

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ISIL KONFOR AMAÇLI
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ece YILMAZ YİĞİT

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet KABUL**

ISPARTA - 2019



© 2019 [Ece YILMAZ YİĞİT]

TEZ ONAYI

**FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ISIL KONFOR AMAÇLI
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ece YILMAZ YİĞİT tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan Prof. Dr. Ahmet KABUL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Dr. Öğr. Üyesi Kubilay TAŞDELEN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Dr. Öğr. Üyesi Banu ESENCAN TÜRKASLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../.... tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.../.../2019

Ece YILMAZ YİĞİT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Enerji Depolamanın Önemi.....	3
1.2 Enerji Depolamanın Amacı ve Faydaları	3
1.3 Enerji Depolama Yöntemleri	4
1.3.1 Kimyasal enerji.....	5
1.3.2. Mekaniksel enerji	5
1.3.3. Elektriksel enerji.....	7
1.3.4 Isıl (termal) enerji depolama	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Deney Sisteminin Tanıtımı ve Deneylerin Yapılması.....	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	23
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR	41
EKLER.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ISIL KONFOR AMAÇLI KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ece YILMAZ YİĞİT

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KABUL

Faz değıştiren maddeler konutlarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının en aza indirilmesi ve gün içerisinde konutta bulunan fazla ısı enerjisinin depolanmasında kullanılabilir. FDM'lerin konutların ısıtma ve soğutma ihtiyacının en aza indirilmesi amacıyla kullanımı fosil kaynakların tüketimini azaltırken aynı zamanda çevreye sera gazı salınımının önüne geçer. Bu bağlamda farklı tür FDM'lerin konutlarda ısıl konfor amacıyla kullanımının incelenmesi ve yaygınlaştırılması enerji verimliliği açısından faydalı olabilecektir.

Yapılan bu tez çalışmasında ısıl konfor şartlarının sağlanmasında harcanan enerji miktarını azaltmak için faz değıştiren maddelerden faydalanılmıştır. Çalışmada inceleme amacıyla insanların ısıl konfor şartı sıcaklığı olarak kabul edilen yaklaşık 22 °C'ye yakın sıcaklıklarda faz değıştiren maddeler Polyethilene Glycol-600 ve Calcium Chloride Hexahydrate (PEG-600 ve CCH) seçilmiştir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan deney düzeneği, karton kaplı ve kalınlığı 15 mm olan alçıpan (2,3 W/m.K) birbirine eş dört küçük odadan oluşmaktadır Birbirine eş bu dört odadan bir tanesi piyasada yalıtım amaçlı yaygın olarak kullanılan Ekspande Polistiren köpük (ısıl iletkenliği 0,032 W/m.K) ile tamamen yalıtılmıştır. Diğer üç odanın ise sadece taban ve tavan yüzeyleri aynı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Sadece taban ve tavan yüzeyi yalıtılan üç odadan bir tanesi boş bırakılmış diğer kutulara, iç çapı 9 mm, dış çapı 12 mm olan silikon hortumların içerisine PEG-600 ve CCH olmak üzere iki farklı faz değıştiren malzeme konulmuştur. Başlangıçta deneyler için test odalarında birer kilogram sonrasında ise ikişer kilogram FDM yerleştirilmiştir ve Faz değıştiren maddelerin ısıl konfor üzerindeki etkilerini görebilmek adına FDM'ler boş oda ve yalıtımlı oda ile kıyaslanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre FDM'ler ile boş oda kıyaslandığında gün içerisinde test odasında meydana sıcaklık değışimlerinin boş odaya göre FDM bulunan odada daha az olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıca Faz değışim sıcaklıklarının konfor şartlarına yakın sıcaklıklarda olması günün belirli saatlerinde (FDM'lerin faz değıştirdiği süreler içerisinde) ısıtma yada soğutma ihtiyacının olmadığı bu durumda konfor şartlarının sağlanması için enerji harcanmasının önüne geçtiğini göstermektedir.

1 kg PEG-600'ün bulunduğu test odası ile boş oda kıyaslandığında ortalama gece sıcaklıklarının %4, PEG- 600 miktarı 2 kg çıkarıldığında ortalama gece sıcaklıkları farkı %7 olduğu gözlemlenmiştir. 1 kg CCH'nin bulunduğu test odası ile boş oda kıyaslandığında ortalama gece sıcaklıklarının %3, CCH miktarı 2 kg çıkarıldığında ortalama gece sıcaklıkları farkı %6 olduğu ortaya koyulmuştur. Ayrıca PEG-600 bulunan test odası ile yalıtımlı odanın kıyaslamasında ortalama gece sıcaklıkları açısından madde miktarının iki katına çıkarılması ile başlangıçta %10 olan ortalama gece sıcaklığı farkı %4'e gerilemiştir. Benzer şekilde CCH bulunan oda ile yalıtımlı oda için yapılan deney sonuçları incelendiğinde başlangıçta %10 olan ortalama gece sıcaklıkları farkının madde miktarının artırılması ile %5'e kadar düştüğu gözlemlenmiştir. Böylelikle FDM'lerin test odası içerisindeki madde miktarlarının artırılması ile yalıtımlı test odasının verilerine daha yakın veriler ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren madde, ısı konfor, enerji verimliliği

2019, 54 sayfa

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

INVESTIGATION OF PHASE-CHANGING MATERIAL FOR THERMAL COMFORT PURPOSE

Ece YILMAZ YİĞİT

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KABUL

Phase-changing materials can be used to minimize the heating and cooling needs of the houses and to store the excess heat energy in the house during the day. The use of FDMs in order to minimize the heating and cooling needs of the houses reduces the consumption of fossil resources and prevents greenhouse gas emissions to the environment. In this context, examining and disseminating the use of different types of FDMs for thermal comfort in houses may be beneficial for energy efficiency.

In this study, phase changing materials were used to reduce the amount of energy spent in providing thermal comfort conditions. Polyethylene Glycol-600 and Calcium Chloride Hexahydrate (PEG-600 and CCH) were selected for the purpose of the study. The test apparatus prepared within the scope of the thesis consists of four small chambers with cardboard covered and 15 mm thick plasterboard ($2.3 \text{ W} / \text{mK}$). Only the floor and ceiling surfaces of the other three rooms are covered with the same insulation material. Only one of the three rooms whose base and ceiling surfaces were insulated was left empty, and two different phase-changing materials, PEG-600 and CCH, were placed in silicone hoses with an inner diameter of 9 mm and an outer diameter of 12 mm. Initially, one kilogram was placed in the test rooms and then two kilograms of FDM were placed in the test rooms for the experiments and FDMs were compared with the empty room and the insulated room in order to see the effects of phase-changing substances on thermal comfort.

According to the results obtained, when the FDMs were compared with the empty room, it was found that the temperature changes in the test room during the day were less in the room with FDM than the empty room. In addition, the fact that phase change temperatures are close to the comfort conditions indicates that there is no need for heating or cooling at certain times of the day (during the periods when the FDMs change phase) and in this case, energy consumption is prevented in order to provide comfort conditions.

When the test room with 1 kg PEG-600 was compared with the empty room, average night temperatures were observed to be 4% and when the amount of PEG-600 was removed 2 kg, the difference in average night temperatures was 7%. When the test room containing 1 kg of CCH and the empty room were compared, the average night temperatures were 3% and the difference of the average night temperatures was 6%

when the CCH amount was subtracted 2 kg. In addition, in comparison with the test room with PEG-600 and the insulated room, the average night temperature difference, which was initially 10%, was reduced to 4% by doubling the amount of material in terms of average night temperatures. Similarly, when the test results for the room with CCH and the insulated room were examined, it was observed that the average night temperature difference which was initially 10% decreased to 5% by increasing the amount of the substance. Thus, it was observed that FDMs produced data closer to the insulated test chamber by increasing the amount of substance in the test chamber.

Key Words: Phase-changing materials, thermal comfort, energy efficiency

2019, 54 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrbesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışmanım Prof. Dr. Ahmet KABUL'e teőekkrlerimi sunarım. Her aşamada benden tecrbe ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KARABOYACI hocama teşekkür ederim.

Manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim ve nerede olursa olsunlar bana sadece bir adım uzaklıkta olan aileme teőekkürlerimi ve Őukranlarımı sunarım.

Literatür araştırmalarımnda ve deneysel çalışmalarımnda yardımlarını esirgemeyen değerli eşim Arş. Gör. Fatih YİĞİT'e teşekkür ederim.

Ece YILMAZ YİĞİT
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Enerji depolama yöntemleri.....	5
Şekil 1.2. Isıl enerji depolama blok diyagramı .	8
Şekil 3.1. Deney Sisteminin genel görünümü.....	20
Şekil 3.2. Odaya yerleştirilen silikon hotrumlar ve polyehtilene glycol 600.....	20
Şekil 3.3. Oda içerisine yerleştirilen silikon hotrumlar ve Calcium Chloride hexahydrate	21
Şekil 3.4. Kullanılan termokupulun ve bağlantı konektörünün görünümü.....	21
Şekil 3.5. Veri toplama ünitesinin resmi.....	22
Şekil 4.1. Deney günü 1 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.....	24
Şekil 4.2. Deney günü 1 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri	25
Şekil 4.3. Deney günü 1 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri. 25	25
Şekil 4.4. Deney günü 1 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri	26
Şekil 4.5. Deney günü 2 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.....	27
Şekil 4.6. Deney günü 2 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri	27
Şekil 4.7. Deney günü 2 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri. 28	28
Şekil 4.8. Deney günü 2 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri	29
Şekil 4.9. Deney günü 3 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.....	30
Şekil 4.10. Deney günü 3 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri	30
Şekil 4.11. Deney günü 3 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.	31
Şekil 4.12. Deney günü 3 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri	31
Şekil 4.13. Deney günü 4 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.....	32
Şekil 4.14. Deney günü 4 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri	33
Şekil 4.15. Deney günü 4 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri	33
Şekil 4.16. Deney günü 4 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri	34
Şekil 4.17. Deney günü 5 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.....	35
Şekil 4.18. Deney günü 5 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri	35
Şekil 4.19. Deney günü 5 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri	36
Şekil 4.20. Deney günü 5. dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Polyetilene Glycol-600 fiziksel ve kimyasal özellikleri (MSDS PEG-600, 2019).....	18
Çizelge 1.2. Calcium Chloride Hexahydrate fiziksel ve kimyasal özellikleri (MSDS CCH, 2019)	19
Çizelge 4.1 Deney günü 1 ortalama sıcaklıkları	23
Çizelge 4.1 Deney günü 1 ortalama sıcaklıkları	23
Çizelge 4.2. Deney günü 2 ortalama sıcaklıklar.	26
Çizelge 4.3. Deney günü 3 ortalama sıcaklıklar.	29
Çizelge 4.4. Deney günü 4 ortalama sıcaklıklar.	32
Çizelge 4.5. Deney günü 5 ortalama sıcaklıklar.	34
Çizelge 5.1. Tüm deneyler için genel kıyaslamalar	38
Çizelge 5.2. FDM miktarının artırılması sonucu meydana gelen değişimler	39
Çizelge A.1. Tüm deneylerde yapılan on dakika aralıklı sıcaklık ölçümleri	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ATED	Akiferde Termal Enerji Depolama
CAES	Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama
CCH	Calcium Chloride Hexahydrate
ÇTED	Çukur ve Tanklarda Termal Enerji Depolama
d	Çap
FDM	Faz Değişiren Madde
KTED	Kanallarda Termal Enerji Depolama
PEG-600	Polyethylene Glycol 600
SMES	Süper iletken manyetik enerji depolama
T	Sıcaklık
TED	Termal Enerji Depolama
t	Zaman
Δ	Fark
η	Verim
ρ	Yoğunluk

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun gündelik yaşamını devam ettirebilmesi için gereksinim duyduğu temel ihtiyaçlarından biri olan enerji, “iş yapabilme yeteneği veya iş yapabilme kapasitesi” olarak tanımlanmaktadır (Çengel, 2015). Gelişen teknoloji ile birlikte enerji insanlar için temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. En basit ifadeyle aydınlatmadan ısınmaya, ulaşımdan rutin işlerimizi görmemizi sağlayan cihazların çalışmasına varıncaya kadar bütün alanlarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarihsel süreç içerisinde uygarlıklar ilkel enerji metodları geliştirerek işlerini görmeye çalışmışlardır. En yaygın olan biçimiyle odunsu bitkilerin yakılmasıyla ortaya çıkan ısı ve ışık enerjisi uzun yıllar boyunca yeterli kaynak olmuştur. Hızla artan insan nüfusu artan enerji gereksinimini de beraberinde getirmiştir. Büyük oranlardaki bu gereksinim üretimde yeni tekniklerin kullanılmasıyla karşılanabilmiştir. Buharlı makinelerin 1800’lü yıllarda faaliyete geçmesiyle birlikte sanayi devrimi başlamış ve yeni bir enerji çağının kapısını aralamıştır. İngiltere’nin öncülüğünde başlayan bu gelişme Kıta Avrupası’na ve oradan da tüm dünyaya yayılmıştır (Ağaçbiçer, 2010).

Enerji üretimi için çoğunlukla fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların yapısında yer alan hidrokarbonların yanması (oksijenle tepkimesi) sonucu canlılar için zararlı olan CO_x ve NO_x gibi gazlar atmosfere verilmektedir. Atmosfere verilen bu gazlar havanın kirlenmesine neden olmaktadır. Kirlenen hava belirli bir süre sonra asit yağmurlarına dönüşmekte ve asit yağmurları da çevre tahribatına neden olmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların en büyük zararlarından biri de ozon tabakasını delmesidir. Sera etkisine sebep olan bu gazlar atmosferin etrafını kaplayarak, dünyaya gelen güneş ışınlarının yansımaya ve tekrar uzay boşluğuna dönmeye engel olmaktadır. Bunun sonucu olarak küresel ısınma, iklim değişikliği gibi hem çevreyi hem de canlıları etkileyen olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır.

Toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 40’ı konutlarda gerçekleşmektedir ve ayrıca dünyadaki sera gazı salınımlarının üçte biri binalarda tüketilen yakıtlardan kaynaklanmaktadır (EİE Faaliyet Raporu, 2003). Bunun yanı sıra son yıllarda nüfus ve konut sayısındaki hızlı artış ısı konforu için tüketilen enerji miktarını da arttırmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının sürekli olarak karşılanabilmesi için uzun vadeli ve güvenilir

kalkınma planlarının yapılması gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında, temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları en etkili ve en verimli çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, konvansiyonel (fossil) enerji kaynaklarından farklı olarak tükenmeyen ve yenilenebilme potansiyeline sahip kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga gibi birçok enerji türü bulunmaktadır. Fossil enerji kaynaklarının dünyada ciddi çevre sorunlarına yol açması, rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olması, kaynak ülkelere bağımlılığın çeşitli siyasi ve ekonomik sorunlara yol açması ve fiyat istikrarsızlıkları gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır (Yılmaz, 2012). Yenilenebilir enerji, toplam küresel enerji talebinin üçte ikisini karşılayabilir ve küresel yüzey sıcaklığının 2 °C 'nin altındaki ortalama sıcaklık artışını sınırlandırmak için 2018 ve 2050 arasında ihtiyaç duyulan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir (Dolf vd., 2019). Yenilenebilir enerji kaynakları, temiz ve çevreci kaynaklar olup en önemli özellikleri yerli kaynaklar olmalarıdır. Yani doğadaki kaynaklardan elde edilebilen ve doğa tarafından daimi olarak takviye edilebilen enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından sürekli bir fayda sağlayabilmek için enerjiyi depolamak gerekmektedir. Termal enerji depolama sistemleri (TED) kullanılarak sürekli olmayan enerji ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmak üzere kısa (gece/gündüz) veya uzun (mevsimlik veya dönemlik) süreli olarak depolanabilmektedir. Gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklılıklarından faydalanarak depolama bir kaç saatlik fazla kullanım sağlayan pratik bir sistem olup birçok uygulama alanı bulunmaktadır, uzun süreli depolama ise enerjinin geri kazanımının bir kaç ayda gerçekleştiği daha büyük ölçekli bir depolama tekniğidir (Dinçer vd., 2002). Kısa süreli depolamalarda faz değiştiren madde kullanımı daha yaygın bir teknikken uzun süreli depolamada duyulur ısı depolama daha çok tercih edilmektedir (Hasnain,1998).

1.1. Enerji Depolamanın Önemi

Enerji depolanması, enerji arzı ve talebi arasındaki zaman veya oran uyumsuzluğunu azaltır, böylece enerji korunmasında hayati bir rol oynar. Günümüzde dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır. Bunun yanı sıra dünyadaki enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta, bu durum da fosil yakıt kullanımını giderek arttırmaktadır. Bahsi geçen fosil yakıtların rezervleri dünya üzerinde sınırlıdır ve artan enerji ihtiyacına bağlı olarak bu fosil yakıtların miktarı giderek azalmaktadır. Bu durum da gelecekteki üretim/tüketim dengesinin sağlanmasını tehlikeye düşürmektedir (Hadjiposcholis vd., 2009).

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin bir şekilde çalışması hava veya iklim şartlarına bağlıdır. Doğa koşullarına son derece bağımlı durumda olan bu enerji kaynakları ile üretilen enerji sezonluk, günlük ve hatta anlık olarak bile büyük değişimler gösterebilmektedir. Bu durum üretilen enerjinin genel enerji talebi ile tam olarak örtüşmemesine neden olabilmektedir. Enerji ihtiyacının her durumda yeterli şekilde karşılanabilmesi için enerji depolama sistemleri büyük öneme sahiptir. Temel olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen fazla enerji depolanmalı ve daha sonra üretim seviyeleri istenen talepten düşük olduğu durumlarda ya da ana kaynakların mevcut olmadığı durumlarda talebin karşılanmasında kullanılmalıdır.

1.2. Enerji Depolamanın Amacı ve Faydaları

Enerji depolamanın amacı, enerjinin kullanıldığı alanlarda oluşan atık ısıyı ve belirli zamanlarda enerji verebilen (örneğin güneş enerjisi gibi) yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisini depolayarak, enerji temin zamanı ile talebi arasında doğabilecek farkı gidermektir.

Enerjinin depolanması halinde enerji sistemlerinin verimi artırılmakta, alternatif enerji kaynaklarından kesintisiz yararlanılabilmekte, sürdürülebilir ve uzun ömürlü enerji sistemleri sağlanmakta ve yerel kaynaklardan yararlanarak dışa bağımlılığı azaltılmaktadır.

Enerjinin depolanarak kullanılması enerji üretimi için kullanılan yakıtların çevreye verdiği zararın önüne geçilmesinde önemli rol oynar. Fosil yakıtların daha az tüketilmesine bağlı olarak çevreye yayılan sera gazı miktarının azalması, iklim değişiklikleri ve küresel ısınmanın en aza indirilmesini sağlayacaktır. Ülkemizin fosil yakıtlar bakımından dışa bağımlılığı da düşünüldüğünde, enerji depolamayla sağlanacak enerji tasarrufu ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacaktır (Sarı, 2011).

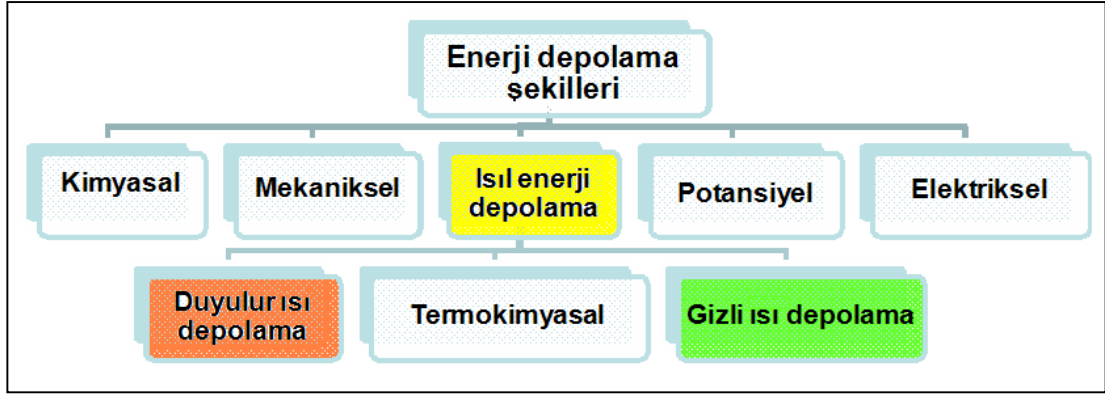
1.3. Enerji Depolama Yöntemleri

Enerjiye ihtiyaç duyulduğu zaman kullanabilmek için saklamaya depolama denir (Boztepe.,2006). Enerji depolaması, bir bakıma hem doğadaki hem de insan yapımı süreçlerdeki tüm olayların bir parçasıdır. Doğada büyük ve küçük miktarda enerji içeren çok çeşitli enerji depolama sistemi örnekleri vardır. Örneğin doğada biyokütle hayvanlar ve parazitler için enerji deposudur.

Bir depoda aranan özellikler;

- Yüksek depolama kapasitesi,
- Yüksek şarj/deşarj verimi,
- Kapasite kayıplarının az olması,
- Uzun ömür,
- Ucuzluk,
- Enerjiyi en az hacimde ve ağırlıkta depolayabilmesi (enerjinin yoğun olması (kWh/kg veya kWh/litre)).

Enerjiyi çok farklı formlarda depolama yöntemleri vardır. Bunlardan başlıca enerji depolama yöntemleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji depolama yöntemleri

1.3.1. Kimyasal enerji

Kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerjiye kimyasal enerji adı verilmektedir (Kozak vd., 2012). Termokimyasal bir reaksiyon ile enerji depolanması isteniyorsa bu reaksiyon ürünleri kolayca ayrılabilir ve başka zincir reaksiyonlara girmemelidir. Enerji kimyasal bileşiklerin oluşturduğu bağlarda depolanabilir ve ekzotermik reaksiyonlarla tekrar kazanılabilir. Bunun için bazen bir katalizör (ısı, enzim vs.) kullanmak gerekebilir. En çok kullanılan yöntemler; hidrojen ve amonyaktır. Hidrojen gazı elektroliz yoluyla sudan elde edilebilir. Gaz depolanabilir, taşınabilir ve yakılarak depoladığı enerji açığa çıkarılabilir. Yanma sonucu açığa çıkan egzoz sadece sudur ve çevre dostudur. Günümüzde kullanılan hidrojenin büyük bölümü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Hidrojenin depolanması basit değildir. Yanıcı ve patlayıcı bir gazdır. Sıvı halde depolamak için (donma noktası 20°K (-253°C) olduğundan) sürekli soğut tutmaya ihtiyaç vardır. Metal hidritler olarak depolanırsa hem ısıtarak kolayca enerji geri kazanılabilir hemde büyük hacimler depolanabilir. Bu şekilde mobil araçlara enerji deposu olarak kullanılabilir. Tek sorun kullanılacak metalin ağırlığı ve maliyetidir. Ayrıca yakıt hücresi ile havadan hidrojen ve oksijen elde edilebilmektedir (Kozak vd., 2012).

1.3.2. Mekaniksel enerji

Bir malzeme sistemine kuvvet uygulayarak, bu kuvvetin sonucu oluşan enerjiyi depolamada iki temel sistem vardır. Bunlardan birincisi potansiyel enerjideki değişim ile ilişkili iken, ikincisi kütlenin hareketinden doğan enerji, yani kinetik enerji ile ilişkilidir. Kinetik enerji, bir iş yaptığında mekanik enerji olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu iki enerji birbirlerine dönüştürülebildikleri gibi ısı enerjisine veya işe de dönüştürülebilir (Huggins, 2010).

1.3.2.1.Hazneli pompalı sistemler

Hazneli pompalı sistemler en eski ve en büyük enerji depolama sistemleridir. Mevcut donanımlarla kapasitesi 1000 MW veya üzerinde olabilmektedir. Hazneli pompalı sistemler ne kadar mekanik depolama teknolojisi olarak bilinse de en fazla elektrik üretim amacıyla kullanılmaktadır. Geleneksel hazneli pompalı sistemlerde dikey şekilde konumlanmış iki adet su rezervuarı bulunmaktadır. Elektriğin çok az kullanıldığı zamanlarda su düşük seviyeden yüksek seviyeye pompalanarak enerji depolanır ve ihtiyaç olduğu zamanlarda tekrar elektrik üretilebilir (Linden vd., 2002).

1.3.2.2. Sıkıştırılmış hava ile enerji depolama

Sıkıştırılmış havayı depolama (CAES) sistemi, bir hava depolanma tankının içinde enerjinin yoğun kullanımın gerektirmediği yani düşük kullanımın olduğu zamanlarda bir kompresör vasıtasıyla enerjinin depolanmasını sağlar. Sıkıştırılmış hava sistemleri elektrik enerjisini, havayı yüksek basınç altında kaplara ileten kompresörleri hareket ettirmek ve daha sonra bir piston veya türbin içerisinde, basınç altındaki bu havayı gerektiğinde enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılır (Turan vd., 2016). Bir CAES santralinin depolama net verimliliği sıkıştırmada meydana gelen sıcaklıktan dolayı sınırlanır. Enerji depolama verimliliği yaklaşık %75 civarındadır.

1.3.2.3. Volanlar

Basit volanların kullanımı ile kinetik enerji depolanması yüzyıllardır uygulanmakta olan bilinen en eski yöntemlerden biridir. Mekanik sistemlerde darbeli çalışan yüklerde, tahrik gücünün fazla olduğu periyotlarda fazla enerjiyi üzerine alır, yük talebinin arttığı periyotlarda bu enerjiyi yüke aktararak yük dengelemesi yapar. Özellikle doğrusal hareketin dönme hareketine çevrildiği mekanik tahrik sistemleri için ideal bir çözümdür. Çok hızlı bir şekilde dönen tekerlekteki kinetik enerjinin bir biçimi bu volanlar da depolanmış halidir. Bu kapsamda volan, mekanik bir batarya görevi üstlenmektedir (Kozak vd., 2012).

1.3.3. Elektriksel enerji

Cisimlerin atom yapısındaki elektronların hareket etmesiyle oluşan kuvvete elektrik enerjisi adı verilmektedir. Elektrik enerjisi maddeye ait bir özelliktir (Kozak vd., 2012).

1.3.3.1. Ultrakapasitörler / süperkapasitörler

Elektrik enerjisi kondansatörlerde depolanabilir. Kondansatörler enerjiyi pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitörler iki tane iletken plaka ile bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkanlardan oluşmaktadır. Dielektrik malzeme iki levha arasında ark oluşmasını önleyerek daha fazla şarj yapılmasına yardım eder. Klasik kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir (yaklaşık olarak 10^{12} W/m³). Fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür (yaklaşık olarak 5 Wh/m³). Klasik kapasitörler genel olarak elektrolitik kapasitörler olarak adlandırılırlar. Süperkapasitörler (Ultrakapasitör diye de adlandırılır) ise klasik kapasitörlerin geliştirilmiş olanlarıdır. Bu kondansatörlerin güç yoğunlukları 10^6 W/m³ ve enerji yoğunlukları 10^4 Wh/m³ değerindedir. Enerji yoğunlukları az fakat deşarj süreleri hızlı ve çevrim ömrü daha fazladır. Ancak kapasitörlerin asıl olarak boyut problemleri vardır. Kapasitörlerin kapasitesi ve dielektrik malzeme arasında lineer bir bağlantı vardır. Bu yüzden büyük kapasite gerekli olduğunda zorunlu olarak dielektrik malzeme de büyük olmak durumunda olmalıdır. Süperkasitörler yapıldıktan sonra çok büyük kapasiteler gayet küçük boyutlardaki kapasitörlerle yüksek enerji depolamaya olanak sağlanmıştır. (Kozak vd., 2012).

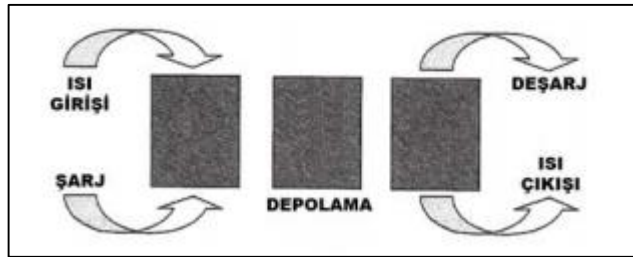
1.3.3.2. Süperiletken manyetik enerji depolama

SMES sistemleri enerjiyi, çok iyi şekilde yalıtılmış bir şişede bulunan sıvı helyum gibi çok soğuk bir sıvı içerisine batırılmış süper iletken manyetik bir bobin ile depolar (Yavuz, 2011).

1.3.4. Isıl (termal) enerji depolama

Isı enerjisi bir maddeyi oluşturan atom veya moleküllerin, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamıdır ve atomik veya moleküler titreşimler sonucu oluşur. İki farklı ısıl enerji depolama mekanizması vardır. Birincisi katı ve/veya sıvı malzemelerin sıcaklık artışıyla beraber bünyelerinde depoladığı enerjidir. Diğeri ise kimyasal bir değişikliğe uğramadan malzemelerin faz değişimine sebep olan ısı depolamadır (Huggins, 2010). Termal enerji depolama sıcak veya soğuk daha sonra kullanılmak üzere depolanmasına imkân sağlarken, enerji üretimi ile tüketimi arasındaki sıcaklık, zaman, yer veya güç farkının, arz- talep bağlamında dengesinin sağlanmasına yardımcı olur (Cabeza vd., 2002). Dolayısıyla termal enerji depolama, ihtiyaca göre sıcak veya soğuk ya da her iki depolama için kullanılabilir. Isıl depolamanın yapılabilmesi için bir santralin atık ısısı, güneş enerjisi ve jeotermal enerji vb. ısı kaynaklı sistemlere ihtiyaç vardır (Kocaman, 2013).

Tüm termal enerji depolama sistemlerinde temel prensip aynıdır. Enerjinin, ihtiyaç olduğunda geri alınmak üzere, sisteme geçici bir süre için beslenmesi esasına dayanır. Genel bir sistem, Şekil 2’de görüleceği üzere, üç kademededen oluşur: 1- Şarj 2- Depolama ve 3- Deşarj. Bazı pratik sistemlerde bu aşamalar aynı anda çalışıyor veya birden fazla tekrarlanıyor olabilir (Turan vd., 2016).



Şekil 1.2. Isıl enerji depolama blok diyagramı (Kocaman, 2013).

1.3.4.1. Duyulur ısı depolama

Duyulur ısı, ısı depolama materyalinin sıcaklığındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ısıdır. Isı depolama; sıvı, katı ve sıvı ile katının beraber olduğu hibrit materyallerde yapılabilir. Çok sayıda depolama ve geri kazanma çevriminin gerçekleştirilmesi bu

sistemin avantajı, gereksinim duyulan depo hacminin büyük olması ise dezavantajıdır (Konuklu, 2008).

Duyulur ısı uygulamalarında ısı daha çok uzun süreli olarak depolanır. Uzun süreli depolamalar Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED), Kanallarda Termal Enerji Depolama (KTED) ve yer altı mağaraları çukur ve tanklarda termal enerji depolama (ÇTED) şeklindedir (Dikici, 2004).

1.3.4.2. Termokimyasal enerji depolama

Isı enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek uzun süre depolanabilir. Termokimyasal ısı depolamanın ilkesi; ekzotermik olarak tepkimeye girebilen iki bağlarda ısı depolanmasına dayanır. Depolama sisteminin ömrü prensip olarak sınırsızdır. Kimyasal bağların tersinir olarak ayrışma ve birleşmesi sırasında, ısı değeri yüksek olan kimyasal tepkimeler gerçekleştiğinden, ısı depolama kapasitesi genellikle yüksektir (Konuklu, 2008).

1.3.4.3. Gizli ısı depolama

Gizli ısı depolama, maddenin faz değişimi sırasında aldığı ya da saldığı ısıdır. Depolama katı-sıvı, katı-katı, sıvı-buhar ve buhar-katı dönüşümleri kullanılarak gerçekleştirilebilir (Özonur,2004). Ancak uygulanabilirliğinin rahatlığı açısından en çok tercih edilen sıvı-katı dönüşümüdür. Ayrıca farklı kristal örgülere sahip katıların bir kristal örgü durumundan diğerine geçişte aldıkları ve saldıkları ısılar katı-katı dönüşümüyle depolamada kullanılabilir. Bu konuda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir (Mazman, 2006).

Gizli ısı depolama yöntemleri için gerekli depo hacmi duyulur ısıya göre daha küçüktür. Depolama ya da enerji dönüşümü için araştırma maliyeti düşüktür. Faz değiştiren maddeler (FDM) sabit bir sıcaklık aralığında depolama olanağı sağlar ve erime sıcaklığına bağlı olarak hem ısıtma hem soğutma amaçlı kullanılabilirler. Termal enerji transferi, katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçtiğinde gerçekleşir. İlk olarak, bu katı-sıvı PCM'ler geleneksel depolama materyalleri gibi performans gösterir, sıcaklıkları ısıyı absorbe ettikçe artar. Geleneksel (hassas) depolama

malzemelerinin aksine, PCM neredeyse sabit bir sıcaklıkta ısıyı emer ve serbest bırakır. Çok sayıda PCM'nin istenen herhangi bir aralıkta füzyon ısısı ile eridiği bilinmektedir. Bununla birlikte, gizli ısı depolama malzemeleri olarak kullanılmaları için, bu malzemelerin istenen bazı termodinamik, kinetik ve kimyasal özellikler göstermesi gerekir (Atul vd., 2009).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yılmaz (2008), bu çalışmada termal enerji depolama (TED) sistemleri ile soğutma uygulamalarında kullanılmaya uygun Faz Değiştiren Madde (FDM) karışımlarını geliştirmiştir. Dodekan, Tridekan, Tetradekan ve Pentadekan maddelerinin her biri için beş farklı bileşimdeki ikili alkan karışımları hazırlamıştır. Hazırlanan ikili alkan karışımlarının erime ve donma sıcaklık aralıklarının -12°C ile 10°C aralığında olduğunu belirlemiştir. Bu sıcaklık aralığında faz değiştiren karışımların buzdolabı, taşıma kutuları ve konteynir gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabileceğini saptamıştır. Karışımların ısınma soğuma eğrileri, erime entalpileri gibi termal özelliklerini deneysel olarak elde etmiştir. Bu sonuçlardan elde edilen faz diyagramlarını inceleyerek FDM'lerin termal davranışlarını araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Tridekan(1)-Dodekan(2), Tridekan(1)-Tetradekan(2), Tridekan(1)-Pentadekan(2), Tetradekan(1)-Dodekan(2), Tetradekan(1)-Pentadekan(2) karışımlarının soğutma uygulamalarında kullanılabilecek FDM'lere aday olarak önermektedir.

Konuklu (2008), faz değiştiren maddeleri Adana ilindeki bir test odasının ısıtma soğutma yükünü azaltmak amacıyla kullanmıştır. Bina içerisinde kullanılan faz değiştiren maddelerin erime noktası ve ergime ısısının termal enerji depolama özelliği ile enerji tasarrufuna katkıda bulunduğunu göstermiştir. Boş test odası ile karşılaştırıldığında mikrokapsüllenmiş FDM'lerin yazın soğutma yüküne %5-10; kışın ısıtma yüküne %10-20 arası katkı sağladığını tespit etmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarının farklı yerlerde uygulama yapılmasına gerek kalmadan kullanılabilmesi için Design Expert programı yardımı ile simülasyon çalışmaları yapılmış ve bir model geliştirmiştir. Simülasyon sonuçları deney sonuçları ile uyum içinde olup modelin benzer uygulamalar için kullanılabileceğine karar vermiştir.

Benli ve Durmuş (2009), havalı güneş kolektörleri ile seralarda ısı transfer proseslerine dayanan bir deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sera içerisinde bulunan gizli ısı depolama tankı, faz değiştirici malzeme ile doldurulmuş, gün ışınının olduğu saatlerde havalı güneş kolektörleri yardımıyla sera ısıtılması ve kimyasal madde şarj edilmiştir. Isı gereksiniminin daha çok olduğu gece saatlerinde ve soğuk hava durumlarında ise kimyasal madde deşarj edilerek depolanan ısıdan faydalanmışlardır. Çalışmada; 5 değişik yüzey geometrilerinde inşa edilmiş 10 adet

havalı güneş kollektörü, hava fanı, hava akış kanalları, gizli ısı depolama tankı, kimyasal madde, ölçüm ve diğer yardımcı ekipmanlar kullanılmıştır. Deneyle, seraların ısıtma ihtiyacının olduğu Eylül ve Kasım ayları boyunca yapmışlardır. Isı depolama verimi ve kollektör verimi, kollektör basınç kaybı, kimyasal madde erime ve donma ısı yükleri bulunmuştur. Çalışmalarında sera ısıtılmasında gündüz havalı güneş kollektörleri kullanımıyla sera ısıtılmasının gayet elverişli ve uygun olduğunu saptamışlardır.

Yılmazoğlu (2010), yaptığı çalışmada ısı enerji depolama yöntemlerinden; sıvılarda depolama, katılarda depolama, mevsimsel depolama, kimyasal depolama ve faz değiştiren maddelerde depolama hakkında bilgi vermiş ve depolama yöntemi seçimindeki önemli noktaları vurgulamıştır. Belirtilen depolama yöntemleri ile ısı enerjisinin depolanarak binalardaki enerji tüketiminin azaltılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca hastane, alışveriş merkezi gibi ortak kullanım sahası olan büyük binalarda ısı enerji depolamayla birlikte enerjinin verimli kullanılabileceğini ve çevresel faydalar sağlayabileceğini vurgulamıştır.

Okcu ve Varol (2014), bu çalışmada, dikey bir geometride ve kapalı bir sistem içerisinde bulunan Faz Değiştiren Maddenin (FDM) katılma sürecini sayısal olarak incelemişlerdir. Geçici sayısal simülasyonları bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği olan ANSYS-fluent12.0 ticari paket programını kullanarak yapmışlardır. Sayısal simülasyonda FDM olarak kullanılan madde, gizli ısı depolama sistemlerinde sıklıkla kullanılan parafin mumudur. Çalışma, dikey bir geometride sabit duvar sıcaklığında, 5 ve 10 kanatçıklı ve kanatçık olmayan modeller kullanılarak yapılmıştır. Sistemin başlangıç sıcaklığı sabittir ve maddenin katılma noktasının birkaç derece üzerindedir. Katılma süreci sabit duvar sıcaklığının yeni bir sabit değerde değiştirilmesi ile başlar. Sonuçlar, geçici faz değişim sürecinin sistemin geometrik yapısına, ortamın termal şartlarına ve kullanılan malzemenin özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca geometri üzerine yerleştiren kanatların katılma sürecini oldukça hızlandırdığı da görülmüştür.

Xing ve arkadaşları (2014), faz değiştiren maddenin bina duvarındaki yerinin ısı performansındaki etkilerini bulmak için diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) testleri yapmışlardır. Faz değiştiren maddenin sırasıyla erimeyen, kısmen erimiş ve

tamamen erimiş durumlardaki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlara göre faz değiştiren maddenin durumunun aşırı soğutma derecesi ve PCM'nin faz değişim performansı üzerinde büyük etkileri olduğunu göstermişlerdir. PCM'nin soğumadan önce kısmen erimiş haldeyken gizli ısıyı daha hızlı yaydığını ortaya koymuşlardır. PCM duvardaki farklı yerlere yerleştirildiğinde, termal çevrimler sırasında PCM'nin sıcaklık aralıkları farklı olduğu için, PCM'nin konumu ve bunun sonucunda PCM'nin faz değişim performansı ve ısı performans üzerinde önemli etkileri olduğunu ifade etmişlerdir.

Xian ve arkadaşları (2014), gerçek koşullarda oda modellerinin beton duvarlarında bulunan makro kapsüllenmiş faz değiştiren malzemeleri (PCM) deneysel olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre PCM modellerinin iç ortam sıcaklığını ve nemlilik seviyelerini ayarlayabildiğini ancak etkinliğinin PCM'nin beton duvarlardaki konumuna büyük ölçüde bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Beton duvarlarda lamine edilmiş PCM'li modelin en iyi sıcaklık kontrolünü sağladığı ve maksimum sıcaklığın 4°Cye kadar düşürülmesinde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte PCM'li beton duvarların iç tarafına yerleştirilen modelin nem kontrolünde en iyi performansı gösterdiğini ve bu modelin bağıl nemi % 16 daha fazla azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca PCM'nin Hong Kong'daki toplu konut dairesinde uygulanmasının, 11 yıllık bir geri ödeme süresi ile ekonomik olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kızılkın ve Dinçer (2015), Kanada Ontarria Üniversitesi'nde bulunan dünyanın en büyük ikinci kuyu ısı enerjisi depolama sistemini ısıtma uygulaması için termodinamik açıdan incelemişlerdir. Balans eşitlikleri yardımıyla ısıtma sisteminin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlar ve her bir sistem elemanı için ekserji yıkımlarını belirlemişlerdir. Isı pompası sistemlerinin yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı sıcaklıklarının enerji ve ekserji verimleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Isıtma uygulaması için COP değerini 2,65; kazanların enerji ve ekserji verimlerini de sırasıyla %83,2 ve %35,83 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca ekserji analizleri sonucunda en büyük ekserji yıkımının kazanlarda olduğunu, bunu yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcının izlediğini belirtmiştir. Tüm sistemin toplam ekserji verimini %41.35 olarak hesaplamışlardır.

Güngör ve Kabul (2015), yaptıkları çalışmayla güneş enerjili ısıtma sisteminde termal enerji depolama ile ısıtma ihtiyacının sürekli karşılanmasını amaçlamışlardır. Güneş enerjisini, düşük sıcaklıklarda faz değiştiren sodyum asetat trihidrat maddesi üzerine depolamışlardır. Deneyle Isparta ilinde faz değiştiren maddeli ve faz değiştiren maddesiz sistemler için ayrı ayrı yapmışlardır. FDM üzerine depolanan enerji miktarı ve bulunduğu ortama etki süresini incelemişlerdir. Faz değiştiren madde kullanımı ile birlikte güneş enerjisinden yararlanma süresinin ortalama %20 arttığını saptamışlardır.

Farah ve arkadaşları (2016), farklı iklim koşulları altında soğutma yüklerini azaltmak için binalardaki farklı PCM uygulamalarına ve PCM'nin başarılı ve etkili kullanımını etkileyen faktörleri incelemişlerdir. PCM uygulamalarında, yaz hava koşullarının, PCM performansı üzerindeki yoğun etkisi, gece boyunca tamamen katılaşmasını engelleyen ve dolayısıyla gün içindeki etkinliğini sınırlayan birçok dezavantajı ortaya koymuşlardır. Bu dezavantajların çözümü için çeşitli çalışmaları inceleyerek öneriler sunmuşlardır. Ayrıca bina uygulamalarında PCM'nin etkili bir şekilde kullanılması sağlayacak önerileri özetleyerek bir topoloji diyagramında ifade etmişlerdir.

Lu ve diğerleri (2016), DSC test metodu ile faz değiştiren maddelerin ısınma / soğutma hızları, çeşitli bileşenlerden oluşan bazı ticari PCM'lerin uyumsuz donma süreçleri ve kısmen erime, kısmen donma ve kısmen erime ve donma kasaları dâhil olmak üzere tamamlanmamış faz değişim işlemlerini analiz etmişlerdir. DSC testteki sonuçların ısıtma / soğutma oranından büyük ölçüde etkilendiğini, ancak bunların düşük bir hızda elde edilip edilmediklerinin tam olarak gerçek PCM'lerin uygulamalarında hala kanıtlanmadığını ifade etmişlerdir.

Muriel ve diğerleri (2016), bir hava-faz değişim malzemesi (PCM) ünitesinin termal performansı deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde hava giriş sıcaklıklarının ve hızlarının PCM panellerinin şarj / deşarj süresi, ısıtma / soğutma yükü ve faz değişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde hava giriş sıcaklıklarını ve hızlarını sırasıyla 34 °C, 36 °C ve 38 °C 0.6 m/s, 1.6 m/s ve 2.5 m/s olarak almışlardır. Hava giriş hızının artmasıyla PCM'nin şarj etme ve boşalma zamanını lineer olmayan bir şekilde azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca hava giriş hızının artmasıyla PCM'nin tam erime ve katılaşması için gerekli sürenin azaldığını ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak hava giriş hızının azaltılması ile faz değiştirme

süresinin uzatılmasıyla binalarda ısı konfor amaçlı kullanılacak PCM'lerin daha etkin olabileceğini belirtmişlerdir.

Xing ve arkadaşları (2016), bina duvarlarının ısı performansı, faz değişim malzemeleri (PCM'ler) kullanılarak iyileştirilebilir olduğunu belirterek termal kütle arttırılması ve duvardaki tepe ısı akışlarının azaltılması amacıyla, çerçeve duvarlarına, çerçeve ve yalıtıma paralel olarak birleştirilecek ince PCM katmanının optimum yerini tahmini üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında oluşturdukları matematiksel bir modele dayanarak, bu ince PCM katmanının optimal bir yerinin ortaya koymuş ve PCM'in termal özelliklerinden ve çevresel koşullardan etkilendiği ifade etmişlerdir. PCM katmanı için optimum konumlar, PCM katmanının kalınlığı, PCM'nin füzyon ısısı ve PCM erime sıcaklığı artarken duvarın dış yüzeyine daha yakın olduğu, optimum yer ise iç kısımlara daha yakın olduğu tespit etmişlerdir.

Ayoub ve arkadaşı (2017), ahşap gibi hafif malzemelere dayanarak hafif zarfların ısı ataletini arttırmak amacıyla, faz değiştiren malzemelerin bu zarflara entegrasyonu konusunda çalışmışlardır. Bu incelemeyi gerçekleştirmek için küçük ölçekli bir test düzeneği kurmuşlardır. Yaptıkları testlerde dört farklı PCM'nin değerlendirmişlerdir. Duvar yüzeyindeki ısı akısı ve yüzey sıcaklığı azalmasına dayanarak PCM'nin en uygun yerleştirme şeklini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre PCM katmanının ısı kaynağına yakın konumunun, yüzey sıcaklığını 2 °C düşürdüğünü ve PCM katmanı, ısı kaynağından uzağa yerleştirildiğinde hiçbir etkinin gözlenmediğini ifade etmişlerdir.

Emad (2017), BAE'nin sıcak iklimi altında organik faz değişim materyali (PCM) içeren tipik Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) tuğlalarının ısı analizini sayısal olarak incelemiştir. Isı kaynağının dalgalanmasını ve tepe zaman kaymasını azaltmak için füzyonun gizli ısıtması kullanmış ve soğutma için tüketilen enerjiyi, dolayısıyla sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedeflemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre n-Octadecane PCM'nin 27 °C erime sıcaklığı ile kullanılmasının bu uygulama için en iyi enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur.

Erlin ve arkadaşları (2017), bir odada farklı erime sıcaklığına sahip iki PCM'nin yerleştirilmesi için bileşik PCM odası (kompozit bir PCM odası ve PCM'siz oda

sıradan bir oda) kurmuşlardır. İç ortam hava sıcaklığı, ısıl yük seviyelendirme, iç yüzey sıcaklıklarının standart sapsması test etmiş ve hem yaz hem de kış için analiz yapmışlardır. PCM duvarının termal davranış simülasyon platformu, TRNSYS ile birlikte hassas ısı kapasitesi yöntemi ile PCM katmanının erime sıcaklığı ve kalınlığının, ısı emme/bırakma performansına etkisi ortaya koymuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre yaz aylarında, sıradan odaya kıyasla, PCM odası gün içinde yaklaşık 4.28 - 7.7 °C kadar ve güneşli havalarda iç ortam hava sıcaklığının dalgalanmasını % 28.8 - 67'e kadar azaltabilir olduğunu göstermişlerdir. Kış aylarında ise PCM odası için sıcaklık artışı 6.93 – 9.48 °C ve iç hava sıcaklığının dalgalanması güneşli günlerde % 17.7 - 25.4 azaldığını ifade etmişlerdir.

Francesco ve arkadaşları (2017), soğuk iklim koşullarında solaria'nın enerji performansını artırmak için binaya entegre bir termal depolama sisteminin performansını simülasyon ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çok camlı bir cepheye (güney yönüne) bakan duvar, duvara gömülü faz değiştirme malzemeleri ile termal depolama olarak kullanmışlardır. Termal depolamanın, güneş ışınlarının enerjisini 6 - 8 saate kadar sakladığını ve serbest bıraktığını ifade etmişlerdir. Bu durumun hem günlük sıcaklık değişimlerinin azalttığını (10 C'ye kadar) hem de ısıtma gereksinimlerini (yıllık bazda % 17'den fazla) etkilediğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca elde ettikleri sonuçlar ile yıllık soğutma gereksinimlerini% 50'ye kadar azaltabilir olduğunu göstermişlerdir.

Sayanthan ve arkadaşları (2017), ticari binalarda termal enerji depolama çimentolu kompozitin (TESC) enerji tasarrufu potansiyelini değerlendirmek için deneysel ve sayısal bir çalışma yapmışlardır. TESC, parafin bazlı ve genleşmiş perlitin sıradan çimentolu kompozitlere bir araya getirerek bir kompozit faz değişim maddesi oluşturmuşlardır. Geliştirilen TESC, deney odasının laboratuvarındaki termal performansını incelemek için kullanmışlardır. Termal performans testi, TESC'nin yaz tasarım günlerinde en yüksek 1,5 saatlik kayma ile pik iç mekan sıcaklığını yaklaşık 5,6 °C düşürdüğünü ortaya koymuşlardır. EnergyPlus'ta programı ile bina simülasyonu yapmışlar ve ticari binalarda TESC'nin potansiyel kullanımını TESC'nin Avustralya şehirlerinde yıllık % 16-25 enerji tasarrufu sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Umberto ve arkadaşı (2017), bina muhafazasının ısıl kapasitesini arttırmada enerji tasarrufu etkinliğini üzerinde araştırma yapmışlardır. Özellikle, Toronto ve Vancouver iklimlerindeki Hafif yapılarda Faz Değişim Materyali'nin (PCM) kullanılmasının yararlarını incelemişlerdir. Zemin, tavan ve duvar gibi yapı elemanları için farklı PCM sistemlerinin karşılaştırılmasını amaçlayan bina simülasyonları yaparak PCM sistemlerinin binanın soğutma talebini düşürmesine ve iç mekan termal konforunu arttırmasına olan katkısını ortaya koymuşlardır.

Xiaoqin ve diğerleri (2018), nem transferiyle ilgili sorunlara neden olmadan termal enerji depolaması kullanan binanın iç ve dış ortamları arasındaki ısı akışını azaltmak için, boru kaplı faz değişim malzemeleriyle (PCM) geliştirilmiş konut yapı duvarları geliştirmişlerdir. Yaz koşullarında boru kaplı PCM ile bina duvarlarının ısıl performansını belirlemek için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Dinamik bir duvar simülatörü kullanmışlar ve laboratuvar ortamında konut binalarının iç ve dış koşullarını yeniden üretmek için tasarlamışlardır. Çapa göre, yatay olarak yerleştirilmiş ve çeşitli duvar derinliklerinde yerleştirilmiş iki boru boyutu incelemişlerdir. PCM donatılı duvarların en yüksek ısı akışları, standart duvarlara kıyasla günlük enerji tasarrufu 27.4W-saat / m² ve 51.2W-saat / m² arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Sisteminin Tanıtımı ve Deneylerin Yapılması

Faz değiştiren maddeler konutlarda ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının en aza indirilmesi ve gün içerisinde konutta bulunan fazla ısı enerjisinin depolanmasında kullanılabilir. FDM'lerin kullanımıyla konutların ısıtma ve soğutma ihtiyacının en aza indirilmesi, fosil kaynakların tüketimini azaltırken aynı zamanda çevreye sera gazı salınımının önüne geçer. Bu bağlamda farklı tür FDM'lerin konutlarda ısıl konfor amacıyla kullanımının incelenmesi ve yaygınlaştırılması enerji verimliliği açısından faydalı olabilecektir.

Bu tez çalışmasında FDM'lerin konutlarda ısıl konforu sağlamak amacıyla kullanımın enerji verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. FDM'ler seçilirken öncelikle insanların konforlu yaşam şartlarını oluşturabilecek sıcaklıklar aralığında faz değiştiren mazlemeler olmasına dikkat edilmiştir. Böylelikle 22 – 26 C aralığında faz değiştiren Polyetilene Glycol-600 ve Calcium Chloride Hexahydrate maddeleri tercih edilmiştir. Polyetilene Glycol-600 ve Calcium Chloride Hexahydrate maddelerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla izelge 1.1 ve izelge 1.2 de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Polyetilene Glycol-600 fiziksel ve kimyasal zellikleri (MSDS PEG-600, 2019)

Polyethylene Glycol 600 (PEG-600)	
Fiziksel Durum	Sıvı
Renk	Renksiz
Koku	Kokusuz-hafif
Alevlenme noktası	Kapalı Kap 238  C
Buhar basıncı	< 0.01 mmHg (20 C 'de)
Kaynama noktası	(760 mmHg) > 250 C
Buhar yoğunluğu	(Hava = 1) >1
Özgül ağırlık	(H ₂ O = 1) 1.128 20 C/20 C
Donma Noktası	20-25 C
Sudaki znrlk	100 % (20 C 'de)
pH	4.5-7.5
Moleküler Ktle	570-630 g/mol
Kinematik Viskozite	120-130 cSt (20 C 'de)

Çizelge 1.2. Calcium Chloride Hexahydrate fiziksel ve kimyasal özellikleri (MSDS CCH, 2019)

Calcium Chloride Hexahydrate	
Fiziksel Durum	Katı
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
Alevlenme noktası	-
Buhar basıncı	-
Kaynama noktası	-
Buhar yoğunluğu	-
Özgül ağırlık	(H ₂ O = 1) 1.71 (20 °C ' de)
Donma Noktası	30 °C
Sudaki çözünürlük	5136 g/l (20 °C ' de)
pH	5 - 7 (water: 50 g / l , 20 °C)
Moleküler Kütle	-
Kinematik Viskozite	-

FDM'lerin ısı konfor şartlarının sağlanmasında kullanımının etkilerini ortaya koyabilmek için deney düzeneği hazırlanmıştır. Tez çalışması kapsamında hazırlanan deney düzeneği, karton kaplı ve kalınlığı 15 mm olan alçıpan (2,3 W/m.K) birbirine eş dört küçük odadan oluşmaktadır (Şekil 3.1). Birbirine eş bu dört odadan bir tanesi piyasada yalıtım amaçlı yaygın olarak kullanılan Ekspande Polistiren köpük (ısı iletkenliği 0,032 W/m.K) ile tamamen yalıtılmıştır (Şekil 3.2). Diğer üç odanın ise sadece taban ve tavan yüzeyleri aynı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Sadece taban ve tavan yüzeyi yalıtılan üç odadan bir tanesi boş bırakılmış diğer kutulara, iç çapı 9 mm, dış çapı 12 mm olan silikon hortumların içerisine doldurularak Polyethylene Glycol-600 ve Calcium Chloride Hexahydrate olmak üzere iki farklı faz değiştiren malzeme konulmuştur ve sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Sisteminin genel görünümü

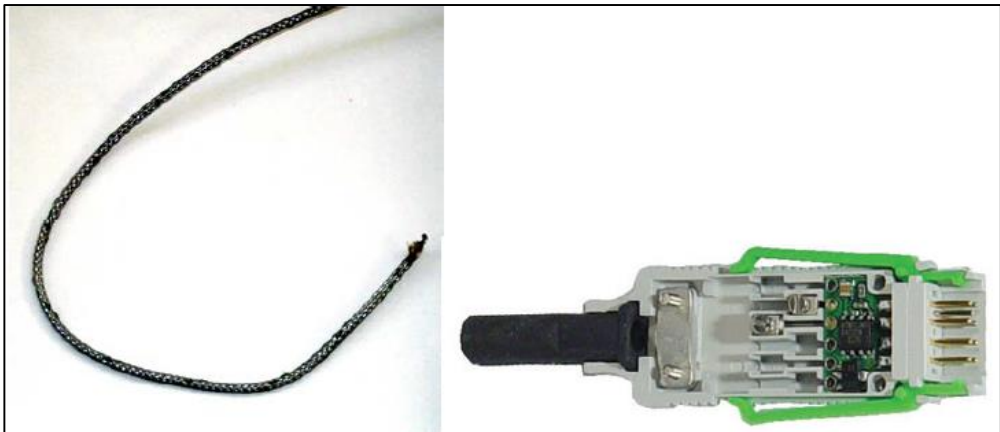


Şekil 3.2. Odaya yerleştirilen silikon hotrumlar ve polyetilene glycol 600



Şekil 3.3. Oda içerisine yerleştirilen silikon hotrumlar ve Calcium Chloride hexahydrate

FDM'lerin etkilerini gözlemleyebilmek için deney düzeneğinde her odada ve dış ortamda birer tane olmak üzere beş farklı noktada sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bu sıcaklık ölçümlerinde Tetcis firmasından temin edilen K tipi sıcaklık termokupulları kullanılmıştır. Şekil 3.5'te gösterilen K tipi termokupulun, sıcaklık ölçüm aralığı -180/+1350 °C ve hassasiyeti ± 1.5 °C'dir. Sıcaklık ölçümlerinin yapılabilmesi için kullanılan termokupullar Ahlborn firmasından temin edilen ve K tipi termokupullara uyumlu Almemo marka konektörle bağlanmıştır. Konektörün uç kısmı soket şeklinde olup veri toplama ünitesine bağlanmaktadır (Şekil 3.4). Termokupulların uçları sıcaklığı ölçülecek noktaya iyi bir temas sağlayacak şekilde sabitlenmiştir.



Şekil 3.4. Kullanılan termokupulun ve bağlantı konektörünün görünümü



Şekil 3.5. Veri toplama ünitesinin resmi

Hazırlanan dört oda dış ortam şartlarında, sıcaklık ölçümleri Almemo 5690-2 Veri toplama ünitesi ile onar dakika aralıklarla ölçüm yapılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve FDM'lerin etkinliği incelenmiştir. Odalar dış ortamda gündüz vakitlerinde birbirlerini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Dış ortam şartlarında zemindeki muhtemel sıcaklık farklılıklardan korunmak adına yerden yaklaşık 10 cm kadar yükseğe yerleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

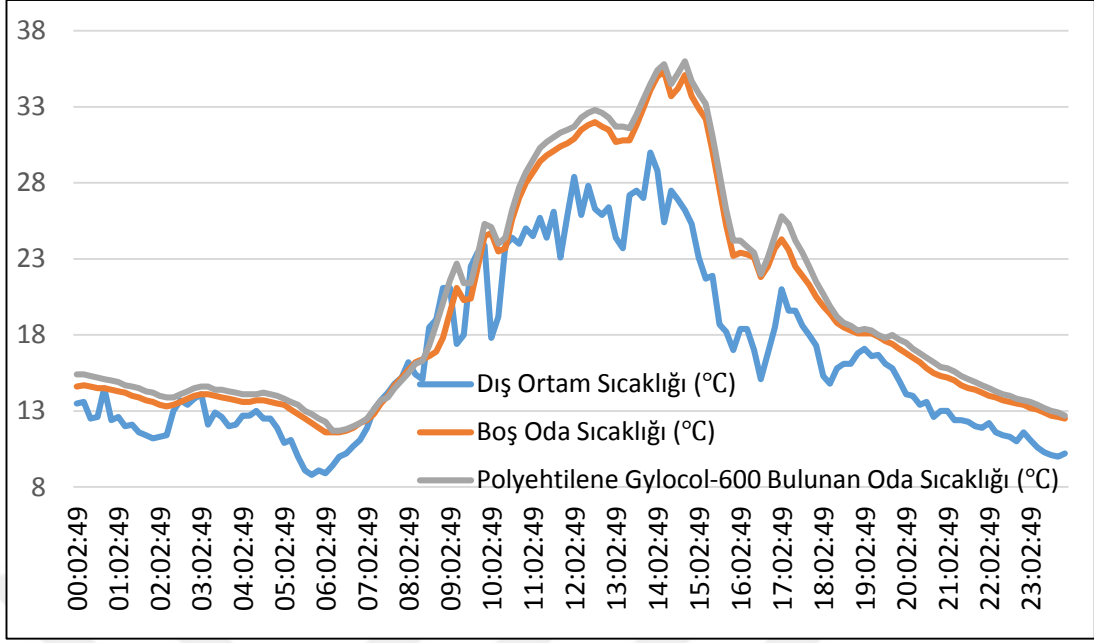
Polyehtilene Gylocol-600 ve Calcium Chloride Hexahydrate olmak üzere iki farklı faz değiştiren maddenin bulunduğu odalarla birlikte boş ve tamamen yalıtılmış odaların gün içerisinde dış ortam şartlarına bağlı olarak meydana gelen sıcaklık değişimleri termokupulların bağlı olduğu bir veri toplayıcısı ile ölçülmüş ve ölçümler ekte (EK-A) verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler her gün için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve FDM'lerin etkinliklerinin ölçülebilmesi için çeşitli kıyaslamalar yapılmıştır. Deneylerin başlangıcında test odalarına 1kg FDM eklenmiştir. Deney günü 1 ile ilgili ortalama gün sıcaklığı, gündüz sıcaklığı, gece sıcaklığı, gün içerisindeki maksimum ve minimum sıcaklıklar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Deney günü 1 ortalama sıcaklıkları

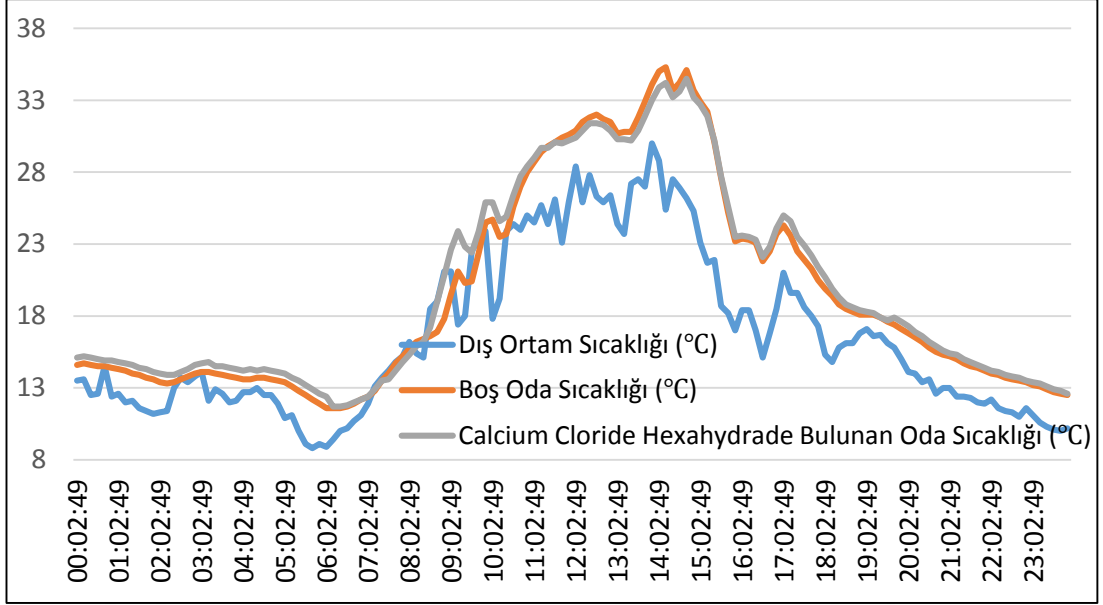
	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyehtilene Gylocol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
Ortalama Gün Sıcaklığı	16,62	19,44	19,83	20,06	19,78
Ortalama Gündüz Sıcaklığı	21,11	24,91	23,58	25,67	25,19
Ortalama Gece Sıcaklığı	12,01	13,81	15,97	14,29	14,22
Max. Sıcaklık	30,00	35,30	30,60	36,00	34,50
Min. Sıcaklık	8,80	11,60	13,70	11,70	11,70

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi gün boyunca meydana gelen sıcaklık değişimlerinde PEG-600 bulunan oda ile boş oda ile kıyaslandığında PEG-600 bulunan test odasının ortalama gündüz sıcaklıklarının boş odaya göre yaklaşık %3 daha fazladır. Bu durum özellikle 22 °C sıcaklıkların üzerinde istenmeyen bir durumdur ancak gündüz vakitlerinde iç ortamın havalandırılması ile kolaylıkla çözülebilir. Dış ortam sıcaklığının düşmeye başlaması ile PEG-600 bulunan test odasının ve boş odanın sıcaklığı paralel şekilde azalmıştır. Gece ortalama sıcaklıkları açısından kıyaslama yapıldığında, PEG-600 bulunan test odası sıcaklığının boş odaya göre yaklaşık %4daha yüksek bir sıcaklığa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum gece için gerekli olan ısıtma yükünün yaklaşık % 4 daha az olacağı anlamına gelmektedir.



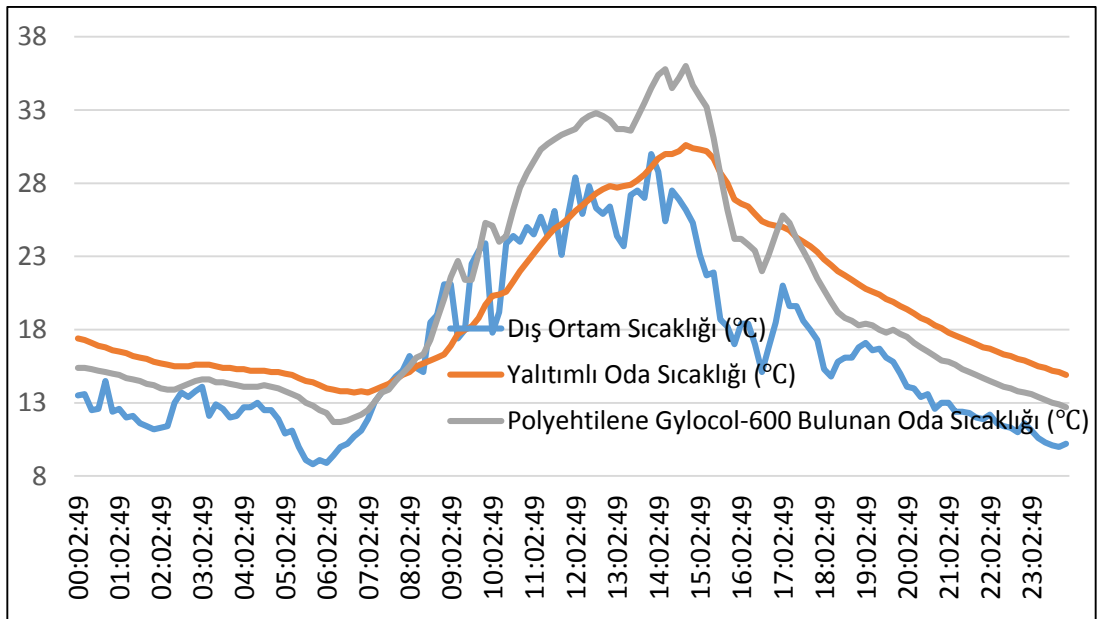
Şekil 4. 1. Deney günü 1 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi gün boyunca meydana gelen sıcaklık değişimlerinde CCH bulunan oda boş oda ile kıyaslandığında; CCH bulunan test odasının ortalama gündüz sıcaklığı boş odaya kıyasla yaklaşık %4 daha fazladır. Dış ortam sıcaklığının düşmeye başlaması ile test kulübesinin ve boş odanın sıcaklığı paralel şekilde azalmıştır. Gün içerisinde gerçekleşen maksimum boş oda sıcaklığı yaklaşık 35 °C iken CCH bulunan test odasının sıcaklığı yaklaşık 34 °C olarak gözlemlenmiştir. Gün içerisindeki maksimum sıcaklıkların daha sınırlı tutulması soğutma yükünü azaltacaktır. Ayrıca ortalama gece sıcaklıklarında CCH bulunan test odasının, boş odaya kıyasla yaklaşık % 3 daha yüksek sıcaklıkta olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum gece ihtiyaç duyulabilecek ısıtma ihtiyacının % 3 daha az olması anlamına gelmektedir.



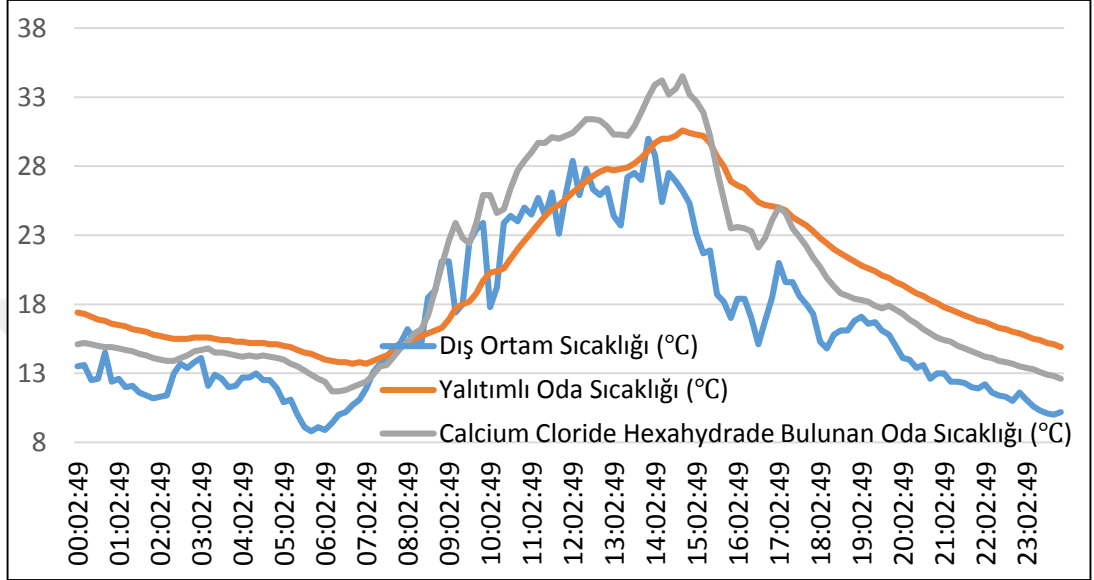
Şekil 4. 2. Deney günü 1 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi gece iç ortam sıcaklığı düştükten sonra gündüz ısınmanın başlamasıyla PEG-600 bulunan test odasında istenilen 22 °C sıcaklığa ulaşma süresi yalıtımlı oda ile kıyaslandığında çok daha hızlıdır. Yalıtımlı oda ortalama gündüz saat 10.30 gibi 22 dereceye ulaşırken PEG-600 ortalama 8.30 da 22 dereceye ulaşabilmektedir. Benzer şekilde gündüz oda sıcaklığının yükselmesinin ardından havanın soğumaya başlamasıyla 22 °C sıcaklığa düşme süresi yalıtımlı odada PEG-600 bulunan odaya kıyasla 45 dakika kadar daha fazla sürmektedir. Bu uzun süreler ek bir soğutma veya ısıtma yükü ihtiyacını beraberinde getirmektedir.



Şekil 4. 3. Deney günü 1 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi Yalıtımlı oda ile CCH kıyaslandığında, sıcaklığın öğle saatlerinde maksimum 30 dereceye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. CCH bulunan test odasının sıcaklığı öğle saatlerinde yalıtımlı oda ile kıyaslandığında paralel şekilde artmıştır. CCH gündüz konfor şartları olan 22 dereceye daha hızlı ulaşırken yalıtımlı odada bu sıcaklığa yaklaşık 60 dakika sonra ulaşmıştır.



Şekil 4. 4. Deney günü 1 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri

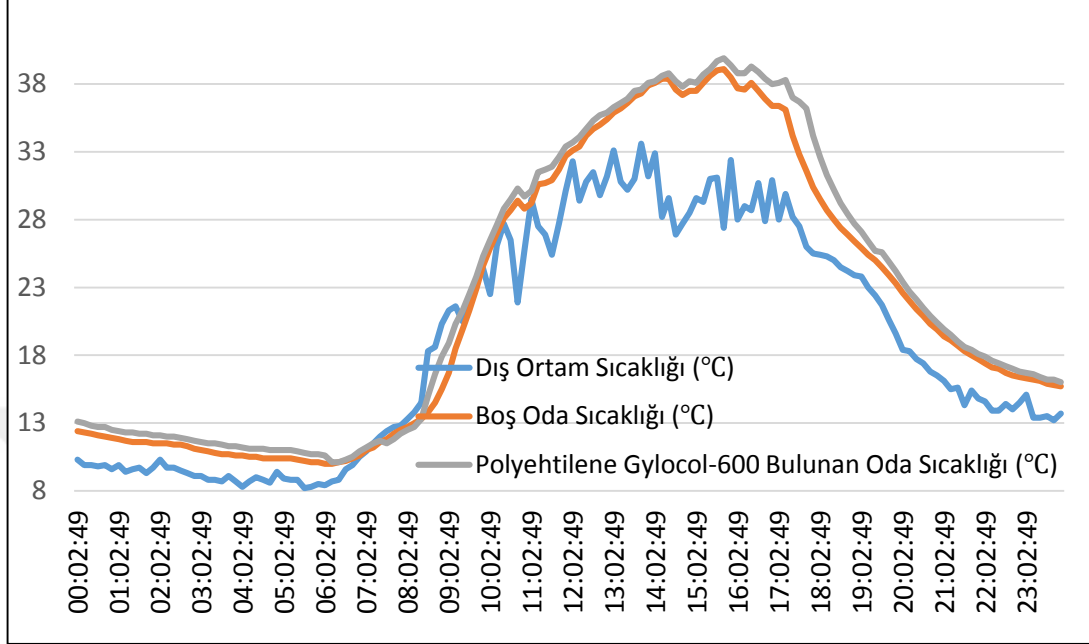
Deney günü 2 ile ilgili ortalama gün sıcaklığı, gündüz sıcaklığı, gece sıcaklığı, gün içerisindeki maksimum ve minimum sıcaklıklar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Deney günü 2 ortalama sıcaklıklar.

	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyehtilene Glycol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
Ortalama Gün Sıcaklığı	18,91	21,89	21,49	22,69	22,56
Ortalama Gündüz Sıcaklığı	25,98	29,80	26,74	30,87	30,65
Ortalama Gece Sıcaklığı	11,65	13,77	16,09	14,29	14,25
Max. Sıcaklık	33,60	39,10	34,60	39,90	39,00
Min. Sıcaklık	8,20	10,00	11,70	10,10	10,10

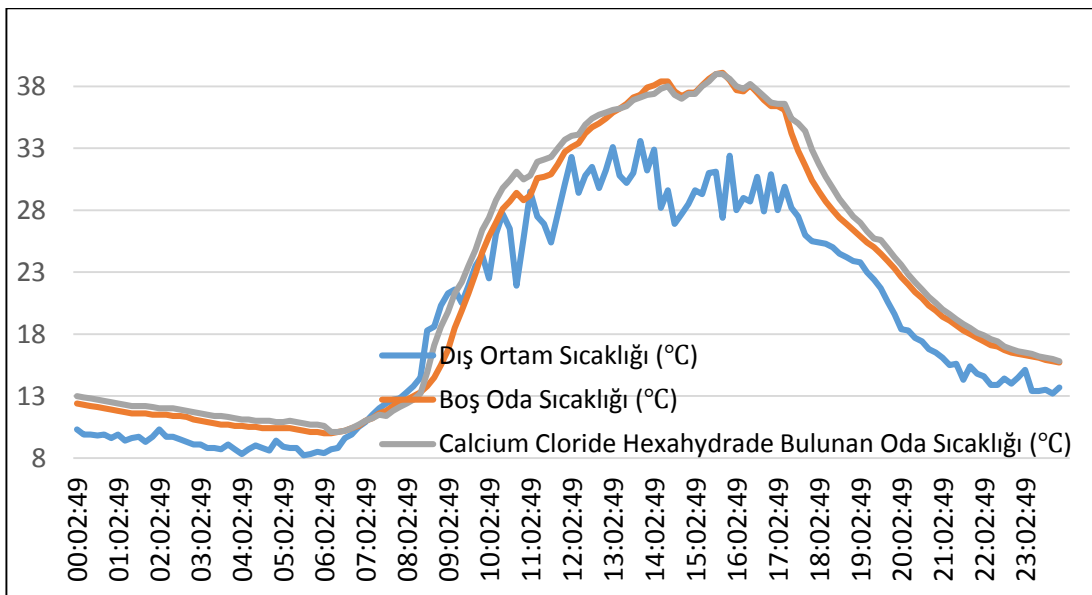
Şekil 4.5’de görüldüğü gibi PEG- 600 bulunan oda ile boş oda kıyaslandığında dış ortam sıcaklığına paralel şekilde sıcaklıklarında artma azalma gözlemlenmiştir. PEG- 600 boş odaya kıyasla konfor şartı sıcaklığı olan 22 °C daha hızlı ulaşmıştır. PEG- 600 bulunan odanın ortalama gece sıcaklıklarının boş odaya kıyasla % 4 daha fazla olduğu

görülmüştür. Gece sıcaklıklarının 22 °C altına düştüğü bu deney günlerinde gece gerekli olan ısıtma ihtiyacının PEG-600 kullanılması ile % 4 azaltılabildiği mümkündür.



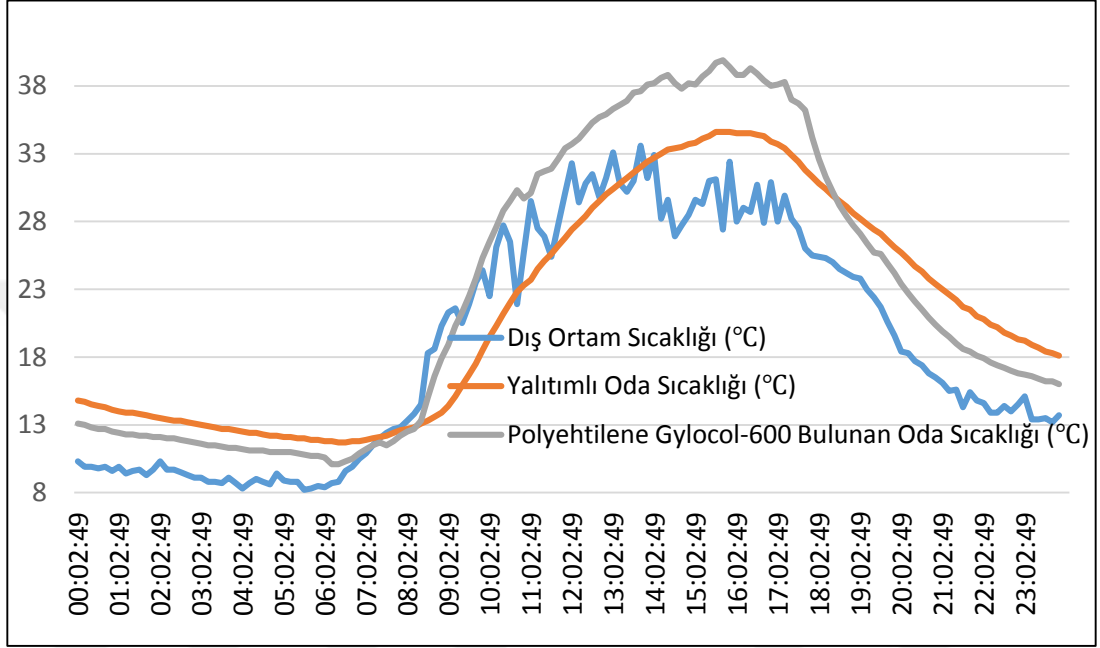
Şekil 4. 5. Deney günü 2 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

Şekil 4.6’da CCH bulunan oda ile boş oda kıyaslandığında; sıcaklığın öğle saatlerinde maksimum 32 dereceye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. CCH bulunan test odasının boş odaya kıyasla ortalama gündüz sıcaklıklarında %3, ortalama gece sıcaklıklarında ise % 4 kadar daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



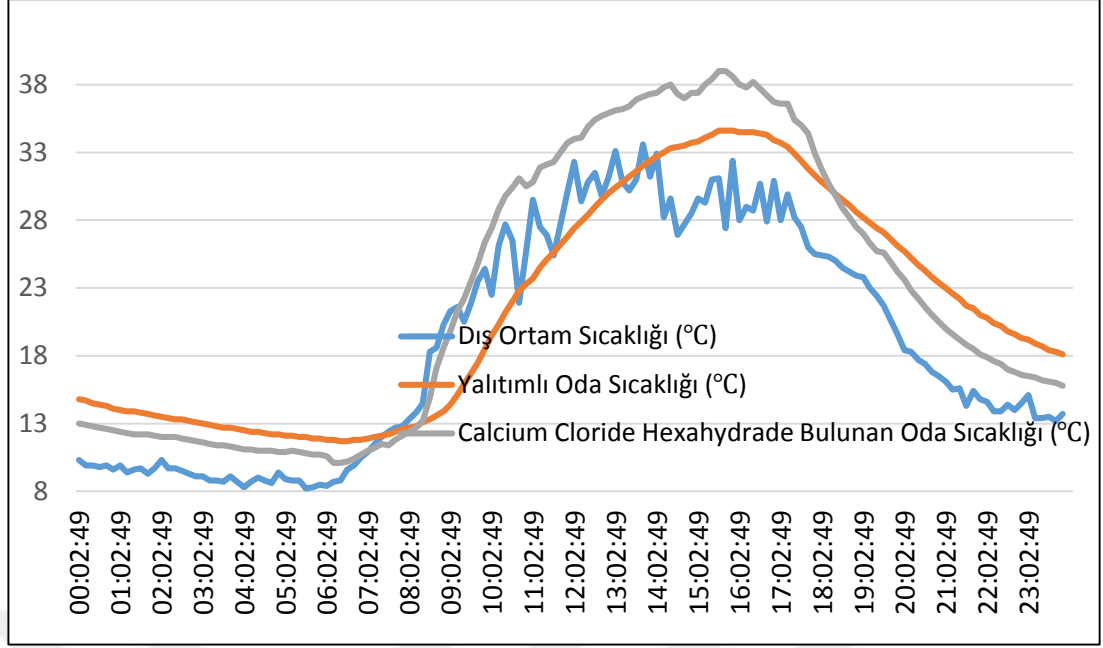
Şekil 4. 6. Deney günü 2 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi PEG-600 bulunan oda ile yalıtımlı oda ile kıyaslandığında PEG-600 bulunan odanın ortalama gündüz sıcaklıkları yaklaşık %15 fazla iken, ortalama gece sıcaklıklarının %11 daha az olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bunula birlikte PEG-600 bulunan odanın istenilen 22 °C sıcaklığa erişme süreleri yalıtımlı odaya kıyasla çok daha kısadır.



Şekil 4. 7. Deney günü 2 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi CCH bulunan test odasının istenilen 22 °C sıcaklığa erişme süreleri yalıtımlı odaya kıyasla oldukça kısa olmasına karşın gece ve gündüz ortalama sıcaklıkları açısından kıyaslandığında yalıtımlı odanın gece sıcaklıklarında % 11 daha az ısıtma ihtiyacı olduğu gözlemlenmiştir.



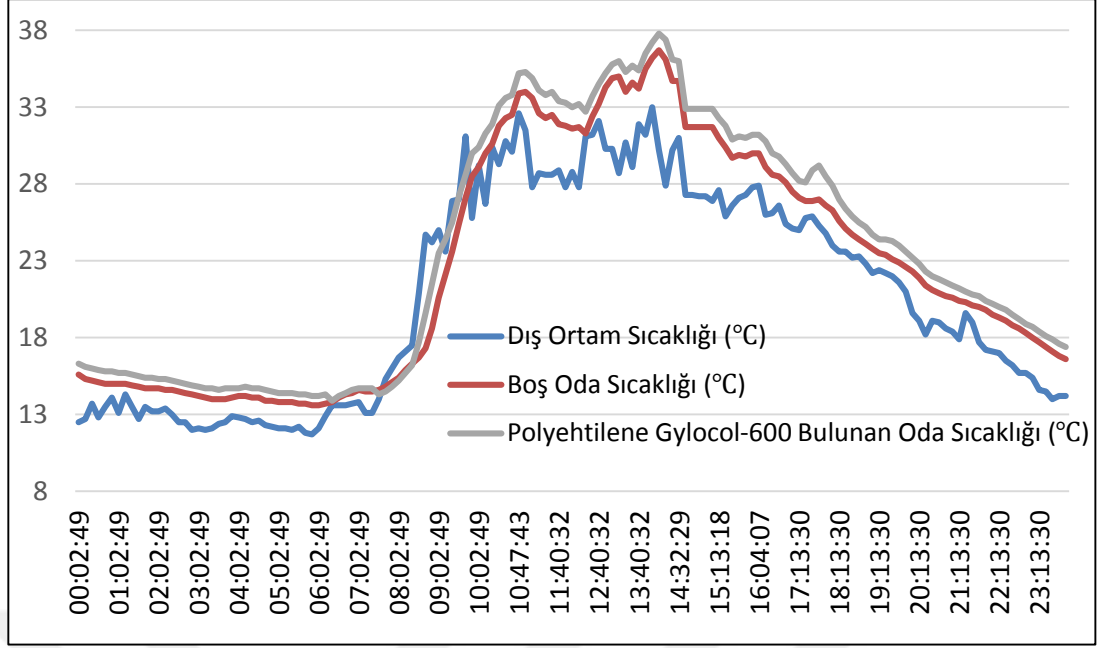
Şekil 4. 8. Deney günü 2 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Deney günü 2 ile ilgili ortalama gün sıcaklığı, gündüz sıcaklığı, gece sıcaklığı, gün içerisindeki maksimum ve minimum sıcaklıklar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

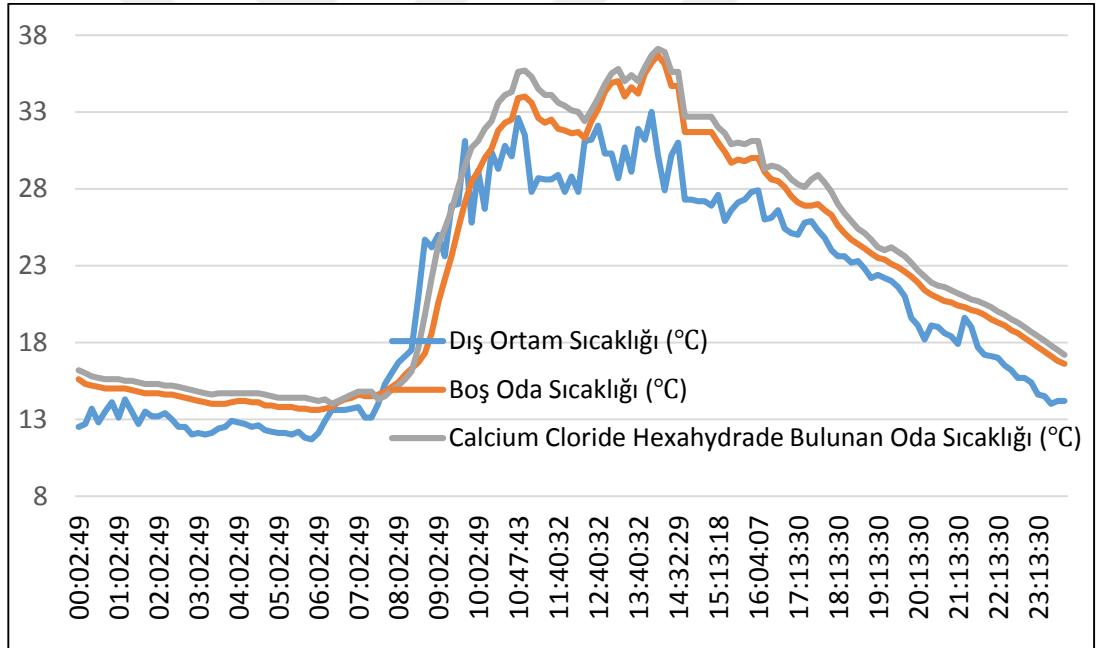
Çizelge 4. 4. Deney günü 3 ortalama sıcaklıklar.

	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyehtilene Gylocol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
Ortalama Gün Sıcaklığı	20,75	22,62	22,68	23,58	23,57
Ortalama Gündüz Sıcaklığı	26,46	28,35	26,73	29,61	29,59
Ortalama Gece Sıcaklığı	14,58	16,41	18,33	17,07	17,04
Max. Sıcaklık	33,00	36,70	32,80	37,80	37,10
Min. Sıcaklık	11,70	13,60	15,10	13,90	14,00

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da görüldüğü üzere FDM bulunan test odalarının ve boş odaya kıyasla ortalama gece sıcaklıkları yaklaşık %4 daha yüksektir. Ayrıca FDM bulunan test odalarının ısı konfor şartına erişme süresi boş odaya kıyasla daha düşüktür. Bu durum gündüz vakitlerinde 22 °C sıcaklığın üzerinde çıktığında soğutma yükünü, gece vakitlerinde 22 °C sıcaklığın altına düştüğünde ise ısıtma yükünü azaltmaktadır.



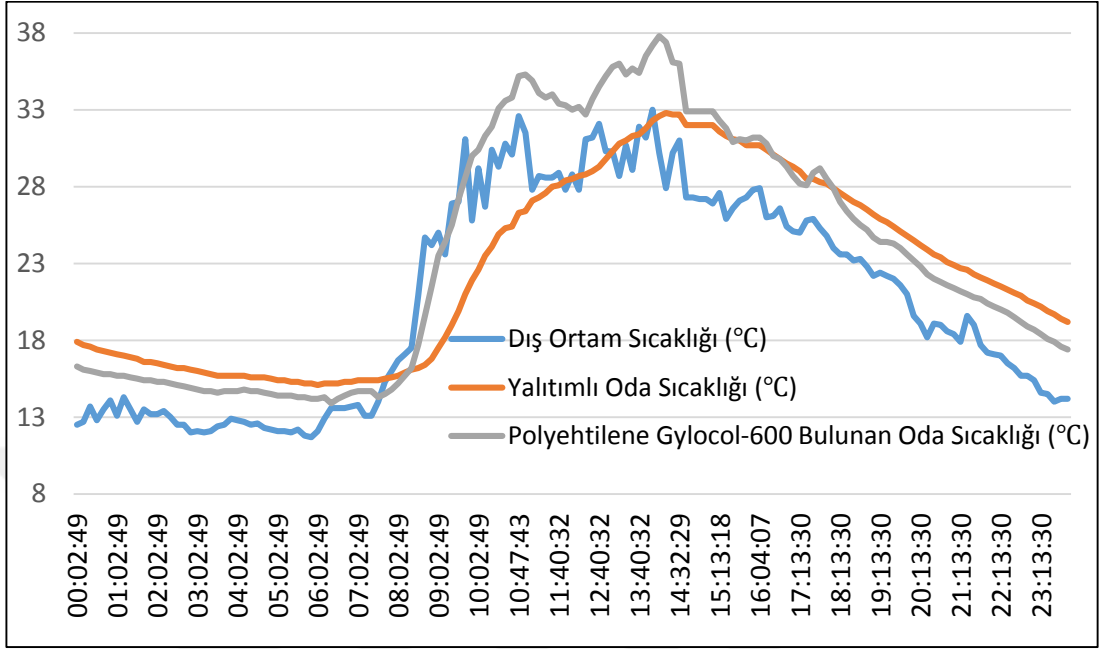
Şekil 4. 9. Deney günü 3 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri



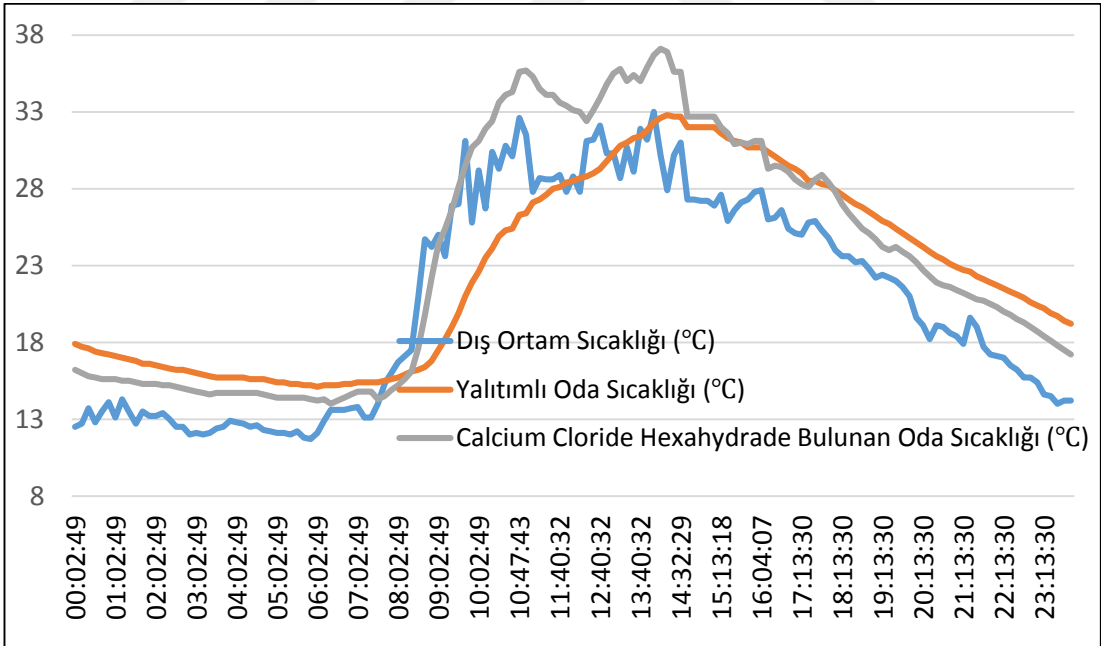
Şekil 4. 10. Deney günü 3 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Şekil 4.11 ve şekil 4.12’de görüldüğü gibi FDM bulunan test odalarının yalıtımlı oda ile kıyaslandığında ortalama gece sıcaklıklarında %7 daha düşük sıcaklıklara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum gece saatlerinde ısıl konfor şartlarına erişilebilmesi için ek ısıtma yükünü beraberinde getirmektedir. Ancak gün doğumu ile birlikte havanın ısınmaya başlamasının ardından FDM bulunan test odalarındaki sıcaklıkların

22 °C'ye ulaşma sürelerinin yalıtımlı odaya kıyasla çok daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 11 Deney günü 3 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri.



Şekil 4. 12. Deney günü 3 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri

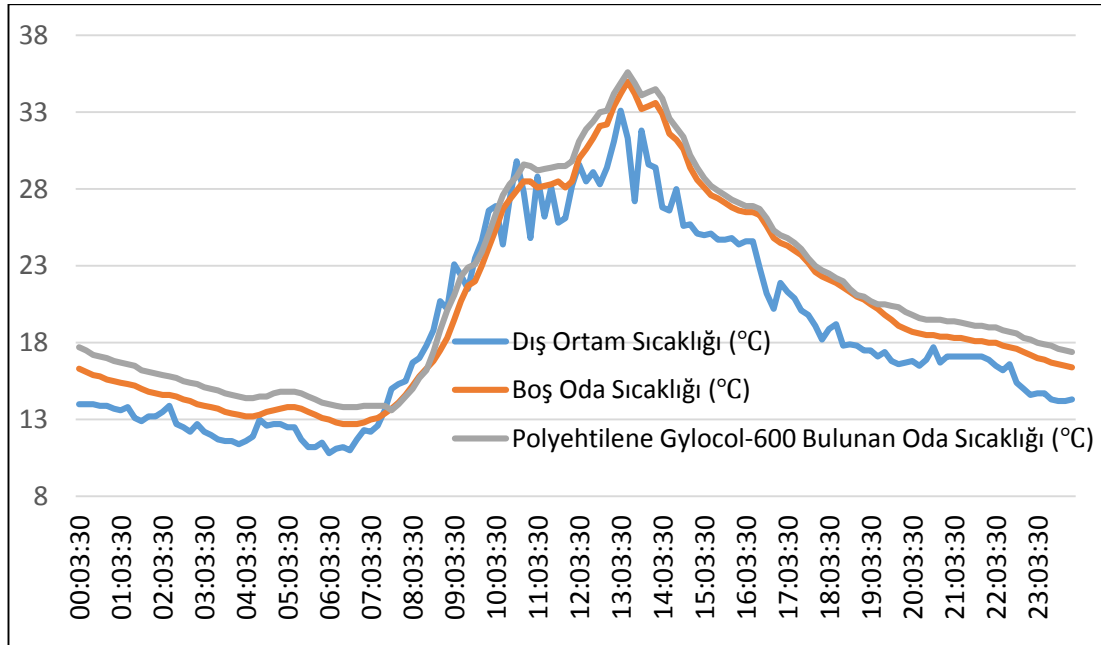
Yapılan üç günlük deneylerin ardından test odalarındaki Faz değiştiren madde miktarları iki katına çıkarılmıştır. Her bir FDM test odasına 2 kg FDM yerleştirilmiştir. FDM miktarlarının iki katına çıkarılmasının ardından yapılan ölçümlerde Deney günü

4 ile ilgili ortalama gün sıcaklığı, gündüz sıcaklığı, gece sıcaklığı, gün içerisindeki maksimum ve minimum sıcaklıklar Çizelge 4.4’de verilmiştir

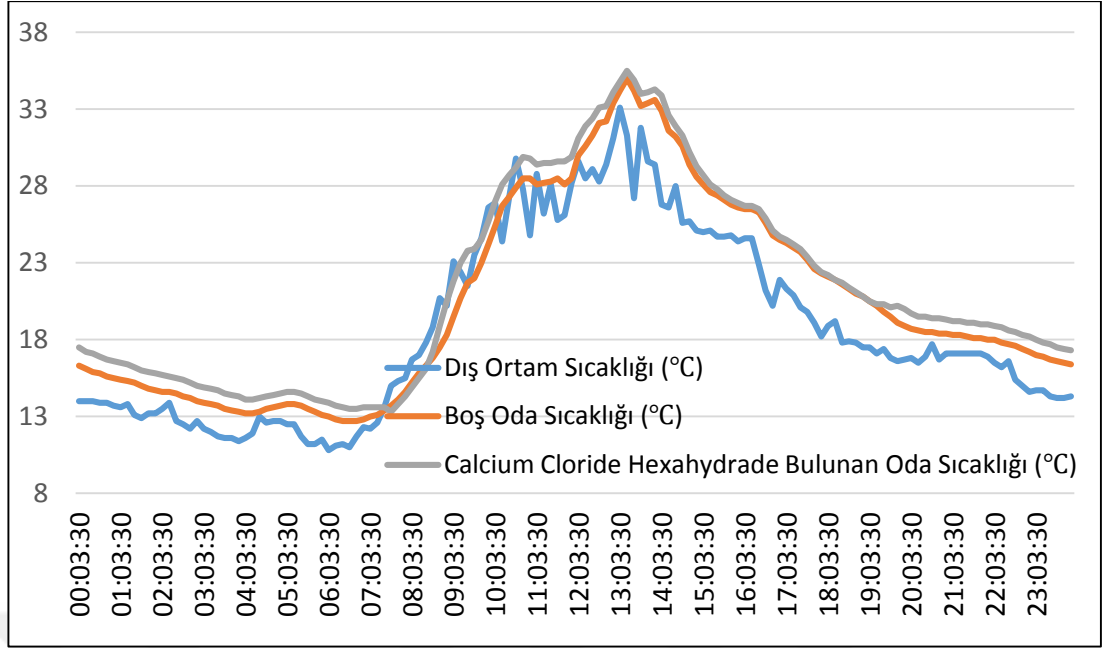
Çizelge 4. 5. Deney günü 4 ortalama sıcaklıklar.

	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyehtilene Gylocol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
Ortalama Gün Sıcaklığı	18,76	20,46	20,75	21,36	21,28
Ortalama Gündüz Sıcaklığı	23,57	25,36	24,08	26,07	26,07
Ortalama Gece Sıcaklığı	13,82	15,43	17,33	16,53	16,36
Max. Sıcaklık	33,10	35,00	30,40	35,60	35,50
Min. Sıcaklık	10,80	12,70	14,40	13,60	13,30

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de görüldüğü gibi PEG-600 ve CCH bulunan test odaları istenilen 22 derece sıcaklığına ulaşma süreleri boş oda ile kıyaslandığında çok daha hızlıdır. Ayrıca faz değiştiren madde miktarlarının iki katına çıkmasıyla birlikte ortalama gece sıcaklıkları açısından FDM bulunan odaların boş odayla kıyasla PEG-600 bulunan odanın %7 CCH bulunan odanın ise %6 daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Böylelikle FDM miktarının artırılması gece ihtiyaç duyulan ısıtma ihtiyacını büyük oranda azalmıştır.

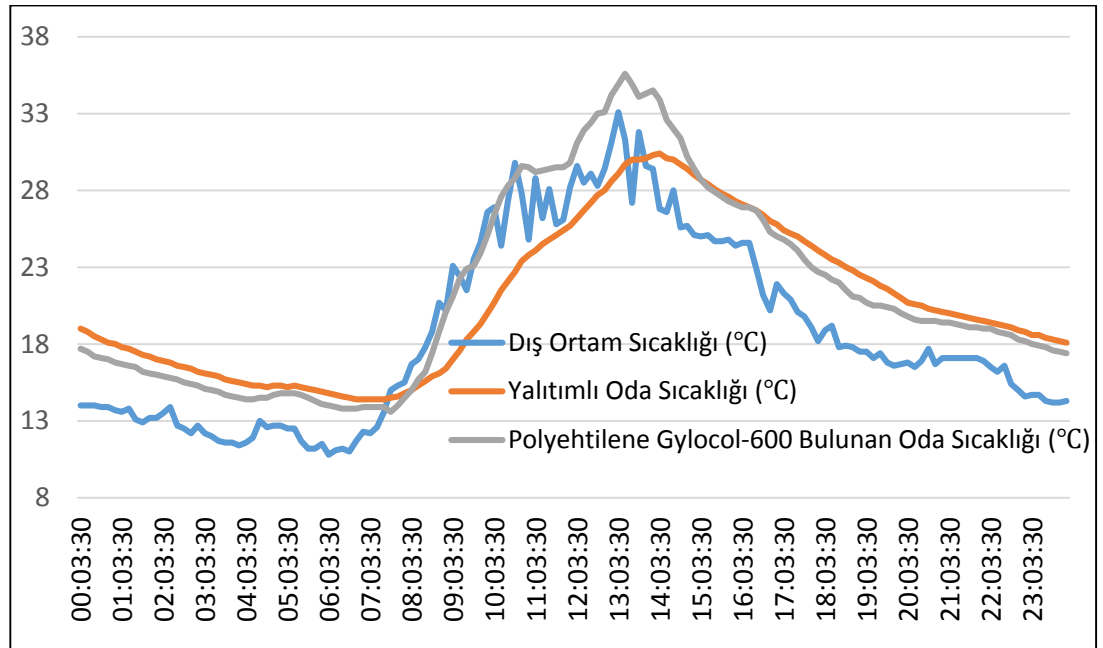


Şekil 4. 13. Deney günü 4 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

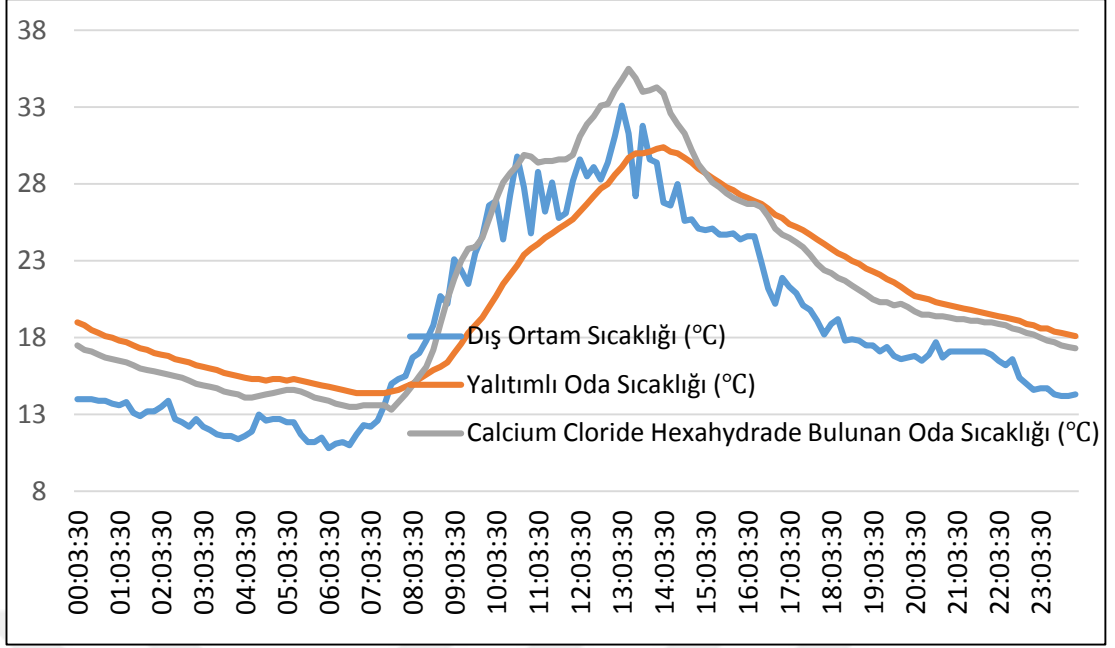


Şekil 4. 14. Deney günü 4 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’de görüldüğü gibi PEG-600 ve CCH bulunan test odalarının yalıtımlı odaya kıyasla ortalama gece sıcaklıkları sırasıyla %5 ve %6 daha düşüktür. Ancak FDM miktarının 2 kg olduğu Deney günü 4 ölçümlerinin daha önce FDM miktarı 1 kg iken yapılan deneylerle kıyaslandığında FDM bulunan oda ile yalıtımlı oda arasındaki ortalama gece sıcaklıkları farklarının yarı yarıya azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca FDM miktarının artırılmasının istenilen 22 °C sıcaklığına ulaşma sürelerinde etkisi olmamıştır.



Şekil 4. 15. Deney günü 4 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri



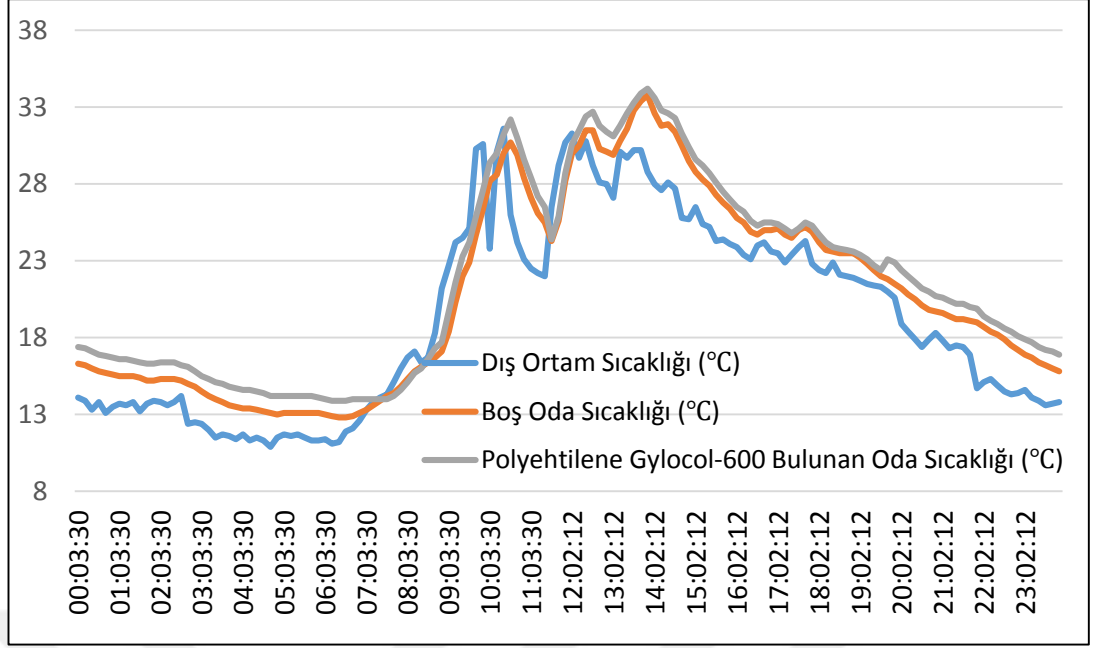
Şekil 4. 16. Deney günü 4 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri

FDM miktarlarının iki katına çıkarılmasının ardından yapılan ölçümlerde Deney günü 5 ile ilgili ortalama gün sıcaklığı, gündüz sıcaklığı, gece sıcaklığı, gün içerisindeki maksimum ve minimum sıcaklıklar Çizelge 4.5’de verilmiştir

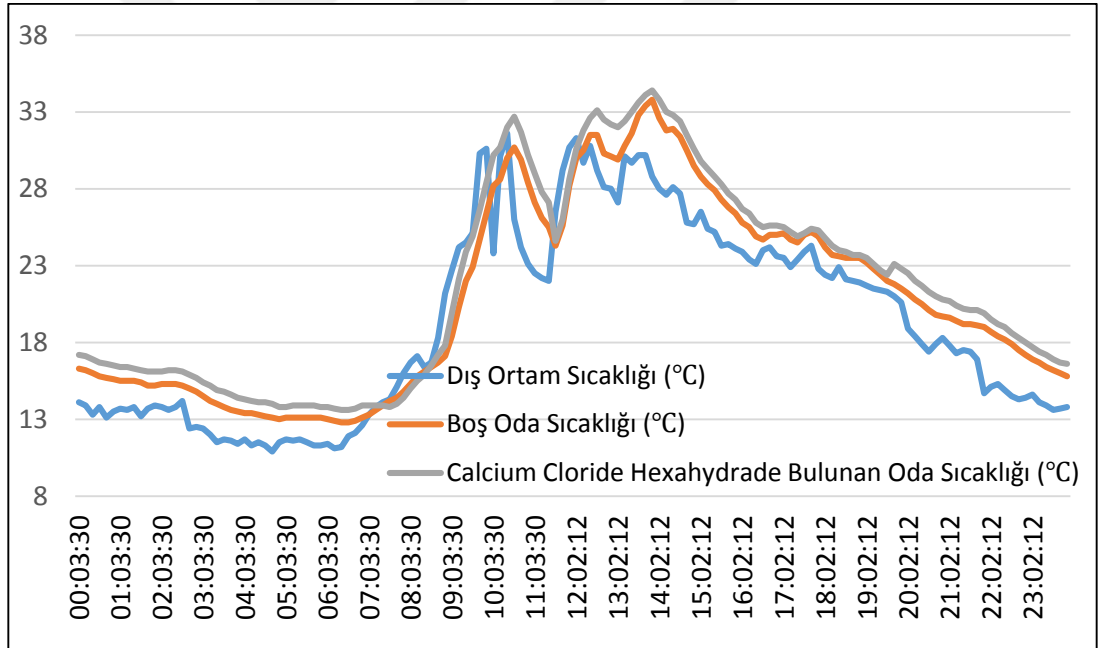
Çizelge 4. 6. Deney günü 5 ortalama sıcaklıklar.

	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyetilene Glycol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
Ortalama Gün Sıcaklığı	19,28	20,80	20,87	21,66	21,70
Ortalama Gündüz Sıcaklığı	24,51	25,62	24,11	26,30	26,54
Ortalama Gece Sıcaklığı	13,91	15,85	17,54	16,88	16,72
Max. Sıcaklık	31,60	33,80	30,00	34,20	34,40
Min. Sıcaklık	10,90	12,80	14,30	13,90	13,60

Şekil 17 ve Şekil 18’de görüldüğü gibi PEG-600 ve CCH bulunan test odaları ile boş oda kıyaslandığında ortalama gece sıcaklıkları açısından FDM bulunan odaların boş odayla kıyasla PEG-600 bulunan odanın %7 CCH bulunan odanın ise %5 daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu gözlemlenmiştir.

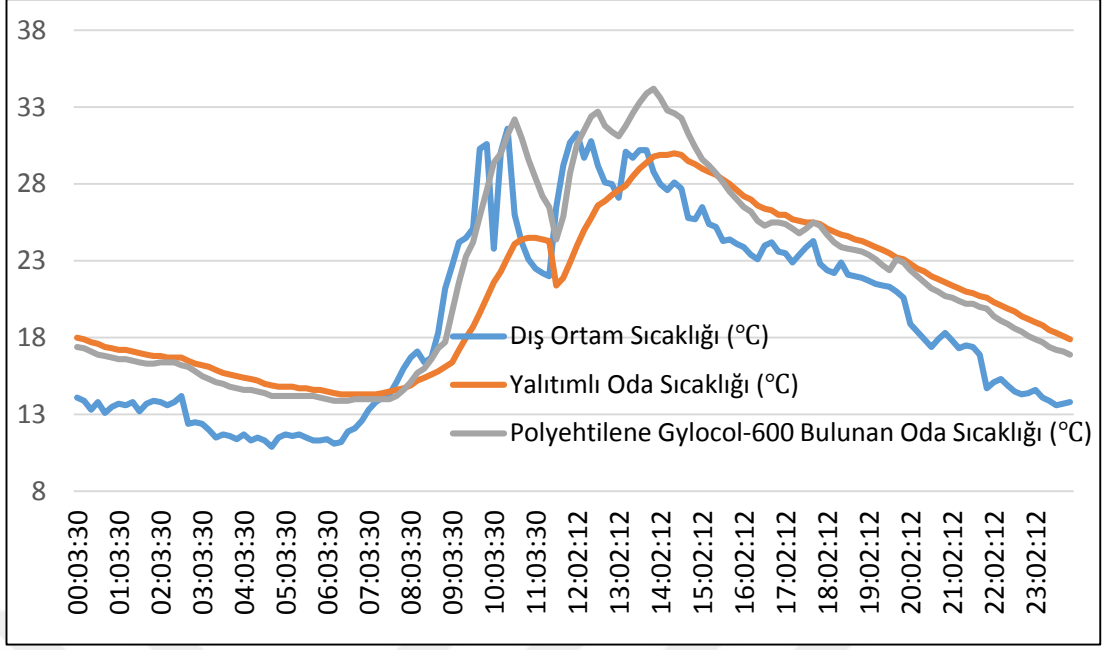


Şekil 4. 17. Deney günü 5 dış ortam, boş oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri

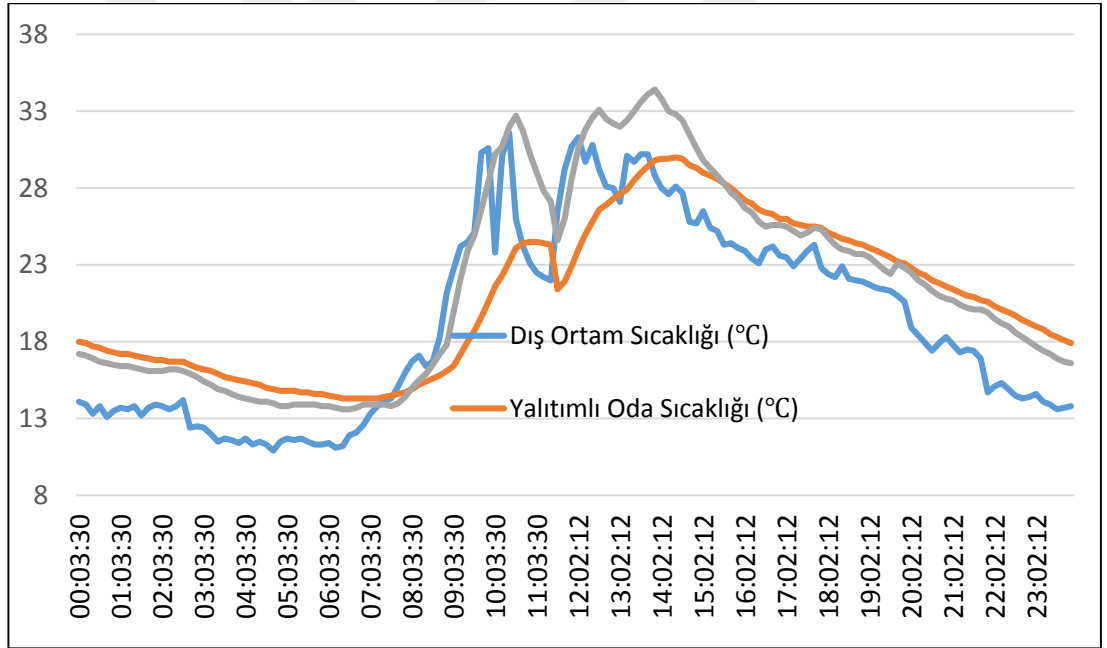


Şekil 4. 18. Deney günü 5 dış ortam, boş oda ve CCH sıcaklık değişimleri

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de görüldüğü gibi PEG-600 ve CCH bulunan test odalarının yalıtımlı odaya kıyasla ortalama gece sıcaklıkları sırasıyla %4 ve %5 daha düşüktür. Ancak FDM miktarının artırılması, FDM bulunan oda ile yalıtımlı oda arasındaki ortalama gece sıcaklıkları farklarının azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 19. Deney günü 5 dış ortam, yalıtımlı oda ve PEG- 600 sıcaklık değişimleri



Şekil 4. 20. Deney günü 5 dış ortam, yalıtımlı oda ve CCH sıcaklık değişimleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Isıl konforun sağlanması, insanların çalışma performanslarından sağlıklı yaşamalarına kadar birçok alanda büyük öneme sahiptir. İnsanların yaşam şartlarını doğrudan etkileyen parametrelerden olan ısı konfor şartları mühendislik dallarının ilgilendiği temel konulardan biridir. Binalarda Isıl konfor şartlarının sağlanması için harcanan enerji miktarı bir binada tüketilen toplam enerji miktarının %40'larına kadar ulaşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında ısı konfor şartlarının sağlanmasında yapılabilecek en ufak enerji verimlilikleri bile büyük enerji tasarrufları sağlayabilecektir. Yapılan bu tez çalışmasında ısı konfor şartlarının sağlanmasında harcanan enerji miktarının azaltmak için faz değiştiren maddelerden faydalanılmıştır. Faz değiştiren maddeler bünyesinde gizli ısı (faz değişim ısı) ile enerji depolayabildikleri için faz değişim sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklıkta bulduklarında bünyelerinde enerji depolarken, faz değişim sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda ise bünyesinde depoladıkları enerjiyi dış ortama verirler ve böylelikle daha stabil bir ısı konfor şartları oluşturulur. Bu bağlamda yapılan çalışmada insanların yaşam alanlarında ısı konforlarının sağlanması için kullanılacak çeşitli faz değiştiren maddeler incelenmiştir. Çalışmada inceleme amacıyla insanların ısı konfor şartı sıcaklığı olarak kabul edilen yaklaşık 22 °C'ye yakın sıcaklıklarda faz değiştiren maddeler (PEG-600 ve CCH) seçilmiştir. Faz değiştiren maddelerin ısı konfor üzerindeki etkilerini görebilmek adına FDM'ler boş oda ve yalıtımlı oda ile kıyaslanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre FDM'ler ile boş oda kıyaslandığında gün içerisinde test odasında meydana sıcaklık değişimlerinin boş odaya göre FDM bulunan odada daha az olduğu ortaya koyulmuştur. Oda içerisinde sıcaklık değişimlerinin az olması ısı konfor şartlarının sağlanmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca Faz değişim sıcaklıklarının konfor şartlarına yakın sıcaklıklarda olması günün belirli saatlerinde (FDM'lerin faz değiştirdiği süreler) ısıtma yada soğutma ihtiyacının olmadığı bu durumda konfor şartlarının sağlanması için enerji harcanmasının önüne geçtiğini göstermektedir.

Çizelge 5.1’de yapılan tüm deneylerde elde edilen sonuçlara göre sırasıyla yalıtımlı oda ile boş oda, PEG-600 bulunan oda ile boş oda, CCH bulunan oda ile boş oda, PEG-600 bulunan oda ile yalıtımlı oda, CCH bulunan oda ile yalıtımlı oda arasında ortalama gün, gündüz, gece ve maximum, minimum sıcaklıkları açısından kıyaslamalar verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Tüm deneyler için genel kıyaslamalar

		Yalıtımlı Oda	PEG-600 Bulunan Oda	CCH Bulunan Oda	PEG-600 Bulunan Oda	CCH Bulunan Oda
		BOŞ odayla kıyaslanma			Yalıtımlı oda ile kıyaslama	
1.gün	Ortalama Gün Sıcaklığı	2%	3%	2%	1%	0%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-5%	3%	3%	9%	7%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	16%	3%	3%	-10%	-11%
	Max. Sıcaklık	-13%	2%	-2%	18%	13%
	Min. Sıcaklık	18%	1%	1%	-15%	-15%
2.gün	Ortalama Gün Sıcaklığı	-2%	4%	3%	6%	5%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-10%	4%	3%	15%	15%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	17%	4%	4%	-11%	-11%
	Max. Sıcaklık	-12%	2%	0%	15%	13%
	Min. Sıcaklık	17%	1%	1%	-14%	-14%
3.gün	Ortalama Gün Sıcaklığı	0%	4%	4%	4%	4%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-6%	4%	4%	11%	11%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	12%	4%	4%	-7%	-7%
	Max. Sıcaklık	-11%	3%	1%	15%	13%
	Min. Sıcaklık	11%	2%	3%	-8%	-7%
4.gün	Ortalama Gün Sıcaklığı	1%	4%	4%	3%	3%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-5%	3%	3%	8%	8%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	12%	7%	6%	-5%	-6%
	Max. Sıcaklık	-13%	2%	1%	17%	17%
	Min. Sıcaklık	13%	7%	5%	-6%	-8%
5.gün	Ortalama Gün Sıcaklığı	0%	4%	4%	4%	4%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-6%	3%	4%	9%	10%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	11%	7%	5%	-4%	-5%
	Max. Sıcaklık	-11%	1%	2%	14%	15%
	Min. Sıcaklık	12%	9%	6%	-3%	-5%

FDM miktarının iki katına çıkarılmasının ardından meydana gelen değişimleri ortaya koymak amacıyla Çizelge 5.2’de öncelikle FDM miktarının 1 kg olduğu günler için yapılan tüm deneylerde elde edilen ortalama veriler sonrasında ise FDM miktarının 2 kg olduğu günler için yapılan tüm deneylerde elde edilen ortalama veriler verilmiştir.

Çizelge 5. 2. FDM miktarının artırılması sonucu meydana gelen değişimler

		Yalıtımlı Oda	PEG-600 Bulunan Oda	CCH Bulunan Oda	PEG-600 Bulunan Oda	CCH Bulunan Oda
		BOŞ odayla kıyaslanma			Yalıtımlı oda ile kıyaslama	
1. kg FDM	Ortalama Gün Sıcaklığı	0%	4%	3%	4%	3%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-7%	4%	3%	12%	11%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	15%	4%	3%	-10%	-10%
	Max. Sıcaklık	-12%	2%	0%	16%	13%
	Min. Sıcaklık	15%	1%	2%	-12%	-12%
2 kg. FDM	Ortalama Gün Sıcaklığı	1%	4%	4%	3%	3%
	Ortalama Gündüz Sıcaklığı	-5%	3%	3%	9%	9%
	Ortalama Gece Sıcaklığı	11%	7%	6%	-4%	-5%
	Max. Sıcaklık	-12%	1%	2%	16%	16%
	Min. Sıcaklık	13%	8%	5%	-4%	-6%

FDM nin iki katına çıkarılması ile;

- 1 kg PEG-600'ün bulunduğu test odasındaki ortalama gece sıcaklıkları ile boş oda kıyaslandığında % 4 lük bir avantaj varken, PEG- 600 miktarı 2 kg çıkarıldığında ortalama gece sıcaklıkları farkı %7'ye çıkmaktadır. Bu durum gece boyunca ihtiyaç duyulan enerjinin %7 azalması anlamı gelmektedir.
- 1 kg CCH'nin bulunduğu test odasındaki ortalama gece sıcaklıkları ile boş oda kıyaslandığında % 3 lük bir avantaj varken, CCH miktarı 2 kg çıkarıldığında ortalama gece sıcaklıkları farkı %6'ye çıkmaktadır. Bu durum gece boyunca ihtiyaç duyulan enerjinin %6 azalması anlamı gelmektedir.
- Böylelikle boş oda ile kıyaslanması durumunda ortalama gece sıcaklıkları açısından bakıldığında en verimli durumun 2 kg PEG-600 olduğu tesbit edilmiştir.
- PEG-600 bulunan test odası ile Yalıtımlı odanın kıyaslamasında madde miktarının iki katına çıkarılması ile başlangıçta %10 dezavantajlı olan PEG-600'ün dezavantajı %4'e azalmıştır.
- Aynı açıdan CCH incelendiğinde başlangıçta %10'luk bir dezavantaj gözlemlenirken madde miktarının artırılması ile fark %5'e kadar gerilemiştir.

- FDM'lerin bulunduğu test odalarının yalıtımlı oda ile kıyaslanmasında minimum sıcaklık açısından bakıldığında madde miktarının arttırılmasıyla %12'den sırasıyla PEG-600 ve CCH %4'e ve %6'ya gerilemiştir.

FDM'lerin test odası içerisindeki madde miktarlarının arttırılması ile yalıtımlı test odasının verilerine daha yakın veriler ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. FDM'lerin madde miktarının arttırılması ile ısı konfor şartlarının sağlanmasında verimlilik oranı da artacaktır.

Sonuç olarak yalıtım ve FDM'lerin uygulama maliyetleri düşünöldüğünde yalıtımlı sistemlerin yeterli olabileceği ancak daha yüksek bir verimlilik için yalıtım ve FDM'lerin birlikte kullanılmasının faydalı olacağı düşünölmektedir. Sonraki çalışmalar için farklı yalıtım kalınlıklarında ve farklı madde miktarlarında FDM'lerin test edilmesi ile ısı konfor şartlarının sağlanması için daha verimli sistemler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ağaçbiçer, G. (2010). *Yenilenebilir Enerji kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı Ve Yapılan Swot Analizler*. (Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Atul, S., Tyagi V.V., Chen C.R. & Buddhi D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 318–345.
- Ayoub, G. & Mustapha E. A. (2017). The optimal allocation of the PCM within a composite wall for surface temperature and heat flux reduction: An experimental Approach. *Applied Thermal Engineering*, 127, 1488–1494.
- Boztepe, M. (2006). Enerji Depolama <http://electronics.ege.edu.tr/boztepe/cgibin> (Son Erişim Tarihi: 12.02.2019.)
- Cabeza, L.F., Mehling, H., Hiebler, S. & Ziegler, F. (2002), Heat transfer enhancement in water when used as PCM in thermal energy storage, *Applied Thermal Engineering*, 1141-1151.
- Çengel, A. Y. & Boles, A. M. (2015). *Thermodynamics an Engineering Aproach*. 8. Baskı. Mc Graw Hill Education.
- Dikici, D. (2004). *Doğal soğuk kaynaklardan yararlanan yer altı kanallarında termal enerji depolanması (KTED)*. (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Dinçer, I & Rosen, M.A. (2002). *Thermal energy storage, Systems and applications*. John Wiley & Sons. Chicheser.
- Dolf, G., Francisco, B., Değer, S., Morgan, D.B., Nicholas, W. & Ricardo G. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 38-50.
- Durmuş, A. & Benli, H. (2009). Havalı Güneş Kolektörleri ve Gizli Isı Depolama Yöntemi Kullanılarak Sera Isıtılması. *Mühendis ve Makine*, 48, 569.
- Emad, E. (2017). Using PCM embedded in building material for thermal management: Performance assessment study. *Energy and Buildings*, 151, 28–34.
- Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Enerji Tasarrufu Koordinasyon Kurulu Ve Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi, 2003. www.eie.gov.tr. (Son Erişim Tarihi: 23.02.2019)
- Erlin, M., Hang, Y. & Bo, Z. (2017). Study of the thermal behavior of the composite phase change material (PCM) room in summer and winter. *Applied Thermal Engineering*, 126, 212–225.

- Farah, S., Farouk, F. & Pascal, H. B. (2016). Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review. *Energy and Buildings*,129, 396–431.
- Feldman, D., Shapiro, M.M. & Banu, D. (1986). Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Mater*, 13, 1-10.
- Francesco, G., Andreas, A., Maurizio, C. & Diane, B. (2017). PCM thermal storage design in buildings: Experimental studies and applications to solaria in cold climates. *Applied Energy*,185, 95–106.
- Güngör, G.S. & Kabul, A. (2015). Sodyum Asetat Trihidratlı Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Performans Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 3, 4-7.
- Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A. & Efthimiou, V. (2009). Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13, 1513–1522.
- Hasnain, S.M. (1998). Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: Heat storage materials and techniques. *Energy Conversion & Management*, 39, 1127-1138.
- Huggins, R. A. (2010). *Energy Stroage*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, USA.
- Kızılkın, Ö. & Dinçer İ. (2015). Borehole thermal energy storage system for heating applications: Thermodynamic performance assessment. *Energy Conversion and Management*. 90, 53–61.
- Kocaman, B. (2013). *Akıllı Şebekeler Ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri*. Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu. 26-27 Nisan, Ankara.
- Konuklu, Y. (2008). Mikrokapsüllenmiş Faz Değişiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu. (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kozak, M. & Kozak, Ş. (2012). Enerji Depolama Yöntemleri. *SDU International Technologic Science*, 17-29.
- Linden, D. & Reddy, T. B. (2002). *Handbook of Batteries Chapter 30*. M. Fetcenko, McGraw-Hill, New York, USA
- Lu, L., Hang, Y., Xu, W. & Shiling, Z. (2016). Thermal analysis of melting and freezing processes of phase changematerials (PCMs) based on dynamic DSC test. *Energy and Buildings*,130, 388–396.
- Mazman, M. (2006). *Gizli Isı Depolaması Ve Uygulamaları*. (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- MSDS Calcium Chloride Hexahydrate (2009), https://www.carlroth.com/downloads/sdb/en/T/SDB_T886_AU_EN.pdf (Son Erişim Tarihi: 27.02.2019)
- MSDS PEG-600 (2019), <http://www.holmberg.se/upload/product/files/msds-polyetylen glykol-600-peg-600-eng-2012-08-10---558.pdf> (Son Erişim Tarihi: 27.02.2019)
- Muriel, I., Shuli L. & Ashish, S. (2016). Experimental study on the thermal performance of air-PCM unit. *Building and Environment*, 105, 128-139.
- Okçu, M. & Varol, Y. (2014). Kanatçık Sayısının Faz Değiştiren Maddelerin Katılma Süreci Üzerine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi. *Termodinamik.info dergisi*, 5, 18-23.
- Özonur, Y. (2004). *Düşük sıcaklıkta termal enerji depolamasına uygun faz değiştiren maddelerin mikrokapsüllemesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Paksoy, H.Ö. (1992). Thermal analysis of heat storage materials and integrated heat pump and thermal energy storage. (Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Sarı, A. (2011). *Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar*. Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Çalıştayı, 20-28 Temmuz, Çanakkale.
- Sayanthan, R., Xiaoming, W., Jay, S. & John, W. (2017). Experimental and Numerical study on Energy Performance of Buildings Integrated with Phase change materials. *Energy Procedia*, 105, 2214 – 2219.
- Turan, D. & Yönetken, A. (2016). Enerji Depolama Sistemlerinin Araştırılması ve Analizi. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 113-121.
- Umberto, B. & Mauro, M. (2017). The energy saving and indoor comfort improvements with latent thermal energy storage in building retrofits in Canada. *Energy Procedia*. 111, 462 – 471.
- Xian, S., Shazim, A. M., Waiching, T., Hongzhi, C. & Feng, X. (2014). Experimental assessment of position of macro encapsulated phasechange material in concrete walls on indoor temperatures and humidity levels. *Energy and Buildings*, 71, 80–87.
- Xiaoqin, S., Mario, A. M. , Kyoung, O. L. & Xing, J. (2018). Laboratory assessment of residential building walls containing pipeencapsulated phase change materials for thermal management. *Energy*, 163, 383-391.

- Xing, J., Mario, A. M. & Xiaosong, Z. (2016). Numerical analysis for the optimal location of a thin PCM layer in frame walls. *Applied Thermal Engineering*,103, 1057–1063.
- Xing, J., Shuanglong, Z., Xiaodong, X. & Xiaosong, Z. (2014). Effects of PCM state on its phase change performance and the thermal performance of building walls. *Building and Environment*, 81, 334-339.
- Yavuz, B. (2011). *Enerji Depolama Sistemlerinin Modellenmesi Ve Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*,4, 33-54.
- Yılmaz, S. (2008). Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yılmazoğlu, M.Z. (2010). Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması. *Politeknik Dergisi*, 13, 33-42.

EKLER

EK A Tüm deneylerde yapılan on dakika aralıklı sıcaklık ölçümleri



EKA**Çizelge A. 1. Tüm deneylerde yapılan on dakika aralıklı sıcaklık ölçümleri**

Tarih	Saat	Dış Ortam Sıcaklığı (°C)	Boş Oda Sıcaklığı (°C)	Yalıtımlı Oda Sıcaklığı (°C)	Polyetilene Glycol-600 Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)	Calcium Chloride Hexahydrate Bulunan Oda Sıcaklığı (°C)
20.05.2019	15:02:48	27,3	31,7	32	32,9	32,7
20.05.2019	15:02:50	27,3	31,7	32	32,9	32,7
20.05.2019	15:02:52	27,2	31,7	32	32,9	32,7
20.05.2019	15:02:53	27,2	31,7	32	32,9	32,7
20.05.2019	15:03:18	26,9	31,7	32	32,9	32,7
20.05.2019	15:13:18	27,6	31	31,6	32,3	32
20.05.2019	15:23:18	25,9	30,4	31,3	31,8	31,6
20.05.2019	15:33:18	26,6	29,7	31,1	30,9	30,9
20.05.2019	15:43:18	27,1	29,9	31	31,1	31
20.05.2019	15:53:18	27,3	29,8	30,7	31	30,9
20.05.2019	16:03:18	27,8	30	30,7	31,2	31,1
20.05.2019	16:04:07	27,9	30	30,7	31,2	31,1
20.05.2019	16:23:30	26	29,1	30,4	30,8	29,3
20.05.2019	16:33:30	26,1	28,6	30,1	30	29,5
20.05.2019	16:43:30	26,6	28,5	29,8	29,8	29,4
20.05.2019	16:53:30	25,4	28,1	29,5	29,3	29,1
20.05.2019	17:03:30	25,1	27,5	29,3	28,7	28,6
20.05.2019	17:13:30	25	27,1	29	28,2	28,3
20.05.2019	17:23:30	25,8	26,9	28,5	28,1	28,1
20.05.2019	17:33:30	25,9	26,9	28,5	28,9	28,6
20.05.2019	17:43:30	25,3	27	28,3	29,2	28,9
20.05.2019	17:53:30	24,8	26,6	28,2	28,5	28,4
20.05.2019	18:03:30	24	26,3	27,9	27,9	27,8
20.05.2019	18:13:30	23,6	25,6	27,6	27	27
20.05.2019	18:23:30	23,6	25,1	27,3	26,4	26,4
20.05.2019	18:33:30	23,2	24,7	27	25,9	25,9
20.05.2019	18:43:30	23,3	24,4	26,8	25,5	25,4
20.05.2019	18:53:30	22,8	24,1	26,5	25,2	25,1
20.05.2019	19:03:30	22,2	23,8	26,2	24,7	24,7
20.05.2019	19:13:30	22,4	23,5	25,9	24,4	24,2
20.05.2019	19:23:30	22,2	23,4	25,7	24,1	24
20.05.2019	19:33:30	22	23,1	25,4	23,8	23,7
20.05.2019	19:43:30	21,6	22,9	25,1	23,5	23,4
20.05.2019	19:53:30	21	22,6	24,8	23,1	23,1
20.05.2019	20:03:30	19,6	22,3	24,5	22,7	22,7
20.05.2019	20:13:30	19,1	21,9	24,2	22,3	22,2
20.05.2019	20:23:30	18,2	21,4	23,9	21,8	21,8
20.05.2019	20:33:30	19,1	21,1	23,6	21,5	21,4
20.05.2019	20:43:30	19	20,9	23,4	21,3	21,2
20.05.2019	20:53:30	18,6	20,7	23,1	21,1	21,1
20.05.2019	21:03:30	18,4	20,6	22,9	20,9	20,9
20.05.2019	21:13:30	17,9	20,4	22,7	20,7	20,7
20.05.2019	21:23:30	19,6	20,3	22,6	20,5	20,5
20.05.2019	21:33:30	19	20,1	22,3	20,3	20,3
20.05.2019	21:43:30	17,7	20	22,1	20,2	20,2
20.05.2019	21:53:30	17,2	19,8	21,9	19,9	20
20.05.2019	22:03:30	17,1	19,5	21,7	19,7	19,8
20.05.2019	22:13:30	17	19,3	21,5	19,5	19,5
20.05.2019	22:23:30	16,5	19,1	21,3	19,3	19,3
20.05.2019	22:33:30	16,2	18,8	21,1	19	19
20.05.2019	22:43:30	15,7	18,6	20,9	18,7	18,8

20.05.2019	22:53:30	15,7	18,3	20,6	18,4	18,5
20.05.2019	23:03:30	15,4	18	20,4	18,2	18,2
20.05.2019	23:13:30	14,6	17,7	20,2	17,9	17,9
20.05.2019	23:23:30	14,5	17,4	19,9	17,6	17,6
20.05.2019	23:33:30	14	17,1	19,7	17,4	17,3
20.05.2019	23:43:30	14,2	16,8	19,4	17,1	17
20.05.2019	23:53:30	14,2	16,6	19,2	16,9	16,7
21.05.2019	00:03:30	14	16,3	19	16,7	16,5
21.05.2019	00:13:30	14	16,1	18,8	16,5	16,2
21.05.2019	00:23:30	14	15,9	18,5	16,2	16,1
21.05.2019	00:33:30	13,9	15,8	18,3	16,1	15,9
21.05.2019	00:43:30	13,9	15,6	18,1	16	15,7
21.05.2019	00:53:30	13,7	15,5	18	15,8	15,6
21.05.2019	01:03:30	13,6	15,4	17,8	15,7	15,5
21.05.2019	01:13:30	13,8	15,3	17,7	15,6	15,4
21.05.2019	01:23:30	13,1	15,2	17,5	15,5	15,2
21.05.2019	01:33:30	12,9	15	17,3	15,2	15
21.05.2019	01:43:30	13,2	14,8	17,2	15,1	14,9
21.05.2019	01:53:30	13,2	14,7	17	15	14,8
21.05.2019	02:03:30	13,5	14,6	16,9	14,9	14,7
21.05.2019	02:13:30	13,9	14,6	16,8	14,8	14,6
21.05.2019	02:23:30	12,7	14,5	16,6	14,7	14,5
21.05.2019	02:33:30	12,5	14,3	16,5	14,5	14,4
21.05.2019	02:43:30	12,2	14,2	16,4	14,4	14,2
21.05.2019	02:53:30	12,7	14	16,2	14,3	14
21.05.2019	03:03:30	12,2	13,9	16,1	14,1	13,9
21.05.2019	03:13:30	12	13,8	16	14	13,8
21.05.2019	03:23:30	11,7	13,7	15,9	13,9	13,7
21.05.2019	03:33:30	11,6	13,5	15,7	13,7	13,5
21.05.2019	03:43:30	11,6	13,4	15,6	13,6	13,4
21.05.2019	03:53:30	11,4	13,3	15,5	13,5	13,3
21.05.2019	04:03:30	11,6	13,2	15,4	13,4	13,1
21.05.2019	04:13:30	11,9	13,2	15,3	13,4	13,1
21.05.2019	04:23:30	13	13,3	15,3	13,5	13,2
21.05.2019	04:33:30	12,6	13,5	15,2	13,5	13,3
21.05.2019	04:43:30	12,7	13,6	15,3	13,7	13,4
21.05.2019	04:53:30	12,7	13,7	15,3	13,8	13,5
21.05.2019	05:03:30	12,5	13,8	15,2	13,8	13,6
21.05.2019	05:13:30	12,5	13,8	15,3	13,8	13,6
21.05.2019	05:23:30	11,7	13,7	15,2	13,7	13,5
21.05.2019	05:33:30	11,2	13,5	15,1	13,5	13,3
21.05.2019	05:43:30	11,2	13,3	15	13,3	13,1
21.05.2019	05:53:30	11,5	13,1	14,9	13,1	13
21.05.2019	06:03:30	10,8	13	14,8	13	12,9
21.05.2019	06:13:30	11,1	12,8	14,7	12,9	12,7
21.05.2019	06:23:30	11,2	12,7	14,6	12,8	12,6
21.05.2019	06:33:30	11	12,7	14,5	12,8	12,5
21.05.2019	06:43:30	11,7	12,7	14,4	12,8	12,5
21.05.2019	06:53:30	12,3	12,8	14,4	12,9	12,6
21.05.2019	07:03:30	12,2	13	14,4	13	12,7
21.05.2019	07:13:30	12,6	13,1	14,4	13,1	12,9
21.05.2019	07:23:30	13,6	13,4	14,4	13,3	13,1
21.05.2019	07:33:30	15	13,7	14,5	13,6	13,3
21.05.2019	07:43:30	15,3	14,1	14,6	14	13,8
21.05.2019	07:53:30	15,5	14,6	14,8	14,5	14,3
21.05.2019	08:03:30	16,7	15,2	15	15	14,9
21.05.2019	08:13:30	17	15,8	15,3	15,7	15,5
21.05.2019	08:23:30	17,8	16,3	15,6	16,2	16,1
21.05.2019	08:33:30	18,8	16,8	15,9	17,4	17,2
21.05.2019	08:43:30	20,7	17,5	16,1	18,8	18,9

21.05.2019	08:53:30	20,2	18,3	16,4	20,1	20,5
21.05.2019	09:03:30	23,1	19,5	17	21,1	21,8
21.05.2019	09:13:30	22,4	20,7	17,6	22,3	23
21.05.2019	09:23:30	21,5	21,7	18,3	22,9	23,8
21.05.2019	09:33:30	23,5	22	18,8	23,1	23,9
21.05.2019	09:43:30	24,6	23	19,3	23,9	24,5
21.05.2019	09:53:30	26,6	24,2	20	25,1	25,7
21.05.2019	10:03:30	26,9	25,4	20,7	26,4	27
21.05.2019	10:13:30	24,4	26,7	21,5	27,6	28,1
21.05.2019	10:23:30	27,3	27,3	22,1	28,3	28,7
21.05.2019	10:33:30	29,8	27,9	22,7	28,8	29,2
21.05.2019	10:43:30	27,8	28,5	23,4	29,6	29,9
21.05.2019	10:53:30	24,8	28,5	23,8	29,5	29,8
21.05.2019	11:03:30	28,8	28,1	24,1	29,2	29,4
21.05.2019	11:13:30	26,2	28,2	24,5	29,3	29,5
21.05.2019	11:23:30	28,1	28,3	24,8	29,4	29,5
21.05.2019	11:33:30	25,8	28,5	25,1	29,5	29,6
21.05.2019	11:43:30	26,1	28,1	25,4	29,5	29,6
21.05.2019	11:53:30	28,2	28,5	25,7	29,8	29,9
21.05.2019	12:03:30	29,6	30	26,2	31,1	31,1
21.05.2019	12:13:30	28,5	30,6	26,7	31,9	31,9
21.05.2019	12:23:30	29,1	31,3	27,2	32,4	32,4
21.05.2019	12:33:30	28,3	32,1	27,7	33	33,1
21.05.2019	12:43:30	29,4	32,2	28	33,1	33,2
21.05.2019	12:53:30	31,1	33,4	28,6	34,2	34,1
21.05.2019	13:03:30	33,1	34,2	29,1	34,9	34,8
21.05.2019	13:13:30	31,3	35	29,7	35,6	35,5
21.05.2019	13:23:30	27,2	34,2	30	34,9	34,9
21.05.2019	13:33:30	31,8	33,2	30	34,1	34
21.05.2019	13:43:30	29,6	33,4	30,1	34,3	34,1
21.05.2019	13:53:30	29,4	33,6	30,3	34,5	34,3
21.05.2019	14:03:30	26,8	32,9	30,4	33,9	33,9
21.05.2019	14:13:30	26,6	31,6	30,1	32,6	32,6
21.05.2019	14:23:30	28	31,2	30	32	31,9
21.05.2019	14:33:30	25,6	30,6	29,7	31,4	31,3
21.05.2019	14:43:30	25,7	29,4	29,4	30,2	30,2
21.05.2019	14:53:30	25,1	28,6	29	29,4	29,3
21.05.2019	15:03:30	25	28,1	28,7	28,7	28,7
21.05.2019	15:13:30	25,1	27,6	28,4	28,2	28,1
21.05.2019	15:23:30	24,7	27,4	28,1	27,9	27,8
21.05.2019	15:33:30	24,7	27,1	27,8	27,6	27,4
21.05.2019	15:43:30	24,8	26,8	27,6	27,3	27,1
21.05.2019	15:53:30	24,4	26,6	27,3	27,1	26,9
21.05.2019	16:03:30	24,6	26,5	27,1	26,9	26,7
21.05.2019	16:13:30	24,6	26,5	26,9	26,9	26,7
21.05.2019	16:23:30	22,9	26,3	26,7	26,7	26,5
21.05.2019	16:33:30	21,2	25,6	26,4	26,1	25,9
21.05.2019	16:43:30	20,2	24,8	26	25,3	25,1
21.05.2019	16:53:30	21,9	24,5	25,8	25	24,7
21.05.2019	17:03:30	21,3	24,3	25,4	24,8	24,5
21.05.2019	17:13:30	20,9	24	25,2	24,5	24,2
21.05.2019	17:23:30	20,1	23,7	25	24,1	23,9
21.05.2019	17:33:30	19,8	23,2	24,7	23,5	23,4
21.05.2019	17:43:30	19,1	22,6	24,4	23	22,8
21.05.2019	17:53:30	18,2	22,3	24,1	22,7	22,4
21.05.2019	18:03:30	18,9	22,1	23,8	22,5	22,2
21.05.2019	18:13:30	19,2	21,9	23,5	22,2	21,9
21.05.2019	18:23:30	17,8	21,6	23,3	22	21,7
21.05.2019	18:33:30	17,9	21,3	23	21,5	21,4
21.05.2019	18:43:30	17,8	21	22,8	21,1	21,1

21.05.2019	18:53:30	17,5	20,8	22,5	21	20,8
21.05.2019	19:03:30	17,5	20,5	22,3	20,7	20,5
21.05.2019	19:13:30	17,1	20,2	22,1	20,5	20,3
21.05.2019	19:23:30	17,4	19,8	21,8	20,1	19,9
21.05.2019	19:33:30	16,8	19,5	21,6	19,8	19,5
21.05.2019	19:43:30	16,6	19,1	21,3	19,3	19,2
21.05.2019	19:53:30	16,7	18,9	21	19	19
21.05.2019	20:03:30	16,8	18,7	20,7	18,8	18,7
21.05.2019	20:13:30	16,5	18,6	20,6	18,6	18,5
21.05.2019	20:23:30	16,9	18,5	20,5	18,5	18,5
21.05.2019	20:33:30	17,7	18,5	20,3	18,5	18,4
21.05.2019	20:43:30	16,7	18,4	20,2	18,5	18,4
21.05.2019	20:53:30	17,1	18,4	20,1	18,4	18,3
21.05.2019	21:03:30	17,1	18,3	20	18,4	18,2
21.05.2019	21:13:30	17,1	18,3	19,9	18,3	18,2
21.05.2019	21:23:30	17,1	18,2	19,8	18,2	18,1
21.05.2019	21:33:30	17,1	18,1	19,7	18,1	18,1
21.05.2019	21:43:30	17,1	18,1	19,6	18,1	18
21.05.2019	21:53:30	16,9	18	19,5	18	18
21.05.2019	22:03:30	16,5	18	19,4	18	17,9
21.05.2019	22:13:30	16,2	17,8	19,3	17,8	17,8
21.05.2019	22:23:30	16,6	17,7	19,2	17,7	17,6
21.05.2019	22:33:30	15,4	17,6	19,1	17,6	17,5
21.05.2019	22:43:30	15	17,4	18,9	17,3	17,3
21.05.2019	22:53:30	14,6	17,2	18,8	17,2	17,2
21.05.2019	23:03:30	14,7	17	18,6	17	17
21.05.2019	23:13:30	14,7	16,9	18,6	16,9	16,8
21.05.2019	23:23:30	14,3	16,7	18,4	16,8	16,7
21.05.2019	23:33:30	14,2	16,6	18,3	16,6	16,5
21.05.2019	23:43:30	14,2	16,5	18,2	16,5	16,4
21.05.2019	23:53:30	14,3	16,4	18,1	16,4	16,3
22.05.2019	00:03:30	14,1	16,3	18	16,4	16,2
22.05.2019	00:13:30	13,9	16,2	17,9	16,3	16,1
22.05.2019	00:23:30	13,3	16	17,7	16,1	15,9
22.05.2019	00:33:30	13,8	15,8	17,6	15,9	15,7
22.05.2019	00:43:30	13,1	15,7	17,4	15,8	15,6
22.05.2019	00:53:30	13,5	15,6	17,3	15,7	15,5
22.05.2019	01:03:30	13,7	15,5	17,2	15,6	15,4
22.05.2019	01:13:30	13,6	15,5	17,2	15,6	15,4
22.05.2019	01:23:30	13,8	15,5	17,1	15,5	15,3
22.05.2019	01:33:30	13,2	15,4	17	15,4	15,2
22.05.2019	01:43:30	13,7	15,2	16,9	15,3	15,1
22.05.2019	01:53:30	13,9	15,2	16,8	15,3	15,1
22.05.2019	02:03:30	13,8	15,3	16,8	15,4	15,1
22.05.2019	02:13:30	13,6	15,3	16,7	15,4	15,2
22.05.2019	02:23:30	13,8	15,3	16,7	15,4	15,2
22.05.2019	02:33:30	14,2	15,2	16,7	15,2	15,1
22.05.2019	02:43:30	12,4	15	16,5	15,1	14,9
22.05.2019	02:53:30	12,5	14,8	16,3	14,8	14,7
22.05.2019	03:03:30	12,4	14,5	16,2	14,5	14,4
22.05.2019	03:13:30	12	14,2	16,1	14,3	14,2
22.05.2019	03:23:30	11,5	14	15,9	14,1	13,9
22.05.2019	03:33:30	11,7	13,8	15,7	14	13,8
22.05.2019	03:43:30	11,6	13,6	15,6	13,8	13,6
22.05.2019	03:53:30	11,4	13,5	15,5	13,7	13,4
22.05.2019	04:03:30	11,7	13,4	15,4	13,6	13,3
22.05.2019	04:13:30	11,3	13,4	15,3	13,6	13,2
22.05.2019	04:23:30	11,5	13,3	15,2	13,5	13,1
22.05.2019	04:33:30	11,3	13,2	15	13,4	13,1
22.05.2019	04:43:30	10,9	13,1	14,9	13,2	13

22.05.2019	04:53:30	11,5	13	14,8	13,2	12,8
22.05.2019	05:03:30	11,7	13,1	14,8	13,2	12,8
22.05.2019	05:13:30	11,6	13,1	14,8	13,2	12,9
22.05.2019	05:23:30	11,7	13,1	14,7	13,2	12,9
22.05.2019	05:33:30	11,5	13,1	14,7	13,2	12,9
22.05.2019	05:43:30	11,3	13,1	14,6	13,2	12,9
22.05.2019	05:53:30	11,3	13,1	14,6	13,1	12,8
22.05.2019	06:03:30	11,4	13	14,5	13	12,8
22.05.2019	06:13:30	11,1	12,9	14,4	12,9	12,7
22.05.2019	06:23:30	11,2	12,8	14,3	12,9	12,6
22.05.2019	06:33:30	11,9	12,8	14,3	12,9	12,6
22.05.2019	06:43:30	12,1	12,9	14,3	13	12,7
22.05.2019	06:53:30	12,6	13,1	14,3	13,1	12,9
22.05.2019	07:03:30	13,3	13,3	14,3	13,3	13
22.05.2019	07:13:30	13,8	13,6	14,3	13,5	13,2
22.05.2019	07:23:30	14,1	13,9	14,4	13,8	13,5
22.05.2019	07:33:30	14,3	14,2	14,5	14	13,8
22.05.2019	07:43:30	15,1	14,4	14,6	14,2	14
22.05.2019	07:53:30	16	14,8	14,7	14,6	14,4
22.05.2019	08:03:30	16,7	15,3	14,9	15,1	15
22.05.2019	08:13:30	17,1	15,8	15,2	15,7	15,5
22.05.2019	08:23:30	16,4	16,1	15,4	16	15,9
22.05.2019	08:33:30	16,7	16,4	15,6	16,6	16,5
22.05.2019	08:43:30	18,3	16,7	15,8	17,3	17,2
22.05.2019	08:53:30	21,2	17,1	16,1	17,7	17,8
22.05.2019	09:03:30	22,7	18,4	16,4	19,7	19,9
22.05.2019	09:13:30	24,2	20,3	17,2	21,6	22,1
22.05.2019	09:23:30	24,5	22	18	23,3	23,9
22.05.2019	09:33:30	25,1	22,9	18,7	24,2	24,9
22.05.2019	09:43:30	30,3	24,7	19,6	25,9	26,6
22.05.2019	09:53:30	30,6	26,4	20,6	27,6	28,4
22.05.2019	10:03:30	23,8	28,2	21,6	29,4	30,2
22.05.2019	10:13:30	30,1	28,6	22,3	30	30,7
22.05.2019	10:23:30	31,6	30	23,2	31,2	32
22.05.2019	10:33:30	26	30,7	24,1	32,2	32,7
22.05.2019	10:43:30	24,2	29,9	24,4	31	31,7
22.05.2019	10:53:30	23,1	28,4	24,5	29,6	30,2
22.05.2019	11:03:30	22,5	27,1	24,5	28,4	29
22.05.2019	11:13:30	22,2	26,1	24,4	27,2	27,8
22.05.2019	11:20:39	22	25,5	24,3	26,5	27,1
23.05.2019	11:32:12	26,5	24,3	21,4	24,4	24,6
23.05.2019	11:42:12	29,2	25,6	21,9	25,9	26
23.05.2019	11:52:12	30,7	28,2	22,9	28,7	28,6
23.05.2019	12:02:12	31,3	30	24	30,6	30,6
23.05.2019	12:12:12	29,7	30,5	25	31,5	31,8
23.05.2019	12:22:12	30,8	31,5	25,8	32,4	32,6
23.05.2019	12:32:12	29,2	31,5	26,6	32,7	33,1
23.05.2019	12:42:12	28,1	30,3	26,9	31,8	32,5
23.05.2019	12:52:12	28	30,1	27,3	31,4	32,2
23.05.2019	13:02:12	27,1	29,9	27,6	31,1	32
23.05.2019	13:12:12	30,1	30,8	27,9	31,8	32,4
23.05.2019	13:22:12	29,7	31,6	28,5	32,6	33
23.05.2019	13:32:12	30,2	32,8	29	33,3	33,6
23.05.2019	13:42:12	30,2	33,4	29,4	33,9	34,1
23.05.2019	13:52:12	28,8	33,8	29,8	34,2	34,4
23.05.2019	14:02:12	28	32,6	29,9	33,6	33,8
23.05.2019	14:12:12	27,6	31,8	29,9	32,8	33
23.05.2019	14:22:12	28,1	31,9	30	32,6	32,8
23.05.2019	14:32:12	27,7	31,4	29,9	32,3	32,4
23.05.2019	14:42:12	25,8	30,5	29,5	31,3	31,5

23.05.2019	14:52:12	25,7	29,5	29,3	30,4	30,6
23.05.2019	15:02:12	26,5	28,8	29	29,6	29,8
23.05.2019	15:12:12	25,4	28,3	28,8	29,2	29,3
23.05.2019	15:22:12	25,2	27,9	28,6	28,7	28,8
23.05.2019	15:32:12	24,3	27,3	28,3	28,1	28,3
23.05.2019	15:42:12	24,4	26,8	28	27,5	27,7
23.05.2019	15:52:12	24,1	26,4	27,6	27	27,3
23.05.2019	16:02:12	23,9	25,8	27,2	26,5	26,7
23.05.2019	16:12:12	23,4	25,5	27	26,2	26,4
23.05.2019	16:22:12	23,1	24,9	26,6	25,6	25,8
23.05.2019	16:32:12	24	24,7	26,4	25,3	25,5
23.05.2019	16:42:12	24,2	25	26,3	25,5	25,6
23.05.2019	16:52:12	23,6	25	26	25,5	25,6
23.05.2019	17:02:12	23,5	25,1	26	25,4	25,5
23.05.2019	17:12:12	22,9	24,7	25,7	25,1	25,2
23.05.2019	17:22:12	23,4	24,5	25,6	24,8	24,9
23.05.2019	17:32:12	23,9	25	25,5	25,1	25,1
23.05.2019	17:42:12	24,3	25,2	25,5	25,5	25,4
23.05.2019	17:52:12	22,8	24,9	25,4	25,3	25,3
23.05.2019	18:02:12	22,4	24,2	25,1	24,7	24,8
23.05.2019	18:12:12	22,2	23,7	24,9	24,2	24,3
23.05.2019	18:22:12	22,9	23,6	24,7	23,9	24
23.05.2019	18:32:12	22,1	23,5	24,6	23,8	23,9
23.05.2019	18:42:12	22	23,5	24,4	23,7	23,7
23.05.2019	18:52:12	21,9	23,5	24,3	23,6	23,7
23.05.2019	19:02:12	21,7	23,2	24,1	23,4	23,5
23.05.2019	19:12:12	21,5	22,8	23,9	23,1	23,1
23.05.2019	19:22:12	21,4	22,4	23,7	22,7	22,7
23.05.2019	19:32:12	21,3	22	23,5	22,4	22,4
23.05.2019	19:42:12	21	21,8	23,2	22,1	22,1
23.05.2019	19:52:12	20,6	21,5	23,1	21,9	21,8
23.05.2019	20:02:12	18,9	21,2	22,8	21,4	21,5
23.05.2019	20:12:12	18,4	20,8	22,5	21	21
23.05.2019	20:22:12	17,9	20,5	22,3	20,6	20,7
23.05.2019	20:32:12	17,4	20,1	22	20,2	20,3
23.05.2019	20:42:12	17,9	19,8	21,8	20	20
23.05.2019	20:52:12	18,3	19,7	21,6	19,7	19,8
23.05.2019	21:02:12	17,8	19,6	21,4	19,6	19,7
23.05.2019	21:12:12	17,3	19,4	21,2	19,4	19,4
23.05.2019	21:22:12	17,5	19,2	21	19,2	19,2
23.05.2019	21:32:12	17,4	19,2	20,9	19,2	19,1
23.05.2019	21:42:12	16,9	19,1	20,7	19	19,1
23.05.2019	21:52:12	14,7	19	20,6	18,9	18,9
23.05.2019	22:02:12	15,1	18,7	20,3	18,4	18,5
23.05.2019	22:12:12	15,3	18,4	20,1	18,1	18,2
23.05.2019	22:22:12	14,9	18,2	19,9	17,9	18
23.05.2019	22:32:12	14,5	17,9	19,7	17,6	17,6
23.05.2019	22:42:12	14,3	17,5	19,4	17,4	17,3
23.05.2019	22:52:12	14,4	17,2	19,2	17,1	17
23.05.2019	23:02:12	14,6	16,9	19	16,9	16,7
23.05.2019	23:12:12	14,1	16,7	18,8	16,7	16,4
23.05.2019	23:22:12	13,9	16,4	18,5	16,4	16,2
23.05.2019	23:32:12	13,6	16,2	18,3	16,2	15,9
23.05.2019	23:42:12	13,7	16	18,1	16,1	15,7
23.05.2019	23:52:12	13,8	15,8	17,9	15,9	15,6
24.05.2019	00:02:12	13,5	15,7	17,8	15,8	15,4
24.05.2019	00:12:12	13,7	15,6	17,6	15,6	15,3
24.05.2019	00:22:12	13,6	15,4	17,5	15,5	15,1
24.05.2019	00:32:12	13,7	15,3	17,3	15,4	15
24.05.2019	00:42:12	13,6	15,1	17,2	15,2	14,8

24.05.2019	00:52:12	13,6	15,1	17	15,1	14,8
24.05.2019	01:02:12	14,1	15	16,9	15,1	14,7
24.05.2019	01:12:12	14,2	15,1	16,9	15	14,6
24.05.2019	01:22:12	16,1	15,2	16,8	15,2	14,8
24.05.2019	01:32:12	12,4	15,6	16,9	15,4	15
24.05.2019	01:42:12	12,2	15,4	16,8	15	14,9
24.05.2019	01:52:12	14,6	15,3	16,8	14,9	14,8
24.05.2019	02:02:12	14,1	15,3	16,7	15	14,9
24.05.2019	02:12:12	13,2	15,3	16,6	15	15
24.05.2019	02:22:12	13,2	15,3	16,6	15	15
24.05.2019	02:32:12	13,7	15,3	16,6	15	14,9
24.05.2019	02:42:12	13,4	15,1	16,5	14,8	14,8
24.05.2019	02:52:12	13,4	14,8	16,3	14,7	14,7
24.05.2019	03:02:12	13	14,7	16,2	14,5	14,6
24.05.2019	03:12:12	12,7	14,5	16,1	14,4	14,4
24.05.2019	03:22:12	13	14,4	16,1	14,3	14,3
24.05.2019	03:32:12	13,1	14,3	16	14,2	14,2
24.05.2019	03:42:12	13,1	14,3	15,9	14,2	14,2
24.05.2019	03:52:12	12,8	14,2	15,8	14,2	14,1
24.05.2019	04:02:12	13,2	14,3	15,8	14,2	14,1
24.05.2019	04:12:12	13,6	14,2	15,8	14,1	14
24.05.2019	04:22:12	13,1	14,1	15,7	14	13,9
24.05.2019	04:32:12	12,3	13,9	15,5	13,9	13,8
24.05.2019	04:42:12	12,1	13,8	15,4	13,8	13,7
24.05.2019	04:52:12	11,6	13,6	15,3	13,7	13,5
24.05.2019	05:02:12	11,7	13,4	15,2	13,5	13,3
24.05.2019	05:12:12	11,7	13,2	15,1	13,3	13,1
24.05.2019	05:22:12	11,5	13,1	14,9	13,2	13
24.05.2019	05:32:12	12,1	13,1	14,9	13,2	12,9
24.05.2019	05:42:12	12,8	13,2	14,9	13,3	13
24.05.2019	05:52:12	13,1	13,5	14,9	13,5	13,2
24.05.2019	06:02:12	11,9	13,6	14,9	13,4	13,2
24.05.2019	06:12:12	12,4	13,6	14,9	13,4	13,2
24.05.2019	06:22:12	12,1	13,5	14,9	13,3	13,2
24.05.2019	06:32:12	12	13,6	14,9	13,4	13,1
24.05.2019	06:42:12	12,4	13,7	14,9	13,4	13,2
24.05.2019	06:52:12	12,3	13,8	14,8	13,6	13,5
24.05.2019	07:02:12	12,4	13,9	14,8	13,7	13,6
24.05.2019	07:12:12	12,6	14,1	14,9	13,8	13,7
24.05.2019	07:22:12	13,4	14,4	15	14,1	13,9
24.05.2019	07:32:12	13,3	14,6	15,1	14,4	14,2
24.05.2019	07:42:12	13,5	14,8	15,1	14,6	14,4
24.05.2019	07:52:12	14,3	15	15,3	14,8	14,7
24.05.2019	08:02:12	14,6	15,4	15,4	15,1	15,1
24.05.2019	08:12:12	14,9	15,6	15,5	15,3	15,3
24.05.2019	08:22:12	15,9	16	15,7	15,7	15,7
24.05.2019	08:32:12	16,1	16,5	15,9	16,3	16,3
24.05.2019	08:42:12	16,5	16,9	16,1	17,2	17,2
24.05.2019	08:52:12	17,9	17,2	16,3	17,6	17,7
24.05.2019	09:02:12	21,8	17,9	16,6	18,8	18,9
24.05.2019	09:12:12	20,4	19,5	17,2	20,5	20,9
24.05.2019	09:22:12	21,1	20,1	17,7	21,1	21,6
24.05.2019	09:32:12	22,2	20,4	18,1	21,3	21,9
24.05.2019	09:42:12	21,3	20,8	18,5	21,5	22,2
24.05.2019	09:52:12	21,8	21,3	18,9	22	22,6
24.05.2019	10:02:12	21,8	21,8	19,3	22,4	23
24.05.2019	10:12:12	24,9	22,3	19,7	22,9	23,4
24.05.2019	10:22:12	24,8	22,9	20,1	23,5	24,1
24.05.2019	10:32:12	23,8	23,4	20,5	24,1	24,7
24.05.2019	10:42:12	25,6	24,7	21,1	25,3	25,8

24.05.2019	10:52:12	24,6	25,2	21,6	25,9	26,4
24.05.2019	11:02:12	30,1	26,6	22,3	27,3	27,7
24.05.2019	11:12:12	26,9	28,4	23,2	29,3	29,8
24.05.2019	11:22:12	32,6	29,8	24,1	30,7	31,1
24.05.2019	11:32:12	31,1	30,9	25	31,7	32,2
24.05.2019	11:42:12	29,4	31,8	25,9	32,7	33,2
24.05.2019	11:52:12	30,1	31,7	26,7	32,7	33,3
24.05.2019	12:02:12	31,5	32,5	27,3	33,2	33,9
24.05.2019	12:12:12	32,1	32,7	28	33,4	34,2
24.05.2019	12:22:12	31,9	32,9	28,5	33,3	34,2
24.05.2019	12:32:12	29,4	32,7	29,1	33,6	34,5
24.05.2019	12:42:12	27,6	32,4	29,5	33,1	34,3
24.05.2019	12:52:12	28,1	31,2	29,6	31,9	32,9
24.05.2019	13:02:12	28,7	31,8	29,8	32,1	33
24.05.2019	13:12:12	25,1	31,5	29,9	32	32,8
24.05.2019	13:22:12	25,9	30,8	29,5	31,6	32,2
24.05.2019	13:32:12	25,9	30,2	29,5	30,9	31,5
24.05.2019	13:42:12	25,1	29,6	29,3	30,4	31,1
24.05.2019	13:52:12	27,5	29	29,1	29,7	30,2
24.05.2019	14:02:12	28,6	29,6	29,1	30	30,6
24.05.2019	14:12:12	28,1	30,4	29,3	30,9	31,4
24.05.2019	14:22:12	27,8	31,4	29,7	31,8	32,1
24.05.2019	14:28:48	26,8	31,7	29,9	32,1	32,4

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ece YILMAZ YİĞİT

Doğum Yeri ve Yılı : Adana, 1991

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yilmaz.ece_01@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Adana Ticaret Borsası Lisesi, 2009

Lisans : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü