



**SOĞUK İKLİMLERDE BİNA CAM CEPHELERİNİN
İÇ YÜZEYİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMA
KAPASİTESİNİ ARTIRAN PCM DOLGULU GÜNEŞ
KONTROL ELEMANLARININ TERMAL
PERFORMANS ANALİZİ**

Orhan ERSAN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK**

2024

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOĞUK İKLİMLERDE BİNA CAM CEPHELERİNİN İÇ YÜZEYİNDE GÜNEŞ
ENERJİSİ DEPOLAMA KAPASİTESİNİ ARTIRAN PCM DOLGULU GÜNEŞ
KONTROL ELEMANLARININ TERMAL PERFORMANS ANALİZİ**

Orhan ERSAN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Erzurum

2024

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tez, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır. Tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve eksiksiz olduğunu, bilgilerin üretilmesi sürecinde bilimsel etiğe uygun davrandığımı ve kullandığım kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

25 / 10 / 2024

İmzası

Orhan ERSAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOĞUK İKLİMLERDE BİNALARDA GÜNEŞ ENERJİSİ DEPOLAMA KAPASİTESİNİ ARTIRAN PCM DOLGULU GÜNEŞ KONTROL ELEMANININ TERMAL PERFORMANS ANALİZİ

Orhan ERSAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK

Toplumlar sosyal ve ekonomik gelişmelerini sağlamak ve sürdürmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak enerji talebi de sürekli artmaktadır. Bu nedenle enerjinin korunması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmıştır. Enerji kullanımında sektörel olarak büyük bir paya sahip olan binalar, enerji verimliliği ile ilgili alınması gereken önlemlerde de yine önemli potansiyele sahiptir. Enerji verimli bina tasarımında dış kabuk ve cephe sistemi önemli rol oynamaktadır. Çalışmada; deney kabini, ikili ve üçlü camlar, faz değiştiren malzeme (PCM), güneş kontrol elemanları (GKE), yapay ışık kaynağı, sıcaklık ve ışık ölçüm elemanlarından oluşan bir sistem kullanılmıştır. Çalışmada toplam 14 adet deney yapılmıştır. Bu çalışma ile binaların enerji verimliliğini artırmak için iki ve üç camlı cephe sistemlerinde PCM dolgulu GKE'nin bina içerisinde kullanılması ile yenilikçi çözümlerin; termal özelliklerinin, enerji depolamasının ve verimlilik potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, sistemde GKE'nin olmadığı duruma göre üçlü cam, PCM dolgulu ve yatayda 60° konumlandığı durumlarda termal enerji depolama ve ısı transferi performansında artış olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar; C14 durumunun soğutma periyotunda kabin iç ortam sıcaklıklarının başlangıç sıcaklıklarına 2 °C'e yaklaşma süresi bakımından C8 durumuna göre %35 oranında daha uzun olduğunu göstermiştir.

2024, 57 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bina enerji verimliliği, Cam cephe kaplamalar, Güneş kontrol elemanları, Faz değiştiren malzemeler

ABSTRACT

MS. Thesis

THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS OF PCM FILLED SOLAR CONTROL ELEMENT INCREASING SOLAR ENERGY STORAGE CAPACITY IN BUILDINGS IN COLD CLIMATES

Orhan ERSAN

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist Prof. Dr. Ali ÇELİK

Societies need energy to provide and sustain their social and economic development. Energy demand is also constantly increasing due to these developments. Therefore, energy conservation and the use of renewable energy sources have come to the forefront. Buildings, which have a large share in energy use in terms of sector, also have significant potential in the measures to be taken regarding energy efficiency. The outer shell and facade system play an important role in the design of energy efficient buildings. In the study; a system consisting of a test cabin, double and triple glazing, phase change material (PCM), solar control elements (GCE), artificial light source, temperature and light measurement elements was used. A total of 14 experiments were conducted in the study. This study aims to determine the thermal properties, energy storage and efficiency potentials of innovative solutions by using PCM filled GCE in double and triple glazing facade systems in order to increase the energy efficiency of buildings. The results of this study showed that there was an increase in thermal energy storage and heat transfer performance in the cases where triple glazing, PCM filling and horizontal positioning of 60° were used compared to the case where there was no GKE in the system. The results showed that the cooling period of the cabin interior temperatures in the C14 case was 35% longer than the C8 case in terms of the time it took to approach the initial temperatures to 2 °C.

2024, 57 pages

Keywords: Building thermal efficiency, Solar heat gain, Solar control element, Phase change material (PCM), Thermal energy storage.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yol gösteren, destek olan ve emek veren tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇELİK' e minnettarım ve her zaman onun öğrencisi olmaktan gurur duyuyorum.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle beni aydınlatan, akademik yolculuğumda ilerlememde bana ilham veren Erzurum Teknik Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim ilk annem ve babama, ardından bütün aileme teşekkürlerimi sunarım.

Orhan ERSAN
Ekim 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli	4
1.2. Binalarda Kullanılan Güneş Kontrol Elemanları	6
1.3. Cam Cephe İç Yüzeyinde PCM Dolgulu GKE Bulunan Sistemler İçin Isı Transfer Mekanizmaları Analizi.....	7
1.4. Güneş Kontrol Elemanlarının Sınıflandırılması	9
1.4.1. İç cephede kullanılan güneş kontrol elemanları.....	9
1.4.2. Dış cephede kullanılan güneş kontrol elemanları	9
1.4.3. Güneş kontrol elemanlarının malzemelerine göre sınıflandırılması	13
1.5. GKE'nin Güneş Kontrol Performansı.....	13
1.6. Güneş Kontrolünde Kullanılan Camlar.....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Deney sisteminin tanıtımı	24
3.1.2. Faz değiştiren malzeme (PCM) 'nin özellikleri	28
3.2 Yöntem.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
4.1. Baz Durum Sıcaklık ve Işık Analizleri	33
4.2. İkili Low-E Cam Durumu Sıcaklık ve Işık Analizleri	35
4.2.1. Güneş kontrol elemanları içi boş ve yatayda 30 ⁰ ,45 ⁰ ,60 ⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık ve ışık analizleri	35

4.2.2.PCM dolgulu GKE'nın yatayda 30 ⁰ , 45 ⁰ , 60 ⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık analizleri	37
4.3. Üçlü Low-E Cam Durumu Sıcaklık ve Işık Analizleri	39
4.3.1. Güneş kontrol elemanları içi boş ve yatayda 30 ⁰ ,45 ⁰ ,60 ⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık ve ışık analizleri	39
4.3.2.PCM dolgulu GKE'nın yatayda 30 ⁰ ,45 ⁰ ,60 ⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık analizleri	42
4.4. Sıcaklık Analizlerinin Karşılaştırılması	44
4.4.1.C1 durumu ile C2 / C5, C3 / C6 ve C4 / C7 durumlarında kabin içi sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	44
4.4.2.C8 durumu ile C9 / C12, C10 / C13 ve C11 / C14 durumlarında kabin içi sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	46
4.4.3.C5/C12, C6/C13 ve C7/C14 durumlarında kabin iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A_{GK}	Güneş kontrol elamanı yüzey alanı (m ²)
A_{PCM}	PCM'nin iletim alanını (m ²)
$h_{dış}$	Dış ortam konveksiyon katsayısı (W/m ² K)
$h_{iç}$	İç ortam konveksiyon katsayısı (W/m ² K)
k_{GK}	GKE malzemesi ısı iletkenliği (W/mK)
k_{PCM}	PCM ısı iletkenliği (W/mK)
L	PCM gizli ısı (J/kg)
ρ_{PCM}	PCM yoğunluğu (W/mK)
$T_{hava,dış}$	Dış ortam sıcaklığı (°C)
$T_{hava,iç}$	İç ortam sıcaklığı (°C)
$T_{yüzey,dış}$	Dış cam yüzeyi sıcaklığı (°C)
$T_{yüzey,iç}$	İç cam yüzeyi sıcaklığı (°C)

Kısaltmalar

Açıklama

GKE	Güneş kontrol elamanı
PCM	Faz Değiştiren Malzemeler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye güneş enerji potansiyel atlası	5
Şekil 1.2. Erzurum için yıllık güneş radyasyon değerleri	6
Şekil 1.3. Bina dış kabuğunda güneş ışınlarının ısı transfer bileşenleri	7
Şekil 1.4. Binalarda kullanılan dış GKE'ları örnekleri.....	10
Şekil 1.5. Sabit GKE' ları görüntüsü	11
Şekil 1.6. Hareketli yatay GKE'ları görüntüleri	11
Şekil 1.7. Hareketli düşey GKE'ları görüntüleri	11
Şekil 1.8. Yatay tek ve çok panel GKE'ları görüntüsü.....	12
Şekil 1.9. Düşey GKE'ları görüntüsü	12
Şekil 1.10. Güneş kontrolü performans bileşenleri.....	13
Şekil 3.1. a) Deney sistemi genel görüntüsü, b) Deney kabini fotoğrafı, c) GKE'larının fotoğrafı.	25
Şekil 3.2. Deney kabini AutoCAD çizimleri a) Perspektif görünüm b) Kesit görünüş ..	26
Şekil 3.3. a) İkili cam sistemi katmanları, b) Üçlü cam sistemi katmanları	27
Şekil 3.4. PCM parçacıklarının fotoğrafı (a) ve optik mikroskopik görüntüsü (b).....	29
Şekil 3.5. Deney sistemi akış diyagramı	32
Şekil 4.1.C1 ve C8 için kabin tavan sıcaklıkları	33
Şekil 4.2. C1ve C8 için kabin yan yüzey sıcaklıkları değişimi	34
Şekil 4.3. (a,b,c). C2, C3 ve C4 durumlarında deney kabini için bazı noktaların sıcaklık değişimleri.	35
Şekil 4.4. (a,b,c). C5, C6 ve C7 durumları için deney kabininde bazı noktaların sıcaklık değişimleri.	38
Şekil 4.5. (a,b,c). C9, C10 ve C11 durumlarında deney kabininin bazı noktaları için sıcaklık değişimi.	40
Şekil 4.6. (a,b,c). Üçlü cam, PCM dolgulu GKE'larının yatayda 30 ⁰ ,45 ⁰ ,60 ⁰ konumlandırılması durumunda deney kabini bazı nokta sıcaklıklarının değişimi.	43
Şekil 4.7. (a,b,c). C1 durumu ile C2 / C5, C3 / C6 ve C4 / C7 durumlarında deney kabini iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.	45
Şekil 4.8. (a,b,c). Deney kabini iç ortam sıcaklığı için C8 durumu ile C9 / C12, C10 / C13 ve C11 / C14 durumlarının karşılaştırılması.	47

Şekil 4.9. (a,b,c). C5/C12, C6/C13 ve C7/C14 durumları için deney kabini iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	49
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Bölgesel yıllık güneş enerjisi miktarı ve güneşlenme süreleri (Anonim 2023)	5
Çizelge 3.1. Deney ekipmanlarının özellikleri ve doğruluğu	28
Çizelge 3.2. PCM'in Özellikleri	29
Çizelge 3.3. Deney planları.....	31
Çizelge 4.1.C1 ve C8 durumlarında kabin içi ışık değerleri.....	34
Çizelge 4.2. C2, C3 ve C4 durumlarında kabin içi ışık değerleri.	37
Çizelge 4.3. C9, C10 ve C11 durumlarında kabin içi ışık değerleri	41
Çizelge 4.4. Soğutma periyotunda kabin iç ortam sıcaklıklarının başlangıç sıcaklıklarına 2 °C'e yaklaşma zamanları.....	50

1. GİRİŞ

Enerji verimliliği, günümüzde sürdürülebilir kalkınmanın ve çevresel korumanın temel unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Enerji talebinin sürekli artması, fosil yakıtların sınırlı olması ve çevresel etkileri, alternatif enerji kaynaklarının kullanımını ve enerji verimliliğini artırmayı zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, binalarda enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir.

Soğuk iklim bölgelerinde, binaların ısıtma ihtiyaçları önemli ölçüde enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu nedenle, bu bölgelerde enerji verimliliğini artırmak için yenilikçi çözümler gerekmektedir. Güneş enerjisi, bu ihtiyacı karşılamak için potansiyel bir çözüm sunar. Ancak, güneş enerjisinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için uygun depolama ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu noktada, Faz Değiştiren Malzemeler (Phase Change Materials - PCM) önemli bir rol oynamaktadır.

PCM'ler, ısı enerjisini depolayabilen ve serbest bırakabilen malzemelerdir. Bu özellikleri sayesinde, binalarda güneş enerjisini depolamak ve ihtiyaç duyulduğunda kullanmak için ideal bir çözümdür. PCM dolgulu GKE'ları, bu malzemelerin avantajlarını kullanarak, binaların termal performansını artırmakta ve soğuk iklimlerde enerji verimliliğini sağlamaktadır.

Bu tezin amacı, soğuk iklimlerde bulunan binalarda güneş enerjisi depolama kapasitesini artıran PCM dolgulu GKE'larının termal performansını analiz etmektir. Bu analiz kapsamında, PCM'lerin termal özellikleri, GKE'larının tasarımı ve entegrasyonu, enerji tasarrufu potansiyeli ve genel bina performansı değerlendirilecektir. Tez, bu tür yenilikçi çözümlerin soğuk iklim bölgelerinde enerji verimliliğini nasıl artırabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, bina tasarımcıları, mühendisler ve enerji yöneticileri için önemli bilgiler sağlayacak ve enerji verimliliği konusundaki gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturacaktır.

Dünya genelinde enerji tüketimi ve enerjiye olan talep her geçen gün artış göstermektedir. Günümüzde enerji verimliliği sağlamak ve alternatif enerji kaynakları geliştirmek için çeşitli arayışlar devam etmektedir. Bu çerçevede, enerji tüketiminin kontrol altına alınması ve çevresel zararların en aza indirilmesi hedefiyle birçok çalışma yapılmaktadır (Aydın 2019). Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında hızla artan nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan yapılaşma ve endüstriyel gelişmeler, doğal dengelerin göz ardı edildiği bir sistemin ortaya çıkmasına neden olmuştur. 1960'lı yılların sonuna gelindiğinde, bu kontrolsüz büyümenin ekolojik dengeyi bozmaya başladığı görülmüştür.

Dünya genelindeki enerji tüketiminin yaklaşık %30-40'si binalardan kaynaklanmaktadır (Ahamer 2024; Hawken vd 1999; Dixon 2010). Binaların inşaat teknolojileri ve kullanıcı alışkanlıkları, bu süreçte enerji israfına ve çevreye verilen zararın artmasına yol açmaktadır (Anbarcı vd 2012). Binaların önemli bir rol oynadığı aşırı üretim ve tüketim ortamı, birçok çevresel sorunu beraberinde getirmiştir. Bu sorunları önlemek amacıyla yapılan çalışmalar, "sürdürülebilir kalkınma" gibi yeni kavramların ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Kalkınma, bir önceki durumdan farklılaşma veya ondan uzaklaşma hareketini ifade eden dinamik bir kavramdır (Oakley and Garforth, 1985). Torunoğlu (2004), kalkınmayı klasik kapitalist düzenin sınırsız üretim ve tüketim döngüsüne dayandırmakta ve insanı bu süreçte bir dişli olarak görmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı ise, kökeni "koruma" anlamına gelmekte olup, Muscoe (1995)'e göre toplum tarafından tam olarak anlaşılmamaktadır. "Sürdürülebilirlik" ve "kalkınma" kavramları bir araya gelerek "sürdürülebilir kalkınma" kavramını oluşturur.

Sürdürülebilir kalkınma kavramının birçok farklı tanımı olmasına rağmen, 1987'de yayınlanan Brundtland Raporu'na göre, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz ardı etmeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilmek sürdürülebilir kalkınmayı ifade etmektedir (WCED raporu 1987; Tıraş 2012). Bir diğer tanım ise, "Çevre değerlerinin ve doğal kaynakların israfa yol açmayacak şekilde akılcı yöntemlerle, bugünkü ve gelecek kuşakların hak ve yararları gözetilerek kullanılması ilkesinden taviz vermeden, ekonomik gelişmenin sağlanması" şeklinde ifade edilmiştir (Keleş ve Hamamcı 1998; Tıraş 2012).

Ruckelshaus (1989) ise sürdürülebilirliği, ekoloji içinde kalkınma ve ekonomik büyümenin karşılıklı etkileşim sağlayarak oluşturduğu bir kavram olarak tanımlamaktadır.

Son yıllarda, modern mimarlık ve malzeme teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, bina cephelerinde geniş saydam yüzeylerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak, pencereler gibi saydam yüzeyler, diğer yapı kabuğu bileşenlerine kıyasla daha düşük ısı dirençleri nedeniyle bina enerji yükleri üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Cam ve doğrama türüne ek olarak, pencere yönlenmesi, konumu ve biçimi de binanın enerji gereksinimlerini etkileyebilir. Bu sebeple, bina cephelerinde saydam yüzeylerin doğru boyutlandırılması ve düzenlenmesi son derece önemlidir.

Mangkuto ve arkadaşları (2016), tropik bölgelerde bulunan binalar için en uygun pencere/duvar oranını %30, duvar yansımısını 0.8 ve pencere yönlenmesini güney olarak belirlemişlerdir. Monteiro ve arkadaşları (2021) ise, Portekiz'in Coimbra şehrindeki bir müstakil evin yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında, pencerelerin farklı boyut ve konumlarının etkilerini parametrik olarak incelemişlerdir.

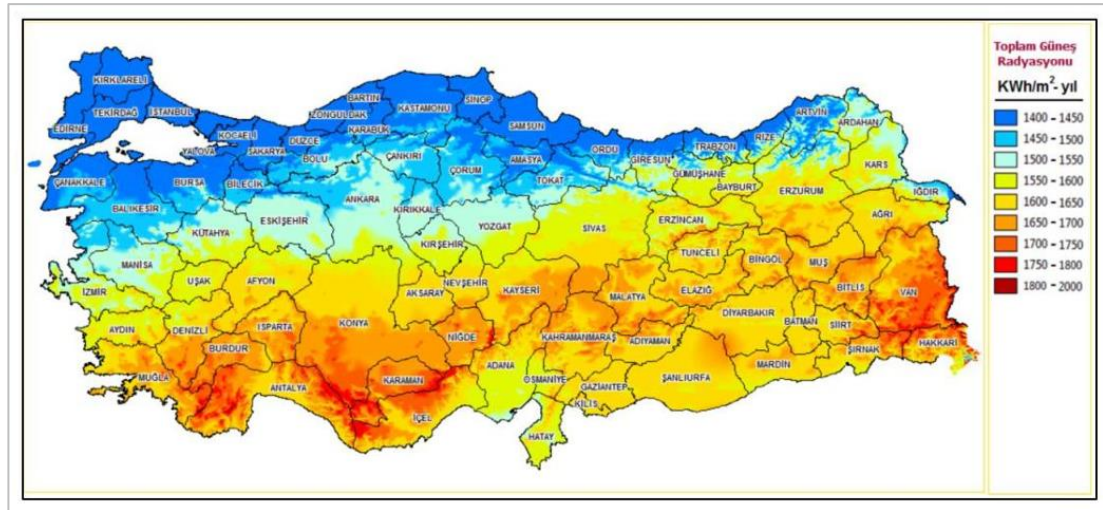
Bina cephelerinde farklı yönlerde ve çeşitli malzemelerle tasarlanan güneş kırıcılar, doğal gölgeleme elemanları (ağaçlar ve bina unsurları) ve iç mekan gölgeleme elemanları (perdeler ve jaluziler) gibi güneş enerjisinden elde edilen kazançların kontrollü bir şekilde yönetilmesinde önemli bir rol oynar (Ossen vd 2005). Bu sabit ve hareketli güneş kırıcılar, doğru bir şekilde tasarlandıklarında binanın enerji dengesine olumlu katkılar sağlar ve pencerelerden gelen güneş kazançlarını etkin bir biçimde düzenleyebilirler. Sabit güneş kırıcılar, genellikle binalara giren güneş ışığını sınırlayarak soğutma yüklerini azaltmak için kullanılırken, hareketli güneş kırıcılar yazın soğutma yüklerini artıran güneş ışığını engelleyebilir ve kışın ise güneş kazançlarını artırarak ısıtma maliyetlerini düşürebilir (Feng vd 2021). Bu bağlamda, istenmeyen güneş kazançları ve kamaşmaları engellerken, kışın gereken güneş kazançlarını sağlamak için güneş kırıcıların bina cephelerinde doğru yerleşim ve boyutlandırma ile tasarlanması büyük önem taşır. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Ossen ve arkadaşları (2005), yüksek katlı bir ofis binasında kullanılan altı farklı yatay gölgeleme elemanının performansını değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme, gelen güneş ışınımı,

iç mekâna iletilen güneş ısı kazancı, doğal ışık etkisi ve enerji tüketimi açısından yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, güneş kırıcı tasarımında toplam ısı kazancı ile gün ışığı arasındaki dengenin göz önünde bulundurulması gerektiğini önermektedir. Aynı çalışmada, ızgara gölgeleme elemanlarına sahip bir pencere için optimum ızgara aralığının nasıl belirlenebileceğini de araştırmışlardır. Bu optimizasyon sayesinde, ABD ve Çin'deki binalarda bina yüklerinin sırasıyla %37,8 ve %24,8 oranlarında azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, geliştirdikleri sabit güneş kırıcı ile mevcut ve yaygın olan çözümlerle karşılaştırıldığında, farklı yerleşim bölgelerinde yıllık enerji tüketimini sırasıyla %6,34 ve %3,51 oranında azaltılabileceğini de ifade etmişlerdir. Almeida Rocha ve arkadaşları (2020), binalarda doğal aydınlatmadan en iyi şekilde yararlanmak ve ısıtma-soğutma için kullanılan enerji ihtiyaçlarını azaltmak amacıyla, dış gölgeleme elemanlarının kullanımı için çok kriterli bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem, bu iki hedef arasında etkili bir denge kurmayı amaçlamaktadır.

1.1. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

Binaların termal performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, ısınım, taşınım ve iletim yollarıyla binaların termal performans döngüsüne katkı sağlar. Bu nedenle, bina yapı kabuğunu oluşturan bileşenlerin termal performans üzerindeki etkisi büyük önem taşır.

Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olup günlük ortalaması da 7,5 saattir. Türkiye'ye gelen güneş ışınımının yıllık toplam değeri 1.527,46 kWh/m²yıl ve günlük ortalaması da 4,18 kWh/m²gün'dür (Anonim 2023). Şekil 1.1'de Türkiye güneş enerji potansiyel atlası (GEPA) verilmektedir (Anonim 2023a).

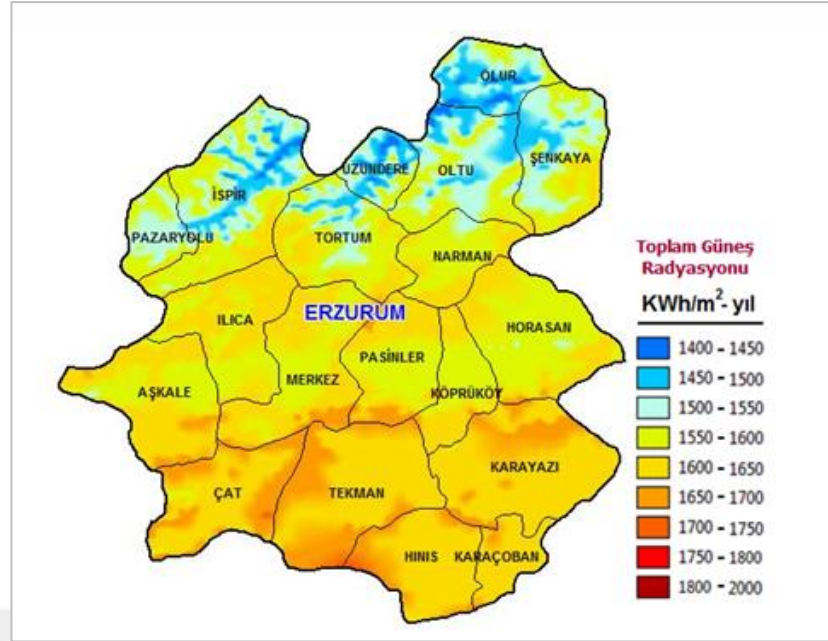


Türkiye’de Doğu Anadolu Bölgesi, en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip üçüncü bölgedir. Bölgelerin yıllık güneş enerjisi miktarları ile güneşlenme süresi değerleri Çizelge 1.1’de gösterilmektedir (Anonim 2023b).

Çizelge 1.1. Bölgesel yıllık güneş enerjisi miktarı ve güneşlenme süreleri (Anonim 2023)

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kW/m ² yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519
Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

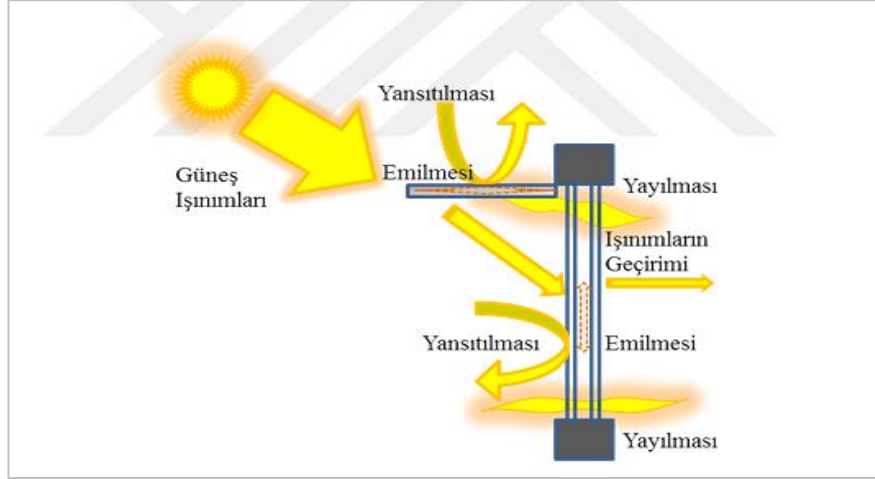
Bu çalışmada deneylerin yapıldığı Erzurum ili için yıllık güneş radyasyon değerleri Şekil 1.2’de verilmektedir (Anonim 2023b).



Şekil 1.2. Erzurum için yıllık güneş radyasyon değerleri

1.2. Binalarda Kullanılan Güneş Kontrol Elemanları

GKE; enerji etkin binalarda dış kabukta kullanılan, güneş ışınlamalarının ve ısının kontrollü bir şekilde iç mekâna alınmasını ya da engellenmesini sağlayan yapı elemanlarıdır. GKE, binaya ulaşan ısı ve ışık miktarını kontrol ederken, farklı alanlarda enerji kazanımını da sağlamaktadır. Bu yapı bileşenleri ile hem pasif soğutma hem de güneş enerjisi depolama yapılabilir. GKE'ları ile ışık kontrolü yapılarak aydınlatma enerjisi ihtiyacı da azaltılabilmektedir. Ayrıca bu yapı bileşenleri binaların görsel kimliğini de etkilemektedir. GKE'larının formu, rengi, malzemesi ve binaya monte edilme biçimi, güneş ışınlamalarının iç mekâna geçirimsizliğini de etkilemektedir. Şekil 1.3'te bina dış kabuğunda güneş ışınlarının ısı transfer bileşenleri verilmektedir (Özyer 2017).



Şekil 1.3. Bina dış kabuğunda güneş ışınlarının ısı transfer bileşenleri

1.3. Cam Cephe İç Yüzeyinde PCM Dolgulu GKE Bulunan Sistemler İçin Isı Transfer Mekanizmaları Analizi

Cam yüzeydeki ısı transferi üç boyutlu uzayda gerçekleşmektedir. Ancak cam yüzeylerin, kalınlığına kıyasla büyük yüzey alanları (genişlik ve yükseklik) olduğundan kenarlardaki ısı transferi ihmal edilebilecek seviyededir. Bu nedenle ısı transferi iki boyuta indirgenebilmektedir. PCM'in özellikleri sıcaklığın bir fonksiyonudur. Isı transfer analizinde GKE ile cam yüzey arasındaki boşluktaki havanın doğal taşınımı dikkate alınır. Isı transferi ile ilgili denklemleri basitleştirmek için sistemdeki bütün malzemelerin termal genişlemesi dikkate alınmamıştır. PCM'in faz değişim sırasındaki doğal taşınımı, başlangıç ile sınır arasındaki sıcaklık farkı küçük olduğunda önemsizdir. Kabuller göz önünde bulundurularak, hava, cam ve PCM dolgulu GKE için iki boyutlu ısı transfer denklemleri yazılabilir.

PCM dolgulu GKE için ısı iletimi Fourier kanununa göre denklem 1.1'de verilmektedir.

$$Q_{iletim} = k_{GK} \cdot A_{GK} \cdot \frac{dT}{dx} + k_{PCM} \cdot A_{PCM} \cdot \frac{dT}{dx} + \rho_{PCM} \cdot L \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (1.1)$$

Burada;

k_{GK} =güneş kontrol elemanı malzemesinin ısı iletkenliğini,

1. GİRİŞ

A_{GK} = GKE yüzey alanını,

A_{PCM} = PCM'nin iletim alanını,

k_{PCM} = PCM'in ısı iletkenliğini,

ρ_{PCM} = PCM'in yoğunluğunu,

L = PCM' in gizli ısısını,

$\frac{d\phi}{dt}$ = faz değişim oranını (PCM'nin faz değiştirme süreci) ifade etmektedir.

Camın iç ve dış yüzeylerinde konveksiyonla gerçekleşen ısı transferi ise denklem 1.2 ile denklem 1.3'te verilmektedir;

$$Q_{konveksiyon,iç} = h_{iç} A (T_{yüzey,iç} - T_{hava,iç}) \quad (1.2)$$

$$Q_{konveksiyon,dış} = h_{dış} A (T_{yüzey,dış} - T_{hava,dış}) \quad (1.3)$$

Burada;

$h_{iç}$ ve $h_{dış}$ = İç ve dış ortamlar için konveksiyon katsayıları,

$T_{yüzey,iç}$ ve $T_{yüzey,dış}$ = İç ve dış cam yüzeyi sıcaklıkları,

$T_{hava,iç}$ ve $T_{hava,dış}$ = İç ve dış ortam sıcaklıklarını ifade etmektedir.

Cam yüzeylerin ışıınım yolu ile etrafına yaydığı ısı, Stefan-Boltzmann yasasına göre denklem 1.4 ve denklem 1.5'te verilmiştir.

$$Q_{ışıınım,iç} = \epsilon_{iç} \cdot \sigma A (T_{yüzey,iç}^4 - T_{hava,iç}^4) \quad (1.4)$$

$$Q_{ışınım,dış} = \epsilon_{dış} \cdot \sigma A (T_{yüzey,dış}^4 - T_{hava,dış}^4) \quad (1.5)$$

Burada;

$\epsilon_{iç}$ ve $\epsilon_{dış}$ = İç ve dış yüzeyler için yayma katsayısı,

σ = Stefan-Boltzmann sabiti,

$T_{hava,iç}$ ve $T_{hava,dış}$ = İç ve dış ortam sıcaklıklarını ifade etmektedir.

1.4. Güneş Kontrol Elemanlarının Sınıflandırılması

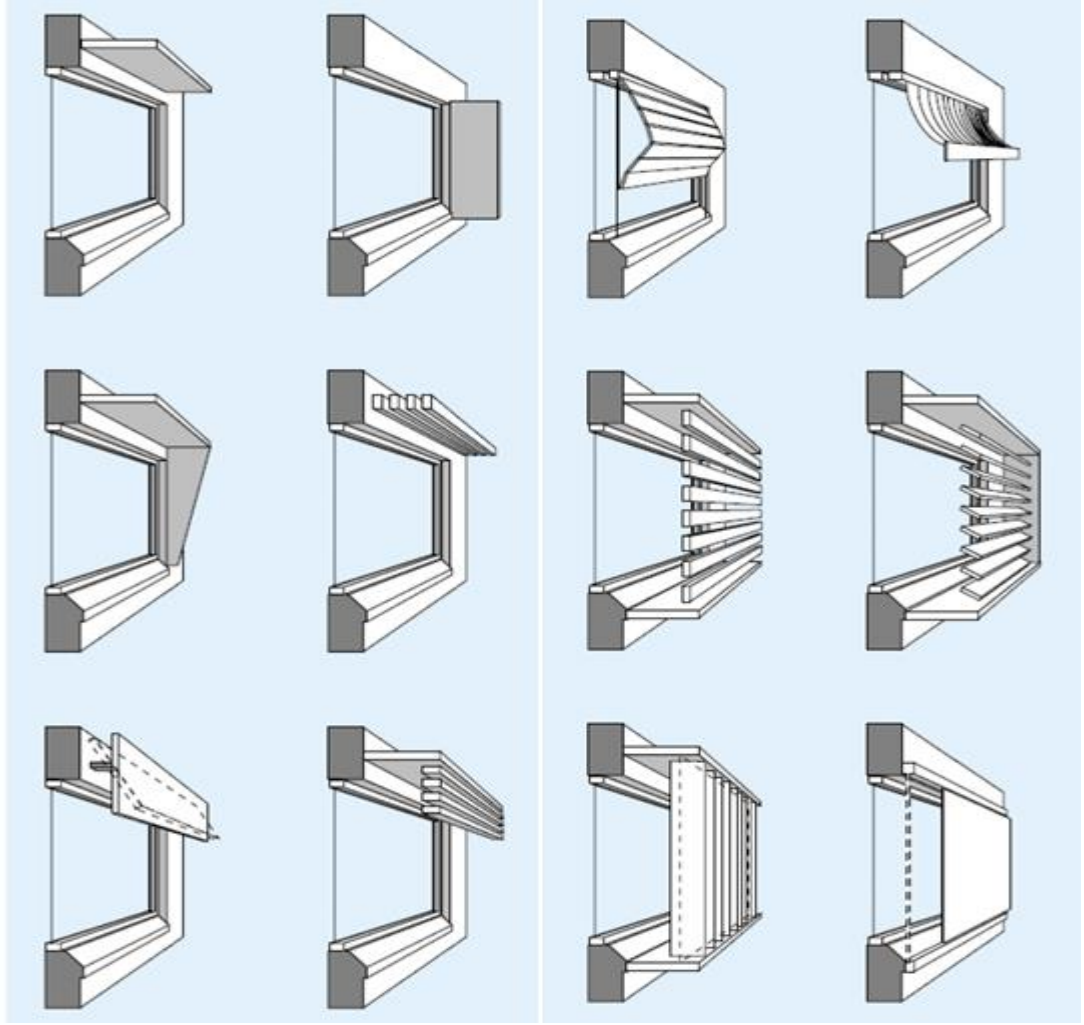
GKE'ları; kullanım şekli, formu ve malzemesi gibi birçok parametreye bağlı olarak sınıflandırılabilir.

1.4.1. İç cephede kullanılan güneş kontrol elemanları

Bina içerisinde uygulandıkları için uygulamaları ve bakımları kolaydır. Genellikle stor perdeler, perdeler ve jalousiler bu formdadır. İç GKE'larının bakımı kolay ve yıpranması azdır. Doğru tasarımıyla uygulandıklarında hem enerji hem de ışık bakımından etkili çözümler sunabilmektedirler.

1.4.2. Dış cephede kullanılan güneş kontrol elemanları

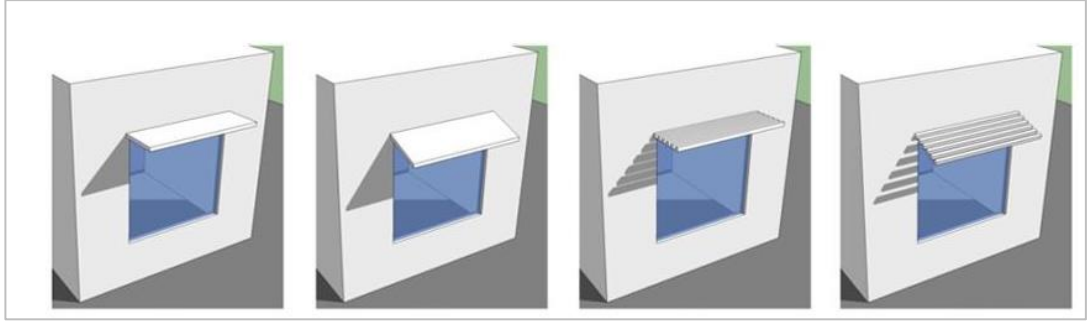
Dış cephede kullanılan GKE dış kabuk elemanları üzerine monte edilmektedir. Dışarıda oldukları için ileriye dönük bakım zorlukları ve dış etkenlerden dolayı estetik olarak yıpranmaları göz önüne alınmalıdır. Dış cephede kullanılan GKE'ları genel olarak; sabit GKE'ları, hareketli GKE'ları, yatay GKE'ları ve düşey GKE'ları olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1.4 'te dış cephe GKE'larına ait örnekler verilmektedir (Cirit 2012).



Şekil 1.4. Binalarda kullanılan dış GKE'ları örnekleri

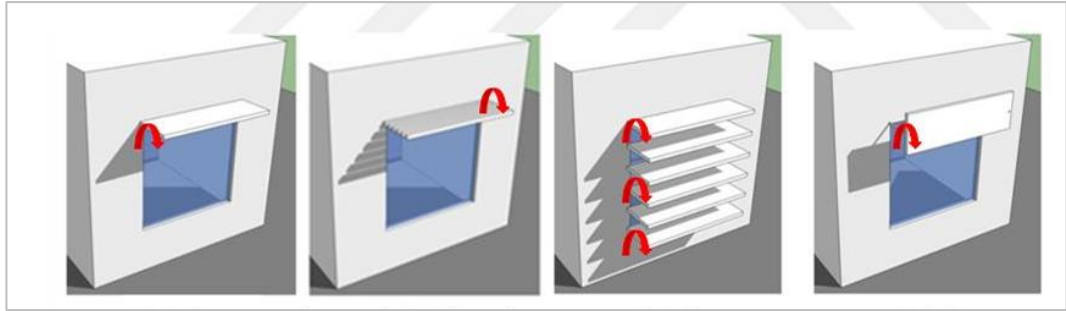
Dış cephede kullanılan GKE'ları ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmektedir:

- ❖ Sabit GKE'ları; binanın dış cephesine monte edilen mimari yapı elemanlarıdır. Tasarlanırken ışığın geçmesine izin verilen açıklık binanın kullanılan cephe yönüne bağlı olarak belirlenmektedir. Sabit GKE'na ait görüntüler Şekil 1.5 'te verilmektedir (Özyer 2017).

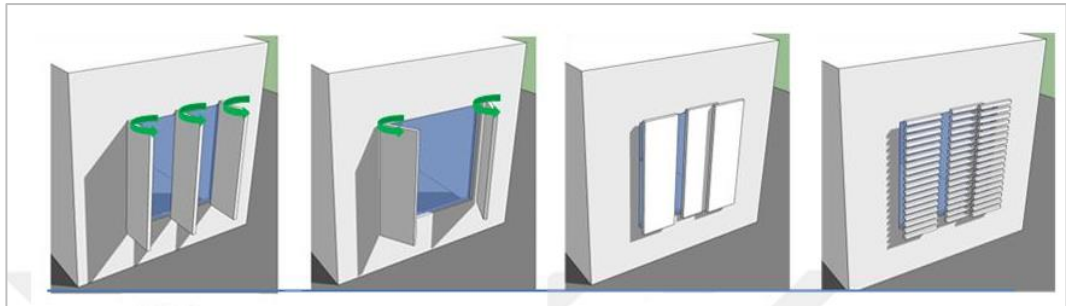


Şekil 1.5. Sabit GKE' ları görüntüsü

❖ Hareketli GKE'ları; dış cepheye, pencere camları arasına ve iç mekâna uygulanabilmektedir. Bu yapı elemanları ile istenildiği zaman güneş ışığını iç mekâna dahil eder ya da dış mekâna doğru yönlendirebilmektedir. Hareketli GKE ile binanın ısı ve görsel performansı kontrol edilmektedir. Hareketli GKE'larına otomasyon sistemi uygulanarak istenilen açıda konumlandırılmaktadır. Hareketli panellerin arasındaki mesafe ve hareket kabiliyeti, gölgeleme miktarını etkilemektedir. Şekil 1.6'da hareketli yatay GKE (Özyer 2017), Şekil 1.7'de düşey hareketli GKE'nın görüntüleri verilmektedir (Özyer 2017).

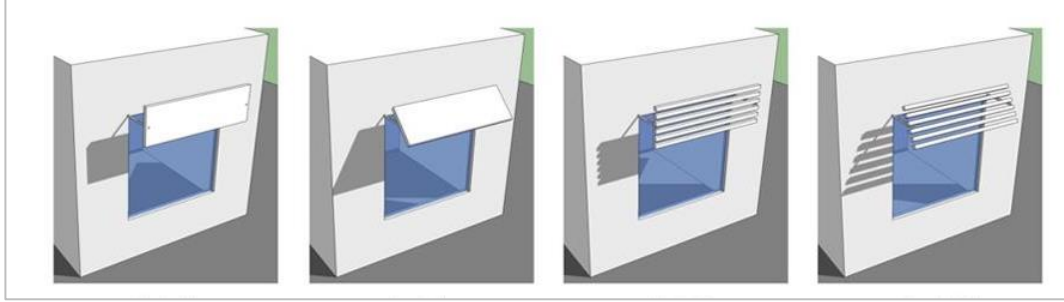


Şekil 1.6. Hareketli yatay GKE'ları görüntüleri



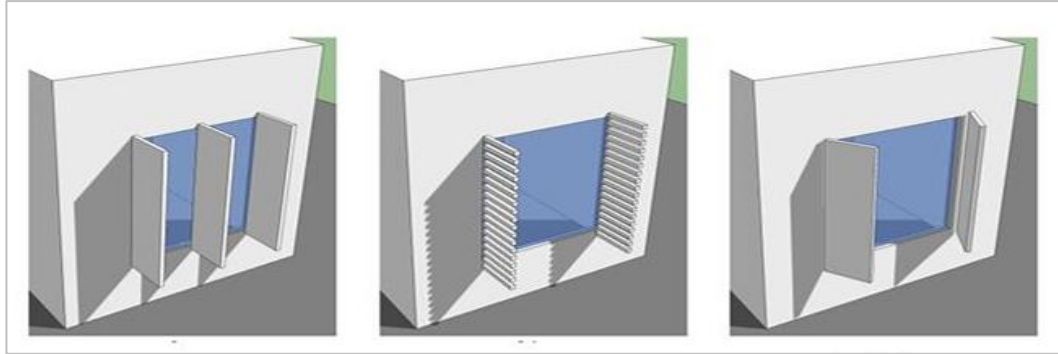
Şekil 1.7. Hareketli düşey GKE'ları görüntüleri

- ❖ Yatay GKE'ları; bina dış cephesine yatay olarak sabit ya da hareketli monte edilebilmektedir. Yatay GKE'ları ile bina arasında ısı köprüsü oluşturmayacak şekilde monte edilmeleri gerekmektedir. Şekil 1.8'de yatay GKE görüntüsü verilmektedir (Özyer 2017).



Şekil 1.8. Yatay tek ve çok panel GKE'ları görüntüsü

- ❖ Düşey GKE'ları; binalarda çoğunlukla saydam cephe yüzeyine düşey sabit ya da farklı açılarda monte edilmektedir. Düşey GKE, sabah ve akşamüzeri gelen ve görüşü engelleyen geniş açısı az güneş ışınlarının engellenmesinde kullanılmaktadır. Genelde bina doğu ve batı cephelerinde kullanılmaktadır. Düşey GKE'nın görüntüsü Şekil 1.9'da verilmektedir (Özyer 2017).



Şekil 1.9. Düşey GKE'ları görüntüsü

1.4.3. Güneş kontrol elemanlarının malzemelerine göre sınıflandırılması

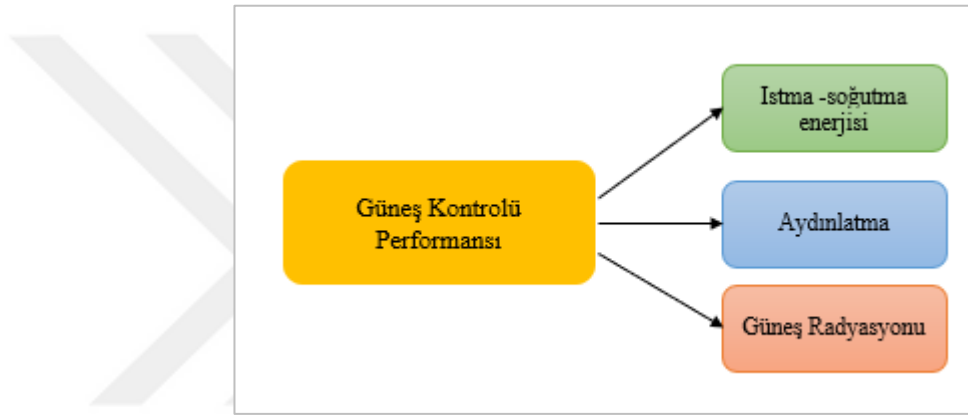
GKE'nın tasarımı ve kullanılan malzemeleri, günün yapım teknolojisine göre değişiklik göstermiştir. Binalarda enerji etkinlik kavramının ön plana çıkmasıyla GKE'nın yapımında kullanılan malzeme çeşitliliği de artmıştır. GKE, günümüzde en çok;

1. GİRİŞ

fotovoltaik paneller, alüminyum, kumaş, ahşap, cam, terakota, beton, lifli çimento, metal ağlar ya da plastik malzemeden üretilmektedir.

1.5. GKE'lerinin Güneş Kontrol Performansı

GKE'nın en önemli görevi, binaya ulaşan güneş ışınlarının kontrolünü sağlayarak hem aydınlatmayı sağlamak hem de tüketilen ısıtma-soğutma enerjilerini azaltmaktır. GKE, binalarda hem görsel hem de enerji etkin kaygıları en aza indirmelidir. GKE'nin güneş kontrolü performans bileşenleri Şekil 1.10'da verilmektedir (Özyer 2017).



Şekil 1.10. Güneş kontrolü performans bileşenleri

1.6. Güneş Kontrolünde Kullanılan Camlar

Camlar, dış kabuk üzerine gelen güneş ışınımının geçişini kontrol altında tutarak binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji ihtiyacını belirleyen yapı elemanlarıdır. Enerji etkin binalar elde etmek için camların uygun optik ve termofiziksel özelliklere sahip olması gerekmektedir. Camın termofiziksel özelliği ile güneş ışınımıyla kazanılan ve kaybedilen ısı miktarları belirlenmektedir. Camın optik özelliği ile de ışığı yansıtma ve geçirme yeteneği ifade edilmektedir. Binalarda güneş kontrolünde en çok kullanılan cam türleri; çok katmanlı camlar, low-e kaplamalı camlar, reflektif camlar ve renkli camlardır.

Çok katmanlı camlar, iki veya daha fazla cam panelden oluşmaktadır. Bu camlarda panel kenarlarına konulan çitalar ile paneller arasında 8-20 mm'lik boşluklar

oluşturulmuştur. Paneller arasındaki boşluklar, hava veya asal gaz ile doldurularak ısı yalıtımı sağlanmaktadır.

Camlarda, gün ışığının geçirgenliğini yüksek tutup güneş ısısını kontrol altına alabilmek için boya ve kaplama kullanılmaktadır. Low-E kaplamalı cam ile ışıma yoluyla ısı transferinin azaltılması amaçlanmaktadır. Low-E kaplama ile iç mekândaki cisimlerden ışıma yoluyla yayılan ısı, tekrar ortama yansıtılarak bina içinden dışarıya ısı geçişi azaltılmaktadır. Bu kaplama, camın ısıyı iletme ve dışarıya yayma özelliklerini azaltarak enerji verimliliğini artırır. Low-E cam kaplaması, genellikle camın bir tarafına uygulanan ince bir metal oksit tabakasıdır. Low-E camın en önemli özellikleri; ısı yalıtımı, UV koruma, kondensasyon azaltma ve enerji tasarrufu sağlamasıdır. Camın kullanılacağı bölgenin iklimine göre cam panellerin hangi yüzeyine kaplama uygulanacağı belirlenmektedir. Soğuk iklim bölgelerinde ikili camlarda maksimum ısı kazancı için iç cam panelin iç yüzeyine (3. yüzey) kaplama yapılmaktadır. Üçlü camlarda ise iç cam panelin iç yüzeyine (5. yüzey) kaplama yapılmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Binalar, çok farklı amaçlara hizmet etmesi, uzun ömürlü ve büyük kapasitede enerji tüketen birimler olmalarından dolayı enerji verimliliğinin artırılmasıyla ilgili politika ve programlarda öncelikli çalışma alanı olarak ele alınmaktadır. Dünyada toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30-%40'ı binalardan kaynaklandığından özellikle bu alanda termal performansı ile ilgili yapılacak düzenlemelerin önemi de her geçen gün artmaktadır.

İklim değişikliğinin getirdiği zorlukların üstesinden gelmek için sürdürülebilir, enerji verimli ve düşük karbon emisyonlu binalar sağlamak hayati önem taşımaktadır (Barzin et al. 2016).

Binalarda enerji harcamalarını azaltmanın yolu, öncelikle enerji etkin tasarım değişkenleri kullanarak binanın enerji ihtiyacını azaltmaktır. Sanayi devrimi ile hızlı kentleşme ve nüfus artışı enerji talebini artırmış, fosil yakıtların çevresel etkileri ve küresel ısınma konularında bilgi sunulmuştur. Bina kabuğunun soğutma yükleri üzerindeki etkisi ve yapılan simülasyonlar sonucunda, GKE'lerinin sadece cephede kullanılmasının %28-42 arası soğutma enerjisi tasarrufu sağladığı belirtilmiştir (Cirit 2012).

PCM'lerin bina zarfında kullanımı, Cezayir'deki farklı iklim bölgelerinde gölgeli ve gölgesiz yapıların termal performansını iyileştirmek için etkili bir pasif tasarım stratejisi olarak öne çıkmaktadır. PCM'lerin gölgeli binalarda tercih edilen bir tasarım modeli olduğu ve şehirlerde yıllık termal konforu önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Ayrıca, sıcak-kuru iklimlerde yaz aylarında mekanik havalandırmalı binalarda PCM'lerin mütevazı bir soğutma enerjisi tasarrufu sağladığı, kış aylarında ise ısıtma enerjisi gereksinimlerini azalttığı belirtilmiştir (Sarri et al. 2021).

Binaların iç ve dış ortamını ayıran cephe sistemleri, tüketilen enerjinin azaltılmasında büyük etkiye sahiptir. Binalarda en büyük alana sahip olan ve yenilenebilir enerji kaynakları ile doğrudan temas halinde olan cephe sistemleri ve ekipmanları sayesinde enerjinin etkin kullanımı sağlanabilmektedir (Luo et al. 2019).

Termal açıdan yenilikçi bir beton içeren faz değişim malzemelerini (PCM) incelemektedir. Nihai hedef, binalarda önemli enerji tasarrufları sağlayabilecek bir ürün geliştirmektir. İspanya'da yapılan bu çalışmada, 26 °C erime noktasına sahip bir PCM'nin etkisini değerlendirmek amacıyla iki gerçek boyutlu beton bölme inşa edilmiş ve deneysel olarak kurulmuştur. Elde edilen sonuçlar, PCM'lerin duvarlarda enerji depolamayı sağladığını ve geleneksel betonla karşılaştırıldığında, iyileştirilmiş termal koruma ve daha düşük iç sıcaklıklar sağladığını göstermektedir (Cabeza et al. 2007).

PCM ile duvar panellerinin pasif güneş tasarımı ve çerçeve yapısıyla birlikte düşük yoğunluklu soğutma sağlayarak, bir binanın her yerine termal depolama sağlayabileceğini inceliyor. Çalışma, günlük oda sıcaklığı değişimine maruz kalan ancak doğrudan güneş ışığı almayan PCM duvar panellerinin termal dinamiklerini ele alıyor. Sonuçlar, PCM'nin erime sıcaklığına yakın olduğunda maksimum günlük enerji depolamasının gerçekleştiğini ve PCM'nin belirli bir sıcaklık aralığında erime sürecinin enerji depolamasını azalttığını gösteriyor. Bu çalışma, PCM'lerin mimari uygulamalarında nasıl kullanılabileceği konusunda önemli rehberlik sağlıyor (Neeper 2000).

Özellikle cam giydirme cepheler, iç mekân konforunun sağlanmasında harcanan enerjiyi belirleyen en etkin bina sistemidir. Cephe sistemlerine uygulanan elemanlar ile yenilenebilir enerji kullanımı artırılarak binaların enerji etkinliğini geliştirilebilmektedir. Cephelerde kullanılan GKE'leri ile gelen güneş ışımasını uygun şekilde düzenlenerek veya engellenerek konforlu iç mekanlar oluşturulup soğutma veya ısıtma yükü azaltılmaktadır (Krumins et al. 2022).

Soğuk iklim bölgelerinde binaların güneş radyasyonundan kaynaklanan ısı kazancını artırmaya yardımcı olmak için cephelerde farklı GKE'leri kullanılmaktadır. Bu çalışmada; konutta GKE'leri dış gölgeleme bakımından ele alarak karşılaştırmalı olarak termal performansları analiz edilmiştir (Kim et al. 2015).

Güneş enerjisi depolamalı dinamik cephe sisteminin performansı, önerilen güneş cephesinin soğutma mevsiminde düşük enerji talebi sağladığını, ancak ısıtma mevsiminde üçlü camlı pencerelerin daha yüksek performans gösterdiğini göstermektedir (Vanaga et al. 2023).

Kim ve arkadaşları çalışmalarında; Kore ofis binaları için yatay GKE'lerinin soğutma ve ısıtma için enerji tüketimlerine etkisi ile uygun gölgeleme elemanının araştırmasını yapmışlardır (Kim et al. 2015).

PCM ve güneş kontrol camını birleştiren kompozit çift camlı bir pencerenin termal davranışlarını incelemekte ve kuzey Çin'in yaz koşullarında bu pencerenin performansını sayısal olarak araştırmaktadır. Optik özelliklerin, özellikle cam emilim katsayısı ve kırılma indisinin PCM'nin termal davranışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, cam emilim katsayısının artmasının PCM'nin erimesini kolaylaştırdığını, ancak iç mekan termal konforu üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ve aşırı ısınma riskini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, güneş kontrol camı ile donatılmış PCM pencerenin enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabileceği ve kırılma indisinin etkisinin emilim katsayısından daha belirgin olduğu bulunmuştur (Wang et al. 2023).

Bu çalışmada; soğuk iklim bölgelerindeki ofis binalarında optimum enerji kullanımı ve konforal iç ortamın sağlanması için jaluzilerle güneş kırıcı olarak kullanılmasının analizi yapılmıştır (Eom et al. 2005).

PCM dolgulu çift cam ünitelerinin termal performansı üzerinde PCM'nin termofiziksel özelliklerinin etkisi incelenmiştir. Bulgular, PCM'nin yoğunluğu, termal iletkenliği, özgül ısı kapasitesi, gizli ısı ve erime sıcaklığı arttıkça, çift camlı ünitelerin sıcaklık zaman gecikmesinin arttığını göstermektedir. Bu parametrelerin yüksek olması, PCM dolgulu çift camlı sistemlerin termal performansını iyileştirmede kritik öneme sahiptir. Ancak, termal iletkenlik $2,1 \text{ W/(m.K)}$ üzerinde ve özgül ısı kapasitesi 4460 J/(kg K) altında ise bu iyileştirmelerin etkisiz olabileceği belirtilmiştir (Li et al. 2016).

Bu çalışmada ise gün ışığını ve görünürlüğü dengelerken, güneş ışığını azaltmak ve enerji tasarrufunu artırmak için en etkili ve dengeli çözümlerinin neler olabileceği araştırılmıştır. Çalışmada cephenin kendiliğinden gölgelenmesi, gölgeleme cihazları, pencere-duvar oranı ve bina yönelimi ele alınmıştır. Sonuçlar, bu tür pasif stratejilerin güneş ışığını etkili bir şekilde azalttığını ve %4,64 ile %76,57 arasında enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir. En çok önerilen çözümler, cephenin kendinden gölgeleme ve gölgeleme cihazlarının karmaşık tasarımları olmuştur (Valladares-Rendón et al. 2017).

Bina konforu için yapı kabuğu önemlidir; özellikle geniş cam yüzeyler binaların ısı performansını olumsuz etkileyebilir. Bu çalışma, Antalya'daki sıcak-nemli iklimde bir ofis binasının enerji yüklerini azaltmak için çift kabuklu cephe sistemleri ve güneş kırıcıların kullanımını değerlendiriyor. DesignBuilder simülasyon programı ile farklı modeller oluşturulmuş ve enerji yükleri karşılaştırılmıştır. İkinci kabuk eklenmesi ve güneş kırıcıların kullanılmasıyla, bina enerji yüklerinde %21,8 oranında azalma sağlanmıştır (Çetin ve Dikmen 2022).

Bu çalışmada Güney Kore'de bina cephelerine uygulanabilecek harici gölge elemanı deneysel olarak incelenerek gün ışığı, ısıtma ve soğutmada enerji tasarrufu açısından karşılaştırma ile farklı konfigürasyonları önerilmiştir. Sonuçta gölgeleme elemanının açısının değiştirilmesi ile en verimli performans elde edilebileceği gösterilmiştir. GKE'ları ile güneş ışınlamından ısı kazanılmasında güneşin açısı, zamanı ve konumu da binaların termal performansına katkıda bulunacak faktörlerdir (Kim et al. 2012).

Endüstrileşme ile gelişen yapısal malzemeler ve ucuz enerji kullanımı, cam yüzeyli bina cephelerinin yaygınlaşmasına yol açmıştır. Ancak bu cepheler iç mekanlarda yazın aşırı ısınma, kışın ise ısı kayıplarına neden olabilir. Geleneksel çözümler yetersiz kalınca, adaptif/uyarlı cepheler gibi yeni teknolojiler ön plana çıkmıştır. Bu sistemler, iç mekan konforunu artırır ve enerji tasarrufu sağlar, ancak henüz literatürde yeni bir yer edinmişlerdir. Bu çalışma, güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanarak bu adaptif cepheleri incelemeyi amaçlamaktadır (Berkmen ve Altın 2020).

Faz değiştiren malzemeler (PCM'ler) enerjiyi depolayarak daha sonra kullanım için etkili bir şekilde depolama fırsatı sağlar. Bunun için enerji depolama, yenilenebilir enerji sistemlerinin en önemli bileşenidir (Sarbu and Sebarchievici 2018).

Malzeme ve mimarlık ilişkisi vurgulanmakta, özellikle modern mimaride camın yaygın kullanımı ve bu kullanımın güneş kontrolü üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte camın sadece pencere işlevini değil, yapısal bir malzeme olarak da rol aldığı belirtilmektedir. Çalışmada, gelişmiş cam malzemelerinin ısı izolasyonu, dayanıklılık, güneş enerjisi yönetimi ve gürültü kontrolü gibi konularda

sağladığı avantajlar incelenmektedir. Çift cam, yalıtımlı cam, renkli cam, aynalı cam, termokromik cam, fotokromik cam, reflektif kaplamalı cam, dikroik kaplamalı cam, seramik emaye kaplamalı cam ve açışal seçici kaplamalı cam gibi farklı cam türleri ele alınmıştır. Bu cam türlerinin özellikleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiş, avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir (Gezer ve Altın 2024).

PCM'ler yüksek enerji yoğunluğu ve izotermal performanslarından dolayı binaların enerji etkinliğinin artırılmasında çok sık kullanılmaktadır (Sharma et al. 2009).

Enerji tasarrufu bina sektöründe kritik önem taşır çünkü cam teknolojileri yeni gelişmelerle daha etkili hale gelmiştir. Elektrokromik camlar, eski camlara göre enerji tasarrufunu %40 oranında artırır ve ofislerde daha az enerji kullanımıyla daha küçük ekipmanlarla işlev görebilir hale gelir (Erdemli 2020).

Bina yapı elemanlarına uygulanan faz değiştiren malzemelerin güneş enerjisi depolaması ve verimliliğini etkileyen en önemli özelliklerden biri kapsülleme yöntemidir. Mikrokapsüllü faz değiştiren malzemeler duvar kaplamaları ve betondaki yapı elemanı bileşenlerine dahil etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. PCM'ler binalara aktif veya pasif olarak uygulanabilmektedir (Li et al. 2020; Guan et al. 2020).

Basit bir prensibe sahip cephe elemanlarıyla yapılan değerlendirmede, GKE'lerinin cephede kullanılmasının ofis binasının soğutma enerji ihtiyacını özellikle Antalya'da yaz aylarında azalttığı görülmüştür. Bu uygulama, yıllık enerji tüketimini önemli ölçüde düşürebilir (Gediri Gökçen 2023).

Pasif yöntemde PCM; herhangi bir yardımcı ekipmana gerek kalmadan binaların inşaat malzemelerine uygulanır. Ayrıca pasif termal depolama sisteminin uygulamalarına; pencere, izolasyon, cephe, panjur ve güneş kontrol sistemleri örnek olarak verilebilir (Akeiber et al. 2016).

Enerji etkin cephe tasarımlarının tarihsel gelişim sürecinde yer alan tek tabakalı cephe sistemleri tanıtılmış ve bu sistemlerde kullanılan güneş kontrol yöntemleri incelenmiştir. Özellikle tek tabakalı cephe sistemlerinde güneş kontrolünü sağlamak için

tercih edilen bina içi ve dışı GKE'ları, örnek binalar üzerinden detaylı olarak ele alınmıştır (Alemdag 2014).

PCM'ler kullanılarak pasif güneş enerjisiyle ısıtmada ısı, güneş ışıınımını emen hiçbir mekanik müdahalenin kullanılmadığı elemanların (duvar, pencere, çatı veya zemin) içinde depolanır. Güneş enerjisi azaldığında ve ortam sıcaklığı düştüğünde bu ısı açığa çıkar. Aktif ısıtma sistemi, PCM'yi güneş kollektör sistemi, ısı pompası ile ısıtarak veya daha ucuz gece elektriği kullanarak gerekli konfor sıcaklığını sağlar (Heier et al. 2015).

Türkiye'deki beş farklı iklim bölgesi için yapılan enerji analizlerinde, ofis binalarında kullanılan gölgeleme elemanlarının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, hareketli gölgeleme elemanlarının soğutma enerjisini daha fazla düşürdüğünü, ancak ısıtma enerjisini daha az artırdığını göstermektedir. Özellikle hareketli gölgeleme elemanlarının tüm iklim bölgelerinde enerji tasarrufu sağladığı belirlenmiştir (Anaç 2019).

Bu çalışmada; yaz sezonunda ikiye bölünmüş ve güney yönlendirilmiş bölmelerde referans ve PCM ile güçlendirilmiş pencere panjurunun ısıl performansı deneysel karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar; PCM pencere panjuruна sahip bölmede iç mahal sıcaklığının %6 ve %11 oranında azaldığını ve ısıl düzenlemenin de %18-22 oranında olduğu belirlenmiştir (Silva et al. 2015).

Elazığ'daki bir örnek binada farklı pencere oranları ve açılarda kullanılan gölgeleme elemanlarının bina ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın amacı, güneşe bakan pencerelerde pencere formu ve pencere-güneş kırıcı konfigürasyonlarının bina enerji ihtiyacı üzerindeki etkilerini ısıtma, soğutma ve aydınlatma açısından değerlendirmektir. Ayrıca, farklı uzunluk ve açılara sahip yatay güneş kırıcıların bina enerji yükü üzerindeki etkilerinin bir örnek bina üzerinden belirlenmesi hedeflenmiştir (Cirit 2012).

Bu makalede, yarı saydam ve şeffaf bina kabukları (pencereler, panjurlar ve diğer gölgeleme cihazları gibi) için geliştirilen PCM teknolojileri incelenmiştir. Yenilikçi PCM çözümlerinin termal özellikleri, enerji depolaması ve tasarruf potansiyelleri

araştırılmıştır. Sonuçta, PCM'nin yapı elemanlarına makro kapsül kapları (farklı malzemelerden oluşan) kullanılarak doğrudan uygulanmasının tercih edildiği belirtilmektedir (Silva et al. 2016).

Bu çalışmanın sonuçlar, gölgeleme elemanı uzunluğunun artmasıyla birlikte 1/2, 1/1 ve 2/1 pencere oranına sahip binalarda güneş kazançlarının azaldığını göstermektedir. Özellikle 2/1 pencere oranına sahip binalarda güneş kazançlarının azalması, bina soğutma yüklerini azaltmak için önemli bir fırsat sunmaktadır. Ancak güneş kırıcı uzunluğunun artması, gün ışığından yararlanma seviyesini düşürerek bina aydınlatma yüklerini artırmaktadır. Bu artış, özellikle 0,40 m uzunluktan sonra daha belirgin hale gelmektedir (Çakır ve Bayazıt 2012).

Mimari cephe elemanları, yapıyı dış ortam şartlarından korumanın yanı sıra enerji tasarrufu ve akustik performansı artırma potansiyeline sahiptir. Güneş kırıcılar özellikle güneşin sıcaklığı ve ışığının kontrolü için kullanılırken, aynı zamanda dışarıdan gelen sesleri de absorbe edebilir veya yansıtabilir. Bu elemanlar, geometri ve malzeme seçimiyle akustik performansın optimize edilmesine katkıda bulunur. Özellikle düşey güneş kırıcılarının, sokaktan gelen trafik gürültüsü üzerindeki etkileri, ses yalıtımında en uygun derinlik ve konumlandırma ile belirlenir. Bu şekilde tasarlanmış güneş kırıcılar, istenen gölge sağlarken aynı zamanda çevresel gürültüyü azaltarak bina içi konforu artırabilir (Solmaz 2021).

Vanaga ve Narbutis çalışmalarında; bina cephesinin ısı performansını artırmak için faz değiştiren malzeme, yalıtım için aerojel, güneş enerjisi konsantrasyonu için Fresnel mercek ve ısı transferini artırmak için hareketli yansıtıcı kanatlar kullanmışlardır. Güneş enerjili cephenin performansı, düşük enerjili binalara uygun en yüksek performanslı üç camlı pencere olan referans elemanla karşılaştırılmıştır. Sonuçta; bu cephe modülünün Kuzey Avrupa ikliminde soğutma sezonunda pencereye kıyasla daha düşük enerji talebi sağladığını, ancak ısıtma sezonunda önerilen güneş cephe modülünün mevcut bileşimiyle yüksek performanslı üç camlı pencereden daha iyi performans sağladığını göstermiştir. Odanın soğumasını önlemek için güneş-termal enerjisi gündüz mevcut olduğu zamanlarda toplanıp gece daha sonra kullanılmak üzere depolanabilir (Vanaga et al. 2023).

Nüfus yoğunluğu ve kentsel gelişim, geleneksel mimariye sahip şehirlerdeki insanları doğal çevrelerinden uzaklaştırarak yapay ortamlarda yaşamaya zorluyor. Bu durum, sağlık problemlerini tetikleyebilir. Bu sorunları çözmek için çevre dostu cephe sistemleri önem taşıyor. Çift katmanlı cephe sistemleri de bu çözümler arasında yer alıyor. Bu çalışma, çift katmanlı cephe sistemlerinin yüksek binaların iç mekan konforuna etkisini, doğal ışıklandırma, doğal havalandırma, ısı ve ses yalıtımı gibi avantajlarını incelemektedir. Ancak bu sistemlerin alan kaybı, bina-sokak etkileşimini azaltması, camın yansıtma özelliğinin çevresel etkileri ve yüksek maliyet gibi dezavantajları da vurgulanmaktadır. Çalışma, çift katmanlı cephe sistemlerinin kullanıldığı yüksek binaların iç mekan konforunu değerlendirmektedir (Sönmez and Kıasıf 2018).

Genel olarak akıllı bina kavramına odaklanılarak akıllı bina cephe sistemleri detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bu sistemleri oluşturan yapı bileşenleri ele alınarak, akıllı cephelerin çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilir kalkınmaya nasıl katkı sağlayabileceği gösterilmektedir (Ofloğlu 2015).

Bu çalışmada İspanya'da kış mevsiminde biri referans diğeri faz değişim malzemesi ile zenginleştirilmiş çift cidarlı bina cephelerinin termal performansı incelenmiştir. Sonuçlar; PCM kullanımının elektrik talebini azalttığı ve ihtiyaç dönemlerinde depolanan ısı verilerek tüm binaların termal davranışı önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir (De Gracia et al. 2013).

Yapı sektörü, düşük maliyetli ve yüksek kaliteli bina çözümleri için daha fazla yenilenebilir enerji kullanımına yöneliyor. Yapı Bilgi Modelleme (BIM), bu ihtiyacı karşılamak için entegre veri modeli ve gelişmiş iletişim sağlıyor (Ok et al. 2011). BIM ile yapılan modeller, çeşitli bina performans kriterleri üzerinde objektif analizlere imkan tanıyor. Bu çalışma, sürdürülebilir mimarlık ilkeleri çerçevesinde kavramsal tasarımda bina performansını değerlendiriyor ve bu süreci geliştirmek için BIM verilerini kullanıyor.

Güneş ışınımını engelleyen kontrol elemanlarının (GE) rüzgar etkileri açısından performanslarının deneysel olarak belirlenmesidir. GE'lerin farklı konum ve açılarda olan 19 farklı durumu incelenmiştir. Rüzgâr tüneline yapılan ölçümler, GE'lerin bina

yüzeyinde oluşturduğu basınç katsayılarının (C_p), özellikle yatay kanatlı GE'lerin cepheye paralel konumlandırıldığı 0° kanat açısında en dikkate değer farklılığı gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, GE'lerin rüzgâr basıncıyla iç mekanlardaki hava hareketi hızını etkileyebileceği konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır (Rucevskis et al. 2020).

Faz değiştiren malzemeler, duyulur ve gizli ısı özelliklerinden dolayı enerji depolamak için birçok bina uygulamasında kullanılmaktadır. PCM ile zenginleştirilmiş bina bileşenlerinin avantaj ve dezavantajlarını araştıran çok sayıda çalışma vardır (Soares et al. 2015; Kenisarian and Mahkamov 2007; Zhai et al. 2014; Rucevskis et al. 2019).

PCM'in bina uygulamalarında kullanılması ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların çoğu sıcak iklim bölgelerinde duvar, zemin, çatı ve küçük boyutlarda cam yapı elemanları ve bileşenleri ile soğutma yükünün azaltılması üzerinedir. Ancak literatürde, binalarda günümüz mimarisinde sıklıkla kullanılan büyük cephe cam alanların, özellikle soğuk iklimlerde dış hava şartlarına maruz kalmadan PCM ile güçlendirilmiş güneş iç kontrol elemanları ile ısıtma yükünü azaltarak enerji verimliliğini artıran çözümlere ait çalışma bulunmamaktadır (Çağlar 2018; Camelia and Dorin 2014; Soulayman and Hammoud 2016).

Günümüzde binalar sıklıkla geniş yarı saydam alanlar içermektedir. Geniş bu camlı alanlar kışın yüksek enerji kayıplarına, yazın ise büyük güneş kazanımlarına yol açmaktadır. Binaların enerji talebini azaltmak için cam cephe sistemlerine gelen güneş ışığını kontrol eden elemanlardan faydalanılır. Camlı alanlar ve GKE'ları binanın enerji tüketimi üzerinde önemli bir role sahiptir. Cam cephe sistemlerinde kullanılan yatay GKE'ları ile hem görsel konfor hem de termal konfor düzenlenebilmektedir (Alawadhi 2004; Gao et al. 2021).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada deneyler için kutu profillerden yapılmış ve etrafı izole edilmiş sadece bir yüzü cam takılması için boş bırakılmış bir kabin imal edilmiştir. İlk olarak içi boş deney kabini ön yüzeyine üçlü Low-E cam ve ikili Low-E cam yerleştirildikten sonra yapay ışık kaynağına maruz bırakılarak deneyler yapılmıştır. Daha sonra yine yapay ışık kaynağı kullanılarak kabin içine bu cam sistemlerin önüne ayrı ayrı içi boş ve içi PCM dolu GKE'ları yatayda 30⁰, 45⁰, 60⁰ konumlandırılarak toplam 14 adet deney yapılmıştır. Deneylerde; kabin iç ve dış yüzeyinden toplam 11 adet noktadan sıcaklık ile kabin içinden 4 noktadan da ışık değeri ölçülmüştür.

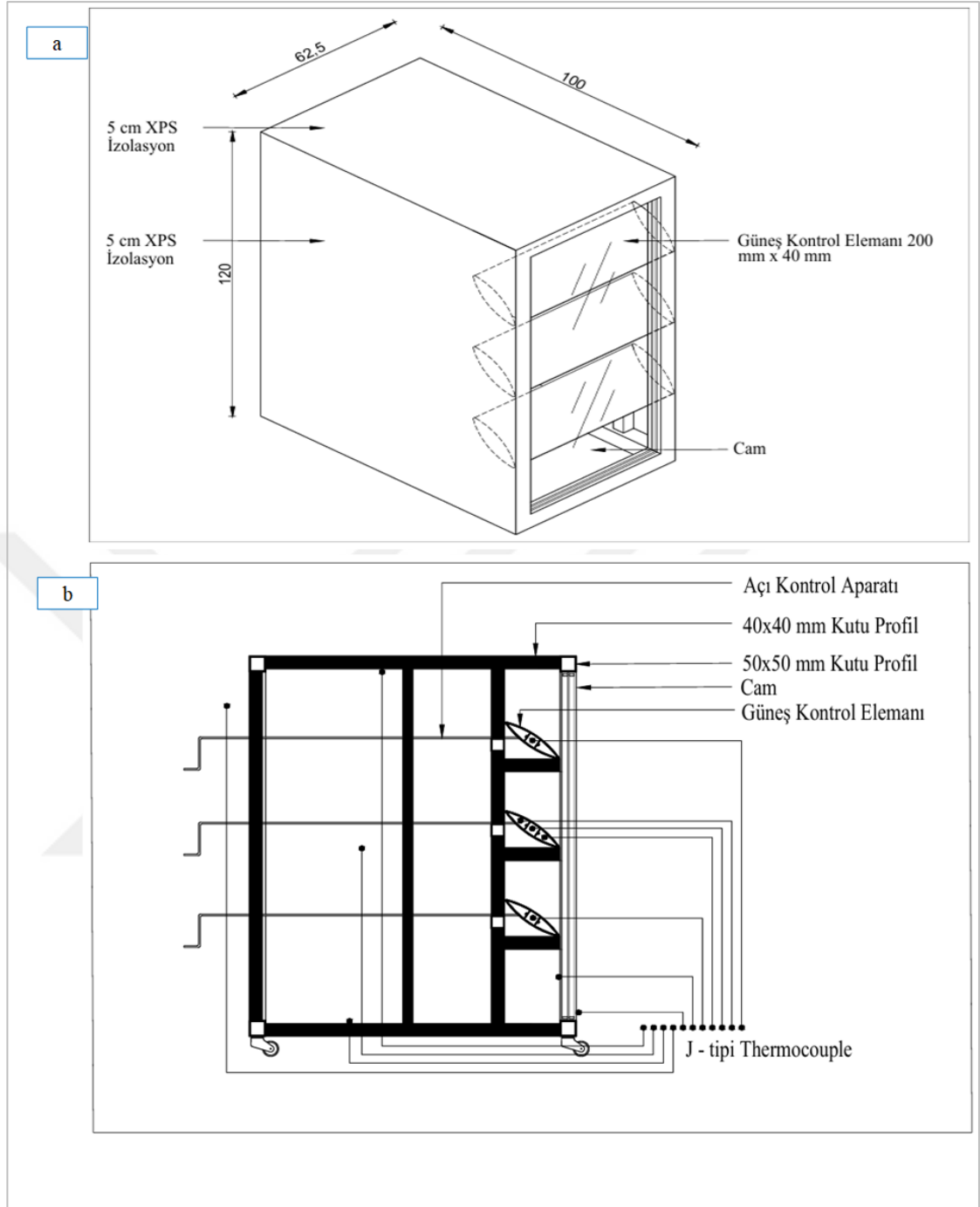
3.1.1. Deney sisteminin tanıtımı

Bu bölümde deneylerde kullanılan sistemin detaylı anlatımı sunulmaktadır. Çalışmada kullanılacak deney kabini 62.5x100x120 cm boyutlarındadır. Deney kabini ana gövdesi 40x40 mm ve 50x50 mm ölçülerinde kutu profillerden imal edilmiştir. Kabinin bir yüzü cam malzemeden (üçlü cam sistemi ve ikili cam sistemi) diğer yüzlerde 5 cm' lik XPS yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. 200x40 mm boyutlarında 2 mm kalınlığında alüminyum malzemeden GKE'ları kabin içerisine montelenmiştir. Şekil 3.1.(a-b-c)'de deney sistemi detay fotoğrafları ve Şekil 3.2.(a, b)'de Auto CAD detay çizimleri gösterilmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM



Şekil 3.1. a) Deney sistemi genel görüntüsü, b) Deney kabini fotoğrafı, c) GKE'lerinin fotoğrafı.

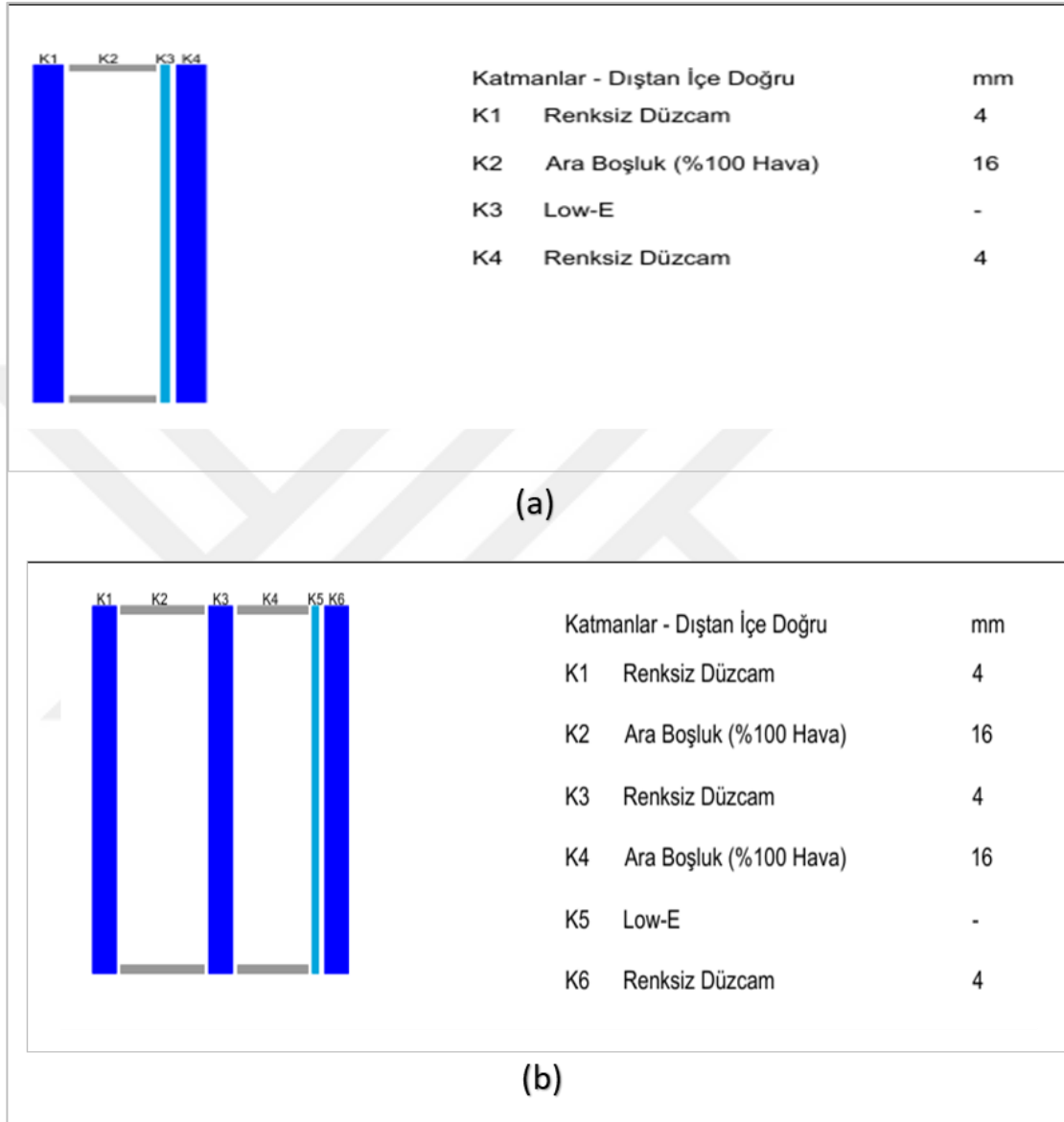


Şekil 3.2. Deney kabini AutoCAD çizimleri a) Perspektif görünüm b) Kesit görünüş

GKE'lerinin açılışını kontrol etmek amacıyla 110 cm uzunluğunda vidalı miller kullanılmıştır. Deney yapılırken ortam sıcaklığı, cam iç ve dış yüzey sıcaklığı, deney kabini; taban, tavan ve yan yüzey sıcaklığı, üst GKE'nin PCM sıcaklığı, orta GKE'nin üç noktadan PCM sıcaklığı, alt GKE'nin PCM sıcaklığının ölçümü 11 adet J tipi termokupl vasıtasıyla yapılmıştır. Belirlenen veriler datalogger aracılığıyla kaydedilmekte ve bilgisayara aktarılmaktadır. Deney kabini detayı Şekil 3.2'de

3. MATERYAL ve YÖNTEM

verilmektedir. Yine sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı termokuplların bağlantı noktaları da Şekil 3.2-b’de verilmektedir. Deney sisteminde kullanılan cam sistemlerinin katmanları Şekil 3.3.(a, b)’de gösterilmektedir (Anonim 2024).



Şekil 3.3. a) İkili cam sistemi katmanları, b) Üçlü cam sistemi katmanları

Deney sisteminde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Deney ekipmanlarının özellikleri ve doğruluğu

Ekipman	Özellikler	Doğruluk
Solar metre	Ölçüm aralığı of 0–3 kW/m ² . 0–5 V output signal and 24 V Power supply	±3 %
Lüksmetre	TESTO marka T435 model, 0 ila 9.999 Lüks ölçüm aralığı, 1 Lüks çözünürlük, 500 ms örnekleme süreli	±3 %
Data logger	ORDEL marka UDL200 model datalogger. Minimum 750 ms örnekleme süreli, IP20 koruma sınıfı, dahili soğuk uç kompanzasyonu ve bilgisayar entegreli sistemi	±0.2 %
Termokupl	- 200 °C ila 1.200 °C ölçüm aralığına ve 1/ 0,5 mm kablo/tel çapına sahip Bakır-Konstantan J tipi termokupl	±0.4 %
Yapay ışık kaynağı	750 W'lık 3 halojen spot, güç 400 V 50 Hz	
İzolasyon malzemesi	Expanded Polystyrene (XPS) Isı iletim katsayısı: 0.033 W/m. K Özgül ısısı: 1,3 -1,7 kJ/kg. K	
Üçlü cam sistemi	Isı geçirgenlik katsayısı U: 1.1 W/m ² K Gün ışığı geçirgenliği: 72 %	
İkili cam sistemi	Isı geçirgenlik katsayısı U: 1.4 W/m ² K Gün ışığı geçirgenliği: 79 %	

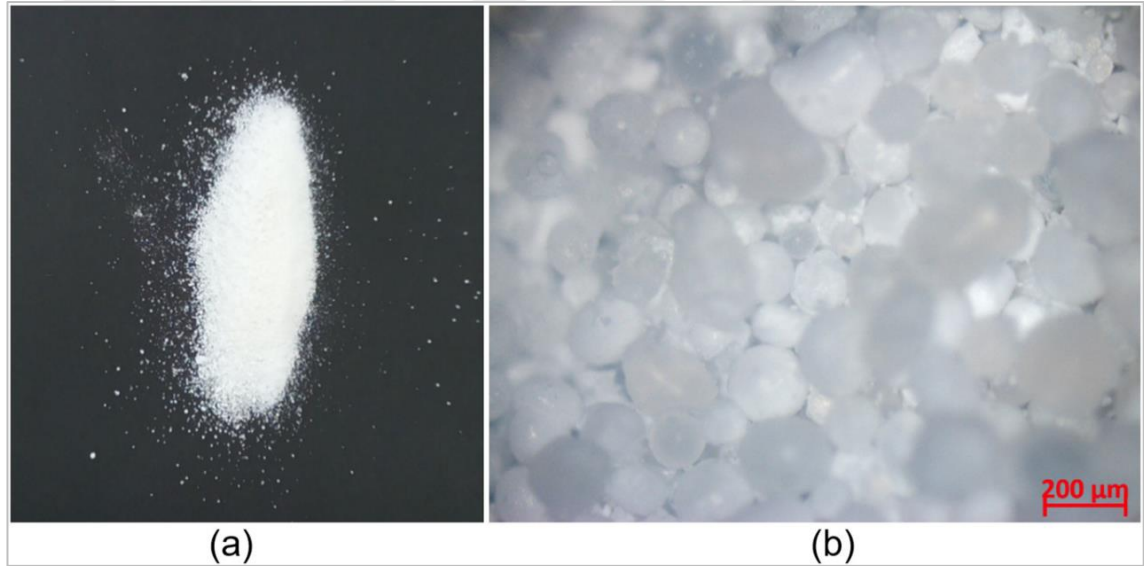
3.1.2. Faz değiştiren malzeme (PCM) 'nin özellikleri

Deneylerde mikrokapsüllenmiş PCM olarak RUBITHERM firmasının PX28 ürünü kullanılmıştır. Bu ürüne ait teknik özellikler Çizelge 3.2'de verilmektedir. PX28 ürününün oda sıcaklığında bu ürün faz değişim periyotlarında büyük miktarda enerji depolama ve serbest bırakma, hacimsel olarak genleşmeme, aşırı soğutma etkisi olamama ve uzun süre kullanılma gibi tercih edilen özelliklere sahiptir.

Çizelge 3.2. PCM'in Özellikleri

Erime sıcaklık aralığı	26–29 °C (tepe noktası: 28 °C)
Donma sıcaklık aralığı	29–26 °C (tepe noktası: 28 °C)
Özgül ısı kapasitesi	1.6 kJ/kg. K
Isı depolama kapasitesi	102 kJ/kg
Genel yoğunluk	0.694 kg/m ³
Isı iletkenliği	0.1 W/ (m.K)
Parlama sıcaklığı	164 °C
PCM içeriği	60%
Parçacık boyutu	250 µm (ortalama)
Şekil	Toz
Görünüm (renk)	Beyaz

Deneyde kullanılan PCM parçacıklarının oda sıcaklığında çekilen bir fotoğrafı ve optik mikroskopik görüntüsü Şekil 3.4 (a, b)'te verilmektedir.



Şekil 3.4. PCM parçacıklarının fotoğrafı (a) ve optik mikroskopik görüntüsü (b)

3.2 Yöntem

Bu çalışmada yapılan deneyler Erzurum merkezde 39.9042° kuzey enlemi ve 41.2679° doğu boylamında gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere GKE'lerinin eğim açısı güneş ışığını yakalamada önemli bir parametredir. GKE'ları üzerine daha fazla güneş ışığı gelmesi için bu parametrenin optimum değerlerde kullanılması gerekmektedir.

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda, Erzurum için aylık, mevsimlik ve yıllık optimum eğim açısı değerlerinin yaklaşık 15° ile 60° arasında değiştiği görülmektedir (Aydın 2020; Gönül 2018). Çalışmada; GKE'ları yatayda 30° , 45° , 60° konumlandırılarak deneyler yapılmıştır.

Tüm deneyler aynı koşulları sağlamak için laboratuvar ortamında ve kullanılan PCM'in özelliğine bağlı olarak 12.600 saniye ısıtma periyodu, 47.400 saniye de soğutma periyodu olacak şekilde toplam 60.000 saniyede gerçekleştirilmiştir. Deneyler ısıtma periyotunun da 300 W/m^2 radyasyon altında yapay ışık kaynağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada deneyler beş aşamada tamamlanmıştır:

Birinci aşamada; baz (C1 ve C8) deneyler, deney kabini ön yüzeyine üçlü cam ve ikili cam yerleştirildikten (GKE olmadan) sonra yapılarak ısı ve ışık performanslarının ölçülmesi yapılmıştır.

İkinci aşamada; kabin içine üçlü cam yüzey önüne GKE'larının içi boş olacak şekilde (PCM'siz) yatayda 30° , 45° , 60° konumlandırılarak deneyler yapılmıştır. Harici ışık kaynağı ile deney kabinine sabit ve sürekli termal ışıma gönderilmiştir. Deneylerde ısı ve ışık şiddeti de ölçülerek kaydedilmiştir.

Üçüncü aşamada; kabin içine ikili cam yüzey önüne GKE'ları içi boş ve yatayda 30° , 45° , 60° olacak şekilde yerleştirilip deneyler yapılmıştır. Deneylerde ısı ve ışık şiddeti de ölçülerek kaydedilmiştir.

Dördüncü aşamada; kabin içine üçlü cam yüzey önüne yerleştirilen PCM dolgulu yatayda 30° , 45° , 60° konumlandırılan GKE'ları ile deneyler yapılmıştır. Deney kabininde enerji verimliliğini artırmak için güneş kontrol elemanlarında enerji depolayacak mikrokapsüllenmiş PCM kullanılmıştır. Mikrokapsüllenmiş PCM'in deneylerde hacimsel olarak neredeyse sabit kalması, defalarca kullanılmaya uygun olması ve performansı gibi özellikleri tercih edilmesine sebep olmuştur. Bu bölümde yapılan deneyler ile üçlü ve ikili cam sisteminde PCM dolgulu GKE'larının enerji depolama performansı

3. MATERYAL ve YÖNTEM

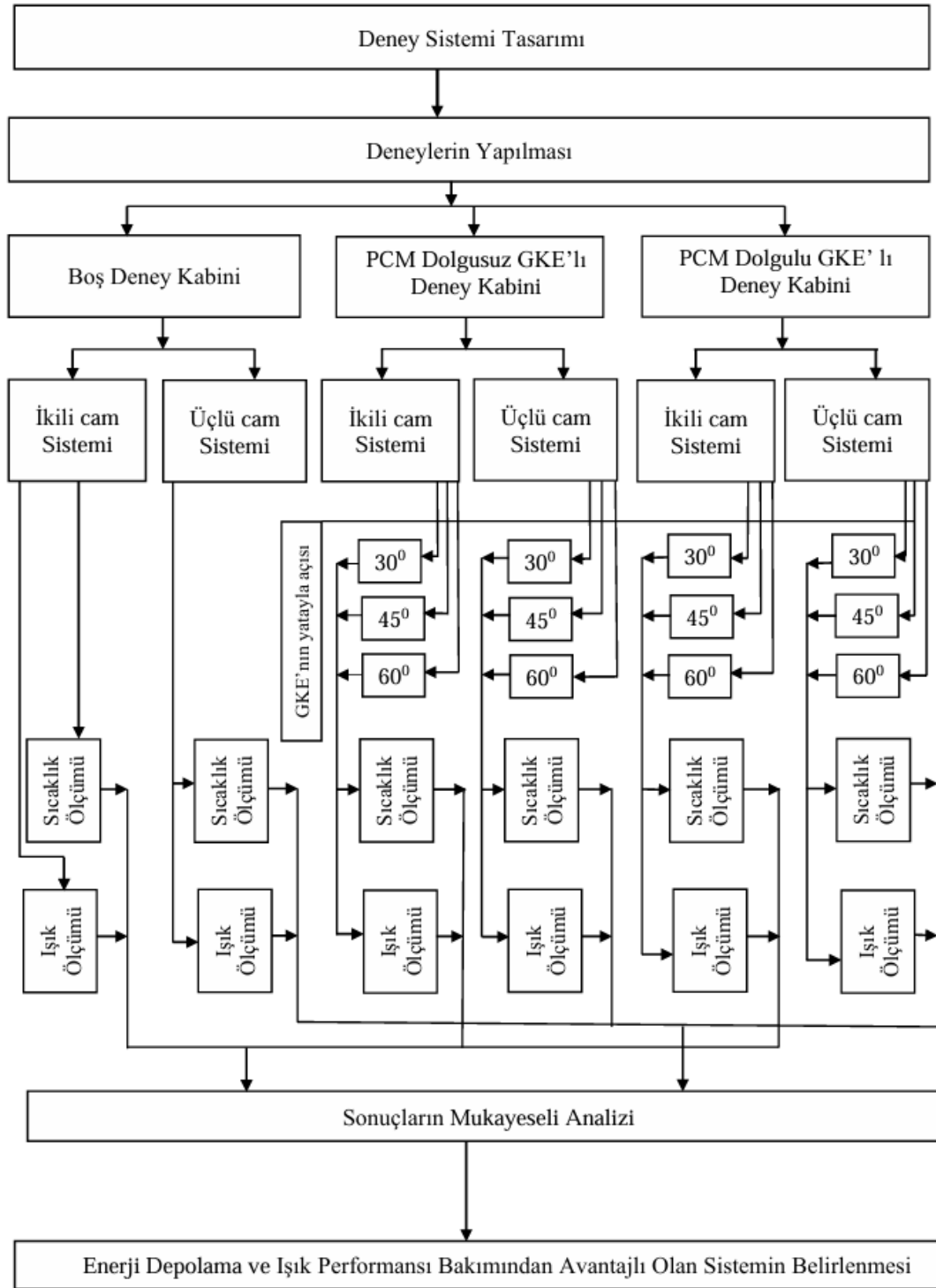
belirlenmiştir. Ayrıca üçlü cam sistemi ile ikili cam sistemin ısı performansına etkisi de analiz edilmiştir.

Beşinci aşamada; kabin içine ikili cam yüzey önüne yerleştirilen PCM dolgulu yatayda 30⁰,45⁰,60⁰ konumlandırılan GKE'ları ile deneyler yapılmıştır. Deneylerde ısı ve ışık şiddeti de ölçülerek kaydedilmiştir.

Çalışmada toplam 14 adet deney yapılmış ve deney planlarının açıklaması da Çizelge 3.3'de verilmiştir. Şekil 3.5'te de çalışmada yapılan deneylerin akış diyagramı verilmektedir.

Çizelge 3.3. Deney planları

Durum No	İkili Low-E cam Sistemi	Üçlü Low-E Cam Sistemi	Güneş Kontrol Elemanı	PCM Etkisi	Yatayda 30 ⁰	Yatayda 45 ⁰	Yatayda 60 ⁰
C1	✓	×	×	×	×	×	×
C2	✓	×	✓	×	✓	×	×
C3	✓	×	✓	×	×	✓	×
C4	✓	×	✓	×	×	×	✓
C5	✓	×	✓	✓	✓	×	×
C6	✓	×	✓	✓	×	✓	×
C7	✓	×	✓	✓	×	×	✓
C8	×	✓	×	×	×	×	×
C9	×	✓	✓	×	✓	×	×
C10	×	✓	✓	×	×	✓	×
C11	×	✓	✓	×	×	×	✓
C12	×	✓	✓	✓	✓	×	×
C13	×	✓	✓	✓	×	✓	×
C14	×	✓	✓	✓	×	×	✓



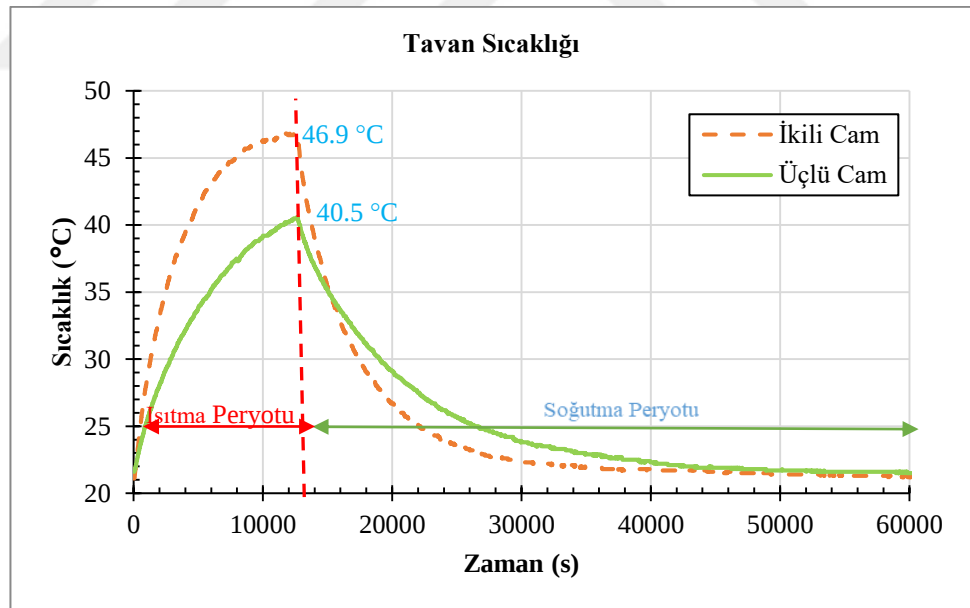
Şekil 3.5. Deney sistemi akış diyagramı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

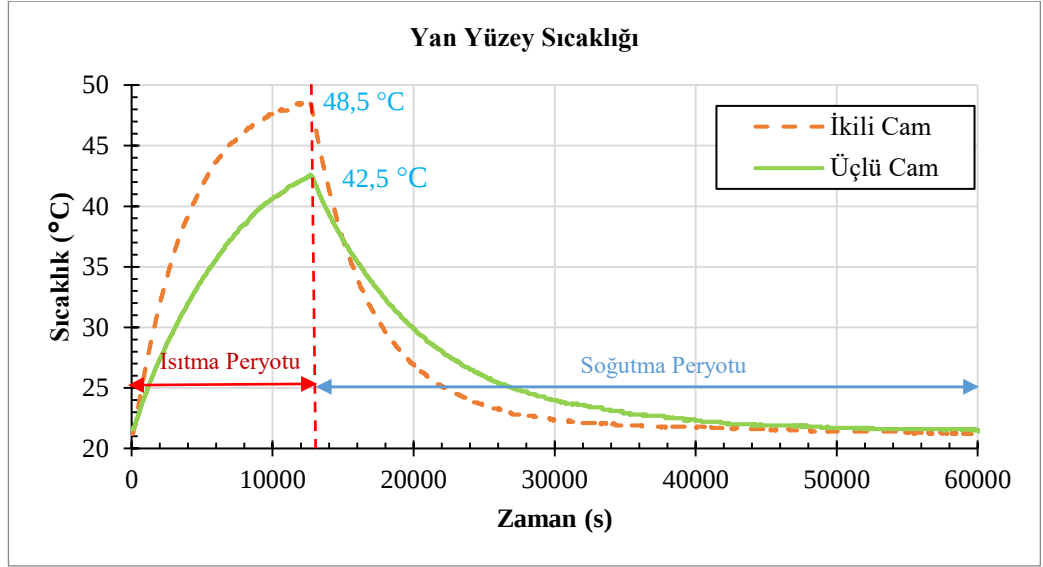
Çalışmanın bu bölümünde Bölüm 3’te verilen plana göre yapılan deneylerde ölçülen sıcaklık ve ışık değerlerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Üçlü cam için GKE ile yapılan deney verileri hem kendi aralarında değerlendirilip hem de ikili cam için GKE ile yapılan deney verileri ile de kıyaslanmıştır.

4.1. Baz Durum Sıcaklık ve Işık Analizleri

Bu başlık altında; deney kabini ön yüzeyine üçlü cam ve ikili cam yerleştirildikten sonra yapılan deneylere ait veriler tartışılmaktadır. Çalışmada baz durum; deney kabini ön yüzeyine üçlü cam ve ikili cam yerleştirilerek (GKE olmadan) yapılan C1 ve C8 deneylerini tanımlamaktadır. C1 ve C8 durumlarında yapılan deneyler sonucunda kabin tavanından ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.1 ‘de ve kabin yan yüzeyinden ölçülen sıcaklık değerleri de Şekil 4.2 ‘de verilmektedir.



Şekil 4.1.C1 ve C8 için kabin tavan sıcaklıkları



Şekil 4.2. C1 ve C8 için kabin yan yüzey sıcaklıkları değişimi

Baz durum deneylerinde ikili camın olduğu deneyde tavan sıcaklığı yaklaşık 46,9 °C iken üçlü camın olduğu deneyde 40,5 °C olarak ölçülmüştür. C1 durumu ile C8 durumu yan yüzey sıcaklık farkı 6 °C ölçülmüştür. Üçlü camın soğuma periyodundaki sıcaklık değerlerinin yüksek olması cam özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yine kabin yan yüzey sıcaklıkları içinde aynı gerekçeler geçerlidir.

Çizelge 4.1’de C1 ve C8 durumunda üçlü cam ve ikili cam için ölçülen ışık değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. C1 ve C8 durumlarında kabin içi ışık değerleri

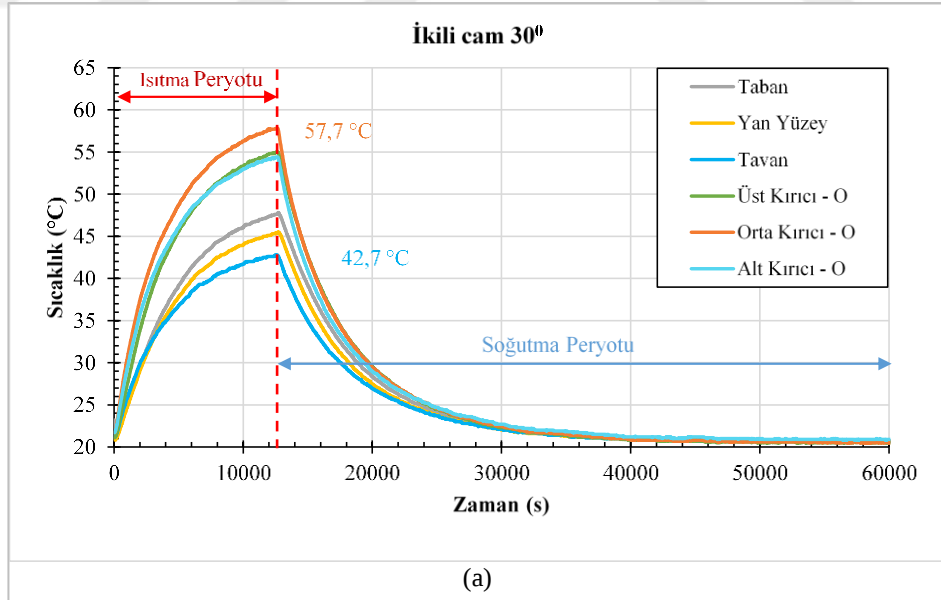
Kabin içi ışık değerleri	C1	C8
Kabin camı önü zemin ışık değeri (lüks)	2.400	2.200
Kabin orta zemini ışık değeri (lüks)	2.220	1.870
Kabin yan yüzey ortası ışık değeri (lüks)	750	600
Kabin içi ortalama ışık değeri (lüks)	1.790	1.557

4.2. İkili Cam Durumu Sıcaklık ve Işık Analizleri

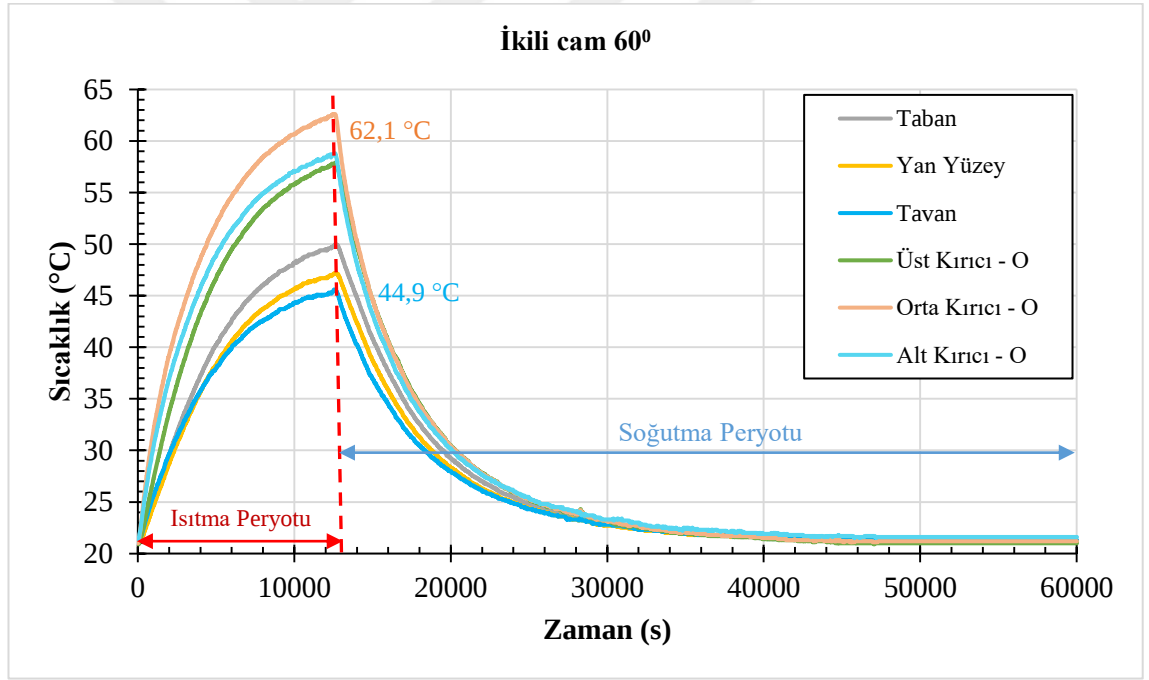
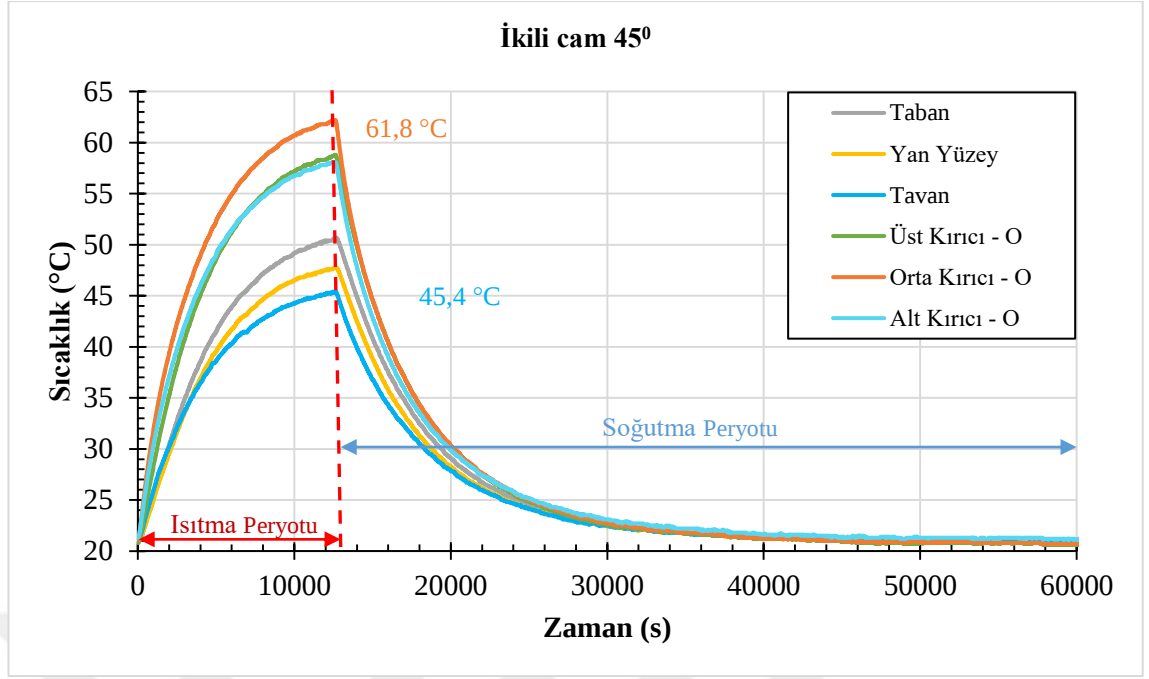
Deney kabini içine ikili cam yüzey önüne GKE'ları içi boş ve yatayda $30^0, 45^0, 60^0$ olacak şekilde yapılan deneylerde sıcaklık ile ışık değerleri belirlenmiştir. Yine PCM dolgulu yatayda $30^0, 45^0, 60^0$ derecede konumlandırılan GKE'ları ile yapılan deneylerde sıcaklık verileri belirlenmiştir. GKE'ları içerisine PCM doldurulmasının deney kabini içinde ışık şiddetini değiştirmeyeceği kabulü ile bu durumlar için ışık şiddeti ölçülmemiştir.

4.2.1. Güneş kontrol elemanları içi boş ve yatayda $30^0, 45^0, 60^0$ konumlandırılması durumu için sıcaklık ve ışık analizleri

Kabin içine ikili cam yüzey önüne GKE'ları içi boş olacak şekilde (PCM'siz) yatayda $30^0, 45^0, 60^0$ konumlandırılıp deneyler yapılarak sıcaklık ve ışık değerleri belirlenmiştir. Şekil 4.3.(a, b, c)'de C2, C3 ve C4 durumlarında ölçülen deney kabini; taban, tavan ve yan yüzey sıcaklıkları ile üst GKE iç sıcaklığı, orta GKE iç sıcaklığı, alt GKE iç sıcaklıkları grafikler halinde verilmektedir.



Şekil 4.3. (a,b,c). C2, C3 ve C4 durumlarında deney kabini için bazı noktaların sıcaklık değişimleri.



Şekil 4.3. (devam)

C2, C3 ve C3 durumlarında yapılan deneyler sonucunda, en yüksek sıcaklık orta GKE'ların orta kısmında sırasıyla 57,7 °C, 61,8 °C ve 62,1 °C olarak ölçülmüştür. Bu üç durum içerisinde en düşük sıcaklıkta C2 durumunda alt GKE'nın orta noktasından 42,7 °C ölçülmüştür. Kabin içi sıcaklık kararlılıkları da 40000'inci sn den sonra gerçekleşmiştir.

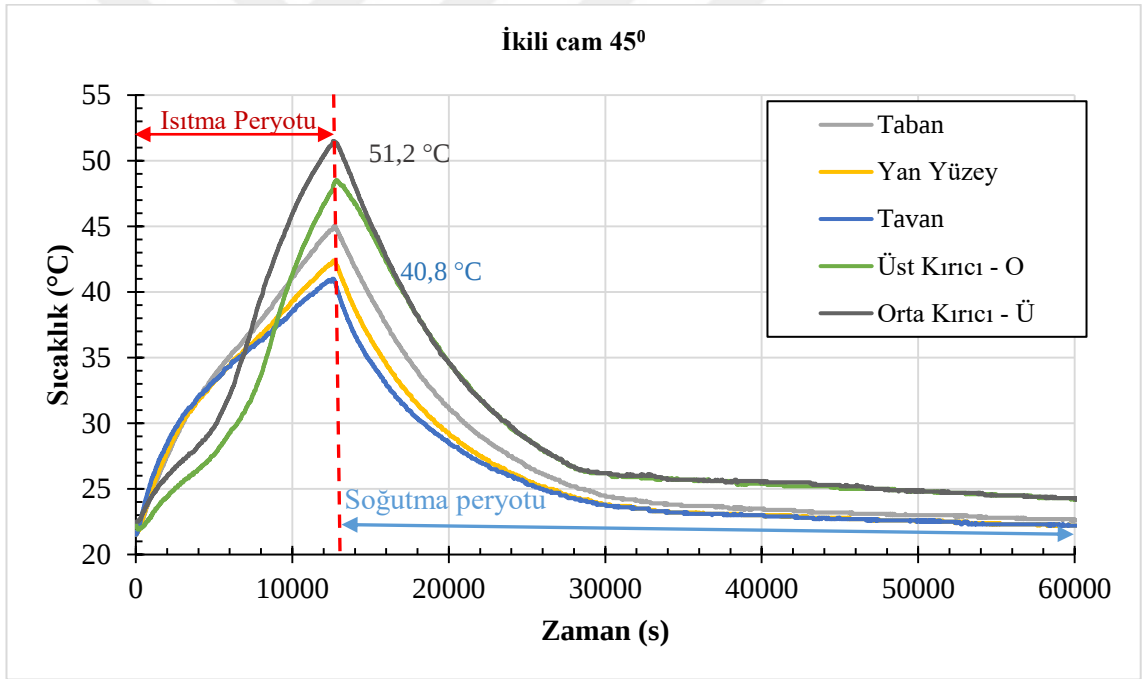
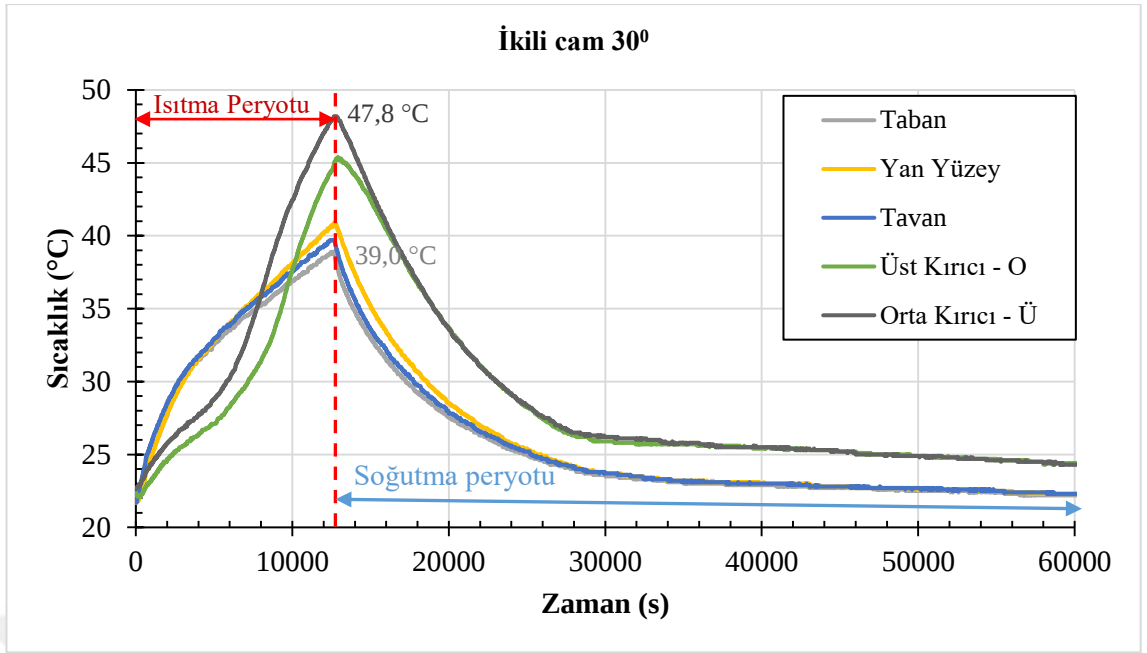
Kabin içi ışık değerleri C1 durumu ile karşılaştırıldıklarında C2, C3 ve C4 durumlarında ışık şiddetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Işık şiddetinin en çok azaldığı durumu C4'tür. Çizelge 4.2'de ikili cam yüzey önüne GKE'nın içi boş olacak şekilde (PCM'siz) yatayda 30⁰,45⁰,60⁰ konumlandırıldığında ölçülen ışık değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.2. C2, C3 ve C4 durumlarında kabin içi ışık değerleri

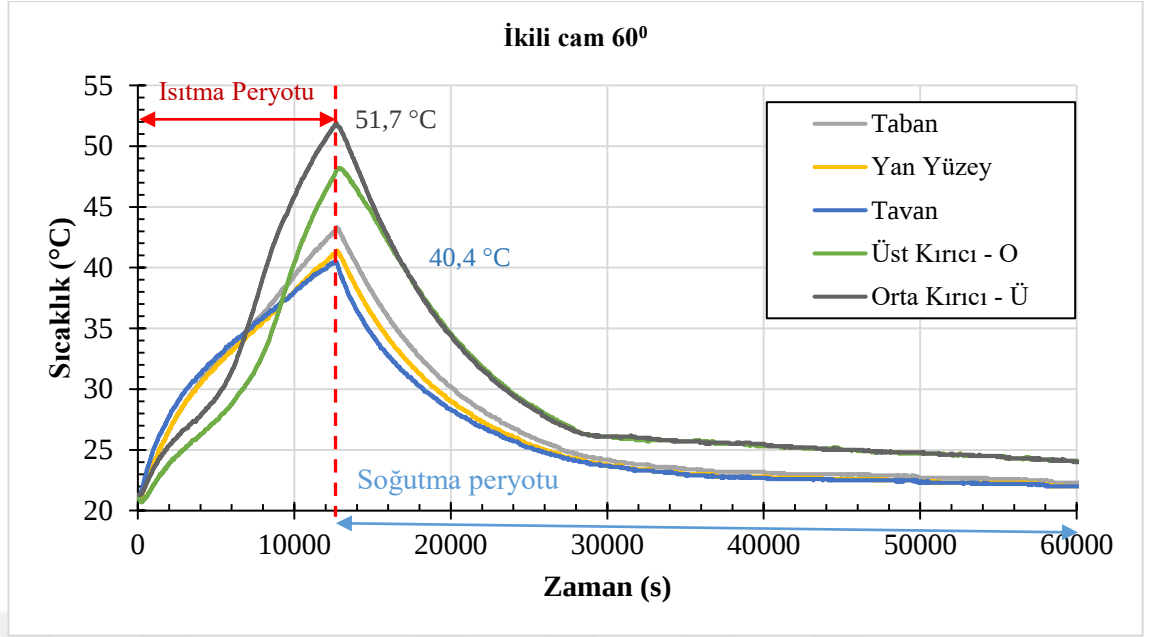
Kabin İçi Işık Değerleri	C2	C3	C4
Kabin camı önü zemin ışık değeri (lüks)	2.230	2.060	2.030
Kabin orta zemini ışık değeri (lüks)	990	890	850
Kabin yan yüzey ortası ışık değeri (lüks)	580	530	490
Kabin içi ortalama ışık değeri (lüks)	1.267	1.160	1.123

4.2.2. PCM dolgulu GKE'ların yatayda 30⁰, 45⁰, 60⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık analizleri

C5, C6 ve C7 durumlarında yapılan deneyler sonucunda ölçülen sıcaklık verileri Şekil 4.4.(a,b,c)'de grafikler halinde verilmektedir.



Şekil 4.4. (a,b,c). C5, C6 ve C7 durumları için deney kabini içinde bazı noktaların sıcaklık değişimleri.



(c)

Şekil 4.4. (devam)

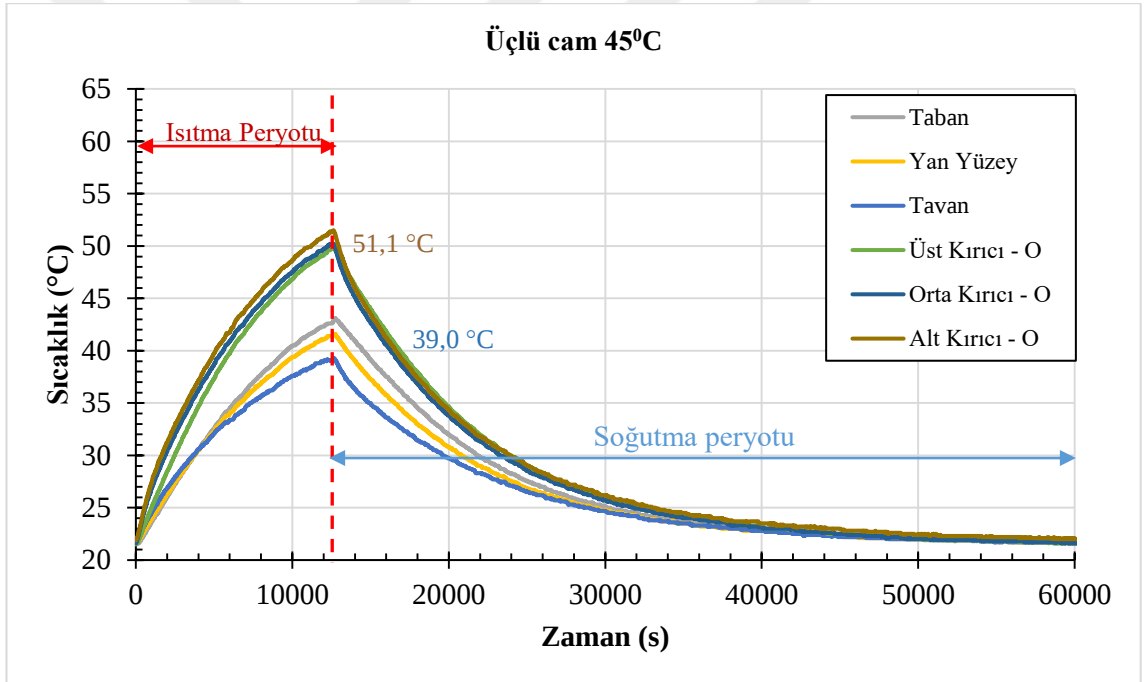
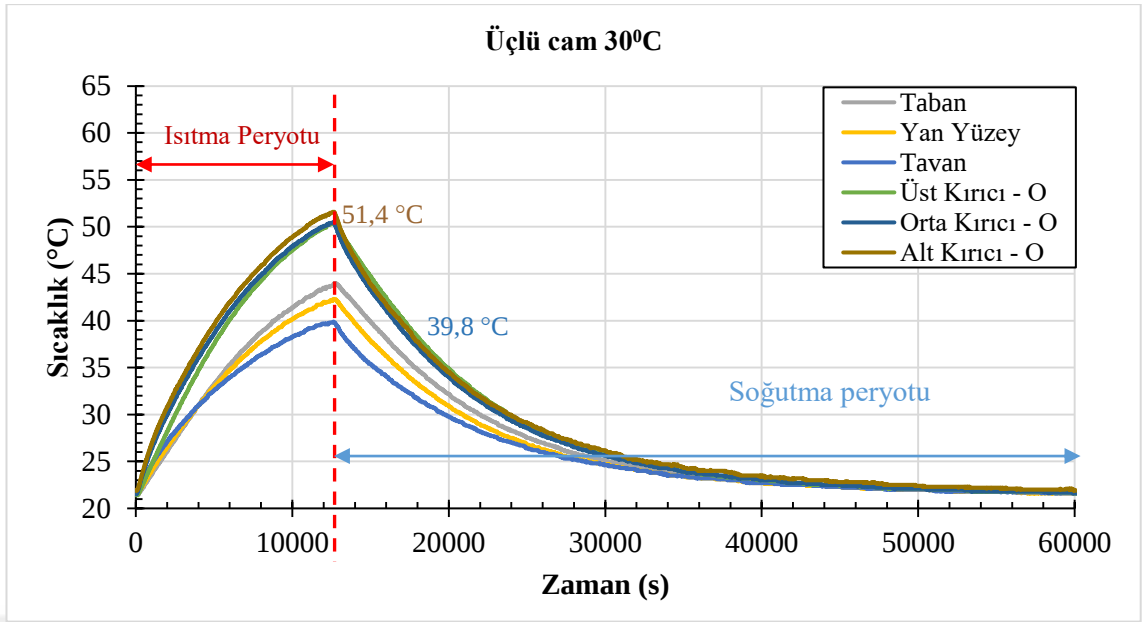
Şekil 4 (a, b, c) den görüldüğü üzere kabinde en yüksek sıcaklık orta GKE'nin orta bölümünde C7 durumunda 51,7 °C olarak ölçülmüştür. Deney kabinde en düşük sıcaklıkta C5 durumunda 39,0 °C tabanda ölçülmüştür. Her üç durumda soğutma periyodunda da üst GKE ve orta GKE yüksek sıcaklıklarda kararlı duruma gelinmiştir.

4.3. Üçlü Cam Durumu Sıcaklık ve Işık Analizleri

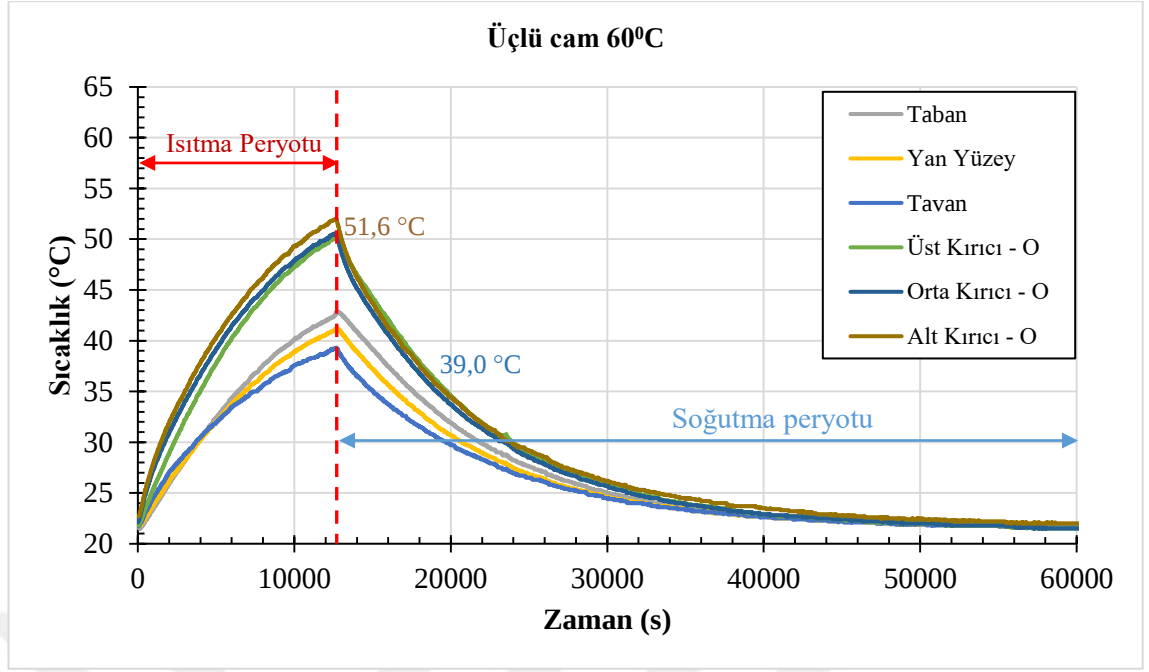
Deney kabini içine üçlü cam yüzey önüne GKE'ları içi boş ve yatayda 30°,45°,60° durumunda yapılan deneyler sonucunda sıcaklık ve ışık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Aynı şekilde PCM dolgulu yatayda 30°,45°,60° yapılan deneyler sonucunda sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

4.3.1. GKE'larının içi boş ve yatayda 30°,45°,60° konumlandırılması durumu için sıcaklık ve ışık analizleri

C9, C10 ve C11 durumlarında yapılan deneylerde sıcaklık ve ışık değerleri belirlenmiştir. Bu üç durumda deney kabinin belirli noktalarından ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimi Şekil 4.5.(a, b, c)'de grafikler halinde verilmektedir.



Şekil 4.5. (a,b,c). C9, C10 ve C11 durumlarında deney kabininin bazı noktaları için sıcaklık değişimi.



(c)

Şekil 4.5. (devam)

En yüksek sıcaklık değeri C11 durumunda alt GKE'da 51,6 °C olarak ölçülmüştür. En düşük sıcaklıkta orta GKE'da C10 ve C11 durumlarında 39,0 °C ölçülmüştür.

C9, C10 ve C11 durumlarında deney kabini içinde ölçülen ışık değerleri Çizelge 4.3'de verilmektedir. Üçlü cam özelliğinden dolayı gün ışığı geçirgenliği azalmaktadır. Baz duruma göre gün ışığı geçirgenliğinde en fazla azalma C11 durumunda oluşmuştur.

Çizelge 4.3. C9, C10 ve C11 durumlarında kabin içi ışık değerleri

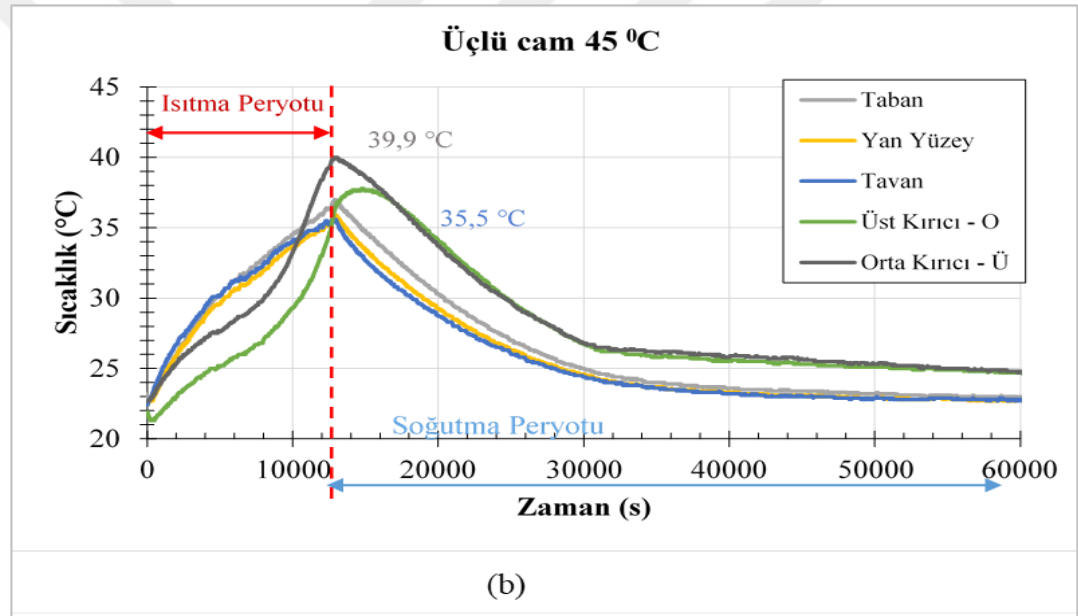
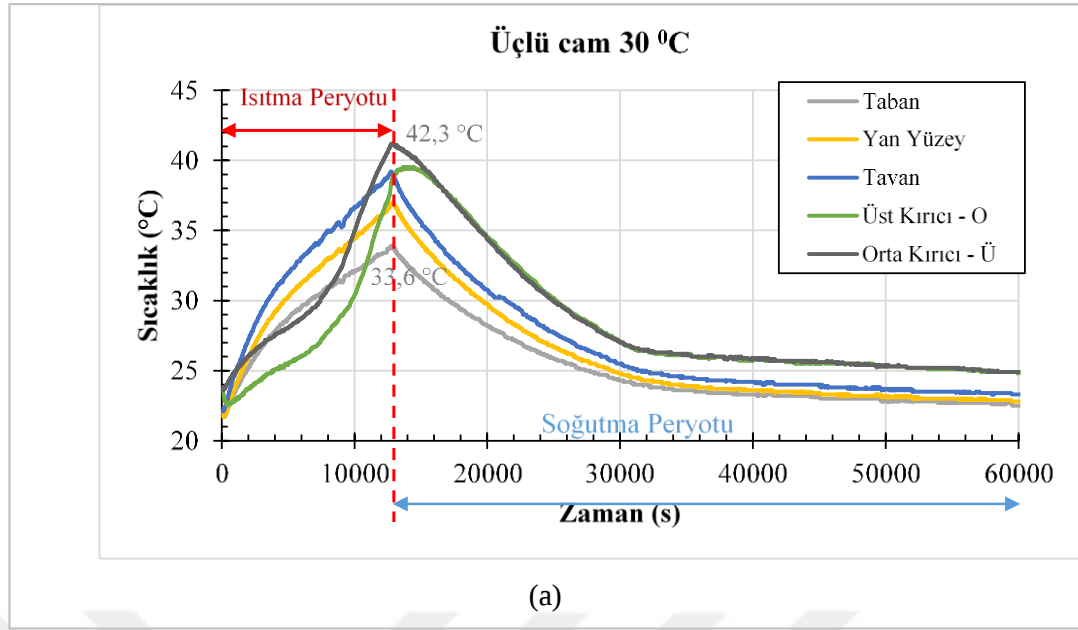
Kabin İçi Işık Değerleri	C9	C10	C11
Kabin camı önü zemin ışık değeri (lüks)	2.190	1.990	1.960
Kabin orta zemini ışık değeri (lüks)	780	710	650
Kabin yan yüzey ortası ışık değeri (lüks)	470	420	390
Kabin içi ortalama ışık değeri (lüks)	1.147	1.040	1.000

4.3.2. PCM dolgulu GKE'lerinin yatayda 30⁰,45⁰,60⁰ konumlandırılması durumu için sıcaklık analizleri

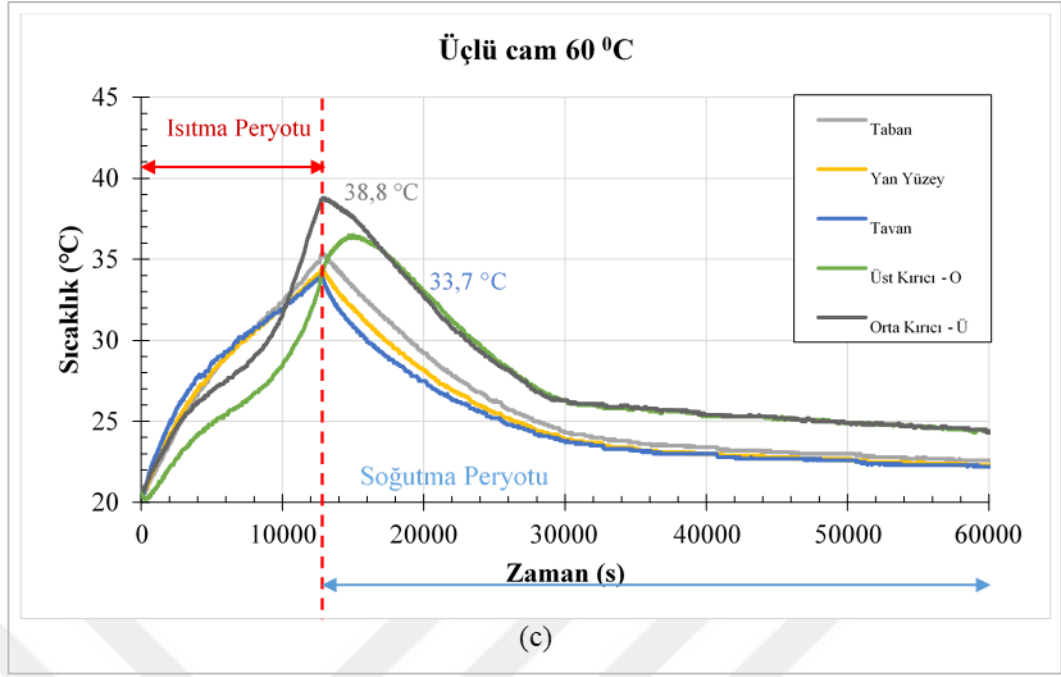
PCM dolgulu yatayda 30⁰,45⁰,60⁰ konumlandırılan GKE'lerinin üçlü cam yüzey önüne yerleştirildikten sonra yapılan deneylerde ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.6.(a, b, c)'de grafikler halinde verilmektedir.

PCM ilaveli GKE'ları kullanılan deneylerde solar radyasyonu tarafından kabin içerisine transfer edilen enerjinin bir kısmı PCM tarafından soğurulur ve PCM sıcaklığının artmasına sebep olur. PCM sıcaklığı ergime noktasına ulaştığında soğurulan enerji faz değişimi için gizli enerji olarak depolanır. Faz değişim süreci tamamen bittiğinde, yani GKE'ları içerisinde bulunan PCM'ler tamamen sıvı faza geçtiğinde gelen enerji yine PCM'lerin sıcaklığını arttıran duyulur enerji olarak kendini gösterir. Bu sebeple, solar radyasyonun bir kısmının PCM'ler tarafından absorbe edilmesi, kabin için sıcaklık artışını ve deney süresi boyunca maksimum sıcaklık değerlerini düşürecektir, nitekim öyle de olmuştur.

Soğuma periyoduna geçildiğinde, PCM'ler depoladıkları termal enerjiyi kabin içerisine aktarmaya başlarlar. Çünkü kabin dış ortama ısı kaybettiği için sıcaklığında düşüş vardır ve PCM'ler daha sıcak olduğu için bu sıcaklık farkı ısı transferini doğurmaktadır. PCM'lerin ısı iletkenlik değerlerinin de düşük olması bu ısı transferi sürecinin yavaş bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Düşük ısı transfer hızları olduğu için PCM'ler depoladıkları duyulur ve gizli enerjiyi hızlı bir şekilde kabin içerisine aktararak tüketmezler. Bu durum PCM kullanıldığı şartlarda kabin içi sıcaklığın daha yavaş düşmesine olanak tanır ki bu istenilen bir durumdur.



Şekil 4.6. (a,b,c). Üçlü cam, PCM dolgulu GKE'lerinin yatayda 30⁰,45⁰,60⁰ konumlandırılması durumunda deney kabini bazı nokta sıcaklıklarının değişimi.



Şekil 4.6. (devam)

Şekil 4.6 (a, b, c) den görüldüğü üzere üçlü cam yüzey önüne yerleştirilen PCM dolgulu GKE'ı ile kabinde en yüksek sıcaklık 30⁰ konumda orta GKE'nın da 42,3 °C olarak belirlenmiştir. En düşük sıcaklık da 60⁰ konumda tavanda ölçülmüştür. Orta ve üst GKE'larında soğutma periyotunda yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür. Bu iki GKE'nı 60000'inci saniyeden sonra kararlı hale gelmiştir.

4.4. Sıcaklık Analizlerinin Karşılaştırılması

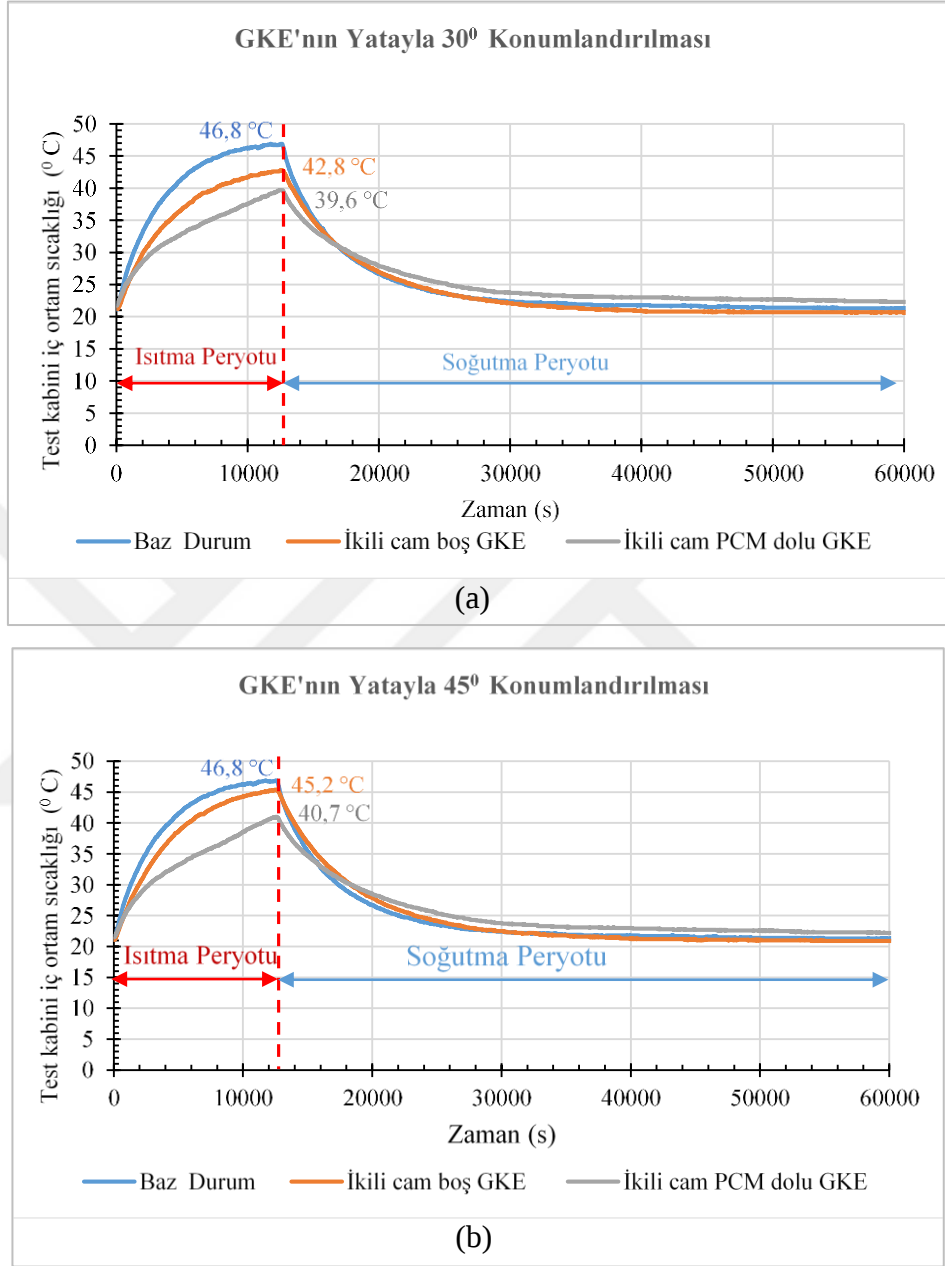
Üçlü ve İkili cam yüzey önüne GKE'ları içi boş ve PCM dolgulu olacak şekilde yatayda 30⁰, 45⁰, 60⁰ konumlandırılarak yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerleri kıyaslanarak enerji etkin durum belirlenebilmektedir.

4.4.1. C1 durumu ile C2 / C5, C3 / C6 ve C4 / C7 durumlarında kabin içi sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

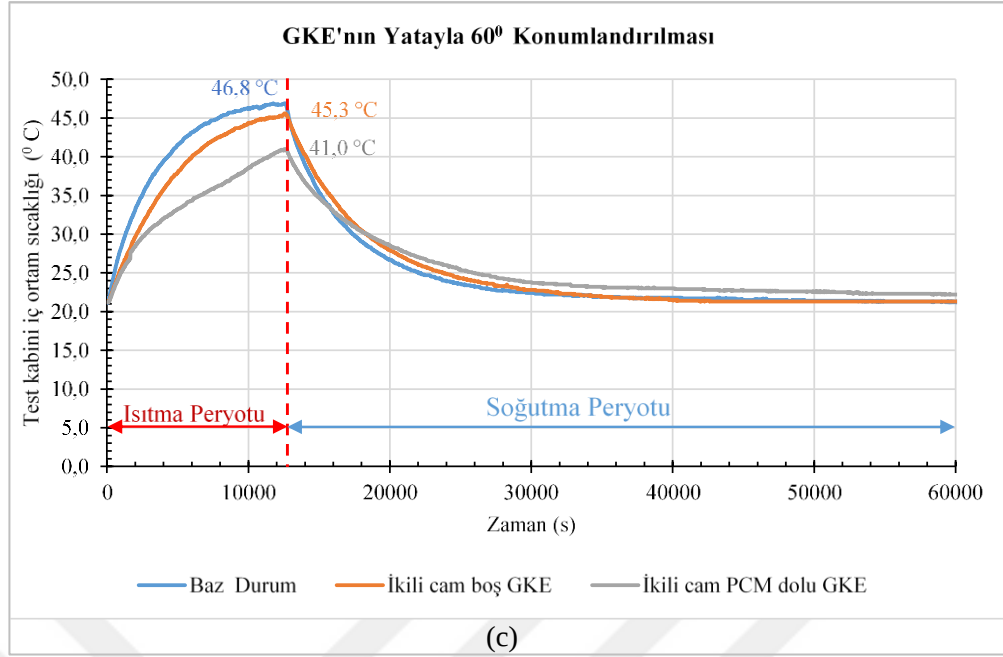
İkili cam durumunda yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması GKE'larının enerji etkinliği için önem taşımaktadır. Deney kabini iç

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

ortam sıcaklığının; GKE'lerinin içi boş, PCM ile dolu ve baz durumları için karşılaştırılması Şekil 4.7.(a, b, c)' de verilmektedir.



Şekil 4.7. (a,b,c). C1 durumu ile C2 / C5, C3 / C6 ve C4 / C7 durumlarında deney kabini iç sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması.

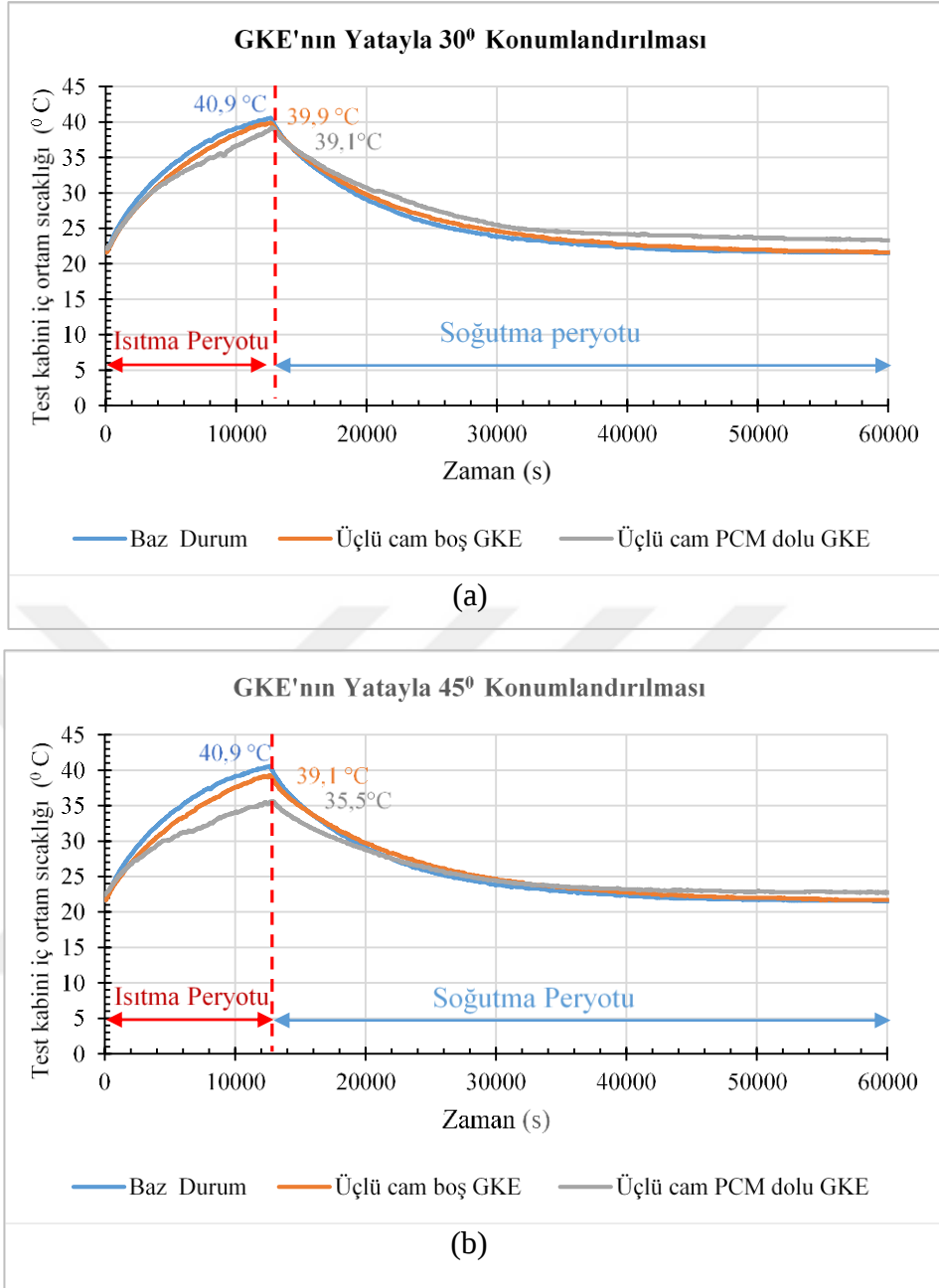


Şekil 4.7. (devam)

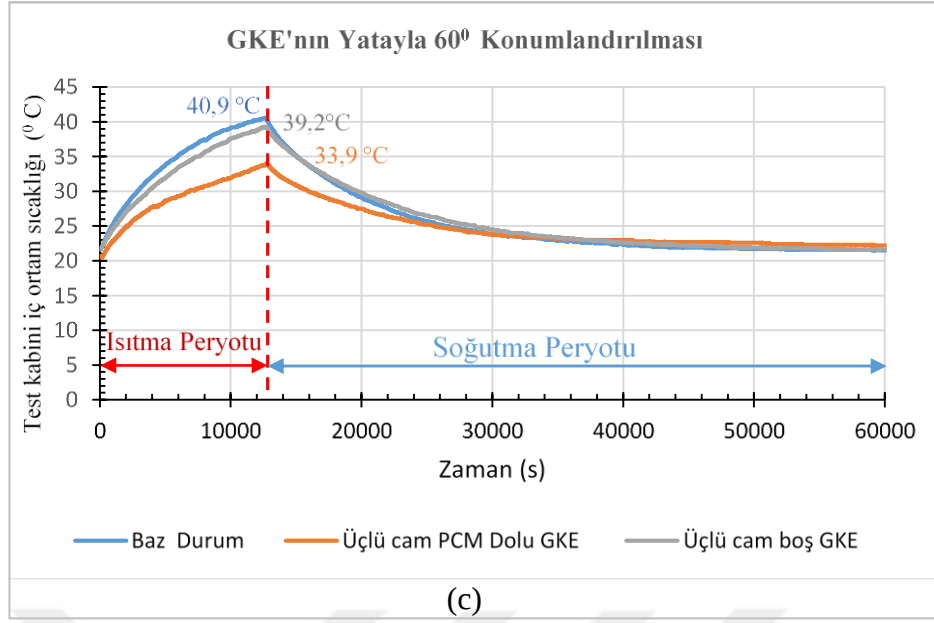
İkili cam yüzey önüne GKE'ları içi boş ve PCM dolgulu olacak şekilde yatayda 30°, 45°, 60° derece konumlandırıldığında PCM dolgulu deneylerde kabin iç sıcaklığı daha uzun bir sürede soğuma göstermektedir. Bu da PCM'in deşarj süresinin daha uzun olduğu ve enerjinin depolandığı göstermektedir.

4.4.2. C8 durumu ile C9 / C12, C10 / C13 ve C11 / C14 durumlarında kabin içi sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

C8 durumu ile C9 / C12, C10 / C13 ve C11 / C14 durumlarında yapılan deneylerde deney kabini iç ortamına ait ölçülen sıcaklıklarının karşılaştırılması Şekil 4.8. (a, b, c)'de verilmektedir.



Şekil 4.8. (a,b,c). Deney kabini iç ortam sıcaklığı için C8 durumu ile C9 / C12, C10 / C13 ve C11 / C14 durumlarının karşılaştırılması.

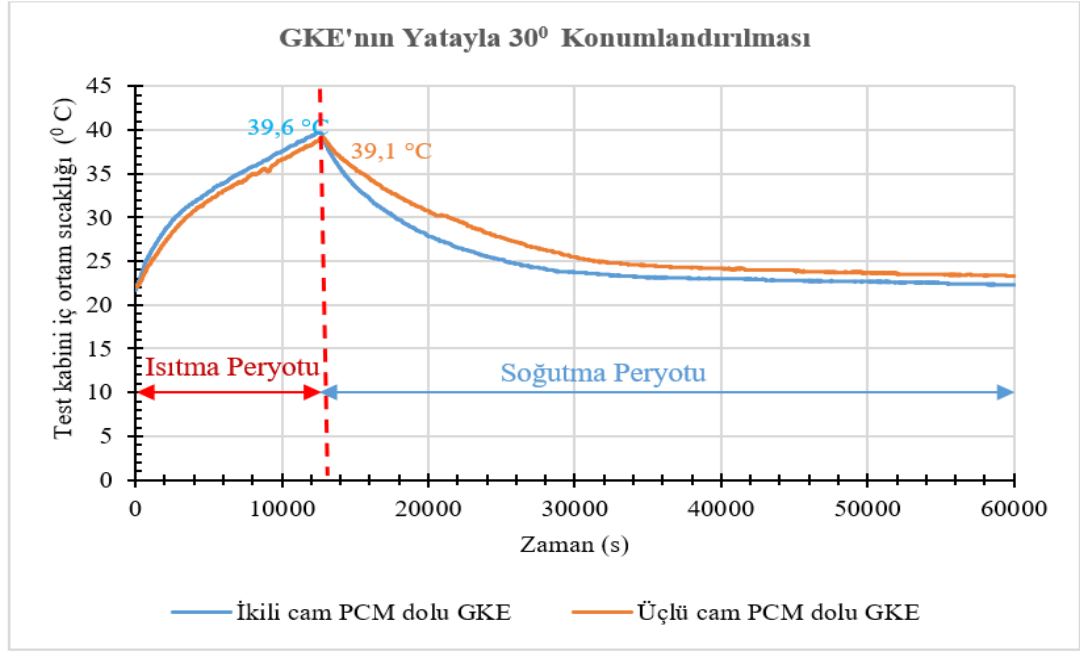


Şekil 4.8. (devam)

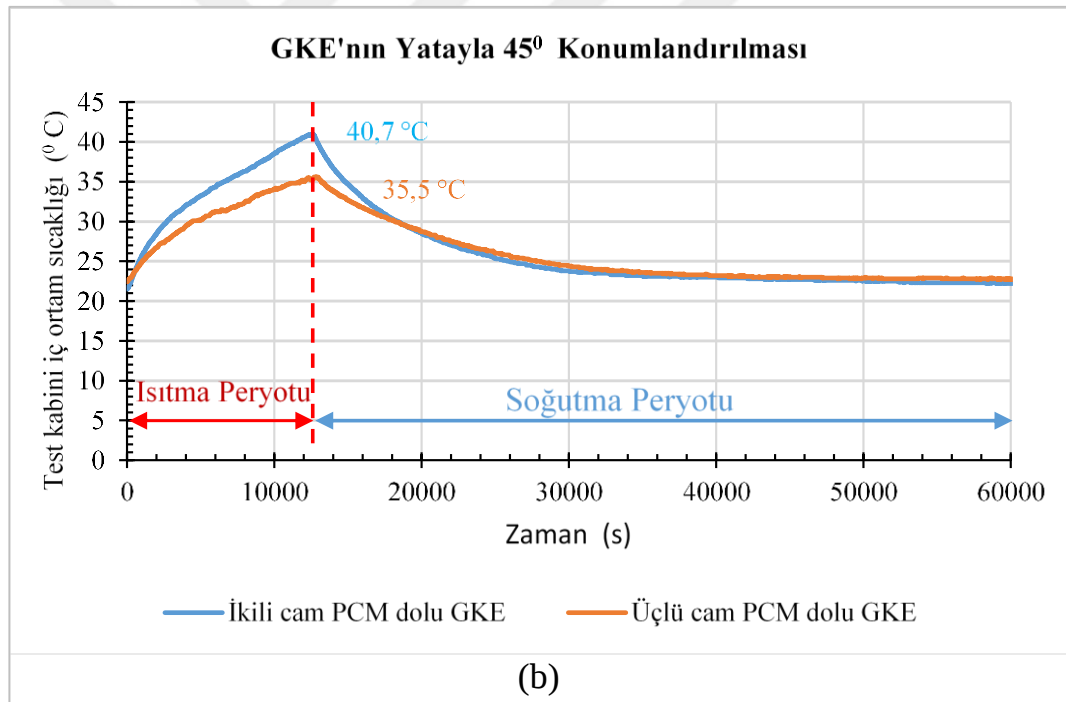
Üçlü camlı deney kabini iç ortam sıcaklığı GKE'lerinin içi boş ve PCM dolgulu yatayda 30° , 45° , 60° konumlandırıldığında yapılan deneylerde ısıtma periyodu sonunda en yüksek sıcaklık baz durumunda $40,9^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. PCM dolgulu GKE'ların da ise ne yüksek sıcaklık 30° konumda $39,1^{\circ}\text{C}$ belirlenmiştir. Bu konumda soğutma periyodunda sıcaklık en yüksek olarak gerçekleşmiştir. PCM deşarj süreside diğer konumlara göre daha uzundur.

4.4.3. C5/C12, C6/C13 ve C7/C14 durumlarında kabin iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması

Üçlü ve ikili cam durumlarında GKE'lerinin PCM dolgulu olacak şekilde yatayda 30° , 45° , 60° konumlandırılması ile yapılan deneylerde deney kabini iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması Şekil 4.8. (a, b, c)'de verilmektedir.

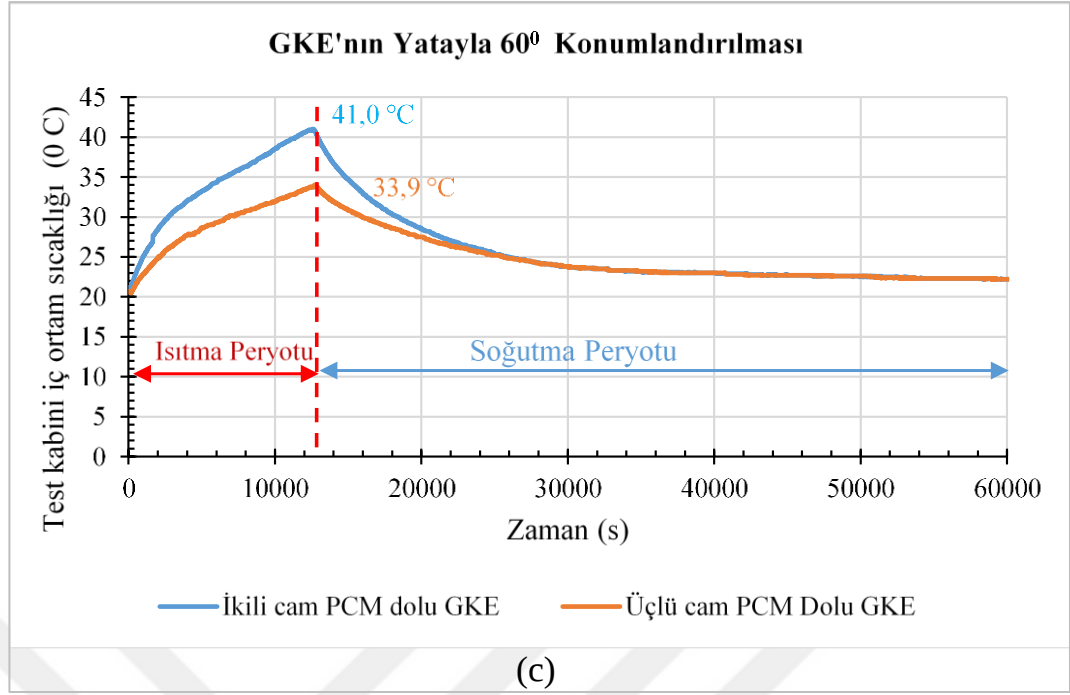


(a)



(b)

Şekil 4.9. (a,b,c). C5/C12, C6/C13 ve C7/C14 durumları için deney kabini iç ortam sıcaklıklarının karşılaştırılması.



Şekil 4.9. (devam)

Şekil 4.9.(a,b,c)'de yapılan karşılaştırmada; ısıtma periyodu sonunda kabin iç ortam sıcaklığı C5 durumunda 39,6 °C ölçülmüştür. C12 durumu ile arasındaki fark 0,5 °C olarak belirlenmiştir. C6 ve C13 durumlarının ısıtma periyodu bitiş sıcaklıkları arasında 5,1 °C fark belirlenmiştir. Bu iki durum için soğutma periyodunun başlangıç sıcaklıkları arasındaki fark 7,1°C olarak gerçekleşmiştir. Deneylerde kabin iç ortam sıcaklığı 21°C ile 21,8 °C arasında değişmektedir. Deneylerde soğutma periyotunda kabin iç ortam sıcaklıklarının başlangıç sıcaklıklarına 2 °C'e yaklaşma zamanları Çizelge 4.4.'te verilmektedir.

Çizelge 4.4. Soğutma periyotunda kabin iç ortam sıcaklıklarının başlangıç sıcaklıklarına 2 °C'e yaklaşma zamanları.

Durum No	Kabin İç Ortam Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Kabin İç Ortam Başlangıç Sıcaklığına 2 °C Yaklaşma	Kabin İç Ortam Başlangıç Sıcaklığına 2 °C Yaklaşma Zamanı (sn)
C1	21,1	23,1	26.355
C2	21,3	23,3	25.710
C3	21,1	23,1	27.840
C4	21,2	23,2	28.380
C5	21,7	23,7	29.955
C6	21,5	23,5	31.815
C7	21,2	23,2	33.825
C8	21,0	23,0	47.745
C9	21,6	23,6	33.660

Çizelge 4.4. (devam)

C10	21,8	23,8	32.760
C11	21,8	23,8	32.610
C12	21,3	23,3	35.415
C13	21,4	23,4	37.785
C14	21,0	23,0	47.745

Çizelge 4.4.'ten görüldüğü üzere C1 ve C8 durumlarında kabin iç ortam başlangıç sıcaklığına 2 °C yaklaşma süresi sıra ile 26.355 saniye ile 30.870 saniye olarak belirlenmiştir. C11 durumunda ise 32.610 saniyede kabin iç ortam başlangıç sıcaklığına 2 °C yaklaşma meydana gelmiştir. Bütün durumlar içerisinde kabin iç ortam başlangıç sıcaklığına 2 °C yaklaşma süresi en uzun olarak 47.745 saniye ile C14 durumu soğutma periyotunda belirlenmiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, 14 farklı durum için gerçekleştirilen deney verileri sıcaklık ve zaman parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, kabin içi ışık seviyesi de GKE'lerinin farklı açılardaki konumlandırılmasına göre belirlenip karşılaştırılmıştır.

Deneylerde ölçülen kabin içi ışık değerleri karşılaştırıldığında C1 durumunda en yüksek, C11 durumunda da en düşük değerler belirlenmiştir. Diğer durumlardaki ışık değerleri birbirlerine yakındır. Üçlü camlar, ikili camlara göre güneş radyasyonunun kabin içerisine geçişini daha fazla engellemiş ve bu sayede kabin içi sıcaklık yaklaşık 6 °C daha düşük seviyelerde elde edilmiştir. Buna bağlı olarak ışık seviyesinde de bir düşüş gözlemlenmiştir. Üçlü camlar ikili camlara göre ortalama 200 lüks daha düşük ışık seviyesine sahiptir. Sonuçlar; GKE'lerinin içinin boş ya da dolu olmasının ışık seviyesi üzerinde etkili olmadığını göstermektedir.

Deney sonuçları, soğutma periyotunda kabin iç ortam başlangıç sıcaklığına 2 °C yaklaşma süresinin en uzun olduğu C14 durumu üçlü camın ve PCM'in ısı enerjisi bakımından pozitif etkisini göstermektedir. Yine C14 durumunun enerji tasarrufu bakımından diğer durumlara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, GKE'lerinin yatayla daha dik bir şekilde konumlandırıldığında daha fazla solar radyasyona maruz kaldığını böylece daha fazla enerji absorbe edildiğini vurgulamaktadır. Daha yüksek enerji seviyesine ulaşan PCM'ler daha uzun süre boyunca kabin içerisine enerji transferi sağlamakta ve bu durum kabin iç ortam sıcaklığındaki düşüşün daha yavaş gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Böylece PCM'in enerji depolama kapasitesine bağlı olarak soğutma periyotunda kabin iç ortam başlangıç sıcaklığına ulaşma zamanı da daha uzun sürmektedir. Bu sayede iç ortam sıcaklığı uzun süre sabit kalmakta ve ortamda ani sıcaklık düşüşleri önlenmektedir.

Bu çalışma sonuçları; farklı malzemelerden üretilen GKE'leri ile deneyler yapılarak malzeme farklılığının termal performansa etkisinin araştırılmasına katkıda bulunabilir. Yine GKE'lerine farklı özelliklerde PCM'ler doldurularak deneylerin yapılması farklı PCM'lerin ısı performans üzerindeki etkilerinin araştırılmasına öncülük edebilir.

KAYNAKLAR

- Ahamer, G. 2024. The “Global change data base” GCDB facilitates a transition to clean energy and sustainability. *Clean Energy and Sustainability*, 2(1),10002.
- Akeiber, H., Nejat, P., Majid, M. Z. A., Wahid, M. A., Jomehzadeh, F., Famileh, I. Z., ve Zaki, S. A. 2016. A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1470-1497.
- Alawadhi, E.M. 2004. Dairesel bir muhafazada serbest konveksiyonla faz değişim süreci: sayısal simülasyonlar. *Bilgisayarlar ve Akışkanlar*, 33 (10), 1335-1348.
- Alemdağ, E. L. 2014. Enerji Etkin Tek Tabakalı Cepheelerde Güneş Kontrolü. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 144, 5-10.
- Anaç, M. 2019. Cephe gölgeleme elemanlarının ısıtma ve soğutma yükleri üzerine etkisi Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 96, Konya.
- Anonim, 2023a. Web Sitesi: <https://gepa.enerji.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 30.09.2024.
- Anonim, 2023b. Web Sitesi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, Erişim Tarihi: 28.09.2024.
- Anonim, 2024. Web Sitesi: <https://glasstool.sisecam.com/tr/HomePage.aspx>, Erişim Tarihi: 15.08.2024.
- Aydın, M. 2020. Türkiye koşullarında güneş panelleri için optimum sabit ve ayarlanabilir eğim açılarının belirlenmesi üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 182, Bursa.
- Barzin, R., Chen, J. J., Young, B. R., ve Farid, M. M. 2016. Application of weather forecast in conjunction with price-based method for PCM solar passive buildings–An experimental study. *Applied Energy*, 163, 9-18.
- Berkmen, M. H., ve Altın, M. 2020. Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kullanan Uyarlı Cephe Tasarımları.
- Cabeza, L. F., Castellon, C., Nogués, M., Medrano, M., Leppers, R., ve Zubillaga, O. 2007. Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings. *Energy and buildings*, 39(2), 113-119.
- Camelia, S. ve Dorin, S. 2014. Optimum Tilt Angle for Flat Plate Collectors All Over the World–A Declination Dependence Formula and Comparisons of Three Solar Radiation Models. *Energy Conversion and Management*, 81, 133- 143.
- Cirit, A. 2012. Binalarda Güneş Kontrol Elemanlarının Soğutma Enerjisi Yüklerine Etkisinin İrdelenmesine İlişkin Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, 81, İTÜ.

- Çağlar, A. 2018. Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 849-854.
- Çakır, O., ve Bayazıt, N. T. 2012. Düşey güneş kırıcı elemanların akustik açıdan optimizasyonuna yönelik bir hesap yöntemi, Sürdürülebilir Yapı ve Tasarımı Ulusal Konferansı, 12-13 Kasım, İzmir Yaşar Üniversitesi, Bildiri Özetleri Kitabı, 42, İzmir.
- Çetin, H. G., ve Dikmen, N. 2022. Bir ofis binasının enerji yüklerinin çift kabuklu cephe sistemi ve güneş kırıcılar ile azaltılması. Online Journal of Art & Design, 10(4).
- De Gracia, A., Navarro, L., Castell, A., Ruiz-Pardo, Á., Álvarez, S., ve Cabeza, L. F. 2013. Experimental study of a ventilated facade with PCM during winter period. Energy and Buildings, 58, 324-332.
- Eom, J. Y., Choi, W. K., ve Suh, S. J. 2005. A theoretical study on the optimal design of a overhang shading device based on balance point temperature. In Journal of Architectural Institute of Korea Conference, Vol 25, 235-238, Korea.
- Erdemli, M. İ. 2020. Elektrokromik kaplamalı camın farklı iklim bölgelerine göre enerji performansı değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 101, İstanbul.
- Gao, Y., Zheng, Q., Jonsson, J. C., Lubner, S., Curcija, C., Fernandes, L., ve Kohler, C. 2021. Parametric study of solid-solid translucent phase change materials in building windows. Applied Energy, 301, 117467.
- Gediri Gökçen, G. Ş. 2023. Uyum gösteren (adaptif) cepheler: Hareketli güneş kontrol elemanlarının ısı enerji performansının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 139, İstanbul.
- Gezer, F. G., ve Altın, M. 2024. Güneş Kontrolünde Pasif Olarak Kullanılan Gelişmiş Cam Malzemelerin İrdelenmesi. EKSEN Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 5(1), 70-85.
- Gönül, Ö. 2018. Türkiye'nin farklı iklim bölgeleri için optimal fotovoltaik panel eğim açılarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, 81, İstanbul.
- Guan, Y., Wang, T., Tang, R., Hu, W., Guo, J., Yang, H., ve Duan, S. 2020. Numerical study on the heat release capacity of the active-passive phase change wall affected by ventilation velocity. Renewable Energy, 150, 1047-1056.
- Heier, J., Bales, C., ve Martin, V. 2015. Combining thermal energy storage with buildings—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 1305-1325.
- Kenisarin, M., ve Mahkamov, K. 2007. Solar energy storage using phase change materials. Renewable and sustainable energy reviews, 11(9), 1913-1965.

- Kim, G., Lim, H. S., Lim, T. S., Schaefer, L., ve Kim, J. T. 2012. Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. *Energy and Buildings*, 46, 105-111.
- Kim, M., Leigh, S. B., Kim, T., ve Cho, S. 2015. A study on external shading devices for reducing cooling loads and improving daylighting in office buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(3), 687-694.
- Kim, S. H., Shin, K. J., Choi, B. E., Jo, J. H., Cho, S., ve Cho, Y. H. 2015. A study on the variation of heating and cooling load according to the use of horizontal shading and venetian blinds in office buildings in Korea. *Energies*, 8(2), 1487-1504
- Krumins, A., Lebedeva, K., Tamane, A., ve Millers, R. 2022. Possibilities of balancing buildings energy demand for increasing energy efficiency in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 98-114.
- Li, D., Li, Z., Zheng, Y., Liu, C., Hussein, A. K., ve Liu, X. 2016. Thermal performance of a PCM-filled double-glazing unit with different thermophysical parameters of PCM. *Solar Energy*, 133, 207-220.
- Li, G., Bi, X., Feng, G., Chi, L., Zheng, X., ve Liu, X. 2020. Phase change material Chinese Kang: Design and experimental performance study. *Renewable energy*, 150, 821-830.
- Luo, Y., Zhang, L., Bozlar, M., Liu, Z., Guo, H., ve Meggers, F. 2019. Active building envelope systems toward renewable and sustainable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 470-491.
- Neeper, D. A. 2000. Thermal dynamics of wallboard with latent heat storage. *Solar Energy*, 68(5), 393-403.
- Ofluoğlu, S. 2015. Performansa dayalı sürdürülebilir kavramsal mimari tasarım eğitimi. IX.Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu, 26-26 Haziran, Özyeğin Üniversitesi, Bildiri Özetleri Kitabı, 104-118, İstanbul.
- Ok, V., Çakan, M., Özgünler, M., ve Kavurmacıoğlu, L. 2011. Gölgeleme elemanlarının rüzgâr üstü bina yüzeyindeki basınç katsayılarına etkileri. *İTÜ Dergisi/a*, 8(1).
- Özyer, N. S. 2017. Cephede dıştan kullanılan gölgeleme elemanları ve uygulama yöntemlerinin örnekler üzerinden incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, 295, İstanbul.
- Rucevskis, S., Akishin, P., ve Korjamins, A. 2019. Performance evaluation of an active PCM thermal energy storage system for space cooling in residential buildings. *Environmental and Climate Technologies*, 23(2), 74-89.
- Ručevskis, S., Akishin, P., ve Korjamins, A. 2020. Parametric analysis and design optimisation of PCM thermal energy storage system for space cooling of buildings. *Energy and Buildings*, 224, 110288.

- Sarbu, I., ve Sebarchievici, C. 2018. A comprehensive review of thermal energy storage. *Sustainability*, 10(1), 191.
- Sarri, A., Bechki, D., Bouguettaia, H., Al-Saadi, S. N., Boughali, S., ve Farid, M. M. 2021. Effect of using PCMs and shading devices on the thermal performance of buildings in different Algerian climates. A simulation-based optimization. *Solar Energy*, 217, 375-389.
- Sensoy, S., Ulupinar, Y., Demircan, M., Alan, I., Bostan, P. A. 2010. Modeling solar energy potential in Turkey. *Balwois*, 25 - 29 May, Ohrid, Republic of Macedonia
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., ve Buddhi, D. 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318-345.
- Silva, T., Vicente, R., Rodrigues, F., Samagaio, A., ve Cardoso, C. 2015. Performance of a window shutter with phase change material under summer Mediterranean climate conditions. *Applied Thermal Engineering*, 84, 246-256.
- Silva, T., Vicente, R., ve Rodrigues, F. 2016. Literature review on the use of phase change materials in glazing and shading solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 515-535.
- Soares, N., Gaspar, A. R., Santos, P., ve Costa, J. J. 2015. Experimental study of the heat transfer through a vertical stack of rectangular cavities filled with phase change materials. *Applied Energy*, 142, 192-205.
- Solmaz, Z. 2021) Yüksek Yapılarda Çift Cidarlı Cephe Sistemlerinin İç Ortam Konforuna Etkisi. *International Journal of Mardin Studies*, 2(2), 57-74
- Soulayman, S. ve Hammoud, M. 2016. Optimum Tilt Angle of Solar Collectors for Building Applications in Mid-Latitude Zone. *Energy Conversion and Management*, 124, 20-28.
- Sönmez, B., ve Kıasif, G. Ç. 2018. Çevresel, sosyal ve ekonomik bağlamda akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir kalkınmaya etkileri. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 47-70
- Tuncer, A. D., Khanlari, A., Afshari, F., Sözen, A., Çiftçi, E., Kusun, B., Şahinkesen, İ. 2023. Experimental and numerical analysis of a grooved hybrid photovoltaic-thermal solar drying system. *Applied Thermal Engineering*, 218, 119288.
- Valladares-Rendón, L. G., Schmid, G., ve Lo, S. L. 2017. Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy and Buildings*, 140, 458-479.
- Vanaga, R., Narbutis, J., 2023. Zundāns, Z., ve Blumberga, A. 2023. On-site testing of dynamic facade system with the solar energy storage. *Energy*, 283, 128257.
- Wang, G., Ma, Y., Zhang, S., Li, D., Hu, R., ve Zhou, Y. 2023. Thermal performance of a novel double-glazed window combining PCM and solar control glass in summer. *Renewable Energy*, 219, 119363.

Zhai, Z., Abarr, M. L., Al-Saadi, S. N., ve Yate, P. 2014. Energy storage technologies for residential buildings. *Journal of Architectural Engineering*, 20(4), B4014004.

