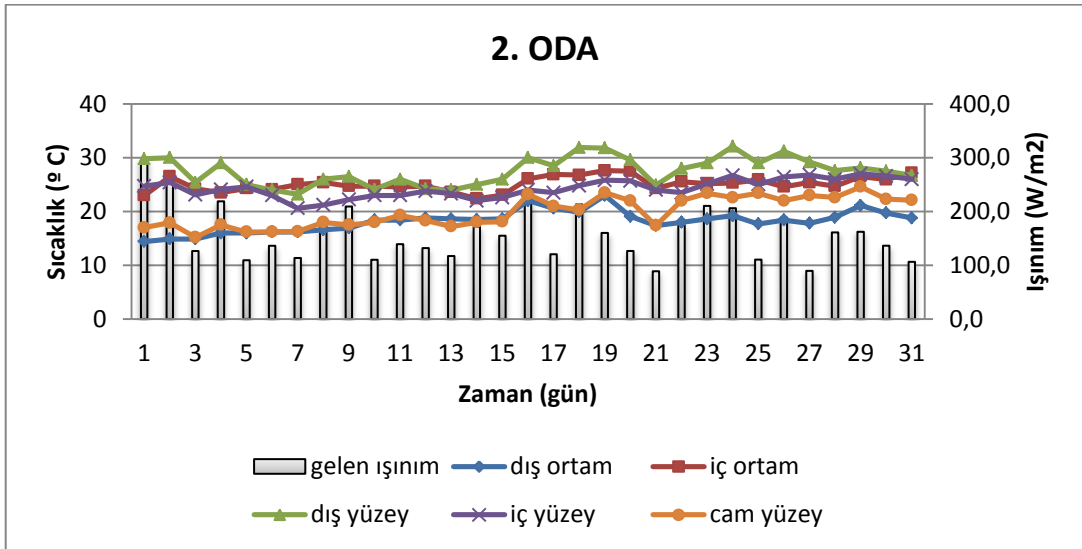
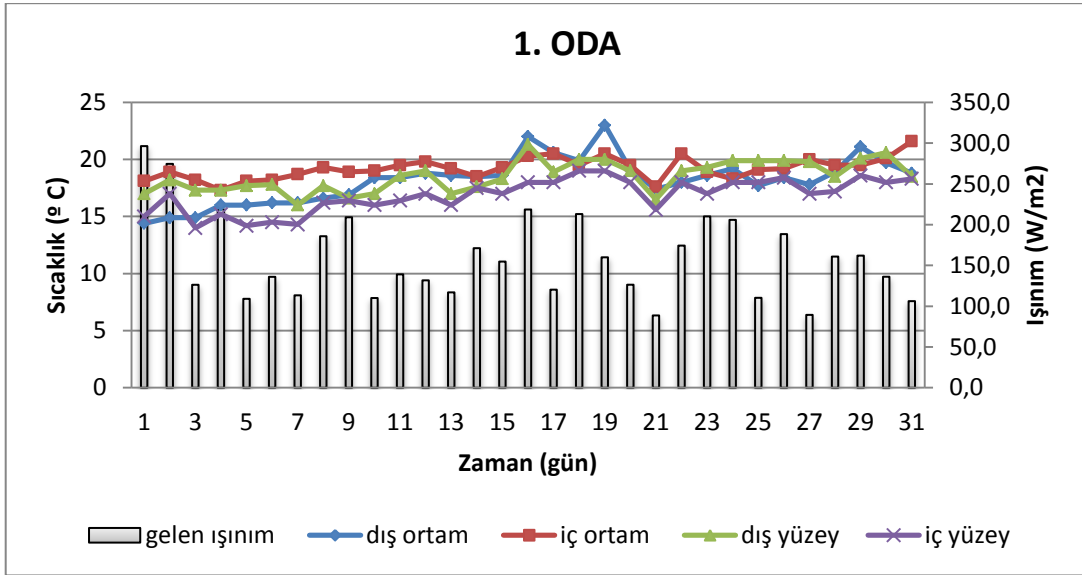


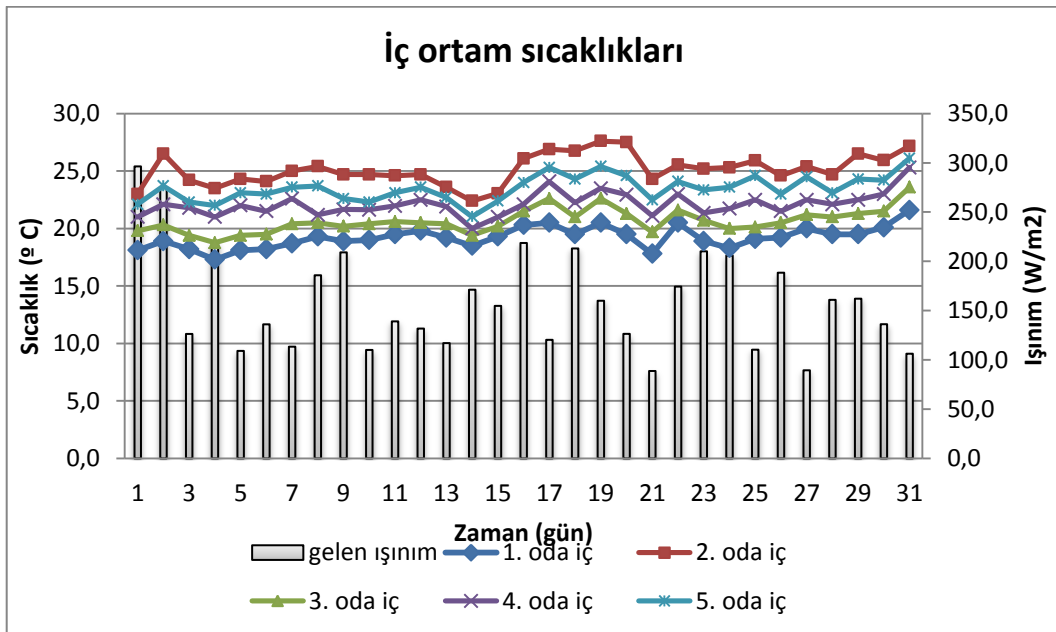
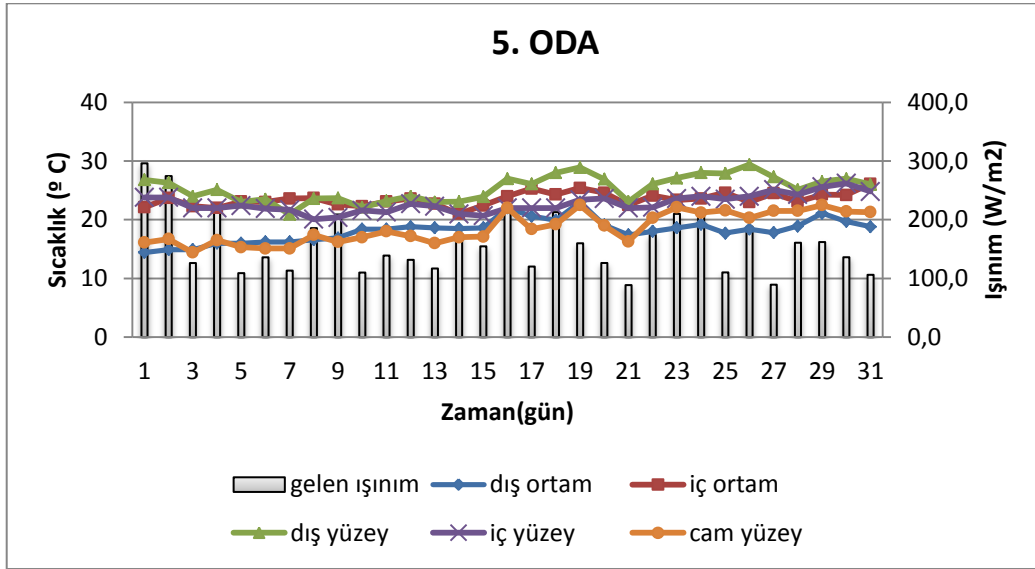
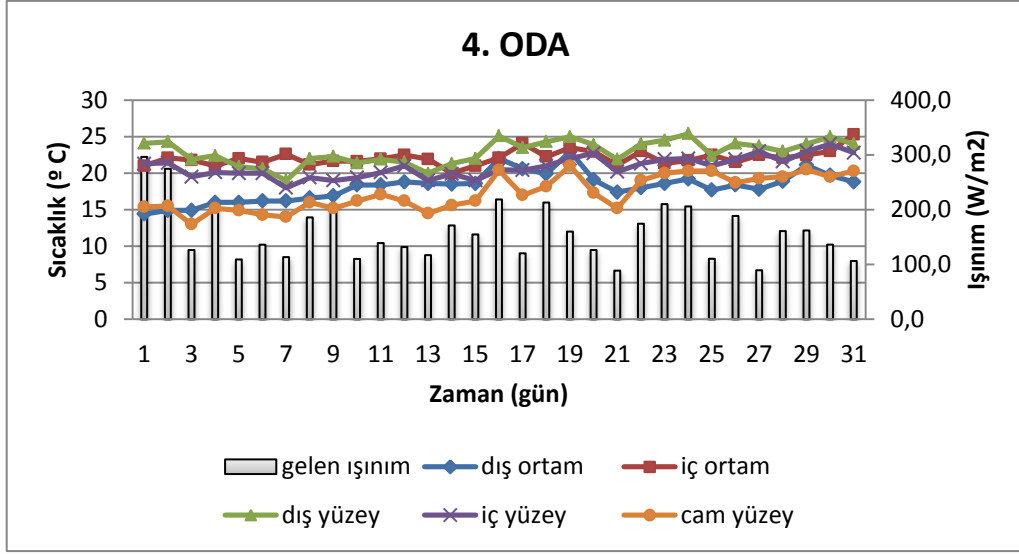
Ek 4. Nisan Ayına Ait Ortalama Veriler



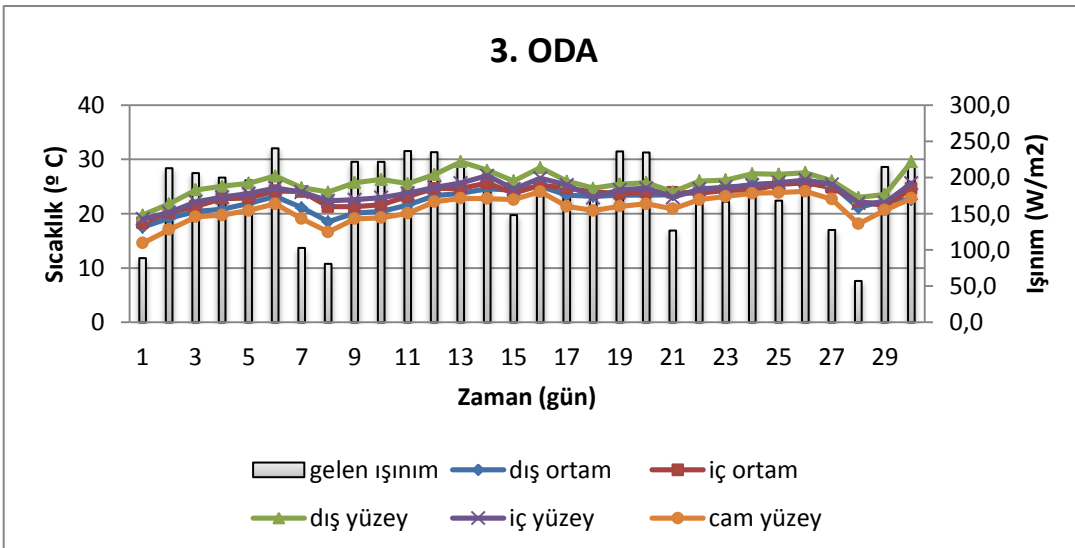
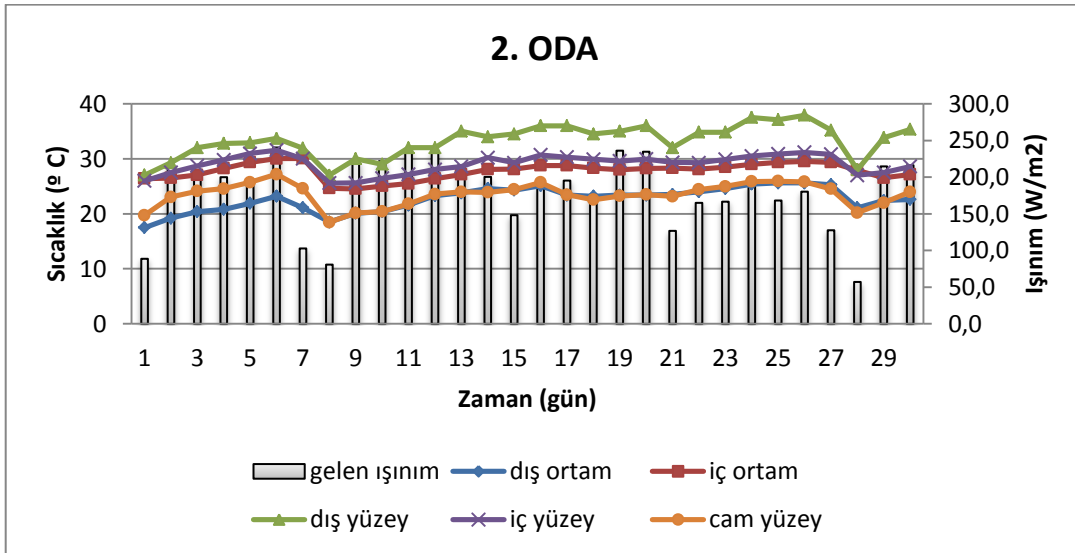
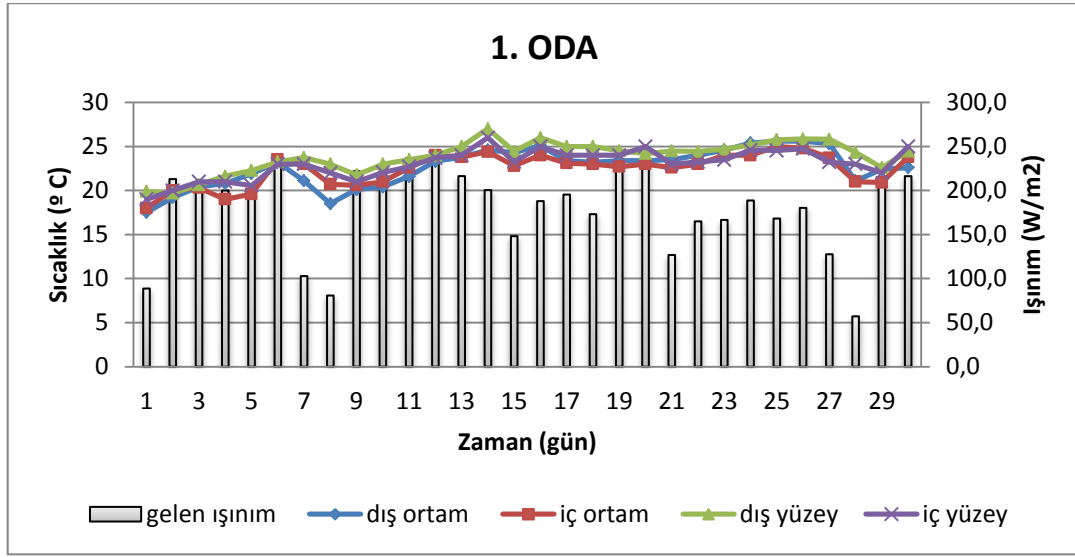


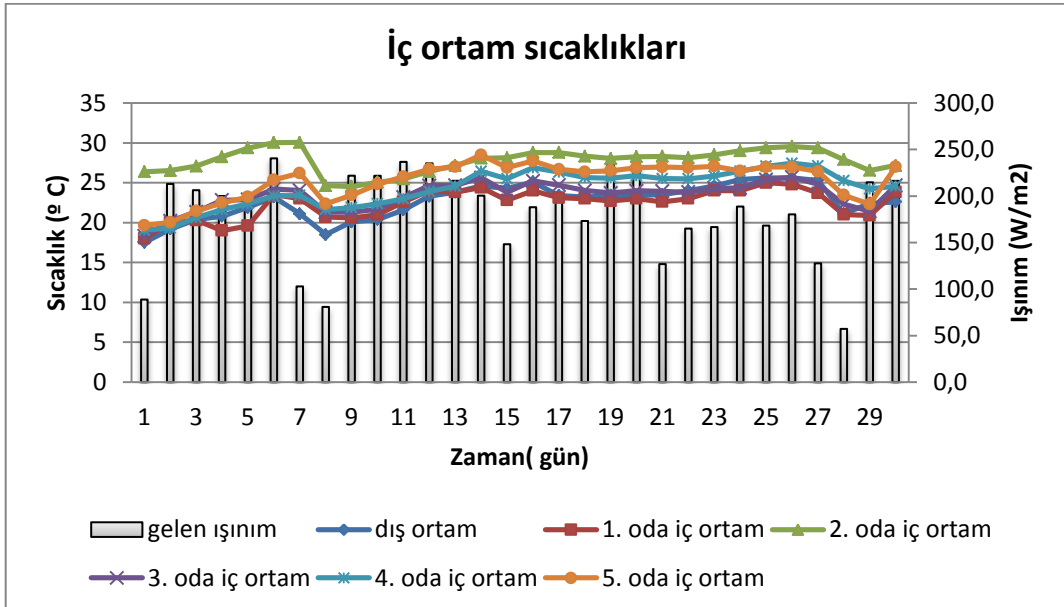
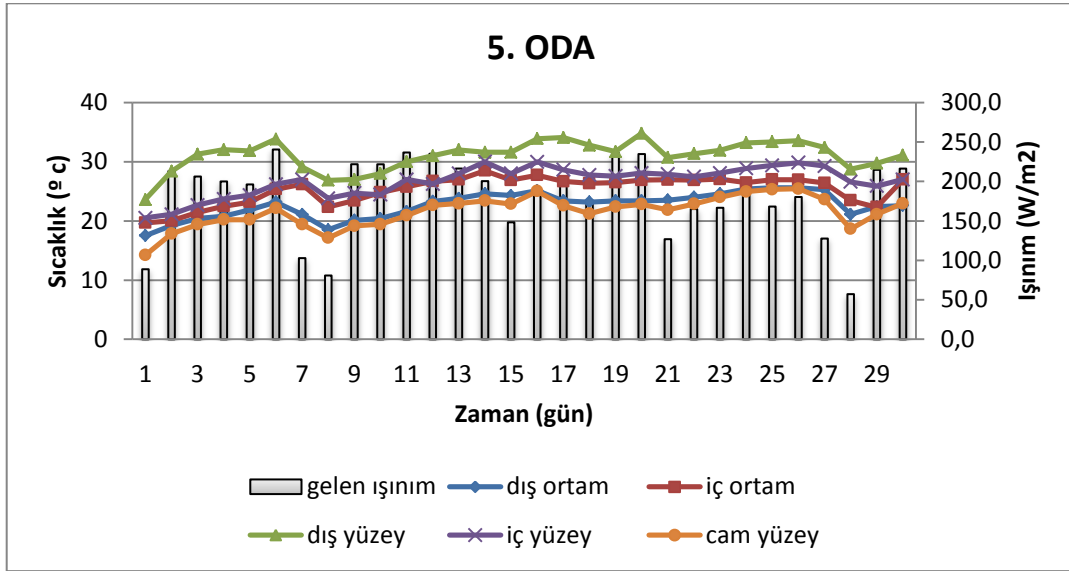
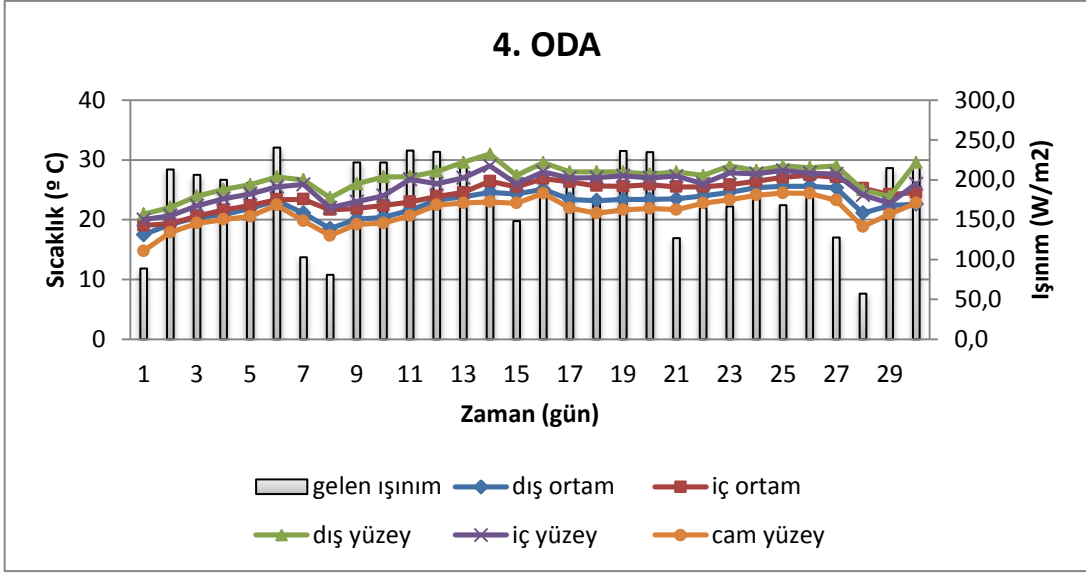
Ek 5. Mayıs Ayına Ait Ortalama Veriler



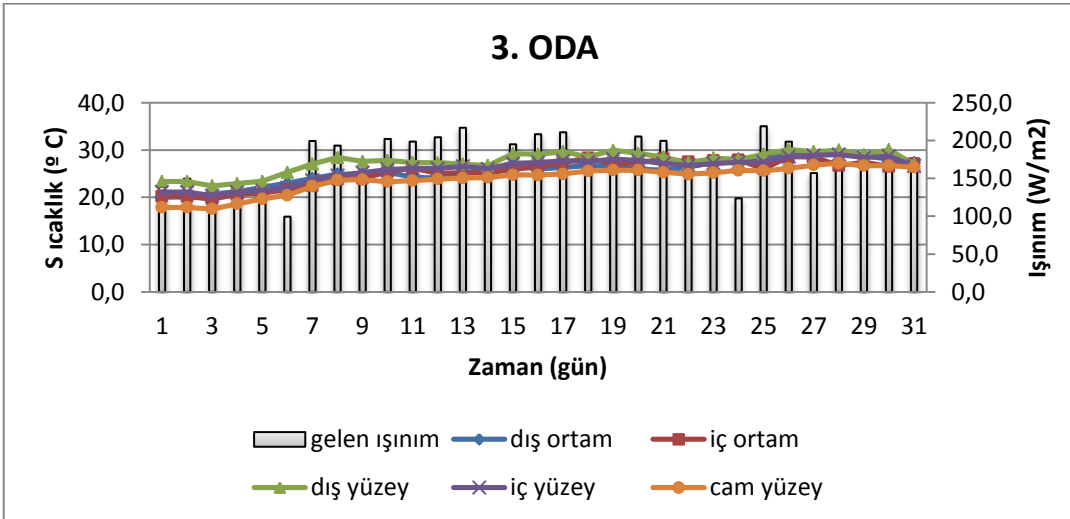
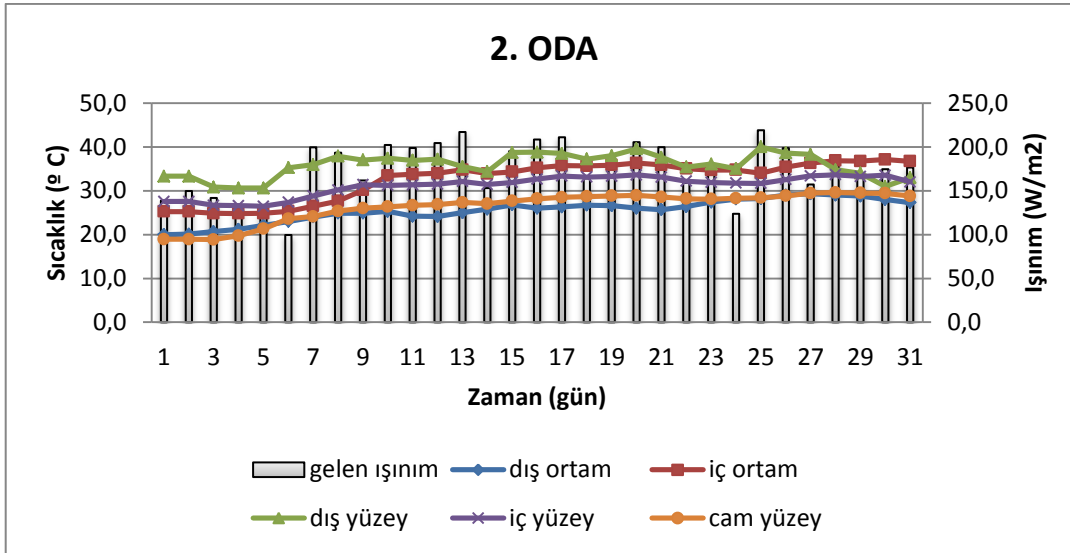
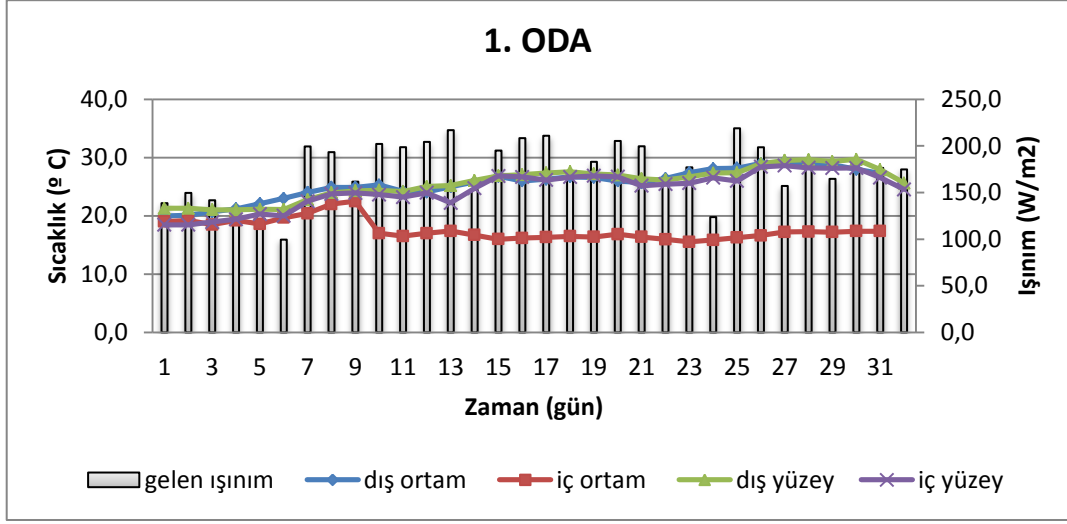


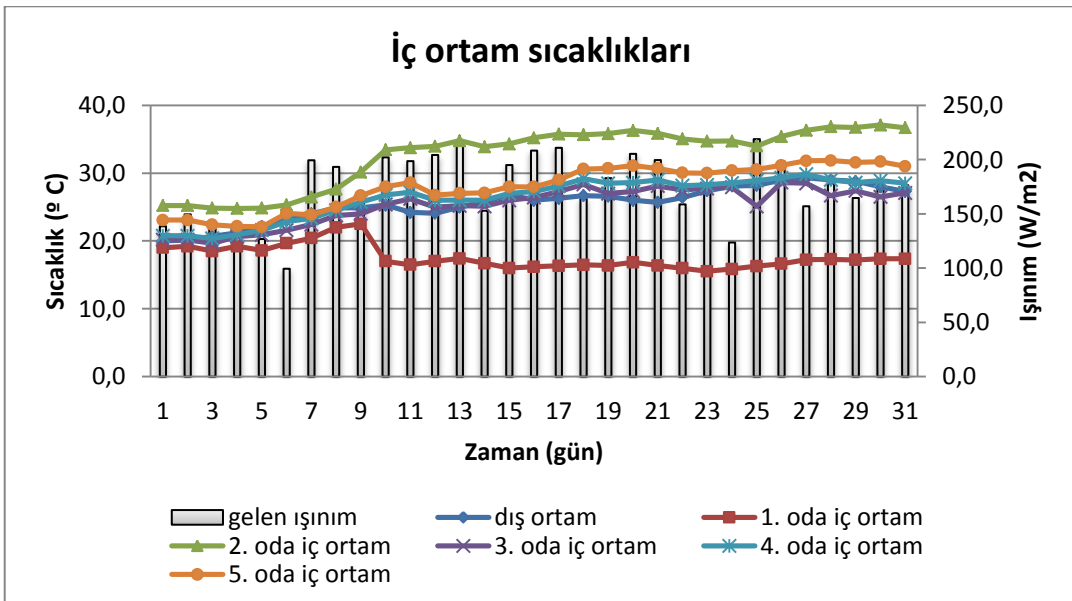
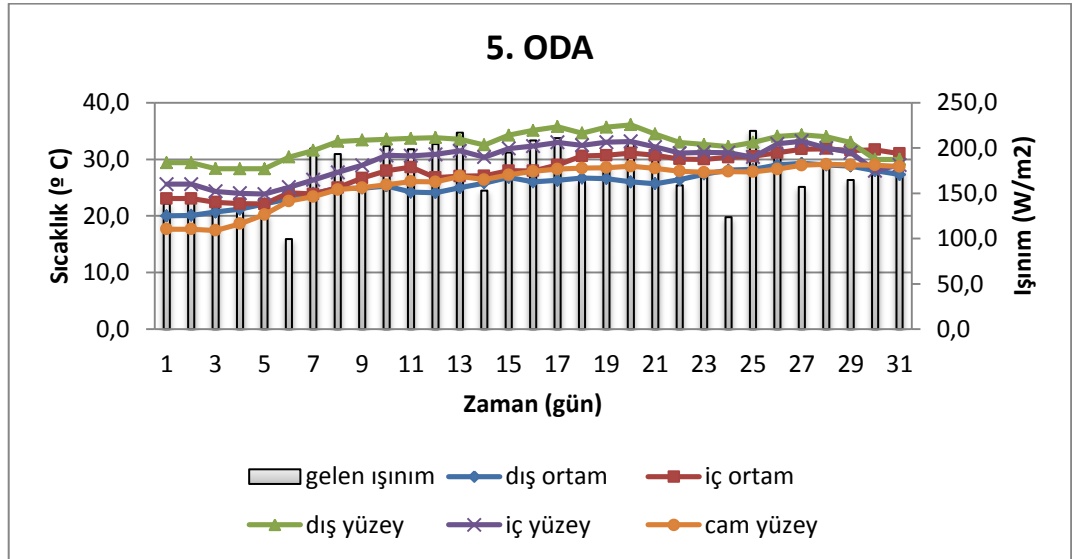
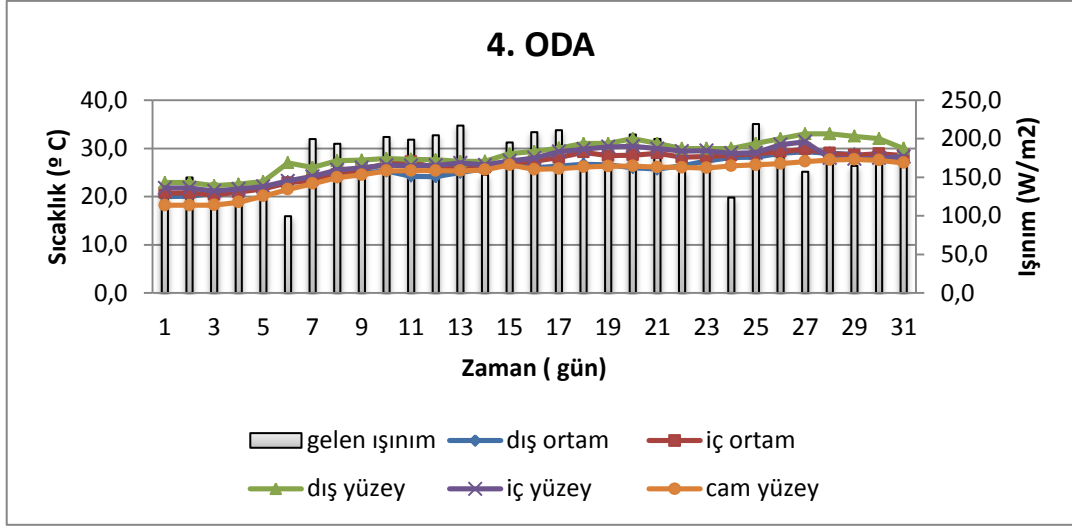
Ek 6. Haziran Ayına Ait Ortalama Veriler



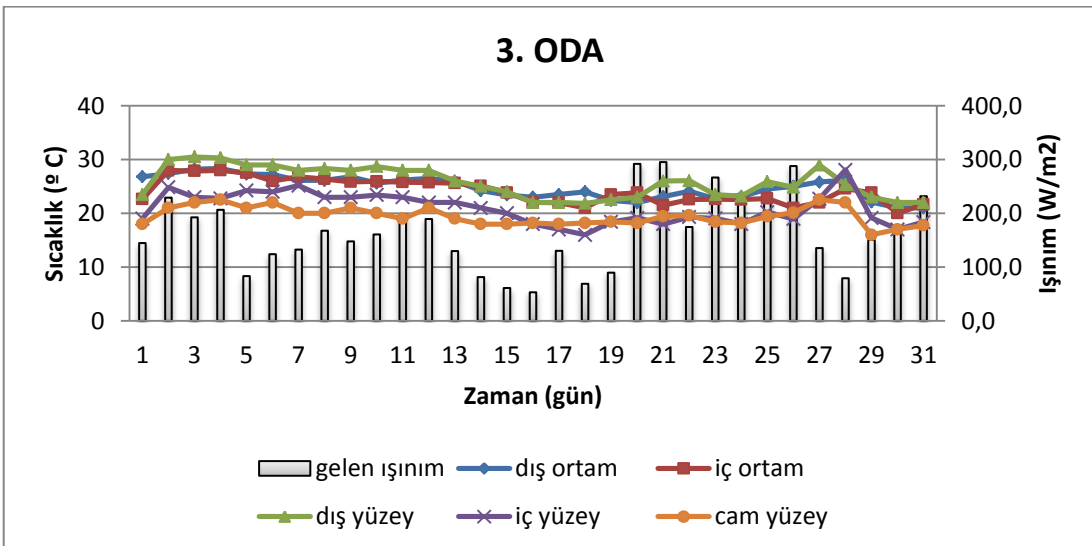
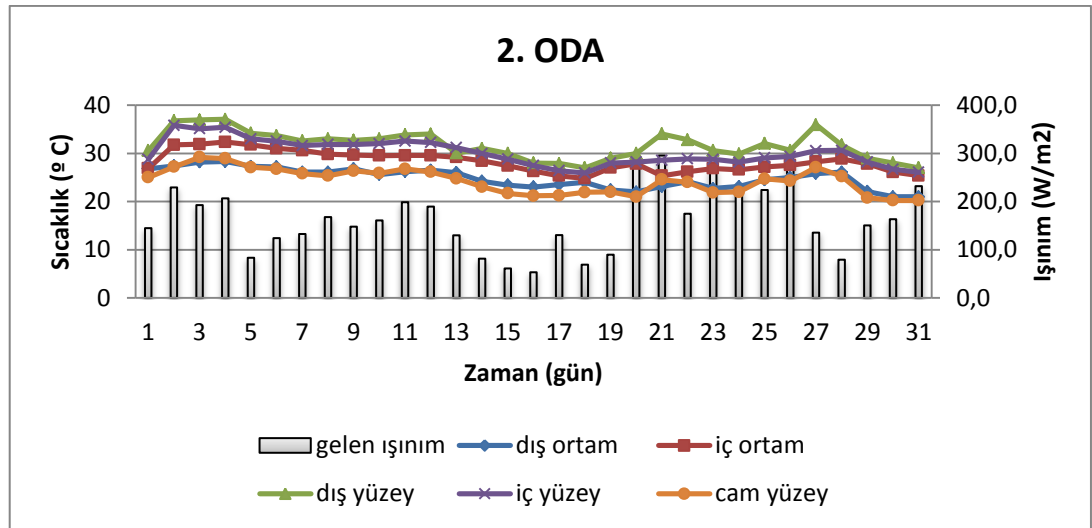
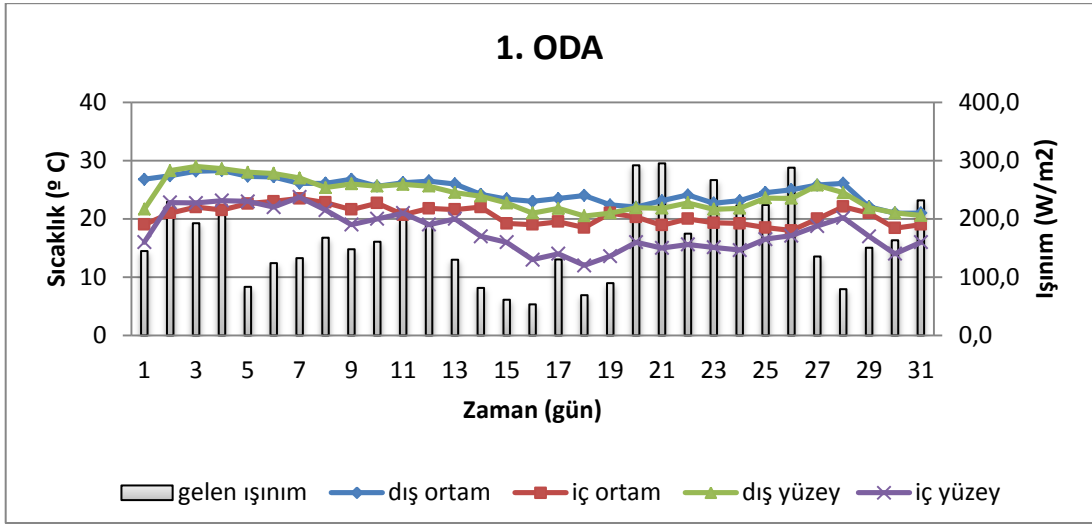


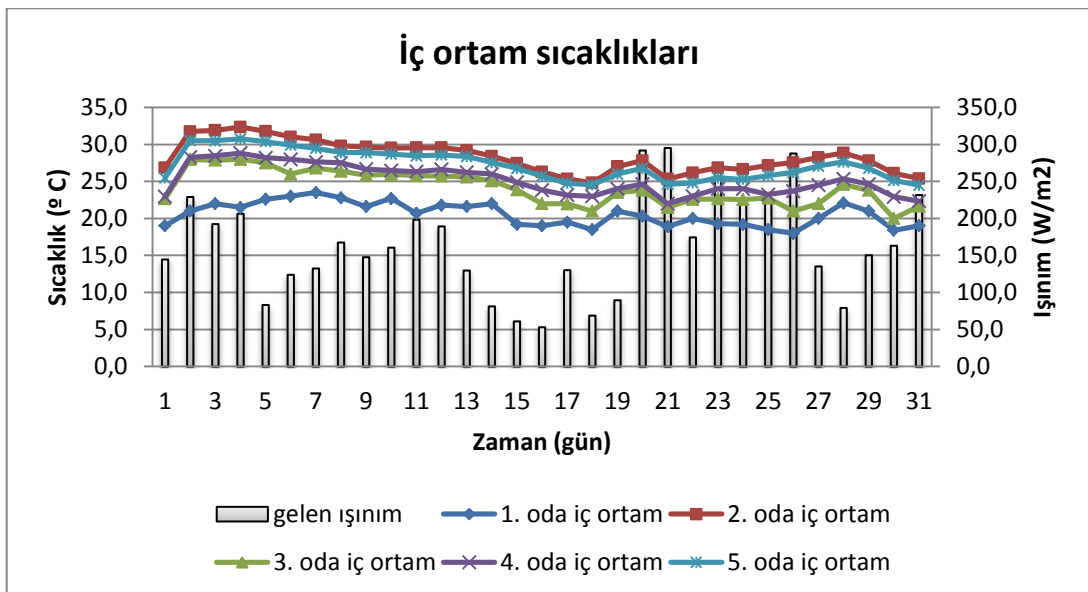
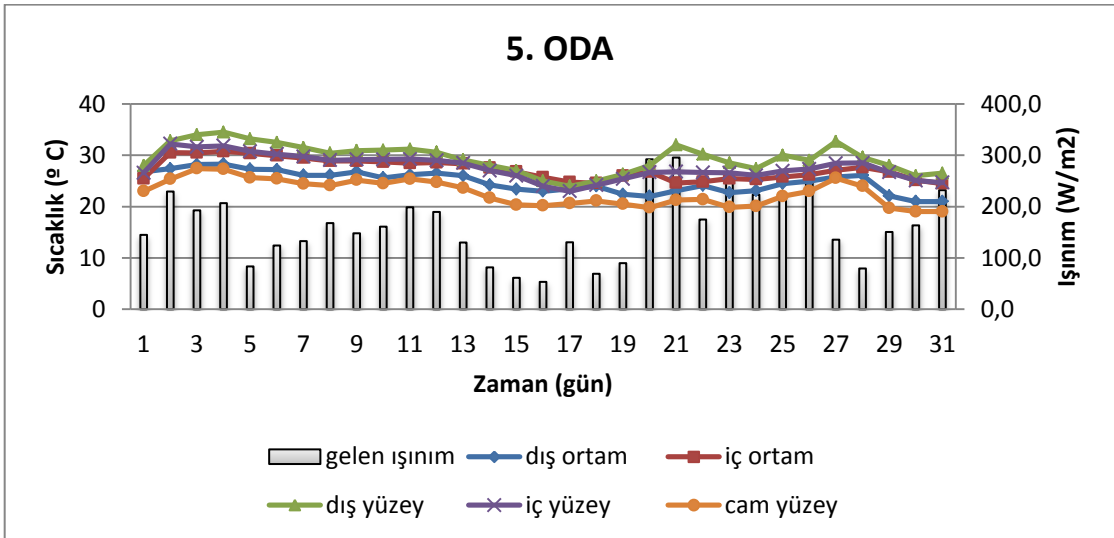
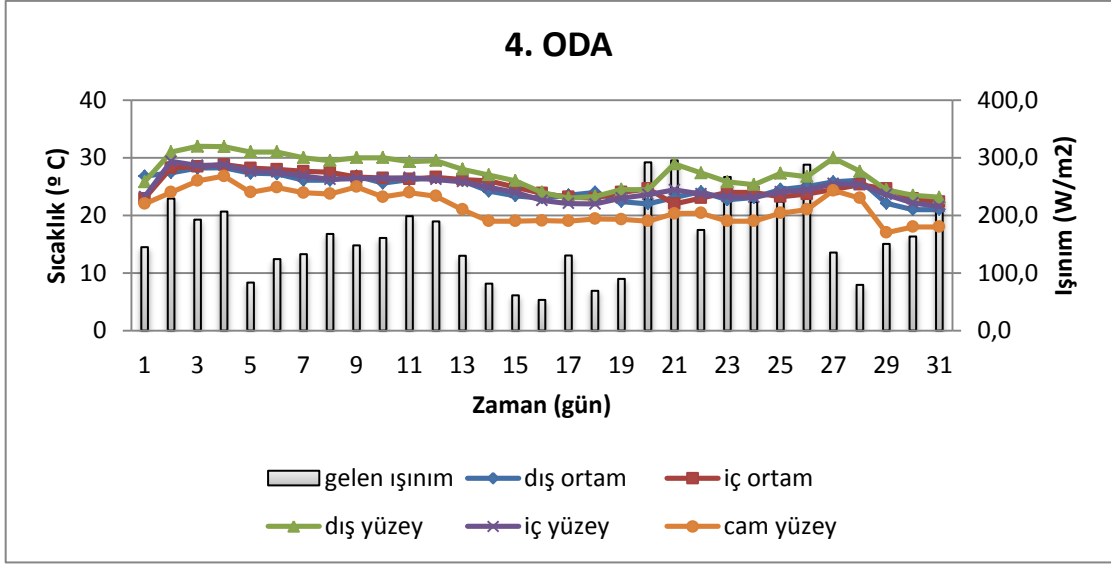
Ek 7. Temmuz Ayına Ait Ortalama Veriler



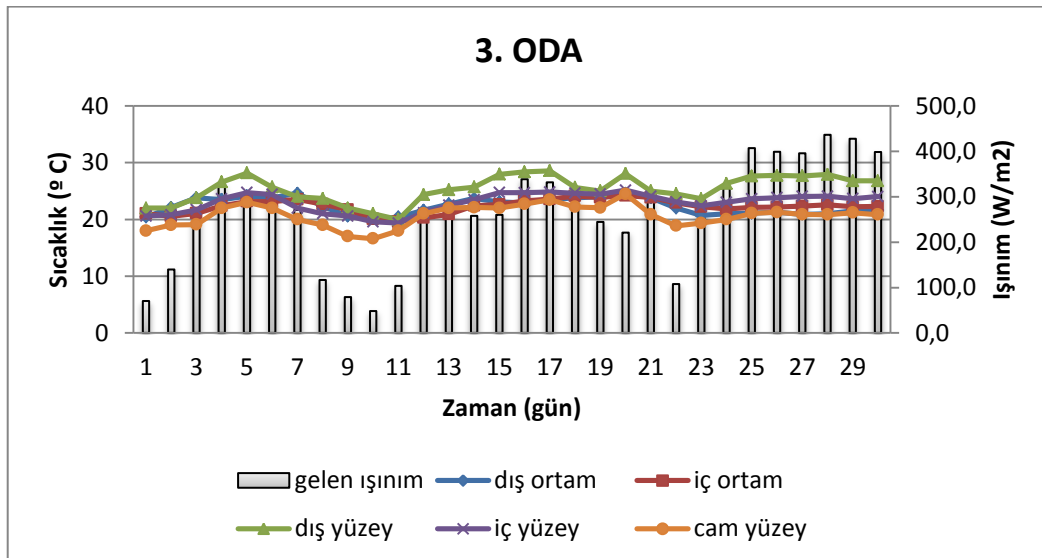
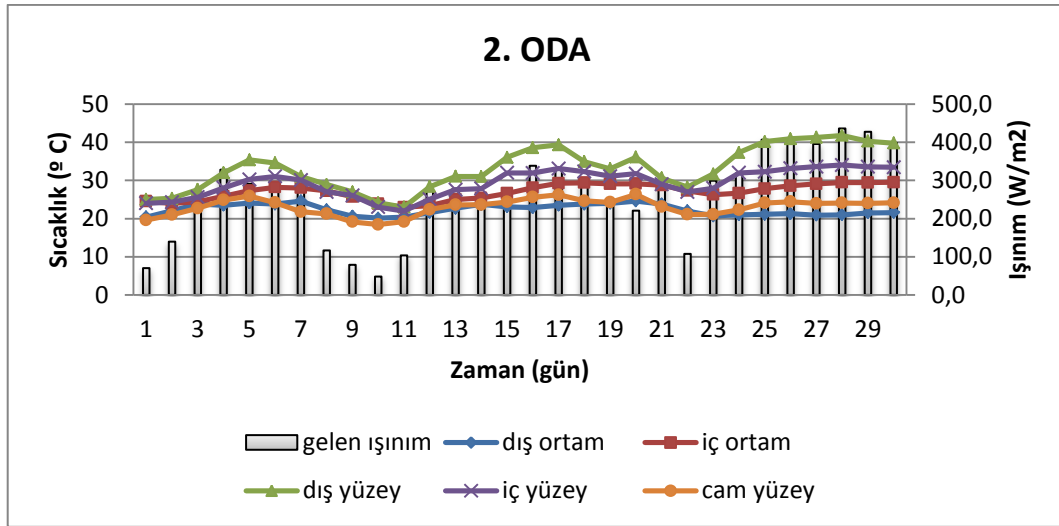
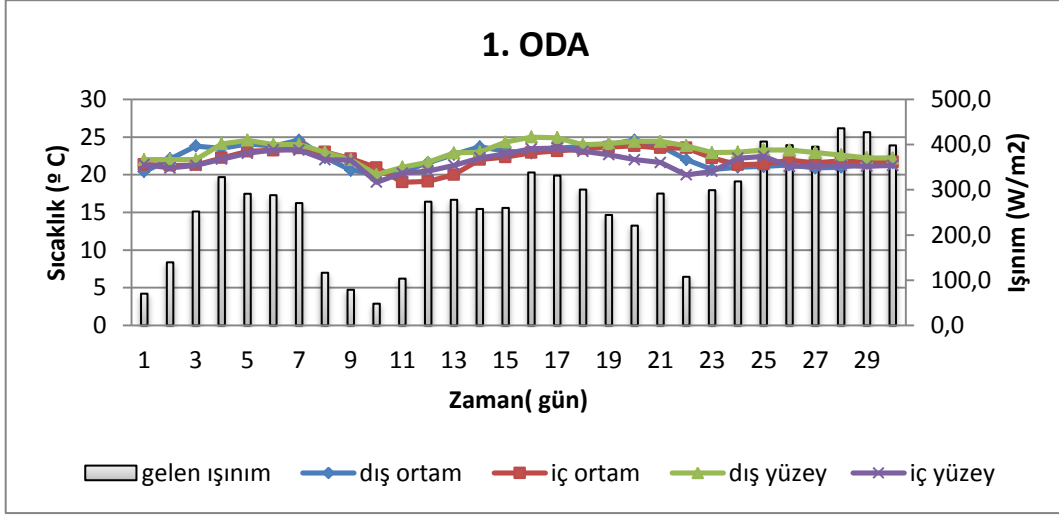


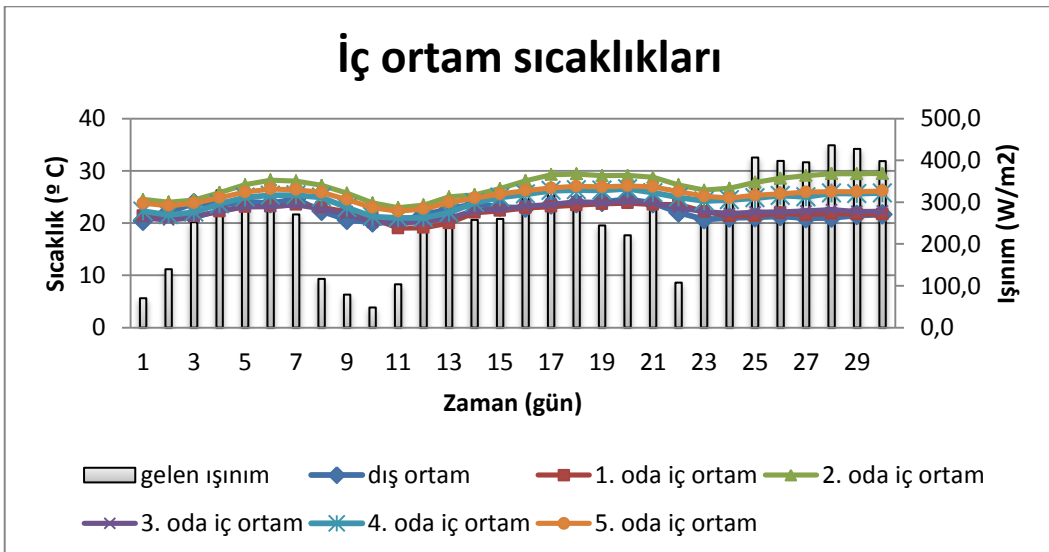
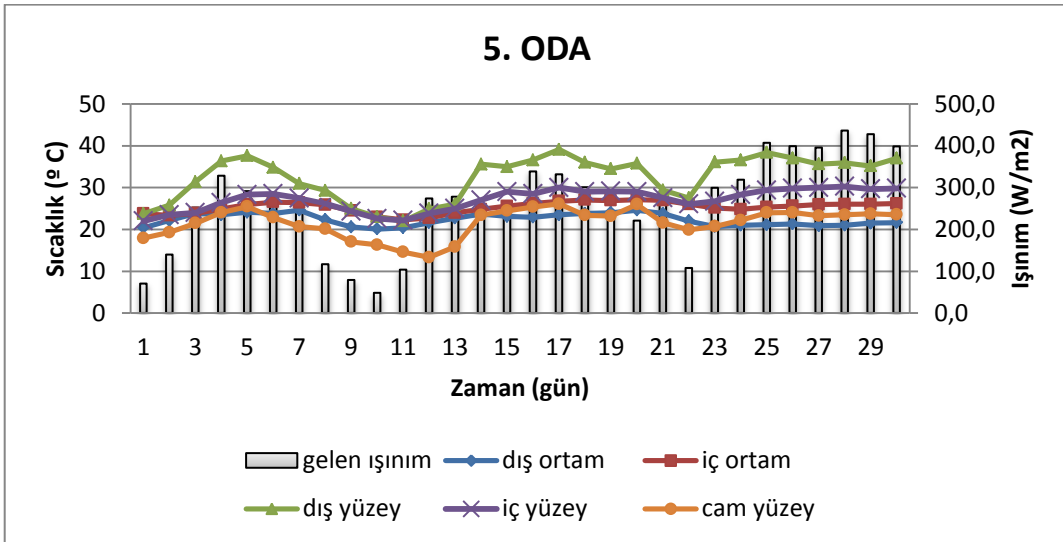
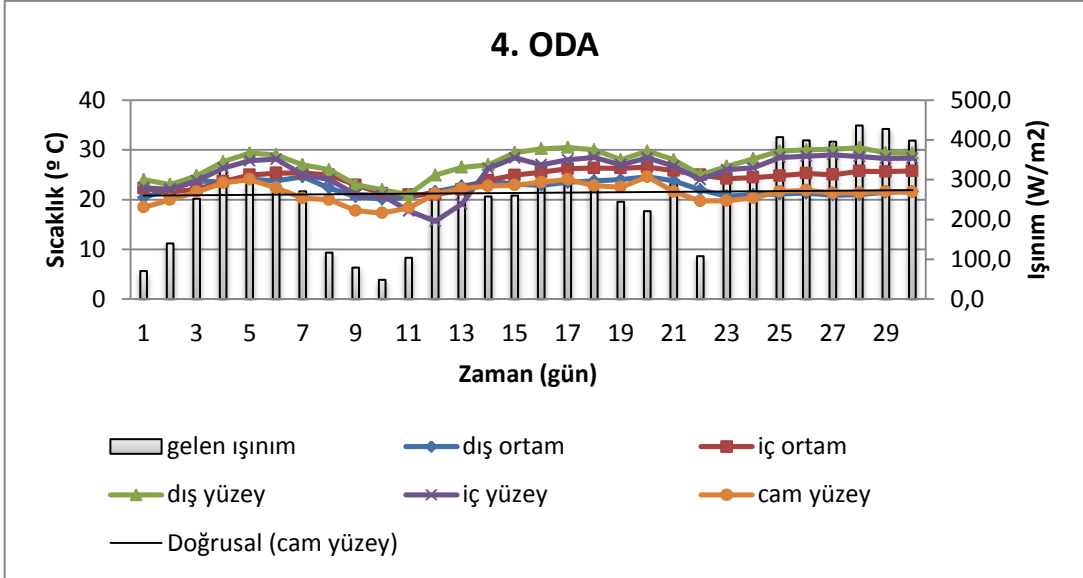
Ek 8. Ağustos Ayına Ait Ortalama Veriler



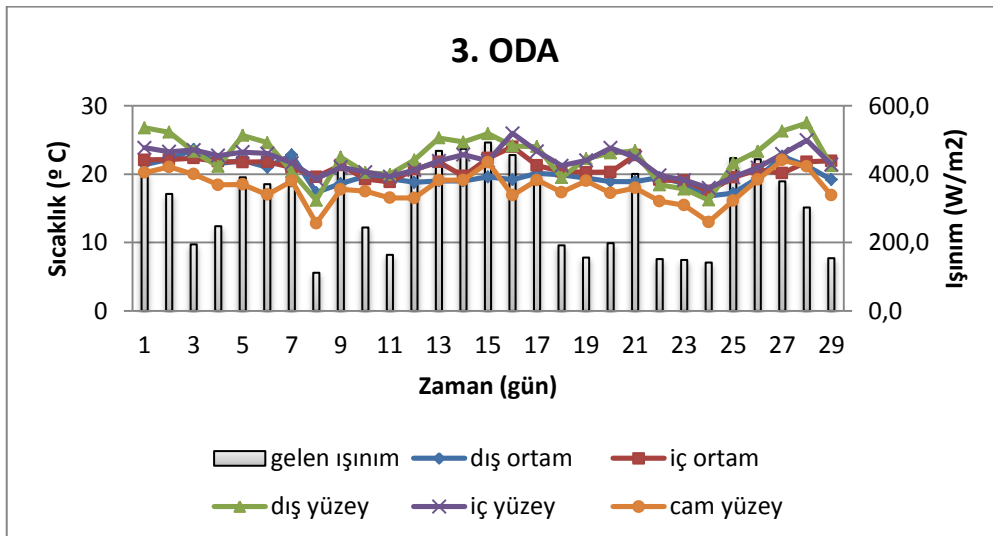
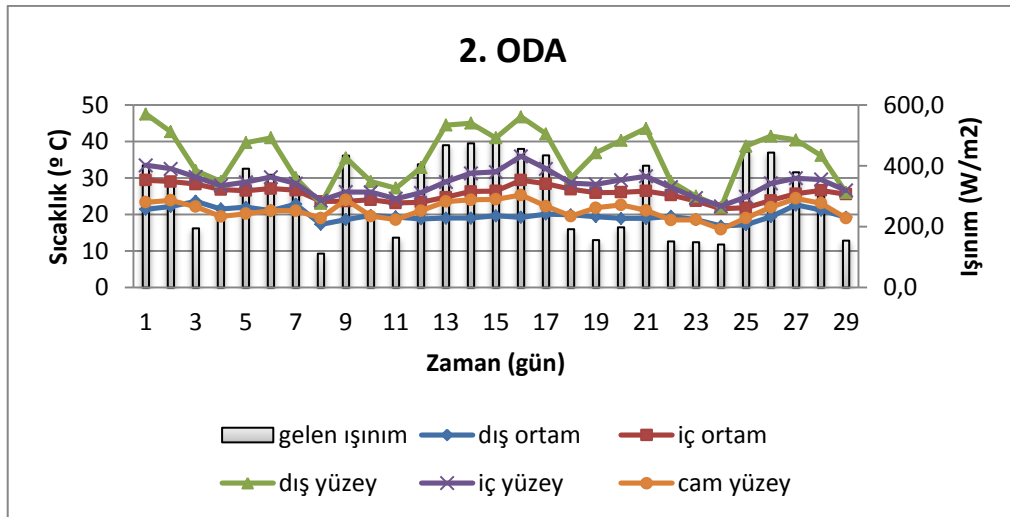
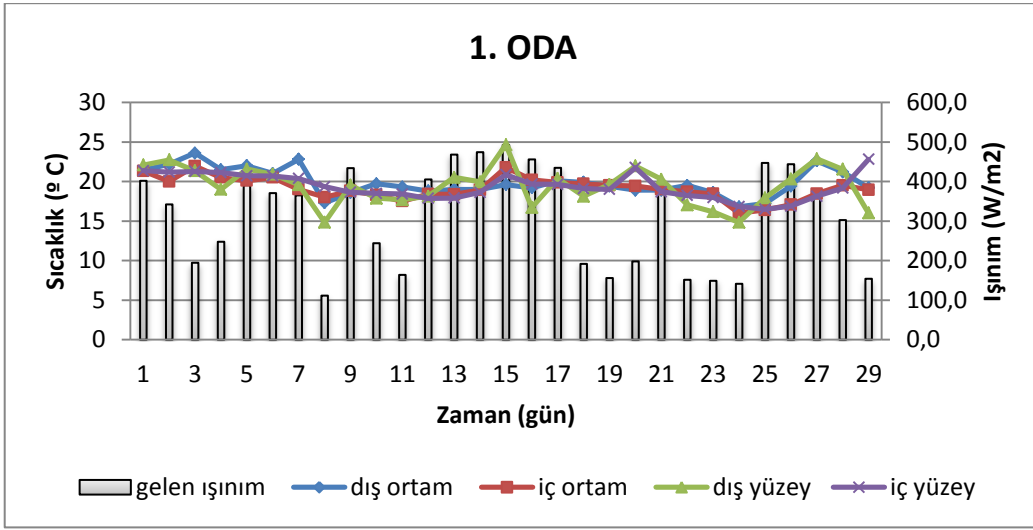


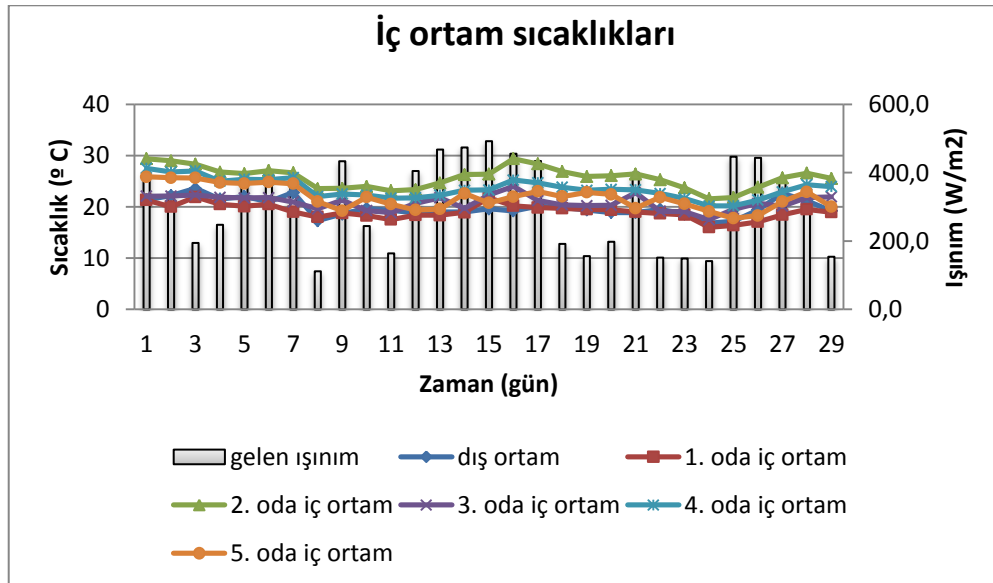
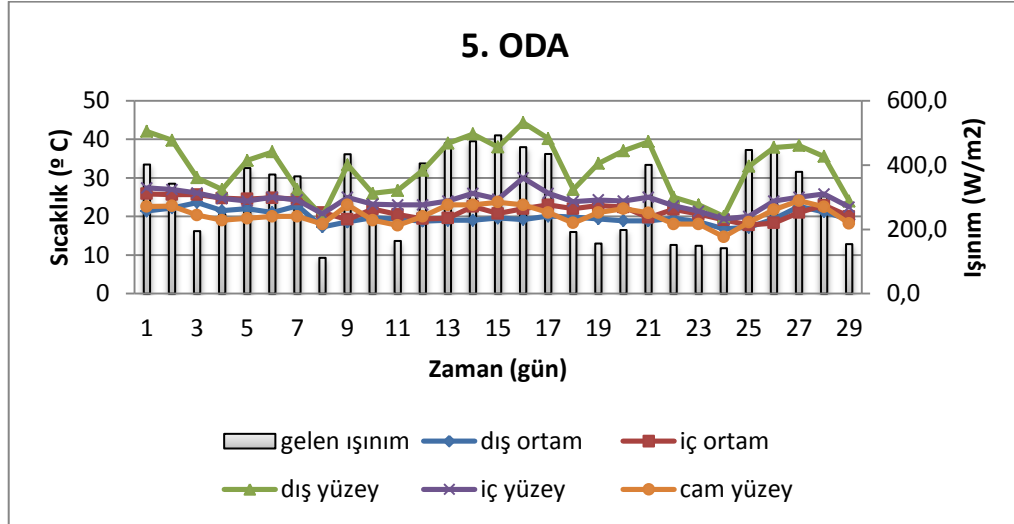
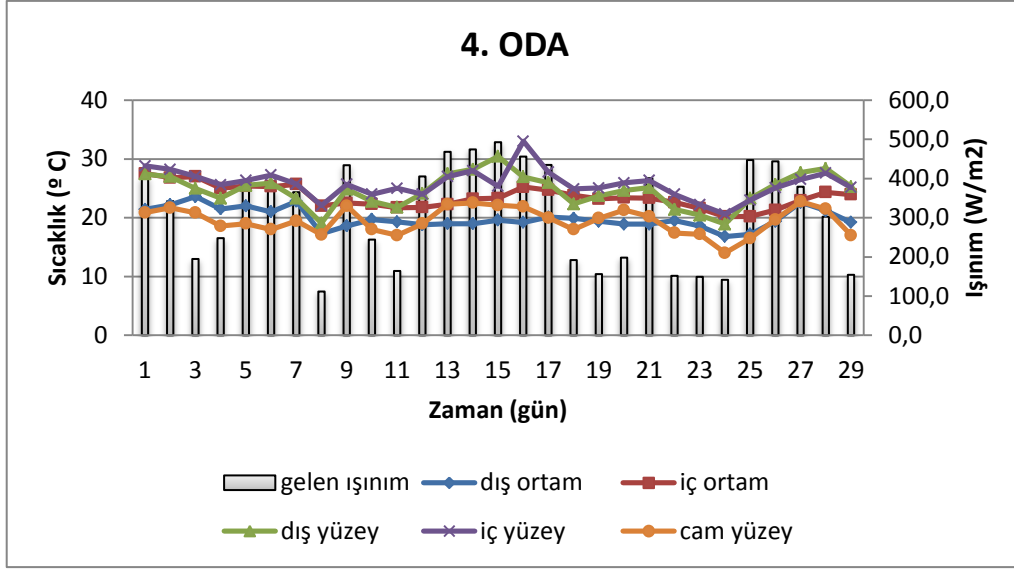
Ek 9. Eylül Ayına Ait Ortalama Veriler



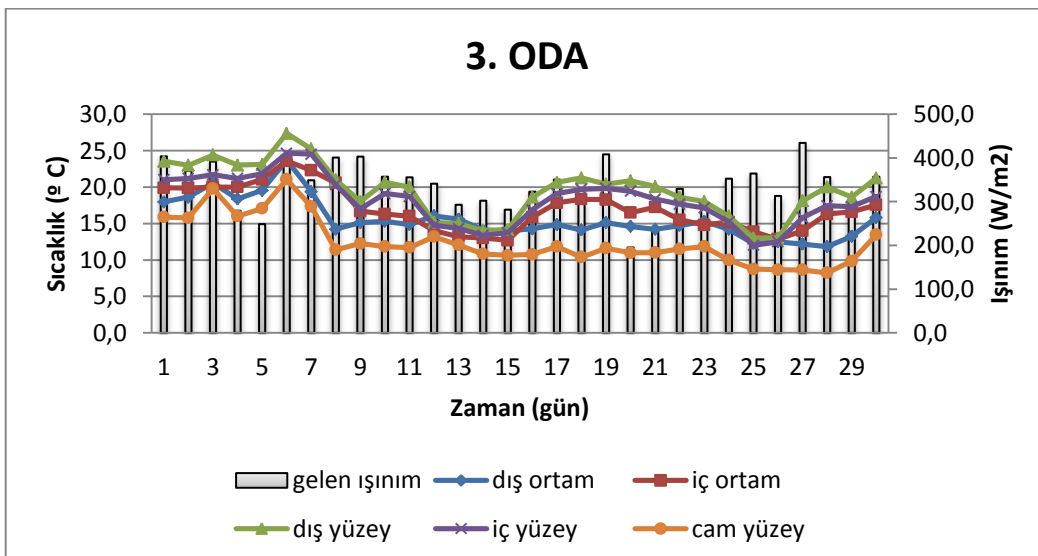
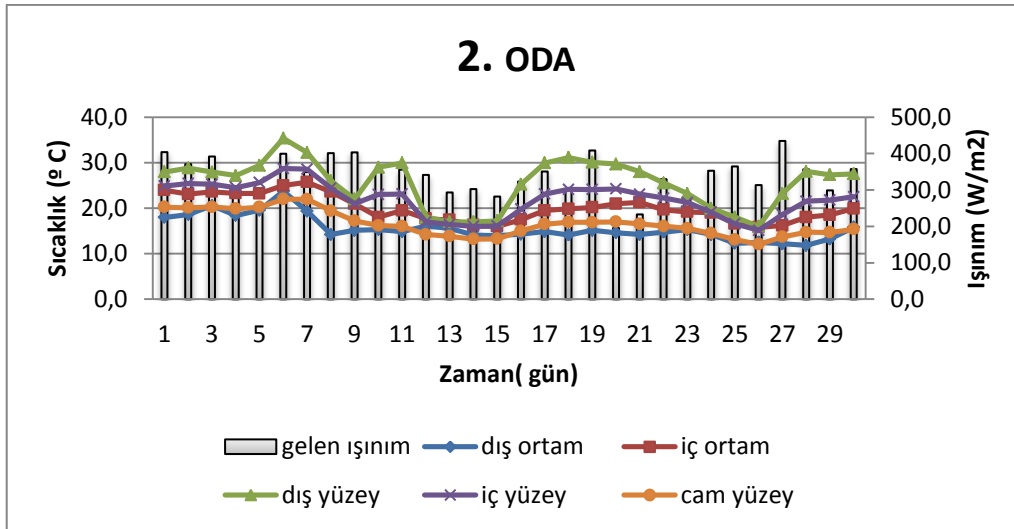
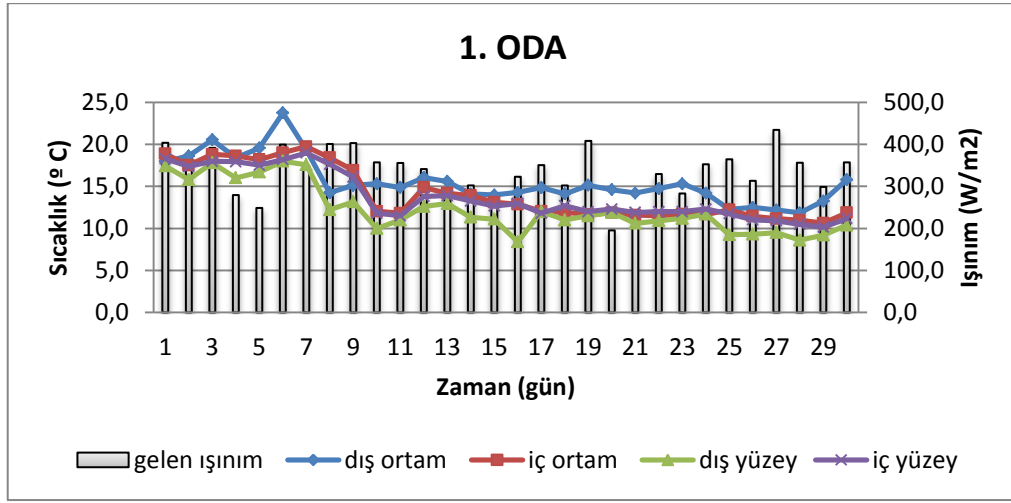


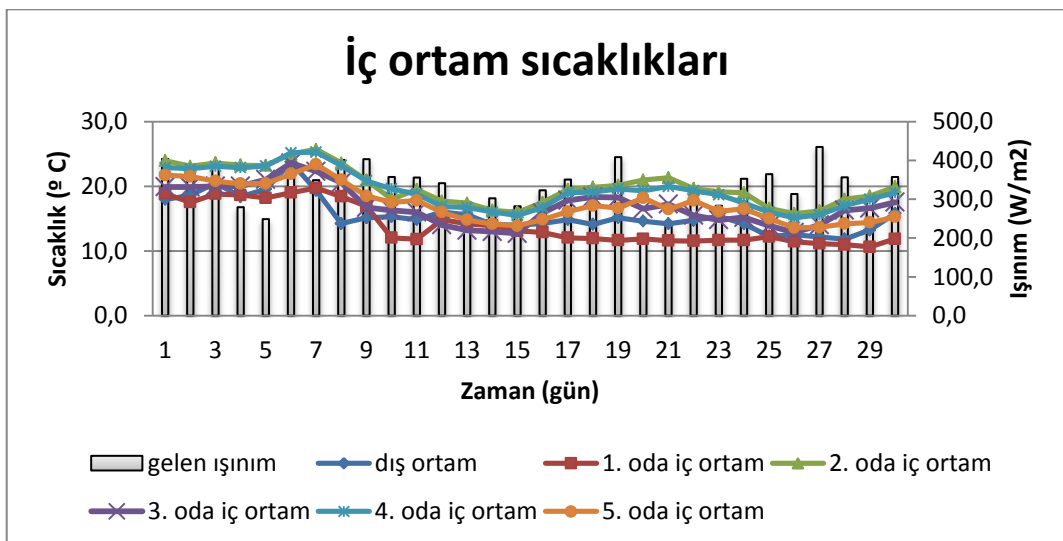
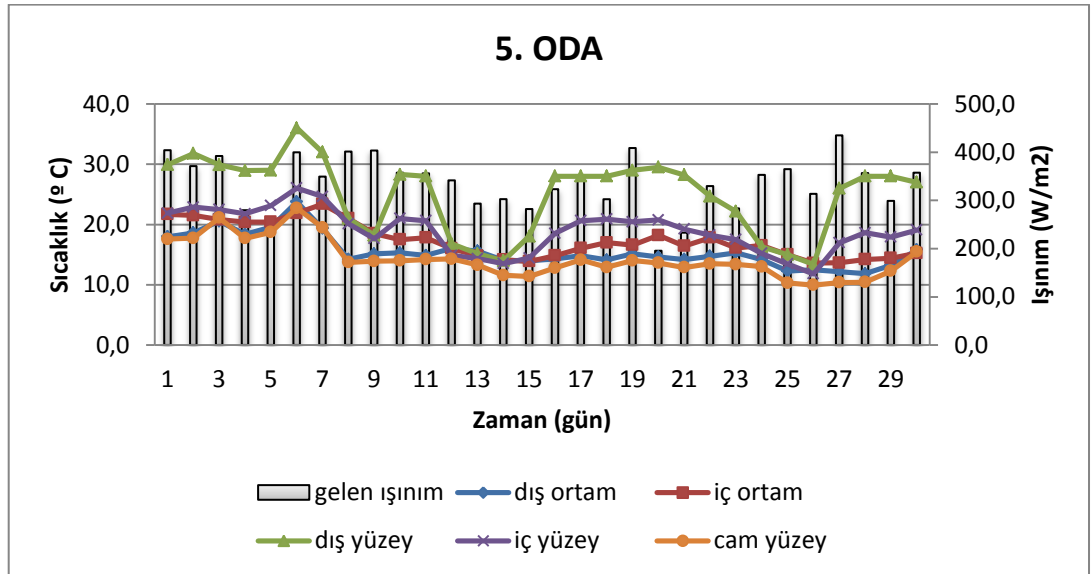
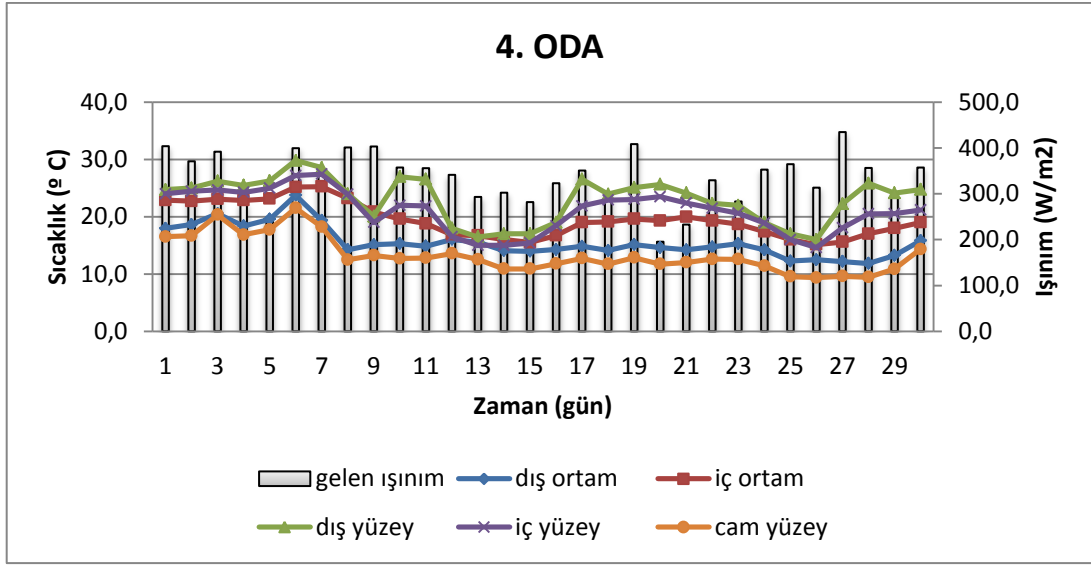
Ek 10. Ekim Ayına Ait Ortalama Veriler



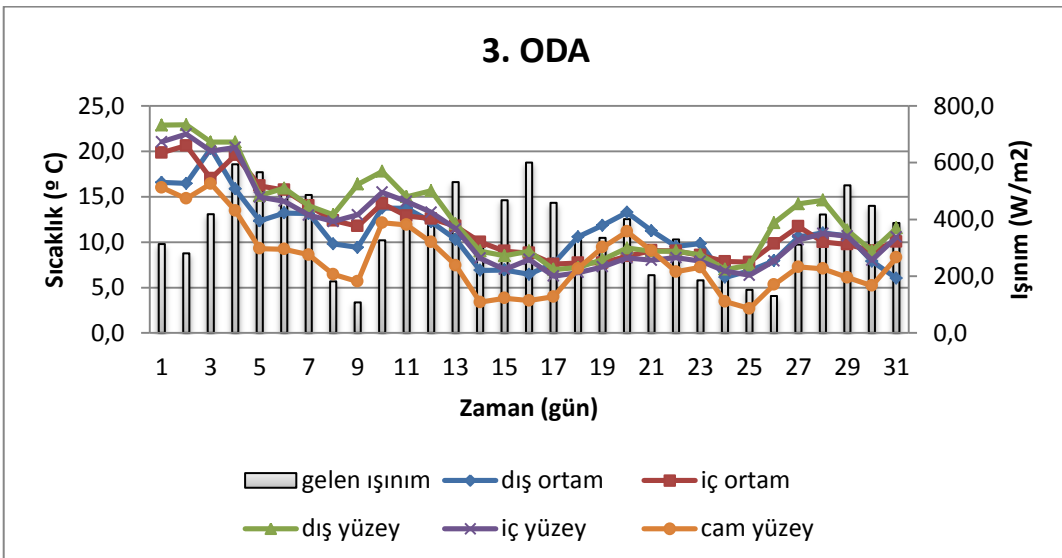
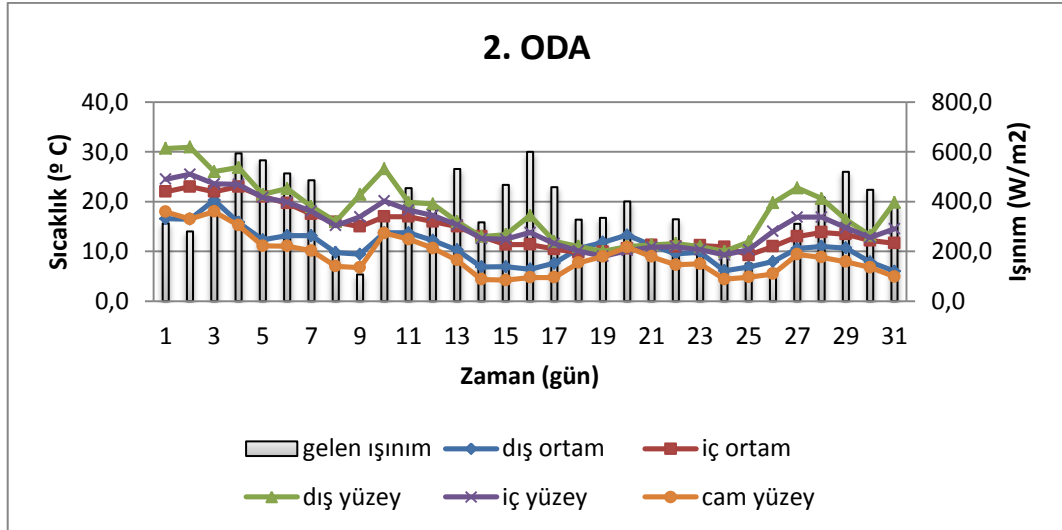
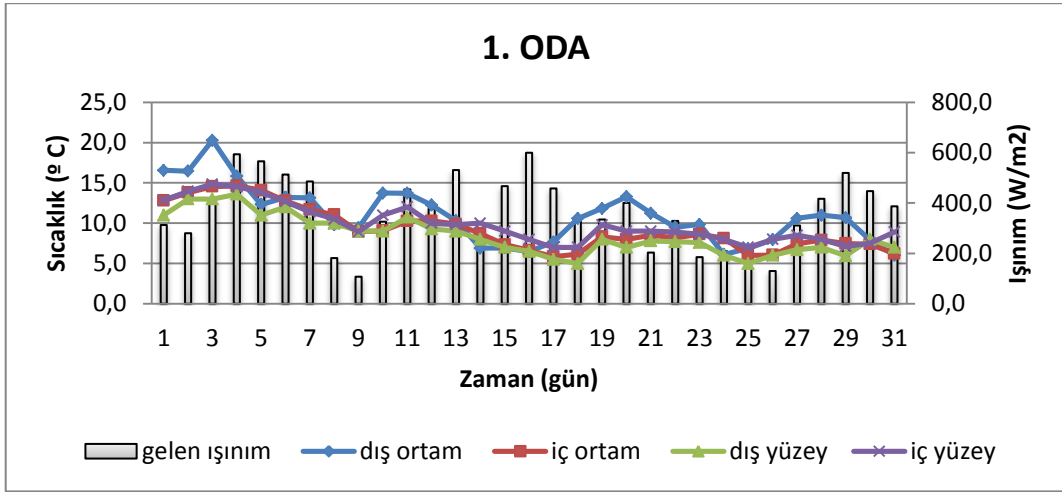


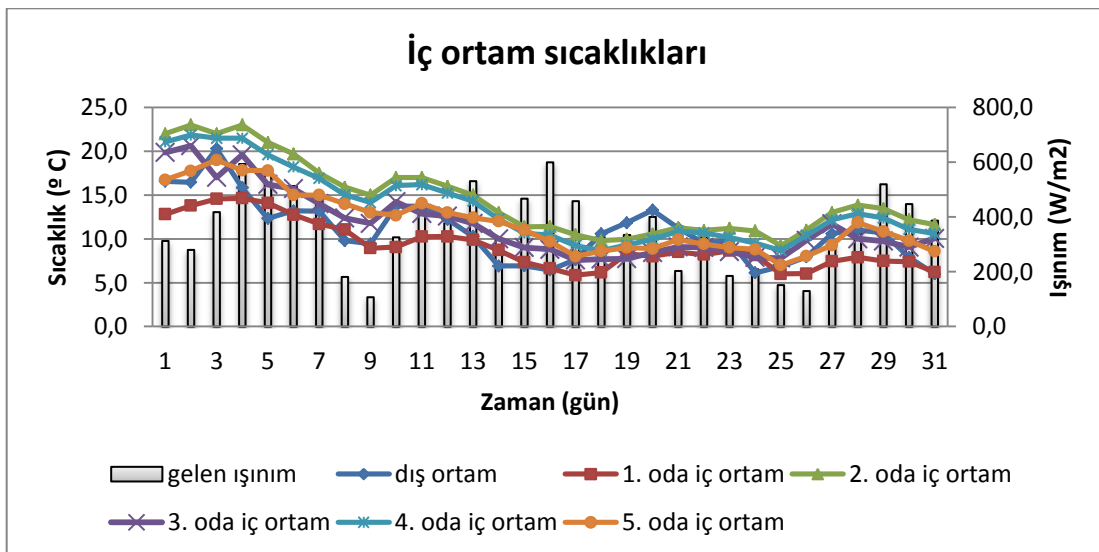
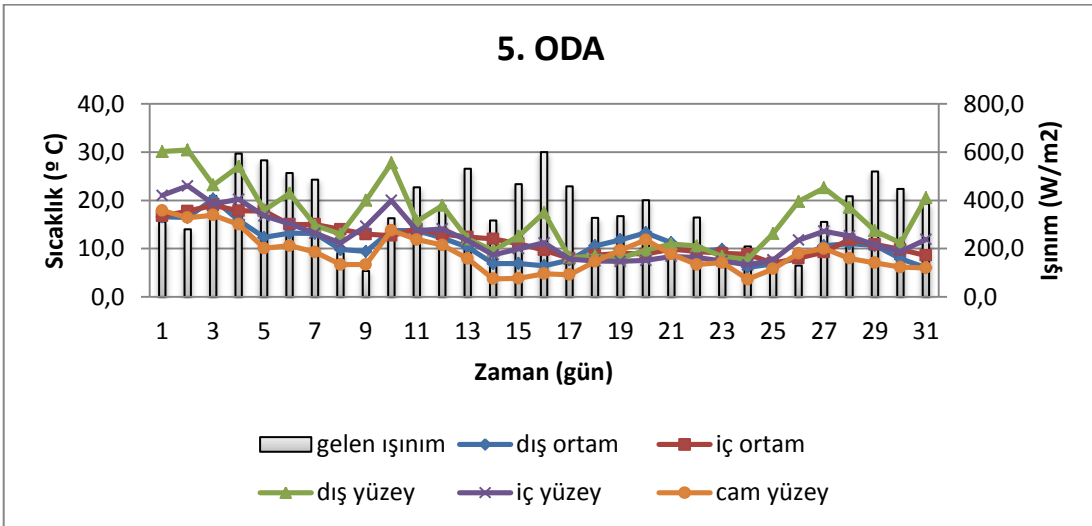
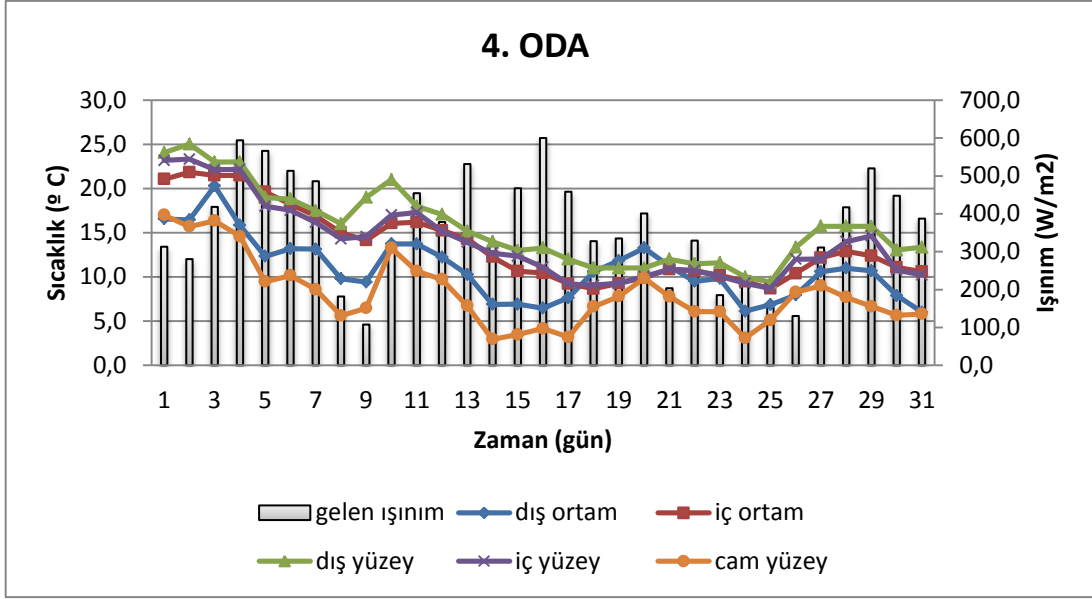
Ek 11. Kasım Ayına Ait Ortalama Veriler





Ek 12. Aralık Ayına Ait Ortalama Veriler





Ek 13. Güney Duvar Yüzeyindeki Kapakların Açık Olduğu Günlerdeki Sıcaklıklar (3. ve 4. Oda)

Ocak ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
2	9.6	13.3	8.3	13
3	9.2	12.6	7.8	12
4	9.5	12.8	8.4	12
11	8.1	14	6.6	10.5
12	9.3	15.6	7.4	11.3
13	9.4	15.7	7.6	11.9
15	11.7	17.6	9.5	12.8
20	12.3	18.2	10.3	16
21	11.5	17.5	9.5	15.4
22	12.5	19	11	16.7
23	12	18	10.8	16.3

Şubat ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
4	13.8	16.7	13.0	15.8
5	13.8	18.2	13.8	17.5
7	16.6	20.0	15.8	18.7
8	19.3	20.0	18.0	19.4
11	18.2	19.8	17.3	19.2
13	13.2	17.2	14.4	17.5
14	12.9	14.5	14.1	16.2

Mart ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
6	5.4	8.6	5.0	8
7	7.0	13.0	6.0	11.1
8	16.6	25.5	13.5	20
14	18.2	21.0	16.8	20.0
20	14.0	17.0	13.3	16
21	14.2	18.0	13.7	17.5
31	18.1	23.7	16.7	21.2

Nisan ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
1	11.0	15.3	11.3	17.1
3	10.0	16.1	8.1	14.2
4	16.2	23.9	15.9	21.9
5	21.1	27.9	19.0	25.6
6	21.5	29.8	20.7	27.4
7	16.6	24.4	15.0	20.7
13	20.3	28.7	18.2	24.7
14	18.3	22.1	18.5	21.0
16	18.3	22.1	18.5	21.0
18	20.0	26.2	19.5	24.6
20	21.4	26.5	20.0	24.4
23	19.2	24.6	19.0	23.6
24	20.2	24.7	18.8	23.8
25	21.2	25.1	19.8	24.4
26	21.4	27.2	19.5	25.1
27	20.3	27.1	20.0	24.9
28	21.2	28.7	20.3	26.3
29	22.4	28.1	21.0	26.2
30	22.8	29.4	21.5	27.2

Mayıs ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
1	21.8	27.7	20.0	25.8
2	20.3	26.7	19.0	25.3
4	20.3	24.2	19.1	23.3
11	20.9	24.3	19.2	23.0
14	21.0	24.5	19.4	23.0
16	24.3	29.5	22.8	26.7
18	25.4	30.1	23.4	27.6
22	23.1	27.0	21.4	25.3
23	22.4	26.1	20.3	24.1
24	23.4	27.9	21.5	25.7
29	21.4	24.0	20.1	23.2

Ekim ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
10	16.4	20.7	14.0	18.0
13	16.0	21.0	15.0	19.0
14	16.7	22.0	15.2	19.5
16	17.0	22.7	16.0	21.0
17	18.0	26.0	15.7	22.0
22	18.3	25.4	17.0	23.7
27	17.0	23.4	16.4	22.7
28	18.8	27.5	17.5	25.6

Kasım ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
2	19.2	22.4	18.3	21.8
5	21.0	25.0	20.7	23.4
6	25.7	32.0	24.0	29.3
16	17.0	20.2	15.3	18.9
17	17.0	19.3	15.0	18.9
18	16.0	20.0	15.0	18.1
19	22.0	31.0	20.3	27.4
21	20.0	25.0	18.7	23.5
27	17.0	23.4	16.0	21.1
28	18.8	27.5	16.7	23.6
29	16.5	20.0	15.5	18.5
30	17.0	20.7	16.7	20.2

Aralık ayında duvardaki kapaklardan gelen sıcaklıklar (°C)				
Günler	3. Oda		4. Oda	
	alt kapak	üst kapak	alt kapak	üst kapak
	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı	giriş sıcaklığı	çıkış sıcaklığı
1	21.1	26.7	19.4	24.0
2	22.0	26.0	20.2	24.0
4	19.0	23.0	17.5	21.5
6	16.0	19.0	14.0	17.4
10	15.8	19.4	14.3	18.1
25	10.0	13.5	8.0	10.6
26	12.0	20.7	10.0	16.0
27	15.0	20.5	11.6	17.2
31	12.0	22.0	10.8	17.0

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. Yüksek öğrenimini (2000-2004) Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde tamamladı. 2004 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalında başladığı yüksek lisans eğitimini, '*Ekolojik ve Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Enerji Etkin Çift Kabuklu Bina Cephe Tasarımlarının Günümüz Mimarisindeki Yeri ve Performansı Üzerine Analiz Çalışması*' başlıklı tezini teslim ederek 2007 yılında bitirdi. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalında doktora eğitimine başladı. 2005 yılından beri KTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Evli ve bir çocuk annesi olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.